
试验通信 技术词典

赵宗印 李正伟 马立波 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

试验通信是国防科研试验重要的技术支持系统之一,包括指挥话音通信、实时数据传输、现场图像传送、站间时间同步等。本书收录了国防科研试验通信常用的技术术语 2100 余条,这些术语按专业分为基础与通用、光通信、卫星通信、无线通信、IP 承载网、数据通信、话音通信、图像通信、时间统一系统、通信保密与安全、网络管理、通信线路电源机房、新技术共 13 章。本书读者对象为通信专业大专以上文化水平的技术人员和管理人员,以及对试验通信有兴趣的其他人员。

版权所有,侵权必究。举报:010-62782989, beiqinuan@tup.tsinghua.edu.cn。

图书在版编目(CIP)数据

试验通信技术词典/赵宗印,李正伟,马立波编著. —北京:清华大学出版社,2022. 6
ISBN 978-7-302-60025-1

I. ①试… II. ①赵… ②李… ③马… III. ①通信技术-词典 IV. ①TN91-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 021625 号

责任编辑:王 倩

封面设计:何凤霞

责任校对:王淑云

责任印制:朱雨萌

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-83470000 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市铭诚印务有限公司

装 订 者:三河市启晨纸制品加工有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:31

字 数:960 千字

版 次:2022 年 7 月第 1 版

印 次:2022 年 7 月第 1 次印刷

定 价:168.00 元

产品编号:046120-01

本书编写组

主 编 赵宗印

副 主 编 李正伟 马立波

委 员 张 林 左延智 韦 蓉 韦荻山 王 莉 牛晓华
吴训吉 韩晓亚 陈 雅 王 伟 李 洁 董行健
曹 江 梁前熠 童咏章 许生旺

前 言

试验通信是国防科研试验重要的技术支持系统之一,涉及指挥话音通信、实时数据传输、现场图像传送、站间时间同步等。在试验通信技术工作中,经常使用大量的技术术语。这些术语来源广泛,有的来自论文著作,有的来自标准,有的来自厂家资料,有的是试验通信领域内约定俗成的,因此很难在一本书中查找到全部这些术语。即使在其他文献中找到这些术语,也很难找到针对试验通信的解释。因此,由于理解上的差异,在使用过程中常发生为一个术语的含义进行讨论以致争论的事情。有鉴于此,我们萌生了编写一部试验通信技术术语工具书的想法。通过调研,我们了解到广大科研试验通信技术工作者和管理人员,也希望有一部针对试验通信的工具书,来解决在工作中遇到的术语方面的问题。这最终使我们下定决心编写这本词典。

本词典收录国防科研试验通信常用技术术语 2100 余条,涵盖了试验通信的各个专业,分为基础与通用、光通信、卫星通信、无线通信、IP 承载网、数据通信、话音通信、图像通信、时间统一系统、通信保密与安全、网络管理、通信线路电源机房、新技术共 13 章。编写人员全部是北京跟踪与通信技术研究所通信总体研究室的技术人员,编写分工如下:第 1 章和第 13 章由赵宗印负责编写,第 2 章和第 12 章由李正伟负责编写,第 3 章由马立波和董行健负责编写,第 4 章由张林负责编写,第 5 章由韦荻山、韦蓉、赵宗印、韩晓亚和梁前熠负责编写,第 6 章由左延智负责编写,第 7 章由李洁和牛晓华负责编写,第 8 章由王伟负责编写,第 9 章由王莉负责编写,第 10 章由吴训吉负责编写,第 11 章由陈雅和曹江负责编写。另外,许生旺、童咏章应邀为本词典编写了部分条目。全书的统稿和补充完善工作由赵宗印完成。

本词典的编写工作历时十年完成,其中之艰辛不是亲历者所能体验到的。如果没有各级领导和同志们的大力支持、帮助、鼓励,甚至理解和谅解,完成这一工作是不可能的。当年,当我们把编写这本词典的想法汇报给时任室主任朱天林时,他给予了充分的肯定和支持,并具体安排编写人员,他调到其他岗位后,仍关心词典的编写工作,在列入研究所著书立说计划、联系落实出版社方面做了大量工作。梅强主任在通信总体技术工作日益繁重的情况下,仍然尽量保证编写人员的编写时间,为编写工作提供各种保障和支持。郑玉洁、王娟、黄雅琳、陈运军等虽然没有担任具体的编写工作,但随叫随到,参与技术讨论,对本书出版给予了无私的帮助。在此向上述人员表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

赵宗印

2017 年 11 月

使用说明

1. 本书由正文和索引组成。

正文由词条组成,每个词条包括词条名称和释文。

索引包括正文中所有词条的名称及该词条在正文中对应的序号和页码。

2. 正文首先按专业分为基础与通用、光通信、卫星通信、无线通信、IP 承载网、数据通信、话音通信、图像通信、时间统一系统、通信保密与安全、网络管理、通信线路电源机房、新技术共 13 章。每章中的词条按照名称中包含的阿拉伯数字、英文字母、汉字进行排序。数字优先,英文字母其次,汉字再其次。同为数字者和英文字母者,则按升序排序。同为汉字者,则按汉字的汉语拼音字母进行升序排序。排序时,首先比较词条名称的第一个数字/英文字母/汉字。若相同,则比较第二个,以此类推,直到决定出顺序为止。

索引中词条名称的排序不按章排序,所有的词条名称统一排序,排序方法同正文中词条的排序方法相同。

3. 词条内容包括以下部分:

- (1) 中文名称。
- (2) 英文名称及其简称(必要时)。
- (3) 定义。
- (4) 中文简称、别称(必要时)。
- (5) 内容解释
- (6) 与近义词语的辨析(必要时)。
- (7) 使用规范(必要时)。

4. 查阅方法:

- (1) 根据词条排列顺序规则,从索引中找到词条在正文中的位置。
- (2) 在已知词条所在章的情况下,也可根据词条排列顺序规则,直接查正文。

目 录

第 1 章 基础与通用	1
第 2 章 光通信	31
第 3 章 卫星通信	73
第 4 章 无线通信	113
第 5 章 IP 承载网	156
第 6 章 数据通信	232
第 7 章 话音通信	268
第 8 章 图像通信	306
第 9 章 时间统一系统	339
第 10 章 通信保密与安全	359
第 11 章 网络管理	376
第 12 章 通信线路电源机房	399
第 13 章 新技术	427
参考文献	437
索引	457

第 1 章 基础与通用

1.1 3 σ 准则 (3 σ rule)

以偏离均值 3 倍标准差为限的准则。在正态分布中, 随机变量分布在 $(\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma)$ 的概率为 0.9974, 其中 μ 为均值, σ 为标准差。通信技术指标在允许范围内变动的概率不小于 0.9974; 在概率不小于 0.9974 的条件下, 指标在允许的范围变动, 均可认为符合 3 σ 准则。

1.2 6 σ 准则 (6 σ rule)

以偏离均值 6 倍标准差为限的准则。在正态分布中, 随机变量分布在 $(\mu - 6\sigma, \mu + 6\sigma)$ 的概率为 0.999 996, 其中 μ 为均值, σ 为标准差。通信技术指标在允许范围内变动的概率不小于 0.999 996; 在概率不小于 0.999 996 的条件下, 指标在允许的范围变动, 均可认为符合 6 σ 准则。

1.3 C⁴ISR 系统 (command, control, communications, computers, intelligence, surveillance and reconnaissance system)

由指挥、控制、通信、计算机、情报、监视与侦察有机结合组成的军队指挥自动化系统。指挥自动化系统源于美军, 早期为 C³I 系统, 只包括指挥、控制、通信和情报。在 C³I 系统的基础上增加计算机, 成为 C⁴I 系统。在 C⁴I 系统的基础上增加监视和侦察, 成为 C⁴ISR 系统。美军的 C⁴ISR 系统分为战略 C⁴ISR 系统和战术 C⁴ISR 系统。战术 C⁴ISR 系统按军种分为陆军 C⁴ISR 系统、海军 C⁴ISR 系统、空军 C⁴ISR 系统等。

1.4 MATLAB

MathWorks 公司出品的商业数学软件。MATLAB 由“matrix”与“laboratory”各取前 3 个字母组合而成, 意为矩阵实验室。

MATLAB 由开发环境、数学函数库、语言、图形处理系统和应用程序接口这 5 部分构成。开发环境包括命令窗口、启动平台窗口、工作空间窗口、命令

历史窗口、当前路径窗口、程序文件编辑器、在线帮助浏览器等。数学函数库包括了大量的算法, 从基本算法如加法、正弦, 到复杂算法如矩阵求逆、快速傅里叶变换等。语言是一种高级的基于矩阵/数组的语言, 具有程序流控制、函数、数据结构、输入/输出和面向对象编程等功能, 用户可用该语言编写计算程序文件。图形处理系统能图形化显示向量和矩阵, 具有图像处理和动画显示等功能。应用程序接口完成与 C、Fortran、Java 等其他高级编程语言的交互, 调用这些语言编写的程序。

MATLAB 包括拥有数百个内部函数的主工具箱和数十种专业工具箱。通信工具箱是其专业工具箱之一, 包括信号源、信号分析函数、信源编码、差错控制编码、交错与解交错、调制与解调、脉冲成型、滤波器、信道函数、均衡器、有限域计算等, 可方便地用于通信系统的计算与仿真。

1.5 OPNET

OPNET 公司出品的网络仿真软件。OPNET 为通信网络和分布式系统的建模和性能评估提供了综合的开发环境和分析平台。OPNET 由许多具有图形化界面的软件工具组成, 每个工具关注仿真任务的一个具体方面, 分为建模工具、数据收集工具和仿真结果分析工具。

1) 建模工具

建模工具用于建立网络模型, 与实际的网络构成一一对应关系, 主要由下列编辑器组成。

(1) 项目编辑器: 用于定义网络的拓扑模型, 用于网、节点、链路和地理背景描述网络拓扑。

(2) 节点编辑器: 用于定义网络拓扑中的节点模型, 用功能实体和它们之间的数据流描述节点内部结构。

(3) 进程编辑器: 用于定义节点中各个进程的模型, 协议、算法、应用等进程行为用有限状态机和可扩展高级语言进行定义。

(4) 链路模型编辑器: 用于定义连接节点之间的链路模型。

(5) 包格式编辑器: 用于定义网络模型中传输

的数据包的格式。

(6) 接口控制信息编辑器: 用于创建、编辑和查看接口控制信息的格式。接口控制信息用于各种网络体系结构中进程间的相互控制和进程间的通信。

(7) 概率密度函数编辑器: 用于创建、编辑和查看各种仿真随机事件的概率密度函数, 如链路的误码、数据包的丢包等。

(8) 外部系统编辑器: 用来定义和开发外部系统, 与 OPNET 进行协同仿真。

(9) 需求编辑器: 用于定义需求模型。每个需求对象的底层模型决定了需求对象的属性接口、表示和行为。

OPNET 为用户提供了众多的节点、链路、进程和外部系统的模型, 用户可选用或在原模型的基础上进行修改而生成新的模型。

2) 数据收集工具

数据收集工具主要是探针编辑器, 用于指定仿真过程中需要采集的统计量。探针可放置在网络模型中的任意位置。在仿真运行时指定探针列表, 激活相应统计量或动画的收集进程, 这样仿真输出的数据就会以文件的形式被保存起来。输出的数据类型包括矢量、标量、基于特定应用的统计量、动画等。

3) 仿真结果分析工具

仿真结果的基本分析由项目编辑器提供, 详细的分析可通过专门的仿真结果分析工具完成。

OPNET 仿真一般分为以下 6 个步骤: 配置网络拓扑、配置业务、设置统计量、运行仿真、查看并分析结果、调试模型再次仿真直至得到最终的结果。在试验通信中, 常用 OPNET 进行网络仿真, 分析网络性能, 查找网络存在的问题, 优化网络设计。

1.6 TestCenter

思博伦公司出品的超高端口密度数据测试平台。TestCenter 是思博伦公司 SmartBits 测试设备的升级版, 可以对网络设备和终端设备进行性能测试和服务质量 (QoS) 测试、接入测试、交换测试、路由测试、多协议标记交换 (MPLS) 及虚拟专用网测试、城域以太网测试、网络电视测试、协议一致性测试、高层性能测试等。

TestCenter 机箱可插多种、多个功能模块, 每个功能模块上有多个端口, 每个端口在测试中可作为一台终端或子网对外的接口。端口类型有百兆以太网口、千兆以太网口、万兆以太网口、ATM 端口、POS 端口等。在试验通信中, TestCenter 常被用来在大流

量下测试网络的性能。单个 TestCenter 测试的基本原理是: 向被测网络发送以太网帧 (承载 IP 包)、ATM 信元、POS 帧等形式的数据流, 每个数据流的源和目的地址、流量大小、流量模型 (均匀或突发)、数据包长均可设置, 这些数据流经被测网络传输后, 又送至 TestCenter, 从而测量出吞吐量、延迟、延迟抖动、丢失率以及缓冲器容量等性能指标。多个 TestCenter 外接 GPS 进行时间同步后, 可进行异地对测。

1.7 白噪声 (white noise)

功率谱密度在整个频域内均匀分布的噪声。一般认为通信系统中的起伏噪声是一种白噪声。噪声信号产生器产生的白噪声为限带白噪声。

1.8 备份 (back-up)

配置备用资源, 以便主用发生故障能及时代替主用工作的方法和手段。备份方式主要有热备份、冷备份、互相备份等。主用和备用一同加电, 但只有主用在工作, 当主用发生故障时, 工作立即被自动切换到备用上, 这种备份方式称为热备份。备用不加电工作, 当主用发生故障时, 用人工的方式将工作更换到备用上, 这种备份方式称为冷备份。不分主用和备用, 一同加电工作, 只要有一个不发生故障, 就能保证正常工作, 这种备份方式称为互相备份。在互相备份方式中, 如果各自均承担部分工作, 当其中一个或数个发生故障时, 其余正常工作的自动接管故障方的工作, 这种备份方式称为负载分担式备份。根据备份的对象不同, 备份又可分为系统备份、手段备份、链路备份、设备备份、板卡备份、部件备份、数据备份等。

在试验通信中, 备份作为提高系统可靠性的方法得到了广泛应用。手段备份、链路备份、设备备份、板卡备份是最为常用的备份方法。

1.9 编码 (coding)

按照预先明确的规则, 将信息转换成数字码流的过程。编码所使用的规则称为编码算法, 编码的优劣主要体现在编码算法上。完成编码的设备称为编码器。编码的逆过程称为解码或译码。在双向通信环境中, 编码和解码通常由同一个设备来完成, 这个设备称为编解码器。

对原始信息的编码称为信源编码, 如语音编码、图像编码等。为发现和纠正信道传输过程中造成的码元错误, 对信源编码后的数字码流再次进行的编

码称为信道编码,如卷积编码,循环编码等。

一般对原始模拟信息进行采样、量化后的比特数量很大,为了节省传输资源和存储资源,需要对比特数量进行压缩处理。这种以压缩比特数量为目的的编码称为压缩编码,压缩编码分为有损压缩和无损压缩两种。无损压缩能原样恢复出压缩前的信息,否则为有损压缩。无损压缩压缩的是信息中的冗余信息。有损压缩在适当降低信息质量的前提下,能大幅减少信息的比特数量。目前图像编码和音频编码大多为压缩编码。

1.10 并行传输(parallel transmission)

将数据单元分成 N 份,采用 N 条线路同时进行的传输。通信中常用的并行传输以字节为数据单元,字节中的每一比特单独占用一条线路。并行传输的优点是传输速率高,缺点是所需线路多。并行传输常在设备内部使用。

1.11 补充业务(supplementary service)

在基本业务的基础上附加的业务。补充业务是网络运营部门为了使用户对基本业务有更好的使用体验而提供的,故无法单独提供,须与对应的基本业务一起提供,用户可有选择地使用,例如,对于电话网来说,拨打和接听电话是基本业务,来电显示、呼叫转移则是补充业务。

1.12 层(layer)

通信系统的一种逻辑划分单位。通信系统按功能划分成若干层,每一层实现不同的通信功能。在同一实体内,下层依次向相邻上层提供服务。不同实体间,对等层按照层协议互相通信。

1.13 产品型谱(product spectrum)

同一类不同规格产品构成的产品系列,简称型谱。就一个产品而言,其适用范围是有限的。为了扩大产品的适用范围,须增加该类产品的规格品种构成产品型谱。产品型谱一般按照产品的适用环境、容量、技术性能等类别进行选择 and 确定。

1.14 场区通信(site area communication)

根据科研试验任务的要求和日常需求,在场区内部建立的通信。主要任务是在场区范围内,为科研试验任务以及日常工作和生活提供指挥调度、数据传输、时间统一、电视、电话等通信保障。场区通

信组织实施的基本原则是充分利用既有通信设施满足试验任务要求。既有通信设施不能满足试验任务要求时,须对其进行改造或建设新的通信设施。不同的试验任务对场区通信的要求不同,场区通信的组织实施也有所区别。固定台站间的通信手段一般以光纤和电缆通信为主,机动台站之间及机动台站与固定台站间的通信手段一般以无线通信为主。

1.15 承载(bear)

对用户提交的用户信息不做任何改变的传输。在开放系统互连参考模型中,承载由网络层及其以下各层共同承担。用户向网络提供的网络层协议数据单元中,网络可改变协议数据单元的头部,但不能改变用户数据部分,对于因加密等原因不得不改变时,须在提交给用户前将被改变数据予以恢复。

1.16 承载业务(bearer service)

在用户—网络接口之间提供传输能力的一种通信业务。承载业务由 OSI 模型的低三层完成,主要承担用户信息透明传递的功能。用户信息数字化后,承载业务只提供用户之间的数字信息传送功能而不改变数字信息的内容。原始信息如语音和图像等的数字化编码和解码不属于承载业务的功能。

承载业务的特征用来规范化承载业务,向用户提供无歧义的承载业务。这些特征包括信息传送方式、信息传送速率、信息传送能力、信息结构、通信的建立、对称性、通信配置、接口及速率、接入规程、附加业务、业务质量、互通可能性、运营与商用等。对于一个具体的承载业务,其特征可以是上述特征的部分组合。

1.17 抽样(sampling)

提取信号某一时刻的值,又称采样。抽样是模拟信息数字化的一个必然过程,通过抽样,将时间上连续的信号变成时间上离散的信号,但信号的取值仍是连续的。通常用抽样时间间隔或抽样频率来表示抽样的快慢。抽样频率越高,最终形成的数字信号的比特率就越高,数字化损失就越小。

1.18 抽样定理(sampling theorem)

模拟信号数字化的重要理论之一,又称采样定理。抽样定理从理论上证明了任何模拟信号都可以转换为数字信号进行传输,其表述如下。

(1) 对于频率范围为 $0 \sim f_h$ 的低通连续信号

$x(t)$, 如果以不小于 $2f_h$ 的抽样频率对其抽样, 则能从抽样后得到的离散信号中完全恢复出 $x(t)$ 。

(2) 对于频率范围为 $f_l \sim f_h$ 的带通连续信号 $x(t)$, 如果以不小于 $2f_h/n$ 的抽样频率对其抽样, 则能从抽样后得到的离散信号中完全恢复出 $x(t)$ 。 n 取不大于 $f_h/(f_h - f_l)$ 的最大整数。

1.19 传递 (transfer)

通信信号通过通信网全程的过程。一般来讲, 传递指信号通过传输系统、复用设备和交换设备的全过程, 而传输指信号通过传输系统的过程。

1.20 传输 (transmission)

通信信号通过传输媒质的过程, 一般包括信道编码、信号的调制、放大、发送、再生中继、接收、解调、信道解码等环节。

1.21 传输线路 (transmission line)

两点间经加工制成的并以最小辐射量传送电磁能量的传输媒质, 简称线路。常用的传输线路有电缆、光缆、波导。

1.22 传送 (transport)

将以记号、符号、文件、图像或声音所表示的信息, 用信号从一点传递到另一点或多点的过程。传输和传送多数情况下可以混用, 其主要区别是, 传输侧重于物理和实体, 而传送侧重于功能和逻辑。

1.23 串行传输 (serial transmission)

将数据单元按顺序在一条线路中进行的逐比特传输。为节省线路, 简化接口, 通信设备之间通常采用串行传输方式。为提高速率和吞吐量, 通信设备内部通常采用并行传输。外部串行传输、内部并行传输的通信设备均具有串并转换和并串转换模块。

1.24 带宽 (bandwidth)

频带的最高频率与最低频率的差值。信号的带宽指其包含的最高频率与最低频率之差。模拟电路的带宽指允许通过的信号频率范围的宽度。数字电路的带宽指其传输速率。设备的带宽指设备的吞吐量或设备总线的传输速率。

1.25 单点故障 (single point of failure)

故障发生后, 其功能无法被其他功能点替代的功能点。单点故障是点而不是故障, 是系统的薄弱

环节。在高可靠性的系统中, 应尽可能消除单点故障, 常用的消除方法是备份和负载分担。试验通信中, 把消除单点故障作为系统设计的重要原则之一。

1.26 单方 (one-way)

通信工作方式的属性之一。通信双方始终只能由其中一方发起呼叫。

1.27 单工 (simplex)

通信工作方式的属性之一。通信的一方固定为发送方, 另一方则固定为接收方, 信息只能沿一个方向传输。

1.28 单向 (unidirectional)

链路或电路的属性之一。两点之间的信息只能沿既定的单方向传递。

1.29 宕机 (down)

系统无法从一个系统错误中恢复出来, 以致长时间无响应的现象, 又称死机。宕机后, 一般需要重新启动系统。

1.30 电磁干扰 (electromagnetic interference)

引起设备、传输通道或系统性能下降的电磁骚扰, 简称 EMI。电磁干扰分为传导干扰和辐射干扰两种。传导干扰是指通过导电介质把一个电网络上的信号耦合到另一个电网络上。辐射干扰是指干扰源通过空间把其信号耦合到另一个电网络上。

1.31 电磁兼容 (electromagnetic compatibility)

设备或系统在电磁环境中能正常工作且不对该环境中其他设备或系统构成不能承受的电磁干扰的能力。电磁兼容性要求包括两个方面: 一方面, 设备或系统在正常运行过程中对其所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值; 另一方面, 所在环境中的电磁干扰在规定范围内时, 设备或系统应能正常工作。

1.32 电磁敏感度 (electromagnetic susceptibility)

设备或系统对电磁骚扰的敏感程度, 简称 EMS。电磁敏感度常用敏感度电平来衡量。敏感度电平指设备或系统刚开始出现性能降低时的骚扰电平。敏感度电平越低, 电磁敏感度越高。

1.33 电磁频谱 (electromagnetic spectrum)

按频率或波长排列的电磁波簇。如图 1.1 所示,电磁波按频率从低到高排列,依次为无线电波、红外线、可见光、紫外线、放射性射线。电磁频谱是一种不可再生的资源。由于在同一时空下,使用同频电磁波会产生相互干扰,因此须对电磁频谱的使用进行管理。

1.34 电磁骚扰 (electromagnetic disturbance)

任何可能引起设备或系统性能降低或对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象,简称 EMD。电磁骚扰可能是电磁噪声、无用信号或传输媒介自身的变化。根据传递的途径,电磁骚扰分为传导骚扰和辐射骚扰。通过一个或多个导体传递能量的电磁骚扰,称为传导骚扰。以电磁波的形式通过空间传播能量的电磁骚扰,称为辐射骚扰。

1.35 电路 (circuit)

在两点之间进行双向传输的两个信道的组合。电路的两端通常以标准化的电路接口终结。电路种类繁多,有多种分类方法:按传输的信号是模拟还是数字,分为模拟电路和数字电路;按照业务类型,分为话音电路、图像电路、数据电路等;按照传输媒介,分为有线电路、无线电路。有线电路又分为光纤电路、电缆电路、明线电路等。无线电路又分为长波电路、短波电路、超短波电路、微波电路、卫通电路、无线激光电路等;按照占用的方式,分为交换电路、半永久电路和永久电路(专用电路或专线电路);按照电路实现的方式,分为实电路和虚电路;按照两个方向的带宽或速率是否一致,分为对称电路和不对称电路。在实际应用中,上述类型之间互相交叉,派生出多种电路的名称,如永久虚电路,交换虚电路、微波数字电路等。

1.36 电平 (level)

通信系统中,电平在不同的应用场合具有不同的含义,常见的有以下 3 种。

(1) 信号代表的值在有效期内所保持的电压。因该电压不变,故称电平。在数字通信设备内部,用两个不同的电平分别代表数字“0”和数字“1”,其中低电平代表“0”,高电平代表“1”。

(2) 以分贝表示的信号功率或电压。

(3) 以分贝表示的两个信号的功率或电压之比。

1.37 电气和电子工程师学会 (The Institute of Electrical and Electronics Engineers)

电子技术与信息科学与工程方面的国际性专业学会,简称 IEEE。该学会成立于 1963 年,总部设在美国纽约。IEEE 制定的局域网等标准在信息技术领域有着广泛的应用。

1.38 电信工业协会 (Telecommunication Industries Association)

美国的行业协会之一,简称 TIA。该协会是由美国国家标准局认可的电信行业标准制定者。TIA 制定的 TIA 568 商用建筑通信布线系列标准得到了广泛的应用。

1.39 电子工业协会 (Electronical Industries Association)

美国的行业协会之一,简称 EIA。总部设在弗吉尼亚州的阿灵顿。EIA 制定的 RS-232、RS-422、RS-449、RS-530 等通信接口标准得到了广泛的应用。

1.40 电子示波器 (electronic oscilloscope)

显示信号时域波形的仪器,简称示波器。示波

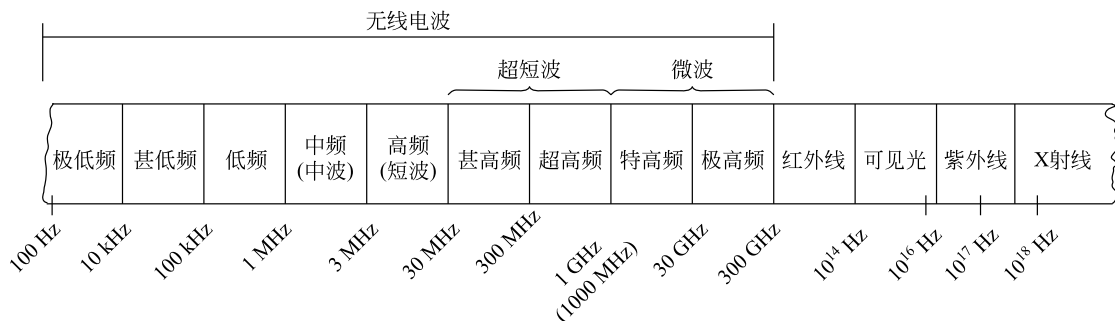


图 1.1 电磁频谱图

器除显示信号的波形外,还能测量信号的幅度、频率、周期等参数。依据输入的信号通道数,示波器可以分为单踪示波器、双踪示波器和多踪示波器三大类。示波器一般由模拟通道、采集与存储、时钟与触发、接口与控制、微处理等部分组成。示波器的主要指标有带宽、上升时间、扫描速度等。

1.41 端到端(end-to-end)

源端与目的端之间的连接。对于一个网络来说,端到端指发送用户的用户/网络接口到接收用户的用户/网络接口之间的连接,包括网络中相应的节点和链路。在网络中,每一个节点都是信息的转发点,而不是信息的最终目的地,所以网络内的任何一段都不是端到端的。在开放系统互联参考模型中,传输层在网络层之上,只存在于用户终端之内,所以传输层的连接是端到端的。

1.42 对等体(peer entity)

地位对等,并交互协议报文的协议实体。一般来讲,两个或多个协议实体互相配合,交互协议报文,才能实现协议的功能。在同一个协议内,如果两个交互的协议实体地位相等,则互称对方为对等体。

1.43 对等网络模式(peer-to-peer mode)

一种应用软件的体系结构,又称工作组模式,简称P2P模式。网上计算机的身份地位相等,无客户机和服务器之分。任意一台计算机既可作为服务器,设定共享资源供网络中其他计算机使用,又可作为客户机,访问其他计算机的资源。

1.44 发射(transmitting,emitting)

将射频信号发送到空间的过程。射频信号经功率放大到一定强度后,输入到天线系统,由天线系统辐射到空间中。

1.45 防爆等级(explosion-proof grade)

依据防爆能力、防爆型式、应用场合等的不同对防爆电气设备进行的分级。防爆等级由防爆标识符、防爆型式、设备类型、设备分级和最高表面温度分组这5部分组成。

(1) 防爆标识符: Ex。

(2) 防爆型式: 见表1.1。同一设备,可采用多种防爆型式。

(3) 设备类型: 根据使用场合,分为Ⅰ类、Ⅱ类

表 1.1 防爆型式

序号	防爆型式	代号	主要技术措施	说明
1	隔爆型	d	隔离存在的点火源	
2	增安型	e	设法防止产生点火源	
3	本安型	ia、ib	限制点火源的能量	ia 要求高于 ib
4	正压型	p	危险物质与点火源隔离	
5	充油型	o	危险物质与点火源隔离	
6	充砂型	q	危险物质与点火源隔离	
7	无火花型	n	设法防止产生点火源	
8	浇封型	m	设法防止产生点火源	
9	气密型	h	设法防止产生点火源	

和Ⅲ类。其中,Ⅰ类用于煤矿,Ⅱ类用于非煤矿、爆炸性气体环境,Ⅲ类用于非煤矿、爆炸性粉尘环境。

(4) 设备分级: 对于采用隔爆型和本安型的Ⅱ类和Ⅲ类设备,再细分为A、B、C三级。C级的要求高于B级,B级的要求高于A级。

(5) 最高表面温度分组: 根据设备表面所允许的最高温度,分为T1~T6共6组,所对应的最高表面温度分别为450℃、300℃、200℃、135℃、100℃、85℃。最高表面温度越低,防爆要求越高。

国防科研试验中,在燃料加注间、发射塔架等地方使用的调度设备和电视监视设备需进行防爆加固,防爆等级一般为Exd[ib]ⅡCT4,即防爆型式为隔爆型兼本安型(ib),设备类型为Ⅱ类,设备分级为C,最高表面温度分组为T4。

1.46 分贝(decibel)

代号为分贝的电信传输单位。假如传输电路上某一点的功率为 P_1 ,基准值为 P_0 ,则该点以分贝表示的以 P_0 为基准的功率电平为 $10\lg(P_1/P_0)$ 。国际上为纪念美国电话发明家贝尔,将 $\lg(P_1/P_0)$ 的单位取为贝尔,故称贝尔的十分之一为分贝尔,简称分贝。

采用分贝,能够将电路放大或衰减倍数的计算

由乘除转换为加减,带来计算上的方便。人耳对声音信号大小的感觉与信号功率的对数成正比,因此,以分贝表示的信号功率电平能够与人耳对声音信号大小的感觉相吻合。

由于基准值的单位和基准点的选取不同,分贝所代表的电平意义也不同。为表示这些不同,在 dB 后加若干字母数字来加以区分。常用的电信传输单位代号及其含义如下。

(1) dBm: 取 1 mW 作基准值,以分贝表示的绝对功率电平。

(2) dB_r: 相对于所选定的传输参考点,以分贝表示的相对电平。

(3) dBm₀: 取 1 mW 作基准值,相对于零相对电平点,以分贝表示的信号绝对功率电平。

(4) dBmp: 取 1 mW 作基准值,以分贝表示的绝对噪声功率电平。

(5) dBm_{0p}: 取 1 mW 作基准值,相对于零相对电平点,以分贝表示的绝对噪声功率电平。

(6) dBW: 取 1 W 作基准值,以分贝表示的绝对功率电平。

(7) dBu: 取有效值 0.777 V 作基准值,以分贝表示的绝对电压电平。

(8) dBV: 取 1 V 作基准值,以分贝表示的信号绝对电压电平。

(9) dBμV: 取 1 μV 作基准值,以分贝表示的绝对电压电平。

1.47 分片 (fragment)

将上层交付的用户数据单元分成若干段分别进行传输的技术,又称分段。在分层结构的通信网络中,由于受第 $N-1$ 层最大传输单元的限制,当第 N 层无法一次将第 $N+1$ 层交付的用户数据单元交付给第 $N-1$ 层时,则将其分成若干段交付给第 $N-1$ 层。传送到对端第 N 层后,再将各段合并成完整的用户数据单元交付给第 $N+1$ 层。

1.48 覆盖网 (overlay network)

建立在其他网络之上的网络。被覆盖网络只向覆盖网络提供节点间的逻辑连接,覆盖网络不必关心被覆盖网络的内部细节。覆盖网络的实质是屏蔽异构的底层网络,实现异构网络的融合。

1.49 服务原语 (service primitive)

开放系统互连 (OSI) 参考模型中,同一实体内

相邻层间一次单向交互的信息,简称原语。原语是本地事件,无须在协议中具体规定其实现方法和信息交互格式。原语分为以下 4 种。

(1) 请求: 上层向下层发出,用于向下层或对等层请求服务。

(2) 指示: 下层向上层发出,用于通知上层有服务请求。

(3) 响应: 上层向下层发出,用于通知下层或对等层服务的完成情况。

(4) 证实: 下层向上层发出,用于通知上层服务的完成情况。

假如实体 A 的 $N+1$ 层向实体 B 的 $N+1$ 层提出服务请求,则完成服务所需要的原语交互如图 1.2 所示,分为以下 4 个过程。

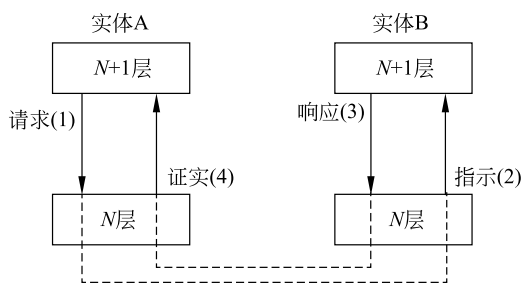


图 1.2 服务原语交互示意图

(1) 实体 A 的 $N+1$ 层向 N 层发送请求原语。

(2) 实体 A 的 N 层收到请求原语后,将其内容封装在 N 层协议数据单元内,然后传送到实体 B 的 N 层。实体 B 的 N 层转化为指示原语,发送到实体 B 的 $N+1$ 层。

(3) 实体 B 的 $N+1$ 层收到指示原语后,完成或者拒绝所请求的服务后,向实体 B 的 N 层发送响应原语。

(4) 实体 B 的 N 层收到响应原语后,将响应内容封装在 N 层协议数据单元内然后返回到实体 A 的 N 层。实体 A 的 N 层转化为证实原语,发送到实体 A 的 $N+1$ 层。

1.50 服务质量 (quality of service)

向用户提供的业务的质量,也叫业务质量,简称 QoS。通常用一组直接反映用户业务感受的指标来衡量。

1.51 复用 (multiplexing)

多路信号共用一个传输信道进行传输的方式。

多路信号在发送端变换成一个适合在信道中传输的混合信号,在接收端从该混合信号中恢复出多路信号。多路信号中的任何一路信号称为支路信号或用户信号,复用后的信号称为合路信号或群路信号。将群路信号变换为各个支路信号称为解复用或分用。在双向通信环境中,复用和解复用通常由同一个设备来完成,称为复用解复用器,简称复用器。

从资源分配的角度,复用就是分割共用信道资源供支路信号使用的方式。根据信道资源的不同,复用分为频分复用、时分复用、码分复用、波分复用等。频分复用指把信道的频带分为多个不交叉的频率段,并为每一个支路信号分配不同的频率段。时分复用指把信道发送的时间分为多个不交叉的时间段(时隙),并为每一个支路信号分配不同的时隙。时分复用又分为固定时分复用和随机(统计)时分复用两种。固定时分复用指时隙固定分配给支路信号的时分复用,又称数字复接。随机(统计)时分复用指时隙按需分配给支路信号的时分复用。实质上,随机(统计)时分复用就是多路信号以数据包的形式在发送端以排队方式发往同一信道上的方式。码分复用指在发送端把支路信号分别调制到不同的正交码上,然后混合在一起,在接收端利用码的正交性区分出各个支路信号。波分复用指把信道的波长范围分为多个不交叉的波段,并为每一个支路信号分配不同的波段。波分复用一般指光信号的复用,又分为粗波分复用和密集波分复用两种。粗波分复用的波长间隔比较大,同一个光纤传输的波数较少;密集波分复用的波长间隔比较小,同一个光纤传输的波数较多。

在频分复用和固定时分复用中,为提高复用的支路数,常采用等级复用体制,即将群路信号作为支路信号再次进行复用。模拟传输话路等级复用体制划分为前群(复用3路话音)、基群(复用4路前群)、超群(复用5个基群)、主群(复用5个超群)、超主群(复用3个主群)、巨群(复用4个超主群)。数字传输等级复用体制分为准同步复用体制和同步复用体制。准同步复用体制划分为基群(群路速率为2 M,复用30路数字话音),二次群(群路速率为8 M,复用4个基群),三次群(群路速率为34 M,复用4个二次群),四次群(群路速率为140 M,复用4个三次群)。同步复用体制划分为STM-1(速率为155 M),STM-4(速率为622 M),STM-16(速率为10 G),STM-64(速率为40 G)。

1.52 高斯噪声(Gaussian noise)

瞬时值服从高斯(正态)分布的噪声。通信系统中起伏噪声等一大类噪声可认为是高斯噪声。功率谱密度均匀分布的高斯噪声称为高斯白噪声。

1.53 功率计(power meter)

用于精确测量信号功率电平仪器。功率计由功率探头和主机组成。功率探头将输入的射频信号转化为直流信号,并把直流信号进行斩波变为交流信号,然后将交流信号送入主机进行处理。主机将来自功率探头的交流信号进行放大,然后将其转换为数字信号,转换后的数字信号与输入到功率探头中的功率电平相对应,将二者按一定的算法和补偿进行处理,并最终在主机上将功率显示出来。功率计的技术指标主要有频率范围、功率范围、通道数、功率分辨率、测量误差等。功率计的测量精度比频谱仪高,可达到0.01 dB。

1.54 功率谱密度(power spectral density)

功率信号在频率域上的功率分布。功率谱密度是信号的主要特征之一,在信号分析、处理和监测中得到广泛应用。在横坐标为频率,纵坐标为功率密度的直角坐标系下,功率谱密度曲线直观地反映了信号的功率分布情况,是频谱仪显示的主要图形之一。

1.55 沟通(linking up)

建立通信业务层面上的联络并验证其畅通的过程。

1.56 孤岛(isolated island,silo)

在通信系统中,孤岛有以下两个方面的含义。

(1) 与其他系统有互连互通、共享信息需求,而又不能与之互连互通、共享信息的系统,又称烟囱。系统缺乏顶层设计,各自独立开发和建设,封闭运行。当这些系统需要互连互通、共享信息时,由于接口、协议、数据格式不统一,彼此无法互连互通、共享信息,从而形成一个个孤岛或烟囱。

(2) 一种通信网向新一代网过渡的方法。在新建和有条件改造的地方,按新一代网建设,形成一个新一代网“岛”,并通过网关与老一代网互通。如此,新一代网不断增加,旧一代网不断减少,直到旧一代网被新一代网完全取代为止。

1.57 故障 (failure)

产品或产品的一部分不能或将不能完成预定功能的事件或状态。故障一般分为3种情况：一是产品不能完成预定功能；二是产品的一部分不能完成预定功能；三是产品能完成预定功能，但可以从现在的状态预见该产品发展下去将不能完成预定功能。

1.58 故障树 (fault tree)

用于故障分析的倒立树状逻辑因果关系图。它用事件符号、逻辑门符号和转移符号描述系统中各种事件之间的因果关系。逻辑门的输入事件是输出事件的“因”，逻辑门的输出事件是输入事件的“果”。利用故障树不仅可以对系统故障进行定性分析，而且也可以进行定量分析。图1.3为分析某话音通信设备噪声干扰情况所用的故障树。采用故障树对通信故障进行分析的一般过程是：选择顶事件、构造故障树、定量分析和定性分析。

1.59 归零 (closing of all action items)

对在设计、生产、试验、服务中出现的质量问题，从技术上、管理上分析问题产生的原因、机理，并采

取纠正措施、预防措施，以避免问题重复发生的活动。归零分为技术归零和管理归零两类。

1.60 国际标准化组织 (International Organization for Standardization)

从事标准化工作的非政府国际组织，简称 ISO。ISO 并不是英文全称的首字母缩写，而是源于希腊语，意为相等、一致。ISO 成立于 1947 年，总部设在日内瓦，其任务是促进全球范围内的标准化工作及其有关活动。ISO 有关信息技术方面的标准被通信领域广泛采用。

1.61 国际电工委员会 (International Electrical Commission)

国际性电工标准化机构，简称 IEC。IEC 成立于 1906 年，总部设在日内瓦。1947 年，国际标准化组织 (ISO) 成立后，IEC 曾作为电工部门并入 ISO，但在技术、财务上仍保持其独立性。根据 1976 年 ISO 与 IEC 的新协议，两组织都是法律上独立的组织，IEC 负责有关电工、电子领域的国际标准化工作，其他领域的国际标准化工作则由 ISO 负责。

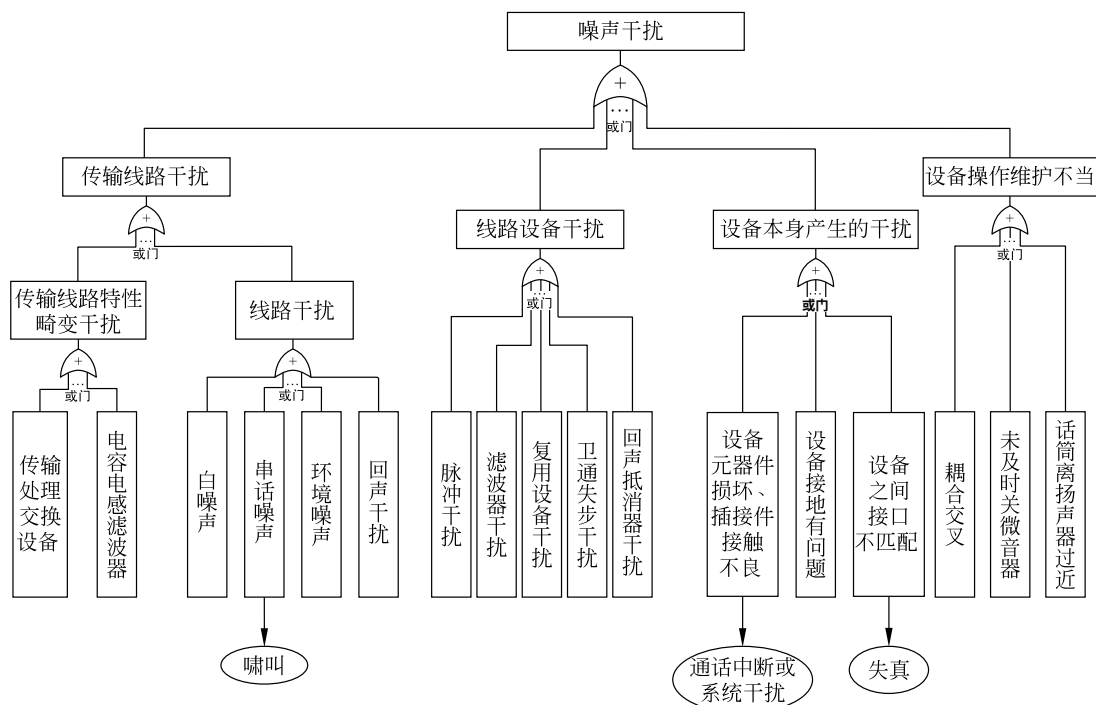


图 1.3 某话音通信设备噪声干扰故障树

1.62 国际电信联盟 (International Telecommunication Union)

联合国下属的专门机构,简称国际电联、电联或ITU。总部设在瑞士日内瓦。ITU的组织结构如图1.4所示,最高机构为全权代表大会,常设职能部门有电信标准化部门、无线电通信部门、电信发展部门和国际电信世界大会,分别负责电信标准化、无线电通信规范和电信发展等工作。ITU制定的标准在世界范围内得到了广泛的应用。

1.63 互操作(interoperability)

不同系统之间共享信息并依据共享信息而执行相应操作的能力。互操作体现在不同系统之间能够透明地访问对方资源。互操作是在互连、互通基础上实现的。

1.64 互连(interconnection)

不同系统之间能够互相接收对方信号的能力。互连在物理层打通了信息传输的通道,为不同的系统间进行信息交换提供了物质基础和可能性,但不能保证系统间一定能够进行信息交换。

1.65 互通(interworking)

不同系统之间能够进行信息交换的能力。在互连基础上,系统之间采用相同或互相匹配的通信协议,即可实现互通。

1.66 基本业务(basic service)

网络向用户提供的基础业务。网络向用户提供的业务分为基本业务和补充业务。基本业务是网络必须提供的业务,是补充业务赖以存在的业务,如固定电话网的固定电话业务、移动电话网的移动电话业务、数据通信网的数据通信业务等均为基本业务。

1.67 基带传输(baseband transmission)

对基带信号进行波形成形后,不经调制直接进行的传输。基带传输的关键技术问题是:一要做好基带信号的码型和波形;二是在基带传输终端或信道中插入滤波器进行均衡,减少甚至消除接收端的码间串扰。

1.68 基带信号(baseband signal)

没有经过频谱搬移或扩展的电信号。基带信号一般为由图像、声音等原始信息经过光电转换、声电转换等直接得到的电信号,频带从0 Hz开始,其最高频率即为基带信号的带宽。在一个具有调制解调的通信系统中,调制前或解调后的信号习惯上称为基带信号,调制后或解调前的信号称为频带信号。

1.69 技术规范书(technical specification)

买方向卖方提交的技术文件之一,简称规范书,又称研制任务书或任务书。买方一般将技术规范书作为询价书的附件提交给卖方,以此作为卖方制定技术建议书的依据。内容包括项目背景、主要技术要求、设备技术文件、检验和验收、设备运输安装调试和开通、技术服务、对技术建议书的要求等。

1.70 技术建议书(technical recommendation)

卖方向买方提交的技术文件之一,简称建议书。技术建议书是卖方对买方技术规范书的回应。在技术建议书中,卖方根据买方技术规范书的要求,使用自己的产品和技术提出项目的完整解决方案,对是否满足技术规范书要求逐条做出满足、部分满足、不满足等回应,必要时,还需说明原因和情况。

1.71 技术协议书(technical agreement)

合同双方就项目的技术条款达成的书面协议。一般作为合同的附件,具有与合同同等的法律效力。内容包括项目背景、工作范围、技术要求、设备配置、

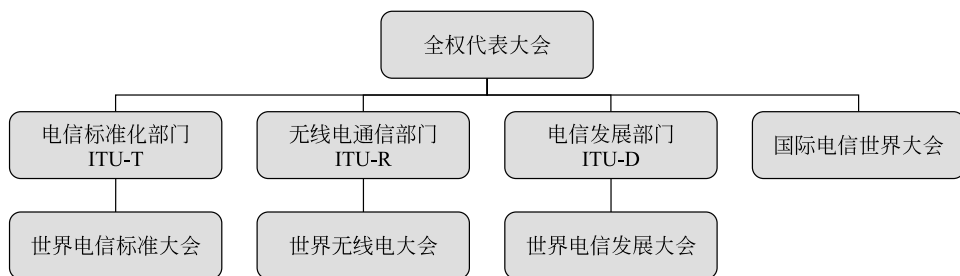


图 1.4 国际电信联盟组织结构

技术文件、设计评审、验收测试与移交、技术服务等。

1.72 技术状态冻结 (freezing of technical status)

禁止改变试验任务通信系统技术状态的行为。经过近似实战的全区合练,验证通信系统技术状态正确无误后,须冻结其技术状态。其目的是保证所有参试设备以经过验证无误的技术状态参加任务,最大限度地避免任务中出现差错。

1.73 假设参考通道 (hypothetical reference path)

为便于分配和规定通信系统的传输质量指标而假想出的一条具有确定环节和长度的传输路径,简称 HRP。实际通信系统传输路径经过的环节,环节间距离差别很大,适合某个实际传输路径的质量指标,很难适合其他传输路径。于是,抽象出一条具有代表性的传输路径即假设参考通道,并以此为参考,制定通信系统传输质量指标及其分配方式,作为系统规划、设计和设备研制的依据。

1.74 交换 (exchange, switch)

网络节点将一条电路来的信息转发到另外一条电路上的方法和过程。

根据占用电路的方式分类,交换分为电路交换和报文交换两大类。电路交换基于物理电路的连接,通信之前要在通信双方之间建立一条被双方独占的物理电路(由通信双方之间的交换设备和链路逐段连接而成)。报文交换基于存储—转发机制,通信前并不建立物理电路的连接,节点收到一个报文后,根据报文携带的目的地址将其转发到相应的电路上。电路交换与报文交换最大的区别是:前者独占电路资源,在电路未释放前即使没有信息发送,所占用的电路资源也不能为其他用户所使用;后者以按需的方式占用电路资源,没有信息发送时不占用电路资源,有信息发送时,以排队的方式占用电路资源。分组(包)交换是报文交换的特例,指限制报文最大长度的报文交换。由于报文长度受到了限制,采用分组(包)交换能更好地控制网络时延、增加传输可靠性,便于节点的存储管理。

另外,根据交换所在的层级分类,交换分为二层(数据链路层)交换、三层(网络层)交换、四层(传输层)交换等;根据信号是模拟还是数字分类,交换分为数字交换和模拟交换;根据业务内容分类,交换分为电话交换、电报交换、数据交换等。

1.75 节点 (node)

通信网中传输电路的交叉连接点。节点的主要功能是汇集、交换和路由。在不同的网络中,节点功能的实现形式不一:电话网中的节点功能由电话交换机实现;IP 网中的节点功能由交换机和路由器实现;光传输网中的节点功能由端复用器、分叉复用器和交叉连接设备等实现。

1.76 接口 (interface)

系统(设备)之间或功能单元之间连接的公共界面。接口是系统互连互通互操作的基础,必须标准化或协商一致。最初的接口多指物理接口,涉及连接器结构和尺寸,插针分配以及接口电路的特性阻抗、电平、信号波形、信号带宽等电性能。电话交换和数据通信的进一步发展,需要连接双方进行互动操作,如数据终端向调制器发送的“请求发送”信号,调制器向数据终端发送的“允许发送”或“不允许发送”的信号等,从而使接口中出现了操作和功能的内容。一个接口电路只完成一种功能,若要增加接口的操作和功能,就只能增加接口电路的数量,如此造成了一个接口的连接插针过多的问题,如数据通信 DTE/DCE 接口中出现了 25 插针和 37 插针的连接器。为解决这一问题,可以将设备间互动操作的信息进行编码,或形成数据单元包含在业务信号波形中,同业务信号一起经由一个接口电路传送,这样大大减少了接口电路的数量。国际电联在制定准同步数字体系(PDH)技术标准时,决定接口中不再设专门的控制电路和定时电路,只保留收发各一对线。

物理接口多按接口电路特征分类,根据同一个接口电路的两根导线对地的特性,分为平衡接口和非平衡接口:采用差分输出,两根导线对地一致,则为平衡接口;一根接地的输出,则为非平衡接口。对于非平衡接口,多个电路可以共用地线。一般来讲,平衡输出抗噪声干扰能力强,可提高传输速率,并能降低接口电路电压,但在强电压干扰情况下,由于接口电路不接地,容易损坏接口芯片或设备。数据通信用的接口,根据码元信号在接口中发送的次序,分为串行接口和并行接口:如果只有一个发送电路,码元按顺序发送,则称为串行接口;如果有多个发送电路,码元在多个电路上同时发送,相当于一次发送多个码元,则称为并行接口。设备之间的接口多为串行接口,设备内部多为并行接口(总线)。根据接口电路码元或字符是否等间隔发送,接口分为同步

接口和异步接口。在同步接口中,定时信号或通过专门的定时电路发送给接收者,或将定时信号在传输码型中体现,使接收端能根据接收信号提取出定时。在异步接口中,不发送定时信号,依靠起止位确定字符的边界。在以太网接口中,有类似于异步的“起止位”,同时,定时信号在传输码型中体现,这种接口已无法被认定是同步接口还是异步接口,可认为是同步和异步相结合的接口。

随着通信技术的发展,接口的概念不断宽泛和抽象。网络分层体系结构的出现,接口也呈现出层次化特征,层间出现了“无形”的逻辑接口:两个跨越多个设备和线路的设备(系统),只要在某一层次上有握手,就存在逻辑接口;同一个设备内部,功能模块间也出现了逻辑接口。

接口种类繁多,又无统一的命名规则,呈现出约定俗成的状态。同一接口有多个名字,同一名字有多个接口的现象时常发生。只有根据具体的语言环境和应用领域,才能区别开来。

1.77 接入(access)

在网络的边缘,将用户连接到网络的部分。接入有时属于用户的一部分,有时属于网络的一部分。

1.78 《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求》(Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for Military Equipment and Subsystems)

中华人民共和国军用标准之一,标准代号为 GJB 151A—1997。1997 年 5 月 23 日,国防科学技术工业委员会发布,自 1997 年 12 月 1 日起实施。标准规定了控制军用电子、电气、机电等设备和分系统的电磁发射和敏感度特性的要求,为研制和订购单位提供电磁兼容性设计和验收依据,适用于每个单独的设备和分系统。该标准内容包括范围、引用文件、定义、一般要求和详细要求。在详细要求中,规定了 19 项(见表 1.2)电磁发射和敏感度要求及极限,并给出了适用范围。试验通信中,对设备电磁兼容性要求比较高的场合,参照该标准执行。

表 1.2 电磁发射和敏感度要求项目

项目	名称
CE101	25 Hz~10 kHz 电源线传导发射
CE102	10 kHz~10 MHz 电源线传导发射

续表

项目	名称
CE106	10 kHz~40 GHz 天线端子传导发射
CE107	电源线尖峰信号(时域)传导发射
CS101	25 Hz~50 kHz 电源线传导敏感度
CS103	15 kHz~10 GHz 天线端子互调传导敏感度
CS104	25 Hz~20 GHz 天线端子无用信号抑制传导敏感度
CS105	25 Hz~20 GHz 天线端子交调传导敏感度
CS106	电源线尖峰信号传导敏感度
CS109	50 Hz~100 kHz 壳体电流传导敏感度
CS114	10 kHz~400 MHz 电缆束注入传导敏感度
CS115	电缆束注入脉冲激励传导敏感度
CS116	10 kHz~100 MHz 电缆和电源线阻尼正弦瞬变传导敏感度
RE101	25 Hz~100 kHz 磁场辐射发射
RE102	10 kHz~18 GHz 电场辐射发射
RE103	10 kHz~40 GHz 天线谐波和失真输出辐射发射
RS101	25 Hz~100 kHz 磁场辐射敏感度
RS103	10 kHz~40 GHz 电场辐射敏感度
RS105	瞬变电磁场辐射敏感度

1.79 开放系统互连参考模型(open system interconnection/reference model)

国际标准化组织(ISO)在其 ISO 7498 中提出的信息系统互连体系架构,简称 OSI/RM。如图 1.5 所示,OSI/RM 把具有信息处理和/或信息传送功能的独立实体称为实系统,把能与其他实系统交换信息的实系统称为开放实系统,把开放实系统中与系统互连有关的部分称为开放系统。开放系统分为端开放系统和中继开放系统两种:端开放系统与信息初始源点或最后终点位于同一个实系统;中继开放系统与信息初始源点或最后终点无关,只对信息进行转发。中继开放系统的集合称为通信子网,所有的开放系统的集合称为开放系统互连环境。

OSI/RM 从逻辑上把每个开放系统划分为功能上相对独立的 7 个子系统。所有互连的开放系统中完成同一功能的子系统构成开放系统互连基本参考模型中的一层。这样,就把所有互连的开放系统划分为功能上相对独立的 7 层。这 7 层自下而上分别是:物理层(第 1 层)、数据链路层(第 2 层)、网络层(第 3 层)、传送层(第 4 层)、会话层(第 5 层)、表示

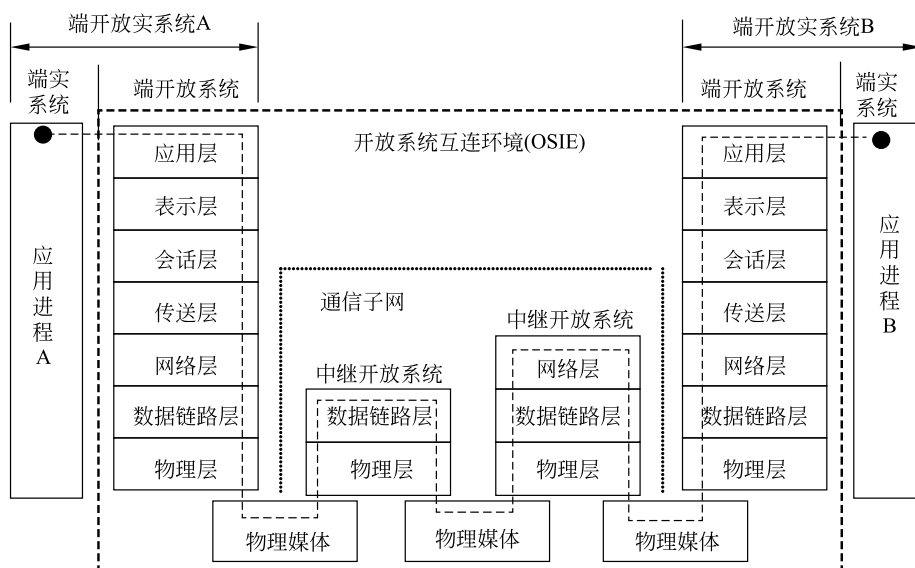


图 1.5 开放系统互连体系结构

层(第6层)和应用层(第7层)。物理层至表示层各层均直接向其相邻的上层提供服务,应用层直接向端开放实系统中的应用进程提供服务。

传送层、网络层、数据链路层和物理层共同组成开放系统低层。其中,网络层、数据链路层和物理层主要完成通信子网的功能。它们通过各种可用的物理媒体和多个中继开放系统,在端开放系统之间实现逐层增强功能的信息传送。传送层面向端开放系统提供端到端的控制和可靠的端到端的数据传送。在中继开放系统中,可以没有传送层和网络层。低层与本地实系统没有接口,因此低层功能的实现可独立于本地实系统。

应用层、表示层和会话层共同组成开放系统高层。开放系统高层面向应用进程,主要完成通信终端的功能,向同处一端的端实系统中的应用进程提供服务。高层的特点是与本地实系统有接口,特别是应用层直接服务于应用进程,所以它与本地实系统有着更为密切的关系。

在 OSI/RM 中,一个端开放实系统的应用进程 A 与另一个端开放实系统的应用进程 B 之间通信的路径为:应用进程 A—端开放系统—通信子网和/或物理媒体—端开放系统—应用进程 B。

OSI/RM 只是规定了一种分层的体系结构,并没有规定具体的实现方法。实际系统多数采用了分层的思想,但简化了层数。

1.80 开通 (establishing circuit)

建立通信电路并使之畅通的过程。一般来讲,开通的对象是电路,沟通的对象是业务。

1.81 勘点 (field survey)

为试验站点选址而进行的实地考察,又称勘察。勘点一般由多个专业系统参加,通信系统作为其中的一个业务系统,重点考察拟选站点的通信保障问题。考察内容包括查看周围的地形地貌是否存在电波遮挡、当地电信网和军网提供的业务能力及入网地点、周围的电磁环境等。根据考察结果,通信系统应提出选址建议或意见。

1.82 抗扰度 (immunity)

系统和设备面临电磁骚扰而不降低运行性能的能力。抗扰度常用抗扰度电平、抗扰度限值、抗扰度裕量、电磁兼容裕量等指标来衡量。抗扰度电平指将电磁骚扰施加于某一系统或设备而其仍能正常工作,并保持所需性能等级时的最大骚扰电平。超过该电平,系统或设备就会出现性能下降。抗扰度限值指规定的最小抗扰度电平。抗扰度裕量指抗扰度限值与电磁兼容电平之间的差值。电磁兼容裕量指抗扰度限值与骚扰源的发射限值之间的差值。此外,抗扰度与电磁敏感度是一对矛盾体,抗扰度高,则电磁敏感度低。

1.83 客户机/服务器模式 (client/server mode)

应用软件的体系结构之一,又称客户机/服务器结构或客户机/服务器架构,简称C/S模式、C/S结构或C/S架构。C/S模式下的应用软件分为客户端软件和服务器端软件两部分,分别安装在称为客户机和服务器的计算机内。客户端软件的任务是将用户的要求提交给服务器,再将服务器返回的结果以特定的形式显示给用户;服务器端软件的任务是接收客户机提出的服务请求,进行相应的处理,再将结果返回给客户机。

从体系结构上看,C/S模式与浏览器/服务器(B/S)模式并无本质的不同,二者的差别主要有以下几点。

(1) B/S模式下,客户机与服务器之间的通信协议采用超文本传输协议(HTTP),而C/S模式无此限制。

(2) C/S模式下,不同的应用需要不同的客户端软件。在B/S模式下,无论何种应用软件,均用浏览器作为客户端软件。

(3) 浏览器是一个通用的客户端软件,故在B/S模式下,不需要开发客户端软件,软件开发工作集中在服务器端。而在C/S模式下,客户端和服务器端软件均需要被开发。

(4) C/S模式中的客户端软件是为某项应用专门开发的,因此C/S模式的实时性和可靠性一般要优于B/S模式。

1.84 可靠度 (reliability)

产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的概率。可靠度是可靠性的概率度量。可靠度与时间的关系用可靠度函数表示,记为 $R(t)$,其中 t 为规定的时间。 t 越大,可靠度越低。

1.85 可靠性 (reliability)

产品在规定条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。可靠性要求包括定性要求和定量要求。定性要求主要有采用成熟技术、模块化、冗余备份、元器件老化筛选等要求。定量要求有可靠度、平均故障前时间(MTTF)、平均故障间隔时间(MTBF)等要求。确定可靠性要求、建立可靠性模型、进行可靠性分析与预计、采取可靠性技术措施、进行可靠性试验与评定等是可靠性工作的主要内容。

1.86 颗粒度 (granularity)

参数设置和调整的步长,简称粒度。传输速率、

电平参数的设置和调整是分档步进的,相邻档之间的间隔有时称为颗粒度。例如,某设备的发送电平分为-20 dBm, -19 dBm, ..., 0 dBm等21档,则其电平调整的颗粒度为1 dBm。

1.87 可用度 (availability)

产品在规定的条件下和规定的考察时间内,处于可执行规定功能状态的概率。可用度是可用性的概率度量,其与平均故障间隔时间、平均故障修复时间的关系如下:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (1-1)$$

式中: A ——可用度;

MTBF——平均故障间隔时间, h ;

MTTR——平均故障修复时间, h 。

对于一个串联系统,其可用度可用式(1-2)

计算:

$$A = \sum_{i=1}^N A_i \quad (1-2)$$

式中: A ——串联系统的可用度;

N ——组成串联系统的串联单元总数;

A_i ——第 i 个串联单元的可用度。

对于一个并联系统,其可用度可用式(1-3)

计算:

$$A = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - A_i) \quad (1-3)$$

式中: A ——并联系统的可用度;

N ——组成并联系统的并联单元总数;

A_i ——第 i 个并联单元的可用度。

对于串联和并联混合的系统,可首先计算出各并联部分的可用度,然后再按串联系统的可用度计算方法,计算出系统的可用度。

1.88 可用性 (availability)

产品在规定条件下和规定的考察时间内,处于可执行规定功能状态的能力。考察时间为指定瞬间,则称瞬时可用性;考察时间为指定时段,则称时段可用性;考察时间为连续使用期间的任一时刻,则称固有可用性。衡量可用性的技术指标有可用度、平均故障间隔时间(MTBF)、平均故障修复时间(MTTR)等。

可用性与可靠性的区别在于:可用性是可靠性、维修性和维修保障性的综合反映,可靠性是产品不发生故障的能力,未能反映产品维修性和维修保障性。

1.89 空间数据系统咨询委员会 (Consultative Committee for Space Data Systems)

世界各国的空间组织为了相互支持而建立的技术协商性机构,简称 CCSDS。该组织成立于 1982 年 1 月,只有各国空间组织才可以成为其成员或观察员。截止到 2012 年,该组织有 11 个成员,28 个观察员和 140 多个非正式成员。该组织的宗旨是通过技术协商方式,建立一整套空间数据系统的标准,以便实现广泛的国际合作和相互支持。该组织根据研究方向设若干研究组,每个研究组下面又设若干小组。其制定的标准涵盖航天器星载接口服务、空间链路服务、交互支持服务、空间网络互联服务、任务操作和信息管理服务、系统工程等领域。

1.90 跨场区通信 (cross-site area communication)

根据科研试验任务的要求,在场区之间建立的通信。主要任务是为试验任务提供各种跨场区传输电路。跨场区通信组织实施的基本原则是充分利用既有通信设施满足试验任务要求,指挥调度电路须采用加密措施。不同的任务对跨场区通信的要求不同,跨场区通信的组织实施也有所不同。同一方向的传输电路采用主用和备用两种不同路由,主用路由一般采用卫星通信、微波通信,备用路由一般采用国防通信网或租用电路。

1.91 立项论证 (feasibility study for project authorization)

项目立项前,对项目建设进行的可行性和必要性论证。立项论证是项目立项阶段的重要工作,其主要任务是形成立项论证报告,报有关部门批准立项。

1.92 链路 (link)

两点之间具有规定性能的电设施。在开放系统互连参考模型中,数据链路层建立的连接称为数据链路,简称链路。一般来讲,电路两端加上数据链路层就构成了链路。在试验通信中,有时将电路称为链路。

1.93 量化 (quantization)

将抽样值近似为有限个离散值的过程。抽样后的信号在时间上是离散的,但在幅值上仍是连续的,无法对其进行编码形成数字信号,因此需要进行幅值的离散化即量化。量化包括对模拟信号的样值的

分段与取整。分段指将信号样值的整个可能取值范围分为若干段,每一段对应一个离散值。如果是等间隔分段,则这种量化称为均匀量化,否则为非线性量化。取整指信号的样值落入哪一段,就用该段对应的离散值来代替信号样值。

离散值与实际样值存在误差,导致恢复出来的信号产生失真。这种失真称为量化失真。为减少量化失真,一般根据信号的特点采用非线性量化。国际电联规定的两种话音信号脉冲编码调制 (PCM) 方案中,采用的都是非线性量化,分别为十三折线 A 律和十五折线 μ 律。中国采用的是十三折线 A 律。

1.94 流 (stream)

具有相同路径、内容相关、先后次序保持不变的数据单元序列。这样的序列在网络中传送,就如同水在管道里流动一样,故称流。流通常前加限定词,用以限定流的特征,如音频流,视频流等;也可用来限定其他词,如流媒体等。

1.95 浏览器/服务器模式 (browser/server mode)

应用软件的体系结构之一,又称浏览器/服务器结构或浏览器/服务器架构,简称 B/S 模式、B/S 结构或 B/S 架构。该模式的应用软件分为浏览器和服务器端软件两部分,分别装在用户计算机和服务端内。浏览器的任务是将用户的要求提交给服务器,再将服务器返回的结果以特定的形式显示给用户;服务器端程序的任务是接收浏览器提出的服务请求,进行相应的处理,再将结果返回给浏览器。浏览器与服务端之间的通信协议采用超文本传输协议 (HTTP)。

1.96 六性 (6-performance)

产品的可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性和环境适应性的统称。六性是在五性基础上,增加环境适应性而形成的。六性是所有产品的共性要求,与具体产品的功能要求无关,它集中反映了产品的实用效果。六性是产品的先天属性,是生产出来的,管理出来的,更是设计出来的。只有在设计阶段,把六性设计到产品中去,产品的实用效果才能在生产和使用过程中得到保证。否则,就会带来六性“先天不足,后天很难弥补”的局面。

1.97 路由 (route, routing)

路由有下列两种含义。

(1) 网络层设备如路由器为数据包选择下一跳的行为和过程。

(2) 从一个用户/网络接口到另一个用户/网络接口的信息传送路径。

1.98 率失真函数(rate distortional function)

描述信息编码速率与信息失真度关系的函数, 记为 $R(D)$ 。率失真函数的反函数, 称为失真率函数, 记为 $D(R)$ 。率失真函数的求解有一定难度, 但函数变化的一般趋势都很简单。如图 1.6 所示, 率失真函数是一个在 $(0, D_{\max})$ 上严格递减、下凸的函数。 D 大于 $D_{\max}$ 以后均取零; $D=0$ 时, 对离散信源等于信源的熵, 对连续信源则趋于无限大。率失真函数的意义在于: 在给定信息失真度的条件下, 给出了理论上所能达到的最低信息编码速率; 在给定信息编码速率的条件下, 给出了理论上所能达到的最低信息失真度。

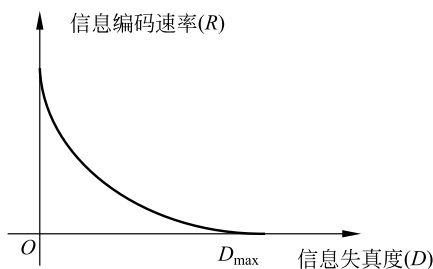


图 1.6 率失真函数曲线

1.99 媒体(medium)

信息或信号的载体。国际电联(International Telecommunication Union, ITU)将媒体分为感觉媒体、表示媒体、显示媒体、存储媒体和传输媒体共 5 类。感觉媒体指人的感觉器官直接感知的媒体, 如声音和图像等; 表示媒体指用于数据交换的编码, 如图像编码、声音编码和文本编码等; 显示媒体指信息输入/输出的媒体, 如显示器、打印机、麦克风等; 存储媒体指能够存储信息的媒体, 如光盘、硬盘等; 传输媒体指传输信息的媒体, 如电缆、光缆、空间等; 多媒体指以时空同步方式存在的多种表示媒体。

1.100 面向连接(connection-oriented)

一种端到端通信的工作方式。在面向连接的方式中, 通信前须建立连接; 通信中须维持连接; 通信结束后, 须拆除连接, 释放网络资源。在不面向连接的方式中, 无须建立连接, 即可进行通信。一般来

讲, 面向连接在通信前已建立了通信的路径并保留了必要的通信资源, 提供的是有质量保证的服务, 而不面向连接在通信前并不建立通信的路径和保留必要的通信资源, 提供的是“尽力而为”的服务。在开放系统互连参考模型中, 不仅面向连接的第 $N-1$ 层可以支持面向连接的第 N 层, 不面向连接的第 $N-1$ 层也可以支持面向连接的第 N 层。

1.101 模拟信号(analogue signal)

在取值上连续的信号。模拟信号的参数(幅度、频率或相位)值连续变化。但在时间上, 模拟信号既可以是连续信号, 也可以是离散信号。

1.102 模数转换(A/D conversion)

将模拟信号转变为数字信号的过程。模拟信号经过抽样、量化和编码后才能转换成数字信号。

1.103 奈奎斯特准则(Nyquist criterion)

当基带传输系统具有理想低通滤波器的特性时, 将码元速率限制在其截止频率两倍之内, 便能消除码间串扰。奈奎斯特准则表明: 基带传输系统的极限频带利用率为 2 baud/Hz。需要说明的是, 由于一个码元可携带多个比特信息, 因此 baud/Hz 与 b/(s · Hz) 并非同一概念。

1.104 欧洲电信标准化协会(European Telecommunications Standards Institute)

1988 年欧共体委员会批准建立的非赢利性的电信标准化组织, 简称 ETSI, 总部设在法国的尼斯。ETSI 的标准化领域主要是电信业, 并涉及与其他组织合作的信息及广播技术领域。ETSI 作为一个被欧洲标准化协会(CEN)和欧洲邮电主管部门会议(CEPT)认可的电信标准协会, 其制定的推荐性标准常被欧共体用作欧洲法规的技术基础。

1.105 频道(frequency channel)

规定了所传输信号的频率上限和下限的信道。频道在无线电通信中又称波道。频道可以用指定的两个频率极限来规定, 也可以用中心频率及所占的频宽来规定。采用频分复用技术和频分多址技术, 可在频段内划分出多个频道。

1.106 频段(frequency band)

在特定的两个界定频率之间的一段连续频率,

又称频带,波段。根据传播特性和应用领域等的不同,无线电频谱和光频谱可被划分为若干频段。频段可进一步被划分为若干信道,工作在某一频段的设备可在该频段内选择信道。

1.107 频谱分析仪 (spectrum analyzer)

对信号频谱进行测量、显示和分析的仪器,简称频谱仪。通信系统中应用较多的是超外差式频谱分析仪,其基本原理如图 1.7 所示,输入信号与频率可调的本振信号通过混频器转换到中频,中频滤波器采用高斯带通滤波器,其带宽的大小决定了频谱仪分辨率的高低。对经过中频滤波器的中频信号进行包络检波得到视频信号,再由视频滤波器滤除信号的噪声,平滑轨迹,使显示稳定。通过锯齿波发生器对本振和显示进行协调,使被测信号的频谱最终能够被清楚地呈现出来。

频谱分析仪的性能指标主要包括频率范围、参考电平、分辨率带宽、视频带宽、扫频宽度、灵敏度、最大输入电平、显示动态范围、扫描时间、噪声边带、噪声电平等。在通信系统中,频谱分析仪常用来对微波信号的多项指标进行测量,如频率、功率、载噪比、相位噪声、杂散等,也可用作频谱监测。

1.108 平均故障间隔时间 (mean time between failure)

两次相邻故障之间时间的平均值,又称平均无故障时间,简称 MTBF,单位为 h。MTBF 是衡量系统可靠性和可用性的重要指标之一。一般来讲,MTBF 越高,系统的可靠性和可用性就越高。

1.109 平均故障修复时间 (mean time to repair)

从发生故障到排除故障所需的平均时间,简称 MTTR,单位为 h。MTTR 是衡量系统可用性和维修性的重要指标之一。一般来讲,MTTR 越小,系统的可用性和维修性就越高。

1.110 平面 (plane)

通信系统或网络的一种划分单位。平面既可以是逻辑划分的结果,也可以是物理划分的结果。按信息传输的类型,通信系统或网络可垂直划分为若干平面,如业务平面、控制平面、管理平面等,每个平面可再水平划分为若干层。

1.111 平台 (platform)

满足上层通信要求,对上层提供基础支撑的通信设施。平台是上层实体为实现其功能所直接依赖的通信环境。该术语前通常加限定词,以限定该平台的功能和用途,如传输平台、通信平台、承载平台、业务平台等。

1.112 抢代通 (line recovery through emergency repair or equipment replacement)

抢通和带通的简称。出现电路中断和业务中断时,加紧排除故障的过程称为抢通;采用临时替代措施,顶替故障线路和设备,恢复通信的过程,称为代通。

1.113 全区合练 (system rehearsal)

试验任务所有系统按照任务模式和流程进行的一比一演练。全区合练是任务准备阶段的最后一项工作。合练结束后,通信系统冻结技术状态,等待执行任务。

1.114 任务保驾 (specialist support for mission operation)

在任务实施阶段,通信系统(设备)承研单位派人赴任务现场开展的技术保障工作,简称保驾。其目的是及时解决系统(设备)出现的问题,以及配合其他系统(设备)人员的工作,保证试验任务按计划和进度进行。

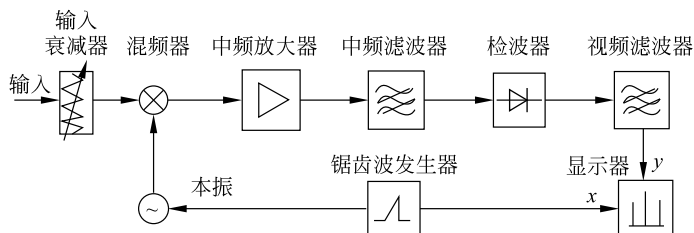


图 1.7 超外差式频谱分析仪原理

1.115 日常通信 (routine communication)

用于日常办公和生活的通信。主要业务形式是电话、网络办公、电报和传真。日常通信和试验通信并非截然分开,往往共用光传送网和电话交换网等底层基础资源。

1.116 容错 (fault tolerance)

保证系统在某些组成部分出现故障或差错时仍能正常工作的技术。容错的主要方法有自检和冗余。自检指系统在发生非致命性故障时能自动发现故障和确定故障的性质、部位,并自动采取措施更换和隔离产生故障的部件。自检需采用诊断技术,常用专门程序实现。冗余可分为硬件冗余(增加硬件)、软件冗余(增加程序,如同时采用不同算法或不同人员编制的程序)、时间冗余(如指令重复执行、程序重复执行)、信息冗余(如增加数据位)等。最常用的两种冗余方法是重复(并联)和备份。

应用容错技术构造的能够自动排除非致命性故障的系统,称为容错系统。在容错系统中,自检技术常配合冗余技术一同使用。

1.117 软件工程 (software engineering)

研究如何用系统化、规范化、数量化等工程原则和方法来进行软件的开发和维护的学科。软件工程包括软件开发技术和软件项目管理;软件开发技术包括软件开发方法学、软件工具和软件工程环境;软件项目管理包括软件度量、项目估算、进度控制、人员组织、配置管理、项目计划等。

1.118 软件设计 (software design)

从软件需求规格说明书出发,根据需求分析阶段确定的功能,设计软件系统的整体结构、划分功能模块、确定每个模块的实现算法以及编写具体的代码,形成软件的具体设计方案。

软件设计包括软件的结构设计、数据设计、接口设计和过程设计。结构设计定义软件系统各主要部件之间的关系。数据设计将模型转换成数据结构的定义。接口设计是指软件内部、软件和操作系统间以及软件和人之间的通信方式。过程设计是指系统结构部件转换成软件的过程描述。

软件设计一般分为概要设计和详细设计两个阶段。概要设计的主要任务是需求分析得到的数据流程图转换为软件结构和数据结构。详细设计是对概要设计的细化,就是详细设计每个模块的实现算法

和所需的局部结构。

在网络管理系统等以软件开发为主的通信建设项目中,软件设计成为了该项目的主要设计内容。

1.119 软件生命周期 (software life cycle)

软件从产生到报废的整个过程。一个软件在生命周期内,经历问题定义与规划、需求分析、软件设计、程序编码、软件测试、运行维护共6个主要阶段。

1.120 软件生命周期模型 (software life cycle model)

软件开发的方法模型。根据软件开发方法的不同,软件生命周期模型主要分为以下几种。

(1) 瀑布模型:是一种严格按照需求、设计、实施、交付这4个阶段进行软件开发的模型,并且在各个阶段结束时要经过严格的评审。只有评审通过后,才能够进行下一阶段的开发。

(2) 原型模型:先借用已有的类似系统作为原型,征求用户意见,然后根据用户意见,对原型进行改进,用改进后的原型再次征求用户意见。如此最终得到用户满意的软件产品。原型模型通过向用户提供原型获取用户的反馈,使开发出的软件能够真正反映用户的需求。同时,原型模型采用逐步求精的方法完善原型,使原型能够被快速开发,避免了像瀑布模型一样在冗长的开发过程中难以对用户的反馈作出快速响应的问题。

(3) 增量模型:把软件分为若干业务功能,一次完成其中的几个功能,经多次后,完成全部的业务功能。

(4) 迭代模型:一次完成所有业务功能,但并不要求一步到位,下一次,再对所有的业务功能进行补充完善,如此多次,直至所有的业务功能满足要求为止。每一次完成称为一次迭代。每次迭代都遵循瀑布模型的过程,包含需求、设计、测试和交付等过程,而且每次迭代完成后都是一个可以交付的原型。

(5) 螺旋模型:将瀑布模型的多个阶段转化到多个迭代过程中。螺旋模型的每一次迭代都包含了6个步骤:决定目标、替代方案和约束,识别和解决项目的风险,评估技术方案和替代解决方案,开发本次迭代的交付物和验证迭代产出的正确性,计划下一次迭代,提交下一次迭代的步骤和方案。

一般来讲,在前期需求明确的情况下尽量采用瀑布模型或改进型的瀑布模型;在用户无信息系统使用经验,需求分析人员技能不足情况下采用原型模型;在不确定性因素很多,很多东西前面无法计划

的情况下,尽量采用增量、迭代和螺旋模型;在需求不稳定的情况下,尽量采用增量、迭代模型;在资金和成本无法一次到位的情况下,可以采用增量模型,将软件产品分多个版本进行发布;对于多个完全独立的功能开发,可以在需求阶段就并行开发,但每个功能内遵循瀑布模型。增量、迭代和原型可以综合使用,但每一次增量或迭代都必须有明确的交付准则。

1.121 软件需求分析 (software requirement analysis)

研究用户需求,获得和确认用户对软件功能完整需求的过程。软件需求分析的结果是软件需求规格说明书,该说明书是软件设计的基本依据。软件需求分析的具体内容包括软件的功能需求、软件与硬件或其他外部系统接口、软件的非功能性需求、软件的反向需求、软件设计和实现上的限制、阅读支持信息共6个方面。

软件需求分析分为需求提出、需求描述及需求评审3个阶段。需求提出阶段获取用户对系统的需求描述。需求描述阶段对用户的需求进行鉴别、综合和建模,消除用户需求的模糊性、歧义性和不一致性;分析系统的数据要求,为原始问题及目标软件建立逻辑模型;将对原始问题的理解与软件开发经验结合起来,以便发现哪些要求是由于用户的片面性或短期行为所导致的不合理要求,哪些是用户尚未提出但具有真正价值的潜在需求。需求评审阶段在用户和软件设计人员的配合下对生成的需求规格说明和初步的用户手册进行复核,以确保软件需求的完整、准确、清晰、具体。

1.122 赛博空间 (cyberspace)

通过网络和相关的物理基础设施,使用电子和电磁频谱来存储、修改或交换数据的虚拟空间,又称网络电磁空间。赛博空间主要由电磁频谱、电子系统以及网络化基础设施3部分组成。随着信息技术的发展,几乎所有的信息都在赛博空间中传递,对赛博空间的使用和控制越来越重要,因此同陆海空天一样,赛博空间也成为了军事行动的战场。

1.123 三横两纵 (3-horizontal-2-vertical architecture)

试验通信体系结构的代名词。三横指传送层、业务承载层和业务层;两纵指网络管理系统、保密与安全系统。

1.124 三图两表一案 (3 diagrams-2 tables-1 emergency solution)

设备原理图、设备连接关系图、试验信息流程图和设备状态表、设备参数配置表、设备应急预案的简称。试验任务中,设备技术人员为每一台参试设备制定“三图两表一案”,并以此作为操作设备和检查设备连接关系和设备状态的依据。

1.125 设计评审 (design reviews)

对设计所作的正式的、综合性的和系统性的评议与审查,是设计工作的中间过程之一。评审人员一般由不直接参加设计工作的相关专家组成,以保证评审的客观和公正。评审须形成书面评审意见,主要包括评价、结论和建议。设计评审有会议、会签等多种形式。

1.126 设计确认 (design confirmation)

对设计最终产品的认可。设计确认后,进入按照设计进行建设的阶段。在国防科研试验中,一般以上级机关对设计方案的批复作为设计确认的标志。

1.127 设计验证 (design verification)

通过提供客观证据证明设计满足规定设计要求的活动,是设计工作的中间过程之一。设计验证方法主要有采用变换方法进行论证计算、复核复算、与已成功的类似设计进行比较、仿真与试验、评审、联试联调等。

1.128 实时 (real-time)

及时。在通信领域,实时意味着有严格的传输时延要求。通信双方要求具有类似面对面交谈的自然感,接收方需要对发送方发送的信息作出快速反应的,均对传输时延有严格的要求,如试验任务中的指挥调度话音、试验数据、视频信息的传输。这类对传输时延有严格要求的通信业务称为实时业务;而对传输时延没有严格要求的通信业务称为非实时业务,如电子邮件、浏览网页等。

1.129 视图 (viewpoint)

从一个视角(方面)对系统体系结构进行的描述。美军在《国防部体系结构框架2.0》(DoDAF2.0)中,提出了全视图、能力视图、数据和信息视图、作战视图、项目视图、服务视图、标准视图和系统视图等

八视图组成的系统体系结构描述方法。

1.130 时隙 (time slot)

能独一无二地加以识别和定义的任何周期性时间间隔,简称 TS。在固定时分复用中,时隙为一次轮流发送中为支路分配的一个连续时间片段。一般来讲,一次轮流发送中,一条支路只有一次机会,占用一个时隙或多个连续时隙发送。一条支路可占用多个时隙,但一个时隙只能分配给一条支路。一次轮流发送中的所有时隙构成一帧。图 1.8 为 PCM 基群帧的时隙分配图。该帧长 256 bit,帧频为 8 kHz,帧周期为 0.125 ms,分为 32 个时隙,每个时隙 8 bit,时隙号从左至右依次为 0~31。时隙 0 为帧头,时隙 16 为信令时隙,其余每一个时隙固定分配给一条支路。

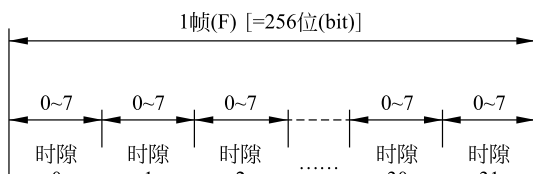


图 1.8 PCM 基群帧的时隙分配

1.131 时延 (time delay)

信号或数据单元从一点传送到另一点所经历的时间,又称延时。信号延时为信号同一相位点的延时。数据单元延时从数据单元的第一比特发送开始至接收方接收到最后一个比特为止。数据单元延时不但与信号延时有关系,也与链路传输速率、节点处理能力有关。

1.132 试验床 (test bed)

为新技术和新产品的试验和验证提供真实应用环境的试验平台。试验床采用实际设备构造出各种真实的应用环境,使新技术和新产品在该环境中进行试验和验证,从而发现实际应用中可能出现的问题,以此改进新技术和新产品的性能,为新技术和新产品的大面积推广、应用铺平道路。

1.133 试验通信 (test communication)

根据试验任务的要求建立的通信联络。其主要任务是:建立试验指挥控制中心、试验场区和参试台站间的指挥调度;完成各种语音、数据、图像等信息的传输和交换任务;实现各有关系统和设备间的频率校

准和时间同步;保障各参试部门内外通信顺畅。

根据科研试验对象的不同,试验通信分为导弹试验通信、卫星发射通信、载人航天通信、核试验通信、常规兵器试验通信、电子装备试验通信、风洞试验通信等。

试验通信的组织与实施分为准备阶段、实施阶段和结束阶段。在准备阶段,完成通信系统总体技术方案、通信组织实施方案、通信应急抢代通方案、通信保障措施等文件的制定,建立任务通信系统并通过联调测试,使该系统满足科研试验任务的要求;在实施阶段,向试验任务提供各种通信业务,完成保障任务;在结束阶段,完成通信装备的撤收和通信电路由任务状态到日常状态的恢复。

1.134 试验文书 (documentation of test communication)

试验任务使用的所有文件的统称,主要包括方案类文件、操作类文件、管理类文件等。

1.135 试运行 (trial-operation)

系统开通至正式移交前的运行。试运行期间的各种运行数据是正式移交的重要依据。

1.136 时钟 (clock)

产生定时信号的单元或设备。时钟内的振荡器产生规定频率的周期信号,经频率变换和波形处理后,输出满足频率和波形要求的定时信号。具有受控功能的时钟,还能接收并同步于外部定时信号。

1.137 数据包 (data packet)

网络层的协议数据单元,又称数据分组,简称包或分组。包具有网络层协议规定的结构,边界可识别,通常由包头和网络用户数据组成。包头一般包含信源的网络地址、信宿的网络地址、包长度、用户数据类型、服务质量等网络层协议信息。

1.138 数据链 (data link)

在多个传感器、指挥信息系统、武器系统等作战单元之间,按规定的消息格式和通信协议实时传输格式化数字信息的战术信息系统。

与一般通信系统不同,数据链除了拥有终端设备、传输设备等基本要素以外,还拥有特殊的通信规范,即数据报文的消息标准和控制链路运行的通信协议。另外,数据链还包括一些保障通信安全和可

靠运行的辅助设备,如加密/解密装置(密码设备)、自检设备、电源等。

数据链主要有以下特点。

(1) 链路平台一体化。以“机—机”方式工作,实现了直接面向传感器、指挥系统和武器系统的有效链接,将空间分散的各种作战单元紧密交链,充分发挥了整体的作战效能,实现了链路平台的自动化、一体化。

(2) 信息传输实时化。“机—机”的工作方式,大大减少了由于人为因素造成的时间延误,实现了信息传输的实时化。

(3) 传输内容格式化。采用统一的格式化消息标准,统一的信息编码,避免了信息格式转换带来的弊端。

(4) 时间空间一致化。为实现传感器信息被其他运动平台用户所共享,数据链的用户需要统一时间和位置参考点,使数据链所链接的各个指挥系统、传感器和作战单元都能保持一致的时间和空间参考基准。

(5) 传输方式的多样性。数据链传输信息的方式有多种,既有点到点的单链路传输,也有点到多点、多点到多点的网络传输,还能通过中继平台实现跨网传输,信息传输的网络结构与网络通信协议具有多样性。根据应用需要与作战环境的不同,数据链可综合采用短波信道、超短波信道、微波信道(包括卫星信道)及有线信道进行信息传输。

(6) 信息传输可靠性较高。针对无线信道传输中的各种自然和人为干扰,数据链普遍采用了先进的纠错编码和误差校正技术,有效地降低了传输的误码率。同时,数据链一般都采用了数据和信道加密技术,从而确保了信息的安全传输。

1.139 数模转换(D/A conversion)

将数字信号转变为模拟信号的过程。数字信号经解码和滤波后才能转换成模拟信号。

1.140 数字信号(digital signal)

在时间和取值上都离散的信号。数字信号承载的是数字序列。模拟信号通过抽样、量化和编码后,可转换为数字信号,这一过程称为模/数转换(A/D)。数字信号通过解码、滤波等处理,可恢复出原来的模拟信号,这一过程称为数/模转换(D/A)。

1.141 双方(both-way)

通信工作方式的属性之一。通信的双方均可发

起呼叫。

1.142 双工(duplex)

通信工作方式的属性之一。通信双方能够互发信息:如果通信双方能够同时互发信息的,称为全双工;不能同时互发信息,依靠收发互换实现双工通信的,称为半双工。在有些应用场合,也将半双工称为单工。

1.143 双向(bidirectional)

链路或电路的属性之一。两点之间的用户信息能够同时双向传递。若两个方向的信道传输能力(容量、速率等)相等,则称为双向对称,否则称为双向不对称。

1.144 速率(rate)

单位时间内传送的信息数量。根据信息单位的不同,速率单位有比特/秒、波特(码元/秒)、帧/秒、包/秒等。

1.145 锁相环(phase-locked loop)

闭环的相位自动控制电路或模块,简称PLL。如图1.9所示,锁相环通过鉴相器比较输入信号与输出信号的相位,二者的相位差信号经环路滤波后,控制压控振荡器,并调节其输出信号的相位,使之与输入信号的相位保持一致。锁相环常用作频率合成、载波同步和位同步的核心部件。

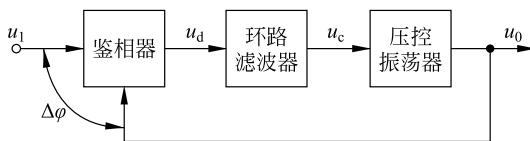


图 1.9 锁相环的基本结构

锁相环分为模拟锁相环和数字锁相环两类。对输出信号的相位进行连续调整的锁相环称为模拟锁相环。模拟锁相环的输入和输出均为模拟信号,使用的器件均为模拟器件。关于数字锁相环,最初认为输入和输出均为数字信号的,即为数字锁相环,在这种锁相环中,中间器件仍为模拟器件,环路中间环节仍存在模拟信号。后来,锁相环实现了全数字化,对输出信号的相位由连续调整变为量化调整。为示区别,将采用全数字部件的锁相环称为全数字锁相环。

1.146 调制(modulation)

用一个信号的值改变另一个信号的参数(如幅度、相位和频率等),从而使后者携带前者的过程,前者称为调制信号,后者称为载波信号,调制后的载波信号称为已调载波信号。基带信号含有直流分量和频率较低的频率分量,而远距离传输所用的信道频率远远高于基带信号,而且频率越高,其拥有的信道带宽资源越多。这样,就需要把基带信号调制到适合信道传输的更高频率的信号上,因此调制成为了传输系统必不可少的组成部分。调制的逆过程称为解调。在双向通信环境中,调制和解调通常由同一个设备来完成,称为调制解调器。

调制有如下几种分类:根据载波信号是正弦信号还是脉冲信号,分为正弦调制和脉冲调制;根据载波信号是电信号还是光信号,分为电调制和光调制;根据载波信号是一个还是多个,分为单载波调制和多载波调制;根据改变正弦载波的参数的不同,分为幅度调制、频率调制和相位调制;根据改变脉冲载波的参数不同,分为脉冲幅度调制、脉冲宽度调制、脉冲位置调制、脉冲编码调制等;根据调制信号是数字信号还是模拟信号,分为数字调制和模拟调制;根据数字调制信号的进制数,分为二进制调制、四进制调制、八进制调制……上述类型之间互相交叉,派生出多种调制方式,如无载波幅相调制(CAP),正交幅度调制(QAM),直接序列调制扩频(DS)等。

将调制与编码、复用等技术结合起来,又产生了格状编码调制(TCM)、正交频分复用(OFDM)等调制方式。

1.147 同步(synchronization)

在通信领域中,同步具有下列多种含义。

(1) 两个或两个以上随时间变化的量在变化过程中保持确定的相对关系。

(2) 两个有差别的事物保持一致的过程。

(3) 一个信号以确定的关系,实时地跟随另一个信号变化而变化的过程。

(4) 具有周期性特征的字节、帧、包的传递方式。

1.148 通道(path)

在通信领域中,通道具有下列两种含义。

(1) 信号在两点间传输时所经过的连续路径,包括传输媒介及连接媒介的手段。

(2) 网络中任意两个节点之间的路由。

1.149 通信(communication, telecommunication)

将信息从一点传递到另外一点或多点的过程。广义的通信包括任何方式的信息传递;狭义的通信特指利用电磁信号传递信息的通信,故狭义的通信又称电信。任何通信都离不开信息、信号和信道。信息是通信的内容,信号携带信息,信道传送信号。

1.150 通信工程设计(communication engineering design)

根据通信建设工程和法律法规的要求,对通信建设工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证,编制通信建设工程设计文件,并提供相关服务的活动。设计文件主要包括设计说明、设计图纸和工程概算(预算)书。一个完整的通信工程设计分为初步设计、扩充初步设计和施工图设计3个阶段。根据实际工程的规模和技术复杂程度,实际的工程设计可省略初步设计和/或扩充初步设计阶段。初步设计和扩充初步设计的结果只是整个工程设计的中间结果,只有施工图设计的结果才是整个工程设计的最终结果,才能作为现场施工的依据。

1.151 通信联试(co-exercise of communications)

试验通信系统在完成互连互通后,按照执行任务的工作模式和状态进行的系统检查性过程。通信联试旨在验证试验通信系统执行任务的工作模式和状态的正确性,确保系统不带隐患执行试验任务。

1.152 通信联调(co-adjustment of communications)

试验通信系统各设备互相配合,实现互联互通的调试过程。通信联调是试验任务通信系统建立物理连接后的主要工作之一。通过通信联调,实现系统内部以及系统与其他试验任务系统的互联互通。按照范围和规模划分,通信联调分为站内联调、基地内联调、基地间联调、全系统联调。一般先进行站内联调,然后进行基地内联调,再进行基地间联调,最后进行全系统联调。

1.153 通信手段(communication means)

传输信息的媒体、途径和措施的统称。按照信息传输的媒体,通信手段分为无线电通信、有线电通信和光通信,亦可分为无线通信和有线通信。无线

通信包括无线电通信和无线光通信,有线通信包括有线电通信和光纤通信。

1.154 通信网 (communication network)

具有节点和连线的拓扑结构,向多个用户提供相互通信的系统,简称网络或网。在点到点通信方式下, N 个用户实现任意的两两通信,需要 $N(N-1)/2$ 条电路。随着用户数量的增加,所需的电路数量大致以平方的关系增加,即 N 平方问题。 N 平方问题制约了用户数量的增加。合理的解决方案是设置若干节点,节点之间用电路连接起来,形成通信网,用户连接到节点上,节点负责选路,并将选中的电路连接起来,最终形成一个用户到用户的通信路径。因此,网络是用户数量需求增多,点到点通信无法满足用户使用需求后的必然产物。传统的网络由传输(电路)、交换(节点)和终端(用户)3个部分组成。随着网络规模扩大,功能增加,网络中出现了用于自身安全和运行管理等的支撑系统。根据节点和连线的拓扑关系,网络结构分为总线型、环型、星型、树型、网状型等结构。

为了满足不同应用场合、不同业务需求,出现了多种类型的网络:根据业务划分,网络分为电话网、电报网、数据网、图像网、计算机网等;根据传输媒体划分,分为无线电网、无线光网、有线电网、光纤网等;根据工作频率划分,分为短波网、超短波网、微波网等;根据终端是否可移动使用划分,分为固定网、移动网等;根据主要设备所在的位置,分为地面网、卫通网、空间网等;根据所传输的信号是数字还是模拟划分,分为数字网、模拟网;根据交换方式是人工还是自动划分,分为自动网和人工网;根据通信距离划分,分为长途网、本地网;根据覆盖范围划分,分为局域网、园区网、城域网、广域网;根据技术的先进程度划分,分为一代网、二代网、三代网、四代网等;根据用户范围划分,分为公用网、专用网等;根据实际用途划分,分为办公网、指挥网、试验网等。一个具体的网络,根据不同的分类标准,可归入多个类型。

随着网络规模的扩大和复杂度提高,同一个网内再分为若干网:按照垂直划分的原则,分为业务网、业务承载网和传送网;按照水平划分的原则,分为核心网、接入网和用户驻地网,或者骨干网和边缘网。网络的支撑系统构成网络形态的,又称网,如同步网、信令网、管理网等。在一个实体网络内,采用虚拟技术虚拟出来的网,称为虚拟网,如虚拟局域网、虚拟专用网等。在IP网平台上构建的各种不同

形式的应用,也可称为网,如万维网、对等网、客户机/服务器网。

1.155 通信系统 (communication system)

将信息从一点传递到另外一点或多点的系统。由于采用的技术手段和实现的方式众多,通信系统种类繁多,互相差别很大,但从用户的角度看,总可以抽象为一个由信源、信宿和信道组成的模型。通信系统可按照传输媒体、业务、通信距离、使用对象、使用场合、技术特点等进行分类。

通信系统是信息系统的组成部分,主要承担信息传输的任务。但是一个通信系统通常并不完全隶属于同一个信息系统,而是多个信息系统共用的基础设施。这使通信系统能够独立于信息系统的其他部分而发展。

1.156 通信业务 (communication service)

通信系统向用户提供的服务,又称通信服务,简称业务。一般按照业务信息内容和使用特点进行分类和命名:按照业务信息内容,分为电话业务、图像(视频)业务、数据传输业务、互联网业务、电报业务、传真业务等;按照用户终端的移动性,分为固定业务、游牧业务和移动业务等;按照业务能否单独提供,分为基本业务和补充业务;按照是否包括用户终端功能,分为承载业务和用户终端业务。

在试验任务中,通信业务质量须满足规定的技术指标要求。这些指标通常在通信系统论证和设计阶段确定下来,并作为系统设计和建设的依据。

1.157 通信应急预案 (emergency plan of communication)

为应对试验任务中可能出现的通信故障和问题,事先制定的处理方案。通信应急预案一般包括职责与分工、保障措施、预想的故障和问题、处理方法和处理步骤等。

1.158 通信总体技术方案 (test communication general technical design)

对试验任务通信系统的传输手段和业务系统进行总体设计的文件。通信总体技术方案是组织实施试验通信的依据之一,内容包括概述、依据和原则、任务和要求、方案设计、设备改造与经费估算等。方案设计是通信系统总体技术方案的核心内容,一般

包括传输手段、承载系统、指挥调度系统、数据传输系统、时间统一系统、图像系统等。

1.159 通信组织实施方案 (test communication organization and implementation design)

对试验任务通信的组织与实施作出明确规定和要求的文件。通信组织实施方案是实施科研试验任务通信保障的基本依据,根据试验任务要求和试验通信总体技术方案制定,其主要内容包括试验通信系统担负的任务、有线电和无线电通信的组织 and 电路分配、协同和外事通信的组织、无线电通信联络和通信设备工作的有关规定、各参试单位的任务和职责以及通信台站间业务指导关系。

1.160 透明 (transparent)

接收端收到的信息与发送端发送的信息完全一样的现象。在透明方式下,通信系统不对用户发送的信息内容和先后次序做任何改变。如果发送端发送什么样的比特序列,接收端就收到什么样的比特序列,这种透明方式称为比特透明;如果发送端发送什么样的数据包,接收端就收到什么样的数据包,这种透明方式称为包透明。在包透明方式中,接收端收到的包头可能与发送端发送的不完全相同,但包内的用户数据完全一样。

1.161 拓扑结构 (topological structure)

采用拓扑学方法描述的系统或网络结构。拓扑学方法是一种研究与大小、距离无关的几何图形特性的方法。网络拓扑结构由若干节点和连接这些节点的线条组成,节点之间有直接连接关系时,用线条将他们连接到一起,而不必关心节点间的距离和传输容量等。拓扑结构是网络的重要设计内容,对网

络的性能和可靠性有着重要的影响。

1.162 网关 (gateway)

将不同网络连接起来的功能实体。网关具有物理接口转换、协议转换等功能。

1.163 网络地址 (network address)

通信网中用来识别和寻找用户的一串数字或字符,因其作用类似于邮政中的通信地址而得名。在固定电话网等网络中,地址习惯上叫号码。网络给一个用户分配一个全网唯一的地址,并将其与用户接入的位置关联起来。网络地址可以固定分配给用户,也可以在用户每次登录或呼叫时,临时从公共地址池中分配。网络地址是网络进行路由选择的重要依据。网络根据地址才能正确选择路由,将信息发送到该信息的接收用户。

1.164 网络融合 (network convergence)

异构的网络通过各种方式进行的渗透和整合。网络融合包括两层含义:一是在数据传输层面,所有网络的数据传输均被整合在一个网络中进行;二是在应用层面,把以前各种异构的网络上的应用全部整合到同一个 IP 网络上,从而实现应用上的统一。网络融合的实质不是消灭异构,而是屏蔽异构。

网络融合的技术架构如图 1.10 所示,其目标是实现统一的应用界面、统一的运行平台、统一的网络管理。

1.165 网守 (gatekeeper)

网络中负责地址解析、呼叫接入控制、带宽控制和区域管理的功能单元。网守与网关的区别在于,网守负责网络的呼叫控制,而网关用于连接不同的网络。

1.166 网同步 (network synchronization)

数字网内交换局(节点)时钟之间的同步,又称

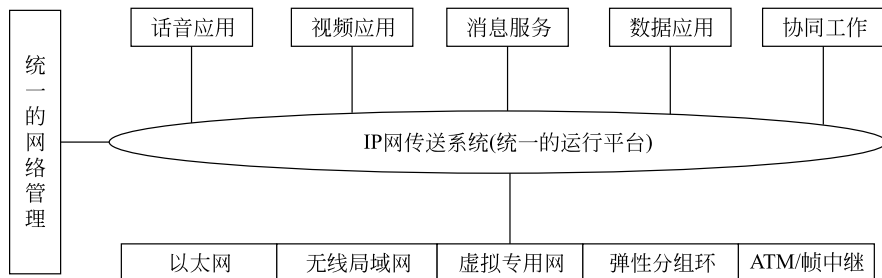


图 1.10 网络融合技术架构

交换同步。在数字交换中,对特定电路的交换只能在特定的时隙上进行,这就要求各个方向传送来的数字信息流的定时信号与本地时钟信号同步工作。否则,必然产生收快转发慢或收慢转发快的现象。当收发快慢不一致积累到一定程度时,将导致缓冲器溢出或读空,从而产生错读,这一现象称为滑动。滑动问题是网同步所要解决的问题。

网同步主要分为准同步和全网同步两类。在准同步方式下,网内各节点均采用高精度的时钟,但相互独立,在交换时通过缓存换钟的方式实现同步。准同步不能完全避免滑动,但采用的时钟精度越高,滑动的间隔时间就越长。在全网同步方式下,网内各节点时钟实现同频,达到全网同步工作。根据网内时钟控制关系的不同,全网同步又分为主从同步、相互同步和外部基准同步;主从同步是由主站时钟控制各从站时钟,通过多级的主从控制实现的全网同步;相互同步是各站时钟相互控制,最终实现的全网同步;外部基准同步是各站时钟均同步在同一个外部基准时钟上实现的全网同步。

一般来讲,不同的网络之间连网时,相互之间采用准同步方式工作,在网络内部采用全网同步方式工作。

1.167 误差(error)

测量值或计算值与真实值之差。误差是客观存在的,不可避免,但可以减少。根据产生的原因及性质,误差分为系统误差与随机误差两类:系统误差是由于测量设备精度、测量所依据的理论公式的近似性、测量条件和测量方法不当等引起的误差。其特点是测量结果向一个方向偏离。因此减小系统误差无法采用数理统计的方法,只能采用提高测量设备精度、改进测量方法等措施;随机误差是由于测量时的随机因素造成的误差。一般难以找出随机误差的真正原因。但随机误差都服从一定的统计规律,如高斯分布等。这样,就能通过多次测量,运用数理统计的方法来减小随机误差。只要测量次数足够多,就能将随机误差减小到足够小。

1.168 无缝连接(seamless connection)

在通信领域,无缝连接的含义有两种。

(1) 用户感受不到的系统内部之间的连接。多个系统连接成一个大系统,用一个接口向用户提供服务时,用户只感受到大系统的存在,而感受不到内部系统的存在。

(2) 用户感受不到切换的连接。线路切换、设备切换、移动导致的接入点切换等,都会使当前的连接中断,再建立新的连接。如果是无缝连接,则在切换的过程中,用户感受不到业务中断或严重的质量下降,如同两个连接之间没有“缝隙”,用户感受不到切换一样。

1.169 五性(5-performance)

可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性的统称。增加环境适应性而成六性。

1.170 谐波失真(harmonic distortion)

谐波所造成的失真。由于电子器件的非线性,使系统或设备的输出信号中出现了输入信号的高次倍频信号,这些倍频信号称为谐波,输入信号称为基波,基波的二倍频谐波称为二次谐波,三倍频谐波称为三次谐波,以此类推。谐波在输出端叠加在基波信号上,造成了输出信号的失真。 $N(N>1)$ 次谐波产生的失真,称为 N 次谐波失真。所有谐波共同产生的失真称为总谐波失真。总谐波失真用总谐波失真系数表示,记为THD。

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{Q^2 - Q_1^2}{Q^2}} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: Q ——输出信号总有效值,可以是电压和电流;

Q_1 ——输出信号中基波信号的有效值。

总谐波失真与基波频率和输出功率有关,因此测量一个系统或设备的总谐波失真系数时,须规定输入信号频率和输出信号功率。输入信号频率一般在输入信号频率范围内选出若干个具有代表性的频率,输出信号功率一般选为最大输出功率。

1.171 协议(protocol, agreement)

在设备对设备和设备对人的通信中,对双方的互动以及如何处理遇到的情况进行的事先约定,又叫规程。通过执行协议,通信双方相互配合,完成通信任务。协议双方互发的协议信息称为协议数据单元。通过解读接收到的协议数据单元,一方了解对方“意图”并作出相应的响应。如果没有协议,通信双方互相不理解对方“意图”,通信就无法进行下去。

语义、语法和时序是构成协议的三要素:语义解释协议数据单元每个部分的意义,规定需要发出何种协议数据单元,以及需要完成的动作与做出什

么样的响应。语法是协议数据单元的结构与格式,以及各种协议数据单元出现的顺序。时序是对事件发生顺序的规定。

1.172 协议数据单元(protocol data unit)

在分层结构的网络中,对等层实体之间交互的数据包,简称PDU。协议数据单元由包头和用户数据组成。包头的组成结构和各组成部分的含义由该层协议规定,用户数据是该层的上层交付给该层的,实质上是上层的协议数据单元。

1.173 协议栈(protocol stack)

网络中各层协议的总和。在分层的网络中,根据协议执行的主体,每一个网络协议都可归为某一层,如此形成一个有层次结构的协议集合,即协议栈。

1.174 协议转换器(protocol converter)

完成协议转换功能的设备,又称接口转换器,简称协转。协议转换器将两个不同协议(接口)的系统(设备)连接起来,通过协议翻译,实现互连互通。

1.175 信道(channel)

两点之间单向传输信号的手段,又称通路。信道是一个相对的概念,如调制器使用的信道称为调制信道,保密机使用的信道称为保密信道,数据终端使用的信道称为数传信道。

1.176 信道倒换(switching of channel)

用备用信道替换故障信道工作的过程,又称信道切换,简称倒换或切换。信道倒换分为1+1、1:1和1:n这3种方式。

(1) 1+1倒换方式:又称单端倒换。发端在主备两个信道上同时发送同样的信息。在正常情况下,收端选收主用信道上的信息;主用信道故障时,收端切换到备用信道。该方式倒换速度快但信道利用率低。

(2) 1:1倒换方式:又称双端倒换。发端在主用信道上发主用信息,在备用信道上不发信息或发低级别信息。正常情况下,收端从主用信道上收主用信息,从备用信道上收低级别信息。当主用信道故障时,发端在备用信道上停发低级别信息,改发主用信息,收端切换到备用信道上接收主用信息。这种方式倒换速率较慢,但信道利用率高。

(3) 1:n倒换方式:一条备用信道保护 $n(n>1)$ 条主用信道。这种方式的信道利用率高,但两条以上主用信道同时发生故障时,只能保护一条,降低了信道传输信息的可靠性。

在试验任务中,重要信息均采用双路由进行传输。如果用户只提供一个接口,则倒换方式一般为1:1,倒换由通信系统完成。如果用户提供两个接口,在两个接口上同时发送同样的信息,则倒换方式为1+1,倒换由用户系统完成。

1.177 信道容量(channel capacity)

理论上信道传输信息的最大速率。香农推导出信道容量的计算公式即香农公式:

$$C = B \log_2(1 + S/N) \quad (1-5)$$

式中: C ——信道容量,单位为b/s;

B ——信道带宽,单位为Hz;

S/N ——信道接收端信号的信噪比。

1.178 信号(signal)

随时间变化的物理量。在通信领域,信号指承载信息的电光信号。信号是信息的表现形式,是信息传输的客观对象,而信息是信号代表的具体内容,蕴藏在信号之中。信号随时间变化,是时间的函数,因而表现出一定的时间特性,如出现时间的先后、持续时间的长短、重复周期的大小以及随时间变化的快慢等。同样,信号也可以分解为许多不同频率的正弦分量,因而表现出一定的频率特性,如各频率分量的相对大小、主要频率分量占用的范围等。

信号的分类方法很多。按照取值是否确定,可分为确定信号和随机信号;按照取值在时间上是否连续,可分为连续信号和离散信号;按照信号是否模拟信息的变化,分为模拟信号和数字信号;按照信号是否重复,分为周期性信号和非周期性信号。

1.179 信号频谱(frequency spectrum)

信号各频率分量的值(幅值、功率或功率密度)按频率排列而成的系列,简称频谱。信号频谱直观反映了信号的频率成分及各频率分量的大小。

1.180 信息(information)

消息中包含的接收者不确定或不知道的内容。消息的接收者通过获得信息,而将自己不确定或不知道的内容变为确定和知道的内容。信息包含在消息中,消息以接收者能够接收的形式表现出来,如话

音、图像、文件等。在不容易引起混淆的情况下,消息通常称为信息。

1.181 信息系统 (information system)

以信息应用为目的,以计算机技术和通信技术为基础构建的系统。一般由信息获取、信息传输、信息处理、信息应用以及安全、管理等支撑系统组成。

1.182 虚拟 (virtual)

以真实资源为基础,采用逻辑分割、资源共享、仿真等手段,建立与实体具有同样功能和性能的非实际存在的技术。实物和虚拟物虽然实现方法不同,但没有使用上的差别。虚拟出的设备、电路和网络等的建立、改变和拆除,一般不需要改变硬件,仅需改变参数配置即可。在通信技术领域,采用虚拟方法,可产生虚电路、虚通道、虚拟局域网、虚拟专用网等。

1.183 需求分析 (requirement analysis)

通过分析需求得到明确的设计要求的过程。一般情况下,试验任务的原始需求存在不全面、不直接、不合理、相互矛盾等问题,不能直接作为通信系统设计的输入和依据。需求分析的主要任务就是对原始需求进行分析,将其转化为明确的系统设计要求。

1.184 验收 (acceptance)

系统接收和移交前的各种检验。验收通过是设备接收和移交的必要条件。

1.185 业务指导关系 (professional guidance relationship)

没有行政隶属关系的单位之间建立的业务指导与被指导关系。为便于组织和协调业务工作,上级业务主管部门在具有同一业务的各站中,指定其中一个站为业务指导站,其他站服从业务指导站的指导。

1.186 异步 (asynchronization)

在通信领域,异步有以下几种含义。

(1) 两个或两个以上随时间变化的量在变化过程中没有确定的相对关系。

(2) 两个或两个以上的信号相互独立。

(3) 无周期性特征的字节、帧、包的传递方式。

1.187 异构网 (heterogeneous network)

由不同类型的网络组成的网络。异构主要体现在接口、协议、接入、终端、手段、业务的不同上。异构的网络不能直接互连互通,需要采用网关等网络融合手段屏蔽网络的异构性,才能将异构的网络连接起来。互联网就是一个异构网络,其用路由器(网关)将各种异构的物理层网和链路层网连接在一起。

1.188 移交 (transfer, handover)

卖方将系统和设备移交给买方的行为。移交后,系统和设备的产权或管理权转移到买方。

1.189 一体化 (integration)

一体化通常具有下列几种含义。

(1) 把多个实体逐步融合成一个实体的过程。

(2) 把多个实体融合成一个实体的结果。

(3) 作为限定语,表示限定的对象已由多个实体融合成了一个实体。

一体化可以从多个视角去界定和理解,因此可能具有不同的内涵。通信系统的一体化,主要体现在互联互通的能力和标准化程度上。

1.190 远程协同系统 (remote collaborative system)

为地域分散的用户提供协调与协作完成一项任务所需信息的交流平台,是试验通信业务系统之一。如图 1.11 所示,系统采用三层体系架构,分为接入层、控制层和应用层,三者相互分离,既可独立发展,又可实现分布式配置,依靠承载网络灵活的业务承载能力,可向用户提供即时通信、电子白板、桌面会议、程序共享、电子邮件、文件传输、决策会商等多种服务。系统采用 VoIP、IPTV、远程呈现等多种计算机及通信技术实现。信息传输基于 TCP/IP 协议

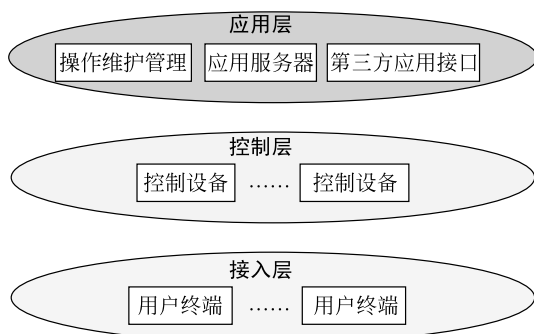


图 1.11 远程协同系统架构

族,一路多媒体信息传输速率根据网络条件可在 64 kb/s~8 Mb/s 调整。为提高网络适应性,系统还采用丢包恢复、动态抖动缓冲及话音视频差错消隐等技术保障业务服务质量。远程协同系统的设备组成主要包括各种业务功能服务器、维护操作控制台及多媒体用户终端等设备。系统的主要功能如下。

(1) 即时通信:类似 QQ、腾讯通软件的功能,异地参试用户可实现点对点及点对多点的短消息发送、音视频通信和文件传输。

(2) 桌面会议:采用多媒体计算机作为终端设备,用户通过摄像头、耳麦可实现两人或多人之间的音视频实时交互。

(3) 电子白板:类似黑板功能,异地参试用户通过各自的鼠标,可共同对同一个文件、PPT 或图片进行描绘、标注等操作。

(4) 程序共享:通过共享计算机屏幕显示,用户可将本人的屏幕显示信息实时共享给其他用户查看,实现信息共享。

(5) 决策会商:采用电话会议的模式实现多个用户间实时语音沟通,用户通过既定的分组,以头戴耳麦的方式实现相互的实时交流。

1.191 用户 (user, subscriber)

业务的使用者,可以是人、部门和系统。在试验任务中,测试发射系统、测控系统、气象系统、试验指挥系统等都是试验通信系统的用户。试验通信系统内部的通信业务使用者,也构成试验通信系统的用户。

1.192 用户到用户 (user-to-user)

用户终端与用户终端之间的连接。当用户以终端的身份接入网络时,用户到用户等同于端到端。当用户以用户驻地网的身份接入网络时,用户到用户由用户驻地网和端到端两部分构成。

1.193 用户数据单元 (subscriber data unit)

在分层结构的网络中,层实体接收的上层实体的数据包,简称 SDU。层实体将用户数据单元作为协议数据单元中的用户数据进行透明传送。

1.194 用户终端业务 (terminal service)

为用户提供包括终端设备功能在内的完整通信能力的电信业务。

1.195 游牧 (nomadic)

一种业务接入方式。用户可以在网络覆盖范围内任意一点接入,但每次接入都要中断当前连接,再次通过身份确认接入网络。与固定式业务接入不同的是,能够在多个接入点接入;与便携式和移动式业务接入不同的是,不支持用户在接入点之间进行自动切换。

1.196 在线 (on-line)

在通信领域,在线具有下列几种含义。

(1) 设备连接到系统中,加电正常工作。

(2) 用户终端登录上网。

(3) 监测设备实时对被监测系统进行监测。

1.197 噪声 (noise)

混入到有用信号之中的干扰信号的总和。干扰信号分为乘性干扰和加性干扰两种:乘性干扰以与有用信号相乘的方式反映到实际信号中,主要是由信道的线性畸变、非线性畸变、交调畸变、衰落畸变等引起的。乘性干扰与有用信号密切相关,如果有用信号不存在,乘性干扰随之消失;加性干扰以与有用信号相加的方式反映到实际信号中,主要来自外部干扰和设备固有的噪声干扰。加性干扰独立于有用信号,与有用信号是否存在无关。

任何有用信号都不可避免地混入噪声。为克服噪声干扰,出现了众多抗噪声干扰的通信技术。克服无线信道的多径效应产生的乘性干扰,一般采用抗多径效应的分集接收、信道纠错编码和调制技术。加性干扰主要为脉冲噪声和起伏噪声。脉冲噪声一般干扰强度大,但短暂,对数字通信的危害是导致突发误码。起伏噪声可看作服从高斯分布、功率谱密度为常数的高斯白噪声,对数字通信的危害是产生随机零星误码。克服加性干扰,一般采用信道纠错编码和提高信噪比的技术。

1.198 增益 (gain)

衡量设备或系统的信号放大能力的指标,单位为 dB。放大器、增音器、再生中继器等设备的增益为以 dB 表示的输出功率与输入功率之比。天线的增益为在相同的输入信号、相同的位置和相同的测试点下,以 dB 表示的天线信号强度与理想全向天线信号强度之比。天线增益衡量的是天线相对于理想全向天线而言的信号放大能力。

增益是系统或设备的固有属性,在线性工作范围内与输入信号的大小无关。

1.199 增值业务 (value-added service)

凭借通信网的资源和其他通信设备而开发的附加通信业务。增值业务在原有网络的基础上增加了新的服务功能,提高了网络的使用价值和经济效益。

1.200 帧 (frame)

物理层和数据链路层的协议数据单元。在物理层的时分复用系统中,群路传输各支路信息所用的帧由帧定位时隙和各支路占用的时隙组成。一般来讲,物理层的帧长固定,不管有无信息传送,均等间隔发送。常见的有脉冲编码调制 (PCM) 复用帧,准同步数字体系 (PDH) 帧,同步数字体系 (SDH) 帧等。数据链路层的帧包括帧头和用户数据字段。协议不同,帧的结构也不同。一般来讲,数据链路层的帧长不固定,但规定最小帧长和最大帧长。帧排队发送,无信息内容时停发。常见的有以太网帧,点到点协议 (PPP) 帧,高级数据链路控制规程 (HDLC) 帧等。

1.201 重点保障 (key support)

任务关键时段的通信保障,简称重保。在持续时间较长的试验任务中,有若干时段进行的试验对试验任务的成败影响重大,其通信保障较其他时段的要求更高,需采取更多的保障措施予以保障。

1.202 终端 (terminal)

连接到网络以便接入一种或多种指定业务的用户设备,通常也叫终端设备。终端按业务可分为数据终端、话音终端、图像终端等。

1.203 中国通信标准化协会 (China Communications Standards Association)

中国企、事业单位自愿联合组织起来,经业务主管部门批准,国家社团登记管理机关登记,开展通信技术领域标准化活动的非营利性法人社会团体,简称 CCSA。该协会的主要业务包括:开展通信标准体系研究和技术调查,提出制、修订通信标准项目建议;组织会员参与标准草案的起草、征求意见、协调、审查、标准符合性试验和互连互通试验等标准研究活动。

1.204 中继 (relay)

信号的再生和/或放大过程。当信号经过一段距离的传输,衰减到一定程度后,需对信号进行再生

和/或放大处理,以增加传输距离。实现中继功能的设备,称为中继器。

1.205 中间件 (middleware)

处于操作系统软件与用户的应用软件之间的独立的系统软件或服务程序。中间件为应用软件提供运行与开发的环境,管理计算机资源和网络通信,帮助用户灵活、高效地开发和集成复杂的应用软件。应用软件借助中间件在不同的技术之间共享资源。

中间件大致可分为终端仿真/屏幕转换中间件、数据访问中间件、远程过程调用中间件、消息中间件、交易中间件、对象中间件等。

由于中间件需要屏蔽分布环境中异构的操作系统和网络协议,因此它必须能够提供分布环境下的通信服务。由中间件提供的通信服务包括同步、排队、订阅发布、广播等,在此基础上,可构筑各种框架,为应用程序提供不同领域内的服务,如事务处理监控器、分布数据访问、对象事务管理等。中间件为上层应用屏蔽了异构平台的差异,而其上的框架又定义了相应领域内的应用的系统结构、标准服务组件等。这样用户只需告诉框架所关心的事件,然后提供处理这些事件的代码,不必关心框架结构,执行流程、对系统级的程序调用等。当事件发生时,框架则会调用用户的代码,而用户代码不用调用框架。因此基于中间件开发的应用程序具有良好的可扩充性、易管理性、可用性和可移植性。

1.206 装船要素 (element of shipment)

测量船通信设备安装和使用对测量船平台的要求。装船要素是测量船平台设计和建造的依据,主要包括舱室部署、电源部署、空调部署、电缆部署、天线部署等方面的要求。

舱室部署要求至少包括:每个工作舱室的设备布置图(含家具),图中要标明电缆沟(槽)及电缆的走向,主要设备要有定位尺寸,特制家具要有外型图,若家具上面要安装设备,则要标明承受质量;各工作舱室的屏蔽等级要求及接地要求;各工作舱室机柜、工作台的数量,每个机柜、工作台的外型尺寸、质量、重心高度(包括减震器的数量、型号及布置位置、布置方向)。

电源要求至少包括:每个机柜(或设备)使用的电源种类及路数(三相三线制交流 380 V、三相三线制交流 220 V、直流 24 V)要求;功耗要求(平均功

耗、最大功耗、功率因数);每个工作舱室电源插座的数量、位置及电压、功率要求;每个工作舱室的照明要求及照明灯控制路数要求等。

空调要求至少包括:每个机柜(或设备)的设备散热量;每个工作舱室工作人员的数量;每个工作舱室的温度、湿度及通风要求;设备的冷却方式,包括风冷时的风压、风量、温度变化(进出温度)等,水冷时的冷却量,冷却水进出口的水温、水压、流量、阻力损失等。

电缆部署要求至少包括:每个分系统的外部电缆连接图及电缆连接表,包括起始设备及终止设备名称,电缆的数量、型号、规格;每个分系统的内部电缆连接图及电缆连接表,包括起始设备及终止设备名称,电缆的数量、型号、规格(含随机电缆);波导走向图、直波导标准长度、外形尺寸,弯波导外形尺寸及对波导的安装要求;大型设备的天线圆筒电缆走向图等。

天线部署要求至少包括:需船厂订货的常规天线的数量及安装位置要求;特装天线的质量及重心高度;特装天线的天线外形尺寸,包括天线面大小、天线口面至俯仰轴尺寸及天线俯仰轴至天线底座的尺寸等;特装天线天线座与船体接口处的安装尺寸,包括螺钉孔尺寸大小、位置、数量及对船体基座面的加工要求,含船舶艏线的安装图;特装天线对船体基座刚度及振动频率的要求等。

1.207 字段(segment, field)

协议数据单元的基本组成单位,又称域。协议数据段元由若干字段组成,字段由若干字节或比特组成,其长度和意义由相应的协议规定。

1.208 子接口(sub-interface)

在一个物理接口上虚拟出的多个逻辑接口。这些逻辑接口称为物理接口的子接口。

1.209 自愈网(self-healing network)

能够自动发现故障,快速绕过故障点,从而不影响通信业务的网络。一般通过自动切换,自动路由迂回等手段实现自愈。自愈时间一般在数十毫秒量级。失效元件的修复和更换,需要人工干预才能完成,不属于自愈的范畴。

1.210 总体设计(general design)

工程项目的总体方案和总体技术途径的设计过程。总体设计侧重于工程项目的顶层设计和技术设计,一般在立项论证完成后展开。其设计成果为总体技术方案,一般作为工程设计与实施的输入和依据。

1.211 组网(networking)

运用网络设备、网络管理设备、网络安全设备、终端设备、线路、软件等构建网络的工作。组网涉及网络结构设计,协议选择、布线设计,设备软硬件选型和配置等。

1.212 最大传输单元(maximum transmission unit)

协议数据单元所能传输的最大用户数据的长度,简称 MTU。如以太网帧中数据字段的最大长度是 1500 B,则以太网数据链路层的最大传输单元为 1500 B;IP 包用户数据字段的最大长度是 65 535 B,则 IP 网络层的最大传输单元为 65 535 B。

第2章 光 通 信

2.1 C 波段 (conventional C band)

光纤通信中波长范围为 1530~1565 nm 的波段。C 波段是常规波段的习惯叫法,是光纤通信系统应用较早的波段之一。光纤通信中的 C 波段与无线电通信中的 C 频段不同,无线电通信中所定义的 C 频段频率范围为 4~6 GHz。

2.2 DCN 网 (data communication network)

光纤通信系统中,专指用于承载网络管理信息和分布式信令消息的数据网络。DCN 网通过具有路由/交换功能的链路互联而构成,提供物理层、数据链路层、网络层功能。DCN 网的架构可以基于 IP、OSI 或二者混合。

DCN 网有带内和带外两种信道传输方式。带内方式中,网络管理信息和分布式信令消息由基于光纤通信系统本身的数据通信信道(DCC)的嵌入式控制通道(ECC)来传输。带外方式又分为光纤内的带外方式和光纤外的带外方式两种。光纤内的带外方式中,网络管理信息和分布式信令消息由专用信道传输,与业务信道分离,但专用信道和业务信道共用相同的光纤。光纤外的带外方式中,网络管理信息和分布式信令消息由专用信道传输,使用的光纤也与业务信道使用的光纤不同。

2.3 E 波段 (extended band)

光纤通信中波长范围为 1360~1460 nm 的波段。E 波段是扩展波段的习惯叫法。由于光纤制造技术的进步,消除了光纤 1385 nm 附近的 OH^- 离子,明显降低了水峰吸收对光信号的衰减,从而将 E 波段扩展成为实际可用的波段。

2.4 G. 651 光纤 (G. 651 fiber)

ITU-T G. 651 建议《用于光接入网的 50/125 μm 多模渐变折射率光纤的特性》规定的多模光纤。G. 651 光纤的纤芯直径为 50 μm ,包层直径为 125 μm ,工作波长为 850 nm 和 1300 nm,在 850 nm 波长处最大衰减系数为 3.5 dB/km,在 1300 nm 波长处最大衰减系数为 1.0 dB/km,模式带宽距离乘积

为 500 MHz · km。G. 651 光纤主要应用于接入网和局域网场合。

2.5 G. 652 光纤 (G. 652 fiber)

ITU-T G. 652 建议《单模光纤的特性》规定的单模光纤,又称标准单模光纤,1310 nm 性能最佳单模光纤,非色散位移光纤。G. 652 光纤工作波长为 1310 nm 和 1550 nm。非零色散波长位于 1310 nm,在 1550 nm 波长处衰减最小,具有较大的正色散,色散数值大约为 17 ps/(nm · km)。在 1310 nm 波长处最大衰减系数典型为 0.4 dB/km,在 1500 nm 波长处最大衰减系数典型为 0.3 dB/km。G. 652 光纤根据传输性能又分为 G. 652A、G. 652B、G. 652C、G. 652D 这 4 个子类。G. 652 光纤多应用于本地光缆网。

2.6 G. 653 光纤 (G. 653 fiber)

ITU-T G. 653 建议《色散位移单模光纤光缆的特性》规定的单模光纤。G. 653 光纤通过改变光纤的结构参数和折射率分布形状,并加大波导的色散,将最小零色散点从 1310 nm 波长处移到 1550 nm 波长处,实现在 1550 nm 波长处衰减最小和零色散。在 1550 nm 波长处,G. 653 光纤的色散数值大约为 3.5 ps/(nm · km),最大衰减系数典型为 0.35 dB/km。由于掺铒光纤放大器工作波长区域与 G. 653 光纤匹配,G. 653 光纤非常适合长距离(数千千米海底系统和长距离陆地干线系统)单信道高速率光纤传输系统。在 G. 653 光纤上开通波分复用系统存在四波混频非线性效应,阻碍了其在波分复用领域的应用。

2.7 G. 654 光纤 (G. 654 fiber)

ITU-T G. 654 建议《截止波长位移单模光纤光缆的特性》规定的单模光纤,又称 1550 nm 性能最佳单模光纤。G. 654 光纤的色散数值大约为 20 ps/(nm · km),在波长 1550 nm 处衰减系数的典型数值为 0.22 dB/km,最小可达 0.18 dB/km,并且弯曲损耗小。G. 654 光纤制造困难,造价昂贵,主要应用于

传输距离长且不能插入有源器件的无中继海底光纤传输系统。

2.8 G. 655 光纤 (G. 655 fiber)

ITU-T G. 655 建议《非零色散位移单模光纤光缆的特性》规定的单模光纤。G. 655 光纤分为 G. 655A、G. 655B、G. 655C 这 3 个子类。G. 655 光纤最大衰减系数典型为 0.35 dB/km。G. 655 光纤由于在波长 1550 nm 处色散数值为 0.1~6.0 ps/(nm·km), 很好地平衡了四波混频所引起的非线性, 可应用于高速、大容量、密集波分复用的长距离光纤传输系统。

2.9 G. 656 光纤 (G. 656 fiber)

ITU-T G. 655 建议《用于宽带光传输的光纤和光缆的特性》规定的单模光纤。G. 656 光纤在 1460~1625 nm 的色散系数为 2~14 ps/(nm·km), 相对色散斜率接近 G. 652 光纤相对色散斜率, 但低于 G. 655 光纤相对色散斜率, 可在整个 S+C+L 波段使用。G. 656 光纤是一种新型非零色散位移光纤, 适用于宽波段的密集波分复用系统。

2.10 IP OVER SDH

使用 SDH 帧传送 IP 数据包的技术。IP OVER SDH 使用链路适配协议和组帧协议对 IP 数据包进行封装, 封装后的 IP 数据包映射到 SDH 虚容器, 从而实现 IP 数据包在 SDH 网上传送。

2.11 IP OVER WDM

通过 WDM 光路直接传送 IP 数据包的技术, 又称光因特网技术。IP OVER WDM 综合利用 IP 技术和 WDM 光网络技术, 使交换机、路由器之间通过光纤直接连接至光网络层, 去掉了 ATM 和 SDH 层, 减少了网络层次和功能重叠, 使设备得以简化, 网络管理的复杂性得以降低。IP OVER WDM 最大优点是能充分利用 WDM 的巨大带宽。

2.12 L 波段 (long wavelength band)

光纤通信中波长范围为 1565~1625 nm 的波段。L 波段是长波段的习惯性叫法, 因比常规波段的波长长而得名。光纤通信中的 L 波段与无线电通信中所定义的 L 频段实际含义不同, 无线电通信中所定义的 L 频段的频率范围为 1~2 GHz。

2.13 《N×100 Gb/s 波分复用 (WDM) 系统技术要求》(Technical Requirements for N×100 Gb/s Wavelength Division Multiplexing (WDM) System)

中华人民共和国通信行业标准之一, 标准代号为 YD/T 2485—2013, 2013 年 4 月 25 日, 中华人民共和国工业和信息化部发布, 自 2013 年 6 月 1 日起实施。标准规定了单通路速率为 100 Gb/s 的 WDM 系统在 C 波段传输时的技术要求, 适用于单通道速率为 100 Gb/s、基于光相干接收 PM-(D)QPSK 调制码型、工作在 C 波段 50 GHz 波长间隔的 WDM 系统, 100 GHz 波长间隔的 WDM 系统也可参照执行。内容包括前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、缩略语、系统分类、系统参数要求、OTU 技术要求、FEC 功能与性能要求、波分复用器件的技术要求、放大器的技术要求、动态功率控制和增益均衡技术要求、OADM 技术要求、系统监控通路技术要求、传输功能和性能要求、电源电压容限范围、网络管理系统技术要求、ARP 进程要求、附录 A (Rn 参考点纠错前误码率“Pre-FEC”指标分析)、附录 B (前向纠错“FEC”算法的编码增益“CG”和净编码增益“NCG”) 等。

2.14 《N×10 Gb/s 超长距离波分复用 (WDM) 系统技术要求》(Technical Requirements for Ultra Long Haul N×10 Gb/s Wavelength Division Multiplexing (WDM) System)

中华人民共和国通信行业标准之一, 标准代号为 YD/T 1960—2009, 2009 年 6 月 15 日, 中华人民共和国工业和信息化部发布, 自 2009 年 9 月 1 日起实施。标准规定了 N×10 Gb/s 的单纤单向超长距离波分复用 (WDM) 系统 (多跨段超长 WDM 系统和单跨段超长 WDM 系统) 在 C 波段传输时的技术要求, 适用于无电中继距离在 1000~3000 km、单通路速率为 10 Gb/s、工作在 C 波段、传输码型为非归零 (NRZ) 和归零 (RZ) 的多跨段超长距离 WDM 系统和无电中继距离在 160~200 km、单通路速率为 10 Gb/s、工作在 C 波段、传输码型为非归零 (NRZ) 和归零 (RZ) 的单跨段超长距离 WDM 系统。内容包括前言、范围、规范性引用文件、术语和定义、符号和缩略语、超长距离 WDM 系统分类、系统参数要求、OTU 技术要求、光放大器技术要求、色散补偿技

术要求、FEC 技术要求、动态功率控制和增益均衡技术要求、OADM 的技术要求、监控通路要求、传输功能和性能要求、网络管理要求、ARP 进程要求、附录 A (MS-ULH DWM 系统应用若干问题分析)、附录 B (基于 80/10×10 Gb/s 的 SS-ULH DWM 系统)等。

2.15 《N×40 Gb/s 波分复用 (WDM) 系统技术要求》(Technical Requirements for N×40 Gb/s Wavelength Division Multiplexing (WDM) System)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1991—2009,2009 年 12 月 11 日,中华人民共和国工业和信息化部发布,自 2010 年 1 月 1 日起实施。标准规定了单通路速率为 40 Gb/s WDM 系统在 C 波段传输时的技术要求,适用于单通道速率为 40 Gb/s、工作在 C 波段 100 GHz 或 50 GHz 波长间隔的 WDM 系统,也适用于单通路速率为 10 Gb/s、40 Gb/s 混合传送 WDM 系统。内容包括前言、范围、规范性引用文件、术语定义和缩略语、系统分类、系统参数要求、OTU 技术要求、波分复用器件的技术要求、光放大器技术要求、色散补偿技术要求、FEC 技术要求、动态功率控制和增益均衡技术要求、OADM 的技术要求、监控通路要求、传输功能和性能要求、网络管理要求、ARP 进程要求、附录 A (带啁啾的 RZ-DQPSK WDM 系统光接口参数要求)、附录 B (10 Gb/s/40 Gb/s 光通道混合传送 WDM 系统应用)、附录 C (Rn 参考点纠错前误码率“Pre-FEC”指标分析)等。

2.16 O 波段 (original band)

光纤通信中波长范围为 1260~1360 nm 的波段。O 波段是初始波段的习惯叫法,因最早使用而得名。

2.17 PCM 终端机 (pulse coding modulation equipment)

采用脉冲编码调制方式和同步复用技术的数字终端设备。PCM 终端机采用时分复用方式把 30 路脉冲编码调制的语音或数据信号、1 路同步通道及 1 路信令通道复用成一路 E1 (2048 kb/s) 信号。PCM 终端机提供多种模拟语音接口和数据接口,通常作为 PDH、SDH、大气激光通信机等传输系统的终端机,应用于公共通信网、机动骨干通信网、野战专用通信网等多种场合。

2.18 PDH (plesiochronous digital hierarchy)

以 2.048 Mb/s 或 1.544 Mb/s 速率的数字信号为基群(一次群),通过准同步复接方式,把若干支路的低次群数字信号合成一个高次群数字信号的数字信号结构等级。中文名称为准同步数字体系、准同步数字等级、准同步数字系列等。在准同步环境中,支路和群路的时钟不同源,但均有标称的速率和允许的速率偏差。准同步复接采用码速调整技术解决支路和群路时钟不同源的问题。ITU-T G. 703 建议制定了两大系列三种体制的准同步数字体系标准(见表 2.1)。我国有关标准规定,四个一次群复接成一个二次群、四个二次群复接成一个三次群、四个三次群复接成一个四次群。

表 2.1 PDH 准同步数字系列三种体制

单位: Mb/s

次群	以 1.544 Mb/s 为基础的系列		以 2.048 Mb/s 为基础的系列		
	日本体制	北美体制	中国体制/欧洲体制	简称	
一次群	1.544	1.544	2.048	2M	E1
二次群	6.312	6.312	8.448	8M	E2
三次群	32.064	44.736	34.368	34M	E3
四次群	97.728	274.176	139.264	140M	E4

2.19 PDH 光端机 (PDH optical transmission equipment)

采用准同步数字体系和技术的光传输设备。PDH 光端机采用 PDH 技术体制,将 E1 信号、群路信号、以太网信号等数据复用,映射成为高速率的光信号进行传输,曾作为通信干线传输设备应用,目前主要用于光缆干线的引接。军用 PDH 光端机需要按照标准化、系列化、通用化、小型化和可靠性设计,具有抗恶劣环境、高可靠性特点,可适应 DC24 V、DC48 V、AC220 V 等多种电源环境。为了满足军事应用需要,设备配置灵活,可配置为 TM 或 ADM 设备,支路上下灵活;支持点对点、链形、环形等多种网络拓扑结构。

2.20 SDH (synchronous digital hierarchy)

ITU-T 规定的进行同步信息传输、复用、分插和交叉连接的标准化数字信号结构等级,中文名称为同步数字体系,同步数字系列,同步数字等级等。SDH 定

义了 5 个等级的同步传送模块(synchronous transport module, STM),第一级的速率为 155.52 Mb/s,称为 STM-1。然后以四倍率逐级递增,分别称为 STM-4、STM-16、STM-64、STM-256。SDH 为兼容 PDH,将 PDH 各群路信号作为业务信号,进行容器封装,映射到虚容器中,然后对虚容器进行定位和复用,安排到 STM 帧的确定位置上。

由于 SDH 采用同步复用方式,且各个业务信号在 STM 中的位置确定,因此可以直接从 STM 中提取通道信号,易于上下电路和交叉连接。STM 帧结构中安排了丰富的开销字节和比特,可以传送大量的网管信息,使 SDH 具有了很强的网络管理能力。SDH 信号采用光纤传输时,采用了统一的光接口,实现了不同厂家的设备在光层面上的互通。

SDH 设备包括终端复用器(terminal multiplexer, TM)、再生中继器(regenerative repeater, REG)、分插复用器(add-drop multiplexer, ADM)和数字交叉连接设备(digital cross connect equipment, DXC)等。由这些设备可组成各种结构的 SDH 网。环网是 SDH 网常见的网络结构。为保证正常的同步复用,SDH 网络内各设备的时钟应保持同步。

SDH 组网不但可以使用光纤信道,也可使用微波和卫通等信道。在试验任务中,建立在光纤信道上的 SDH 网得到了广泛的应用,在场区通信中发挥了基础传输平台的作用。

2.21 SDH 承载以太网(ethernet over SDH)

将以太网帧承载在 SDH 网上传输的技术。SDH 网和以太网的帧结构不同,传输速率也不同,以太网帧在 SDH 网上传输存在速率和帧结构适配映射问题。目前,以太网帧到 SDH 帧封装适配映射协议有两种:一种是 ITU-T X.86/Y1323 建议规定的链路接入规程(link access procedure-SDH LAPS);另外一种 ITU-T G.7041/Y1303 建议规定的通用成帧规程(generic framing procedure, GFP)。SDH 承载以太网的关键技术除了封装适配映射协议外,还有相邻级联技术与虚级联技术、链路容量调整方案等。

2.22 SDH 定位(SDH aligning)

当支路单元(tributary unit, TU)或管理单元(administrative unit, AU)适配到上层帧时,确定其信息净负荷在上层帧中位置的过程,简称定位。支路单元是在 SDH 低阶通道层和 SDH 高阶通道层之

间提供适配的信息结构,管理单元是在 SDH 高阶通道层和 SDH 复用段层之间提供适配的信息结构。具体的定位操作如下:对于支路单元,确定低阶虚容器(支路单元的信息净负荷)起点相对于高阶虚容器起点的偏移,并把所测量的偏移数值写入支路单元指针;对于管理单元,确定高阶虚容器(管理单元的信息净负荷)起点相对于复用段起点的偏移,并把所测量的偏移数值写入管理单元指针。这样由信息净负荷和指针共同组成的支路单元或管理单元在通过 SDH 系统传输时,携带偏移信息。在接收端,依据指针所包含的偏移信息,可以方便地确定信息净负荷位置,直接提取出信息净负荷。

2.23 SDH 段开销(SDH section overhead)

SDH 帧的区域之一,简称 SOH。段开销分为再生段开销(regenerator section overhead, RSOH)和复用段开销(multiplex section overhead, MSOH),主要用于 SDH 网络的运行、管理、维护和指配。

2.24 SDH 分插复用器(SDH add and drop multiplexer)

SDH 网络设备的一种,又称 SDH 插分复用器,简称 ADM。分插复用器有两个方向的群路接口和多个 PDH 支路接口,可串接在光纤线路中,在无需分接或终结整个 STM-N 信号条件下,分出和插入 STM-N 信号中的任何支路信号。分插复用器主要用作线型网中间节点和环型网节点。

2.25 SDH 复用(SDH multiplexing)

将 SDH 低阶通道层信号适配进高阶通道层,或将多个高阶通道层信号适配进复用段的过程,简称复用。SDH 成帧过程中属于复用的环节有:支路单元进入支路单元组、低阶支路单元组进入高阶支路单元组、支路单元组进入高阶虚容器、管理单元进入管理单元组、管理单元组进入高阶管理单元组、管理单元组进入同步传送模块。

2.26 SDH 复用结构(SDH multiplexing structure)

ITU-T G.707 建议规定的,采用映射、定位和复用等步骤,实现各种速率的业务信号复用成 STM-N 信号的复用路线图。低速率业务信号的复用路线是:进入容器、容器映射到虚容器、虚容器在支路

单元(TU)中定位、支路单元复用成支路单元组、支路单元组复用高阶虚容器、高阶虚容器映射到管理单元、管理单元复用成管理单元组、管理单元组复用成同步传送模块。高速率的业务信号进入容器后,可直接映射到高阶虚容器,剩下的路线同低速率信号。另外,低阶支路单元组可复用高阶支路单元组,低阶管理单元组可复用高阶管理单元组,低阶同步传送模块可复用高阶同步传送模块。

ITU-T G. 707 建议规定的 SDH 复用结构(见图 2.1)考虑到了所有速率的 PDH 信号,复用路线

比较复杂。考虑到中国的 PDH 速率等级采用的只是 2 M/8 M/34 M/140 M 系列,再加上实际使用中 8 M 速率用得不是太多,所以中国对 ITU-T G. 707 建议的 SDH 复用结构进行了简化,形成了中国自己的 SDH 复用结构(见图 2.2)。

在中国的 SDH 复用结构中,业务信号速率(用户速率)仅支持 2 M、34 M 和 140 M,相应地设有容器 C-12、C-3 和 C-4,虚容器 VC-12、VC-3 和 VC-4,支路单元 TU-12 和 TU-3,支路单元组 TUG-2 和 TUG-3,管理单元 AU-4,管理单元组 AUG-1,同步传送模块 STM-1、STM-4、STM-16、STM-64 和 STM-256。

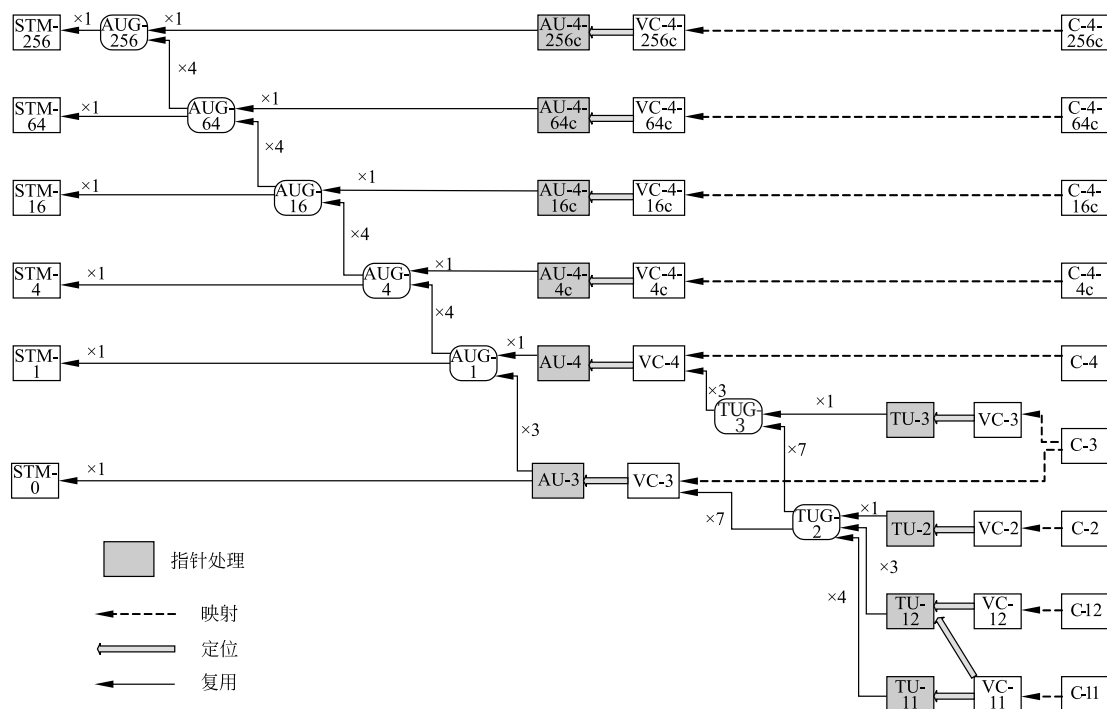


图 2.1 ITU-T G. 707 建议规定的 SDH 复用结构

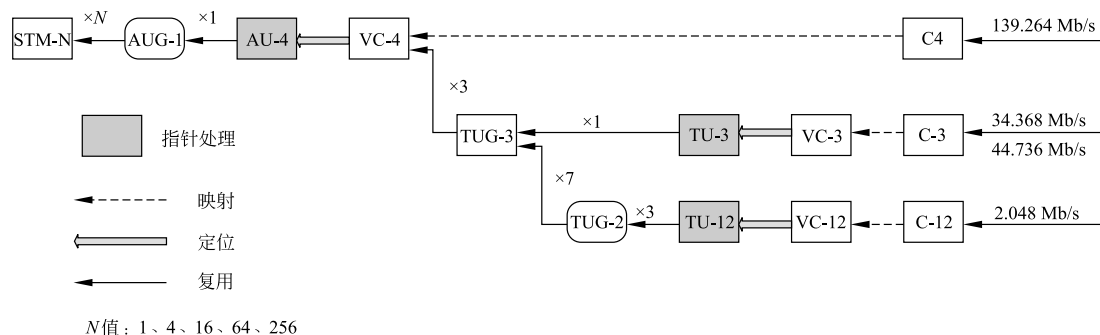


图 2.2 中国标准规定的 SDH 复用结构

2.27 SDH 管理单元(SDH administrative unit)

SDH 同步数字体系中,提供高阶通道层和复用段层之间适配的信息结构,简称 AU。管理单元由高阶虚容器和相应的管理单元指针(pointer)构成。管理单元有 AU-3 和 AU-4 两种。在 STM 帧的净荷中,具有规定位置的一个或多个管理单元的集合,称为管理单元组(administrative unit group, AUG)。1 个 AUG-1 由 1 个 AU-4 或 3 个 AU-3 按照字节交错间插而成。

2.28 SDH 光传送网(SDH transport network)

按照同步数字等级(SDH)技术体制构建的光传送网,又称光同步数字传输(送)网。SDH 光传送网的基本设备有终端复用器(TM)、再生中继器(REG)、分插复用器(ADM)、数字交叉连接设备(DXC)四种类型。终端复用器完成业务信号的接入、复用和解复用。再生中继器串接在光纤线路中,完成整个复用帧的再生中继。分插复用器完成电路的上下线路。数字交叉连接设备完成多路复用帧的交换。利用上述设备,可以组成点到点、线形、环形、星形和网状网等多种网络结构。

2.29 SDH 净荷(SDH payload)

SDH 帧的区域之一,用于存放用户信息。净荷区并非完全是用户数据,还包含了通道开销、支路单元指针等信息。

2.30 SDH 容器(SDH container)

SDH 传送网中,装载各类速率的业务信号的信息结构。业务信号指各类速率的准同步数字体系(PDH)信号。ITU-T G. 707 建议《同步数字体系(SDH)网络节点的接口》规定了 C-11、C-12、C-2、C-3 和 C-4 共 5 种标准容器,分别对应于速率为 1.544 Mb/s、2.048 Mb/s、6.312 Mb/s、34.368 Mb/s (或 44.736 Mb/s)、139.264 Mb/s 的业务信号。我国采用了 C-12、C-3(34.368 Mb/s)和 C-4。

2.31 SDH 数字交叉连接设备(SDH digital cross-connection equipment)

用于 SDH 网络的数字交叉连接设备,简称 SDXC。SDXC 拥有一个或多个符合准同步(ITU-T G. 703)和同步(ITU-T G. 707)标准的数字接口,可以在任意接口间实现接口速率(和/或其子速率)的信号连接,可提供单向、双向、广播、环回、分离接入

5 种连接类型。此外还支持 ITU-T G. 784 规定的控制与管理功能,具有保护倒换、网络恢复、通道监视、测试接入等功能。

2.32 SDH 同步传送模块(SDH synchronous transport module)

同步数字系列(SDH)中用来支持段层连接的一种信息结构,简称 STM。STM 为块状帧结构,由段开销和信息净负荷两部分组成,重复周期为 125 μ s,即 8000 fps(帧/秒)。如表 2.2 所示,STM 分为 5 个等级,即 STM-1、STM-4、STM-16、STM-64、STM-256。STM-1 的速率为 155.52 Mb/s,高等级 STM 是由低等级 STM 同步复用而成的,STM-N 由 N 个 STM-1 经字节间插而成。

表 2.2 同步传送模块等级

STM 等级	速率/(Mb/s)	简称
STM-1	155.52	155 M
STM-4	622.08	622 M
STM-16	2488.32	2.5 G
STM-64	9953.28	10 G
STM-256	39 813.12	40 G

2.33 SDH 通道开销(SDH path overhead)

位于 SDH 虚容器内,用于通道维护和管理的开销,简称 POH。位于高阶虚容器内的,称为高阶通道开销(higher order path overhead, HPOH),位于低阶虚容器内的,称为低阶通道开销(lower order path overhead, LPOH)。

2.34 SDH 系统误码性能指标(SDH system error performance index)

对 SDH 系统误码性能事件进行规范的参数及其数值要求。ITU-T G. 826 建议给出了 27 500 km 国际数字假设参考连接(hypothetical reference connection, HRX)或假设参考通道(hypothetical reference path, HRP)端到端误码性能指标,见表 2.3。针对中国的实际情况,有关标准制定了各类假设参考数字通道和假设参考数字段误码性能指标,见表 2.4~表 2.14,其中表 2.14 的工程数字段短期误码指标与距离无关。长期系统指标测试时间不少于 1 个月,短期系统指标测试时间为 24 h。

表 2.3 27 500 km 国际数字 HRX 或 HRP 端到端误码性能指标

速率/(Mb/s)	连接	通道/(Mb/s)				
	64 kb/s~ 基群速率	1.5~5	>5~15	>15~55	>55~160	>160~3500
比特/块	不适用	800~5000	2000~8000	4000~20 000	6000~20 000	15 000~30 000
严重误码秒或误块秒比(ESR)	0.04	0.04	0.05	0.075	0.16	待研究
严重误码秒比或严重误块秒比(SESR)	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
背景误块比(BBER)	不适用	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

表 2.4 6800 km 假设参考数字通道的误码指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	1.63×10^{-3}	3.06×10^{-3}	6.53×10^{-3}	待定	待定	待定
SESR	8.16×10^{-5}	8.16×10^{-5}	8.16×10^{-5}	8.16×10^{-5}	8.16×10^{-5}	待定
BBER	8.16×10^{-6}	8.16×10^{-6}	8.16×10^{-6}	4.08×10^{-6}	4.08×10^{-6}	待定

表 2.5 280 km 假设参考数字通道的误码指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	1.54×10^{-4}	2.89×10^{-4}	6.16×10^{-4}	待定	待定	待定
SESR	7.70×10^{-6}	7.70×10^{-6}	7.70×10^{-6}	7.70×10^{-6}	7.70×10^{-6}	待定
BBER	7.70×10^{-7}	7.70×10^{-7}	7.70×10^{-7}	7.70×10^{-7}	7.70×10^{-7}	待定

表 2.6 50 km 假设参考数字通道的误码指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	2.75×10^{-5}	5.16×10^{-5}	1.10×10^{-4}	待定	待定	待定
SESR	1.38×10^{-6}	1.38×10^{-6}	1.38×10^{-6}	1.38×10^{-6}	1.38×10^{-6}	待定
BBER	1.38×10^{-7}	1.38×10^{-7}	1.38×10^{-7}	6.88×10^{-8}	6.88×10^{-8}	待定

表 2.7 420 km 假设参考数字段误码性能指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	2.02×10^{-5}	3.78×10^{-5}	8.06×10^{-4}	待定	待定	待定
SESR	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-6}	1.01×10^{-6}	待定
BBER	1.01×10^{-7}	1.01×10^{-7}	1.01×10^{-7}	5.04×10^{-8}	5.04×10^{-8}	待定

表 2.8 280 km 假设参考数字段误码性能指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	3.08×10^{-5}	5.78×10^{-5}	1.23×10^{-4}	待定	待定	待定
SESR	1.54×10^{-6}	1.54×10^{-6}	1.54×10^{-6}	1.54×10^{-6}	1.54×10^{-6}	待定
BBER	1.54×10^{-7}	1.54×10^{-7}	1.54×10^{-7}	7.70×10^{-8}	7.70×10^{-8}	待定

表 2.9 50 km 假设参考数字段误码性能指标(长期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ESR	5.50×10^{-6}	1.03×10^{-5}	2.20×10^{-5}	待定	待定	待定
SESR	2.75×10^{-7}	2.75×10^{-7}	2.75×10^{-7}	2.75×10^{-7}	2.75×10^{-7}	待定
BBER	2.75×10^{-8}	2.75×10^{-8}	2.75×10^{-8}	1.38×10^{-8}	1.38×10^{-8}	待定

表 2.10 6800 km 假设参考数字通道的误码指标(短期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ES	43	89	204	待定	待定	待定
SES	0	0	0	0	0	0

表 2.11 420 km 假设参考数字通道的误码指标(短期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ES	0	2	7	待定	待定	待定
SES	0	0	0	0	0	0

表 2.12 280 km 假设参考数字通道的误码指标(短期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ES	0	0	3	待定	待定	待定
SES	0	0	0	0	0	0

表 2.13 50 km 假设参考数字通道的误码指标(短期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ES	0	0	0	待定	待定	待定
SES	0	0	0	0	0	0

表 2.14 工程数字段的误码指标(短期系统指标)

速率/(kb/s)	2048	34 368/44 736	139 264/155 520	622 080	2 488 320	9 953 280
ES	0	0	0	待定	待定	待定
SES	0	0	0	0	0	0

2.35 SDH 虚容器(SDH virtual container)

SDH 中作为逻辑通道承载相应支路,支持通道层连接的信息结构,简称 VC。虚容器由容器加上相应的通道开销(path overhead, POH)构成,分为低阶虚容器 VC-11、VC-12、VC-2 和高阶虚容器 VC-3、VC-4,分别承载 1.544 Mb/s、2.048 Mb/s、6.312 Mb/s、34.368 Mb/s(或 44.736 Mb/s)、139.264 Mb/s 速率的支路信号。虚容器是 SDH 网络中用来传送、交换、处理的最小信息结构单元,不可再分。

2.36 SDH 映射(SDH mapping)

在 PDH/SDH 边界处,将 PDH 信号适配进相应虚容器的过程,简称映射。各种速率的 PDH 信号经过码速调整和适配,以规范的速率和规则装进相应标准的容器,再加上相应的通道开销,即形成虚容器。映射包括异步映射、比特同步映射和字节同步映射 3 类。异步映射利用码速调整将信号适配装入虚容器,比特同步映射和字节同步映射无需码速调

整即可将信号适配装入虚容器。因此,异步映射时,所映射的信号无需与 SDH 网同步,对信号结构也没有限制;比特同步映射时,要求所映射的信号与 SDH 网同步,但对信号结构没有限制;字节同步映射时,不但要求所映射的信号与 SDH 网同步,而且对信号结构有要求。上述 3 类映射中,异步映射的信号无需与 SDH 网同步,对信号的结构无限制,且引入的时间延迟小,故异步映射应用最为广泛。

2.37 SDH 帧(SDH frame)

由 SDH 标准规定的 9 行、每行 270×N 个字节、每个字节 8 bit 的帧。N 是 SDH 同步传送模块的等级数,取值 1、4、16、64、256,分别对应 SDH 信号等级 STM-1、STM-4、STM-16、STM-64、STM-256。所有等级模块的帧频均为 8000 fps。如图 2.3 所示,SDH 帧分为 3 个主要区域:段开销区域、管理单元指针区域、信息净荷区域。段开销是为了保证信息净荷正常和灵活传送所必须的字节,主要供 SDH 传送网运

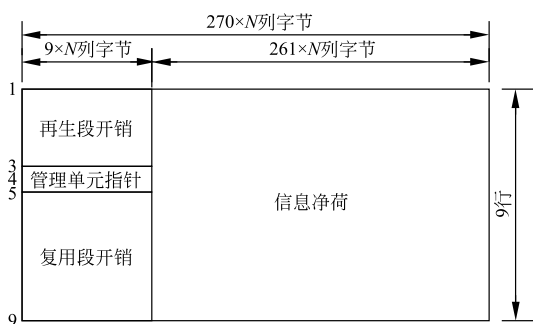


图 2.3 STM-N 帧结构

行、管理和维护使用,分为再生段开销和复用段开销两类。管理单元指针用于指示信息净荷的第 1 字节在帧内的准确位置,是一种指示符。信息净荷区域用于存放支路信息。

2.38 SDH 支路单元(SDH tributary unit)

SDH 同步数字体系中,提供低阶通道层和高阶通道层之间适配的信息结构,简称 TU。支路单元由低阶虚容器和相应的支路单元指针(pointer)构成,主要用来对虚容器进行定位。根据所定位的低阶虚容器的不同,支路单元有 TU-12 和 TU-3 两种。一个或多个支路单元经复用组成支路单元组(tributary unit group, TUG),各支路单元在支路单元组内按照字节交错间插。TUG 有 TUG-2 和 TUG-3 两种。1 个 TUG-2 可复用 3 个 TU-12,1 个 TUG-3 可复用 1 个 TU-3 或 7 个 TUG-2,1 个 VC-4 可复用 3 个 TUG-3。

2.39 SDH 指针(SDH pointer)

SDH 帧中指示虚容器净荷起点在支路单元或者管理单元的位置的信息,简称 PTR。PTR 有 TU-PTR 和 AU-PTR 两种,分别用来指示虚容器在支路单元和管理单元的位置。TU-PTR 又分为 TU-3 指针和 TU-12 指针。

正常情况下,当节点间时钟保持同步时,一个节点的发送时钟与接收时钟的频率保持一致,各虚容器在管理单元和支路单元内保持固定的位置,指针存在的必要性不大。然而当节点间时钟不同步时,发送时钟与接收时钟的频率存在偏差,各虚容器在管理单元和支路单元就无法保持固定的位置,而是随着收发时钟快慢的相对关系,发生位置的前后移动。接收时钟频率高时,位置前移,增加 1 帧内传送的比特;接收时钟频率低时,位置后移,减少 1 帧内

传送的比特。如此容纳收发时钟的频率偏差。上述位置的变化,通过改变指针的值通知给下一个节点。虚容器位置的改变,导致指针值的改变称为指针调整。

2.40 SDH 终端复用器(SDH terminal multiplexer)

SDH 网络设备的一种,简称终端复用器、端复用器、TM。终端复用器有一个 STM-N 群路接口、多个 STM-M($M < N$)接口和多个 PDH 支路接口,能够接入多个 STM-M 信号和多个 PDH 支路信号,并将其复用成一个 STM-N 信号。

2.41 SDH 自愈环(SDH self-healing ring)

出现故障时能自动恢复业务的 SDH 环形网,又称 SDH 保护环,SDH 倒换环。根据有关标准规定,SDH 自愈环的业务恢复时间限制在 50 ms 内。一个 SDH 网络中,可以有多个自愈环存在。两个自愈环之间可以相交、相切或不相连。

按照连接相邻节点所用光纤的根数,自愈环分为二纤环和四纤环。按照正常情况下业务信号是否都在同一个环向,自愈环分为单向环和双向环。按照自愈环结构,自愈环分为通道保护环和复用段保护环两大类。通道保护环以通道为保护对象,保护的是 STM-N 信号中的某个通道(一个虚容器内的信息),倒换与否由环上的通道信号的传输质量来决定。复用段保护环以复用段为保护对象,保护的是 STM-N 信号,倒换与否由环上的 STM-N 信号的传输质量来决定。实际的自愈环是上述分类方式的组合,有二纤单向通道倒换环、二纤双向通道倒换环、二纤单向复用段倒换环、二纤双向复用段倒换环和四纤双向复用段倒换环 5 种类型。

2.42 S 波段(short wavelength band)

光纤通信中波长范围为 1460~1530 nm 的波段。S 波段是短波长波段的习惯叫法,因比长波长波段的波长短而得名。光纤通信中的 S 波段与无线电通信中所定义的 S 频段实际含义不同,无线电通信中所定义的 S 频段的频率范围为 2~4 GHz。

2.43 U 波段(ultra wavelength band)

光纤通信中波长范围为 1625~1675 nm 的波段。U 波段是超长波长波段的习惯性叫法,因比长波长波段的波长还长而得名。

2.44 半导体光放大器 (semiconductor optical amplifier)

用元素周期表Ⅳ~Ⅴ族化合物半导体制成的光放大器,简称 SOA。其工作原理与半导体激光器相似,即采用与半导体激光器相同的双异质结结构,但在激光器芯片的端面采用多层抗反射涂层,将激光器内部光反射抑制到较低水平,避免产生激光,而光信号只通过放大器一次,就能得到放大。半导体光放大器的优点是:工作波段宽,覆盖 1280~1650 nm;体积小、功耗低、成本小。缺点是:与光纤耦合困难,耦合损失大;噪声和串扰较大。半导体光放大器主要用于对传输性能要求不是很高但对成本要求很高的场合,如光接入网环境。另外,利用半导体光放大器可制作全光波长变换器、高消光比开关门电路等设备和器件。

2.45 半导体激光器 (semiconductor laser diode)

以一定的半导体材料做工作物质而产生受激发射激光的器件,又称半导体激光二极管。其工作原理是通过一定的激励方式,在半导体物质的能带(导带与价带)之间,或者半导体物质的能带与杂质(受主或施主)能级之间,实现非平衡载流子的粒子数反转,当处于粒子数反转状态的大量电子与空穴复合时,便产生受激发射作用。半导体激光器的激励方式主要有电注入式、光泵式和高能电子束激励式 3 种。半导体激光器波长覆盖范围为紫外至红外波段。它的优点是波长范围宽、制作简单、成本低、易于大量生产,并且由于具有体积小、质量轻、寿命长的特点,使半导体激光器在通信领域常被用作光纤通信的光源。

2.46 背景误块 (background block error)

总误块减去不可用时间和严重误块秒期间出现的误块,简称 BBE。不可用时间和严重误块秒期间出现的误块是由突发性质的脉冲干扰产生的,因此背景误块实质上是由零星随机误码产生的。

2.47 背景误块比 (background block error ratio)

在一个确定的测试周期内,背景误块数与“总块数—不可用时间中的块数—严重误块秒中的块数”之比,简称 BBER。背景误块比是由 ITU-T G. 826 建议《用于国际固定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》定义的一个误码参数。

2.48 泵浦 (pump)

为光信号的放大提供能量的装置。泵浦是英文单词 pump 的音译,是光放大器的重要组成部分,为半导体、掺铒光纤等激活媒质中的电子提高到较高能量等级提供能量,或者通过非线性效应实现功率的转移提供能量。根据泵浦光与信号光的方向关系,泵浦分为正向泵浦、反向泵浦和双向泵浦。正向泵浦指泵浦光与需要放大的信号光沿着同一方向注入光放大器,反向泵浦指泵浦光与需要放大的信号光沿着相反方向注入光放大器。双向泵浦指泵浦光与需要放大的信号光沿着同一方向和相反方向同时注入光放大器。双向泵浦需要配置两个泵浦源。

2.49 标称中心频率 (nominal center frequency)

波分复用系统中,每个光通路中心波长所对应的频率。规定标称中心频率,是为了保证不同波分复用系统之间的横向兼容性。ITU-T G. 692 建议、G. 694.1 建议、G. 694.2 建议对波分复用系统的标称中心频率进行了规定。中国通信行业标准 YD/T 1060—2000《光波分复用系统(WDM)技术要求——32×2.5 Gb/s 部分》、YD/T 1143—2001《光波分复用系统(WDM)技术要求——16×10 Gb/s、32×10 Gb/s 部分》等对我国波分复用系统的标称中心频率进行了规定。对于 C 波段和 L 波段,我国规定标称中心频率从 184.5000 THz(1624.89 nm)起至 195.9375 THz(1530.04 nm),参考频率为 193.1 GHz,各个波长的标称中心频率间隔必须为 12.5 GHz、25 GHz、50 GHz、100 GHz 或其整数倍,当波长的标称中心频率间隔分别为 12.5 GHz、25 GHz、50 GHz、100 GHz 时,可容纳的波长通路数分别是 915 个、457 个、228 个、114 个。

2.50 波长转换器 (wavelength converter)

在波分复用系统中,将光信号从一个波长转换到另一个波长的器件,又称波长变换器。由于受到光放大器的频带、波长通路间隔等多种因素限制,经济可用的波长数目有限,导致在大规模的网络节点中,两个相同波长争用同一个输出端口的问题。使用波长转换器可以实现波长的重用和再分配,解决波长争用的问题。波长转换器分为两大类:光—电—光波长转换器和全光波长转换器。光—电—光波长转换器先用光电检测器将光信号变换为电信号,再把电信号调制到另一个波长的光载波上。这

种变换的优点是在实现波长变换的同时,可以对电信号进行再生、整形与定时;缺点是对速率和信息格式不透明。全光波长转换器不经过光电变换,直接在光域将一个波长的光信号变换为另一个波长的光信号,可实现对速率和信号格式的全透明。

2.51 波分复用 (wavelength division multiplexing)

利用波长分隔技术在一根光纤中传输多路光信号的方式,简称 WDM。发送端将多个信号调制在不同波长的光载波上,通过波分复用器(合波器)复用在一起,然后经过一根光纤传输至接收端;在接收端,利用波分复用器(分波器)将不同波长的光载波分离,由不同的检测器对分离后的光载波进行检测处理。根据波长间隔的大小,波分复用分为密集波分复用(dense wavelength division multiplexing, DWDM)、粗波分复用(coarse wavelength division multiplexing, CWDM)、宽波分复用(wide wavelength division multiplexing, WWDM)。波分复用有双纤单向传输和单纤双向传输两种方式。波分复用可以充分利用光纤的巨大带宽资源,使一根光纤的传输容量成倍甚至百倍地提高,不足之处是波分复用器件引入了较大的插入损耗,复用波长数目较多时,需精确选择激光器波长并保持波长稳定性。从频域角度来看,波分复用实质上是光频段的频分复用。

2.52 《波分复用(WDM)光纤传输系统工程设计规范》(Design Specifications for Wavelength Division Multiplexing (WDM) Fiber Transmission Engineering)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 51152—2015,2015 年 12 月 3 日,中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布,自 2016 年 8 月 1 日起实施。标准适用于 C 波段单纤单向开放式的 DWDM 系统和单纤单向开放式 CWDM 系统的设计。内容包括总则、术语和缩略语、系统组成和分类、传输系统设计、辅助系统、网络保护、传输系统性能指标、设备选型和配置、局站设备安装、本规范用词说明、引用标准名录等。

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 5092—2014。2014 年 5 月 6 日,中华人民

共和国工业和信息化部发布,自 2014 年 7 月 1 日起实施。标准适用于单纤单向开放式粗波分复用系统和 C 波段单纤单向开放式密集波分复用系统的设计。内容包括总则、术语和符号、系统组成和分类、传输系统设计、辅助系统、网络保护、传输系统性能指标、设备选型和配置、局站设备安装、附录 A(本规范用词说明)、附录 B(32/40×2.5 Gb/s WDM 主光通道光接口参数)、附录 C(32/40×10 Gb/s WDM 主光通道光接口参数)、附录 D(80×10 Gb/s WDM 主光通道参数)、附录 E(40/80×40 Gb/s WDM 主光通道参数)、附录 F(40×10 Gb/s 超长距 WDM 主光通道参数)、附录 G(80×10 Gb/s 超长距 WDM 主光通道参数)、附录 H(40×10 Gb/s 超长距单跨段 WDM 主光通道参数)、附录 J(OTU 的 Rn/Sn 接口参数)等。

2.53 《波分复用(WDM)光纤传输系统工程验收规范》(Code for Acceptance of Wavelength Division Multiplexing (WDM) Optical Fiber Transmission System Engineering)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 51126—2015,2015 年 8 月 27 日,中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布,自 2016 年 5 月 1 日起实施。标准适用于单纤单向开放式 C 波段密集波分复用和单纤单向开放式粗波分复用系统工程随工检验和竣工验收。内容包括总则、术语和符号、设备安装、设备功能检查及本机测试、系统性能测试及功能检查、竣工文件、工程验收、附录 A(测试记录样表)、本规范用词说明等。

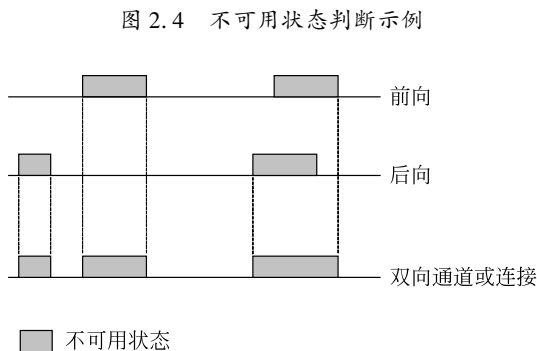
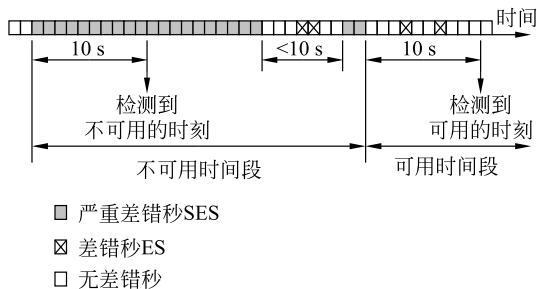
中华人民共和国通信行业标准之一,英文名称“Acceptance Specifications for Wavelength Division Multiplexing(WDM) Optical Fiber Transmission Engineering”。标准代号为 YD/T 5122—2014。2014 年 5 月 6 日,中华人民共和国工业和信息化部发布,自 2014 年 7 月 1 日起实施。标准适用于新建光波分复用传输工程施工质量检查、随工检验和竣工验收。内容包括总则、术语和符号、设备安装、设备功能检查及本机测试、系统性能测试及功能检查、竣工文件、工程验收、附录 A(本规范用词说明)、附录 B(DWDM 系统接口参考点定义)、附录 A(CWDM 系统接口参考点定义)、附录 D(测试记录样表)、本规范用词说明等。

2.54 波分复用器件 (wavelength division multiplexing device)

实现不同波长光信号合路、分路的器件。波分复用器件包括合波器和分波器:合波器将不同光源的波长信号合路在一起,便于经过一根光纤进行传输;分波器将一根光纤传输来的多个波长的光信号分路为多个独立的波长信号。有时,同一个波分复用器件既是合波器又是分波器。波分复用器的主要参数有插入损耗、隔离度、方向性、通路带宽、通路间隔、通路间损耗的均匀性、中心波长、波长温度稳定性等。波分复用器有角色散型、干涉滤波型、光纤耦合型、集成光波导型四大类,合波分波的路数可达 136 个波长。

2.55 不可用时间 (period of unavailability time)

在一个测量周期内,假设参考连接或假设参考通道处于不可用状态的累计时间。ITU-T G. 821 建议和 ITU-T G. 826 建议规定:对于一个单向通道或连接,如图 2.4 所示,连续 10 个 SES (严重差错秒,见 2.193) 事件发生定义为不可用时间的开始,并且这 10 s 算作不可用时间;当连续 10 个非 SES 事件发生时定义为新的可用时间的开始,并且这 10 s 算作可用时间。对于一个双向通道或连接,如图 2.5 所示,只要两个方向中的一个方向处于不可用状态,则该通



道或连接处于不可用状态。

2.56 测试光源 (test light source)

用于测量测试用途的光信号产生器。测试光源是光纤通信、光电子计量最常用的仪器仪表,通常按照发射的中心波长和功能来分类。按照波长,可分为 850 nm、980 nm、1310 nm、1480 nm、1550 nm 等光源;按照功能,可分为连续光、带内调制、带外调制、波长可调、分布反馈激光器等光源。为保证测量的准确性和精度,测试光源通常要求有稳定的波长、窄的光谱和稳定的光功率输出,主要技术指标包括中心波长、光谱宽带、输出电平、电平稳定度等。

2.57 差错秒 (errored second)

误码秒和误块秒的统称,简称 ES。在 1 s 时间周期内,如果有差错比特、信号丢失 (LOS),或者检测到告警指示信号 (AIS),则称该秒为误码秒。在 1 s 时间周期内,如果有误块或缺陷,则称该秒为误块秒。缺陷指异常出现的频繁程度达到了妨碍执行所要求功能的程度,如信号丢失、检测到告警指示信号、帧定位丢失 (LOF) 等。误码秒是由 ITU-T G. 821 建议《工作在比特率低于基群速率并构成 ISDN 一部分的国际数字连接的差错性能》定义的一个差错性能事件,在 ITU-T G. 826 建议《用于国际固定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》中也有完全相同的定义。误块秒是由 ITU-T G. 826 建议定义的一个差错性能事件。2002 年 ITU-T G. 826 建议颁布施行后,新的系统使用误块秒表征差错性能事件。

2.58 差错秒比 (errored second ratio)

在一个测试周期的可用时间内,差错秒数与可用时间秒数之比,简称 ESR。测试周期有长期和短期之分,长期为一年或一个月,短期为 24 h。当差错秒为误码秒时,差错秒比又称为误码秒比;当差错秒为误块秒时,差错秒比又称为误块秒比。误码秒比是由 ITU-T G. 821 建议《工作在比特率低于基群速率并构成 ISDN 一部分的国际数字连接的差错性能》定义的一个差错性能参数,在 ITU-T G. 826 建议《用于国际固定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》中也有完全相同的定义,并且在 ITU-T G. 826 建议中与误块秒比使用同一个定义,在具体应用时,需要根据差错秒是误码秒还是误

块秒,来理解差错秒比是误码秒比还是误块秒比。2002 年 ITU-T G. 826 建议颁布施行后,新的系统使用误块秒比表征差错性能参数。

2.59 掺铒光纤放大器(erbium-doped fibre amplifier)

采用掺铒光纤进行光信号放大的设备,简称 EDFA。掺铒光纤是掺入稀土元素铒离子的单模光纤,其长度为 10~30 m,掺铒后使原来无活性的光纤变为激活性光纤。掺铒光纤放大器工作波段为 1520~1570 nm,根据泵浦光与信号光的耦合形式,分为正向泵浦式、反向泵浦式和双向泵浦式(见图 2.6)3 种类型,主要由掺铒光纤、泵浦耦合器、光隔离器、泵浦等组成。其工作原理是:泵浦光经泵浦耦合器注入掺铒光纤中,掺铒光纤中的铒离子通过对泵浦光子的受激吸收,从基态能级跃迁到高能级上,并很快衰落到亚稳态能级上。在输入信号光的激励下,铒离子由亚稳态能级回到基态能级,同时辐射出大量与输入光信号同样的光子,使输入光信号得到放大。

2.60 超短波信号光端机(ultra-short wave signal optical terminal)

实现在光纤中传输频率范围为 30~1500 MHz 超短波信号的光端机。超短波模拟输入信号经过光端机内部调制后,转换成光信号输出。在接收端,光端机把光信号恢复成模拟信号输出。超短波信号光端机主要应用于卫星通信、微波通信中中频信号远距离传输,具有信息保密、不受电磁干扰、频带宽、高灵敏度、输入动态范围大、低失真、长距离无中继传输等特点。超短波信号光端机典型技术指标见表 2.15。

表 2.15 超短波信号光端机典型技术指标

光特性	波长	1310 nm/1550 nm
	出纤功率	≥+2 dBm
	光接口	FC/APC
RF 特性	带宽	30~1500 MHz
	输入电平动态范围	≥110 dB
	最小输入电平	-120 dBm
	带内平坦度	±0.75 dB
	输入输出阻抗	50 Ω
	输入输出 VSWR	≤1.35
	群时延	≤2 ns(峰—峰值)
	相位稳定度	≤2°/24 h
	增益调整范围	0~20 dB
	连接头	SMA/N 型

2.61 粗波分复用(coarse wavelength division multiplex)

波长间隔大于 8 nm、小于 50 nm 的波分复用,简称 CWDM。粗波分复用使用的波段包括 S 波段、C 波段、L 波段、E 波段和 O 波段。粗波分复用对激光器性能的要求低,可选用无温度控制的激光器来实现。

2.62 大有效面积光纤(large effective area fiber)

比常规光纤有更大有效通光面积的光纤。随着输入光纤的光功率的增加,光纤的非线性效应越来越显著,常规光纤难以适应密集波分复用和长距离传输的场合。因此需要通过增大光纤的有效面积,使光纤能够承受更大的光功率,且不产生太大的非线性效应。大有效面积光纤是一种 G. 655 光纤,其模场直径由普通光纤的 8.4 μm 增加到 9.6 μm,有效通光面积由 60 μm² 左右增大到 80 μm² 左右,降

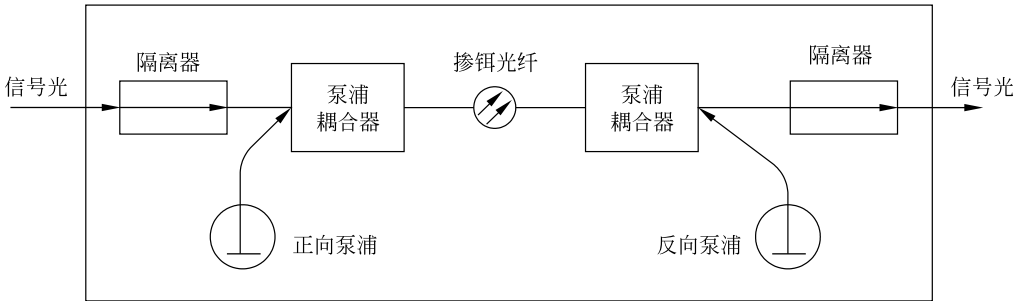


图 2.6 双向泵浦式掺铒光纤放大器组成

低了光纤中的光功率密度,有效抑制了非线性效应,对增加波分复用信道数目有良好的效果。但是,由于模场直径增加,大有效面积光纤对弯曲变得敏感,工程使用中需要加以注意。

2.63 单模光纤 (single-mode fiber)

只允许光以一种模式传播的光纤,简称 SMF。模式指电磁波的电场、磁场强度的振幅在空间的分布特征。典型的单模光纤纤芯直径为 $8 \sim 10 \mu\text{m}$,包层直径为 $125 \mu\text{m}$,工作于 $1260 \sim 1625 \text{ nm}$ 波长范围内。单模光纤传输带宽大,通常使用激光 (LD) 作为光源,适用于远距离传输场合。

2.64 《单通路 STM-64 和其他具有光放大器的 SDH 系统的光接口》(Optical Interfaces for Single Channel STM-64 and Other SDH Systems with Optical Amplifiers)

国际电信联盟制定的代号为 ITU-T G. 691 的建议。建议规范了使用前置放大器和(或)光功率放大器单通路长距离 STM-4、STM-16、STM-64 系统光接口参数和数值,以及不使用光放大的单信道 STM-64 局内和短距离系统光接口参数。内容包括范围、参考、术语和定义、缩略语、光接口定义、光参数值、光工程方法、附件 A (消光比和眼图模板限制)、附录 I (极化模色散)、附录 II (基于 SPM 色散调节描述)、附录 III (基于色散支持传输“DST”方法的色散调节)、附录 IV (光传输信号啁啾参数的测量)、附录 V (速率升级需要考虑的事项)等。

2.65 低水峰光纤 (low water peak fiber)

消除或者明显降低水峰衰减影响,可使用 $1350 \sim 1450 \text{ nm}$ 波长的单模光纤。ITU-T 将低水峰光纤称为 G. 652C/G. 652D 光纤。光纤内部存在水的氢氧离子 (OH^-),使得普通光纤在 1385 nm 波长附近有一个高的衰减峰,故称该衰减为水峰衰减。水峰衰减使光纤在 $1350 \sim 1450 \text{ nm}$ 波长范围内有大约 100 nm 的带宽无法使用。消除或者明显降低水峰衰减的影响,则可大大扩展光纤的可用带宽。

2.66 短波信号数字化传输光端机 (short-wave signal digitization transmission optical terminal)

实现 $1 \sim 30 \text{ MHz}$ 短波信号数字化传输的光端机

设备。频率范围在 $1 \sim 30 \text{ MHz}$ 的短波模拟信号,经过数字采样后,转换成光信号输出并通过光缆将光信号传输到接收端,接收端再把光信号恢复成数字信号,然后再转换成模拟信号输出。采用短波信号数字化传输光端机,可以实现短波收发信机设备无人值守以及与终端设备的分离,提高了终端设备操作人员的安全性。短波信号数字化传输光端机典型技术指标见表 2.16。

表 2.16 短波信号数字化传输光端机典型技术指标

光特性	波长	$1310 \text{ nm}/1550 \text{ nm}$
	出纤功率	$-5 \sim +5 \text{ dBm}$
	接收灵敏度	-20 dBm
	光接口	FC/APC
射频特性	频率范围	$1 \sim 30 \text{ MHz}$
	信号幅度	$-10 \sim -90 \text{ dBm}$
	输入输出阻抗	50Ω
	无失真动态范围	$\geq 75 \text{ dB}$
	三阶交调失真	$\leq -70 \text{ dBc}$

2.67 多波长计 (multi-wavelength meter)

采用迈克尔逊干涉仪原理制造,测量多通路光波的仪器。多波长计可精确测量多个光通路的中心频率和波长漂移率,测量的通路数一般在 100 个以上。缺点是动态范围小,测量光信噪比时的误差稍大。多波长计通常用来测量波分复用系统中通路中心频率和中心波长漂移率。

2.68 多模光纤 (multi-mode fiber)

允许光以多种模式传播的光纤,简称 MMF。模式指电磁波的电场、磁场强度的振幅在空间的分布特征。典型的多模光纤纤芯直径为 $62.5 \mu\text{m}$ 或 $50 \mu\text{m}$,包层直径为 $125 \mu\text{m}$,工作在 $770 \sim 910 \text{ nm}$ 和 O 波段。ITU-T G. 651 建议规定的多模光纤的纤芯直径为 $50 \mu\text{m}$ 。多模光纤传输带宽小,通常使用发光二极管 (light-emitting diode, LED) 作为光源,适用于近距离传输场合。

2.69 多业务传送平台 (multi-service transport platform)

基于同步数字系列 (synchronous digital hierarchy, SDH) 技术,同时实现时分复用 (time division multiplexing, TDM)、异步转移模式 (asynchronous

transfer mode, ATM)、以太网等业务接入、处理和传送功能,并提供统一网管的网络,简称 MSTP。MSTP 的基本原理如图 2.7 所示,在底层保持 SDH 架构不变的前提下,通过增加接口类型、协议转换、封装、映射等技术手段,向用户提供专用数字电路、以太网、ATM 等多种业务。

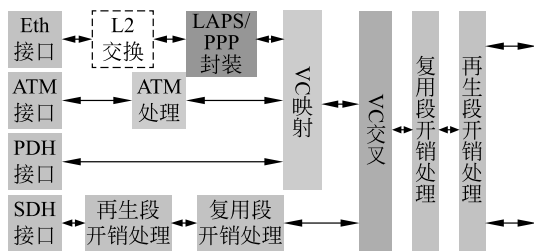


图 2.7 MSTP 原理

2.70 二纤单向通道保护环 (two-fiber unidirectional path protection ring)

SDH 光纤自愈环的一种。如图 2.8(a) 所示,二纤指由两根光纤组成,其中一根光纤用于传输业务信号,称为 S1 光纤;另一根光纤用于保护,称为 P1 光纤。单向指正常情况下所有业务信号沿一个方向即 S1 环的方向传送。通道倒换指故障发生时按通道进行倒换。发送端将业务信号同时发往 S1 环和 P1 环,接收端正常情况下只从 S1 环接收业务信号。如果接收端从 S1 环收不到业务信号,即判定 S1 环发生故障,随即切换到 P1 环接收。如图 2.8(b) 所示,BC 节点间的光纤线路被切断,C 端从 S1 环收不到 A 端发来的业务信号,故切换到 P1 环接收。而 A 端能正常从 S1 环收到 C 端发来的业务信号,故不进行通道切换。

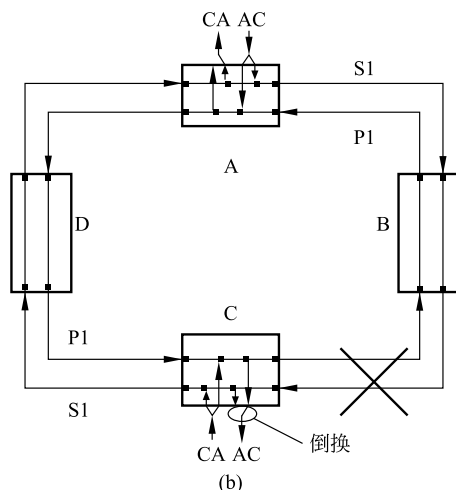
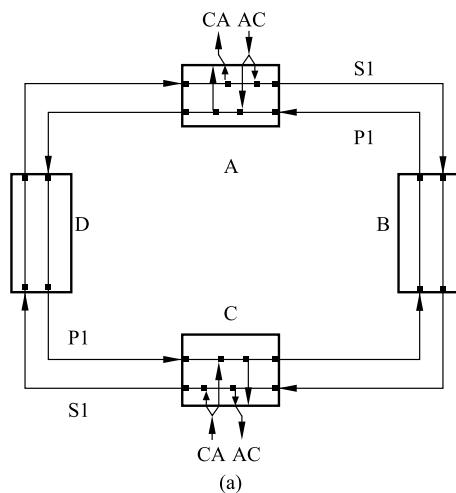


图 2.8 二纤单向通道倒换环倒换原理

线路被切断时,与切断点相邻的 B 节点和 C 节点中的倒换开关将 S1/P2 光纤与 S2/P1 光纤沟通,将 S1/P2 光纤和 S2/P1 光纤上的业务信号时隙移到另一根光纤上的保护信号时隙,从而完成保护倒换。当故障排除后,倒换开关将返回其原来位置。

2.71 二纤双向复用段倒换环 (two-fiber bidirectional multiplex section protection ring)

SDH 光纤自愈环的一种。如图 2.9(a) 所示,二纤指由两根传输方向相反的光纤组成,分别称为 S1/P2 和 S2/P1。每根光纤均有一半时隙用来传送业务信号,另一半时隙用来做保护。双向指正常情况下业务信号在两个环上传输。这样,S1/P2 光纤上的保护信号时隙可保护 S2/P1 光纤上的业务信号,而 S2/P1 光纤上的保护信号时隙可保护 S1/P2 光纤上的业务信号。复用段倒换指故障时倒换的是复用段信号而不是通道。如图 2.9(b) 所示,当 BC 节点间光纤

2.72 发光二极管 (light-emitting diode)

只产生自发辐射,发射出普通的非相干光的二极管,简称 LED。按照光输出位置的不同,发光二极管分为面发光二极管和边发光二极管两类。发光二极管没有光学谐振腔,无论注入多大的电流,都不会产生激光。发光二极管输出光功率小,调制带宽低,输出谱宽大,但线性好,对温度不敏感,不需要制冷器,可靠性高,适合中低速率短距离光传输场合应用。

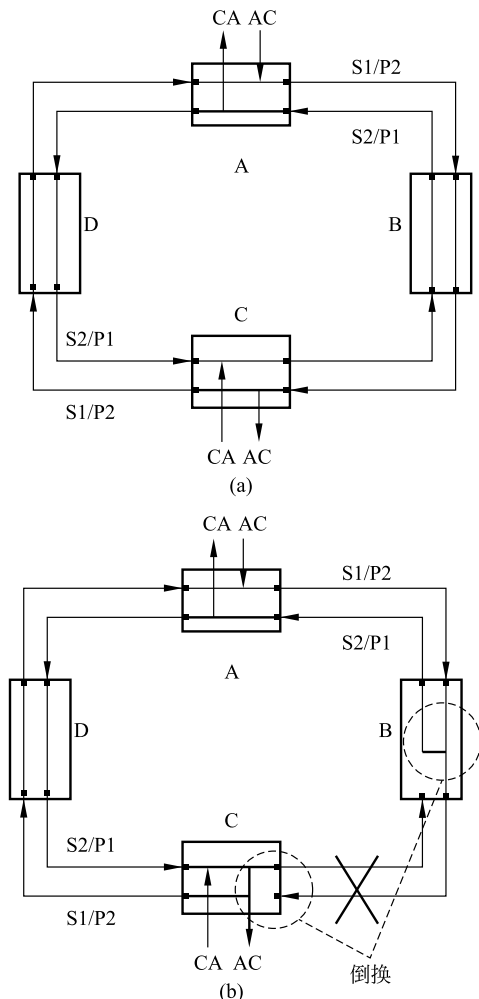


图 2.9 二纤双向复用段倒换环倒换原理

2.73 《光波分复用 (WDM) 系统测试方法》(Test Methods of Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) System)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1159—2001,2001 年 10 月 19 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2001 年 11 月 1 日起实施。标准规定了单纤单向应用的光波分复用系统技术性能指标和性能要求的测试方法,适用于单通路速率为 STM-16 和 STM-64 的集成式和开放式两种配置系统的工厂验收和工程验收。内容包括前言、范围、引用标准、光波分复用 (WDM) 系统配置和测试参考点定义、集成式发送机测试、集成式接收机测

试、波长转换器 (OTU) 测试、主光通道测试、光波分复用/解复用器测试、光放大器特性验证、光监控通路测试、传输性能测试、网管系统功能测试、WDM 系统温度循环测试等。

2.74 《光波分复用 (WDM) 系统技术要求— $16 \times 10 \text{ Gb/s}$ 、 $32 \times 10 \text{ Gb/s}$ 部分》(Technical Requirements of Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) System— $16 \times 10 \text{ Gb/s}$ 、 $32 \times 10 \text{ Gb/s}$ Parts)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1143—2001,2001 年 5 月 25 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2001 年 11 月 1 日起实施。标准规定了以 10 Gb/s 速率为基础的干线网 16 和 32 通路点到点线性 WDM 系统的技术要求,规定的光接口参数指标适用于零色散窗口为 1310 nm 的常规 G. 652 光缆系统和非零色散位移 (G. 655) 光缆系统。内容包括范围、引用标准、光波长区的分配、波分复用器件的基本要求、光放大器、光接口分类、WDM 系统光接口参数的要求、波长转换器 (OTU) 要求、WDM 系统监控通路要求、网络管理要求、网络性能、ARP 和 ALS 进程等。

2.75 《光波分复用 (WDM) 系统技术要求— $32 \times 2.5 \text{ Gb/s}$ 部分》(Technical Requirements of Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) System— $32 \times 2.5 \text{ Gb/s}$ Part)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1060—2000,2000 年 5 月 31 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2000 年 10 月 1 日起实施。标准规定了 $32 \times 2.5 \text{ Gb/s}$ WDM 系统的技术要求,适用于 $32 \times 2.5 \text{ Gb/s}$ WDM 系统,即以 SDH STM-16 速率为基础的干线网 32 通路单纤单向 WDM 系统的应用,承载信号为其他数字格式或速率的 WDM 系统可参照执行,光接口参数指标适用于零色散窗口为 1310 nm 的常规 G. 652 光缆系列,对非零色散位移 (G. 655) 光缆系统可以参照执行。内容包括范围、引用标准、光波长区的分配、波分复用器件的基本要求、光放大器、光接口分类、WDM 系统光接口参数的要求、波长转换器 (OTU) 要求、WDM 系统监

控通路要求、OADM 要求、网络管理要求、网络性能、ARP 和 ALS 进程等。

2.76 《光波分复用 (WDM) 系统总体技术要求 (暂行规定)》(General Technical Requirements of Optical Wavelength Division Multiplexing (WDM) System (Provisional Regulations))

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YDN 120—1999,1999 年 8 月 12 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2000 年 1 月 1 日起实施。标准适用于以 2.5 Gb/s 速率为基础的干线网 WDM 系统的应用,承载信号为 SDH STM-16 系统,即 2.5 Gb/s×N 的系统。标准是对基于采用共享掺铒光纤放大器 EDFA 技术和光纤 1550 nm 窗口的密集波分复用系统所提出的总体技术要求,承载信号为其他数字格式或速率的 WDM 系统可参照执行。内容包括前言、范围、引用标准、波分复用系统的分层功能和功能块定义、光波长区的分配、波分复用器件的基本要求、光放大器、光纤的选型及基本要求、光接口分类、WDM 系统光接口参数的定义及要求、波长转换器 (OTU) 要求、WDM 系统监控通路要求、网络管理要求、网络性能、WDM 系统保护、安全要求、附录 A (级联 EDFA 的 WDM 系统光信噪比“OSNR”计算)、附录 B (双向 WDM 传输的应用)、附录 C (名词术语) 等。

2.77 光传输段层 (optical transmission section-layer)

为光复用段 (OMS) 层的光信号在各类光传输媒质上的传输提供光放大、增益均衡、监控等传送功能的层网络。光传输段层是光传送网 (optical transport network, OTN) 的一个子层,位于物理媒质层 (光纤) 之上,光复用段 (optical multiplex section, OMS) 层之下。光传输段层主要的传送功能和实体有光传输段层路径、光传输段层路径源端、光传输段层路径宿端、光传输段层链路连接、光传输段层网络连接,以及光传输段层子网与连接等。为了保证光传输段层所适配的信息完整、可靠传送,光传输段层增加了开销处理、监控等功能。

2.78 光传送网 (optical transport network)

ITU-T G. 872 建议《光传送网的体系结构》等系列建议所规范,主要在光域上为客户层信号提供传

送、复用、选路、监控和处理的网络,简称 OTN。如图 2.10 所示,光传送网自下而上划分为光传输段 (OTS) 层、光复用段 (OMS) 层和光通路 (OCh) 层,可支持 PDH、SDH、ATM、IP 等客户层信号。

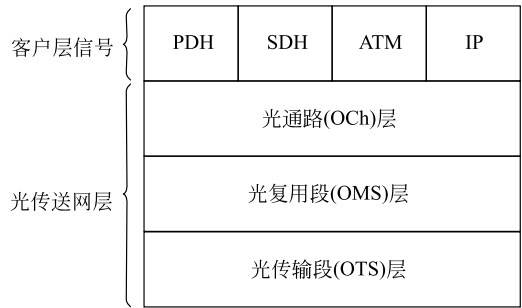


图 2.10 光传送网功能分层结构

2.79 《光传送网 (OTN) 工程设计暂行规定》(Provisional Design Specifications for Optical Transport Network (OTN) Engineering)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD 5208—2014,2014 年 5 月 6 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2014 年 7 月 1 日起实施。标准适用于采用 OTN 技术新建或扩建的光传送网 (OTN) 设计。内容包括总则、术语和符号、系统制式、网络设计、系统性能指标、网络互联要求、设备选型与配置、局站设备安装、维护工具及仪表配置、附录 A (本规范用词说明)、附录 B (域间光接口参数规范)、引用标准名录等。

2.80 《光传送网 (OTN) 工程验收暂行规定》(Provisional Acceptance Specifications for Optical Transport Network (OTN) Engineering)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD 5209—2014,2014 年 5 月 6 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2014 年 7 月 1 日起实施。标准是光传送网 (OTN) 工程施工质量检查、随工检验和工程竣工验收等技术依据,适用于新建的光传送网 (OTN) 系统工程。内容包括总则、术语和符号、设备安装、设备功能检查及本机测试、系统性能测试及功能检查、保护性能测试及功能检查、网管基本功能、OTN 控制平面检查及测试、竣工文件、工

程验收、附录 A(本规范用词说明)、附录 B(OTN 设备及 OTN 系统接口参考点定义)、附录 C(测试记录样表)、引用标准名录等。

2.81 《光传送网(OTN)网络总体要求》(General Technical Requirements for Optical Transport Network(OTN) Engineering)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1990—2009,2009 年 12 月 11 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2010 年 1 月 1 日起实施。标准规定了基于 ITU-T G.872 定义的光传送网(OTN)总体技术要求,适用于 OTN 终端复用设备和 OTN 交叉连接设备。内容包括前言、范围、规范性引用文件、缩略语、术语和定义、OTN 网络功能结构、OTN 接口要求、复用结构、网络性能要求、OTN 设备类型和基本要求、OTN 保护要求、DCN 实现方式、网络管理、控制平面要求(可选)、附录 A(可用性目标的计算)、附录 B(低速率业务映射方式)、附录 C(10G FC 业务映射方式)、附录 D(分布式基站 CPRI 接口信号 OTN 承载应用)等。

2.82 光端机(optical transceiver)

光信号传输的终端设备。光端机除了光调制和解调功能外,还包括对电信号的编解码、复用、交叉连接等功能。光端机按调制信号是模拟还是数字分类,分为模拟光端机和数字光端机;按照对电信号的处理方式分类,分为 PDH 光端机、SDH 光端机、视频光端机等。

2.83 光放大器(optical amplifier)

对光信号进行放大的有源设备。光放大器通常由增益介质、泵浦源、输入输出耦合部件组成。根据增益介质的不同,光放大器分为两大类型:一类是采用活性介质如半导体材料或者掺入稀土元素(铒、铷)的光纤,利用此类介质受到激发而产生辐射的原理实现光信号的直接放大。这类光放大器有半导体激光放大器和掺质光纤放大器。另一类基于光纤的非线性效应,利用光纤受到激发而散射的原理来实现光的直接放大。这类光放大器有光纤拉曼放大器和光纤布里渊放大器。光放大器主要技术参数有输入功率范围、输出功率范围、工作带宽、小信号增益、饱和输出功率、噪声系数、EDFA 平坦度、增益斜率等。

2.84 光分波器(optical demultiplexer)

将同一根光纤送来的多个不同波长的信号分解为单个波长分别输出的光器件。光分波器反向使用即为光合波器。光分波器和光合波器统称为波分复用器件。

2.85 光分插复用器(optical add and drop multiplexer)

光传送网中实现光信号上下和分插的设备,简称 OADM。光分插复用器主要有 3 种类型:串行结构、并行结构、串并结合结构。串行结构只对上下路的光信号进行复用和解复用处理,对直通的光信号不进行复用和解复用处理;并行结构对上下光信号、直通的光信号均进行复用和解复用处理;串并结合结构先通过子波段滤波器对上下路的光信号、直通的光信号进行滤波,然后对子波段中上下路的光信号进行复用和解复用处理,最后和直通光信号合路处理后输出。

2.86 光分组交换(optical packet switch)

通过光分组交换的形式来承载数据业务的技术,简称 OPS。光分组中,信息净荷的传输和交换在光域中完成,信头的处理和控制在光域或电域中完成。光分组交换具有传输容量大、数据率和格式透明等特点,可以提供端到端的光通道或者是无连接的传输。光分组交换网络特别适合承载具有高突发性且分布不对称的 IP 数据业务。

2.87 光分组同步(optical packet synchronization)

光分组到达交换节点的输入口与本地参考时钟进行相位对准的方式和过程。光分组交换分为两大类:同步光分组交换和异步光分组交换。对于同步光分组交换,需要使来自不同方向、不同支路的固定时间长度的光分组时隙实现同步,才能完成交换和传输。技术上光分组同步通过采用输入粗同步器和快速细同步器来实现。

2.88 光分组再生(optical packet regeneration)

清除光分组信号受到的损伤,恢复光分组信号形状的技术。光分组网中,光分组信号传输距离正比于分组跳数,由于光纤色散、非线性、串扰等影响,使光分组信号受到损伤,因此需要光分组再生。光分组再生多采用色散补偿、再定时、波形整形等技术手段。光分组再生也包括光分组头的重写。

2.89 光复用段层 (optical multiplexing section layer)

光传送网三层结构的第二层,简称OMS层。光复用段层位于光传输段层之上,光通路层之下,完成光通路层信号到多波长光信号的复用,实现波长的转换与管理,并为多波长光信号的联网提供支持。光复用段层主要的传送和功能实体有光复用段路径、光复用路径源端、光复用路径宿端、光复用段链路连接和光复用段网络连接等。为了保证光复用段层所适配的信息完整、可靠传送,光复用段层增加了开销处理、监控等功能。

2.90 光隔离器 (optical isolator)

单向通过光信号的无源光器件。光隔离器主要由起偏器、旋光器和检偏器组成。其基本原理是,起偏器和检偏器的透光轴呈 45° ,正向进入光隔离器的光信号经过起偏器,在旋光器中被旋转 45° ,恰与检偏器的透光轴方向一致,光信号得以通过。如果有反射光存在,经过检偏器,在旋光器中再次被旋转 45° ,恰与起偏器的透光轴呈 90° ,反射光被阻止通过。光通路中由于种种原因产生的发射光再次进入光源,导致光源工作不稳定,影响其技术性能。在光源输出端加光隔离器可解决这一问题。

光隔离器从结构上分为块型、光纤型和波导型;从原理上分为光纤型、波导型和微光学型,其中微光学型又分为偏振相关型和偏振无关型。

2.91 光功率放大器 (optical booster amplifier)

配置于光发射机输出端的光放大器,简称OBA。光功率放大器用于提高光发射机的发射功率,补偿光信号在传输通路中的衰减,增大光传输系统的无中继传输距离。

2.92 光功率计 (optical power meter)

测量光信号功率的仪器。根据对光功率测量方法的不同,光功率计有两种类型:热转换型和光电检测型。热转换型利用黑体吸收光功率后温度升高的度数来测量光功率的大小,光电检测型利用半导体PN结的光电效应来测量光功率的大小。热转换型光功率计具有光谱响应曲线平坦、准确度高等优点,缺点是响应时间长,成本较高,通常作为标准光功率计来使用。光电检测型光功率计根据其采用半导体类型的不同又分为PIN光电二极管和APD雪崩二极管两种类型。光电检测型光功率计具有响应

时间快的优点,不足是温度稳定性差、附加噪声大。光功率计主要技术指标包括工作波长范围、测量功率范围和功率灵敏度等。

2.93 光孤子通信 (optical soliton communication)

利用光孤子作为载体进行的光纤通信。经过长距离传输而保持形状不变的特殊光脉冲,称为光孤子。由于光脉冲包含许多不同的频率成分,若光脉冲的频率不同,其在光纤介质中的传播速度也不同,因此光脉冲在光纤中传播会产生脉冲展宽和色散现象。但当高强度极窄单色光脉冲进入光纤时,则会产生克尔效应,即介质折射率随光强度而变化,导致光脉冲产生自相位调制,即脉冲前沿产生的相位变化引起频率降低,脉冲后沿产生的相位变化引起频率升高,于是脉冲前沿比其后沿传播得慢,从而使脉宽变窄。上述两种作用恰好抵消时,脉冲保持波形稳定不变,形成光孤子。光孤子的形成是光纤群速度色散和非线性效应相互平衡的结果。衡量光孤子的主要参数有:孤子宽度、孤子间隔、孤子峰值脉冲功率等。光孤子通信相比常规光纤通信具有通信容量大、误码率低、抗干扰能力强、通信距离远的特点。

2.94 光合波器 (optical multiplexer)

将多个不同波长的光信号结合在一起经一根光纤输出的光器件。光合波器反向使用即为光分波器。光分波器和光合波器统称为波分复用器件。

2.95 光检测器 (optical photodetector)

利用光电效应,将接收的光信号线性转换为电信号并尽可能地引入最少附加噪声的器件或设备,又称光电检测器。光纤通信系统中,波长与光纤传输窗口匹配的光检测器主要包括具有本征层的光电二极管(PIN管)和雪崩光电二极管(APD管)。衡量光检测器性能的主要参数包括波长范围、响应度、响应带宽、响应速度、光检测器噪声、光检测灵敏度等。

2.96 光监控通路 (optical supervisory channel)

波分复用系统中,对光纤放大器进行监控的,具有单独波长的信息传输通路。为了保证波分复用系统的可靠性,需要增加对光纤放大器的监视和管理。但是光纤放大器只对光信号进行放大,无法在光信号中插入光纤放大器的监视和管理信息,因此需要增加一个信号通路传输这些监视和管理信息。目前

采用在一个独立的波长上传输光纤放大器的监控信息的方法,来实现对光纤放大器的监控。光监控通路主要接口参数见表 2.17。

表 2.17 光监控通路接口参数

监控波长	1510 nm
监控速率	2048 kb/s
信号码型	CMI
发送光功率	0~-7 dBm
光源类型	MLM LD
接收灵敏度	-48 dBm
帧结构	符合 ITU-T G. 704 建议
物理电接口	符合 ITU-T G. 703 建议
误码性能	$BER \leq 1 \times 10^{-11}$

2.97 光交叉连接设备 (optical cross-connection equipment)

具有交叉连接矩阵,能将光通道信号或某个波长的光信号从一根光纤连接到另外一根光纤上的设备,简称 OXC。光交叉连接设备主要由输入输出光接口、交叉连接矩阵、管理控制单元等组成。光交叉连接设备分为基于电交叉和光交叉两种类型。基于电交叉的连接设备,其外部输入输出接口为光接口,内部交叉连接矩阵为电交叉连接矩阵,故又称为光—电—光(OEO)光交叉连接设备。基于光交叉的连接设备,无论是接口还是内部交叉连接都在光域进行,故又称为光—光—光(OOO)交叉连接设备或波长交叉连接设备。

2.98 光接口(optical interface)

光传输设备与其他光传输设备通过光纤连接的接口。光接口与电接口的根据区别是穿越光接口的信号是光信号。表征光接口的特性包括光纤连接器类型、光纤类型及根数、工作波长及带宽、光调制方式、光复用方式、光线路码型、光信号发射功率范围、光信号接收灵敏度、电调制信号的速率和格式等。

2.99 光接口应用代码(optical interface application code)

国际电信联盟(ITU)对各种光接口参数进行规范和分类所编制的代码。SDH 光接口应用代码格式为 A-B.C,其中 A 为距离代码,B 为 STM 等级代码,C 为光纤类型和工作波长代码。距离代码有 I、

S、L、V、U、VSR 共 6 个: I 表示局内通信,目标通信距离为 2 km;S 表示短距离局间通信,目标通信距离为 15 km;L 表示长距离局间通信,目标通信距离为 40~80 km;V 表示甚长距离局间通信,目标通信距离为 80~120 km;U 表示超长距离局间通信,目标通信距离为 160 km;VSR 表示甚短距离通信,目标通信距离为 600 m。STM 等级代码有 1、4、16、64、256,分别对应 STM-1、STM-4、STM-16、STM-64、STM-256。光纤类型和工作波长代码有 1 或(空白)、2、3。1 或(空白)表示适用于 G. 652 光纤,工作波长为 1310 nm;2 表示适用于 G. 652 或者 G. 654 光纤,工作波长为 1550 nm;3 表示适用于 G. 653 光纤,工作波长为 1550 nm。其他光接口应用代码见 ITU-T G. 691《具有光放大器的单通路 STM-64 和其他 SDH 系统的光接口》、ITU-T G. 692《具有光放大器的多通路系统的光接口》、ITU-T G. 957《SDH 设备和系统的光接口》、ITU-T G. 959.1《光传送网物理层接口》。

2.100 光接入网(optical access network)

采用光纤作为传输媒介的接入网,又称光纤接入网或者光纤环路系统,简称 OAN。光接入网主要由光线路终端、光配线网、光网络单元、适配设备等组成。根据光配线网是由有源器件还是无源器件组成,光接入网分为有源光网络和无源光网络;根据技术体制划分,光接入网分为 PDH、SDH、ATM、以太网等接入网;根据光纤深入到用户的程度,光接入网分为光纤到路边(fiber to the curb, FTTC)、光纤到大楼(fiber to the building, FTTB)、光纤到办公室(fiber to the office, FTTT)、光纤到户(fiber to the home, FTTH)、光纤到村庄(fiber to the village, FTTV)等形式。

2.101 光接收机(optical receiver)

接收光信号并对光信号进行必要处理的设备。光接收机通常包括光检测器、光放大器、均衡器和信号处理器等部件。

2.102 光接收机灵敏度(sensitivity of optical receiver)

在满足规定误码率条件下,光接收机所需要的最小光信号平均功率。不同的光通信系统,误码率条件不同:对于 SDH 光传输系统,通常误码率条件为 $BER = 1 \times 10^{-10}$;对于含有光放大器的光接口,误码率条件为 $BER = 1 \times 10^{-12}$ 。影响灵敏度的因素有光发射机的消光比、发射点的回损、脉冲上升时间和

下降时间、接收机的响应度等。需要说明的是,SDH光传输系统定义的接收机灵敏度已将老化、温度等影响包含在内,即所规定的光接收机灵敏度指标数值是指在光接收机接近寿命终期时考虑了各种劣化后的最坏值。

2.103 光开关(optical switch)

具有多个可选的输入或输出端口,对光传输线路或集成光路中的光信号进行切换的光学器件。光开关的形式和种类有很多,按基本原理的不同主要分为机械式光开关、固体波导光开关等。光开关是光分插复用器和光交叉连接设备的核心部件。利用光开关,可实现全光层的路由选择、波长选择、光交叉连接以及自愈保护。

2.104 光缆(optical fiber cable)

对光纤进行加固和保护而形成的线缆。光缆由光纤、护层护套、提高抗拉强度的加强件以及其他构件有机组合而成。光纤的种类和特性决定了光缆线路的传输特性,光缆结构类型决定了光缆对外界机械和环境作用的适应程度。光缆分类方法多样,通常用型号表示光缆的类型。中国标准规定的光缆型号标示由6部分组成,前3部分和后3部分中间用“-”分开。

第1部分是光缆的分类代号,由两个英文字母组成,首字母G表示光缆,具体含义如下。

- GY: 通信用室(野)外(Y)光缆。
- GH: 通信用海底(H)光缆。
- GJ: 通信用室(局)(J)内光缆。
- GR: 通信用软(R)光缆。
- GS: 通信用设备(S)内光缆。
- GT: 通信用特殊(T)光缆。
- GW: 通信用无金属(W)光缆。
- GM: 通信用移动式(M)光缆。

第2部分是光缆的缆芯和光缆内填充结构特征的代号。当光缆型式有几个结构特征需要注明时,可用组合代号表示。具体含义如下。

- B: 扁平形状。
- C: 自承式结构。
- D: 光纤带结构。
- E: 椭圆形状。
- G: 骨架槽结构。
- J: 光纤紧套涂覆结构。
- T: 油膏填充式结构。

R: 充气式结构。

X: 缆束管式(涂覆)结构。

Z: 阻燃。

第3部分是护套的代号,具体含义如下。

A: 铝—聚乙烯粘结护套。

G: 钢护套。

L: 铝护套。

Q: 铅护套。

S: 钢—聚乙烯粘结护套。

U: 聚氨酯护套。

V: 聚氯乙烯护套。

W: 夹带平行钢丝的钢—聚乙烯粘结护套。

Y: 聚乙烯护套。

第4部分是铠装层代号,是1位数字或两位数字,具体含义如下。

5: 皱纹钢带。

44: 双粗圆钢丝。

4: 单粗圆钢丝。

33: 双细圆钢丝。

3: 单细圆钢丝。

2: 绕包双钢带。

0: 无铠装层。

第5部分是涂覆层代号,是1位数字,具体含义如下。

1: 纤维外被。

2: 聚乙烯保护管。

3: 聚乙烯套。

4: 聚乙烯套加覆尼龙套。

5: 聚氯乙烯套。

第6部分是光纤规格型号代号,具体含义如下。

A: 多模光纤。

B: 单模光纤。

B1.1(B1): G.652 非色散位移型光纤。

B1.2: G.654 截止波长位移型光纤。

B2: G.653 色散位移型光纤。

B4: G.655 非零色散位移型光纤。

当加强构件不是金属加强构件时,加强构件的代号插在第1部分和第2部分之间。加强构件的代号为一个字母,具体含义如下。

缺省: 金属加强构件。

G: 金属重型加强构件。

F: 非金属加强构件。

H: 非金属重型加强构件。

例如,GYFTA-53B1表示: 通信用室(野)外用

非金属加强芯油膏填充式铝—聚乙烯粘结护套皱纹钢带铠装非色散位移型光纤光缆。

2.105 《光缆通用规范》(Cables, Fibre Optics, General Specification for)

中华人民共和国国家军用标准之一,标准代号为 GJB 1428B—2009,2009 年 5 月 25 日由中国人民解放军总装备部发布,自 2009 年 8 月 1 日起施行。标准规定了军用光缆的通用要求,但不适用于海底等特殊用途的军用光缆。内容包括范围、引用文件、要求、质量保证规定、交货准备、说明事项、附录 A (小样材料燃烧产物毒性指数测定方法)、附录 B (材料向上延燃试验方法)、附录 C (释放气体产物的测定方法)等。

2.106 《光缆引接车规范》(Specification for Optic Fiber Communication Vehicle)

中华人民共和国国家军用标准之一,标准代号为 GJB 5649—2006,2006 年 5 月 17 日由中国人民解放军总装备部发布,自 2006 年 10 月 1 日起施行。标准规定了光缆引接车的技术要求和质量保证规范等,适用于采用定型越野汽车底盘改装的引接车。内容包括范围、引用文件、要求、质量保证规定、交货准备、说明事项、附录 A (车辆的一般检查)、附录 B (车门车窗可靠性试验方法)、附录 C (行驶可靠性试验行驶路面标准)等。

2.107 光耦合器(optical coupler)

实现光信号分路和(或)合路的无源光器件,又称为光方向耦合器,光功率分支器。按工作原理的不同,光耦合器分为光纤型、微光学机械型和波导型。常用的光耦合结构有 3 端口分路器(一入二出)、3 端口合路器(二入一出)、4 端口耦合器(二入二出)、 $M \times N$ 星型耦合器(M 入 N 出)、分波器、合波器。

2.108 光配线网(optical distribution network)

光接入网中位于光网络单元和光线路终端之间的光纤网络。光配线网是为光网络单元和光线路终端提供光纤连接、完成光信号功率分配功能的设施。光配线网有 4 种基本结构:单星型、树型、总线型、环型。对光配线网的基本要求是具有纵向兼容性、可靠网络结构、光分配功能、大传输容量。

2.109 光谱分析仪(spectrometer)

对光的谱特性、光纤的光波传输特性进行测量的仪器。光谱分析仪利用光栅色散分光原理实现对光谱参数的测量,主要技术指标有工作波长范围、波长准确度、波长分辨率、电平测量范围、电平测量准确度等。光谱分析仪的动态范围大、灵敏度高,但波长测量精度稍差,因此常被用来测量光信噪比和光功率。

2.110 光前置放大器(optical pre-amplifier)

配置于光接收机输入端的光放大器,简称 OPA。在光传输系统中,光前置放大器用于提高光信号的增益来补偿光信号在传输通路中的衰减,以增加光传输系统的无中继传输距离。

2.111 光时分复用(optical time division multiplexing)

光域数字信号的时分复用,简称 OTDM。在发送端,将若干路较低速率的调制光信号转换为等速率光信号,然后利用超窄光脉冲进行时域复用,形成更高速率的光信号,在接收端,再利用光学的方法解调出各个支路调制光信号。光时分复用可以有效解决限制传输速率容量的电子瓶颈,克服波分复用的某些缺点(如放大器级联导致的谱不均匀性),实现信息单波长高速率的传输。

2.112 光时域反射计(optical time domain reflectometer)

利用光纤后向瑞利散射特性,通过时域测量方法对光纤光缆参数和性能进行测试的仪器,简称 OTDR。由于光纤密度微观的不均匀性和掺杂的不均匀性等因素,光在光纤中传输时,会在光纤的每一处产生瑞利散射现象,其中一部分向后传输的瑞利散射光沿光纤回传至光发送端。对于均匀连续的光纤,后向散射光强度随着光纤长度的增长呈指数衰减,而在光纤的断裂点(或者光纤端面),后向散射呈现突变现象。光时域反射计利用上述原理,通过发射具有一定重复周期和宽度的光脉冲来检测光纤后向瑞利散射信号,经时域分析计算得到光纤性能和参数,并显示光纤损耗分布特性曲线。光时域反射计能够测试光纤长度、断点位置、接头位置、光纤衰减系数、链路损耗、接头损耗、反射损耗等参数。按照工作方式的不同,光时域反射计分为单脉冲型、编码脉冲型、相干型 3 种类型,其主要差别在于信号的检测方式。

2.113 光衰减器(optical attenuator)

使光信号功率产生定量衰减的器件。光信号功率的衰减有两种方法:一种是利用光纤位置的变化及其耦合程度的不同,如横向错位、角度倾斜、纤芯距离,实现光信号功率的衰减,这种方法多用于制作可变光衰减器;另一种是在透光性良好的玻璃基片上,通过镀上金属薄膜来吸收光能,其衰减量的大小与薄膜的厚度成正比。这种方法多用于制作固定光衰减器。可变衰减器一般带有光纤连接器,有分档进行衰减的,也有衰减量连续变化的。固定衰减器一般制成光纤连接器的形状,衰减量标准化为3~50 dB的多种规格。光衰减器是光纤通信线路、光纤通信系统测试不可缺少的无源光器件,适用于调整线路损耗、测试系统灵敏度、校正光功率计等场合。

2.114 光调制器(optical modulator)

将电信号调制到光信号上的器件。光调制器分为直接调制器和外调制器两类。直接调制器直接用电信号对光源进行调制,其主要缺点是无法克服频率啁啾的影响,色散受限距离比较短。外调制器将电信号加载在某一媒介上,利用该媒介的物理特性使光信号的光波特性和光波特性发生变化,从而间接地将电信号调制到光信号上。外调制器分为电光调制器和电吸收调制器两大类。外调制器能有效克服频率啁啾的影响,色散受限距离比较长,广泛应用在超高速长距离的光纤通信系统中。

2.115 《光同步传送网技术体制(暂行规定)》 (Optical Synchronous Transport Network Technology System (Provisional Regulations))

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YDN 099—1998,1998 年 7 月 23 日由中华人民共和国信息产业部发布,自 1998 年 10 月 1 日起实施。标准规定了光同步传送网的技术体制,适用于以光纤通信为基本传输手段的传输网,如公用电信网中的省际干线网、省内干线网、中继网以及接入网、专用电信网。其他传输手段如微波传输网也可参照使用。内容包括范围、引用标准、光波长区的分配和比特率、帧结构、同步复用结构、SDH 传送网结构、网络性能要求、光接口标准、同步光缆线路系统基本进网要求、SDH 设备的类型和基本进网要求、SDH 网同步、网络管理、SDH 与 PDH 传送网的互通、附录 A

(术语)、附录 B(对工作在 51 840 kb/s 的数字段建议的帧结构)、附录 C(光放大器配置及级联线路光放大器 SDH 系统信噪比(OSR)的计算)、附录 D(带线路光放大器 SDH 系统的监控要求)、附录 E(带光放大器 SDH 系统的安全要求)、附录 F(参考标准)、附录 G(SDH 环网的类型和特点)等。

2.116 光通道代价(optical path penalty)

光通道总劣化导致接收灵敏度下降的程度,又称光通道功率代价,单位 dB。光通道总劣化是光反射、码间干扰、模式分配噪声、激光器啁啾等诸多因素综合作用的结果,可等价于接收灵敏度下降的程度。通常,光通道代价要求不超过 1 dB,即光通道总劣化导致灵敏度下降不超过 1 dB。需要说明的是,由光放大器造成的光信噪比的降低所导致的接收机灵敏度下降,不计入光通道代价。

2.117 光通路层(optical channel layer)

光传送网三层体系结构的第三层,又称光通道层,简称 OCh 层。光通路层的上层是光传送网的服务对象——客户层,下层是光复用段层。光通路层为光传送网格式不同的各类客户层信号的光通路透明传送提供端到端支持和联网功能,其主要的传送功能和实体有光通路层路径、光通路层路径源端、光通路层路径宿端、光通路层链路连接、光通路层网络连接、光通路层子网与连接等。光通路层一般采用光交叉设备实现交叉连接功能。为了保证光通路层所适配的信息完整、可靠传送,光通路层还具有开销处理、监控等功能。

2.118 光通路开销(optical channel overhead)

光网络中,专门用于完成对光通路层性能监视与保护倒换、实现对光通路层的管理与维护的附加信息,简称 OChO。光通路开销主要内容包括光通路层保护信号、踪迹字节、服务质量、前向纠错、信号标识、串联连接监视信息、缺陷标识等。实现光通路开销传送的方式包括随路方式和非随路方式。随路方式下,业务信息和开销一起传送;非随路方式下,业务信息和开销分开传送。光通路开销可采用副载波调制、光监控通路、数字包封等手段传送。

2.119 光通信(optical communication)

以光信号作为信息载体的通信方式。广义来讲,历史上的烽火台通信以及现在仍在广泛使用的

交通信号灯、旗语、灯语(利用百叶窗和灯光)均属光通信,这些方式可称为原始光通信。现代意义的光通信主要指的是光纤通信和无线光通信。光纤通信以光信号作为信息载体,以光纤作为传输通道。无线光通信与光纤通信不同的是前者以空间作为光的传输通道。无线光通信可用于星间链路、星地链路,也可应用于地面通信。无线光通信在地面应用时,常被称为大气激光通信,由于受地面大气衰减、天气等因素影响,无线光通信传输距离近,通常为数千米。

2.120 光通信波段(optical communication band)

电磁频谱中适用于光通信工作的频谱范围。由于光通信工作频率高,在具体应用时用频率表示不方便,常用波长表示,故用波段而不用频段来表征其工作频谱。如图 2.11 所示,常用的光通信工作波段为 770~1675 nm。对于光纤通信,770~910 nm 波段常用于多模光纤通信,1260~1675 nm 波段常用于单模光纤通信。国际电信联盟(ITU)将 1260~1675 nm 波段划分为 6 个光纤通信波段,从低到高依次为 O 波段(1260~1360 nm)、E 波段(1360~1460 nm)、S 波段(1460~1530 nm)、C 波段(1530~1565 nm)、L 波段(1565~1625 nm)和 U 波段(1625~1675 nm)。

2.121 光网络单元(optical network unit)

光接入网用户侧设备,简称 ONU。光网络单元

是光接入网的组成部分,一端连接用户终端设备,另一端连接光配线网,从而实现用户业务的接入。光网络单元除了完成光—电、电—光转换功能外,还要完成语音信号的模数转换、复用、信令处理以及各种业务的接入和管理等功能。

2.122 光纤(optical fiber)

光导纤维的简称。光纤实质上是用玻璃或塑料制成的纤维状光波导。通信用的光纤多是由石英玻璃制成的横截面积很小的同轴圆柱体。从横截面上看,光纤由折射率较高的纤芯、折射率较低的包层和涂覆层 3 部分组成。光纤按照材料分类分为石英(SiO_2)光纤和全塑光纤;按照光纤截面上的折射率分布分为阶跃型(step index fiber, SIF)光纤、渐变型(graded index fiber, GIF)光纤;按照传输模式的数量分为多模光纤(multi-mode fiber, MMF)和单模(single mode fiber, SMF)光纤。按照 ITU-T 光纤建议标准分类,光纤分为 G. 651 光纤、G. 652 光纤、G. 653 光纤、G. 654 光纤、G. 655 光纤、G. 656 光纤等类型。光纤的主要技术性能参数有:衰减系数(dB/km)、色散系数($\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$)、模场直径(μm)、截止波长(nm)、宏弯损耗(dB)、零色散波长(nm)、零色散斜率($\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$)、偏振膜色散系数($\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$)等。

2.123 光纤非线性效应(fiber nonlinear effects)

光纤折射率随光的场强变化而变化,反过来又

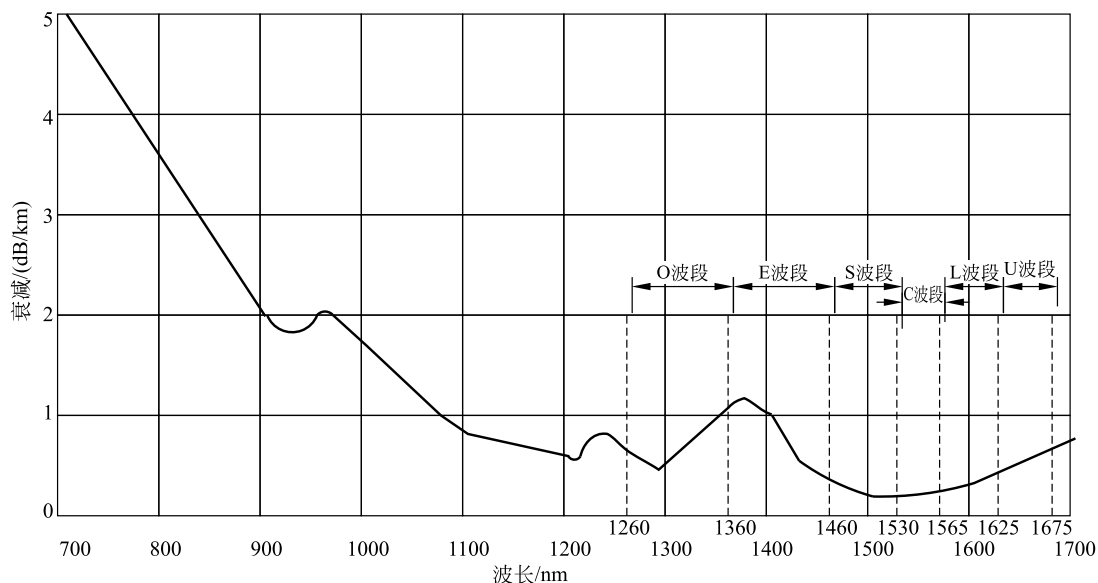


图 2.11 光通信波段

影响光场的物理现象。光纤非线性效应是光纤固有特性。当入射光纤的光信号功率较小时,光纤的非线性效应不明显。在强光场的作用下,光纤介质中的原子受到光子的作用,光纤介电常数不再是一个固定数值,而是随着光强度的变化而变化。光纤介电常数的改变,导致光纤折射率的变化,从而影响光场。光纤的非线性效应主要表现在受激布里渊散射(stimulated Brillouin scattering, SBS)、受激拉曼散射(stimulated Raman scattering, SRS)、自相位调制(self-phase modulation, SPM)、交叉相位调制(cross phase modulation, XPM)和四波混频(four-wave mixing, FWM)5个方面。非线性效应限制了光纤通信的传输容量和最大传输距离,但是对非线性效应加以利用,也可提升光纤通信能力,如利用 SRS 原理制作的拉曼放大器可实现光信号的放大,利用 SPM 原理可实现光孤子远距离通信,利用 FWM 原理制作的波长变换器可实现不同波长光信号之间的变换。

2.124 光纤光栅(fiber bragg grating)

在高功率紫外激光的干涉下,在光纤纤芯内产生沿纤芯轴向的折射率周期性变化,从而形成永久性空间的相位光栅。光纤光栅实质上是一个窄带的滤波器或反射镜,当一束宽光谱光经过光纤光栅时,其中特定波长的光产生反射,其余波长的光穿透光纤光栅。

光纤光栅具有体积小、波长选择性好、不受非线性效应影响、极化不敏感、易于与光纤系统连接、便于使用和维护、带宽范围大、附加损耗小、器件微型化、耦合性好、可与其他光纤器件融成一体等优点,在光纤通信中得到了广泛的应用。主要用于构成色散补偿器、光分插复用器、半导体激光器、光纤激光器、全波长转换器等。

2.125 光纤活动连接器(optic fiber connector)

连接光纤的可拆卸式无源光器件,简称光纤连接器。光纤活动连接器把两根光纤的端面准确地对接起来,使发射光纤输出的光能量最大限度地耦合到接收光纤中。绝大多数光纤连接器一般采用精密组件以实现光纤的对准连接。该组件由两个插针和一个耦合管组成:光纤穿入并固定在插针中,并对插针端面进行研磨抛光处理,然后将插针安装在耦合管中进行光纤的对准连接。

插针端面的接触方式有平面接触(ferrule contact, FC)、物理接触(physical contact, PC)、超级物理接触(ultra physical contact, UPC)和角度物理接触

(angled physical contact, APC)。FC 方式容易在插针端面沾染微尘,插入损耗和反射损耗性能不易提高;PC 方式将端面改进为微球面,成为了目前广泛应用的端面接触方式;UPC 方式仍为微球面接触,但端面加工处理更加精细,插入损耗和反射损耗性能更好,一般用于有特殊需求的场合;APC 方式的端面为斜 8° 的微球面,主要是为了进一步改善端面的反射损耗性能。

光纤连接器按结构分为 FC 型、SC 型、MT-RJ 型、ST 型、LC 型等。FC 型采用金属套,并用螺丝扣紧固;SC 型外壳呈矩形,采用插拔销门式紧固,不需旋转;MT-RJ 型外形与 RJ-45 型以太网接口连接器相同;ST 型采用带键的卡口式锁紧机构进行紧固;LC 型采用模块化插孔门锁机构进行紧固,其尺寸是 FC 型和 SC 型的一半。

2.126 光纤拉曼放大器(fiber Raman amplifier)

利用光纤受激拉曼散射效应原理实现光信号放大的放大器,简称 FRA。光纤拉曼放大器包括分布式光纤拉曼放大器和分立式光纤拉曼放大器:分布式拉曼放大器直接利用光传输系统的光纤作为增益介质。这种放大器需要的光纤长度较长,须达 50 km 以上,工程实施比较方便;分立式拉曼放大器利用高增益的光纤作为增益介质,工程中需要单独配置这种光纤,所需要的光纤长度较短,一般在 10 km 以内。

2.127 光线路放大器(optical line amplifier)

配置于光纤线路中间的光放大器,简称 OLA。光线路放大器只放大光信号的功率,补偿光信号在传输通路中的衰减,从而增大光传输系统的传输距离。

2.128 光纤耦合器(fiber coupler)

采用光纤制作的传送和分配光信号的无源光器件,又称光纤分路器,光纤耦合器是光耦合器的一种,用于将一根光纤的光信号分至多根光纤,具有以下几个特点:一是器件由光纤构成,属于全光纤型器件;二是光场的分波与合波主要通过模式耦合来实现;三是光信号传输具有方向性。主要技术指标有插入损耗、附加损耗、分光比和隔离度。

2.129 光纤熔接机(fiber fusion splicer)

利用电弧放电方式使光纤熔化连接在一起的设备。光纤熔接机利用平行光垂直照射光纤表面,通过显微镜接收其折射光,从而获得光纤包层轮廓、包层

与纤芯图像,然后对图像信息进行数字化处理,获得待熔接光纤的空间位置和轴向对中偏差信息。熔接机的控制单元根据偏差信息控制相关的机械伺服机构完成光纤精确对中,并根据预置参数实施放电熔接。光纤熔接机主要技术指标有适用光纤、光纤接续损耗等。

2.130 光纤收发器(fiber optical transceiver)

通过光电信号互换,利用光纤线路延长电信号传输距离的设备,又称光电转换器,简称 FOT。光纤收发器的电接口有以太网接口、E1 接口、RS-232 接口、USB 接口等,常用来延长电接口以太网的覆盖范围,附带传输其他数据。光纤收发器有多种类型:按光纤性质分类,分为单模光纤收发器和多模光纤收发器。单模光纤收发器又分为 1310 nm 波长和 1550 nm 波长两种。前者传输距离最高可达 120 km,后者传输距离在 5 km 之内;按所需光纤根数分类,分为单纤光纤收发器和双纤光纤收发器。前者接收发送均在一根光纤上进行,通常采用波分复用技术将收发分开,后者接收发送在两根不同的光纤上进行;按工作层次/速率分类,分为 100 M 以太网光纤收发器和 10/100 M 自适应以太网光纤收发器。前者工作在物理层,后者工作在数据链路层;按结构分类,分为桌面式(独立式)光纤收发器和机架式(模块化)光纤收发器;按管理类型分类,分为非网管型以太网光纤收发器和网管型以太网光纤收发器。前者即插即用,通过硬件拨码开关设置电口工作模式,后者支持电信级网络管理。

2.131 光纤通信(fiber communication)

以光信号作为信息载体,以光纤作为传输介质的光通信。基本的光纤通信系统由光发信机、光纤(光缆)、光收信机组成。光发信机由调制器、驱动器和光源组成,其作用是将电信业务信号(信息)对光源

发出的光波进行调制,然后将已调制光耦合到光纤(光缆)中;光纤(光缆)为光的传输提供通道;光收信机由光放大器、光检测器和解调器组成,其作用是完成已调光波的放大和检测,并解调出电信业务信号(信息)。光纤通信具有传输容量大、传输质量高等特点。在试验任务中,光纤通信得到了普遍的应用,成为场区通信的主要传输手段和跨场区通信的重要手段。

2.132 光纤线路码(optical fiber line code)

对光信号进行调制的基带数字信号码型。由于光纤的带宽大,线路码及其调制方式对系统性能影响不大,所以光传输系统在 10 Gb/s 及以下速率的传输线路上都采用不归零码(NRZ),这种方式简单可靠,成本低,对色度色散不敏感。随着传输速率的提高,性能更好的线路码开始被使用,主要有常规归零码(RZ)、载频抑制归零码(CS-RZ)、差分相移键控归零码(DPSK-RZ)、啁啾归零码(C-RZ)、超级啁啾归零码(SC-RZ)等。

2.133 光纤线路自动切换保护装置(optical fiber line auto switch protection equipment)

执行光纤线路自动切换保护的装置,简称 OLP。如图 2.12 所示,OLP 有 6 个光接口,包括一对接光发射机和接收机,一对接主用和备用发射光纤,一对接主用和备用接收光纤。OLP 成对应用,互发互收。发端 OLP 将光发射机送来的一路光信号 TX 分为 T1 和 T2 两路,分别通过主用光纤和备用光纤传输。收端 OLP 同时接收工作光纤和备用光纤上的光信号 R1 和 R2。正常情况下选用主用光纤的光信号 R1 输出到光接收机。当主用光纤被切断时,收端 OLP 及时从主用光纤切换到备用光纤,将光信号 R2 输出到光接收机。

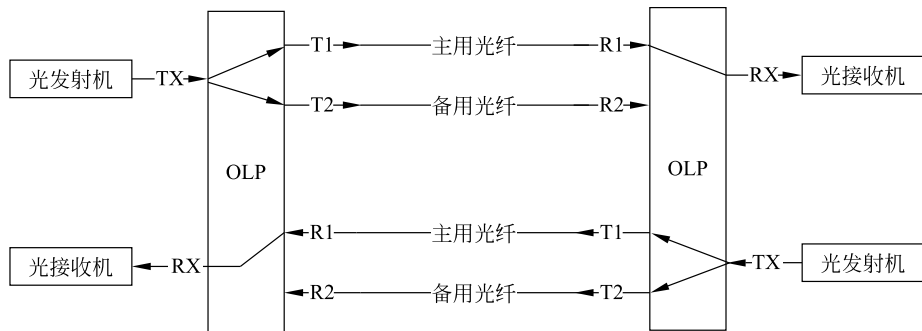


图 2.12 OLP 连接关系

2.134 光信噪比(optical signal-to-noise ratio)

接收端光通路内信号功率与噪声功率的比值,简称 SNRO。测量光信噪比时,均在光有效带宽内测量,光信号功率取峰峰值。影响光信噪比的主要因素有光纤衰耗、设备老化、光纤的非线性等。

2.135 光虚拟专用网(optical virtual private network)

智能光网络的一种业务,简称 OVPN。光虚拟专用网采用逻辑分割光网络资源方式构造,使用户感觉如同使用一个物理上的专用光网络一样。

2.136 光因特网(optical internet)

直接将 IP 包在光路上传送的因特网。如图 2.13 所示,光因特网的上层是数据网络;底层为光网络,利用波分复用来控制波长接入、交换、选路和保护;位于中间层的 IP 适配层建立数据网络与光网络之间的联系,是光因特网的关键技术。

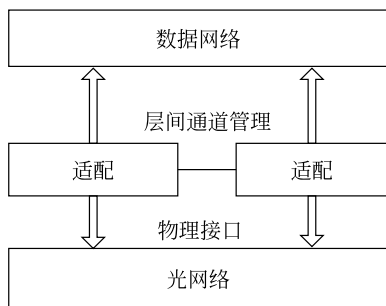


图 2.13 光因特网的分层模型

2.137 光源(light source)

完成电光转换,实现稳定可靠辐射出光波的器件或设备。光通信中,光源是光发射机的关键器件。常用的光源有半导体激光二极管(LD)和发光二极管(LED)。衡量光源的主要性能指标有光源的输出功率、光源的线性、光源的可靠性。光源还是光通信和光纤传感等领域中科研、生产和工程常用仪表,以及光纤通信系统工程建设和维护的必备工具。

2.138 光源消光比(extinction ratio)

用分贝表示的光源逻辑“1”状态下的平均输出光功率 P_1 与逻辑状态“0”下的平均输出光功率 P_0 之比,简称 EX。光源消光比计算式为

$$EX = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \quad (2-1)$$

光源消光比反映了两种发送状态下光源输出功率的相对大小。逻辑“1”状态为光源有光信号发送状态,逻辑“0”状态为无光信号发送状态。一般来讲,无光信号发送状态时,光源输出功率越小越好,即光源消光比越大越好。但对于高速光通信系统,为了提高调制速度或减小调制电流,需选取直流偏置电流大于光源(通常是 LD)的阈值电流,在这种情况下,无信号调制时的光源仍然有残余的光功率输出。另外,过大的消光比也会劣化接收机的灵敏度。因此,光源消光比并非越大越好。

2.139 光中继器(optical repeater)

为增加光信号传输距离,串接在光纤线路中,对光信号进行接收、处理然后再转发的设备,简称中继器。根据是否具有整形、定时功能,中继器分为 1R 功能中继器、2R 功能中继器和 3R 功能中继器。1R 功能中继器只有简单的光信号放大功能,没有整形和定时功能,可以适应多种类型光信号的放大,但不能消除信号损伤,还会引入信号的畸变。光放大器就是典型的 1R 功能中继器;2R 功能中继器具有整形功能但没有定时功能,可以适应多种类型光信号的放大和消除部分信号损伤,但存在抖动积累,限制了允许级联的中继器的数目。全光波长变换器就是典型的 2R 功能中继器;3R 功能中继器具有整形和定时功能,可以消除大部分信号损伤,恢复信号原状,性能最好,但由于需要获得再生信号的时钟,只能适应特定类型光信号的放大。具有光—电—光变换功能的光中继器就是典型的 3R 功能中继器。

2.140 《国际恒定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》(End-to-end Error Performance Parameters and Objectives for International, Constant bit-rate Digital Paths and Connections)

国际电信联盟制定的代号为 ITU-T G. 826 的建议。建议规定了国际恒定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标,内容包括范围、参考、术语、缩略语、块的测量、性能评价、差错性能指标、附件 A(进入和退出不可用状态的标准)、附件 B(PDH 通道性能监测与基于块参数的相互关系)、附件 C(SDH 通道性能监测与基于块参数的相互关系)、附件 D(基于信元的网络性能监测与基于块参数的相互关系)、附录 I(用于确定缺陷、错误块、ES 和 SES 等数字通道异常的流程图解)、附录 II(比特

错误和块错误的优点和不足)、附录Ⅲ(本建议对非公用网的适应性)等。

2.141 集成式 WDM 系统(integrated WDM system)

采用标准光接口接入 SDH 等终端设备的波分复用系统。标准光接口指满足 ITU-T G. 692 建议《具有光放大器的多通路系统的光接口》要求的光接口。非标准光接口的 SDH 终端设备须完成非标准光接口到标准光接口的变换,才能接入集成式 WDM 系统。集成式 WDM 系统的优点是结构简单,没有波长转换设备。

2.142 激光大气通信机(atmosphere laser communication equipment)

以大气为通信信道,以激光为信息载体,实现信息传输的通信设备。如图 2.14 所示,激光大气通信机由发射和接收两部分组成。发射部分由调制、功率驱动、激光器和光学天线组成。接收部分由光学天线、光电探测器、宽带放大、解调组成。由两台激光大气通信机可以构成激光大气通信系统,进行语音、数据、图像等信息的点对点通信。激光大气通信机通常应用于不便铺设光缆等近距离、应急使用场合。由于其抗干扰性、保密性高,激光大气通信机在军事上通常用作集团军野战综合通信系统节点中心内部通信战车之间的传输设备、指挥所入野战网的传输设备、无线接力和引接设备、机动通信设备等。

2.143 激光二极管(laser diode)

能产生激光的半导体二极管,简称 LD。其基本

原理是,向半导体 PN 结注入电流,实现粒子数的反转分布,从而产生受激光辐射,同时利用谐振腔的正反馈,产生激光振荡而增强发光强度。激光二极管分多纵模激光器和单纵模激光器两种类型。多纵模激光器存在多个纵模并同时工作。由于通常采用法布里—珀罗腔(fabry-perot cavity, FP)结构,所以又称 FP 激光器。FP 激光器主要应用于 1310 nm 窗口、622 Mb/s 及其以下传输速率的光纤通信系统。单纵模激光器是只有一个纵模工作,其他纵模受到抑制的激光器,主要有分布反馈激光器(DFB-LD)、分布布拉格反射器激光器(DBR-LD)、量子阱激光器(MQW-LD)、垂直腔面发射激光器(VCSEL)等。

2.144 极化模色散(polarization mode dispersion)

由于光纤几何形状的不均匀性,导致光信号两个相互垂直的极化状态以不同的速度传播所形成的色散,又称偏振模色散,简称 PMD。极化模色散是限制 10 Gb/s 以上高速率传输距离的因素之一。极化模色散系数是衡量极化模色散的主要指标,单位为 $\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 。在单模光纤中,光波的基模具有两个相互垂直正交的极化状态,也即偏振状态,所以极化模色散系数可通过测量单位光纤长度两个正交的极化模之间的差分群时延(different group delay, DGD)来获得。

2.145 《基于同步数字体系(SDH)的传送网体系结构》(Architecture of Transport Networks Based on the Synchronous Digital Hierarchy(SDH))

国际电信联盟制定的代号为 ITU-T G. 803 的建

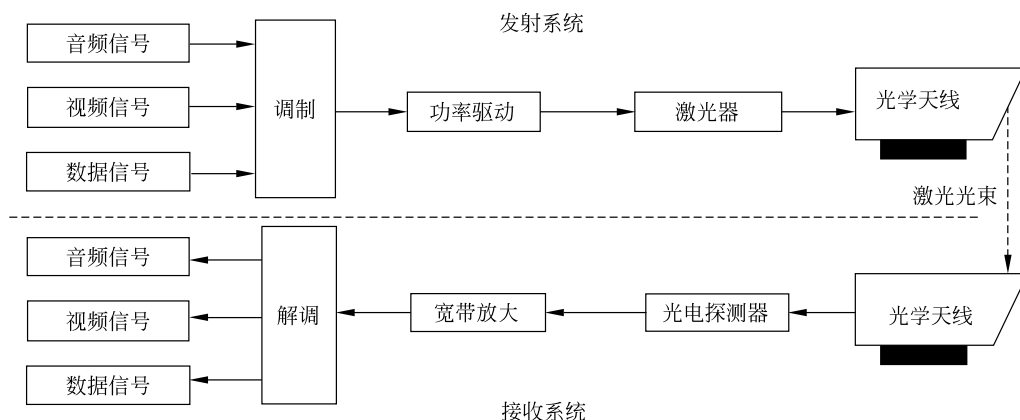


图 2.14 激光大气通信机组成

议。建议规定了 SDH 传送网的体系结构,内容包括范围、参考、术语、缩略语、G. 805 层概念的运用、连接监督、SDH 传送网可用性增强技术、同步网结构、基群速率映射的选择、附录 I (SDH 客户层与服务层的关系)、附录 II (基于 SDH 的传送网介绍)、附录 III (同步网工程指南)等。

2.146 假设参考光通道(hypothetical reference optic path)

国际电信联盟规定的光传送网假设参考通道,简称 HROP。如图 2.15 所示,该通道端到端长度为 27 500 km,包括两个本地运营商网,两个区域运营商网和 4 个骨干运营商网。

2.147 交叉相位调制(cross phase modulation)

多波长光传输系统中,一个波长光信号的相位受到其他波长光信号强度变化的影响的现象,简称 CPM。交叉相位调制使受到影响的光信号脉冲频谱展宽,对相邻通路光信号产生不利影响。通路数越多、通路间隔越小,交叉相位调制对密集波分复用系统的影响越大。

2.148 截止波长(cuto-ff wavelength)

光纤只能传播一种模式光信号的最低波长。截止波长是单模光纤特有的基本参数,不同传播模式具有不同的截止波长。通常所说的截止波长是指单模光纤基模(LP01)以外的第一个高阶模(LP11)的截止波长。当工作波长大于截止波长时,可以保证单模光纤基模(LP01)传输。理论上,可以利用光纤波导的边界条件,将光纤剖面折射率分布代入光纤标量波动方程,求解理论截止波长。实际上,至今还没有找到一个准确的实验方法来确定光纤截止波长。为了便于工程应用,采用了有效截止波长的概念,即光纤中各阶模所拥有的总功率与基模功率之比降到 0.1 dB 时的波长。国际电信联盟定义了下列 3 种有效截止波长。

(1) 长度短于 2 m 的跳线光缆中光纤的截止波长。

(2) 长度为 2~20 m 的跳线光缆中光纤的截止波长。

(3) 22 m 长光缆中光纤的截止波长。

2.149 《具有光放大器的多通路系统的光接口》(Optical Interfaces for Multi-channel Systems with Optical Amplifiers)

国际电信联盟制定的代号为 ITU-T G. 692 的建议。建议规定了使用 G. 652、G. 653、G. 655 光纤,标称跨距为 80 km、120 km、160 km 以及再生中继器目标距离超过 640 km 的比特速率在 STM-16 以上 4、8 和 16 信道系统接口参数。信道中心频率划分的基准是 193.1 THz,信道间隔是 50 GHz 和 100 GHz 的整数倍。内容包括范围、参考、术语、缩略语、光接口分类、应用、执行、参数定义、独立发射机输出、独立信道输入端口、MPI-S 和 S'点的光接口、光通道、光线路放大器参数、MPI-R 和 R'点的光接口、独立信道输出端口、独立发射机输入、光管理信道参数、光接口参数数值、附件 A(标称中心频率)、附件 B(光管理信道的两个实现方法)、附录 I(光功率电平推导方法)、附录 II(用于 WDM 设计的最小信道间隔和基准参考频率选择)、附录 III(使用 G. 652/G. 655 光纤的信道频率分配建议)、附录 IV(使用 G. 653 光纤的信道频率分配建议)、附录 V(使用 G. 653 光纤基于非等信道间隔的信道分配方法)、附录 VI(在 MPI-S 点使用预补偿)、附录 VII(G. 692 的适用范围扩展到包括双向 WDM 传输)、附录 VIII(G. 692 的适用范围扩展到包括 16、32 或者更多信道的传输)、附录 IX(G. 692 的适用范围扩展到包括 STM-64 速率)等。

2.150 绝对参考频率(absolute frequency reference)

波分复用系统复用光通道中心工作频率的绝对



图 2.15 假设参考光通道

参考点,简称 AFR。ITU-T G. 692 建议规定的绝对参考频率为 193. 1 THz,与之相对应的光波长为 1552. 52 nm。将 193. 1 THz 作为绝对参考频率,是因为氦氖激光器容易产生 193. 1 THz 的高稳定度光波。绝对参考频率加上规定的通道间隔就是各波分复用光通道的中心工作频率。

2.151 军用光纤(military fiber)

按照国家军用标准设计和制造的光纤。根据 GJB 1427A—1999《光纤总规范》和 GJB 3494—1998《偏振保持光纤规范》的规定,军用光纤分为 A、B、C 共 3 类。A 类为多模光纤,B 类为单模光纤,C 类为偏振保持光纤。

A 类光纤按照折射率分布参数、纤芯和包层的组分分类的类型,详见表 2. 18。

表 2. 18 A 类光纤类型			
类型	光纤组分	纤芯折射率分布类别	折射率分布参数 g
A1	玻璃纤芯/玻璃包层	渐变型	$1 \leq g < 3$
A2. 1	玻璃纤芯/玻璃包层	准渐变型	$3 \leq g < 10$
A2. 2	玻璃纤芯/玻璃包层	突变型	$10 \leq g < \infty$
A3	玻璃纤芯/玻璃包层	突变型	$10 \leq g < \infty$
A4	塑料光纤		

B 类光纤按照色散特性和光纤组分分类的类型,详见表 2. 19。

表 2. 19 B 类光纤类型			
类型	光纤组分	特性	标称工作波长/nm
B1. 1	玻璃纤芯/玻璃包层	非色散位移	1310
B1. 2	玻璃纤芯/玻璃包层	非色散位移	1550
A2	玻璃纤芯/玻璃包层	色散位移	1550
A3	玻璃纤芯/玻璃包层	色散平坦	1310~1550
A4		非零色散位移	1550

C 类光纤按照结构特征分类,分为 5 种类型,各类型别和标志符号见表 2. 20,结构见图 2. 16。

表 2. 20 C 类光纤类型	
型别	标志符号
熊猫型	PD
领结型	BT
椭圆应力区型	EP
类矩型	KR
椭圆芯型	EC

2.152 开放式 WDM 系统(free WDM system)

能接入非标准光接口设备的光波分复用系统。WDM 系统的标准光接口为 ITU-T G. 692 光接口,而 SDH 等光传输设备的光接口通常为非标准光接口。

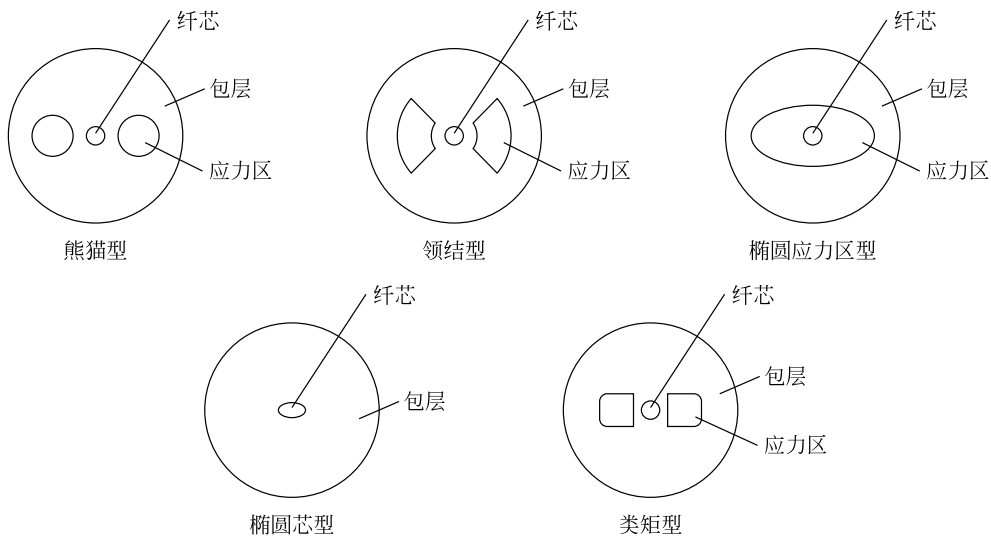


图 2. 16 C 类光纤结构

这些设备须通过波长转换器才能接入具有标准光接口的 WDM 系统。与集成式 WDM 系统相比,开放式 WDM 系统内置各种波长转换器,可直接接入 SDH 等非标准光接口的光传输设备。

2.153 克尔效应 (Kerr effect)

光纤的折射率随着光信号功率的变化而呈现的光纤非线性现象。光纤的折射率 n 可用式 (2-2) 计算得出:

$$n = n_0 + n' = n_0 + \frac{n_k P}{A_{\text{eff}}} \tag{2-2}$$

式中: n_0 ——线性折射率;
 n' ——非线性折射率;
 n_k ——非线性折射率系数;
 P ——光信号功率;
 A_{eff} ——光纤有效面积。

当光信号功率较小时, n' 很小可以忽略不计, 可以认为光纤的折射率为一恒定值。当光信号功率较大时, n' 不能忽略, 光纤的折射率随光信号功率的变化而变化, 因此光信号在光纤中的传输“路程”也随着光信号功率的变化而变化, 通过光纤传输后, 光信号的相位也会随着光信号功率的变化而变化, 而相位的变化将导致光信号频谱展宽, 此即为克尔效应。克尔效应引起光信号产生与光信号功率大小有关的相位调制, 包括自相位调制 (SPM) 和交叉相位调制 (XPM)。自相位调制是指光信号功率的变化所导致的自身相位的变化 (调制), 交叉相位调制是指一个光信号功率的变化导致另一个光信号相位的变化, 在波分复用系统中, 自相位调制 (SPM) 和交叉相位调制 (XPM) 均可导致光信道之间的相互干扰。

2.154 可用性比 (availability ratio)

在一个测量周期内, 端对端数字通道处于可用状态的时间与测量周期的百分比, 简称 AR, 常称为可用性。与此相对应, 在一个测量周期内, 端对端数字通道处于不可用状态的时间与测量周期的百分比, 称为不可用性比, 简称 UR, 常称为不可用性。可用性比是由 ITU-T G. 827 建议《端到端国际固定比特率数字通道可用性性能参数和指标》定义的一个差错性能参数。该建议规定通道速率为 1.5 Mb/s~40 Gb/s, 27 500 km 国际数字假设参考通道端到端可用性指标为 98% (高优先级) 和 91% (标准优先级), 指标的测量周期为 1 年 (连续 365 天), 测量的滑动窗口为 24 h。对于不同长度的通道, ITU-T G. 827 建

议也给出了可用性比的计算方法。中国通信行业标准 YDN 099—1998《光同步传送网技术体制 (暂行规定)》规定的可用性目标如表 2.21 所示。

表 2.21 数字段可用性目标

长度/km	可用性/%	不可用性	不可用时间/(min/a)
$L \geq 420$	99.977	2.3×10^{-4}	120
$420 > L \geq 280$	99.985	1.5×10^{-4}	78
$L < 280$	99.99	1.0×10^{-4}	52

2.155 宽波分复用 (wide wavelength division multiplexing)

波长间隔大于 50 nm 的波分复用。宽波分复用使用 S 波段、C 波段、L 波段、E 波段、O 波段。宽波分复用对激光器性能的要求比粗波分复用的要求更低。

2.156 冷熔连接 (cold fusion connection)

采用粘接方式实现的光纤固定连接, 简称冷熔。冷熔连接首先依靠辅助工具, 使光纤端头精确对准, 然后将粘接剂渗透到光纤端面之间, 从而将两根光纤连接起来。根据辅助工具的不同, 粘接法分为 V 型槽法、套管法、旋转机械法等。对于单模光纤, 接头损耗通常为 0.20~0.05 dB, 平均为 0.1 dB, 最低可至 0.035 dB。冷熔连接具有快速、方便等特点, 多应用于应急通信场合, 因此又称为“应急连接”。

2.157 联合法系统设计 (joint method system design)

按照标准的光参数进行设计不能满足实际工程要求, 需要与设备生产厂商就工程特殊要求、设备可实现的技术水平进行协商, 并达成共识的光传输系统设计方案。联合法系统设计是一种主要针对特殊环境而采用的设计方法, 如超长距离传输、海底光缆系统等。联合法所设计的工程设备多为新研制设备。

2.158 链路容量调整方案 (link capacity adjustment scheme, LCAS)

ITU-T G. 7042/Y. 1305 建议规定的, 动态调整 SDH 传送网或光传送网虚级联组容量的技术。当虚级联组中某一个虚通路发生故障时, LCAS 自动将失效的虚通路从虚级联组中删除, 减少虚级联组的可用容量并保持虚级联组可用; 当该虚通路故障

恢复后,自动恢复虚级联组的可用容量。为此,LCAS定义了一整套控制分组,描述虚级联组通路状态并控制虚级联组通路源端和末端动作,以保证通路源端和末端协调一致。在SDH传送网中,LCAS控制分组采用SDH低阶通道开销K4字节传送。提供虚级联组通路源端和末端适配功能。

2.159 零色散波长 (zero-dispersion wavelength)

色散为零时的光信号波长。光纤中存在波导色散和材料色散,当光信号的波长等于零色散波长时,波导色散与材料色散相互抵消,色度色散系数最小,接近或等于零。

2.160 零色散斜率 (zero-dispersion slope)

色度色散系数随波长变化曲线在零色散波长处的斜率。零色散斜率反映了在零色散波长处,色度色散系数随波长变化的快慢。工程中,零色散斜率是色散补偿技术必须使用的重要参数。

2.161 路径保护 (path protection)

当工作路径失效或者性能劣化到指定阈值时,由预先设定的备份路径代替工作路径的技术措施。路径在接入点之间传递有效特征信息,由近端路径终端功能、网络连接、远端路径终端功能结合构成。路径保护是一种复用段和数字段保护,最简单的路径保护是线性1+1保护。

2.162 密集波分复用 (dense wavelength division multiplexing)

波长间隔小于8 nm的波分复用,简称DWDM。密集波分复用使用S波段、C波段、L波段。密集波分复用的实现需要依靠稳定、高质量、温度控制、波长控制的激光器来保证。

2.163 模场直径 (mode field diameter)

光纤截面上基模光分布的直径,简称MFD。基模光在纤芯轴心线处光强最大,并随着偏离轴心线的距离增大而逐渐减弱,通常将光功率为轴心线的 e^{-2} 各点所围成圆的直径视为模场直径。模场直径的大小与所使用的波长有关,随着波长的增加,模场直径增大。1310 nm波长的模场直径典型值为 $(9.2 \pm 0.5) \mu\text{m}$,1550 nm波长的模场直径典型值为 $(10.5 \pm 1.0) \mu\text{m}$ 。模场直径反映了光能量在光纤截面上的分布情况,

模场直径越大,能被有效使用的光纤截面越大。在传输同样光能量的条件下,可降低光纤横截面的光能量密度,减小非线性效应。

2.164 目标传输距离 (object transmission distance)

传输设备或系统标称的传输距离。光传输设备或系统以目标传输距离为设计依据之一。常用的光传输设备或系统目标传输距离有160 km、120 km、80 km、60 km、40 km、20 km等。

2.165 频率啁啾 (frequency chirp)

单纵模激光器(SLM-LD)的工作波长随调制信号的强弱变化而发生漂移的现象。单纵模激光器采用强度直接调制时,调制信号的强弱变化引起驱动电流的变化,驱动电流的变化引起有源层的载流子变化,载流子的变化引起有源层的禁带宽度发生波动,禁带宽度发生波动导致工作波长的漂移。同时载流子的变化还会引起有源区的折射率指数发生变化,结果是使激光器谐振腔的光路径长度随之变化,造成激光器谐振腔固有振荡频率间隔的改变,也会影响单纵模激光器工作波长的稳定性。频率啁啾通常采用外调制技术予以克服。

2.166 全光波长转换器 (all optical wavelength converter)

不经过光电变换,直接在光域内将一个波长的光信号变换为另一个波长的光信号的设备,简称AOWC。其基本原理是利用光学媒介的各种非线性效应如交叉相位调制(XPM)、交叉增益调制(XGM)、四波混频(FWM)等实现波长变换。全光波长转换器主要有基于半导体放大器的全光波长转换器、基于半导体激光器的全光波长转换器、基于光纤的全光波长转换器3种。全光波长转换器的主要优点是实现全光传输,避免光电转换带来的容量瓶颈等缺点。

2.167 全光通信 (all optical communication)

光信号在网络中不需要光电、电光转换的通信。光通信发展的前期,光信号在复用器、分插复用器和交叉连接设备、再生中继器中,须先转换成电信号,然后再转换成光信号输出。将上述对电信号的处理改为对光信号的处理,实现没有电信号只有光信号的通信,故称全光通信。全光通信的优点是,不受检测器、调制器等光电器件响应速度的限制,对比特率

和调制方式透明,可大大提高节点的吞吐量。

全光通信的关键技术是光交换技术。光交换技术分为光电路交换(optical circuit switching, OCS)和光分组交换(OPS)两种主要类型。光电路交换类似于现存的电路交换技术,采用光交叉连接设备(OXC)、光分插复用器(OADM)等光器件设置光通路,中间节点不需要使用光缓存。根据交换对象的不同,光电路交换又分为光时分交换技术、光波分交换技术、光空分交换技术和光码分交换技术。光电路交换在光子层面的最小交换单元是整条波长通道上数 Gb/s 的流量,很难按照用户的需求灵活地进行带宽的动态分配和资源的统计复用。为解决这一问题,需要采用分组交换的思想,实现光分组交换。光分组交换根据对控制包头处理及交换粒度的不同,分为光分组交换(OPS)、光突发交换(optical burst switching, OBS)、光标记分组交换(optical multi-protocol label switching, OMPLS)。

组成光交换系统的核心器件是光开关器件、光缓存器件、光逻辑器件和全光波长转换器。光开关是构成光交叉连接设备和光分插复用器的主要器件;光缓存是光分组交换的核心器件,目前还没有全光的随机存储器,只能通过无源的光纤延时线(FDL)或有源的光纤环路来模拟光缓存功能;光逻辑器件由光信号控制其状态,用来完成各类布尔逻辑运算。目前光逻辑器件的功能还较简单;全光波长转换器是波分复用和全光交换的关键部件。

2.168 热熔连接(hot fusion connection)

采用加热融化方式实现的光纤固定连接,又称永久性光纤连接,简称热熔。光纤熔接机是用于热熔连接的专用设备。在使两根光纤的端头对准后,采用局部放电,将光纤端头部分加热融化而成为一体。对于单模光纤,接头损耗通常为 0.01~0.03 dB。热熔连接的接续损耗是所有连接方法中最小的,广泛应用于架空、地理、管道等多种环境下的光纤接续。

2.169 色度色散系数(chromatic dispersion coefficient)

单位长度光纤中,传播时延对波长的导数,简称色散系数。色度色散系数常用 $D(\lambda)$ 表示(其中 λ 为波长),单位为 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。色度色散系数为负数,表明光信号脉冲的长波长分量的光比短波长分量的光传得快;为正数,则情况正好相反。利用正、负色度色散系数抵消的方法,可以减小甚至消除光脉冲的展宽。

2.170 色散(dispersion)

光脉冲信号在光纤中传播时产生的信号展宽现象。色散是由于光信号中的不同频率成分或不同的模式分量在光纤中以不同的速度传播造成的。色散严重时,前后脉冲互相重叠,形成码间干扰,增加误码率,故色散是限制无中继传输速率和传输距离的主要因素之一。色散分为模式色散和色度色散两类。模式色散又称模间色散,只存在于多模光纤中,是由于不同模式的波传播速度不同造成的,主要与光纤折射率分布、光纤材料折射率的波长特性等因素有关。色度色散又称模内色散,分为材料色散和波导色散两种。材料色散是由于光纤折射率随波长改变造成的,主要与光纤折射率的波长特性、光源的谱线宽度等因素有关。波导色散是由于光纤中某一模的传输常数随波长改变造成的,与波导尺寸、纤芯与包层的相对折射率差等因素有关。

2.171 色散补偿光纤(dispersion compensating fiber)

对常规光纤进行色散补偿以减小光纤线路总色散的光纤,简称 DCF。G. 652 和 G. 655 等常规光纤的色散为正。色散补偿光纤利用光纤的波导色散效应,通过计算和设计光纤的纤芯和包层的折射率分布,使 1550 nm 处的色散为负,从而抵消常规光纤的正色散,以保证整条光纤线路的总色散近似为零。色散补偿光纤是无源器件,理论上可放置在光纤线路的任何位置。色散补偿光纤可分为基于基模的和基于高次模的两种类型:基于基模的通常采用较小的光纤内径和适当的折射率,获得较大的光纤波导负色散;基于高次模的通常采用模式转换方法,获得较大的光纤波导负色散。

2.172 受激布里渊散射(stimulated Brillouin scattering)

光纤中后向散射光导致入射光衰减的现象,简称 SBS。光纤内部存在微弱的声子波,声子波的频率在千兆赫兹左右。而声子波在光纤内部传播会导致光纤物质密度分布的起伏。当一定强度的信号光入射到光纤中时,引起声子振动,出现散射效应。由于物质密度起伏是随着声子波一起变化的,因此散射光会发生频移,如果散射光相对于入射光的频移等于声子频率,使后向散射光从入射光处获得增益,最终结果是导致入射光衰减。此时称这种散射光为

受激布里渊散射光。受激布里渊散射与受激拉曼散射类似,但有显著区别:受激布里渊散射出现在后向散射方向,与入射光方向相反;受激布里渊散射峰值增益高,而增益带宽和频移小。受激布里渊散射效应限制了入纤光功率的大小。

2.173 受激拉曼散射 (stimulated Raman scattering)

光纤入射光的强度达到一定程度后出现的散射现象,简称 SRS。入射光达到一定程度后,强光电场与原子中的电子激发、分子中的振动或者与晶体中的晶格振动相耦合,使入射光被调制,产生上下两个边带,即受激拉曼散射。下边带(低频率)称为斯托克斯线,上边带(高频率)称为反斯托克斯线。边带与入射光之间的频率间隔称为斯托克斯频率。拉曼散射光具有很强的受激特性,方向性强,信号强度高,几乎可达到与入射光同样的强度。受激拉曼散射对单波长光传输系统影响较小,对 WDM 系统特别是 DWDM 有影响。另外,利用受激拉曼散射原理可以实现光信号的放大。

2.174 数字交叉连接设备 (digital cross-connection equipment)

实现对多路数字信号的解复用、交叉连接、再复用的设备,简称交叉连接设备,DXC。交叉连接设备相当于一个自动的数字电路配线架,其核心部分是可控的交叉连接矩阵。交叉连接设备有两大类:PDH 交叉连接设备和 SDH 交叉连接设备。PDH 交叉连接设备可实现不同等级的 PDH 信号以及任意 E1 信号之间 64 kb/s 通路的交叉连接,并具有对随路信令(CAS)处理、配置、管理等功能。SDH 交叉连接设备可实现不同等级的 PDH 信号、SDH 信号的交叉连接。

通常用 DXC m/n 表示交叉连接设备的类型和性能。 m 表示 DXC 端口速率的最高等级, n 表示 DXC 能够进行交叉连接的最低速率级别。 m 、 n 取值与速率等级的对应关系如下。

- 0: 64 kb/s。
- 1: 2.048 Mb/s。
- 2: 8.448 Mb/s。
- 3: 34.368 Mb/s。
- 4: 139.264 Mb/s、155.520 Mb/s。
- 5: 622.08 Mb/s。
- 6: 2488.32 Mb/s。

交叉连接设备的主要指标有误码性能、同步、定时、响应时间等。

2.175 数字视音频光传输设备 (digital video and audio optical transmission equipment)

通过光纤信道,实现多路视频信号、伴音信号数字化传输的设备。数字视音频光传输设备在发送端对输入的视频信号、伴音信号进行高分辨率采样及时分复用处理后,采用数字化传输,在接收端把光信号恢复成数字信号,然后再转换成视频信号、伴音信号输出。数字视音频光传输设备主要应用于图像监控、广播电视、会议电视等场合。典型数字视音频光传输设备主要技术指标见表 2.22。

表 2.22 典型数字视音频光传输设备技术指标

光特性	光源	LD
	波长	1310 nm/1550 nm
	光纤类型	单模
	光纤连接器	FC/PC 或 FC/APC
视频特性	带宽	40 Hz~6 MHz
	平坦度	± 0.4 dB
	编码位数	12 bit
	加权信噪比(S/N)	≥ 70 dB
	视频接口	1V _{p-p} /75 Ω
	微分增益(DG)	$\pm 0.5\%$
	微分相位(DP)	$\pm 0.5^\circ$
	色度/亮度增益差	$\pm 1.5\%$
	色度/亮度时延差	± 10 ns
伴音特性	带宽	20 Hz~15 kHz
	幅频特性	± 0.4 dB
	编码位数	16 bit
	信噪比(S/N)	≥ 75 dB
	伴音接口	卡侬,平衡/莲花,非平衡
	电平	0 dBm, 600 Ω
数据特性	失真度	$\leq 0.25\%$
	数据速率	≤ 1 Mb/s
	误码率	$\leq 1 \times 10^{-9}$
	数据接口	RS422

2.176 数字网假设参考通道 (hypothetical reference path of digital network)

国际电信联盟(ITU)规定的用于数字网设计和规划的假设参考通道,简称 HRP。如图 2.17 所示,该通道端到端长度为 27 500 km,包括两个国内部分



图 2.17 数字网假设参考通道

和一个国际部分。国际部分最多包括 7 个国际接口局。

2.177 衰减系数 (attenuation coefficient)

用分贝表示的单位长度光纤上光信号功率的衰减值,又称损耗系数,单位 dB/km。造成光纤衰减的主要因素有吸收损耗、散射损耗、辐射损耗。吸收损耗又包括红外吸收、紫外吸收、OH⁻ 离子吸收、金属离子吸收等。散射损耗包括瑞利散射损耗、波导散射损耗、非线性散射损耗等。这两项损耗是光纤材料本身所固有的,又称本征损耗。辐射损耗与光纤的弯曲有关,当光纤弯曲到一定的曲率半径时,就会产生辐射损耗。单模光纤在 1310 nm 波长区的衰减系数典型数值为 0.4 dB/km,在 1550 nm 波长区的衰减系数典型数值为 0.3 dB/km。测量光纤衰减系数的方法主要有剪短法、插入法和背向散射法。

2.178 四波混频 (four-wave mixing)

介质中 4 个光电场相互作用的三阶非线性光学过程,简称 FWM。在光纤通信中,四波混频特指两个或者 3 个不同波长的光波在光纤的非线性作用下,产生三阶混频产物的现象。如图 2.18 所示,频率分别为 f_1 和 f_2 的两个光波在光纤的非线性作用下,产生的三阶混频产物的频率分别为 $2f_1 - f_2$ 和 $2f_2 - f_1$ 。在波分复用系统中,光信道间隔越小(信道数越多)、单个光信号功率越大、光纤色度色散系数

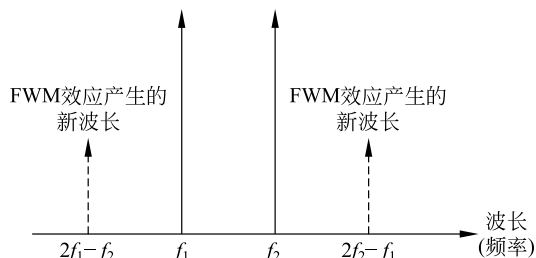


图 2.18 四波混频示例

斜率越大,则四波混频越严重。四波混频对波分复用系统影响很大,一旦出现就不可避免地产生信道间串扰。工程上,避免或者降低四波混频影响的主要方法是加大光纤有效面积和限制光纤色散。

2.179 四纤双向复用段倒换环 (four-fiber bi-directional multiplex section protection ring)

SDH 自愈环的一种。如图 2.19(a) 所示,四纤指有 4 根光纤,其中两根传送业务信号,分别称为 S1 和 S2;另外两根分别作为 S1 和 S2 的保护,分别称为 P1 和 P2。双向指正常情况下业务信号在 S1 和 S2 两个不同的环上传送。复用段倒换指故障时倒换的是复用段信号而不是通道。正常情况下,从 A 节点进入环,以 C 节点为目的地的低速支路信号顺时针沿 S1 环传输;从 C 节点进入环,以 A 节点为目的地的低速支路信号逆时针沿 S2 环传输。保护环 P1 和 P2 是空闲的。如图 2.19(b) 所示,当 BC 节点间的 4 根光纤全部被切断时,B 节点的倒换开关将 S1 光纤和 P1 光纤沟通,S2 光纤和 P2 光纤沟通;C 节点的倒换开关将 S2 光纤和 P2 光纤沟通,S1 光纤和 P1 光纤沟通;其他节点保持不变。故障排除后,倒换开关恢复到原来位置。

在四纤双向复用段倒换环中,仅仅节点失效或光缆切断才需要利用环回方式进行保护,而设备板或单纤失效等单向故障可以利用区段保护方式进行保护。增加区段保护后,可以使四纤双向复用段倒换环抗多点失效,从而使通道可用性大大增加。此外,增加区段保护方式还有利于实现定期维护测试的工作。

2.180 《同步数字体系 (SDH) 的网络节点接口》(Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH))

国际电信联盟制定的代号为 ITU-T G. 707 的建

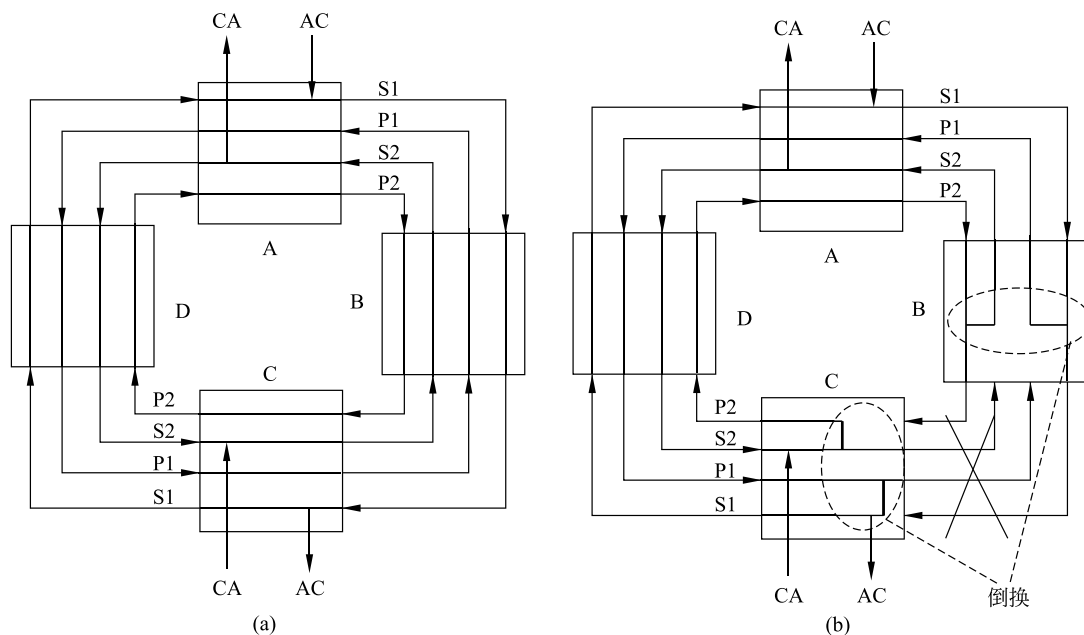


图 2.19 四纤双向复用段倒换环

议。建议规定了 SDH 网节点接口 STM-N 信号的必要条件,包括比特速率、帧结构、客户信号元素(如 PDH、ATM 和以太网)复用和映射格式、开销的功能等。内容包括范围、参考、术语、缩略语、约定、基本复用原理、指针、开销字节描述、支路到 VC-n/VC-m 的映射、VC 级联、附件 A (STM-64 和 STM-256 的前向纠错)、附件 B (CRC-7 多项式公式)、附件 C (VC-4-Xc/VC-4/VC-3 前后级联监测协议:选项 1)、附件 D (VC-4-Xc/VC-4/VC-3 前后级联监测协议:选项 2)、附件 E (VC-2、VC-12 和 VC-11 前后级联监测协议)、附件 F (10 Gb/s Ethernet 在 VC-4-64c 中的传送)、附件 G ($N \times \text{TU-12}$ 映射进 M 个虚连接 SHDSL 组(dSTM-12NMi))、附件 H (TU-11、TU-12、TU-2 和 TU-3 映射进 G-PON GEM 的连接)、附录 I (TU-2 地址和在 VC-4 中队列位置的关系)、附录 II (TU-12 地址和在 VC-4 中队列位置的关系)、附录 III (TU-11 地址和在 VC-4 中队列位置的关系)、附录 IV (TU-2 地址和在 VC-3 中队列位置的关系)、附录 V (TU-12 地址和在 VC-3 中队列位置的关系)、附录 VI (TU-11 地址和在 VC-3 中队列位置的关系)、附录 VII (增强型远端缺陷指示 E-RDI)、附录 VIII (依靠 TC 监测输入信号的意外行为)、附录 IX (STM-16 的前向纠错)、附录 X (带内 FEC 性能)、附录 XI (异步映射 ODU1 至 C-4-17 和 ODU2 至 C-4-68 的标称比特率)、附

录 XII (10 Gb/s Ethernet WAN 时钟精确度的考虑)、附录 XIII (CAS 控制包 CRC 计算的例子)、附录 XIV (串行数据到 VCG 映射)等。

2.181 《同步数字体系(SDH)光缆线路系统进网要求》(Requirements for Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Optical Fiber Cable Line Systems)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 15941—2008,2008 年 4 月 10 日,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会联合发布,自 2008 年 11 月 1 日起实施。标准规定了线路速率为 155 520 kb/s、622 080 kb/s、2 488 320 kb/s 和 9 953 280 kb/s 的 SDH 光缆线路系统的进网要求,适用于公用电信网的 SDH 光缆线路系统,专用电信网也可参照使用。内容包括范围、规范性引用文件、术语定义和缩略语、比特率与帧结构、复用结构、映射方法、系统组成和设备类型、光接口规范、电接口规范、同步定时要求、保护倒换要求、传输性能要求、可用性要求、网管系统、辅助系统和环境条件、供电条件、附录 A (SDH 维护和工程误码参考指标)、附录 B (再生段的误码性能)、附录 C (接收机灵敏度劣化和余度的解释)等。

2.182 《同步数字体系(SDH) 光纤传输系统工程设计规范》(Design Specification for Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Optical Fiber Cable Transmission System Project)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 5095—2014,2014 年 5 月 6 日,中华人民共和国工业和信息化部发布,自 2014 年 7 月 1 日起实施。标准适用于 SDH 光传输系统工程设计。内容包括总则、术语和符号、传输模型及功能要求、网络组织、传输系统设计、辅助系统、通路组织和网络互通、设备选型及配置、局站设备安装、传输系统性能指标、维护工具及仪表配置、附录 A(规范用词说明)、附录 B(光接口参数规范)、附录 C(电接口参数规范)、附录 D(SDH 设备的抖动性能)等。

2.183 《同步数字体系(SDH) 网络节点接口》(Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy (SDH))

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1017—2011,2011 年 6 月 1 日,中华人民共和国工业和信息化部发布,自 2011 年 6 月 1 日起实施。标准规定了同步数字体系(synchronous digital hierarchy, SDH) 网络节点接口(network node interface, NNI)的技术要求,适用于公用电信网中以光纤为基本传输手段的传输网,包括省际干线、省内干线和中继网。接入网、专用电信网、无线传输网也可参照使用。内容包括范围、规范性引用标准、术语和定义、缩略语、约定、基本复用原理、复用方法、指针、开销字节描述、支路到 VC-n 的映射、VC 级联、附录 A(STM-64 和 STM-256 的前向纠错)、附录 B(CRC-7 多项式算法)、附录 C(VC-4-Xc/VC-4/VC-3 串联连接监视算法;选项 1)、附录 D(VC-4-Xc/VC-4/VC-3 串联连接监视算法;选项 2)、附录 E(VC-12 串联连接监视算法)、附录 F(VC-4-64c 中 10 Gb/s 以太网的传送)、附录 G(在 M 对 SHDSL 线中映射 $N \times TU-12$ (dSTM-12NMi))、附录 H(在 GPON 的 GEM 连接中映射 TU-12、TU-3 信号)、附录 I(STM-256 信号到多个并行通道的适配)等。

2.184 《同步数字体系信号的基本复用结构》(Basic Multiplexing Structure for Synchronous Digital Hierarchy Signals)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为

GB/T 15940—2008,2008 年 10 月 7 日,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会联合发布,自 2009 年 4 月 1 日起实施。标准规定了在网络节点接口(NNI)的同步数字体系(SDH)信号的复用结构,适用于公用电信网和专用电信网中的 SDH 系统和采用 SDH 复用结构的通信系统,如 SDH 传输设备、SDH 数字微波系统等。内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、缩略语、同步数字体系信号的基本复用结构和复用方法等。

2.185 《同步数字体系信号的帧结构》(Frame Structure for Synchronous Digital Hierarchy Signal)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 15409—2008,2008 年 10 月 29 日,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会联合发布,自 2009 年 5 月 1 日起实施。标准规定了在网络节点接口(NNI)的同步数字体系(SDH)信号的帧结构,适用于 SDH 体制的公用电信网和专用电信网,内容包括网络节点接口(NNI)、具备 SDH 光电接口的光缆数字线路系统、数字微波系统等。标准内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、缩略语、同步数字体系的帧结构等。

2.186 统计法系统设计(statistics method system design)

根据光参数的统计分布特性进行的光传输系统设计。采用统计法进行系统设计,需要对光缆衰减、光缆零色散波长和零色散斜率、接头损耗和连接器损耗、光发射机的光谱特性、光发射机和光接收机之间的可用系统增益等参数进行统计分析,得出其分布特征,然后用蒙特卡罗法、高斯近似法、映射法等数值处理或分析方法对统计的参数进行处理,从而完成系统的链路设计。统计法要求参数统计分析充分,才能使系统技术指标设计余量适当且系统比较经济。统计法设计方法复杂,在工程中较少采用。

2.187 通用成帧规程(general framing procedure)

由 ITU-T. 7041 定义的将高层客户数据适配到 SDH 帧的通用方法,又称通用定帧法,简称 GFP。GFP 是一种面向无连接的数据链路封装技术,采用基于头部差错控制的帧定界机制,支持灵活的头部扩展机制,可以把不同数据协议的码流适配进 SDH

帧。因此,GFP 封装的高层客户数据可以是协议数据单元,也可以是块状编码固定比特速率数据流。GFP 帧分为控制帧和业务帧,映射方式分为帧映射和透明映射。GFP 作为 IP over SDH 数据封装协议的一种,常用来将 IP 包适配到 SDH 帧中。

2.188 微波信号光端机 (microwave signals optical terminal)

通过光纤传输频率范围为 1~18 GHz 微波信号的光端机。微波模拟输入信号经过光端机内部调制后,转换成光信号输出。在接收端光端机把光信号恢复成模拟信号输出。典型微波信号光端机主要技术指标见表 2.23。

表 2.23 典型微波信号光端机主要技术指标

光特性	波长	1310 nm/1550 nm
	出纤功率	$\geq +2$ dBm
	光接口	FC/APC
微波特性	频率范围	1 GHz~18 Hz(任选 5 GHz 带宽)
	动态范围	≥ 90 dB
	最小输入电平	-100 dBm
	幅频响应	$\leq \pm 1.5$ dB
	相位噪声劣化	≤ 1 dBc/Hz@1 kHz
	输入输出阻抗	50 Ω
	输入输出驻波比	≤ 2.2
	连接头	SMA/N 型

微波信号光端机具有信息保密、不受电磁干扰、频带宽、灵敏度高、输入动态范围大、低失真、长距离无中继传输等特点,主要应用于卫星通信、雷达、天线系统等相应带宽内的信号传输环境。在试验任务中,卫通天线和射频部分与终端设备异地部署时,即可采用微波信号光端机传输二者之间的射频电信号。

2.189 误块 (errored block, EB)

有一个或者多个比特发生差错的块,也称误码块、差错块。块是通道上连续比特的集合,简单来说就是一组比特。每一比特属于且仅属于唯一的一块。不同技术体制、不同速率的数字通道,块的大小不同,如 PDH 的 2.048 Mb/s 通道块的大小是 2048 bit,SDH 的 VC-12 通道块的大小是 1120 bit,ATM 的 155.520 Mb/s 通道块大小是 11 448 bit。误块是由 ITU-T G.826 建议《用于国际固定比特率数字通道

和连接的端到端差错性能参数和指标》定义的一个差错性能事件。在 ITU-T G.826 建议应用之前,差错性能事件用误比特来表征。在以分组(块)为特征的业务信息流(如 ATM、以太网)中,一个块中有一个误比特或者有多个误比特,其效果都是一样的,都会造成块差错,也都会被业务应用层所丢弃。因此用误块“取代”误比特,更能准确表征差错性能事件。

2.190 无源光网络 (passive optical network, PON)

由无源器件组成的光配线网。无源光网络作为光接入网的一部分,位于光线路终端和光网络单元之间,其作用是实现光线路终端和光网络单元的光纤连接。无源光网络的无源器件包括光连接器、光分配器、波分复用器、光滤波器、光衰减器以及光纤、光缆等。

2.191 纤芯同心度误差 (concentricity error of optical fiber core)

光纤模场中心偏离包层中心的距离。纤芯同心度误差过大,会造成光纤接续时两根光纤的模场中心不能正确对准,使得接头损耗变大。通常要求光纤纤芯同心度误差小于 0.8 μm 。

2.192 虚容器级联 (concatenation of virtual container)

SDH 同步数字体系中,将多个标准虚容器连接起来形成容量更大的逻辑虚容器的方式,简称级联。为了解决数字图像信号、IP 网络信号传输速率高于虚容器标准速率的问题,可以将多个虚容器彼此关联起来,组成一个逻辑上传输速率高的虚容器,并保证信号数字序列的完整性。级联有两种方法:相邻级联和虚级联。相邻级联要求通道全程都必须是相邻虚容器的级联,虚级联只要求在通道的开始端和终结端为相邻虚容器的级联。

2.193 严重差错秒 (severely errored second)

严重误码秒和严重误块秒的统称,简称 SES。在 1 s 时间周期内,误码率不小于 1×10^{-3} ,或者信号丢失(lost of signal, LOS)、检测到告警指示信号(alarm indication signal, AIS),称该秒为严重误码秒。在 1 s 时间周期内,存在不少于 30%的误块或者出现网络缺陷,称该秒为严重误块秒。网络缺陷

是指异常出现的频繁程度达到了妨碍执行所要求功能的程度,如帧定位丢失、管理单元指针丢失、管理单元告警指示信号等。严重误码秒是由 ITU-T G. 821 建议《工作在比特率低于基群速率并构成 ISDN 一部分的国际数字连接的差错性能》定义的一个差错性能事件,在 ITU-T G. 826 建议《用于国际固定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》中也有完全相同的定义。严重误块秒是由 ITU-T G. 826 建议定义的一个差错性能事件。

2.194 严重差错秒比 (severely errored second ratio)

在一个测试周期的可用时间内,严重差错秒数与可用时间秒数之比,简称 SESR。测试周期有长期和短期之分,长期为 1 年或 1 个月,短期为 24 h。当严重差错秒为严重误码秒时,严重差错秒比又称为严重误码秒比;当严重差错秒为严重误块秒时,严重差错秒比又称为严重误块秒比。严重误码秒比是由 ITU-T G. 821 建议《工作在比特率低于基群速率并构成 ISDN 一部分的国际数字连接的差错性能》定义的一个差错性能参数,在 ITU-T G. 826 建议《用于国际固定比特率数字通道和连接的端到端差错性能参数和指标》中也有完全相同的定义,并且在 ITU-T G. 826 建议中是与严重误块秒比使用同一个定义,在具体应用时,需要根据严重差错秒是严重误码秒还是严重误块秒,来理解严重差错秒比是严重误码秒比还是严重误块秒比。2002 年 ITU-T G. 826 建议颁布施行后,新的系统使用严重误块秒比表征差错性能参数。

2.195 野战便携光传输箱 (field portable optical fiber transmission trunk)

满足机动点位光纤接入与通信且可搬移的箱式通信装备。如图 2.20 所示,某野战便携光传输箱由便携箱、直流电源、光传输设备等部分构成。便携箱包含箱体、顶盖、排气扇、接线孔、设备安装架、箱体支脚等组件。箱体采用保温泡沫加芯框架式铝合金板材结构,既减轻了质量又有利于保温;正面设置门,两侧设置把手;后面设置接线孔,可输入交流电源、连接光纤以及语音、数据、图像等信号线;顶部设排风扇和吊钩,排风扇用于给设备降温,吊钩用于便携箱的吊装搬运。箱体顶部加活动顶盖,用于防雨隔热。底部安装箱体支脚,箱体支脚可换装减震器以适应车载安装;箱体内部设置设备安装架,用于安



图 2.20 野战便携光传输箱

装通信和电源设备。直流电源包含开关电源和免维护蓄电池等组件,为光通信设备和排风扇供电。光通信设备可选装 PDH、SDH 和综合业务光端机等设备。野战便携光传输箱通过军用标准化、通用化、小型化和可靠性设计,具有体积小、质量轻、功耗低、部署快速、可靠性高等特点,主要用于不便车辆开进的场合和地点,可实现机动或临时阵地语音、数据、图像的接入和传输,也可固定或车载使用。

2.196 野战光传输通信车 (field optical fiber transmission communication vehicle)

采用光缆作为传输手段的车载通信站。如图 2.21 所示,野战光传输通信车采用军用越野汽车底盘作为运载工具,方舱作为装载平台,集成多种光传输设备和终端设备,实现机动用户之间、机动用户 and 固定用户之间的信息传输。野战光传输通信车通信容量大,隐蔽性好,抗干扰性能强,可快速机动部署,在试验任务中常用于机动指挥所、机动测控站点的对外通信。



图 2.21 野战光传输通信车

2.197 野战光接入设备 (field optical access equipment)

用于野战环境,具有传输和终端功能的光传输

设备。野战光接入设备综合集成光传输功能和各种用户网络接口,能够实现话音、数据、图像等业务综合接入和传输。野战光接入设备通过一系列军用标准化、通用化、小型化和可靠性设计,具有体积小、质量轻、功耗低、可靠性高、操作维护简单方便等特点,既可固定使用也可车载使用,广泛应用于机动骨干网、野战通信网等场合。

2.198 野战光缆 (field optical fiber cable)

专门为野战环境设计的可快速布线和反复收放使用的无金属军用光缆。野战光缆应符合中华人民共和国军用标准 GJB 1428B—2009《光缆通用规范》要求。衰减为 1 dB/km (多模典型值)、0.4 dB/km (单模典型值);抗拉强度为 1800 N;线缆直径为 5.2~5.7 mm;质量为 25~30 kg/km;工作温度为 -45~+70 ℃。如图 2.22 所示,野战光缆使用紧套被覆光纤,采用无金属的芳纶增强元件和中心加强元件、外加内嵌式护套的特殊结构设计,具有质量轻、柔软性好、易弯曲、抗张力和抗压力的特点,适合应用于反复收放和快速布线的野战通信环境,也可应用于飞机和舰船布线、通信线路抢修等条件严酷的场所。

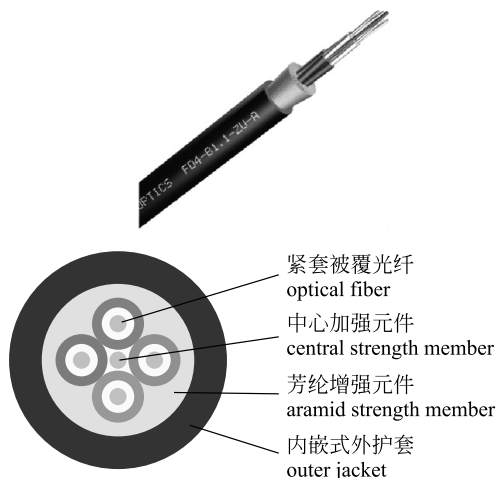


图 2.22 野战光缆结构

2.199 野战光缆车 (field optical fiber cable vehicle)

存储野战光缆,并能实现野战光缆自动布放和撤收的军用越野车。野战光缆车是军用机动骨干网、野战通信网的重要通信装备。

2.200 野战光缆连接器 (field optical fiber cable connector)

专门用于连接野战光缆的活动连接器。如图 2.23 所示,野战光缆连接器为中性卡口式锁紧结构,主要由壳体、套筒、陶瓷插针、定位销、定位孔、防尘盖等组成。根据是否具有法兰盘,分为插座和插头两种形式。为了使用方便,野战光缆连接器采用中性结构,其插头和插头、插座和插座也可以对接。野战光缆连接器的插入损耗为 0.3 dB (多模典型值)、0.4 dB (单模典型值);工作温度为 -45~+70 ℃。野战光缆连接器与普通光缆连接器相比,环境适应性好,可在雨水、风沙等恶劣环境下使用。



图 2.23 野战光缆连接器 (2 芯)

左边是连接器插座,右边是连接器插头

2.201 野战光缆收放架 (field optical fiber cable take-up and pay-off stand)

可单兵背负或者便携,实现野战光缆快速收放的装置,又称野战光缆组件。如图 2.24 所示,野战光缆收放架分为移动支架、背负、手提 3 种类型,野战光缆收放架最大光缆装线长度通常为 1000 m、500 m 或 300 m。



图 2.24 野战光缆收放架

2.202 野战光缆引接系统 (field optic fiber cable linking system)

将国防战略通信网延伸至野战通信枢纽等临时

设施的光缆通信系统。野战光缆引接系统主要由野战 SDH 光端机、野战 PDH 光端机、野战 PCM 终端机、野战光缆组件等设备组成,提供强机动性、大容量、长距离有线传输通道。野战光缆引接系统主要应用于战略通信网对野战通信枢纽的引接;征用民用光缆线路时,战略通信网对民用光缆网的引接;部队执行抢险救灾任务、应对突发事件时,战略通信网或民用光缆网对事发发现场通信设施的引接。

2.203 《野战光缆引接系统通用要求》 (General Requirement for Field Optic Fiber Cable Linking System)

中华人民共和国国家军用标准之一,标准代号为 GJB 5655—2006,2006 年 5 月 17 日,中国人民解放军总装备部发布,自 2006 年 10 月 1 日起施行。标准规定了野战光缆引接系统的通用要求。内容包括范围、引用文件、术语和定义、系统应用和构成、系统要求、各设备战术技术指标、包装运输、随机文件和备附件的齐套性等内容。

2.204 野战光纤被复线传输设备 (field optical fiber cable and telephone wire transmission equipment)

既能通过被复线又能通过光纤实现话音、数据传输和接入的军用通信设备。野战光纤被复线传输设备用于点对点传输场合,实现机动或临时地点话音、以太网数据、2 M 数据的接入。在应用时,一般是通过人工切换,近距离(3 km 以内)采用被复线传输,远距离(3 km 以上)采用光纤传输。野战光纤被复线传输设备通过一系列军用标准化、通用化、小型化和可靠性设计,具有体积小、质量轻、功耗低、可靠性高、操作维护简单方便等特点。

2.205 有源光网络 (active optical network, AON)

光接入网的一种。因其配线网中有光分配终端等有源设备而得名。有源光网络组成的是一个点对多点通信系统,按其技术体制,可分为 PDH 和 SDH 两类。

2.206 中心频率偏移 (center frequency offset)

波分复用系统光通路的实际中心频率与标称中心频率之差,又称中心频率偏差。影响中心频率偏移的主要因素有光源啁啾、信号带宽、自相位调制造成的脉冲展宽、温度、器件的老化等。通常对设备所

要求的光通路中心频率偏移数值是最坏值,即设备寿命终了时应满足的值。对于光通路间隔为 100 GHz 的波分复用系统,最大中心频率偏移为 ± 20 GHz。

2.207 主通道接口 (main path interface, MPI)

长距离高速率光纤通信系统中主光通道的接口。在长距离高速率光纤通信系统中,必须使用光放大器,为了便于设备横向兼容以及简化系统设计,通常将光功率放大器和光发信机组合视为发送子系统,将光前置放大器和光接收机的组合视为接收子系统。发送子系统和接收子系统之间的光路定义为主光通道,简称主通道。发送子系统与主光通道的接口为主通道发送接口,用 MPI-S 表示。接收子系统与主光通道的接口为主通道接收接口,用 MPI-R 表示。主光通道之间如果存在线路放大器,则主光通道被分割为若干区段。

2.208 自动交换光网络 (automatic switched optical network)

依靠能够自动发现和动态连接建立功能的分布式控制平面,在光传送网络上实现基于信令、动态的以及策略驱动控制的智能光网络,简称 ASON。自动交换光网络从逻辑上划分为传送平面、管理平面和控制平面。传送平面通过连接控制接口 (CCI) 与控制平面相连,通过网络管理 T 接口 (NMI-T) 与管理平面相连,管理平面通过网络管理 A 接口 (NMI-A) 与控制平面相连。

传送平面由一系列传送实体组成,是通信业务的传输通道,提供信息端到端传输。传送平面结构分层,主要由光通道层、光复用段层、光传输段层组成。自动交换光网络基于格状网络结构,传送节点有光交叉连接、光分插复用等实体设备。

管理平面由网元管理系统、网络管理系统、业务层管理系统等多个管理层面构成,完成对控制平面、传送平面和数据通信网络的管理,体系结构与 ITU-T M. 3010 建议规定的电信管理网 (TMN) 结构相一致。管理平面结合控制平面,协同完成对数据通信网络的管理。

控制平面是自动交换光网络的核心,主要负责完成网络资源的动态分配和网络连接的动态建立,由独立的或者分布在网元设备的多个控制节点组成,通过数据通信网络连接起来。控制平面节点由连接控制器、路由控制器、链路资源管理器、流量策略、呼叫控制器、协议控制器、发现代理、终端适配器

等核心功能组件构成。控制平面的存在,是自动交换光网络与传统光传送网(如 SDH 光传送网)有所区别的明显特征。

自动交换光网络直接在光纤网络之上引入以 IP 为核心的智能控制技术,能有效支持连接的动态建立与拆除,实现基于流量工程按需、合理分配网络资源,提供可靠的网络保护和恢复性能。

2.209 子网连接保护(sub-network connection protection)

当工作子网连接失效或者性能劣化到指定水平时,由预先设定的备份子网连接代替工作子网连接的技术措施,简称 SNC-P。子网是在单个层网络中由分割产生的一部分,可以用来实现路由选择和管理的逻辑实体,即子集。子网可由更小的子网和链路组成。例如,SDH 设备可在一根光纤上开通众多通道,可将 SDH 传送网视为众多逻辑通道子网的组合,其通道保护就是一种子网保护。

2.210 自相位调制(self phase modulation)

由于光纤介质的克尔效应,一个光信号的强度变化引起该信号自身相位变化的现象,简称 SPM。光脉冲信号强度的瞬时变化将会导致光纤折射率的变化,而光脉冲信号的相位又随着光纤折射率而变化,即光信号完成了对自身的相位调制。单波长光纤通信系统中,自相位调制效应的结果是展宽光信

号的频谱。在密集波分复用系统中,自相位调制所引起的频谱展宽可在相邻光信道内产生干扰。由于自相位调制所导致的传输损伤与光纤的色散成正比,与光纤有效面积成反比,因此降低自相位调制影响的有效办法是减小光纤色散,增加光纤的有效面积。

2.211 最坏值法系统设计(worst-case method system design)

不考虑光参数统计分布特性,而按照最坏数值选取所有光参数进行的光传输系统设计方法。最坏值法系统设计是光传输系统设计的基本方法,也是最简单的设计方法。按照最坏值法进行系统设计的系统,在不考虑人为和自然界不可抗拒等破坏因素情况下,系统在寿命终了、富余度使用完毕以及极端的环境条件中,仍然可以保证系统性能技术要求。该方法的优点是系统设计人员和设备生产厂商可以提供简单明了的设计方法和技术指标;缺点是由于各项参数同时为最坏值的概率极小,使得系统有很大的余量,设计结果比较保守。

2.212 最小通路间隔(mini pathway space)

波分复用系统中,相邻光通路之间的中心频率差。光通路间隔可以是均匀间隔,也可以是非均匀间隔,中国采用的是均匀间隔。实际系统的最小通路间隔有 100 GHz、50 GHz、20 GHz 等。

第3章 卫星通信

3.1 1 dB 压缩点 (1 dB compression point)

功率放大器增益相对最大线性增益减小 1 dB 所对应的工作点。功率放大器工作在线性区时,输入与输出保持线性关系,增益不变。当输入信号增大到一定程度时,放大器工作超出线性区,输入与输出不呈线性关系,增益下降。1 dB 压缩点是功率放大器从线性区到非线性区过渡的参考点,表明了功率放大器线性放大的能力,所对应的输入和输出功率分别称为 1 dB 压缩点输入功率和 1 dB 压缩点输出功率。

3.2 “8”字形漂移 (8-character drift)

地球静止轨道卫星相对于地球作“8”字形周期运动的现象。漂移周期为一天,半天在南半球上空绕一圈,另外半天在北半球上空绕一圈。“8”字形漂移是由卫星轨道平面与地球赤道平面不重合造成的。两个平面的夹角越大,“8”字的长和宽越大,漂移越严重。正常情况下,漂移可限制在一个边长约 750 km 的正方形范围内。“8”字形漂移使卫通载波频率附加了多普勒频偏,使传输的数字信号产生了周期性漂移。对于大中型地球站而言,由于波束较窄,其天线须具有自动跟踪卫星的能力。

3.3 ALOHA (additive links on-line)

一种数据分组随机发送、“碰撞”重发的多址方式。最初的 ALOHA 研究是在美国夏威夷大学进行的,目的是通过共享无线信道,解决夏威夷群岛之间一点到多点的数据通信问题。ALOHA 系统所采用的多址方式实质上是一种随机的时分多址方式。ALOHA 分为纯 ALOHA (P-ALOHA)、时隙 ALOHA (S-ALOHA)、预约 ALOHA (R-ALOHA) 3 种基本方式。

P-ALOHA 是一种完全随机的多址方式,其特点是全网不需要定时和同步。在 P-ALOHA 系统中,各站根据需要随时发送数据,然后等待接收站的应答信号。如果在规定时间内收到应答,则认为数据发送成功,否则重新发送数据。由于存在多个站同时占用信道而产生数据碰撞的现象,导致信道利用率很低,最高为 18%。

为减少数据碰撞,S-ALOHA 将信道分成多个时隙,各站只允许在时隙始端开始发送数据,每个时隙传送一个分组,分组传送成功后,必须等到下一时隙才能传送下一个分组。发生碰撞后,随机延时若干时隙后重传。时隙的定时由系统时钟决定,各站控制单元的时间必须与此时钟同步。与 P-ALOHA 相比,S-ALOHA 使最高信道利用率提高到 36%。

当发送长报文时,为了避免传输时延过长,R-ALOHA 采用申请预约,连续多个时隙一次发送一批数据的方式。对于短报文,仍采用 S-ALOHA 传输。这既解决了长报文的传输时延问题,又保留了 S-ALOHA 传输短报文信道利用率高的优点,且 R-ALOHA 的最高信道利用率可达 80%。

在卫星通信中,ALOHA 主要应用于非实时、随机数据传输以及利用卫星信道特点进行数据广播传输等场合。

3.4 DVB-RCS (digital video broadcasting-return channel via satellite)

欧洲电信标准化协会制定的基于交互式应用的卫星通信行业标准。中文名称为具有回传信道的卫星数字视频广播。2000 年提出了第一代标准,规定采用星状结构,中心站和远端站以非对称的前向和回传信道实现双向通信。前向信道采用 DVB 格式,回传信道采用多频—时分多址 (MF-TDMA) 方式。

典型的 DVB-RCS 网络由一个中心 RCS 网关和多个远程 RCS 终端组成。中心 RCS 网关把 DVB-RCS 网络接入骨干网,RCS 终端负责把用户接入 DVB-RCS。一个单网关网络可支持数千个用户。DVB-RCS 网络采用高性能的卫星信道接入技术,最大限度地利用卫星带宽,具有较强的可扩展性,可以满足用户宽带接入的需要。基于该标准的产品适用于广域性的不对称综合业务接入,尤其适合于为偏远、地面通信网络不便到达的地区提供因特网接入、电话接入、音视频会议及远程专用数据接入等业务。

随着卫星纠错编码、高阶调制等信号处理技术的发展,欧洲电信标准化协会于 2008 年开始制定第二代标准。至 2012 年,完成了第二代 DVB 交互互

星系统(DVB-RCS2)系列标准的制定。该标准由以下三部分组成。

第1部分:综述和系统级规范(ETSI TS 101 545-1)。对标准涉及的系统模型、应用模式等进行了描述。

第2部分:低层协议标准(ETSI EN 301 545-2)。规定了双向交互式卫星网络的低层协议和用于管理及控制系统的低层嵌入信令。

第3部分:高层协议规范(ETSI TS 101 545-3)。规定了双向交互式卫星网络高层协议功能要求,是DVB-RCS标准没有涉及的,强调了与地面网络的互操作性,为与地面网络融合提供了一种技术参考。

DVB-RCS2与DVB-RCS相比,其前向链路不仅支持DVB-S标准,还兼容DVB-S2标准,且使业务量至少提高了30%,并可增加用户数量,提供质量更高的服务。

3.5 E_b/N_0 (average bit energy versus noise spectrum density)

单位数字信号平均能量 E_b 与噪声谱密度 N_0 之比,单位为dB。 E_b/N_0 决定了系统的误比特率。与所要求的误比特率相对应的最小 E_b/N_0 称为门限 E_{b/N_0} 。调制编码方式不同,达到相同的误比特率所需要的 E_b/N_0 也不同。

E_b/N_0 与载噪比的关系如下:

$$E_b/N_0 = C/N - 10\lg(R_b/B_n) \quad (3-1)$$

式中: C/N ——载噪比,dB;

R_b ——信息传输速率,b/s;

B_n ——载波等效噪声带宽,Hz。

3.6 EIRP (equivalent isotropically radiated power)

天线定向辐射的功率所对应的全向天线的辐射功率,中文名称为等效全向辐射功率或有效全向辐射功率,单位为dBW。高功率放大器饱和输出时的EIRP称为饱和EIRP。EIRP是卫星通信地球站及卫星转发器的重要指标,反映了卫星通信地球站和卫星转发器的定向辐射能力。EIRP的计算公式如下:

$$\text{EIRP} = P_T + G_T - L_s \quad (3-2)$$

式中: P_T ——高功率放大器的输出功率,dBW;

G_T ——天线增益,dB;

L_s ——高功率放大器输出口到天线馈源入口的插入损耗,dB。

3.7 LNB (low noise block)

将低噪声放大器与下变频器合为一体的设备。中文名称为低噪声组件。天线接收的射频信号输入到LNB,在LNB内,经过低噪声放大器放大及镜像抑制滤波器选频后,与本振混频,输出中频信号。LNB将两个设备的功能综合到一个设备内,实现了设备小型化,简化了卫星通信系统的配置,主要应用于对性能指标要求不高的卫星单收站。

3.8 SSPB (solid state high power amplifier with built-in block upconverter)

将固态功率放大器与上变频器合为一体的设备,又称BUC(amplifier/block up converter的缩写)。SSPB主要由功率放大器、上变频模块、电源、冷却设备和监控等组成。SSPB将两个设备的功能综合到一个设备内,实现了设备小型化,简化了卫星通信系统的配置,主要应用于车载卫星通信地球站、便携卫星通信地球站等场合。

3.9 TCP协议加速器(TCP protocol accelerator)

提高长时延信道上TCP协议数据吞吐量的设备,简称协议加速器。同步卫星信道的双跳时延约为560ms,TCP最大接收窗口为64kB。当未加确认的数据达到64kB时,发送端停止发送后续的数据。因此,同步卫星信道单个TCP连接的最大吞吐量为 $(64 \times 8) / 0.56 = 914 \text{ kb/s}$ 。这表明,如不采取协议加速措施,即使卫星信道速率再高,实际的吞吐量也只能达到914kb/s。协议加速器主要采用以下机制提高TCP协议数据的吞吐量。

(1) 协议欺骗。在接收端的应答信息没有到达之前,发送侧的协议加速器向发送端发送应答,“欺骗”发送端继续发送数据,避免发送端因等待应答而停发数据,从而提高发送端的数据传输效率。

(2) 选择性确认。只有发送侧协议加速器主动向接收侧协议加速器提出确认请求时,接收侧协议加速器才向其发送确认分组,从而避免不必要的数据重发。

协议加速器可显著提高TCP协议数据的吞吐量,使其接近信道速率。协议加速器既可以是单独的设备,部署在卫星信道的两端,也可以集成到卫通调制解调器中。

3.10 TDMA突发(TDMA burst)

时分多址(TDMA)系统中地球站间歇发送载波

的方式。在 TDMA 系统中,把一帧的发送时间分为若干时隙,各地球站共用同一个载波分时隙轮流发送。一个地球站只能在分配给它的时隙内发送,其余时隙用来接收其他地球站的信息。一个时隙突发的信息称为分帧。TDMA 突发分为基准突发和消息突发两种。基准突发只包含帧头部分,由基准站发送,用来为其他站提供一帧开始的时间基准。消息突发包括分帧帧头和发往其他站的信息,由各业务地球站发送,用来在业务地球站之间传输信息。

3.11 VSAT 网 (very small aperture terminal network)

由一个中心站和多个小口径远端站组成的卫星通信网络。典型的 VSAT 网由中心站、卫星和远端站组成。一般的 VSAT 网具有一个外向信道(中心站至远端站)和多个内向信道(远端站至中心站):外向信道一般采用高速率的广播 TDM 体制;内向信道一般采用 TDMA、FDMA/SCPC 和 CDMA 方式。

VSAT 系统多数采用 Ku 频段,部分使用 C 频段。从传播条件考虑,C 频段受降雨衰减影响小,可靠性高,但是由于卫星指标较差,限制了天线尺寸的小型化发展。而使用 Ku 频段,天线尺寸可大大减小,但是会受到降雨衰减的影响,须留有一定的衰减余量。

中心站除完成远端站的通信接入外,还要进行数据交换、业务接口及网络管理等工作。为使远端站小型化,中心站一般采用大、中型天线,使用 Ku 频段时天线口径为 3.5~8 m,使用 C 频段时天线口径为 5~11 m。另外,中心站还须配置较大功率的功放。远端站一般由天线、室外单元(outdoor device unit, ODU)和室内单元(indoor device unit, IDU)组成,具有天线口径小(典型值为 1.2~1.8 m),设备结构紧凑、全固态化、功耗小、成本低等优点。

VSAT 网络由于具有远端站成本低、小型化等优点,适用于用户分布范围广、数量多、远端站业务量小等应用场合。

3.12 按需分配多址接入 (demand assignment multiple access)

卫星信道分配的一种方式,简称 DAMA。根据用户呼叫请求,系统自动分配卫通信道。通信结束后,信道自动释放,可再分配给其他用户使用。DAMA 须与 TDMA、FDMA 等其他多址方式结合使用。与预分配方式相比,DAMA 具有信道资源利用

率高的优点,但系统控制复杂,存在用户分配不到信道的风险。

3.13 饱和功率 (saturated power)

功率放大器所能达到的最大输出功率。由于功率放大器器件的非线性等原因,当输入功率增大到某一个数值时,放大器的输出功率达到最大。此后,随着输入功率的增大,输出功率不增反降。该最大输出功率即为放大器的饱和功率,最大输出功率值对应于功放输入输出特性曲线上的点称为饱和点。

3.14 便携卫星通信地球站 (portable Earth station)

可手提或背负的小型化卫星通信地球站,简称便携站。由天线、LNB、SSPB、天线座及天线伺服模块、跟踪接收机模块、业务终端等组成。一般安装在 1~2 个手提箱内。便携站具有如下特点。

(1) 为了减小设备体积和质量,工作频段尽量采用高频段,如 Ku、Ka 频段,且常将调制解调器、复分接器、图像编解码器和保密机通过一体化结构设计,集成到一台终端设备内实现,同时天线采用碳纤维材料,一般为可拼装形式,口径 0.3~1.2 m。

(2) 为减少开通时间,一般具有自动对星功能。开通时间要求不超过 10 min。

(3) 设备自带电池供电,并采用节能设计,降低能耗。

(4) 设备采用抗风、防雨、防尘等设计,满足露天环境条件下工作的要求。

便携站广泛应用于快速通信场合。在载人航天工程着陆场中,采用 0.3 m Ka 频段便携站(见图 3.1)向北京传输现场图像和话音。



图 3.1 Ka 频段 3 m 便携站

3.15 波束宽度 (wave beam width)

天线波束张开的角度。一般用天线波束主瓣上两个半功率点之间的宽度来表示,因此又称为主瓣宽度、半功率主瓣宽度、半功率波束宽度。如图 3.2 所示,在天线方向图上,以主瓣最大功率电平为基准,下降 3 dB 所对应的点称为半功率点。两个半功率点偏离电轴的角度差 ($B-A$) 即为波束宽度。波束宽度是衡量天线定向辐射性能的重要指标,其值越小,则天线辐射的能量越集中,天线定向辐射性能越好。

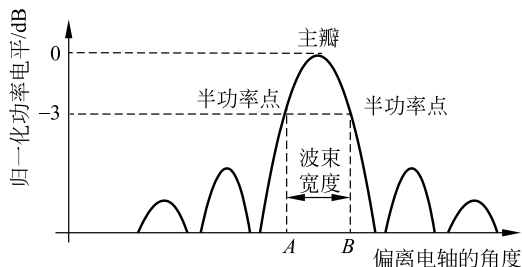


图 3.2 波束宽度

卫星通信中常用的反射面天线的波束宽度,可用式 (3-3) 计算:

$$\theta_{1/2} = 70c/(fD) \quad (3-3)$$

式中: $\theta_{1/2}$ ——波束宽度, ($^{\circ}$);

c ——光速, 3×10^8 m/s;

f ——天线工作频率, Hz;

D ——反射面天线口面直径, m。

3.16 步进跟踪 (step tracking)

通过试探法按一定步长寻找卫星信标信号的最大值,使卫通天线对准卫星的跟踪方式,又称为极值跟踪。步进跟踪的基本过程如下。

(1) 开机后,根据地球站经纬度和卫星轨道位置,计算出卫星所在的方位、俯仰,驱动天线,使卫通天线主瓣指向卫星,记录接收信标信号的电平;

(2) 天线在方位面转动一个微小的角度 (步长,通常为主瓣波束半功率角的 $1/10 \sim 1/15$), 测量信标信号电平,并与上一次收到的信标信号电平进行比较。如果接收信号电平增大,则天线继续沿既定方向步进;如果接收信号电平减小,则天线向反方向步进,直至天线在方位面上收到的信标信号最大;

(3) 同理,使天线在俯仰面上收到的信标信号最大。此时,表明天线已经对准卫星,跟踪结束。

步进跟踪的精度低、速度较慢,但是其设备简单,价格较低,比较适合中、小型地球站使用。

3.17 《车载式卫星通信地球站通信设备通用规范》(General Specification of Communication Equipments for Vehicular Satellite Communication Earth Station)

中华人民共和国国家军用标准之一,标准代号为 GJB 2383—1995,1995 年 5 月 31 日,国防科学技术工业委员会发布,自 1995 年 12 月 1 日起实施。该标准规定了车载式 (含方舱式) 卫星通信地球站通信设备的设计制造、性能特性、检验与验收、质量保证规定、交货准备等通用要求,适用于 C 波段固定业务的车载式 (含方舱式) 卫星通信地球站。

3.18 程序跟踪 (program tracking)

通过程序计算,控制天线对准卫星的跟踪方式。操作人员将轨道预报信息、标准时间信号、天线所在位置的角位数字信息等通过程序接口输入计算机。计算机对这些信息进行处理运算,最后得到天线方位和俯仰轴上角位误差信息,并输出控制指令,驱动天线运动,从而使天线在规定的时间指向预定的方向。程序跟踪属于开环跟踪,其跟踪精度主要决定于预测数据的精确程度。程序跟踪适用于卫星移动通信。

3.19 船摇隔离度 (ship-shaking isolation)

船载卫通天线伺服稳定跟踪系统对船摇摆的隔离程度,单位为 dB。为使船载卫星通信地球站稳定跟踪卫星,一般采取三级稳定措施隔离船摇带来的影响。第一级是船体采用各种减摇措施,以保证船摇角小于规定值;第二级是设置船舶稳定平台;第三级是通过设备自身的伺服系统来稳定天线。船摇隔离度一般用采取隔离措施后卫通天线摇摆的角度与船体摇摆的角度之比表示,其计算式如下:

$$\begin{cases} \Delta_{dB} = 20 \lg \omega / \theta \\ \omega = \sqrt{(\omega_e^2 + \omega_c^2)} / 2 \\ \theta = \sqrt{(\theta_e^2 + \theta_c^2)} / 2 \end{cases} \quad (3-4)$$

式中: Δ_{dB} ——船摇隔离度, dB;

ω ——船体的摇摆角度, ($^{\circ}$);

ω_e —— ω 的俯仰轴分量, ($^{\circ}$);

ω_c —— ω 的交叉轴分量, ($^{\circ}$);

θ ——采取隔离措施后卫通天线摇摆的角度, ($^{\circ}$);

θ_e —— θ 的俯仰轴分量, ($^{\circ}$);

θ_c —— θ 的交叉轴分量, ($^{\circ}$)。

船摇隔离度测试一般在摇摆台上进行, 首先设置摇摆台俯仰轴和交叉轴方向的摇摆角度。然后在摇摆情况下, 测试天线俯仰轴和交叉轴方向指向角度变化。最后, 通过计算得出船摇隔离度。船摇隔离度一般要求大于 42 dB。

3.20 船载卫星通信地球站 (ship-borne satellite communication station)

以舰船为载体的卫星通信地球站, 简称船载卫通站或船载站。与其他载体的卫通站相比, 船载卫通站具有以下几个主要特点。

(1) 隔离船摇: 为克服船摇对卫通天线跟踪带来的不利影响, 伺服设备具有隔离船摇的功能。

(2) 遮挡保护: 由于船体运动, 船上其他物体有时会遮挡天线, 在自跟踪状态下造成跟踪接收机失锁。这时, 天线需自动切换到位置记忆跟踪状态。当障碍物不再遮挡天线时, 天线发现卫星后又自动恢复到自跟踪状态。

(3) 宽带跟踪: 由于船只的航线较长, 需要更换通信卫星, 因此需对具有不同信标频率的通信卫星进行跟踪。这要求跟踪支路具有宽频带特性, 能跟踪接收支路 575 MHz 带宽内的任意信标, 且跟踪范围为全方位、能过顶。

(4) 环境适应性强: 海上环境恶劣, 卫通系统需具有优良的抗盐雾、抗风等性能。通常卫通天线采取加罩措施, 以适应恶劣的海况。

(5) 可靠性高: 船载站在海上工作时, 维修和技术支持相对于陆地站要困难得多, 这就要求船载站设备具有很高的可靠性。一般低噪声放大器、高功放、上下变频器、调制解调器等关键设备均采用 1:1 热备份。天线 A、E、C 三轴各采用两台电机同时驱动。另外, 三轴驱动电机放大器采用 2 主 1 备。

图 3.3 所示为某远望号测量船卫通站天线, 其座架结构方式为方位、俯仰和交叉 (A-E-C) 三轴形式, 基本体制为三轴稳定两轴跟踪方式。在天线背部安装一个敏感轴平行于 E 轴的陀螺和一个敏感轴平行于 C 轴的陀螺。无论天线处于何种位置, 两个陀螺的敏感轴都是正交的, 其输出信号反馈送入稳定系统。跟踪接收机完成指向误差的分解, 并变换为误差电压, 经跟踪回路修正天线指向, 使天线在

各种条件下始终对准通信卫星。



图 3.3 某远望号测量船卫通站天线

3.21 大气损耗 (atmospheric loss)

电磁波受到大气中各种物质的吸收和散射而产生的损耗。大气损耗包括电离层中自由电子和离子的吸收损耗, 对流层中氧分子、水蒸气分子以及云雾雨雪等吸收损耗和散射损耗。大气损耗与天气、电磁波频率、天线仰角有着密切的关系。除雨衰外, 大气损耗中其他损耗较小, 因此, 在卫通链路设计中主要考虑雨衰的影响。

3.22 带宽按需分配 (bandwidth on demand)

根据卫星通信地球站的业务量大小, 卫通系统为其自动分配所需带宽的方式, 简称 BOD。BOD 有两种基本实现方式: 一种为业务请求方式, 另一种为业务驱动方式。前者由业务终端向卫星通信地球站发送带宽资源请求; 后者由卫星通信地球站根据当前用户业务特征及状态 (如业务类型、业务到达速率、缓冲区队列长度等), 实时计算所需的动态带宽资源, 产生带宽资源请求。资源管理系统收到资源请求后, 根据剩余带宽情况, 分配相应的带宽或拒绝请求。采用带宽按需分配技术, 可根据带宽资源请求动态增加或减少信道带宽, 因此能够适应多媒体业务高突发性的特点, 显著提高卫星带宽利用率。

3.23 带外辐射 (out-of-band emission)

由于滤波器特性不良、调制方式不佳、互调产物过大或辐射功率过高而引起的标称载波频带的电磁波能量辐射。带外辐射分为两类: 一类是由于多

载波工作产生的互调产物;另一类是除互调产物外的杂散辐射,包括寄生单频、带内噪声或其他不希望出现的信号。卫星通信地球站带外辐射(不包括互调产物)的等效全向辐射功率(EIRP)一般不超过4 dBW/4 kHz,带外互调产物的EIRP一般不超过21 dBW/4 kHz(仰角为10°时)。减少带外辐射的主要措施有:采用较大的功放,增加输入回退,使系统工作于线性区;加装带外滤波器,滤除带外信号等。

3.24 单路单载波(single channel per carrier, SCPC)

在一个载波上传送单路信息的方式。单路单载波方式源于语音的传输,由于一个载波仅传输一路话,可以用语音激活技术来节省转发器功率,但系统中载波数量多,容易产生互调干扰。

3.25 单脉冲跟踪(monopulse tracking)

在一个脉冲的间隔时间内,获得完整的天线波束偏离卫星的全部信息(方位、俯仰角误差),并驱动伺服系统使天线对准卫星的方式。该方式源于单脉冲雷达的跟踪,是一种零值跟踪,其利用差模电场的方向图在天线轴向为零值而在偏轴角度上又有极性的特点实现自动跟踪。

单脉冲跟踪分为多喇叭跟踪和多模跟踪方式。常见的多喇叭跟踪天线具有4个馈源,这4个馈源的信号叠加得到和信号;上面两个馈源信号之和与下面两个馈源信号之和相减,得到俯仰差信号;左边两个馈源信号之和与右边两个馈源信号之和相减,得到方位差信号。当天线波束对准卫星时,天线只能收到和信号,两个差信号输出为零;当天线波束偏离卫星时,除接收到和信号外,还接收到方位差和俯仰差两个误差信号。误差信号经变换处理后送至跟踪接收机,并由跟踪接收机输出相应的直流误差信号到伺服控制单元,以此控制天线运动,完成对卫星的实时跟踪。多模跟踪利用天线波束偏离卫星方向时馈源喇叭内激励起的高次模(又称差模)及主模(又称和模)信号对卫星进行跟踪。

单脉冲跟踪系统复杂且价格昂贵,一般在需要快速响应和高跟踪精度的大型地球站或移动卫星通信地球站中使用。

3.26 等效噪声温度(equivalent noise temperature)

在具有相同噪声功率的条件下,网络所对应的标准热噪声源的温度,单位为开尔文(K)。假定一

个具有输入输出的网络产生的噪声功率折合到输入端为 N ,标准热噪声源产生噪声功率 N 所需的温度为 T ,则 T 为该网络的等效噪声温度。等效噪声温度越低,说明网络产生的噪声越小。等效噪声温度可用式(3-5)计算:

$$T_e = N/(kB_n) \quad (3-5)$$

式中: T_e ——等效噪声温度,K;

N ——折合到输入端的噪声功率,W;

k ——玻耳兹曼常数,取值为 1.38054×10^{-23} J/K;

B_n ——噪声等效带宽,Hz。

3.27 地理增益(geographic gain)

根据卫通站地理位置的不同,对卫通链路计算的结果进行的修正,单位为dB。当多个地球站共用一颗卫星相互通信时,由于各地球站处于不同的地理位置,天线仰角不同,各地球站与卫星的距离、传输损耗、天线噪声温度、接收的卫星辐射功率等也不同,从而导致卫通链路的载噪比不同。为便于链路计算,通常选择某一天线仰角作为基准,计算链路的载噪比。其他仰角下的链路载噪比通过地理增益进行修正即可,不必一一从头算起。不同的卫星天线,其波束形状不同,故地理增益也不同。例如,对于使用国际通信卫星IS-VI的卫通站来说,以10°天线仰角为基准,其地理增益为 $0.06(\phi_e - 10)$ dB,其中 ϕ_e 为天线仰角。

3.28 地球同步轨道卫星(geosynchronous orbit satellite)

运行于赤道平面,高度距地面约为35 786 km轨道上的卫星,简称同步卫星。由于卫星运转方向和角速度与地球的自转方向和角速度相同,卫星相对地面静止不动,故又称对地静止卫星。地球同步轨道卫星作为通信卫星,具有以下优点。

(1) 卫星“静止”不动,便于地球站对准与跟踪。

(2) 覆盖范围大。除去76°N和76°S以上的两极地区,理论上采用彼此间隔120°的3颗卫星就可以覆盖地球表面。

其缺点是传播时延较大。地球站经卫星至另一地球站的单跳传播时延约为270 ms。

3.29 地球站品质因数(figure of merit)

地球站接收天线的增益(G)与接收系统总的等效噪声温度(T)之比,简称 G/T 值,单位为dB/K。

G/T 值是卫星通信系统的一个重要参数,综合反映了地球站对信号的接收能力。 G/T 值越大,信号的载噪比就越大。 G/T 值与载噪比的关系如式(3-6)所示:

$$[C/N] = [G/T] + [EIRP] - [L_d] + 286 - [B_n]$$

(3-6)

式中: $[C/N]$ ——下行载噪比,dBW/K;
 $[G/T]$ ——地球站品质因素,dB/K;
 $[EIRP]$ ——卫星转发器等效全向辐射功率,dBW;
 $[L_d]$ ——下行链路损耗,dB;
 B_n ——载波等效噪声带宽,Hz, $[B_n] = 10\lg B_n$ 。
国际卫星通信组织根据 G/T 值的大小对地球站进行分类,各类标准站型的 G/T 值见表 3.1。

表 3.1 地球站标准站型的 G/T 值

标准站型	G/T 值/(dB/K)	工作频率 (发/收)/GHz	参考口径/m
A	$\geq 35.0 + 20\lg(f/4)$	6/4	16.0~18.0
B	$\geq 31.7 + 20\lg(f/4)$	6/4	11.0~15.0
C	$\geq 37.0 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	11.0~13.0
E-1	$\geq 25.0 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	3.4~5.0
E-2	$\geq 29.0 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	5.5~7.5
E-3	$\geq 34.0 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	8.0~10.0
F-1	$\geq 22.7 + 20\lg(f/4)$	6/4	5.0~6.0
F-2	$\geq 27.0 + 20\lg(f/4)$	6/4	7.3~8.0
F-3	$\geq 29.0 + 20\lg(f/4)$	6/4	9.0~10.0
H-1	$\geq 14.0 + 20\lg(f/4)$	6/4	1.5~1.8
H-2	$\geq 15.1 + 20\lg(f/4)$	6/4	2.0~2.5
H-3	$\geq 18.3 + 20\lg(f/4)$	6/4	3.0~3.8

续表

标准站型	G/T 值/(dB/K)	工作频率 (发/收)/GHz	参考口径/m
H-4	$\geq 22.1 + 20\lg(f/4)$	6/4	4.0~4.5
K-2	$\geq 19.8 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	1.2~1.8
K-3	$\geq 23.3 + 20\lg(f/11)$	14/11、14/12	2.0~3.0

3.30 地球站入网验证测试 (earth station verification test)

通信卫星运营商对拟入网的地球站进行的测试。通过入网验证测试的地球站才能使用卫星,其目的是保证入网的地球站不干扰其他站和卫星正常工作。

入网验证测试项目分为强制性项目和建议性项目两类:强制性项目一般有天线发射方向图和发射交叉极化隔离度;建议性项目一般有天线增益、接收交叉极化隔离度、功率稳定度、频率稳定度和 G/T 值等。由于天线发射方向图和发射交叉极化隔离度指标不达标,会干扰其他卫星或其他利用反极化工作的用户,因此这两类项目被列入强制性项目。

地球站入网验证测试的一般程序如下。

- (1) 提出入网验证申请。用户向卫星运营商提交入网验证申请表,内容主要包括天线口径、频段、联系人等,申请表一般可以从卫星运营商网站处下载;
- (2) 卫星运营商对申请进行确认,并安排测试计划;
- (3) 卫星运营商按照测试计划,在用户配合下进行测试;
- (4) 卫星运营商出具测试报告,做出入网验证测试是否通过的结论。

3.31 地球站天线 (antenna of earth station)

完成射频电磁波发射与接收的卫星地球站设备。地球站天线将高功率放大器输出的高频电流转换为向空间定向辐射(指向卫星)的电磁波。同时,汇聚接收卫星发送的电磁波,将其转换为高频电流输出到低噪声放大器中。

地球站天线主要包括天线面、馈源、伺服及跟踪系统。地球站天线样式和种类繁多,按天线口径可分为 13 m、11 m、7 m、5 m、2.4 m 等;按应用场景可分

为固定、机载、车载、船载、便携等;按工作原理可分为反射面、相控阵、平板等;按馈源放置位置可分为前馈、偏馈等;按反射面多少可分为单反射面和双反射面;按转动范围可分为全动和限动。

3.32 低噪声放大器(low noise amplifier)

固有噪声很低的放大器,简称低噪放或 LNA。卫星通信收发距离遥远,地球站接收到的卫星信号非常微弱。接收系统接收到卫星信号的同时,还接收到噪声(如大气噪声、干扰噪声、热噪声等)。这些噪声叠加在接收到的信号上一起被放大器放大,造成信号信噪比的恶化。要从微弱且混有多种噪声的信号中提取有用信号,就必须在接收分系统前端采用低噪声放大器。低噪声放大器首先要对微弱信号进行高倍放大;其次,放大器本身引入的噪声要足够低,不能“淹没”微弱的有用信号。这就要求低噪声放大器具有高增益、低噪声的特点。

目前所采用的低噪声放大器有两种:一种是参量放大器,另一种是场效应晶体管放大器。参量放大器利用非线性电抗特性来实现放大,早期地球站的制冷参量放大器工作在液氮制冷的密闭系统内,虽然噪声温度可以做得很低,但是设备比较复杂,操作维护极不方便。随着半导体工艺技术的发展,目前参量放大器为常温参量放大器,其利用半导体热偶进行制冷,以代替有庞大冷却装置的参量放大器,使用和维护更加方便。场效应晶体管放大器利用 PN 结的正反向偏置,通过栅极电压变化改变漏极电流的大小实现放大。它具有工作频带宽、噪声系数低、体积小以及使用方便等优点,从而被用来大量替代参量放大器,在卫星通信系统中得到了广泛使用。

低噪声放大器通过微波网络连接至馈源喇叭上。低噪声放大器的主要技术指标有噪声温度、增益、增益稳定度、电压驻波比、1 dB 压缩点输出功率、三阶交调截止点输出功率、调幅调频转换、群时延、最大输入功率等。

3.33 电离层闪烁(ionospheric scintillation)

电离层短周期不规则变化的现象。导致电离层闪烁的因素很多,主要有电离层湍流运动、电离动态平衡以及太阳等辐射源的随机变化。电离层闪烁时,穿越电离层的电磁波信号产生衰落,使信道的信噪比下降,误码率上升,严重时可使通信中断。电离层闪烁影响的频段从数十兆赫兹到 10 GHz,频段越低,影响越大。

3.34 电视上行站(satellite television up-link earth station)

完成电视信号上行发射的卫星通信地球站。电视上行站一般由电视编码器、复用器、调制器、上变频器、功放、天线以及供电系统组成。为了确保可靠工作,电视上行站通常采用双机备份的工作方式,并配备有监控系统,完成对上行系统的状态监测及播出状态记录。电视上行站一般采用 DVB-S 技术体制,为了满足准无误码(QEF)质量指标(在 1 h 内的传输时间里不可纠正的错误少于一个),误码率需达到 1×10^{-10} 。与电视上行站对应的卫星电视单收站由接收天线、低噪声模块(LNB)及卫星电视接收机组成。在试验任务中,电视上行站工作在 C 频段,天线口径为 5 m,采用 DVB-S 技术体制,发射 5 Mb/s 标清电视信号。

3.35 电压轴比(voltage axial ratio)

椭圆极化波电场矢量最大值与最小值之比,简称轴比,英文简称 VAR。线极化波和圆极化波可视为椭圆极化波的特例,因此电磁波的极化参量可统一用椭圆极化波的极化参量来表示。轴比为无穷大的椭圆极化波即为线极化波;轴比为 1 的椭圆极化波即为圆极化波。轴比是天线极化的一个重要性能指标,用来衡量极化的纯度。轴比决定了交叉极化隔离度的大小,二者的关系如下:

$$XPI = 20 \lg \frac{VAR + 1}{VAR - 1} \quad (3-7)$$

式中: XPI——交叉极化隔离度, dB;

VAR——电压轴比。

3.36 “动中通”车载卫星通信地球站(satcom on the move, SOTM)

能在移动中进行不间断通信的车载卫星通信地球站,简称“动中通”车载站,英文简称 SOTM。“动中通”车载站在运动过程中,根据姿态传感器测量出载车姿态的变化,通过自动调整天线姿态,消除载车运动对卫星指向的影响,保证天线始终对准卫星,如图 3.4 所示。

“动中通”车载站一般由天馈跟踪系统、姿态敏感系统、转台系统以及射频、终端系统、载车等组成。目前国内“动中通”车载站大多采用 Ku 频段。其天线由最初的抛物面形式发展为目前主流的平板阵列天线,下一代产品主要以相控阵天线为主。相控阵



图 3.4 动中通车载站

天线具有剖面低、高效率及波束赋形灵活等特点,可以最大限度地降低天线的剖面尺寸,使动中通天线具有更高的载体适应能力。试验任务中动中通车载卫星通信地球站采用越野车作为载体,天线口径一般为 0.45 m、0.6 m、0.9 m 等。

3.37 独特码(unique word)

一种独特的不易为随机比特所仿效而造成错误检测的码组,简称 UW。独特码长数十比特,一般选用伪随机码或其改进码。在时分多址系统中,独特码为帧头的组成部分之一,用于帧突发的时间基准。

3.38 端口隔离度(port isolation)

在多端口微波器件中,一端口入射波的功率与该入射波泄漏到另一非直通端口的功率之比,单位为 dB。卫通天线馈源网络是一个重要的多端口器件,向天线发送信号的端口称为发端口,从天线接收信号的端口称为收端口。要求其收一发、发一发端口隔离度大于 80 dB;线极化的收一收、发一发端口隔离度大于 30 dB;圆极化的收一收、发一发端口隔离度大于 20 dB。

3.39 对星(aiming at satellite)

调整天线的方位角、俯仰角和极化面,使天线波束中心对准目标卫星的过程。对星是地球站开通运行和检查维护必不可少的项目。固定地球站对星的一般方法和步骤如下。

(1) 根据工作卫星定点位置和地球站的地理位置计算出天线的方位角、俯仰角和极化角;

(2) 将信标接收机的频率设置到工作卫星的信标频率上;

(3) 松开方位/俯仰锁紧装置,把天线转至预先计算出的方位和俯仰。交替在方位、俯仰上进行搜索,找出信标电平最大者。此时天线在方位和俯仰上已对准卫星,锁紧方位/俯仰锁紧装置;

(4) 松开极化面锁紧装置,极化面按照计算出的极化角进行预置。旋转馈源网络有关器件(如分波器或双工器等),使主极化信号最大或交叉极化信号最小。此时,天线的极化面调整完毕,锁紧极化面锁紧装置。

3.40 多波束天线(multiple beam antenna)

具有两个以上独立波束的天线。多波束天线可分为反射面天线、透镜天线和直接辐射阵列(又称相控阵天线)3种基本类型。反射面和透镜天线具有相似的结构,通常由聚束器件(反射镜或透镜),初级辐射器阵列(喇叭或其他天线阵列)以及其他有关组件(如馈源阵相位振幅控制器,波束形成网络等)组成。反射面天线是实现多波束最简单、便宜及可靠的一种天线型式,通常由一个或两个反射面和若干独立馈源组成。每个馈源照射到反射面上,经反射产生一个波束。这样,多个馈源就产生了多个波束。相控阵天线包括阵列天线、射频接收通道和馈电网络(波束成型网络)三部分。多路信号通过馈电网络调整信号的幅值和相位使波束成型,然后经放大后自阵列天线发射,在空间形成多个互不相干波束。

多波束天线可使一个地球站同时利用多颗卫星实现通信,从而实现一站多用,既可以降低地球站建站成本,又提高了系统应用的灵活性和可靠性。

3.41 多路单载波(multiple channel per carrier, MCPC)

在一个载波上传送多路信息的方式。多路信号采用复用技术合成一个群路信号,调制至一个载波上发送。接收端收到信号后解复用,恢复出多路信号。多路单载波方式减少了卫星转发器的载波数量,有利于节省功率,减少系统的互调噪声。多路单载波适用于传输话音、数据、图像等综合业务信息的卫星通信地球站,是目前科研试验卫星通信网采用的主要方式。

3.42 多频时分多址(multi-frequency time division multiple access, MF-TDMA)

频分多址和时分多址相结合的二维多址方式。

MF-TDMA 采用多个载波,而在每个载波上采用时分多址方式。发送站和接收站在多个载波上跳变发送和接收,实现互相通信。根据载波跳变的不同,MF-TDMA 分为以下 3 种方式。

(1) 站发送载波跳变,接收载波固定。如图 3.5 所示,将所有站进行分组,每组只接收一个载波(称为值守载波),发送站将频率跳变至接收站值守载波的相应时隙上进行通信。

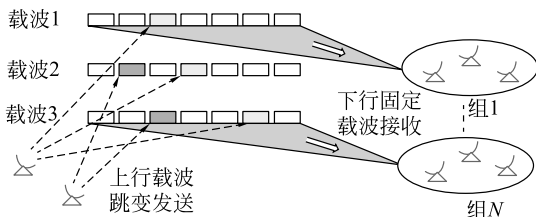


图 3.5 站发送载波跳变与接收载波

(2) 站发送载波固定,接收载波跳变。将所有站进行分组,一个组只使用一个载波发送,接收方跳变至发送站的载波时隙上进行通信。

(3) 站发送载波和接收载波都跳变。各站不再进行分组,根据分配的载波和时隙进行通信。

MF-TDMA 体制克服了单一频分多址(FDMA)实现点对多点时载波多、调制解调器设备配置量大的问题;单一时分多址(TDMA)组网应用时,大小站混合组网能力差、网络扩容能力不足等缺点。同时,利用 FDMA 和 TDMA 的优点,支持不同载波速率、不同站型、不同网络规模的组网应用,但技术实现难度较大。

3.43 法拉第旋转(Faraday rotation)

线极化波通过电磁场时发生的极化面旋转的现象。法拉第旋转是电磁场固有的特性。在卫星通信中,线极化波穿越电离层传播会发生法拉第旋转。旋转角反比于线极化波频率的平方,并与电离层的电子密度、场强、传播路径等密切相关。在工程中,使用经验公式(3-8)估算旋转角:

$$\theta_p = 72/f^2 \quad (3-8)$$

式中: θ_p ——旋转角,°;

f ——线极化波频率,GHz。

法拉第旋转造成的载波衰减为 $20\log(\cos\theta_p)$ (dB),交叉极化鉴别率下降 $20\log(\tan\theta_p)$ (dB)。另外,法拉第旋转无法改变圆极化波的极化方向,因此对圆极化波没有影响。

3.44 方位—俯仰—交叉天线座(azimuth-elevation-cross pedestal)

具有方位轴、俯仰轴和交叉轴的三轴天线座。在方位—俯仰天线座的基础上增加交叉轴的目的是解决移动地球站天线高仰角及过顶跟踪问题,实现天线的无盲区跟踪。如图 3.6 所示,三轴互相垂直,方位轴与地面垂直,俯仰轴和交叉轴与地面平行。

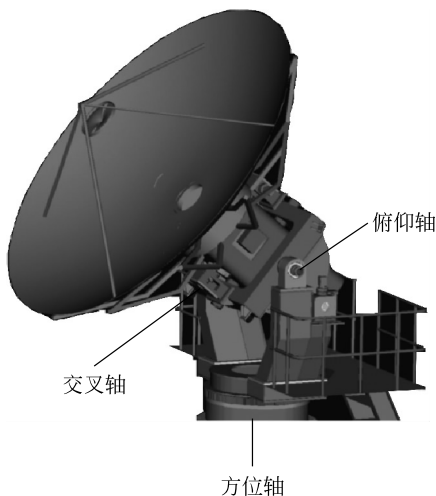


图 3.6 方位—俯仰—交叉天线座

方位轴转动角速度(V_x)、方位跟踪角速度(W_a)与天线仰角(E)三者的关系为: $V_x = W_a / \cos E$ 。当天线仰角增大时,同样的方位跟踪角速度所需要的方位轴转动角速度增大。当天线仰角接近 90° 时,需要的方位轴转动角速度趋于无穷大,导致方位—俯仰座天线无法跟踪。采用方位—俯仰—交叉座天线后,在高仰角时可利用交叉轴进行方位跟踪。试验任务中,测量船经常工作在高仰角地区,其卫星通信地球站采用了方位—俯仰—交叉天线座,有效地解决了天线高仰角及过顶跟踪问题。

3.45 方位—俯仰天线座(azimuth-elevation pedestal)

由方位轴和俯仰轴构成的两轴天线座。方位轴与地面垂直,俯仰轴与地面平行且垂直于天线指向。两轴可独立转动,因此可以对天线的方位和俯仰进行独立调整。方位—俯仰天线座具有桁架式、半转台式和全转台式等多种结构形式。其俯仰转动范围一般为 $0^\circ \sim 90^\circ$,方位转动范围视天线结构形式而定。一般桁架式天线座架具有 2~3 个扇区,每个扇

区转动范围一般小于 70° , 总的转动范围小于 180° 。半转台式天线, 不分扇区, 可以连续在较大的范围内转动(一般小于 180°)。全转台式天线波导电缆采用滑环接续, 可以在 360° 范围内转动。方位—俯仰两轴式天线座架是使用最广泛的卫通天线座架, 可应用于固定站、车载站、机载站、便携站等多种站型。

3.46 分合路器(divider and combiner)

将一路射频或中频信号分为多路, 又能将多路射频或中频信号合为一路的器件或设备。分合路器分为有源和无源两种: 有源分合路器具有调节衰减功能, 在卫星通信中一般用于中频信号的分合路; 无源分合路器仅对信号进行分路和合路, 不能进行衰减调节, 可用于射频和中频信号的分合路。在无源分合路器中, 分路器和合路器没有本质区别, 分路器反向使用时, 即为合路器, 反之亦然。

3.47 副瓣电平(sidelobe level)

天线副瓣峰值功率与主瓣峰值功率之比, 又称旁瓣电平, 单位为 dB。副瓣在主瓣方向之外产生辐射, 可能对其他站或卫星产生干扰, 同时, 还分散了主瓣的功率, 因此应尽量抑制天线的副瓣电平。在卫星通信中, 一般要求第一副瓣电平小于 -14 dB, 对其他副瓣电平一般采用包络线的形式进行限定。

3.48 高功率放大器(high power amplifier)

将射频信号进行功率放大, 输出至天线的设备; 简称高功放或 HPA。在卫星通信中, 从地球站发向卫星的信号在空间传输过程中会产生较大的衰减。为了使卫星收到的信号电平满足要求, 须在地球站配置高功放。高功放类型分为行波管和固态等。行波管放大器具有增益高、输出功率大等优点, 但是其电源复杂、成本高, 一般用于中大型地球站。固态放大器具有体积小、供电简单、寿命长、可靠性高的优点, 但是其输出功率较小, 一般用于中小型地球站。高功放的输出功率从几瓦到几千瓦不等,

高功率放大器的主要技术指标包括输出特性和输入特性两个方面。输出特性包括功率、频率范围、静噪抑制比、驻波比、增益、增益调节、增益稳定度、三阶交调、调幅调相转换、群时延、二次谐波等。输入特性包括电平、噪声系数、阻抗等。

3.49 跟踪接收机(tracking receiver)

接收并处理卫星信标信号, 用于天线跟踪卫星的地球站设备, 又称信标接收机。根据跟踪体制, 跟

踪接收机分为步进跟踪接收机和单脉冲跟踪接收机等。机动卫星通信地球站在载体运动时, 须确保天线实时对准卫星; 大中型固定地球站的天线波束较窄, 由于卫星的漂移等原因造成天线指向常偏离理想方向。为此, 上述类型的地球站专门设有调整天线指向的跟踪系统, 跟踪接收机是该系统的关键设备, 接收被跟踪卫星发射的信标信号, 并根据该信号的大小, 采用步进试探、单脉冲跟踪等方法, 输出指向误差信号。该误差信号输出至天线驱动装置, 调整天线指向, 从而确保天线对准卫星。

跟踪接收机的主要技术指标包括频率范围、频率分辨率、频率稳定度、输入信标电平、输入 1 dB 压缩点、输入阻抗、输入驻波比、镜像抑制制度、选择带宽、输出电压、输出斜率、输出线性度、捕获载噪比、捕获带宽、捕获时间等。

3.50 跟踪损耗(tracking loss)

由地球站天线跟踪误差引入的损耗。理想情况下, 地球站天线应指向卫星的最大增益方向。在跟踪过程中, 地球站天线偏离理想方向时, 接收到的信号功率下降, 由此产生的损耗即为跟踪损耗。跟踪损耗可用式(3-9)计算:

$$L = G(0) - G(\theta) \quad (3-9)$$

式中: L ——天线跟踪损耗, dB;

$G(0)$ ——天线对准卫星时接收到的信号功率电平, dB;

θ ——天线偏离卫星方向的角度, 即跟踪精度, 一般为半功率波束宽度的 $1/10 \sim 1/8$;

$G(\theta)$ ——天线偏离卫星角度为 θ 时接收到的信号功率电平, dB。

在工程应用中, 跟踪损耗一般用式(3-10)进行估算:

$$L \approx e^{2.77} (\theta/\theta_{1/2})^2 \quad (3-10)$$

式中: $\theta_{1/2}$ ——天线半功率波束宽度。

由于 $\theta_{1/2}$ 取决于天线尺寸和工作频率, 因此跟踪损耗最终取决于天线尺寸、工作频率和跟踪精度。通常跟踪损耗应小于 0.5 dB。

3.51 功率通量密度(power flux density)

卫星天线单位有效面积接收到的辐射功率, 简称 PFD, 单位为 dBW/m^2 。PFD 与地球站有效全向辐射功率的关系如下:

$$\text{PFD} = \frac{\text{EIRP}}{4\pi d^2} \quad (3-11)$$

式中: EIRP——地球站有效全向辐射功率, dBW;

d ——卫星与地球站之间的距离, m。

单载波在饱和工作情况下的功率通量密度称为饱和通量密度,用来衡量卫星转发器的接收灵敏度。饱和通量密度越小,需要地球站发射的上行功率就越低。饱和通量密度是设计地球站上行链路所需的重要参数,直接影响地球站 EIRP 的选取,进而影响天线口径和功放大小的选择。通过改变卫星转发器的增益档,可以在一定范围内调整饱和通量密度。

3.52 共信道干扰 (co-channel interference)

使用同一频带的波束间产生的干扰。为了充分利用卫星的频率资源,卫星通信系统用波束隔离的方法重复使用频率资源,即若干波束使用同一频带,但波束照射在互不重叠的地球区域。如果一个波束的旁瓣落在另一个波束的主瓣内,则会对后者形成干扰。干扰的大小用共信道隔离度表示,其定义为一个波束在其最大辐射方向上的功率与干扰波束旁瓣在此方向上的功率分量之比。

3.53 固态功率放大器 (solid state power amplifier)

由微晶体管构成的功率放大器,简称固态功放,英文简称 SSPA。固态功放结构如图 3.7 所示,由驱动模块、功放模块、电源模块及监控系统等组成。驱动模块提供较高的增益和足够的驱动电平,功放模块则通过功率合成将若干个功放芯片的输出功率叠加,以获取较大的输出功率;电源模块将外部的交流供电转换为各模块工作时所需的直流电压;监控系统控制功放的增益和电平,查询功放的功率、

温度等状态参数,并在特定条件下执行控制指令。

固态功放与行波管功放相比,其主要优点是:

- (1) 工作电压低,一般低于 50 V,这使得放大器的结构简单、体积小、质量轻、耗电省,便于集成化。
- (2) 可靠性高、寿命长,其单管寿命为百万小时左右。
- (3) 非线性失真小。

3.54 关口站 (gateway station)

卫星移动通信系统中与地面通信网连接,实现卫星移动用户与地面通信网用户通信的地球站。关口站负责归属本站的移动用户终端与地面网络之间的通信转接,完成卫星信号的收发、协议转换、流量控制、路由选择等功能,并对系统分配给自己的卫星资源和用户进行管理。

关口站如图 3.8 所示,由空中接口、交换分系统、管理分系统等组成。空中接口是关口站和卫星的接口,完成关口站和卫星之间的信号发射和接收功能,实现关口站和卫星网络的互联;交换分系统实现卫星网络与地面网络信息的交换;管理分系统负责整个系统的控制和管理,主要包括信令的处理、资源的分配及各种业务在各个网关间的调度等。

在海事卫星通信系统中,关口站又称为陆地地球站,除完成移动用户与地面通信网的接续外,还完成移动用户与移动用户之间的通信转接。

3.55 国际 64° 卫星 (Intelsat IS-906 Satellite)

国际卫星通信组织运营的、定点于东经 64° 的地球同步轨道通信卫星,编号为 IS-906。该卫星是

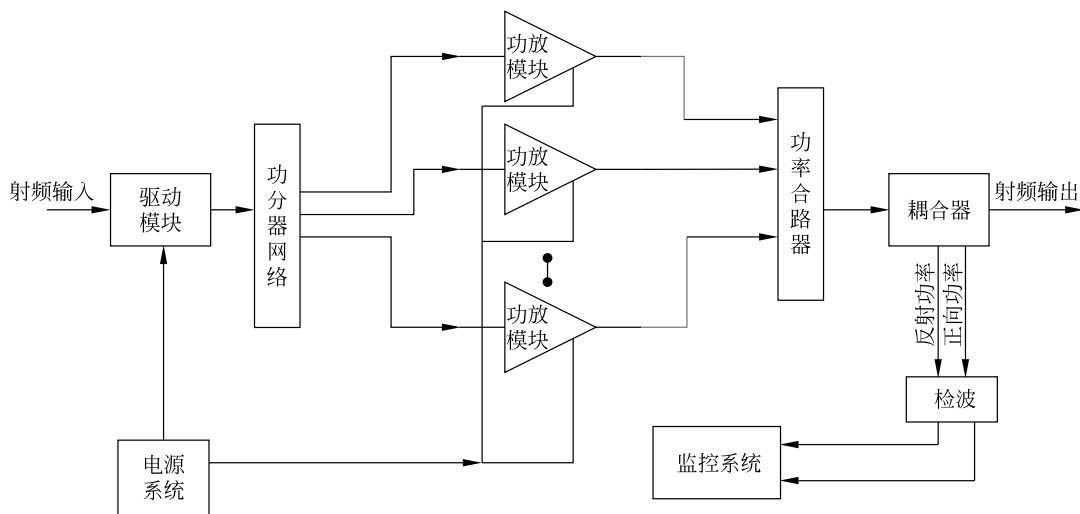


图 3.7 固态功放组成

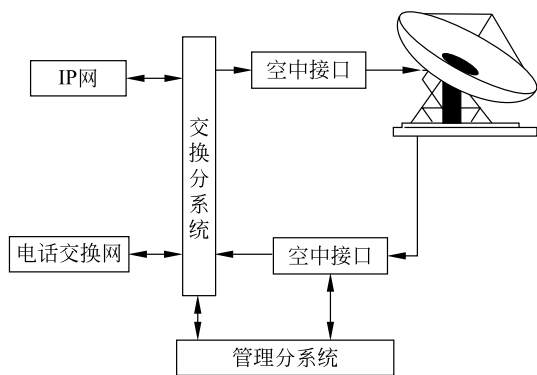


图 3.8 关口站的组成

国际卫星通信组织的第九代卫星,其转发器参数见表 3.2。在国防科研试验中,利用该卫星实现测量船在印度洋海域与北京方向的通信。

3.56 国际海事卫星组织 (International Maritime Satellite Organization)

提供海事通信业务的国际组织,英文简称 INMARSAT。该组织成立于 1979 年 7 月,总部设在伦敦,最初只提供海上至陆地的移动卫星服务和全球海上遇险与安全系统服务,如海上安全信息、航行和气象警报、遇险船舶位置标识、搜救协调通信等。20 世纪 80 年代中期,INMARSAT 修订了公约及经营协定,陆续提供了航空移动通信业务及陆地移动通信业务,成为全球卫星移动通信组织,并于 1999 年完成了公司化改造,运营世界上第一个全球性的移动

卫星通信系统。

中国是 INMARSAT 的创始成员国。交通运输部中国交通通信信息中心在中国唯一经营海事卫星通信业务,并于 1984 年开始筹备建设北京陆地地球站,建设了 INMARSAT A 系统、B/M/Mini-M 系统、C 系统、F 系统以及宽带业务系统。该地球站于 1991 年正式投入使用。

目前,INMARSAT 拥有四代共 11 颗在轨卫星,分别位于太平洋、印度洋和大西洋的赤道上空,覆盖了南、北纬 70° 以下的所有区域。在试验任务中,测量船利用海事卫星通信作为第二传输路由。

3.57 国际卫星通信商用业务 (INTELSAT business service)

国际卫星通信组织 (intelsat international telecommunication satellite organization, INTELSAT) 在其 IESS-309 标准中提出的标准化商用通信业务,简称 IBS。该业务向用户提供透明的数字传输业务,其速率可选范围为 64 kb/s~8.448 Mb/s。IBS 系统采用 FDMA 体制,调制方式为 QPSK,信道编码采用 1/2 或 3/4 率卷积码,具有专用帧结构形式。

IBS 与中等速率业务 (IDR) 相似,体制基本相同,不同之处在于:

- (1) 传输速率不同。IBS 最高能工作到 8.448 Mb/s,而 IDR 可以工作到 44.736 Mb/s。
- (2) 帧结构不同。IBS 帧头速率为数据速率的 1/15;IDR 帧头速率固定为 96 kb/s。

随着技术的发展,出现了新的调制及编码方式。

表 3.2 国际 64° 卫星转发器参数

转发器类型	C 频段转发器	Ku 频段转发器
转发器数目	44 个	12 个
工作频率	上行: 5925~6425 MHz 下行: 3700~4200 MHz	上行: 14.00~14.50 GHz 下行: 10.95~11.20 GHz 11.45~11.70 GHz
上/下行极化方式	右旋或者左旋圆极化	垂直或者水平线极化
最大有效全向辐射功率 (EIRP) (波束峰值~波束边缘)	半球波束: 44.5~37.0 dBW 区域波束: 47.8~35.1 dBW 全球波束: 35.8~31.0 dBW	点波束 1: 52.0~47.0 dBW 点波束 2: 52.0~47.0 dBW
典型品质因数 (G/T) (波束峰值~波束边缘)	半球波束: +2.0~-7.4 dB/K 区域波束: +5.4~-5.0 dB/K 全球波束: -5.6~-11.2 dB/K	点波束 1: +5.0~+0 dB/K 点波束 2: +5.0~+0 dB/K
饱和通量密度	-67.0~-89.0 dBW/m ² (步距小于 2 dB)	-87.0~-69.0 dBW/m ² (步距小于 1.5 dB)

实际应用中,IBS 的调制及编码方式可采用 8PSK、16QAM 等高阶调制和 RS、Turbo、LDPC 等高效编码方式。

3.58 国际卫星通信组织 (International Telecommunications Satellite Organization, INTELSAT)

世界上最大的商业卫星通信业务提供商,英文简称 INTELSAT。该组织于 1964 年 8 月 20 日在美国成立,总部位于华盛顿,成立时拥有 11 个成员国,后发展成一个拥有 140 多个成员国的国际性组织。由于 INTELSAT 属于各国政府之间的合作组织,不能平等进入市场,因此为了增强该组织的灵活性与竞争性,2001 年 7 月 18 日,国际卫星通信组织由一个条约国组织转变成为一家私营公司,成为了全球第一家商业卫星通信业务提供商。

INTELSAT 自 1965 年发射通信卫星以来,已先后推出十代共 50 多颗卫星,覆盖了大西洋区(AOR)、印度洋区(OR)和太平洋区(POR)3 个主要区域。除主要经营卫星转发器租赁业务外,INTELSAT 还自建地球站,经营国际或国内卫星固定通信业务。在国防科研和试验任务中,测量船及国外站租用 INTELSAT 的通信卫星与国内进行通信。

3.59 国际移动卫星通信系统 (International Mobile Satellite Communication System)

国际海事卫星组织运营的,为海陆空用户提供全球化、全天候、全方位通信和遇险安全通信服务的通信系统。系统原名为国际海事卫星通信系统,1994 年更为现名,但习惯上仍称海事卫星通信系统。系统主要由空间段、网络控制中心(network control center, NCC)、网络协调站(network coordination station, NCS)、陆地地球站(land earth station, LES)、移动终端系统(mobile end system, MES)等组成。

系统的空间段主要由 4 颗工作于同步轨道的通信卫星和 4 颗备用卫星组成。4 颗卫星的覆盖区域分别是大西洋东区、大西洋西区、太平洋区和印度洋区。卫星与移动终端站的链路采用 L 波段,卫星与陆地地球站之间采用 C 和 L 双频段工作。

NCC 设在英国伦敦的国际海事卫星组织总部,负责监测、协调和控制网络内所有卫星的操作和运行。

NCS 为完成所覆盖洋区内卫星通信网络的控制

和资源分配工作的地球站。每个洋区至少有一个 LES 兼作 NCS。

LES 是系统与陆地公用通信网的接口,也是控制和接入中心。其主要功能是建立与分配信道、监测与管理信道、编排核对船舶识别码、计费、监听遇难信息等。陆地地球站由所在国国际海事卫星组织签字者建设并经营。

MES 为系统的用户终端,按业务类别不同又分为 A 站、B 站、M 站、C 站、F 站、BGAN 站等类型。移动终端站由 NCS 分配卫星资源,通过 LES 进入公用通信网或与另一个 MES 进行通信。

在试验任务中,国际移动卫星通信系统主要用于测量船、机载站、国外站的对外通信。

3.60 海事 A 站 (maritime A station)

国际海事卫星通信系统移动终端站站型之一。该站为模拟体制,工作在 L 频段,提供一路模拟话音和一路传真业务。话音业务采用单路单载波调频(SCPC-FM)方式,占用带宽为 30 kHz。传真业务采用 TDM/TDMA 方式,岸对船为 TDM 载波, BPSK 调制方式,速率为 1.2 kb/s;22 个船站采用固定预分配方式共用一个 TDMA 载波, BPSK 调制,速率为 4.8 kb/s。船载卫星天线配置自动跟踪系统以确保天线始终对准卫星。该站是国际海事卫星通信系统最早的站型,早期试验任务中,测量船利用海事 A 站外接话音调制解调器传输一路低速数据,作为岸船数据通信的备份路由。

3.61 海事 BGAN 站 (maritime broadband global area network station)

国际海事卫星通信系统移动终端站站型之一,中文名称为海事宽带全球区域网络站。该站基于第四代海事卫星,支持的业务类型主要包括电路交换业务、分组交换业务和短信业务。电路交换业务主要负责语音传输、传真和电话上网,分为标准语音业务、高保真语音业务和综合业务数字网(ISDN)业务 3 种。分组交换业务是共享型数据业务,分为标准 IP 业务和流媒体 IP 业务两种:标准 IP 业务采用 TDM/TDMA 方式,16QAM 或 QPSK 调制, Turbo 编码,具有高达 492 kb/s 的信息传输能力,适合电子邮件、文件传输、互联网等业务;流媒体 IP 业务则能够让用户独占数据链路,速率分为 64 kb/s、128 kb/s 和 256 kb/s 这 3 档,能保证数据的传输性能和质量,比较适合对实时性要求较高的 IP 视频和语音进行传

输。短信业务为用户提供短信的接收和发送服务。在国防科研试验任务中,测量船、国外站已用海事 BGAN 站取代海事 B 站作为第二传输路由。

3.62 海事 B 站 (maritime B station)

国际海事卫星通信系统移动终端站站型之一。海事 B 站是 A 站的数字式替代产品,工作在 L 频段,可提供数据、话音等业务。数据业务采用 OQPSK 调制方式,采用 3/4 率的前向纠错编码,速率为 64 kb/s;话音业务采用 16 kb/s 的 ADPCM 话音编码, OQPSK 调制,3/4 率的前向纠错编码,多址方式为按申请分配的 SCPC,载波间隔为 20 kHz。在国防科研试验任务中,测量船、国外站曾利用海事 B 站作为第二传输路由。

3.63 海事 C 站 (maritime C station)

国际海事卫星通信系统移动终端站站型之一。该站为数字体制,工作在 L 频段,提供电报/数据,遇险报警,船位、航行计划等数据报告,询呼,电子邮件等业务。

海事 C 站分为三类,第一类能进行岸到船、船到岸电报和数据通信,能进行打印或显示遇险和安全信息;第二类在第一类的基础上,增加了空载时接收强化群呼业务 (EGC) 报文的功能;第三类在第一类的基础上,配置第二台接收机,增加了在通信的同时连续接收 EGC 报文的功能。

海事 C 站采用低增益的全向天线,在船舶等载体剧烈摇摆等恶劣环境下,无需跟踪卫星,仍能正常工作。信息传输速率最高为 1200 b/s,调制方式为 BPSK,纠错编码为 1/2 卷积编码。海事 C 站对陆地地球站 (LES) 和网络协调站 (NCS) 的载波为脉冲方式的 TDMA 载波, LES 和 NCS 对海事 C 站的载波为 TDM 载波。海事 C 站对 LES 有 3 个信道:其一为 LES 到海事 C 站的 TDM 信道,传送独特字、布告板 (信令信道、时隙)、数据组 (信道分配、认可,数据包信息)等;其二为海事 C 站到 LES 的信令信道,传送响应通告、逻辑信道申请认可、预先报警、数据报告等信息;其三为海事 C 站到 LES 的信息信道,传送电传和数据信息。海事 C 站对 NCS 有两个信道:其一为 NCS 到海事 C 站的 TDM 信道,传送独特字、布告板 (各个 LES 的信息)、数据组 (宣布确认入、退网认可,数据组确认)、询呼、EGC 信息等;其二为海事 C 站到 NCS 的信令信道,传送给遇险报警、数据报告,以及入、脱网申请等。海事 C 站的设备实现了小型

化,终端及天线可装在一个手提箱中,质量为 3 kg 左右。

根据《国际搜寻救助公约》,凡从事国际航行的 300 t 以上的货船和一切客轮必须安装全球海上遇险和安全系统 (GMDSS) 设备。远望号测量船按照这一要求,均安装了海事 C 站。

3.64 海事第四代通信卫星 (the Forth Generation International Moblie Communication Satellite)

国际海事卫星组织拥有的第四代地球同步轨道通信卫星。目前,海事第四代卫星已发射 3 颗,分别定点于东经 64°、西经 53°和西经 98°,覆盖欧洲、非洲、中东、亚洲、印度洋、美洲大陆、大西洋和太平洋东部区域。

卫星设计寿命 10 年,星上装有一个 9 m 口径的相控阵多波束天线,设计有 1 个全球波束、19 个宽点波束和 228 个窄点波束。其中,全球波束用于信令和一般数据传输,宽点波束兼容第三代海事卫星的通信业务,窄点波束用于实现新的宽带业务,宽带业务的传输速率最高可达 492 kb/s。

海事第四代通信卫星的主要参数见表 3.3。

表 3.3 海事第四代通信卫星参数

频段	用户链路: L 频段 馈电链路: C 频段
波束	全球波束: 1 个 宽点波束: 19 个 窄点波束: 228
频率范围	前向链路: 用户链路 1525~1559 MHz 馈电链路 6424~6575 MHz 反向链路: 用户链路 1626.5~1660.5 MHz 馈电链路 3550~3700 MHz
极化	圆极化
卫星等效全向辐射功率	67 dBW

3.65 合成轴比 (composite axial ratio)

卫星天线轴比、地球站轴比以及去极化效应引起的等效轴比的综合轴比。合成轴比是地球站最终接收到的电磁波的轴比。在晴天,可忽略去极化效应引起的等效轴比,这样在小轴比 (不大于 1.06) 的

情况下,合成轴比可采用矢量合成法求得。如图 3.9 所示,两个轴比矢量的夹角为 $2\Delta\gamma$,其中 $\Delta\gamma$ 为二者椭圆极化倾角的差值。

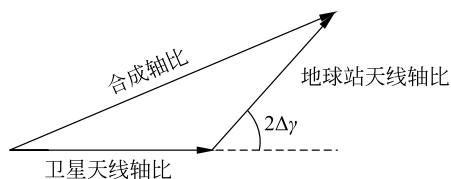


图 3.9 合成轴比矢量计算方法

3.66 后馈天线 (feedback antenna)

馈源的辐射方向与天线辐射方向相同的反射面天线。后馈天线的原理如图 3.10 所示,有主、副两个反射面,因此又称为双反射面天线或双镜天线。主反射面为旋转抛物面,副反射面为双曲面或椭球面。副反射面为双曲面的又称卡塞格伦天线,为椭球面的又称格利高里天线。副反射面的一个焦点放置馈源,另一个焦点与主反射面的焦点重合。这样,馈源辐射的电磁波依次经副反射面和主反射面反射后,平行于天线轴辐射出去。

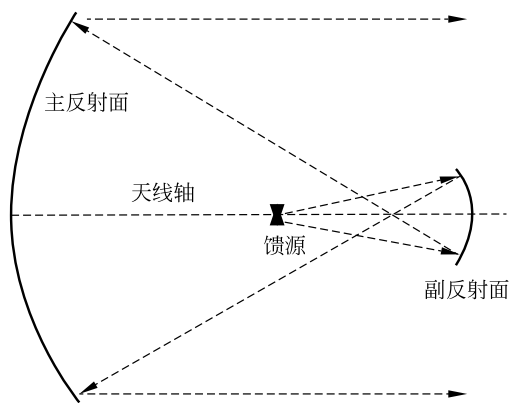


图 3.10 后馈天线(格利高里天线)的原理

3.67 滑环 (slide ring)

利用滑动接触在天线转动部分与固定部分之间传递信号与电力的装置。在固定卫通站中,天线与信道及控制设备间的连接电缆采用固定连接,电缆长度留有一定余量来保证天线的必要方位调整范围。而在动中通卫通站中,天线连续转动,电缆采用固定连接,会产生缠绕问题,因此需要采用滑环连接。滑环一般由旋转转轴和钢丝(或电刷)等部分组成。旋转转轴连接天线转动部分,跟随其转动;钢

丝(或电刷)连接卫通设备的固定部分。当天线转动时,钢丝(或电刷)与旋转转轴保持滑动接触,从而建立电信号的连接通道。通过滑环传递的信号主要有电机、陀螺、轴角编码、低噪声放大器等供电、传感及控制信号。

3.68 环焦天线 (ring focus antenna)

焦点为一圆环的天线。环焦天线为面天线,由主反射面和副反射面组成。如图 3.11 所示,主反射面为绕 AA 轴旋转形成的抛物面,副反射面的母线为椭圆的一部分,绕 AA 轴旋转形成副反射面。副反射面的一个焦点 O 位于馈源喇叭的相位中心,另一个焦点 F 与主反射面的焦点重合,为绕 AA 轴旋转形成的一个圆环,故称为环焦天线。由于副反射面的两个焦点连线 OF 与 AA 轴存在一个夹角,故又称环焦天线为偏焦轴天线。

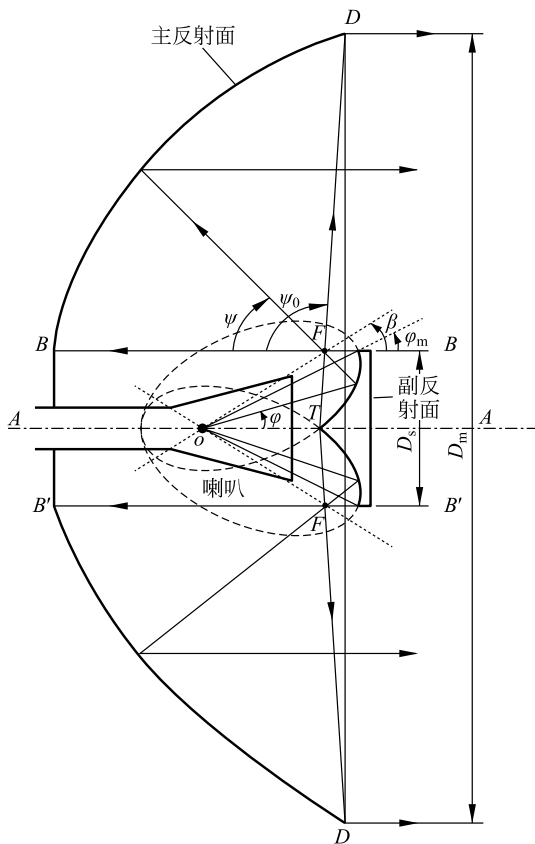


图 3.11 环焦天线

由于馈源位于焦点 O 上,其发射出的电磁波经副反射面反射后,均经过焦点 F 至主反射面,因此

可以消除副反射面对电磁波的遮挡效应,也可防止天线发射的电磁波经反射后返回到馈源,从而改善了馈源的驻波特性,提高了天线效率。与前馈天线相比,馈源由焦点 F 移至焦点 O 上,缩短了与主反射面的距离,减少了馈线损耗。由于大口径的环焦天线的副反射面加工困难,环焦天线主要应用在中小型卫星通信地球站。

3.69 极化角 (polarization angle)

静止轨道卫星发射的水平极化波电场矢量与地球站天线所在地的地平面的夹角。卫星天线的极化方向以卫星自旋轴为基准,将电场矢量垂直于卫星自旋轴的波定义为水平极化波,平行于卫星自旋轴的波定义为垂直极化波。而地球站天线的极化方向以所在地的地平面为基准,将电场矢量平行于地平面的波定义为水平极化波,垂直于地平面的波定义为垂直极化波。二者极化方向的基准不同,而且随二者的相对位置变化而变化,因此极化角随地球站的经纬度和静止轨道卫星的经度变化而变化,可由式(3-12)计算得出:

$$\theta_p = \arctan \frac{\sin \Delta\theta}{\tan \alpha} \quad (3-12)$$

式中: θ_p ——极化角, ($^\circ$);

$\Delta\theta$ ——地球站与卫星经度之差, ($^\circ$);

α ——地球站纬度的绝对值, ($^\circ$)。

在北半球,卫星位于地球站西边时,极化角为正;位于东边时,极化角为负。当地球站发生大的位置变化或转星时,需要调整地球站天线的极化面,以抵消极化角改变时产生的极化损耗。

3.70 极化校正 (polarization correction)

采用补偿网络对电磁波极化偏转进行的校正。微分相移和微分衰减造成了电磁波的极化偏转,因此极化校正分为微分相移补偿和微分衰减补偿两种。微分相移补偿采用移相器对微分相移进行补偿,补偿网络为主补偿网络,插在天线馈源与高功放(低噪声放大器)之间。微分衰减补偿网络为副补偿,在频率较高的场合下使用,一般插在高功放前和低噪声放大器后。

3.71 极化面调整 (polarization plane adjustment)

旋转线极化天线的极化面使其与接收电磁波的极化面一致的过程。矩形波导允许极化面与其窄边

平行的电磁波通过,而阻止极化面与其窄边垂直的电磁波通过。因此馈源网络有关器件(如双工器)端口的窄面,可视为天线的极化面。以馈源中心轴为轴心,旋转馈源网络有关器件,即可调整天线的极化面。在工程实现上,通常采用转筒或旋转关节的方式,实现极化面的调整。当地球站发生大的位置变化或转星时,由于极化角改变,需要对地球站天线的极化面进行调整。

3.72 极化损耗 (polarization loss)

天线的极化与接收信号的极化不一致引起的损耗,单位为 dB。电磁波穿过电离层时产生的法拉第旋转效应、降雨、卫星姿态变化、收发两端设备不一致等因素,均会导致圆极化或线极化电磁波发生极化改变。当天线的极化与接收信号的极化不一致时,接收信号可分解为与天线极化方向一致的分量和与天线极化正交的分量。由于天线不能接收正交分量,因此产生极化损耗。

设天线极化方向与信号极化方向的夹角为 λ , 则极化损耗 L_p (单位: dB) 为

$$L_p = -20 \lg(\cos \lambda) \quad (3-13)$$

卫星通信的极化损耗一般小于 1 dB。当利用圆极化天线接收线极化信号时,极化损耗可达 3 dB。

3.73 机载卫星通信地球站 (airborne earth station)

利用飞机作为载体的卫星通信地球站。飞机飞行速度快,姿态变化大,设备安装条件苛刻。机载卫星通信地球站针对这些特点,通常采用如下技术措施。

(1) 天线安装于机体外部,为了飞机和天线安全,须加装天线罩。天线罩既要满足透波要求,且使天线方向图不发生畸变,又要满足飞机飞行的空气动力学要求和防雷除冰要求。此外,为防止机体电磁反射,需在天线罩里的机体表面粘贴吸波材料。

(2) 采用 GPS 等卫星导航数据和惯导数据引导天线快速捕获卫星。

(3) 消除飞机运动产生的多普勒频移的影响。常用的方法有两种:一是机载站采用专用的大范围跟踪锁相环自动锁定载波;二是由机载惯导等位置姿态设备提供的数据,计算出飞机相对于卫星的速度,对飞机进行校正。

(4) 机载设备体积、质量和功耗严格受限,须采用模块化、小型化、机电一体化设计。为满足机载设备严格的振动及电磁兼容等环境要求,须采用特殊的加固处理方法。

(5) 对于直升机机载站,一般采用载波缝隙突发技术解决旋翼遮挡问题。

在国防科研试验任务中,机载卫星通信地球站常应用于飞机测控通信和载人航天着陆场搜救通信。

3.74 交叉极化隔离度 (cross-polarization isolation)

卫星信道的主极化分量与其在另一正交极化信道中产生的交叉极化分量之比,简称 XPI,单位为 dB。交叉极化隔离度反映了天线干扰另一正交极化信道的程度。交叉极化隔离度越高,干扰越小。交叉极化隔离度低时,天线泄露的正交极化信号会对卫星正交极化转发器上的用户造成干扰,因此天线的交叉极化隔离度是入网验证测试的强制性项目。

交叉极化隔离度的测试方法如图 3.12 所示,信号源输出的单载波信号经被测天线发射至辅助站。辅助站的馈源网络分离出同极化信号和交叉极化信号,分别经低噪声放大器输出至频谱仪。频谱仪分别测得同极化信号功率电平值 $P_{\max}$ 与交叉极化信号功率电平值 $P_{\min}$ 。 $P_{\max} - P_{\min}$ 即为被测天线的交叉极化隔离度。

3.75 交叉极化鉴别率 (cross-polarization discrimination)

卫星信道的主极化分量与另一正交极化信道的信号在本信道产生的交叉极化分量之比,简称 XPD,单位为 dB。交叉极化鉴别率反映了接收天线抑制交叉极化信号干扰的能力。交叉极化鉴别率越高,接收天线抑制交叉极化信号干扰的能力越强。对同一天线,交叉极化鉴别率与交叉极化隔离度数值相当。

交叉极化鉴别率的测试方法如图 3.13 所示,信号源输出的单载波信号经信标喇叭发射至被测天线。调整信标喇叭的极化,使被测天线接收信号电

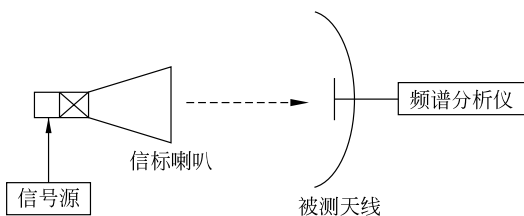


图 3.13 交叉极化鉴别率测试原理

平最大,记录此时频谱分析仪的接收电平 $P_{\max}$;再次调整信标喇叭的极化,使被测天线接收信号电平最小,记录此时频谱分析仪的接收电平 $P_{\min}$ 。 $P_{\max} - P_{\min}$ 即为被测天线的交叉极化鉴别率。

3.76 校相 (phase-calibration)

对单脉冲跟踪接收机的和差通道进行相位校准的过程。当天线对准卫星时,馈源的和差网络向跟踪接收机输出的信号中只有和信号;当天线偏离卫星时,不但有和信号,而且出现差信号。接收机根据和差信号,解出方位误差信号 (Δ_{AZ}) 和俯仰误差信号 (Δ_{EL}),输出至天线控制单元,引导天线对准卫星。当跟踪接收机和差通道的相位没有校准时,跟踪接收机输出的 Δ_{AZ} 信号中叠加了俯仰误差分量, Δ_{EL} 信号中叠加了方位误差分量,使得 Δ_{AZ} 、 Δ_{EL} 信号不能准确反映天线的实际跟踪误差值,导致天线不能准确对准卫星。

校相的基本原理是:调整跟踪接收机的移相器,使跟踪接收机相位检波器的相位等于其与差信号的相位差,消除 Δ_{AZ} 、 Δ_{EL} 信号中的叠加分量。校相过程如下。

(1) 使天线对准卫星,保持天线俯仰不变,方位单独拉偏,调整跟踪接收机的移相器,使 Δ_{AZ} 达到最大值,此时 Δ_{EL} 应为最小。

(2) 天线再次对准卫星,保持天线方位不变,俯仰单独拉偏,调整跟踪接收机的移相器,使 Δ_{EL} 达到最大值,此时 Δ_{AZ} 应为最小。

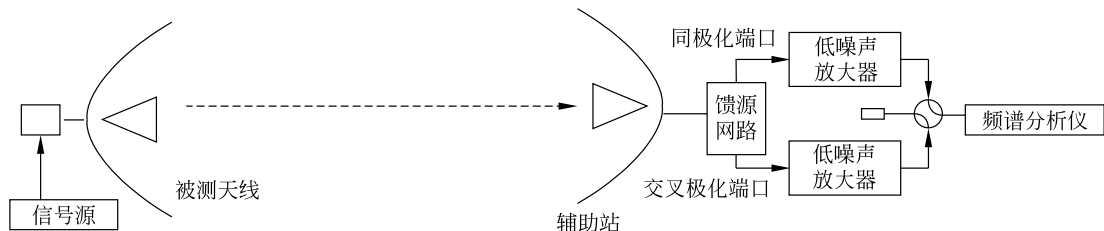


图 3.12 交叉极化隔离度测试原理

(3) 重复步骤1、2,直到步骤1的 Δ_{AZ}/Δ_{EL} 和步骤2的 Δ_{EL}/Δ_{AZ} 同时达到最大值。

3.77 “静中通”车载卫星通信地球站 (movable vehicular Earth station)

利用车辆运输到指定位置后展开进行通信的卫星通信地球站,简称车载卫通站。车载卫通站有两种安装方式:一种是卫星通信设备固定安装在车辆上,另一种是卫星通信设备安装在方舱里,方舱可与车辆分离,单独运输和使用。车载卫通站天线安装条件受限,工作环境复杂多变,且要求具有快速开通与撤收能力。针对这些特点,车载卫通站采取如下技术措施。

(1) 快速捕星技术。车载卫通站配有GPS、电子罗盘等定位指示设备,天线控制单元及跟踪接收机等伺服设备根据定位指示设备提供的车载站经度和纬度数据,以及车辆姿态数据(包括横倾角、纵倾角等)和卫星的经度数据,进行自动捕星及跟踪操作。

(2) 特殊的天线结构。为便于展开和收藏,车载天线一般采用偏馈结构和赋形或切割方式的天线面。转台一般采用全转台天线座架结构,方位和俯仰运动范围大。天线材料一般采用铝合金或碳纤维等轻型高强度材料。

(3) 一体化设计。采用变频及功放设备一体化的室外单元(ODU),并与天线馈源、伺服传动等室外设备合理布设,达到减少损耗、便于天线收藏和安装的目的。对调制解调器、终端、监控等室内设备尽可能进行一体化设计,以减小车载卫通站设备的体积、质量及功耗。

(4) 环境适应性设计。天线的俯仰轴采用大力矩传动齿轮,车体采用千斤顶托举,天线座架与载体加固连接,以增强天线的抗风性能。通过在电源出口及车壁信号转接口安装避雷器,采用专用接地桩接地等措施,避免雷击。室内配有空调和暖风机,保证设备在良好的温湿度环境下工作。机柜底部安装减振器,可以减少运输过程中对设备的振动影响。

车载卫通站具有机动灵活、转站方便等特点,在国防科研试验中,常为机动点位提供通信保障,如图3.14所示为2.4 m“静中通”车载卫星通信地球站。

3.78 卡赛格伦天线 (Cassegrain antenna)

副反射面为旋转双曲面的后馈天线。如图3.15



图 3.14 2.4 m“静中通”车载卫星通信地球站

所示,副反射面的一个焦点位于主反射面的焦点上,另一个焦点位于馈源的相位中心。从馈源发出的球面电磁波,经副反射面的反射,形成等效于主反射面焦点发出的球面电磁波,再经主反射面反射后,形成平行于主反射面天线轴的电磁波束。卡赛格伦天线对天线的设计加工要求较低,且馈源网络和低噪声放大器可以安装在主反射面后方的射频箱里,以缩短馈线,减小馈线损耗。与前馈天线相比,副反射面在辐射方向上有遮挡,效率较低;天线的一部分辐射能量又反射回馈源,天线的驻波比较大。对于大型天线来讲,这些不利影响相对较小,因此多采用卡赛格伦天线。

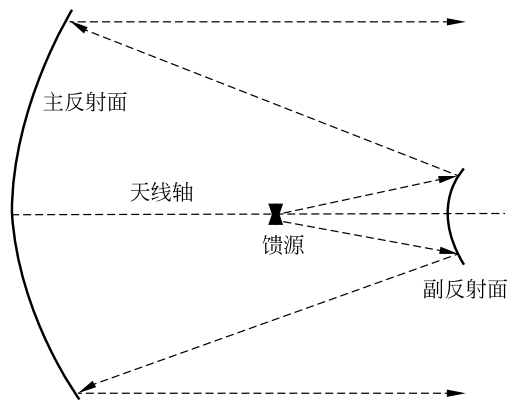


图 3.15 卡赛格伦天线原理

3.79 《可搬移式卫星通信地球站设备通用技术要求》(General Specification of Equipments for Transportable Satellite Communication Earth Station)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为

GB/T 15296—1994, 1994 年 12 月 6 日, 国家技术监督局发布, 自 1995 年 7 月 1 日起实施。该标准规定了可搬移式卫星通信地球站设备的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存等。该标准适用于 C 频段地面可搬移式卫星通信地球站, 可作为 C 频段地面可搬移式卫星通信地球站的建设、技术改造和设备生产的技术依据。

3.80 宽带卫星通信 (broadband satellite communication)

利用通信卫星传输高速通信业务的通信方式。与窄带卫星通信相比, 宽带卫星通信的传输速率可以达到数十兆比特每秒以上, 承载的业务由低速数据及话音业务转变为 IP 数据和多媒体业务, 是当前卫星通信的主要发展方向之一。宽带卫星通信一般具有以下特点。

(1) 高频段、大带宽

宽带卫星通信系统一般工作于 Ku、Ka、EHF 频段, 卫星采用大型可展开式天线和多波束相控阵天线以增大卫星的功率及带宽, 卫星转发器带宽可以达到数吉赫兹, 甚至更高。

(2) 星上处理及交换

卫星搭载波束交换矩阵和 IP 交换机, 具有星上交换和波束、频段交链能力。

(3) 高阶调制高效编码

为提高系统带宽和功率利用率, 宽带卫星通信系统普遍采用了高阶调制和高效编码技术, 如高阶 PSK、高阶 QAM 调制, Turbo、LDPC 编码等。

(4) 协议加速与服务质量保证

由于卫星信道具有较大往返时延, 前(反)向信道不对称使用, 以及相对地面较高的信道误码率等特点, 因此为地面网络设计的 TCP/IP 协议不能直接应用于高速卫星通信之中。宽带卫星通信系统为了更好地与 IP 网络融合, 大都采用了协议加速技术、服务质量保证技术等。

3.81 馈线损耗 (feed line loss)

馈线的传输损耗。用馈线输入端的信号功率电平与输出端的信号功率电平之差来衡量, 单位为 dB。在卫星通信系统中, 馈线一般采用波导, 用于连接天线馈源与高功率放大器或低噪声放大器。对于发射端, 馈线损耗降低了系统的等效全向辐射功率 (EIRP); 对于接收端, 馈线损耗提高了接收系统的噪声温度。以低噪声放大器为参考点时, 馈线的

等效噪声温度与馈线损耗的关系如下:

$$T_e = (1 - 1/L_F) T_1 \quad (3-14)$$

式中: T_e ——馈线的等效噪声温度, K;

L_F ——馈线损耗真值;

T_1 ——馈线的环境温度, K。

3.82 馈源喇叭 (feed horn)

天线的初级辐射器, 简称馈源。馈源喇叭位于天线反射面的焦点上, 经微波网络连接高功率放大器和低噪声放大器。馈源喇叭将高功率放大器输出的射频信号照射到天线的反射面上; 同时卫星发射的电磁波信号经天线反射面反射汇聚到馈源喇叭上, 送至低噪声放大器。

馈源喇叭按外形可分为圆锥喇叭和角锥喇叭两大类。圆锥喇叭由圆波导扩展而成; 角锥喇叭由矩形波导或方波导扩展而成。圆锥喇叭的频带特性优于角锥喇叭, 实际应用也多于角锥喇叭。

馈源喇叭按工作模式可分为主模喇叭、双模喇叭、多模喇叭、介质加载喇叭和波纹喇叭。主模喇叭的内壁截面不发生突变, 电磁波只存在一个主模。双模喇叭和多模喇叭的内壁截面发生突变(张角改变), 并在突变处产生高次模。介质加载喇叭紧贴内壁放置一个具有一定厚度和宽度的介质环, 能产生双模喇叭的效果, 而且尺寸和电性能都优于双模喇叭。波纹喇叭的内壁制造成波纹面, 能产生 HE 混合模, 并使电场和磁场在喇叭内得到相同的边界条件, 从而获得轴对称的幅度方向图和相位方向图。波纹喇叭的旁瓣和交叉极化电平很低, 频带覆盖可达 1.8 : 1。目前卫星通信地球站天线普遍采用波纹喇叭。

3.83 馈源网络 (feed network)

将高功放输出的微波信号照射到天线反射面上, 同时将天线接收的电磁波输出至低噪声放大器的微波设备。馈源网络是卫通天线系统的重要组成部分, 包含馈源和微波网络两部分。馈源通过微波网络与高功放和低噪声放大器连接。

馈源用来实现电磁波的照射和收集, 主要采用多模喇叭和波纹喇叭。微波网络用来实现微波收发信号的分离和极化方式的转换, 由分波器、合路器、滤波器、圆极化器、旋转关节、正交模耦合器、连接波导管等多个部件组成。微波网络有多种结构形式: 按频段多少可分为单频段微波网络、双频段共用微波网络和多频段共用微波网络; 按极化形式可分为线极化微波网络、圆极化微波网络和线圆极化共用微

波网络;按收发端口数又可分为两端口微波网络、四端口微波网络和多端口微波网络。馈源网络设计加工难度大,决定了天线收发端口隔离度、驻波比、圆极化轴比、线极化交叉极化隔离度等重要指标的优劣。

3.84 馈源相位中心 (feed phase center)

馈源的相位方向图不随俯仰角和方位角变化的假想参考点。在远场,馈源等价于位于相位中心的点辐射源。相位中心与馈源口径面上的电磁场分布、口径面边缘上的最大相位差有关。当电场的相位中心和磁场的相位中心不一致时,取二者位置的算数平均值作为馈源的相位中心,称为外显相位中心。相位中心偏离反射面的焦点,将带来波束指向偏离、展宽,旁瓣增大,增益下降等问题。因此,只有馈源相位中心与反射面的焦点重合,才有可能使天线具有良好的电性能。

3.85 链路设计余量 (margin of link design)

链路计算时,在门限载噪比的基础上增加的余量,简称系统余量或余量。根据接收误码率要求,可得到调制解调器接收信号的最低载噪比,即门限载噪比。为克服雨衰以及天线跟踪误差等因素导致的载噪比下降,须留有一定的设计余量。C 频段余量以 2~3 dB 较为合适。Ku、Ka 频段需要考虑雨衰的影响,设计余量更大,一般大于 5 dB。在实际使用中,一般通过调整发端调制解调器的输出功率来调整收端的载噪比。

3.86 邻星干扰 (neighbour satellite interference)

卫星通信系统由于卫星轨道位置相邻而产生的互相干扰现象。相邻卫星的轨道间隔小,如果卫星天线和地球站天线的旁瓣特性不好,将与邻星所在的系统产生互相干扰。邻星干扰分为上行邻星干扰和下行邻星干扰两类。上行邻星干扰是指地球站天线的旁瓣功率进入邻星引起的干扰;下行邻星干扰是指地球站天线从其旁瓣方向接收到邻星信号引起的干扰。为了减少邻星干扰,须对地面站的天线旁瓣特性及载波功率谱密度进行限定。

3.87 门限载噪比 (threshold carrier to noise ratio)

在给定信道误码率条件下解调器输入端所需要的最低载噪比,通常用 $(C/N)_{th}$ 表示。为了使传输

误码率满足要求,必须保证解调器输入端的载噪比在门限载噪比以上。

3.88 旁瓣 (side lobe)

天线方向图中对称分布于主瓣两侧的波瓣。如图 3.16 所示,最靠近主瓣的为第一旁瓣,向外依次为第二旁瓣、第三旁瓣、……一般来讲,离主瓣近的旁瓣功率高,远的功率低,通常要求天线的第一旁瓣电平低于主瓣 14 dB,其他旁瓣满足旁瓣包络线要求。

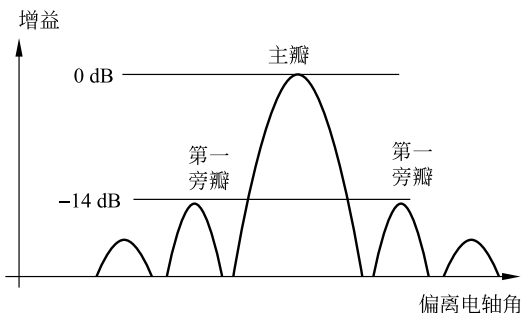
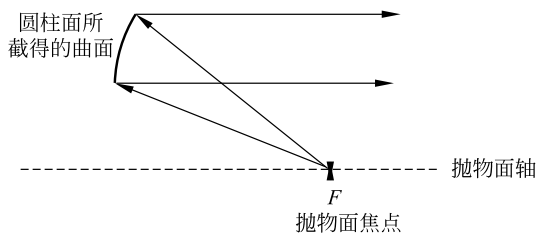


图 3.16 天线方向图

3.89 偏置天线 (offset antenna)

馈源在天线面下方的反射面天线,如图 3.17 所示为偏置天线原理。偏置天线的反射面是旋转抛物面被与其轴向不同的圆柱面所截得到的曲面。天线的有效口径为该曲面在垂直于旋转轴平面上投影的直径。抛物面的焦点位于该曲面的下方,馈源、低噪声放大器及其安装支架不遮挡信号,天线增益一般大于前馈式天线。偏置天线主要应用于频率较高、天线尺寸较小的场合。



3.90 前馈天线 (feedforward antenna)

馈源的辐射方向与天线辐射方向相反的反射面天线。前馈天线的反射面采用对称抛物面,馈源放置在反射面的焦点处。如图 3.18 所示,前馈天线的馈源发出的电磁波,经过抛物面反射后,平行于轴向

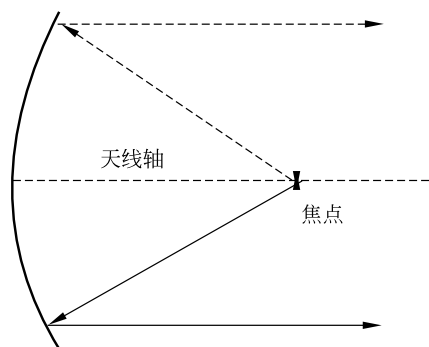


图 3.18 前馈天线原理

辐射至空间。同理,从空间照射到抛物面的、平行于轴向的电磁波,经反射后汇聚到馈源。前馈天线结构简单,安装调试方便,但是馈源系统及其支撑结构的阻挡会使增益和天线效率下降,旁瓣电平和交叉极化电平升高;部分发射电磁波经反射后进入馈源喇叭,导致驻波特性恶化。因此,前馈天线一般应用于对天线性能要求不高的场合。

3.91 全球星系统(global star system)

由美国劳拉公司和高通公司联合研制的公用卫星移动通信系统。全球星系统由空间段(卫星)、地面段部分(关口站)以及用户终端组成,可为用户提供话音、数据、短消息、传真和定位等业务。空间段由 48 颗卫星,另加 8 颗备用卫星组成,分布在 8 个倾角为 52° 、高度为 1414 km 的圆形轨道上,每个轨道分布 6 颗卫星和 1 颗备用卫星。系统覆盖南北纬 70° 以内区域。空间段采用透明转发,无星间链路,无需星上处理。关口站用于连接卫星网和地面网络,其与卫星的上行信号采用 S 频段,下行信号采用 L 频段。全球星移动用户之间的通信、全球星移动用户与地面其他网络用户的通信均需经关口站转接。用户终端有单模手机、双模手机、车载终端和固定终端等多种类型,工作在 L 频段,调制方式为 QPSK、多址方式为 CDMA。

3.92 去极化效应(depolarization effect)

电磁波穿过雨滴产生的极化偏转现象,又称退极化效应。雨滴在下降的过程中呈椭球形状,电磁波穿过雨滴时,极化方向与雨滴长轴重合,则相移和衰减大;与短轴重合,则相移和衰减小。电磁波入射到雨滴,可分解为沿雨滴长轴和短轴的两个分量。由于这两个分量经过雨滴的相移和衰减不同,出雨

滴后,经由这两个分量合成的电磁波极化将发生方向上的改变。去极化效应使接收端极化变换器输出的极化波的方向更加偏离波导要求输入的极化方向,增加了损耗和交叉极化干扰。

3.93 日凌(sun outage)

地球站天线受到太阳直射所产生的严重干扰现象。如图 3.19 所示,当太阳、地球和卫星运行到一条直线上,且卫星位于地球站和太阳之间时,地球站天线对准卫星的同时也对准了太阳,太阳直射的热噪声导致地球站接收信号受到严重干扰,可造成通信中断。

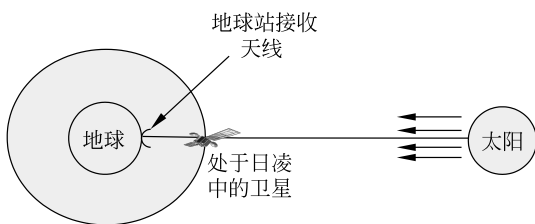


图 3.19 日凌现象

日凌在每年的春分、秋分前后发生,各持续数天,每天持续数分钟。根据太阳年历、使用的卫星、卫星地球站的地理位置,可对日凌发生的时间进行准确预报。地球站的纬度影响日凌每年开始和结束的日期。在北半球春分时,地球站的纬度越高,则日凌开始和结束的日期越早;秋分时,纬度越高,则日凌开始和结束的日期越晚。地球站的经度影响日凌每天开始和结束的时间。地球站的经度越往西,则日凌每天开始和结束的时间越早;经度越往东,则日凌每天开始和结束的时间越晚。另外,地球站天线的波束宽度越窄,日凌持续时间越短。

3.94 三阶互调(3rd order intermodulation)

阶数为 3 的互调分量。频率分别为 f_1 和 f_2 的信号互调产生的三阶互调分量的频率分别为 $2f_1 + f_2$ 、 $2f_1 - f_2$ 、 $2f_2 + f_1$ 、 $2f_2 - f_1$ 。其中, $2f_1 - f_2$ 和 $2f_2 - f_1$ 距离 f_1 和 f_2 最近,对应的互调分量一般落在信号频带内,对信号的干扰最为严重。在卫星通信中,用三阶互调分量(从频率为 $2f_1 - f_2$ 和 $2f_2 - f_1$ 的分量中选取功率大者)的功率与基波功率之比来衡量高功率放大器的非线性,单位为 dBc。在不同输出回退条件下,卫通高功率放大器三阶互调的指标要求见表 3.4。

表 3.4 三阶互调性能指标要求

输出回退/dB	三阶互调/dBc
0	<-12
-3	<-23
-6	<-27
-9	<-32

3.95 上变频器 (up converter)

将来自调制器的已调中频载波通过混频变换成上行射频载波的设备。由于中频频率较低,如果采用一次变频,则绝大多数的本振频率落在射频工作频带之内,形成难以抑制的杂散,因此卫星通信中一般采用二次或多次变频。改变上变频器本振源的频率,可以将地球站的发射载波频率变换到指定的卫星转发器频段中。上变频器一般还具有射频放大功能,把射频信号放大到高功率放大器所需要的输入电平。

上变频器的主要技术指标包括射频输出特性、中频输入特性、中频/射频特性这3个方面。射频输出特性包括输出频率范围、频率步进、阻抗、回波损耗、射频监测、频率稳定性等。中频输入特性包括输入频率范围、输入阻抗、回波损耗等。中频/射频特性包括增益、中频衰减、输出1 dB压缩点、增益变化、增益斜率、增益稳定度、群时延、调幅调相转换、噪声系数、杂散、三阶互调、相位噪声等。

3.96 上行功率控制 (up power control)

地球站上行发射功率自动控制技术。主要用于抵消降雨等因素造成的信号衰减,保证整个卫星链路的接收电平满足指标要求。上行功率控制有开路和闭路两种工作模式,开路工作模式根据本站接收到的信号电平,控制本站发射功率;闭路工作模式根据对端站的接收电平,控制本站发射功率。

3.97 上行链路 (uplink)

由地球站至卫星的单向链路。上行链路包括地球站的发射通道、自由传播空间、卫星的接收入口。上行链路的工作过程为:地球站的调制器将基带信号调制到中频,经上变频器变换成射频信号,再经高功放放大后由天线向卫星辐射,卫星将接收信号送至下行链路。在上行链路中,为保证设备匹配连接,需合理分配地球站各设备间的节点电平。

3.98 射频信号 (radio frequency signal)

载波频率为射频的信号。射频指卫星通信地球站发射和接收的无线电信号的载波频率,通常采用

L、S、C、Ku、Ka 频段。在上行链路中,中频信号经上变频器变频后,输出射频信号;在下行链路中,射频信号经下变频器变频后,输出中频信号。

3.99 深空通信 (deep space communication)

地球站与离开地球卫星轨道的飞行器之间的通信。由于飞行器远离地球,通信距离常达数十万千米以上。深空通信具有传输时延巨大、上下行链路非对称、链路误码率高等特点。针对这些特点采用的技术措施包括增加地球站天线口径、增加射频功率、采用先进的编译码技术、应用信源压缩技术、提高载波频率、降低接收系统噪声温度等。

3.100 室内单元 (indoor unit)

安装于室内的集成化卫星通信设备,简称 IDU,在卫星电视接收系统中,又称为卫星电视接收机。IDU 一般包括调制解调、复接、保密等单元,通过连接电缆与室外单元(ODU)连接,传输中频及监控信号。室内单元将各种业务信号进行编码、复接、加密、调制后输出至室外单元,同时接收室外单元输入的中频信号,并对其进行解调等逆处理。

3.101 室外单元 (outdoor unit)

安装在天线馈源附近的室外集成化射频设备,简称 ODU。ODU 一般由高功率放大器、变频器、电源及监控模块组成,主要完成射频信号的变频和放大。由于 ODU 能够安装在天线馈源附近,因此避免了长射频馈线产生的损耗,提高了功放的有效利用率。ODU 采用封闭式一体化结构,设备体积小,主要用于车载站、便携站等场合。

3.102 手动跟踪 (manual tracking)

通过人工控制天线对准卫星的方式。其跟踪过程为:根据卫星和地球站位置,计算出天线的方位、俯仰值,然后人工控制伺服系统,将天线指向预定位置。根据频谱仪或其他设备显示的接收信号电平,在预定位置附近进行微调,使接收信号最大。手动跟踪天线设备简单,一般用于波束宽度较大的小口径天线及对同步卫星的跟踪精度要求较低的场合。在具有自跟踪能力的天线中也往往具有手动跟踪功能,以备自动跟踪失效情况下应急使用。

3.103 输出回退 (output backoff)

高功率放大器饱和工作时的单载波输出功率电平与实际工作点所对应的输出功率电平之差,简称

OBO, 又称输出补偿。输出回退一般通过输入回退实现, 回退值为数分贝 (dB) 量级。

3.104 输入回退 (input backoff)

高功率放大器饱和和工作时的单载波输入功率电平与实际工作点所对应的输入功率电平之差, 简称 IBO, 又称输入补偿。当高功率放大器工作在饱和点附近时, 进入非线性区, 多载波工作时会产生较强的互调干扰。输入回退的目的是使高功率放大器工作在线性区, 减少互调干扰。

3.105 双工器 (duplexer)

双向传输信号的三端口微波器件。双工器主要用于收发共用天线的馈源网络。如图 3.20 所示, 端口 1 为发送端口, 端口 2 为接收端口, 端口 3 为收发共用端口; 滤波器 1 用于滤除发射波段外的频率成分, 滤波器 2 用于阻隔发射信号。另外, 双工器的接收腔体也具有抑制发射信号的能力, 发射腔体也具有抑制接收信号的能力。如此, 发射信号经端口 1 输入, 端口 3 输出, 而不会从端口 2 输出; 接收信号从端口 3 输入, 端口 2 输出, 而不会从端口 1 输出。衡量双工器性能优劣的主要技术指标有收发隔离度与传输损耗, 一般要求收发隔离度大于 60 dB, 传输损耗小于 0.5 dB。

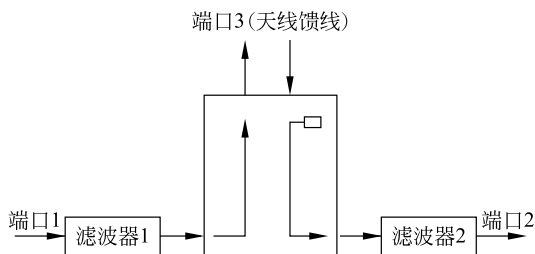


图 3.20 双工器原理

3.106 双极化天线 (double polarization antenna)

能同时发送和/或接收两种独立极化信号的天线。双极化天线通常采用两个相互正交的极化, 可为双圆极化或双线极化。双极化天线馈源网络通常有 4 个或 4 个以上端口。相比单极化天线, 双极化天线增加了天线使用的灵活性, 可适应多种极化卫星, 但天线馈源网络较复杂, 需要考虑极化隔离等问题。

3.107 天馈伺服系统 (antenna feeding servo and tracking system)

天线面、馈源、伺服、跟踪系统的总称, 又称天馈

伺服系统。天馈伺服系统实质上就是天线系统。功放输出的射频信号经馈源转换成电磁波能量, 经天线面反射形成定向辐射的电磁波; 同时, 天线口面接收卫星发射的电磁波, 经反射聚焦至馈源, 输出到低噪声放大器。跟踪系统接收卫星信标信号, 判断天线是否对准卫星, 并向伺服系统发送如何调整天线指向的指令。伺服系统根据该指令驱动天线转动, 使之对准卫星。

3.108 天线方向图 (antenna pattern)

表征天线辐射特性 (场强、功率、相位、极化) 与空间角度关系的图形。完整的方向图是以天线相位中心为球心, 在半径足够大的球面上, 逐点测量其辐射特性绘制而成的。根据测量的辐射特性不同, 天线方向图可分为场强方向图、功率方向图、相位方向图和极化方向图。在卫星通信系统中主要使用功率方向图, 一般以主瓣的最大值为基准, 其他以相对于基准的差值来表示。天线方向图应是三维空间的立体图形, 但由于立体方向图难以绘制, 一般用方位和俯仰两个平面的方向图来表示。

3.109 天线跟踪精度 (antenna tracking accuracy)

天线处于自动跟踪状态下, 电轴方向与卫星信号来波的最大值方向的角度差。它反映了天线跟踪、对准卫星的能力。一般要求天线的跟踪精度小于天线波束宽度的 1/10。

天线跟踪精度的测量和计算方法是: 首先采用手动方式, 将天线对准卫星, 记录此时的天线方位角和俯仰角; 然后将天线偏离一个角度, 并使天线进入自跟踪工作状态。在天线跟踪进入稳定状态后, 每隔一固定时间记录天线方位角和俯仰角, 共记录 n 组。采用式 (3-15) 计算出方位跟踪精度 σ_{TA} 和俯仰跟踪精度 σ_{TE} :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{TA} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta AZ_i - \Delta AZ_0)^2}{n-1}} \\ \sigma_{TE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta EL_i - \Delta EL_0)^2}{n-1}} \end{array} \right. \quad (3-15)$$

$$\Delta AZ_i = AZ_i - AZ_0$$

$$\Delta AZ_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta AZ_i$$

$$\Delta EL_i = EL_i - EL_0$$

$$\Delta EL_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta EL_i$$

式中: AZ_0 ——手动对准时测量的天线方位角, ($^{\circ}$);
 AZ_i ——第 i 次测量的天线方位角, 度, $i = 1, 2, \dots, n$;
 EL_0 ——手动对准时测量的天线俯仰角, ($^{\circ}$),
 EL_i ——第 i 次测量的天线俯仰角, ($^{\circ}$), $i = 1, 2, \dots, n$ 。

最后利用式(3-16)计算出天线跟踪精度 σ_T :

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{TA}^2 + \sigma_{TE}^2} \quad (3-16)$$

3.110 天线控制单元(antenna control unit)

控制天线转动并监视天线状态的设备, 英文简称 ACU。天线控制单元是天线跟踪系统的核心部分, 主要功能是向天线驱动单元发送控制天线转动的指令。

如图 3.21 所示, 天线接收到的下行信号经低噪声放大器后, 分出一路到跟踪接收机。跟踪接收机将其转换成与信标信号强度成正比的直流电压并输出到天线控制单元。天线控制单元根据该直流电压信号, 产生相应的控制指令, 输出到天线驱动单元。天线控制单元还获取并提供天线方位、俯仰和极化的角度信息、电平信息、跟踪方式、电机的转动情况、限位告警状态等。

3.111 天线口径(antenna aperture)

天线的等效口面直径, 单位为 m。抛物面天线的口面是圆形, 其口径为该圆的直径。对于非抛物面天线, 其口径用相同增益的抛物面天线的口径来

等效。天线口径越大, 天线增益越大。

3.112 天线驱动单元(antenna drive unit)

对天线电机进行操作控制的设备, 英文简称 ADU。天线驱动单元包括方位轴驱动单元、俯仰轴驱动单元和极化驱动单元 3 个功能模块, 分别驱动天线的方位轴、俯仰轴和极化器。ADU 接收天线控制单元的指令, 驱动方位电机和俯仰电机使天线对准卫星, 驱动极化器电机, 使之与卫星极化保持一致。另外, 天线驱动单元也可被手动控制, 作为天线控制单元发生故障时的应急手段。

3.113 天线效率(antenna efficiency)

天线辐射出去的功率与功放输入到天线的有效功率之比。影响天线效率的因素主要有热损耗、反射损耗、馈源校准误差、口面加工误差和副面遮挡。天线效率为 0.55~0.75, 抛物面天线效率的典型值为 0.65。

3.114 天线仰角(antenna elevation)

卫星通信地球站所处的点位和卫星的连线与地球站所处水平面的夹角。天线仰角的大小由地球站的位置和卫星位置共同决定。当卫星位于地球同步轨道时, 天线仰角的计算公式如下:

$$E_L = \arctan \left(\frac{\cos \theta \cos(\varphi - \varphi^*) - 0.15127}{\sqrt{1 - [\cos \theta \cos(\varphi - \varphi^*)]^2}} \right) \quad (3-17)$$

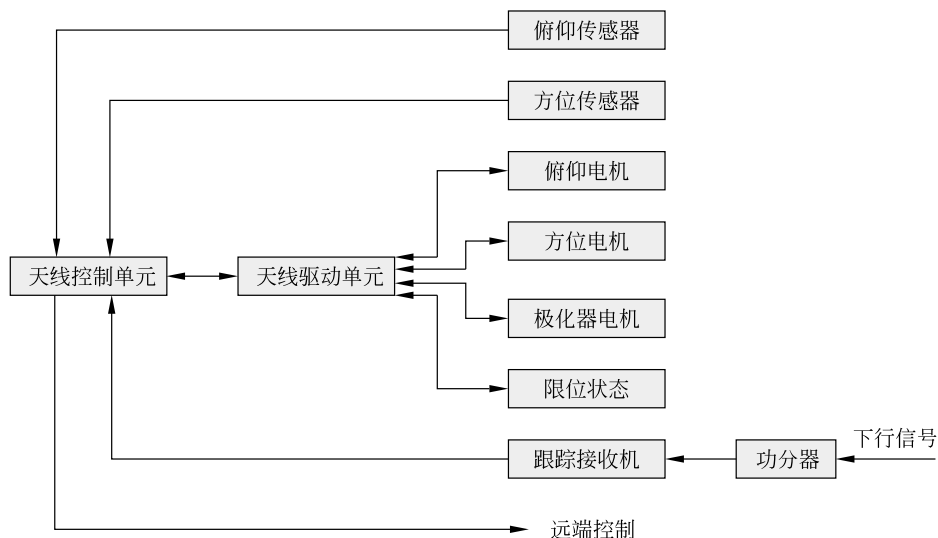


图 3.21 天线控制单元连接关系

式中: E_L ——天线仰角, ($^\circ$);
 θ ——地球站的地理纬度, ($^\circ$);
 φ ——地球站的地理经度, ($^\circ$);
 φ^* ——星下点的地理经度, ($^\circ$).

天线仰角过低时, 地面噪声、周围杂波等干扰将更多地进入天线, 也难以避免周边地形地貌和建筑物等对天线产生遮挡, 因此天线仰角一般要求大于 10° 。

3.115 天线噪声 (antenna noise)

天线输出端的噪声。天线噪声除天线固有的电阻性损耗引起的噪声之外, 还包括从外部接收到的噪声, 这些噪声主要为太阳系噪声、宇宙 (银河系) 噪声、大气噪声及降雨噪声、地面噪声等。天线噪声的大小用噪声温度来表示, 其定义是

$$T_a = P_a / (k B_n) \quad (3-18)$$

式中: T_a ——天线噪声温度, K;

P_a ——天线在匹配条件下接收到的噪声功率, W;

k ——玻耳兹曼常数, 取值为 $1.380\ 54 \times 10^{-23}$ J/K;

B_n ——天线噪声等效带宽, Hz。

天线噪声温度越低, 表明天线噪声越小。

3.116 天线增益 (antenna gain)

在发射方向上, 天线的辐射 (接收) 强度与假想的各向同性天线的辐射 (接收) 强度之比, 单位为 dBi。天线增益反映了天线在发射方向上聚集电磁能量的能力。

天线增益取决于工作频率、天线口面的形状、口面尺寸以及天线效率。一般来说, 工作频率越高, 天线口径越大, 则天线增益越高。对于抛物面天线, 增益由式 (3-19) 计算:

$$G = 10 \lg \left(\frac{4\pi A}{\lambda^2} \eta \right) = 10 \lg \left[\left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \eta \right] \quad (3-19)$$

式中: G ——天线增益, dBi;

A ——天线口面面积, m^2 ;

λ ——波长, m;

η ——天线效率, 其典型值为 55% ~ 75%;

D ——天线口径, m。

3.117 天线指示精度 (antenna indication accuracy)

天线伺服系统的轴角编码器所指示的天线角位置与天线基准轴的角位置之间的偏差。天线指示精

度的测量和计算方法是, 将天线控制系统置于手动方式, 光学经纬仪 (或测角仪) 放置在天线底座上, 并对准地面某一远处固定目标。记录经纬仪和轴角编码器显示的方位角和仰角。随机转动天线某个角度, 将经纬仪重新对准原目标, 记录此时的经纬仪和轴角编码器显示的方位角和仰角。如此, 转动天线 n 次, 共得到 n 组测量数据。采用式 (3-20) 计算出方位指示精度 σ_{IA} 和俯仰指示精度 σ_{IE} :

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_{IA} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta AZ'_i - \Delta AZ_i)^2}{n}} \\ \sigma_{IE} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta EL'_i - \Delta EL_i)^2}{n}} \end{aligned} \right. \quad (3-20)$$

$$\begin{aligned} \Delta AZ_i &= AZ_i - AZ_0 \\ \Delta AZ'_i &= AZ'_i - AZ'_0 \\ \Delta EL_i &= EL_i - EL_0 \\ \Delta EL'_i &= EL'_i - EL'_0 \end{aligned}$$

式中: AZ_0 ——天线转动前经纬仪测量的目标方位角, ($^\circ$);

AZ_i ——第 i 次天线转动后经纬仪测量的目标方位角, ($^\circ$), i 取 $1, 2, \dots, n$;

AZ'_0 ——天线转动前轴角编码器显示的方位角, ($^\circ$);

AZ'_i ——第 i 次天线转动后轴角编码器显示的方位角, ($^\circ$), i 取 $1, 2, \dots, n$;

EL_0 ——天线转动前经纬仪测量的目标仰角, ($^\circ$);

EL_i ——第 i 次天线转动后经纬仪测量的目标仰角, ($^\circ$), i 取 $1, 2, \dots, n$;

EL'_0 ——天线转动前轴角编码器显示的仰角, ($^\circ$);

EL'_i ——第 i 次天线转动后轴角编码器显示的仰角, ($^\circ$), i 取 $1, 2, \dots, n$;

最后利用式 (3-21) 计算出天线指示精度 σ_1 :

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_{IA}^2 + \sigma_{IE}^2} \quad (3-21)$$

3.118 天线指向精度 (antenna point accuracy)

天线波束中心轴 (电轴) 实际指向与理想指向之间的角度差。天线指向精度是衡量天线性能的重要技术指标之一, 指向精度越高, 向目标方向辐射的功率越大。天线指向精度由机械轴和馈源校准误

差、角读数误差、天线结构的畸变误差、伺服系统误差等因素共同决定,一般要求小于天线波束宽度的1/5。

天线指向精度常用标校塔的方法进行测量。首先在标校塔上安装卫星通信信标,用光学经纬仪等高精度设备测定标校塔的方位角和俯仰角,并作为基准。然后用天线指向标校塔,使接收到的信标信号值最大。将此时天线的方位角和俯仰角与基准比对,得到单次测量的天线指向精度。重复测量多次,取均方根值作为最终的天线指向精度。

3.119 天线轴比 (antenna axial ratio)

天线发送或接收的圆极化波的电压轴比。天线发送波的轴比称为发送轴比,接收波的轴比称为接收轴比。地球站天线波束中心对准卫星时的轴比称为在轴轴比,偏离卫星时的轴比称为离轴轴比。离轴轴比大于在轴轴比,而且偏离角度越大,离轴轴比越大。天线轴比是衡量天线极化性能的主要技术指标,地球站天线轴比一般要求小于1.06(0.5 dB)。

3.120 调幅调相转换 (amplitude modulation to phase modulation conversion)

放大器输入输出信号的相位差随输入幅度变化的现象,简称幅相转换。调幅调相转换是由放大器相移特性的非线性引起的,通常用调幅调相转换系数 K_p 来表示其大小。 K_p 定义为在一定频率和一定功率电平下,输入功率最大相对变化时所引起的输入输出最大相位变化,即

$$K_p = \frac{\Delta\varphi}{10\lg\left(\frac{p_i + \Delta p_i}{p_i}\right)} \quad (3-22)$$

式中: K_p ——调幅调相转换系数, (°)/dB;

$\Delta\varphi$ ——输入输出最大相位变化, (°);

p_i ——输入功率, W;

Δp_i ——输入功率最大变化, W。

在卫星通信系统中, K_p 常用作衡量高功放非线性特性的一个重要指标。 K_p 值小,表明高功放的线性特性好,非线性失真小。

3.121 通信距离方程 (communication range equation)

接收信号大小与通信距离关系的方程式。假定电磁波信号在自由空间传播,馈线损耗、极化损耗等

忽略不计时,通信距离方程为

$$P_R = P_T G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3-23)$$

式中: P_R ——接收信号功率, W;

P_T ——发射信号功率, W;

G_T ——发射天线增益;

G_R ——接收天线增益;

λ ——电磁波波长, m;

d ——通信距离, m。

3.122 通信卫星 (communication satellite)

作为无线电通信中继站的人造地球卫星。通信卫星转发无线电信号,实现卫星通信地球站之间或地球站与航天器之间的通信。通信卫星按轨道的不同分为地球静止轨道通信卫星、大椭圆轨道通信卫星、中轨道通信卫星和低轨道通信卫星;按服务区域不同分为国际通信卫星、区域通信卫星和国内通信卫星;按用途的不同分为军用通信卫星和商业通信卫星。通信卫星主要包括平台和有效载荷两部分。平台主要包括电源分系统、姿态和轨道控制分系统、推进分系统等,有效载荷为转发器。目前试验任务中使用的主要是地球静止轨道通信卫星。

3.123 卫通多址方式 (multiple access mode of satellite communication)

分割卫星信道,供多个地球站同时使用,而又不互相干扰的卫星转发器资源分配方式。根据分割方式的不同,多址方式又分为频分多址、时分多址、码分多址和空分多址以及上述多址方式的组合形式。

3.124 卫通链路计算 (link budget of satellite communication)

计算卫通链路的载噪比,以确定卫星通信地球站天线口径、功放功率的过程。卫通链路总载噪比计算式为

$$\left(\frac{C}{T} \right)^{-1} = \left(\frac{C}{T_u} \right)^{-1} + \left(\frac{C}{T_d} \right)^{-1} \quad (3-24)$$

式中: $\left(\frac{C}{T} \right)^{-1}$ ——总载噪比真值的倒数;

$\left(\frac{C}{T_u} \right)^{-1}$ ——上行链路载噪比真值的倒数;

$\left(\frac{C}{T_d} \right)^{-1}$ ——下行链路载噪比真值的倒数。

链路计算所需要输入的参数主要有:

- (1) 通信频段。
- (2) 卫星转发器 EIRP、G/T、SFD、输入输出补偿等参数。
- (3) 系统信息传输速率。
- (4) 系统要求的门限载噪比、系统余量。
- (5) 系统采用的调制编码方式。
- (6) 馈线损耗、低噪声放大器噪声温度。
- (7) 卫星通信地球站天线口径及地理位置。
- (8) 地球站高功放功率。

将上述参数的预设值代入链路总载噪比计算公式(3-24),计算出卫通链路的总载噪比。若总载噪比不满足系统要求,则调整卫星通信地球站天线口径、高功放功率等参数,直至满足要求为止。

3.125 卫管网管系统 (satellite communication network management system)

对卫通网内的设备状态进行集中监视和控制管

理的系统。卫管网管系统通常完成对各站设备参数的配置、运行状态监视、故障告警、对资源进行分配及日常事件管理。在试验任务中,卫管网管系统分为三级,如图 3.22 所示,由一级网管中心、二级网管中心和用户网管站组成。一级网管中心作为全网的管理控制中心,可对网内所有设备进行控制、监视和管理。二级网管中心按区域设置,对所属区域内的设备进行配置、性能管理。用户网管站配于固定站、车载站、船载站等,通过网管代理对本站设备进行设置、管理。卫管网管系统采用光纤信道或者卫通信道传输网管信息。卫管网管系统各级均提供标准简单网络管理协议 (SNMP) 接口,分别接入对应的综合网管系统。

3.126 卫通信道损耗 (satellite communication channel loss)

卫星通信信号在信道传输过程中产生的损耗,

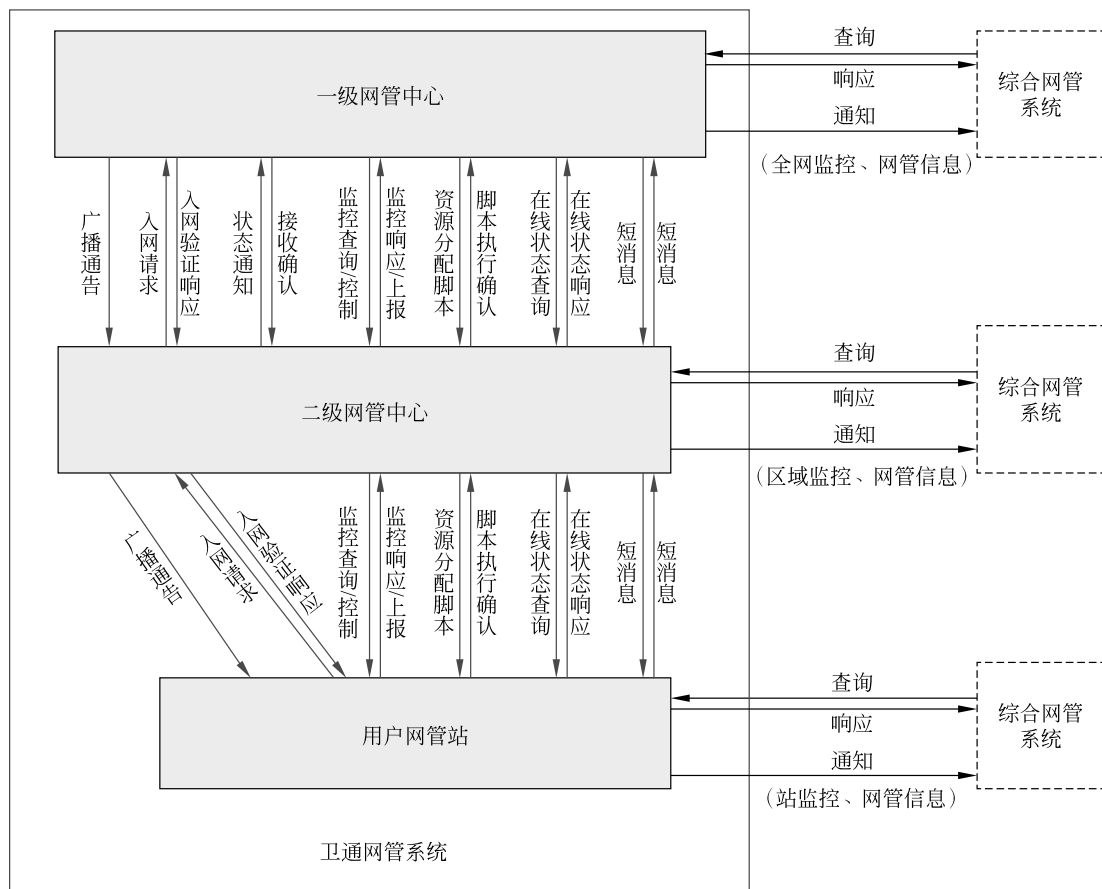


图 3.22 卫管网管系统组成与综合网管系统的关系

单位为 dB。卫通信道损耗一般指射频段损耗,主要包括自由空间传播损耗、大气损耗、极化误差损耗、馈线损耗、天线跟踪误差损耗等。

3.127 卫星波束(satellite beam)

卫星天线发射出的电磁波束。根据覆盖地球表面的范围,卫星波束分为全球波束、半球波束、区域波束和点波束等。对静止卫星而言,全球波束半功率点的波束宽度约为 17.34° ,恰好覆盖卫星对地球的整个视区。半球波束宽度在东西方向上约为全球波束的一半,一般覆盖一个洲。区域波束宽度小于半球波束的宽度,只覆盖地面上一个较大的通信区域,往往按地域的形状赋形,故又称赋型波束或成型波束。点波束宽度很窄,集中指向某一区域,波束截面一般为圆形,在地球上的覆盖区域也近似圆形,覆盖范围一般为数百千米。

3.128 《卫星电视上行站通用规范》(General Specification for Satellite Television Up-link Communication Earth Station)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 16953—1997,1997 年 8 月 26 日,国家技术监督局发布,自 1998 年 5 月 1 日起实施。该标准规定了卫星电视上行站的站型分类和设备组成、要求、试验方法及检验规则等。该标准适用于传送 PAL-D 彩色电视制式的 C 频段卫星广播电视上行站的设计、建设和设备的制造;其他类型卫星广播电视上行站亦可参照使用。

3.129 卫星轨道(satellite orbit)

以地球质心为参考点,卫星围绕地球运动的轨迹。按轨道距地面的高度,可分为低轨(LEO)、中轨(MEO)、高轨(HEO)3类:低轨卫星高度为 700~2000 km,对地球的覆盖范围小,但信号传播衰减小、时延短,为了扩大通信范围和进行不间断通信,一般由多颗低轨卫星组成星座;中轨卫星高度为 8000~20000 km,具有低轨和高轨系统的折中性能;高轨卫星一般选用高度为 35786 km 的静止轨道(GEO),覆盖范围大,但是信号传播衰减大、时延长。目前,通信卫星大多位于静止轨道。

3.130 卫星激光通信(satellite laser communication)

利用激光束作为载波的卫星通信方式。卫星激

光通信系统由多个卫星激光通信站组成。卫星激光通信站由发射系统(激光器、调制器、放大器等)、接收系统(光电探测器、信号处理单元等)、捕获对准跟踪系统(APT)以及光学系统组成。

与传统的无线电射频通信相比,卫星激光通信具有通信容量大、抗干扰和抗截获能力强、保密性高、体积小、功耗低等优点。激光传播受天气影响较大,限制了其在星地场合下的应用,但在不受天气影响的星间场合下应用,激光传播则具有明显的技术优势。由于激光波束比电磁波束更窄,因此需要更高精度的捕获对准跟踪系统。

3.131 卫星摄动(satellite perturbation)

卫星位置偏离理想轨道的现象。地球结构不均匀、月亮和太阳引力、太阳辐射压力、大气阻力是导致卫星摄动的主要原因。为了克服摄动的影响,需要每隔一段时间,对卫星进行位置保持,其方法是利用星上推进器,改变卫星位置,使卫星逼近理想轨道。采用位置保持技术,可使静止卫星的定点精度提高到 $\pm 0.05^\circ$ 。

Ku 频段 6 m、C 频段 7.3 m 以上口径的卫星地球站天线,由于其波束较窄,因此为消除摄动影响,须采用自跟踪方式工作。

3.132 卫星数字电视直播(digital video broadcasting for satellite)

欧洲数字电视广播组织于 1994 年发布的代号为“ETS 300421”的卫星数字视频广播标准,简称 DVB-S。DVB-S 的音视频采用 MPEG-2 编码,编码速率小于 15 Mb/s,根据编码速率等级的不同,图像质量可以达到标准清晰度或高清晰度水平。信道编码采用 RS 码和卷积码的级联码,RS 码为外码,码型为(204,188),卷积码为内码,编码率可选择 1/2、2/3、3/4、5/6 和 7/8。调制方式为 QPSK。工作频率为 Ku 频段。

2005 年 3 月,DVB-S 第 2 版本(DVB-S2)发布。与 DVB-S 相比,DVB-S2 的音视频编码不局限于 MPEG-2,信道编码采用 LDPC/BCH 级联,调制方式增加了 8PSK、16APSK、32APSK。

3.133 卫星通信(satellite communication)

利用人造卫星作中继站进行的通信。卫星通信的业务分为固定卫星业务(FSS)、广播卫星业务(BSS)、移动卫星业务(MSS)等;体制分为频分多址

(FDMA)、时分多址(TDMA)、码分多址(CDMA)、空分多址(SDMA)以及混合多址方式;工作频段分为L频段、S频段、C频段、Ku频段、Ka频段等。

卫星通信系统主要由通信卫星和卫星通信地球站组成。卫星通信地球站对基带信号进行处理,使其成为已调射频载波后发往卫星。通信卫星接收卫星通信地球站发来的信号,然后对其进行放大和变频,再转发到其他卫星通信地球站。通信卫星主要包括天线、转发器、遥测遥控及电源分系统。大多数转发器只具有透明转发功能,少数还具有星上处理功能,如解调、基带数字信号处理、星上交换等。卫星通信地球站主要由天线、高功放、低噪声放大器、上下变频器、调制解调器等设备组成。

卫星通信具有通信距离远、覆盖面积大、传输不受地理条件限制、建设费用与通信距离无关等优点,既可以用于固定终端间通信,又可用于车载、船载、机载和个人的移动终端间的通信。利用距离地面约36 000 km的3颗静止轨道卫星可以实现全球通信(除南、北极地区外)。在试验任务中,卫星通信主要承担跨场区、远距离通信任务,在机动和移动平台上一一直作为主用通信手段使用。

3.134 卫星通信地球站(earth station of satellite communication)

卫星通信系统中位于地球上的通信站,又称卫星通信地面站,简称地球站或地面站。卫星通信地

球站如图3.23所示,一般由天线分系统、发射分系统(高功率放大器、上变频器)、接收分系统(低噪声放大器、下变频器)、终端设备分系统、通信监控系统、电源分系统以及测试仪器仪表等组成。地面网络(或直接来自其他设备)的信号通过适当的接口送到地球站,然后调制并上变频到所需要的频率,经过高功率放大器后,通过天线发射至卫星。被天线接收到的信号首先在低噪声放大器中放大,然后下变频到中频,解调后通过接口传输到地面网(或直接送至其他设备)。

卫星通信地球站按照载体及使用方式一般可分为固定、船载、车载、机载、便携等站型;按照工作频段一般可分为L频段、C频段、Ku频段、Ka频段等站型。

3.135 卫星通信频段(satellite communication frequency band)

卫星通信系统工作的射频频率范围。卫星通信的频段分为以下几种。

(1) UHF频段(0.3~1 GHz):主要用于军用战术通信,传输速率较低。

(2) L频段(1~2 GHz):主要用于海事卫星通信及卫星移动通信系统。

(3) S频段(2~4 GHz):主要用于卫星移动通信系统。

(4) C频段(4~6 GHz):主要用于固定卫星通

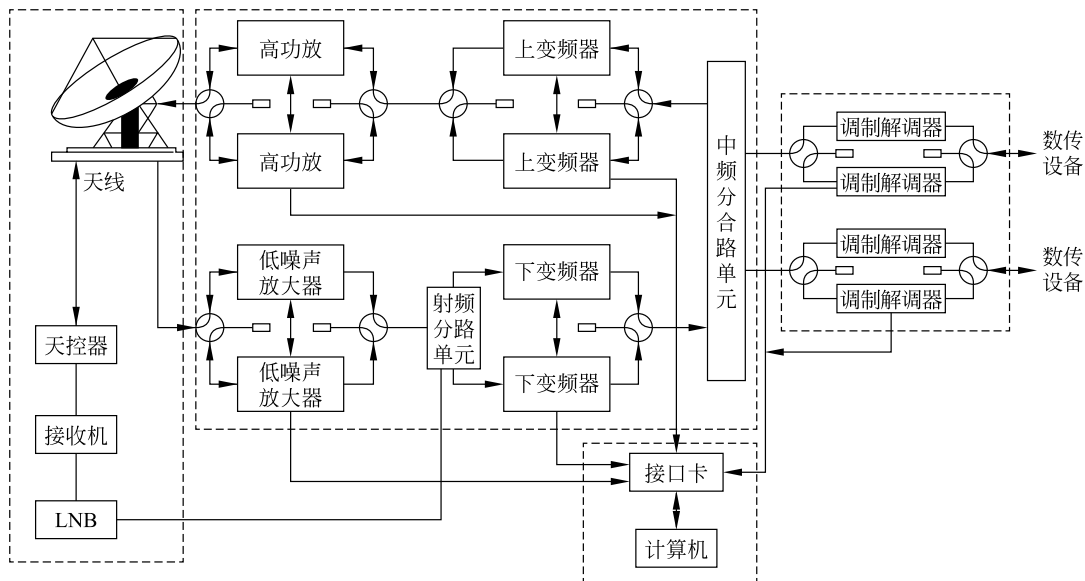


图 3.23 卫星通信地球站组成

信系统。

(5) Ku 频段(10~14 GHz): 主要用于车载、机载、船载等机动通信系统。

(6) Ka 频段(17~31 GHz): 主要用于宽带卫星通信系统。

(7) EHF 频段(40~60 GHz): 目前主要用于军事通信。

(8) 激光频段($10^4 \sim 10^8$ GHz): 主要用于星间通信。

一般来讲,频段越高,传输带宽越大,天线增益越高,便于设备小型化,但自由空间传输损耗较高,天线波束较窄,跟踪困难,受降雨、阴天等天气影响较大。Ku 以上频段受天气影响尤其严重,需要在系统设计中留有较大的余量。在降雨严重地区应尽量选用 C 以下频段。

3.136 卫星通信体制 (satellite communication scheme)

卫星通信系统所采用的信号传输方式和信号交换方式。卫星通信体制具体规定了一个卫星通信系统的基带信号形式、调制解调制度、信道分配方式和多址连接方式。

3.137 卫星通信调制解调器 (satellite communication modem)

用基带信号调制中频载波,并已从中频载波中恢复出基带信号的卫星通信设备,简称卫通调制解器。卫星通信数字化后,基带信号均为数字信号。卫通调制解器包括调制和解调两部分,通常合为一体。调制部分把输入的基带数字信号经过成帧处理、信道编码和中频调制后输出;解调部分把下变频器输出的中频信号经过中频解调、信道译码以及解帧处理后输出。

卫通调制解器常用的调制方式有 QPSK、8PSK、16QAM、16APSK 调制;常用的纠错编码方式有卷积码、RS、Turbo、LDPC 编码。卫通调制解器使用的中频频段有 70 MHz (52 ~ 88 MHz)、140 MHz (104 ~ 176 MHz) 和 L 频段(950 ~ 1450 MHz),其中 70 MHz 对应一个 36 MHz 带宽的转发器,140 MHz 对应一个 72 MHz 带宽的转发器,L 频段可对应多个转发器。

卫通调制解器的主要技术指标包括工作频率、输出电平、输入电平、最大频差捕获范围、输出杂散、调制方式、纠错编码方式、误码性能、数据时钟源选择、

信息速率、组帧方式、线路接口、远控接口、勤务接口等。

3.138 《卫星通信系统通用规范》(General Specification for Communication System of Satellites)

中华人民共和国国家军用标准之一,标准代号为 GJB 1034—1990,1991 年 1 月 26 日,国防科学技术工业委员会发布,自 1991 年 6 月 1 日起实施。该标准规定了卫星通信系统的技术要求,质量保证规定以及标志、包装、运输和贮存要求。标准内容包括术语、技术要求、质量保证规定、标志、包装、运输、贮存等内容。

3.139 卫星通信信道 (satellite communication channel)

通过卫星进行信息传输的信道,简称卫通信道。一般卫星通信信道的入口为发送端卫星通信地球站调制解调器的输入,出口为接收端卫星通信地球站调制解调器的输出。信道设备包括调制解调器、上变频器、下变频器、功率放大器、天线、卫星转发器、低噪声放大器及其附属设备。

3.140 《卫星通信中央站通用技术要求》(General Specification of Satellite Communication Center Station)

中华人民共和国国家标准之一,标准代号为 GB/T 16952—1997,1997 年 8 月 26 日,国家技术监督局发布,1998 年 5 月 1 日实施。该标准规定了卫星通信中央站的设备组成、试验方法、检验规则、标志、包装、运输等要求,适用于 C 频段固定业务的卫星通信中央站。

3.141 卫星移动通信 (satellite mobile communication)

利用通信卫星实现移动用户之间或移动用户与固定用户之间相互通信的方式。根据使用的通信卫星不同,卫星移动通信可分为静止轨道卫星移动通信和非静止轨道卫星移动通信。静止轨道卫星移动通信一般采用大功率、多波束卫星;地面用户采用小口径面天线或全向天线,体积小、结构简单。移动用户之间的通信一般通过关口站转接。非静止轨道卫

星移动通信一般采用中低轨道卫星,如铱星系统和全球星系统,其技术特点如下。

(1) 采用星座结构

为增加卫星通信的覆盖范围,采用多颗卫星组成星座。星座中的卫星通过星间链路连接。

(2) 星上处理

为解决传输时延、传输质量、系统容量等问题,大多数卫星平台具备调制解调、波束成型、星上交换等星上处理能力。

(3) 终端小型化

终端广泛采用大规模专用集成电路以减小体积,并逐渐向手机、平板等个人通信方向发展。

3.142 下变频器(down converter)

接收来自低噪声放大器的射频载波,并将其变换到中频载波的设备。下变频器除了变频功能外,还具有放大、滤波、均衡等功能。如图 3.24 所示,下变频器主要由射频滤波器、微波混频器、本振源、中频滤波器、中频放大器、均衡器等组成。射频滤波器用于抑制通带以外的噪声及干扰信号;混频器完成中频信号与射频信号之间的频率变换;本振源为混频器提供高频振荡信号,通过改变本振频率可实现对通带内信号频率的选择;中频放大器放大混频器输出的中频信号使之达到规定电平;中频滤波器抑制混频过程中产生的带内寄生信号和本振信号的泄漏;均衡器对信号的幅度、相位进行均衡补偿,以满足系统对群时延和幅频特性的要求。

下变频器的主要技术指标包括射频输入特性、中频输出特性、中频/射频特性 3 个方面。射频输入特性包括输入频率范围、频率步进、阻抗、回波损耗、频率稳定性等;中频输出特性包括输出频率范围、输出阻抗、回波损耗等;中频/射频特性包括增益、中频

衰减、输出 1 dB 压缩点、增益变化、增益斜率、增益稳定度、群时延、噪声系数、杂散、镜像抑制制度、三阶互调、相位噪声等。

3.143 下行链路(downlink)

由卫星至地球站的单向链路。下行链路包括卫星的发射通道、自由传播空间、地球站天线、低噪声放大器、下变频器、解调器。卫星转发的下行信号经自由空间传输至地面,地球站天线接收该信号,送低噪声放大器放大,经下变频器变频后,最后送至解调器解调输出。下行链路设计时,要保证解调器接收到的信号电平大于解调门限。

3.144 先进卫星广播系统(advanced broadcasting system for satellite)

国家广播电影电视总局广播科学研究院制定的卫星电视直播行业标准,简称 ABS-S。ABS-S 借鉴了国际卫星电视广播技术发展的思路与设计理念,定义了编码调制方式、帧结构及物理层信令,对信道编码、交织、符号映射、帧结构设计等技术环节进行了整体性能优化。调制方式可选用 QPSK、8PSK、16APSK、32APSK。信道编码仅采用低密度奇偶校验码(LDPC)。ABS-S 系统的组成如图 3.25 所示:基带格式化模块将输入的数据流格式化为前向纠错块,经 LDPC 编码器编码后输出至比特映射模块进行比特映射;通过物理成帧模块,插入同步字和其他必要的头信息形成高效帧结构,用于实现快速同步;经符号加扰后,送至成型滤波器进行脉冲成形;最后上变频至 Ku 频段,发射上星。与 DVB-S2 系统相比,ABS-S 具有基本相当的性能(门限相差 0.1~0.3 dB),但复杂程度较低,更易于实现。ABS-S 提供广播业务、交互式业务、数字卫星新闻采集业务及

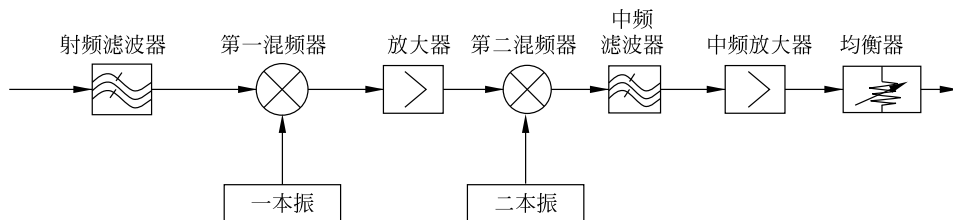


图 3.24 下变频器组成

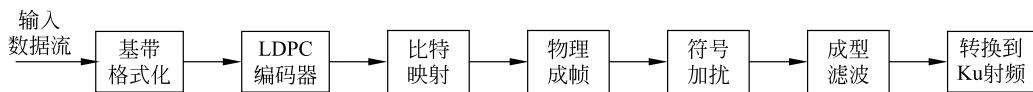


图 3.25 ABS-S 系统组成

双向因特网服务。目前中星 9 号卫星上的电视节目均采用 ABS-S 标准。

3.145 相控阵天线 (phased array antenna)

通过调整阵元的馈电相位来改变方向图的阵列天线。相控阵天线主要由天线阵列、移相器、波束控制器、馈电网络等组成。通过控制移相器的移相量来改变各阵元间的相对馈电相位,使波束可灵活指向需跟踪的空间目标。相控阵天线分为一维相控阵和二维相控阵两种类型:一维相控阵只在俯仰或方位一个方向上采用相控阵波束扫描,而在另一方向上采用机械扫描;二维相控阵在俯仰和方位两个方向上均采用相控阵波束扫描。与机械扫描天线相比,相控阵天线具有体积小、易与载体共形、波束扫描快、可形成多个独立的发射波束和接收波束、可靠性高等优点,但技术复杂、成本高。

3.146 相位噪声 (phase noise)

信号相位的随机起伏所产生的噪声。一般由设备的热噪声、散弹噪声、闪烁噪声等随机噪声对信号进行调制而产生。相位噪声对称地分布在主信号两边,可以用一边的特性来描述。相位噪声的大小通常用偏离载波 100 Hz、1 kHz、10 kHz、100 kHz 处,1 Hz 带宽内的噪声功率与载波功率之比来表示,单位为 dBc/Hz。

在卫星通信中,对设备的相位噪声一般要求见表 3.5。

表 3.5 卫通设备相位噪声一般要求

偏离载波频率/kHz	相位噪声/(dBc/Hz)
0.1	<-63
1	<-73
10	<-83
100	<-93

3.147 信标 (beacon)

通信卫星发射的便于地球站跟踪卫星的信号。信标用于指示卫星的位置,地球站利用信标指向卫星。信标一般为单载波,波束较宽。为了使地球站天线能够跟踪卫星,信标一般具有较高的频率稳定性和功率稳定性。

3.148 行波管放大器 (travelling wave tube amplifier)

通过电磁场与电子流发生能量交换,从而使高频信号得以放大的高功率放大器,英文简称 TWTA。行波管放大器如图 3.26 所示,由行波管、电源系统、信号检测系统等组成,其中行波管是核心器件。射频输入信号先通过一个匹配隔离器,改善输入驻波比,然后经过衰减器,进入行波管;行波管将信号放大后,输出至电弧检测器;当行波管波导中出现电弧时,该检测器会产生响应信号,迅速切断功放的射频激励信号,从而熄灭电弧;谐波滤波器滤除谐波后,将信号送至定向耦合器耦合输出至天线的馈源。

行波管放大器的主要特点如下。

- (1) 输出功率大,其功率输出可以达到数千瓦。

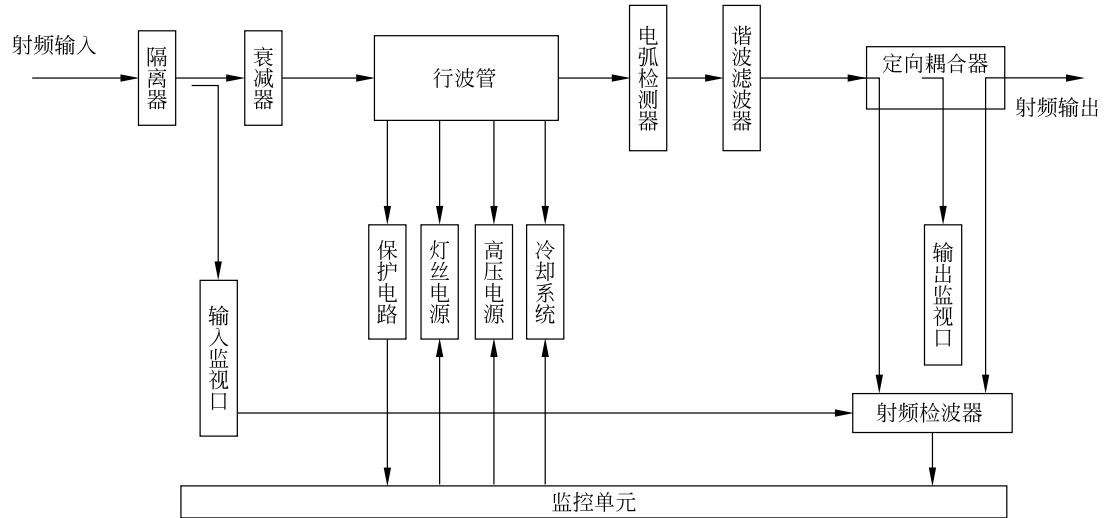


图 3.26 行波管放大器组成

(2) 工作频带宽,由于行波管功放不包含谐振系统,所以频带可达几个倍频程以上。

(3) 噪声系数低,由于行波管不包含谐振腔,电子流不需通过栅网,电流分配噪声很小,因此可以获得较低的噪声系数(低噪声行波管的噪声系数一般为 1~6 dB)。

(4) 电源复杂,寿命比固态功放短。行波管高功放的直流电压可达几千伏到 1 万多伏,因此须有妥善的安全措施和保护电路。

(5) 行波管高功放只有通过降低饱和输出功率和额外的线性化电路来改善器件的线性度,线性化电路增加了系统的复杂性和加工成本,也导致系统的工作效率降低。

3.149 星上处理及交换(satellite processing and switching)

由卫星实现的信号解调、译码,以及信令处理和路由选择功能。当卫星只有透明转发功能时,信号的处理与交换由地面系统完成。卫星具有信号处理与交换功能后,可将卫星视为通信网络的一个交换节点。这样,可减少地球站的载波数量,避免多跳现象的发生。在星上对信号进行再生处理,可降低或消除干扰,避免噪声积累,减少传输误码。

3.150 星蚀(satellite eclipse)

卫星被地球遮挡,与太阳视距上不可见的现象。如图 3.27 所示,当太阳、地球和卫星位于一条直线,且地球在中间时,才会出现星蚀现象。每年春分(3 月 21—22 日)和秋分(9 月 22—24 日)前后共 90 天的时间内,每天出现一次星蚀,每次持续几分钟。



图 3.27 星蚀现象

星蚀发生时,卫星的太阳能电池接收不到太阳光能,卫星改由蓄电池供电。当卫星蓄电池容量不足时,卫星转发器将不能正常工作。随着技术的发展,星上蓄电池质量减轻,容量增大,克服了星蚀对卫星通信的不利影响。

3.151 亚太六号卫星(Apstar VI Satellite)

定点于 134°E 的地球同步轨道通信卫星。该卫星于 2005 年发射,设计寿命 15 年,由亚太公司负责

运营,其主要参数见表 3.6。在试验任务中,利用亚太六号卫星 C 频段转发器实现国土覆盖范围的固定站通信。

表 3.6 亚太六号卫星参数

频段	C 频段	Ku 频段
覆盖范围	中国、印度、东南亚、澳洲、太平洋群岛、夏威夷	中国
极化	双线极化	单线极化
转发器数量	38 个	12 个
等效全向辐射功率(EIRP)/dBW	34~41	46~58.63
品质因素(G/T)/(dB/K)	-9~-2	-2.5~+10

3.152 亚太七号卫星(Apstar VII Satellite)

定点于 76.5°E 的地球同步轨道通信卫星。该卫星于 2012 年发射,设计寿命 15 年,接替到达设计寿命的亚太-2R 卫星,由亚太公司负责运营,其主要参数见表 3.7。在试验任务中,租用该卫星 C 频段转发器实现印度洋海域测量船以及部分国外站对国内的通信。

表 3.7 亚太七号卫星参数

频段	C 频段	Ku 频段
覆盖范围	亚洲、澳洲、欧洲、非洲	中国、中东—中亚、非洲
极化	线极化	线极化
转发器数量/个	28	28
最大有效全向辐射功率(EIRP)(波束峰值~波束边缘)/dBW	32~41	43~56
典型品质因数(波束峰值~波束边缘)(G/T)/(dB/K)	-10~-1	-4~-11

3.153 铱星系统(Iridium system)

由美国摩托罗拉公司建设的低轨全球个人卫星移动通信系统。铱星系统除了提供话音业务外,还提供传真、数据、定位、寻呼等业务。铱星系统原设计为 77 颗小型卫星,分别围绕 7 个极地圆轨道运行,因

卫星数与铱原子的电子数相同而得名。后来改为 66 颗卫星围绕 6 个极地圆轨道运行,但仍用原名称。

铱星系统的卫星轨道高度约 780 km,每个轨道平面分布 11 颗工作卫星和 1 颗备用卫星。每颗卫星均具有星上处理和交换功能,能投射 48 个波束到地球表面,形成一个通信“蜂窝区”。铱星系统用户与卫星之间的上下行链路工作在 L 频段。星际链路以及卫星与网管站之间的上下行链路工作在 Ka 频段,多址方式为多频时分多址 (MF-TDMA)。

铱星系统地面设备主要包括用户设备、控制中心以及关口站等。用户设备主要指移动电话,一般具有双模功能:即可在兼容蜂窝网络中作为陆地无线电话使用,也可利用铱星系统作为卫星电话使用。控制中心主要为卫星星座提供全球操作、支持和控制服务。关口站主要功能是为移动、漫游用户提供支持和进行管理,并为铱星系统和地面通信网提供连接服务。

铱星系统作为陆地移动通信系统的有效补充,主要应用于紧急援助、边远地区、航空、海洋等场合。

3.154 有效载荷 (payload)

卫星平台上安装的用于完成通信、导航、侦察等任务的仪器、设备和分系统。有效载荷是卫星的核心部分,决定了卫星的主要性能。通信卫星有效载荷由转发器、天线和信标组成。转发器接收天线信号,经变频、放大后,再由天线发出,从而完成天线信号的中继转发。信标用来指示地球站天线跟踪和对准卫星。

3.155 有效载荷在轨测试 (payload in orbit test)

卫星发射定轨后,在交付用户使用之前,对其有效载荷(转发器、天线及信标)性能进行的测试。其主要目的是验证卫星有效载荷有无故障,是否满足指标要求,并获取实际性能指标,提供给用户使用。

测试的主要内容包括:

- (1) 输入、输出特性。
- (2) 单载波饱和 EIRP。
- (3) 转发器增益。
- (4) 饱和通量密度。
- (5) G/T 值。
- (6) 幅频响应。
- (7) 群时延。
- (8) 三阶交调。
- (9) 杂散。

(10) 相位噪声。

(11) 增益档位。

(12) 转发器 EIRP 和增益稳定度。

(13) 星上本振源的频率准确度、稳定度、日老化率。

(14) 信标信号功率和频率稳定度。

3.156 预分配 (pre-assignment)

在使用前,预先对地球站使用的信道资源进行分配的方式。在 FDMA 体制下,信道资源主要是频点和带宽;在 TDMA 体制下,信道资源主要是时隙;在 CDMA 体制下,信道资源主要是地址码和信息速率。各地球站在工作过程中,只能使用预先分配给它的信道资源与其他地球站通信。

目前,科研试验卫星通信网主要采用预分配方式,一般在任务前制定频率资源分配方案,各卫星通信地球站按照分配方案建立信道。任务完成后,释放信道,用于新的任务。

3.157 圆极化器 (circular polarizer)

将线极化波转换成圆极化波的微波器件,又称 $\pi/2$ 移相器。在波导内放置低损耗介质片或销钉排,由此构成移相平面。移相平面与线极化平面成 45° ,当线极化波通过移相平面时,分解为垂直和平行移相平面的两个幅度相等的分量。介质对垂直分量的相位没有影响,但对平行分量产生滞后 90° 的相移。这样,线极化波通过圆极化器后,垂直和平行分量再度合成,就转换成了圆极化波。在卫星通信中,圆极化器是发送和接受圆极化波的卫通站必不可少的部件,位于天线馈源网络中。

3.158 圆锥扫描跟踪 (conical scanning tracking)

将天线波束轴偏离天线中心轴,以恒定的转速围绕天线中心轴旋转的跟踪方式。当天线精确指向卫星时,波束旋转一周,跟踪接收机的输入信号保持不变;当天线指向偏离卫星时,波束旋转一周,跟踪接收机的输入信号呈现周期性波动。天线偏离卫星的角度越大,接收机输出的误差电压越大。该误差电压被送至天线控制单元 (ACU),用于驱动天线对准卫星。圆锥扫描可采用旋转主反射面、副面、馈源等方式来实现。由于主反射面、馈源等质量较大,需要电机有较大的驱动力矩,快速旋转也会对系统平衡、结构刚性等提出更高的要求,因此工程上常采用旋转副面来实现。与单脉冲跟踪相比,圆锥扫描跟

踪的设备体积小、价格低,但跟踪精度较低。

3.159 杂散(spurious signal)

电子设备内由于电子起伏引起的主信号以外的无用信号。杂散在频域上表现为与载波频率成非谐波关系的离散频谱。如果杂散信号落在主信号带内,则影响本信道的通信质量;如果落在主信号带外,则有可能影响其他信道的通信质量。

杂散常用杂散电平衡量其大小,其值为杂散信号幅度与主信号幅度的比值,单位为 dBc。卫星通信系统的带外杂散功率谱密度不能超过 4 dBW/4 kHz,带内杂散电平指标要求见表 3.8。

表 3.8 带内杂散电平指标

载波传输速率/ (Mb/s)	工作频段/GHz	杂散电平/dBc
≤ 2.048	C 频段: (5.850~6.425)	≤ -40
> 2.048	Ku 频段: (14.0~14.5)	≤ -50

3.160 载波等效噪声带宽(carrier equivalent noise bandwidth)

载波噪声带宽所对应的理想矩形滤波器的带宽。如果白噪声通过实际带通滤波器后的输出噪声功率与通过高度为 1 的理想矩形带通滤波器后的输出噪声功率相同,则该理想带通滤波器的带宽为实际带通滤波器的等效噪声带宽。卫星通信工程中,载波等效噪声带宽采用式(3-25)进行计算:

$$B_n = \frac{1.2R_b}{C_r \log_2 M} \quad (3-25)$$

式中: B_n ——载波等效噪声带宽,Hz;

R_b ——信息传输速率,b/s;

C_r ——信道编码的编码率;

M ——调制点数,如 BPSK 取 2, QPSK 取 4, 8PSK 取 8。

3.161 载波叠加(carrier in carrier)

点对点通信的地球站使用同一载波频率进行通信的技术。其基本原理是:任一站从接收到的中频信号中扣除本站发送的中频信号,从而获得对端站发送的中频信号。与传统收发采用不同载波方式相比,载波叠加可大大减少卫星带宽占用,但会提高卫星信道噪声,增加一定的功率占用。

采用载波叠加技术的卫星通信调制解调器必须准确估计链路的幅度、频率漂移、多普勒频移、传播时延、未知的载波相位和定时等,才能准确扣除本站发送的中频信号。与常规调制解调器相比,采用载波叠加技术的调制解调器需要增加以下处理单元。

(1) 自我信号估计模块。用于从混合的下行链路信号中提取自我信号的参数。

(2) 时延、频率、相位和增益调整模块。用于校准本地产生的删除信号的参数,使之与下行链路的信号参数相一致。

3.162 载波分配带宽(carrier allotted bandwidth)

为一个用户载波分配的带宽。为防止载波之间的相互干扰,在分配带宽时,需在载波占用带宽的基础上增加一定的保护带宽。载波分配带宽即为载波占用带宽与保护带宽之和。工程上,一般取保护带宽为载波占用带宽的 5% 以上。

3.163 载波功率占用率(carrier power utilization ratio)

载波占用的卫星转发器功率与卫星转发器允许输出的最大功率之比。卫星转发器是一个功率和带宽双受限的系统,如果载波占用功率过大,就会出现不能充分使用转发器带宽的现象。采用各种纠错编码技术如 RS、Turbo、LDPC 等可降低信噪比门限,减少载波发送功率,从而降低载波功率占用率。

3.164 载波频带占用率(carrier bandwidth utilization ratio)

载波占用的卫星转发器带宽与卫星转发器总带宽之比。卫星转发器是一个功率和带宽双受限的系统,如果载波占用带宽过大,就会出现不能充分使用转发器功率的现象。在设计时,一般遵循功率占用率和频带占用率基本平衡的原则。采用各种调制技术如 QPSK、8PSK、16QAM、32APSK 等可降低载波频带占用率。

3.165 载波频谱监视(carrier spectrum monitoring)

对卫星转发器用户载波的功率、频率、带宽等参数进行的实时监视,简称 CSM。其目的是及时掌握业务载波和转发器工作情况,用于快速发现和处理载波频谱的异常问题。监视方式分为全程巡检、预

定巡检、多载波监测 3 种模式。全程巡检对星上所有转发器进行轮询监视,预定巡检对选定的卫星转发器进行轮询监视,多载波监测对选定的载波进行轮询监视。

典型的载波频谱监视系统如图 3.28 所示,由测试仪器(信号源、频谱仪、功率计)、开关矩阵、测试计算机、耦合器、衰减器等组成。频谱仪对载波信号进行频谱分析,将测量数据发送至测试计算机进行处理。信号源、功率计以及频谱仪一起完成测试链路增益的校准。校准时,天线偏离卫星,信号源发送一未调制载波,经开关矩阵、耦合器、衰减器注入至低噪声放大器。功率计、频谱仪分别测出接收到的载波功率,扣除耦合器、衰减器的损耗,可得到测试链路段的增益。

载波频谱监视系统对注册载波的监视过程如下:测试计算机从载波信息数据库中读取该载波注册的工作参数,包括载波中心频率、带宽、EIRP 和 C/N 。然后,根据这些参数向频谱仪发送配置命令,启动频谱仪进行频谱扫描。根据不同参数对应的测试方法,分别测量出所选载波的参数。最后,将测量值与注册值进行对比,判断载波参数是否在容差范围之内。如果超差,则产生告警输出。另外,对空闲频段进行实时扫描,可监测是否存在非法载波。

3.166 载波占用带宽(carrier occupational bandwidth)

已调载波信号占用的带宽。在卫星通信工程

中,将载波在频域上从峰值下降 26 dB 时所对应的频谱宽度作为载波占用带宽。数字调相信号载波占用带宽的计算式如下:

$$B_o = \frac{(1 + \alpha)R_b}{C_r \log_2 M} \quad (3-26)$$

式中: B_o ——载波占用带宽,Hz;

α ——调制器滚降系数;

C_r ——信道编码率;

R_b ——信息传输速率,b/s;

M ——调制点数,如 BPSK 取 2, QPSK 取 4, 8PSK 取 8。

3.167 载噪比(carrier to noise ratio)

链路上某点载波信号功率与噪声功率之比,单位为 dB。载噪比是卫星通信性能最基本的参数之一,决定链路传输的比特误码率。载噪比越高,比特误码率越低。提高载噪比的常用方法是增加地球站载波的发送功率。

载噪比常采用频谱仪进行测试,从低噪声放大器输出、调制解调器的中频输入等测试点将信号接入频谱仪。由频谱仪直接测出 $C_0 + N_0$ (载波功率谱密度及噪声谱密度之和)及 N_0 (噪声谱密度)。通过计算可得出 C_0/N_0 。根据 C_0/N_0 ,载噪比 C/N 的计算式如下:

$$C/N = C_0/N_0 + 10\lg R_s - 10\lg B_n = C_0/N_0 - 0.8 \quad (3-27)$$

式中: C/N ——载噪比,dB;

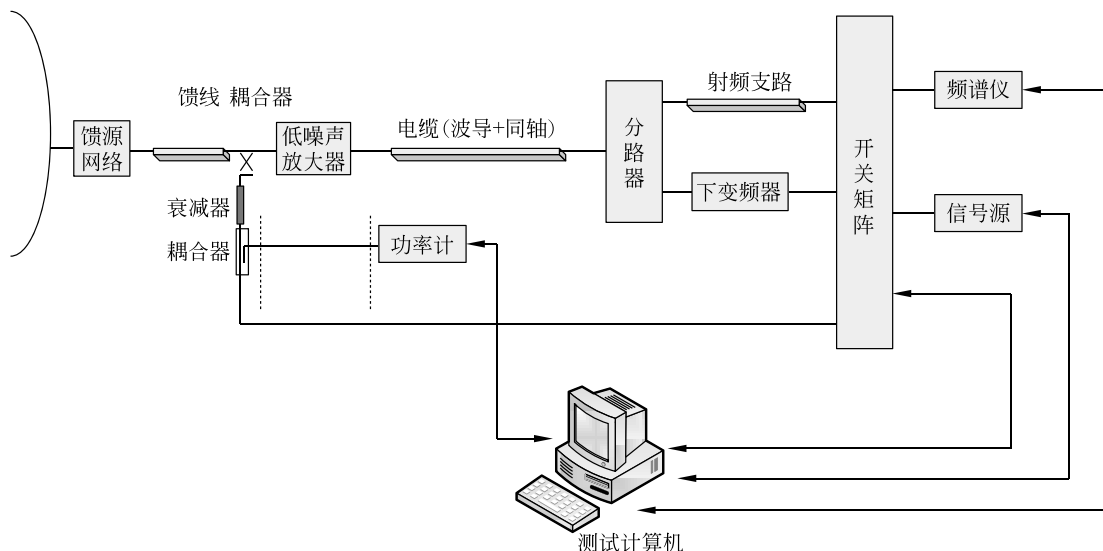


图 3.28 载波频谱监视系统组成

C_0/N_0 ——载波功率谱密度与噪声谱密度之比, dB;

R_s ——符号速率, S/S;

B_n ——载波等效噪声带宽, Hz。

3.168 噪声等效带宽 (equivalent noise width)

对于噪声而言,网络所对应的等效滤波器的带宽,又称等效噪声带宽。设网络的传递函数为 $H(f)$,则噪声等效带宽 B_n 可用式(3-28)计算:

$$B_n = \frac{\int_0^\infty |H(f)|^2 df}{|H(f_0)|^2} \quad (3-28)$$

式中: f_0 ——网络最高频响所对应的频率, Hz。

对于噪声而言,网络相当于一个高度为 $|H(f_0)|^2$,宽度为 B_n 的矩形滤波器。

3.169 噪声系数 (noise figure)

衡量器件、设备或系统固有噪声大小的参数。噪声系数用式(3-29)计算:

$$F = (T_0 + T_e)/T_0 \quad (3-29)$$

式中: F ——噪声系数;

T_e ——等效噪声温度, K;

T_0 ——环境温度, K, 取 290 K。

噪声系数越大,固有噪声越大。在卫星通信中,频段越高,低噪声放大器的噪声系数越大,C 频段低噪声放大器的噪声系数一般小于 1.15, Ku 频段低噪声放大器的噪声系数一般小于 1.31。

3.170 增益波动 (gain fluctuation)

设备增益在工作频带内的最大变化。增益波动反映了设备在工作频带范围内的幅频特性。当设备增益波动过大时,信号畸变严重,导致误码率升高。在规定的测试频带范围内,每隔一定的频率步长(保证测试带宽内至少 20 个点),采样并记录被测设备的增益。根据测试结果,用式(3-30)计算得出增益波动:

$$G_f = G_{\max} - G_{\min} \quad (3-30)$$

式中: G_f ——增益波动, dB/测试频带;

$G_{\max}$ ——测试频带内的最大增益, dB;

$G_{\min}$ ——测试频带内的最小增益, dB。

增益波动有时也用相对增益范围 $\pm (G_{\max} - G_{\min})/2$ 表示。

卫通设备典型的增益波动指标如下。

(1) C 频段设备: ± 0.25 dB/40 MHz;

(2) Ku 频段设备: ± 0.35 dB/60 MHz。

3.171 增益稳定度 (gain stability)

设备增益在规定时间内的最大变化。增益稳定度反映了设备输出电平稳定性。当增益稳定度较差时,将对系统的接收性能产生不利的影响。根据规定时间的长短,增益稳定度分为短期稳定度(约 1 h)、中期稳定度(约 1 天)和长期稳定度(约 1 周)。在规定的测试时间内,每隔一定时间(一般为 10 min),采样并记录被测设备的增益。根据测试结果,用式(3-31)计算得出增益稳定度:

$$G_s = G_{\max} - G_{\min} \quad (3-31)$$

式中: G_s ——增益稳定度, dB/测试时间;

$G_{\max}$ ——测试时间内的最大增益, dB;

$G_{\min}$ ——测试时间内的最小增益, dB。

增益稳定度有时也用相对增益范围 $\pm (G_{\max} - G_{\min})/2$ 表示。

一般功放的增益稳定度指标要求为:短期, ± 0.1 dB/h;中期, ± 0.25 dB/d;长期, ± 0.5 dB/w。

3.172 增益斜率 (gain slope)

单位频带内增益的变化量,单位为 dB/MHz。某频率下的增益斜率是增益波动曲线上该频率所对应点的导数,反映了增益随频率变化的快慢。卫星通信设备一般要求增益斜率最大不超过 0.05 dB/MHz。

3.173 站型 (station type)

卫星通信地球站的类型。卫星通信地球站的站型有多种分类方式,按载体分为固定站、车载站、船载站、机载站、便携站等;按使用频段分为 L 频段站、C 频段站、Ku 频段站、Ka 频段站等;按天线口径分为 16 m、13 m、7.3 m、5 m、4.5 m、3.8 m、2.4 m、1.8 m、1.2 m 等。

3.174 正交模耦合器 (ortho-mode transducer)

天线馈源中混合或分离正交极化信号的三端口微波器件,又称正交模变换器或双模变换器,简称 OMT。在接收通道中,它将输入的电磁波分离成两个相互正交的信号分别输出至不同的低噪声放大器;而在发射通道中将两个输入的相互正交的电磁波混合成一路输出至馈源。

3.175 指向跟踪 (pointing tracking)

根据卫星通信地球站地理位置、姿态及卫星位置计算出天线指向角,引导天线指向卫星的一种跟踪方式。在载体运动情况下,需实时解算出天线指

向角,使天线电轴实时对准卫星。指向跟踪属开环跟踪,跟踪精度不高,但设备简单。

3.176 中等速率数据传输业务 (intermediate data rate)

INTELSAT IESS 308 标准制定的速率为 64 ~ 44.736 Mb/s 的点对点数字语音和数据业务,简称 IDR。IDR 是 20 世纪 80 年代后期推出的业务,填补了原有低速单路单载波业务(最大为 56 kb/s)和高速数据业务(120 Mb/s)之间的空白。1.554 Mb/s 以上速率与 ITU-T 建议的准同步数字体系保持一致;低于 1 Mb/s 的速率等级与 ITU-T 建议的综合业务数字网(ISDN)传输速率等级保持一致。IDR 采用频分多址方式,QPSK 调制,前向 1/2 或 3/4 卷积编码方式。IDR 没有时分多址方式复杂,不需要严格的全网同步控制,设备价格也较为便宜,已成为一种重要的卫星通信业务。

3.177 中频信号 (intermediate frequency signal)

卫星通信中载波频率介于基带信号频率与射频信号频率之间的信号。对基带信号进行调制,或对射频信号进行下变频后输出的信号,即为中频信号。中频信号的频率范围通常选用(70±18) MHz、(140±36) MHz 和 950~1450 MHz。

3.178 中星十号卫星 (Chinasat-10 Communication Satellite)

定点于东经 110.5°E 的地球同步轨道通信卫星。该卫星于 2011 年 6 月 21 日发射,设计寿命 15

年,由中国卫星通信集团有限公司运营,其主要参数见表 3.9。在试验任务中,主要利用该卫星 Ku 频段转发器进行机动通信。

3.179 轴角编码器 (angular encoder)

将旋转变压器输出的天线方位、俯仰等角度信息实时转换成数字量输出的设备。旋转变压器是转角检测器件,其输出的模拟信号幅度随转角做正弦变化。轴角编码器将该输出信号转换成二进制数字角度,送至天线控制单元。天线控制单元将其转换成十进制数字并显示在面板上,为步进跟踪、命令位置等操作提供依据。轴角编码器一般为一块接口板,插在天线控制单元内,但在测量船地球站上为独立的设备。

3.180 转发器 (transponder)

通信卫星上用于中继转发的通信设备。根据是否具有处理功能,转发器分为透明转发器和处理转发器两种基本类型。透明转发器接收来自地球站或航天器的信号,并对其进行放大、变频后转发,不对信号进行其他处理;处理转发器首先将接收到的信号经放大和下变频,解调出基带数字信号,经交换等处理后再进行转发。目前试验任务中使用的主要是透明转发器。

3.181 转发器输入输出特性 (input and output performance of transponder)

卫星转发器输出功率随输入功率变化的关系,又称转发器功率转移特性。卫星转发器输入输出特性一般用曲线表示,如图 3.29 所示,输入用通量密

表 3.9 中星十号卫星转发器参数

频段	C 频段	Ku 频段
覆盖范围	中国、南亚、东亚、西亚、中亚、东南亚	中国、南亚、东亚、西亚、中亚、东南亚
极化方式	线极化	线极化
转发器数量/个	30	16
转发器带宽/MHz	32、36、38、54	30、36、54
等效全向辐射功率(EIRP)/dBW	44(峰值) >40(中国周边)	55(峰值) >47(中国周边)
品质因数(G/T)/(dB/K)	1.8(峰值)	10(峰值)
饱和通量密度(SFD)/(dBW/m ²)	固定增益模式: -98~-70 自动电平控制模式: -90~-75	固定增益模式: -98~-70 自动电平控制模式: -90~-75

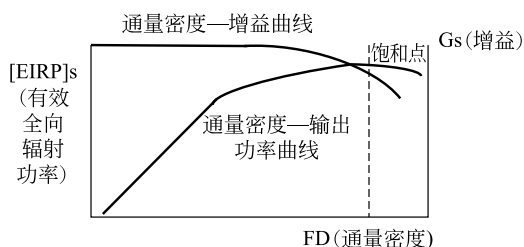


图 3.29 转发器输入输出特性曲线

度(FD)表示,输出用等效全向辐射功率(EIRP)和转发器增益(G_s)表示。该曲线反映了卫星转发器FD与EIRP和 G_s 之间的关系。

转发器输入输出特性采用步进功率扫描法测试。如图3.30所示,信号源发送频率为转发器中心频率的单载波,经卫星转发器到达地球站。由上行功率计的数值,推算得到转发器的FD。由频谱仪测得的接收信号电平,推算得到转发器的EIRP或 G_s 。信号源输出功率从小到大以一定步长增加,直至转发器饱和,从而得到转发器输入输出特性。

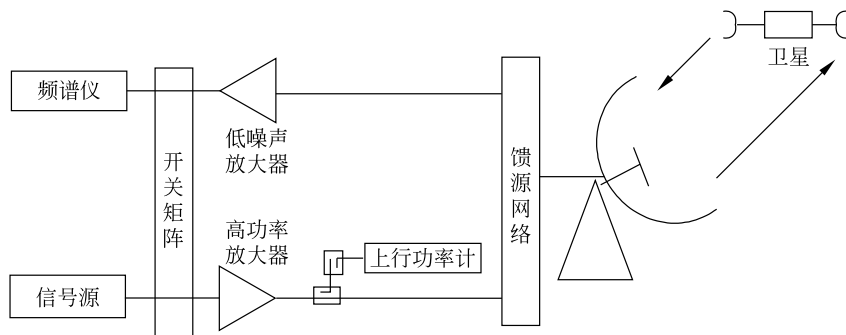


图 3.30 输入输出特性测试

3.182 转发器增益档位 (transponder gain step)

转发器增益调整的步进位置。增益调整通过调整末级功放前的可变衰减器来实现。在可变衰减器调整范围内,均匀设置若干档位,相邻档位之间的衰减值一般相差1 dB。转发器增益由卫星运营商实施调整,一般情况下设置为中间档。当卫通链路其他环节衰减过大时,可适当调高档位,抵消链路衰减;当卫通链路其他环节增益过大时,可适当调低档位,防止转发器被推饱和。

3.183 自跟踪 (auto tracking)

根据接收到的卫星信标信号,卫通天线自动判断其电轴偏离卫星的方向和大小,并自动调整天线对准卫星的工作方式。自跟踪属闭环跟踪,跟踪精度较高。根据工作原理和实现方法,自跟踪分为单脉冲跟踪、步进跟踪、圆锥扫描跟踪等类型。由于静止卫星每天相对于地面做“8”字形漂移,而大、中型地球站天线的波束较窄,跟踪精度要求高,因此一般大、中型地球站天线都具有自跟踪功能。

第4章 无线通信

4.1 3GPP (3rd Generation Partnership Project)

第三代合作伙伴计划的简称。1998 年底,由欧洲电信标准化协会(ETSI)、日本无线工业及商业协会(ARIB)、日本电信技术委员会(TTC)、韩国电信技术协会(TTA)和美国 T1 电信标准委员会 5 个成员发起成立的标准化组织。该组织旨在研究、制定并推广基于 GSM 核心网络演进的第三代移动通信标准,即 WCDMA、TD-SCDMA、EDGE 等。中国无线通信标准研究组(CWTS)于 1999 年 6 月在韩国正式签字加入 3GPP,成为组织伙伴。中国通信标准化协会成立后,在 3GPP 组织里更名为 CCSA。

如图 4.1 所示,3GPP 在项目协调组(PCG)下,设 GSM/EDGE 无线接入网、无线接入网、业务与系统、核心网与终端共 4 个技术规范组。每个技术规范组下设多个工作组。

4.2 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2)

第三代合作伙伴计划 2 的简称。1999 年 1 月,由日本无线工业及商业协会(ARIB)、日本电信技术委员会(TTC)、韩国电信技术协会(TTA)和北美电信工业协会(TIA)4 个成员发起的标准化组织。旨在制定以 ANSI-41 核心网为基础,CDMA2000 为无线接口的第三代移动通信标准。中国无线通信标准研究组于 1999 年 6 月在韩国正式签字加入 3GPP2,成为组织伙伴。中国通信标准化协会成立后,在 3GPP2 组织里更名为 CCSA。3GPP2 设 TSG-A、TSG-C、TSG-S 和 TSG-X 共 4 个技术规范组。TSG-A 负责制定接入网接口相关标准,TSG-C 负责制定空中接口相关标准,TSG-S 负责制定核心网络以及系统架构相关标准,TSG-X 负责制定安全和需求相关标准。

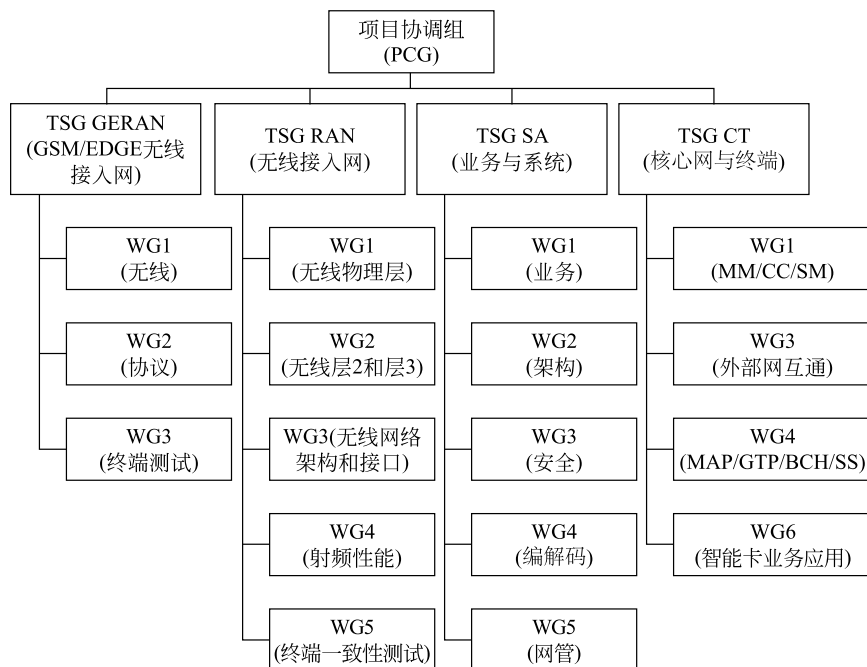


图 4.1 3GPP 组织结构

4.3 Ad Hoc 网 (Ad Hoc network)

一种多跳的、无中心的、自组织的无线网络,又称多跳网、无基础设施网或自组织网。Ad Hoc 一词来源于拉丁语,意思是“专用的、特定的”。Ad Hoc 技术起源于 20 世纪 70 年代的美国军事领域,是在美国国防高级研究计划局(DARPA)自主研究的“战场环境中的无线分组数据网”项目中产生的新型网络架构技术。IEEE 称其为 Ad Hoc 网,IETF 称其为移动 Ad Hoc 网(MANET)。Ad Hoc 网无需中心控制节点,所有网络节点兼具移动终端和路由功能,地位平等。网络节点由主机、路由器和电台 3 部分组成。根据网络规模大小,Ad Hoc 网通常采用平面结构和分级结构。Ad Hoc 网与传统移动通信网相比,具有部署快速、环境适应力强、抗毁性强等优点,多用于战术互联网和无线传感器网。

4.4 CDMA 2000 (code division multiple access 2000)

由窄带码分多址发展而来的第三代移动通信系统空中接口标准,是由 3GPP2 在 IS-95A/B 标准基础上完成的 3G 标准。CDMA 2000 由高通北美公司为主导提出,有多个不同的类型。CDMA 2000 1x 是 CDMA2000 技术的核心,其中 1x 指使用一对 1.25 MHz 无线电信道。CDMA 2000 1xRTT 是 CDMA2000 的一个基础层,支持最高 153.6 kb/s 数据速率,通常被认为是 2.5G 或者 2.75G 技术。CDMA 2000 1xEV 在 CDMA2000 1x 基础上附加了高数据速率能力。CDMA2000 1xEV 分为两个阶段:第一阶段称为 CDMA2000 1xEV-DO,在一个无线信道只传送数据的情况下,支持下行速率最高可达 3.1 Mb/s,上行速率最高可达 1.8 Mb/s;第二阶段称为 CDMA 2000 1xEV-DV,在一个信道传输数据和语音的同时,支持下行速率最高可达 3.1 Mb/s,上行速率最高可达 1.8 Mb/s。

4.5 GPRS (general packet radio service)

通用分组无线业务的简称。GPRS 是第二代移动通信技术向第三代发展的中间技术,常被称为 2.5 代移动通信技术。其在 GSM 系统的基础上,提供端到端的、广域的无线 IP 连接,由叠加在 GSM 电路交换网上的分组交换网提供。GPRS 通过与 GSM 蜂窝移动通信系统共享基站收发信台(BTS)和基站控制器(BSC)作为无线接入设备,共享归属位置寄存器(HLR)和移动交换中心(MSC)的访问位置寄

存器(VLR)以解决终端移动性问题。GPRS 分组网由 GPRS 服务支撑节点(SGSN)、GPRS 网关支撑节点(GGSN)和相关的传送网络构成,通过网关与外部数据网连接。GPRS 采用分组交换技术,提高了信道传输资源的利用率,有利于突发数据的传输。当 GPRS 用户独占一个载频上的 8 个时隙时,数据传输速率最高,理论上可达 171.2 kb/s。

4.6 GSM (global system for mobile communications)

欧洲电信标准化协会(ETSI)提出的第二代移动通信系统标准,中文简称全球通。最初 GSM 标准定义了 900 MHz、1800 MHz 和 1900 MHz 共 3 个频段,后来又补充了 850 MHz 和 450 MHz,以适应各国无线电频率分配的不同情况。GSM 系统以话音业务为主,也支持无线数据业务,其双工方式为 FDD,多址接入方式为 TDMA/FDMA,调制方式为高斯最小频移键控(GMSK)方式,语音编码为规则脉冲激励长期预测编码(REP-LTP),信道编码为卷积码。每个 GSM 载频的带宽为 200 kHz,每帧 8 个时隙,帧周期为 4.615 ms。

4.7 IP 数字微波通信系统 (IP digital microwave communication system)

将 IP 包直接映射到微波帧的数字微波通信系统,又称分组微波通信系统,分组传送网络(PTN)微波,简称分组微波,IP 微波。IP 微波在业务接入、处理和空口帧结构方面全面支持 IP 分组化业务,同时对 PDH/SDH 等传统 TDM 业务很好地兼容,单通道传输容量达到 1 Gb/s。依据设备结构不同,IP 微波分为全室内微波、分体式微波和全室外微波。分体式微波分室内单元和室外单元。依据工作频率主要分为:传统 IP 微波,工作频率为 6~42 GHz;V 波段(V-band)IP 微波,工作频率为 59~64 GHz;E (E-band)波段 IP 微波,工作频率为 71~86 GHz。依据业务映射和处理技术不同,IP 微波设备分混合(Hybrid)IP 微波和纯分组(Packet)IP 微波两种。前者空中接口支持 TDM 数据和 IP 包的混合传送,TDM 业务和分组业务各自映射到微波帧,通过统一的微波帧进行混合传送;后者将 TDM 业务和分组业务等经过边缘到边缘的伪线仿真技术(MPLS/PWE3)统一封装处理,然后以分组形式传送到微波端口,映射成微波帧传输。

4.8 IS-95

美国高通公司提出的基于码分多址(CDMA)技术的第二代移动通信系统标准,简称IS-95。IS-95是美国电信工业协会(TIA)于1993年公布的双模式(CDMA/AMPS)的标准。双模式是指IS-95标准兼容模拟调频系统和码分多址数字系统。IS-95标准全称是“双模式宽带扩频蜂窝系统的移动台—基站兼容标准”。IS-95采用1.25 MHz的系统带宽,提供话音业务和简单的数据业务。从概念上讲,IS-95A和IS-95B总称为IS-95,通常将基于IS-95的一系列标准和产品统称为CDMAone。CDMAone包括更多的相关标准,如IS-95、IS-95A、TSB-74、J-STD-008以及IS-95B。IS-95是CDMAone系列标准中最先发布的空中接口标准,IS-95A则是1995年美国TIA颁布的第一个得到广泛应用的商用化标准。1998年TIA制定了新标准IS-95B标准,通过对物理信道的捆绑应用,以承载比IS-95A更高速率数据业务,允许连接多达8个码道,支持最高数据速率为115.2 kb/s的无线数据业务。IS-95蜂窝通信系统网络结构符合典型的数字蜂窝移动通信的网络结构,由交换子系统、基站子系统和移动台子系统3大部分组成。

4.9 ISM 频段(industrial scientific medical band)

国际电联规定的主要用于工业、科学和医学机构使用的无线电频段。ISM频段的特点是没有使用授权的限制,可自由使用,但发射功率受限,一般不高于1 W,不对其他频段造成干扰即可。如熟知的2400~2483.5 MHz、5725~5850 MHz频段即为ISM频段。在中国,2400~2483.5 MHz频段可用于宽带无线接入(含无线局域网)、蓝牙、点对点传输等无线电通信系统;5725~5850 MHz频段可用于宽带无线接入(含无线局域网)、点对点传输、电子不停车收费等无线电通信系统。

4.10 LMDS(local multipoint distribution system)

工作在厘米波或毫米波频段的点到多点宽带无线固定接入系统,中文名称为本地多点分配系统。LMDS采用类似蜂窝网络的结构,将业务覆盖区域划分为若干服务区,服务区的覆盖范围从几千米到十几千米不等。每个服务区设一个基站(又称中心

站)。为扩大覆盖范围和提高频谱利用率,各个基站的服务区可以划分为多个扇区,组织成蜂窝系统。如果服务区划分为多个扇区,则基站为每个扇区设一副天线;如果不设扇区,则基站设一副全向天线。终端站采用窄波束定向天线,与基站建立无线信道。厘米波和毫米波频段的无线电信号穿透建筑物能力弱,基站与终端站之间需要有直视路径。理想状态下,LMDS系统通信可靠性及传输性能与光纤通信系统相当,可为用户提供高达35~58 Mb/s的下行速率,40 Mb/s的上行速率。

在不同的国家和地区,分配给LMDS的工作频段和带宽各有不同。LMDS微波频段分布见表4.1。美国联邦通信委员会(FCC)将LMDS的频谱分成两段:27.50~28.35 GHz、29.10~29.25 GHz和31.075~31.225 GHz为A段,共1.15 GHz;31.225~31.300 GHz为B段,共150 MHz。我国允许使用26 GHz频段的FDD方式LMDS频率为24.507~25.515 GHz(下行)和25.757~26.765 GHz(上行),收发频率间隔1250 MHz。基本波道带宽为3.5 MHz、7 MHz、14 MHz、28 MHz。可根据具体业务需求,将基本波道合并使用。

表4.1 LMDS微波频段分布

LMDS 系统/ GHz	10	24	26
频段/GHz	10.15~10.65	24.25~25.25	24.25~26.06
收发间隔/ MHz	350	800	1008
LMDS 系统/ GHz	28	31	38
频段/GHz	27.5~31.225	31.0~31.30	38.6~40.0
收发间隔/ MHz	350	225	700

4.11 LTE(long term evolution)

第三代移动通信的长期演进技术,中文名称为长期演进。LTE采用OFDM和MIMO作为其无线网络演进的唯一标准,改进并增强了3G的空中接入技术。LTE定位于3G与4G之间。除最大带宽、上行峰值速率两个指标略低于4G要求外,其他技术指标都已经达到了4G标准的要求,因此俗称为3.9G。它的主要特点是在20 MHz频谱带宽下能够提供下行100 Mb/s与上行50 Mb/s的峰值速率;相比3G网络,大大提高了小区的容量,同时LTE网络

节点主要包括演进型基站 (eNode B) 和接入网关 (aGW), 相比 3G 省去了无线网络控制器 (RNC), 网络结构更加扁平化, 网络延迟大为减小。TD-LTE 是 TDD 版本的 LTE 的技术, FDD-LTE 是 FDD 版本的 LTE 技术。TDD 和 FDD 的差别在于, TDD 采用时分双工, 而 FDD 采用频分双工。

4.12 LTE-A (LTE-Advanced)

LTE 的演进, 正式名称为 Further Advancements for E-UTRA。2008 年 6 月, 3GPP 完成了 LTE-A 的技术需求报告, 提出了 LTE-A 的最小需求: 下行峰值速率 1 Gb/s, 上行峰值速率 500 Mb/s, 上、下行峰值频谱利用率分别达到 15 b/(Hz · s) 和 30 b/(Hz · s)。这些指标已经远高于 4G 的最小技术需求指标。

LTE-A 后向兼容 LTE, 两者拥有相同的无线接入物理层和网络结构, 以及相同的核心网结构。LTE-A 在扇区容量、边缘用户吞吐量、频谱效率方面较 LTE 有大幅提高。LTE-A 引入了更为先进的技术: 载波聚合 (CA)、多点联合协作 (COMP)、中继 (Relay) 与异构网络 (Het-Net)、多输入多输出 (MIMO) 技术等。LTE-A 包括 TDD 和 FDD 两种制式。TD-SCDMA 网络能够演进到 TDD 制式, WCDMA 网络能够演进到 FDD 制式。

4.13 McWiLL (multi-carrier wireless information local loop)

多载波无线信息本地环路的简称。McWiLL 是北京信威科技集团股份有限公司自主研发的移动宽带无线接入系统, 也是 SCDMA 综合无线接入技术的宽带演进版 SCDMA V5 的俗称。McWiLL 单基站占用 5 MHz 的载频带宽, 最高吞吐量为 15 Mb/s, 终端最高吞吐量为 3 Mb/s, 最多能支持并发 300 路语音。McWiLL 主要是在智能天线技术方面开发了高性能的信道跟踪和预测技术, 提高波束赋形和联合检测的速度, 从而保证高速移动下的信号质量。McWiLL 可以同时支持语音业务、数据业务、多媒体, 是语音数据一体化的宽带无线接入系统。McWiLL 系统成为我国第一个拥有国家授权频段并制定了行业标准的宽带无线接入技术制式。McWiLL 及其后续演进版本主要定位于区域性的宽带移动无线接入应用。

4.14 MIMO (multiple input multiple output)

在无线收发两端均使用多个天线的无线电通

信技术, 又称多人多出。其基本原理是, 利用多个天线将时域和空域结合起来进行空时信号处理, 通过空时编码获得分集增益和复用增益。MIMO 信号可以通过两种不同方式改善无线通信: 一种是分集机制, 通过发射与接收之间多条通路改善系统健壮性、误码率; 另一种是空间复用机制, 利用收发之间多条相对独立的路径并行传输信号, 每个子信道承载不同的数据流, 在不增加带宽的条件下, 相比单入单出成倍地提升了信息传输速率, 从而极大地提高了频谱利用率。MIMO 技术已经成为无线通信领域的关键技术之一。在无线宽带移动通信系统方面, 3GPP 已经在标准中采用 MIMO 技术。在无线宽带接入系统中, IEEE 802.16e、802.11n 和 802.20 等标准也采用了 MIMO 技术。

4.15 PTT 开关 (push to talk)

无线通信手持机或车载台送话器上的讲话开关, 又称一键通, 即按即说键。主叫用户只要一按该键就能建立主叫和被叫之间的半双工通话链路, 主叫即可讲话, 被叫无须按键即可接听。主叫松开 PTT 开关, 通话链路即被释放。

PTT 功能是对讲机类型的业务, 目前可分为两大类系统: 数字集群通信系统和公众移动通信系统。数字集群通信系统对应于有指挥调度需求的专业用户; 公众移动通信系统基于 IP 多媒体子系统 (IMS) 也实现了 PTT 功能, 成为 3G 的一项增值业务, 简称 PoC, 又叫一键通业务, 是在手机上增加对讲机 PTT 功能的一种半双工通话方式, 向个人用户提供一对多和一对一通话服务。

4.16 RAKE 接收机 (rake receiver)

一种能分离多径信号并有效合并多径信号的接收机, 是第三代 CDMA 移动通信系统的一项重要技术。在 CDMA 系统中, 传播时延差超过一个码片周期的多径信号可被看作互不相关的信号。如果不同的路径信号的延迟差超过一个伪码的码片时延, 则在接收端可将其区别开来。将这些不同的信号分别经过不同的延迟线, 对齐后合并在一起, 就可把原来的干扰信号变成有用信号。RAKE 接收机就是根据这一原理设计出来的。通过多个相关检测器接收多径信号中的各路信号, 可以在时间上分辨出细微的多径信号, 对这些分辨出来的多径信号分别进行加权调整, 使之复合成加强的信号。由于该接收机中横向滤波器具有类似锯齿状的抽头, 就像耙子一样,

故称该接收机为 RAKE 接收机。

4.17 TD-SCDMA (time division-synchronous code division multiple access)

基于时分同步码分多址的第三代移动通信系统的空中接口标准。TD-SCDMA 是中国提出的享有自主知识产权的第一个完整的通信技术标准。系统采用 DS-CDMA 多址方式,载波带宽为 1.6 MHz,码片速率为 1.28 Mcchip/s,最高速率为 2.8 Mb/s。TD-SCDMA 采用了 UMTS 网络结构,分为核心网、无线接入网络以及终端用户部分。它的主要技术特点有:

(1) 采用不需配对频率的时分双工模式,上行和下行信道特性基本一致,因此,基站根据接收信号估计上行和下行信道特性比较容易。

(2) 采用同步 CDMA 技术。上行链路各终端信号与基站解调器完全同步,可使正交扩频码的各码道在解扩时完全正交,相互之间不会产生多址干扰,克服了异步 CDMA 的码道不正交所带来的干扰问题。

(3) 采用联合检测技术使得检测的效率大为提高。TD-SCDMA 是一个时域和帧控的 TDMA 方案。用户分布到每个时隙中,最终使时隙中并行用户数量很少,这样,通过较低的计算量和信号处理要求,就能有效地检测到目标信号。

(4) 采用智能天线技术,而智能天线技术的使用又引入了空分多址技术的优点,减少了用户间干扰,提高了频谱利用率。

TD-SCDMA 技术与标准发展和演进路径可分为 3 个阶段和两大类技术。3 个阶段分为基本版本及增强型技术标准阶段、长期演进阶段、4G 阶段;两大类技术为基本版本及增强型技术标准阶段基于 CDMA 技术、长期演进阶段和 4G 阶段基于 OFDM 技术。

4.18 UMTS 地面无线接入网 (UMTS terrestrial radio access network)

通用移动通信系统陆地无线接入网,简称 UTRAN。UTRAN 为用户终端设备提供无线接口,完成与用户无线接入有关的所有功能。UTRAN 由一组通过 Iu 接口(无线网络控制器与核心网之间的接口)连接到核心网的多个无线网络子系统组成。无线网络子系统由数个基站和无线网络控制器组成。基站服务于一个无线小区,提供无线资源的接入功能,无

线网络控制器提供无线资源的控制和管理功能。

4.19 U-NII 频段 (unlicensed national information infrastructure band)

美国联邦通信委员会(FCC)规定的无许可证的国家信息基础设施频段。U-NII 频段没有使用授权的限制,可自由使用。在美国,U-NII 频段包括 3 个频段,分别为低频段 5.15~5.25 GHz,中频段 5.25~5.35 GHz,高频段 5.725~5.825 GHz,其中低频用于室内通信;中频室内外兼顾,适用于中等距离通信;高频室外使用,通常作为社区无线宽带接入通信。我国将 5.725~5.850 GHz 频段作为点对点或点对多点扩频通信系统、高速无线局域网、宽带无线接入系统、蓝牙技术设备及车辆无线自动识别等无线电台站的共用频段,其中站台设立要到当地无线电管理部门报批。

4.20 WCDMA (wide band code division multiple access)

基于宽带码分多址的第三代移动通信系统空中接口标准。系统采用 DS-SS-CDMA 多址方式,码片速率为 3.84 Mcchip/s,载波带宽为 5 MHz。不同基站可选择同步和不同步两种方式。在反向信道上,采用导频符号相干 RAKE 接收的方式,解决了 CDMA 中反向信道容量受限的问题。还可采用自适应天线、多用户检测、分集接收、分层式小区结构等,进一步提高系统的性能。WCDMA 系统可以划分为核心网、无线接入网络以及终端用户。根据 3GPP 的发展和演进计划,WCDMA 最终发展成为第四代移动通信系统。

4.21 Wi-Fi (wireless fidelity)

符合 IEEE 802.11 系列标准的无线网络通信技术产品的品牌,中文直译为无线保真,表 4.2 为 IEEE 802.11 系列标准概况。Wi-Fi 商标由 Wi-Fi 联盟持有,是一种商业认证。Wi-Fi 联盟是一个非赢利性商业联盟,成立于 1999 年,制定了一套用于验证符合 IEEE 802.11 标准的无线局域网产品兼容性的测试标准,旨在通过对基于 IEEE 802.11 标准的产品进行互操作性测试,在全球范围内保证 Wi-Fi 产品的互通,从而促进 Wi-Fi 行业的发展。经过 Wi-Fi 联盟认证的产品,贴有 Wi-Fi 标志,成为符合 IEEE 802.11 技术标准的同义词。

表 4.2 IEEE 802.11 系列标准概况

标准	频段/ GHz	传输速率/ (Mb/s)	使用 范围/m	兼容 情况
IEEE 802.11	2.4	2	50	基础标准
IEEE 802.11a	5	54	50	不兼容
IEEE 802.11b	2.4	11	100	兼容 802.11
IEEE 802.11g	2.4	54	100	兼容 802.11b
IEEE 802.11n	2.4/5	300~600	125	兼容 802.11a/b/g

4.22 WiMAX (worldwide interoperability for microwave access)

中文名称为全球微波接入互操作性,是 IEEE 802.16 标准系列的无线城域网技术。IEEE 802.16 标准又称为 IEEE Wireless MAN 空中接口标准,对工作于 2~66 GHz 频带的无线接入系统空中接口物理层和媒体接入控制层进行了规范,包括 802.16、802.16a、802.16c、802.16d、802.16e、802.16f、802.16g、802.16h、802.16i、802.16j、802.16k、802.16m 等标准。IEEE 802.16 根据使用频段高低不同,可分为应用于视距和非视距两种;根据是否支持移动性,可分为固定宽带无线接入空口标准和移

动宽带无线接入空口标准。标准的技术细节见表 4.3。

WiMAX 网络组成包括 WiMAX 终端、接入网和核心网。支持点对多点的蜂窝网结构和网状网结构。传输距离最远可达 50 km,最高传输速率可达 75 Mb/s。此外 802.16m 是移动 WiMAX 的下一代标准,保持与现有 WiMAX 的互通,又称为 WirelessMAN-Advanced 或 WiMAX-2,传输速率目标在固定状态下达到 1 Gb/s,移动状态下达到 100 Mb/s,被 ITU 确定为 4G 标准。

WiMAX 规章工作组建议频段采用 2.5 GHz(许可频段)、3.5 GHz(许可频段)、5.8 GHz(免许可频段)。2007 年 ITU 无线通信全体会议上,WiMAX 作为 3G 标准取得了 3G TDD 频段,与中国的 TD-SCDMA 占有相同的 TDD 频段。3GPP 规定的 UTRA TDD 频段为 1900~1920 MHz、2010~2025 MHz;1850~1910 MHz、1930~1990 MHz;1910~1930 MHz。

4.23 ZigBee

通信距离介于无线标记技术和蓝牙技术之间的短距离低速率无线网络技术,中文名称为紫蜂。ZigBee 一词源自蜜蜂在发现花粉位置时,通过跳 ZigZag 形舞蹈来向同伴传递信息。ZigBee 工作在 2.4 GHz(全球)、868 MHz(欧洲)和 915 MHz(美国) 3 个频段上,分别具有最高 250 kb/s、20 kb/s 和

表 4.3 WiMAX 标准的技术细节比较

标准	802.16	802.16d	802.16e
使用频段/GHz	10~66	2~11(非视距) 10~66(视距)	2~6
信道条件	视距	非视距,视距	非视距
固定/移动性	固定	固定	移动,漫游
复用方式	SC	OFDM/OFDMA	OFDM/OFDMA
调制方式	QPSK、16QAM、64QAM	256OFDM(BPSK/QPSK/16QAM/64QAM) 2048 OFDMA	256OFDM(BPSK/QPSK/16QAM/64QAM), 128/512/1024/2048 OFDMA
双工方式	TDD,FDD	TDD,FDD	TDD,FDD
信道带宽/MHz	25,28	1.25~20 (1.25 MHz 和 1.75 MHz 倍数系列)	1.25~20(1.25 MHz 和 1.75 MHz 倍数系列)
数据速率/ (Mb/s)	32~134(28 MHz)	75(20 MHz)	15(5 MHz) 30(10 MHz)
覆盖半径/km	5	15	5

40 kb/s 的传输速率,传输距离为 10~75 m。

采用 ZigBee 技术构建的 ZigBee 网络用于工业现场自动化控制数据的传输。ZigBee 网络的物理层和媒体接入访问控制层协议采用 IEEE 802.15.4 标准,主要技术参数见表 4.4。ZigBee 技术联盟在 IEEE 802.15.4 标准基础上制定了网络层和应用层的标准,包括组网、安全服务等功能以及一系列无线家庭、建筑等解决方案,还负责提供兼容性认证、市场运作以及协议的发展延伸。ZigBee 网络包含 3 种设备: ZigBee 协调器、ZigBee 路由器和 ZigBee 终端设备。

表 4.4 IEEE 802.15.4 标准的工作频段、传输速率和调制方式

频段/ MHz	扩频参数		数据参数		
	码片 速率/ (kchip/s)	调制 方式	比特率/ (kb/s)	波特率/ kbaud	符号 特征
868~ 868.6	300	BIT/ SK	20	20	二进制
902~ 928	600	BIT/ SK	40	40	二进制
2400~ 2483.3	2000	Q- QPSK	250	62.5	十六进制

4.24 编码正交频分复用(coded orthogonal frequency division multiplexing)

将编码与正交频分复用相结合的调制技术,简称 COFDM。编码是指信道编码采用编码率可变的卷积编码,以适应不同的误码率要求。正交频分指使用大量的正交子载波。由于正交,相邻子载波可以在频率域有部分重叠。复用指多路数据相互交织地调制到上述载波上。调制方式采用 QPSK、16QAM 或 64QAM 等。

COFDM 的主要特点是各子载波相互正交,使调制后的频谱可以相互重叠,从而减小了子载波间的相互干扰。每个子载波可以使用不同的调制方式,从而使各个子载波能够根据信道状况的不同选择不同的调制方式,达到频谱利用率和误码率之间的最佳平衡。采用功率控制和自适应调制相协调的工作方式,信道质量好时,可以提高传输速率,或降低发射功率;信道质量不好时,可以提高发射功率,或降低传输速率。COFDM 在误码性能、抗多径衰落、抗窄带干扰、频带利用率等方面性能优良,是一种很有应用前景的技术。

4.25 波导(waveguide)

定向引导电磁波的中空器件。电磁波被限制在波导内的空间中传播。根据横截面形状,可分为矩形波导、圆波导;根据柔软性,可分为软波导、硬波导。软波导主要用于工作过程,需要经常改变弯曲形状的场所。

4.26 波道配置(radio channel configuration)

无线电通信系统射频频段的划分和分配方案。在系统可以使用的射频频率范围内,划分为若干波道,分配给各站使用。每一个波道以中心频率(工作频率)和波道带宽限定。两个相邻波道中心频率之差称为相邻波道间隔。相邻波道间隔越大,相邻波道间干扰就越小。为尽量避免收发干扰,将波道分为低端和高端两部分,使用时,在低端和高端各取一个波道组成一对波道,以波道对为单位进行分配。高端波道中的最低工作频率与低端波道中的最高工作频率之差称为相邻收发间隔,相邻收发间隔越大,收发干扰就越小。此外,通过合理配置波道的极化方式,如一个波道对的收发波道采用不同的极化方式,可进一步减少收发干扰和相邻波道的干扰。

4.27 残余误码率(residual bit error ratio)

信道无衰落时的比特差错率,简称 RBER,又称背景误码率,是数字微波通信系统在可用状态下的主要误码性能指标之一。一般认为信道不可用和存在严重误码秒是信道衰落造成的,因此,残余误码率指扣除系统不可用时间和严重误码秒影响后的误码率。它等于在一较长测量时间内(如 15 min)进行统计所得的平均误码率,实际上是对设备本身性能提出的要求,该项指标数值很低,即要求具有极少的背景误码。

4.28 长波通信(long-wave communication)

工作频率在 3 Hz~300 kHz 的无线电通信。可进一步分为长波(30~300 kHz)、甚长波(3~30 kHz)、特长波(300~3 kHz)、超长波(30~300 Hz)、极长波(3~30 Hz)通信。

通常波长越长,传播损耗越小,穿透海水和土壤的能力也越强,但相应的大气噪声也越大。并且随着工作波长的增大,其发射天线尺寸也越大,超长波发射天线的长度可达数十千米至上百千米。长波波长为 1~10 km,主要沿地球表面以地波方式传播,陆地传播距离为几十千米至几百千米,海面传播距离可达数百至数千千米。长波通信只能传电报或低速数据;甚长波波长为 10~100 km,主要靠大地与电

离层(低层)形成的波导进行传播,传播距离可达数千千米乃至覆盖全球。甚长波穿透海水能力较强,适用于水下通信。甚长波通信只能传电报或几十波特的低速数据;超长波波长为 1000~10 000 km,其传播衰减很小,穿透海水能力很强,可深达 100 m 以上,用于远距离和大深度下航行的潜艇通信。超长波通信传输速率很低,1 个码元长达 30 多秒;极长波波长大于 10 万千米,其在陆地和海水中的传播衰减都很小,适宜数百米水下的潜艇通信。

4.29 超短波电台(ultrashort wave station)

工作在超短波波段的无线电台,又称甚高频电台。超短波电台主要由超短波收发信机、超短波天线和馈线、终端设备、电源设备、监控设备等构成,主要用于电话通信,也可传送数据或图像。当其用于接力通信时,有终端站和中继站之分。在设计和建造时,要避免在天线主波束方向上出现高大树木或建筑物,以减小传播损耗。

4.30 超短波通信(ultrashort wave communication)

工作频率在 30~300 MHz 的无线电通信,又称米波通信、甚高频通信。超短波通信具有频段宽、通信容量大等优点,但传播路径主要靠空间波进行视距范围内的传播,因此受地形地物影响较大。当要进行远距离通信时,需加设中继站进行接力。除了与具有较高增益的天线(如八木天线)相配合应用于定点超短波中继通信外,超短波通信还广泛应用于移动通信、散射通信和一点多址通信。在试验通信中,常把频率在 30~1000 MHz 的无线电通信称为超短波通信。

4.31 超宽带(ultra wide band)

以占空比很低的冲击脉冲作为信息载体传输数据的无载波扩频技术,又称为极宽带,无载波无线技术,脉冲无线电技术,简称 UWB。超宽带信号通常指-10 dB 功率点处的相对带宽(信号带宽与中心频率的比)大于 20%或射频的绝对带宽大于 500 MHz 的无线电信号。UWB 原为美国军方为防止通信被窃听而开发的军用通信技术。2002 年 2 月,美国联邦通信委员会(FCC)授权 UWB 可用于民用通信,规定 UWB 在 3.1~10.6 GHz 频段中占用 500 MHz 以上的带宽,频谱范围很宽,但是发射功率非常低,低于-41 dBm。UWB 调制采用脉冲宽度在纳秒级的快

速上升和下降冲击脉冲,脉冲成型后直接送至天线发射。接收端不需要中频处理,直接接收。UWB 信号是一种持续时间极短,带宽很宽的短时脉冲,功率谱密度相当低,被称为隐形电波。调制可采用开关键控(OOK),对应脉冲键控,脉冲振幅调制或脉位调制。

IEEE 802.15a 工作组负责制定 UWB 技术标准,已形成直接序列扩频码分多址和多频正交频分复用两大主流标准方案。

4.32 超外差接收机(superheterodyne receiver)

将输入的高频信号在混频器内与本振信号混频,使该高频信号的频率降到一个低得多的中频频率后进行滤波、放大和解调的接收机。因输出的中频频率低于输入的高频信号的频率,而且又是本振频率与输入的高频信号的频率之差,故称超外差接收机。目前,大多数接收机都是超外差接收机,常用的为超外差一次变频和二次变频结构。超外差接收机降低了对信道滤波器的要求,但由于混频的非线性效应,会产生很多组合频率分量,产生镜像干扰、组合频率干扰和中频干扰等特有的干扰。超外差接收机中频的选择需要兼顾接收灵敏度和信道选择性。依靠周密的中频频率选择和高品质的射频滤波器(镜像抑制和频带选择)、中频滤波器(信道选择),可以获得很高的接收灵敏度、较好的选择性和较大的动态范围。

4.33 大气窗口(atmospheric window)

电磁波在大气中传播时,大气吸收作用相对比较弱的频段,又称无线电窗。常用的大气窗口在可见光及近红外谱段为 0.30~2.5 μm ;在红外谱段为 3.5~4.2 μm , 8~14 μm ;在微波波段有 1.4 mm、3.5 mm、8 mm 附近的波段以及波长大于厘米波的波段。

4.34 大气吸收衰减(atmospheric absorption loss)

电磁波通过大气传播时,因大气分子的吸收作用而产生的衰减。大气中的水蒸气分子具有电偶极子,氧分子具有磁偶极子,这些分子从通过它们的电磁波中吸收能量,从而使电磁波产生吸收衰减。水蒸气的最大吸收峰在 23 GHz 处,氧分子的最大吸收峰在 60 GHz 处。电磁波频率低于 12 GHz 后,大气吸收衰减为 0.015 dB/km。

大气损耗包括电离层中自由电子和离子的吸收损耗,对流层中氧分子、水蒸气分子以及云雾雨雪等吸收损耗和散射损耗。大气损耗与天气、电磁波频率、天线仰角有着密切的关系。除雨衰外,大气损耗中其他损耗较小,因此,在卫通链路设计中主要考虑雨衰对其的影响。

4.35 大气折射 (atmospheric refraction)

低空大气对电波传播产生的折射。大气的成分、压力、温度、湿度随高度和地域的不同而变化,是一种折射率不均匀的无线传输媒质。电波在这种折射率不均匀的媒质中传播,将改变传播方向,即发生折射。

4.36 单边带通信 (single sideband)

将载波和一个边带去除掉,只发送一个边带的通信方式,简称 SSB。幅度调制后的已调载波包含载波和分别位于载频两边的上边带和下边带。这两个边带均包含有调制信号的全部内容,为了提高通信效率和节约频带,发送前可将载波和一个边带去掉,只发送一个边带。

根据载波是否完全被抑制,单边带通信分为部分抑制载波单边带通信和抑制载波单边带通信。如果发送上边带,则称为上边带通信;如果发送下边带,则称为下边带通信;如果将两个边带分别加以利用,传送不同的信号,则称为独立边带通信。

4.37 单呼 (private conversation)

任意两个用户之间进行的一对一的通信方式,又称选呼,私人通话。在集群移动通信中,用户通过按数码键(键入身份码)选择呼叫另一个用户。建立起单呼的两个用户,将听不到其他一般呼叫,直至解除单呼状态为止,同时其他用户也听不到该单呼。

4.38 导频 (pilot frequency)

用来反映传输电平变化情况的一种单频引导信号。导频还可作为两地载频同步的参考信号。在基

于码分多址技术的移动通信系统中,导频信号是基站连续发射未经调制的直接序列扩频信号,使用户可以获得前向码分多址信道时限,提供相干解调相位参考,并且为基站提供信号强度比较手段,确定移动台用户何时切换。导频技术可以有效提高不同载频之间切换的成功率,在网络优化中被广泛采用。

4.39 等效地球半径 (equivalent earth radius)

将大气折射对于电波传输的影响等效折算所得的地球半径。由于受大气折射的影响,电波不是沿直线传播,而是沿具有一定曲率的弧线传播。工程上为了计算方便,将电波假定为沿直线传播,而把折射对电波传输的影响折算到地球曲率的变化上,并将曲率改变后的地球半径称为等效地球半径。

等效地球半径与真实地球半径之比,称为等效地球半径系数,记为 K 。 $K=1$,表示无折射; $K<1$,表示负折射,即电波射线弯曲与地球表面弯曲方向相反; $K>1$,表示正折射,即电波射线弯曲与地球表面弯曲方向相同。在工程计算时,一般正折射时取 K 为 $4/3$,负折射时取 K 为 $2/3$,越站干扰时 K 按无穷大考虑,即不计地球凸起的高度对电波传播的影响。在温带地区,通过大量实验求得 K 的平均值为 $4/3$,通常称此时的大气为标准大气, $K=4/3$ 的大气折射为标准大气折射。

4.40 第二代移动通信系统 (the second generation mobile communication system)

窄带数字蜂窝移动通信系统,简称 2G,因全面取代第一代移动通信系统而得名。其以数字化为主要特征,以传送数字话音为主要业务,也可提供低速电路型数据业务和短消息业务。2G 系统主要基于 TDMA 和 CDMA 两种数字无线标准技术,典型系统有 GSM、CDMA IS-95、D-AMPS 和 PDC 等,主要技术规格见表 4.5。表 4.5 中,3S 站指 3 扇区单载波站, Q_1 站为单载频全向站。

表 4.5 第二代移动通信系统技术规格

系统		GSM	CDMA		D-AMPS	PDC
			IS-95	2001 1x		
工作频率/MHz	下行	935~960 1805~1850	825~835		869~894	810~826 1429~1453
	上行	890~915 1710~1755	870~880		824~849	940~956 1477~1501

续表

系统	GSM	CDMA		D-AMPS	PDC
		IS-95	2001 1x		
接入方式	TDMA	CDMA		TDMA	TDMA
双工方式	FDD	FDD		FDD	FDD
双工间隔/MHz	45 95	45		45	130 48
载频带宽/kHz	200	1.23		30	50
业务信道数/每载频	8	3S 站: 21 Q ₁ 站: 23	3S 站: 35 Q ₁ 站: 40	3	3
调制方式	GMSK	下行: QPSK 上行: BPSK		$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK
使用地区国家	中国、欧洲	中国、美国		美国	日本

4.41 地面波 (ground wave)

沿地球表面传播的无线电波,简称地波。地波受地形和地面电磁特性的影响较大。地波在地面上产生感应电流而衰减,在起伏不平的地面上,会发生散射而衰减。波长越长,这两种衰减就越小。因此工作波长不宜过短,通常位于超长波、长波、中波和短波低频段。地波传播优点是比较稳定、信号质量好。

4.42 第三代移动通信系统 (the third generation mobile communication system)

以多媒体业务为特征,能够将语音通信和多媒

体通信相结合,支持高速数据传输的蜂窝移动通信系统,简称 3G。因最初作为第二代移动通信系统的下一代而得名。国际电信联盟 (ITU) 曾称其为未来公众陆地移动通信系统 (FPLMTS),后改名为全球移动通信系统 (IMT-2000)。在室内、室外和行车的环境中能够分别支持至少 2 Mb/s、384 kb/s 以及 144 kb/s 的传输速度。ITU 确定的 3 个主流无线接口标准分别是美国的 CDMA2000、欧洲的 WCDMA 和中国的 TD-SCDMA,见表 4.6。除此之外,以 IEEE 802.16 系列标准为基础的宽带无线接入技术 WiMax 也称为第 4 种 3G 主流标准。

表 4.6 3G 三大主流技术标准对照表

项目	WCDMA	CDMA2000	TD-SCDMA
提出国家	欧洲、日本	美国、韩国	中国
继承基础	GSM	IS-95CDMA	GSM
载频带宽/MHz	5	$N \times 1.25$	1.6
码片速率/ (Mchip/s)	3.84	$N \times 1.2288$	1.28
扩频因子	4~512	4~256	1.16
双工方式	FDD/TDD	FDD	TDD
基站同步	不需要	GPS 同步	上下行均需同步
智能天线	不支持	不支持	支持
核心网	GSM MAP	ANSI-41	GSM MAP
理论单用户 最高速率	R99: 384 kb/s HSDPA: 14.4 Mb/s	1X: 384 kb/s EVDO: 3.1 Mb/s	R4: 384 kb/s HSDPA: 2.8 Mb/s
我国运营商 (频段)	中国联通: 基于 FDD 模式, 获得了 1940~1955 MHz 和 2130~2145 MHz 频段。	中国电信: 获得 1920~1935 MHz 和 2110~2125 MHz 频段。	中国移动: 获得了核心频段的 1880~1920 MHz 和 2110~2125 MHz 频段资源; 在补充频段拥有 2300~2400 MHz 的 100 MHz 资源。

3GPP 主要采用 WCDMA 和 TD-SCDMA 技术构建无线接入网,核心网与无线接入网作为整体向前发展。3GPP2 主要采用 CDMA2000 技术构建无线接入网,核心网与无线接入网分别独立向前发展。两种技术体制的核心网在现有第二代移动通信网的核心网基础上平滑演进。WiMax 主要采用 OFDMA 技术构建无线接入网。

4.43 第四代移动通信系统 (the fourth generation mobile communication system)

国际电联 (ITU) 提出的未来移动通信系统,又称 IMT-Advanced,简称 4G。4G 是多功能集成的宽带移动通信系统,包括宽带无线固定接入、宽带无线局域网、移动宽带系统和交互式广播网络,具有非对称的超过 100 Mb/s 的室外数据和 1G Mb/s 的室内数据传输能力。系统能在不同的固定和无线平台及跨越不同频带的网络运行中提供无线服务。根据 ITU 的定义,静态传输速率达到 1 Gb/s,用户在高速

移动状态下的传输速率可以达到 100 Mb/s,就可以作为 4G 的技术之一。

2012 年 1 月,ITU 会议正式通过将 3GPP 的 LTE-A(包括 TDD 和 FDD 两部分)和 WiMax 论坛的 IEEE 802.16m 技术规范作为 4G 国际标准,技术对比见表 4.7。

4.44 第一代移动通信系统 (the first generation mobile communication system)

模拟蜂窝移动通信系统,简称 1G。因最早投入商业运营而得名。其主要特征是采用模拟调频制式和频分多址技术。该系统始于 20 世纪 70 年代末,主要商用时间从 20 世纪 80 年代初开始到 20 世纪 90 年代前期。典型代表是北美的先进移动电话系统 (AMPS)、英国的全接入通信系统 (TACS) 和北欧的 Nordic 移动电话 (NMT),技术规格见表 4.8。第一代移动通信系统仅支撑语音业务,容量小,存在信号质量不好、安全保密性差、设备难以小型化等问题。

表 4.7 LTE-A 和 802.16m 技术对比

	3GPP LTE Advanced	IEEE 802.16m
信道带宽	支持 1.25~20 MHz 带宽。	5~20 MHz 的可变带宽,某些特殊性信道可支持高达 100 MHz 的带宽。
峰值速率	下行: 1 Gb/s 上行: 500 MHz	静止: 1 Gb/s 移动: 100 MHz
移动性	0~15 km/h: 最佳性能; 0~120 km/h: 较好性能; 120~350 km/h: 保持连接,确保不掉线。	0~15 km/h: 最佳性能; 0~120 km/h: 较好性能; 120~350 km/h: 保持连接,确保不掉线。
基带传输技术与多址技术	下行: OFDMA 上行: SC-FDMA	OFDMA
双工方式	FDD 与 TDD 尽可能融合, FDD 半双工方式	FDD、TDD 和 FDD 半双工
调制方式	QPSK、16QAM、64QAM	BPSK、QPSK、16QAM、64QAM
编码方式	Turbo、LDPC	卷积码、卷积 Turbo 码和 LDPC
多天线技术	基本 MIMO 模型	MIMO、自适应天线阵 (AAS)
H-ARQ	Chase 合并与增量冗余 H-ARQ、异步 H-ARQ、自适应 H-ARQ	Chase 合并、异步 H-ARQ、非自适应 H-ARQ

表 4.8 第一代移动通信系统技术规格

系统		TACS	NMT		AMPS
			NMT450	NMT900	
工作频率/MHz	下行	935~950	461.3~465.74	935~960	917~950
	上行	890~905	453~457.5	925~942	824~894

系统	TACS	NMT		AMPS
		NMT450	NMT900	
接入方式	FDMA	FDMA	FDMA	FDMA
双工间隔/MHz	45	10	45	45
频道间隔/kHz	25	25	25	30
数据信号	直接 FSK	副载波 FFSK	副载波 FFSK	直接 FSK

4.45 电波传播 (radio wave propagation)

由天线发射或自然源辐射的无线电波,在地面、大气层和宇宙空间传播的过程。无线电波在介质或介质分界面的影响下,会发生被折射、反射、散射、绕射和吸收等现象,使电波的特性参量,如幅度、相位、极化、传播方向等发生变化。电波传播方式通常有以下几种方式。

(1) 地波传播。主要受地形的影响,沿地球表面传播。

(2) 对流层电波传播。主要受对流层的影响,在对流层中产生散射。

(3) 电离层电波传播。主要受电离层的影响,在电离层中产生折射和反射。

(4) 地—电离层波导电波传播。主要受电离层下缘和地面的影响,如同在波导中传播。

(5) 自由空间传播。主要在大气层以外的自由空间(接近真空状态)传播,能量随传播距离增加而扩散。

4.46 电离层 (ionosphere)

高空大气受太阳辐射(紫外线,X射线和微粒辐射)作用呈电离状态的大气层。范围从离地面 60 km 开始,一直可伸展到 1000 km 以上。按照电子浓度的大小,自下而上分为 D、E、F 层。D 层位于 60~90 km 高度处,只在白天出现。E 层在 90~140 km 高度处,F 层在 140~500 km 处。各层高度、厚度和电子浓度随昼夜更替和季节变换而变化,也受太阳活动(太阳黑子)的影响。

不同频段的电波通常受不同层的电离层反射或折射。长波和超长波波段的电波,通常在电离层低层的下缘被反射;中波段的电波,在电离层 D 层和 E 层中受到吸收,在 F 层中反射;短波段的电波,在电离层中受到折射和吸收,在一定条件下能由电离层反射回到地面。高于 100 MHz 以上的电波可穿透电离层。

电波在电离层中的传播分为透射传播和反射传播。直接穿透电离层的传播称为透射传播。透射传

播主要应用于天地通信;在电离层中反射回到地面的传播称为反射传播。反射传播主要用于地面对地面的远距离短波通信。

4.47 电压驻波比 (voltage standing wave ratio)

驻波电压的最大幅度与最小幅度之比,简称驻波比、VSWR 或 SWR。负载与传输线特性阻抗不匹配,产生反射。反射波在传输线上各点与入射波相加,随着传输距离的不断变化,二者相位差随之改变,各点电压的振幅也随之呈波浪式起伏,称为行驻波。最高点入射波与反射波相位相同,电压振幅相加为最大,称为波腹;最低点入射波与反射波相位相反,电压振幅相减为最小,称为波节;其他点振幅值介于波腹和波节之间。驻波比就是波腹与波节处的电压振幅之比。驻波比反映了反射波的相对大小和阻抗匹配的程度。当阻抗匹配时,没有反射波,驻波比为 1;当完全反射时,入射波和反射波相等,驻波比为无穷大。驻波比表征了功率传输效率或失配程度,是无线通信中天馈系统的重要性能指标,通常工程上允许不大于 1.5。

4.48 短波电台 (short wave station)

工作在短波波段的无线电台,主要由短波收发信机、收发信天线和馈线、控制设备、终端设备、电源设备等部分构成,有便携式、车载式和固定式 3 类。小型便携式短波电台,发射功率较小,一般采用鞭状天线,主要用于近距离话音通信;中型短波电台传播距离较远,用作电报、数据和话音通信;大型短波电台,一般用于远距离的国际通信。短波电台常用的终端设备有耳机、电键、电传机和综合业务终端。通常采用多副天线进行空间分集接收,以减少电波衰落的影响。在接收方向上两副分集接收天线之间的距离应保持在 10 个波长以上,以提高分集接收效果。

短波电台具有使用简便、机动性强、设备简易和造价低廉等优点,在军事通信中占有重要地位。

4.49 短波发信机 (short wave transmitter)

发射短波通信信号的设备,简称发信机。发信机是短波通信系统的主要设备之一,由激励器、功率放大器和电源组成。激励器采用数字信号处理(DSP)和数字频率直接合成(DDS)技术,其频率间隔为10 Hz,激励器的信道由自适应控制器控制。功率放大器采用全固态线性功放技术。发信机具有微机控制功能,提供按程序操作2~30 MHz频率范围内的多个信道,信道频率、工作种类、音频源和输出电平参数也可人工设置。此外具有天线自动调谐匹配和全自动天调预存功能,并带有遥控接口和自适应控制接口,可与全波段接收机、自适应控制器等组成自适应短波通信系统。不同功率发射机在功能和操作上基本相同,只在输出功率、设备形状和结构上有所区别。大型短波固定台站通常配置400 W、1000 W数字化自适应短波发射机,车载、舰载一般采用双工型。

4.50 短波后选器 (HF postselector)

短波台站中的发信附属设备之一,简称后选器。后选器实际上为通带很窄,同时又可方便改变中心频率的带通滤波器。后选器用于短波发信设备激励器端(射频小信号输出与功放之间),可降低系统输出信号的宽带噪声及高次谐波分量,提高杂散发射抑制能力。当短波台站收发共址或多部电台同址(如车载、舰载环境下)工作时,有时需要增加后选器来解决电磁兼容问题。

4.51 短波接收机 (short wave receiver)

接收短波通信信号的设备,又称短波收音机。短波接收机一般可在调幅话、等幅报、下边带、上边带、独立边带方式下工作,工作频率为10 kHz~29.9999 MHz,具有100个存储信道(存储频率、工作种类、滤波器带宽、AGC时间常数等工作参数)。能够按照信道顺序扫描或分组扫描,可按键选择工作种类、滤波器带宽、AGC等工作参数。全部参数可进行遥控,按照国军标要求,其遥控接口符合RS-232C和RS-422标准。目前试验任务中装备的短波收音机均为数字化自适应短波接收机。

4.52 短波频率预报 (frequency forecast for short-wave communication)

向地理位置和通信对象确定的短波通信站,发布的工作频率使用预报。短波频率预报通常以曲线

图的形式给出每个时间段的最高可用频率、最低可用频率和最佳工作频率3个要素。由于电离层的电子浓度分布随时间、地理位置、高度、太阳活动等变化而变化,使依靠电离层反射进行通信的短波信道呈现出典型的变参信道特征。为便于用户在不同地区、不同时间选取较好的工作频率,短波频率预报根据电离层模型和收发地点的经纬度,通过计算机运算预测出数月内所有时间段的最佳工作频率,供用户参考使用。

4.53 短波通信 (short-wave communication)

工作频率在3~30 MHz的无线电通信,又称高频通信。实际通信中一般将中波1.5~3 MHz的高频段范围也划分为短波频段。短波以天波和地波两种方式传播。地波传播衰减较快,主要在5 MHz以下频段。天波传播主要靠电离层反射实现远距离通信,短波在电离层与地面之间通过一次反射或多次反射的方式向前传播,可以覆盖全球,但通信受电离层变化的影响十分严重。对于短波来说,F层反射,E层和D层皆吸收。短波通信按太阳黑子数多少及季节、昼夜的变化应采用不同的短波频率。由于短波通信具有设备较简单、机动性强、传输距离远、建立通信电路容易等特点,特别是电离层的不可摧毁性,使得短波通信在军事通信、应急通信中得到普遍应用。

4.54 短波预选器 (short wave preselector)

短波台站中的收信附属设备之一,简称预选器。预选器实际上是一种通带很窄,同时又可方便改变中心频率的带通滤波器。预选器用于短波收信设备,将邻近发射机引起的接收机过载及相邻射频信道造成的干扰降至最小,可提高系统抗阻塞、倒易混频、互调和交调干扰性能。当短波台站收发共址或多部电台同址(如车载、舰载环境下)工作时,有时需要增加预选器来解决电磁兼容问题。

4.55 短波自适应 (short wave adaption)

能够实时地、自动调整设备的工作参数,保持短波通信系统工作在最佳状态的技术。根据调整的参数不同,短波自适应包括频率自适应、功率自适应、传输速率自适应、分集自适应、均衡自适应及天线调零自适应等。由于选频和换频是提高短波通信质量最有效的途径,因此通常所说的短波自适应一般指频率自适应。

传统短波通信依靠人工利用长期频率预报和经验进行选频,通信双方预置一组频率—时间呼叫表,轮询发起呼叫应答建立链路,这种通信方式时效低,对人员专业素质要求高。频率自适应技术通过在通信过程中不断测试短波信道传输质量,实时选择最佳工作频率,保持通信链路工作在传输条件较好的信道上,因此这种技术实时性、自动化程度高。

实现频率自适应的基本方法分为通信与探测分离的独立系统、通信与探测一体的系统两类。独立系统是最早实用的实时选频系统,也称自适应频率管理系统,其利用独立的探测系统组成一定区域内的频率管理网络,在短波范围内快速扫描探测,得到通信质量优劣的频率排序表,统一分配给用户使用。由于这种方法不能实时与通信系统匹配,实时性较差,因此目前均采用融探测与通信一体的强实时性的频率自适应技术,此种技术能对信道初步探测,具备限定信道的实时信道估值功能(RTCE),能够完成链路质量分析(LQA),并自动建立链路(ALE),以确保通信工作在质量最佳的信道上。

在短波自适应通信系统中,完成上述功能的部件为自适应控制器。其基本工作过程如下。

(1) 链路质量分析(LQA)。在通信前或通信间隙进行的信号质量测试。根据测试结果,对可用信道进行评分排队,获得的数据存储在 LQA 矩阵中。通信时根据 LQA 矩阵中信道排列次序选择工作频率。为简化设备复杂性和减少 LQA 试验循环时间, LQA 试验仅在有限信道上进行信道质量评估,不利用全部频率资源,通常信道数以 10~20 个为宜。

(2) 自动扫描接收。为了接收选择呼叫和进行 LQA 试验,网中所有电台都具有自动扫描接收功能,在预先设定的一组信道上循环扫描,在每一信道停顿期间等候呼叫信号或 LQA 探测信号的出现。

(3) 自动建立通信链路。综合运用自动扫描接收、选择呼叫和 LQA 矩阵全自动建立通信链路。系统呼叫方依据 LQA 矩阵内频率的排列次序,从最高频率开始向被叫方发起呼叫,等待应答,若收不到应答则转为下一工作频率继续呼叫。接收方在扫描接收过程中发现呼叫信号,停止扫描并识别确认呼号,若为本台则应答并建立链路,否则继续扫描。

(4) 信道自动切换功能。在通信过程中,遇到电波传播条件变坏或严重干扰的情况,自适应系统自动切换信道,使通信频率自动调到 LQA 矩阵中的下一频率上。

4.56 短波自适应控制器(short wave adaptive controller)

控制短波发射机和接收机实时选择最佳频率的核心部件。自适应控制器以微处理器为基础,通过编制相应软件完成短波通信过程中的线路质量分析、自动扫描接收、自动链路建立和信道自动切换,自动控制收发信机、调制解调器等,从而为用户提供高质量的短波通信电路。配接外部调制解调器后,可进行数据通信、呼叫(单呼、网呼、全呼),能对发射机进行面板监控。自适应控制器通常由协议处理、信号处理及接口单元组成。常用的自适应控制器可存储、修改和使用 100 个不同信道的有关参数,在需要时也可存储和修改 100 个电台和网络信息。信息可在呼叫或探测过程中更新、存储,并提供给下次通信使用。

4.57 对流层电波传播(troposphere radio-wave propaoation)

无线电波在对流层中的传播,对流层是大气层的一部分,位于地球大气低层,它从地面向上延伸的高度随纬度的不同而变化,一般约为十几千米。对流层的折射率随时间和空间而变化,大致按高度分层。由于折射指数随空间变化,因此无线电波在对流层中会因折射而弯曲。此外,在对流层中,气体分子与水汽凝聚物对电波也会有吸收和散射作用。

对流层电波传播模式有视距传播、折射传播、反射传播、散射传播、绕射传播、大气波导传播等。

4.58 多点多路分布业务(multichannel multipoint distribution services)

网络结构为点对多点,工作在微波频段的低端(通常为 2~5 GHz),提供宽带业务的无线接入系统,又称多信道微波分配系统,微波多点分配系统,简称 MMDS。MMDS 起源于有线电视网络,最初用于通过微波单向传送有线电视的系统,后改造为双向,成为一个支持点对多点服务的宽带无线接入系统。MMDS 适用于大区域覆盖的场合。

在我国,MMDS 又称为 3.5G 固定无线接入系统。2000 年 4 月,信息产业部无线电管理局分配 3400~3430 MHz 和 3500~3530 MHz 两个 30 MHz 频段用于 3.5 GHz 固定无线接入,通信方式为 FDD,下行采用 TDM 方式,上行采用 TDMA 方式。其中,终端站发射频段为 3400~3430 MHz,中心站发射频段

为 3500~3530 MHz, 双工间隔为 100 MHz。该系统支持固定用户的接入, 不支持漫游功能。基站端与网络的接口, 以及与用户端接口为 ITU G. 703、以太网等, 可以为用户提供互联网业务接入、本地用户的数据交换、话音业务和视频点播业务。

4.59 多径效应 (multipath effect)

同一个发射源发射的无线电波经多条路径到达同一个接收者所产生的信号衰落现象。由于发射源与接收者之间地理环境的复杂性, 使接收者实际收到的信号来自不同的传播路径, 不仅有直射波的主径信号, 还有经反射、绕射和散射的多条不同路径的无线电波。由于不同路径信号的幅度、时间、相位或时延快速变化, 相互干涉引起合成波场的随机变化, 从而造成信号衰落。

多径效应产生的多径衰落是一种快衰落, 根据其产生条件大致分为空间选择性衰落、频率选择性衰落、时间选择性衰落。大多数情况下, 多径衰落的概率分布为瑞利分布, 当存在一个强的直射波路径时, 概率分布接近于莱斯分布。多径效应对于数字通信而言, 会引起接收信号脉冲宽度展宽, 造成码间串扰。

4.60 多普勒效应 (Doppler effect)

波源向接收者方向移动时, 接收者收到的波的频率变高, 反之变低的现象。1842 年, 奥地利物理学家和数学家多普勒 (Doppler) 发现和揭示了这一现象。

设波源发射的波的频率为 f , 接收者收到的波的频率为 f' , 则

$$f' = \left(\frac{v + v_0}{v - v_s} \right) f \quad (4-1)$$

式中: v ——波的传播速度, m/s;

v_0 ——接收者向发射源方向移动的速度, m/s;

v_s ——发射源向接收者方向移动的速度, m/s。

多普勒效应产生的附加频移称为多普勒频移。在通信系统中, 多普勒频移是有害的, 可导致信道时间选择性衰落、接收端载波失锁或接收数据缓冲器溢出。

4.61 多用户检测 (multiple user detection)

联合考虑同时占用某个信道的所有用户或某些用户, 消除或减弱其他用户对任一用户的影响, 并同时检测出所有这些用户或某些用户的信息的一种信

号检测方法, 简称 MUD。最佳多用户检测器就是最大似然序列估计检测器。多用户检测的主要优点是可以有效地减弱和消除多径干扰、多址干扰和远近效应; 简化功率控制; 减少正交扩频码互相关性不理想所带来的不利影响; 改善系统性能、提高系统容量、增加小区覆盖范围。

4.62 多载波调制 (multi-carrier modulation)

将用户信息调制到多个载波上的调制方式。用户信息经过串并转换, 将串行高速数据流转换成若干个低速并行的数据流, 并将每一路低速数据流进行独立的单载波调制, 然后合路发出。采用多载波调制, 可构成多载波多址接入系统, 同一小区中的用户可以分别使用不同的子信道, 在同一个时隙中通信。

4.63 多址干扰 (multiple access interference)

码分多址通信系统独有的一种干扰, 简称 MAI。在码分多址通信系统中, 许多用户共享同一频率, 采用不同扩频序列码区分。基站同时接收小区内所有用户发射的信号, 每个用户的信号都会干扰其他用户, 从而形成多址干扰。码分多址通信系统克服多址干扰的技术措施有多用户检测技术、功率控制技术等。

4.64 多址接入 (multiple accessing)

将无线电通信资源按某种方式分割成多个信道, 固定或动态地分配给多个用户使用的方式, 又称多址联接、多址连接、媒体接入控制。无线电信号只要在频率、时间、正交码和物理空间上有一个域不重叠在一起, 就能在接收端识别出来。据此, 信道的分割方式即多址接入方式, 分为频分多址 (FDMA)、时分多址 (TDMA)、码分多址 (CDMA) 和空分多址 (SDMA) 4 种, 其中前 3 种接入方式最为常见。

4.65 反射面天线 (reflector antenna)

馈源辐射的电磁波经过一次或多次反射后向空间定向辐射的天线。位于反射面焦点的馈源, 其发射的电磁波经过一次或多次反射后, 向指定方向汇聚, 变成平行于轴向的电磁波向空间辐射; 而反射面从空间接收的电磁波经过一次或多次反射后, 聚焦到馈源。根据反射面的数量, 反射面天线分为单反射面天线和双反射面天线。早期的反射面天线为单反射面, 通常为抛物面, 其结构简单, 但天线噪声温度高。另外, 由于馈源和低噪声放大器必须放在天线反射面的焦点上, 故馈线较长且不便安装。双反

射面天线具有两个反射面,分别称为主反射面和副反射面,主反射面为抛物面,副反射面为双曲面(卡塞格伦型)、椭球面(格里高利型)或旋转曲面(环焦型)。馈源发射的电磁波依次经副反射面、主反射面反射后,向空间辐射。馈源位于副反射面焦点上,因此可靠近主反射面安装,馈线损耗低,适用于具有复杂馈源网络的天线。与单反射面天线相比,双反射面天线的效率高,噪声温度低。

4.66 费涅尔区 (Fresnel zone)

以无线收发点为焦点的一系列椭球面所包围的空间,又称费涅尔带。费涅尔区的椭球面上的各点到收发点距离之和与收发最短路径之差是半波长的整数倍,倍数 n 即是费涅尔区的序号(对应第 n 费涅尔椭球面)。如图 4.2 所示,在收发点连线某一点 P 上,垂直于收发点连线做切面,可得第 n 费涅尔区的切面圆。该圆的半径称为第 n 费涅尔区半径 F_n (单位: m),其计算式如下:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d}} \quad (4.2)$$

式中: n ——费涅尔区的序号,大于 1 的整数;

λ ——无线电波长, m;

d_1 ——路径上 P 点距发射点的距离, m;

d_2 ——路径上 P 点距接收点的距离, m;

d ——收发两点的直线距离,为 d_1 和 d_2 之和, m。

工程上,将 $0.577F_1$ 称为最小费涅尔区半径,记为 F_0 ,并规定在最小费涅尔区范围内不能有遮挡物。

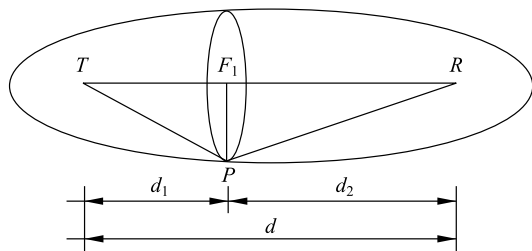


图 4.2 菲涅耳区

4.67 非视距传播 (none line of sight propagation)

无线电波的传播路径不是直线的传播方式,简称 NLOS。起伏的地形、建筑物和植被等使无线电波产生折射、反射和绕射,到达接收端的信号是这些非直接波的叠加。非视距传播的结果是造成接收信

号严重的瑞利衰落,对传输速率和质量影响很大。克服非视距传播的关键在于抗多径和利用多径,以及链路的自适应调整。在城区、山地、建筑物内外等不能通视及有遮挡的环境中,目前主要采用 OFDM/OFDMA、子信道化、智能天线、分集等技术克服非视距传播带来的不利影响。

4.68 分集接收 (diversity reception)

对同一来源的信号分散接收再合并,以改善信道衰落和损耗的技术。多径效应使接收端收到的信号是各个多径分量的合成信号。如果从若干独立的途径获取多个这样的合成信号,并尽量使这些合成信号之间没有相关性,则将它们适当合并起来得到的总接收信号,将有可能极大地改善衰落的影响。由于分散接收的信号没有相关性,一个途径来的信号衰落时,其他途径来的信号就不一定衰落,因此将这些信号进行合并,就能改善衰落的影响。

常用的分集的方式有空间分集、频率分集、时间分集和极化分集。空间分集指在接收端相距足够的间距架设多个天线接收。频率分集指发送端用不同载频传送同一信息,接收端分别接收。时间分集指同一信息在不同的时间区间内重复发送多遍。极化分集指同一信息用水平极化和垂直极化方式发送,接收端分别接收。

将分散收到的多路合成信号进行合并的方式有选择式合并、等增益合并、最大比合并等。选择式合并就是选择瞬时信噪比最高的信号。等增益合并就是把各支路信号进行同相后迭加,各路的加权权重相同。最大比合并就是对多路信号进行同相加权合并,权重由各支路信号所对应的信噪比决定。最大合并的输出信噪比是各路信噪比之和。从效果来看,最大比合并的效果最好。

4.69 蜂窝系统 (cellular system)

采用蜂窝结构组网的移动通信系统,又称蜂窝网络。如图 4.3 所示,服务区被划分成多个彼此相连的正六边形小区,类似蜂窝。采用蜂窝结构源于蜂窝的仿生学启示,也具有数学上的理论支持依据:当用相同半径的圆覆盖一个区域时,每个圆周围只与 6 个圆等距相交,重复覆盖的面积最小,因此所用的圆的数量最少。公用陆地移动通信系统几乎无一例外地采用了蜂窝结构。一个小区分配一组或若干组频率,超过视线传播距离的另一小区可以再重复使用该组频率,频谱利用率高,因此蜂窝结构可以构

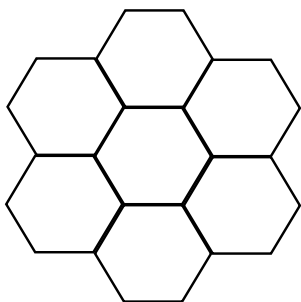


图 4.3 蜂窝网络服务区

成大容量移动通信系统。在业务量高的市中心采用较小的小区,在业务量低的郊区采用较大的小区。随着业务增加还可以进行小区分裂。

建网初期,蜂窝小区的覆盖半径较大,一般为1~2.5 km,有的甚至达到20 km以上,称为宏蜂窝小区。宏蜂窝小区的基站的天线尽可能架得高一些,基站之间的间距也很大。因为小区的覆盖面积较大,所以在覆盖区域内往往存在盲区、忙区两种特殊的微小区域。为了解决盲区和忙区的问题,就出现了微蜂窝和微微蜂窝的技术。

4.70 峰值平均功率比 (peak-to-average power ratio)

信号的峰值功率与平均功率之比,简称峰均比(PAPR)。正交频分复用(OFDM)信号由多个统计独立的经过调制的子载波信号相加而成,合成信号可能产生比较大的峰值功率,因此与单载波系统相比,其峰均比较大。OFDM系统中存在峰均比较大的现象,要求系统内功率放大器、A/D转换器、D/A转换器等具有较大线性区域,线性区域小会给系统带来非线性失真和谐波分量。高峰均比会降低终端的功率利用率,降低上行链路覆盖范围。为了提高功率放大器的放大效率,需要对OFDM系统较高的峰均比进行有效抑制。

降低峰均比又称削峰处理,根据所处系统位置可分为中频消峰和基带削峰。中频消峰方法主要为限幅类。限幅类是在信号放大前直接对大于门限的信号进行限幅处理,实现简单,但会导致误码性能下降。基带削峰方法主要为编码类和概率类。编码类将原信息映射到峰均比比较好的传输码集上;概率类通过对输入信号进行线性变换,使信号峰值出现的概率比较低,但此种削峰方法通过引入冗余信息降低峰均比,计算复杂。

4.71 俘获效应 (capture effect)

调频接收机特有的现象。表现为在同一频率上同时出现两个强度不同的信号时,调频接收机接收较强的信号并解调,并同时抑制较弱的信号。调频系统的非线性解调作用使调频系统在输入信号信噪比足够大时,相比调幅系统能得到更高的输出信噪比,而当输入信号信噪比低于一定值(阈值)时,输出信噪比会急剧下降。这样,当输入的两个信号强度差大时,就会产生俘获效应,而当两个信号强度相当时,输出可能会在两个信号之间跳动。为避免跳动,两个信号强度差应足够大,此时所需的最小差值称为俘获比。

4.72 干扰容限 (interference margin)

在保证扩频通信系统正常工作的条件下,接收机输入端能承受的干扰信号比有用信号高出的分贝数。干扰容限 M_j (单位: dB) 的计算式为

$$M_j = G_p - [L_s + (S/N)_{out}] \quad (4-3)$$

式中: G_p ——扩频增益, dB;

L_s ——系统损耗, dB;

$(S/N)_{out}$ ——接收机输出信噪比, dB。

干扰容限直接反映了扩频通信系统接收机允许的极限干扰强度,比扩频处理增益更准确地反映了系统的抗干扰能力。

4.73 高速分组接入 (high-speed packet access)

宽带码分多址(WCDMA)系统在3G技术基础上引进的无线接入增强演进技术,简称HSPA。WCDMA在R5规范中引入了高速下行分组接入(HSDPA),在R6规范中引入了高速上行分组接入(HSUPA);二者合称为HSPA。HSDPA在下行链路上能够实现高达14.4 Mb/s的接入。通过新的自适应调制、编码以及将部分无线接口控制功能从无线网络控制器转移到基站中,实现了更高效的调度以及更快捷的重传。HSUPA在上行链路中能够实现高达5.76 Mb/s的接入。基站中更高效的上行链路调度以及更快捷的重传控制,提高了上行链路的性能。3GPP第7版的演进式HSPA(HSPA+),在使用MIMO技术以及更高速的调制技术下,传输速率可达到下行42 Mb/s,上行22 Mb/s。

4.74 隔离器 (isolator)

正向通过信号反向阻断信号的双端口微波器

件。隔离器在电路中主要起级间去耦作用,例如,加在功放与天线电路之间,阻止发射信号因阻抗不匹配等原因从天线反射回功放。

4.75 功分器 (power splitter)

将一路信号均分为多路信号的微波器件,全称为功率分配器,又称分路器。常见的有二功分、三功分、四功分功分器。接头类型分 N 型 (50 Ω)、SMA 型 (50 Ω) 和 F 型 (75 Ω)。功分器反向可作合路器使用,能够起到将多路信号合为一路的作用。

4.76 功率回退 (power back-off)

减小发射机高功率放大器的输出功率,使其远离 1 dB 压缩点的技术措施。现代宽带无线通信系统通常共用宽带功率放大器放大多个载波,由于功率放大器的非线性特点,多个载波之间会产生互调干扰信号并伴随有用信号发射,造成发射互调。为减小发射互调,需要改善功放的线性度。功率回退是改善功放线性度的方法之一,它把功率放大器的输出功率从 1 dB 压缩点向后回退,令其工作在远小于 1 dB 压缩点的电平上,使功率放大器远离饱和区,工作在线性区,从而改善功率放大器发射互调。功率回退是以牺牲功率放大器输出功率和效率为代价,来减小发射互调的。

4.77 故障弱化 (fail soft)

在集群移动通信系统中,控制器发生故障后系统保持常规通信能力的状态。基站子系统与交换子系统之间的传输链路中断,或基站收发信机与基站控制器之间的传输链路中断等,将导致控制器失效。控制器失效后,用户自动地回到预先设定的信道上。系统虽然因此失去集群功能,但可在此信道上进行常规通信,避免整个系统瘫痪。

4.78 光纤无线电 (radio on fiber)

将射频信号调制到光波载波上实现基于光网络分布的无线电通信技术,又称射频光纤传输,简称 ROF。光纤无线电是应高速大容量无线电通信需求而出现的将光纤通信和无线电通信相结合的无线电接入技术。它降低了射频传输损耗,在卫星通信、移动通信中被广泛采用。在蜂窝移动通信中,为改善室内或特殊场景覆盖的光纤分布式天线系统以及光纤直放站,即采用了光纤无线电技术。

4.79 国际电信联盟区域划分 (ITU regions and areas)

为划分无线电频率,国际电信联盟《无线电规则》对地球进行的区域划分。该规则在地球上画出 A、B、C 这 3 条线,将地球分为第一、第二和第三等三个区,区再分为子区,由位于同一个区内的两个或多个国家组成。其中,中国位于第三区。

A 线由北极沿格林尼治以东 40° 子午线至北纬 40° 线,然后沿大圆弧至东 60° 子午线与北回归线的交叉点,再沿东 60° 子午线而至南极。B 线由北极沿格林尼治以西 10° 子午线至该子午线与北纬 72° 线的交叉点,然后沿大圆弧至西 50° 子午线与北纬 40° 线的交叉点,然后沿大圆弧至西 20° 子午线与南纬 10° 线的交叉点,再沿西 20° 子午线而至南极。C 线由北极沿大圆弧至北纬 65°30' 线与白令海峡国际分界线的交叉点,然后沿大圆弧至格林尼治以东 165° 子午线与北纬 50° 线的交叉点,再沿大圆弧至西 170° 子午线与北纬 10° 线的交叉点,再沿北纬 10° 线至与西 120° 子午线的交叉点,然后沿西 120° 子午线而至南极。

第一区为东限于 A 线和西限于 B 线之间的地区,第二区为东限于 B 线和西限于 C 线之间的地区,第三区为东限于 C 线和西限于 A 线之间的地区。考虑到国家因素的影响,实际划分并非严格按照上述方法进行,第一区还包括了亚美尼亚、阿塞拜疆、格鲁吉亚、哈萨克斯坦、蒙古国、乌兹别克斯坦、吉尔吉斯斯坦、俄罗斯、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、土耳其和乌克兰的整个领土以及俄罗斯以北、A 线和 B 线两限之外的地区;第三区还包括了位于 C 线和 A 线两限之外的伊朗领土。

4.80 国际无线电咨询委员会 (Consultative Committee of International Radio)

国际电信联盟 (ITU) 的 4 个常设机构之一,简称 CCIR。其任务是对无线电的技术和运用问题进行研究并提出建议。其前身是 1927 年设立的国际无线电通信技术咨询委员会,1932 年改称国际无线电咨询委员会。该委员会下设 13 个研究组,出版物有《国际无线电咨询委员会的建议和报告》,每 4 年修订一次。

1993 年 3 月,国际无线电咨询委员会与国际频率登记委员会合并,更名为国际电信联盟无线电通信部门,简称 ITU-R。ITU-R 下辖 6 个研究组,其中

第一研究组 (SG1) 负责频谱管理, 第三研究组 (SG3) 负责无线电波传播, 第四研究组 (SG4) 负责卫星业务, 第五研究组 (SG5) 负责地面业务, 第六研究组 (SG6) 负责广播业务, 第七研究组负责科学业务。

4.81 毫米波通信 (millimeter-wave communication)

工作频率在 30~300 GHz 的微波通信。毫米波波长为 1~10 mm, 频段又称极高频 (EHF)。毫米波以直射波的方式在空间进行传播, 波束很窄, 具有良好的方向性, 可利用的频带宽, 信息容量大。当毫米波在空间传播时, 由于受大气的影响, 有的频率衰减减小, 有的则很大: 因为水汽和氧分子的吸收作用, 在 60 GHz、120 GHz、180 GHz 附近传输时衰减出现极大值, 称为衰减峰; 在 35 GHz、45 GHz、94 GHz、140 GHz、220 GHz 附近传输衰减较小, 称为大气窗口。目前绝大多数的应用研究集中在上述大气窗口频率和衰减峰频率上。大气窗口频率比较适用于点对点通信, 而利用衰减峰频率, 则可实现保密通信: 一方面, 由于毫米波受大气吸收和降雨衰落影响严重, 所以单跳通信距离较短; 另一方面, 由于频段高, 干扰源少, 所以传播稳定可靠。毫米波通信设备轻小可靠, 便于移动, 装撤方便; 毫米波天线波束窄, 定向性好, 抗地/海杂波和多径效应, 抗电磁干扰, 因此不易被截获和干扰。

4.82 红外线通信 (infrared communication)

利用红外线传送信息的无线通信。用作载频的红外线, 其波长范围为 0.70 μm 至 1 mm, 在大气中传输时一般会受到大气分子的强烈吸收, 因此只有一些特定的波长区段红外辐射才能利用其进行红外线通信。这些特定的区段称为红外辐射大气窗口, 集中在 25 μm 以下的近红外和中红外区域。红外数据协会 (IrDA) 发布了 IrDA1.1 标准, 统一了红外线通信标准。因此利用红外线进行点对点通信的技术又称为 IrDA 技术。IrDA 最初传输速率为 4 Mb/s, 目前其传输速率已经达到了 16 Mb/s。由于波长短, 对障碍物的衍射能差, 因此红外线通信距离通常不超过 10 m, 通信角度不能超过 30°。

红外线通信对其他传输系统不会产生干扰, 安全性强; 信号发射和接收通过光仪器, 无需天线系统, 设备体积较小, 成本低。因此适合于室内通信、飞机内广播、航天飞机内宇航员间通信、沿海岛屿间

的辅助通信、近距离遥控等场合。

4.83 互调 (intermodulation)

两个以上不同频率的信号因互相调制而产生新的组合频率分量的现象。互调是放大器等电路的非线性造成的。由于非线性的作用, 输入单一频率的信号, 会产生多次谐波分量; 输入频率不同的多个信号, 则其中一个信号的基波和谐波会与其他信号的基波和谐波相互混频, 产生组合频率分量, 这些组合频率分量称为互调分量。如输入信号的频率分别为 f_1 和 f_2 , 则互调分量的频率为 $mf_1 + nf_2$ ($m, n = \pm 1, \pm 2, \dots$)。| m |+| n | 称为互调分量的阶。若互调分量落在信号频带内, 则会对信号产生干扰。对信号产生干扰的互调分量又称为互调干扰。在通信系统中, 两个频率分别为 f_1 和 f_2 的输入信号, 产生的频率为 $2f_1 - f_2$ 和 $2f_2 - f_1$ 的三阶互调信号一般位于 f_1 和 f_2 附近, 产生的干扰最为严重。

互调包括发射机互调、接收机互调及外部效应引起的互调。由于多部发射机载频信号落入另一部发射机, 产生了不需要的组合频率产物, 从而对频率与组合频率相同的接收机造成干扰, 这种互调称为发射机互调。处于互调关系的两个或多个强无线电信号被接收机接收, 由于接收机放大器和混频器的非线性, 或由于接收机天线接头、触点等锈蚀后产生的类似于半导体的单向导电性, 从而产生相互混频现象, 这种互调称为接收机互调。由发信机馈线、高频滤波器等无源电路接触不良或由于异种金属接触部分非线性等因素, 在强射频场中产生检波作用而产生互调信号的辐射, 这种互调称为外部效应引起的互调。

4.84 呼吸效应 (breath effects)

在码分多址 (CDMA) 移动通信系统中, 小区覆盖半径随业务量的增减而改变的动态平衡现象, 又称小区呼吸。采用 CDMA 技术的移动通信系统是自干扰系统, 小区的容量和覆盖范围与相同干扰有密切关系。当小区用户数增多、即容量增大时, 基站接收到的干扰会随之增大, 并会呈指数级增长, 从而难以保证小区边缘用户的通信质量, 因此这部分边缘用户的通信就被切换到相邻小区, 即小区覆盖半径缩小。当小区用户减少时, 基站受干扰功率随之减少, 因此可以接入更远距离的用户, 即小区覆盖半径扩大。CDMA 系统实现呼吸效应的本质在于控制各个小区基站的覆盖范围和系统能够实现软切换,

以调整小区用户数量,实现小区之间的容量均衡,降低小区内用户干扰。

4.85 环行器(circulator)

只能单方向环形传输信号的多端口微波器件。端口数为 n 的环形器,其信号传输的唯一途径是:端口 1 入端口 2 出,端口 2 入端口 3 出,……,端口 n 入端口 1 出。在收发天线合用的情况下,三端口环形器常用做双工器。端口 1 接天线,端口 2 接收信机,端口 3 接发信机。这样,从天线来的信号只能送到接收机,从发信机来的信号只能送到天线。

4.86 回波损耗(return loss)

设备或器件端口由于反射造成的电磁波功率损耗,通常用入射功率电平与反射功率电平之比来表示,单位为 dB。回波损耗是由于端口负载阻抗与传输线阻抗不匹配造成的,回波损耗越大,电压驻波比越小,二者的关系如下:

$$R_L = 20 \lg \left| \frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right| \quad (4-4)$$

式中: R_L ——回波损耗, dB;

VSWR——电压驻波比。

4.87 混合自动重传请求(hybrid automatic repeat request)

自动请求重发(ARQ)与前向纠错(FEC)相结合的一种链路自适应技术,简称 HARQ。其可以自适应地基于信道条件提供精确地编码速率调节,并补偿由于采用链路适配所带来的误码以提高系统性能,且能够补偿无线移动信道时变和多径衰落对信号传输的影响,因此成为未来 3G 长期演进系统中的关键技术之一。3GPP 标准规定了 3 种混合自动重传请求机制: HARQ-I、HARQ-II 和 HARQ-III。

HARQ-I 即传统 HARQ 方案。其在 ARQ 的基础上引入了纠错编码,即对发送数据包增加循环冗余校验(CRC)比特并进行 FEC 编码,接收机一旦发现接收数据不能正确解码,即行丢弃,并在上行信道中要求重传。HARQ-I 的性能主要依赖 FEC 的纠错能力。

HARQ-II 又称完全递增冗余方案。信息比特经过编码后,将编码后的校验比特按照一定的周期打孔,根据码速率兼容原则依次发送给接收端,接收错误的数据包不会被丢弃,而重传资料通常与第一次

传输不一样,前后两种数据会进行并整,形成纠错能力更强的前向纠错码。

HARQ-III 是对 HARQ-II 的改进方案。对于每次发送的数据包采用互补删除方式,各个数据包既可以单独译码,也可以合成一个具有更大冗余信息的编码包进行合并译码。每次重传都可自译码,无须再合并以前的传输资料。

4.88 极化(polarization)

电磁波电场矢量的变化规律。沿着电磁波的传播方向,如果电场矢量端点随时间变化的轨迹是一条直线,则为线极化。电场矢量方向与地平面平行的线极化称为水平极化,与地平面垂直的线极化称为垂直极化。如果电场矢量端点随时间变化的轨迹是一个椭圆,则为椭圆极化。圆极化是椭圆极化的一个特例。沿着电磁波的传播方向,电场矢量旋转方向为顺时针时称为右旋圆极化,为逆时针时称为左旋圆极化。

天线只能接收与其极化一致的电磁波,同时抑制与其极化正交的电磁波。利用这一原理,可实现极化复用,即在同一频率上使用极化正交的载波传输两路信号。现代无线通信广泛采用极化复用技术,以提高频率资源利用率和通信容量。

4.89 集群调度台(dispatching console)

对移动台进行指挥调度和管理的设备,分为无线调度台和有线调度台。无线调度台由收发信机、控制单元、天馈线或双工器电源和操作台组成。有线调度台除操作台外还包括与控制中心的接口设备。调度台提供单呼、组呼、全呼、紧急呼叫、强拆、强插、话务转接等功能,支持调度员对多个通话组进行指挥调度。

4.90 集群方式(trunking mode)

集群移动通信系统分配信道的方式,分为消息集群、传输集群和准传输集群。

消息集群指,在通话期间,控制系统始终给用户分配一个固定的无线信道。从用户最后一次讲完话并松开 PTT 开关开始,系统将等待 6~10 s 的信道保留时间后脱网。占用的信道释放,可分配给别的用户使用。若在保留时间内,用户再次按 PTT 开关,则继续占用该信道。传输集群指,用户按下 PTT 开关,就占用一个空闲信道工作。当用户发完第一个消息松开 PTT 开关时,就有一个传输完毕的信令送

到控制中心,以指示该信道可再分配给其他用户使用。准传输集群为传输集群的改进型。仿照消息集群,增加了松开 PTT 开关后的信道保留时间,但比消息集群的保留时间短,为 0.5~6 s。

消息集群采用按需分配方式,信道利用率不高。传输集群的信道采用动态分配方式,频谱利用率高,但可能导致通话不连续和不完整。准传输集群兼顾了消息集群和传输集群的优点,信道利用率介于二者之间。

4.91 集群移动通信系统(trunking mobile communication system)

由多个用户共用一组信道,并动态使用这组信道的移动通信系统,又称中继系统,意为将电话中继线的工作方式应用到移动通信系统中,把有限的信道动态地分配给整个系统的所有用户,最大程度地使用整个系统的信道资源。

集群移动通信系统分为单基站系统和多基站系统两类,采用大区制组网结构。系统一般由基站、控制中心、调度台和移动台 4 部分组成。基站负责转发调度台和移动台的信息,由若干转发器、天馈线系统和电源等设备组成。天馈线系统包括接收天线、发射天线、馈线和天线共用器。天线共用器包括发信合路器和接收多路分路器;控制中心包括系统控制器和系统管理终端等设备,控制和管理集群系统的运行、交换和接续,并实现与有线网的连接;调度台对移动台进行指挥调度和管理,分有线和无线调度台两种;移动台为可移动的用户台,包括车载台、便携台和手持台。移动台可被分组,每组均有自己的调度台。

集群移动通信系统主要以半双工方式通信。用户按下即按即说开关(PTT),占用一个上行信道,将信息发往基站。基站占用一个下行信道,将信息转发给另一个或多个用户。用户释放 PTT 开关,立即或延迟数秒后所占用的上行信道和下行信道被释放。如此,在一次通信过程中,可进行多次信道的占用和释放。组内用户共享下行信道,即基站在一个下行信道转发的用户信息,可被组内其他用户同时接收。

集群通信系统具有以下优点:信道动态共享,利用率高;组内用户共享下行信道,可以方便地进行一对多的通信;通过话音加密可保证通话的私密性和安全性;能为高优先级用户或业务优先分配信道,保证重要用户的通信;通过动态重组实现灵活的多级别分组调度指挥功能。在试验通信系统中,集群移动

通信系统常被用来保障机动环境下的指挥调度通信。

4.92 基站子系统(base station sub-system)

移动通信系统中由基站控制器和若干基站组成的系统,在 GSM 系统中称为 BSS,UMTS 系统中称为 Node B,LTE 系统中称为 e-Node B。BSS 由基站控制器和基站收发信机两种基本设备组成。一个基站控制器可控制多个基站收发信机。基站控制器主要负责管理基站收发信机与移动交换中心之间的信息流。基站收发信机则主要负责与无线覆盖区域内的移动台进行通信,并对空中接口进行管理。

4.93 假负载(dummy load)

替代终端设备,为其他设备创造仿真工作环境的装置。在调试或检测设备性能时,假负载替代终端设备接在设备的输出端口,使该设备如同接了终端设备一样。假负载分为电阻负载、电感负载、容性负载等。对假负载的基本要求是阻抗在频段内匹配并能承受相应的设备输出功率。

4.94 交叉极化干扰抵消(cross polarization interference cancellation)

抵消交叉极化干扰的技术,简称 XPIC。利用电磁波正交极化特性,可在一个波道内同频传输两路极化正交的信号,使单波道传输容量成倍增长。理想情况下,两路同频信号是正交信号,二者之间不会发生干扰,接收机很容易恢复出这两路信号。但在实际工程条件下,无论两个信号的正交性如何,总是要受天线交叉极化鉴别率和信道传输劣化的影响,会无法避免地存在两个信号之间的干扰现象。XPIC 技术的基本原理是从水平极化链路中引入抵消信号,抵消垂直极化信号中的干扰信号;从垂直极化链路中引入抵消信号,抵消水平极化信号中的干扰信号。根据交叉极化干扰抵消的实现阶段不同,干扰抵消分为射频抵消、中频抵消、基带抵消等方式。

4.95 交调(cross-modulation)

在非线性设备或传输媒介中,各信号间相互作用产生的无用信号对有用信号的载波的调制。交调的表现是,接收机输出的信号中除有用信号外,还包括了来自其他信道的信号,即产生“串音”现象。其原因是,接收机混频器输入端除了要接收的已调载波信号 A 外,同时还有一个其他信道的已调载波信号 B,在混频器非线性效应作用下,B 信号的调制信号调

制到了 A 信号上。这样,解调输出信号中包含了 B 信号的调制信号,形成了交调干扰。如果 A 信号不存在,则 B 信号的调制信号随之消失。从信号失真的角度看,交调失真是一种幅度失真。抑制交调干扰的主要措施有提高前端电路的选择性,滤除带外信号,以及选择合适的器件和工作状态,减少组合频率分量。

4.96 接收天线共用器 (receiving antenna multicoupler)

将多部接收机连接到一副接收天线的设备。接收天线共用器一端连接天线,另一端有多个接口连接多部接收机。它将天线接收到的信号,利用带通滤波器抑制短波频带外的干扰信号后,送到低噪声放大器进行功率补偿,将输出信号分配给多个接收机。共用器可以是无源网络,也可以是具有低噪声、低增益、宽频的放大器。

4.97 紧急呼叫 (emergency call)

用户按紧急呼叫键发起的呼叫。在集群移动通信中,遇紧急情况,用户将被保证获得一条信道用于紧急呼叫,同时在监视终端显示紧急呼叫者身份码,并发出声光提示。紧急呼叫有强拆式和队首式两种:强拆式是指紧急呼叫发出而又无空闲信道时,中央控制器将提供话务信道,分配给紧急呼叫用户。紧急呼叫用户争用此信道,直至释放发话键为止;队首式是指紧急呼叫发出而无空闲信道时,这个紧急呼叫用户将被排在队首,一旦有空闲信道就优先分配给紧急呼叫用户。

4.98 静区 (dead belt)

短波通信中天波与地波均不能到达的地域。在短波通信中,时常会遇到在距离发信机较近或较远的区域都能收到信号,而在中间某一区域却收不到信号的现象。其原因是,地波受地面障碍物的影响,衰减很大,到达静区时降到接收灵敏度以下,而天波经反射又超出了静区的范围。采用降低工作频率,适当增加发射功率和使用高仰角天线等措施,可消除静区现象。

4.99 镜像干扰 (image interference)

超外差接收机特有的干扰之一。设本振频率为 f_1 ,输入信号的频率为 f_c ,经混频器输出的中频信号频率为 $f_m = f_1 - f_c$ 。如果在混频器输入端有一个频率为 $f_1 + f_m$ 的干扰信号,经混频后,频率变为 $f_1 + f_m - f_1 =$

f_m ,与中频信号频率相同,从而会对中频信号造成干扰。因干扰信号的频率 $(f_1 + f_m)$ 与输入信号的频率 $(f_1 - f_m)$ 对称分布于本振频率两侧,故称干扰信号为输入信号的镜像干扰。如果像频位置以及附近处无信号,就只增加噪声,降低信噪比;如果像频处正好有信号,该信号就会和接收信号差拍形成啸叫,较强的像频会抑制输入信号。

4.100 空分多址 (space division multiple accessing)

采用空间分割的方式划分信道,接入并识别用户的多址技术,简称 SDMA。空间分割指每个信道的波束在空间上互不重叠。空分多址的关键是形成足够窄的波束。空分多址通常与其他多址方式混合使用。

4.101 空间无线电通信 (space radio communication)

任何涉及使用空间站、卫星或其他空间飞行器的无线电通信,简称空间通信。空间通信分为近空通信和深空通信。近空通信是指地球上的通信实体与离地球距离小于 2×10^6 km 的空间中的飞行器之间的通信。这些飞行器包括各种人造卫星、载人飞船、航天飞机等。深空通信是指地球上的通信实体与处于深空(离地球的距离等于或大于 2×10^6 km 的空间)的飞行器之间的通信。深空通信最突出的特点就是信号传输的距离极其遥远。空间无线电通信常用业务频段见表 4.9。

表 4.9 空间无线电通信常用字母代码和
业务频段对应表

字母代码	标称频段/GHz	举例/GHz
L	1.5	1.525~1.710
S	2.5	2.5~2.690
C	4/6	3.4~4.2
		4.5~4.8
		5.85~7.075
X	—	—
Ku	11/14	10.7~13.25
	12/14	14.0~14.5
K	20	17.7~20.2
Ka	30	27.5~30.0
V	40	37.5~42.5
		47.2~50.2

注:对于空间无线电通信,K 和 Ka 频段一般只用字母代码 Ka 表示。

4.102 空中接口 (air interface)

终端与无线接入网间的接口,又称无线接口。因无线接入网基站与终端之间通过空中无线链路连接,故称空中接口。空中接口在 GSM 和 CDMA2000 网络中称为 Um 接口,在 TD-SCDMA 和 WCDMA 网络中称为 Uu 接口,在 LTE 中称为 Uu 接口。在 LTE-A 系统中,中继基站 (RN) 与施主基站 (DeNB) 通过无线接口通信,该空中接口称为 Un 接口。

空中接口主要用来建立、重配置和释放各种无线承载业务,包括物理层、数据链路层和网络层。物理层涉及信道编码、错误检测、复用、速率匹配、调制、同步、无线特性的测量、功率控制、射频处理等。数据链路层涉及媒质接入控制 (MAC)、无线链路控制 (RLC)、分组数据控制 (PDCP) 和广播/多播控制 (BMC)。网络层涉及无线资源控制、移动性管理、呼叫控制、会话管理、补充业务等。

4.103 空中平台通信 (air platform communication)

利用近地空间航空器作为中继转发的无线通信系统。为区别于 ITU 定义的处于平流层的高空平台通信 (HAPS),把低于平流层的空中平台通信称为近地空间平台通信。空中平台通信本质是利用安装了无线电通信设备的升空平台来中继、转发、交换无线电信号,用来实现地面站之间大区域、超视距通信,通常工作在超短波、微波频段。常用的空中平台有系留气球、飞机、无人机、飞艇等。空中平台载有无线转发器、基站等设备。在试验通信中,利用空中平台通信,完成机动和移动条件下的常规通信任务,或扩大通信覆盖范围。空中平台通信方便组网,机动灵活,除常规通信外,也非常适合用作军事通信以及区域应急通信手段。

4.104 扩频 (spread spectrum)

扩展频谱的简称。在通信系统中,扩频技术主要用作扩频通信,保证信息传输的正确性和可靠性。在发送端将待传信息的频谱用某个特定的独立于所传数据的扩频码通过调制的方法扩展为宽频带信号,使该信号所占频带远大于所传信息必需的带宽。在接收端使用相同的扩频码进行相关解调来恢复出所传信息。扩频的基本方法分为直接序列扩频、跳频、跳时和线性调频这 4 种,如图 4.4 所示。将上述

4 种基本扩频方法结合起来使用的扩频,称为混合扩频。扩频的主要优点是抗干扰、抗多径衰落能力强,截获概率低。

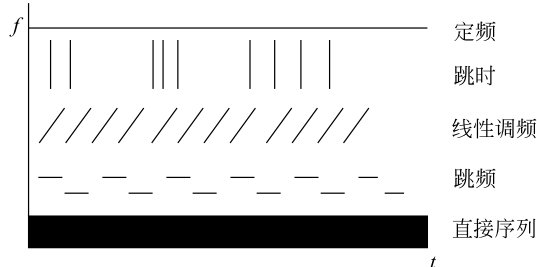


图 4.4 4 种基本扩频方法的时间频率关系

4.105 扩频处理增益 (spread spectrum processing gain)

扩频通信系统中,解扩后的信噪比与解扩前的信噪比之差,单位 dB。根据香农定理,在保持信息容量不变时,可以把扩频处理增益转换为扩频后的信号速率与信息速率之比。因此扩频处理增益 G_p (单位: dB) 为

$$G_p = 10 \log(R_c/R_b) \quad (4-5)$$

式中: R_c ——扩频后的信号速率, b/s;

R_b ——扩频前的信息速率, b/s。

扩频处理增益衡量了扩频通信系统信噪比改善的程度,是扩频通信系统一个重要的性能指标,决定了系统抗干扰能力的强弱。

4.106 扩频数字微波通信系统 (spread spectrum digital microwave communication system)

采用扩展频谱技术将传送信息用伪随机编码调制再进行传输的数字微波通信系统。系统利用微波地面视距传播实现点对点或点对多点的固定无线通信。根据国家无委会规定,系统(设备)通常采用 2.4G (2.4 ~ 2.4835 GHz) 和 5.8G (5.725 ~ 5.850 GHz) 频段,大多采用直接序列扩频技术,支持点对点、点对多点组网,支持标准的 $N \times 64$ kb/s、 $(1 \sim 16) \times E1$ 链路以及以太网连接,能够满足中小容量无线通信需求。相比常规数字微波通信系统,106 扩频数字微波通信系统具有抗干扰、抗多径、保密性、架设方便和可移动性好、频点问题易处理等优点。

4.107 蓝牙 (Bluetooth)

一种支持设备低功耗、短距离通信的全球通用的无线通信技术。蓝牙工作于 2.4 GHz 的 ISM 频段,共 79 个频道,相邻频道间隔 1 MHz,采用速率为 1 Mb/s 的 GFSK 调制和 1600 跳每秒的跳频技术,发射功率为 1 mW、2.5 mW 和 100 mW 可选,有效通信距离根据发送功率的不同,在 10 m 以内或 100 m 以内变化。蓝牙支持点对点、点对多点通信,多个蓝牙设备可互联成一个近距离的无线网络。

蓝牙技术联盟是一家贸易协会,由电信、计算机、汽车制造、工业自动化和网络行业的领先厂商组成,致力于推动蓝牙无线技术的发展,为短距离连接移动设备制定低成本的无线规范。目前蓝牙技术规范已由最初的 V1.1 版本发展到 V4.0 版本。

研究无线个人区域网络和短距离无线网络标准的 IEEE 802.15 工作组,将蓝牙规范发展成为 IEEE 802.15.1 标准,完全兼容蓝牙 V1.1。IEEE 802.15.1 为物理层和无线媒体接入控制规范,在无线个人区域网络中,将其和蓝牙视为同一种技术。

4.108 链路预算 (link budget)

对想定的无线电路方案,通过计算验证输出信噪比是否满足设计要求的过称,又称链路计算。在无线电通信链路设计中,首先根据设计要求和客观约束条件想定一种链路方案,然后进行链路预算,以验证方案是否满足设计要求。通过“预算—修改方案—再预算”的反复过程,直至设计出满足要求的方案为止。

链路预算是无线通信系统设计的重要方法。一个典型的无线通信系统进行链路计算所要考虑的环节有:信道编码、调制、上变频、功率放大、天线发射、空间传播损耗和干扰、天线接收、低噪声放大、下变频、解调、信道译码、设备连接馈线损耗以及工作裕量。如果存在中继转发,还应考虑中继转发器环节。每一环节都与业务性能要求和设备的技术性能密切相关。上述各环节应根据实际情况合理分配衰减、增益和工作裕量值。空间传播损耗和干扰与电磁环境、气象条件、地形地貌等因素有关,这些因素集中反映在电波传播模型中,因此链路预算还必须配有比较准确的无线通信路径上的电波传播模型。

4.109 链路自适应 (link adaptation)

动态跟踪无线信道变化,根据信道情况实时调整链路参数的技术。变参的无线信道只有自适应调

整链路参数,才能最有效地提高传输质量。链路自适应的基本原理是实时感知信道变化,根据当前信道情况确定当前信道容量,进而确定传输的信息符号速率、发送功率、编码速率和编码方式、调制星座图和调制方式等参数。链路自适应技术包括自适应调制编码 (AMC)、动态功率控制、混合自动请求重传 (HARQ) 等。

4.110 邻道干扰 (adjacent channel interference)

相邻波道之间的干扰。多信道无线通信系统中,波道间隔小,由于发射机的调制边带扩展和边带噪声辐射,干扰台信号功率落入接收机临近接收频带内,造成邻道干扰。邻道干扰取决于接收机中频滤波器的选择性和发信机在相邻波道通带内的边带杂散辐射特性。消除邻道干扰通常采取以下措施:减少发射机带外辐射;采用高品质滤波器,提高接收机邻道选择性;在进行系统工作波道分配时,需要考虑邻道干扰的影响,避免相邻波道在同一或相邻小区使用。

4.111 零中频接收机 (zero-IF receiver)

取消中频,射频信号直接下变频为基带信号的接收机,又称直接变换线性接收机。零中频接收机的本机振荡频率等于载频,去除了镜像干扰;射频电路只有低噪声放大器和混频器,容易满足线性动态要求;信道选择利用低通滤波器完成。零中频接收机应用于终端设备,有利于终端设备的小型化、集成化、模块化。

4.112 流星余迹通信 (meteor burst communication)

利用流星穿过大气层时形成的短暂电离层余迹对电磁波的反射或散射作用,进行超视距通信的方式,又称流星突发通信。每天有 80 亿~100 亿颗大小不等的流星以 10~75 km/s 的速度进入地球大气层,与大气层摩擦,使得流星表面的原子气化电离,在距离地面 80~120 km 的高空形成细长的圆柱状尾迹,称为流星余迹。电磁波经流星余迹散射或反射到地面形成一个狭长的椭圆覆盖区域,覆盖区内站点可相互通信。流星余迹持续的时间很短,为几百毫秒到几秒,年平均等待时间小于 5 min,所以流星余迹通信是一种间歇方式的突发通信,通信发送时间和间歇等待时间受自然流星出现的制约。适合

流星余迹反射和散射的信号频率为 30~100 MHz,最佳频率为 40~50 MHz,通信距离 400~2000 km。流星余迹信道是一种短持续、频突发的信道,具有年季月日全天候可用性。流星余迹通信抗干扰性能好,保密性、隐蔽性强,抗截获能力强,设备简单,通信距离远,在军事上主要用于远距离、小容量、多站址、抗核爆的随机猝发专向通信与组网通信,是短波、超短波、卫星等常规通信的重要补充与应急备份。流星余迹通信系统分主站和从站。从站只能与主站通信,主站既可以与从站通信又可以与其他主站通信。主站既可作终端站,也可作中继站。

4.113 路径余隙(path clearance)

视距微波传播路径上发射天线与接收天线连线到刀形障碍物顶的距离。当路径余隙为零时,障碍物遮挡损耗为 6 dB。当路径余隙大于第一费涅尔区半径一半以上时,障碍物遮挡损耗很小,可忽略不计。

4.114 滤波器(filter)

有选择地允许给定频率范围的信号通过,而滤除其他频率范围信号的器件。信号能通过的频带称为通带,信号不能通过的频带称为阻带。根据通带和阻带在频率轴上位置的不同,滤波器分为低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和带阻滤波器;按构成元件的不同,可分为 LC、有源 RC、晶体、陶瓷、机械、开关电容、声表面波和数字滤波器等类型;在射频段,常用的滤波器有腔体滤波器、介质滤波器、声表滤波器和超导滤波器等。

4.115 码分多址(code division multiple access)

采用地址码分割的方式划分信道,接入并识别用户的多址技术,简称 CDMA。地址码是多个彼此正交的伪随机序列,在 CDMA 中用来识别不同的用户,故称地址码。利用地址之间的不相关性,对不同的用户信号用不同的地址码进行扩频,从而能够在频率域、时间域和空间域都重叠的情况下提取出用户信号。CDMA 按照获得带宽信号所采取的调制方式的不同分为直接序列扩频(DS)、跳频(FH)和跳时(TH)。

4.116 码片(chip)

码元的若干分之一。在直接序列扩频中,一个信息码元(比特)被长度为 N 的扩频码分成了 N 等份,故称其中的一份为码片。从这个意义上说,码片

就是扩频后的码元。

4.117 漫游(roaming)

用户的移动台在其归属地以外仍可正常使用的功能。具有漫游功能的移动台,从本地移动到外地后,无须做任何改变,就能同在本地一样使用。漫游的基本原理是,归属地移动无线局(HMSC)进行移动台位置跟踪,访问地移动无线局(VMSC)设置来访位置注册处。当移动台进入访问地时,将在访问地进行登记。VMSC 审核移动台是否登记过,将移动用户号码与一临时号码对应,并通知 HMSC。HMSC 记录移动台所在的 VMSC。当移动台进入新的 VMSC 或返回 HMSC 时,HMSC 就通知原 VMSC 清除来访注册记录中有关该移动台的数据。当呼叫漫游的移动台时,呼叫首先会被路由至 HMSC,获取移动台当下的 VMSC,然后呼叫被转接至 VMSC,并且由 VMSC 确定位置,通过基站进一步转接至移动台。

4.118 莫尔斯电码(Morse code)

美国人莫尔斯 1844 年发明的用来发送电报信息的电码,又称莫尔斯报。每个字母和数字由点“·”、划“-”两种符号的不同组合来表示。点、划所占时间之比为 1:3。最初莫尔斯报的收发全用人工完成,目前基于通用计算机平台的报务终端已经实现了莫尔斯报的自动收发,但因传统的人工拍发和收报方式的便携性和顽存性,使人工收发方式仍然有必要存在。

4.119 耦合器(coupler)

从射频传输主干通道中耦合提取少量信号的微波器件。耦合器有输入端、直通端和耦合端 3 个端子。根据输入端与耦合端的功率差,分为 5 dB、6 dB 等多种型号;根据直通端与耦合端的功率比,分为 1:1、2:1、4:1 等多种型号。耦合器插入损耗小,回波损耗大,一般被用来提取检测信号。

4.120 频分多址(frequency division multiple accessing)

采用频率分割的方式划分信道,接入并识别用户的多址技术,简称 FDMA。在一频段上划分出多个频率互不重叠的频道,每个用户占用其中一个频道发送信号。

在移动通信中,单独使用频分多址方式,每个频道只传输一个用户信号,频带占用较窄,移动台设备

简单,但基站设备庞大复杂,有多少个信道就要有多少个收发信机,因此需要天线共用器,功率损失大。另外,越区切换较为复杂,切换时通信会中断数十到数百毫秒,给数据传输带来损伤。在模拟蜂窝移动通信系统中都采用了频分多址技术。在数字移动通信系统中,频分多址可以单独使用或与其他多址方式混合使用,一般多与时分多址或码分多址混合使用。这时,每个频道再划分为多个时分多址的信道或多个码分多址的码道。

在卫星通信中,为了防止邻道干扰,FDMA 常在各载频间设置适当的保护频带。与其他多址方式比,频分多址方式技术成熟,传输容量大,大小站兼容,单站传输能力可以到 30 Mb/s 以上,但该方式中心站终端设备较多,为减少互调干扰,卫星转发器需工作在线性区,转发器功率利用率相对较低。

4.121 频分双工(frequency division duplex)

使用频率分割实现的双工方式,简称 FDD。通信双方使用不同的频率发送。为克服收发之间的干扰,收发频率之间需设置保护频带,而且发射滤波器和接收滤波器要具有良好的带外防护度。该方式在支持对称业务上能充分利用上下行频谱,但在支持非对称业务上频谱利用率不高。当收发共用一个天线时,需要插入一个双工器将接收和发射隔离开,增加了系统成本。由于频分双工系统需要一对具有一定间隔的频率才能工作,因此,必须对频率进行规划。

4.122 全呼(all call)

集群移动通信系统中授权用户与系统所有其他用户一对多的通信方式,又称通播。全呼模式有等待和中断两种:在等待模式下,授权用户发起全呼后,禁止其他用户发起新的呼叫,但必须等待正在发话的用户释放 PTT 开关后,才能开始全呼,在中断模式下,授权用户发起全呼后,立即中断其他用户的通话,开始全呼,但正在发话的用户需释放 PTT 开关才能接收全呼通话。

4.123 全球海上遇险与安全系统(global maritime distress and safety system)

国际海事组织提出并实施的用于海上遇险、安全 and 日常通信的海上无线电通信系统,简称 GMDSS。由国际移动卫星通信系统、低极轨道搜救救助卫星系统和甚高频、中/高频地面通信系统等组

成,具有遇险报警、搜救协调通信、救助现场通信、海上安全信息播发、寻位、日常通信以及驾驶台对驾驶台安全避让通信等功能。船舶一旦遇险,GMDSS 能够立即向陆上搜救机构及附近航行船舶通报遇险信息,陆上有关搜救机构能够以最短时间延迟进行协同搜救活动。

GMDSS 将全球海域分为 A1、A2、A3 和 A4 海区。《1974 年国际海上人命安全公约》(88 修正案)规定,所有从事国际航行的客船、300 总吨及其以上的货船,必须按照航行的海区配备符合 GMDSS 要求的无线电通信设备。

4.124 绕射(diffraction propagation)

根据波的衍射特性,波长小于或相当于障碍物尺寸的无线电波越过障碍物向前传播的现象。在物理概念中,绕射指的是电磁波通过一个小缝隙时在裂缝远端发生的扩散现象。绕射现象基于惠更斯—菲涅耳原理,电磁波在传播过程中,行进的波前(面)上的每一点,都可作为产生次级波的点源,这些次级波组合起来形成传播方向上新的波前(面)。绕射由次级波的传播进入遮挡阴影区而形成,绕射波场强为围绕阻挡物所有次级波的矢量和。

当收发传播路径之间的传播余隙小于第一菲涅尔半径时,就会产生绕射损耗,损耗的大小与频率、余隙、障碍物的位置和形状等因素有关。超短波、微波的频率越高,波长越短,绕射能力越差,从而在高大建筑物后形成阴影区。实际计算绕射损耗时,常利用一些经典的绕射模型。

4.125 热点(hot spot)

无线通信网覆盖范围内用户密集、业务量高的区域。常见的热点包括商业中心、车站和大型会场、大专院校等。进入热点后,用户会感到接入困难,业务速率降低。热点是公共移动通信系统、无线局域网等无线网络需要重点关注的区域。在热点区域,移动通信系统需投入大容量基站来对其进行覆盖,并进行及时的扩容。目前也采用无线局域网与移动通信融合组网的方式解决热点相关问题。

4.126 认知无线电(cognitive radio)

认知无线电是一种可以感知无线环境并相应改变其频谱使用方式的智能无线通信系统,又称为智能无线电或感知无线电。认知无线电能感知周围环境,使用人工智能技术从工作环境中获取信息,并通

过实时调整发送功率、通信频率、调制与编码方式等工作参数来适应工作环境的变化,以达到两个最主要的目的:高度可靠的通信以及高效的频谱利用效率。认知无线电技术的概念最早由瑞典 Joseph Mitola 博士于 1999 年提出,是对软件无线电功能的扩展。

认知无线电被视为解决目前频谱资源利用率低的有效方案,各标准化组织和行业联盟正着手制定认知无线电标准和协议,推动其发展和运用。2004 年 11 月,美国电子与电气工程师协会(IEEE)成立 IEEE 802.22 工作组,该工作组是第一个基于认知无线电技术的空中接口标准化组织,研究基于认知无线电技术的无线区域网络(WRAN),并于 2007 年下半年完成了标准化工作。2003 年 12 月,美国联邦通信委员会(FCC)在其 FCC 规则中规定“只要具备认知无线电功能,即使是其用途未获许可的无线终端,也能使用需要无线许可的现有无线频带”,为认知无线电技术的应用提供了法律法规基础。

4.127 软件无线电 (software radio)

将模块化、标准化的硬件单元以总线方式连接构成基本平台,并通过加载不同软件实现各种无线电功能的开放式体系结构,简称 SR,又称软件定义无线电(SDR)。软件无线电的核心思想是,将模数和数模尽可能靠近天线,用软件来完成尽可能多的无线电功能,从而构建一个能兼容多个通信频段、多种调制方式、多种抗干扰方式和多种通信业务的通用平台,实现与不同体制和标准的设备互通和兼容。典型的软件无线电系统由宽带多频段天线、射频模块、宽带模数和数模转换器及高速 DSP/FPGA、业务转换模块等组成。

4.128 软扩频 (tamed spread spectrum)

采用信息序列映射到伪随机序列的编码方式完成的信号频谱扩展,又称缓扩频。其基本思想是将信息码流分为一个个长度为 k 的信息序列,然后建立 k 位信息序列与 N 位伪随机序列的一一对应关系,从而将发送信息转换为发送伪随机序列。 k 位信息序列的元素有 2^k 个, N 位伪随机序列的元素中也必须有 2^k 个互相正交的元素,才能建立一一对应的关系,所以 N 大于 k 。软扩频的扩频增益为 N/k 。

软扩频不仅从编码中获得编码增益,而且可以通过对信息序列扩频获得扩频增益,主要应用于频带受限而传输质量要求较高的通信系统中。

4.129 散射通信 (scatter communication)

利用空中不均匀媒质对电磁波的散射作用进行的超视距无线电通信,一般使用超短波和微波频段。由于空气中有许多微小尘埃,使空气成为不均匀介质,因此无线电波在空中传播时,一小部分波遇到不均匀介质,会改变原传播方向,向四面八方散射,远处的接收机接收这些散射来的微弱电磁波,从而实现远距离通信。散射通信包括对流层散射通信、电离层散射通信和流星余迹通信等。

电离层散射通信可用频率为 40~50 MHz,只能通一个话路,费用昂贵,很少被使用。对流层散射通信可用频率为 100~10 000 MHz,最大通信距离可达 800~1000 km,通信容量可达数十个话路,不受核爆炸、太阳黑子、磁暴和极光影响,保密性强,稳定可靠,机动性较好,广泛应用于军事通信。流星余迹通信指利用流星穿过大气层时形成的短暂电离余迹对电磁波的反射和散射进行的通信,可用频率为 30~100 MHz,通信距离单跳可达 2000 km。由于流星余迹持续时间仅为秒级,因此流星余迹通信是一种间歇性、突发性的通信,实时性不强。由于其抗干扰性能好,保密性、隐蔽性强,抗截获能力强,设备简单,通信距离远,因此在军事上主要用于远距离、小容量、多站址、抗核爆的随机猝发专向通信与组网通信,是短波、超短波、卫星等常规通信的重要补充与应急备份。

4.130 射频拉远 (remote radio head)

使射频单元与基带处理单元分离的技术,简称 RRH。现代数字移动通信系统采用分布式基站架构,基带处理单元放于室内,射频单元分散放置在天线附近,基带处理单元可以带多个射频单元。射频单元与基带处理单元之间通过射频拉远技术互联。拉远技术是指将功放、低噪声放大器、射频收发信机甚至中频单元置于远端模块并拉远至远离基站的覆盖区,从而使室内基带处理单元和室外无线拉远单元分离,室内和室外单元之间通过电缆或光纤连接,达到增加覆盖距离的目的。目前,常采用光纤连接的方式进行射频拉远,称为光载射频拉远。

4.131 射频识别技术 (radio frequency identification)

利用射频信号及其空间耦合特性,非接触式自动获取识别对象特征信息的技术,简称 RFID。RFID 是一种自动识别领域的无线射频技术,可以通过无线电信号识别特定目标并读取相关数据,无需

使系统与特定目标之间建立机械连接。射频识别系统一般由电子标签(又称射频标签或射频卡)、阅读器和数据交换与管理系统组成。电子标签设置在识别对象上,具有唯一的电子编码,由耦合元件及芯片组成,标签含有内置天线,具有智能读写和加密通信功能,通过无线方式与阅读器进行数据交换。电子标签的工作能量由阅读器发出的射频提供。阅读器由天线系统、耦合元件及芯片组成,可为手持式或固定式,由阅读器将读写指令传送到标签,与标签交换信息。数据交换与管理系统完成数据信息的存储管理、对电子标签的读写控制等。

RFID 系统的基本工作流程是:阅读器通过发射天线发送一定频率的射频信号,当电子标签进入发射天线工作区域时产生感应电流,电子标签获得能量被激活;电子标签将自身编码等信息通过内置天线发送出去;阅读器通过接收天线接收到从电子标签发送来的载波信号,进行解调和解码,然后将其送到数据交换与管理系统进行相关处理;数据交换与管理系统根据逻辑运算判断该卡的合法性,针对不同的设定做出相应的处理和控制在,发出指令信号控制执行机构动作。

RFID 系统的工作频率划分为低频段和高频段。低频段小于 30 MHz,典型的为 125 kHz、13.56 MHz,适合近距离、低速移动、少量数据使用;高频段大于 400 MHz,典型的为 433 MHz、800 MHz/900 MHz、2.45 GHz 和 5.8 GHz,适合远距离、高速移动、大量数据使用。

4.132 时分多址(time division multiple access)

采用时间分割的方式划分信道,接入并识别用户的多址技术,简称 TDMA。在无线载波上把时间分成周期性的帧,每一帧再分为若干时隙,每站占用其中一个时隙发送信号。TDMA 的中心站终端设备配置简单,单站与多个方向通信时,仅需配置一套 TDMA 调制解调器,节省经费和设备安装空间。且中心站的系统扩展性强,系统扩容时,已有站无需增加信道设备。但网内大小站不易兼容,小站需与中心站传输能力一致。另外,各站必须在规定的时间内发射自己的载波,因此对系统时间同步要求较高。

4.133 时分双工(time division duplex, TDD)

使用时间分割技术实现的双工方式。通信双方使用同一个频率,但占用帧的不同时隙发送。通过

调整帧时隙的分配比例,可根据需要实现双向不对称传输。由于交替发送,避免了发射和接收互相干扰。由于上下行使用单一频率,传播特性一致,有利于智能天线的使用。但时分双工对同步的要求比较高,因此应用到移动通信系统中,存在移动速度受限、小区覆盖范围小的问题。

4.134 视距传播(line-of-sight propagation)

无线电波的传播路径为直线的传播方式,又称直接波传播,空间波传播。利用视距传播的条件是第一费涅尔区内无障碍物,频段为超短波、微波及以上频段。视距传播的主要影响来自直射波与地面反射波的干涉效应。在较高频率上,山、建筑物和树木等对电波的散射和绕射作用变得更加显著,此外还必须考虑雨和大气成分的衰减和散射影响。

由于受地球曲率的影响,地面上的视距传播存在一个极限直视距离 $R_{\max}$ 。在 $R_{\max}$ 之内的区域称为照明区,之外的区域称为阴影区。 $R_{\max}$ 与发射天线高度和接收天线高度之间的关系为

$$R_{\max} = 3.57(\sqrt{H_T} + \sqrt{H_R}) \quad (4-6)$$

式中: $R_{\max}$ ——极限直视距离,km;

H_T ——发射天线高度,m;

H_R ——接收天线高度,m。

若考虑大气折射作用,式(4-6)修正为

$$R_{\max} = 4.12(\sqrt{H_T} + \sqrt{H_R}) \quad (4-7)$$

视距传播除了要求天线应具有一定的架设高度外,还要求天线的方向性强。

4.135 实时信道估算(real time channel evaluation, RTCE)

实时地获取一组信道参数,通过获取的参数来定量描述信道的状态和传输某种通信业务的能力。测量的参数包括接收信号功率的强弱、噪声功率及其分布、多径延时、多普勒展宽、给定时段内接收的错误码元数目、自动差错重发(ARQ)系统中给定的时段内请求重发的次数等。根据所采用的技术不同,RTCE 可分为电离层脉冲探测、电离层调频连续波探测(Chirp)、导频探测、8FSK 信号探测等,其中 8FSK 探测是目前自适应短波电台使用最广泛的信号格式。

4.136 数字微波接力通信系统(digital microwave relay communication system)

以接力方式完成远距离通信的数字微波通信系

统,又称数字微波中继通信系统。信号由一个终端站发出后,经过若干中继站的转发,以接力方式传送至另一个终端站,如图4.5所示。微波通信为视距通信,其传输的电磁波基本上沿着地面的直线视距进行,站间距离一般在50 km左右。系统容量是指每一射频波道传输的标称比特率,小容量指10 Mb/s以下;中等容量指大于10 Mb/s而小于100 Mb/s;大容

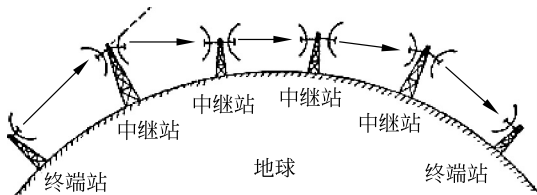


图 4.5 微波接力通信

量指大于100 Mb/s。点对点微波传输容量大,传输距离高,信道误码率低且稳定,但是当用于长距离通信时,需要多次中继完成,设备过多,架设和维护困难,使用不方便。

终端站设备包括天馈线系统、微波收发信设备、调制解调设备、数字复用设备等。中继站设备包括天馈线系统、微波收发信设备和中继再生设备。微波收发信设备分为室内一体设备、室外一体设备和室内室外分体设备。目前广泛使用分体设备,中频部分放置室内,称为室内单元(IDU);射频部分放在室外,称为室外单元(ODU)。系统的数字复用设备可采用PDH、SDH和IP体制。系统还设有监控系统,对信道及主备用设备运行情况进行自动监视与控制。在中小容量的系统中,常把监控信息和公务联络电话信号作为公务信号,并用专门的公务信道传输。在大容量的系统中,常在主信道的信息码流中插入一定的公务信息,用以传送公务信号。

4.137 衰减器(attenuator)

对指定频率范围的信号进行衰减的器件。其主要用途是调整电路中信号的大小、改善阻抗匹配、避免高功率信号对仪器或接收机前端造成破坏。按衰减量是否可调,衰减器分为固定衰减器和可调衰减器。衰减器连接头有BNC型、N型等多种形式。

4.138 衰落(fading)

电磁波在传播过程中,电磁场值或信号功率值随时间的起伏。通常指接收信号电平的随机起伏。衰落对传输质量和传输可靠性影响很大,严重的衰

落将导致传输中断。

根据发生衰落的物理原因,衰落分为闪烁衰落、K型衰落、波导型衰落和极化衰落。闪烁衰落是由大气湍流对电磁波的散射造成的;K型衰落是由地面反射和大气折射等所产生的多径传输造成的,故又称多径衰落;波导型衰落是大气波导对电磁波的反射造成的;极化衰落是电磁波在传播过程中由于极化发生变化而造成的。

根据衰落速率的快慢,衰落分为快衰落和慢衰落。前者是瞬时信号电平短时间内的起伏;后者是短期信号电平中值长时间内的起伏。快衰落的幅度分布一般服从瑞利分布,但在对流层散射传播中,服从对数正态分布,而对慢衰落进行较准确的统计分布描述比较困难。

根据衰落对接收信号的改变,衰落分为平衰落和频率选择性衰落。平衰落指在信号传输带宽内对所有频率的信号具有相同的衰落比例,否则就是频率选择性衰落。平衰落能够造成接收电平起伏,频率选择性衰落除了引发接收电平起伏外,还会造成信号波形失真。

衰落特性可用衰落深度、衰落率和衰落持续时间等主要参量来描述。

4.139 天波(sky wave)

向高空辐射经电离层反射或折射而回到地面的无线电波,又称电离层波。频率越高,电波在电离层中的衰减就越小,电波穿透电离层的能力也越强,但当频率超过一定值时,电波将穿透电离层而不能回到地面。因此工作频率不能过低也不能过高,一般位于短波波段。天波传播规律与电离层密切相关,由于受电离层随机变化的影响,天波传播具有时变特性,但传播的距离很远,甚至经过多次反射可作环球通信。

4.140 天地超短波通信系统(ultrawave communication system between spacecraft and ground)

载人航天工程专用的天地通信系统。其传输业务主要有天地间双向话音、飞船下行关键遥测数据等内容。系统工作频率为250~300 MHz,传输速率为24 kb/s,上行采用2CPFSK调制,下行采用DS-BPSK调制。系统由飞船超短波通信设备、地面站超短波通信设备和天地通信监控中心组成。通常情况下,为了达到一定的天地通信覆盖率,地面布设多

个地面站。地面站设备按承载方式的不同,分为地面固定站、车载站、船载站;按照布设区域范围的大小,可分为国内站、国外站和海上站。天地通信监控中心的作用是监控地面站超短波通信设备的工作状态;开、关地面站超短波设备上行激励;汇集地面站天地下行话音并选优输出至地面天地话音用户;汇集地面天地话音用户上行话音,选择上行话音,话音数字编码、加密并送至地面站。

天地超短波通信系统地面站设备一般包括收发信机、调制器、解扩解调器、数字复分接器、保密机、天线及伺服跟踪系统、数传计算机、监控计算机和供电电源等。

4.141 天线(antenna)

无线电设备中,能够有效地向空间辐射或从空间接收无线电波的装置。向空间辐射无线电波的天线称为发射天线,其作用是把发射机送来的交变电源能量转换为空间电磁波能量;从空间接收无线电波的天线称为接收天线,它能够将从空间获取的电磁波能量转换为交变电波能量送给接收机。天线是通信、雷达、电子对抗和导航设备的重要组成部分。

因工作频率、工作原理、使用场合、指标要求等不同,天线种类繁多,大小不一,形状各异,但天线按结构特征,可分为线天线和面天线两大类。前者用细导线构成,后者用导电面构成。一般来讲,工作频率越低,增益要求越高,则天线尺寸越大。

不同用途的天线有不同的性能要求,但基本要求是一致的,即有一定的方向辐射特性或方向接收特性;有良好的与馈电线阻抗匹配特性;有一定的极化形成;有一定的频带宽度;有较好的机械结构性能。表征天线性能的主要技术指标有极化方式、辐射方向图、增益、输入阻抗、前后向比等。另外,天线具有互易性,同一设计既可用作发射天线也可用作接收天线,且二者具有相同的性能和增益,配有双工器时,既可作为发射天线,也可作为接收天线。

天线按用途可分为通信天线、广播天线、电视天线、雷达天线、导航与测向天线等;按方向性可分为全向天线和定向天线等;按极化方式可分为线极化天线、圆极化天线、椭圆极化天线等;按工作波长可分为长波天线、中波天线、短波天线、超短波天线、微波天线等;按使用场合可分为手持台天线、车载天线、基地台天线、机载天线、星载天线、舰载天线等。

无线电设备中馈线和匹配网络连接天线与收发设备,常见馈线形式有平行双导线、同轴线、波导等,传输的是高频电流或导行波。匹配网络起到馈线与

天线之间传输匹配的作用。设计天线时,通常将馈线、匹配网络与天线体看成一体,统称天馈系统。

4.142 天线极化(antenna polarization)

天线发射的电磁波电场矢量端点在空间的轨迹图形。电场水平分量与垂直分量的相位相同或相差 180° 时,天线的极化为一直线,故称线极化,其中电场垂直分量为0的称为水平极化,电场水平分量为0的称为垂直极化。电场的水平分量与垂直分量的振幅相同,但当相位相差 90° 或 270° 时,电场矢量的端点轨迹为一个圆,故称天线的极化为圆极化。其中,若电场矢量的旋转方向与电磁波传播方向成右螺旋关系,称此种方式的天线极化为右圆极化,反之,则称为左圆极化。利用正交极化隔离的特性,可实现同频信号的极化复用,在同样的频带上,可将传输速率提高一倍。

4.143 天线交换器(antenna switching unit)

在短波通信中位于天线与收发信机之间的切换设备。天线交换器实质上是一种同轴电缆交换矩阵。天线和收发信机同轴馈缆按纵横顺序接至该矩阵上,通过控制该矩阵交叉点的开和关完成切换。天线交换器适用于多天线多收发信机,并且需要经常改变天线和收发信机连接关系的场合。

4.144 跳频(frequency hopping)

信号载波频率按编码序列指令在一定频段内以预定速率离散跳变的扩频方法,简称FH。这种载波频率变化的规律,称为跳频图案。跳频实际上是一种用伪随机码进行多频频移键控的通信方式。跳频分慢跳频和快跳频。慢跳频是指跳频速率低于信息比特速率,即连续几个信息比特跳频一次;快跳频是指跳频速率高于信息比特速率,即每个信息比特跳频一次以上。也有人把几十跳每秒的跳频称为慢跳频,几百跳每秒的跳频称为中跳频,几千跳每秒的跳频称为快跳频。一般来说,跳频速率越高,跳频系统的抗干扰性就越好,但相应的设备复杂性和成本也越高。跳频技术可以抗多径衰落和近台干扰,具有电子反对抗能力,可提高通信的可靠性和保密性。

4.145 跳时(time hopping)

一种以伪随机码控制射频信号的发射时刻和持续时间的扩频方法,简称TH。跳时也可以看成一种时分系统,所不同的是,它不是在一帧中固定分配一

定位置的时片,而是由扩频码序列控制的按一定规律跳变位置的时片。跳时系统的处理增益等于一帧中所分的时片数。由于简单的跳时抗干扰性不强,故很少单独使用,通常与其他方式结合使用。

4.146 同信道干扰 (shared channel interference)

凡是其他信号源发出的与有用信号载频相同并以同样方式进入中频通带的干扰,又称同频干扰。蜂窝移动通信系统中采用频率复用增加频谱效率,但同时带来同频干扰。同频干扰对业务的主要影响是网络信号良好时,用户接入失败率或掉话率较高。同信道干扰用同频干扰比来衡量。同频干扰比为有用信号与同频干扰信号幅度的比值,取决于设备参数、传播环境、通信概率、小区半径、双工方式、同频复用距离等因素。

4.147 通用移动通信系统 (universal mobile telecommunications system)

3GPP 组织制定的全球 3G 标准之一,简称 UMTS。由一系列包含码分多址接入网络和分组化核心网络的技术规范和接口协议构成。WCDMA 凭借与 GSM 之间的平滑过渡以及自身技术优势,成为 UMTS 的首选空中接口技术。因此通用移动通信系统 UMTS 等同于 WCDMA 通信系统。通用移动通信系统由核心网 (CN)、通用陆地无线接入网 (UTRAN) 和用户设备 (UE) 组成。通用陆地无线接入网由一个或多个无线网络子系统 (RNS) 构成。一个无线网络子系统由一个无线网络控制器 (RNC) 和一个或多个基站 (Node B) 组成。

3GPP 组织考虑移动通信技术和业务运营的当前需求和持续发展,一直致力于 UMTS 技术规范制定和完善,分成 R99、R4、R5、R6 共 4 个技术规范版本。3G 网络无线接入网技术和核心交换网技术可以分别独立演进,实现平滑过渡,最终目标是实现全 IP 化的全球宽带移动通信网络。在无线接入网技术方面,3GPP 致力于不断提高频谱利用率,除将 WCDMA 作为首选空中接口技术外,还引入了 TD-SCDMA 和高速下行链路数据分组接入 (HSDPA) 技术。在核心网技术方面,则引入了分组软交换技术和 IP 多媒体子系统 (IMS),以实现全 IP 多业务移动网络的发展目标。

4.148 突发通信 (burst communication)

把要发送的信息存储起来,等到信道条件满足

时在很短的时间内将其高速发出的无线通信方式,又称猝发通信、瞬间通信。突发通信的时间通常不到 1 s,由于这种通信电波瞬间即逝,不易受到干扰和破坏,因此通常用于隐蔽通信。突发通信常用于流星余际通信,以及海军潜艇的高频猝发通信。

4.149 脱网工作 (talk around)

在集群移动通信中,不经基站转发,移动台之间直接进行通信的工作模式。两个以上移动台在越出网络覆盖范围,或需要直接对讲的情况下,可通过人工转换到脱网工作模式,在常规信道上进行单工对讲通信。

4.150 网络子系统 (network sub-system)

移动通信系统中以移动交换中心为基础的网络,简称 NSS。网络子系统与基站子系统相接,主要负责端到端的语音呼叫、用户数据管理、移动性管理及与固定网络的连接。其内部功能单元除了移动交换中心之外,还包括组呼寄存器、码型变换/速率适配器、鉴权中心、设备识别寄存器、访问位置寄存器和归属寄存器等。

4.151 微波通信 (microwave communication)

工作频率为 300 MHz 到 3000 GHz 的无线电通信。波长为 1 m 到 0.1 mm,微波按波长大小包含分米波、厘米波、毫米波和亚毫米波。微波频段包括很宽的频率域,通常把微波频段再分为若干个子频段,见表 4.10。微波通信包括地面微波中继通信、对流层散射通信、卫星通信、空间通信以及工作于微波频段的移动通信等,但目前通常所说的微波通信则专指地面微波中继通信。微波中继通信使用的频率多数在 2~38 GHz,目前实际应用较多的是 2 GHz、4 GHz、6 GHz、7 GHz、8 GHz、11 GHz、15 GHz、18 GHz、23 GHz、26 GHz 频段。对于这些无线电频率的具体使用安排,国际电联无线电通信部门 (ITU-R) 作了统一明确的建议,各国生产微波设备的厂家和使用者多数都遵守这些建议。我国微波射频频道配置及容量系列应遵守信部无[2000]705 号《关于调整 1~30 GHz 数字微波接力通信系统容量系列及射频频道配置的通知》。

微波以直线方式传播,对障碍物的绕射能力很弱,适于进行视距通信。地面传输距离与超短波相同,约为 50 km。采用接力通信方式,可实现超视距通信。微波通信具有频带宽、通信容量大、传输质量

表 4.10 微波频段划分

序号	频段名称	频率范围/GHz	波长范围
1	UHF	0.30~1.12	100.00~26.79 cm
2	L	1.12~1.70	26.79~17.65 cm
3	Ls	1.70~2.60	17.65~11.54 cm
4	S	2.60~3.95	11.54~7.59 cm
5	C	3.95~5.85	7.59~5.13 cm
6	XC	5.85~8.20	5.13~3.66 cm
7	X	8.20~12.40	3.66~2.42 cm
8	Ku	12.40~18.00	2.42~1.67 cm
9	K	18.00~26.50	1.67~1.13 cm
10	Ka	26.50~40.0	1.13~0.75 cm
11	Q	33.0~50.0	9.09~6.00 mm
12	U	40.0~60.0	7.50~5.00 mm
13	M	50.0~75.0	6.00~4.00 mm
14	E	60.0~90.0	5.00~3.33 mm
15	F	90.0~140.0	3.33~2.14 mm
16	G	140.0~220.0	2.14~1.36 mm
17	R	220.0~325.0	1.36~0.92 mm

好等特点,目前所发展的新一代大容量数字微波通信,在解决区域性通信、专网通信、农村通信、山区和海岛通信等通信问题中,都是一种最有效的手段。

4.152 无线 Mesh 网 (wireless mesh network, WMN)

从移动 Ad hoc 网分离出来,并承袭了部分无线局域网技术的网络技术,又称无线网状网,无线网格网,无线多跳网。无线 Mesh 网是一种多跳的、具有自组织和自愈特点的宽带无线网络,由 Mesh 路由器和 Mesh 终端组成。Mesh 路由器配置有多个无线接口,除了具有传统的无线路由器的网关/中继功能外,还具有支持 Mesh 网络互连的路由功能。无线 Mesh 网由 Mesh 路由器互连构成无线骨干网,通过其中的网关 Mesh 路由器与外部网络相连。Mesh 终端通过 Mesh 路由器接入上层网络,Mesh 终端通常只具有一个无线接口,实现复杂度远小于 Mesh 路由器。Mesh 终端可以是笔记本电脑、掌上电脑、PDA 以及手机等。Mesh 终端也具有一定的 Mesh 网络互连和分组转发功能,Mesh 终端之间进行互连可以构成一个小型对等通信网络。

无线 Mesh 网可以和多种宽带无线接入技术如 802.11、802.16、802.20 以及 3G 移动通信等技术相

结合,组成一个含有多跳无线链路的无线网状网络。无线 Mesh 网的网络架构根据节点功能的不同,可以分为基础设施/骨干无线 Mesh 网、客户端无线 Mesh 网和混合无线 Mesh 网。

无线 Mesh 网与无线 Ad hoc 网的比较见表 4.11。二者的最大区别是无线 Mesh 网移动终端的移动性要求较低。

表 4.11 无线 Mesh 网与无线 Ad hoc 网比较

	无线 Mesh 网	无线 Ad hoc 网
网络拓扑	相对静止	快速变化
节点移动性	低	高
能量约束	低	高
组网特点	半永久/永久	临时组网
基础设施	部分或全部 固定基础设施	无基础设施
数据转发	依靠固定 Mesh 节点	依靠移动节点转发
路由性能	表驱动或分级路由	分布式按需路由
快速部署	是	是
应用环境	军用或民用	军用或民用

4.153 无线城域网 (wireless MAN)

以无线方式构成的城域网,简称 WMAN。WMAN 主要用于解决城域网的接入问题,覆盖范围为几千米到几十千米,除提供固定的无线接入外,还提供具有移动性的接入能力,具有点对点、点对多点、蜂窝组网等多种网络结构。WMAN 通常包括终端、基站和核心网,所涉及的技术包括多信道多点分配系统 (MMDS)、本地多点分配系统 (LMDS)、IEEE 802.16d/e 和高性能城域网 (HiperMAN) 技术、多载波无线信息环路 (McWill)。

4.154 无线传感器网络 (wireless sensor network)

在监测区域内大量的静止或移动的传感器以无线方式构成的多跳自组织的网络系统,简称 WSN。WSN 是一种新型的信息感知和数据采集网络系统,通过协作地感知、采集、处理和传输网络覆盖地理区域内感知对象的监测信息,能够获取各种详尽、准确的环境数据或目标信息,并最终把这些信息发送给网络的所有者。WSN 是一种低功耗、自组织、大规模、以数据为中心的可靠网络,一般由多个汇聚节点和大量部署于监测区域、配有各类传感器的无线网络节点构成,实现了数据采集、处理和传输 3 种功能。目前大部分 WSN 都限于采集温度、湿度、位置、

压力等环境标量数据。通过在传统 WSN 的基础上增加能够采集视频、音频、图像等多媒体信息的传感器节点,能够组成具有存储计算和通信能力的无线多媒体传感器网络(wireless multimedia sensor network),简称 WMSN。WMSN 集成和拓展了传统 WSN 的应用场合,可广泛应用于军事国防、城市管理、安全监控、智能交通、环境监控、医疗卫生等多个领域。

4.155 无线电波(radio wave)

频率在 3000 GHz 以下的电磁波。不同频率范围的无线电波,传播特性差异很大。为便于使用,将无线电频谱划分为 14 个频带,频带号为~1~12,见表 4.12。从使用的角度出发,也有观点认为无线电波是频率为 3 Hz~300 GHz 的电磁波。

无线电波的频谱范围很宽,但也是不可再生的自然资源,需要合理利用。如果对无线电频率的使用缺乏有效的规划和管理,极易造成浪费和相互干扰。我国研制、生产、试验和设置的无线电通信设备使用的频率应遵守《中华人民共和国无线电频率划分规定》。通常根据通信业务需要和无线电波特性,把频段划分给指定的通信业务,然后根据该业务信道所需要的带宽,对该频段进行合理的规划,即进一步细分为若干频道,供业务使用。

4.156 无线电管理(radio management)

国家通过专门机构对研究、开发、利用无线电频

谱资源和卫星轨道资源的活动进行的管理。无线电管理的主要内容包括对频率的划分、分配和指配;对无线电台(站)的布局规划和设台电磁兼容分析及审批;对无线电信号实施监测和监督检查;对无线电干扰的协调和处理;对无线电管理法规和技术标准的制定;对无线电发射设备的检测;对研制、生产、销售、进口无线电发射设备的管理以及代表国家参加无线电管理方面的双边和多边国际活动。《中华人民共和国无线电管理条例》《中华人民共和国无线电管制规定》和《中华人民共和国无线电频率划分规定》是无线电管理的专门性法规,是进行无线电管理的基本依据。

国家无线电管理局是我国无线电管理方面的职能部门,负责全国无线电管理工作。国家无线电监测中心是中国无线电管理技术支撑机构,隶属于工业和信息化部,主要承担国家无线电频谱管理、无线电台站管理、无线电监测、无线电设备管理、无线电管理信息化等业务技术工作。中心建有先进的国家无线电短波/卫星监测网(北京监测站已加入 ITU 国际无线电监测网)、北京及周边地区无线电超短波监测网、全国无线电管理信息系统、频谱工程实验室、无线电设备检测实验室及国家无线电管理指挥调度中心等技术设施。

4.157 无线电管制(radio control)

是对无线电波的发射、辐射和传播实施的强制性管理。是指在特定的时间和特定区域内,依法采取

表 4.12 无线电频谱和波段划分

带号	频带名称	频率范围	波段名称	波长范围
1	至低频(TLF)	0.03~0.30 Hz	至长波或千兆米波	10 000~1000 Mm
0	至低频(TLF)	0.3~3 Hz	至长波或百兆米波	1000~100 Mm
1	极低频(ELF)	3~30 Hz	极长波	100~10 Mm
2	超低频(SLF)	30~300 Hz	超长波	10~1 Mm
3	特低频(ULF)	300~3000 Hz	特长波	1000~100 km
4	甚低频(VLF)	3~30 kHz	甚长波	100~10 km
5	低频(LF)	30~300 kHz	长波	10~1 km
6	中频(MF)	300~3000 kHz	中波	1000~100 m
7	高频(HF)	3~30 MHz	短波	100~10 m
8	甚高频(VHF)	30~300 MHz	米波	10~1 m
9	特高频(UHF)	300~3000 MHz	分米波	10~1 dm
10	超高频(SHF)	3~30 GHz	厘米波	10~1 cm
11	极高频(EHF)	30~300 GHz	毫米波	10~1 mm
12	至高频(THF)	300~3000 GHz	丝米波或亚毫米波	10~1 dmm

注:频率范围含上限,不含下限,波长范围含下限,不含上限。

限制或者禁止无线电台(站)、无线电发射设备和辐射无线电波的非无线电设备的使用,以及对特定的无线电频率实施技术阻断等措施。根据维护国家安全、保障国家重大任务、处理重大突发事件等需要,国家可以实施无线电管制。《中华人民共和国无线电管制规定》是我国施行无线电管制的法规。无线电管制措施主要包含:

(1) 对无线电台(站)、无线电发射设备和辐射无线电波的非无线电设备进行清查检测。

(2) 对电磁环境进行监测,对无线电台(站)、无线电发射设备和辐射无线电波的非无线电设备进行监督。

(3) 采取电磁干扰等技术阻断措施。

(4) 限制或禁止无线电台(站)、无线电发射设备和辐射无线电波的非无线电设备的使用。

4.158 《无线电规则》(Radio Regulations)

国际电信联盟(ITU)制定的一项国际无线电法规。用来管制无线电通信,调整各国在无线电管理活动中的相互关系,规范其权利和义务。该规则附属于国际电信联盟组织法和公约,与其共同行使对整个电信的管理,并对联盟全体会员的行为予以规范与约束。该规则分A和B两大部分:A部分主要包括无线电业务定义、无线电频率划分、无线电频率通知、协调和登记程序、频率的技术特性及其使用的原则、干扰处理程序等;B部分主要包括各种无线电台的操作和使用规定。

世界无线电通信大会(WRC)是国际电信联盟组织召开的有关无线电频率、卫星轨道资源的划分、分配、指配、规划及管理的国际会议,每3年或4年召开一次。届时,审议并在必要时修订《无线电规则》。国际电联2016年版《无线电规则》现已发布并生效。2016年版《无线电规则》包含了由世界无线电通信大会(1995年)(WRC-95)通过并随后由1997年(WRC-97)、2000年(WRC-2000)、2003年(WRC-03)、2007年(WRC-07)、2012年(WRC-12)及2015年(WRC-15)世界无线电通信大会修订并批准的《无线电规则》完整文本,其中包括所有附录、决议、建议和引证归并的ITU-R建议书。

4.159 无线电监测(radio monitoring)

采用技术手段或设备设施对空中无线电信号进行的信号监视和信号参数测量分析。无线电监测是

指探测、搜索、截获无线电管理地域内的无线电信号,并对该无线电信号进行分析、识别、监视并获取其技术参数、工作特征和辐射位置等技术信息的活动。无线电监测是无线电频谱管理的重要组成部分,是施行无线电频率管理、保护、进行无线电干扰查处、协调,维护空中电波秩序,保障用户正常开展无线电业务,保障国家通信信息安全,有效实施无线电管理的必要手段和技术支撑。按监测频段分类,主要有短波无线电监测、超短波无线电监测、卫星空间业务的无线电监测等。按监测任务分类,主要有常规监测项目、无线电干扰监测、监测和查找未经核准的国内或不明电台的发射、联合监测项目。

无线电监测机构是负责无线电监测的技术机构。我国的无线电监测国家机构包含国家无线电管理局和国家无线电监测中心。无线电监测由各级无线电监测中心(站)负责。依据《中华人民共和国无线电管理条例》,我国的各级无线电监测中心(站)的主要职责是:

(1) 监测无线电台(站)是否按照规定的程序和核定的项目工作;

(2) 查找无线电台(站)干扰源及未经批准使用的无线电台(站);

(3) 测定无线电设备的主要技术指标;

(4) 监测工业、科学和医疗应用设备、信息技术设备和其他电器设备等非无线电设备的无线电波辐射;

(5) 国家和地方无线电管理机构规定的其他职责。

国家无线电监测网是为完成无线电监测任务,有效施行无线电监测建设的技术基础设施,由国家、省、州(市)无线电监测中心(站)组成,主要完成对无线电信号的监测、监听、测向和电磁环境测试等任务。国家无线电监测网采用以国家无线电监测中心为中心的星型结构,由短波、超短波、卫星3个网组成,中心设全网指挥调度控制中心,对全国各级无线电监测网络进行控制管理,与省级监测控制节点和国家级监测站点直接互联互通,查询、交互数据并下达任务。

4.160 无线电台(radio station)

开展无线电通信业务或射电天文业务所必需的一个或多个发信机或收信机,或发信机与收信机的

组合(包括附属设备),又称无线电台站,简称电台。一部可以投入使用的无线电通信设备,不论是收信设备、发信设备,或二者兼有的设备,都统称为无线电台。

国际电信联盟(ITU)将无线电业务分为无线电通信业务和射电天文业务,无线电通信业务又分为地面无线电通信业务和空间无线电通信业务。相应地,无线电台划分为地面电台、地球站(用于空间无线电通信业务)、空间电台、射电天文电台4大类。但在具体应用中存在多种分类方式。按照使用方式的不同,无线电台可分为手持式、车(船、机)载式、固定式、转发式;按照通信方式的不同,无线电台可分为单工、半双工和全双工模式;按照实现功能的不同,无线电台可分为通信类、雷达类、导航类、射电天文类;按照工作方式的不同,无线电台可分为单发、单收、收发一体;按照使用频段的不同,无线电台可分为长波电台、中波电台、短波电台(高频电台)、超短波电台、微波电台。

在中国境内使用无线电频率,设置、使用无线电台,研制、生产、进口、销售和维修无线电发射设备,应当遵守《中华人民共和国无线电管理条例》。为保证合法电台正常工作,必须对无线电频率使用进行严格的分配和管理,相关的管理法规有《无线电台执照管理规定》和《个人业余无线电台管理暂行办法》。

4.161 无线对讲机(walkie-talkie)

用于话音通信的便携式双向无线电收发器,又称无线步话机,简称对讲机。无线对讲机采用半双工工作方式,按下PTT开关,进入发话状态;松开PTT开关,转入接听状态。根据我国无线电频率划分规定,专业对讲机使用V频段(136~174 MHz)和U频段(400~470 MHz),武警公安系统使用

350 MHz,海岸使用220 MHz,业余使用433 MHz,集群使用800 MHz,公众对讲机使用409~410 MHz。

4.162 无线个人区域网(wireless personal area network)

在个人使用的便携式电子设备和通信设备之间进行短距离自组织连接的无线网络,简称无线个域网,WPAN。WPAN是以个人为中心来使用的微微网络,连接时不需要使用接入点,覆盖范围从几厘米到几米,可看作一种低功率、小范围电缆替代技术。WPAN是随着短距离无线移动网络技术的发展而产生的,能够在近距离为设备提供连接服务,典型技术有紫蜂(ZigBee)、红外(IrDA)、蓝牙(Bluetooth)、射频识别(RFID)等,见表4.13。其共同的特点是短距离、低功耗、低成本和个人专用。

目前,IEEE、ITU和HomeRF等组织都致力于WPAN的标准研究,其中IEEE研究的WPAN技术标准主要集中在IEEE 802.15系列,是目前国际上权威的WPAN标准。WPAN标准主要分为基于蓝牙的WPAN,以及低速WPAN、高速WPAN和超高速WPAN。IEEE 802.15.1标准对应于蓝牙1.1,新的IEEE 802.15.1a标准对应于蓝牙1.2,传输速率不超过1 Mb/s。低速WPAN(LR-WPAN)符合IEEE 802.15.4标准,传输速率约为0.25 Mb/s,主要用于工业监控及组网,以及便携式多媒体设备之间数据传输。高速WPAN符合IEEE 802.15.3标准,传输速率可达55 Mb/s。超高速WPAN符合IEEE 802.15.3a标准,传输速率可达110~480 Mb/s,主要用于高速传输高质量视频图像。中国无线个域网标准工作组(CWPAN)已发布实施中国低速无线个域网国标GB/T 15629.15—2010,频率采用779~787 MHz,该标准兼容IEEE发布的专门在我国应用的IEEE 802.15.4c标准。

表4.13 典型WPAN技术的比较

技术类别	工作频段	传输速率/(Mb/s)	连接设备数	功耗	用途
ZigBee	868 MHz	0.02	255/65 000	1~3 mW	家庭网络、工业控制网络、传感网络
	915 MHz	0.04			
	2.4 GHz	0.25			
IrDA	820 nm	1.521、4、16	2	数兆瓦	透明可见范围内的数据传输、近距离遥控
Bluetooth	2.4 GHz	1、2、3	7	1~100 mW	个人网络
RFID	5.8 GHz	0.212	2	无供电	物流管理、交通运输

4.163 无线广域网 (wireless wide area network)

把地域分布极为广泛的局域网连接起来的无线网络,简称 WWAN。WWAN 最主要的目标是支持全球范围内无线网络的广泛的移动性,能够提供覆盖全国或全球范围内的无线接入。典型的无线广域网包括卫星通信网络,以及如第四代移动通信系统这样的具有宽带数据传输能力的蜂窝移动通信网络。为提供高效的移动宽带无线接入,IEEE 制定了无线广域网移动宽带接入技术标准 IEEE 802.20。IEEE 802.20 是无线广域网空中接口标准,采用纯 IP 体系结构,适用于高速移动环境下的宽带无线接入系统。

4.164 无线接入 (wireless access)

利用无线信道,将用户终端接入业务网的方式。分为固定无线接入和移动无线接入两种方式。

在固定无线接入方式中,用户终端固定或在小范围内移动,但接入点不变,不支持用户漫游。通常接入的下行链路点对多点工作,上行点对点工作。系统通常由中心站、终端站和网管系统组成。中心站将终端站和业务网的业务节点连接起来,包括中心控制站和射频站。中心站控制站又称中心站室内单元,通过业务节点接口与业务节点连接。射频站

又称中心站室外单元,安装有全向天线或扇区天线,通过无线信道为覆盖范围内的终端站服务。终端站安装定向天线,通过用户网络接口与用户终端或用户驻地网连接。固定无线接入分为无线本地环路(包括固定蜂窝、基于无绳电话的技术、微波一点多址)、甚小口径天线地球站(VSAT)、直播卫星系统(DBS)、本地多点分配业务(LMDS)、多路多点分配业务(MMDS)、光无线接入等。

在移动无线接入方式中,用户终端可移动,接入点可变,一般支持漫游。系统由控制器、基站、操作维护中心、固定终接设备等组成。控制器处理用户呼叫、对基站进行管理,通过基站进行无线信道控制、基站监测和对固定终接设备进行监视和管理。基站通过无线收发信机提供与固定终接设备和移动终端之间的无线信道,并通过无线信道完成呼叫。操作维护中心负责整个无线接入系统的操作和维护,主要进行配置管理。固定终接设备又称固定用户单元,与基站通过无线接口相接,与用户终端通过标准接口相接,向用户透明传送业务网提供的业务和功能。如果固定终接设备与用户终端合并为一个物理实体,则称之为移动终端。移动无线接入有集群、蜂窝等方式。

中国为无线接入分配的频谱资源有 10 个频段,见表 4.14。

表 4.14 无线接入频谱资源

编号	频段	接入频率/MHz	使用方式	适用范围
1	400 MHz	406.5~409.5	TDD	本地公众通信网无线接入,在此频段内,射电天文业务、固定业务、移动业务等均为主要业务
2	450 MHz	450~470	FDD	在城市及无线通信较普及的地区,主要用于无线对讲;在地广人稀的农村地区,用于无线接入
3	1.8 GHz	1785~1805	SCDMA	本地公众通信网无线接入
4	1.9 GHz	1880~1900	TD-SCDMA	本地公众通信网无线接入
5	1.9 GHz	1900~1920	PHS	本地公众通信网无线接入
6	2 GHz	1920~1980/ 2110~2170	FDD	本地公众通信网无线接入,主要用于 3G
7	2.4 GHz	2400~2483.5	802.11b、g	为工科医(ISM)频段,用于无线局域网、无线接入系统、点对点扩频通信系统等各类无线电台
8	3.5 GHz	3400~3430/ 3500~3530	MMDS	固定无线接入
9	5.8 GHz	5725~5850	802.11a	点对点或点对多点扩频通信系统、宽带无线接入系统、高速无线局域网、蓝牙技术设备及车辆无线自动识别系统等无线电台站共用,原则上用于公众无线接入通信时,运营企业必须取得相应的基础电信业务经营许可
10	26 GHz	25 757~26 765/ 24 507~25 515	LMDS	多点分配业务

4.165 无线接入点 (access point)

具备站点功能、通过无线媒体为关联的站点提供访问分布式服务能力的实体,又称无线访问节点,简称无线 AP。在无线局域网中,无线 AP 是无线交换机、无线路由器、无线网关等设备的统称,是无线网络终端用户接入有线网络的接入点,主要用于宽带家庭、楼宇内部以及园区内部,典型通信距离为几十米至上百米。大多数无线 AP 还带有接入点客户端模式,可以和其他无线 AP 进行无线连接,扩大网络的覆盖范围。无线 AP 分为胖 AP (Fat AP) 和瘦 AP (Fit AP)。胖 AP 能够独立实现配置、管理和工作,也称为非集中控制型 AP,独立控制型 AP,多用于用户少、AP 配置少、网络结构简单的自治式小型无线局域网。瘦 AP 需要与接入控制器配合,共同实现配置、管理和工作,也称集中控制型 AP。集中式无线局域网需采用瘦 AP+AC 的集中控制架构组网,层次架构清晰,适用于用户规模大、AP 配置较多、用户分布较广的情况。

4.166 无线接入控制器 (access controller)

无线局域网的集中控制设备,简称无线控制器,无线 AC。无线 AC 的主要作用是对无线接入点(瘦 AP)进行集中配置、管理和控制。瘦 AP 在安装时不需要人工配置,由无线 AC 统一配置,自动下发。瘦 AP 与无线 AC 自动关联,支持无缝漫游。基于无线 AC 的无线局域网,采用无线 AC 加瘦 AP (Fit AP) 覆盖模式,无线 AC 支持下发配置、射频智能管理、接入安全控制。

4.167 无线接入网桥 (wireless access bridge)

采用无线方式将局域网连接起来的网桥。无线接入网桥工作在 5.8 GHz 免授权频段 (5.725 ~ 5.850 GHz),可稳定提供最高不低于百兆的网络传输速率,支持点对点、点对多点的网络结构,可将分布于不同地点和不同建筑物之间的局域网连接起来,构建全 IP 的无线宽带接入网络。由于 5.8 GHz 使用场合较多,因此对于这个频段的使用和规划,除考虑系统本身的技术问题外,还要对当地的空中无线电进行测试,以免产生强烈的干扰。无线接入网桥技术没有统一的标准,业界通常采用基于 802.11a/n 标准的无线局域网技术,有的也采用 OFDM/TDMA 技术。

4.168 无线局域网 (wireless local area network)

以无线方式构成的局域网,简称 WLAN。

WLAN 工作于 2.4 GHz 或 5 GHz 频段,速率可达数十兆比特每秒,一般只涉及空中接口的物理层和媒体接入控制层。WLAN 互联接口标准主要有 IEEE 802.11、802.11a/b/g/n 和欧洲的 RES10、HIPER LAN/1/2 等。物理接口可采用直接序列扩频、跳频、红外接口等。节点可分为固定式和漫游式两类,以满足固定终端和手持终端通信的要求。WLAN 的配置结构分为独立网络和基础设施网络。独立网络只有一个基本服务群 (BSS),各移动站可彼此通信。基础设施网络是一种接入型扩展服务网络,由两个以上基本服务群组成。WLAN 的产品中有用于移动台的无线网卡,用于基站的无线接入点、无线网桥等。

IEEE 802.11x 标准是现在无线局域网的主流标准,空中接口采用载波侦听多路访问/碰撞避免 (CSMA/CA) 技术实现共享媒质接入控制,IEEE 802.11 对应的 ISO 标准是 ISO/IEC 8802-11,该标准定义了无线局域网的 MAC 层和物理层规范。

4.169 无线通信 (wireless communication)

利用电磁波的辐射和空间传播,经由空间传送信息的通信方式。电磁波以光速向四周辐射,以直线形式在均匀介质中传播,遇到不同介质或障碍物会产生反射、吸收、折射、绕射或极化偏转等现象。一般把频率低于 3000 GHz 的电磁波称为无线电波,高于 3000 GHz 的电磁波称为光波。因此无线通信分为无线电通信和无线光通信。

按所用的无线电波波段划分,无线电通信分为甚长波通信、长波通信、中波通信、短波通信、超短波通信和微波通信、毫米波通信等;按用户是否移动,可分为固定通信和移动通信;按接力站是否在地面,可分为卫星(中继)通信和地面(中继)通信。无线电通信不需要有线线路,避免了所有有线电通信的固有缺点,使用机动灵活,但缺点是通信内容容易被窃取,通信质量易受外界干扰等。

按所用的光波波段划分,无线光通信分为红外线通信、可见光通信、紫外线通信、射线通信。目前应用最多的是以激光为载波的可见光通信,因此无线光通信通常指无线可见激光通信。根据激光是否在大气层内传播,无线激光通信分为大气激光通信和自由空间激光通信:部分或全部在大气层内传播的通信称为大气激光通信,仅在大气层外传播的通信称为自由空间激光通信。无线光通信的通信容量大,但波束窄,收发天线对准困难,在雨、雪、云、雾等

气象条件下衰减很大,甚至无法工作。

4.170 无线网络控制器 (radio network controller)

在通用移动通信系统(UMTS)网络中负责控制通用陆地无线接入网络(UTRAN)无线资源的网元,简称RNC。RNC是无线接入网络的组成部分,位于基站(NodeB)与移动交换控制中心(MSC)之间,通过Iu-b接口与NodeB对接,通过Iu-CS接口与MSC对接。RNC主要承担无线资源管理、用户终端(UE)接入控制、宏分集合并、功率控制、切换控制、话务统计等功能。在实际组网中,一个RNC可以对一个或多个NodeB进行管理和控制。

4.171 无线应用协议(wireless application protocol)

用于移动因特网的网络通信协议,简称WAP。WAP的目标是将固定因特网的信息及业务引入到移动电话等无线终端之中。WAP定义可通用的平台,把目前固定因特网上用HTML语言描述的信息转换成用无线标记语言(WML)描述的信息,并显示在移动电话的显示屏上。WAP只要求移动电话和WAP代理服务器的支持,而不要求现有的移动通信网络协议做任何改动,因而可以广泛应用于GSM、CDMA、3G等多种移动通信网络中。

4.172 线天线(wire antenna)

由线直径远小于工作波长和天线长度的金属导线构成的天线。线天线的类型很多,常用的有偶极天线、单极天线、八木天线、笼形天线、对数周期天线、螺旋天线、鱼骨天线、菱形天线、蝙蝠翼天线等。主要用于长波、中波、短波和超短波波段内的无线电通信。用以描述方向特性要求的电气参数有方向性图、波瓣宽度、方向性系数等;用以描述匹配和损耗特性的电气参数有输入阻抗、驻波比、效率等;描述其他性能的电气参数还有频带宽度、极化型式、等效长度、等效面积等。

4.173 相关带宽(coherence bandwidth)

在信号无频率选择性衰落的前提下,无线多径信道所允许的最大信号带宽,又称相干带宽。它在数值上大致等于信道最大多径时延展宽的倒数。当信号带宽小于相关带宽时,信道对信号各个频率分量的衰落具有很强的幅度相关性,即对各个频率分量进行一致的衰落。当信号的带宽大于相关带宽

时,信道对各个频率分量的衰落呈现出不相关性,即对各个频率分量进行不一致的衰落,因此将产生频率选择性衰落,引起严重的码间干扰。

4.174 协作分集(cooperative diversity)

多个拥有独立天线的无线节点协作实现空间分集的方法。其基本思想是在无线接收端将直传信号(来自源节点)和中继信号(来自中继节点)均作为有用信号,进行合并解码。中继节点对来自源节点信号的处理和转发方式有放大转发、解码转发以及压缩转发等。

4.175 协作无线通信(cooperative wireless communication)

无线通信系统中,通过节点的部分资源共享实现系统容量或节点容量最大化的方法。常用方案有协同编码、协同调制、协同空时码、协作多点传输等。协作无线通信技术融合了分集技术与中继传输技术,在不增加天线数量的基础上,可在传统通信网中实现并获得多天线与多条传输的增益。协作通信在无线通信系统中有多种应用,主要有固定中继的协作通信和用户终端间的协作通信两种方式。考虑到移动终端只配置1~2根天线,为了保证天线数受限的终端用户也能获得(MIMO)增益,提出了协作MIMO的概念,又称协作多点传输技术(CoMP)。另外,在多跳无线网络中,为提高传输速率,提出了多用户协作分集即多个用户相互协作从而实现类似MIMO的传输效果。

4.176 信纳德(signal plus noise plus distortion to noise plus distortion ratio)

衡量无线电接收机输出信号质量的技术指标之一,又称信纳比和信杂比,简称SINAD,单位为dB。无线电收信机输出端输出的信号中包含有用信号、噪声和失真。设有用信号功率为 S ,噪声功率为 N ,失真功率为 D ,则 $SINAD = 10 \lg[(S+N+D)/(N+D)]$ 。SINAD考虑了谐波失真的影响,因此比信噪比更能准确反映接收机输出信号的质量。

4.177 一点多址微波通信系统(point to multipoint access microwave communication system)

采用多址技术实现一点对多点通信的微波通信系统,又称一点对多点微波通信系统,无线电用户集中器,简称一点多址微波,一点多址。系统由中央

站、中继站以及若干用户站组成。当用户站与中央站的距离太远时,中间可设中继站。中心站、中继站和用户站可组成辐射型、分支型和直线型网络结构。各个用户站到中央站的上行传输采用时分多址或频分多址方式,中央站到用户站的下行传输采用时分复用或频分复用方式。中央站和中继站采用全向天线,用户站采用定向天线。国家无线电管理委员会规定,一点多址微波通信系统有 1.5 GHz 频段(1427~1525 MHz)、2.4 GHz 频段(2300~2500 MHz)和 2.6 GHz 频段(2500~2695 MHz)。在试验任务中,一点多址用作多个分散的测量点位到本地中心的数据、语音、图像传输。

4.178 移动交换中心 (mobile switching center)

移动通信系统网络子系统中的核心设备,又称移动电话交换局,简称 MSC。MSC 是 2G 移动通信系统的核心网元之一,控制所有基站控制器(BSC)的业务,提供移动通信系统各个功能实体之间的接口以及与固网连接的接口,为移动用户提供移动性管理和交换功能,以及路由、呼叫控制和计费功能,并实现移动用户与移动用户、移动用户与固定用户之间的互连互通。MSC 从归属位置寄存器(HLR)、拜访位置寄存器(VLR)和鉴权中心(AUC)中获取用户位置登记和呼叫请求所需的全部数据,并根据最新获取的信息更新以上数据库。3GPP R4 版在核心网电路域中引入软交换技术,将 MSC 拆分为移动交换中心服务器(MSCS)和电路交换媒体网关(CS-MGW),从而实现了控制与承载分离。

4.179 移动台 (mobile station)

移动通信系统中接入网络服务的用户终端设备,简称 MS。移动台与网络之间的接口为无线空中接口。它与基站建立无线链路,并通过基站接入移动通信网,为用户提供包括语音、数据、移动多媒体等业务。移动台有手机、车载台、便携台等多种类型。移动台通常包含移动终端及用户识别模块。其中用户识别模块包含所有与用户有关的无线接口信息,也包含鉴权和加密信息。在 UMTS 移动通信系统中,移动台改称为用户设备,简称 UE。

4.180 移动台遥毙 (mobile terminal inhibit)

禁止移动台在网内使用的功能。处于遥毙状态的移动台除了通过广播信道接受激活命令外,既不能发射也不能接收。遥毙方式有两种:一种相当于

禁用,另一种不但禁用,还会将移动台的程序清除。移动网络一般通过控制器定时或不定时地发送控制命令来遥毙移动台,也可以在用户发起呼叫时,通过核对用户档案来遥毙移动台。遥毙后的移动台,可通过激活命令而解除遥毙。利用遥毙功能,可防止移动台丢失和被盗所带来的潜在危险,并能够阻止非法用户接入网络。

4.181 移动通信 (mobile communication)

通信双方或至少有一方能在移动中进行通信的方式。典型的移动通信系统一般由网络交换、基站、网络维护和移动台组成。基于用户的可移动性要求,用户接入必须采用无线通信手段。移动台与基站建立无线通信链路,接入移动网络,通过网络交换,实现与网内其他移动台的通信。当移动网和固定互联网时,移动台还能与固定用户通信。

移动通信,按照服务区域,分为大区制和小区制;按照用户容量,分为大容量、中容量和小容量;按照工作方式,分为单工制、半双工制和全双工制;按照使用地域,分为陆上、海上和空中;按照技术体制,分为蜂窝移动通信、集群移动通信、无绳电话、移动宽带接入等。蜂窝移动通信是小区制大容量全双工陆上移动通信,是应用最广泛的移动通信技术,目前已经发展到了第五代,其目标是真正实现在任何时间、任何地点、向任何人提供多种业务的通信服务。

4.182 阴影衰落 (shadow fading)

无线用户进入阴影区后导致的接收信号衰落,又称阴影效应。当无线电波在传播路径上遇到起伏的地形、高大的建筑物、森林等障碍物遮挡时,会形成电波的阴影区。当无线用户进入阴影区后,导致接收信号场强中值的缓慢变化,从而产生阴影衰落。

4.183 游牧接入 (nomadic access)

介入固定接入和移动接入之间的一种接入方式。用户可慢速移动,在不同的网络接入点接入,但不具备移动接入的跨区无缝切换功能。当用户网络接入点发生变化时,业务会被中断,须重新建立连接。

4.184 雨衰 (rain fade, rain attenuation)

无线电波在雨中传播,受雨滴的吸收和散射影响而造成的衰减。当电波波长远远大于雨滴直径时,衰减主要由雨滴吸收引起;当电波波长相对于雨滴直径逐渐缩短时,散射衰减的作用逐渐增大。工作

频率越高,雨衰就越严重。电波频率工作在 10 GHz 以下时,可忽略雨衰的影响;工作在 10 GHz 以上时,需在链路预算中分配功率储备来减少雨衰的影响。此外,雨衰大小还与穿过雨区有效距离及雨量大小有关。无线通信中,常采用位置分集、频率分集、功率控制和自适应编码等技术补偿降雨所带来的衰减。

4.185 远近效应 (near-far effect)

距离近的大功率信号淹没距离远的小功率信号的现象,又称近端对远端干扰。当基站同时接收两个不同距离移动台信号时,若两个频率相同或相近,则基站接收的远端移动台较弱信号会被近端移动台较强信号所淹没。在码分多址 (CDMA) 系统中,由于相同小区用户使用同一载波频率,因此远近效应更加显著。为克服远近效应,移动通信系统对基站和移动台采用自动功率控制的工作方式。

4.186 越区切换 (hand off)

当移动用户在通话过程中跨越服务小区时,将接入点由一个基站切换到另一个基站的过程。越区切换是为了实现移动通信的无缝覆盖,切换由系统自动完成,保证通信的连续性。在频分多址和时分多址系统中,越区切换为硬切换,移动用户从一个小区到另一个小区时需要从一个频率切换到另一个频率,切换过程能够被用户感觉到,有时甚至会掉线。在码分多址系统中,越区切换为软切换,用户在切换时会同时与两个以上的小区同时通信,直到完全切换到信号质量最好的小区。软切换不但使用户感觉不到,而且对数据传输也无影响。在码分多址系统中,移动台在扇区化小区的同一小区不同扇区之间进行的软切换称为更软切换。移动通信系统通常使用射频信号强度作为越区切换依据。越区切换的过程控制主要有 3 种。

(1) 移动台控制的越区切换。移动台连续监测当前基站和候选基站的信号强度和质量,当满足越区准则后选择具有可用业务信道的最佳候选基站,并发出越区切换请求。

(2) 网络控制的越区切换。基站测量来自移动台的信号强度和质量,当信号低于某个门限后,网络控制移动台切换至另一个基站。

(3) 移动台辅助的越区切换。移动台测量周围基站信号强度并上报原基站,网络根据测试结果判断何时切换及切换至何基站。

4.187 杂散干扰 (spurious interference)

干扰系统发射频段外的杂散发射落入到被干扰系统接收通带内造成的干扰。由于功放、混频器和滤波器等器件的非线性,发射机在远离工作频带以外很宽的范围产生无用信号发射,包括热噪声、谐波发射、寄生发射、互调产物及变频产物等,称为杂散发射。一般将落在工作频率两侧,且在工作带宽 ± 2.5 倍处或以外的发射均归为杂散发射。杂散发射落入被干扰系统接收频带内,形成杂散干扰。杂散干扰抬升了被干扰系统底噪,造成接收灵敏度下降。为减少杂散干扰,一般采取提高发射机的性能指标、改善射频滤波器的特性等措施来抑制杂散辐射强度。

4.188 正交频分多址接入 (orthogonal frequency division multiple access)

采用正交频率分割的方式划分信道,接入并识别用户的多址技术,简称 OFDMA。OFDMA 是一种宽带无线通信系统中新兴的多址技术,已成为 3GPP LTE 的下行链路的主流多址方案。其基本原理是将较宽的传输带宽划分成若干个相互正交的互不重叠的一系列子载波集,将不同的子载波集分配给不同的用户实现多址。OFDMA 将整个频带分割成许多子载波,将频率选择性衰落信道转化为若干平坦衰落子信道,从而能够有效地抵抗无线移动环境中的频率选择性衰落。OFDMA 系统可动态地把可用带宽资源分配给需要的用户,容易实现系统资源的优化利用。由于不同用户占用互不重叠的子载波集,理论上系统无多户间干扰,即无多址干扰 (MAI)。

4.189 正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplex)

子载波相互正交的多载波调制技术,简称 OFDM。其基本原理是将高速数据信号分割为 N 个并行的低速子信号,然后用 N 个子信号分别调制 N 个相互正交的子载波。正交信号可以通过在接收端采用相关技术来分开,这样可以减少子信道之间的相互干扰。每个子信道上的信号带宽小于信道的相关带宽,因此每个子信道可以视为平坦性衰落信道,无码间串扰。由于在 OFDM 系统中各个子信道的载波相互正交,子载波的频谱可部分重叠,因此可以获得较高的频谱效率。OFDM 技术适用于无线环境下的高速传输,在无线通信领域得到了广泛的应用。

4.190 直放站 (repeater)

移动通信中用以扩大基站覆盖范围的中继设备,又称转发器、中继器。直放站是基站的延伸设备,可以视为对射频信号进行透明传输的设备,主要用以解决移动区域中盲区、死角、阴影区、地铁、隧道等处的信号覆盖问题。直放站接收移动台的射频信号,经放大转发至基站;同时接收基站的射频信号,经放大转发给移动台。根据基站至直放站的信号传输方式,直放站分为光纤直放站和无线直放站,无线直放站又分为同频直放站和移频直放站。

4.191 直接序列扩频(direct sequence spread spectrum)

在发送端直接用具有高速率的伪随机序列去扩展信号的频谱,在接收端用相同的伪随机序列对接收到的扩频信号进行解扩处理的扩频系统,简称直扩, DSSS。用于扩展频谱的伪随机序列称为扩频码序列。在一般通信系统的基础上,直扩在发送端和接收端分别加入了扩频调制和解扩环节。在发送端,进行信道编码的信息数据与扩频码序列模 2 加,产生复合码序列,然后经载波调制后发送;在接收端,已调载波信号经解调后,采用同样的扩频码序列进行模 2 加,解扩还原为信息数据。为实现正确的解扩处理,必须保证收发扩频序列相同且同相,接收端必须完成扩频序列的同步捕捉和跟踪。由于解扩必须使用与直扩相同的扩频码,才能恢复出原始信息,所以扩频码可以作为地址使用,实现多址通信。DSSS 是目前应用较广泛的一种扩展频谱系统,具有抗干扰能力强、低截获、抗多径、频谱利用率高等优点,特别适合于无线移动通信应用。

4.192 智能天线 (smart antenna)

采用数字信号处理方法实现信号测向和波束成形的天线阵列,简称 SA。智能天线通过各阵元信号的幅度和相位加权来改变阵列的方向图形状,将主波束对准入射信号并自适应地实时跟踪该信号,同时将旁瓣或零陷对准干扰信号,抑制干扰信号进入接收机,达到充分高效利用移动用户信号并删除或抑制干扰信号的目的。此外,利用智能天线的波束成形,即在相同时隙,相同频率和相同地址码的情况下,信道可以用空间位置上不重叠的波束来分割,可实现空分多址。

智能天线分为多波束天线和自适应天线阵两类。多波束天线又称波束切换天线,一般由多个窄

波束天线构成。利用多个并行波束覆盖整个小区,每个波束指向固定方向。随着用户在小区中的移动,基站选择不同的波束使接收信号最强。自适应天线阵通过不同天线组合形成不同的空间定向波束,采用数字信号处理技术识别用户信号到达方向,根据用户信号的不同空间传播方向提供不同的空间信道。当用户移动时,波束随之作自适应改变,使波束中心始终指向用户方向。

目前,智能天线在通信领域主要用于移动通信,具有抗衰落、抗干扰、增加系统容量和实现移动台定位等多种功能。由于受体积和计算复杂性的限制,目前智能天线技术仅用于基站系统。

4.193 直通工作方式(direct mode operation)

在数字集群移动通信中,移动台在不受交换与管理基础设施控制的情况下相互直接进行通信的工作方式,简称 DMO。数字集群通信系统具有集群和直通两种工作方式。既能工作于集群方式,又能工作于直通方式的移动台,称为双模移动台。直通工作方式有基本方式、转发方式和网关方式 3 种。基本方式为“移动台—移动台”方式,即对讲机工作方式;转发方式为“移动台—直通转发器—移动台”方式;网关方式为“移动台—集群网关—集群网络—移动台”方式。利用转发器和集群网关可以使直通方式移动台与集群网覆盖范围内的移动台进行通信。

4.194 中波通信 (middle-wave communication)

工作频率在 300~3000 kHz(波长 1000~100 m)的无线电通信,又称中频通信。中波波段是无线电通信发展初期使用的波段之一。中波以地波和天波两种方式传播。白昼,电离层 D 层对中波吸收强烈,中波主要以地波方式传播,传播信号稳定,但传播距离较近;夜间,中波除可继续以地波方式传播外,由于电离层发生变化,D 层消失,因此电离层对中波的吸收较小,从而增加了由电离层(E 层)反射的天波传播,天波传播的传播距离较远,但不稳定。与短波通信相比,中波通信受极光、磁暴影响小。根据国际电信联盟(ITU)《国际无线电规则》的频率划分,526.5~1606.5 kHz 频段的中波频段用作调幅广播业务,广播频段以下的中波通信主要用于飞机和舰船的无线电通信及军事地下通信等,广播频段以上的中波通信除用于飞机和舰船的无线电通信外,还可用于军事上的近距离战术通信。

4.195 中国宽带无线 IP 标准工作组 (China Broadband Wireless IP Standard Group)

由国内企、事业单位自愿联合组织,经信息产业部科技司批准成立的、组织开展宽带无线 IP 领域技术标准制定和研究活动的非赢利性技术工作组织。工作组成立于 2001 年 8 月,简称 ChinaBWIPS。其主要任务是:提出宽带无线 IP 技术领域的相关标准制定、修订项目和相关标准研究课题建议;开展相关标准的起草、意见征求和审查协调等标准制定工作。中国宽带无线 IP 标准工作组致力于中国自主无线局域网安全标准及其相关标准的制定以及产业推广,具有代表国家制定宽带无线 IP 技术领域系统互联的物理层、数据链路层、IP 层等标准的职能。

4.196 自动频率控制 (automatic frequency control)

使振荡器输出信号频率自动稳定在预期的标准频率的控制方法,简称 AFC。自动频率控制电路广泛用作接收机和发射机中的自动频率微调,又称自动频率微调系统,是电子通信设备中常用的反馈控制系统。由于外界环境影响以及电路选频特性不理想,通信电子线路中振荡器的振荡频率会在工作过程中发生变化,偏离预期的标准频率,AFC 通过对振荡频率进行小范围调节,从而稳定振荡频率。如果发射机中发生振荡频率漂移,则利用 AFC 反馈控制作用,可以减少频率的变化,提高频率稳定度;在超外差接收机中,依靠 AFC 系统的反馈调整作用,可以自动控制本振频率,使其与外来信号频率之差始终保持在中频的数值。实现自动频率控制的电路简称 AFC 环,主要由鉴频器和压控振荡器等部件构成。当频率偏离标准频率时,经鉴频器产生与其偏离的量成正比的偏差电压,控制压控振荡器的输出频率,逼近标准频率。经过 AFC 环反复循环调节,最后达到平衡状态,从而使系统的工作频率保持稳定。在调频接收机中,为了改善调频接收的门限效应,采用类似于自动频率控制系统的调频负反馈技术构成调频负反馈解调器,用作对调频信号的解调。

4.197 自动天线调谐器 (automatic antenna tuner)

串接在发射机和天线之间,能自动调整天线阻抗使之与发射机阻抗匹配的设备。发射机的频率改

变会导致阻抗发生变化,从而产生更大的反射,使发射效率下降。自动天线调谐器能够调整天线的阻抗,进行阻抗匹配,减少反射甚至消除反射。自动天线调谐器是一个具有自动控制功能的阻抗匹配网络,一般要求调谐后的电压驻波比不大于 1.5。现在短波台站常采用免调谐性能的全频段宽带天线,不再配置自动天线调谐器,但在配置鞭天线、双极天线、笼形天线时仍需配置自动天线调谐器。

4.198 自动增益控制 (automatic gain control)

接收机根据输入信号的大小,自动调整系统的增益,使输出信号强度稳定的技术,简称 AGC。在无线通信系统中,接收机的输出电平取决于输入信号电平和接收机的增益。由于受发射功率大小、收发距离远近、信号传播衰落等各种因素影响,接收机输入信号电平会变化很大,如果维持接收机增益不变,则信号大时可能使接收机饱和,信号弱时,接收机不能正常工作,因此需采用自动增益控制电路,使接收机增益随输入信号电平变化而变化。自动增益控制电路是在输入信号电平强弱变化时,用改变增益的方法维持输出信号电平基本不变的一种反馈控制系统。对自动增益控制电路的要求是控制范围宽,信号失真小,响应时间快,不影响接收机噪声性能。自动增益控制电路采用闭环控制方法,通过检测输出信号的大小,调整系统的增益。在超外差接收机中,自动增益控制系统主要应用于中频放大级,也可用于混频前的射频放大级。

4.199 自适应天线 (adaptive antenna)

具有可控波束形成和自适应调零功能的天线阵列,又称自适应天线阵,自适应调零天线。自适应天线可以根据外界的电磁环境变化自动优化其辐射/接收方向图,即利用基带数字信号处理技术产生空间定向波束,使天线主波束对准用户信号到达路径,旁瓣或零陷对准干扰信号到达路径,从而抑制和消除噪声、干扰和多径的影响。自适应天线早期应用于雷达信号处理、军事抗干扰通信领域。随着移动通信技术发展,自适应天线引入移动通信领域,可以提高频谱利用率,提高通信容量和质量,是现代移动通信的关键技术之一。

4.200 自适应调制编码 (adaptive modulation and coding)

无线通信系统中跟踪无线信道质量变化自适应

选择和调整调制及编码方式的技术,简称 AMC。AMC 就是在传统无线通信系统固定调制和编码方式的基础上,引入多种编码速率和多种调制方式,根据信道质量变化自适应改变编码方式和调制方式。信道质量情况由接收机反馈得到。在一个 AMC 系统中,网络侧根据用户瞬时信道质量状况和目前资源状况,选择最合适的下行链路调制和编码方式,使用户获得尽可能高的数据吞吐率。当用户处于有利的通信位置时(如靠近基站或存在视距链路),用户会采用高阶调制和高速率的信道编码方式发送数据,如 16QAM 和 3/4 编码速率,从而得到高的峰值速率;而当用户处于不利的通信位置时(如位于小区边缘或者信道深衰落),会选取低阶调制方式和低速率的信道编码方式发送数据,如 QPSK 和 1/4 编码速率,来保证通信质量。

4.201 自由空间传输损耗 (free-space transmission loss)

无线电波在自由空间传输过程中因扩散而造成的损耗。自由空间是充满理想介质的无限空间。理想介质指均匀、各向同性、无损耗的介质,其相对介电常数 ϵ_r 和相对磁导率 μ_r 均为 1。在自由空间传播的电波不产生反射、折射、吸收和散射等现象,但因能量向空间扩散而衰耗。当电波传播路径远离地面、地物并且大气对电波传播影响可以忽略时,近似认为电波在自由空间传播。

电磁波在自由空间以球面波形式传播,电磁波能量分布在球面上,随着传播距离的增加,球面越大,单位面积的能量越小,接收到的信号越小。自由空间传播损耗与距离的平方成正比,与电磁波频率的平方成正比。通常以分贝为单位计算,即

$$L_f = 92.45 + 20\lg d + 20\lg f \quad (4-8)$$

式中: L_f ——自由空间传播损耗, dB;

d ——自由空间传播距离, km;

f ——电磁波频率, GHz。

4.202 自组织网 (self-organizing network)

提供自动安装、配置、优化、维护等功能的移动

通信网络技术,简称 SON。SON 是伴随 LTE 发展而引出的一套完整的网络理念和规范。由全球主要移动网络运营商组成的下一代移动网络联盟 (NGMN) 提出了 SON 的需求,发布了关于 SON 的建议,并通过 3GPP 进行标准化。3GPP 在发行版本 8 中定义了 SON 的概念和需求,并在后续版本中持续更新。SON 的主要目的是减少人工参与,使日常运维工作更加合理。其主要功能可以归纳为自配置、自优化和自愈。

自配置:从基站设备安装上电到用户能正常接入各环节,很少甚至无须人员干预。目标是做到即插即用,减少人工干预环节,降低对运维人员的要求,提高运维效益。

自优化:根据测量得到的网络运行状况,对网络参数进行自动调整优化,提高网络整体性能。

自愈:对系统告警和性能监测发现的网络问题,通过自检进行定位,在无人员干预的情况下消除问题影响,提高网络运行质量。

SON 关键技术包括物理小区标示 (PCI) 自动配置、覆盖和容量优化、自动邻区关系功能、负荷均衡优化、随机接入信道优化技术。

4.203 组呼 (talkgroup call)

通话组内任一用户与组内所有其他用户的一对多的通信方式。在集群移动通信中,两个或多个有业务联系的用户被划分到一个通话群组。每个群组有一个唯一标志号,用于实现组呼。当选组开关放置在该组位置上时,用户只须按下 PTT 开关即可与同组用户通话。不属该组的用户收不到该组的组呼。

4.204 阻塞干扰 (barrage jamming)

强干扰信号进入接收机使接收机前端电路非线性器件饱和所产生的干扰现象。强信号会使接收机的非线性器件进入非线性区 (饱和区),非线性失真急剧增加,造成有用信号增益降低或噪声提高,或导致接收机信噪比急剧下降。严重时,导致接收机失效,通信中断。产生阻塞干扰的外部原因是输入信号幅度过大,内部原因是接收机的线性动态范围不够。

第 5 章 IP 承载网

5.1 Access 端口 (access port)

处于接入 (Access) 工作模式的以太网端口。一个 Access 端口只能属于一个 VLAN。当交换机的 Access 端口从外部线路上接收到以太网帧时,标记上所属 VLAN 的标签 (Tag), 将其内部转发至交换机的其他端口; 当交换机的 Access 端口从交换机其他端口接收到以太网帧时, 删除帧中的 VLAN 标签, 并将其发送至外部线路。交换机一般用 Access 端口连接用户主机或路由器。

5.2 ARP 缓存表 (ARP cache table)

主机中存放的 IP 地址与 MAC 地址的映射表。ARP 表项分为动态 ARP 表项和静态 ARP 表项。动态 ARP 表项中的映射关系由 ARP 协议动态维护, 静态 ARP 表项中 IP 地址和 MAC 地址之间具有固定的映射关系, 由用户手动配置。动态 ARP 表项设有老化时间, 如果超过老化时间, 该表项未被使用, 就会被从 ARP 缓存表中删除。静态 ARP 不存在老化问题, 始终有效。静态 ARP 表项的优先级高于动态 ARP 表项。如果 ARP 表中存在某 IP 地址的动态 ARP 表项, 当手动配置同一 IP 地址的静态 ARP 表项时, 该表项将覆盖原有的动态 ARP 表项。

5.3 Console 端口 (console port)

网络设备的控制端口。Console 端口采用异步 RS-232 串口, 过去采用 DB9 接口连接器, 现在常用 RJ-45 接口连接器。Console 端口通常用于实现设备

的初始化配置或者远程控制, 一般通过外接计算机, 利用终端仿真程序, 如 Windows 操作系统中的“超级终端”对设备进行配置。路由器和交换机默认 Console 端口具有最高权限, 可执行设备的一切操作与配置。

5.4 CPU 占用率 (CPU utilization)

在规定的测量时间内, CPU 执行进程时间与该测量时间之比, 反映了网络设备 CPU 资源占用情况。当设备 CPU 占用率过高时, 设备性能下降。该参数是网络设备管理中需重点关注的指标, 在专业网管中通常需设置 CPU 占用率的告警阈值。

5.5 C-RP 通告报文 (C-RP advertisement)

候选 RP (C-RP) 将其可服务的组播地址通告给自举路由器 (BSR) 的报文。在 PIM-SM 自举机制中, C-RP 将自己的优先级、IP 地址以及可以服务的组播组地址封装在 C-RP 通告报文中, 然后以单播方式定期发送给 BSR, 其格式如图 5.1 所示。

C-RP 通告报文各字段含义如下。

PIM 版本: PIM 协议的版本号, 目前 PIM 协议的最高版本号为 2。

类型: PIM 协议报文类型, C-RP 通告报文的类型为 8。

前缀数: 报文中包含的组播地址的数量, 指 C-RP 可服务的组播地址数。

优先级: C-RP 的优先级, 最高级为 0。

有效时间: 报文内容的有效时间。从 BSR 收到

0	3 4	7 8	15 16	31
PIM版本	类型	保留字段	保留字段	
前缀数		优先级	有效时间	
RP地址				
组播地址1				
⋮				
组播地址 n				

图 5.1 C-RP 通告报文格式

报文开始计算,有效时间后失效。有效时间一般设置为 C-RP 通告周期的 2.5 倍。

RP 地址: C-RP 地址。

组播地址 1~n: C-RP 可服务的组播地址列表。

5.6 Hybrid 端口(hybrid port)

处于混合(hybrid)工作模式的以太网端口。Hybrid 端口同时具有 Access 端口和 Trunk 端口的功能,因此既可用于交换机连接主机、路由器,也可用作交换机互连。一个 Hybrid 端口可属于多个 VLAN,其中包含一个缺省 VLAN。当交换机的 Hybrid 端口从外部线路接收到以太网帧时,若没有 VLAN 标签(Tag),则标记缺省 VLAN 的标签,然后转发至交换机的相应端口;若存在标签,经验证合规后,转发至交换机的相应端口。当 Hybrid 端口从交换机内部其他端口接收到以太网帧时,若符合剥离标签条件,则删除数据帧中的标签,发送至外部线路;否则,使用原标签,发送至外部线路。

5.7 ICMP 重定向(ICMP redirect)

改变主机中非优化路由的机制。如图 5.2 所示,G1 为主机的网关,当 G1 收到一条主机发往目的地址 X 的报文时,查找路由表发现该报文的下一跳为 G2。如果 G2 与主机在同一 IP 子网,G1 将向主机发送 ICMP 重定向报文,请求主机将路由表中目

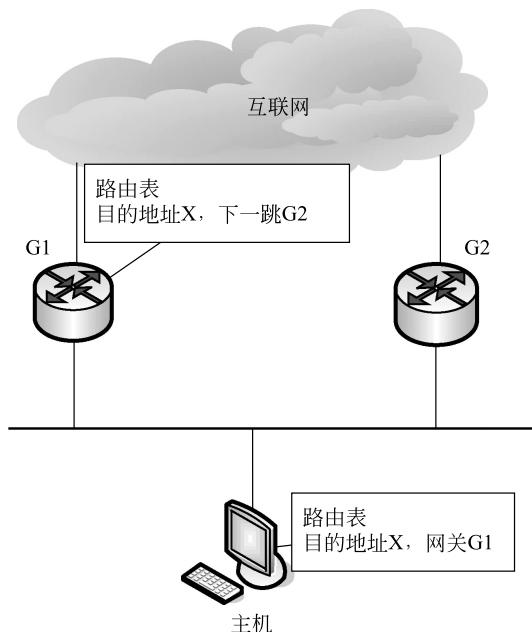


图 5.2 ICMP 重定向

的地址 X 对应的网关改为 G2。主机收到该报文后,修改路由表,完成重定向。但是,当主机发出的报文包含逐跳选项字段时,则 G1 不会向主机发送重定向报文。

ICMP 重定向报文格式如图 5.3 所示。

0	7	8	15	16	31
类型	代码		校验和		
网关地址					
IP报头+IP报文前64 bit载荷					

图 5.3 ICMP 重定向报文格式

ICMP 重定向报文各字段含义如下。

(1) 类型: ICMP 报文的类型,取值为 5。

(2) 代码: 对重定向进行分类,取值为 0~3。其中,0 表示网络重定向,1 表示主机重定向,2 表示服务类型和网络重定向,3 表示服务类型和主机重定向。

(3) 网关地址: 重定向后使用的网关地址。

(4) IP 报头+IP 报文前 64 bit 载荷: 所指的 IP 报文为主机发出的、触发重定向的 IP 报文。

5.8 IEEE 802.3x 流控(802.3x flow control)

IEEE 802.3x 规定的全双工以太网的流控方式。接收主机接收流量过大时,向组播地址 01-80-C2-00-00-01 发送暂停帧(pause 帧)。发送主机接收到该帧后,暂停发送,从而完成流量控制。

5.9 IGMP 查询路由器(IGMP querier router)

因特网组管理协议(IGMP)中向网段内主机发送组播查询报文的路由器,简称查询器。为掌握网段内组成员情况,查询路由器周期性发送组播组查询报文。当一个网段中有多个路由器时,如果都作为查询路由器会出现查询混乱的问题。IGMPv1 依靠组播路由协议,选择其中一个作为查询路由器。IGMPv2 设计了查询路由器选举机制,选举方法是:首先所有路由器都发送组播组查询报文,当一个路由器收到其他路由器的查询报文后,与发送路由器比较 IP 地址,如果对方 IP 地址小于自己的就退出,最终选举出 IP 地址最小的路由器作为查询路由器。其他路由器一直监听查询路由器的查询报文,一旦在规定时间内没有收到查询报文则认为查询路由器失效,并开始新一轮查询路由器的选举。

5.10 IGMP 窥探 (IGMP snooping)

通过侦听 IGMP 报文,在以太网交换机上建立组播 MAC 地址与端口映射关系的技术。通常情况下,以太网交换机以广播方式转发组播报文,这样非组播组成员也能收到组播报文,不但浪费了网络带宽,而且降低了组播信息的安全性。IGMP Snooping 通过侦听查询路由器和主机之间交互的 IGMP 报文,建立 MAC 层组播转发表,从而实现 MAC 层组播。MAC 层组播转发表的表项一般包括: VLAN 编号、组播 MAC 地址和出端口。出端口包括路由器端口和组成员端口,路由器端口是以太网交换机上指向路由器的端口,组成员端口是以太网交换机上指向组成员的端口。以太网交换机从某一端口收到组播报文后,根据 VLAN 编号和报文的组播 MAC 地址,查找 MAC 层组播转发表,将报文转发到除该端口外的所有出端口。若查找不到对应的转发表项,则丢弃报文或在 VLAN 内广播报文。

MAC 层组播转发表项的建立和维护方法如下:当以太网交换机从某端口侦听到 IGMP 查询报文时,则说明发往路由器的组播报文应从该端口转发,因此将该端口设置为路由器端口,并启动路由器端口老化定时器;当从某端口侦听到 IGMP 报告报文时,则说明发往组成员的组播报文应从该端口转发,因此将该端口设置为组成员端口,并启动组成员端口老化定时器。当老化定时器超时,如仍未收到相应的 IGMP 报文,则从 MAC 层组播转发表中删除该出端口。若在老化定时器超时前,收到相应的 IGMP 报文,则重置老化定时器。从某出端口收到 IGMP 离开报文时,如果设置了快速删除模式,则不再等待端口老化,立即从 MAC 层组播转发表中删除该出端口;否则只调整端口老化时间。

5.11 IGMP 协议 (internet group management protocol)

为管理组播组成员,组播查询路由器获取同一子网内组播组成员信息的协议,中文名称为因特网组管理协议。IGMP 查询路由器与主机之间的协议,通过交互 IGMP 报文,使查询路由器动态掌握子网内有无组成员,便于及时向子网内转发或停发组播报文。IGMP 报文包括查询报文、报告报文和离开报文 3 种,均封装在 IP 报文中传输,协议号为 2, TTL 值为 1。

到目前为止,IGMP 协议有 3 个版本,分别为 IGMPv1、IGMPv2 和 IGMPv3。

IGMPv1 的文档号为 RFC 1112,定义了基本的组成员查询和报告过程。查询路由器以组播方式定期发送普遍组(所有组)查询报文,组播地址为 224.0.0.1。组成员收到查询报文后,以所在组播组地址为目的地址发送报告报文。组成员在未发送报告报文前,若收到同一组播组成员的报告报文,则不再重复发送报告报文。当主机新加入某组播组时,不需等待查询报文,直接发送报告报文。组成员采用不应答查询报文的方式默默离开。IGMPv1 没有独立的查询路由器选举机制,当本地网段上有多个路由器时,由组播路由协议选举出的指定路由器 (DR) 作为查询路由器。

IGMPv2 的文档号为 RFC 2236,在 IGMPv1 的基础上增加了组成员离开主动报告、指定组查询、查询路由器选举等功能。组成员的离开采用主动报告的方式,发送组成员离开报文,目的地址为 224.0.0.2。指定组查询指,查询路由器向指定组成员发送查询消息,目的地址为被查询的组播组地址。当本地网段上有多个路由器时,IGMPv2 使用独立的查询路由器选举机制选举出 IP 地址最小的组播路由器作为查询路由器。

IGMPv3 的文档号为 RFC 3376,在 IGMPv1 和 IGMPv2 的基础上增加了组播源过滤功能,允许主机指定组播源。为此,增加了指定组和源查询报文。报告报文的地址由组成员所在组播组的地址改为 224.0.0.22。

IGMP 的 3 个版本都支持任意源组播。IGMPv3 可直接支持指定源组播,IGMPv1 和 IGMPv2 与指定源组播映射技术 (SSM-Mapping) 配合使用,也能支持指定源组播。

5.12 IP-Trunk 接口 (IP-Trunk interface)

由一个路由器上的多个 POS 接口捆绑而成的逻辑接口。捆绑在一起的每个 POS 接口称为成员接口。捆绑后,多条 POS 物理链路在逻辑上等同于一条逻辑链路,而又对上层数据传输透明。捆绑必须遵循以下规则。

(1) 物理接口的物理参数必须一致,包括接口数量、接口速率、双工方式和流控方式等。

(2) 必须保证数据的有序性。根据 IP 地址来区分数据流,将属于同一数据流的 IP 包通过同一条物理链路发送到目的地。

捆绑的目的在于增加带宽、进行负载分担、提高可靠性。在同一个 IP-Trunk 内,通过对各成员链路

配置不同的权重,可以实现流量负载分担。为提高 IP-Trunk 接口的可靠性,可以为成员接口配置备份接口,成员接口失效时自动启动备份接口。成员接口备份有组外备份和组内备份两种。使用不属于同一 IP-Trunk 的接口作为备份接口称为组外备份;使用同一 IP-Trunk 中处于 Up 状态的其他接口作为备份接口称为组内备份。

5.13 IP 包时延(IP packet transfer delay)

IP 包从发送端开始发送到接收端全部接收为止所经历的时间,简称 IPTD,单位一般为 ms。假如发送端发送 IP 包第一个比特的时刻为 t_1 ,接收端接收 IP 包最后一个比特的时刻为 t_2 ,则该包的时延为 t_2-t_1 。在网络性能测试中,一般将测试时间段内所有 IP 包时延的平均值作为测试结果。IP 包时延是 IP 网的重要技术指标,反映了传输的实时性。IP 包时延与网络拥塞状况、传输链路带宽、传输距离及 IP 包长等因素相关。网络轻载、传输链路速率高、传输距离近、IP 包小,则 IP 包时延就小。试验任务中对信息实时性要求较高,对于场区间端到端时延要求为 64 B IP 包时延不大于 400 ms。

5.14 IP 包时延抖动(IP packet delay variation)

IP 包时延相对于参考值的偏离,又称 IP 包时延变化,简称 IPDV,单位一般为 ms。参考值可选用最小包时延、平均包时延和前相邻包的包时延。在网络性能测试中,可采用下列方法计算 IP 包时延抖动值。

(1) 包时延的 99.9 百分位值上限与最小包时延之差。

(2) 最大包时延与最小包时延之差。

(3) 基于平均包时延的包时延均方差。

(4) 基于相邻包时延的包时延均方差。

IP 包时延抖动是 IP 网的重要技术指标,对上层和业务应用影响较大。如时延抖动较大时,会造成业务终端缓冲器的溢出或者读空,从而导致丢包;导致 TCP 重传定时器超过门限,频繁启动重传;传输时间信号时,会降低时间传输的精度。IP 包时延抖动主要是由 IP 网内节点排队时延的不确定性引起的,网络轻负载运行、避免拥塞可有效减小包时延抖动。试验任务中对包时延抖动要求较高,场区间端到端时延抖动要求为 64 B IP 包时延抖动不大于 50 ms。

5.15 IP 包吞吐量(IP packet throughput)

在不丢包的情况下,网络或设备在单位时间内

能够传输的 IP 包的最大数量,单位通常为包/秒(p/s)或比特/秒(b/s)。IP 包吞吐量是反映网络或设备性能的主要指标,其大小受网络带宽、设备处理能力等多种因素的限制。IETF RFC 2544《网络互联设备标准测试方法》规定了 IP 包吞吐量的测试方法:以一定的速率发送固定包长的 IP 包,如果不丢包则提高发送速率,如果丢包则降低发送速率,直至测出不丢包情况下的最大发送速率,该速率即为 IP 包吞吐量。常用二分法作为增加和降低速率的方法。标准规定吞吐量的测试结果以图表的形式表示: X 轴(行)表示帧大小, Y 轴(列)表示包频率。紧挨着图表的文字应该指出协议、数据流格式以及测试过程中使用的媒介类型。

5.16 IP 报文分片(IP packet fragmentation)

将过长的 IP 报文分割成若干较短数据包进行传输的机制。由于网络链路层发送数据帧的最大长度受最大传输单元(MTU)大小的限制,IP 层需将超过 MTU 的数据报文分割成若干小于 MTU 的报文,依次进行传输。到达目的地后再在 IP 层将数据报文重新组装。

IPv4 协议与 IPv6 协议的分片机制不同。

在 IPV4 协议中,分片在不同 MTU 网络交界处进行,由网关或源主机完成,分片的数据包可能会再次进行分片,IP 首部有 3 个字段用于分片机制:标识、标志和片偏移。16 位标识用以标识分片属于哪个原始报文,由发送端主机赋值,分片时复制到新的分片中。3 位的标志,低位置 1 时,表示本片不是最后一块;中位置 1 时,数据报文不能分片,若数据报文大于 MTU,网关会丢弃报文并向发送主机发送内容为“需分片但设置了不分片比特”的 ICMP 差错报文;高位保留。13 位的片偏移指明本片偏移原始报文开始处的位置。

在 IPV6 协议中,分片只能由源主机完成,信宿主机完成重组,中间网关不再分片。发送数据前,源主机通过路径 MTU 发现(PMTUD)确定路径上的最小 MTU。需要分片时,源主机在每个数据报文分片的报头后插入一个分片扩展头。扩展头中的标识域和片偏移域与 IPv4 报头部分相关域作用相同,但标志域只有 1 位,置 1 时,表示该片不是最后一块。引起的 ICMP 差错报文内容为“报文过大”。

5.17 IP 地址(IP address)

IP 网中用来标示主机所处位置、识别主机身份

的标识符。IPv4 协议规定的 IP 地址为 4 B 计 32 bit。书写时,字节之间用点号分开,每个字节用十进制数字表示,如 211. 12. 32. 112。IP 地址的范围为 0. 0. 0. 0~255. 255. 255. 255。每个 IP 报文头部均有源 IP 地址和目的 IP 地址字段。源 IP 地址为发送主机的 IP 地址,目的 IP 地址为接收主机的 IP 地址。发送主机发送 IP 报文时,将自己的 IP 地址和接收主机的 IP 地址填入 IP 报文头部的相应字段,IP 网根据目的 IP 地址,将 IP 报文送至接收主机。

IP 地址最初划分为网络号和主机号两部分。据此,因特网号码分配局 (IANA) 将 IP 地址分为以下 5 类。

(1) A 类 IP 地址: 第 1 个字节为网络号,第 1 个字节第 1 个比特为 0,地址范围为 0. 0. 0. 0~127. 255. 255. 255。

(2) B 类地址: 前两个字节为网络号,第 1 个字节前 2 个比特为 10,地址范围为 128. 0. 0. 0~191. 255. 255. 255。

(3) C 类地址: 前 3 个字节为网络号,第 1 个字节前 3 个比特为 110,地址范围为 192. 0. 0. 0~223. 255. 255. 255。

(4) D 类地址: 第 1 个字节前 4 个比特为 1110,地址范围为 224. 0. 0. 0~239. 255. 255. 255。D 类地址为组播地址。

(5) E 类地址: 第 1 个字节前 4 个比特为 1111,地址范围为 240. 0. 0. 0~255. 255. 255. 255。E 类地址为保留地址,一般用于实验目的。

为节约 IP 地址资源,IP 地址可进一步划分为网络号、子网号和主机号 3 部分。具体方法如图 5.4 所示,网络号保持不变,将主机号的前若干位作为子网号,剩余的仍然作为主机号。

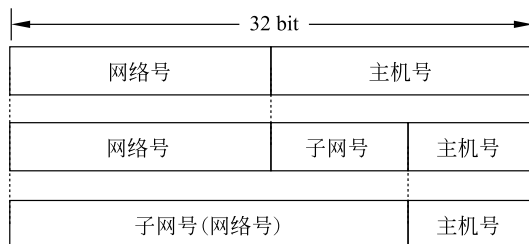


图 5.4 带子网的 IP 地址结构

子网号划分不再受制于网络号之后,网络号和子网号合二为一,称为子网号或网络号。主机号为

全 0 的 IP 地址,称为子网地址或网络地址。子网号长度可变,采用子网掩码标示子网号长度。子网掩码从形式上看,仍是一个 IP 地址,但子网号部分为全 1,主机号部分为全 0。子网掩码给出了子网号和主机号的边界,将主机地址与子网掩码按位进行“与”运算,可方便地得出子网地址。

有些特殊用途的 IP 地址不能分配给主机使用,这些地址主要有以下 5 种。

(1) 网络地址。

(2) 直接广播地址: 主机号为全 1 的 IP 地址。该地址只能作为目的地址,目的地址为直接广播地址的 IP 包,在子网内被转发给所有主机。

(3) 受限广播地址: 子网号和主机号均为全 1 的地址。受限广播地址只能用作目的地址。当主机在本网内广播,而又不知道自己的网络号时,使用受限广播地址。

(4) 本网络地址: 子网号为 0 的 IP 地址,分为本网络特定主机地址和本网络本主机地址两种。主机号不为 0 时,为本网络特定主机地址,只能用作目的地址。主机号为 0 时,即全 0 地址,为本网络本主机地址,只用作源地址,一般在主机不知道自己的 IP 地址时使用。

(5) 环回地址: 第 1 个字节为 127 的 IP 地址,用于主机测试用。目的地址为环回地址时,IP 包将不发送到网上,而是在离开本机的网络层后,从下层再逐层返回到本机的有关应用进程中。

在对 IP 网进行地址分配时,除对主机分配地址外,还需留出一定的地址空间为网络设备和设备的链路接口分配地址。同一条链路连接的多个设备的接口必须在同一个网段内,即地址具有相同的子网号。

IPv6 协议规定的 IP 地址长度为 16 B 计 128 bit。书写时,每两个字节之间用冒号分开,每个字节用十六进制数字表示,如 FEDC:BA98:7644:FED3:2110:1232:112A:123B。IPv6 地址分为单播地址和组播地址两大类。单播地址又分为可聚集全球地址、链路本地地址、网点本地地址和特殊地址。特殊地址包括本地单播地址、与 IPv4 的兼容地址、任意播地址等。

5.18 IP 丢包率 (IP packet loss rate)

丢失的 IP 包数与发送 IP 总包数的比值,简称丢包率。丢包率是网络服务质量的主要指标之一。丢包主要由网络拥塞和线路误码引起。线路误码导致 IP 包部分传输错误时,网络将错包整个丢弃。在

同样线路误码率条件下,包长越长,丢包概率越大。IP 包在网络中采用排队方式进行转发,当流量过大,导致排队队列溢出时,则丢弃溢出的 IP 包。因此丢包率与包长和网络流量有直接的关系。试验任务 IP 网采用了轻载设计,并要求线路误码率优于 1×10^{-6} ,以满足 64 bit 包长条件下用户端到端 1×10^{-3} 的丢包率要求。

5.19 IP 多媒体子系统 (IP multimedia subsystem)

美国朗讯公司提出的下一代网络 (NGN) 实现大融合方案的网络架构,简称 IMS。其特点是采用 SIP 协议进行端到端的呼叫控制;采用基于网关的互通方案,使核心网与接入无关。

IMS 的功能实体包括本地用户服务器 (Home Subscription Server, HSS)、呼叫会话控制功能 (Call Session Control Function, CSCF)、多媒体资源功能 (Multimedia Resource Function, MRF) 和网关功能。

HSS 在 IMS 中作为用户信息存储的数据库,主要存放用户认证信息、签约用户的特定信息、签约用户的动态信息、网络策略规则和设备标识寄存器信息,用于移动性管理和用户业务数据管理。它是一个逻辑实体,物理上可以由多个物理数据库组成。

CSCF 是 IMS 的核心部分,主要用于基于分组交换的 SIP 会话控制。在 IMS 中, CSCF 负责对用户多媒体会话进行处理,可以看作 IETF 架构中的 SIP 服务器。根据各自不同的主要功能分为代理呼叫会话控制功能 (Proxy CSCF, P-CSCF)、问询呼叫会话控制功能 (Interrogation CSCF, I-CSCF) 和服务呼叫会话控制功能 (Serving CSCF, S-CSCF)。三个功能在物理上可以分开,也可以独立。

MRF 主要完成多方呼叫与多媒体会议功能。MRF 由多媒体资源功能控制器 (Multimedia Resource Function Controller, MRFC) 和多媒体资源功能处理器 (Multimedia Resource Function Processor,

MRFP) 构成,分别用以实现媒体流的控制和承载功能。MRFC 解释从 S-CSCF 收到的 SIP 信令,并且使用媒体网关控制协议指令来控制 MRFP 完成相应的媒体流编解码、转换、混合和播放功能。

网关功能主要包括出 IMS 网关控制功能 (Breakout Gateway Control Function, BGCF)、媒体网关控制功能 (Media Gateway Control Function, MGCF)、IMS 媒体网关 (IMS Media Gateway, IMS-MGW) 和信令网关 (Signaling Gateway, SGW)。

5.20 IP 服务质量等级 (IP network QoS class)

按 IP 包端到端传输性能指标的优劣,对 IP 服务质量进行的分级,简称 QoS 等级。ITU-T Y. 1541 《基于 IP 服务的网络性能指标》中规定了 0~5 级 IP 服务质量等级 (见表 5.1)。0 级适用于实时性要求高,对抖动敏感,交互性强的业务;1 级适用于实时性要求高,对抖动敏感,交互性一般的业务;2 级适用于交互性强的数据传送业务;3 级适用于交互性一般的数据传送业务;4 级适用于对丢包率有严格要求,但对实时性无严格要求的数据传送业务;5 级适用于尽力而为的业务。

YD/T 1171—2001 《IP 网络技术要求——网络性能参数与指标》中规定了 0~4 级 IP 服务质量等级 (见表 5.2)。0 级为电信级通信服务;1 级为交互型,适用于实时交互业务,对应于 IETF 的加速转发业务;2 级为非交互型,适用于音像流和大批文件的可靠传送,对应于 IETF 的确保转发业务;3 级为不规范型,指传统的尽力而为的 IP 业务。

表 5.2 YD/T 1171—2001 规定的 IP 服务质量等级划分

传输性能指标	指标意义	IP 服务质量等级			
		0 级	1 级	2 级	3 级
IPTD	IP 包传输时延	150 ms	400 ms	1 s	未规定
IPDV	IP 包时延抖动	50 ms	50 ms	1 s	未规定

表 5.1 ITU-T 1541 规定的 IP 服务质量等级划分

传输性能指标	指标意义	IP 服务质量等级					
		0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
IPTD	IP 包传输时延	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1 s	未规定
IPDV	IP 包时延抖动	50 ms	50 ms	未规定	未规定	未规定	未规定
IPLR	IP 丢包率	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	未规定
IPER	IP 错包率	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	未规定

续表

传输性能 指标	指标意义	IP 服务质量等级			
		0 级	1 级	2 级	3 级
IPLR	IP 丢包率	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	未规定
IPER	IP 错包率	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-4}
SPR	IP 虚假包率	待定	待定	待定	待定

5.21 IP 广播 (IP broadcast)

一种点对其他所有点的数据发送方式。在广播方式中源主机仅发送一份数据,通过网络复制,发送给除源主机外的所有主机。根据广播范围可分为全网广播和子网广播。全网广播向网络的所有主机发送数据包,地址为 255. 255. 255. 255;子网广播向子网的所有主机发送数据包,地址为主机号部分全为 1 的 IP 地址。子网外部的路由器将子网广播视为单播地址,按单播方式转发。广播方式的优点是不需要路由选择,实现简单,缺点是占用大量网络资源,安全性较差。转发全网广播数据包会对网络性能造成严重的影响,因此路由器在默认情况下不转发全网广播包。

5.22 IP 路由 (IP route/routing)

路由器为 IP 包选择的转发路径。也指选择该转发路径的行为和过程。IP 包从信源主机传送到信宿主机,是由沿途路由器的“接力”转发而完成的。每一次转发,路由器根据 IP 包的目的地地址,查找路由表,选择一个出端口。

根据路由表中路由信息的生成方式,IP 路由分为直连路由、动态路由和静态路由。直连路由由路由器直接生成,其目的网段为与路由器直接连接的子网。动态路由由网络运行的路由协议自动发现、生成和维护,随网络结构和状态的变化而变化。静态路由由人工配置生成,当网络结构和状态发生变化时,静态路由无法自动调整,需由人工重新配置。

试验任务 IP 网的城域网和局域网采用动态路由,广域网因其结构较少调整而采用了静态路由。为了保障广域网的可靠性,利用双向转发检测 (BFD) 技术来检测静态路由所在链路的状态,以实现广域网静态路由的快速切换。

5.23 《IP 网络技术要求——网络性能参数与指标》(IP Network Specification—Network Performance Parameters and Objectives)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1171—2001,2001 年 12 月 11 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2001 年 12 月 11 日起实施。该标准规定了支持 IPv4 的 IP 网络性能参数和临时指标,以及对每个网络段应该提供的性能指标的要求。本标准适用于具有一个或多个网络段的端到端路径,所定义的 QoS 类型适用于终端用户与网络服务提供商之间以及网络服务提供商之间的 IP 网通信,可作为 IP 网络规划、工程设计、运行维护以及相应设备的引进、开发的技术依据。

5.24 《IP 网络技术要求——网络性能测试方法》(IP Network Technical Requirements—Network Performance Testing Methods)

中华人民共和国通信行业标准之一,标准代号为 YD/T 1381—2005,2005 年 9 月 1 日,中华人民共和国信息产业部发布,自 2005 年 12 月 1 日起实施。该标准规定了 IP 网络性能测量方法,包括单体测量,抽样测量,测量方法中的单位要求、时钟要求、安全性要求、不确定性和误差分析、结果的统计方法等,并规定了 IP 可用性、IP 包传输时延、IP 包时延变化、IP 包丢失率、IP 包误差率、路径吞吐量、IP 包错序等具体性能参数的测量方法,同时列举了部分测量样例。该标准适用于 IPv4 网络性能的测量。

5.25 IP 协议 (internet protocol)

RFC 791 和 RFC 2460 规定的网际互联协议,是 TCP/IP 协议簇的核心协议。RFC 791 规定的是 IPv4 版本,RFC 2460 规定的是 IPv6 版本。

IPv4 协议报文格式见图 5.5。

IPv4 报文由首部和数据组成,其中首部长度是 4 B (32 bit) 的整数倍,各字段的用途如下。

版本:表示标识 IP 协议的版本号,IPv4 的版本号即为 4。

首部长度:长度单位是 4 B (32 bit),最小值为 5,表示首部长度为 20 B;最大值为 15,表示首部长度为 60 B。无可选项时,首部长度固定为 20 B。

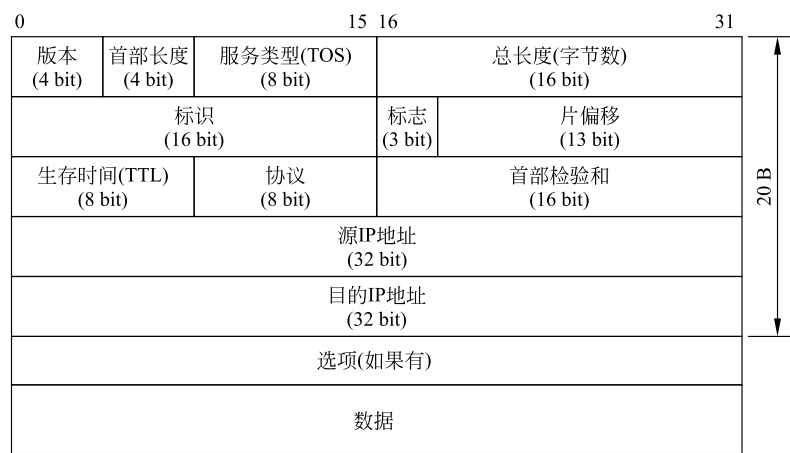


图 5.5 IPv4 报文格式

服务类型(TOS)：用来表明服务质量。字段包含一个 3 bit 的优先级字段、一个 4 bit 的服务类型字段和一个 1 bit 保留位。

总长度：表示 IP 首部与数据部分合起来的总字节数。

标识：用于分片重组。同一个 IP 报文的所有分片标识值相同。

标志：首位不用,中位置 1 时,数据报文不能分片,低位置 1 时,表示本片不是最后一片。

片偏移：用来标识该分片在未分片原始报文中的位置,单位是 8 B。第一个分片对应的位置为 0。

生存时间：它最初的意思是以 s 为单位记录当前包在网络上应该生存的期限。在实际中指 IP 报文在网络层可以被转发的最大次数。

协议：表示数据部分所使用的协议。

首部校验和：用于校验 IP 首部。

源 IP 地址：表示发送端 IP 地址。

目的 IP 地址：表示接收端 IP 地址。

选项：长度可变,很少使用。该字段定义了安全级别、源路径、路径记录、时间戳等信息。当选项字段不是 32 bit 的整数倍时,用“0”填充。

数据：IP 数据报文的载荷。

IPv6 协议数据报文格式见图 5.6。

版本：IPv6 的版本号即为 6。

流类别：相当于 IPv4 的 TOS 字段。

流标号：用于服务质量(QoS)控制。

有效载荷长度：表示数据部分的长度,不含首部。

下一个首部：相当于 IPv4 的协议字段。通常表示数据属于什么协议。在有 IPv6 扩展首部的情

况下,该字段表示后面第一个扩展首部的协议类型。

跳数限制：相当于 IPv4 的 TTL 字段。

源 IP 地址：表示发送端 IP 地址。

目的 IP 地址：表示接收端 IP 地址。

IPv6 扩展首部：IPv6 将 IPv4 选项扩展成了扩展首部,位于 IPv6 首部和高层协议首部之间,长度任意,是 8 B 的倍数。每个扩展首部都实现一些可选特性。可以包含扩展首部协议以及下一个扩展首部字段。

相比于 IPv4、IPv6 所引入的主要变化如下。

- (1) 更大的地址空间,提供了足够的 IP 地址。
- (2) 多等级层次的地址结构,有利于路由的聚合。
- (3) 更规整的包头结构,有利于提高路由效率。
- (4) 支持即插即用(自动配置)。
- (5) 增加流标记字段提供流量区分,为 QoS 提供方便。
- (6) 扩展首部代替了 IPv4 的选项字段,具有更大的灵活性。

5.26 IP 业务可用性百分比 (percent IP service availability)

IP 业务可用时间占总时间的百分比,简称 PIA。PIA 是评价 IP 网端到端传输的主要技术指标,其测量方法为：把测量时间分为若干个等长的时间间隔,若一个时间间隔内的丢包率满足业务要求,则该时间间隔记为可用时间间隔,否则记为不可用时间间隔。PIA 等于可用时间间隔数占总时间间隔数的百分比。



图 5.6 IPv6 报文格式

5.27 IP 优先级(IP precedence)

RFC 1349 规定的用 IP 包头 ToS 字段低 3 位表示的优先级。用于对 IP 包进行区分服务。IP 优先级的取值见表 5.3。IP 优先级的数值越大,优先级越高。通常,用于网络控制的 IP 包使用优先级 6 和 7,用于用户业务的 IP 包使用优先级 0~5。

表 5.3 IP 优先级的取值

IP 优先级 (十进制)	IP 优先级 (二进制 $b_2b_1b_0$)	用途
0	000	普通(routine)
1	001	优先(priority)
2	010	实时(immediate)
3	011	闪速(flash)
4	100	疾速(flash override)
5	101	关键(critical)
6	110	网间控制(internetwork control)
7	111	网络控制(network control)

5.28 MAC 地址(MAC address)

用来标示以太网主机的一组 6 B 数字。MAC 地址用如下格式的十六进制数字表示: XX-XX-XX-XX-XX-XX,如 2F-37-F6-00-23-4D。MAC 地址存储在以太网主机网卡的只读存储器中。为保证 MAC 地址的全球唯一性,电气与电子工程师协会(IEEE)负责 MAC 地址的分配,并将前 3 个字节分配给网卡的生产厂家,如分配给思科的为 00-00-0C;后 3 个字节由网卡生产厂家自行决定。在每个以太网帧中,均包括源 MAC 地址和目的 MAC 地址字段。源 MAC 地址为发送主机的 MAC 地址,目的 MAC 地址为接收主机的 MAC 地址。发送主机发送 MAC 帧时,将自己的 MAC 地址和接收主机的 MAC 地址填入以太网帧,以太网根据目的 MAC 地址,将 MAC 帧送至接收主机,并据此知道发送主机的 MAC 地址及其位置。接收主机依据以太网帧中的目的 MAC 地址,判断自己是否为该帧的真正接收者。全“1”的 MAC 地址为广播 MAC 地址,只能用作目的 MAC 地址,此时接收者为除发送主机外的全部主机。

5.29 MAC 地址表 (MAC address table)

指导以太网交换机进行数据帧转发的 MAC 地址与出端口对应表。MAC 地址表项包括 MAC 地址、VLAN 编号、对应的出端口以及表项类型。交换机根据数据帧目的 MAC 地址,查找 MAC 地址表,获取出端口,然后将该数据帧从获取的出端口转发出去。

MAC 地址表项类型分为动态表项、静态表项和黑洞表项。动态表项通过 MAC 地址学习的方式自动建立和维护;静态表项由用户手动配置;黑洞表项是一种特殊的静态表项,由用户手动配置,用于丢弃数据帧;当数据帧的源 MAC 地址或目的 MAC 地址为黑洞表项中 MAC 地址时,交换机便将该帧丢弃。

5.30 MAC 地址学习 (MAC address learning)

交换机通过解析数据帧建立 MAC 地址动态表项的过程。当交换机从某个端口接收到数据帧时,设备从数据帧中解析出源 MAC 地址和所带 VLAN 编号,从而获得 MAC 地址、VLAN 编号与该端口的对应关系,建立动态表项。如果 MAC 地址表中不存在对应的表项,则建立新表项,并将其添加到 MAC 地址表中。

5.31 Netstream 流量监测系统 (Netstream monitoring system)

基于 Netstream 协议构建的网络流量监测系统。Netstream 协议是华为及 H3C 公司制定的流量信息统计私有协议,主要根据 IP 数据报文的目的 IP 地址、源 IP 地址、目的端口号、源端口号、协议号、服务类型 (ToS) 值、输入/输出接口组成的 7 元组来统计流量信息。Netstream 系统通常包括数据输出设备 (NDE)、采集设备 (NSC) 以及数据分析设备 (NDA)。

NDE 负责对流进行采集和发送,提取符合条件的流进行统计,并将统计信息输出给 NSC。输出前也可对数据进行聚合等处理。通常,配置了 NetStream 功能的网络设备在系统中担当 NDE 角色。网络设备启用 Netstream 功能后,网络流量信息首先被存储在 Netstream 缓冲区中,每隔一段时间将流统计信息经 UDP 封装后向 NSC 发送。

NSC 负责收集和存储来自 NDE 的报文,并把统计数据收集到数据库中,以供 NDA 对统计数据进行解析。NSC 可以采集多个 NDE 设备输出的数据,并对数据进行进一步的过滤和聚合。

NDA 负责从 NSC 数据库中提取统计数据,进行进一步的加工处理,生成报表,为流量计费、网络规划、攻击监测等应用提供依据。通常,NDA 具有图形化用户界面,使用户可以方便地获取、显示和分析收集到的数据。

5.32 NULL 接口 (NULL interface)

网络设备的逻辑空接口。NULL 接口由网络设备自动创建,永远处于上线 (UP) 状态。一台网络设备只有一个 NULL 接口。任何送达 NULL 接口的报文都会被丢弃,因此可以将需要过滤掉的报文直接发送到 NULL 接口,而不必配置访问控制列表。NULL 接口主要应用在路由选择和策略路由中。

5.33 OSPF 链路状态数据库 (OSPF link-state database)

OSPF 路由器获取和保存的所在区域内链路状态信息的集合,简称 LSDB。LSDB 是数据化的网络拓扑结构,其示例如图 5.7 所示。图 5.7(b) 为图 5.7(a) 的网络拓扑结构所对应的 LSDB。图 5.7 中,R 为 OSPF 路由器,N 为以太网、帧中继网等,交叉点的数值为链路度量值。在同步链路状态信息后,所有 OSPF 路由器中的 LSDB 完全相同。OSPF 路由器利用 LSDB 可计算出到各目的网段的最短路径。

5.34 OSPF 链路状态通告 (OSPF link-state advertisement)

OSPF 路由器向其他 OSPF 路由器通告的链路状态信息,简称 LSA。LSA 按来源主要分为以下 5 种类型:1 类 LSA,又称路由器链路表项,为 OSPF 路由器对其所在区域产生的链路状态信息,涉及的链路为所在区域内其直接连接的所有链路;2 类 LSA,又称网络表项,在多路访问网络 (如以太网) 上由指定路由器 (DR) 产生,涉及的链路为该多路访问网络上所有路由器直接连接的链路;3 类 LSA,又称汇总网络链路状态表项,由区域边界路由器 (ABR) 产生,用于向其他区域通告所在区域的链路状态信息;4 类 LSA,又称汇总自治系统边界路由器 (ASBR) 链路状态表项,由 ABR 产生,用于向 ASBR 通告;5 类 LSA,又称外部表项,由 ASBR 发送,通告自治系统之外的链路状态信息。

一条 LSA 信息包含的主要内容包括 LSA 类型、链路总数、每条链路的链路信息。其中链路信息又

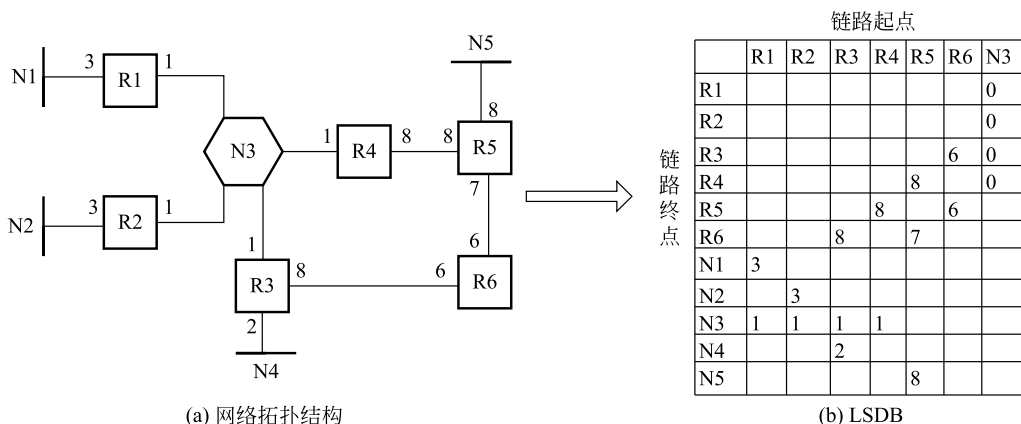


图 5.7 链路状态数据库示例

包括：

- (1) 链路类型, 见表 5.4。
- (2) 链路标示 (ID), 其值根据链路类型的不同而不同, 见表 5.4。
- (3) 链路数据, 其值根据链路类型的不同而不同, 见表 5.4。
- (4) 链路的度量值, 一般基于链路速率, 速率越高, 度量值越小。

表 5.4 链路类型、链路标示、链路数据的对应关系

链路类型	链路 ID	链路数据
点到点链路	邻居路由器的 ID	发源路由器的链路 IP 地址
转接链路	指定路由器 (DR) 到网络的链路的 IP 地址	发源路由器的链路 IP 地址
端点链路	网络地址	网络的子网掩码
虚拟链路	邻居路由器的 ID	MIB-II 接口索引值

LSA 主要通过链路状态更新报文发布, 也有少部分通过链路状态数据库描述报文、链路状态请求报文和链路状态确认报文发布。

5.35 OSPF 邻接 (OSPF adjacency)

能够交换链路状态通告信息 (LSA) 的 OSPF 邻居。在点到点、点到多点和虚链路类型的网络上, OSPF 邻居应进一步建立邻接关系。在广播型多路访问网络和非广播型多路访问网络 (NBMA) 上, 首先选取指定路由器 (DR) 和后备指定路由器 (BDR), 然后其他路由器 (DROther) 与 DR 和 BDR

建立邻接关系, DROther 之间无须建立邻接关系。

具有邻接关系的路由器交换 LSA 的过程如下。

(1) 双方协商如何交换链路状态数据库描述报文 (DD), 建立邻居关系后, 具有邻接关系的两台路由器均发送 M/S 标志位置 1 的 DD 报文宣称自己为主路由器。比较路由器标识号后, 标识号高的路由器成为主路由器; 标识号低的路由器将自己的 M/S 标志位置 0, 成为从路由器。主路由器设置 DD 报文中的起始序列号, 从路由器则把自己的 DD 序列号设置为与主路由器一致;

(2) 交换 DD 报文, 主路由器发送的每个 DD 报文, 从路由器收到后, 发送同序列号的 DD 报文进行确认;

(3) 交换 LSA, 主从路由器均从对方发来的 DD 报文中, 获取 LSA 摘要信息。若发现对方具有自己未知的 LSA, 则发送链路状态请求报文 (LSR), 对方路由器发送链路状态更新报文 (LSU) 予以响应。收到 LSU 报文后, 路由器应予以确认。确认有两种方式, 其一为显式确认, 直接向对方回送链路状态确认报文 (LSAck); 其二为隐式确认, 向所有其他邻接路由器发送包含新的 LSA 的 LSU 报文。如此, 直至交换所有的 LSA。

交换所有的 LSA 后, 邻接双方将各自的链路状态数据库 (LSDB) 更新到完全一致的状态。然后根据 LSDB, 即可计算路由。

5.36 OSPF 邻居 (OSPF neighbor)

通过 Hello 协议报文协商一致的两台 OSPF 路由器的互称。两个路由器互为邻居, 表明双方建立起了双向通信。邻居的建立过程如下: 本端路由器

定期向对端路由器发送 Hello 报文。对端路由器收到 Hello 报文后,进行 Hello 报文的参数匹配,匹配的参数主要包括区域标示号、认证类型及认证、子网掩码、Hello 间隔、死亡间隔等。匹配通过后,对端路由器将本端路由器的标示号列入其 Hello 报文中的邻居路由器字段中。当本端路由器发现对端路由器的 Hello 报文中邻居路由器字段已包含自己的标识号时,邻居关系正式形成。如果未能通过匹配,则双方不能成为邻居。因此,邻居直接相连一跳可达,但并非所有直接相连一跳可达的路由器都是邻居。

5.37 OSPF 路由器 (OSPF router)

网络中开启 OSPF 协议功能的路由器。为便于描述,OSPF 协议定义了以下几种路由器。

(1) 内部路由器 (IR): 所连接的链路全部在本区域内。

(2) 区域边界路由器 (ABR): 所连接的链路至少有一个不在本区域内,但在本自治系统内。

(3) 自治系统边界路由器 (ASBR): 所连接的链路至少有一个不在本自治系统内。

(4) 主干路由器: 所连接的链路至少有一个在主干区域内。

(5) 指定路由器 (DR): 当多路访问网络 (如以太网) 连接多个路由器时,通过选举指定其中一个作为链路状态通告路由器,该路由器称为指定路由器。作为指定路由器备份的路由器,称为后备指定路由器 (BDR)。其余路由器称为 DROther 路由器。

5.38 OSPF 区域 (OSPF area)

具有相同链路状态数据库的 OSPF 路由器及其相互连接的链路的集合。一个 OSPF 实例所覆盖的范围称为 OSPF 自治系统。当一个 OSPF 自治系统过大时,OSPF 路由器链路状态数据库容量过大、路由计算量大、收敛慢,且网中出现大量 OSPF 协议报文泛洪,使网络负载加重。因此,需要将大型的 OSPF 自治系统划分为若干区域。在区域内,OSPF 路由器只保存本区域内链路的状态信息。每个区域用一个 32 bit 的区域标识符进行识别。OSPF 区域有以下几种类型。

(1) 主干区域: 主干区域的标识符为 0,负责转发其他区域的 OSPF 协议报文。一个 OSPF 自治系统必须且只能有一个主干区域,其他区域必须都有链路连接到主干区域。

(2) 转接区域: OSPF 协议报文可以穿越此区

域,到达另一个区域。主干区域即是一种转接区域。

(3) 存根区域: 到达外部 (其他自治系统) 目标网络的路径只有一条,支持 1~3 类链路状态通告信息。

(4) 完全存根区域: 到达外部 (其他自治系统) 目标网络和区域间目标网络的路径均只有一条,支持 1 类和 2 类链路状态通告信息。

(5) not-so-stubby (NSSA) 区域: 区域中的自治系统边界路由器传输外部链路状态通告信息,但是到其他区域的自治系统边界路由器的路径只有一条。

(6) 标准区域: 非主干区域和各种存根区域的区域,支持 1~5 类链路状态通告信息。

区域的内部路由器自身产生的链路状态信息只在本区域内泛洪。向其他区域通告本区域的链路状态信息,统一由区域边界路由器汇总后,发送给其他区域的边界路由器。向其他自治系统通告本自治系统的链路状态,统一由区域边界路由器汇总,然后发送给自治系统边界路由器,再由自治系统边界路由器发往其他自治系统。

5.39 OSPF 网络类型 (OSPF network type)

连接 OSPF 路由器的网络类型。OSPF 网络类型实质上是指连接 OSPF 路由器的链路类型。OSPF 网络类型有以下几种。

(1) 点到点网络。路由器通过一个物理接口只能连接一个路由器。路由器以组播形式发送 OSPF 协议报文,组播地址为 224. 0. 0. 5。

(2) 广播型多路访问网络。路由器通过一个物理接口可连接多个路由器,并能够通过该接口发送广播报文。路由器以组播形式发送 OSPF 协议的 Hello 报文、链路状态更新报文 (LSU) 和链路状态确认报文 (LSAck),组播地址为 224. 0. 0. 5/6;以单播形式发送链路状态数据库描述报文 (DD) 和链路状态请求报文 (LSR)。

(3) 非广播型多路访问网络 (NBMA)。路由器通过一个物理接口可连接多个路由器,但通过该接口不能发送广播报文。路由器以单播形式发送 OSPF 协议报文。

(4) 点到多点网络。没有一种网络会被缺省认为是点到多点网络,常用做法是将非全连通的 NBMA 强制改为点到多点网络。路由器以组播形式发送 OSPF 协议的 Hello 报文,组播地址为 224. 0. 0. 5;以单播形式发送其他协议报文。

(5) 虚拟链路。即隧道链路,用于通过另外一个 OSPF 自治系统,将远程区域连接到主干区域。路由器以单播形式发送 OSPF 协议报文。

5.40 OSPF 协议 (open shortest path first routing protocol)

ietf 制定的基于链路状态的域内路由协议。中文名称为开放最短路径优先路由协议。OSPF 协议以最短路径为标准选择路由,路径长度为路径上所有链路的度量值之和。链路的度量值与链路带宽成反比,也可手动配置。

OSPF 协议的基本原理是:OSPF 路由器对直接连接的链路,生成链路状态通告信息(LSA),发送给网络中的其他 OSPF 路由器。LSA 主要包含类型、标识、状态、IP 地址和度量值。每台 OSPF 路由器都会收集其他路由器发来的 LSA,所有的 LSA 信息构成了链路状态数据库(LSDB)。LSA 信息同步后,所有 OSPF 路由器的 LSDB 处于完全相同的状态。OSPF 路由器将 LSDB 转换成一张具有链路度量值的有向图,这张图真实反映了整个网络的拓扑。OSPF 路由器根据有向图计算出一棵以自己为根的最短路径树,然后依据该树生成 OSPF 路由。

随着网络规模的扩大,路由计算量增大,收敛速度变慢,为此可将一个 OSPF 自治系统划分为多个区域。路由器仅需要与其所在区域的路由器交换 LSA 信息。区域边界路由器进行路由聚合后,向其其他区域发布所在区域的路由信息。

OSPF 路由器之间通过 OSPF 协议报文交互协议信息。OSPF 协议报文直接封装在 IP 包中,协议号为 89。报文头部格式如图 5.8 所示,版本字段标识了 OSPF 协议版本号,目前版本 2(RFC 2328)用于 IPv4,版本 3(RFC 2740)用于 IPv6。类型字段标识了协议报文的类型,取值范围为 1~5,分别表示 Hello 报文、数据库描述报文(DD)、链路状态请求报文(LSR)、链路状态更新报文(LSU)和链路状态确

认报文(LSAck)。长度字段标识了包括报文头在内的协议报文总长度,单位为字节(B)。路由器标识符字段为始发该报文的路由器的标识符。域标识符字段为始发该报文的路由器所在的区域标识符。校验和字段对整个报文进行校验。认证类型字段取值为 0、1、2,分别表示不验证、简单(明文)口令验证和 MD5 验证。

OSPF 协议启动后,路由器通过组播地址 224.0.0.5 周期性发送 Hello 报文,寻找网络中可与自己交互链路状态信息的邻居路由器。Hello 报文中携带自身的路由器标识符、域标识符、发送间隔时间、邻居失效时间等信息。当域标识符、发送间隔时间、邻居失效时间等信息相互匹配时,路由器之间建立邻居关系。邻居关系确定后,路由器通过数据库描述(DD)报文、链路状态请求(LSR)报文、链路状态更新(LSU)报文完成链路状态信息交换,形成邻接关系。建立邻接关系的路由器采用路由增量更新的机制发布链路状态通告(LSA)。若网络未发生变化,路由器每隔 30 min 向邻接路由器发送 LSA 摘要信息。邻接路由器收到 LSA 摘要信息后,与 LSDB 进行比对,如果发现新的链路,则向对方请求该链路的详细信息。

OSPF 协议可支持数百台路由器组成的大规模网络,在网络拓扑结构发生变化时可立即发送更新报文,收敛速度快;OSPF 采用最短路径树算法,不会形成路由环路。由于路由信息协议(RIP)存在收敛慢、路由环路等问题,因此 OSPF 协议出现后,逐渐取代了 RIP,成为了目前应用最为广泛的域内路由协议。

5.41 PIM-DM 嫁接(PIM-DM graft)

PIM-DM 中使新出现的组播组成员快速收到组播数据的机制。当剪枝区域内出现组成员时,不必等待上游剪枝状态超时,路由器会主动向上游路由器发送嫁接协议报文,上游路由器相应发送嫁接确认报文,从而恢复到转发状态。

5.42 PIM-DM 扩散(PIM-DM flooding)

PIM-DM 中组播报文扩散到组播域内所有路由器的机制,又称为洪泛。路由器第一次收到一个组播报文后,首先根据单播路由表进行反向路径检查,若检查通过则创建对应的组播表项,然后将该组播报文向所有其他接口转发,直至扩散到所有路由器。

0	7	15	31
版本	类型	报文长度	
路由器标识符			
域标识符			
校验和		认证类型	
认证			

图 5.8 OSPF 协议报文头部格式

5.43 PIM-DM 模式 (protocol independent multicast-dense mode)

IETF RFC 3973 规定的一种协议无关组播路由协议,中文名称为协议无关组播路由协议—密集模式。“密集”是指具有组成员的子网分布密集,而不是子网内组播组成员分布密集。PIM-DM 假设网络中的大部分子网存在组播组成员,因此首先通过洪泛方式构建包括所有节点的有源树,然后对没有组播报文转发的分支进行剪枝。各被剪枝端口设置剪枝超时定时器,默认定时时间为 3 min。当定时器超时后剪枝状态又重新恢复为转发状态。当被剪分支上出现组播组成员时,使用嫁接机制主动恢复其对组播报文的转发,不用等待定时器超时,从而减少恢复转发状态所需要的时间。PIM-DM 的优点是协议机制简单,易于配置;缺点是组播流量在网络中泛滥,效率较低,占用较多路由器资源,可扩展性较差。PIM-DM 适合规模较小、具有组播组成员的子网分布密集的局域网。

5.44 PIM-SM 模式 (protocol independent multicast-sparse mode)

IETF RFC 4601 规定的一种协议无关组播路由协议。中文名称为协议无关组播路由协议—稀疏模式。“稀疏”是指具有组成员的子网分布稀疏,而不是子网内的组成员分布稀疏。PIM-SM 假设大部分子网不存在组播组成员,因此具有组播需求的各节点采用加入的方式构建以汇聚点 (RP) 为根节点的共享树。组播源所在网段的指定路由器 (DR) 向 RP 注册,建立组播源到 RP 的最短路径树。这样,组播报文从组播源出发,经 DR 转发到 RP,再经共享树转发到各组播组成员。组播组成员所在网段的 DR 发现组播源后,通过加入的方式建立以组播源为根节点的最短路径树。当组播流量超过阈值后,可由共享树切换到最短路径树。PIM-SM 的优点是报文转发效率高,占用路由表项资源少,可扩展性强,缺点是协议实现复杂,组播流量集中于 RP,对 RP 的可靠性要求高。PIM-SM 适用于组成员的子网分布稀疏的大中型网络。

5.45 PIM-SM 域 (PIM-SM domain)

在网络内运行和交互同一 PIM-SM 协议实例的封闭区域。PIM-SM 域内路由器在拓扑上具有连通性。PIM-SM 域内有且仅有一个 RP。在实际网络

中,PIM-SM 域可通过静态配置法和动态配置法划分。PIM-SM 域在网络内不允许有交叉重叠。PIM-SM 域的划分可以在一定程度上解决网络超过一定规模后 RP 负担过重的问题。由于 PIM-SM 协议要求全网只能有一个 RP,因此 PIM-SM 域间组播需要运行组播源发现协议 (MSDP)。

5.46 PIM 协议 (protocol independent multicast)

一种根据单播路由表创建组播路由的域内组播路由协议,中文名称为协议无关组播路由协议。“协议无关”是指组播路由协议与具体使用的单播路由协议无关,只与单播路由表有关。PIM 协议利用现有的单播路由信息,创建和动态维护组播分发树、组播路由表项。PIM 协议报文主要有以下类型:邻居发现、注册、停止注册、加入/剪枝、自举、仲裁、嫁接、嫁接确认、候选 RP 通告。其中,注册、停止注册、嫁接、嫁接确认、候选 RP 通告报文采用单播方式发送,邻居发现、加入/剪枝、自举、仲裁报文采用组播方式向邻居路由器发送,组播地址为 224.0.0.13, TTL 值为 1。根据组播分发树生成机制的不同,PIM 协议分为密集模式 (PIM-DM) 和稀疏模式 (PIM-SM) 两种。

5.47 PIM 仲裁 (PIM assert)

PIM 协议中避免组播包重复转发的机制,又称 PIM 断言。在图 5.9 所示的网络中,组播路由器 A、B、C 和 D 通过一个二层以太网交换机相连。组播路由器 A、B、C 都会向组播路由器 D 转发组播报文,组播路由器 D 会收到三份相同的组播报文。

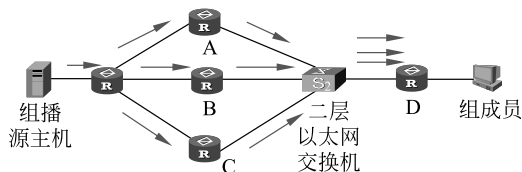


图 5.9 组播报文重复接收问题

PIM 仲裁基本原理是:组播路由器 A、B、C 均以组播方式发送仲裁报文。该报文中包含发送者的度量优先级和度量值等信息。邻居收到仲裁报文后,比较度量优先级,优先级高者胜出;度量优先级相同者比较度量值,度量值高者胜出;若仍相同,则进一步比较 IP 地址,地址最大者胜出。胜出路由器负责组播报文转发,落选路由器停止向下游转发组

播报文。路由器 D 根据收到的仲裁报文,判断出仲裁胜出者,并将其对应的接口确定为组播路由表项的入接口。

5.48 Ping 命令 (packet internet groper)

通过 ICMP 回送请求报文来检测指定主机可达性的命令。通过 ping 命令可以检查远程设备是否可用、与远程主机通信的往返传输时延以及丢包情况。Windows 操作系统中完整的 ping 命令语法格式为: ping [-t] [-a source ip] [-n count] [-l length] [-f] [-i ttl] [-v tos] [-r count] [-s count] [-j host-list] [-k host-list] [-w timeout] destination-list。

常用的参数定义如下。

-t: 表明源主机不停运行 ping 命令,直到按下 Control-C 进行中断。

-a source ip: 指定 ICMP 回送请求报文的源 IP 地址。

-n count: 每次 ping 测试发出的 ICMP 回送请求报文的数目,取值范围为 1~4 294 967 295。

-l length: 每个测试包的大小,缺省值为 32 B。

-f: 表明测试数据包在发送过程中不要分段处理。

-r count: 要求测试报文记录经过的路由,缺省情况下不记录路由。

destination-list: 被测试主机的主机名或 IP 地址列表。

源主机将 ping 命令转换为 ICMP 回送请求报文向目的主机发送,然后等待应答,当该报文到达目的主机后,在一个有效的时间内返回 ICMP 回送应答报文给源主机,说明目的地可达;如果在有效时间内源主机没有收到 ICMP 回送应答报文,则认为目的地不可达,并返回超时信息;如果报文在转发的过程中 TTL 值减为 0,则报文到达的路由器会向源主机发送 ICMP 超时报文,说明目的地不可达;如果某个中间经过的路由器没有到达目的网络的路由,便会向源主机返回一条 ICMP 目的地不可达报文,说明目的地不可达。

5.49 POS 接口 (interface of packet over SDH)

路由器上将 IP 包封装在 PPP 包或 HDLC 包再映射到 SDH 净荷区的 SDH 接口。POS 接口封装协议主要有点对点协议/高级数据链路控制规程 (PPP/HDLC)、SDH 上的链路接入协议 (LAPS) 和通

用封装协议 (GFP) 3 种。

(1) PPP/HDLC 协议

PPP/HDLC 协议将 IP 数据包通过 PPP 进行分组,然后使用 HDLC 协议根据 RFC 1662 规范对 PPP 分组进行定界装帧,最后将其映射到基于字节的 SDH 虚容器中,再加上相应的开销置入 STM-N 帧中。

(2) LAPS 协议

LAPS 协议是 HDLC 协议族的一种,与 PPP/HDLC 协议有很多相似之处,但 LAPS 信息部分取消了协议字节和填充字节。协议字节的功能移至地址字节。因此,LAPS 协议比 PPP/HDLC 协议更加简单方便,封装效率更高。

(3) GFP 协议

GFP 协议是由 ITU-T G. 7041 标准化的一种面向无连接的数据链路层封装协议,能灵活支持现在和将来的各种数据协议的传送。GFP 协议的基本思想来源于简单数据链路,它为高层客户信息适配到字节同步的物理传输通道提供了一种通用机制。GFP 封装的高层客户信号可以是面向协议数据单元 (PDU) 的数据流,也可以是面向块编码的固定比特速率数据流。

POS 接口的物理层为 SDH 接口,接口速率主要有 155 Mb/s、622 Mb/s、2.5 Gb/s、10 Gb/s 等。POS 接口支持主和从两种时钟模式。选择哪种时钟模式应根据连接的对端设备类型而定。当两台路由器的 POS 接口直接相连或通过波分复用设备相连时,应配置一端使用主时钟模式,另一端使用从时钟模式;当路由器的 POS 接口与 SDH 设备连接时,路由器的 POS 接口时钟应设为从时钟模式。

5.50 PPPoE (point-to-point protocol over ethernet)

在以太网上运行的 PPP 协议,简称 PPPoE。RFC 2516《在以太网上传送 PPP 的方法》对 PPPoE 进行了规范。

PPPoE 的工作过程分为发现和会话两个阶段。为了在以太网上建立点到点连接,每一个 PPPoE 会话必须知道通信对方的以太网地址,并建立一个唯一的会话标识符。PPPoE 通过地址发现协议查找对方的以太网地址。当某个主机希望发起一个 PPPoE 会话时,它首先通过地址发现协议来确定对方的以太网 MAC 地址并建立起一个 PPPoE 会话标识符 Session_ID。虽然 PPP 定义的是端到端的对等关系,地址发现却是一种客户端—服务器关系。在地址发现的过程中,主机作为客户端,发现某个作为服

务器的接入访问集中器 (AC) 的以太网地址。根据网络的拓扑结构,可能主机与不止一个访问集中器通信。发现阶段允许主机发现所有的访问集中器,并从中选择一个进行通信。主机和访问集中器两者都具备了在以太网上建立点到点连接所需的所有信息后,开始建立 PPPoE 会话,主机和接入访问集中器都必须为一个 PPP 虚拟接口分配资源。PPPoE 会话建立成功后,主机和接入服务器便进入正常通信状态,即会话阶段。

PPPoE 的报文封装在以太网帧内。发现阶段的以太网类型值为 0x8863,会话阶段的以太网类型值为 0x8864。

PPPoE 协议提供了一种多台主机通过以太网连接到远端接入访问集中器上的标准。在 PPPoE 网络中,所有用户的主机都要求能独立地初始化自己的 PPP 协议栈。利用以太网将大量主机组成网络,然后通过一个远端接入访问集中器接入因特网。另外,通过 PPP 协议本身所具有的一些特点,还能在以太网上对用户进行计费和管理。

5.51 PPP 密码验证协议 (PPP password authentication protocol)

IETF RFC 1994 规定的,采用两次握手机制进行 PPP 链路验证的协议,简称 PAP。PPP 链路初始建立阶段,链路双方协商是否启用 PAP。如果协商确定启用 PAP,则被验证方将用户名和密码以明文的方式发给验证方,验证方查询本地用户表验证收到的用户名及密码是否匹配,并返回验证通过与否的信息。被验证方在未收到验证方的响应前,会重复发送用户名和密码。PAP 是 PPP 基本的验证协议,优点是实现简单;缺点是密码采用明文方式传输,容易被窃听,安全性不强。

5.52 QinQ (802.1Q-in 802.1Q)

用公网 VLAN 标签封装私网 VLAN 标签的二层隧道技术。当私网 VLAN 帧进入公网时,公网入端口在源地址字段后插入公网 VLAN 标签 (见图 5.10),然后在公网内转发。当其出公网时,公网出端口删除公网 VLAN 标签,然后发送至私网。QinQ 技术不

仅将标签资源由 2¹² 个扩展到 2²⁴ 个,解决了 VLAN 标签资源不足的问题,也保证了私网数据在公网传输的安全性。

5.53 RFC 文档 (request for comments)

因特网工程任务组 (IETF) 发布的文件。RFC 文档的编号形式为“RFC 数字”,如 RFC 2544。RFC 文档包括标准型、试验型和文献历史型 3 种类型。RFC 文档发布后,其内容将保持不变。如果对其进行修改,则修改后的文档作为新的 RFC 文档发布。RFC 文档涵盖了因特网技术的各个方面,其中 IP 协议、TCP 协议、ICMP 协议、OSPF 协议等众多协议成为了事实上的国际标准,得到了广泛的应用。

5.54 RP 自举 (RP bootstrap)

PIM-SM 组播中由网络自动配置 RP 的机制。PIM-SM 组播中,PIM-SM 域内所有 PIM-SM 路由器均需知道 RP 地址,为每个 PIM-SM 路由器人工配置 RP 地址工作复杂,RP 自举机制实现了 RP 地址的自动配置。首先选择若干 PIM-SM 路由器,将其手工配置成候选自举路由器 (C-BSR) 和候选 RP (C-RP)。开始工作时,每个 C-BSR 在网络内每 60 s 扩散一次自举报文,使其他 C-BSR 都能收到该报文。自举报文中包含自己的优先级 (0~255) 和自己的 IP 地址,每个 C-BSR 根据先比较优先级再比较 IP 地址的方法,决定自己是否落选。落选者停止发送自举报文。如此,最后只剩下一个 C-BSR 还能周期性地向网络内扩散自举报文,这个 C-BSR 就变成了 BSR。BSR 周期地在网络内扩散自举报文,使所有的 PIM-SM 路由器都知道 BSR 地址。C-RP 从 BSR 自举报文中得到 BSR 地址后,将自己的优先级、IP 地址以及可以服务的组播组封装在 C-RP 通告报文中,然后以单播方式定期发送给 BSR。由 BSR 汇总、整理这些 C-RP 通告报文,定期生成 C-RP 与组播组对应关系的自举报文,PIM-SM 路由器收到这些自举报文后,依照优先级选出 RP (若优先级相同,则使用 hash 算法选出 RP),从而完成 RP 自举。

5.55 RTP 报文头压缩 (compressed RTP)

IETF RFC 2508 规定的,在低速链路上对实时

6 B	6 B	4 B	4 B	2 B	46~1500 B	4 B
目的地址	源地址	802.1q 公网标签	802.1q 私网标签	长度/类型	数据	校验字段

图 5.10 QinQ 封装

传输协议(RTP)报文的IP/UDP/RTP头部进行压缩的机制,简称CRTP。对于低速链路来说,RTP报文的IP/UDP/RTP报文头共40B,而RTP载荷一般为20~160B,因此开销较大。CRTP利用RTP报文头之间的相关性,在发送端将报文头部压缩至2~4B,然后在接收端进行解压缩,从而极大地提高了RTP报文在数据链路层的传输效率。CRTP在链路层定义了4种新的报文格式,分别用于传送未压缩报文头和压缩的IP和UDP报文头,携带压缩的RTP、UDP和IP报文头,传输已经或者可能已经失去同步的上下文标识状态。

5.56 TCP/IP 协议族 (TCP/IP protocol suite)

利用IP进行通信时所必须用到的协议群的统称。TCP/IP用来泛指这些协议,对应TCP/IP参考模型(又称为TCP/IP协议栈)的各层,完成特定的功能和应用。

TCP/IP协议族通常被认为是一个4层协议系统。协议族组成如图5.11所示。

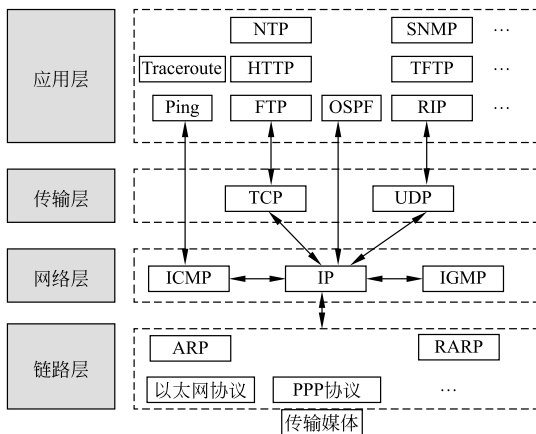


图 5.11 TCP/IP 协议族组成

链路层:包括局域网使用的以太网协议,各种广域网传输协议,如PPP协议等,还包括与IP协议紧密相关的地址解析协议(ARP)和逆向地址解析协议(RARP),ARP协议将IP地址解析成MAC地址;RARP协议通过RARP广播将MAC地址解析成IP地址。

网络层:主要包括网际互联协议(IP),负责网络层寻址、路由选择、分片及包重组;Internet控制消息协议(ICMP),是IP协议的附属协议,负责提供诊

断功能,报告IP数据包的传送错误;Internet组管理协议(IGMP),负责管理IP组播。

传输层:主要包括传输控制协议(TCP),一种面向连接的传输协议;UDP(用户数据报文),一种面向无连接的传输协议。

应用层:主要包括多种应用协议和路由协议。常用的应用协议有超文本传输协议(HTTP)、远程登录(Telnet)、文件传输协议(FTP)、简单网络管理协议(SNMP)等。常用的路由协议有OSPF、RIP等。

5.57 TCP 窗口 (TCP window)

TCP协议所使用的发送窗口、接收窗口和拥塞窗口的合称。

在TCP协议中,报文数据的每个字节都有一个序号。发送窗口的大小为在接收未确认的情况下所能发送的最大字节数。其左边界为等待确认的第一个字节的序号,右边界为可发送的最后一个字节的序号。窗口指针指向当前要发送字节的序号。随着接收方发来的接收确认序号,发送窗口向右平行移动;随着发送数据的增加,发送指针向右移动。当发送指针在窗口内时,可继续发送;超出发送窗口,则停止发送。这样,发送的每个字节不但都得到了接收方的确认,保证了数据的可靠传输,而且避免了逐字节确认带来的传输效率不高的问题。

接收窗口的大小为接收缓冲区的大小。其左边界为未提交上层的第一个字节的序号,右边界为可接收的最后一个字节的序号。窗口指针指向下一个要接收字节的序号。随着向上层不断提交数据,接收窗口向右平行移动;随着接收数据的增加,接收指针向右移动。当接收指针在窗口内时,可继续接收数据;超出接收窗口,则丢弃后续到达的数据。因此,在TCP协议中接收窗口值需要通告给发送方,以便发送方确定发送窗口的大小。

拥塞窗口大小根据网络拥塞情况动态变化,以最大报文段长度(MSS)为单位进行增减,最初为一个MSS大小。拥塞窗口与接收窗口一起决定了发送窗口的大小,发送窗口值取二者的最小值。一般情况下,接收窗口大于拥塞窗口,这样通过调整拥塞窗口可改变发送窗口,进而对TCP数据流量进行控制。

5.58 TCP 端口 (TCP port)

TCP协议实体与本地应用进程的逻辑接口。一个TCP端口分配给一个应用进程,应用进程与TCP协议实体通过该端口交互数据。TCP端口用16bit

的 TCP 端口号标示,因此从理论上讲,一个 TCP 协议实体可有 65 536 个 TCP 端口。1~1023 的端口号为知名端口号,由因特网号码管理局 (IANA) 管理,以全局方式分配给知名的网络服务,常用的知名网络服务端口号见表 5.5。1024~65 535 的端口号为临时端口号,以本地方式进行分配,由应用进程向系统申请后使用,关闭进程后端口号自动释放。在试验任务中,对重要的应用也规定了 TCP 端口号。在 TCP 报文头中,设有源端口号和目的端口号字段,用于表示该报文来自源端的哪个端口,发送给目的端的哪个端口。

表 5.5 常用的 TCP 知名端口号

端口号	服务	说明
20	FTP	文件传输服务(数据连接)
21	FTP	文件传输服务(控制连接)
23	Telnet	远程登录服务
25	SMTP	发送电子邮件
80	HTTP	超文本服务
110	POP3	接收电子邮件

5.59 TCP 慢启动(TCP slow start)

TCP 协议中逐渐增加发送数据量的拥塞控制方法。在 TCP 传输中,当发送主机不了解网络状况时,发送大流量数据,可能造成网络拥塞,形成丢包,使得 TCP 重传,降低传输效率。为此,TCP 引入了慢启动机制。慢启动在发送和接收窗口的基础上增加了一个拥塞窗口。拥塞窗口单位为字节,以最大报文段长度(MSS)为单位进行增减。发送窗口为拥塞窗口与接收窗口的最小值。一般情况下,接收窗口大于拥塞窗口,这样通过调整拥塞窗口可改变发送窗口,进而对 TCP 数据流量进行控制。

在 TCP 连接建立时,发送方将拥塞窗口大小设置为一个 MSS。慢启动开始后,每确认收到一个 MSS,拥塞窗口就增加一个 MSS,随之将发送窗口也增加一个 MSS。这样,每经过一次调整,拥塞窗口就增加一倍。为避免拥塞窗口增加过快,当达到设定的拥塞阈值时,结束慢启动,进入拥塞避免阶段。一旦发生拥塞,将拥塞阈值调整为当前拥塞窗口的一半,再次进入慢启动阶段。

5.60 TCP 粘包(TCP stick packet)

接收方接收到的多个 TCP 包粘成一包的现象。在接收缓冲区内,后一包数据的头紧接着前一包数

据的尾。

出现粘包现象的原因是多方面的,它既可能由发送方造成,也可能由接收方造成。发送方引起的粘包是由 TCP 协议本身造成的,为提高 TCP 传输效率,发送方往往要收集到足够多的数据后才发送一包数据。若连续几次发送的数据都很少,TCP 通常会根据优化算法把这些数据合成一包后一次发送出去,这样接收方就收到了粘包数据。接收方引起的粘包是由于接收方用户进程不及时接收数据,从而导致的粘包现象。这是因为接收方先把收到的数据放在系统接收缓冲区,用户进程从该缓冲区取数据,若下一包数据到达时前一包数据尚未被用户进程取走,则下一包数据放到系统接收缓冲区时就接到前一包数据之后,而用户进程根据预先设定的缓冲区大小从系统接收缓冲区取数据,这样就一次取到了多包数据。

粘包情况有两种,一种是粘在一起的包都是完整的数据包;另一种情况是粘在一起的包有不完整的包,此处假设用户接收缓冲区长度为 m 个字节。不是所有的粘包现象都需要处理,若传输的数据为不带结构的连续流数据(如文件传输),则不必把粘连的包分开(简称分包)。但在实际工程应用中,传输的数据一般为带结构的数据,这时就需要做分包处理。

在处理定长结构数据的粘包问题时,分包算法比较简单;在处理不定长结构数据的粘包问题时,分包算法就比较复杂。特别是不完整包的粘包情况,由于这种情况下一包数据内容被分在了两个连续的接收包中,因此处理起来难度较大。实际工程应用中应尽量避免出现粘包现象。为了避免粘包现象,可采取以下几种措施:一是对于发送方引起的粘包现象,用户可通过编程设置来避免,TCP 提供了强制数据立即传送的操作指令 push,TCP 软件收到该操作指令后,就立即将本段数据发送出去,而不必等待发送缓冲区满;二是对于接收方引起的粘包,可通过优化程序设计、精简接收进程工作量、提高接收进程优先级等措施,使接收方及时接收数据,从而避免出现粘包现象;三是由接收方控制,将一包数据按结构字段,分多次接收,然后合并。

5.61 TCP 全局同步(TCP global synchronization)

因网络拥塞丢弃数据包而导致多个 TCP 连接同时进入慢启动状态的现象。当网络拥塞丢弃 TCP 数据包时,导致 TCP 源端重传定时器超时,拥塞窗

口重新置为 1, 发送流量急速下降, 进入慢启动状态, 然后逐渐增加流量。如果网络中一个队列存在多个 TCP 连接的数据包且采用尾部丢弃策略, 当队列满时会丢弃新到的数据包, 导致这些 TCP 连接同时进入慢启动状态。TCP 全局同步使网络流量急剧变化, 网络平均吞吐量大幅下降。当网络中既有 TCP 流量又有 UDP 流量时, 因 UDP 流量没有窗口控制机制, 会迅速占用 TCP 流量释放的带宽, 造成 TCP 流量因没有带宽可分配而“饿死”的现象。采用随机早期检测 (RED) 或加权随机早期检测 (WRED) 策略, 可避免 TCP 全局同步。

5.62 TCP 三次握手 (three-way handshake)

TCP 建立连接所需要的三次交互过程。如图 5.12 所示, 第一次握手为客户端发送同步报文 (SYN) 到服务端。同步报文为 SYN 标识位置 1 的 TCP 报文, 发送序号为 X (X 的取值由客户端指定, 默认为 0)。第二次握手为服务端收到 SYN 报文后, 发送同步和确认报文 (SYN 和 ACK 报文)。该报文为 SYN 标识位和 ACK 标识位同时置 1 的 TCP 报文, 发送序号为 Y (Y 的取值由服务端指定, 默认为 0), 确认序号为 $X+1$ 。第三次握手为客户端收到服务端的 SYN 和 ACK 报文后, 向服务端发送确认报文。该报文为 ACK 标识位置 1 的 TCP 报文, 确认序号为 $Y+1$ 。服务端收到该确认报文后, 三次握手过程结束, TCP 连接建立。

5.63 TCP 协议 (transmission control protocol)

IETF RFC 793 规定的一种面向连接的传输层

协议, 中文名称为传输控制协议。TCP 协议工作在 IP 协议之上, 其报文格式如图 5.13 所示, 首部长度一般为 20 B。源端口号和目的端口号分别用于标识源主机和目的主机的应用进程; 序列号为本报文数据部分首字节的编号; 确认号为期望对端发送下一报文的首字节编号, 表示已正确接收此前的报文; 首部长度表示 TCP 报文首部的长度, 以 4 B 为单位; 确认标志位 (ACK) 占 1 bit, 数值为 1 时表示确认号字段有效; 同步标志位 (SYN) 占 1 bit, 数值为 1 时表示该报文为连接请求或连接请求响应报文; 终止标志位 (FIN) 占 1 bit, 数值为 1 时表示数据已发送完毕, 用于终止连接; 窗口为本报文发送端能够接收的最大未确认字节数。

TCP 工作过程包括连接建立、数据传输以及连接释放 3 个阶段。TCP 通过三次握手建立连接。设通信双方为 A 和 B。第一次握手为 A 方发送 SYN 位为 1 的连接请求报文。第二次握手为 B 方接收到请求报文后, 向 A 方发送 ACK 和 SYN 均为 1 的应答报文。第三次握手为 A 方对 B 方的应答报文进行确认, 从而完成连接建立。此外在连接建立过程中, 双方确认发送和接收的初始序列号、发送和接收窗口大小以及最大报文段长度 (MSS), 并将 MSS 作为初始报文的长度。

连接建立后, 双方开始数据传输。TCP 支持双方同时互传数据, 任一方向的数据传输过程如下。

(1) A 方设置拥塞窗口为 1 个 MSS 长度, 发送第一个 TCP 报文, 启动重传定时器, 等待 B 方应答。在重传定时器超时前, A 方若收到应答, 将拥塞窗口值增加一个 MSS 长度。A 方的发送窗口值选择本端拥塞窗口与 B 方接收窗口的小者。然后 A 方在

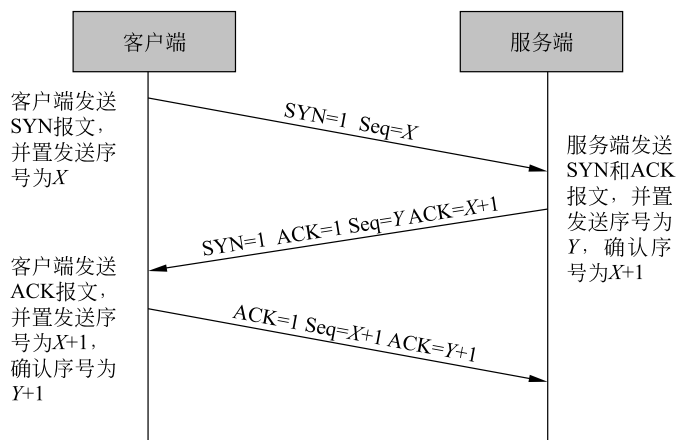


图 5.12 TCP 三次握手过程

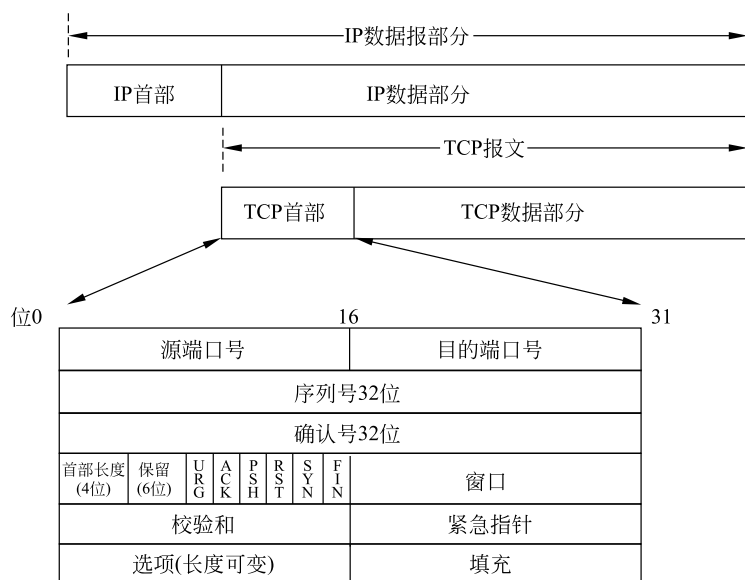


图 5.13 TCP 报文格式

发送窗口的允许范围内发送多个 TCP 报文,并等待 B 方应答。若重传定时器超时, A 方仍未收到对方应答,则重传该报文。同时, A 方的重传定时器时间增加一倍,重新启动定时器,等待 B 方应答报文;若重传定时器连续多次超时,则终止 TCP 连接。

(2) B 方收到一个或多个 TCP 报文后,适时地发送应答报文,确认已正确接收的报文以及通告本端的接收窗口。

TCP 连接释放分为正常释放和非正常终止两种。

若 A 方无数据传输,即可向 B 方发送 FIN 标志位为 1 的连接释放请求报文,启动正常释放。根据 B 方的状态,又分为以下 3 种方式。

(1) 四次握手方式: 若 B 方仍有数据传输,仅发送 ACK 为 1 的响应报文, A 方收到后,关闭 A 至 B 的连接; B 方在数据传输完成后,发送 FIN 和 ACK 均为 1 的释放请求报文,待收到 A 方响应后,关闭 B 至 A 的连接。

(2) 三次握手方式: 若 B 方无数据传输需求,则直接响应 FIN 和 ACK 均为 1 的释放请求报文,待收到 A 方响应后,关闭连接。

(3) 双方同时释放方式: 若 B 方已经发送 FIN 为 1 的连接释放请求报文,则直接发送 ACK 为 1 的响应报文; A 方收到响应报文后,关闭 A 至 B 的连接。同理, B 方关闭 B 至 A 的连接。

当拒绝连接请求、网络 and 应用程序异常以及长时间空闲时,启动 TCP 连接的非正常终止。启动方发送 RST 标志位为 1 的复位报文,对端收到复位报文后,停止数据传输,关闭连接。

TCP 协议使用确认重传、完整性校验、滑动窗口、慢启动等多种机制保障在不可靠的 IP 协议之上获取可靠的传输服务,但其实时性不如 UDP 协议,因此适用于可靠性要求较高、实时性不强的业务传输。

5.64 TELNET 协议 (TELNET protocol)

IETF RFC 854 规定的,为终端提供登录到远程计算机的应用层协议,又称远程登录协议。TELNET 的最初目的是将计算机的终端设备(键盘和显示器)通过 IP 网络延伸到异地使用。因此,TELNET 的作用就是将键盘上键入的字符传送到远程计算机,并将远程计算机的结果回送到显示器。TELNET 使用客户端/服务器模式,在 TCP 连接的基础上传递协议报文,服务器的 TCP 端口号为 23,客户端使用临时端口号。

为支持不同平台和系统的互操作性,TELNET 定义了网络虚拟终端(NVT),即数据和命令序列在网络上传输的标准表示方式。NVT 把本地的数据或命令转换成 NVT 格式在网络上传输,同时把收到的 NVT 格式的数据或命令转换成本地的数据或命

令。NVT 采用 7 bit 的 ASCII 字符集,发送时每个字符的最高位前加“0”,以 8 bit 的格式发送。7 bit 的最高位前加“1”,表示协议专用的命令字符。

此外,TELNET 还提供客户机和服务器平等协商选项的机制。选项包括回显、改变命令字符集、行方式等。选项协商的命令形式为: { IAC, 命令码, 选项码 }。其中,IAC 表示下一字节为 TELNET 控制选项,代码值为 255(0xFF);命令码一般为 TELNET 控制选项,值为 WILL、DO、WON'T 或 DON'T,其用法见表 5.6;选项码表示需要协商选项的代码。

5.65 ToS(type of service)

IP 包头的字段之一。用于标识数据包的服务类型。ToS 字段长度为 1 B,在 IP 包头中的位置和结构如图 5.14 所示。ToS 字段 0~2 位表示 IP 优先级;3~6 位表示服务类型,其取值和含义见表 5.7;最高位保留未用,一般填“0”。网络根据 IP 优先级和服务类型的取值,为数据包提供有区别的转发服务。

5.66 traceroute 命令(traceroute)

使用 ICMP 回送请求报文来获取源主机到指定主机的逐跳路由的命令,常用来检查网络连接是否可达,分析网络故障点。Windows 操作系统中完整的 traceroute 命令语法格式为:

traceroute [-a source-ip] [-d] [-h maximum-hops] [-j computer-list] [-w timeout] target_name
常用的参数定义如下。

- a: 指明 traceroute 报文的源 IP 地址。
- d: 指定不将地址解析为计算机名。
- h maximum-hops: 指定搜索目的主机的最大跳数,取值范围为 1~255,缺省值为 30。
- j host-list: 以空格隔开的多个路由器 IP 地址,最多 9 个。指定 UDP 报文沿 host-list 规定的稀疏源路由列表顺序进行转发。
- w timeout: 源主机等待每个回复的超时时间(以 ms 为单位)。

target_name: 目的主机名,一般使用 IP 地址。
IETF RFC 1393 规定了该命令的实现方法。源主机首先发送一个 TTL 为 1 的报文,目的端口为一个不可达的端口号(大于 30 000);第一跳路由器收到报文后发回一个 ICMP 超时报文,源主机根据超时报文的地址即可获得第一跳路由器的 IP 地址;源主机收到 ICMP 超时报文后将 TTL 加 1,重新发送 UDP 报文;第二跳路由器收到 UDP 报文后再返回 ICMP 超时报文,源主机获得第二跳路由器的 IP 地址。以此类推。当 UDP 报文到达目的主机时,目的主机返回 ICMP 目的地不可达报文(端口不可达)给源主机,测试结束。源主机记录每一个 ICMP 超时报文的源 IP 地址,从而分析到达目的主机所经过的路由。

表 5.6 TELNET 选项协商的含义和语法

发起方发出请求	含义	应答方应答			
		WILL	WON'T	DO	DON'T
WILL	发起方想激活选项	—	—	应答方同意	应答方不同意
WON'T	发起方想禁止选项	—	—	—	应答方必须同意
DO	发起方想让应答方激活选项	应答方同意	应答方不同意	—	—
DON'T	发起方想让应答方禁止选项	—	应答方必须同意	—	—

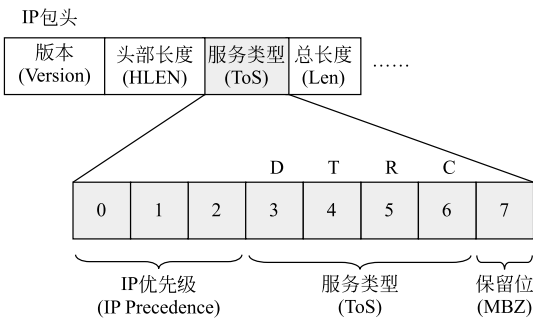


图 5.14 ToS 字段结构

表 5.7 服务类型取值及含义

ToS 取值(二进制)	含义
1000	最小化时延(D)
0100	最大化吞吐量(T)
0010	最大化可靠性(R)
0001	最小化费用开销(C)
0000	一般服务

5.67 Trunk 端口 (trunk port)

处于中继 (Trunk) 工作模式的以太网端口。一个 Trunk 端口可属于多个 VLAN,其中包含一个缺省 VLAN。当交换机的 Trunk 端口从外部线路接收到以太网帧时,若没有 VLAN 标签(Tag),则标记缺省 VLAN 的标签,并由内部转发至交换机的其他端口;若存在标签,经验证正确后,转发至交换机其他端口。当 Trunk 端口从交换机其他端口接收到以太网帧时,若帧中的标签为缺省 VLAN 的标签,则删除标签,发送至外部线路;否则经验证正确后,保留标签,发送至外部线路。Trunk 端口主要用于交换机之间的互连。

5.68 UDP 端口 (UDP port)

UDP 协议实体与本地应用进程的逻辑接口。一个 UDP 端口分配给一个应用进程,应用进程与 UDP 协议实体通过该端口交互数据。UDP 端口用 16 bit 的 UDP 端口号标示,因此从理论上讲,一个 UDP 协议实体可有 65 536 个 UDP 端口。1~1023 的端口号为知名端口号,由因特网号码管理局 (IANA) 管理,以全局方式分配给知名的网络服务,常用的知名网络服务端口号见表 5.8。1024~65 535 的端口号为临时端口号,以本地方式进行分配,由应用进程向系统申请后使用,关闭进程后端口号自动释放。在试验任务中,对重要的应用也规定了 UDP 端口号。在 UDP 报文头中,设有源端口号和目的端口号字段,用于表示该报文来自源端的哪个端口,发送给目的端的哪个端口。

表 5.8 常用的 UDP 知名端口号

端口号	服务	说明
53	DNS	域名服务
67	DHCP	动态主机配置服务
69	TFTP	简单文件传送服务
123	NTP	网络时间服务
161	SNMP	简单网络管理服务
162	SNMP	简单网络管理服务 (trap 报文)

5.69 UDP 协议 (user datagram protocol)

IETF RFC 768 规定的面向无连接的传输层协议,中文名称为用户数据报协议。UDP 协议是 TCP/IP 协议栈的重要协议,与 TCP 协议一起构成 TCP/IP 协议栈的传输层协议。UDP 协议报文由 IP 报文封装,协议号为 17,其报文格式如图 5.15 所示。

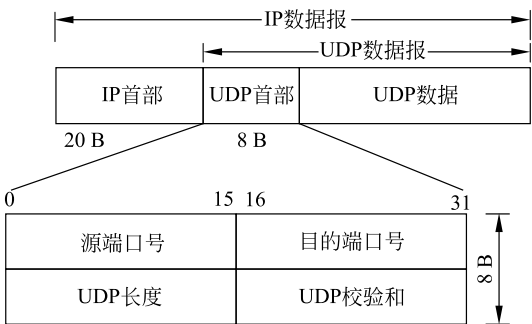


图 5.15 UDP 协议报文格式

UDP 协议报文首部长为 8 B,包括源端口、目的端口、报文长度以及校验和 4 个字段。其中源端口号和目的端口号分别用于标识源主机和目的主机的应用进程,长度字段为包括首部在内的整个报文的长度,校验和字段用于对 UDP 伪首部、首部及数据部分进行二进制反码求和校验。UDP 伪首部为 IP 首部的部分字段,包括源地址、目的地址、协议、长度等字段,共 12 个字节。

UDP 协议与 TCP 协议不同,不需要建立连接,不提供报文接收确认、错误重传及流量控制等可靠传输控制机制,但 UDP 协议简单、实时性强,在试验任务中常用于传输音频、视频以及实时性要求强的数据。

5.70 VLAN (virtual local area network)

IEEE 802.1Q 标准规定的,在物理局域网内划分的逻辑局域网,中文名称为虚拟局域网。一个物理局域网可以划分多个 VLAN,广播报文被限制在一个 VLAN 内,缩小了广播风暴的影响域,有助于提高网络运行的安全性和可靠性。同一 VLAN 内的主机间可以直接通信,不同 VLAN 间不能直接互通。当不同 VLAN 间需要互通时,需为每个 VLAN 配置 IP 网关地址,通过第三层转发实现互通。

如图 5.16 所示,VLAN 帧在以太网帧的源 MAC 地址字段和协议类型字段之间加入 4 B 标签,其中

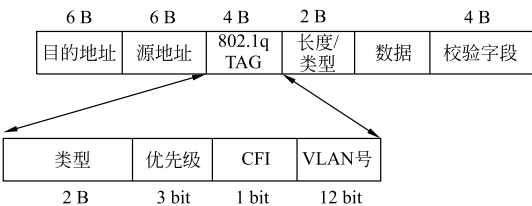


图 5.16 VLAN 帧格式

类型字段 (TPID) 为固定值 0x8100, 表明该帧为 VLAN 帧, 优先级 (PRI) 用于标示用户优先级, 规范格式指示器 (CFI) 字段在以太网中固定取 0, VLAN 号用于标示不同的 VLAN, 取值范围为 0~4095。

常用的 VLAN 划分方法包括基于端口、基于 MAC 地址以及基于 IP 地址等形式。其中基于端口划分 VLAN 是最常用的划分方法, 将交换机指定端口加入到指定的 VLAN 即可。试验任务 IP 网中采用基于端口的方法, 即将不同业务系统的用户划入不同的 VLAN。

5.71 VLAN 标签 (VLAN tag)

IEEE 802.1Q 规定的用于标记以太网帧所属 VLAN 的标签。VLAN 标签位于以太网帧的源地址字段和长度/类型字段之间, 长度为 4 个字节。其结构如图 5.17 所示, 类型字段 (TPID) 为固定值 0x8100, 表明该帧为 VLAN 帧, 优先级 (PRI) 用于标示用户优先级, 规范格式指示器 (CFI) 字段在以太网中固定取 0, VLAN 号用于标示不同的 VLAN, 取值范围为 0~4095。

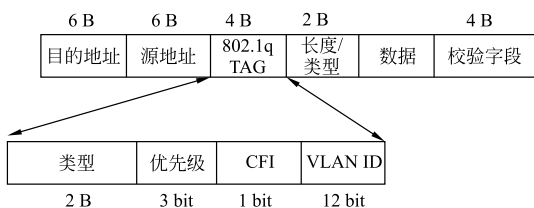


图 5.17 VLAN 标签结构

5.72 VLAN 聚合 (VLAN aggregation)

多个 VLAN 共用一个网关地址的技术。VLAN 聚合的目的是为了节省 IP 地址。被聚合的 VLAN 称为子 VLAN, 聚合后的 VLAN 称为聚合 VLAN。聚合 VLAN 单独占用一个 VLAN 号, 分配一个网关地址, 但不与具体的物理端口绑定。各个子 VLAN 没有单独的网关地址, 统一使用聚合 VLAN 的网关与其他 VLAN 及外部网络互通。为了既保持各子 VLAN 间的二层隔离, 又实现不同子 VLAN 间以及与其他网络的三层互通, 需要在聚合 VLAN 中启用地址解析协议 (ARP) 代理功能, 进行 ARP 请求和响应报文的处理。

5.73 VPN (virtual private network)

利用公用网络资源和虚拟技术建立的专用网络, 中文名称为虚拟专用网。对用户来说, VPN 提

供的服务界面与传统专网相同, 因此, 由传统专网过渡到 VPN, 一般不需要改变用户网络部分。VPN 是在公用网络上建立的一种逻辑隔离的网络, 通过隧道把异地的多个用户网络连接起来。隧道采用统计时分复用技术占用网络资源, 有效提高了网络资源的利用率。同时隧道是专用的, 非 VPN 用户无法使用隧道, 因此具有较好的安全访问控制功能。另外, 还可通过加密、用户验证等技术进一步提高 VPN 的安全性。

5.74 百兆以太网 (100 Mb/s ethernet)

端口速率可达 100 Mb/s 的以太网, 又称快速以太网, 简称 FE。百兆以太网的标准为 IEEE 802.3u, 支持全双工和半双工两种工作模式。百兆以太网是在十兆以太网的基础上发展起来的, 兼容十兆以太网。它保留了十兆以太网的帧格式、接口以及程序规则, 但改变了编码方式, 并将端口速率提高了 10 倍。在全双工模式下, 因无介质访问冲突问题, 因此不再使用 CSMA/CD 协议。根据编码方式和传输媒体不同, 百兆以太网接口分为以下 3 类。

(1) 100Base-T4: 编码方式采用 8B6T 编码, 传输线路采用 4 对 3 类音频级双绞线。

(2) 100Base-TX: 编码方式采用 4B/5B 编码和 MLT-3 编码, 传输线路采用两对 5 类非屏蔽双绞线或 1 类屏蔽双绞线。

(3) 100Base-FX: 编码方式采用 4B/5B 编码和不归零反向编码 (NRZI), 传输线路采用多模 (62.5 μm 或 125 μm) 或单模光缆, 半双工模式下, 最大传输距离为 400 m, 全双工模式下, 采用多模光缆最大传输距离为 2 km。

5.75 包数据交换协议 (packet data exchange protocol)

导弹航天试验专用的实时数据传输应用层协议, 简称 PDXP。协议传输层基于 UDP, 其应用层报文包头长度为 32 B, 具体定义如图 5.18 所示。其中任务标志 (MID) 用于标识该包数据所适用的任务, 信源 (SID) 与信宿 (DID) 地址分别用于标识信息的生成方和接收方, 数据标志码 (BID) 唯一标识应用数据包内数据域的内容, 包序号 (No.) 为端到端通信双方在某一任务中或某一任务弧段内发送的具有同一数据标志 (BID) 数据包的累计计数, 数据处理标志 (FLAG) 用于标识应用数据包的基本处理要求, 发送日期 (DATE) 和发送时标 (TIME) 为信源发

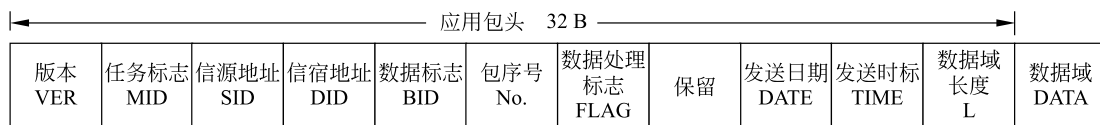


图 5.18 PDXP 应用层格式

送该包数据的时间信息,数据域长度为该应用数据包数据域的字节长度。

5.76 背板容量 (backboard capacity)

交换机背板数据总线的最大吞吐量,也称为背板带宽,单位为 Gb/s。该参数是衡量交换机性能的重要指标。交换机标称背板容量大于所有端口物理速率之和的两倍,是保证所有端口线速转发的必要条件。

5.77 背到背 (back-to-back)

IETF RFC 2544 规定的一项 IP 网络设备的测试指标,又称背对背,背靠背。此处的背到背指测试所用的 IP 包一个紧挨着一个,如同“背靠背着”一样发送出去,即测试仪线速发送测试所用的 IP 包。测试仪以线速连续发送一定数量固定长度的帧,如果丢包则减少帧数量,未丢包则增加,然后再测,直至得到最大不丢失帧的数量,即为背到背值。背到背值反映了被测设备的最大缓存容量。RFC 2544 规定,每次测试至少 2 s,至少测试 50 次。然后求出背到背的平均值。背到背结果以表格的形式呈现,表格中的行表示测试所用的帧长,列表示背到背的平均值。

5.78 背压式流控 (back-pressure based flow control)

半双工以太网的流控方式。接收主机在接收流量过大时,模拟以太网的冲突方式,反向发送信号,故意制造冲突,使发送方停止发送,从而完成流量控制。

5.79 边界路由器 (border router)

在自治系统边界上与其他自治系统交换信息的路由器,简称 BR。边界路由器与自治系统内部路由器之间使用内部网关协议,与其他自治系统的边界路由器之间使用边界网关协议。

col)

5.80 边界网关协议 (border gateway proto-

在不同自治系统的路由器之间交换路由信息的路由协议,简称 BGP 协议。IETF RFC 1771 中规定

了最新的 BGP 协议 (版本 4)。当 BGP 运行于同一自治系统内部时,被称为 IBGP;当 BGP 运行于不同自治系统之间时,被称为 EBGP。BGP 是一种外部网关协议 (EGP),与 OSPF、RIP 等内部网关协议 (IGP) 不同,其着眼点不在于发现和计算路由,而在于控制路由的传播和选择最佳路由。BGP 的目标是保证自治系统间无环路路由。运行 BGP 协议的路由器维护两张路由表,一张是存放普通路由的路由表,另一张是 BGP 路由表。BGP 通过维护路由表来实现自治系统之间的可达性。BGP 基于距离矢量路由算法,主要给出到目的地址所经过的自治系统,不关心跳数、开销度量。BGP 的每条路由都包含一条由一系列自治系统号按照一定顺序排列而成的自治系统路径 (AS_PATH),该路径标识该路由从本自治系统到达目的网络依次要经过的自治系统序列,可以简单有效地避免路由环路。BGP 在启动时向 BGP 邻居广播整个 BGP 路由表,在这之后只广播网络变化的部分以更新路由表;系统运行过程中通过接收和发送 keep-alive 消息来检测 BGP 邻居之间的连接是否正常。BGP 报文采用 TCP 协议作为传输层协议,端口号为 179。

5.81 边界网关协议多协议扩展 (multiprotocol extensions for BGP)

IETF RFC 4760 规定的,在 BGP-4 协议基础上提供多种网络层协议支持的扩展协议,简称 MP-BGP。传统的 BGP-4 只能管理 IPv4 的路由信息,对于使用其他网络层协议 (如 IPv6、组播等) 的应用,在跨自治系统传播时就受到一定限制。为了提供对多种网络层协议的支持,IETF 对 BGP-4 进行了扩展,形成 MP-BGP。

为实现对多种网络层协议的支持,MP-BGP 将网络层协议的信息反映到更新报文中,引入了两个新的路径属性。

(1) MP_REACH_NLRI: 用于发布多协议可达路由及下一跳信息。

(2) MP_UNREACH_NLRI: 用于撤销多协议不可达路由。

MP-BGP 前向兼容,对于不支持 MP-BGP 协议的 BGP 路由器,将忽略这两个属性的信息,不把它传递给其他邻居。这样,可实现支持 MP-BGP 的 BGP 路由器与不支持 MP-BGP 的 BGP 路由器之间的互通。

5.82 边缘路由器 (edge router)

边缘网使用的路由器,又称接入路由器,简称 ER。规模较大的网络一般划分为骨干网和边缘网两部分,边缘路由器负责接入和汇聚用户业务,一侧连接用户网或者用户终端,另一侧连接骨干网。与骨干路由器相比,边缘路由器的接口丰富,但容量较小,技术性能、可靠性和价格较低。

5.83 标签 (label)

标示转发等价类的比特串。标签长度为 20 bit,位于多协议标签交换 (MPLS) 报文头部的第一个字段。标签具有本地意义,即只在上游节点的发送端口与下游节点的接收端口之间有意义。一个节点从上游节点接收的 MPLS 报文中提取的标签,称为入标签;向下游节点发送 MPLS 报文所使用的标签,称为出标签。一个转发等价类在同一节点的同端口,只有一个出标签,但在不同的节点、同一节点不同的端口可使用相同的出标签。一个节点从其上游节点来的 MPLS 报文中读取入标签,查找标签转发信息库 (LFIB) 对应的条目,获取去往下游节点的端口和出标签。该报文发往下游节点时,将其标签替换为出标签。

5.84 标签分发 (label distribution)

在多协议标签交换 (MPLS) 节点上为转发等价类分配出标签的过程。标签分发的目的是建立标签交换路径 (LSP)。根据标签分发者的不同,标签分为上游分发和下游分发两类。目前,普遍采用下游分发。下游分发又分为下游自主分发和下游按需分发两种。下游节点主动为上游节点分配出标签的,称为下游自主分发;下游节点根据上游节点的请求,为上游节点分配出标签的,称为下游按需分发。下游节点发往上游节点的标签映射报文中含有出标签与转发等价类的绑定信息,从而使上游节点获得与转发等价类绑定的出标签。

建立一条 LSP 所需要的下游按需标签分发过程如下。

(1) 入边界节点向其下游节点发送标签请求

报文;

(2) 下游节点认为可以分配标签后,再向其下游节点发送标签请求报文,如此直至出边界节点;

(3) 出边界节点认为可以分配标签后,向其上游节点发送标签映射报文,如此直至入边界节点。

这样,在入边界节点与出边界节点之间,就建立起了与转发等价类绑定的、出标签相接续的 LSP。

5.85 标签分发协议 (label distribution protocol)

IETF RFC 3036 规定的为多协议标签交换 (MPLS) 网络节点分发标签的协议,简称 LDP。LDP 是 MPLS 技术的核心,其执行主体为 MPLS 节点。交互 LDP 协议报文的两个节点互称为 LDP 对等体。LDP 对等体之间一跳连接,中间不经过其他节点。

LDP 协议报文由报文头和一个或多个消息组成。报文头由 2 B 的版本号、2 B 的报文长度和 6 B 的 LDP 标示符组成。LDP 标示符的前 4 B 为 IP 地址,后 2 B 用于规定标签范围。消息是 LDP 报文的净荷,LDP 定义的消息类型有以下 11 种。

(1) Hello 消息,用于通告和维护网络中节点的存在。

(2) 初始化消息,用于在两个 LDP 对等体之间协商 LDP 会话参数,如 LDP 版本号,标签分发方式,会话保持定时器值等。

(3) 会话保持消息,用于在没有其他 LDP 消息发送时,保持 LDP 会话的存在。

(4) 地址消息,用于向对等体通告其 IP 地址。

(5) 地址撤销消息,用于通知对等体撤销已通告的 IP 地址。

(6) 标签请求消息,用于上游向下游申请标签。

(7) 标签请求放弃消息,用于上游放弃尚未得到响应的标签请求消息。

(8) 标签映射消息,用于下游向上游分发标签。

(9) 标签收回消息,用于下游向上游收回已分发的标签。

(10) 标签释放消息,用于上游向下游表示不再需要已分发的标签。

(11) 通知消息,用于向 LDP 对等体通知特定事件的发生,如 LDP 消息处理结果,会话状态等。

消息采用类型—长度—值 (TLV) 结构进行编码,每个消息由未知消息比特 (U 比特)、消息类型、消息长度、消息标示符、必选参数、可选参数等组成。

LDP 定义了通用 Hello 参数、通用会话参数、地址列表、转发等价类、标签、跳数、路径向量和状态等 TLV 结构。除 Hello 消息采用一跳的组播方式发送外,其余各消息均在 TCP 连接的基础上,采用单播方式发送。Hello 消息的 UDP 端口号为 646, LDP 会话连接建立的 TCP 端口号为 646。

LDP 的操作过程分为 LDP 发现、会话建立与维护、标签交换路径的建立与维护、会话撤销 4 个阶段。

(1) LDP 发现阶段。希望与相邻建立会话的节点周期性地发送 Hello 消息,让相邻节点发现自己,从而触发建立 LDP 对等体之间的 TCP 连接和 LDP 会话。

(2) 会话建立与维护。对等体建立之后,节点开始会话的建立过程。这一过程又分为两部分,首先是建立 TCP 连接,然后是对等体之间的会话初始化;

(3) 标签交换路径的建立与维护。会话建立后,对等体之间开始为各种有待传输的转发等价类进行标签的分配以及建立标签交换路径。

(4) 会话撤销。节点为每个会话建立一个“生存状态”定时器,每收到一个 LDP 协议报文,就对该定时器进行刷新。若定时器超时,节点则关闭相应的 TCP 连接,终止会话进程。

5.86 标签合并(label merge)

多协议标签交换(MPLS)网络节点将多个人标签映射为一个出标签的过程。同一个转发等价类的报文可由多个人边界节点进入 MPLS 网络。这样,在某个节点上,会从多个上游节点收到转发等价类相同但入标签不同的报文。不管这些报文的入标签是否相同,均使用同一出标签,从同一接口发往下游节点。

5.87 标签交换路径(label switched path)

多协议标签交换(MPLS)报文的转发路径,又称标签交换通路,简称 LSP。LSP 由报文的入边界节点至出边界节点之间的一系列经过节点以及它们之间的链路组成,通常用报文经过的节点序列表示。该序列起始于入边界节点,终止于出边界节点。在报文经过的节点上,用本地的出标签替代上游的入标签。从这个意义上讲,LSP 可看作各节点的入标签和出标签相互映射,拼接起来的的一条路径。

5.88 标签交换路由器(label switching router)

多协议标签交换(MPLS)网络的节点设备,简

称 LSR。根据所处的网络位置,LSR 分为边缘 LSR 和核心 LSR 两种;边缘 LSR 又称为 LER,用于将非 MPLS 网络接入到 MPLS 网络;核心 LSR 又简称为 LSR,其不具有接入功能,但拥有更加强大的报文转发能力。根据报文发送和接收的关系,LSR 又分为上游 LSR 和下游 LSR。上游 LSR 发送报文,下游 LSR 接收报文。

5.89 标签映射(label mapping)

多协议标签交换(MPLS)中对标签进行的绑定。标签映射分为两种:一种是入边界节点上的标签映射,另一种是在网络内部各节点上的标签映射。对于前一种,入边界节点依据一定的对应原则,对业务流进行划分,得到多个转发等价类(FEC),然后进行映射,与标签建立对应关系,并记录在标签信息库(LIB)中。对于后一种,又称入标签映射,建立入标签与下一跳标签转发入口(NHLFE)的对应关系。中间节点收到一个 MPLS 报文,从中获取入标签,然后根据入标签映射关系,查找到 NHLFE,获取出口和出标签,将报文转发出去。

5.90 标签栈(label stack)

多协议标签交换(MPLS)中一组标签的级联,又称标签栈。MPLS 支持用一个 MPLS 报文头部去封装另一个 MPLS 报文,即嵌套封装。每进入一个级联层次,标签栈就多一个标签,报文随之增加一个 32 B 的报文头部。每离开一个级联层次,标签栈就减少一个标签,报文随之减少一个 32 B 的报文头部。当报文头部栈底标志字段为 1 时,说明标签栈只剩最后一个标签。

5.91 标签转发信息库(label forwarding information base)

多协议标签交换(MPLS)网络节点上的 MPLS 报文标签替换表,简称 LFIB。该信息库以入标签为索引项,每个入标签对应一个 LFIB 条目,包括转发等价类、出标签、出端口、出链路层信息、出封装方式等子条目。当 MPLS 支持区分服务时,LFIB 中还应包括一系列下一跳行为(PHB)等子条目。一个节点从接收到的 MPLS 报文中读取入标签,然后根据入标签查找到对应的 LFIB 条目,获取出端口和出标签。该报文发往下游节点时,将其标签替换为出标签。

5.92 不间断转发 (non stop forwarding)

路由器控制层面出现问题后,仍能保持数据正常转发的可靠性技术,简称 NSF。路由器控制层面的问题表现为路由器主控板重启并且伴随主备倒换发生。通常情况下,路由器故障会导致路由震荡,使重启路由器在一段时间内出现路由黑洞或者邻居路由器改变路由,旁路重启路由器。NSF 的目标就是解决路由震荡问题,采用的技术措施有以下两种。

(1) 将控制与转发分离。路由器主控板主备倒换时,接口板不重启,仍按原有转发表转发数据。

(2) 扩展路由协议的功能,避免邻居路由器与重启路由器的邻居关系在重启时发生震荡。重启后,重启路由器尽快完成与邻居路由器的路由信息的同步,然后更新本地路由信息。扩展的这一功能称为优雅重启 (GR)。

NSF 需要邻居路由器同时具备优雅重启的感知能力。另外,如果重启路由器的邻居路由器也同时发生重启,则 NSF 无法实现,即存在重启并发问题。NSF 技术同路由快速收敛技术都是希望路由器出现故障后,路由能够尽快地收敛。但两者也有所不同。路由器一旦发生故障,NSF 致力于保持原来的业务流仍然按照原有的转发路径转发,而路由快速收敛技术致力于能够快速感知到网络故障,并将流经故障路由器的业务流尽快地旁路到其他正常路由器上去。

5.93 策略路由 (policy routing)

根据用户制定的策略进行路由转发的机制,通常用于流量控制、负载分担等目的。策略路由根据访问控制列表 (ACL) 或者报文长度对所有报文进行过滤,符合过滤条件的报文转发至用户指定的下一跳地址。路由器首先根据策略路由转发,若没有配置策略路由或配置了策略路由但找不到与之匹配的表项时,才根据路由表来转发。试验任务 IP 网中为了对某些关键信息实现不同路由的可靠性传输保障,常采用策略路由的方案设计。

5.94 场区号 (area number)

试验任务 IP 网地址分配规则中,为各场区域域网/局域网分配的数字编号。城域网编号范围为 1~29,局域网编号范围为 32~511。在城域网用户地址编号规则中,其场区编号位于地址第 1 字节,标示唯一确定的城域网;在局域网编号规则中,场区编号位

于地址第 2 字节,标示唯一的局域网。

5.95 超网 (supernetting)

将多个子网聚合起来,构成一个单一的具有同一地址前缀的网络。早期 IP 网地址分为 A、B、C、D、E 5 类,B 类地址的容量为 65 536 个,C 类地址的容量是 256 个。如果一个网络的容量多于 256 个,但又远远小于 65 536 个时,则会出现分配一个 C 类地址不够,分配一个 B 类地址严重浪费的现象。此时的做法是分配若干个连续的 C 类地址,组成一个超网,超网的地址号长度介于 B 类地址和 C 类地址之间。超网的主要优点是:减少了路由表的数量,节约了路由器中的资源;按照实际需要进行网络地址分配,提高了地址空间的利用率。

无分类编址方法淘汰了 5 类地址的编址方法,网络前缀代替了网络号和子网号,可为任意长度,使建立在 5 类地址编址方法基础之上的超网概念也成了历史。

5.96 超文本传输协议 (hyper text transfer protocol)

IETF RFC 2616 定义的,客户端浏览器或者其他程序与 Web 服务器之间的应用层通信协议,简称 HTTP。超文本传输协议传输层采用 TCP 协议,一般使用 80 端口,采用请求/应答模式工作。客户端向服务器发送 HTTP 请求,常用的请求类型包括 GET、HEAD、POST 等 7 种。服务器根据请求信息类型执行相关操作,向客户端返回响应信息。

5.97 承诺访问速率 (committed access rate)

网络向用户承诺的最高访问速率,简称 CAR。限制某一业务流的入网速率,是流量监管的主要技术手段,采用令牌桶对业务流进行测量,令牌存放速率设为 CAR。如果业务流速率不大于 CAR,正常转发;否则,采取丢包或其他处置措施,将速率限制到 CAR 之内。在试验任务 IP 网中,一般在接入设备上对高优先级的业务流配置 CAR,限制其超约定发送流量。

5.98 承诺突发尺寸 (committed burst size)

网络承诺的数据流一次突发的最大尺寸,简称 CBS,单位为 bit 或 B。在三色标记算法中,C 桶的容量为 CBS,令牌添加速率为承诺信息速率 (CIR)。CBS 必须大于数据流中最大报文长度,以确保数据

包不被分片传输。在 CBS 下发送的数据包,网络将其标记为绿色,应确保转发。

5.99 承诺信息速率 (committed information rate)

可保证的数据流的最大平均速率,简称 CIR,单位为 b/s 或 B/s。在令牌桶算法中将令牌桶填充令牌的速率设置为 CIR。

5.100 城域网 (metropolitan area network)

网络覆盖范围中等规模,通常在一个城市内(距离 10 km 左右)的互联网络。国防科研试验任务 IP 网中的城域网主要指各大型试验场区的 IP 网。网络拓扑采用典型三层结构设计,即核心层、汇聚层、接入层,根据各场区接入节点数量多少确定其具体层次结构,下层设备利用双上联方式接入上层设备。网络设备主要采用交换机组网,交换机利用自主建设的光纤及电缆线路,使用三层方式互联。路由协议采用 OSPF 动态路由协议。

5.101 冲突域 (collision domain)

以太网共享总线及其所连接设备的集合。以太网发展初期采用共享总线结构,当同一冲突域内多个设备同时发送数据帧时,会在总线上碰撞形成冲突,导致数据不能正常传输。在同一冲突域中设备数量越多,发送冲突的概率越大。过多的冲突使网络的性能和带宽利用率下降。当带宽利用率大于 40% 后,一般采用网桥对冲突域进行分段,将一个大冲突域分割为若干个小冲突域。

集线器基于共享总线结构,其所连接设备属于同一个冲突域,目前以太网一般采用交换机、路由器进行组网,这种方式将冲突域限制在设备的一个端口上,基本解决了冲突问题。

5.102 存储转发 (store-and-forward)

以太网交换机转发数据帧的方式之一。交换机收到数据帧后先进行存储,完成校验后再进行转发。由于需要将完整的数据帧接收到端口的缓存中,并对数据帧进行 CRC 校验,因此转发时延较大。

5.103 单臂路由器 (router-on-a-stick)

只用一条物理链路与二层交换机相连,实现 VLAN 间互连互通的路由器,又称独臂路由器。路由器和二层交换机相连的链路设为 TRUNK,允许多

个 VLAN 的数据包通过该链路在交换机和路由器间传送。假定 VLAN1 的主机 A 和 VLAN2 的主机 B 通信,主机 A 须先把数据包发往路由器,然后由路由器再转发给主机 B,反之亦然。如此,不同 VLAN 间的数据包需要在该链路上传递两次。

5.104 单播 (unicast)

IP 网中主机之间一对一的通信方式。单播数据包使用单播地址作为目的地址,网络中的路由器对单播数据包只进行转发不进行复制。单播方式下,网络中传输某信息的数据量与需要该信息的用户量成正比,如果有 n 个主机需要相同的信息,则需要发送 n 次,占用带宽较大。

5.105 单播反向路径转发 (unicast reverse path forwarding)

通过检查源 IP 地址,来解决源 IP 地址欺骗攻击的一种安全措施,简称 URPF。一般情况下,路由器接收到报文,获取报文的源地址,针对目的地址查找转发表,如果找到了就转发报文,否则丢弃该报文,并不检查报文的源 IP 地址。如此主机 A 就可冒用主机 B 的地址,向服务器 C 发送服务请求报文,于是服务器 C 向主机 B 发送响应报文,从而间接产生对主机 B 的攻击。URPF 通过获取报文的源地址和入接口,在转发表中查找源地址对应的接口是否与入接口匹配,如果不匹配,则认为源地址是伪装的,直接丢弃该报文。通过这种方式,URPF 能够有效地防范网络中通过修改报文源 IP 地址所导致的恶意攻击行为的发生。要保证 URPF 的正常工作,必须确保从主机 A 流向网络上主机 B 的报文与主机 B 流向主机 A 的报文所经过的链路一致,也就是要保持二者路由的一致性。否则,URPF 将因为接口不匹配而丢掉某些正常的报文。

5.106 单速率三色着色法 (a single rate three color marker)

基于承诺信息速率将报文标记为 3 种颜色的方法,简称 srTCM。srTCM 的基本原理如图 5.19 所示,令牌桶 C 的容量为承诺突发尺寸 (CBS),令牌桶 E 的容量为扩展突发尺寸 (EBS),两个令牌桶添加令牌的速率均为承诺信息速率 (CIR), $Tc(t)$ 表示 t 时刻 C 桶的令牌数, $Te(t)$ 表示 t 时刻 E 桶的令牌数。

srTCM 分为色盲模式和非色盲模式。色盲模式

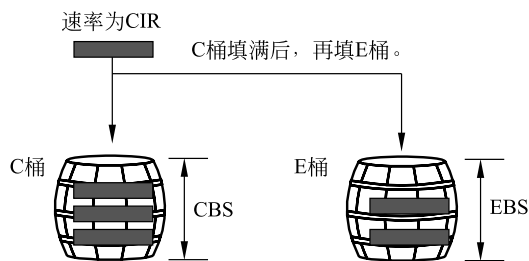


图 5.19 srTCM 处理过程

下不识别报文原来的颜色,非色盲模式下需要识别报文原来的颜色。当长度为 B 的报文在时刻 t 到达时,色盲模式处理过程为:

- (1) 如果 $T_c(t) \geq B$,则报文标记为绿色,C 桶令牌减去 B ,处理结束,否则执行过程(2);
- (2) 如果 $T_e(t) \geq B$,则报文标记为黄色,E 桶令牌减去 B ,处理结束,否则执行过程(3);
- (3) 报文被标记为红色,两桶令牌数均不减,处理结束。

非色盲处理过程为:

- (1) 如果报文为绿色,并且 $T_c(t) \geq B$,则报文标记为绿色,C 桶令牌减去 B ,处理结束,否则执行过程(2);
- (2) 如果报文为绿色或黄色,并且 $T_e(t) \geq B$,则报文标记为黄色,E 桶令牌减去 B ,处理结束,否则执行过程(3);
- (3) 报文被标记为红色,两桶令牌数均不减,处理结束。

着色结果作为设置 IP 包区分服务码点(DSCP)值的依据。srTCM 在区分服务体系结构中,用于对报文进行标记,以便本地对标记后的报文进行区分处理。

5.107 等价路由(equal cost multi-path)

到达同一目的网段,代价相同的路由,简称 ECMP。路由代价是根据到达目的网段的线路延迟、线路带宽、跳数等因素计算的,与路由协议相关。发往同一目的网段的报文可通过多条等价路由同时转发,从而实现负载均衡。在试验任务 IP 网中,为保证路由可控,应尽量避免出现负载均衡,在网络设计时通过设置路由权重(Weight)值,对等价路由进行优先级排序,来避免多条等价路由同时转发的情况。

5.108 迪杰斯特拉算法(Dijkstra algorithm)

用于计算一个节点到其他所有节点的最短路径

的单源最短路径算法。该算法是荷兰科学家 Dijkstra 于 1959 年提出的,因此又称 Dijkstra 算法。Dijkstra 算法用于解决有向图中最短路径问题,其思想为:设 $G=(V,E)$ 是一个带权有向图,把图中顶点集合 V 分成两组,第一组为已求出最短路径的顶点集合 S ,第二组为其余未确定最短路径的顶点集合 U 。初始时,集合 S 只包含源点,然后按最短路径长度的递增次序依次把 U 的顶点加入到 S 中。在加入的过程中,总保持从源点到 S 中各顶点的最短路径长度不大于从源点到 U 中任何顶点的最短路径长度。如此,直到全部顶点都加入到 S 中,算法结束。

在 OSPF 动态路由协议中,网络节点采用 Dijkstra 算法,以自身为源点计算到所有其他节点的最短路径。例如,网络拓扑结构如图 5.20 所示,图中标注数字为相邻节点之间的距离, A 采用 Dijkstra 算法计算到其他节点的最短路径。以 A 为源点,依次将 C 、 B 、 D 、 E 、 F 加入到最短路径集合 S 中,从而得到 A 到上述各节点的最短路径分别为 3、5、6、7、9。

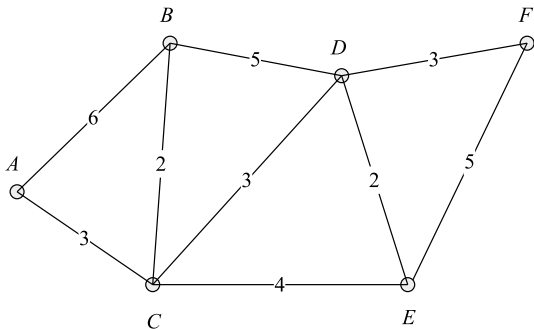


图 5.20 网络拓扑结构示例

5.109 地址解析协议(address resolution protocol)

IETF RFC 826 规定的,将 IP 地址动态映射对应的 MAC 地址的协议,简称 ARP。在同一以太网中主机 A 要向主机 B 发送数据,须知道主机 B 的 MAC 地址。一般情况下,主机 A 只知道主机 B 的 IP 地址,而不知道其 MAC 地址。地址解析协议提供了主机 A 获取主机 B 的 MAC 地址的手段。

每台主机中存在一个 ARP 缓存表,记录了其他主机 IP 地址与 MAC 地址的对应关系。如图 5.21 所示,主机 A 向主机 B 发送报文前,首先查询缓存表获取主机 B 的 MAC 地址。如果表项中不存在主机 B 的 MAC 地址,则主机 A 广播一个 ARP 请求报文,请求主机 B 响应其 MAC 地址。所有主机都会收

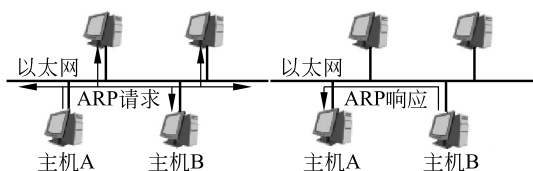


图 5.21 ARP 请求与响应工作过程

到该请求报文,由于 ARP 请求报文包含主机 B 的 IP 地址,所以只有主机 B 响应该请求,向主机 A 发送一个包含其 MAC 地址的 ARP 响应报文。主机 A 收到该响应报文后,在 ARP 缓存表中记录下主机 B 的 IP 地址与 MAC 地址的映射关系。

ARP 报文包括 ARP 请求与 ARP 响应两种,封装在以太网数据帧中,类型字段取值为 0x0806。封装 ARP 请求报文的以太网帧,其目的地址为 MAC 广播地址;封装 ARP 响应报文的以太网帧,其目的地址为请求方的 MAC 地址。两种报文采用同样的报文结构,如图 5.22 所示。其中硬件类型字段取值为 1,代表以太网;协议类型取值为 0x0800,代表解析的地址所属协议为 IP;硬件地址长度和协议地址长度,单位为 B,取值为 6 和 4,分别代表 MAC 地址长度和 IP 地址的长度;操作类型(OP),1 表示 ARP 请求,2 表示 ARP 响应;发送端 MAC 地址表示该报文发送者的硬件地址;发送端 IP 地址表示该报文发送者的 IP 地址;目的 MAC 地址表示该报文接收者的硬件地址;目的 IP 地址表示该报文接收者的 IP 地址。

5.110 点对点协议(point-to-point protocol)

IETF RFC 1661 规定的,一种在点到点链路上

封装、传输网络层数据包的数据链路层协议,简称 PPP 协议。PPP 协议包括链路控制协议(LCP)、网络控制协议(NCP)和验证协议。LCP 主要用来建立、拆除和监控 PPP 数据链路,进行数据链路层参数的协商。NCP 主要用来协商网络层协议的类型和属性、所传输数据包的格式和类型。验证协议主要验证 PPP 对端设备的身份合法性,保证链路的安全性,PPP 提供密码验证和询问握手验证两种验证方式。

PPP 会话的建立过程如下:通信双方检测到物理链路激活后,通过 LCP 协议进行链路参数配置和参数协商,以建立数据链路。链路建立后,如果需要验证,则首先采用协商的验证协议进行验证。验证成功后,再使用 NCP 协议进行网络层参数协商。协商通过标志着 PPP 会话成功建立。此后,双方可以在此链路上发送数据。当链路载波丢失、链路质量检测失败、人为关闭链路或认证失败时,通信一方发送 LCP 报文关闭链路,并通知网络层进行相应的操作。

PPP 协议的数据封装格式如图 5.23 所示。

标志字段:其值固定为 01111110,用来标识一个 PPP 帧的起始和结束。

地址字段:PPP 协议是被运用在点对点的链路上,无须知道对方的数据链路层地址,地址字段固定为全 1 的广播地址。

控制字段:其值固定为 11000000,表示这个帧不使用序号,每个帧都是独立的。

协议字段:表示信息字段所承载数据的协议类型,常用的协议类型及其代码见表 5.9。

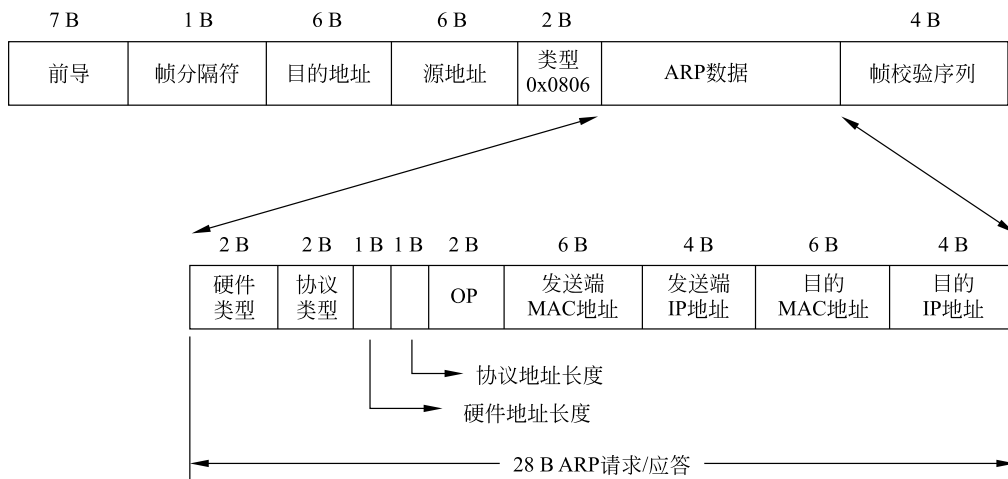


图 5.22 ARP 请求/应答数据帧结构

标志 (flag)	地址 (address)	控制 (control)	协议 (protocol)	信息 (information)	帧校验 (FCS)	标志 (flag)
1 B	1 B	1 B	1 B或2 B	可变	2 B或4 B	1 B

图 5.23 PPP 协议封装格式

表 5.9 PPP 数据帧协议字段常用协议类型及其代码

协议类型	协议代码(十六进制)
填充协议	0001
IPv4 协议	0021
IPv6 协议	0057
链路控制协议(LCP)	C021
链路质量报告	C025
密码验证协议(PAP)	C023
询问握手验证协议(CHAP)	C223

信息字段：承载用户数据或其他信息，默认最大长度为 1500 B。

校验字段：PPP 协议无确认重传机制，仅采用帧校验序列对数据帧传输的正确性进行检测，一旦检测到错误，随即丢弃错误的数据帧。

PPP 协议广泛应用于点对点通信场合。在试验任务 IP 网中，广域网专线电路的数据链路层一般采用 PPP 协议。

5.111 掉头路由器(u-turn router)

将收到的组播报文原路发回的路由器。如图 5.24 所示，组成员加入组播组 G，建立了 RP—R3—R4 的(*,G)组播转发路径。在 R3 上，(*,G)表项的入口是 3，出口是 2。源 S1 发送组播报文，R1 向 RP 注册，建立 R1—RP 的(S1,G)路径；源 S2 发送组播报文，R2 向 RP 注册，建立 R2—R3—RP 的(S2,G)路径。此时，组成员只收到 S1 的组播报文而收不到 S2 的组播报文。这是由于 RP(掉头路由器)将收到的 S2 的组播报文原路发回，R3 从接口 3 收到该报文后，进行 RPF 检查，发现该报文的实际入口是 3，而不是 R3 上(S2,G)表项中的入口 1，于是将其丢弃。

解决掉头路由器的技术方案是：因为在 R3—RP 的链路上来回传输同一组播报文，造成链路资源和路由器资源的浪费，技术上不合理，因此应保证组播报文不能在 RP 上掉头。然后在此基础上，使 R3 在从接口 1 收到 S2 的组播报文后，往接口 3 转发的同时，也往接口 2 转发。具体方法是，RP 记录 S2 的

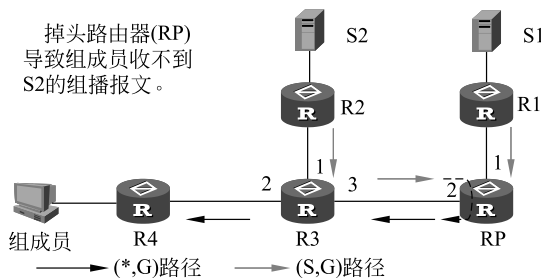


图 5.24 掉头路由器问题

组播报文的入口(接口 2)，在沿共享树转发 S2 的组播报文时，不往接口 2 转发 S2 的组播报文。在路由器 3，(S,G)表项建立时，将(*,G)表项的出口(接口 2)添加到(S,G)表项的出口中。这样，R3 从接口 1 收到 S2 的组播报文，就从接口 2 和接口 3 转发出去，组成员也就收到了 S2 的组播报文。在 S3 上，没有(S1,G)表项，S3 收到 S1 的组播报文后，同(*,G)进行匹配，经 RPF 检查通过，发往接口 2，因此组成员能从(*,G)路径收到 S1 的组播报文。

此外，在路由器上，(*,G)表项出口发生变化时，(S,G)表项中均应包括(*,G)表项中除了(S,G)的 RPF 口之外的所有出口。

5.112 定制队列(custom queuing)

按照预先设置的带宽比例轮流发送各队列分组的队列机制，简称 CQ。CQ 可配置多个队列，分组到达时，按照预先设置的流分类规则进行匹配，进入相应的队列。队列调度采用轮询的方式，依次发送各队列中的分组。通过配置每个队列每次调度的字节数，定制各队列占用带宽的比例。CQ 队列的优点是使不同业务的分组获得不同的带宽，既可以保证关键业务能获得较多的带宽，又不至于使非关键业务得不到带宽；缺点是配置比较复杂。在试验任务 IP 网中使用的交换机和路由器，最多可配置 16 个 CQ 队列。

5.113 动态路由(dynamic route)

由路由协议自动发现、生成和维护的 IP 路由。动态路由能够根据网络拓扑结构的变化，及时进行

调整,生成新的路由信息。动态路由不需管理员手工维护路由表,适用于网络规模较大、拓扑结构复杂的网络。试验任务 IP 网局域网采用动态路由。

5.114 动态主机配置协议 (dynamic host configuration protocol)

IETF RFC 2131 规定的,为主机自动分配 IP 地址等配置信息的应用层协议,简称 DHCP。DHCP 的实现采用客户端/服务器模式,客户端向服务器申请 IP 地址等配置信息;服务器响应客户端请求,分配 IP 地址,并管理 IP 地址池。客户端从服务器获取 IP 地址的过程如下。

(1) 客户端以广播方式发送 DHCP-Discover 报文,内容主要包括客户端的 MAC 地址和计算机名;

(2) 收到 DHCP-Discover 报文的服务器首先检查其静态数据库,如果有匹配 MAC 地址的表项,则选用该表项对应的 IP 地址,否则从 IP 地址池中选出一个 IP 地址。然后,服务器将 IP 地址与其他配置参数一起通过 DHCP-Offer 报文发送给客户端;

(3) 客户端接收到 DHCP-Offer 报文后,以广播方式发送包含有所选定的服务器和服务器提供的 IP 地址的 DHCP-Request 报文。客户端对后续收到的其他服务器发送的 DHCP-Offer 报文不再响应;

(4) 客户端选定的服务器收到 DHCP-Request 报文后,如果确认将该地址分配给客户端则返回 DHCP-Ack 报文,否则返回 DHCP-Nak 报文,表示该地址不能分配给该客户端。客户端未选定的服务器收到 DHCP-Request 报文后收回分配的 IP 地址。

当客户端和服务端不在同一子网时,需要使用中继代理。中继代理在子网上监听到广播的 DHCP-Discover 报文后,将其封装为单播报文发送给服务器。服务器收到 DHCP-Discover 报文后,向中继代理应答,中继代理再将应答报文发送给客户端,从而实现客户端和服务端不在同一子网条件下的 IP 地址动态分配。

在实际应用中,DHCP 服务器一般提供 3 种 IP 地址分配方式。

(1) 静态分配。在服务器上将客户端的 IP 地址与其 MAC 地址绑定,保证客户端永久占用该 IP 地址。

(2) 自动分配。服务器从地址池中为客户端分配没有时间限制的 IP 地址,当客户端释放该地址后此 IP 地址才能被重新分配。

(3) 动态分配。服务器从地址池中为客户端分

配具有一定有效期的 IP 地址,到达使用期限后,服务器收回地址。客户端如需要继续使用该地址,应在有效期到达前重新申请。

使用 DHCP 协议能够集中管理 IP 地址资源,提高 IP 地址的利用率,其缺点主要在于不能发现网络上非 DHCP 客户端正在使用的 IP 地址。此外,当子网上有多个 DHCP 服务器时,一个服务器不能查出其他服务器已经分配的 IP 地址,从而会给网络造成一定程度的混乱。

5.115 毒性反转 (poison reverse)

RIP 协议从某个接口学到路由信息后,将该路由的度量值设置为 16,并从原接口发回邻居路由器的行为。毒性反转和水平分割具有相似的应用场合和功能,由于毒性反转主动将网络不可达信息通知给其他路由器,毒性反转更健壮和安全;其缺点是路由更新中路由项数量增多,浪费网络带宽,增加系统开销。

5.116 端口绑定 (port bind)

将用户主机的 MAC 地址和 IP 地址与交换机接入端口进行的关联。没有被关联的 MAC 地址和 IP 地址的用户主机不能接入相应的交换机端口。一个端口可以和多个 MAC 地址多个 IP 地址绑定。端口绑定可以限制不合规的用户主机接入网络,是一种有效的网络安全接入手段。

5.117 端口隔离 (port isolation)

限制交换机同一 VLAN 端口之间互通的技术措施。在一个交换机的端口上,强制限制向指定的其他端口上发送数据 MAC 帧,但不能限制接收其他端口的数据 MAC 帧,即端口隔离是单方向的发送隔离。在一些厂家的交换机上,如果一个端口已经是 TRUNK 端口,则不能对该端口实施隔离,但不妨碍限制其他端口向该 TRUNK 端口发送数据 MAC 帧。使用端口隔离功能,可以限制同一 VLAN 内端口之间的互通,为用户提供更安全、更灵活的组网方案。

5.118 端口光功率 (port optical power)

路由器、交换机端口光模块发射功率或接收功率,单位为 dBm。光模块发射功率一般是不可调整的,用户可根据传输距离选择不同发射功率的光模块。试验任务网中常用的光模块收发功率范围如表 5.10 所示。

表 5.10 常用光模块光功率范围

模块 厂家	模块 类型	波长/ nm	传输 距离/ km	发送功率 范围/ dBm	接收功率 范围/ dBm
思科	1G 多模-SFP	850	0.2	-9.5~-3	-17~0
思科	1G 单模-SFP	1300	10.0	-9.5~-3.0	-20~0
思科	1G 单模-SFP	1550	70.0	0.0~5.2	-17~-3
华为	1G 多模-SFP	850	0.5	-9.5~2.5	-17~0
华为	1G 单模-SFP	1310	10.0	-9.0~-3.0	-20~-3
华为	1G 单模-SFP	1550	80.0	0.0~3.0	-23~-3

网络设备端口光模块的收发光功率有一个范围限制,工程上要求正常工作接收光功率小于过载光功率 3~5 dBm,大于接收灵敏度 3~5 dBm。当光功率低于允许范围的时候,会出现网络丢包的现象,影响网络传输质量;当光功率高于允许范围的时候,不仅影响传输质量,还会缩短光模块的寿命,甚至损坏光模块。因此,在网络维护的过程中,须经常检查收发光功率的数据,确保其在正常允许的范围内。

5.119 端口镜像(port mirroring)

将交换机一个端口的数据流量复制输出到其他端口的的方法。被复制的端口称为镜像源端口或镜像端口,复制的端口称为镜像目的端口或观察端口。端口镜像可以对镜像端口的所有流量进行复制,也

可以对指定流量进行复制;可以将多个镜像端口映射到一个观察端口,也可以将一个镜像端口映射到多个观察端口。

端口镜像的方式分为 3 种:入方向镜像、出方向镜像和双向镜像。入方向镜像是仅对镜像端口收到的数据进行镜像;出方向镜像是仅对镜像端口发送的数据进行镜像;双向镜像是对镜像端口收到和发出的数据都进行镜像。

在观察端口上连接监测设备,可对镜像端口的数据进行在线监测。在试验任务 IP 网中,网络流量监测、入侵检测等设备采用端口镜像的方法获取监测数据。

5.120 对外联网(network interconnection)

试验任务 IP 网与其他网络的互联。试验任务 IP 网是为保障国防科研试验任务而建设的专用网络,但出于任务需求,需要与其他网络进行信息交换。根据联网对象不同,将对外联网分为军方联网、民用联网、国际联网等。与上述网络进行联网时,安全性要求高,一般采用网闸等网络安全隔离设备进行互联。

5.121 多链路点对点协议(PPP multilink protocol)

IETF RFC 1990 规定的,将多个点到点链路(PPP)捆绑在一起作为一条逻辑链路使用的协议,简称 MP。MP 是 PPP 的扩展,其目的是为了提高 PPP 链路的带宽。对上层协议来说,MP 链路等同于一 PPP 链路。

在多链路中进行数据传输时,数据首先被分片,然后采用轮询方式在多条被捆绑的 PPP 链路上将其进行发送。为了对分片进行识别、重组,在 PPP 头部和数据分片之间插入 MP 报文头。如图 5.25

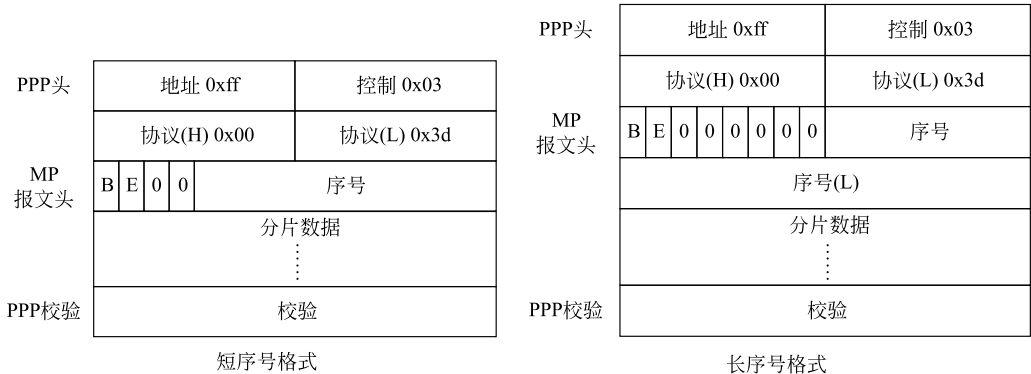


图 5.25 MP 报文头格式

所示,MP 报文头有短序号和长序号两种,短序号报文头为 2 B,长序号报文头为 4 B。MP 默认使用长序号,也可通过 PPP 协商为短序号。MP 报文头中的“B”为分片开始标识,占 1 bit,置 1 时说明该分片是数据的第一个分片。“E”为分片结束标识,占 1 bit,置 1 时说明该分片是数据的最后一个分片。序号字段为 12 bit(短序号)或 24 bit(长序号),其值随数据分片的增加而增加。分片数据字段为净荷,默认最大长度为 1500 B,也可通过 PPP 协商确定。校验字段为当前数据分片的校验。

MP 不但能够提高链路带宽,而且捆绑的多条链路能够互为备份,提高了传输的可靠性,还可在多条链路间进行负载分担。

5.122 多生成树协议 (multiple spanning tree protocol)

IEEE 802.1s 制定的基于实例的生成树协议,简称 MSTP。在虚拟局域网 (VLAN) 技术出现之前,以太网只需一棵生成树即可。VLAN 技术出现之后,如果仍使用一棵生成树,在网络规模较大时,拓扑改变的影响面较大,收敛时间明显增加;在各个 VLAN 的拓扑结构存在差异时,还会影响网络的连通性;当链路被阻塞后,造成带宽浪费。为此出现了基于 VLAN 的生成树协议 (PVST),一个 VLAN 对应一棵生成树。当 VLAN 数量较多时,维护多棵生成树的计算量和资源占用量急剧增加。为解决 PVST 存在的问题,MSTP 基于实例创建生成树,将同一以太网内多个结构相同的 VLAN 集成为一个实例,一个实例对应一棵生成树。这样可减少网内生成树的数量,并可实现链路的负载均衡。

当以太网规模较大,协议收敛时间过长时,MSTP 还可以把以太网划分成多个域。在域内,为每个实例单独计算生成树;在域间,利用公共和内部生成树 (CIST) 保证全网无环路存在。CIST 由内部生成树 (IST) 和公共生成树 (CST) 组成。IST 是域内的一个生成树实例,负责收发 CIST 的桥协议数据单元 (BPDU)。如果将每个域抽象为一个节点,CST 就等同于这些节点通过生成树协议 (STP) 或快速生成树协议 (RSTP) 得到的一棵生成树。

另外,MSTP 兼容 STP 和 RSTP。

5.123 多协议标签交换 (multiprotocol label switch)

IETF RFC 3031 提出的采用标签转发数据报文的技术,简称 MPLS。在网络分层体系架构中,

MPLS 位于第二层数据链路层和第三层网络层之间,故又称为“2.5 层”技术。“多协议”指 MPLS 可在多种数据链路层协议和多种网络层协议的环境中工作;“标签交换”指 MPLS 使用标签而不再使用网络层地址进行报文转发。

MPLS 报文头部位于网络层报文头部之前,数据链路层报文头部之后。如下图 5.26 所示,MPLS 通用报文头部由标签、EXP、S 和 TTL 这 4 个字段共 32 bit 组成。MPLS 网络将出节点相同或出端口相同、服务质量要求相同的入网报文归为一类,称为转发等价类。标签指明 MPLS 报文隶属的转发等价类。EXP 为实验字段,可传送服务质量方面的信息。S 为栈底标志字段,当其值为 1 时,表明标签栈中只剩一个标签。TTL 为生存周期字段,每经过一跳,其数值减 1。TTL 同 IP 报文头的 TTL 保持一致,在 MPLS 网络入节点,将 IP 报文头部的 TTL 复制到 MPLS 报文头部;在 MPLS 网络出节点,再将 MPLS 报文头部的 TTL 复制到 IP 报文头部。

标签	EXP	S	TTL
----	-----	---	-----

图 5.26 MPLS 通用报文头部

标签字段: 20 bit; EXP 字段: 实验, 3 bit; S 字段: 栈底标志, 1 bit; TTL: 生存周期, 8 bit。

MPLS 网络的节点称为标签交换路由器 (LSR), 其中位于网络核心处的称为核心 LSR, 位于网络边缘处的称为边缘 LSR 或标签边缘交换路由器 (LER)。LER 用于将非 MPLS 网络接入到 MPLS 网络上, 而核心 LSR 不具有接入功能, 但其拥有更加强大的报文转发能力。非 MPLS 网络的网络层报文进入 MPLS 网络后, LER 对其进行 MPLS 封装, 然后转发到下游 LSR。下游 LSR 只根据 MPLS 报文头部中的标签进行转发, 而不再识别网络层报文头部。MPLS 报文到达 MPLS 网络出口处, 将标签删除, 转发到其他非 MPLS 网络。从这个意义上讲, MPLS 相当于为非 MPLS 网络建立了一条隧道。

MPLS 报文的转发路径称为标签交换路径 (LSP), 由入口 LER、出口 LER、二者之间的一系列 LSR 以及连接它们的链路组成, 可用节点序列 (R1, R2, ..., Rn) 表示。一个节点从其某个入口收到的标签, 是该节点上游节点的标签, 在其出口处, 将更换为自己的标签。标签分发协议 (LDP) 在各个节点上为同一个转发等价类分配标签, 建立这些标签的入对应关系, 从而建立标签交换路径。只有标签交换路

径建立后,才能开始 MPLS 报文的转发,因此 MPLS 是一种面向连接的转发技术。对于同一转发等价类的网络层报文可由多个 LER 进入,因此对应转发等价类的标签交换路径为一树状结构,树的根部为出 LER,叶子节点为相关的入 LER。这样,在中间某些 LSR 上须进行标签合并,即将多个上游节点的同一转发等价类的标签,在其出口处合并为一个标签。

最初,MPLS 是为了提高 IP 网络路由器的报文转发速度而提出的一种技术。它引入转发等价类,合并了大量的网络层路由。相比网络层的路由表,MPLS 节点的标签转发信息库(LFIB)规模可大大减小,从而加快了报文的转发速度。MPLS 也是一种面向连接的技术,容易实现 IP 与 ATM、帧中继等二层网络的无缝融合。因此,MPLS 在流量工程、虚拟专用网、服务质量等方面也得到了较好的应用。

5.124 二层交换机(layer 2 switch)

工作于数据链路层,根据 MAC 地址转发以太网帧的交换机。二层交换机通过 MAC 地址学习建立 MAC 地址与设备端口对应关系表,并根据该表进行数据交换。二层交换机将冲突域限制在交换机的一个端口,但无法隔离广播域,可通过 VLAN 技术实现对二层交换机的广播域划分。二层交换机组网一般需要启用生成树协议,防止链路环路,形成广播风暴。典型的二层交换机有华为 S2300 系列以及思科 2900 系列交换机。

5.125 二层隧道协议(layer two tunneling protocol)

IETF RFC 2661 规定的一种隧道协议,简称 L2TP。L2TP 在隧道内传送的是点对点协议(PPP)帧,故称二层隧道协议。如图 5.27 所示,PPP 帧封装在 P2TP 数据报文中。L2TP 数据报文和控制报文全部封装在 UDP 报文文中进行发送。数据报文不重发,不能保证可靠性;控制报文使用流控和重发机制,能保证可靠传输。

PPP帧	
L2TP数据报文	L2TP控制报文
L2TP数据通道(不可靠)	L2TP控制通道(可靠)
UDP报文	

图 5.27 L2TP 协议结构

L2TP 注册了 UDP 端口 1701,这个端口号仅用于初始隧道建立过程。L2TP 隧道发起方任选一个

空闲端口(不必是 1701)向接收方的 1701 端口发送报文;接收方收到报文后,也任选一个空闲端口(不必是 1701)给发送方的指定端口回送报文。至此,双方的端口选定,并在隧道连通的时间内不再改变。

L2TP 协议提供了对 PPP 链路层数据包的隧道传输支持,允许二层链路端点和 PPP 会话点驻留在不同设备上,并采用包交换技术进行信息交互,从而扩展了 PPP 模型。L2TP 适用于远程用户接入用户本部网络。远程用户通过拨号网络、因特网等公用网与用户本部的网关之间建立一条 P2TP 隧道,接入用户本部网络。

5.126 反向地址解析协议(reverse address resolution protocol)

IETF RFC 903 标准规定的,根据终端的 MAC 地址动态获取 IP 地址的协议,简称 RARP。RARP 常用于无盘工作站从 RARP 服务器自动获取 IP 地址。无盘工作站启动后广播一个 RARP 请求报文,报文中源 MAC 为其 MAC 地址,目的 IP 为 0.0.0.0。RARP 服务器收到请求报文后,查询预先配置好 MAC 地址与 IP 地址的对应关系表,返回 RARP 响应报文,报文中目的 IP 字段填写为无盘工作站分配的 IP 地址。

RARP 报文包括请求与响应两种,均封装在以太网数据帧中,类型字段取值为 0x0806。报文格式与 ARP 报文格式相同,区别在于操作类型字段部分,3 表示 RARP 请求,4 表示 RARP 响应。

ARP 协议用于从 IP 地址到 MAC 地址的映射,而 RARP 协议用于从 MAC 地址到 IP 地址的映射。由于 RARP 基于链路层协议,在应用上受限于广播域,无法跨网段使用,因此逐渐被自举协议(BOOTP)和动态主机配置协议(DHCP)替代。

5.127 反向路径转发(reverse path forwarding)

对组播报文来向的正确性进行检查的机制,简称 RPF。正常情况下,组播报文向远离组播源(或汇聚点)的方向转发,组播路由器应从朝向组播源(或汇聚点)方向的接口上接收组播报文,如果从其他端口接收到组播报文,则极易形成组播环路。为避免组播环路的产生,须进行 RPF 检查,停止转发从其他端口接收到的组播报文。

RPF 检查的基本原理是,单播路由转发表中指向组播源(或汇聚点)的下一跳所对应的接口应是组播报文到达的正确接口,即 RPF 接口。RPF 接口

也可由组播静态路由指定。当收到一个组播报文后,查找组播静态路由表和单播路由表得到 RPF 接口。将其与组播报文实际到达的接口比对,二者一致即认为组播报文来向正确。在下列情况下,路由器收到组播报文后须进行 RPF 检查。

(1) 组播转发表中不存在相应的转发表项。

(2) 组播转发表中存在相应的转发表项,但表项的入接口与报文的入接口不一致。

5.128 访问控制列表(access control list)

IP 网络设备为对数据包分类而设计的规则列表,简称 ACL。同一个设备可以有多个 ACL,用 ACL 编号进行区分,但不同厂家设备的 ACL 编号可能不同,如华为为路由器的 ACL 编号范围为 1000~3999。一个 ACL 由多条 permit|deny 语句组成,每条语句包括匹配规则、操作等内容。匹配规则可以是源 IP 地址、目的 IP 地址、传输层协议、端口号等;操作分为“permit”和“deny”,分别表示允许和拒绝。ACL 语句的匹配顺序有配置顺序和自动排序两种,配置顺序按照用户配置 ACL 规则的先后顺序进行匹配,是缺省的匹配顺序;自动匹配使用“深度优先”的原则进行匹配,即把指定数据包范围小(如地址掩码长度大)的语句排在前面。ACL 只是一组分类规则,实际应用中需要与策略路由、流分类、防火墙等配合,才能实现数据包过滤等功能。

5.129 非网状测试(non-meshed test)

交换机测试所用的一种流量发送方法,又称端口对测试。将交换机的端口分成两两一组,每组的两个端口间互发测试帧。

5.130 分类编址(classful addressing)

特指五类 IP 地址分类方法。将 IP 地址分为

ABCDE 五类,如图 5.28 所示。A 类 IP 地址中第一个 8 位字段作为网络号,网络号取值范围为 1~126,A 类地址的主机号为剩余的 24 位,A 类地址的地址范围为 1.0.0.0~126.255.255.255;B 类 IP 地址头两比特位以 10 开头,前两个 8 位字段中剩余的比特位作为网络号,网络号取值范围为 128~191。主机号为后两个 8 位字段共 16 位,B 类地址的地址范围为 128.0.0.0~191.255.255.255;C 类地址头 3 比特位以 110 开头,前两个 8 位字段中剩余的比特位作为网络号,网络号取值范围为 192~223,主机号为最后 8 位字段共 8 位,C 类地址的地址范围为 192.0.0.0~223.255.255.255;D 类地址为组播地址,头 4 比特位以 1110 开头,剩余的比特位作为组播地址。D 类地址的地址范围为 224.0.0.0~239.255.255.255;E 类地址头 5 比特位以 11110 开头,保留用于研究。

5.131 峰值突发尺寸(peak burst size)

网络允许的数据流一次突发的最大尺寸,简称 PBS,单位为 bit 或 B。在双速率三色标记算法中,P 桶的容量为 PBS,令牌添加速率为峰值信息速率(PIR)。PBS 大于承诺突发尺寸(CBS)。在大于 CBS、小于 PBS 下发送的数据包,网络将其标记为黄色,应尽量转发,在大于 PBS 下发送的数据包,网络将其标记为红色,一般将其丢弃。

5.132 峰值信息速率(peak information rate)

网络可允许的数据流的最大突发速率,简称 PIR,单位为 b/s 或 B/s。在双速率三色标记算法中,PIR 为向 P 桶填充令牌的速率。PIR 不小于承诺信息速率(CIR)。

5.133 服务等级协议(service level agreement)

服务提供者与客户签订的有关服务质量的合

A类地址	0	网络号(7 bit)	主机号(24 bit)
B类地址	1 0	网络号(14 bit)	主机号(16 bit)
C类地址	1 1 0	网络号(21 bit)	主机号(8 bit)
D类地址 (组播)	1 1 1 0	组播地址	
E类地址 (保留)	1 1 1 1 0		

图 5.28 分类编址

同,简称 SLA。一个典型的网络 SLA 包括分配给客户的带宽,主要技术性能指标,技术支持和服务。在国防科研试验中,通信业务提供者与使用者认可的需求分析报告,实质上就是一种服务等级协议。

5.134 负载均衡(load balance)

对负载(工作任务)进行调度,分摊到多个操作单元上完成的技术,简称 LB。在 IP 网中,负载均衡分为服务器负载均衡、网关负载均衡和链路负载均衡。

服务器负载均衡是数据中心最常见的组网模型,包括以下几个基本元素。

(1) 负载均衡设备:负责分发各种服务请求到多个服务器的设备。

(2) 服务器组:由多个服务器组成,负责响应和处理各种服务请求。

(3) 虚拟服务 IP 地址:负载均衡设备的 IP 地址,为服务器组对外提供服务所用的 IP 地址,供用户请求服务时使用。

(4) 服务器 IP 地址:各个服务器的 IP 地址,供负载均衡设备分发服务请求时使用。

依据转发方式,服务器负载均衡分为地址翻译(NAT)方式和直接路由(DR)方式。两种方式的处理思路相同,即负载均衡设备提供虚拟服务,用户访问请求服务后,负载均衡设备根据调度算法将请求分发到各个服务器。但在具体处理方式上有所区别:前者分发服务请求时,进行目的 IP 地址转换(目的 IP 地址为实服务的 IP),通过路由将报文转发给各个服务器;后者分发服务请求时,不改变目的 IP 地址,而将报文的目的 MAC 地址替换为实服务的 MAC 地址后直接把报文转发给服务器。

网关负载均衡包含的要素有负载均衡设备和网关设备组。负载均衡设备有两个,分别连接两个网。网关设备组的各个网关设备,并联连接在两个负载均衡设备上。很多网关设备是基于会话开展业务的,因此一个会话的请求和应答报文必须通过同一个网关设备。发起会话请求一方的负载均衡设备进行负载均衡,另一个负载均衡设备保证应答的流量经由同一个网关设备处理。

链路负载均衡根据业务流量方向可以分为出链路负载均衡和入链路负载均衡两种情况。内网和外网之间存在多条链路时,通过出链路负载均衡可以实现多条链路上分担内网用户访问外网服务器的流量,通过入链路负载均衡可以实现多条链路上

分担外网用户访问内网服务器的流量。出链路负载均衡中虚拟服务 IP 地址为内网用户发送报文的网段。用户将访问虚拟服务 IP 地址的报文发送到负载均衡设备后,负载均衡设备选择物理链路,并将内网访问外网的业务流量分发到该链路。入链路负载均衡中,负载均衡设备记录域名与内网服务器 IP 地址的映射关系。一个域名可以映射为多个 IP 地址,其中每个 IP 地址对应一条物理链路。外网用户通过域名方式访问内网服务器时,本地域名服务器将域名解析请求转发给权威名称服务器——负载均衡设备,负载均衡设备选择物理链路,并将通过该链路向外网连接的接口 IP 地址作为域名解析结果反馈给外网用户,外网用户通过该链路访问内网服务器。另外,路由器在等价路由上进行的负载均衡,也可认为是一种链路负载均衡。

负载均衡的调度算法以连接为粒度,同一条连接的所有报文都会分发到同一个服务器或链路上。这种细粒度的调度在一定程度上可以避免单个用户访问的突发性所引起的负载不平衡。调度算法分为静态和动态两大类:静态算法又分为轮转、加权轮转、随机、加权随机,基于源 IP 地址的哈希算法、基于目的 IP 地址的哈希算法、基于源端口号的哈希算法等多种;动态调度算法又分为最小连接、加权最小连接和带宽等。

5.135 根端口(root port)

以太网交换机的一种端口。每个交换机有一个根端口。通过该端口,交换机与生成树的上游交换机相连,接收上游交换机发送的桥协议数据单元(BPDU)。

5.136 根网桥(root bridge)

以太网生成树根所对应的网桥,又称为主网桥。在由交换机组成的以太网中,根网桥为网中的某一个交换机。根网桥由网桥识别符(BID)决定,BID 最小者为根网桥。BID 由两个字节的优先级字段和 6 个字节的 MAC 地址组成。如果需要人工指定根网桥,可以通过手工配置各网桥的优先级字段的方式来实现。

5.137 共享式以太网(shared ethernet)

所有主机通过同轴电缆或集线器连接在同一点线上的以太网。所有主机处于同一个冲突域中,同一时刻只允许一台主机发送数据,其他主机处于侦

听状态,否则将发生冲突。主机间利用 CSMA/CD 机制来检测和避免冲突。共享式为早期以太网应用模式,目前基本都采用交换式以太网方式组网。

5.138 共享树(shared tree)

同一组播组内,多个组播源共用的转发树。在 PIM 协议中,又称汇聚点树(RPT)。共享树用(*,G)表示,通配符“*”表示所有组播源地址,G 表示组播组地址。共享树不区分组播源,以汇聚点路由器(RP)为根,以连接组播组成员的路由器为叶子。通过共享树,组播组成员无须知道组播源地址,就可接收组播报文。一个组播组的共享树建立后,不同组播源发往该组播组的报文都使用该共享树转发。组播源将组播报文转发给 RP,RP 再沿共享树将报文转发给所有组成员。共享树的优点是路由器中保存的状态数可以很少,缺点是组播源发出的报文要先经过 RP,再转发给接收者,路径不一定是最短路径,而且对 RP 的可靠性和处理能力要求很高。当叶子路由器接收到 RP 转发的组播报文后,就获得组播报文的源地址,可根据预先设定的条件,建立并切换至有源树。

5.139 工作组交换机(workgroup switch)

适用于工作组的网络交换机。在企业网内,交换机常分为企业级、部门级和工作组级 3 种。工作组交换机为二层交换,功能简单,一般没有网管和 QoS 功能;设备为单板结构,端口数量固定,一般在 24 端口以下,价格相对便宜。

5.140 骨干路由器(core router)

骨干网使用的路由器,又称核心路由器,简称 CR。规模较大的网络一般划分为骨干网和边缘网两部分,骨干路由器负责骨干网的数据转发,一般不与用户网络直接相连。与边缘路由器相比,骨干路由器容量大,技术性能、可靠性和价格较高。

5.141 广播(broadcast)

信源只发送一次,所有信宿均能收到的通信业务方式。一般利用无线信道、共享信道、网络节点复制等方法实现。广播是一种实现一点到多点通信的方式,但一点到多点的通信方式并不局限于广播。

5.142 广播风暴(broadcast storm)

MAC 数据帧在广播域内大量复制,占用网络带宽,导致网络性能下降甚至网络瘫痪的现象。广播

风暴产生的原因包括病毒、交换机端口或网卡故障、网络环路等。

5.143 广播域(broadcast domain)

同一网段内接收广播帧的所有主机的集合。广播域属于 OSI 模型的链路层,在共享式以太网中,广播域与冲突域是一致的。在交换式以太网中,一个端口所连的主机构成一个冲突域,同一网段所有端口连接的主机构成一个广播域。当广播域范围过大时,容易产生广播风暴,可通过划分 VLAN 或者三层设备进行广播域的分割。

5.144 光模块(optical transceiver)

实现光电/电光转换的小型模块化设备。光模块一般集成了独立的光信号发射驱动和接收放大电路,收发功能合一,一般用于远距离的千兆网口连接。以太网中常用的光模块包括千兆以太网接口转换器(GBIC)、小型可插拔收发模块(SFP)等。由于 SFP 模块与 GBIC 模块功能一致,且体积更小,因此目前的 GBIC 模块基本已被 SFP 模块所替代。

5.145 广域网(wide area network)

分布地域范围广泛的网络,简称 WAN。广域网通常指远距离连接局域网、城域网的各种通信网络和系统。在 IP 网中,把路由器经由各种通信网络和系统连接起来的部分称为广域网。从向路由器提供连接电路的角度出发,广域网可分为以下几种类型。

(1) 点到点永久性专线电路:一个物理接口对应一条电路,路由器通过 EIA RS-232、RS-530、RS-422/449、ITU-T V.35、G.703 等各种数据接口与电路连接。广域网进行比特透明传输,路由器一般在链路层采用点到点协议(PPP)。

(2) 点到多点半永久性专线电路:物理接口为信道化接口,一个物理接口对应多条点对点电路。路由器接口的物理层须采用广域网的时分复用帧格式,广域网采用交叉连接的方式,将一个物理接口的数据分为多个方向,同时又能将多个物理接口的数据合为一个方向。路由器一般在链路层采用点到点协议(PPP)。

(3) 虚电路:一个物理接口对应多条点对点电路,广域网根据地址、连接标识符等转发数据包。这类广域网主要有多协议标签交换(MPLS)、虚拟专用网(VPN)、帧中继(FR)、异步转移模式(ATM)等。路由器一般在链路层采用广域网的链路层协议。

5.146 核心层 (core layer)

局/城域网分层结构的最高层。局/城域网一般分为接入层、汇聚层和核心层,其中核心层是城域网的中心,连接汇聚层和接入层,对外连接广域网。因此,核心层设备应具备大吞吐量、高可靠性的特点,一般选用模块化设计的核心交换机。

5.147 核心交换机 (core switch)

局/城域网核心层使用的交换机。核心交换机是网络中的核心设备,交换能力和可靠性要求高,且转发速率和背板带宽高,可满足全端口配置下线速转发要求。核心交换机采用模块化设计,主控模块及电源可冗余备份。以华为 Quiway S9306 系列交换机为例,其包转发速率为 1080 Mpps,背板带宽为 2.4 Tbps,这样性能的交换机可以应用于试验任务 IP 网中,做核心交换机使用。

5.148 黑洞 MAC 地址 (blackhole MAC address)

一种特殊的静态 MAC 地址。当交换机收到目的 MAC 地址或源 MAC 地址为黑洞 MAC 地址的数据帧时,直接予以丢弃。黑洞 MAC 地址由用户手动配置,表项不会老化,系统复位后也不会丢失。在系统模式下配置的黑洞 MAC 地址,全局有效;在 VLAN 模式下配置的黑洞 MAC 地址,仅在该 VLAN 内有效。将非信任用户的 MAC 地址设置为黑洞 MAC 地址,可防止非法用户的攻击。

5.149 黑洞路由 (blackhole route)

下一跳是空接口 (null) 的 IP 路由表项。空接口为逻辑接口,始终处于 UP 状态。黑洞路由为手动配置的静态路由,任何转发到黑洞路由的 IP 报文,实际上被路由器直接丢弃,且不通知源主机。在网络遭受攻击的情况下,可以通过配置黑洞路由丢弃攻击报文。

5.150 环回地址 (loopback address)

为主机或路由器虚拟接口配置的掩码为 32 位的 IP 地址。最初的环回地址用于主机的自发自收测试,一般使用 127.0.0.0/8 网段的地址。网络设备的环回地址一般作为设备管理地址以及动态路由协议的路由器标识使用。一台设备可设置多个环回地址,而且不受限于 127.0.0.0/8 网段。

5.151 环回接口 (loopback interface)

主机或路由器的一种逻辑接口。环回接口 IP 地址的掩码为 32 位,一台设备可创建多个环回接口。环回接口一旦被创建,其物理状态和链路协议状态始终处于 Up 状态。因此,通常将环回接口用于路由协议中的路由器标识、设备管理、隧道等。

5.152 汇聚层 (distribution layer)

局/城域网分层结构的中间层。局/城域网一般分为接入层、汇聚层和核心层,其中汇聚层下联接入层,上联核心层,主要实现区域内的信息汇聚与交换。汇聚层设备一般选用模块化设计的汇聚交换机。在试验任务 IP 网中,为提高可靠性,汇聚层一般采用双上联的组网模式连接核心层。

5.153 汇聚点 (rendezvous point)

运行 PIM-SM 协议网络中组播共享树的根节点,简称 RP。汇聚点位于网络中的路由器上,占用一个 IP 地址。每个任意源组播组唯一对应一个汇聚点,但不同的组播组可以对应不同的汇聚点。组播源的组播数据首先发给汇聚点,然后由汇聚点沿共享树转发至组播组成员。汇聚点既可以人工配置指定,也可以通过选举机制自动产生。

5.154 汇聚交换机 (distribution switch)

局/城域网汇聚层使用的交换机。汇聚交换机是多台接入交换机的汇聚点,并提供到核心交换机的上行链路,因此要求汇聚层交换机相对于接入交换机具有更高的性能与可靠性,因此汇聚交换机多采取模块化设计、双电源、双主控等可靠性设计。一般情况下,汇聚交换机的转发速率和背板带宽应满足全端口配置下线速转发要求。在接入距离较短,且核心交换机具有足够接口的情况下,网络设计时亦可省去汇聚交换机,使接入交换机直接连接核心交换机。试验任务 IP 网中的汇聚交换机一般采用华为 Quiway S9303 系列交换机,其包转发速率为 540 Mpps,背板带宽为 1.2 Tbps。

5.155 《基于以太网技术的局域网系统验收测评规范》(Acceptance Test Specification for Local Area Network (LAN) System Based on Ethernet Technology)

中华人民共和国标准之一,标准代号为 GB/T

21671—2008, 2008 年 4 月 11 日, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准委员会发布, 自 2008 年 9 月 1 日起实施。该标准从功能、传输媒体、设备、性能、网络管理功能、供电和环境等各个方面规定了局域网系统验收测评的技术要求和测试方法, 提出了综合验收的测试规则。该标准主要适用于基于以太网技术的局域网系统的验收测试、评估测试以及日常维护中的相关测试。在某些情况下, 也可用于设计、施工中的相关测试。

5.156 加权公平队列 (weighted fair queuing)

对不同队列分配不同带宽权重值的公平队列, 简称 WFQ。对数据流进行分类, 不同优先级的数据流进入不同的队列。在出队的时候, 采用轮询的方式进行调度。每个队列轮询一次发送的数据量由该队列的带宽权重值确定。一般来讲, 优先级越高, 分配的权重值越大, 一次轮询发送的数据量也越大。WFQ 既保证了相同优先级的数据流能够公平地共享网络资源, 又使高优先级的数据流相对低优先级的数据流获得了更多的调度机会, 在网络发生拥塞时能均衡各个流的时延和时延抖动。

5.157 加权随机早期检测 (weighted random early detection)

通过预测拥塞的发生, 在拥塞发生前根据报文优先级的不同按照一定的规则丢弃部分报文以预防网络拥塞的丢包策略, 简称 WRED。WRED 在随机早期检测 (RED) 的基础上, 为不同优先级的报文提供不同的丢弃特性, 包括计算平均队列长度的指数、队列长度的上下限、丢弃概率等, 使高优先级的报文被丢弃的概率相对较小, 解决了 RED 不支持区分服务, 无法提供有效的公平性保证等问题。

5.158 家乡代理 (home agent)

在移动 IP 中, 位于家乡网上的移动代理。家乡代理一般设置在路由器上, 负责建立和维护移动节点的移动绑定信息, 以及至外地代理或移动节点的隧道。在移动节点移动到外地网后, 家乡代理通过隧道向其转交数据包。当家乡地址同时绑定多个转交地址时, 家乡代理则向所有转交地址转交数据包。

5.159 简单文件传输协议 (trivial file transfer protocol)

IETF RFC 1350 规定的文件传输协议, 简称

TFTP 协议。TFTP 为应用层协议, 其协议数据单元 (PDU) 如图 5.29 所示, 包括读请求 PDU、写请求 PDU、数据 PDU、确认 PDU 和差错 PDU。TFTP 开始工作时, 客户进程向服务器进程发送读请求 PDU 或写请求 PDU, 表明要从服务器下载文件或向服务器上传文件。服务器确认后开始发送数据 PDU。每发送完一个数据 PDU 后就等待对方确认, 确认后再发送下一个数据 PDU。数据 PDU 的数据部分缺省长度为 512 B。若文件长度为 512 B 的整数倍, 则文件传送完毕后再发送只含首部的数据 PDU 作为文件传送完毕标志。若文件长度不是 512 B 的整数倍, 则以数据部分不足 512 B 的数据 PDU 作为文件传送完毕标志。发送数据方在规定时间内收不到确认 PDU, 则重发数据 PDU; 接收数据方在规定时间内收不到下一个数据 PDU, 则重发确认 PDU。在文件传送过程中若服务器收到差错 PDU, 则结束文件的传送。



图 5.29 TFTP PDU 格式

TFTP 使用 UDP 作为传输层协议, 熟知端口号为 69。与 FTP 相比, TFTP 支持的命令集相对较小, 不支持列目录、用户身份鉴别等功能; 不支持双向同时传送文件。

5.160 简单邮件传输协议 (simple mail transfer protocol)

IETF RFC 788 规定的电子邮件发送协议, 简称 SMTP 协议。SMTP 用于客户端 (邮件发送者) 向邮件服务器发送邮件, 其发送过程分为以下 3 个阶段。

(1) 连接建立

客户端进程每隔一定时间扫描一次邮件缓存,

当缓存中有邮件时,客户端就与服务器建立 TCP 连接,熟知端口号为 25。连接建立后服务器发出服务就绪消息,然后客户端向服务器发送“HELO”命令,其中包含发送方主机名。服务器有能力接收,则发送“250 OK”消息,表示准备好接收。

(2) 邮件发送

邮件的发送从客户端发送“MAIL”命令开始,该命令中包含发件人地址。若服务器准备好接收邮件,则发送“250 OK”消息。之后客户端发送一个或多个“RCPT”命令,每个命令中均包含一个收件人地址。对于每个“RCPT”命令,若收件人地址可达,则服务器发送“250 OK”消息。接着客户端发送“DATA”命令,开始传送邮件,服务器返回相应的响应消息。邮件发送完毕后,客户端发送“<CRLF>”命令,表示邮件发送结束。

(3) 连接释放

邮件发送完毕后,客户端发送“QUIT”命令,服务器返回服务关闭消息,TCP 连接释放,邮件传送过程结束。

5.161 剪枝 (prune)

PIM 协议中停止不必要组播转发的机制。当组播路由器不需要从某一端口接收组播报文时,通过该端口向上游路由器发送剪枝报文,上游路由器停止组播报文转发,同时建立剪枝状态,剪枝超时定时器开始计时。当定时器超时,剪枝状态重新恢复为转发状态,组播报文再次从该端口转发,开始新一轮的扩散—剪枝过程。

5.162 交叉网线 (ethernet cross-over wire)

将两个 RJ45 连接器不同编号插针连接起来制成的网线,简称交叉线。百兆交叉线连接关系如图 5.30 所示,交叉线一端采用 EIA/TIA 568A 标准,另一端采用 EIA/TIA 568B 标准规定的线序与插针编号的对应关系,与 RJ45 连接器相连。千兆交叉线在百兆交叉线的基础上,分别将插针 4 和 8、5 和 7 交叉连接。一般情况下同类设备连接时,采用交叉线,如路由器之间、交换机之间以及主机之间等。目前,大多数设备均具有端口线序自动反转功能,亦可采用直连网线连接。

5.163 交换机堆叠 (stack of switch)

将多台交换机通过线缆连接,组成一台逻辑交换机的技术。交换机堆叠的目的是为了增加交换机

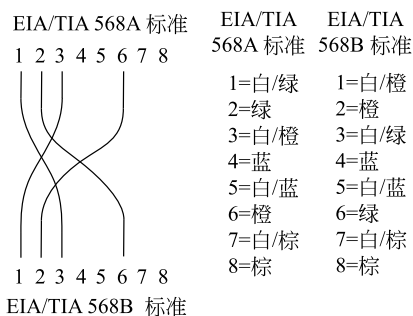


图 5.30 百兆网交叉线连接关系

的端口数量,简化网络结构,便于管理。具有堆叠功能的交换机一般都具有专用的堆叠模块,堆叠模块上具有上联 (up) 和下联 (down) 两个端口,堆叠时将一个交换机的上联端口与另一个交换机的下联端口相连。一个 4 台交换机组成的堆叠,如图 5.31 所示,将第 4 台的下联端口与第 1 台的上联端口连接,形成环状结构,这样,任意一根线缆发生故障时仍可保证整组交换机的正常工作。所有参与堆叠的交换机在网络拓扑和网络管理中视为一台交换机,一般堆叠成员通过选举产生一个主交换机,负责堆叠交换机的管理。

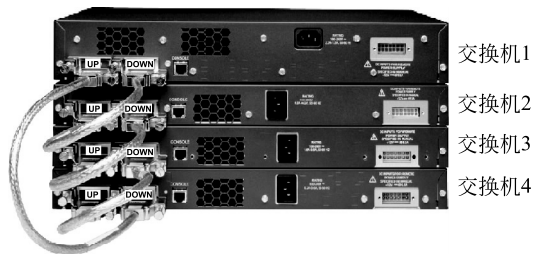


图 5.31 交换机堆叠方式

堆叠实质上是交换机背板的连接,不占用用户端口,堆叠后不降低用户端口的交换速率,VLAN 等功能不受影响。

堆叠是一种非标准化的技术,一般不同厂家交换机之间不能在一起堆叠。在试验任务 IP 网中一般采用机架式交换机,这种交换机有多个插槽,端口密度大,较少进行堆叠。

5.164 交换式以太网 (switched ethernet)

采用交换机构建的全双工以太网。交换机工作在数据链路层,相当于一个多端口网桥,能根据 MAC 地址将数据帧从一个端口转发至另一个端口。

交换式以太网的每个接口均为一个独立的冲突域,且收发采用不同的线对传输。因此,用户主机能够独占端口全部带宽,进行全双工传输。

5.165 接口限速 (limit rate)

限制物理接口或隧道接口发送速率的流量管理技术,简称 LR。LR 采用令牌桶进行限速,令牌存放速率设置为所限速率。当报文到达时,如果令牌桶里有足够令牌时则发送报文,如果令牌不足则停止发送,等待令牌,直到有足够的令牌再开始发送,这样就把出接口的总速率限制在令牌存放速率以内。与流量整形相比,LR 能够限制物理接口或隧道接口上通过的所有报文,而流量整形在 IP 层实现,可以根据报文分类,限定指定类别的报文。在试验任务中,路由器与卫通电路通过以太网接口连接时,接口速率高于卫通电路的实际速率,一般在路由器的广域网出口进行接口限速,使其不高于卫通电路实际速率。

5.166 接口震荡 (port link-flap)

网络设备接口频繁交替出现上线 (up) 和下线 (down) 的现象。接口震荡通常由线缆/接口接触不良、主备倒换或者设备参数配置不当等原因引起。接口频繁上下线可导致设备的 ARP 表、路由表等相关表项频繁更新。更新不及时,将导致数据丢包、甚至网络业务中断。避免接口震荡的一般方法是:启用接口震荡保护功能,检测震荡频率,在指定时间内震荡次数超过阈值时,则关闭震荡接口。

5.167 接入层 (access layer)

局/城域网分层结构的最底层。局/城域网一般分为接入层、汇聚层和核心层,其中接入层连接终端用户,上联汇聚层或核心层,主要实现终端用户的接入。

5.168 接入交换机 (access switch)

局/城域网接入层使用的交换机。接入层交换机主要提供终端用户的网络接入,通常采用固定端口设计的盒式交换机。与核心和汇聚交换机相比,接入交换机成本低廉,但是功能相对简单,关键部件一般无备份,可靠性不高。以华为 Quiway 5300 系列交换机为例,其最大可提供 48 个千兆端口,转发速率最大为 102 Mpps/s,背板带宽最大为 136 Gb/s,这样性能的交换机可以应用于试验任务 IP 网中,做

接入交换机使用。

5.169 介质独立接口 (media dependent interface)

直连线/交叉线线序能够自适应的以太网接口,简称 MDI。MDI 接口工作模式可分为自动模式、直连模式和交叉模式:自动模式又称为线序自适应模式,能够自动识别线序,协商完成收发对接;直连模式与交叉模式收发管脚固定,不会翻转。直连模式的接口与交叉模式接口连接时,只能使用直连线序,否则只能使用交叉线序。

5.170 尽力而为服务模型 (best-effort)

按照先进先出原则对所有报文进行转发的服务模型,简称 BE。当网络资源不足时,BE 就丢弃后到达的报文。BE 的优点是实现简单,处理速度快;缺点是当网络资源不足时,不能对重要业务提供比一般业务更好的质量保证。BE 是 IP 网最早出现的服务模型,目前仍在互联网中被大量使用。

5.171 静态 ARP 表项 (static ARP entry)

人工配置、始终有效的 ARP 表项,简称静态 ARP。如果 ARP 表中同时存在某 IP 地址的动态 ARP 表项和静态 ARP 表项时,则只有静态 ARP 表项生效。静态 ARP 表项主要应用于以下两种情况。

(1) 为了将目的 IP 地址不在本网段的报文,通过本网段网关转发,将该 IP 地址固定映射到网关 MAC 地址。

(2) 当需要过滤非法报文时,可将其目的 IP 地址固定映射至某个不存在的 MAC 地址。

5.172 静态路由 (static route)

由网络管理员手动配置的路由。一条静态路由的配置项目一般包括:目的地址与掩码、下一跳地址或出接口。静态路由不依赖路由协议,不存在路由老化,当网络发生故障或者拓扑结构发生变化时,无法自动更新。由于试验任务 IP 网广域网的信息传输关系较为固定,因此广域网路由器之间主要采用静态路由设计,同时为了保障路由可靠性,利用双向转发检测 (BFD) 技术来检测静态路由由所在链路的状态。

5.173 距离矢量路由协议 (distance-vector routing protocol)

采用距离矢量算法的动态路由协议,简称

DVRP。距离指路由器以自身为基准,到达目的网络的度量值,度量值可以是跳数、时延等。矢量指到达目的网络的下一跳地址。一个距离矢量组合,即到达一个目的网络的度量值、下一跳地址,实质上就是路由表的一个表项。DVRP 的基本思想是,路由器通过相互发送路由表,发现路由,并且通过比较,从多个路由中找到到达目的网络的最短路由。每个路由器启动后,路由表中只包含直接相邻的网络的路由。它向相邻的路由器发送自己的路由表,每个相邻的路由器收到该路由表后,与自己的路由表比较,添加新的路由,并按照最短距离优先的原则,替换已有的距离长的路由。然后,该相邻路由器再把自己已更新的路由表发送给自己的相邻路由器。每个路由器发送路由表是按周期不间断发送的,经过一段时间的收敛,最终所有路由器的路由表以最短距离为标准达到稳定状态。DVRP 具有简单、易实现的优点,但存在收敛速度慢、容易形成路由环路的问题,不适合在大型网络中使用。目前常用的 DVRP 为路由信息协议(RIP)。

5.174 局域网(local area network)

覆盖局部区域的计算机网络,简称 LAN。LAN 的覆盖范围一般限制在一个独立的建筑物内。随着光纤传输技术的应用,LAN 的覆盖范围得到拓展,可不受此限制。LAN 是数据链路层的网络,按照技术特点可分为以太网(IEEE 802.3)、无线局域网(IEEE 802.11)、令牌环网、光纤分布式数据接口(FDDI)网等,目前应用最普遍的为以太网和无线局域网。

5.175 《局域网交换设备的基准测试》 (Benchmarking Methodology for LAN Switching Devices)

IETF 的文档之一,文档号为 RFC 2889,2000 年 8 月发表。RFC 2889 将 RFC 2544《网络互连设备的基准测试》中定义的测试方法引入到局域网交换设备,为交换设备的转发性能、拥塞控制、时延、地址处

理和过滤等提供了一套测试基准方法以及测试结果报告的格式。

5.176 可变长子网掩码(variable length subnet mask)

IETF RFC 1009 标准规定的长度可变的子网掩码,简称 VLSM。若对自然分类法的网络进行均等划分时,所有子网具有同一个子网掩码。若进行不均等划分时,不同主机容量的子网具有不同长度的子网掩码。利用可变长子网掩码,可根据实际需求,对网络进行更加灵活的子网划分,更加高效地利用 IP 地址空间。

5.177 可靠交换控制协议(reliable ex- change control protocol)

试验任务专用的基于 UDP 的文件交换控制协议,简称 RECP。RECP 协议在应用层实现丢包重传、超时重传、流量控制等服务质量保障功能,为文件交换协议(FEP)提供可靠的运行保障。RECP 协议承载 FEP 报文,其报文格式如图 5.32 所示。协议头部包括标志、序号、保留位、摘要长度(保留)、摘要(保留)等字段。标志字段表示 RECP 包类型,包括连接包(SYN)、应答包(ACK)、数据包(DATA)、结束连接包(FIN);序号字段确定唯一的数据包,接收端利用序号信息判断报文是否丢失及乱序;数据域为文件交换协议(FEP)报文。

信源在应用层完成 FEP 协议组包后,使用 RECP 协议重新封装,在 FEP 协议包前加上 RECP 包头字段,RECP 协议数据域即为 FEP 协议包。信宿通过 UDP 协议接收到数据后,交给 RECP 协议进行解析,去掉 RECP 包头后交给上层 FEP 协议进行处理。主要工作过程如下。

(1) 建立连接

信源构建并发送 RECP 连接包(SYN),等待接收信宿返回相应应答包(ACK)。收到应答后,开始数据传输。如果在连接指定的时间内未收到 ACK,则信源重发 RECP 连接包。

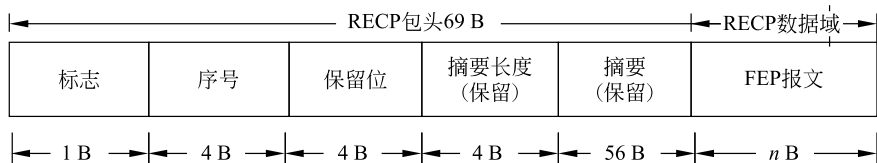


图 5.32 RECP 报文格式

(2) 数据传输

信源构建并发送 RECP 数据包,等待接收信宿返回应答包(ACK)。收到应答包(ACK)后,则表明信宿已经收到应答包(ACK)中序号对应的 RECP 数据包。如果超时且没收到应答包(ACK),则信源重发该 RECP 包。数据传输完毕后,结束该 RECP 连接。

(3) 结束连接

构建并发送 RECP 结束连接包(FIN),等待接收信宿返回相应应答包(ACK)。接收到相应的应答包后,视本次传输结束。如果超时且没有收到应答包(ACK),则信源重发 RECP 结束连接包。

5.178 快速重路由(fast reroute)

在链路或节点失效时,通过快速检测和快速启用备用路径,迅速恢复业务流的机制,简称 FRR。FRR 操作是节点的本地行为,不涉及与其他节点的交互与配合。在不同的应用场景下,可采用光端口功率检测、减少路由协议 hello 报文的发送时间间隔、双向转发检测(BFD)等多种不同的方法,快速检测出失效的链路和节点。一旦检测到失效,立即将业务流从失效的转发路径切换到预先设置好的备用路径上。路由重新收敛后,再将业务流从修复路径切换到收敛后的最优路径上。因此,FRR 保证了路由收敛过程中业务流的不间断转发。

5.179 快速生成树协议(rapid spanning tree protocol)

IEEE 802.1w 定义的生成树协议的优化版,简称 RSTP。RSTP 现已并入 IEEE 802.1D《介质访问控制(MAC)桥》。RSTP 是在生成树协议(STP)基础上发展而来的,向后兼容 STP,主要解决 STP 收敛慢的问题。与 STP 相比,RSTP 的端口状态转换时间由几十秒钟缩短到几秒钟,其主要改进如下。

(1) 增加建议/确认机制

RSTP 不再支持半双工的多点连接,仅支持网桥间的全双工点到点连接。这样当链路一个端口被确定为指定端口后,可快速进入转发状态。具体方法是:在配置 BPDU 报文的标志字段中定义了两比特位,分别表示建议报文和确认报文。指定端口发送建议报文,对端端口返回确认报文,一次握手即可进入转发状态,不再需要定时机制。

(2) 增加端口角色

端口角色增加了替代端口、备份端口、不可达端

口,其中前两者分别作为根端口和指定端口的备份端口,不可达端口不在生成树中起作用。根端口或者指定端口失效时,替代端口或者备份端口直接进入转发状态。

(3) 减少端口状态

端口状态由原来的 5 种减少为 3 种:丢弃、学习和转发。引入丢弃状态代替阻塞状态、监听状态和禁用状态。这样端口从初始状态转变为转发状态只需经过一个转发时延周期时间。

(4) 引入边缘端口机制

边缘端口指直接连接终端的端口,这类端口不会在网络中产生环路。边缘端口由管理员手动配置,不接收处理配置 BPDU。引入边缘端口机制后,这类端口始终为指定端口,直接进入转发状态。

5.180 扩展突发尺寸(excess burst size)

网络可容许的数据流每次突发超过承诺突发尺寸的最大尺寸,简称 EBS,单位为 bit 或 B。在单速率三色标记算法中,将 E 桶的容量设置为 EBS,其令牌添加速率与 C 桶相同,为承诺信息速率(CIR)。

5.181 链路分片与交叉(link fragment and interleave)

为保证实时业务传输而对非实时业务的大报文进行分片发送的链路效率机制,简称 LFI。由于使用低速接口发送较大的报文会占用较多的时间,即使为实时业务配置了高优先级队列也只能等待,从而降低了实时交互业务的通信质量。LFI 的原理是将大报文分成若干个小报文(分片报文)后,与其他队列报文一起调度,实时报文优先级较高,可以插入分片报文之间发送,从而减小传送大报文对实时报文造成的时延与抖动。通过分片报文的序号,保证接收端能够恢复原报文。任何一个分片报文的丢失都会导致报文恢复失败。如果分片报文长度过小,会带来过多的开销。LFI 主要用在 PPP 或帧中继等低速链路上。

5.182 链路聚合控制协议(link aggregation control protocol)

IEEE 802.3ad 标准规定的,实现链路动态聚合与解聚合的协议,简称 LACP。LACP 链路聚合分为静态聚合和动态聚合两种模式。静态聚合模式需要管理员手工确定聚合组成员端口以及活动端口数

量,而 LACP 协议只确定成员端口中的活动(数据转发)和非活动(备份)端口。动态聚合模式不需要人工介入,设备自动进行链路聚合。

LACP 规定的链路聚合过程如下。

(1) 两端设备互相发送链路聚合控制协议数据单元(LACPDU)报文,向对端通告本端状态,包括 LACP 优先级、设备 MAC 地址、端口号等;

(2) 两端设备根据 LACP 优先级确定主动端。如果 LACP 优先级相同,则选择 MAC 地址小的作为主动端;

(3) 两端设备根据接口 LACP 优先级确定主动端,最终以主动端设备的活动端口确定另一端的活动端口。在所有活动端口上以负载分担的方式转发数据。

当聚合组两端设备中任何一端检测到链路中断、端口不可用等事件时,触发聚合组的链路切换。切换过程如下。

(1) 关闭故障链路;

(2) 从非活动端口中选择 LACP 优先级最高的端口,将其转为活动状态,开始转发数据。

LACP 报文封装在链路层数据帧中,以二层组播方式发送。其格式如图 5.33 所示,目的 MAC 地址为 01-80-C2-00-00-02,源 MAC 地址为发送该 LACP 报文端口的 MAC 地址;长度/类型字段,取值固定为 0x8809。载荷部分长度为 114 B,包含子类型、LACP 版本号、配置参数和聚合状态等。

5.183 链路状态路由协议(link-state routing protocol)

一种基于链路状态的动态路由协议。路由器收集其直连链路的状态信息,主要包括链路的带宽、

上/下线状态、IP 地址、掩码等,形成链路状态通告(LSA)信息,将其封装到协议报文中,发送给其他路由器。这样,每台路由器最终接收到所有其他路由器的 LSA,从而建立起完整的链路状态数据库(LSDB)。通过 LSDB,每台路由器生成一个以自己为根节点的到各目的网段的加权有向图,然后以最小代价为原则,计算出到各目的网段的路由,生成路由表。常用的链路状态路由协议有开放最短路径优先(OSPF)、中间系统到中间系统(IS-IS)等。

5.184 令牌桶(token bucket)

流量评估中用作存放令牌的容器。令牌桶以一定的速率均匀地增加令牌,当令牌桶存满时,则丢弃后到的令牌。每通过一个报文,就从令牌桶中减去与报文长度相对应的令牌数。当报文到达时,如果有足够的令牌,则流量合规,否则为不合规。IETF 规定了单速率三色着色法(srTCM)和双速率三色着色法(trTCM)两种双令牌桶算法,对到来的报文进行染色(绿色、黄色或红色),供后续环节对报文进行有区别的处理。

5.185 流量分类(traffic classifying)

按照一定规则对流量进行的分类。流量分类的目的是为了对流量进行标识,以便对不同类型的业务提供不同的服务。分类规则有基于分组的和基于流的两种,基于分组的规则依据 IP 数据报的 IP 优先级、区分服务码点(DSCP),IEEE 802.1p 的服务类别(CoS)等;基于流的规则依据源 IP 地址、目的 IP 地址、源端口号、目的端口号、协议等。在试验任务 IP 网中,一般在接入节点处依据流的源 IP 地址、目的 IP 地址、IP 协议字段和目的端口号进行流量

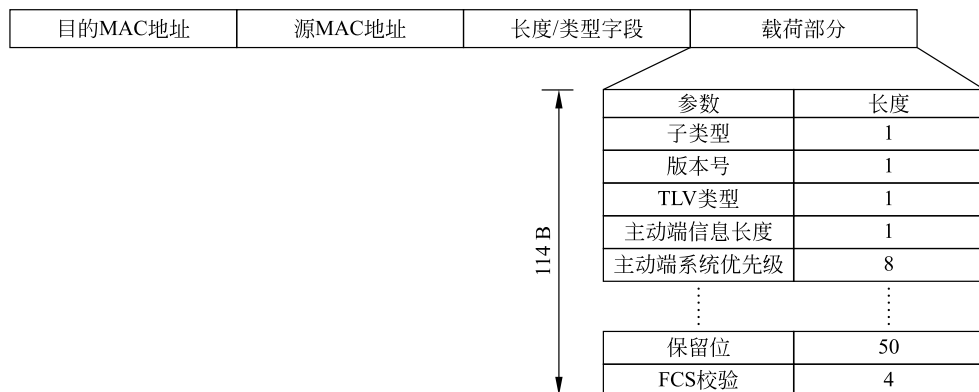


图 5.33 LACP 报文格式

分类,中间节点启用优先级信任机制,直接使用接入节点配置的优先级,不再对流量进行重新分类。

5.186 流量监管 (traffic policing)

对进出网络端口的特定流量的规格进行监测,并将其限制在规定范围之内的控制机制。常用的流量监管措施为承诺访问速率 (CAR) 机制,采用令牌桶测量流入或流出网络端口的业务流,对超出承诺访问速率的流量进行“惩罚”,如丢弃报文、降低 IP 优先级等。流量监管一般作用在网络的边缘上。

5.187 流量整形 (traffic shaping)

平滑网络流量峰值,使流量趋于均匀的控制机制。流量整形通常使用缓冲区和令牌桶来完成。当报文的发送速度过快时,首先在缓冲区内对数据进行缓存,在令牌桶的控制下,再均匀地发送这些被缓存的数据。流量整形与流量监管的主要区别在于,流量整形对超过流量规格的报文进行缓存,均匀地向外发送,一般不丢弃报文,但会增加时延;而流量监管不对超过流量规格的报文进行缓存,而是直接丢弃或改变报文优先级,因此不引入额外的时延。

5.188 路由表 (routing table)

存储路由信息的数据库。路由表存在于路由器中,其一般结构如图 5.34 所示,每个表项代表一条路由,包括目的子网地址、子网掩码、下一跳地址、出接口、路由优先级、度量值等信息。路由器根据 IP 包的目的 IP 地址查找到对应的表项,将 IP 包从该表项的下一跳地址或出接口对应的端口转发出去。

目的子网地址	子网掩码	下一跳地址	出接口	路由优先级	度量值
.....					

图 5.34 路由表的一般结构

5.189 路由聚合 (route aggregation)

将具有相同前缀的多条路由合并为一条路由的过程。路由聚合的目的是减小路由表规模,缩短路由查询时间。在路由协议中,路由器向其他路由器通告路由时,利用路由聚合可将多个路由合并成一条路由。如图 5.35 所示,路由器 A 具有 19.1.0.0/24 和 19.1.1.0/24 这两条路由,启用路由聚合后,将其上述路由聚合成 19.1.0.0/23,向路由器 B 发布。

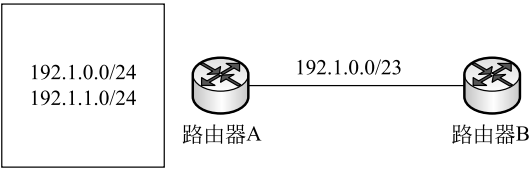


图 5.35 路由聚合示例

5.190 路由器 (router)

对 IP 包进行转发的网络节点设备。在网络体系架构中,路由器位于第三层即网络层。每个路由器均有一张路由表,路由器收到 IP 包后,根据其目的地址,查找路由表获取转发端口,将 IP 包转发到下一个路由器。经多个路由器转发,最终将 IP 包送达目的主机。按照在网络中的地位划分,路由器可分为骨干路由器与边缘路由器。骨干路由器位于网络的核心位置,一般不与用户网络直接连接,要求其具有快速的包转发能力、高速的接口以及较高的可靠性。边缘路由器位于网络边缘,同时与用户网络和骨干路由器相连,对包转发能力和接口方面的要求相对较低。

典型的路由器结构包括带有 CPU 的控制单元、接口卡、背板。控制单元负责路由协议、路由表的运行维护;接口卡连接物理链路,对报文进行转发处理;背板为各接口卡之间提供数据通道。路由器接口种类丰富,能够满足多种类型网络接入的需要。路由器主要指标包括包转发率、背板带宽、支持的接口类型、数量、路由协议等。

5.191 路由器标识 (router ID)

用于识别路由器的 32 位比特数字串。路由器标识一般从路由器的 IP 地址中选取,用于在路由协议中区分不同的路由器。路由器标识可手动配置,也可自动选取。自动选取时,路由器首先从环回 (Loopback) 地址中选择最大的 IP 地址,其次在接口地址中选取最大的 IP 地址。

5.192 路由收敛 (routing convergence)

路由重新建立直至稳定工作的过程。当网络拓扑发生改变时,直接感知这一变化的路由器通过路由协议将其通告给相关路由器。这些路由器据此重新计算路由,更新路由表。路由收敛时间与网络规模和网络协议密切相关。一般网络规模越大,收敛时间越长,对于大型网络可采用分域的方法减小收敛时间。

5.193 路由协议 (routing protocol)

用于生成和维护路由表的网络协议。运行路由协议的路由器,相互之间动态交换路由信息,然后通过特定的路由算法计算产生路由,形成路由表。当网络拓扑发生变化时,能够根据这些变化实时更新路由表。通过路由协议,路由器能够自动生成、维护各自的路由表,避免了静态配置路由工作量大、实时性不强的问题。

路由协议分为内部网关协议与外部网关协议两大类。内部网关协议在一个自治域范围内使用,常用的有路由信息协议(RIP)、开放最短路径优先协议(OSPF)等;外部网关协议在自治域间使用,常用的有边界网关协议(BGP)等。

5.194 路由信息协议 (routing information protocol)

采用距离矢量算法的一种内部网关协议,简称RIP。RIP有RIPv1和RIPv2两个版本,RIPv1由IETF RFC 1058标准规定,采用广播方式发布协议报文,协议报文不携带掩码信息,属于有类路由协议;RIPv2对RIPv1进行了改进,由IETF RFC 1723标准规定,采用组播方式发布报文,报文携带掩码信息,支持可变长子网掩码。目前网络中普遍采用RIPv2。

RIP采用UDP传输协议,端口号为520。RIPv2的报文格式如图5.36所示。其中控制字段表示报文的类型,数值1表示路由请求报文,数值2表示路由响应报文;版本字段表示RIP的版本号,数值1表示RIPv1,数值2表示RIPv2;地址族标识字段表示对应的地址族,数值2表示IPv4的地址;外部路由标识用于标记外部路由;IP地址为该路由的目的IP地址,可以为网络或子网地址或者主机地址;子网掩码为目的地址的子网掩码;下一跳用于指出比通告路由器更好的下一跳地址;度量值为到达目的网络的跳数。为限制收敛时间,RIP规定正常的度量值取0~15的整数,大于或等于16的度量值被认为目

0		7	15	31
路由 条目	头部	控制字段	版本	填零
		地址族标识		外部路由标识
		IP地址		
		子网掩码		
		下一跳		
		度量值		

图 5.36 RIP 协议报文格式

的网络或主机不可达。由于跳数限制,RIP无法在大型网络中应用。

路由器启动RIPv2后,RIP路由表首先引入直连网络的路由信息,并以组播地址224.0.0.9向相邻的RIP路由器发送请求报文。相邻的RIP路由器收到请求报文后,回送包含其RIP路由表信息的响应报文。路由器收到响应报文后,修改本地路由表,向相邻路由器发送路由更新报文。相邻路由器收到更新报文后,修改路由表,又向其各自的相邻路由器发送更新报文,以此类推。最后,各路由器均得到并保持最新的路由信息。

RIP采用老化机制对超时的路由进行老化处理,以保证路由的有效性。因此,RIP每隔一定时间周期性地向邻居路由器发布本地的路由表,相邻路由器在收到报文后,对其本地路由进行更新。所有RIP路由器都会重复这一过程。

RIP采用水平分割和毒性反转机制,提高路由收敛速度和避免产生路由环路。水平分割指从某个端口学到的路由信息,不会从该端口再发回给邻居路由器。水平分割能够避免路由环路的出现和减少路由器更新信息占用的链路带宽资源。毒性反转指当本地某条路由失效后,路由器并不立即将其删除,而是将该失效路由的度量值设置为16,从原端口(之前从该端口学习到该路由)发回,通告邻居路由器。由于主动将网络不可达信息通知给其他路由器,毒性反转更健壮和安全,缺点是路由更新中路由项数量增多,浪费网络带宽,增加系统开销。

RIP在配置和维护管理方面远比其他域内路由协议简单,因此在实际组网中仍得到了广泛的应用,主要应用于规模较小的网络。

5.195 路由优先级 (route priority)

对不同方式发现的路由赋予的优先选用等级。路由优先级一般用0~255数值表示,值越小,优先级越高。网络中可能同时存在多种路由协议发现的动态路由以及直连路由和人工配置的静态路由等。当有多个到达相同目的地址的路由时,需要从中选择一个作为转发路由,选择按照路由优先级的顺序进行。路由优先级可以设置和修改,但设备厂家会规定其缺省值,如直连路由为0,开放路径最短优先(OSPF)为10,静态路由为60。

5.196 路由振荡 (route flap, route oscillation)

路由建立与删除频繁交替的现象。路由振荡产生的原因主要有接口/链路故障、地址/路由策略冲

突等。发生路由振荡时,相关路由器向邻居路由器反复发布路由更新,收到更新报文的路由器不断计算路由并修改路由表。这样,不但消耗大量的带宽资源和 CPU 资源,而且还造成网络传输时断时续的现象发生,严重时可导致网络无法正常工作。

5.197 路由转发表 (forwarding information base)

路由器中真正指导 IP 包转发的表,又称 FIB 表。IP 包转发查找的是 FIB 表而非路由表,这是因为路由表表示所有有效路由所形成的表项,并不指导转发。FIB 表项是按照一定的规则,如优先级顺序等,从各个路由表的表项中提取出来的。FIB 表项包含的主要元素有:

- (1) 报文发送的目的网络地址或主机地址。
- (2) 目的地址前缀长度,可确定目的地址是否对应网络或主机。
- (3) 为了将报文发送到目的地址所要经过的紧邻的下一跳地址。
- (4) 标明路由特征的标志。这些标志有网关、静态路由、动态路由、路由状态 Up,黑洞路由即下一跳是空接口(null),下一跳为主机、输出接口、FIB 项生成的时间戳等。

FIB 表的匹配遵循最长匹配原则。查找 FIB 表时,报文的地址和 FIB 中各表项的掩码进行按位“逻辑与”,得到的地址符合 FIB 表项中的网络地址则匹配。最终选择一个最长匹配的 FIB 表项转发报文。

5.198 乱序 (out-of-order)

IP 报文不按照源主机发送顺序到达目的主机的现象。一般用乱序报文数与发送总报文数之比来衡量。乱序是由于 IP 报文经不同路径传输或者在传输过程中进入不同的优先级调度队列造成的,因此对同一数据流采用相同传输路径及相同的服务质量保障措施,可有效避免乱序。

5.199 逻辑链路控制子层(logical link control)

IEEE 802.2 标准规定的局域网数据链路层的子层之一,简称 LLC。在局域网中,数据链路层分为介质访问控制(MAC)和逻辑链路控制(LLC)两个子层。LLC 在 MAC 之上,主要提供建立和释放数据链路层的逻辑连接、提供与高层的接口、差错控制、给帧加上序号等功能。在 IEEE 802.3 标准规定的以太网数据帧中,用 LLC 头部标识上层协议,包含

目标服务访问点(DSAP)、源服务访问点(SSAP)以及控制字段。在采用 Ethernet II 封装的以太网中,取消 LLC,在 MAC 帧的类型/长度字段后直接封装 IP 数据报文。

5.200 媒体访问控制子层(media access control)

IEEE 802 标准规定的局域网数据链路层的子层之一,简称 MAC。IEEE 802 协议标准将数据链路层分为逻辑链路控制(LLC)和媒体访问控制(MAC)子层,其中 MAC 位于 LLC 和物理层之间,使 LLC 适用于不同的媒体访问技术和物理媒体。

MAC 子层主要完成媒体访问控制功能和数据帧封装。以太网 MAC 子层规范约定了载波侦听/冲突检测(CSMA/CD)的访问控制方式,其 MAC 数据帧字段主要包括源 MAC 地址、目的 MAC 地址与长度/类型字段,可直接封装 IP 数据报文。

5.201 每跳行为(per hop behavior)

网络节点设备对 IP 报文进行转发的策略,又称为每跳转发行为,简称 PHB。PHB 是网络节点设备的本地行为,各节点的 PHB 相互独立。IETF 定义了下列 3 种 PHB,并将其与区分服务码点(DSCP)相对应。

- (1) 尽力而为(BE)。按照先进先出原则转发报文,提供尽力而为服务,对应的 DSCP 为 000000。
- (2) 确保转发(AF)。提供有带宽保证的服务,分为 AF1~AF4 等 4 类,每类又分为 3 种不同的丢弃优先级。发生拥塞时,先丢弃优先级较高的报文。每一类每个丢弃优先级对应一个 DSCP。
- (3) 加速转发(EF)。提供低延迟、低抖动、低丢包率和保证带宽的优先转发服务,主要用于语音、视频等对延迟和抖动敏感的业务。对应的 DSCP 为 101110。

5.202 内存占用率(memory utilization)

设备已占用内存量与总内存量之比。内存占用率过高,设备内存溢出风险增大,因此内存占用率是网络管理中需要关注的设备指标之一。内存占用率告警阈值一般为 80%~95%。

5.203 平滑重启(graceful restart)

一种在路由器重启时保证转发不中断的机制,简称 GR。当一个路由器重启时,通知其邻居路由器在一定时间内将到该路由器的邻居关系和路由保持

稳定。这样,邻居路由器就不会将重启的路由器从邻居列表中删除,非邻居路由器也不会知道有路由器重启。重启完毕后,邻居路由器协助其进行信息同步,在尽量短的时间内使该路由器恢复到重启前的状态。在整个重启过程中不会产生路由振荡,报文转发路径也没有任何改变,整个系统可以不间断地转发数据。

5.204 千兆以太网(1000 Mb/s ethernet)

端口速率可达 1000 Mb/s 的以太网,简称 10GE。千兆以太网采用的标准为 IEEE 802.3z 或 IEEE 802.3ab,支持全双工和半双工两种工作模式。千兆以太网是在百兆以太网的基础上发展起来的,兼容百兆以太网。它保留了百兆以太网的帧格式、接口以及控制规则,但采用了新的编码方式,将端口速率提高了 10 倍。在半双工模式下,千兆以太网仍使用 CSMA/CD 协议解决介质访问冲突,但为了保持一个网段的最大长度仍为 100 m,采用了载波延伸技术,使最短帧长由 64 B 增加到 512 B。当实际帧长不足 512 B 时,在帧后附加特殊字节,使帧长达到 512 B。为了减少附加字节产生的开销,千兆以太网还采用了分组突发技术。当有多个短帧要发送时,第一帧采用载波延伸技术进行发送,随后各帧连续发送,达到 1500 B 甚至更多,从而形成一串短帧的突发。根据编码方式和传输媒体不同,千兆以太网接口分为以下两类。

(1) 1000BASE-X(802.3z 标准):采用基于光纤通道的物理层,即 FC-0 和 FC-1。使用的媒体有以下 3 种:

① 1000BASE-SX,采用 8B/10B 编码,波长为 850 nm,使用的光纤类型和最小距离范围见表 5.11。

表 5.11 1000BASE-SX 支持的光纤类型和最小距离范围

光纤类型	850 nm 模宽/ (MHz · km)	最小距离范围/m
62.5 μm 多模光纤	160	2~220
	200	2~275
50.0 μm 多模光纤	400	2~500
	500	2~550

② 1000BASE-LX,采用 8B/10B 编码,波长为 1300 nm,使用的光纤类型和最小距离范围见表 5.12。

表 5.12 1000BASE-LX 支持的光纤类型和最小距离范围

光纤类型	1300 nm 模宽/ (MHz · km)	最小距离范围/m
62.5 μm 多模光纤	500	2~550
50.0 μm 多模光纤	400	2~550
	500	2~550
单模光纤	任意	2~5000

③ 1000BASE-CX,采用 8B/10B 编码,使用两对短距离的屏蔽双绞线电缆,传输距离为 0.1~25 m。

(2) 1000BASE-T(802.3ab 标准)

1000BASE-T,采用 4D-PAM5 编码,使用 4 对 5 类非屏蔽双绞线,支持的传输距离为 100 m。

5.205 区分服务码点(diffServ code point)

IETF RFC 2474 规定的,对 IP 报文的区分服务类型进行的编码,简称 DSCP。IETF RFC 2474 对 IP 包头的服务类型(ToS)字段进行了重新定义,改称为区分服务(DS)字段,其低 6 位用作 DSCP,高 2 位保留。DS 字段的低 3 位定义为类选择代码点(CSCP),与原 ToS 字段的 IP 优先级的定义相同。DSCP 可标识 64 个区分服务类型,取值为 0~63。每个 DSCP 编码值对应一个每跳行为(PHB),IETF 已明确规定的 DSCP 与 PHB 对应关系见表 5.13。

表 5.13 IETF 规定的 DSCP 与 PHB 对应关系

DSCP	PHB	DSCP	PHB	DSCP	PHB	对应的 IP 优先级
000000	BE					0
001010	AF11	001100	AF12	001110	AF13	1
010010	AF21	010100	AF22	010110	AF23	2
011010	AF31	011100	AF32	011110	AF33	3
100010	AF41	100100	AF42	100110	AF43	4
101110	EF					5

5.206 区分服务模型(differentiated service)

IETF RFC 2475 规定的,为不同类型的报文提供不同服务的模型,简称 DiffServ。在网络边缘,按照一定的规则对入网的报文进行分类,在报文头部标记区分服务码点(DSCP)。在网内各节点,根据报

文的 DSCP 值,采取不同的每跳行为(PHB),从而对不同 类型的报文提供有区别的服务质量保证。与尽力而为服务模型相比,DiffServ 能为重要类型的报文提供比一般类型的报文更高的服务质量,但实现稍为复杂。与综合服务模型相比,DiffServ 实现简单,扩展性好,但其针对类型,而不针对具体的业务流,没有端到端的带宽预留机制,因此对具体的业务流不能提供绝对的服务质量保证。

5.207 缺省路由 (default route)

在路由表中找不到匹配的路由表项时使用的路由。缺省路由由用户手动配置,目的地址与掩码全为 0。当报文的目的地址不能与路由表的所有表项匹配时,路由器将选择缺省路由。如果没有配置缺省路由,路由器将丢弃不能匹配的报文,并向源端返回一个 ICMP 报文,报告目的主机不可达。

5.208 任意播 (anycast)

一种特殊类型的单播。多个设备共享一个任意播地址,任意播地址只能用于目的地址。发送方发送一个任意播 IP 包,路由器收到后,就将该包转发给离它最近的一个任意播成员。将一个任意播地址分配给多个服务器,可实现负载分担和服务服务器备份。

5.209 任意源组播 (any source multicast)

组播组成员接收所有组播源向该组发送的数据包的组播业务,简称 ASM。ASM 使用的组播地址范围为 224. 0. 1. 0 ~ 231. 255. 255. 255、233. 0. 0. 0 ~ 238. 255. 255. 255。在 ASM 中,组播组成员不能预先知道组播源所在的位置,需要网络发现组播源,与指定源组播相比实现较为复杂。对于一个组播组来说,网内任意一个用户都可以不加限制地作为组播源,安全性较差。

5.210 三层交换机 (layer 3 switch)

具有三层路由功能的交换机。在二层交换机的基础上,增加三层路由功能主要是为了解决在一个实体局域网范围内多个虚拟局域网 (VLAN) 之间的互通问题。与路由器转发不同的是,三层交换机转发采用“一次路由,多次交换”的方式实现,即首次转发在三层完成,同时记录 MAC 地址和 IP 地址的映射关系,后续发往同一 IP 地址的报文在二层以交换方式完成。

5.211 上联端口 (uplink port)

在分层的网络中,交换机连接上一层交换机的端口。交换机在线序分配上区分上联端口和下联端口是为了便于二者采用直通线缆连接。交换机具有线序自动翻转功能后,在硬件上不再区分上联端口和下联端口。在网络设计中,一般选择交换机的高速端口作为上联端口。

5.212 生成树协议 (spanning tree protocol)

IEEE 802. 1D 规定的,在局域网中建立并保持树形转发路径的协议,简称 STP。运行该协议的以太网桥通过彼此交互信息发现网络中的环路,并选择地对某些端口进行阻塞,最终将物理上的环路网络结构修剪成逻辑上的树形网络结构,从而防止报文循环转发。

对于由多个网桥和连接这些网桥的链路(网段)组成的网络拓扑,存在一个既能保证连通性又没有回路的子集,这个子集称为生成树。生成树的节点为网桥,边为网段或者连接网桥的链路,其中根节点称为根网桥,其他节点称为非根网桥。当一个网段连接多个网桥时,该网段到达根网桥最短路径(代价最小)的网桥称为指定网桥。

网桥上的端口分为根端口、指定端口和候补端口 3 种。根端口是到根桥方向路径开销最小的端口,指定端口是其他具有正常数据帧转发功能的端口,候补端口不在生成树上,不具有数据帧转发功能,但随着网络拓扑的变化,可转为根端口或者指定端口。网桥的端口具有阻塞状态、监听状态、学习状态、转发状态和禁用状态。这些状态下的端口功能见表 5. 14。

表 5. 14 网桥的端口状态

端口状态	功能	缺省状态转换时间
阻塞	切断环路,只能接收 STP 协议报文	
监听	阻塞到转发之间的过渡状态。在阻塞状态的基础上,增加发送 STP 协议报文的功能	从阻塞到监听: 20 s。由生存周期定时器决定
学习	阻塞与转发之间的过渡状态。在监听状态的基础上,增加 MAC 地址学习功能	从监听到学习: 15 s。由转发延迟定时器决定

续表

端口状态	功能	缺省状态转换时间
转发	连通生成树,在学习状态的基础上,增加业务流量的转发功能	从学习到转发: 15 s。 由转发延迟定时器决定
禁用	不参与生成树的形成。既不能收发业务流量,也不能收发 STP 协议报文	

STP 协议报文称为桥协议数据单元 (BPDU)。BPDU 分为配置 BPDU 和拓扑变化通告 BPDU 两类。其中配置 BPDU 用于构造生成树,由根桥从指定端口周期性发出,非根桥从根端口接收配置 BPDU,进行更新并从指定端口将其发送出去。拓扑变化通告 BPDU 用于通告网络拓扑结构变化,由下游网桥经上游网桥发送直至根桥,以便通知根桥及时调整生成树。BPDU 采用 MAC 层组播方式发送,目的地址为 01-80-C2-00-00-00。STP 利用 BPDU 在网桥之间交互信息,最终构造出生成树。生成树的构造和调整过程如下。

(1) 选举根网桥

STP 协议运行开始后,所有的网桥都通过发送配置 BPDU 报文来声明自己是根网桥。配置 BPDU 报文中包含发送者认可的根网桥的 ID 号、定时器设置、发送者的网桥 ID 号、到达根网桥的代价、发送端口的 ID 号、端口代价等。网桥 ID 号为网桥优先级和 MAC 地址的组合。一个网桥收到一个新的配置 BPDU 后,用 ID 号小的根网桥替代自己认可的根网桥,并将自己重新认可的根网桥 ID 号发送给其他网桥。如此,经过一段时间,ID 号最小的网桥最终成为全网所有网桥均认可的根网桥。根网桥将自己的所有端口设置为指定端口,并处于转发状态。

(2) 为非根网桥设置根端口

每个非根网桥上有一个根端口,根据到达根网桥代价最小的原则确定,并将根端口设置为转发状态。

(3) 为每个网段选定一个指定端口

每个网桥可多个指定端口,但每个网段上只有一个指定端口。指定端口处于转发状态。当一个网段上有多个网桥时,根据到达根网桥代价最小的原则,确定指定网桥,将指定网桥位于该网段的端口

设置为指定端口,并将指定端口设置为转发状态。

(4) 阻塞非根端口和非指定端口

将不是根端口和指定端口的其他端口设置为阻塞状态。至此生成树构造完毕。

(5) 适时监测和调整生成树的结构

由于链路和网桥故障,网络结构调整等原因,将导致网络结构发生变化,因此生成树也应进行适时调整。各网桥通过周期性发送 Hello BPDU 报文,监测网络拓扑结构变化。Hello BPDU 报文发送间隔的缺省值为 2 s。一旦有网桥检测到拓扑结构变化,通过拓扑变化 BPDU 报文将其变化通知根网桥,然后根网桥通过发送配置 BPDU 到其他网桥,调整生成树。

STP 的主要缺点是收敛速度慢。生成树计算所需的时间随着网络规模的扩大而增加。端口从阻塞状态调整为转发状态,中间需经过监听和学习两个过渡状态,大约需要 50 s 的时间。

5.213 生存时间 (time to live)

IP 报文在网络层可以被转发的最大次数,简称 TTL。生存时间是 IP 数据报文首部一个 8 bit 字段的标识值,取值范围是 1~255,初始值由源主机设置,每经过一个路由器减 1,当减为 0 时,路由器丢弃该数据包,并发送 ICMP 报文通知源主机。使用 TTL 可以限制数据报文转发范围,也可以避免路由环路等原因造成数据包被无限循环转发。另外,traceroute 等网络测试工具,常利用 TTL 追踪报文转发路径。

5.214 实时传输控制协议 (realtime transport control protocol)

IETF RFC 3550 规定的实时传输协议 (RTP) 的控制协议,简称 RTCP。RTCP 协议在 TCP/IP 参考模型中属于应用层协议,与 RTP 协议一起提供流量控制和拥塞控制服务,保障实时数据的端到端传输。RTCP 协议本身不传输实际的业务数据,仅传送控制数据,下层通常采用 UDP 报文封装。

RTP 会话产生的同时,伴随产生 RTCP 会话。在 RTP 会话过程中,会话参与者之间周期性传递 RTCP 报文,交换控制信息。这些信息包括已发送数据包的数量、丢失数据包的统计、时延、时间抖动等数据传输质量信息,以及发送源识别符等保障不同媒体数据互同步的信息。

RTCP 有 5 种报文:发送者报告 (SR)、接收者

报告 (RR)、源描述 (SDES)、结束 (BYE)、应用描述 (APP)。

5.215 实时传输协议 (realtime transport protocol)

IETF RFC 3550 规定的封装实时性业务数据的传输协议,简称 RTP。在 TCP/IP 参考模型中属于应用层协议,通常使用 UDP 封装。RTP 协议本身只完成业务数据封装和实时传输功能,不能为数据传输提供可靠的传输保障机制,因此需与 RTCP 协议和下层协议配合,才能完成实时数据的端到端传送服务。

RTP 数据包由报头和有效载荷两个部分组成,见图 5.37。

报文各字段含义如下。

版本 (V): 表示 RTP 的版本号,当前版本为 2。

填充 (P): 表示载荷数据尾部是否有填充字节。

扩展 (X): 表示是否有扩展报头。

参与源计数 (CC): 表示报头中参与源标识符的数量,取值为 0~15。

标记 (M): 当此位置 1 时,表示这个 RTP 分组具有特殊意义。例如,在传送视频流时用来表示每一帧的开始。

载荷类型 (PT): 表示载荷的格式。

序列号: 发送端在会话开始时设置一个随机数,然后每发送一个 RTP 分组就加 1,接收端据此检测丢包和重建包。

时间戳: 记录 RTP 载荷数据第一个字节的采样时间。

同步源标识 (SSRC): SSRC 是一个数,用于标志 RTP 流的来源。RTP 流是媒体设备产生的多媒体数据 (声音或视频) 流。SSRC 与 IP 地址无关,在新的 RTP 流开始时随机产生,一个 UDP 连接中可以复用多个 RTP 流,接收端根据 SSRC 将流送至各终点。同一会话中,两个同步源有相同的 SSRC 的概率很小,若发生这种情况,这两个源都需重新选择新的 SSRC。

参与源标识 (CSRC): 标识不同来源的 RTP 流。当不同源的多个媒体流被混合器混合成一个 RTP 流时,才出现参与源 (CSRC) 标志。参与源标识是一个列表,标识了各参与源的 SSRC 值,参与源个数由 CC 给定,最多识别 15 个。

扩展报头: RTP 报头用来满足大多数应用的要求,满足特定应用也可以进行扩展,若 RTP 报头中的扩展 (X) 置 1,则有扩展报头加在固定报头之后。扩展报头前 16 bit 用于识别标识或参数并由上层协议定义,另外还有一个 16 bit 用于标识扩展报头长度。

这些报头信息是接收端应用程序重组业务数据的依据。

5.216 双归属 (dual homing)

在分层网络中,一个下层节点同时归属于两个上层节点的组网方式,又称为双上联。在图 5.38 所示的网络中,节点 A 双归属于节点 B 和节点 C。双

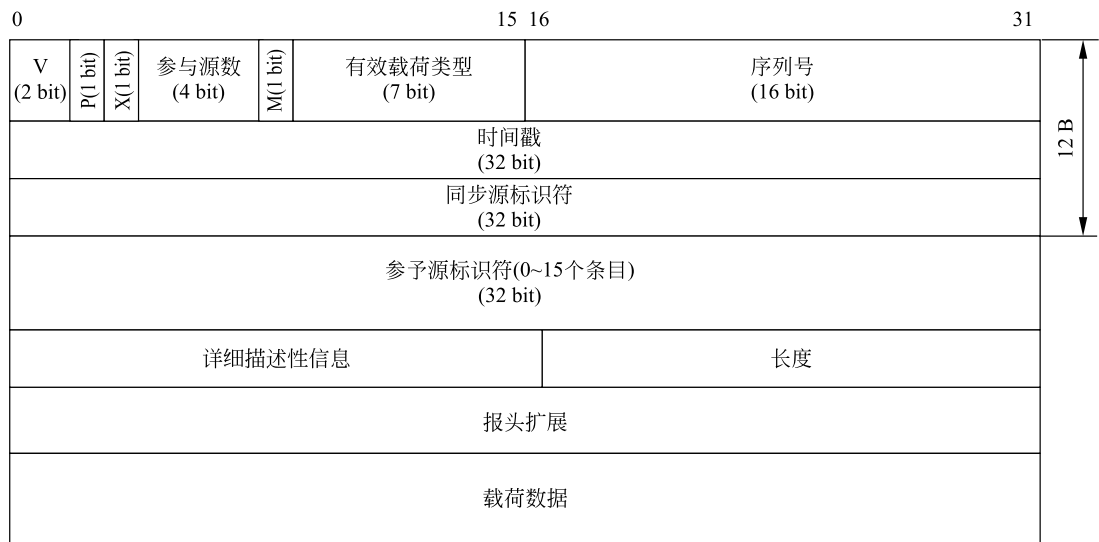


图 5.37 RTP 报文格式

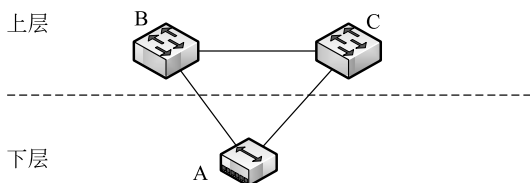


图 5.38 双归属组网示例

归属通常用来增加网络的可靠性,当单个上联链路或上级节点故障时,仍可保证数据的正常传输。正常工作时,双归属也可用来实现负载分担。

5.217 双速率三色着色法 (a two rate three color marker)

基于峰值信息速率和承诺信息速率将报文标记为三种颜色的方法,简称 trTCM。trTCM 的基本原理如图 5.39 所示,令牌桶 C 的容量为承诺突发尺寸 (CBS),令牌桶 P 的容量为峰值突发尺寸 (PBS),C 桶添加令牌的速率为承诺信息速率 (CIR),P 桶添加令牌的速率为峰值信息速率 (PIR), $T_c(t)$ 表示 t 时刻 C 桶的令牌数, $T_p(t)$ 表示 t 时刻 P 桶的令牌数。

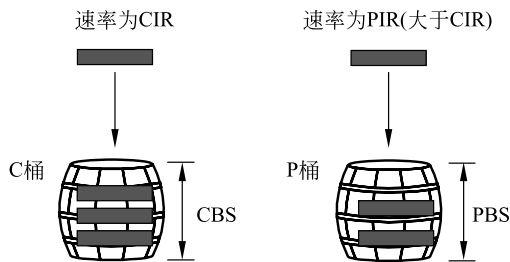


图 5.39 trTCM 处理过程

trTCM 分为色盲模式和非色盲模式。色盲模式的着色过程不考虑报文原来的颜色,非色盲模式的着色过程考虑报文原来的颜色。当长度为 B 的报文在时刻 t 到达时,色盲模式处理过程为:

- (1) 如果 $T_c(t) \geq B$,则报文标记为绿色,C 桶和 P 桶令牌均减去 B ,处理结束。否则执行过程(2);
- (2) 如果 $T_p(t) \geq B$,则报文标记为黄色,P 桶令牌减去 B ,处理结束。否则执行过程(3);
- (3) 报文被标记为红色,两桶令牌数均不减,处理结束。

非色盲处理过程为:

- (1) 如果报文为绿色,并且 $T_c(t) \geq B$,则报文

标记为绿色,C 桶和 P 桶令牌均减去 B ,处理结束,否则执行过程(2);

- (2) 如果报文为绿色或黄色,并且 $T_p(t) \geq B$,则报文标记为黄色,P 桶令牌减去 B ,处理结束,否则执行过程(3);

- (3) 报文被标记为红色,两桶令牌数均不减,处理结束。

着色结果作为设置 IP 包区分服务码点 (DSCP) 值的依据。srTCM 在区分服务体系结构中,用于对报文进行标记,以便本地对标记后的报文进行区分处理。

5.218 双向转发检测 (bidirectional forwarding detection)

用于快速检测双向转发路径故障的协议,简称 BFD。BFD 的基本原理是:在一对系统(设备)间建立会话,发送检测报文,检测转发路径故障。BFD 有以下两种工作模式。

- (1) 异步模式。系统之间相互周期性地发送 BFD 控制报文,如果某个系统在检测时间内没有收到对端发来的 BFD 控制报文,则认为转发路径发生了故障。

- (2) 查询模式。BFD 会话建立后,系统停止发送 BFD 控制报文。在需要验证连接性时,系统发送一个短系列的 BFD 控制报文。如果在检测时间内没有收到对端的回应报文,则认为转发路径发生了故障;如果收到对端的回应报文,则再次停发 BFD 控制报文。

BFD 提供了一种通用的标准化的介质无关和协议无关的快速故障检测机制,对网络间任何类型的双向转发路径进行故障检测,包括直连物理链路、虚电路、隧道、LSP、多条路由路径以及单向链路等。故障检测时间一般小于 1 s。BFD 可以和多种协议关联,检测出故障后,通知其进行相应的处理,可实现快速重选路由、链路倒换等功能。在试验任务 IP 网中,为快速检测通信链路故障以实现路由切换,一般在广域网路由器之间、局域网路由器与核心交换机之间启用 BFD。

5.219 私有 IP 地址 (private IP address)

在私有网络中使用的 IP 地址,简称私有地址。因特网 IP 地址分配组织规定的私有地址包括 3 个网段,即 10. 0. 0. 0/8、172. 16. 0. 0/12 和 192. 168. 0. 0/16。私有地址可在不同的私有网络中重复使用,节

省了地址空间,但由于不能在公用网络中使用,使得私有网络访问公用网络时需进行地址转换(NAT)。

5.220 隧道(tunnel)

为实现一种协议的数据包在另一种协议网络中透明传输而建立的虚拟通道。隧道的功能是在两个网络节点之间,用其他网络提供一条通路,使数据包能够在这个通路上透明传输。隧道实质上是一种封装技术,在隧道入口,将 A 协议的数据包封装成 B 协议的数据包,然后在 B 协议的网络中传输;在隧道出口,解封装,还原出 A 协议的数据包。根据被封装数据包的协议类型,隧道分为二层隧道和三层隧道。常用的二层隧道协议有点对点隧道协议(PPTP)、二层隧道协议(L2TP)和二层转发协议(L2F)等。常用的三层隧道协议有通用路由封装协议(GRE)和 IPSec 等。隧道是构建虚拟专用网(VPN)不可或缺的部分,用于将 VPN 数据从一个 VPN 节点透明传送到另一个节点。

5.221 随机早期检测(random early detection)

通过预测拥塞的发生,在拥塞发生前按照一定的规则丢弃部分报文以预防网络拥塞的丢包策略,简称 RED。输出队列每加入一个报文,就根据指数加权平均滑动模型计算出平均队列长度。当平均队列长度小于预设的下限时,判定网络不拥塞,故不丢弃报文;当大于预设的上限时,判定网络已经拥塞,故丢弃所有到来的报文;当在上限和下限之间时,判定网络已经存在拥塞的风险,故以一定的丢弃概率丢弃报文。丢弃概率是平均队列长度的线性函数。RED 解决了尾部丢弃机制带来的 TCP 全局同步问题,减少了链路的剧烈振荡,提高了吞吐量,但是该策略对参数配置有很高的依赖性,缺乏一定的稳定性,不支持区分服务,无法提供有效的公平性保证。

5.222 套接字(socket)

将 IP 地址和传输层协议端口号绑定形成的逻辑接口。套接字分为流式套接字和数据报套接字两种,前者使用的传输层协议为传输控制协议(TCP),后者使用的传输层协议为数据报协议(UDP)。套接字是应用进程和通信协议进程之间的接口,由应用进程调用相应的应用程序接口函数(API)而创建,与通信协议进程绑定。此后,应用进程交给套接字的数据,由通信协议进程发送到网络上。通信协议进程从网上收到数据后,交给套接字,应用进程就可以从套接字中提取接收到的数据。

5.223 通道化电路(channelized circuit)

包含多个独立通道的广域网接口电路。一条高速电路,通过复用技术,可传输多路低速信号。这些低速信号电路被称为通道,复用低速信号的高速电路则被称为通道化电路。如果高速电路不采用复用技术,只传输一路高速信号,则该电路被称为非信道化电路。在 SDH 网络中,STM-N 中的低速支路信号,通过一条 STM-N 电路传送相互独立的多路数据,每一路独享带宽,有自己的起点、终点和监控策略。路由器通过一个通道化的 POS 接口,可建立与多个路由器的点对点电路。

5.224 统一资源定位符(uniform resource locator)

互联网上可访问资源的位置标识符,简称 URL。互联网上的每个资源都有一个唯一的 URL,用户根据 URL 访问和获取对应的资源。IETF RFC 1738 规定了 URL 的格式,其基本格式为:

应用协议://主机域名或地址/路径/资源名

例如在“http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc1738.txt.pdf”的 URL 中,http 为应用协议,www.rfc-editor.org 为域名,rfc/pdf/rfc1738.txt.pdf 为资源名(文件名)。

5.225 通用路由封装协议(general routing encapsulation)

IETF RFC 2784 规定的一种通用封装协议,简称 GRE。需要封装和传输的数据包称为净荷,净荷的协议类型为乘客协议,负责对封装后的报文进行转发的协议称为传输协议。GRE 在净荷前加一个 GRE 头部,构成 GRE 报文,然后再把 GRE 报文封装在传输协议的报文中,这样就可完全由传输协议负责此报文的转发。GRE 头部格式如图 5.40 所示。

各字段定义如下。

C: 校验和验证位。如果该位置 1,表示 GRE 头插入了校验和字段;如果该位置 0,表示 GRE 头不包含校验和字段。

K: 关键字位。如果该位置 1,表示 GRE 头插入了关键字字段;如果该位置 0,表示 GRE 头不包含关键字字段。

递归次数: 表示 GRE 报文被封装的层数。完成一次 GRE 封装后将该字段加 1。如果封装层数大于 3,则丢弃该报文。该字段的作用是防止报文被无限地封装。

预留: 当前必须设为 0。

0	1	2	3	4	7	12	15	31
C	0	K	0	0	递归次数	预留	版本号	协议类型
校验和(可选)							0	
关键字(可选)								

图 5.40 GRE 头部格式

版本号：置为 0。
协议类型：乘客协议的协议类型。
校验和：对 GRE 头及其负载的校验和字段。
关键字：隧道接收端用于对收到的报文进行验证。

GRE 支持多种乘客协议和传输协议,可用于多协议本地网通过单一骨干网传输、扩大跳数受限协议的应用范围、组建 VPN、保护组播数据等。

5.226 透明网桥 (transparent bridge)

对所连接的局域网 (LAN) 透明的网桥。只要将两个局域网的端口连接到透明网桥上,即插即用,不需要做其他任何改变和设置,就能将两个局域网整合为一个局域网。透明网桥在两个连接的局域网之间透明传输以太网包,主机感觉不到网桥的存在。目前使用的网桥均是透明网桥,以太网交换机可以看作多端口的透明网桥。

5.227 外地代理 (foreign agent)

在移动 IP 中,位于外地网上的移动代理。外地代理一般设置在路由器上,代替移动节点向家乡代理交互注册请求和注册应答报文,从而完成移动绑定。外地代理通过隧道接收家乡代理转发的报文,将其解封装后发往移动节点。

5.228 万维网 (world wide web)

以互联网为基础,应用层采用超文本传输协议 (HTTP) 的计算机网,又称环球信息网、全球资讯网、Web、WWW、3W 等。万维网上的计算机分为客户机和服务器两大类。客户机上运行 Web 客户端软件 (通常为浏览器),服务器上运行 Web 服务器程序。浏览器通过互联网,采用超文本传输协议获取服务器上的信息并将这些信息显示出来。服务器上的文字、图片、动画、声音等多种媒体信息以网页的形式进行组织。一个网页以一个文件的形式存在服务器上。网页文件用超文本标记语言 (HTML) 编写,称之为超文本文件。每一个网页具有全网唯一

的统一资源定位符 (URL)。通过 URL 建立的超链接,浏览器用户可以在一个网页上打开另一个网页。

5.229 万兆以太网 (10 Gb/s ethernet)

端口速率可达 10 Gb/s 的以太网,简称 10GE。万兆以太网的标准为 IEEE 802.3ae。万兆以太网兼容千兆以太网,仍然使用 IEEE 802.3 标准规定的帧格式、最小帧长和最大帧长,但只支持全双工模式,因此不使用 CSMA/CD 协议。根据编码方式和传输媒体的不同,万兆以太网接口分为以下 4 类。

(1) 10G BASE-X: 采用 8B/10B 编码,又分为 10G BASE-LX4 和 10G BASE-CX4 两种。10G BASE-LX4 采用单模或多模光纤传输,波长为 1310 nm; 10G BASE-CX4 采用专用的 CX4 电缆传输。

(2) 10G BASE-R: 采用 64B/66B 编码,又分为 10G BASE-SR、10G BASE-LR、10G BASE-ER 和 10G BASE-LRM 4 种。10G BASE-SR 采用多模光纤传输,波长为 850 nm; 10G BASE-LR 采用单模光纤传输,波长为 1310 nm; 10G BASE-ER 采用单模光纤传输,波长为 1550 nm; 10G BASE-LRM 采用多模光纤传输,波长为 1310 nm。

(3) 10G BASE-W: 与广域网光 SDH 系统 STM-64 接口相连接,将以太网帧插入到 STM-64 的有效载荷中,接口速率为 9.953 28 Gb/s,有效载荷数据速率为 9.584 64 Gb/s。10G BASE-W 采用 64B/66B 编码,又分为 10G BASE-SW、10G BASE-LW 和 10G BASE-EW。10G BASE-SW 采用多模光纤传输,波长为 850 nm; 10G BASE-LW 采用单模光纤传输,波长为 1310 nm; 10G BASE-EW 采用单模光纤传输,波长为 1550 nm。

(4) 10G BASE-T: 采用 64B/65B 编码和 65B-LDPC 编码,使用 4 对 6 类以上的双绞线传输。

5.230 网络地址转换 (network address translator)

IETF RFC 1631 规定的,将内部网络 IP 地址与公有网络 IP 地址互相转换的技术,简称 NAT。因特

网号码分配局 (IANA) 规定将部分 IP 地址作为内部网络地址, 供一个单位或公司内部网络使用, 不在因特网上分配, 这样内部网络对外通信时需要进行地址转换。NAT 功能一般设置在内部网络与公有网络的边界处, 如网关、防火墙或专用的地址转换设备。根据转换的方法不同, NAT 分为静态 NAT、动态 NAT 和网络地址端口转换 (NAPT)。

静态 NAT 设置地址转换表, 建立内部网络 IP 地址与公有网络 IP 地址之间的一一对应关系。当内部网络向公有网络发送报文时, 通过查表获取公有网络 IP 地址, 替换报文中的源 IP 地址; 当公有网络向内部网络发送报文时, 通过查表获取内部网络 IP 地址, 替换报文中的目的 IP 地址。

动态 NAT 建立公有网络 IP 地址池。当内部网络向公有网络发送报文时, NAT 会从地址池中分配一个 IP 地址, 替换报文中的源 IP 地址, 已选择的公有网络 IP 地址不能再被使用, 直到该地址被释放。一般情况下, 地址池的地址数量少于内部网络的 IP 地址数量。

NAPT 利用不同的端口号, 将内部网络的多个 IP 地址同时映射到 1 个公有网络 IP 地址上, 其地址转换表包括内部网络的 IP 地址、端口号, 公有网络的 IP 地址、端口号, 以及传输层协议。当内部网络向公有网络发送报文时, 通过查表, 获取公有网络的 IP 地址和端口号, 替换报文的源 IP 地址和源端口号; 当公有网络向内部网络发送报文时, 通过查表, 获取内部网络的 IP 地址和端口号, 替换报文的目的 IP 地址和目的端口号。

动态 NAT 和 NAPT 使内部网络的大量主机使用少量公有网络 IP 地址就能够访问外部网络资源, 可以缓解 IP 地址缺乏问题, 提高内部网络的安全性。

5.231 《网络互连设备的基准测试》(Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices)

IETF 的文档之一, 文档号为 RFC 2544, 1999 年 3 月发表。RFC 2544 规定了网络互连设备吞吐量、时延、丢帧率、背靠背、系统恢复和重启等技术指标的测试方法, 以及测试结果报告的格式。

被测设备的端口等分为流量入端口和流量出端口。需要说明的是, 流量入端口并非不流出流量, 流量出端口并非不流入流量, 这样划分只是为了便于说明测试流量模型。RFC 2544 规定的测试流量模型有以下 3 种。

(1) 点对点: 每个流量入端口与一个流量出端

口建立点对点的流量模型。

(2) 部分网状网: 每个流量入端口对所有的流量出端口, 每个流量出端口对所有的流量入端口建立的部分网状网流量模型。

(3) 完全网状网: 每个端口对所有其他端口建立的全网状网流量模型。

测试流量用的以太网帧帧长为 64 B, 128 B, 256 B, 512 B, 1024 B, 1280 B, 1518 B。每次测试时间缺省为 60 s。测试的背景流量包括广播帧、管理帧、路由协议的更新报文。每个测试都须在有背景流量和没有背景流量两种情况下分别进行。背景流量的要求如下。

(1) 1% 的广播流量。

(2) 每秒发送一次 SNMP 管理请求报文。

(3) RIP 每 30 s, OSPF 每 90 s 发送一次路由更新报文。

另外, 被测设备还须设置一个 25 行的流量过滤表, 前 24 行阻塞流量, 最后一行允许所有流量通过。

5.232 网络连通性测试 (network connectivity test)

检验网络主机间在网络层 (IP 层) 是否连通的测试。连通性是网络性能的重要指标, IETF RFC 2678 定义了连通性测量指标, 包括瞬时单向连通性、瞬时双向连通性、间隔时间单向连通性、间隔时间双向连通性等。

Ping 程序是最常用的连通性测试工具, 基于 ICMP 回应请求/响应机制进行测量。源主机向目的主机发送 ICMP 回送请求 (ICMP echo request) 包, 目的主机收到后以 ICMP 回送响应 (ICMP echo reply) 报文进行响应, 即探测到主机连通。若源主机在一定时间内没有收到目的主机的响应, 则认为无法连通目的主机。

5.233 网络拥塞 (network congestion)

在包交换网络中, 报文排队等待时间过长或转发队列溢出所引起的网络服务质量下降的现象。网络拥塞时, 会显著增加报文传输的时延、抖动和丢包率, 使用户吞吐量严重下降。网络流量超过网络转发能力时, 则必然产生拥塞, 通常采用拥塞管理和拥塞避免等方法来缓解或避免网络拥塞。

5.234 网桥协议数据单元 (bridge protocol data unit)

以太网生成树协议的数据报文, 简称 BPDU。BPDU 的报文格式如图 5.41 所示。

协议标识符	版本	报文类型	标记	根网桥ID	根路径开销	网桥ID	端口ID	报文寿命	最大寿命	Hello时间	转发延迟
2 B	1 B	1 B	1 B	8 B	4 B	8 B	2 B	2 B	2 B	2 B	2 B

图 5.41 BPDU 的报文格式

BPDU 分为配置 BPDU、拓扑变更通告 BPDU 和拓扑变更确认 BPDU。配置 BPDU 的报文类型字段为 0x00,并且使用组播地址发送。协议初始启动后,每个网桥均发送配置 BPDU,直到竞争出一个根网桥为止。然后,由根网桥定期发送配置 BPDU,所有指定桥转发,最后发送到所有的网桥。拓扑变更通告 BPDU 和拓扑变更确认 BPDU 的报文类型字段均为 0x80。标记字段的最低位为 1,表示拓扑变更通告 BPDU;最高位为 1,表示拓扑变更确认 BPDU。当链路故障、网桥故障等原因导致网络拓扑结构改变时,相应的网桥就向指定网桥发送拓扑变更通告 BPDU,指定网桥向该网桥发送拓扑变更确认 BPDU。如此逐级发送到根网桥为止。

5.235 网状测试(meshed test)

交换机测试所用的一种流量发送方法。分为全网状测试和部分网状测试。在全网状测试中,交换机所有端口以循环的方式向所有其他端口发送测试帧。在部分网状测试中,一般将交换机的端口分为尽量相等的两组,任意一组的任一端口轮流向另一组的所有端口发送测试帧,但不向同组的其他端口发送测试帧。

5.236 尾部丢弃(tail drop)

当队列满时直接丢弃新到报文的丢包策略。尾部丢弃是最简单的,也是应用最为广泛的丢包策略,它以队列是否为唯一标准来决定新到报文是否被丢弃,而不考虑报文的重要程度等因素。这样,队列会同时丢弃多个 TCP 连接的报文,从而引发 TCP 全局同步现象,降低网络整体吞吐量。

5.237 伪首部(pseudo header)

从封装 TCP 和 UDP 包的 IP 包首部抽取部分字段组成的格式数据,分为 TCP 伪首部和 UDP 伪首部。伪首部包括 32 位源 IP 地址,32 位目的 IP 地址,8 位填“0”的填充字段,8 位协议字段(TCP 取值为 6,UDP 取值为 17),16 位 TCP 或 UDP 包长度字段。因其不是真正的 TCP 和 UDP 的首部,故称为伪首部。

伪首部是一个虚拟的数据结构,既不向下传送也不向上递交,而仅仅是为计算 TCP 和 UDP 包的校验和。参与对 TCP 和 UDP 包进行校验的数据为 TCP/UDP 包伪首部、TCP/UDP 包首部和 TCP/UDP 数据。这种校验,既校验了 TCP/UDP 包的源端口号和目的端口号以及 TCP/UDP 包的数据部分,又检验了 IP 包的源 IP 地址和目的地址,保证了 TCP/UDP 包到达正确的目的地址。

5.238 卫星信道组播(satellite channel multicast)

利用卫星信道的广播特点实现的 IP 组播。假如 n 个路由器之间用点到点专线电路进行网状网互连,根据 n 平方法则,则需要 $n(n-1)/2$ 条电路,每侧的路由器需要配置 $n-1$ 个互连接口。如果在路由器之间传送组播报文,则会在相应的多条电路上同时传送同样的组播报文。当路由器之间采用卫星信道连接时,则可利用卫星信道的广播特性,仅需要 n 个 1 发($n-1$)收的卫星信道,每个路由器只需配置一个互连接口,并且组播报文在卫星信道上只需传送一次。显然,此种方式与点到点专线电路连接相比,可有效节省卫星转发器资源和卫星设备配置数量。

以 4 个路由器互连为例,利用卫星信道进行组播的基本方法如图 5.42 所示,将路由器用一个类似总线功能的共享网络进行互连。在路由器和卫星信道设备之间串接 1 个二层交换机,该交换机用 4 个端口分别与路由器和 1 发 3 收卫星信道设备(由一个收发设备和两个接收设备组成)连接。卫星信道透明传送二层以太网帧。这样,4 个交换机就组成了一个类似总线的共享网络。路由器 A 发往本地交换机的任何数据报文,都会经卫星一跳,到达其他 3 个交换机。其他路由器亦是如此。

由于利用了卫星信道的广播特性,每个交换机连接卫星的 3 个接口和其他交换机的接口不是一一对应的关系,而是 1 对 3 的关系。比如,路由器 A 发往路由器 C 的数据报文经由交换机 A 的端口 1 发出,而路由器 C 发往路由器 A 的数据报文却从交换机 A 的端口 2 接收。此时,如果开启交换机的 MAC 地址学习功能,则交换机在端口 2 学习到路由器 C

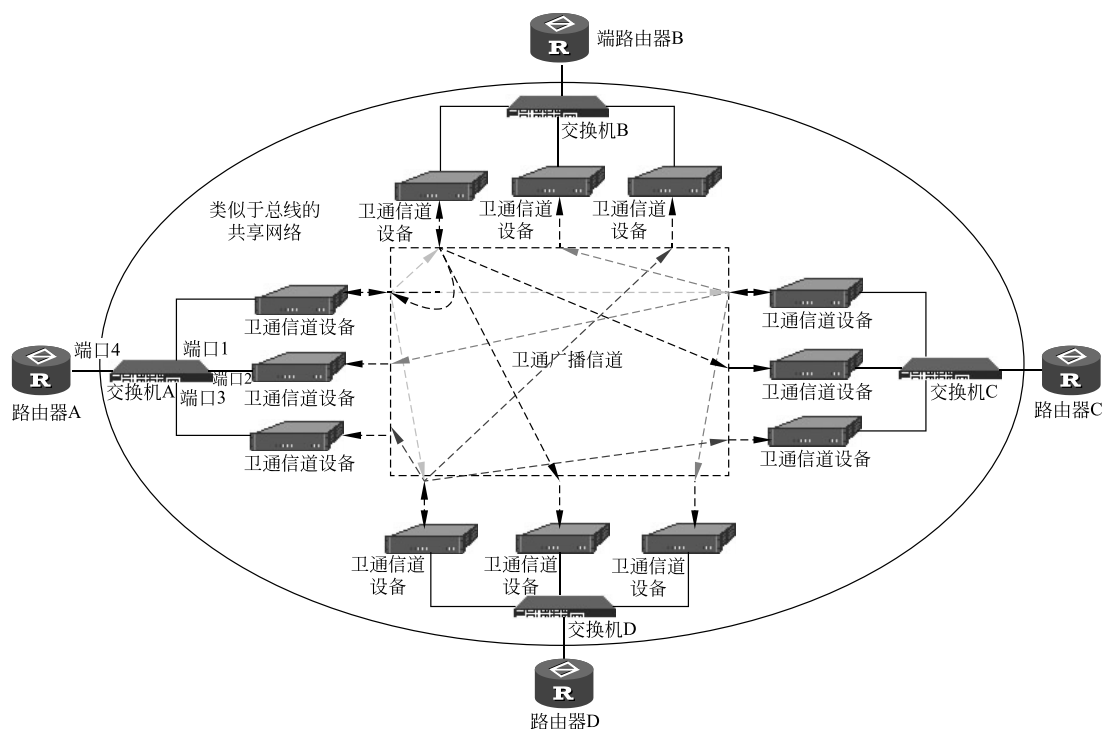


图 5.42 卫信道组播

接口的 MAC 地址,就会将路由器 A 发往路由器 C 的数据报文经由接口 2 发出,而接口 2 连接的卫信道只收不发,这样,该数据报文就无法发送到路由器 C。因此,需关闭交换机的 MAC 地址学习功能。

关闭掉 MAC 地址学习功能后,MAC 数据报文就会在交换机内广播,造成接口 2 收到的数据报文又从接口 1 发送出去的问题。为解决这一问题,须对交换机进行端口隔离。在交换机 A 的端口 1,限制向端口 2 和端口 3 发送数据报文;在端口 2,限制向端口 1 和端口 3 发送数据报文;在端口 3,限制向端口 1 和端口 2 发送数据报文;在端口 4,可限制也可不限制向端口 2 和端口 3 发送数据报文。其他交换机也做相同的端口隔离配置。如果静态配置交换机的 MAC 帧转发表而不进行端口隔离,则只能解决单播数据报文来回发送的问题,而无法解决组播数据报文的来回发送问题,因为组播数据报文在交换机内是以广播的形式转发的。

路由器 A 收到不是发送给自己的单播 MAC 帧(目的 MAC 地址不是自己的 MAC 地址),就丢弃掉该 MAC 帧,而只向 IP 层提交组播 IP 报文,以及目

的 MAC 地址与自己的 MAC 地址相同的单播 IP 报文。收到的单播和组播 IP 报文分别按照路由器的路由转发表和组播转发表进行转发。这样,在卫信道上只传送一次组播报文,就能被 3 个路由器同时收到并转发。

经交换机对卫通广播信道的屏蔽,路由器相当于被接到了一个共享网络上,其配置不受卫通广播信道的影响,可以正常启用各种网络协议。

5.239 文件传输协议(file transfer protocol)

IETF RFC 959 规定的,在客户端与服务器之间进行文件传输的应用层协议,简称 FTP。FTP 基于 TCP 协议实现,在客户端与服务器之间建立控制和数据两个 TCP 连接。控制连接用来传输命令和应答等控制信息,如用户名、用户口令、文件目录、文件名、文件类型和格式、客户端 IP 地址和端口号等,以 ASCII 码的形式传送。控制连接由客户端发起建立,服务器端口号为 21。在 FTP 会话的整个交互过程中,控制连接始终处于连接状态。数据连接专门用于传输文件数据,服务器端口号为 20。客户端为数据连接选择一个临时端口号,在控制连接上通过

PORT 命令将此端口号发送给服务器,服务器据此建立数据连接,开始传输数据。数据连接在每一个文件传送时建立,文件传送完毕后关闭。

5.240 无类域间路由 (classless inter-domain routing)

IETF RFC 4632 规定的一种 IP 地址无分类编址方法,简称 CIDR。CIDR 采用“子网起始地址/子网号位数”的方式表示一个网段地址,其中子网号位数可取 1~32 的任意整数。CIDR 打破了原自然分类法中子网号位数只能为 8、16、24 的限制,可以根据子网主机的数量更加精细地分配 IP 地址,节省了 IP 地址资源。

5.241 五元组 (five tuple)

协议号、源 IP 地址、目的 IP 地址、源端口号、目的端口号的集合。其中,协议号用于指出 IP 包携带的数据属于哪一种高层协议,如 TCP、UDP、OSPF、ICMP、IGMP 等协议的协议号分别为 6、17、89、1、2。端口号为 TCP 或 UDP 端口号。五元组相同的 IP 包常被视为同一个流,因此一般使用五元组对流量进行分类。在试验任务 IP 网中,因部分业务的源端口号在一定范围内动态变化,有时不使用源端口号作为分类依据,这种情况下相应的集合被称为四元组。

5.242 下联端口 (downlink port)

在分层的网络中,交换机连接下一层交换机的端口。交换机在线序分配上区分上联端口和下联端口是为了便于二者采用直通线缆连接。交换机具有线序自动翻转功能后,在硬件上不再区分上联端口和下联端口。

5.243 线端阻塞 (head of line blocking)

交换机内部发生的一种阻塞现象,如图 5.43 所示,假定各端口的传输速率相同,入端口 1 输入 100% 的流量,其中各 50% 的流量发往出端口 3 和 4;入端口 2 输入 100% 的流量,全部发往出端口 4。这样,在端口 4 发生阻塞。由于端口 1 发往端口 4 的数据帧需要等待,因此,尽管端口 3 空闲,在端口 1 上排在其后的发往端口 3 的数据帧也必须等待。这种外出端口上的拥塞限制了通往非阻塞端口的吞吐量的现象,就是线端阻塞。采用增加端口缓冲,增加输入输出队列的数量等方法,可以有效地减少甚至消除线端阻塞。

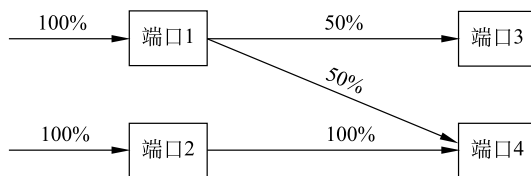


图 5.43 线端阻塞示例

5.244 先进先出队列 (first in first out queuing)

按照报文到达的先后顺序发送报文的队列,简称 FIFO 队列,又称先来先服务队列。FIFO 队列是尽力而为服务模型所采用的队列,是其他队列的基础。与其他队列相比,FIFO 队列最简单,对所有报文均采用先到先转发的方式处理,因此不能提供有区别的服务,不适用于区分服务和综合服务模型。

5.245 线速转发 (line-speed forwarding)

网络设备在物理层满负荷向线路发送数据的能力。网络设备的转发能力受限于其处理能力与线路速率(端口速率)。当处理能力足够大时,设备的转发能力完全取决于线路速率,即具备了线速转发能力。对于以太网,以 64 B 的最小帧长和符合协议规定的最小帧间隙在设备端口上双向同时传输数据能否不丢帧,作为设备是否具有线速转发的标准。以太网最小帧间隙为 12 B,帧前导符为 7 B,起止符为 1 B,因此线速转发时,帧转发速率为线路转发速率/(84×8),如千兆以太网端口的线速转发帧速率为 1.488 Mfps。

5.246 心跳线 (heartbeat line)

连接工作机与备份机的连接线。工作机和备份机之间通过心跳线同步工作现场。这样,备份机一旦检测到工作机故障,则可立即替代工作机工作。

5.247 虚拟路由器冗余协议 (virtual router redundancy protocol)

IETF RFC 3768 规定的,用于提高局域网网关可靠性的容错协议,简称 VRRP。通常情况下,局域网中的所有主机都通过出口网关实现与外部网络的通信。当出口网关发生故障时,主机与外部网络的通信就会中断。可通过配置多个出口网关提高系统可靠性,但局域网内的主机通常不支持动态路由协议,无法在一个出口网关出现故障时自动选择另一个出口网关。因此可以在上述多个出口网关(通常为路由器)上运行 VRRP 协议,组成一个备份组即

虚拟路由器,局域网内的出口网关地址设置为虚拟路由器的 IP 地址。这样,只要备份组中有一台路由器能正常工作,就能保证局域网正常对外通信,从而避免了由于出口网关单点故障导致的网络中断。

VRRP 协议只有一种报文,即 VRRP 通告报文,主要包含本路由器的优先级、虚拟路由器标识和虚拟 IP 地址等信息。VRRP 通告报文封装在 IP 报文中,协议号为 112,以组播方式发送给备份组中的其他路由器,组播地址为 224.0.0.18。VRRP 启动后,备份组中的所有路由器通过发送 VRRP 通告报文选举出主路由器,负责报文的转发工作,其他路由器则为备份路由器。选举方法为:首先比较优先级的大小,优先级高者当选为主路由器;如果优先级相同,则比较接口 IP 地址大小,接口地址大者当选为主路由器。主路由器正常工作时,每隔一段时间发送一个 VRRP 通告报文,以通知组内的备份路由器处于正常工作状态。当备份路由器一段时间内没有接收到来自主路由器的报文时,则认为主路由器发生故障,然后备份路由器重新选举出新的主路由器接替原主路由器的工作。

VRRP 网络开销小,最重要的功能是实现出口网关备份,还可以通过建立多个备份组的方式对网络流量进行负载分担。

5.248 询问握手认证协议 (challenge handshake authentication protocol)

采用三次握手机制进行 PPP 链路验证的协议,简称 CHAP。如果 PPP 链路启用 CHAP 协议,则在 PPP 链路建立时或建立后的任何时刻,验证方向被验证方发送一个随机的“询问”消息;被验证方根据“询问”信息和共享的密钥信息,使用哈希函数计算出响应值,发送给验证方;验证方收到应答后也进行相同的计算,如果计算结果一致则验证通过,否则验证失败。CHAP 的密钥信息不需要发送,而且每次验证交换的信息都不同,可以有效避免监听攻击,安全性较强。

5.249 压力测试 (pressure test)

通过加载饱和负载或过载,对网络、设备性能极限进行的测试。压力测试是检验被测系统的容错能力、可恢复能力,发现系统隐患的有效方法。根据目的不同,一般分为稳定性压力测试和破坏性压力测试。稳定性压力测试,指在饱和负载或一定超负载情况下,检验被测系统是否能在一段时间内稳定工

作,例如,网络在吞吐量负载下长时间的考核性测试,路由表满配置时的路由振荡测试等。破坏性压力测试,指在增加负载导致系统崩溃的测试。通常通过破坏性压力测试来检测被测系统性能拐点、检验系统崩溃后的恢复能力、发现系统漏洞等。

5.250 移动 IP (mobile IP)

移动节点 (主机或路由器) 从家乡网移动到外地网而保持 IP 地址不变的机制,简称 MIP。IETF RFC 5944 和 RFC 6275 分别规定了 IPv4 网络和 IPv6 网络条件下的移动 IP 规范。

移动节点在家乡网的 IP 地址称为家乡地址。无论移动节点是否移动,网内用户与移动节点通信时均使用家乡地址。移动节点离开家乡网,还会被分配一个转交地址。当外地网设置外地代理时,转交地址为外地代理的地址,否则为外地网分配给移动节点的地址。

移动 IP 在家乡网设家乡代理,在外地网可设也可不设外地代理。设外地代理的情况如图 5.44 所示,移动节点移动到外地网后,首先从外地代理获取转交地址。然后通过外地代理与家乡代理交互注册请求报文和注册应答报文,从而在家乡代理上创建家乡地址和转交地址的移动绑定。家乡代理依据移动绑定信息建立从家乡代理至外地代理的隧道。隧道地址为转交地址。网络其他用户发往移动节点的数据包首先被发往家乡网,然后被家乡代理通过隧道转交给外地代理,外地代理将其解封装后转发给移动节点。

不设外地代理的情况如图 5.45 所示,移动节点移动到外地网后,首先从外地网关或通过其他方式获取转交地址。然后直接与家乡代理交互注册请求报文和注册应答报文,从而在家乡代理上创建家乡地址和转交地址的移动绑定。家乡代理依据移动绑定信息建立从家乡代理至移动节点的隧道。隧道地址为转交地址。网络其他用户发往移动节点的数据包首先发往家乡网,然后被家乡代理通过隧道转交给移动节点。

当移动节点回到家乡网后,与家乡代理交互注册请求报文和注册应答报文,解除移动绑定。另外,需要说明的是,移动节点发往其他用户的数据包均不经隧道转发。

5.251 一对多/多对一测试 (one-to-many/many-to one test)

交换机测试所用的一种流量发送方法。一个端

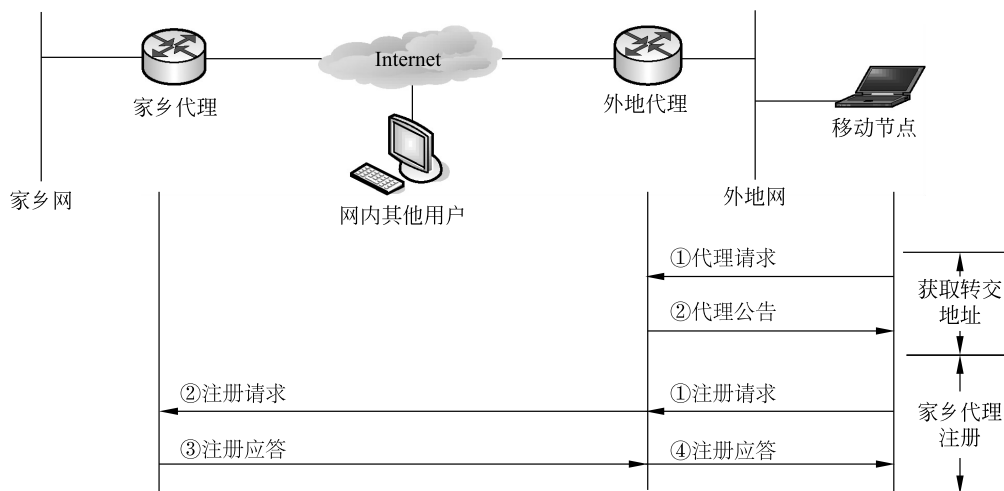


图 5.44 具有外地代理的移动绑定过程

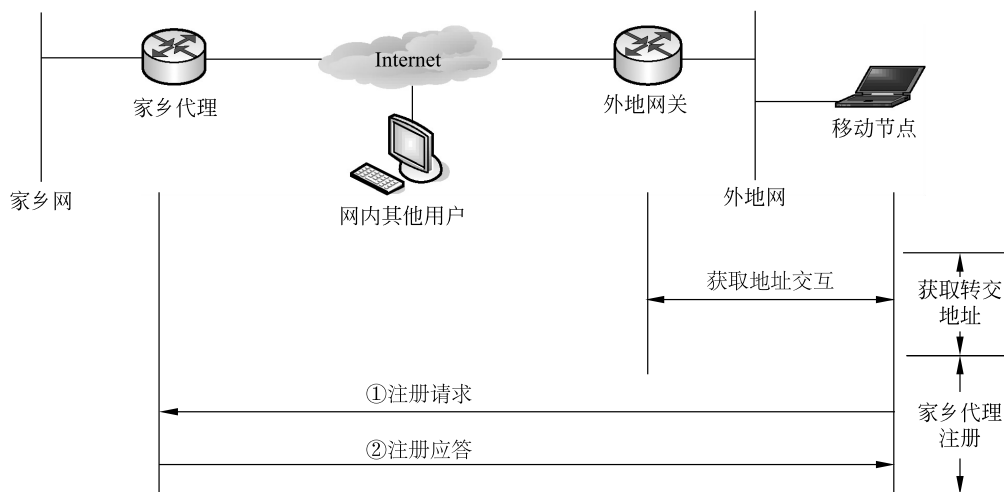


图 5.45 无外地代理的移动绑定过程

口向所有其他端口轮流发送测试帧,同时其他端口也向该端口发送测试帧。

5.252 以太网(Ethernet)

DIX 联盟发布的局域网标准,也指符合该标准的局域网。DIX 联盟由 DEC、Intel、Xerox 这 3 家公司组成,发布了两个版本的以太网标准,V1 版本已被淘汰,目前使用的是 V2 版本。电气与电子工程师协会(IEEE)发布的 IEEE 802.3 局域网标准与 DIX 标准兼容,故符合 IEEE 802.3 标准的局域网通常也称为以太网。以太网是一个二层网络,只包括物理层和数据链路层,理论上可支持多种上层协议,

但实际上主要支持 TCP/IP 协议族。

早期的以太网即标准以太网,以同轴电缆或双绞线为传输媒介,各主机内插入网络接口卡,与线路连接,传输速率为 10 Mb/s,基带码型为曼彻斯特编码。由于各主机采用共享总线的方式连接,因此同一时间内,网内只能由一台主机发送数据,但其他主机可同时接收数据,否则会发生碰撞冲突。为减少和规避碰撞冲突,采用了载波侦听多路访问/冲突检测(CSMA/CD)机制。

以太网的数据链路层称为介质访问控制层(MAC),其协议数据单元称为 MAC 帧或以太网帧。统一的 MAC 帧是以太网的重要标志。MAC 帧长在

64 B 与 1518 B 之间可变。帧头包括 6 B 的源主机 MAC 地址、6 B 的目的主机 MAC 地址、2 B 的长度或上层协议类型、4 B 的循环冗余校验码等 18 个字节。主机收到 MAC 帧,检查帧的目的 MAC 地址与自己的 MAC 地址是否一致,一致则提交给上层,否则丢弃。

以太网的主要网络设备为中继器和网桥。多端口的中继器又称为集线器,多端口的网桥又称为交换机。中继器工作在物理层,主要作用是放大信号,延长传输距离,但冲突域随之扩大。以太网的最远传输距离,除了受发送信号功率、接收灵敏度限制外,还受能确保检测出碰撞冲突的限制。标准规定共享总线结构的以太网最远传输距离为 2500 m,中间最多可串接 4 个中继器。网桥工作在数据链路层,将两个以太网连接成一个更大规模的以太网,广播域随之扩大,但冲突域不变。多个网桥组成的以太网,在物理上可连接成任意的拓扑结构,为避免产生转发环路,须启用生成树协议。一个物理以太网在逻辑上可划分为若干个逻辑子网,称为虚拟局域网(VLAN)。VLAN 可分割广播域,有助于提升网络的安全性能和使用的灵活性,得到了广泛的应用。

继标准以太网之后,以端口速率的提高为标志,相继出现了百兆以太网(又称快速以太网)、千兆以太网和万兆以太网。相应地,网络传输线路出现了光纤线路,同轴电缆逐渐被淘汰。交换机端口收发分开,内部采用交换矩阵等方式转发 MAC 帧,主机可独占端口传输资源,实现了全双工传输。由于不再采用共享总线结构,原理上不再需要 CSMA/CD 机制。为了保证与已有网络的互连互通,以太网走向后兼容的技术发展道路,高速率的端口可降速与低速率端口互通,作为可选项保留了 CSMA/CD 机制。交换机既可直接接入主机,又可与其他交换机互连,成为了以太网的主要网络节点设备,可构成分层结构、星型结构、环状结构以及上述结构的混合结构。另外,随着技术的发展,以太网还逐步增加了三层交换、链路捆绑、组播、端口自协商、端口镜像、端口拥塞控制、网络管理等功能。

在国防科研试验任务中,以太网用于构建试验任务 IP 网的城域网和局域网。

5.253 以太网端口自协商 (Ethernet port auto-negotiation)

互连的两个以太网端口自动协商端口速率和工作模式的技术。IEEE 802.3u 规定了百兆以太网端口自协商,IEEE 802.3z 规定了千兆以太网端口自协

商。自协商不需要人工配置,可实现即插即用。自协商的内容主要包括端口速率和工作模式,端口速率的选项为十兆、百兆和千兆,工作模式的选项为全双工和半双工。自协商的原则是尽可能实现高速率全双工,对于以太网电口,协商优先级次序为千兆全双工、千兆半双工、百兆全双工、百兆半双工,十兆全双工、十兆半双工;对于以太网光口,协商优先级次序为千兆全双工、千兆半双工。

以太网电口的自协商功能通过快速链路脉冲 (FLP)实现。FLP 脉冲间隔为 62.5 μs,每组 33 个脉冲,其中包含 17 个时钟脉冲和 16 个数据脉冲。16 个数据脉冲用来表示端口所支持的速率与工作模式。如果两个端口均支持自协商时,端口互向对方发送 FLP 脉冲信号,从而按照协商优先级次序选择出双方均能支持的端口速率和工作模式。如果只有一个端口支持自协商时,自协商端口检测对端传输的信号特征,判断对方端口的端口速率,然后将本端端口速率设置为与对方一致,工作模式设置为半双工。以太网光口仅支持千兆口的工作模式自协商。光口自协商与电口自协商机理类似,不同的是两端端口均在自协商模式下才能协商成功。

5.254 以太网反射器 (Ethernet reflector)

将接收到的以太网测试帧反送至测试源的辅助性测试设备。通常与 IP 或以太网测试仪一起使用,布设在远端测试端口,将测试帧的源地址和目的地址互换,再反方向发送至源端。以太网反射器一般用于单端环回测试,使测试者仅在网络一端使用测试仪表,也可以完成网络的性能测试。

5.255 以太网服务类别 (Ethernet class of service)

IEEE 802.1Q 规定的用以太网帧头 TAG 字段前 3 位标识的优先级,简称 CoS。CoS 可区分 8 种业务类型,定义见表 5.15。

表 5.15 CoS 取值及含义

以太网 CoS (十进制)	业务类型	业务特性
7	网络控制业务	要求低丢包率
6	因特网运行控制业务	要求低丢包率和低时延
5	话音业务	要求低时延
4	视频业务	要求低时延

续表		
以太网 CoS (十进制)	业务类型	业务特性
3	确保业务	要求确保最小带宽
2	超尽力而为业务	比“尽力而为”业务的传输质量稍高
1	尽力而为	缺省业务类型,只要求尽力而为的服务质量
0	背景业务	不影响用户或关键应用的批量传输业务等

5.256 以太网供电 (power over Ethernet)

IEEE 标准规定的,网络设备通过以太网接口向终端供电的技术,简称 POE。以太网供电利用传输数据的以太网电缆,以集中供电的方式,解决用户终端的供电问题。供电方式分为信号线供电和空闲线供电两种。信号线供电使用传输数据信号的连接器插针 1、2、3、6 进行供电,空闲线供电使用连接器空闲插针 4、5、7、8 进行供电。供电为直流,主要技术参数如下。

- (1) 供电电压标称值为 48 V,可在 44~57 V 变化。
- (2) 典型工作电流为 10~350 mA,允许最大电流为 550 mA。
- (3) 每个端口输出功率分档可调,范围为 3.84~12.95 W。

5.257 以太网光纤收发器 (Ethernet fiber-optic transceiver)

将以太网电信号和光信号进行互换的光电转换设备。一般应用在以太网电缆无法覆盖、必须使用光纤来延长传输距离的网络环境中。根据收发是否共用同一根光纤,分为单纤和双纤光纤收发器两种。光纤收发器工作于物理层,只进行以太网光电信号的互换。

5.258 以太网集线器 (Ethernet hub)

所有端口属于同一冲突域的以太网设备,简称集线器或 hub。集线器用于汇聚多台终端,接入局域网或构成小型局域网。其工作于物理层,内部结构为一物理总线,端口均并行连接至该总线上。因

此,所有端口竞争同一传输带宽,属于同一个冲突域。连接在集线器上的终端采用 CSMA/CD 方式解决冲突问题,只能工作于半双工模式,传输效率低,目前大部分集线器已被交换机替代。

5.259 以太网交换机 (Ethernet switch)

根据 MAC 地址进行数据帧转发的多端口网桥,简称交换机。交换机是以太网的节点设备,按照工作速率可分为十兆、百兆、千兆和万兆交换机;按照协议层次可分为二层交换机和三层交换机;按照网络分层结构模型可分为接入交换机、汇聚交换机和核心交换机;按照端口可扩展性可分为固定端口交换机和模块化交换机。交换机的主要技术指标包括转发速率、背板容量、端口数量、端口速率以及所支持的各种功能和协议等。

交换机的工作原理与网桥基本相同。交换机首先通过 MAC 地址学习,在 MAC 地址表中记录数据帧的源 MAC 地址和端口对应关系。后续到达的数据帧,根据帧头目的 MAC 地址查找 MAC 地址表,将数据帧从对应端口转发出去;若没有查找到对应表项,则广播或丢弃该数据帧。交换机的帧转发方式主要有存储转发和直通转发两种。存储转发方式下,交换机收到数据帧后先进行存储,完成校验后再进行转发。由于需要将完整的数据帧接收到端口的缓存中,并对数据帧进行循环冗余校验,因此存储转发方式的转发时延较大。直通转发方式下,交换机一旦读取数据帧目的 MAC 地址,即进行转发,不存储完整数据帧,也不进行循环冗余校验,因此转发时延小,但可能会转发已损坏的数据帧。

支持 VLAN 技术的交换机实现了对以太网广播域的划分,同一 VLAN 内的主机间可以直接通信,不同 VLAN 间不能直接互通,广播报文被限制在一个 VLAN 内。不同 VLAN 的报文通过在帧头插入不同的 VLAN 标签予以区别。VLAN 间的互通传统上需要由路由器来完成,交换机增加三层功能后,可由交换机完成。为了避免以太网中出现转发环路,交换机一般均支持生成树协议。另外,交换机还可支持以太网链路聚合、QinQ、IGMP 侦听、端口镜像、服务质量保证等相关功能。

5.260 以太网链路捆绑 (eth-trunk)

将多个以太网物理链路捆绑成一个逻辑链路的技术,又称为以太网链路聚合,简称 eth-trunk。在两个交换机之间存在多个以太网物理链路时,为避免

形成环路,只能由其中的一条链路传输数据,其他链路作为备份使用。对这些链路进行捆绑后,这些链路均能传输数据,提高了传输带宽,同时对外表现为一条链路,避免了环路的产生。相应地,在交换机上将多个以太网接口捆绑成一个逻辑接口,称为 eth-trunk 接口。参与捆绑的以太网接口称为成员接口,其中处于活动状态的接口称为活动接口。活动接口分担负载流量,非活动接口作为活动接口的备份,不分担负载流量。

eth-trunk 的配置分为手工负载分担模式和链路聚合控制协议 (LACP) 模式。手工负载分担模式下,成员接口和活动接口均需手工配置。LACP 模式下,成员接口需手工配置,活动接口由 LACP 协议自动配置。链路上的负载分担分为逐流负载分担和逐包负载分担。逐流负载分担通过五元组(源 IP 地址、目的 IP 地址、协议号、源端口、目的端口)将报文分成不同的流,同一条流的报文在同一个活动接口上发送。逐包负载分担以报文为单位,轮流向所有活动接口发送报文。

eth-trunk 要求被捆绑的链路必须是同速率同性能的全双工点到点链路。目前,性能较高的交换机和路由器均支持 eth-trunk。

5.261 以太网网桥 (Ethernet bridge)

根据 MAC 地址进行数据帧转发的两端口以太网设备,简称网桥。如图 5.46 所示,网桥将两个以太网 A 与 B 连接成一个更大规模的以太网 C。网桥连接的两个以太网仍然属于两个不同的冲突域,但属于同一个广播域。

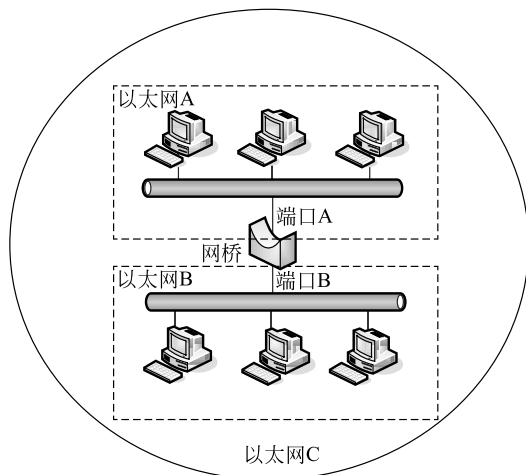


图 5.46 网桥在网络中的位置

网桥工作在数据链路层,其工作过程如下:网桥采用 MAC 地址学习机制发现端口连接的主机,通过查看端口接收到的数据帧源 MAC 地址,建立 MAC 地址与端口的对应关系,即 MAC 地址表。当端口 A 从以太网 A 收到一个数据帧时,根据目的 MAC 地址查询 MAC 地址表。当目的 MAC 地址属于以太网 A 的某台主机时,丢弃该帧;否则将该帧由端口 B 转发至以太网 B。端口 B 以同样的方式处理从以太网 B 接收到的数据帧。当多个网桥连接多个以太网时,需启用生成树协议,堵塞不必要的端口,避免出现转发环路。

网桥与中继器、交换机同为网络设备,但应用场合不同。中继器工作于物理层,仅用于扩大以太网连接范围,其所连接的两个以太网仍属于一个冲突域。交换机可视为一个多端口网桥,不但端口数量多,具有网桥的所有功能,而且还可以划分虚拟局域网 (VLAN),具有分割广播域、降低广播风暴影响的功能。目前以太网网桥已基本被交换机取代。

5.262 以太网帧 (Ethernet frame)

以太网数据链路层封装上层用户数据所使用的帧。因以太网帧在数据链路层的介质访问子层 (MAC) 成帧,故又称为 MAC 帧。目前以太网的标准采用由 DEC、Intel 和 Xerox 公司组成的 DIX 联盟发布的 Ethernet II 版本。其帧结构如图 5.47 所示,由前导符、起始符、目的地址、源地址、类型/长度、数据/填充和 FCS 校验码 7 个字段组成。前导符为 7 个“10101010”字节,用于接收端提取位同步信号。起始符为“10101011”,标识其后数据为帧的具体内容,因此也有文献认为前导符和起始符字段不属于帧的组成部分。目的地址和源地址分别用于标识帧的目的 MAC 地址和源 MAC 地址。类型字段用于标识上层协议类型,如 0x0800 为 IP 协议,0x0806 为 ARP 协议,0x0835 为 RARP 协议。数据字段为上层用户数据,长度在 46~1500 B 可变。FCS 校验字段为循环冗余校验码,校验内容包括目的地址、源地址、类型、数据部分。以太网帧从前导符开始发送,每个字节从最低比特开始发送。

IEEE 802.3 规定的局域网帧与以太网帧兼容,除类型字段外,其他字段二者保持一致。IEEE 802.3 帧的长度字段对应以太网帧的类型字段,表示数据字段的长度,单位为 B。该字段取值小于或等于 1500,则为 IEEE 802.3 帧;取值大于 1536,则为以太网帧。

7 B	1 B	6 B	6 B	2 B	46~1500 B	4 B
前导符	起始符	目的地址	源地址	类型	数据	FCS校验

图 5.47 以太网帧结构

5.263 以太网帧间隙 (inter frame gap)

以太网相邻两帧之间的空闲间隔,简称 IFG。为了保证帧的正确接收,即使两个连续发送的帧,也须保留一定的空闲间隔。标准规定了以太网帧间隙不小于 96 bit 的发送时间,即 96 bit 除以发送速率,如百兆以太网的最小帧间隙为 960 ns,千兆以太网的最小帧间隙为 96 ns。

5.264 以太网子接口 (Ethernet subinterface)

在一个物理以太网接口上配置的具有三层特性的逻辑接口。以太网子接口可配置在路由器与局域网连接的以太网接口上,解决局域网内多个 VLAN 间以及 VLAN 对外的通信。传统的三层以太网接口不支持 VLAN 帧,当收到 VLAN 帧时,将其视为非法帧予以丢弃。通过创建以太网子接口,并在子接口上部署终结 VLAN 功能,剥离 VLAN 标签,从而实现 VLAN 间的三层互通。这时,子接口需划入一个 VLAN 之中,并分配相应的 IP 地址,该 IP 地址用作 VLAN 的网关。以太网子接口也可用于局域网与广域网的互连。ATM、帧中继和 PPP 等广域网协议不能识别 VLAN 报文,需要在出接口上创建子接口。VLAN 帧事先在本地记录帧的 VLAN 信息,然后剥掉 VLAN 标签后再转发。

5.265 引入路由 (import route)

一个路由协议引入的、由其他路由协议产生的路由。通常情况下,路由协议产生的路由表只是本协议所计算产生的路由。当需要其他路由协议的路由参与路由计算时,需进行路由引入。引入路由常为静态路由和域外路由。

5.266 因特网工程任务组 (Internet Engineering Task Force)

负责研究因特网相关技术规范的开放的国际性标准化组织,简称 IETF。IETF 成立于 1985 年底,是因特网最具权威的技术标准化组织,其主要任务是负责因特网相关技术规范的研发和制定。IETF 设因特网架构委员会 (IAB)、因特网工程指导委员会

(IESG) 和工作组 (WG)。IAB 是 IETF 的最高技术决策机构,负责定义整个因特网的架构和长期发展规划,通过 IESG 向 IETF 提供指导并协调各个工作组的活动。IESG 是 IETF 的实施决策机构,负责 IETF 活动和标准制定程序的技术管理工作,核准或纠正各工作组的研究成果。工作组主要承担标准制定工作。

IETF 标准的制定经历以下 4 个主要阶段。

(1) 由个人或工作组提出标准草案,提交 IESG 进行审查;

(2) 审查通过后形成建议标准,以 RFC 文档形式发布,并为其分配唯一的序列号。修订过的 RFC 文档需要使用新的序列号;

(3) 建议标准经过一段时间的使用后,不断修改和完善,形成草案标准;

(4) 草案标准再经过一段时间的使用,确认成熟后,成为因特网标准。

5.267 因特网号码分配局 (Internet Assigned Numbers Authority)

管理和分配因特网号码资源的机构,简称 IANA。IANA 管理的号码资源主要有:

(1) 域名,管理域名服务 (DNS) 域名根和“.int”,“.arpa”域名以及国际化域名 (IDN) 资源。

(2) 数字资源,协调全球 IP 和自治系统 (AS) 号并将它们提供给各区域因特网注册机构。

(3) 协议分配,与各标准化组织一同管理协议编号系统。

IANA 下设 3 个分支机构,分别负责欧洲、亚太地区、美国与其他地区的号码资源分配与管理。许多国家和地区都成立了自己的域名系统管理机构,如中国互联网络信息中心 (CNNIC),负责从 3 个分支机构中获取号码资源,并在本国或本地区进行分配与管理。

5.268 因特网控制报文协议 (Internet control message protocol)

IETF RFC 792 规定的,在 IP 网主机和 (或) 路由器之间传递控制消息的网络层协议,简称 ICMP。

ICMP 是一种面向非连接的协议,常用于网络层的错误报告和故障诊断。ICMP 报文包括差错报告报文和查询报文。差错报告报文报告路由器或主机在处理 IP 数据包时遇到的问题,只向源端提供差错报告,而不处理差错。查询报文帮助主机或网络管理员从某个路由器或对方主机获取特定的信息。ICMP 报文封装在 IP 数据包中传输,协议字段取值为 1。ICMP 报文格式见图 5.48。

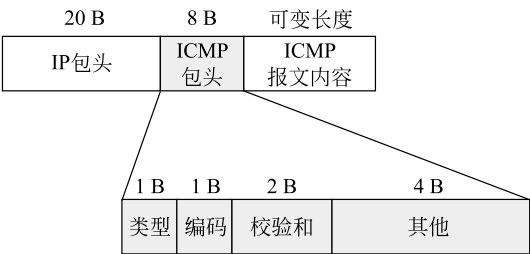


图 5.48 ICMP 报文格式

ICMP 包头的类型字段标识 ICMP 报文类型,编码字段提供 ICMP 报文类型的进一步信息,其取值及含义见表 5.16。

5.269 拥塞避免 (congestion avoidance)

在网络发生拥塞的概率较大时,通过主动采取措施降低网络拥塞概率的流量控制策略。传统的丢包策略采用尾部丢弃的方法,只有当队列满时,才丢弃所有新到的报文。这种丢弃策略可能引发 TCP 全局同步问题。为解决这一问题,应在队列未满时,依照一定的规则主动丢弃部分报文,即拥塞避免。其基本原理是,通过监测网络资源的使用情况,如队列长度、内存缓冲区等,根据网络资源占用率的不同,以不同的概率丢弃报文。资源占用率越高,主动丢弃报文的概率越大,从而避免了拥塞的发生。常用的拥塞避免方法有随机早期检测 (RED)、加权随机早期检测 (WRED) 等。

表 5.16 ICMP 报文类型和编码字段值及含义

类型值	类型名称	编码值	编码含义	备注
0	回送应答报文	0	—	查询报文
3	目的地不可达报文	0	网络不可达	差错报告报文
		1	主机不可达	
		2	协议不可达	
		3	端口不可达	
		4	需要进行分片但设置了不分片比特	
		5	源站选路失败	
		6	目的网络不认识	
		7	目的主机不认识	
		8	源主机被隔离	
		9	目的网络被强制禁止	
		10	目的主机被强制禁止	
		11	由于服务类型,网络不可达	
		12	由于服务类型,主机不可达	
		13	由于过滤,通信被强制禁止	
		14	主机越权	
		15	优先权中止生效	
4	源端抑制报文	0	—	差错报告报文
5	路由重定向报文	0	对网络重定向	差错报告报文
		1	对主机重定向	
		2	对服务类型和网络重定向	
		3	对服务类型和主机重定向	
8	回送请求报文	0	—	查询报文

续表

类型值	类型名称	编码值	编码含义	备注
9	路由器通告报文	0	—	查询报文
10	路由器请求报文	0	—	查询报文
11	数据包超时报文	0	传输期间生存时间为 0	差错报告报文
		1	在数据报组装期间生存时间为 0	
12	数据包参数错报文	0	坏的 IP 首部	差错报告报文
		1	缺少必需的选项	
13	时间戳请求报文	0	—	查询报文
14	时间戳应答报文	0	—	查询报文
15	信息请求(已作废)	0	—	查询报文
16	信息应答(已作废)	0	—	查询报文
17	地址掩码请求报文	0	—	查询报文
18	地址掩码应答报文	0	—	查询报文

5.270 拥塞管理(congestion management)

当网络发生拥塞时,对网络资源进行调度的策略。拥塞管理通常采用队列技术实现,常用的有先进先出队列(FIFO)、优先队列(PQ)、定制队列(CQ)、加权公平队列(WFQ)、基于类的加权公平队列(CBWFQ)等。在实际应用中,根据服务质量要求的不同,对报文进行分类,送入不同的队列,然后采用队列调度算法,对不同类型的报文进行有区别的转发。一旦网络发生拥塞,可保证对服务质量要求高的用户得到高质量的传输服务。

5.271 邮局协议(post office protocol)

IETF RFC 1939 规定的电子邮件接收协议,简称 POP 协议。目前广泛使用的是 POP 协议的第三版本,简称 POP3。POP 用于客户端(邮件接收者)从邮件服务器接收邮件。其接收过程如图 5.49 所示,分为以下 3 个阶段。

(1) 连接建立

客户端与服务器建立 TCP 连接,熟知端口号为 110。连接建立后服务器发出服务就绪消息,然后客户端向服务器发送认证消息,其中包含用户名和密码,以防止他人盗窃邮件内容。服务器回复确认消息,其中包含待接收的邮件数量。

(2) 邮件接收

客户端通过与服务器交互获取邮件一览表,之后逐个从服务器上下载邮件。为了节省服务器存储空间,每个邮件下载完毕后,客户端通知服务器将其删除。

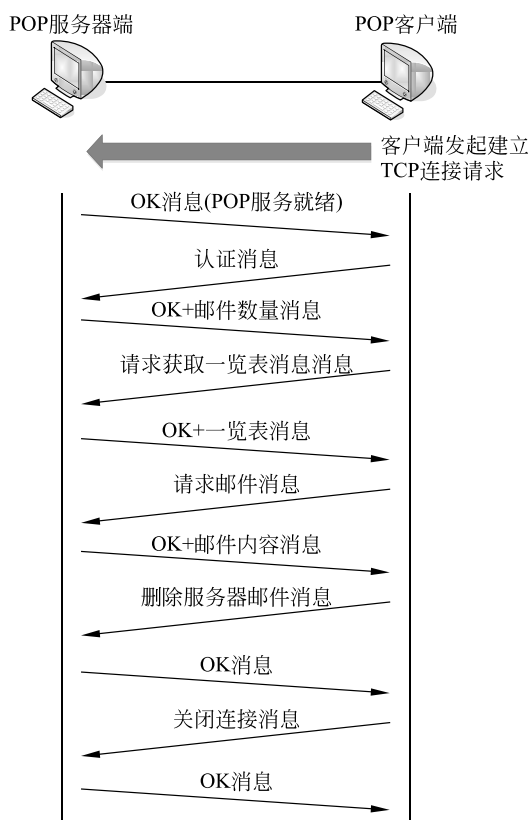


图 5.49 邮件接收过程

(3) 连接释放

邮件发送完毕后,客户端发送关闭连接消息,服务器返回“OK”消息,TCP 连接释放,邮件接收过程结束。

5.272 优先级队列 (priority queuing)

按照队列优先级从高到低的顺序发送报文的队列机制,简称 PQ。当报文到达时,首先对报文进行分类,然后根据分类将报文放入不同优先级的队列之中。队列调度时,按照队列优先级从高到低的顺序发送报文,只有高优先级队列空时,才能发送低优先级队列中的报文。这样,就保证了高优先级队列中的关键业务报文被优先传送。PQ 队列的缺点是,如果高优先级队列中一直有报文存在,低优先级队列中的报文将一直得不到转发。在试验任务 IP 网中,为保证高优先级业务尤其是实时业务的传输时延,一般采用 PQ 队列。

5.273 优先级映射 (precedence mapping)

不同 QoS 优先级之间的对应关系。报文进入设备端口后,需要将报文携带的 QoS 优先级映射到本地优先级 (LP),即设备为报文分配的一种具有本地意义的优先级。报文出设备端口前,将 LP 映射为 QoS 优先级或直接重标记报文优先级,以便后续网络设备能够根据 QoS 优先级提供相应的服务质量。

报文进入设备端口后,设备根据端口配置的不同信任模式进行优先级映射,具体如下。

(1) 信任端口模式。不信任报文携带的 QoS 优先级,设备根据本地规则确定报文的 802.1p、EXP、DSCP、LP 优先级。当报文从设备转发出去时,把重新确定的优先级更新到报文的 VLAN tag、DSCP 或 MPLS 标签的 EXP 字段。设备在缺省情况下为信任端口模式。

(2) 信任 DSCP 模式。根据 IP 报文的 DSCP 优先级,查看 DSCP 映射表,得到报文的 802.1p、EXP、DSCP、LP 优先级,其中 DSCP 到 DSCP 的优先级映射保持不变。在设备内转发时使用 LP。当报文从设备转发出去时,把映射后的优先级更新到报文的 VLAN tag、DSCP 或 MPLS 标签的 EXP 字段。

(3) 信任 802.1p 模式。根据 VLAN 报文的 802.1p 优先级,查看 802.1p 映射表,得到报文的 802.1p、EXP、DSCP、LP 优先级,其中 802.1p 到 802.1p 的优先级映射保持不变。在设备内转发时使用 LP。当报文从设备转发出去时,把映射后的优先级更新到报文的 VLAN tag、DSCP 或 MPLS 标签的 EXP 字段。

(4) 信任 EXP 模式。根据 MPLS 报文的 EXP 优先级,查看 EXP 映射表,得到报文的 802.1p、

EXP、DSCP、LP 优先级,其中 EXP 到 EXP 的优先级映射保持不变。在设备内转发时使用 LP。当报文从设备转发出去时,把映射后的优先级更新到报文的 VLAN tag、DSCP 或 MPLS 标签的 EXP 字段。

5.274 有源树 (source tree)

以组播源为根,将组播源到每一个组成员的最短路径结合起来构成的组播树,又称信源树、源树。有源树用 (S,G) 表示,S 表示组播源地址,G 表示组播组地址。在 PIM-DM 中,网络采用“洪泛—剪枝”的方式为每一个 (S,G) 建立一颗有源树。在 PIM-SM 中,网络首先建立以汇聚点为根节点的共享树,当组播组成员所在网段的指定路由器发现组播源后,采用加入的方式建立有源树。在指定源组播中,采用加入的方式直接建立有源树。有源树的优点是能构造组播源和组播组成员之间的最短路径,使端到端时延最小,其缺点是路由器必须为每个组播源保存路由信息,会占用大量的系统资源,组播转发表的规模也比较大。

5.275 域名 (domain name)

与 IP 地址相对应的字符型地址。IP 地址用数字序列表示,不便于记忆,因此 IP 网还用域名标识主机。在应用中,主机可根据域名获得对应的 IP 地址,其方法是将域名发往域名服务器,域名服务器找到对应的 IP 地址返回给主机。IETF RFC 1034 规定了域名的语法,域名由标号序列组成,标号之间以“.”隔开,标号可以是英文字母、数字或连字符“-”,每一个标号不超过 63 个字符,整个域名不超过 255 个字符。

域名空间采用层次化结构,因特网典型的域名格式为“主机名.二级域名.顶级域名”。顶级域名包括国家顶级域名、专用顶级域名和通用顶级域名。国家顶级域名由两位字母组成,如中国的国家顶级域名为“cn”。专用顶级域名主要有“mil”“edu”和“gov”,分别代表军事机构、教育机构和政府机构,非上述机构不得注册此类域名。通用顶级域名是指来自任何国家的任何人都可自由使用的顶级域名,如“com”“org”和“net”,分别代表商业企业、非营利组织 and 网络服务者。二级域名由域名使用者自行确定。为保证每一个域名的唯一性,域名在使用前需进行注册,域名的注册遵循先申请先注册的原则。因特网号码分配局 (IANA) 负责域名的顶层管理,因特网注册机构 (IR) 及其区域分支机构负责大部分

顶级域名和二级域名的具体管理。

专用 IP 网的域名可不受因特网域名结构和格式的限制,由网络管理者自行确定,在本网络内有效。

5.276 域名解析 (domain name resolution)

根据域名获取对应 IP 地址的服务。域名解析分为静态域名解析和动态域名解析。

(1) 静态域名解析

在主机上人工建立域名和 IP 地址之间的对应关系表,即静态域名解析表。当应用程序需要域名解析时,查询静态域名解析表即可。

(2) 动态域名解析

由域名服务器和客户端共同完成。在主机内部,客户端收到应用程序的域名解析请求后,首先查询 DNS 缓存。如果有相应的解析表项则向应用程序返回解析结果,否则向域名服务器发送查询报文。服务器收到查询报文后查询域名对应的 IP 地址,如果该域名不在本域范围之内则交给上一级服务器处理,直到完成解析,将结果返回客户端。客户端收到响应报文后,将结果返回给用户程序。

静态域名解析速度快,但静态域名解析表不可能做得太大,因此一般将常用的域名放入静态域名解析表中。在解析域名时一般先进行静态解析,如果静态解析不成功,再进行动态解析。

5.277 域名系统 (domain name system)

提供域名解析服务的系统,简称 DNS。DNS 采用树状结构划分域名空间,采用客户端/服务器模式进行域名解析。客户端提出查询请求,服务器负责查询请求的处理,获取域名对应的 IP 地址,返回给客户端。DNS 一般被设计成一个联机分布式数据库系统,域名到 IP 地址的解析可由若干个域名服务器共同完成。大部分的域名解析工作可在本地的域名服务器上完成,效率较高。同时,即使单个域名服务器出现故障也不会导致整个系统失效,提高了系统的可靠性。

5.278 载波侦听多址访问/冲突检测 (carrier sense multiple access/collision detection)

总线型信道的一种占用与冲突避免机制,简称 CSMA/CD。总线型信道上连接有多个用户,在同一时间内,只能有一个用户占用信道发送数据,其他用

户处于侦听状态。如果用户随机占用信道,发送数据,则不可避免地产生碰撞冲突。CSMA/CD 的目的是在保证用户随机发送数据的前提下,尽可能降低发生碰撞冲突的概率,其基本原理与工作过程如下。

(1) 用户无数据发送时处于侦听状态,通过检测载波的有无和大小,可知信道的状态(空闲、占用、冲突);

(2) 用户需要发送数据时,且侦听到信道空闲,则发送数据。如果侦听到信道处于占用或冲突状态,则等待发送,一旦发现信道空闲,即发送数据;

(3) 用户在发送数据过程中,仍继续侦听信道,一旦发现信道载波明显增强,即判断为冲突发生,则停止当前的数据发送,转而发送干扰信号,进一步增强冲突信号,使信道上所有用户可检测到冲突;

(4) 用户发送完干扰信号后,随机延迟一段时间,重新尝试发送数据。

CSMA/CD 机理简单、技术上易实现,各用户处于平等地位,不需要集中控制,但用户发送数据量过大时,冲突概率增大,信道效率急剧下降。早期的以太网为共享总线结构,采用 CSMA/CD 解决多路访问中的信道冲突问题。以太网采用交换模式后,不存在信道冲突问题,故不再使用 CSMA/CD。

5.279 指定端口 (designated port)

以太网交换机的一种端口。每个交换机可有若干个指定端口。通过该端口,交换机与生成树的下游交换机相连,向下游交换机发送桥协议数据单元 (BPDU)。

5.280 指定网桥 (designated bridge)

以太网生成树中,以某一节点为参照的上游节点所对应的网桥。一个网桥通过其根端口与其指定网桥相连。

5.281 指定源组播 (source specific multicast)

组播组成员指定组播源的组播业务模型,简称 SSM。组播组成员只接收指定的组播源发往组播组的数据,而不接收其他组播源发往该组播组的数据。组播组成员将指定的组播源地址告知网络,网络即可在组播源和组播组成员之间建立有源树,而不需要设置汇聚点 (RP),建立共享树。指定源组播使用专用的组播地址 232.0.0.0~232.255.255.255。在试验任务中,大多数组播组成员预先知道组播源地址,因此组播数据传输一般采用指定源组播模型。

5.282 指定源组播映射 (source specific multicast mapping)

在支持 IGMP v3 的路由器上进行的组播组到组播源的映射,简称 SSM mapping。在指定源组播中,要求路由器掌握其网段内组成员所指定的组播源。如果主机支持 IGMP v3 协议,路由器可通过 IGMP 报告报文获得指定的组播源地址;如果主机仅支持 IGMP v1 或 IGMP v2,则报告报文中无法指定组播源地址,需要在路由器上人工为组播组指定组播源,即静态配置 SSM mapping 功能。其方法是,在路由器上使用 SSM mapping 功能,配置 SSM mapping 规则,建立组播组地址与组播源地址之间的静态映射关系。配置完成后,当路由器接收到来自主机的 IGMP v1 或 IGMP v2 的报告报文时,检查报文中携带的组地址 G,依据映射关系,将报文中的 (*,G) 信息转换为一组 (S,G) 信息,从而为主机提供指定源组播服务。

5.283 直连路由 (direct route)

链路层协议发现的路由,又称为接口路由。与路由器接口直接相连的子网称为直连网络,到该直连网络的路由由路由器直接生成,并添加至该路由器的路由表中。一般默认直连路由的优先级最高,度量值最小。直连路由需要由其他路由协议引入并发布,才能被其他路由器发现。例如,一台路由器的千兆以太网口 GigabitEthernet 2/0/0 直接连接的子网为 1.1.1.0/24,则该路由器产生的直连路由如图 5.50 所示,其下一跳地址为 1.1.1.1/24。

5.284 直连网线 (Ethernet straight-through wire)

将两个 RJ45 连接器相同编号插针连接起来而制成的网线,简称直连线。如图 5.51 所示,直连线的线序与插针编号的对应关系有两种,分别由 EIA/TIA 568A 和 EIA/TIA 568B 标准规定。一般情况下不同类型的设备连接时,采用直连线,如路由器与交换机之间、交换机与主机之间等。

5.285 直通转发 (cut-through forward)

以太网交换机转发数据帧的方式之一。交换机



图 5.51 直连线连接关系

一旦读取数据帧目的 MAC 地址,即进行转发,不存储完整数据帧,也不进行 CRC 校验。与存储转发方式相比,交换速度快,延迟小,但可能转发已损坏的数据帧。

5.286 主机 (host)

数据网络的用户终端。数据网络是为满足计算机通信而发展起来的,所以早期的主机指接入数据网络的计算机。以太网和 IP 网占据数据网络统治地位后,主机实际上指以太网和 IP 网的各种用户终端。每一个主机有一个以太网 (二层) 的 MAC 地址和 IP 网 (三层) 的 IP 地址。由于网络依靠地址来识别主机,故网络把一个地址视同一个主机。路由器的每个端口都分配有 IP 地址,故可把路由器看作多个主机组成的设备,其每个主机位于不同的子网上。路由器的作用就是在这些子网间转发数据包。

向网络内发送数据包的主机称为源主机,接收数据包的主机称为目的主机。一般情况下,主机同时具有收发功能,既是源主机又是目的主机。不能与实体主机一一对应的地址,称为虚拟地址。虚拟地址对应的主机称为虚拟主机,如多个主机除了各自本身的地址外,还可共用一个地址,这个共用的地址称为虚拟地址,虚拟地址所代表的多个主机的集合称为虚拟主机。

5.287 主机路由 (host route)

目的地址为主机地址的路由表项。有时也指主机内保存的路由。主机路由的子网掩码最长,为 32 位。路由转发遵循子网掩码最长匹配原则,因此当

目的地址/掩码长度	协议类型	优先级	度量值	下一跳地址/掩码长度	出接口
1.1.1.0/24	直连	0	0	1.1.1.1/24	GigabitEthernet 2/0/0

图 5.50 直连路由示例

存在多个匹配路由表项时,路由器优先选用主机路由。在路由协议与网络管理中,目的地为路由器、交换机等网络设备的路由一般采用主机路由。

5.288 抓包(packet capture)

对流经网络的数据包进行捕获的方法。一般将需要捕获的数据包进行镜像,在镜像端口连接抓包设备。对于没有镜像端口的网络设备,可通过在线路上串接分路器(tap)或集线器(hub)等方式连接抓包设备。抓包设备的网卡设置为混杂模式,以接收到到达网卡的所有数据包。抓包属于在线被动测量方法,不影响网络的正常业务,是流量监视、入侵检测等设备获取网络数据的主要手段。

5.289 转发等价类(forwarding equivalent class)

MPLS 网络中具有相同转发处理方式的报文的集合,简称 FEC。通常将目的相同、转发路径相同和服务质量等级相同的报文归为同一个 FEC,并分配给该 FEC 一个标签。同一 FEC 的所有 MPLS 报文均携带该标签,MPLS 网络对具有相同标签的报文采用相同的转发处理方式。

5.290 自举路由器(bootstrap router)

在 PIM-SM 中,向网络中扩散自举报文的路由器,简称 BSR。在 PIM-SM 中,一般配置多个候选自举路由器(C-BSR)。这些路由器通过自举机制选举产生一个自举路由器,周期性地网络中扩散自举报文,其余自举失败的路由器停止发送自举报文。

5.291 子网(subnet)

IETF RFC 917 规定的,将自然分类法的网络作进一步划分得到的网络。在自然分类法中,IP 地址为两级结构,由网络号和主机号组成。划分子网后,IP 地址变为三级结构,如图 5.52 所示,网络号保持不变,而将原来的主机号分为子网号和主机号。



图 5.52 子网划分

子网划分有利于 IP 地址的有效利用、分配和管理。子网划分属于一个组织的内部事务,外部网络不必了解机构内划分了多少子网。从外部网络发送

给组织内部主机的数据依然根据原来的选路规则发送至机构对外联网路由器上。该路由器接收到 IP 数据报文再按照网络号和子网号找到目的子网,将 IP 数据报文交付给目的主机,因此要求路由器具备识别子网的能力。

5.292 子网掩码(subnet mask)

IETF RFC 950 规定的,由一串连续的二进制 1 与跟随的一串二进制 0 组成的 32 位比特串。连续 1 的长度等于“网络号+子网号”的长度,称为子网掩码长度;连续 0 的长度等于主机号的长度。子网掩码决定了子网主机的容量,子网掩码长度越长,主机容量就越小。子网掩码与主机 IP 地址进行逐位逻辑与运算,就可得出该主机所在子网的地址。

子网掩码通常用两种方式表示,一种为点分十进制表示法,如 C 类地址的子网掩码可表示为“255.255.255.0”;一种为位数表示法,也称为斜线表示法,即在 IP 地址后加一斜线“/”,然后写上子网掩码“1”的位数,如 C 类地址子网掩码长度为 24 位,表示为“/24”。

5.293 资源预留协议(resource reservation protocol)

IETF RFC 2205 规定的,网络根据主机请求,预留资源保证其服务质量的信令协议,简称 RSVP。RSVP 是因特网综合服务模型的一部分,运行在 IP 层之上,本身并不负责传送数据,只是传输资源预留的控制信息。其基本原理是,在实际的数据传输之前,主机向网络发出资源预留请求,如果网络能够满足要求,则在数据传输链路的每个节点上预留相应的资源,用于数据传输;如果不能满足请求的条件,则拒绝资源预留请求。

RSVP 定义了一整套消息机制来完成服务质量请求、资源预留、路径的维护、资源释放等功能,其中最主要的是路径消息(PATH)和预留消息(RESV)。资源预留的过程如下。

(1) 发送主机定期向接收主机发送 PATH 消息,用于网络中间节点记录数据传输路径。PATH 消息中包括上游节点的 IP 地址、请求的服务质量、业务流定义(如源 IP 地址、目的 IP 地址、协议、端口号等等),其目的地址是接收主机的 IP 地址。PATH 消息像其他 IP 包一样被传送到接收端,路径上具有 RSVP 功能的节点收到 PATH 消息后,建立或维护本地路径状态,然后将 PATH 消息中的上游节点的 IP 地址替换为本节点 IP 地址,向下游转发。

(2) 接收主机收到 PATH 消息后,对其进行处理,然后沿着 PATH 消息相反的路径向发送主机返回 RESV 消息,用于网络中间节点预留资源。RESV 消息中包括发送 RESV 消息的节点的 IP 地址、请求的服务质量、业务流定义等。接收到 RESV 消息的节点检查是否有足够的资源满足所请求的服务质量。如果有,则保留资源,并向上游节点转发 RESV 消息;否则,向接收主机发送资源预留出错消息,终止接收主机的资源预留请求。

(3) 当 RESV 消息到达发送主机时,说明整条链路路上的资源已被预留,发送主机可以沿着该路径发送数据。

RSVP 只允许资源保留特定的时间,资源预留状态由 PATH 和 RESV 消息建立并定期动态刷新,如果在清除时间间隔内没有收到相应的更新消息,或者收到了主动的资源删除消息,则释放相关的预留资源。

RSVP 事先在数据流的传输路径上预留了所需的网络资源,因此能够提供端到端的服务质量保证,适用于对服务质量要求较高的应用。但是其实现复杂,可扩展性不强,难以在大型网络中推广应用。

5.294 自治系统 (autonomous system)

由一个管理机构管理的拓扑上连通的路由器集合,简称 AS。每个自治系统都有一个唯一的编号,即自治系统号 (ASN),编号范围为 1~65 535。其中 1~64 511 为公用编号,需要向因特网号码分配局 (IANA) 申请,以保证其唯一性;64 512~65 535 为私有编号,供专用网络使用。

自治系统可自主选择内部路由协议,但与其他自治系统交换路由信息时需采用外部网关协议,目前一般使用边界网关协议 (BGP)。在自治系统内部,选择若干路由器作为 BGP 路由器,与其他自治系统交换网络可达信息,BGP 协议报文中需携带自治系统号,以与其他自治系统相区别。

5.295 综合服务模型 (integrated service model)

通过资源预留保证每一业务流服务质量的 QoS 模型,又称集成服务模型,简称 IntServ。综合服务模型通过资源预留协议 (RSVP) 在网络上对每一个业务流进行资源预留,只有在传输路径上所有节点均具有足够的资源可供使用时,才能建立连接,开始数据传输。当资源不够时,综合服务模型以拒绝连接的方式,拒绝用户的数据传输请求。一旦资源预留

成功,综合服务模型则可提供绝对的服务质量保证。网络内各节点要为其转发的所有业务流进行逐个专门处理,可扩展性差,因此综合服务模型很难在大型网络上应用。

5.296 组播 (multicast)

通过网络节点复制,将源主机发送的数据包转发到多个目的主机的传输方式,又称多播。组播的基本思想是,源主机对同样内容的数据包只发送一次,其目的地址为组播组地址。网络采用组播路由协议建立和维护组播转发树,沿组播转发树对数据包进行复制和转发,最后转发到所有的组播组成员。组播的主要优点在于节省网络流量,减轻源主机发送负担,但其实现要比单播复杂得多,需要解决如何发现组播源、组播组成员,如何建立和动态维护组播转发树等问题。在试验任务中,有很多一点到多点的传输需求,一般采用组播方式满足此类需求。

5.297 组播 MAC 地址 (multicast MAC address)

一个组播组的所有成员共用的 MAC 地址。因特网号码分配局 (IANA) 分配的组播 MAC 地址范围为 01:00:5E:00:00:00~01:00:5E:7F:FF:FF,高 25 位固定,只有低 23 位可供分配。组播 IP 地址到组播 MAC 地址的映射采用固定映射方式,将组播 IP 地址的低 23 位放入组播 MAC 地址的低 23 位。组播 IP 地址是高 4 位固定,低 28 位可供分配,因此丢失了 5 位的地址信息,最多会有 32 个组播 IP 地址映射到同一个组播 MAC 地址上。

5.298 组播 IP 地址 (multicast IP address)

一个组播组的所有成员共用的 IP 地址,又称组播组地址、组播地址或组地址。组播地址与组播组一一对应,代表一组共同的接收者,因此只能做目的地址使用。因特网号码分配局 (IANA) 把 IPv4 地址空间的 D 类地址分配给组播使用,地址范围为 224.0.0.0~239.255.255.255。

组播地址可再分为固定组播地址、用户组播地址和本地管理的组播地址。

固定组播地址是 IANA 为路由协议预留的组播地址,又称保留组播地址和永久组播地址,地址范围为 224.0.0.0~224.0.0.255。固定组播地址局限在一个网段内使用,即组播源和组播组成员位于同一个网段内,发往固定组播地址的报文的 TTL 为 1,路由器不向外转发,因此该地址可以在不同网段内重

复使用。常用的固定组播地址及其用途见表 5.17。

表 5.17 常用的固定组播地址及用途

固定组播地址	用途
224.0.0.0	保留不用
224.0.0.1	同一网段的所有主机与路由器
224.0.0.2	组播组管理协议 v2(IGMP v2)路由器
224.0.0.4	距离矢量组播路由协议(DVMRP)路由器
224.0.0.5	开放最短路径优先路由协议(OSPF)路由器
224.0.0.6	OSPF 指定路由器/备用指定路由器
224.0.0.7	共享树(ST)路由器
224.0.0.8	共享树主机
224.0.0.9	路由信息协议 v2(RIP-2)路由器
224.0.0.11	移动代理
224.0.0.12	动态主机配置协议(DHCP)服务器/中继代理
224.0.0.13	协议无关组播协议(PIM)路由器
224.0.0.14	资源预留协议(RSVP)封装
224.0.0.15	有核树(CBT)路由器
224.0.0.16	指定子网带宽管理(SBM)
224.0.0.17	所有 SBM
224.0.0.18	虚拟路由器冗余协议(VRRP)
224.0.0.22	组播组管理协议 v3(IGMP v3)路由器

用户组播地址是为组播业务用户分配的临时组播地址,地址范围为 224.0.1.0~238.255.255.255。其中有些已指定用途,不能再做他用。这些已指定用途的用户组播地址再分为 3 类:一是预留的非本地组播地址,一般用来在网络上提供公共服务,地址

范围为 224.0.1.0~224.0.1.255;二是指定源组播地址,地址范围为 232.0.0.0~232.255.255.255;三是静态全球组播地址(GLOP),是为自治系统分配的全球通用地址,该地址的组成员限制在一个自治系统内,地址范围为 233.0.0.0~233.255.255.255,第 2 字节和第 3 字节为自治系统号,第 4 字节由自治系统自行分配。其他未指定用途的用户组播地址可以自行分配。

本地管理的组播地址只在同一个管理域内使用,地址范围为 239.0.0.0~239.255.255.255,在不同管理域内可重复使用相同的本地管理的组播地址而不会引起冲突。

5.299 组播 VPN (multicast in BGP/MPLS IP VPNs)

在现有 BGP/MPLS IP VPN 基础上支持组播业务的技术,简称 MVPN。该技术用于解决专用网组播报文通过公用网转发的问题。组播 VPN 有多种解决方案, IETF RFC 6037 标准草案阶段曾同时存在 3 种解决方案:组播域(MD)方案、VPN-IP PIM 方案和基于 PIM NBMA 技术的组播 MD 方案。IETF RFC 6037 最终唯一保留了 MD 方案。

在图 5.53 所示的网络中,分布在多地的专用网通过用户边缘路由器(CE)与公用网的边界路由器(PE)相连。公用网为每一个 VPN 生成一个 MD,并为其分配一个唯一的公用网组播地址,即共享组播组地址。组播源产生的组播数据包 C-Packet,经 CE1 转发至 PE1。PE1 使用共享组播组地址作为目的地址,将 C-Packet 封装为公用网组播数据包 P-Packet,然后利用公用网组播,将 P-Packet 转发到 MD 中的 PE2 和 PE3。PE2 和 PE3 将 P-Packet 解封

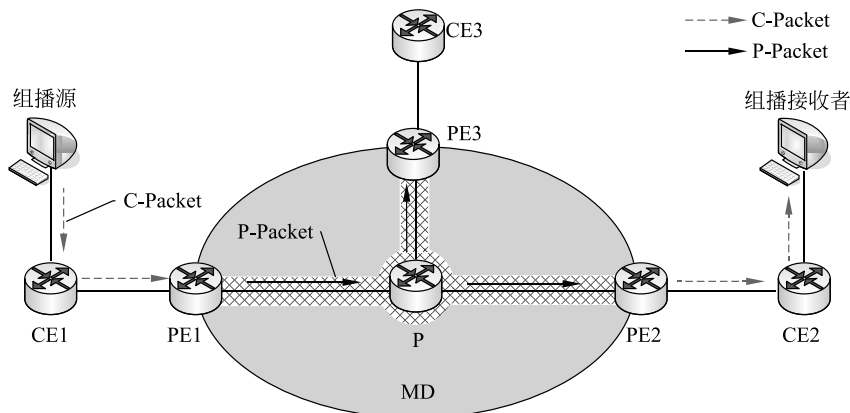


图 5.53 MD 方案

装为 C-Packet。PE2 将 C-Packet 转发至 CE2; PE3 连接的私有网中没有组播接收者, 则 PE3 丢弃 C-Packet。从而实现专用网组播数据在公用网中的组播转发。

在公用网中, 无论 PE 连接的专用网中有无组播接收者, 组播数据均转发到 MD 内的所有 PE。这将浪费公用网带宽, 增加 PE 处理负担。为此, 提出了一个针对 MD 的优化方案: 对于流量较小的组播业务, 仍使用共享组播组转发; 而对于流量较大的组播业务, 则为其单独分配一个组播组即切换组播组转发。

5.300 组播静态路由 (multicast static route)

静态配置的组播路由, 又称 RPF 静态路由。组播静态路由的配置项主要包括源地址、RPF 接口、RPF 邻居, 指定某组播源的组播报文须由 RPF 邻居转发, 从 RPF 接口收到。组播静态路由仅在所配置的路由器上生效。与单播静态路由相比, 组播静态路由未指定目的地址及下一跳地址, 因此不能直接用于数据转发。通过配置组播静态路由, 可创建一条不依赖单播路由的组播路由, 实现单播报文和组播报文的分流。在依赖单播路由生成的组播路由上, 因无法通过 RPF 检查, 不能选择单向链路。这时可通过配置组播静态路由, 实现组播报文在单向链路上的传输。

5.301 组播路由表 (multicast routing table)

用于指导组播报文转发的路由表。组播路由表项包括组播树标识, 入接口和出接口。组播树标识以“(组播源地址, 组播组地址)”形式表示。入接口指组播报文的入口, 与上游路由器相连。出接口指组播报文的出口, 与下游路由器相连。当一个表项出接口有多个值时, 说明路由器需要在多个接口上复制组播报文。在组播路由器上, 每个使能的组播路由协议都会产生一个组播路由表, 所有组播路由表经过综合产生组播转发表, 用于组播报文的转发。

5.302 组播协议 (multicast protocol)

组成员与组播路由器之间、组播路由器与组播路由器之间的协议。组成员和组播路由器之间的协议称为组播组管理协议, 用于组播路由器动态掌握子网内组成员的分布情况, 即子网内存在哪些组播组的成员, 常用的有因特网组管理协议 (IGMP)。组播路由器之间的协议称为组播路由协议, 用于在全网建立和动态管理组播树, 在路由器上建立和动

态管理组播路由表。组播路由协议又分为域内组播路由协议和域间组播路由协议两种。域内组播路由协议在一个组播域内运行, 主要有协议无关组播协议 (PIM) 等。域间组播路由协议在多个组播域之间运行, 主要有组播源发现协议 (MSDP)、边界网关协议多协议扩展 (MP-BGP) 等。

5.303 组播业务模型 (multicast service model)

组播业务的标准模式。根据组成员对组播源的接收要求不同, 组播业务模型分为任意源组播 (ASM)、信源过滤组播 (SFM) 和指定源组播 (SSM)。在 ASM 中, 组成员能够接收到所在组所有组播源的组播报文。SFM 在 ASM 的基础上增加了信源过滤功能, 网络对组播报文的源地址进行检查, 有选择地允许或禁止组成员接收某些组播源的报文。在 SSM 中, 组成员能够指定只接收或拒绝接收某些组播源的组播报文。SFM 可以看作 ASM 的扩充, 从网络的角度看, 二者没有本质的区别。ASM 与 SSM 可以在同一网络中共存, 但是二者需使用不同的组播地址。

5.304 组播源 (multicast source)

发送组播报文的主机。组播源发送组播报文时, 源地址为组播源的 IP 地址, 目的地址为组播组地址。组播源与组播路由器之间无任何组播协议, 发送组播报文时即可认为是组播源, 不发送时即可认为是一个普通的主机。一个主机可以同时是多个组播组的组播源, 一个组播组可以同时有多个组播源。另外, 组播源可以是也可以不是组播组成员。

5.305 组播源发现协议 (multicast source discovery protocol)

IETF RFC 3618 提出的跨 PIM-SM 域发现组播源的协议, 简称 MSDP。如图 5.54 所示, 两个 PIM-SM 域各有一个 RP, 分别为 RP1 和 RP2, 域 1 的 DR1 只向 RP1 登记组播源, 域 2 的组成员在组播源未发现之前, 只从以 RP2 为根的 (*, G) 共享树上接收组播报文。由于 RP2 不知道域 1 上的组播源, 因此组播报文不能跨域转发。如果要实现组播报文的跨域转发, 须首先解决如何跨域发现组播源的问题。

运行 MSDP 协议的路由器为 MSDP 路由器。RP 均应运行 MSDP 协议, 但 MSDP 协议并非都运行

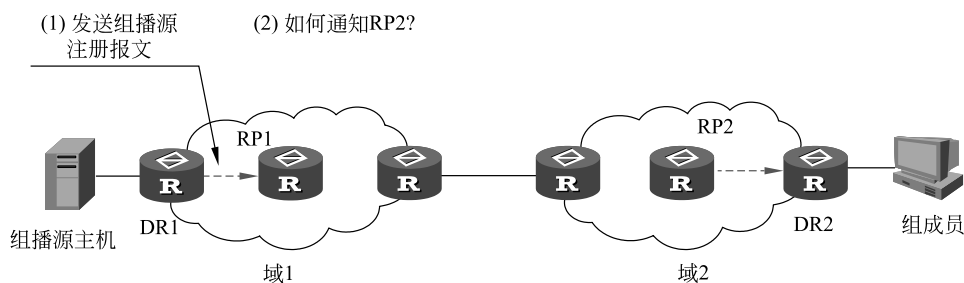


图 5.54 PIM-SM 的跨域组播问题

在 RP 上。MSDP 路由器之间通过 TCP 连接(639 端口)交互 MSDP 协议报文。一个 TCP 连接所涉及的两个 MSDP 路由器互相称对方为 MSDP 对等体。

RP1 和 RP2 运行 MSDP 协议,并通过 TCP 连接成为 MSDP 对等体。DR1 向 RP1 单播发送组播源注册报文,使 RP1 获得组播源地址 S 和组播地址 G,由此触发 RP1 向 RP2 发送称之为活跃源(SA)的 MSDP 协议报文。SA 报文携带组播源地址 S、组播组地址 G、RP1 地址以及组播源发送的组播报文。RP2 收到 SA 报文后,就相当于得到了组播源的注册报文。此后的工作完全由 PIM-SM 完成,直到域 1 组播源的组播报文沿 DR1 至 DR2 的最短路径树转发到域 2 的成员。当网内 RP 增多时,这些 RP 通过 TCP 连接形成 MSDP 连通图的拓扑结构。SA 协议报文沿该拓扑结构扩散到所有的 RP。

5.306 组播源注册(multicast source register)

组播源的指定路由器(DR)代表组播源向汇聚点(RP)注册的过程。组播源注册的目的是建立组播源到 RP 的组播分支。DR 第一次收到组播源 S 向组播组 G 发送的组播报文后,将其封装成注册报文,并通过单播方式发送给 RP。当 RP 收到该报文后,一方面解封注册报文,将封装在其中的组播报文沿着 RPT 转发给接收者;另一方面向组播源方向逐跳发送(S,G)加入报文。这样,从 RP 到组播源所经过的路由器就形成了以 DR 为根,以 RP 为叶子

的最短路径树(SPT)分支。此后,组播源发出的组播数据以组播的形式传送至 RP。当 RP 收到沿着 SPT 转发来的组播数据后,通过单播方式向 DR 发送注册停止报文。DR 收到注册停止报文后,确认注册成功,注册过程结束。

注册报文格式如图 5.55 所示。

注册报文各字段含义如下。

(1) PIM 版本: PIM 协议的版本号,目前 PIM 协议的最高版本号为 2。

(2) 类型: PIM 协议报文类型,组播源注册报文的类型值为 1。

(3) 边界标识(B): DR 发送注册报文时,边界标识的值为 0;PIM 组播边界路由器(PMBR)发送注册报文时,边界标识的值为 1。PMBR 为连接 PIM 组播域和非 PIM 组播域的路由器。当组播源在 PIM-SM 组播域外时,由 PMBR 扮演 DR 的角色,向 RP 注册。

(4) 空注册标识(N): 空注册报文中 N 的值为 1,注册报文中 N 的值为 0。注册成功后,DR 定期(缺省值为 5 s)向 RP 发送空注册报文,RP 回复注册停止报文,表示注册处于有效状态。当 DR 连续一段时间(缺省值为 60 s)未收到 RP 的注册停止报文时,则重新开始注册过程。

(5) 组播报文: 组播源发出的组播报文。

注册停止报文格式如图 5.56 所示。

注册停止报文各字段含义如下。

0		3 4		7 8		15 16		31	
PIM版本		类型		保留字段		校验和			
B	N	保留字段2							
组播报文									

图 5.55 注册报文格式

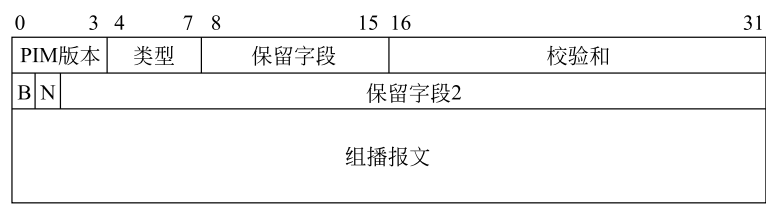


图 5.56 注册停止报文格式

- (1) PIM 版本：PIM 协议的版本号,目前 PIM 协议的最高版本号为 2。
- (2) 类型：PIM 协议报文类型,停止注册报文的类型值为 2。
- (3) 组播地址：停止注册的组播组的地址。
- (4) 源地址：停止注册的组播源的地址。

5.307 组播转发表 (multicast forwarding table)

直接用于组播报文转发的路由表。组播转发表项与组播路由表项相同,主要包括组播树标识、入接口和出接口。路由器根据一定的规则,综合各个组播路由协议的组播路由表,产生组播转发表。当路由器收到组播报文后,首先查找组播转发表,如果不存在相应的表项,则进行反向路径转发(RPF)检查。检查通过后,将 RPF 接口作为入接口,新建组播路由表项,并下发到组播转发表中。如果存在相应的表项,且表项的入接口与报文的入接口一致,则向所有出接口转发该报文。如果存在相应的表项,但表项的入接口与报文的入接口不一致,则进行 RPF 检查。如果 RPF 检查通过,则将表项的入接口更新为 RPF 接口,并向所有出接口转发报文,否则丢弃报文。

5.308 组播转发树 (multicast forwarding tree)

组播报文在网络中的转发路径,简称组播树。组播树的节点对应于路由器,节点间的连接线对应于传输链路。组播报文从根节点出发,沿着组播树从父节点(上游节点)向子节点(下游节点)转发,直至所有组播组成员。组播树分为有源树和共享树两种。有源树以组播源所在的指定路由器为根节点,用(组播源地址,组播组地址)表示。共享树一般以汇聚点(RP)为根节点,用(*,组播组地址)表示。

5.309 组播组 (multicast group)

接收相同组播报文的目的地主机的集合。一个组播组的所有成员共用一个目的地址接收组播报文。一个网络内可以同时存在多个组播组。

5.310 组播组成员(multicast group member)

接收组播报文的目的地主机,又称组成员。主机一般采用因特网组管理协议(IGMP),通过向组播路由器报告加入的方式加入组播组,通过向组播路由器报告离开或不应答组播路由器查询的方式退出组播组。一个主机可以同时加入多个组播组。