

第 5 章

计算机如何通信

人和人之间能够远距离地交流是人们在 200 多年前就开始的梦想。大家一定知道塞缪尔·芬利·布里斯·莫尔斯(Samuel Finley Breese Morse, 1791—1872) 在 1835 年发明的电报吧? 电报的出现开启了近代通信的序幕。

延伸阅读

百度百科: 莫尔斯码电报机。

1912 年, 法国巧克力公司 Lombart 制作了一系列幻想 2012 年未来世界主题的糖果包装促销卡。该系列中的一张卡片上, 描绘了一对法国父母正在通过一台机械式的电话电视设备与远在亚洲某个国家的儿子通话, 如图 5-1 所示。

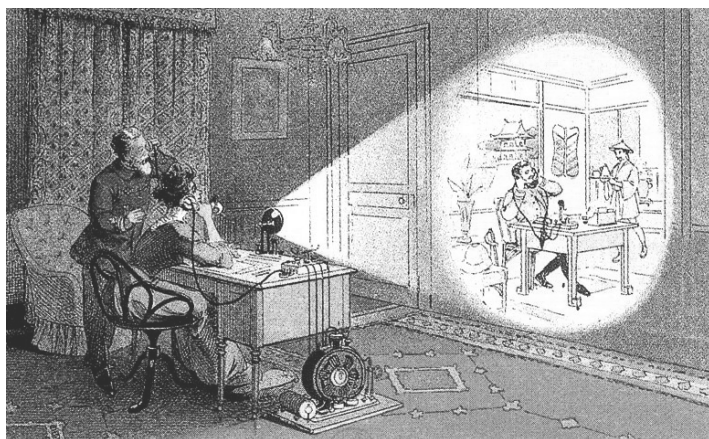


图 5-1 百年前的通信梦想

今天看来, 百年前人们的想象力还不够丰富。他们怎么也想象不到, 我们今天可以在智能手机和平板电脑上随意使用微信、抖音、视频会议, 对垒一场在线游戏, 甚至进入梦幻般的虚拟世界去逛一逛。

这一切得益于通信技术的快速发展, 以及计算机和通信技术的紧密结合。这一章我们从大家熟悉的共享单车开始, 说一说计算机是如何通信的。

很多同学骑过共享单车吧? 共享单车如图 5-2 所示。



图 5-2 共享单车

大家一般是这样做的：打开手机的 APP 查一查周围有没有共享单车，找到一辆空闲的单车后用手机扫一下码，锁开了就可开始骑行，到了终点后锁上车，再从手机上缴费。这一切感觉那么自然。但是大家有没有想过这几个问题：

手机是怎样知道单车在哪里的？

车锁是怎么打开的？

手机里的 APP 如何知道你骑了多远，该收你多少钱？

你的钱是怎样交给共享单车的运营商的？

.....

为了了解这些，我们先从一个最基本的问题说起，这就是信号是怎样传送的？

5.1 数字信号是怎样传送的

最早的莫尔斯码电报是在电路上做的实验。莫尔斯通过控制开关的时间来表示电报的内容（即莫尔斯码）。后来亚历山大·拉格汉姆·贝尔（Alexander Graham Bell，1847—1922）在有线电报的基础上尝试在电路中传送声音。他发现电流的波动可以带动簧片产生不同的声音，于是认识到在电路中通过电流的变化可以传送一定频率的信号。但是这种通信方式距离非常有限，而且信号的衰减很快，并不适合做远距离通信。

5.1.1 无线通信是怎样出现的

无线通信起源于 19 世纪中叶詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell，1831—1879）提出的电磁学理论。麦克斯韦在他的论文中，用一组简单而漂亮的方程组揭示了磁、光、电的相互作用和相互转化的规律，从理论上证明了电磁波以光束传播，充满了整个空间，我们可以通过改变电磁波的频率来传送信号。

延伸阅读

百度百科：詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。

1887年海因里希·鲁道夫·赫兹(Heinrich Rudolf Hertz, 1857—1894) 用一个称为赫兹环的装置验证了电磁波的存在,并实现了电磁波的发送和接收。他用一种电火花的装置产生电磁波,同时用赫兹环(类似一种天线)收到了电磁波,如图 5-3 所示。

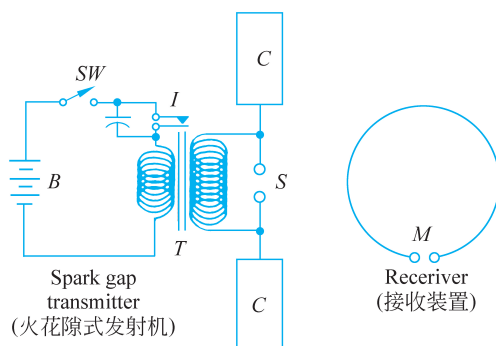


图 5-3 赫兹证明电磁波存在的装置

利用这个原理伽利尔摩·马可尼(Guglielmo Marconi, 1874—1937)先后在英吉利海峡之间,以及相隔几千千米的欧亚大陆和美洲新大陆间成功实现了无线电波的通信。人们把 1492 年航海家克里斯多夫·哥伦布(Christopher Columbus, 1451—1506) 来到美洲大陆,开辟了物质交流的通道,称为新旧大陆的第一次握手;把 1858 年塞勒斯·韦斯特·菲尔德(Cyrus West Field, 1819—1892) 用海底电缆将新旧大陆连接起来进行电报通信称为第二次握手;而把马可尼在 1901 年 12 月 12 日在新旧大陆间的无线电通信称为第三次握手,这也成为了人类进入无线电时代的标志。

延伸阅读

百度百科:伽利尔摩·马可尼。

电磁波通信的好处是,传送距离远,容量大,既可以在有线电缆中传送,也可以在空气中传送。无线通信省去了架设电缆的麻烦,可以大幅降低成本且灵活便捷。

传输电磁波的物理通路或无线信号的传输频段称为通信信道。电磁波的本质是电缆或空气中电子的运动,属于一种模拟信号,即连续变化的信号。在中学物理中,我们知道,电磁波具有波粒二重性,与之伴随的电场方向、磁场方向和传播方向三者互相垂直,电场和磁场总是同时出现,同时消失,并可相互转换,所以通常将二者合称为电磁波。电磁波示意图如图 5-4 所示。

我们还知道,电磁波有三大属性,即振幅、频率和波形,它们都是连续变化的。如果改变导体中电流变化的频率,则可使电磁波频率发生变化。此外,电磁波在不同的介质中传送的速度和频率是不一样的,从几赫兹到几千亿赫兹,较低频率的电磁波可以被金属物质阻挡并反射,因此可以在金属线路中传输,而超过 300 kHz 的电磁波会穿透金属的阻碍,辐射到空中来传播,因此无线电的频率范围一般在 300 kHz 以上。无线电频率分为不同

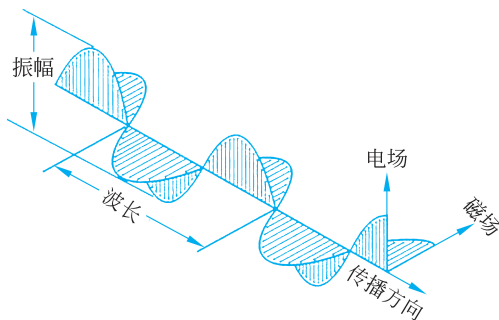


图 5-4 电磁波示意图

频段用于不同的用途,例如,卫星通信用的 Ku 频段(12~18GHz),军用雷达用的 X 频段(812GHz),手机信号用的 C 频段(4~8GHz)。无线电频段是各个国家的宝贵战略资源,设有专门的机构进行管理,我国的管理机构是各级无线电管理委员会。

5.1.2 模拟信号如何传送数字信号

第 4 章中说过,计算机处理的是数字信号。数字信号是一种能够表示 0 和 1 两种状态的离散信号。数字信号一般表示为电平信号,其中高电平值为“0”,低电平值为“1”,或反之,如图 5-5 所示。

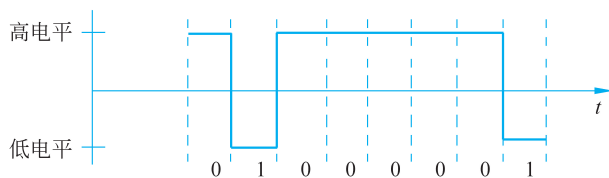


图 5-5 电平表示的数字信号

数字信号因为与二进制位的取值相对应,便于计算机处理,在保密性、抗干扰、传输质量等方面都优于模拟信号,且能节省信道资源。例如,我们可以通过数字加密保证信号的安全,或者通过校验码发现传输中的错误,再通过信号重传将其更正过来。

但是数字信号在自然界是不存在的,我们能够利用的是自然界中存在的电磁波这种模拟信号,因此,现在的问题是,怎么通过电磁波来传送数字信号? 这里需要用到信号的调制(Modem)和解调(Demodem)技术。

调制就是将数字信号转换成适合在模拟信道上传输的电磁波信号(载波)。解调就是从模拟信道上接收的载波信号还原成数字信号。

共有三种信号的调制方式,如图 5-6 所示。

- (1) 幅度调制: 用信号变化的幅度反映高低电平。
- (2) 频率调制: 用信号变化的频率反映高低电平。
- (3) 相位调制: 用信号变化的相位反映高低电平。

用于调制和解调的设备称为调制解调器(Modulator/Demodulator,简称 Modem),

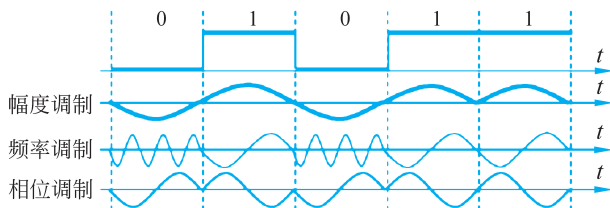


图 5-6 信号的调制方式

很多人嫌这个叫法太啰嗦,就索性把它称作“猫”(与 Modem 谐音)。有数字信号传输的地方都有这种“猫”。

多种频率的信号可以在同一个信道中传送。可以设定调制解调信号的频率范围,从而确保仅对特定频率的信号进行调制解调。例如,我们家里的有线电视电缆中,存在某个频带的信号用于传送数字影像,还有一个频带的信号用于传送互联网的内容,再有一个频带的信号用于传送控制代码,等等。可以从有线电视信号中分别得到这些内容。这些信道中,有的频率范围比较宽(可以传送很多路信号),有些频率范围则比较窄(传送的信号路数较少),因此信道有“宽带”和“窄带”之分,它们都是相对而言的。

5.2 怎样构建一个简单的网络

我们知道了数字信号的传送原理,大家想做的第一件事可能就是来构建一个网络了。前面讲的共享单车也需要在有网络的环境下才能够实现。

其实构建一个简单的网络超级简单,找两台带无线网卡的笔记本电脑,配置一下网络就完成了。联网成功后,我们可以从资源管理器中找到对方的计算机,访问他的文件或者跟他玩个游戏。那么这个网络是怎么工作的呢?

这两台计算机能够联网靠的是计算机中的无线网模块。一些老旧计算机可能主板中没有这个模块,我们可以给它配一个 USB 接口的无线网卡来弥补。另外还可以用有线的连接方式,即两台计算机各加一块有线网卡,用对接线连接(注意与一般的网线略有不同)。有线网卡和无线网卡如图 5-7 所示。

一个无线网模块或无线网卡就是一个调制解调器,它把要传送的数字信号通过空气中的电磁波传送给对方,对方再从中提取出数字信号。

当然除了无线网模块或无线网卡,计算机中的无线网驱动软件和管理软件也很重要,它们与无线网模块或无线网卡配合,要做很多工作,例如,发现或找到对方,将数据写到网络接口中,或者从网络接口中读出数据。

有的同学说,两台计算机互联太简单了吧? 加一个人玩游戏都不行,另外,我家里联的网也不是这种的。

的确,仅连接两台计算机是简单了点,我们加一个设备就可以连接很多台计算机了,甚至还能访问互联网。这个设备就是无线集线器(有时也称为无线 Hub 或无线路由器)。

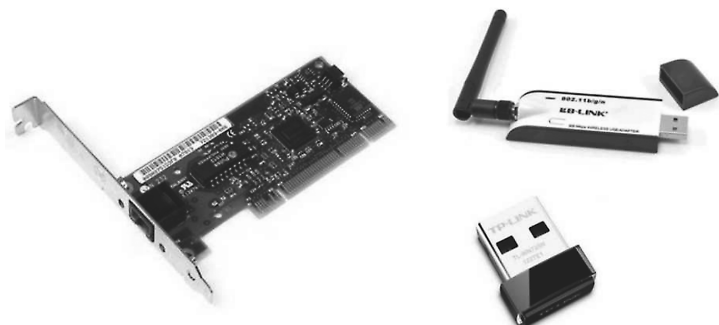


图 5-7 有线网卡和无线网卡

一般来说,一个无线路由器同时也是一个无线集线器,集线器可以把多台计算机连起来,而无线路由器可以让这些计算机上网(连到互联网上去)。无线路由器如图 5-8 所示。

一个无线集线器除了和每台连接的计算机进行数据通信之外,还负责把各台计算机发送出来的数据转给其他计算机,这样各个计算机就可以互相通信了。大家用的智能手机和平板电脑也可以看成一台计算机,也可以用同样的方法连起来。这种无线方式连接的网络常称为 Wi-Fi。



图 5-8 无线路由器

除了无线方式之外,也可以通过有线的方式联网。这时候需要准备网线,另外计算机要有带有 RJ45 的网络接口,我们将网线一端插入计算机的网络接口,另一端插入集线器的网络接口就可以了,如图 5-9 所示。一般的家用无线集线器只有少数几个 RJ45 接口,如果想连接更多的计算机可以找专用的集线器来用,具体的接法请大家自己查查这方面的资料。

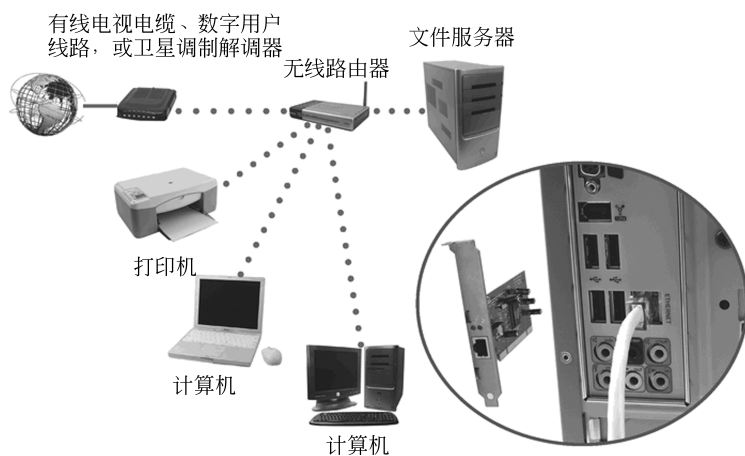


图 5-9 家庭联网

大家可能还不满足于把几台计算机连起来形成一个网络,可能更希望这些计算机能够上网,即能够访问互联网。这时候,我们就需要借助电信运营商或者所在小区提供的宽

带接入了。它们统称为网络服务提供商,我们可以租用它们的互联网接入服务,然后它们会派人把网线拉到你家里,提供给你一个网络接口,网线的另一端连接的是它们的接入网。我们可以用一根网线把无线路由器接到服务商提供的接入网接口,这样网络中的每台计算机都可以上网了。当然,我们需要参考一下运营商提供的说明对软件进行一些设置。

另外,有的网络服务提供商提供的是无线互联网接入服务,例如中国移动或中国电信提供的4G或5G上网功能。我们仅需打开手机中的这项功能就可以上网了,另外,我们用手机设置一个热点,这样其他的计算机或手机都可以借助你的手机上网了。

5.3 计算机网络能做什么

现在我们已经拥有了一个自己构建的计算机网络了,虽然有些同学还不太认可两台带有无线网卡的笔记本电脑就能构成一个网络,因为跟大家心目中的网络的概念很不一样。看来我们需要给网络下一个定义了。确切地说,计算机网络是地理位置分散、具有独立功能的多个计算设备,利用通信设施和传输介质互相连接,并配以相应的网络软件,以实现数据通信和资源共享的系统。这么看,两台带有无线网卡的笔记本电脑构成一个网络就不足为奇了,它们之间的传输介质就是空气中的电磁波。

两台计算机连成的网络能做的事很有限,但是很多台计算机联成的网络就可以做很多事了,例如:

(1) 数据通信。人们通过网络传送数据,从而达到信息交换的目的。例如,在共享单车的应用中,将共享单车的位置信息传递给用户。

(2) 资源共享。在网络中的每台计算机都可以相互共享一些软硬件资源,例如共用一台打印机,共同浏览一个网页,甚至共享一辆单车。

(3) 分布式处理。网络中的每台计算机虽然功能有限,可能难以独自完成一个复杂的任务,但是如果它们能通过网络互相协作,就可以把一个复杂的任务分解成简单的任务分给每台计算机来处理,最后把问题解决。例如共享单车要为成千上万的用户服务,单独一台计算机肯定做不了这个事,参与共享单车服务的计算机一般会有几十台或上百台之多。

(4) 提高系统可靠性。单台计算机在执行任务时难免会出现故障,例如,磁盘损坏或掉电,然而当很多计算机通过网络连在一起时,一些计算机就可以充当冗余备份,当一台计算机死机了,另一台计算机会马上承担起相应的任务。共享单车的计算机网络中一定会有这样的备份计算机。

当然,计算机网络的功能还有很多,这里就不一一细讲了。

在计算机网络中,有的节点是专门提供某种服务的,例如提供万维网主页的访问,提供共享单车的位置,提供用户数据的存储空间,等等,这样的节点称作服务器。而网络中享受其他节点提供的服务的,称为客户端。例如,用计算机或手机访问主页时,计算机和

手机就是客户端。不过这个关系并不绝对,有些服务器同时也享受其他计算机的服务,因此服务器和客户端只针对特定服务而言才有意义,并不见得服务器一定比客户端强大。有些同学可能用过一种“电驴(eDonkey)”软件来下载电影,这个软件下载电影的方式很特别,不是从服务器上下载,而是互相帮忙。网络上喜爱某一部电影的肯定不止一个人,当我下载这个电影的时候,别人的计算机里如果有这个电影,都会作为服务器传给我一部分数据,当我下载了这个电影,我的计算机也会作为服务器再帮助别人下载,即“人人为我,我为人人”,下载这个电影的人越多,下载得越快。在这个应用中,每个计算机既是服务器又是客户端,以这种方式工作的网络,称作对等网络(Peer-to-Peer, P2P)。

联网也是计算思维要达到的目标之一,或称为网络思维。这里网络是一种比较宽泛的概念,计算机网络只是其中的一种形式,也是联网的基础。网络思维注重通过多种方法的组合来解决问题,例如,我们在第2章讲到的云计算,就是通过计算机网络,把很多单台计算机组织成一个功能强大的算力网络,以处理大数据或解决复杂的计算问题,或向用户提供个性化服务。另外,我们在第3章提到的神经网络是一种逻辑上的网络,很多的神经元相互连接参与特征的提取与分析,实现复杂目标的分类,这就是联网的作用。

5.4 计算机网络有哪些种类

计算机网络有很多种类,可以按拓扑结构来划分,也可以按传输的距离远近来划分,还可以按工作方式来划分。

5.4.1 有哪几种计算机网络的拓扑结构

我们可以把前面构建的网络抽象一下(又用到了计算思维中的“抽象”),一个家庭网络常呈现出一种星型网络结构,如图5-10所示。

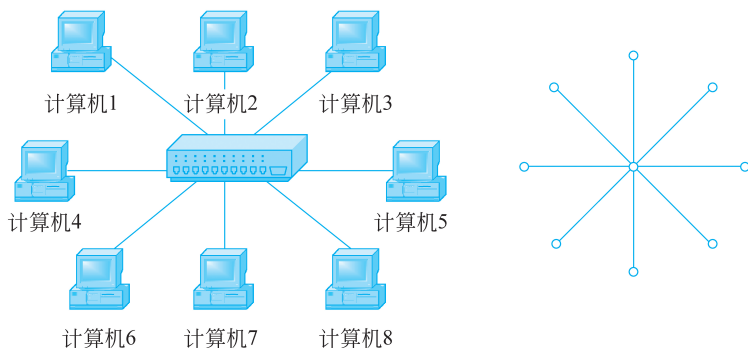


图 5-10 星型网络结构

这个星型网络结构的中心就是集线器,这是以太网的典型结构。对于无线以太网来说,如果把电磁波看成是连接线,仍然是星型的。另外要说明的是,网络里连接的不一定都是计算机,也可能是网络磁盘、打印机和扫描仪等,甚至还可以把共享单车连到网络里,

这种单车中一般会嵌入一个具有计算机功能的电路(嵌入式计算机),所以这台单车就变成了一个特殊的计算机了。

计算机网络还可以进一步抽象成图 5-10 右图的形式。图 5-10 右图中,网络中的每一台设备都是一个节点,这样网络就抽象成了节点和边构成的图,这就是网络的拓扑结构,这样我们就可以用数学方法去研究网络的连通性和最短路径等,这便是抽象带来的好处。

计算机网络的拓扑结构不止星型这一种,还有环型、树型和总线型等,如图 5-11 所示。它们各自都有优缺点,用在不同的场合中,我们甚至可以把这种单一的结构连接在一起,形成更复杂的结构,后面讲到的互联网就是一种非常复杂的结构。

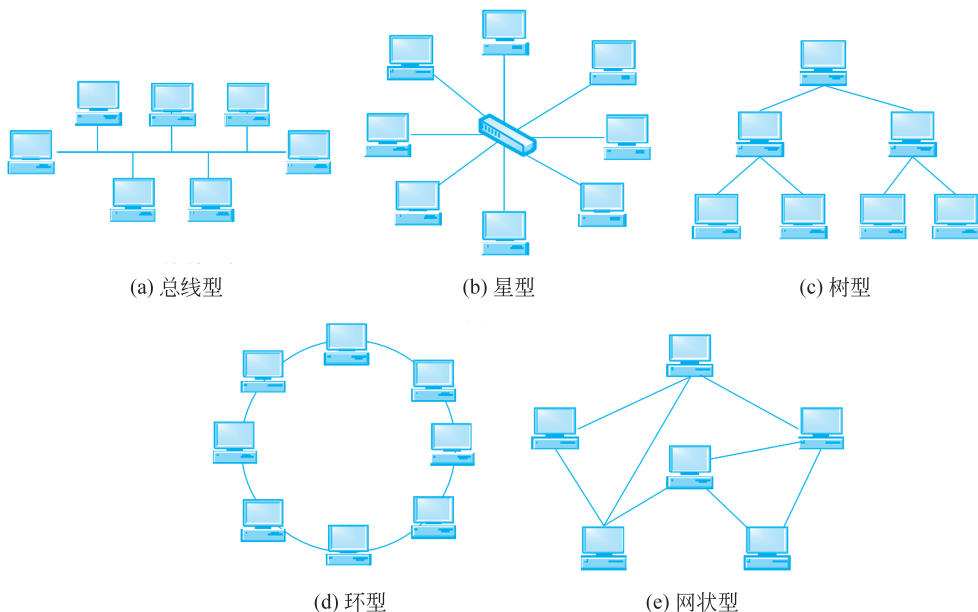


图 5-11 计算机网络的拓扑结构

5.4.2 不同的计算机网络覆盖范围有多大

除了可以按拓扑结构将网络划分成不同的类型之外,还可以按传输的距离远近将网络划分成不同的类型。之前讲到的家庭用的以太网,最远距离一般不超过 100m;若是无线网络,如果有障碍物阻隔距离会更短。这类网络称为局域网(Local Area Network, LAN),它是一种将较小地理范围内的计算机、外部设备以及数据库等软件互联起来的计算机网络。局域网一般属于一个单位或个人所有,地理范围有限,易于管理与配置。典型的应用场景为家庭网络、实验室网络或校园网等。

前面提到,如果要能上网,我们需要接入网络服务提供商的远程网络,典型的包括城域网(Metropolitan Area Network, MAN)和广域网(Wide Area Network, WAN)。城域网是一种比局域网范围更大的计算机网络,可以实现几十到上百千米的覆盖范围,通常能

覆盖几个街区,甚至整个城市。广域网是一种连接不同地区的局域网或城域网的远程网络。广域网的作用范围通常为几十到几千千米,能够跨越不同的地区、国家和洲来进行数据传输,形成国际性的远程计算机网络。远程网络的连接一般可以通过电缆或光纤构成有线网络,也可以通过微波、卫星和基站构成无线网络,移动通信网络也可以用来连接计算机或移动设备,即手机中的“移动数据”连接。

另外还有几种通信技术,常见的如蓝牙。蓝牙是一种支持设备短距离通信(一般在10m以内)的无线电技术,能在智能手机、无线耳机、笔记本电脑以及其他消费类电子设备之间进行无线数据交换,实现方便快捷、灵活安全、低成本、低功耗的数据通信和语音通信。北斗或GPS是一种长距离的无线通信系统,智能终端中加入了导航卫星信号的接收模块,就会收到卫星发出的信号,根据卫星的位置,就可以算出我们所在的经纬度坐标。导航信号的频段与手机网络的频段不同,可以同时工作,不会相互干扰。

5.5 在网络中如何找到对方

计算机网络中,一个节点要把数据发送给另外的节点,需要有对方的地址。这个就像我们寄信或发快递一样,要把地址写在信封上,然后才能把信寄到。

计算机网络的地址和计算机内部使用的地址一样,都是一串二进制数,为便于书写,我们用十六进制数表示底层的物理地址(也称MAC地址),如24-77-03-6A-BF-EC。这是6字节表示的二进制数,可以表示非常大的地址空间。计算机网络设备在出厂时就已经分配了一个全球唯一的物理地址,而且不能更改。大家不用担心如何保证它们不会相同。

这样的地址使用起来不太方便。例如我们更换一台计算机来收邮件,邮件就再也收不到了,我们最好能够有个可变的门牌号码,可以动态地赋给计算机。于是人们发明了一种互联网地址,即IP地址。这种地址用4个十进制数表示,它们之间用“.”来分割,例如,222.249.130.141。当然也要保证IP地址不会重复。这种IP地址是可以动态设置的,例如我今天用台式机收发邮件,明天换成了笔记本电脑,它们的IP地址可以设成一个,这样邮件都可以收到了。在共享单车的应用中,我们也可以为每台单车设置一个IP地址,当一辆单车损坏时,我们再把同样的地址赋给新的单车。

但是,和MAC地址一样,IP地址也很难记住。于是人们又发明了一种域名地址(简称域名)帮助人们记忆。例如,www.bistu.edu.cn,它的含义是:中国(cn)的教育科研网(edu)中的北京信息科技大学校园网(bistu)里的Web服务器(www),如图5-12所示。域名地址是从小到大来解释的,分别为四级域、三级域、二级域和顶级域。比起MAC地址和IP地址,显然域名地址好记多了。现在大家可能明白了,为什么在浏览某个主页的时候需要在浏览器的地址栏中输入网站的域名了吧?

这样我们就有了三种地址:物理地址、IP地址和域名地址。一台网络上的计算机,会同时拥有这三种地址。它们之间是怎样关联起来的呢?首先需要建立一套映射关系,将域名地址关联到IP地址,用于广域网的寻址;其次再将IP地址关联到物理地址,用于局