

第1章 计算机网络概述

1.1 数据通信基础

1.1.1 数据通信的基本概念

1. 数据信号

数据可分为模拟数据与数字数据两种。在通信系统中,表示模拟数据的信号称作模拟信号,表示数字数据的信号称作数字信号,二者是可以相互转化的。模拟信号在时间上和幅度取值上都是连续的,其电平随时间连续变化,如图 1-1(a)所示。例如,语音是典型的模拟信号,其他由模拟传感器接收到的信号如温度、压力、流量等也是模拟信号。数字信号在时间上是离散的,在幅值上是经过量化的,它一般是由二进制代码 0、1 组成的数字序列,如图 1-1(b)所示。例如,计算机中传送的是典型的数字信号。

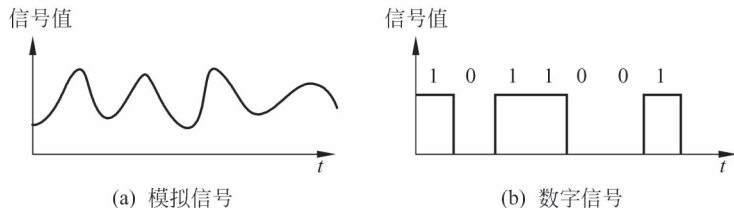
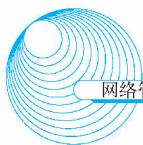


图 1-1 模拟信号和数字信号

传统的电话通信信道是传输音频的模拟信道,无法直接传输计算机中的数字信号。为了利用现有的模拟线路传输数字信号,必须将数字信号转化为模拟信号,这一过程称作调制(Modulation)。在另一端,接受到的模拟信号要还原成数字信号,这个过程称作解调(Demodulation)。通常由于数据的传输是双向的,因此,每端都需要调制和解调,这种设备称作调制解调器(Modem)。

模拟信号的数字化需要 3 个步骤:采样、量化和编码。采样是指用每隔一定时间的信号样值序列来代替原来在时间上连续的信号,也就是在时间上将模拟信号离散化。量化是用有限个幅度值近似原来连续变化的幅度值,把模拟信号的连续幅度变为有限数量的有一定间隔的离散值。编码则是按照一定的规律,把量化后的值用二进制数字表示,然后转换成二值或多值的数



字信号流,这样得到的数字信号可以通过电缆、光纤、微波干线、卫星通道等数字线路传输,在接收端则与上述模拟信号数字化过程相反,经过滤波又恢复成原来的模拟信号,上述数字化的过程又称为脉冲编码调制。

2. 信道

要进行数据终端设备之间的通信当然要有传输电磁波信号的电路,这里所说的电路既包括有线电路,也包括无线电路。信息传输的必经之路称为“信道”。信道有物理信道和逻辑信道之分。物理信道是指用来传送信号或数据的物理通路,网络中两个节点之间的物理通路称为通信链路,物理信道由传输介质及有关设备组成。逻辑信道也是一种通路,但在信号收、发点之间并不存在一条物理上的传输介质,而是在物理信道基础上,由节点内部或节点之间建立的连接来实现的。通常把逻辑信道称为“连接”。

信道和电路不同,信道一般都是用来表示向某一个方向传送数据的媒体,一个信道可以看成是电路的逻辑部件,而一条电路至少包含一条发送信道或一条接收信道。

3. 数据通信模型

图 1-2 所示的是数据通信系统的基本模型。远端的数据终端设备(DTE, Data Terminal Equipment)通过数据电路与计算机系统相连。数据电路由通信信道和数据通信设备(DCE, Data Communication Equipment)组成。如果通信信道是模拟信道,DCE 的作用就是把 DTE 送来的数据信号变换为模拟信号再送往信道,信号到达目的节点后,把信道送来的模拟信号变换成数据信号再送到 DTE;如果通信信道是数字信道,DCE 的作用就是实现信号码型与电平的转换、信道特性的均衡、收发时钟的形成与供给以及线路接续控制等。

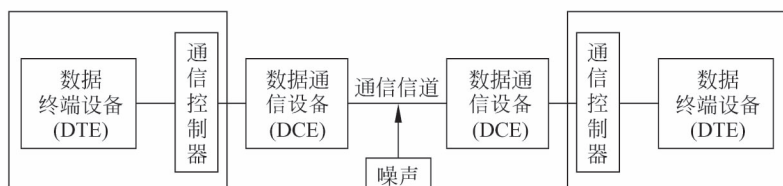


图 1-2 数据通信模型

数据通信和传统的电话通信的重要区别之一是,电话通信必须有人直接参加,摘机拨号,接通线路,双方都确认后才开始通话。在通话过程中有听不清楚的地方还可要求对方再讲一遍。在数据通信中也必须解决类似的问题,才能进行有效的通信。但由于数据通信没有人直接参加,就必须对传输过程按一定的规程进行控制,以便使双方能协调可靠地工作,包括通信线路的连接,收发双方的同步,工作方式的选择,传输差错的检测与校正,数据流的控制,数据交换过程

中可能出现的异常情况的检测和恢复,这些都是按双方事先约定的传输控制规程来完成的,具体工作由图 1-2 中的通信控制器来完成。

4. 数据通信方式

根据所允许的传输方向,数据通信方式可分成以下 3 种。

- (1) 单工通信: 数据只能沿一个固定方向传输,即传输是单向的。如图 1-3(a)所示。
- (2) 半双工通信: 允许数据沿两个方向传输,但在任一时刻信息只能在一个方向传输。如图 1-3(b)所示。
- (3) 双工通信: 允许信息同时沿两个方向传输,这是计算机通信常用的方式,可大大提高传输速率。如图 1-3(c)所示。

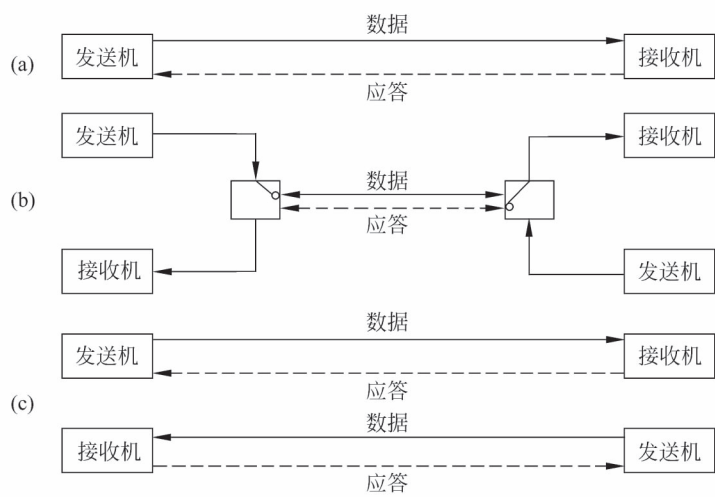


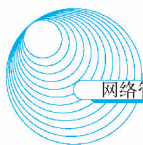
图 1-3 数据通信方式

1.1.2 数据传输

1. 数据传输的方式

1) 并行传输与串行传输

并行传输指的是数据以成组的方式,在多条并行信道上同时进行传输。常用的就是将构成一个字符代码的几位二进制码,分别在几个并行信道上进行传输。例如,采用 8 单位代码的字符,可以用 8 个信道并行传输,一次传送一个字符,因此收、发双方不存在字符的同步问题,不需



要另加“起”、“止”信号或其他同步信号来实现收、发双方的字符同步,这是并行传输的一个主要优点。但是,并行传输必须有并行信道,这往往带来了设备上或实施条件上的限制,因此,实际应用受限。

串行传输指的是数据流以串行方式,在一条信道上传输。一个字符的 8 个二进制代码,由高位到低位顺序排列,再接下一个字符的 8 位二进制码,这样串接起来形成串行数据流传输。串行传输只需要一条传输信道,易于实现,是目前采用的一种主要传输方式。但是串行传输存在一个收、发双方如何保持码组或字符同步的问题,这个问题不解决,接收方就不能从接收到的数据流中正确地分出一个个字符来,因而传输将失去意义。如何解决码组或字符的同步问题,目前有两种不同的解决办法,即异步传输方式和同步传输方式。

2) 异步传输与同步传输

异步传输一般以字符为单位,不论所采用的字符代码长度为多少位,在发送每一字符代码时,前面均加上一个“起”信号,其长度规定为 1 个码元,极性为“0”,即空号的极性;字符代码后面均加上一个“止”信号,其长度为 1 或 2 个码元,极性皆为“1”,即与信号极性相同,加上起、止信号的作用就是为了能区分串行传输的“字符”,也就是实现了串行传输收、发双方码组或字符的同步。这种传输方式的优点是同步实现简单,收发双方的时钟信号不需要严格同步,缺点是对每一字符都需加入“起、止”码元,使传输效率降低,故适用于 1200bps 以下的低速数据传输。

同步传输是以同步的时钟节拍来发送数据信号的,因此在一个串行的数据流中,各信号码元之间的相对位置都是固定的(即同步的)。接收端为了从收到的数据流中正确地分出一个个信号码元,首先必须建立准确的时钟信号。数据的发送一般以组(帧)为单位,是通过传输特定的传输控制字符或同步序列来完成的,传输效率较高。

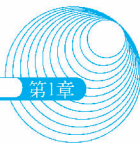
2. 数据传输的形式

1) 基带传输

在信道上直接传输基带信号,称为基带传输,它是指在通信电缆上原封不动地传输由计算机或终端产生的 0 或 1 数字脉冲信号。这样一个信号的基本频带可以从直流成分到数兆赫,频带越宽,传输线路的电容电感等对传输信号波形衰减的影响越大,传输距离一般不超过 2km,超过时则需加中继器放大信号,以便延长传输距离。基带信号绝大部分是数字信号,计算机网络内往往采用基带传输。

2) 频带传输

将基带信号转换为频率表示的模拟信号来传输,称为频带传输。例如,使用电话线进行远距离数据通信,需要将数字信号调制成音频信号再发送和传输,接收端再将音频信号解调成数字信号。由此可见,采用频带传输时,要求在发送和接收端安装调制解调器,这不仅解决了数字信号可用电话线路传输,而且可以实现多路复用,从而提高了信道利用率。



3) 宽带传输

将信道分成多个子信道,分别传送音频、视频和数字信号,称为宽带传输。它是一种传输介质的频带宽度较宽的信息传输,通常在 300~400MHz 左右。系统设计时将此频带分割成几个子频带,采用“多路复用”技术。一般来说,宽带传输与基带传输相比有以下优点:能在一个信道中传输声音、图像和数据信息,使系统具有多种用途;一条宽带信道能划分为多条逻辑基带信道,实现多路复用,因此信道的容量大大增加;宽带传输的距离比基带远,因为基带传输直接传送数字信号,传输的速率愈高,能够传输的距离愈短。

3. 数据传输速率

1) 比特率

比特率指单位时间内所传送的二进制码元的有效位数,以每秒多少比特数计,即 bps。例如一个数字通信系统,它每秒传输 800 个二进制码元,它的比特率是 800 比特/秒(bps)。码元是对于网络中传送的二进制数字中每一位的通称,也常称作“位”或 bit。例如 1010101,共有 7 位或 7bit。

2) 波特率

波特率是脉冲信号经过调制后的传输速率,它是指单位时间(秒)内传输的码元数目,以波特(Baud)为单位,通常用于表示调制器之间传输信号的速率。这里的码元可以是二进制的,也可以是多进制的。波特率 N 和比特率 R 的关系为 $R = N \log_2 M$,当码元为二进制时, M 为 2;码元为四进制时, M 为 4,依此类推。如果波特率为 600Baud,在二进制时,比特率为 600bps,在八进制时为 1800bps。

3) 误码率

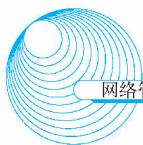
误码率指信息传输的错误率,是衡量系统可靠性的指标。它以接收信息中错误比特数占总传输比特数的比例来度量,通常应低于 10^{-6} 。

1.1.3 数据编码

在计算机中数据是以离散的二进制比特流方式表示的,称其为数字数据。计算机数据在网络中传输,通信信道无外乎两种类型,模拟信道和数字信道。计算机数据在不同的信道中传输要采用不同的编码方式,也就是说,在模拟信道中传输时,要把计算机中的数字信号,转换成模拟信道能够识别的模拟信号;在数字信道中传输时,要把计算机中的数字信号,转换成网络媒体能够识别的,利于网络传输的数字信号。

1. 模拟数据编码

将计算机中的数字数据在网络中用模拟信号表示,要进行调制,也就是要进行波形变换,或



者更严格地讲,是进行频谱变换,将数字信号的频谱变换成适合于在模拟信道中传输的频谱。最基本的调制方法有以下3种:

1) 调幅(AM, Amplitude Modulation)

调幅即载波的振幅随着基带数字信号而变化,例如数字信号1用有载波输出表示,数字信号0用无载波输出表示,如图1-4(a)所示。这种调幅的方法又叫幅移键控(ASK, Amplitude Shift Keying),其特点是信号容易实现,技术简单,但抗干扰能力差。

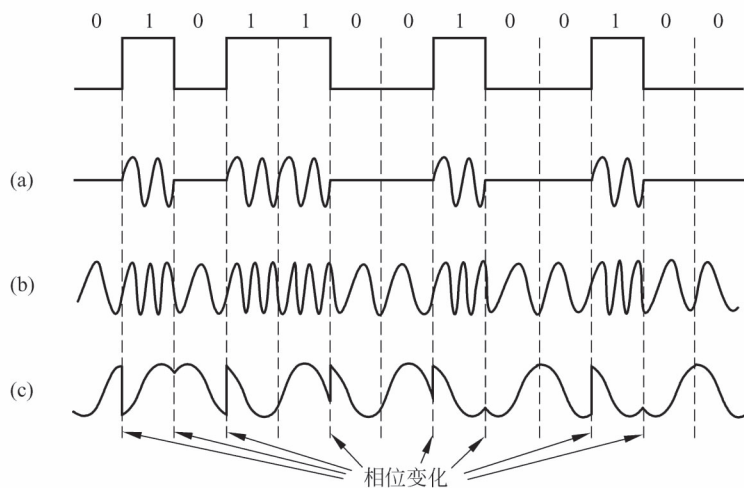


图 1-4 基带数字信号的调制方法

2) 调频(FM, Frequency Modulation)

调频即载波的频率随着基带数字信号而变化,例如数字信号1用频率 f_1 表示,数字信号0用频率 f_2 表示,如图1-4(b)所示。这种调频的方法又叫频移键控(FSK, Frequency Shift Keying),其特点是信号容易实现,技术简单,抗干扰能力较强。

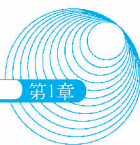
3) 调相(PM, Phase Modulation)

调相即载波的初始相位随着基带数字信号而变化,例如数字信号1对应于相位 180° ,数字信号0对应于相位 0° ,如图1-4(c)所示。这种调相的方法又叫相移键控(PSK, Phase Shift Keying),其特点是抗干扰能力较强,但信号实现的技术比较复杂。

2. 数字数据编码

在数字信道中传输计算机数据时,要对计算机中的数字信号重新编码进行基带传输。在基带传输中,数字信号的编码方式主要有以下几种。

1) 不归零编码 NRZ(Non-Return-Zero)



不归零编码用低电平表示二进制 0, 用高电平表示二进制 1, 如图 1-5(a) 所示。

NRZ 码的缺点是无法判断每一位的开始与结束, 收发双方不能保持同步。为保证收发双方同步, 必须在发送 NRZ 码的同时, 用另一个信道同时传送同步信号。

2) 曼彻斯特编码(Manchester Encoding)

曼彻斯特编码不用电平的高低表示二进制, 而是用电平的跳变来表示的。在曼彻斯特编码中, 每一个比特的中间均有一个跳变, 这个跳变既作为时钟信号, 又作为数据信号。电平从高到低的跳变表示二进制 1, 从低到高的跳变表示二进制 0, 如图 1-5(b) 所示。

3) 差分曼彻斯特编码(Differential Manchester Encoding)

差分曼彻斯特编码是对曼彻斯特编码的改进, 每比特中间的跳变仅做同步之用, 每比特的值根据其开始边界是否发生跳变来决定。每比特的开始无跳变表示二进制 1, 有跳变表示二进制 0, 如图 1-5(c) 所示。

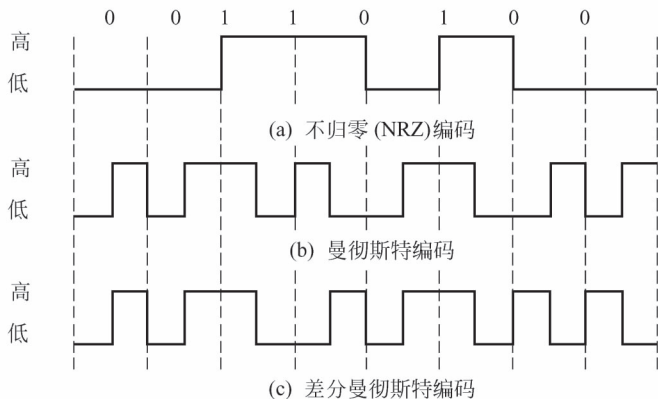
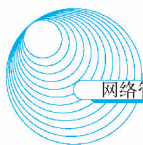


图 1-5 数字信号的编码

曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码是数据通信中最常用的数字信号编码方式, 它们的优点是明显的, 那就是无须另发同步信号。但缺点也是明显的, 那就是编码效率低, 如果传送 10Mbps 的数据, 那么需要 20MHz 的脉冲。

1.1.4 多路复用技术

为了充分利用传输媒体, 人们研究了在一条物理线路上建立多个通信信道的技术, 这就是多路复用技术。多路复用技术的实质是, 将一个区域的多个用户数据通过发送多路复用器进行汇集, 然后将汇集后的数据通过一条物理线路进行传送, 接收多路复用器再对数据进行分离, 分发到多个用户。多路复用通常分为频分多路复用、时分多路复用、波分多路复用、码分多址和空分多址。



1. 频分多路复用(FDM, Frequency Division Multiplexing)

事实上,通信线路的可用带宽超过了给定信号的带宽。频分多路复用恰恰是利用了这一优点。频分多路复用的基本原理是:如果每路信号以不同的载波频率进行调制,而且各个载波频率是完全独立的,即各个信道所占用的频带不相互重叠。相邻信道之间用“警戒频带”隔离,那么每个信道就能独立地传输一路信号。其基本原理如图 1-6 所示。

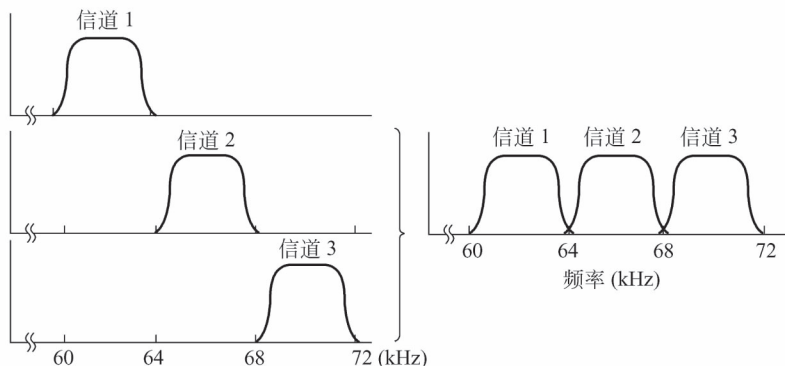


图 1-6 频分多路复用

频分多路复用的主要特点是,信号被划分成若干通道(频道,波段),每个通道互不重叠,独立进行数据传递。频分多路复用在无线电广播和电视领域中应用较多。ADSL 也是一个典型的频分多路复用。ADSL 用频分多路复用的方法,在 PSTN 使用的双绞线上划分出 3 个频段:0~4kHz 用来传送传统的语音信号;20~50kHz 用来传送计算机上载的数据信息;150~500kHz 或 140~1100kHz 用来传送从服务器上下载的数据信息。

2. 时分多路复用(TDM, Time Division Multiplexing)

时分多路复用是以信道传输时间作为分割对象,通过为多个信道分配互不重叠的时间片的方法来实现多路复用。时分多路复用将用于传输的时间划分为若干个时间片,每个用户分得一个时间片。

时分多路复用通信,是各路信号在同一信道上占有不同时间片进行通信。由抽样理论可知,抽样的一个重要作用,是将时间上连续的信号变成时间上离散的信号,其在信道上占用时间的有限性,为多路信号沿同一信道传输提供了条件。具体说,就是把时间分成一些均匀的时间片,将各路信号的传输时间分配在不同的时间片,以达到互相分开,互不干扰的目的。图 1-7 为时分多路复用示意图。

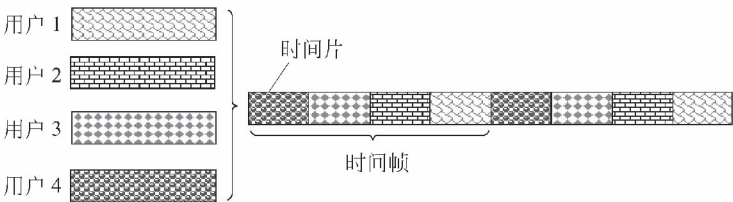


图 1-7 时分多路复用

目前,应用最广泛的时分多路复用是贝尔系统的 T1 载波。T1 载波是将 24 路音频信道复用在一条通信线路上,每路音频信号在送到多路复用器之前,要通过一个脉冲编码调制(PCM, Pulse Code Modulation)编码器,编码器每秒取样 8000 次。24 路信号的每一路,轮流将一个字节插入到帧中,每个字节的长度为 8bit,其中 7bit 是数据位,1bit 用于信道控制。每帧由 $24 \times 8 = 192\text{bit}$ 组成,附加 1bit 作为帧的开始标志位,所以每帧共有 193bit。由于发送一帧需要 125ms,一秒钟可以发送 8000 帧。因此 T1 载波的数据传输速率为:

$$193\text{bit} \times 8000/\text{s} = 1544000\text{bps} = 1544\text{kbps} = 1.544\text{Mbps}$$

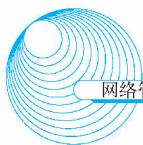
3. 波分多路复用(WDM,Wavelength Division Multiplexing)

什么叫波分复用? 所谓波分复用就是在同一根光纤内传输多路不同波长的光信号,以提高单根光纤的传输能力。因为目前光通信的光源在光通信的“窗口”上只占用了很窄的一部分,还有很大的范围没有利用。也可以这样认为: WDM 是 FDM 应用于光纤信道的一个变例。如果让不同波长的光信号在同一根光纤上传输而互不干扰,利用多个波长适当错开的光源同时在一根光纤上传送各自携带的信息,就可以大大增加所传输的信息容量。由于是用不同的波长传送各自的信息,因此即使在同一根光纤上也不会相互干扰。在接收端转换成电信号时,可以独立地保持每一个不同波长的光源所传送的信息。这种方式就叫做“波分复用”。其基本原理如图 1-8 所示。



图 1-8 波分多路复用

如果将一系列载有信息的不同波长的光载波,在光频域内以一至几百纳米的波长间隔合在



一起沿单根光纤传输,在接收端再用一定的方法,将各个不同波长的光载波分开,在光纤的工作窗口上安排 100 个波长不同的光源,同时在一根光纤上传送各自携带的信息,就能使光纤通信系统的容量提高 100 倍。

4. 码分多址(CDMA, Code Division Multiple Access)

CDMA 又称为码分多址,采用地址码和时间、频率共同区分信道的方式。CDMA 的特征是每个用户具有特定的地址码,而地址码之间相互具有正交性,因此各用户信息的发射信号在频率、时间和空间上都可能重叠,从而使有限的频率资源得到利用。

CDMA 是在扩频技术上发展起来的无线通信技术,即将需要传送的具有一定信号带宽的信息数据,用一个带宽远大于信号带宽的高速伪随机码进行调制,使原数据信号的带宽被扩展,再经载波调制并发送出去。接收端也使用完全相同的伪随机码,对接收的带宽信号作相关处理,把宽带信号换成原信息数据的窄带信号即解扩,以实现信息通信。不同的移动台(或手机)可以使用同一个频率,但是每个移动台(或手机)都被分配带有一个独特的“码序列”,该序列码与所有别的“码序列”都不相同,因为是靠不同的“码序列”来区分不同的移动台(或手机),所以各个用户相互之间也没有干扰,从而达到了多路复用的目的。

5. 空分多址(SDMA, Space Division Multiple Access)

空分多址(SDMA): 这种技术是将空间分割构成不同的信道,从而实现频率的重复使用,达到信道增容的目的。举例来说,在一颗卫星上使用多个天线,各个天线的波束射向地球表面的不同区域,地面上不同地区的地球站,在同一时间,即使使用相同的频率进行工作,它们之间也不会形成干扰。SDMA 系统的处理程序如下:

(1) 系统将首先对来自所有天线中的信号进行快照或取样,然后将其转换成数字形式,并存储在内存中。

(2) 计算机中的 SDMA 处理器将立即分析样本,对无线环境进行评估,确认用户、干扰源及其所在的位置。

(3) 处理器对天线信号的组合方式进行计算,力争最佳地恢复用户的信号。借助这种策略,每位用户的信号接收质量将大大提高,而其他用户的信号或干扰信号则会遭到屏蔽。

(4) 系统将进行模拟计算,使天线阵列可以有选择地向空间发送信号。在此基础上,每位用户的信号都可以通过单独的通信信道——空间信道实现高效的传输。

(5) 在上述处理的基础上,系统就能够在每条空间信道上发送和接收信号,从而使这些信道成为双向信道。

利用上述流程,SDMA 系统就能够在一条普通信道上创建大量的频分、时分或码分双向空间信道,每一条信道都可以完全获得整个阵列的增益和抗干扰功能。从理论上而言,带有 m 个