

网络术语其实很简单

集线器和路由器，换个名字身价翻倍？

探索队员：集线器（repeater hub）和交换机（switching hub）虽然都叫 hub，但内部结构完全不同呢。

探索队长：是啊。

队员：那为什么它们都叫 hub 呢？

队长：查过字典了吗？

队员：没呢。

队长：你先查查 hub 这个词是什么意思吧。

队员：好吧，等一下。嗯，字典上说是车轮的中心部分，啥叫车轮的中心啊？

队长：自行车的车轮你总该见过吧？

队员：太小看我了吧，当然见过了。

队长：自行车的车轮外面一圈是橡胶胎，辐条从车轮边缘一直汇聚到位于中心的轴，这个轴就是 hub。

队员：这又跟集线器、交换机有什么关系啊？

队长：网络中的 hub 就是连着很多网线的设备对不对？

队员：对。

队长：那么 hub 就是一个网线汇聚起来的地方，想想看，网线像不像车轮的辐条一样？

队员：原来如此，把网线汇聚到一起的中心部分，就是 hub 咯？

队长：不错，理解得挺快。总之，hub 指的是网线连接起来的这个形状，所以无论是集线器还是交换机都是一样的。

队员：确实如此。不过，路由器也是汇聚网线的设备，为什么它不叫 hub 呢？

队长：唔，hub 给人感觉是那种简单廉价的设备是吧，怎么看都不是什么功能很强大的东西。

队员：是啊。

队长：如果管路由器叫 hub 的话，感觉一下子就掉价了，所以之所以路由器不叫 hub 是怕掉价。

队员：那为什么交换机还会叫 hub 呢？

队长：这是个例外，要说很多才能解释清楚，算了吧。

队员：呵，真小气！

队长：哦，总之呢，是为了告诉用户这是一种接上网线就能工作的简单设备。

队员：这样啊。

队长：交换机当初的宣传卖点就是比路由器性能高，但却非常简单好用。

队员：原来交换机比路由器的性能高啊？

队长：早期的路由器都是靠软件来控制的，当然是通过硬件控制的交换机速度更快了。

队员：咦，原来是这样啊。我能再问个问题吗？

队长：什么问题？

队员：为什么有些交换机要叫“二层交换机”呢？

队长：唔，这个问题挺复杂的，大概是因为二层交换机和一般交换机工作原理都是一样的。

队员：其实我想问的是，为什么有的叫交换机，有的叫二层交换机呢？



队长：小型廉价的普及型产品一般叫交换机，大型的高性能产品一般叫二层交换机。

队员：为什么还要分得那么麻烦啊？

队长：怎么说呢，还是一个产品形象的问题吧，得让大家觉得那些卖几千几万块的产品跟 hub 是不一样的。

队员：唔，网络真的是好难哦。

小测验答案

1. 为了抑制噪声的影响 (参见【3.1.3】)
2. 集线器 (参见【3.1.4】)
3. 子网掩码 (参见【3.3.2】)
4. 分片 (参见【3.3.7】)
5. 默认路由 (参见【3.3.5】)



第4章

通过接入网进入互联网内部

——探索接入网和网络运营商

热身问答

在开始探索之旅之前，我们准备了一些和本章内容有关的小题目，请大家先试试看。

这些题目是否答得出来并不影响接下来的探索之旅，因此请大家放轻松。



问题

下列说法是正确的 (√) 还是错误的 (×) ?

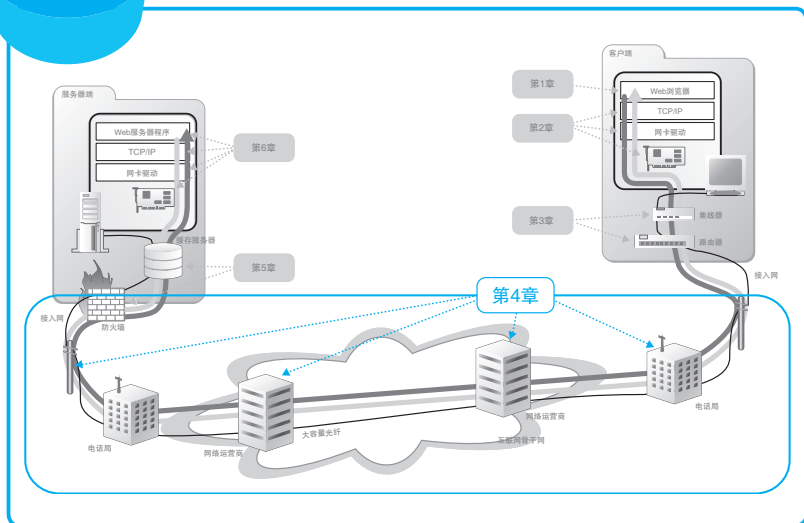
1. 第一个采用包机制的网络就是互联网的前身 ARPANET。
2. ADSL 方式中，从家里到电话局的线路费用包含在电话费中，因此可以降低上网费。
3. 光纤的通信速率之所以更快，是因为光信号的传播速度比电信号要快。

1. ☒。互联网通过技术更新一直在不断进化，大家可能会认为它是一种很新的网络，其实并非如此。互联网实际上是一种具有将近 40 年历史的“最古老的”包网络。
2. ☒。ADSL 的线路费用包含在电话费中，光纤的线路费用包含在上网费中，因此光纤的上网费高，电话费便宜。
3. ☐。电信号和光信号传播的速度大体上相同，之所以电缆不如光纤通信速率高，是因为电信号在提升通信速率的同时，其衰减率也会提高（信号在传播过程中减弱），导致信号无法传到目的地。相对地，光信号本来的衰减率就很低，提高通信速率也并不会提高衰减率。此外，光纤还不受电磁噪声的影响，因此光纤能够进行高速通信。

前情提要

上一章，我们探索了从客户端计算机发送的网络包通过家庭和公司局域网中的集线器和路由器前往目的地的过程。本章，我们来看一看网络包是如何通过互联网接入路由器，最终进入互联网内部的。

探索之旅的看点



(1) ADSL 接入网的结构和工作方式

家庭和公司的内网是通过接入网连接到网络运营商的。接入网有很多类型，这里我们将介绍 ADSL 接入网的知识，重点包括 ADSL 接入网的结构、电话线中传输的信号以及与电话共用的方式。

(2) 光纤接入网 (FTTH)

我们还会介绍另一种常用的接入网技术——与 ADSL 技术的利用率不相上下的光纤技术，重点包括光纤结构、单模和多模的区别之类的光纤性

质，以及光纤用作接入网时的工作方式。

(3) 接入网中使用的 PPP 和隧道

接入网需要通过用户名和密码验证用户的身份，然后由网络运营商向用户分配公有地址。此外，从接入网向网络运营商传输网络包时还使用了隧道技术，这些都是本章的看点。

(4) 网络运营商的内部

接入网后面连接着网络运营商的网络，运营商网络也是以路由器为核心组成的，这一点和家庭、公司网络是一样的，包转发的工作原理也没有区别。不过，运营商网络也使用了一些和家庭、公司网络不同的技术，比如运营商之间可以自动交换路由信息和更新路由表，这些都是本章的看点。

(5) 跨越运营商的网络包

互联网是由多个运营商网络相互连接形成的巨大网络，而多个运营商之间相互连接的部分可以说就是互联网的核心部分，这里也是本章的看点。

4.1 ADSL 接入网的结构和工作方式

4.1.1 互联网的基本结构和家庭、公司网络是相同的

互联网是一个遍布世界的巨大而复杂的系统，但其基本工作方式却出奇地简单。和家庭、公司网络一样，互联网也是通过路由器来转发包的，而且路由器的基本结构和工作方式也并没有什么不同（图 4.1）。因此，我们可以将互联网理解为家庭、公司网络的一个放大版。

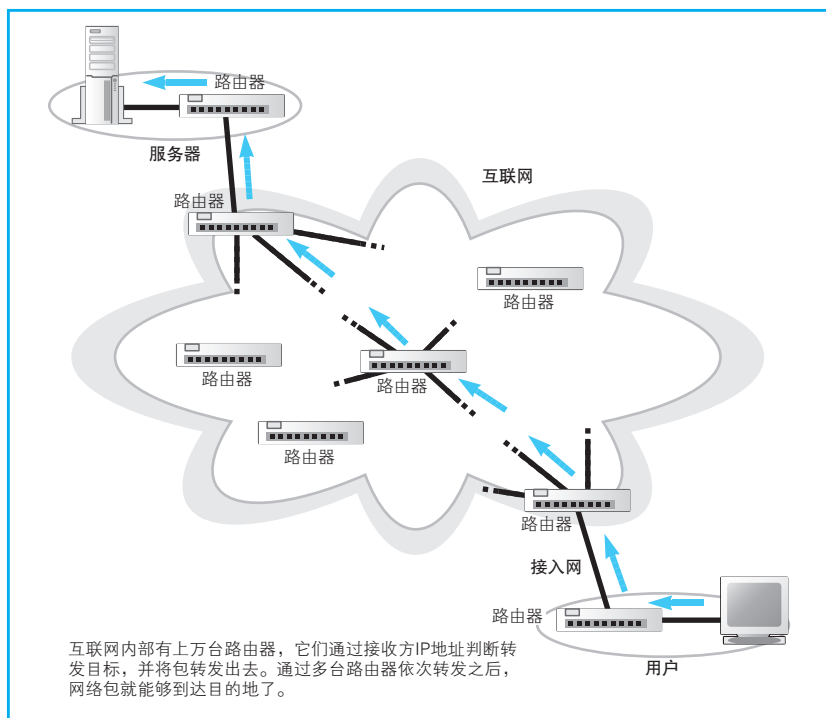


图 4.1 互联网的整体架构

当然，互联网也有一些和家庭、公司网络不同的地方，其中之一就是与转发设备间的距离。在家庭、公司网络中，与转发设备之间的距离不过

几十米到几百米，在这种情况下，只要延长以太网线就可以到达相邻的转发设备了^①。然而，互联网可不能这么搞，因为你家到最近的电话局至少也有几公里的距离，而从日本连接到美国甚至要跨越太平洋，用以太网线是无法实现这种连接的。

除了距离之外，路由器在如何控制包的转发目标上也不一样。尽管从基本原理来看，互联网也是根据路由表中的记录来判断转发目标的，但路由表记录的维护方式不同^②。互联网中的路由器上有超过 10 万条路由记录，而且这些记录还在不断变化，当出现线路故障时，或者新的公司加入互联网时，都会引发路由的变化。人工维护这些路由信息是不现实的，必须实现自动化。公司的路由器也有自动维护路由表的机制，但出于各种原因，互联网中采用的机制和公司有所区别。

距离的不同和路由的维护方式，就是互联网与家庭、公司网络之间最主要的两个不同点。

4.1.2 连接用户与互联网的接入网

上一章已经讲过，网络包通过交换机和路由器的转发一步一步地接近它的目的地，在通过互联网接入路由器之后，就进入了互联网^③。本章的探索之旅就从这里开始。

刚才讲过，路由器的转发操作都是相同的，因此互联网接入路由器的包转发操作也和第 3 章讲过的以太网路由器几乎是一样的。简单来说，就是根据包 IP 头部中的接收方 IP 地址在路由表的目标地址中进行匹配，找到相应的路由记录后将包转发到这条路由的目标网关。不过，互联网接入路由器发送网络包的操作和以太网路由器有一点不同，互联网接入路由器是按照接入网规则来发送包的。

① 双绞线的极限距离是 100 米，但光纤的连接距离可以长达几公里。

② 关于路由表，第 3 章有详细的介绍。

③ 如果网络包的目标服务器位于家庭、公司网络中的话，那么就不需要通过互联网接入路由器，而是直接转发给目标服务器，也不会进入互联网。

所谓接入网，就是指连接互联网与家庭、公司网络的通信线路^①。一般家用的接入网方式包括 ADSL^②、FTTH^③、CATV、电话线、ISDN 等，公司则还可能使用专线。接入网的线路有很多种类，我们无法探索所有这些线路，因此下面先介绍一个比较有代表性的例子——ADSL。

4.1.3 ADSL Modem 将包拆分成信元

ADSL 技术使用的接入线路，其内部结构如图 4.2 所示，在这张图中网络包是从右往左传输的。用户端路由器^④发出的网络包通过 ADSL Modem^⑤和电话线到达电话局，然后到达 ADSL 的网络运营商（即 ISP，互联网服务提供商）。在网络包从用户传输到运营商的过程中，会变换几种不同的形态，整个过程如图 4.3 所示，让我们一边看图一边继续我们的探索之旅吧。

首先，客户端生成的网络包（图 4.3 的①和②）先经过集线器和交换机到达互联网接入路由器（图 4.3 ③），并在此从以太网包中取出 IP 包并判断转发目标（图 4.3 ④），上面这一部分刚才已经讲过，和第 3 章介绍的以太网路由器的工作方式是一样的。接下来，包发送的操作也很类似。如果互

- ① 接入网这个词表示的是通信线路的用法，而并不表示通信线路的结构。例如公司里使用的专线，当它用来连接互联网时就叫作接入网，而用来连接总公司和分公司时就不叫接入网。此外，接入网这个词也不仅限于互联网，当使用运营商提供的通信服务时，一般都会将用户与运营商之间的线路叫作接入网。
- ② ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line，不对称数字用户线。它是一种利用架设在电线杆上的金属电话线来进行高速通信的技术，它的上行方向（用户到互联网）和下行方向（互联网到用户）的通信速率是不对称的。
- ③ FTTH: Fiber To The Home，光纤到户。指的是将光纤接入家庭的意思。
- ④ 有些情况下会使用集成了互联网接入路由器和 ADSL Modem 的多功能 ADSL Modem（也叫路由型 ADSL Modem），其实就是把路由器和 ADSL Modem 装到一个外壳里而已。
- ⑤ 中文全称为“调制解调器”，因为这个名字比较长，所以正文中统一使用 Modem。——译者注

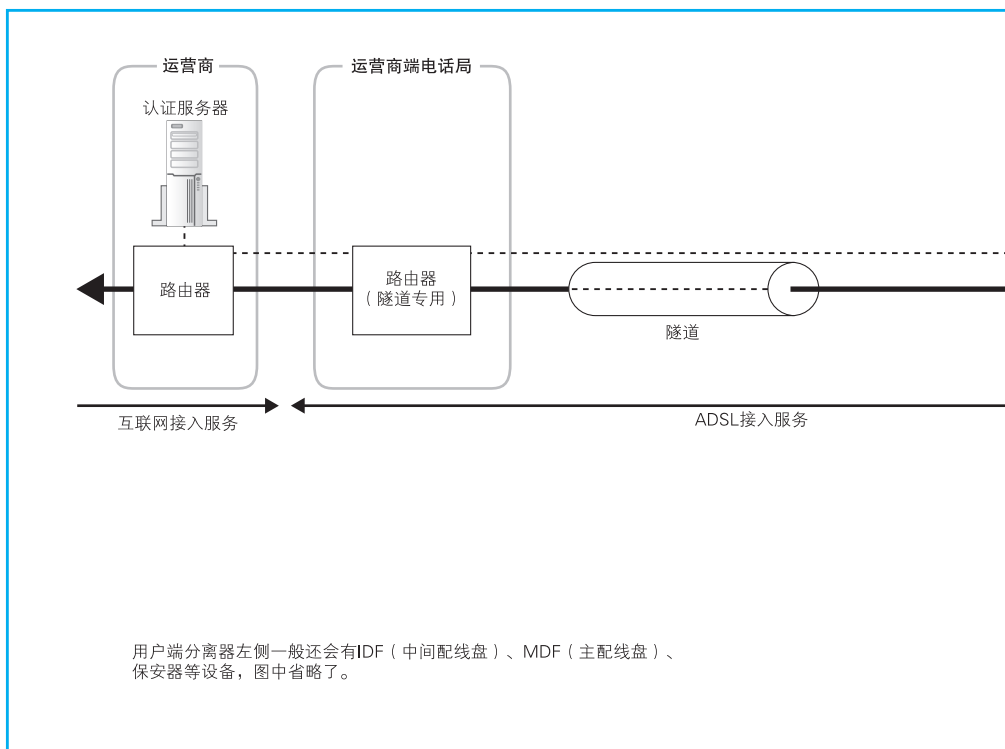
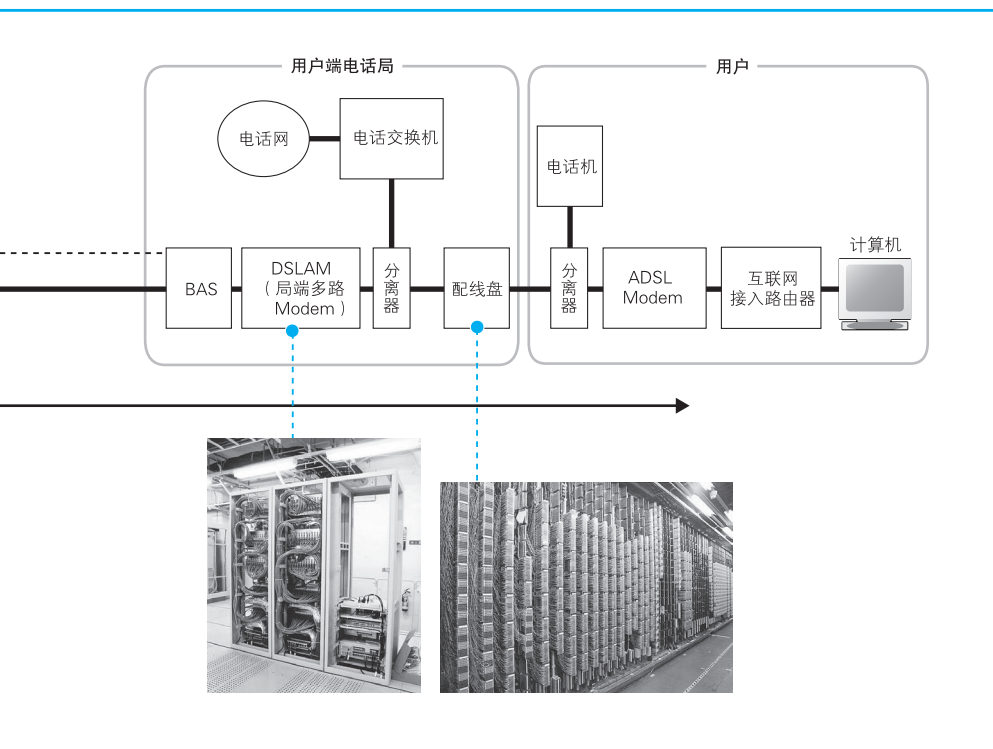


图 4.2 ADSL 接入网的结构 (PPPoE 方式)

联网接入路由器和 ADSL Modem 之间是通过以太网连接的，那么就会按照以太网的规则执行包发送的操作，发送信号本身的过程跟之前是一样的，但以太网的头部会有一些差异。这部分的具体情况各运营商会有所不同，而且还需要一些关于 BAS^①（位于接入网另一端的包转发设备）的知识，因此相关的细节我们在探索 BAS 的时候再具体讲解。这里大家先记住，网络包会加上 MAC 头部、PPPoE 头部、PPP^② 头部总共 3 种头部（图 4.3 ⑤），

① BAS: Broadband Access Server, 宽带接入服务器。它也是一种路由器。

② PPP: Point-to-Point Protocol, 点到点协议。它是电话线、ISDN 等通信线路所使用的一种协议，集成了用户认证、配置下发、数据压缩、加密等各种功能。



然后按照以太网规则转换成电信号后被发送出去^①。



互联网接入路由器会在网络包前面加上 MAC 头部、PPPoE 头部、PPP 头部总共 3 种头部，然后发送给 ADSL Modem (PPPoE 方式下)。

互联网接入路由器将包发送出去之后，包就到达了 ADSL Modem (图 4.3 ⑥)，然后，ADSL Modem 会把包拆分成很多小格子 (图 4.3 ⑦)，

^① 这是后面将会讲到的 PPPoE 方式所规定的。

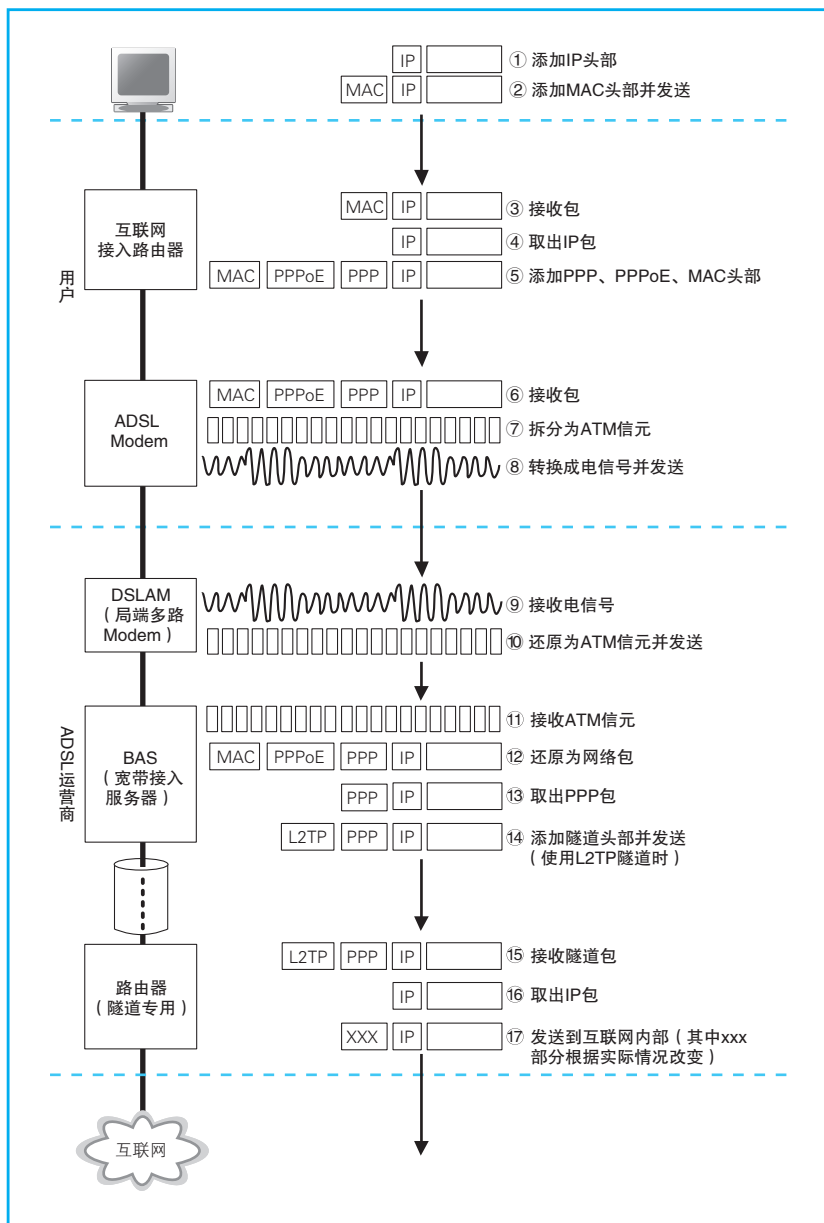


图 4.3 不断改变形态的网络包

每一个小格子称为一个信元。信元是一个非常小的数据块，开头是有 5 个字节的头部，后面是 48 个字节的数据，用于一种叫作 ATM^① 的通信技术。大家可以将信元理解为一种更小一号的包，原理上跟 TCP/IP 将应用程序的数据拆分成块装进一个个包的过程是一样的^②。

说点题外话，其实之所以要将包拆分成信元，原因是这样的。当初开发 ADSL 技术时，通信业比较看好 ATM 技术，各运营商也在 ATM 相关的设备上投入了很多资金。在这样的情况下，如果使用信元来传输数据，就比较容易和其他设备进行整合，可以降低开发投入和设备投入。如果不是出于这样的原因，其实并不需要将包拆分成信元，实际上也有一些 ADSL 运营商使用的 ADSL Modem 是不进行数据拆分的。



ADSL Modem 将包拆分成信元，并转换成电信号发送给分离器。



4.1.4 ADSL 将信元“调制”成信号

将网络包拆分成信元之后，接下来就要将这些信元转换成信号了（图 4.3 ⑧）。我们在第 2 章的图 2.27 中介绍过，以太网采用的是用方波信号表示 0 和 1 的方式，这种方式很简单，但同样是将数字信息转换成模拟信号，ADSL 采用的方法要复杂一些。其中有两个原因，一个原因是方波信号的波形容易失真，随着距离的延长错误率也会提高；另一个原因是方波信号覆盖了从低频到高频的宽广频段，信号频率越高，辐射出来的电磁噪声就越强，因此信号频谱太宽就难以控制噪声。

因此，ADSL Modem 采用了一种用圆滑波形（正弦波）对信号进行合成来表示 0 和 1 的技术，这种技术称为调制。调制有很多方式，ADSL 采

① ATM: Asynchronous Transfer Mode，异步传输。它是在以电话线为载体的传统电话技术基础上扩展出来的一种通信方式。它的数据传输是以“信元”为单位来进行的，这和以包为单位传输数据的 TCP/IP 很像，但这种方式并不适用于计算机通信。

② TCP 协议拆分数据的过程请参见第 2 章关于协议栈的介绍。

用的调制方式是振幅调制 (ASK) 和相位调制 (PSK) 相结合的正交振幅调制 (QAM)^① 方式。下面先来看一下它的两个组成要素。

振幅调制是用信号的强弱, 也就是信号振幅的大小来对应 0 和 1 的方式。如图 4.4 (b), 振幅小的信号为 0, 振幅大的信号为 1, 这是一种最简单的对应关系。在这个例子中, 振幅大小只有两个级别, 如果增加振幅变化的级别, 就可以对应更多的比特。例如, 如果将振幅增加到 4 个级别, 则振幅从小到大可分别对应 00、01、10 和 11, 这样就可以表示两个比特了。这样做可以将单位时间内传输的数据量加倍, 也就能够提高速率。以此类推, 如果振幅有 8 个级别, 就可以表示 3 个比特, 16 个级别就可以表示 4 个比特, 速率也就越来越高。不过, 信号会在传输过程中发生衰减, 也会受到噪声影响而失真, 如果振幅级别太多, 接收方对信号的识别就容易出错, 因此振幅级别也不能太多。

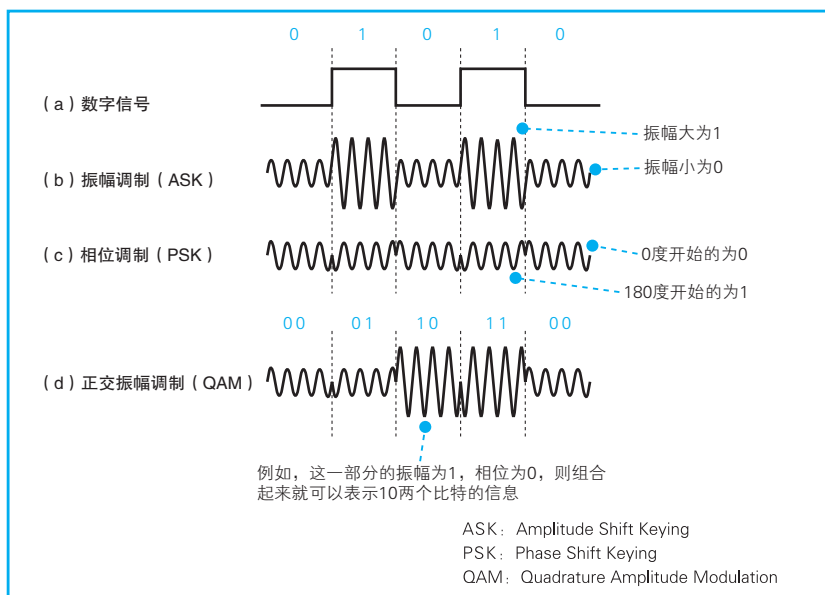


图 4.4 信号的调制

① 也被称为正交调幅。