

Mc  
Graw  
Hill Education

# ADSL / DSL

ADSL & DSL  
Technologies

## 技术与工程实践

Second Edition

[美] Walter J. Goralski 著  
姚永成 译



(第2版)



清华大学出版社

# ADSL/DSL 技术与工程实践

(第2版)

ADSL & DSL Technologies, Second Edition

[美] Walter J. Goralski 著  
姚永成 译

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

有网络快车和网络高速公路之称的 ADSL/DSL 技术是提供高速度、高质量数据传输的首选技术。拥有 AT&T 公司 14 年工作经验的数据通信专家通过本书引领读者全面深入地探讨 ADSL/DSL 技术。

全书从最简单的模拟和数字信号开始,讲述传统语音网络(PSTN),网络内部的分组交换和电路交换技术及各种语音网络接入方案,还全面介绍了 DSL 家族成员,详细分析其内部工作的机理、网络架构、接口,并深入到最底层——物理帧结构,真正彻底地剖析了 DSL 家族如何实现高速率网络接入。书中穿插了一些应用实例,探讨与深化了对设备的兼容性、成本、安全技术的理解。

本书内容全面详实,适合于从事宽带网络建设的工程技术人员阅读,也适合网络开发人员、技术顾问、设备销售商、服务提供商和相关专业高校学生参考。

EISBN 0-07-213204-3

ADSL & DSL Technologies, Second Edition

Walter J. Goralski

Copyright © 2002 by McGraw-Hill Companies.

Original English language edition published by McGraw-Hill Companies.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国麦格劳-希尔教育出版集团授权清华大学出版社在中国境内出版、发行。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号 图字:01-2003-1109

版权所有,盗版必究

### 图书在版编目(CIP)数据

ADSL/DSL 技术与工程实践:第2版/(美)戈拉斯盖著;

姚永成译. —北京:清华大学出版社,2003.6

书名原文:ADSL & DSL Technologies, Second Edition

ISBN 7-302-06845-3

I. A... II. ①戈...②姚... III. 宽带通信系统—接入网, ADSL IV. TN915.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第050997号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编100084)

<http://www.tup.com.cn>

印刷者:北京市耀华印刷有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开本: 16 印张: 24.75 字数: 525 千字

版次: 2003年7月第1版 2003年7月第1次印刷

印数: 0001—4000

书号: ISBN 7-302-06845-3/TP·5077

定价: 45.00 元

# 引 言

## 第2版简介

当本书的第1版在1997~1998年期间完成的时候，人们并没有认识到非对称数字用户线路（ADSL）和相关的数字用户线（DSL）技术的重要性。很多电信业同行和专家，当我同他们交谈的时候，都建议我写电缆调制解调器或无线解决方案，或其他任何比DSL更有前途的技术。他们向我保证，ADSL和其他的DSL，最多是苟延残喘的传统语音电话公司的临时性措施。

我必须承认他们的话很有道理。电缆调制解调器非常热门而且正同宽带住宅接入市场进行最后的决战，新兴的无线技术令人振奋。我可以写出6种稳定的电缆调制解调器，却写不出几种ADSL调制解调器，且其中大部分还只是作为附加产品来提供服务，这是因为DSL工业必须尽快想出对策来同大受欢迎的电缆调制解调器相抗衡。

最后，我承认他们的论点对我的看法多少有些影响，我将尽量做正面答复。我写ADSL的原因在于，正如我在第1版前言的结尾所提到的：“尽管很多技术可以在语音网络现代化方面起作用，在本书只写ADSL是因为它在标准化、销售、经济 and 用户兴趣方面超过了其他技术。问题是ADSL是否能够保持住这种优势。我们将提到其他的技术，但是只充分研究ADSL。”

差不多四年以后，我坐下来准备写这部著作的第2版，当我看到这段话的时候，我认识到我其实并不像自己想象的那样不善言辞。当年我突出强调的四点至今依然是亮点。ADSL和其变种的标准遍布全球；今天大量供应商活跃在市场上可以满足大多数用户的需求；而且用户肯定对ADSL及其变种的铜质电话线的高速率非常感兴趣。只有经济问题依然困扰着ADSL（这将在本书中进行详细的讨论）。

尤其是，涉及ADSL的复杂经济因素的一个后果是宽带铜线接入工业无法经得起市场竞争的考验。就目前而言，即使在城市地区，考虑到价格因素似乎只有电话服务提供商在ADSL和DSL市场才有获利的可能。很多有竞争力的本地交换公司（CLEC）和特殊的因特网接入服务商已从DSL市场退出，把用户晾在一边。

第2版拓展了宽带接入技术的种类，并且完全更新了DSL的相关内容。电缆调制解调器依然是DSL最尊敬的竞争对手。但是正如第1版的前言总结的：“不管未来5~10年的结果如何，阅读本书肯定会是一次有趣的旅程。”这恰恰是过去的四年当中发生的事情，而且宽带接入的确已经开始了。

## 第1版简介

我写本书的第1版是为了在促进公共电话网改变的过程中尽一点微薄之力。尽管它经常是明码标价，但改变毕竟是好的，如果想要发展，所有的网络都必须改变，没有改变的网络将会萎缩并苦苦挣扎。网络所包含的是不是电话网络并不重要。所有的网络必须随着用户需要的改变，随着网络基础技术的改变，以及随着与现存网络相反的整体经济、社会和政治背景缓慢地改变它，而不断进化。

让我们来看看美国的高速公路网络。从作为简单的传送信件的“邮路”和舞台四轮大马车开始，公路网络通过增加人行横道和交通信号来调整自己适应汽车。二次世界大战后的繁荣鼓励在很多场合下使用汽车，从运输到周日在乡村开车娱乐，这个系统再次转变。具有有限量的接入和防护栏的州际高速公路，更好地反映了新的环境。

电话网络术语与公路系统会谈非常相似，这并不是毫无意义的。两个系统都有接入链接和旁路。它们都有通行税和相互交换。更切入正题的一点是，它们都有流量和拥塞。关于信息高速公路的会谈开始于关于“州际间数据高速公路系统”的讨论。我们将看到，电话网络和高速公路网络不仅仅在术语上相似。

本书强调了一种方式，这种方式可以用来把美国和全世界的语音网络转化成20世纪90年代的更好地适应“汽车”的网络。如果电话是语音网络的舞台四轮马车，那么连接到因特网的现代个人计算机就是它的豪华轿车。也许用ADSL技术的本地接入线路比简单的老式电话服务（POTS）接入线路更适合用户，但POTS已经持续了一百年或更久，这就是现状。

尽管很多技术可以在把语音网络现代化方面起到作用，在本书中ADSL被单独列出，因为它在标准化、买卖活动、经济 and 用户兴趣方面超过了其他技术。问题是ADSL能否保持住这种优势。我们将提到其他的技术，但是只充分研究ADSL。不管未来5~10年的结果如何，它肯定会是一次有趣的旅程。

# 前 言

任何技术之所以成功，在于它解决了实际问题。这些问题可以很简单，例如使交通更加方便和快捷的飞机和汽车，也可以很复杂，例如通过可控原子核分裂的核能来找到一种新能源。本书是讲述ADSL技术的，随着人们通过网络来逐步改变通信、工作和娱乐的方式，ADSL技术所尝试解决的问题就越来越重要。这个问题很容易通过几个例子来解释清楚。

太平洋贝尔公司（现在是SBC的一部分）是为美国西海岸许多地区提供服务的主要本地电话公司。像大多数电话公司一样，太平洋贝尔公司过去经营得相当不错。效益颇高，网络使用量稳定，主要从事常规业务，包括提供人们打电话订比萨饼、求医、同朋友聊天等时间大多在3~6分钟的服务。然而，在过去的几年当中，尤其是1993~1994年期间，因特网和万维网（现在称为“Web”）得到了迅猛的发展，太平洋贝尔公司以及其他一些本地电话公司的情况越来越引人关注。本地竞争更加激烈，新业务不断增值，用户越来越清醒地意识到现存的太平洋贝尔公司网络的不足。但是最大的变化与本地电话公司和因特网相关。与它对其他领域的影响一样，因特网彻底改变了语音网络的游戏规则。

因特网其实根本就不是一个网络，它只不过是全球网络的集合，是“网中之网”。这个互联网络已经发展了30多年，可是在这30多年中，大多数时间都只是作为研究和教育工具，因而不被公众所了解。在20世纪90年代初，随着万维网的出现，这种情况已经彻底地改变了。万维网从技术的角度讲，是因特网的一个子集，这就意味着万维网并不能包含因特网的所有内容。万维网收集了因特网上的许多计算机（Web网站或者Web服务器），它们向任何可以接入因特网的用户提供信息。接入因特网并不一定包括接入Web。要从因特网的Web网站上得到信息，用户必须在家庭计算机（或类似的任何计算机系统）上安装一种称为Web浏览器或者Web客户端的特殊软件包。本地电话公司的线路总是用来接入因特网的，对于家庭用户更是如此。尽管那时很少有人注意到这一点，电话线路的使用已经改变了电话公司服务的游戏规则。

如果有人对本地电话公司服务的游戏规则是否向着好的方向发展有所怀疑，那么这种疑虑在1997年1月6日就已经消除了。尽管技术专家和其他人对此几乎无能为力，太平洋贝尔公司总算不负众望，意识到这一点。由于是多年前设计方案和工程选择的问题，人们对此几乎无计可施。

令人诧异的是，问题的根本起因是圣诞节。不仅信奉基督教的家庭，而且非基督教家庭在每年的这个时候相互交换礼物。许多人，尤其是一些初、高中的学生，在圣诞树下发现他们的圣诞礼物是一台计算机。到1996年，人们发现并不只是大学生利用计算机来写作业和进行研究。不管是好事还是坏事，在1993~1994年期间，随着因特网和万维网的用户数量激增，教育方式已经完全地改变了。人们不仅仅用文字处理软件来写报告，而且将计算机越来越多地用于讨论话题、研究资料、查阅文献。实际上，在很多情况下，作业就是利用网络来布置的。而因特网和万维网使这一切成为可能。

因此，在1996年的圣诞节，在全美国和加利福尼亚州，有成千上万的学生购买了有内置调制解调器和连接软件的全新计算机。对计算机销售商和诸如微软这类公司是一个好消息，他们预见到并决心推动网络热潮，因而他们把因特网或Web链接工具捆绑到他们的产品中。而太平洋贝尔公司的领导层可就不那么高兴了，甚至陷于焦虑之中。

他们焦虑的原因在于，太平洋贝尔公司和所有其他1300家本地电话公司的网络并不是为计算机、或因特网、或Web而设计的。为什么会这样呢？把亚历山大·贝尔在1876年发明的电话连接起来的电话网络是不可能预见到后来计算机、调制解调器、因特网等发明的。这个电话网络的设计、规划和建设只为了一个目的：两个人在相对较短的一段时期内通过电话来交谈。这一电话网络通常被称为公共电话交换网（PSTN），尤其在通信领域内部更是如此。

PSTN与因特网是不同的。不错，因特网对于计算机的连接作用与PSTN在语音世界的作用本质上非常相似，但它们有很大的不同。例如，任何能够产生合适电信号的设备都可以通过PSTN连接到远端的兼容设备。连接到PSTN的用户设备并不一定是电话，也可以是传真机或者计算机。任何能够制造噪音的东西都可以通过PSTN来进行通信。实际上，这也正是调制解调器的用处。安装在计算机上的调制解调器就是使计算机与其他远程设备在PSTN上通信。调制解调器把计算机与其他计算机都能理解的数字信号转换成噪声。这种噪声不是人类语言，而是纯噪声。如果你拨错过传真机的号码，你就会知道，这种设备的声音与人类语言的区别是很大的。

PSTN与因特网有很多不同。其中一点不同是：PSTN的主要设备叫做交换机，而因特网的主要设备称为路由器。本书的第2章将会对PSTN和因特网的构成进行系统的分析，并尝试着列出交换机和路由器的不同之处。需要指出的一点是，整个交换机/路由器的讨论是在不断变化的。不过，从这些不同中，我们可以或多或少地得到一些确定的结论。

PSTN可以用来把一台家用或者商用的电脑连接到因特网上。它所要做的就是把电脑（通过调制解调器）连接到电话线上（称为PSTN接入线），拨打任何一个因特网服务提供

商（ISP，这种ISP在全美有上千家）的电话，然后再经过付费选择，用户就可以连入因特网，在万维网的世界中尽情地遨游。还有其他很多连入因特网的方式，但很难发现哪种方式中没有出现PSTN。当然，PSTN可能会以不同的形式出现。这个事实对本地电话公司来说，既是一个好消息，也是一个坏消息。大受欢迎当然是好事，可是很多问题用老办法是无法解决的。

因而太平洋贝尔公司的员工们对于1996年的圣诞节是很担忧的。他们担心的是，一旦所有这些新计算机连入因特网，并浏览Web，后果将不堪设想。他们有足够的理由担心，因为在全球的Web站点中，有相当比例的站点是在加州，不过，值得庆幸的是，圣诞节那天没出什么大事。

Web站点的服务器并不是大问题。Web服务器几乎都是通过专用的宽带线路连入因特网。因特网骨干网本身也是由类似的宽带线路构成的。问题是用户的计算机与Web站点之间的稀少资源，正是电话拨号线路或者本地环路用来把家庭用户与ISP相连的重要部分。因为这些拨号连接主要是为间歇性的语音电话呼叫而设计的，连入因特网的大数据量呼叫可以在很短的时间内消耗掉本来就很少的电话网络资源。

为了理解电话公司担心的原因，我们假设人们过节时送一部新电话作为礼物。如果每个人都立即摘机，试拨电话，就会发生混乱。原因在于，PSTN是为间歇的、独立的电话线路使用而设计的。根本就没有必要为所有人同时打电话而建立一个网络，这是因为：首先，历史表明，人们打电话或多或少是一种随机事件；其次，这也是语音网络工程准则的基本假设。

显而易见，圣诞节那天，人们有其他足够多的东西来玩，以至分散了注意力，因而PSTN——语音网络——几乎所有的模拟调制解调器通过因特网呼叫的链路得以幸存。1997年1月6日，情况发生了变化。学生们返回了学校，一切似乎都很正常，但是大约在下午三点钟，这些新计算机用户们带着他们的新家庭作业回到了家。他们当中的很多人同时打开了电脑，连入因特网，点击了他们的鼠标。

圣弗朗西斯科东海湾地区的PSTN集中交换中心局立刻进行业务管制。业务管制并不是使整个交换机失效，当然，交换机本身只不过是一台大型计算机。但是，在业务管制中，服务量削减，通话过程很难进行下去，新的通话进程也很难建立。因为商用和家用服务都是通过相同的中心局进行的，因而两种客户都受到了影响。在整个Contra Costa县，用户听不到拨号音，他们拿起话筒，只能听到一片静寂。当用户拨打号码时，会听到频率很高的忙音（术语称为重组），提示说明PSTN中继线负载过重。在忙乱中，很多太平洋贝尔公司的用户只好用手机来打电话，报告业务拒绝和业务中断。



麻烦持续了整个晚上，太平洋贝尔公司认识到另一条网络真理：在任何网络中，拥塞一旦发生，是很难减轻的。预防拥塞比试图解决拥塞要好得多。幸运的是，事情总算过去了，网络或多或少地恢复了正常，直到问题再次出现。

肯定会有下一次的。据估计，加州有10%的中心局定期拥塞，而且由于加州从时尚到网络都领导潮流，全美也很快会处于这种情况之下。

太平洋贝尔公司的问题并不是独一无二的。随着因特网越来越普及，随着Web越来越成为人们生活中不可或缺的一部分，随着更多的人在工作周中花更多的时间在家里工作，所有的贝尔地区公司（RBOCs：原来巨大的AT&T本地网络的一部分，随着AT&T的分裂，发展自己的道路，可奇怪的是，现在在形式上又趋向于重组）都要花一段时间来处理类似加州的问题。例如，在加州大拥塞发生以前，类似的拥塞也在东海岸发生过。

1996年美国东北部的人们度过了一个严冬。在1月和2月，暴风雪几乎每周一次，积雪厚度达到六英寸，甚至更严重的情况也时有发生。在华盛顿特区，一场突如其来的暴风雪几乎使政府机关雇员和工人没有办法去公司办公。没问题：现在可是20世纪90年代。不能去公司办公的人们可以利用笔记本电脑，拨号接入公司的网络。当然，如今很多公司的网络也已经接入了因特网，有时，这种应用被称为内部网，尽管这个术语的含义远不止如此。

正如人们所能预见的，在加州发生的问题再次出现了，这次是发生在贝尔大西洋地区。所有的服务地区都受到了风暴的影响，贝尔大西洋的交换机发生了负载过重和业务管制问题。911紧急电话受阻，拨号音延迟，正常服务被拒绝。这次影响没有加州那次发生的严重，但这次事件给网络规划和设计者敲响了警钟。

即使是一个根本就不了解网络、因特网、或者PSTN的人，也很容易理解随着网络使用量的增加，网络用量的变化，问题是肯定会出现的。人们熟悉很多利用稀少资源的系统。系统的好处不能同时分配给所有的人。这种好处无论是电、水或电话呼叫都没有区别。在炎热的7月，当闹市区的工人们在同一天拥到饭馆里吃饭时，厨房的空调和电力的负载会使整个城市的灯光暗下来。在超级橄榄球比赛的中场休息时间，无数坐在电视机前观看比赛的观众同时起身去冲一个淋浴，这样一来，自来水水压急剧下降，本地消防局只能祈祷上帝现在不要发生火灾。

然而，水和电力与新的PSTN负载在某一方面有很大的不同，区别在于时间。发电厂知道7月份天气炎热。超级橄榄球造成的自来水低水压也不会令消防员感到惊奇。但是网络工程师永远也不可能知道下一次的用户高峰是在什么时候，因而在短期内对它做出规划是不可能的。麻烦是由一些分散的事件造成的，这些事件就像关于克林顿总统的斯塔姆报告，

或是维克丽亚的在线个人时装展览。

设计出缓解PSTN拥塞问题的长期方案还是有可能的。毕竟，任何系统都是为最大容量的工作而设计的，不论主要行为是空气处理，洪水泛滥，还是因特网接入。奇怪的是，PSTN就是为出现最大流通量的少数几天而设计的。传统上，电话用量高峰发生在母亲节、感恩节的后一天和新年。在其余的时间，大部分网络或多或少处于闲置状态。流量方式的可预见性完全被因特网和Web毁了。定时失灵了。

令人惊奇的另一点是，在某种程度上，增长的流量是不是由通话引起的并不重要。在加州，人们同时连到因特网，可是如果每个人不过是拿起电话，给奶奶打个电话，谢谢她送的新计算机（就像曾发生的），又会怎么样呢？在某些方面，影响是一样的，但在其他方面又会不一样。

相同的服务拒绝会发生。有人曾说过，“乡村歌星Garth Brooks自己毁坏的中心局交换机数量比其他事物加在一起的数量还要多”。如果从上午9点开始卖票，成千的人必定会在9点打电话。现在问题的关键是交谈只听到噪声，在PSTN上传送的传真机和电脑等设备的信号也是噪声。但是从电脑来的数字噪声信号与人们交谈时产生的信号有很大的不同。事实上，这种不同正是本书讨论的重点之一。

本章的这些例子已有了多年的历史，因而是可靠的。由于在美国和全世界有成千上万的人已经转到高速（宽带）因特网和Web接入，PSTN的压力在某种程度上得到了缓解。然而，因为仍有更多的人没有接入因特网和Web（并且十分需要它），人们仍不敢掉以轻心。

因为这一基本点对于整本书来说非常重要，我们将花一些时间来探索电脑噪声和人类噪声的不同之处。即使那些熟悉通信的人们也将从本章获益，有时正是这种熟悉导致一些关键性的混淆。

## 模拟和数字

今天的远程通信与模拟通信和数字通信并没有什么深奥的、本质的不同。当两个人交谈的时候，他们的声音是模拟信号，传送着模拟信息。当用户坐在电脑前，通过调制解调器把电脑和ISP相连时，连接是用模拟信号来传送数字信息。我们考虑到这些交谈有两个方面：信息内容和信号本身（一种更清晰的说法是线码）。传递的是信息本身，传递的方式是信号，或是线码。它们中的一种或者两种都可以是模拟的或是数字的。另一种说法，在网络上传递的信息内容可以是模拟的或数字的，在网上的信号本身也可以是模拟的或数字

的。

在详细讨论信息内容和信号以前，先谈谈模拟和数字二者的区别。即使在通信工业中，那些本应该知道更多的人仍然为模拟和数字这两个术语的正确使用而争论不休。例如，通过连接到PSTN的调制解调器传输0和1，是“模拟传输”，可是连接到卫星信道的另一种调制解调器（不管怎么说还是一个调制解调器）传输相同的0和1字符，就被认为是“数字电视”（通常来说，“数字电视”只是“数字化电视”的一个缩略语）。

为了在本书其余的部分中运用一致的数字和模拟术语，请注意信息内容本身。不管信息在网络上是如何传递的，我们只考虑信息的发送和接收。这种信息本身可能是模拟形式，也可能是数字形式。

如果信息是模拟的，那么它可能取最大值和最小值之间的任何一个数值。没有什么受限的数值，在最大值和最小值之间的任何一个数值都可以。如果信息的数值随时间画点，那么我们可以得到一条没有跳变点的连续的曲线。模拟信息的例子包括温度、压力、重量和其他几乎所有的物理量。空气温度不可能从50摄氏度不经过任何中间温度直接跳到70摄氏度。当一个人从190磅升到200磅的时候情况也是如此，当然了，有时候体重看起来好像是会剧升的，例如在节假日。问题是人类的声音是模拟信号；人类的语言可以用一些参数，例如幅度（信号强度）和频率来描述，它们都是在最小值和最大值之间变化的模拟量。

图I-1的上半部分是一条模拟变量幅度随时间变化的平滑曲线。

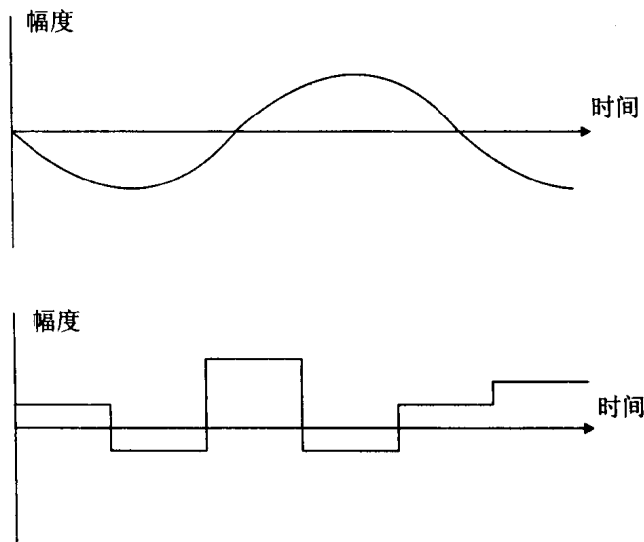


图 I-1 模拟量（上图）和数字量（下图）

当然了，信息内容并不一定是模拟的，它也可以是数字的。一种只能取几个不连续的、有限数值的变量就被认为是数字的。最大值和最小值有类似的概念，但这些极限值只是规定数值的边界。所有超出极限的数值都是禁止的或者表示某种错误情况。最简单的数字信息例子就是数字本身。也就是说，1, 2, 3等数字只能代表整数所能取的数值。二进制数字，或称为位，只能在0, 1当中二者取一。数字信息的图像在数值上会有很多不连续的现象，正像一个人从1数到2，而不必考虑类似1.5这种中间数值。现代电脑正是发送和接收数字信息内容的最典型设备。

图I-1的下半部分表示数字量幅度随时间变化的不连续的曲线。实际上，图中包含幅度等级之间跳变的垂直于横坐标直线的惟一目的就是使人们一看就能更好地理解所发生的一切。从技术上来说，数值间的跳变是不存在的。有时是数值X，有时是数值Y，但没有中间数值。事实上，在现实生活中这种情况是很难出现的，原因在于大多数的电现象和在网络上传递信息的最常用电流是不可能从一个数值立刻跳变到另一个数值的。同时我们要注意到，数字信号并不一定是二进制的，也就是说，一个数字信号可能有两种以上的数值。本图表示了至少四种数值。

网络上信息内容的电信号表示使我们注意到模拟/数字通信世界的下一个方面。显而易见，在网络上发送和接收的信息可以是模拟的（例如声音），或者是数字的（例如电脑文件）。要传递信息，在网络上必须采用某种信令传输方法。“信令传输法”这个术语不应该和本术语在通信其他方面的概念相混淆。例如，在PSTN中信令用于建立、维护和释放电路。正是因为如此，很多业内人士为避免混淆，当信息在通信媒介（线）上传递（编码）时，更倾向于用线码这个词，而不用信令传输法这个术语。但在信息传递过程中，本书使用信令传输法这一名词，主要因为它是常用词。这个术语只表示信息内容传递的方式。

现在我们可以把定义模拟和数字信息内容的方法运用到定义信号是如何在网络上传递的。如果一个被发送并被接收的真实信号可以在限定范围内取任何一个数值，那么这个信号就是模拟的。注意，在这里，信号是模拟的与发送的信息是模拟的还是数字的是无关的。在模拟网络上发送模拟信号可以说是小事一桩，模拟语音更是如此。只需用传感器把普通语音的声波转换成电波就可以了。自然，在网络的另一边，这个过程相反。

自然，信号网络也可以是数字的。在这种情况下，和以前一样，模拟和数字信息内容都可以在网络上传递。数字信息转换成数字信号相对来说简单一些，可是把模拟信息转换成数字信号就要难很多。回想起一个模拟变量可以在一定范围内取任意数值，而数字变量只能取几个有限的数值。从其中一个怎么转换到另一个？也就是，如果模拟信息可以取从1到2中的任何一个数值，包括1.5，用只能取1和2的数字信号怎么来表示它们呢？显而易见，

模拟信号和数字信号是不能简单地一一对应的。

对这种困境有解决的方案，不过并不是人人都对这个方案满意。用数字信号来表示模拟值的方法称为量化。在模数转换过程中，我们不可避免地要引入量化噪声。我们在这里使用噪声一词，主要是为了表示当把模拟信号映射成数字信号时，与预期的数值有误差。在通信连接中，噪声是一种用来表示有用信息的丢失或无用信息的常用术语。在上面的简单例子中，模拟数值1.5既可以表示成1，也可以表示成2。工程师也许会制定一条规则，把大于等于1.5的数值都归于2，其他数值都归于1。这个简单例子就可以说明噪声是如何产生的。如果1.5四舍五入到2，那么1.6，1.8，甚至1.555438都可以归为2。现在，1.6与1.8的意义当然有明显的不同，否则它们取两个数值就毫无意义了，但是当它们都归为2时，它们就都取相同的数值了。换句话说，如果接收机要把接收到的数字信号转换回模拟信息内容，它根本就无法区分所接收到的2究竟是从1.6还是从1.8得到的。这样，在模数转换过程中就引入了噪声。

量化噪声可大可小，但永远不会被消除。网络可以把模拟信息转换成十个数字量而不是两个，这样模拟量1.6就是数字量1.6(数字量并不一定是整数，只要是离散的数字就可以)。现在问题就出现在像1.555438这样的数字上了，它要么是1.5，要么是1.6。噪声小了十倍，但它依然存在。问题是我们应该花多少时间和精力来处理量化噪声问题。当把模拟量转换成数字量时，量化噪声是不可避免的，尤其是把模拟语音转换成数字信号在部分PSTN上传输时更是如此。实际上，模拟语音在数字表示时经常采用255级量化。

关于模拟和数字，我们还要注意两点。首先，当我们谈到模拟时，带宽一词通常指模拟信号所占的频率范围，所以当我们说“模拟电视信号占6MHz的带宽”就很正常。MHz指每秒钟百万周，一周就是信号所能取的模拟量的整个范围。这里带宽就是指频率范围，在模拟世界中，这种用法是很平常的。

可是模拟信息内容和模拟信号又怎么样呢？它们没有特征带宽吗？有的。如果模拟信息的带宽（大约6MHz）小于或等于模拟信号的带宽（大约7MHz），是没问题的。但是如果一个7MHz的模拟信息流试图通过一个6MHz的模拟信号网络来传递，情况又会怎么样呢？我们必须放弃一些东西。在这种情况下，我们就说信息内容的通带限制在6MHz。通带一词可以认为是模拟信号可以在网络上通过的模拟带宽的大小。在这个例子中，7MHz的信息内容可以通过削减6MHz~7MHz、0MHz~1MHz或中间任何位置的1MHz频率来在这个6MHz的信号信道上传递，当然，只要结果是6MHz的带宽就可以。

在PSTN中，模拟本地环路在很多情况下会把模拟信号限制在300Hz~3 300Hz之间，也就是说，低于300Hz和高于3 300Hz的信号都无法到达信号线的另一端。除美国外，频率上

限一般是3 400Hz，但问题是相同的。选择300Hz~3 300Hz/3 400Hz并不是偶然的。人类语音的80%分布在这个频带范围内，因此拓宽频带对接收到的语音的质量并没有什么大的影响。通带限制是通过电子装置的带通滤波器来实现的。在将要讨论的ADSL中，通带限制是很重要的。

但是当应用到数字时，通常来说，带宽一词就有了新的意义。我们经常说“这个因特网接入线路有64Kbps的带宽”。Kbps的意思是每秒千比特，这里比特是一个二进制位，必须取0或1。

可以预见的是，数字信号也有它的特征带宽，不过是以每秒多少比特来计，而不是用每秒多少周。如果从计算机的串口出来的是128Kbps的数字信息内容，而通信线路的带宽只有64Kbps，会发生什么事情呢？64Kbps会不会只是滤波通带呢？可能不会。如果放弃的64Kbps恰巧是一个文件的一部分，丢失的比特将会导致接收端产生错误，也许会造成整个文件必须通过网络再传输一次。为什么不在缓冲区中把多余的比特延时呢？在这里，缓冲区只是用于通信目的的一块特殊内存区域。

为什么在计算机通信时缓冲区会有帮助呢？其实，原因只是在PSTN上传输人类语音谈话和在PSTN上进行计算机通信存在一个主要区别。当人们打电话时，持续的信息流经常双向流动。即使在沉默状态，也就是当一方在倾听或另一方停下来整理思路时，网络上仍将占用3KHz的带宽（从300Hz~3 300Hz）。换句话说，分配给语音谈话的带宽很难被收回，并分配给其他谈话。实际上，这就是电路的定义。电路可以定义为在谈话过程中持续分配给谈话的带宽。反过来，正如早先暗示的，谈话时间也定义了呼叫持续时间。

但是，在从计算机到计算机的文件传输中，因特网的Web浏览等其他情况下所定义的数据是有很大区别的。没有从源到目的地的持续的信息流。信息被组织成一种被称为分组的单元。分组有一个最小值和最大值（通常很小），必须遵守一个标准的结构和一系列称为协议的规则。在因特网上，分组遵循传输控制协议/网际协议（TCP/IP）结构，即因特网协议集。

数据的不同之处在于大多数数据应用是突发性的，也就是说，当分组从源传到目的地时，有时在一秒钟内可能产生很多数据分组，但是在其他时间，可能没有数据分组产生。例如，当一个因特网用户下载一个网页时，会有很多数据分组产生，它们通过网络把文本和图像传送到目的计算机。然而，当用户盯着计算机屏幕看新信息的时候，是看不到发送和接收数据分组的。具有讽刺意味的是，计算机通常通过普通电话线路连接到因特网上，这种电路在任何情况下都要占用带宽资源。带宽仍在那儿，但是沉思中的计算机用户并没有使用它。我们将在第4章详细讨论“电路上的分组”（实际上是“在为语音交谈而设计的

电路交换网络上传递的突发数据分组”的简称)。

所以，把超过通信线路带宽的突发数据分组缓存起来是可能的并且很明智。当信息源的数据分组流出现间歇时再把数据发送出去。这样一来，缓冲区就可以避免数据分组丢失，以及因为数据分组丢失在接收端产生错误。当然了，如果缓冲区长时间处于满负荷或者有溢出和丢失分组危险，最好能够增加通信线路的带宽。

请注意缓冲区和带宽之间的折衷。更大的带宽可能花费更多，但它可能是有效处理数据分组的唯一途径。这一点是很重要的，因为在缓冲区中的数据分组根本就不会去其他地方。当数据分组在网络上传递时，缓冲区的时间将增加端到端的数据分组传输延时。在这种情况下，更大的带宽将会减少数据分组延时，使Web信息传递得更迅速，并且会减少连入Web站点的时间。带宽和延时的相互作用是一个很重要的方面，我们将在正文中进行详细介绍。

到目前为止，我们一直在讨论模拟/模拟和数字/数字的情况。其他情况我们也将涉及一些。

因为有两种信号和两种信息内容，我们很容易建立一个矩阵来说明这两方面的通信是如何相互影响的。请注意，无论信息内容是模拟的还是数字的，也不论信号是模拟的还是数字的，只要通信双方使用相同的技术，通信就可以实现。当然这条通用规则也有例外，但这些复杂因素目前不在我们的考虑范围之内。

当把一种特定形式的信息内容转换成一种特定的信号时，通常来说我们必须有一种特殊的接口设备。如果不需要特殊的接口设备，那么这种网络就是一种为特定信号和信息内容所设计的。这种网络不需要特殊设备的原因在于它本身就是为这种信息和信号而服务的网络。

因而，这个模拟/数字矩阵将会在矩阵的交界处标明接口设备的名称。如果不需要特殊设备，那就是说这种网络是为特定类型的信息内容和信号而设计的。显而易见，这种“默认”网络只能有一种情况。一个网络不可能同时为两种信号服务。这样一个模拟/数字矩阵的接口设备在表I-1中列出。

表I-1 模拟的和数字的接口设备

		信号传输方式	
		模拟	数字
信息内容	模拟	NA	编解码器
	数字	调制解调器	数据服务单元(DSU)/信道服务单元(CSU)

表I-1列出了模拟信息或数字信息和信号传输方式组合所用到的接口设备。请看左边一列，很明显，模拟信息内容在模拟信号传输的网络上传递时是不需要特殊的接口设备的。正如前面提到的，实际上，情况并不完全如此。通常来说，我们需要一个传感器把声波转换成电波，但是这种转换是如此的显而易见，并被大家所接受，所以不必特别说明。当应用到PSTN时，相同的说法是：“在连接到电话交换局以前，并不需要特殊的接口设备来把电话和模拟本地环路连接起来。”这不过是PSTN是“为语音而设计”的另一种说法。模拟语音是在PSTN上的模拟本地环路信号传输的“默认”方式。

但是，有时候需要在PSTN上传递数字信息内容，例如前面所提到的，要在模拟本地环路上把家庭计算机用户与ISP相连起来。在这种情况下，信息内容是数字的（计算机的0和1），但是环路仍然是模拟的。这种情况下所需要的特殊接口设备就是调制解调器，调制解调器有调制器/解调器的功能，在这种操作中，调制是一个技术术语。这些术语表明调制解调器必须既可以把数字信号调制成模拟信号，又可以把模拟信号解调回数字信号。调制解调器既可以是在计算机外部的盒子内也可以内置于计算机主板上。

我们接着来看矩阵右面，在数字信号网络上发送模拟信息内容时，我们需要用到一个称为编解码器的设备。编解码器一词是从编码器/解码器引申而来，编码是一种把模拟信息表示为数据流的术语。当把模拟语音信号转换成在使用数字信号的数字链路上传输时，我们就需要编解码器。一个典型例子是通过一家企业或电信公司的数字网络传送普通电话的模拟语音。

表I-1中最后列出的是DSU/CSU设备，它的意义非常简单。请注意一点，当我们使用电话把模拟信息内容转换到PSTN网络上的模拟信号时不需要特殊的接口设备。乍一看，似乎从数字信息内容转换到数字信号也不需要特殊接口设备，但实际情况并非如此。网络只能为一种信号而设计，但我们谈到本地接入时，只能是模拟信号。实际上，有很多种数字信号方法可以应用在本地接入线路上（本地环路）。数字信息内容（例如，一个电脑文件）可以用许多方式来表现，这就意味着在一种特殊的数字信息内容和一种特殊的数字信号之间相互转换时需要一种特殊的接口设备。DSU/CSU在数字/数字链路转换过程中所起的作用与传感器在模拟/模拟链路转换中所起的作用相同，DSU/CSU在本书中非常重要，因此我们将其列在该表中，而没有列出传感器。DSU/CSU同数字信息内容和数字信号格式一样，有很多种形式。本书将会在DSL部分介绍相关内容。



## 宽带

正如任何讨论ADSL的书必须有关于模拟和数字的清晰定义人们才能理解一样,任何关于ADSL的书也必须从宽带的定义和讨论开始。通信领域有时会因为专业术语泛滥而受到指责。为引人注目,一些术语一次又一次地被使用,缩略语到处乱飞。不幸的是,通信领域重要术语的意义根据上下文的内容会一次又一次地发生变化,这样一来,会打击很多希望了解通信领域的人的信心。在前面,已经给出了一个简单的例子,当我们用到信号传输法这一词时,既指呼叫控制,又指线码。非对称和宽带就是两个过度使用,并定义模糊的术语。

因为ADSL有时指一种提供住宅用户的宽带接入方式,所以我们必须给出宽带的定义。接入是指一个人在家里连入PSTN的方式,这种接入通常是通过铜双绞线构成的模拟本地环路实现的。当然,这并不是接入PSTN的惟一方式,但是,ADSL通常采用这种接入方式。

在本书中,宽带指比数字语音通信的2Mbps更短反应时间的通信链路。关于宽带和延时,我们在前面已经提到了很多。现在,我们将进一步探讨它们的关系,试着定义反应时间,并将这种定义应用到宽带网络接入。

在网络中,延时和宽带都起着很重要的作用。现代网络不仅要支持传统的语音和数据应用,而且要支持很多“交互式多媒体”范畴内的应用,因此,必须有足够的网络延时(交互)和网络带宽(为较大的视频和音频文件)。网络上的一些应用,如语音,是与延时密切相关的。给语音分配更大的带宽并不会提高语音质量或者使传输更有效。关键是足够的带宽和延时。如果讲话和听到话之间的延时是5秒,或者开始是0.5秒,然后升到3秒,人们是感觉不到区别的。

但是网络上的其他应用,例如大多数的数据应用是与带宽密切联系的。给这些应用分配更多的带宽将会使它们工作得更好和更有效。给计算机文件传输分配更多的带宽将会有很大的不同。这里的问题是足够的延时和带宽。在文件传输中,开头是否在0.5秒内通过网络,结尾是否在3秒内才通过网络,这是无关紧要的。即使是5秒钟的延时也是可以容忍的,不过如果在电路上用很小的带宽发送一个很大的Web页将会造成几分钟的延时,这肯定会使用户勃然大怒。

延时随着缓冲区等待的比特数和主要网络部件(交换机或者路由器)的拥塞量而发生变化。大多数人可以本能地理解这种影响。一个通信网络和一家银行一样,在数学上都是一个排队系统。显而易见,当银行有很多人,或者如果每个人都有多笔业务,要花比平时更多的时间,那么兑换一张支票就需要更长的时间。银行队列就是一个缓冲区,有多笔业