

IT 先锋系列丛书

光交换与网络连接手册

OPTICAL SWITCHING AND
NETWORKING HANDBOOK

Regis J. "Bud" Bates 著

张之超 孔凡敏

于向明 吴冰洁 等译

**Mc
Graw
Hill** Education

人民邮电出版社
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

IT 先锋系列丛书

光交换与网络连接手册

Regis J. “Bud” Bates 著

张之超 孔凡敏 于向明 吴冰洁 等译

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

光交换与网络连接手册 / (美) 贝茨 (Bates, R.j.) 著; 张之超等译.

—北京: 人民邮电出版社, 2003, 4

(IT 先锋系列丛书)

ISBN 7-115-11037-9

I. 光... II. ①贝... ②张... III. 光纤通信—通信网—连接技术—技术手册
IV. TN929. 11-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 010742 号

IT 先锋系列丛书

光交换与网络连接手册

-
- ◆ 著 Regis J. “Bud” Bates
译 张之超 孔凡敏 于向明 吴冰洁 等
责任编辑 李 健
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
读者热线 010-67129258
北京汉魂图文设计有限公司制作
北京顺义振华印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 12.75
字数: 270 千字 2003 年 4 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2003 年 4 月北京第 1 次印刷
著作权合同登记 图字: 01-2001-3981 号

ISBN 7-115-11037-9/TN • 2006

定价: 22.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

版 权 声 明

Regis J. “Bud” Bates

Optical Switching and Networking Handbook

ISBN: 0-07-137356-X

Copyright©1998 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and People's Posts & Telecommunications Publishing House.

本书中文简体字翻译版由人民邮电出版社和美国麦格劳-希尔教育(亚洲)出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可,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 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号:图字:01-2001-3981

内 容 提 要

本书介绍了光通信与光网络连接的基本知识，书中的内容可以帮助一个工程人员清楚所设计的产品和提供的服务的市场情况，还可以告诉你让光网络令客户满意的应用方法。对于经营者，可以从本书了解到在使用和研究光网络的过程中所面临的机遇和挑战。作者尝试着用最简洁的过程和平实性语言来让概念变得更通俗易懂，利用大量时间来发展和扩充市场营销战略。

本书适合管理规划者和技术人员了解光网络知识和光网络发展的情况，在技术和规划方面都有很好的参考价值。

前 言

在阅读这本书之前，请先抽出一点时间来听我简单介绍一下。这本书的题目可能会让很多读者感到疑惑：

对于工程技术人员来说，这个题目可能乍听起来像光网络和交换系统的权威参考资料。其实不然！这本书不是一本工程技术书籍而且也没有很深入细致地介绍技术上的各种细节。这本书会帮助一个工程人员清楚所设计的产品和服务的市场情况，还可以告诉你让光网络令客户满意的应用方法。因为，正如我所说的，这不是一本技术性书籍，但相信这本书中您可以得到您需要的。如果您要想了解更多的内容，其他的书籍可以满足您的需要。我建议您可以登录麦格劳-希尔公司的网页去寻找可以供您选择的书籍。

对于经营者来说，这个题目可能让您觉得这是一本技术性书籍，不是您该阅读的书。我希望您可以坚持读下去，这本书就是为您而写，让您了解到在使用和研究光网络的过程中所面临的机遇和挑战。我尝试着用最简洁的过程和平实性语言来让概念变得更通俗易懂。我还利用大量时间来发展和扩充市场经营战略。如果您是一位需要了解产品未来需求的投资人或决策者，我确信这本书会给您上面所说的帮助。同样，如果您是一位正在从供应商中寻找更好的设备的电信运营管理者，这本书肯定让您有所收获！

这本书介绍了令人震惊的技术发展，这本关于光网络的书籍将被收入一系列关于跟踪分析特殊市场环境的丛书中，《语音和数据通信手册》，《宽带电信手册》和即将出版的《宽带无线手册》都包含其中。这些书籍将帮助您不需要经过正常的技术学习而对各种技术有一个简单的认识。很不幸的是，我们虽然处在电信业却很难有机会深入了解电信知识。

我个人非常希望能通过这一套丛书来弥补这样的缺憾，为您学习电信知识铺平道路！

——Regis J. “Bud” Bates

致 谢

在出版这本书之前，我个人想向两位和这本书有关的人表示感谢。第一位，也是和这本书的出版关系最密切的人，我的妻子嘉布丽埃拉。嘉布丽埃拉一直是我前进的动力，不断地给我鼓励和帮助。不管前面的路多么困难，她一直鼓励我勇敢向前。为了完成这本书，我强行占用了大量属于我们的周末和假期。不仅如此，嘉布丽埃拉还在我的草图（勾勒图）的基础上加工完成了这本书中最后的插图。她时刻地支持、帮助和鼓励让这本书的出版成为现实。

第二个应该表示感谢的人是麦格劳-希尔的高级编，史蒂夫·查普曼。史蒂夫带给我这个创意，并且让我做我最擅长的工作。他的指导让这本书很快获得委员会的批准。史蒂夫还给了我自由编写这本书的权利，从不在风格、内容和时间上限制我。史蒂夫和我在彼此能力上互相敬佩从而让这本书成功出版。

最后，我想感谢所有让我学习到许多详细的光通信的新领域知识的设备生产商和服务提供商。那是一个这里实在容纳不下的庞大名单，不过，他们明白他们在我的感谢名单里。

目 录

第 1 章 光纤通信简介	1
1.1 传输系统术语	1
1.2 光和光纤通信应用的历史	5
1.3 带宽的需要	5
1.4 使用光纤的理由	8
1.5 光纤是如何工作的	8
1.6 关于光纤的事实	9
1.7 光纤神话	10
1.8 光纤类型	11
1.9 光纤系统应用	12
1.10 基于光纤的系统的的发展	13
1.11 波分复用技术的出现	14
第 2 章 光纤的基本技术	16
2.1 本地电信公司该如何选择	19
2.2 光纤的概念	19
2.3 使用玻璃传输信号	20
2.4 光纤的种类	22
2.5 与其他传输媒质相比光纤的好处	26
第 3 章 同步光网络	32
3.1 同步光网络发展的背景	33
3.2 北美数字系列	33
3.3 异步传输	34
3.4 比特填充	35
3.5 同步光网络：一种数字式信号同步的方法	36
3.6 同步光网络的线路速率	37
3.7 为什么同步受到困扰	37
3.8 同步光网络的帧结构	38
3.9 顶层	39

3.10	STS-1 帧的内部	40
3.11	同步光网络的开销	41
3.12	开销	42
3.13	虚支路	43
3.14	同步光网络多路复用功能	44
3.15	级联	46
3.16	分/插复用: 同步光网络的优点	47
3.17	同步光网络的拓扑结构	48
第 4 章	同步数字系列	51
4.1	为什么要用 SDH/SONET	52
4.2	同步通信	52
4.3	准同步	52
4.4	同步数字系列	53
4.5	数据传输速率	54
4.6	需要注意的一些不同之处	55
4.7	复用方案	55
4.8	为什么需要特别强调	63
4.9	关于 SDH 的模型	64
第 5 章	波分复用与密集波分复用	67
5.1	日益增长的需求	67
5.2	是什么在驱使对带宽的需求	68
5.3	波分复用	69
5.4	光纤优于其他媒质的好处	72
5.5	为什么要波分复用	72
5.6	为什么用 DWDM	74
5.7	不要再铺设更多的光纤了	76
5.8	从这里走向成功	77
第 6 章	光交换系统及技术	79
6.1	城域网中的光交换技术	79
6.2	广域网	80
6.3	城市的变迁	80
6.3.1	城市 DWDM 网的需求	83

6.3.2 动态光插/分复用器.....	84
6.3.3 环网互连.....	84
6.4 交换机的瓶颈	85
6.5 多重选择.....	85
6.6 墙上的反射镜	85
6.7 Lucent 产品	88
6.8 MEMS 提高光交换技术.....	90
6.8.1 经济的 MEMS.....	90
6.8.2 扩展的解决方法.....	90
6.8.3 易于升级.....	91
6.9 并非所有人都相信	91
6.10 Agilent 研制不同的光交换机	92
6.10.1 独立的大结构还是多重小结构呢	92
6.11 液泡, 液泡, 谁有液泡	93
6.12 Alcatel 的液泡.....	94
第 7 章 光网络及交换机厂商	96
7.1 不断增长的要求	96
7.2 警告: 标准委员会的工作	97
7.3 让买卖开始	99
7.4 有没有另外一种选择呢	100
7.5 到增长时支付	101
7.6 增长的竞争驱使对带宽的需求	102
7.7 新的应用.....	102
7.8 DWDM 的应用	102
7.9 如果你不能构建, 可以买	103
7.10 光网络的构件	106
7.11 最后的列表.....	107
第 8 章 高速应用	114
8.1 分/插复用: SONET/SDH 的一个应用	115
8.2 SONET/SDH 拓扑	117
8.2.1 点对点.....	117
8.2.2 点对多点.....	119
8.2.3 集线器和辐式结构.....	119

8.2.4 环	120
8.3 接入方法	121
8.4 多种业务传送的其他方法	123
8.5 城域网如何	127
8.6 DWDM 的应用	128
8.7 光网的构件	129
8.8 广域网	132
第 9 章 成本推断和财政趋势	134
9.1 有时候是光纤	134
9.2 这是在玻璃中	136
9.2.1 透明光网络	138
9.2.2 不透明光网络	138
9.3 DWDM 的容量	140
9.4 处理带宽冲突	141
9.5 光交叉连接	142
9.6 DWDM 的实现	144
9.7 城域网的成本	145
9.8 DWDM 应用的动力	145
9.8.1 将来的升级	145
9.8.2 机会成本	146
9.9 更快、更好、更便宜	146
第 10 章 光网络的未来（光网络领先在哪里）	148
10.1 基础结构的变化	149
10.2 进入分组交换的世界	151
10.2.1 传统系统	153
10.3 变就是办法	154
10.4 DWDM 很受欢迎（产生了嘶嘶声）	155
10.5 那么现在如何	156
10.6 服务质量是现实	159
10.7 其他考虑	159
10.8 那么我们该怎么做	160
10.9 满足最后一英里	162
10.10 无线光网（WON）	164

10.11 最后的设想.....	167
缩写词.....	169
术语表.....	173

第 1 章 光纤通信简介

欢迎阅读这一本关于电信的简化手册。在 20 世纪 90 年代初，我刚开始写书的时候，我被写第一本书要准备的大量必要的工作弄得不知所措。这就是最初的《电信、数据和网络的故障恢复计划》，这仅仅是一本很薄的书。在我写完那本书的时候，我发誓再也不会写书了。目前我们还要出 10 本书，仍然介绍同样的事情，但要阐述一个新的方面。这本书的主题是光纤、光网络以及光交换，它不仅能满足你的阅读享受，而且还很容易理解。在这里，我们的目的是在给出实例及其在工业中的应用的的同时，使读者对技术问题更容易理解。与我过去的书相同，如果你是一位工程师，要寻求技术上的细节讨论，那么这本书不适合你。然而如果你符合下面的条件，那么这本书就是为你而写的：

- 为了投资或资金用途而试图要了解一个光纤网络的成本含义的金融分析员；
- 试图知道现在每个人都热衷于什么的电信管理者；
- 试图走自己的路，坚信自己观点的电信公司推销员；
- 试图在数据革命以外获得最大的冲击的数据处理人员；
- 需要知道厂商们将会预言什么的带宽提供者；
- 在行业中试图了解这一技术的新手。

这一切意味着什么呢？我总是按照自己直率的方式做事情，我喜欢演讲，喜欢看着大家学习。你能通过他们脸上的表情看出他们什么时候在学习，什么时候最终把一个概念弄清楚了。因此，我承担了这本关于光网络以及光交换的书的编写，目的是为了尽力简化所有的工作过程。销售商和标准制订者们都在忙于制订标准文件或设备说明书。他们自己知道他们在讲些什么，所以他们假定读者也明白他们在讲些什么。不幸的是，事实并非如此。可能大家都曾在本地制造商那里拿到过商业杂志，看到某个工程界权威人士所写的有特色的文章。文章中只介绍了几个不同的缩写词以及关于产品和服务的一些看法。文章确实有价值，但在文章中出现了太多的术语，使得普通读者读不下去，不能在通信行业中交流确实令人悲哀。就是因为这个原因，McGraw-Hill 总在寻求在提供一些理解工业技术概貌的时候给以帮助，希望这本书与过去出的书一样能为读者提供更好的理解帮助。

1.1 传输系统术语

在开始讨论光纤领域之前，我们至少要讲述一些基本的术语，这将有助于你理解整个领域。虽然解释光纤使用的方式有很多，但是这些定义将帮助你进行初步的理解。

放大器 (amplifier)

这个器件在不失真的情况下，增大如声波或光波等电磁波的能量，如图 1-1 所示。你的立体声收音机从空间接收微弱的电磁信号，并将其放大到能驱动扬声器。光纤系统中的放大器也是一样，它能使通过光纤的光变强。

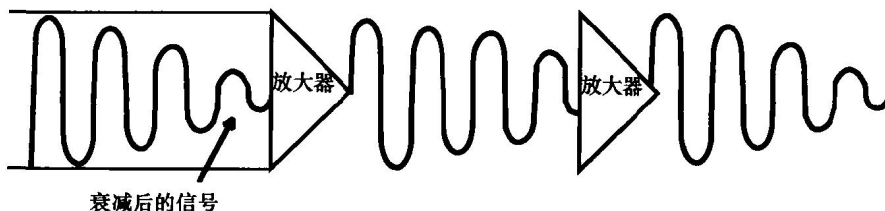


图 1-1 放大器放大微弱信号

同轴电缆 (coaxial cable)

同轴电缆是一种高频传输线，用来传输电话和电视脉冲，有线电视公司通过使用频分复用技术在一根电缆中传送多个电视频道。图 1-2 表示同轴电缆。

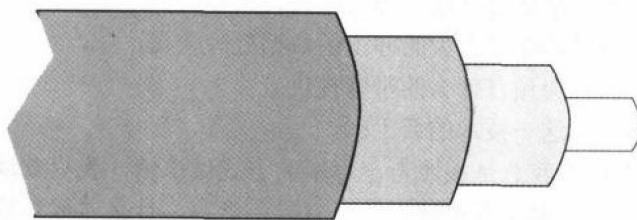


图 1-2 进行高频传输的同轴电缆，特别适用于电视

调制器 (modulator)

调制器是一种转换器，它能将电开/关脉冲转换成电话中传输的声音脉冲。光纤系统中调制器的用途也是一样，只不过这里是将电脉冲转换成光脉冲，如图 1-3 所示。在不同的方向，调制解调器 (modem, modulator-demodulator) 将信息从一种形式转化成另一种形式或者相反。

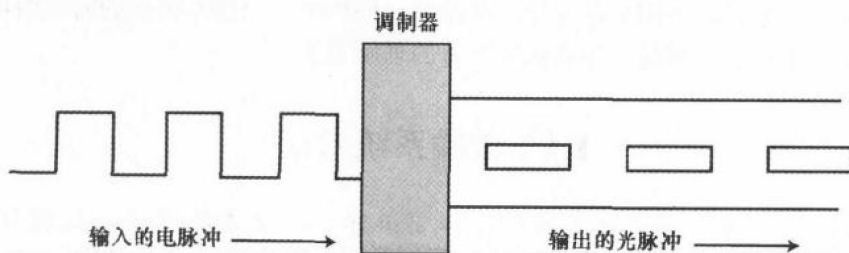


图 1-3 调制器将电脉冲转化为光脉冲

激光器 (laser, light amplification by simulated emission of radiation)

激光器是通过激发原子使其发射某一特定波长（频率）的集中的光束的光源。考虑这样的一群人，他们试图抬起一个非常重的物体，如果他们每个人抬一下，因为他们个人的力量都很小，所以重物纹丝不动。而如果他们同时一起抬的话，集中的力量将产生这样的结果：呀！重物被抬起来了。光线的情况也是这样，单独地激发一个原子，光线很难看得见。如果同时集中激发所有原子，那么就可以得到一束很强的光。

多模光纤 (multimode fiber)

这种光纤用于短距离传输，如在一个大规模的建筑内进行传输。在光纤技术中，多模光纤被设计成同时以不同路径或模式传输光线，每种模式的光在光纤纤芯的折射角稍有不同。因为不同模式的光在传输稍长的一段距离之后将发生色散（这叫做模式色散），所以多模光纤只能用于相对短距离的传输。多模光纤的纤芯比单模光纤的要粗。图 1-4 提供了多模光纤（粗）与单模光纤的比较。

接收机 (receiver)

接收机是将光信号转换成电信号的电子器件。天线用来接收无线电信号，类似的光接收机用来接收光信号，它通常是一个叫光电二极管的电子元器件。

单模光纤 (single-mode fiber)

这种光纤最典型的是用于长距离传输。单模光纤是被设计成只传输一个模式的载波光的光纤，用于长距离传输。单模光纤的纤芯比多模光纤的要细得多。

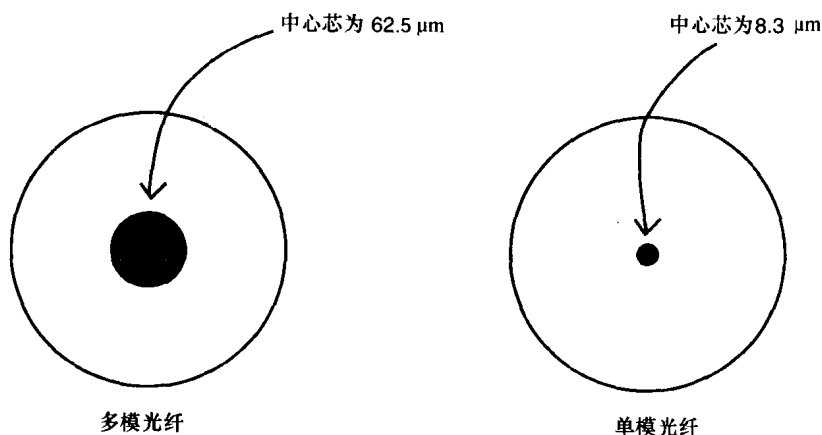


图 1-4 光纤类型的比较

时分复用 (TDM, time-division multiplexing)

时分复用技术是将多路信号复合在一起，通过一路通信信道传输的方法。每个信号被分

割成许多段，每一段持续很短的时间。在发送端复合信号的电路叫做复用器，它接收每个单独的终端用户的输入，将这些信号分割成段，再循环地将这些段复合。这样复合后的信号就包含了所有终端用户的数据。在长距离电缆的另一端，通过叫做解复用器的电路将复合信号分解，再传给恰当的终端用户。考虑一个有 6 条路的公路系统，你突然遇到了一座桥，协议规定按顺序每条路可以有一辆车过桥。因此，每一次每一个输入（路）占有了整个带宽（桥）来传输数据段（车辆）。图 1-5 是这个单桥例子的图示。

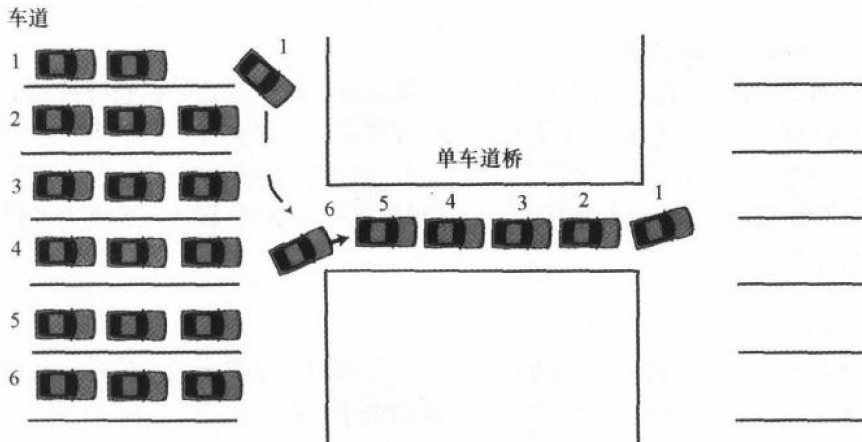


图 1-5 时分复用技术使得每一路输入周期地占用整个带宽

发射机 (*transmitter*)

正如无线电发射机发射无线电信号一样，光发射机发射光信号，它通常是发光二极管 (LED) 或激光器。

波分复用器 (WDM, *wavelength-division multiplexer*)

光波分复用器是一个用于将不同波长的多个独立信号通过一根光纤传输的光器件。想象有两个人同时用一部电话讲话，一个用低沉的男声，另一个用尖锐的女声。你可以通过听声音的高低，来听出其中一个人的讲话。类似地，多个信号也可以通过不同频率（颜色）的光在一根光纤中传输，在接收端，波分复用器再“听”出不同的频率，将不同的信号分开，如图 1-6 所示。

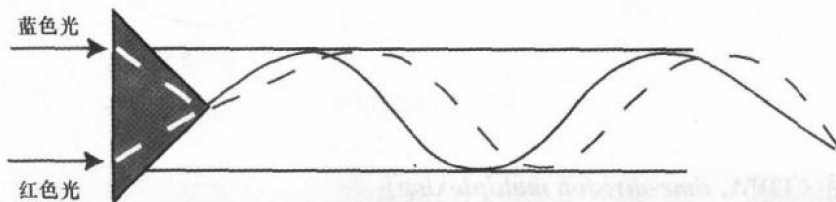


图 1-6 波分复用技术使用不同波长（频率）的光

1.2 光和光纤通信应用的历史

让我们沿着历史的轨迹从光纤系统的各种类型和模式发展开始并讨论一下光通信的历史。光学通信的开始确实非常有趣。人们总是相信，如果你想知道事情如何进展，就得明白它们已经发展到什么程度。知道一点历史是会对您有所帮助的。

光通信系统可以追溯到法国工程师 Claude Chappe 在 18 世纪 90 年代发明的“光报”。他在山上的塔中使用一系列旗语，人为地将这些消息一个塔、一个塔地接力下去。当然，为了完成这项工作，传信员间的距离必须足够近，以保证看到别人的动作。它不适用于在夜间和某些天气（如雾、大雨、大雪等）情况下传输。系统要依靠视线工作，所以塔要有一定的高度来扩大覆盖面（尽管还要受到传信者之间距离的限制）。

然而，光报确实比直接传送信息要好。到了 19 世纪中叶，光报系统就被电报系统所取代了，而只留下了分散的“光报山”作为遗产。电传输的使用更适宜于长距离传输。

1880 年，Alexander Graham Bell 取得了一个叫光线电话的光电话系统专利。他早期发明的电话，已经被广泛地使用和传播。贝尔梦想能通过空气传送信号。不幸的是，用大气传输光不如用电缆传送电可靠。光被用于少数特殊的用途，如船与船之间的信号传输。但是光通信没有达到预期的效果。

后来，一个能根本解决光传输问题的新技术产生了。它最终被接受并且被应用于声音和数据通信却经历了很长一段时间。这种新的发展依靠“全反射”，“全反射”是指光被限制在被另一种物质所包围的物质里，外面物质的折射率比里面物质的要小，就像是玻璃在空气之中。从年代上来看，使用玻璃的准备过程，如表 1-1 所示。

今天，在美国超过 90% 的长距离数据传输是由光纤完成的。已经铺设了 1550 万英里的光缆，都使用最初 Maurer、Kerk 和 Schultz 的设计。

光纤使用通过玻璃纤维的光脉冲来传输数据，这种光纤比头发还细。这种缆线比传统的铜缆细得多，能以极高的速率传输数据，成为传送声音和图像的理想载体。

1.3 带宽的需要

与此同时，电信工程师们正在寻找获得更大带宽的方法。无线电和微波已经被最大限度地应用。因此，工程师们转向了更高的频率来传输数据，他们期望能持续增加带宽以跟上电视和电话数据量增长的需求。电话公司认为可视电话即将产生，它的产生将大大增加对带宽的需要。1964 年在纽约的世界博览会期间 AT&T 公司介绍了一个图像电话的实验模型，它需要一条 T3¹线，通过电话连接来传输运动图像（图 1-7）。连接的另一端在迪斯尼乐园（位于

¹ 一条 T3 线是复用传输，它以 44.736Mbit/s 的速率传输信息。