

数字微波通信系统

卡米洛·费赫 等著

阎飞龙 译

易钟炳 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书首先介绍传输系统的发展趋势、两种数字复用系列、数字微波通信系统的组成和分析数字通信系统用的概率统计方法。然后介绍数字微波通信系统常用的相移键控、正交振幅调制和部分响应编码等技术。并介绍微波放大器、系统增益的概念及其应用、话下数据和话上数据等混合微波系统、数字微波系统的设计等。最后介绍分集接收、波道倒换和测量技术。

本书从实用的角度出发, 尽量省去烦琐的数学推导, 力求简明扼要。

本书适合于微波通信工程技术人员、大专院校微波通信专业教师、研究生和高年级学生阅读。

DIGITAL COMMUNICATIONS: Microwave Applications

Kamilo Feher

PRENTICE-HALL INC. 1981

数字微波通信系统

卡米洛·费赫 等著

阎飞龙 译

易钟炳 校

责任编辑 王纲李

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 11³/₄ 264千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷 印数: 0,001—3,000册

ISBN 7-118-00174-O/TN33 定价: 3.85元

前 言

我很高兴能够向读者介绍这本《数字微波通信系统》。数字微波通信这一学科，现在是将来仍然是现代通信中最重要的学科之一。据我所知，这本书是关于这门学科出版的第一本书。

我们正在向一个新的通信时代迈进。这本书将会得到工业、研究和政府机构中电信专业人员的广泛应用。这是一本从实用角度写的书。我尤其向大学和其他教育机构推荐这本书，以教育和培训工科学生。我们缺少微波通信工程师，现在需要，将来也需要大量的这方面的专业人员。学这门学科的学生需要具有关于数字通信系统中应用的原理和现代技术的牢固知识。这本书是一个良好的开端。

多年来，我和我的同事们对于 K. 费赫 (K. Feher) 博士在学术研究、生产研究、教学和工程咨询方面的突出成就是很熟悉的。他在数字通信和微波传输方面的专门知识在这本书中也得到了反映。坦率地说，我们需要这样一本书。对于这项获得成功的计划，我愿向作者和普伦蒂斯霍尔 (Prentice-Hall) 出版社表示祝贺。

雷声公司副总经理

雷声数据系统总经理

J. 托马斯·马克莱

马萨诸塞州诺伍德

目 录

第一章 传输系统概况	1
1.1 传输系统的发展趋势	1
1.2 数字电话、数据和电视技术、数字业务和数字多路复用系列	4
1.3 数字微波通信系统的组成	10
参考资料	13
第二章 数字传输系统分析中的统计方法	14
2.1 概率密度函数 (pdf) 和累积概率分布函数 (CPDF)	14
2.2 概率函数的主要参量	17
2.3 常用概率密度函数和累积概率分布函数	19
2.3.1 高斯 (正态) 分布	19
2.3.2 瑞利概率密度函数	23
2.3.3 均匀连续和均匀离散概率密度函数	24
2.4 独立噪声源的相加和中心极限定理	26
2.5 无线电收信机的噪声带宽	27
2.6 自相关函数与功率谱密度函数	28
习题	31
参考资料	32
第三章 数字调制方法	34
3.1 脉幅调制 (PAM) 原理及基带传输技术	34
3.2 M 电平 PAM 和普通双二进制 (部分响应) 基带系统的 $P(e)$ 性能	45
3.3 相移键控 (PSK) 系统的原理	49
3.4 M 进制 PSK、正交部分响应 (QPR) 和振幅相位键控 (APK) 系统的 $P(e)$ 性能	51
习题	56
参考资料	57
第四章 微波放大器	58
4.1 微波功率放大器	58
4.2 小信号放大器	63
4.3 微波放大器技术	64
4.3.1 微波放大器件	64
4.3.2 放大器基本结构	65
4.3.3 功率放大器特性	66
4.3.4 小信号放大器特性	66
4.4 小结	67
参考资料	67
第五章 系统增益的概念及其应用	69
5.1 通信系统的可靠性指标	69
5.2 系统增益	70

5.2.1 系统增益的定义	70
5.2.2 给定系统可用性条件下的衰落储备要求	71
5.2.3 关于结果的讨论	72
5.3 多径衰落	73
5.3.1 系统工程考虑	73
5.3.2 多径衰落图示	73
5.3.3 多径衰落持续时间	74
5.4 采用频率控制方法的效果	75
5.4.1 同波道干扰对数字系统增益的影响	77
5.5 频率选择性衰落	77
5.6 小结	79
习题	80
参考资料	82
第六章 M进制PSK和QAM 微波系统	84
6.1 数字收发信机方框图	84
6.2 带宽利用率高的数字微波系统	86
6.2.1 8PSK系统	86
6.2.2 16状态正交振幅调制 (QAM) 微波系统	89
6.3 数字微波系统的滤波要求	91
6.4 非线性射频器件引起的 $P(e)$ 性能恶化和频谱扩散	94
6.5 微波系统性能设计准则	96
6.6 典型的M进制PSK和QAM微波系统的性能指标	98
习题	100
参考资料	101
第七章 相关(部分响应)技术及其在数字微波系统中的应用	103
7.1 相关技术的基本概念及对于零存储系统的回顾	103
7.2 双二进制波形的频谱整形和编码	104
7.3 多二进制信号	109
7.4 非二进制信号的相关技术	111
7.4.1 无直流分量的相关非二进制信号传输	113
7.4.2 同零存储系统的比较	115
7.5 相关系统的误码检测	117
7.6 相关系统的编码和调制	121
7.6.1 相关AM-PSK调制过程	121
7.6.2 相关正交PSK系统	122
7.7 在数字微波传输中的实际应用	126
7.7.1 QPRS相位调制举例	126
7.7.2 FM举例	127
习题	129
参考资料	129
第八章 数字与混合系统诸方案	131
8.1 NTT400Mb/s振幅相位键控 (APK) 数字系统的原理和说明	131
8.2 现有的PAM-FM系统和最小移频键控 (MSK) 系统	133
8.2.1 脉幅调制-调频 (PAM-FM) 系统	133

8.2.2 最小移频键控 (MSK) 系统	134
8.3 FDM话下数据 (DUV)、话内数据 (DIV)、话上数据 (DAV) 和视上数据 (DAVID) 混合微波系统	134
8.4 用户数字无线电系统	139
习题	140
参考资料	140
第九章 数字微波系统设计	142
9.1 与数字微波系统设计有关的FCC规则和CCIR建议	142
9.2 抖动和误码的积累	145
9.3 公务信道传输方法	149
9.4 传输性能指标综述	151
习题	152
参考资料	152
第十章 分集和保护倒换技术	154
10.1 空间和频率分集系统	154
10.2 保护倒换和热备用装置	157
10.3 倒换与合成技术	159
习题	162
参考资料	162
第十一章 测量技术	164
11.1 实验室测量技术与工厂检验测量技术	164
11.2 工作系统的在线 $P(e)$ 和抖动的测量	170
11.2.1 在线的伪误码测量技术	170
11.2.2 在线的抖动测量技术	172
习题	174
参考资料	175
第十二章 研究与发展趋势以及尚未解决的问题	176
参考资料	178

第一章 传输系统概况

近年来数字微波通信系统的应用发展得很快，这与通信领域中的许多进展是分不开的。一些最重要的进展是：电话业务可用全数字的方式传送，其业务量日益增长；对于传真、数字电视、和高速数据等新业务的需求；对于传输各种数据组合，已显示出有很高的射频频谱利用率；数字电话业务；以及对于开发 10GHz 以上频段，用数字传输方式比用模拟方式更富有生命力。

七十年代后期，应用视距数字微波通信系统最积极的国家是美国、加拿大、日本、英国、意大利、法国和挪威。其中，日本在使用大容量数字微波通信系统方面大概是处于领先地位的。例如，日本一生产厂家到1977年已经安装了1500多部这样的收发信机供使用^(1,2)。在欧洲，意大利在数字微波领域大概是处于领先地位的，有 500 多部 13GHz 数字微波收发信机在工作。加拿大打算使用从大西洋海岸延伸到太平洋海岸，长约 6000km 的 8GHz 全数字大容量数字微波通信系统。美国最初主要用来连接交换局之间的脉冲编码 (PCM) 传输线。美国联邦通信委员会 (FCC) 已经发布了关于数字微波通信系统的明确的规则。FCC19311号文件中概括的这些规则，促进了现代数字微波通信系统有条不紊的发展和应用。

本章首先叙述数字微波通信系统的发展及其与模拟微波通信系统的比较。然后，叙述由数字微波通信系统所传送的电话、数据和电视业务，以及目前的数字多路复用系列。最后叙述典型数字微波通信系统的组成。

1.1 传输系统的发展趋势

新发展的电信工程，绝大多数都采用数字方式。我们已经应用了数字信号处理、数字多路复用、数字交换和传输技术。这些技术将继续越来越多地应用于现代通信系统中。从美国和加拿大若干新建的传输系统中所看到的发展趋势，清楚地表明新建的数字传输系统中所用的数字方式是占优势的。许多别的国家情况也类似。图 1.1 和图 1.2 表明美

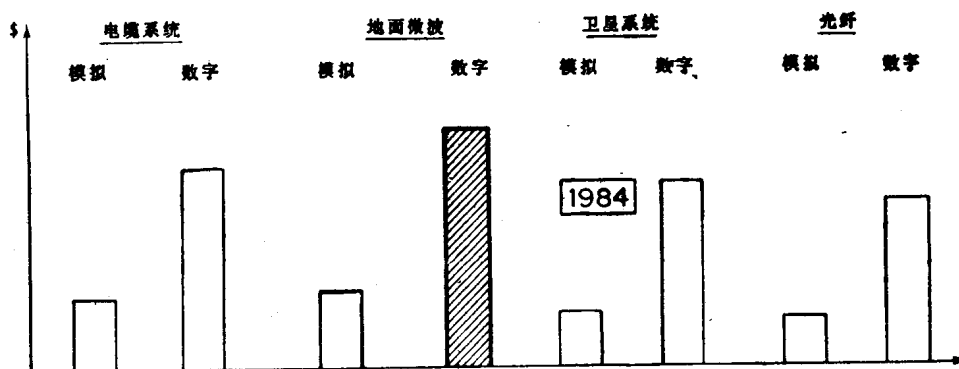


图1.1 美国和加拿大电话工业的中距离 (500~2000km) 宽频带传输系统1984年投资预测

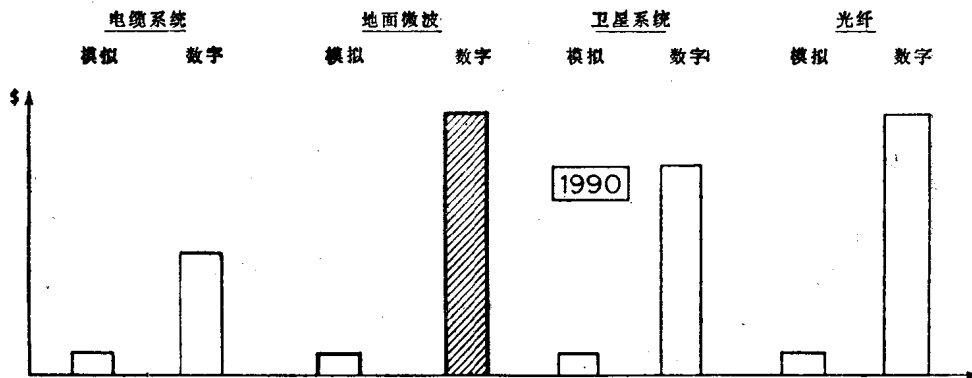


图1.2 美国和加拿大电话工业的中距离
(500~2000km)宽频带传输系统1990年投资预测

国和加拿大的电话工业对中距离的地面微波、卫星、电缆和光纤传输系统的投资趋势^[1,13]。1984年和1990年计划新建的传输系统的比较表明,1990年在原有的美国通信网中,与模拟传输系统相比将新建更多的数字传输系统。这种趋势将继续发展下去,预计到本世纪末,几乎全部新建的传输系统都将是数字的。对于2000km以上的传输系统,数字微波和数字卫星传输网将占优势。本书中所讲的调制原理和调制技术,除适用于数字微波通信系统之外,也适用于电缆、光缆和卫星通信系统。

在通信系统中,最常用的模数(A/D)和数模(D/A)转换技术是脉冲编码调制(PCM)。这种技术的原理最初大约在50年前就提出来了。早期的微波系统就曾依赖于PCM技术的应用。但是因为模拟传输系统的射频频谱利用率更高,成本更低,所以数字微波通信系统多年来未被应用。数字微波通信系统的复兴是随着叫做T-1型载波的分复用(TDM)PCM短途电缆载波系统的成功采用而开始的。由贝尔研究所研制成功,在美国采用的这种T-1型载波系统,容量为24路数字电话,传输速率为1.544Mb/s,构成了北美数字多路复用系列的一次群。这种PCM系统是本世纪六十年代引入的,到七十年代中期,大约有二百万条话路在使用。在欧洲,30路话音信号被模数转换,并且通过PCM转换器被时分复用,合成的速率为2.048Mb/s,构成了CCITT建议的欧洲数字多路复用系列的一次群^[1,2,1.7]。日本运营公司是按照1.544Mb/s的倍数进行数字多路复用系列加以标准化。与美国、加拿大PCM终端设备大规模复兴相类似,整个欧洲已经安装了大量的PCM终端和电缆载波设备。日本、埃及^[1,10]和许多别的国家也有类似的情况。用现代数字微波通信系统,为PCM业务或其他数字业务提供短途的和长途的城市间的线路是很经济的。数字微波通信系统与新的数字电缆、光缆或者卫星通信系统相比较,往往更便宜;当然按照系统的组成、容量和电路长度的不同而有所不同。视距数字与模拟微波系统及其相关接口设备的最重要特性的比较表明,在不久的将来数字系统将占优势,1990年后几乎只用数字系统。先进的、高速的数字集成电路的大量生产已促使时分复用脉码调制通路设备的价格显著地下降。这些通路设备的价格约为相当的模拟频分复用通路设备价格的一半。因为有许多工厂生产现代时分复用设备,预料通过不断的竞争,PCM通路设备的价格将进一步降低。如图1.3所示,关于新的模拟设备和数字

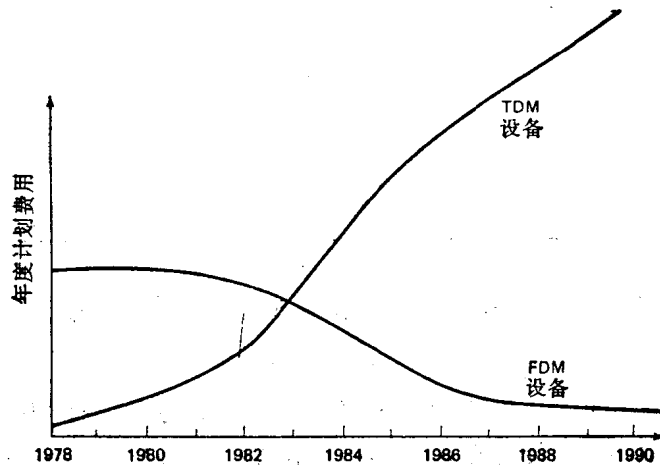


图1.3 FDM和TDM设备增长的比较

设备的年度计划费用的比较表明，到本世纪80年代后期几乎所有新的多路复用设备都将用数字技术^[1,8]。已经设计成与模拟和数字中继线直接接口的时分交换机（TDS），目前正在使用^[1,11]。时分复用、时分交换和数字微波通信系统的结合比相应的模拟系统更经济。数字微波通信系统还有如下的优点^[1,3]：（1）传输性能几乎与中继机的数目无关，从而也就几乎与系统长度和网络结构无关。（2）数字微波、数字光缆、数字卫星和数字电缆系统容易与数字交换机接口。（3）能够同时有效地传送数字源信息、数字电话、数字电视以及其他已经转换成数字传输格式的模拟源信息。（4）工作于10GHz以上的长途微波通信系统需要很多中继机。具有再生中继机的数字调制技术比模拟调制技术更适合于这种应用。

由于在较低频段有频率拥挤问题，电话运营公司有时不得不把18GHz频段或者更高的频段用于大容量微波通信系统。例如美国贝尔DR-18A型系统工作于17.7~19.7GHz的公用通信频段。这种系统的八个射频波道中的每一波道可传送4032路数字化的4kHz带宽电话。对于站距的限制主要是由于衰落现象造成的。这个系统根据具体站址的衰落统计数据，站距定在2.9~8.1km之间。在18GHz频段，衰落主要是由于下雨引起的^[1,4]。如果把这种大容量系统用于长途传输，4000km的线路大约需要800个中继站。由于应用数字再生中继机，噪声不积累，所以即使用这么多的中继站，优良的传输性能也还是可以达到的。如用相似的模拟微波通信系统，由于大量的中继机所引起的累积噪声的增加，就会使信噪比恶化到不能容许的程度。这就是说，对于工作于这些高频段的长途微波通信系统，除了应用数字调制技术之外，没有别的选择。

日本电报电话公司（NTT）已经充分认识到上述数字传输技术的优点。表1.1^[1,10]中所列的NTT长途传输线路数字化规划说明，到1993~1997年几乎全部（90%）长途电路都将是数字的。预料在美国、加拿大、欧洲以及所有其他大陆，都将象日本那样，数字通信系统的增长速度将是很快的。

表1.1 日本长途传输线路数字化规划^[1,10]

年 代	模 拟 传 输 线 路	数 字 传 输 线 路	数 模 电 路 比 (%)
1978-82	线路增容结束	数字化开始	10
1983-87	稳定期	增长期	50 模拟
1988-92	下降期	线路增容开始	数字 70
1993-97	消失期	线路增容结束	90

1.2 数字电话、数据和电视技术、数字业务 和数字多路复用系列

数字微波通信系统最重要的指标之一是传输容量，以每秒传输的比特数表示。若干小容量的数字微波通信系统传输速率在每秒一兆比特(1 Mb/s)以下，而大容量的数字微波通信系统传输速率为300Mb/s或者更高。基本的双向数字微波通信系统示于图1.4。数字信号源可以包括多路数字(经PCM变换的)电话，一路或多路经过模数变换

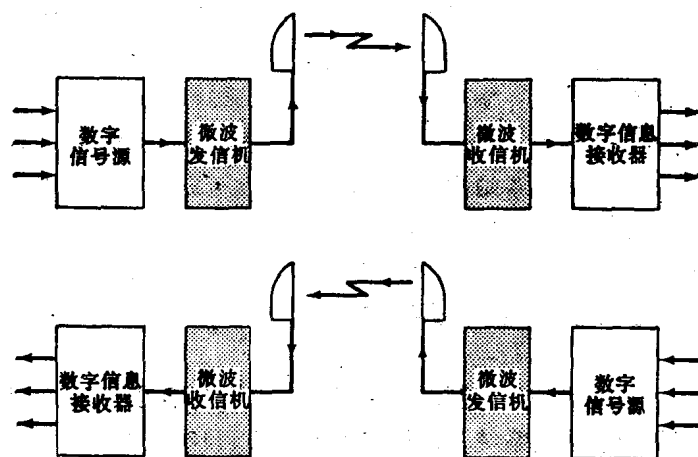


图1.4 基本双向数字微波通信系统

的具有广播质量的电视信号，许多计算机数据或其他数据。微波发信机从数字信号源以一系列或几列具有规定速率的比特序列的形式接受数字信息，并把这些数字信息转换成数字调制的射频载波。微波收信机把收到的射频载波解调，并把数字信息供给数字信息接收器。图1.5为8GHz数字微波收发信机照片。

从无线电传输的观点看，我们并不需要知道原来的信息。也就是说，我们并不需要知道信号源比特序列是单纯由PCM时分复用话路形成的，还是由数据和数字电视信号合成的。我们只要知道信号源比特速率和数字信号的码型就足够了。时分复用PCM通路设备是数字微波通信系统最常用的信息源。因此，有的作者把数字微波通信系统叫做脉码调制微波通信系统。然而，在许多系统的应用中，电视信号的变换过程并不是用普通的PCM变换方法进行的，而是用更先进、更有效的复合帧相关编码技术进行的^[1,5]。

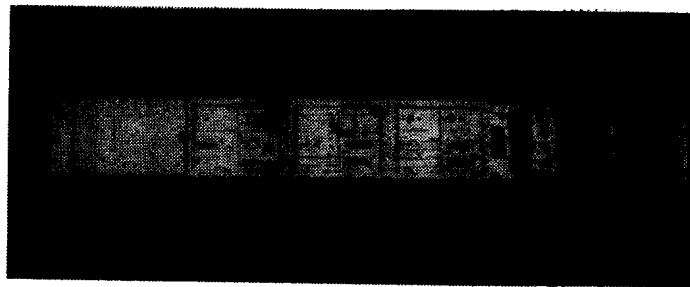


图1.5 8GHz数字微波收发信机

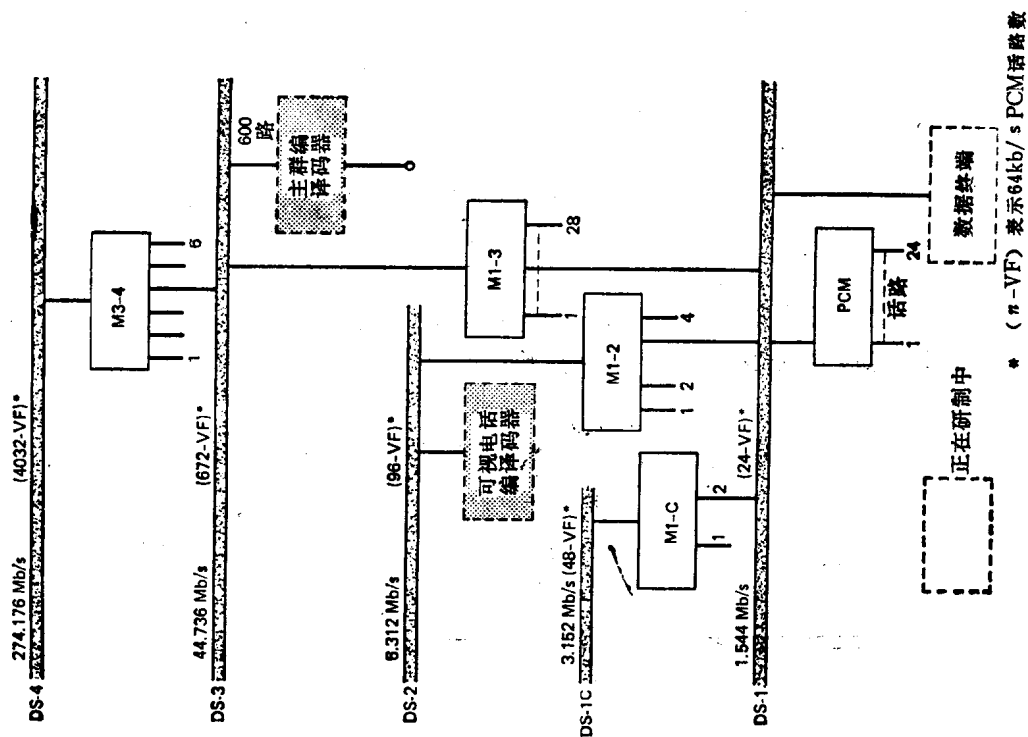


图1.6 以1.544Mb/s一次群为基础的北美数字多路复用系列

在其他情况下, 数字源信息可以由采用增量调制方法的时分复用模数变换的 4kHz 话路构成^[1.6]。所以用“视距数字微波”、“数字微波”或“数字无线电”这样的术语比“PCM 无线电”更确切。

在模拟频分多路复用系统中, 制定了标准化多路复用系列。同样, 为要成功地发展数字传输网, 就需要制定数字多路复用系列。为了把传输比特速率、直接连接和接口技术要求以及信号编码格式标准化, 就必须制定数字多路复用系列。影响选择时分多路复用系列的等级和比特速率的重要因素有单个信号源的比特速率、多路复用的效率和灵活性、时分交换机的要求、以及现有的和计划中的无线电、电缆和卫星系统的传输容量。两种被广泛采用的时分多路复用系列示于图 1.6 和 1.7。图 1.8 为安装于埃及兰西斯 (Ramsis) 交换局的时分多路复用设备的照片。

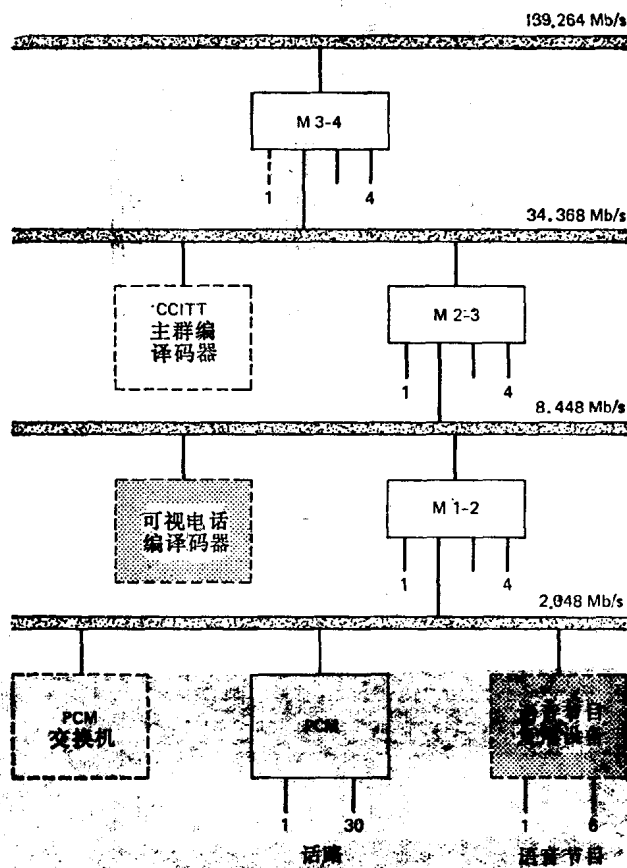


图1.7 以2.048Mb/s一次群为基础的CCITT数字多路复用系列

北美用的一次群PCM终端设备时分复用24路PCM编码电话, 每一话路频带限于300~3400Hz, 并以 8kHz 的取样频率取样。每一取样值编成为 8 个比特码。这种变换过程使每话路达到 64kb/s 的速率。帧同步比特与 24 路数字电话一起时分复用, 最后输出形成 1.544Mb/s 的数字序列, 构成 DS-1 转接等级。在许多情况下, 这一种转接等级和其他种转接等级可以接入数字配线架, 在那里可以灵活地互相连接。

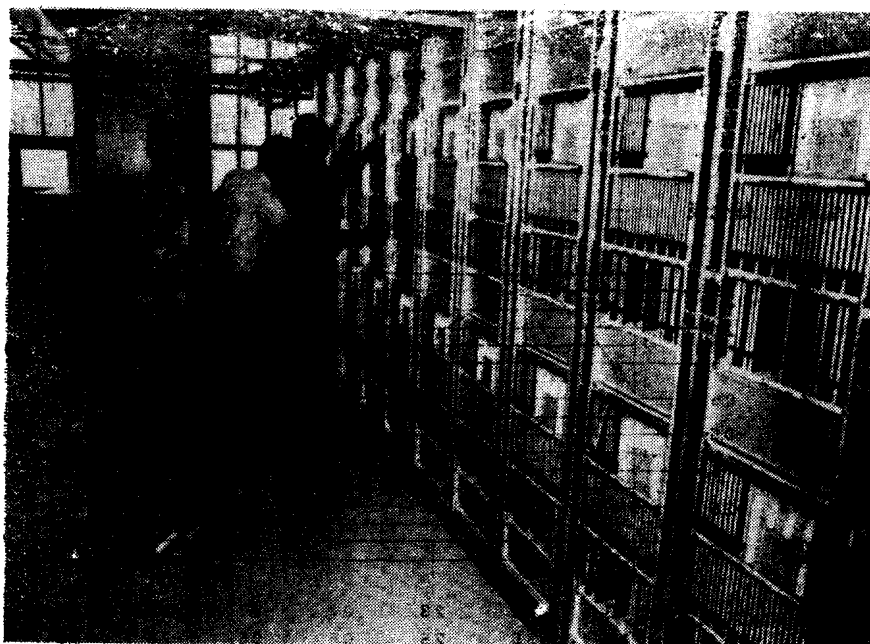


图1.8 时分多路复用设备（安装于埃及兰西斯（Ramsis）交换局的这些主群多路复用架，时分多路复用28个1.544Mb/s数字信号）

为了加深对 PCM 终端设备工作原理的理解，有必要对取样、量化、编码和压扩的原理再作如下的解释。

取样定理以狭义的形式指出，如果时间函数 $m(t)$ 的最高频谱成分为 f_m ，那么以 $f_s \geq 2f_m$ 的频率所取得瞬时样点值就包含了原来信号的全部信息。对于这个定理的证明在多数关于通信系统的教科书中都有，在参考资料[1.6、1.13、1.14、1.15]中都可找到。图1.9说明这一定理对于电话的典型应用。其中话音频带的最高频率为 $f_m = 3.4\text{kHz}$ ，以

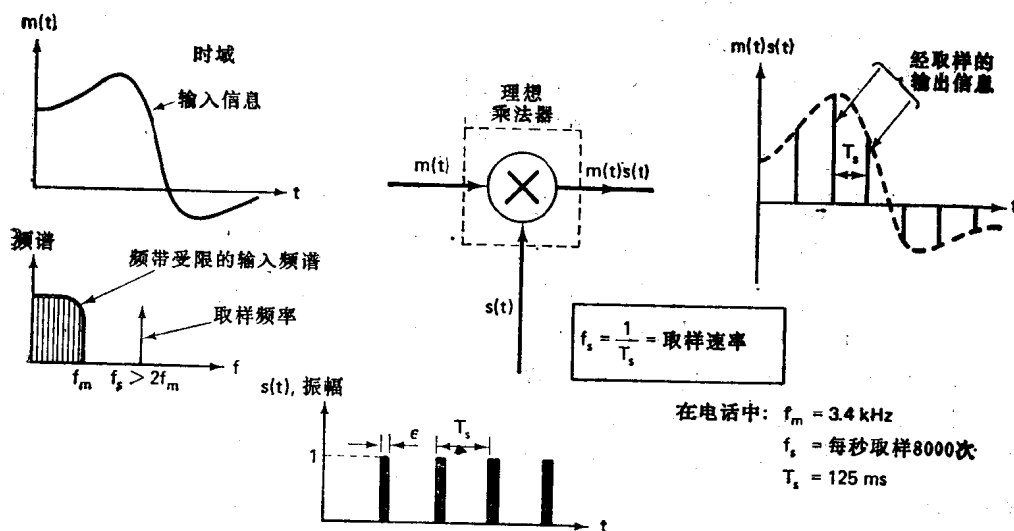
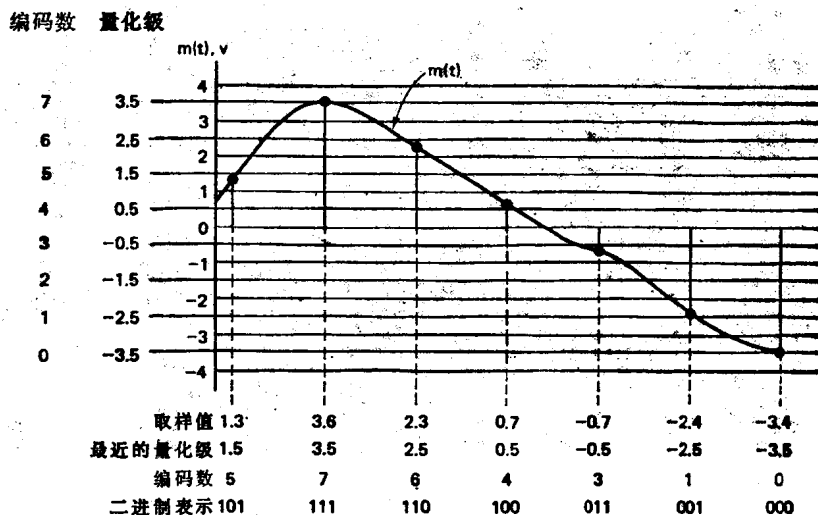


图1.9 频带受限的信号 $m(t)$ 的瞬时取样

$f_s=8000$ 次/秒的速率取样。取样后的输出信号 $m(t) \cdot s(t)$ 的非零振幅状态取值可无限多。为了将此输出信号编码,就需要把样点振幅加以量化。

为简单起见,在图1.10中只表示出8个量化级。连续信号 $m(t)$ 具有下列取样值:1.3、3.6、2.3、0.7……-3.4V。被量化的信号幅度,按照与取样值最近的量化级取值。



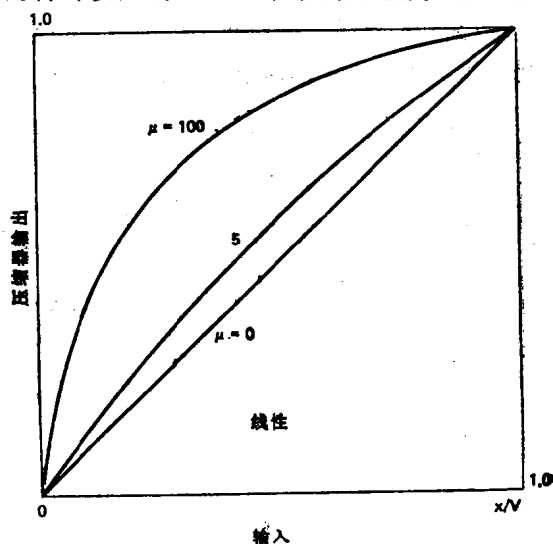
信号被有规律地取样·图中表示出了量化级。对于每一取样值都给出了量化值,并列出了二进制表示法。

图1.10 PCM系统的量化和二进制编码^(1.14)

8个量化级用3个比特码表示(注:用3个比特可以区别 $2^3=8$ 个不同的级)。取样值和量化级之间幅度之差叫做量化误差。量化误差正比于级差 s 的大小,即正比于相邻量化级之间的差。若用更多的量化级(更小的 s),则可得到更小的量化误差。通过实验发现,为了达到可接受的信噪比,需要 2^8 即256个量化级。这说明每一被量化的样值为8个比特的信息。

为了使小振幅信号具有和大振幅信号相同的信噪比,需要用不均匀量化器。在给定象图1.10那样的均匀量化器的条件下,为了达到不均匀量化的目的,在量化器之前就必须有一叫做压缩器或压扩器的、具有非线性输入输出特性的装置。最常用的压缩器特性如图1.11所示。压扩函数由下式给出:

$$\frac{v(x)}{V} = \frac{\log(1 + \mu x/V)}{\log(1 + \mu)} \quad (0 \leq x < V)$$



所需要的 μ 值在100的数量级。实际上常用 $\mu=255$ 的规定值。

图1.11 PCM信号压缩器特性^(1.8)

式中, $v(x)$ 为输出电压, x 为输入电压, V 为输入信号的峰值电压, μ 为压缩系数。接收端为了恢复发送的信号, 必须进行与发送端相反的信号处理^(1.0和1.14)。

总之, 我们可以概括地说, 在电话系统中, 信号频带限于 $f_m=3.4\text{kHz}$ 。为了把这种模拟信号转换成二进制 PCM 数据序列, 应用每秒 8000 次取样的取样频率 (f_s)。每一取样值被量化为 256 个量化级之一。为了实现 256 个量化级需要 8 个信息比特 ($2^8=256$)。所以, 一个话路每秒取样 8000 次, 每个取样值需要 8 个比特, 就产生了 64kb/s 的传输速率。在满足北美标准的 PCM 终端设备中, 帧同步比特也同 24 路 PCM 编码话路一起时分复用, 所以这种数据终端设备的合成基带比特速率为 1.544Mb/s ^(1.4)。

除了应用标准化的 PCM 话音终端设备之外, 也应用复用许多较低数据速率数字源的数据终端设备^(1.7)。近年来研制的若干数字微波系统, 标称容量为 90Mb/s 。这种系统是用来传输两列北美三次群数字复用信号的。在北美系统中, 输入模拟带宽为 1MHz , 数字化后输出数据速率为 6.312Mb/s 的可视电话编译码器, 在 DS-2 转接等级上接口。

广播质量的彩色电视信号, 具有略少于 5MHz 的模拟基带带宽。为了对这些视频信号进行通常的 PCM 编码, 采用取样频率 f_s 为 10MHz , 每取样值为 9 个比特的编码方案。这样产生的传输速率为 90Mb/s 。大部分电视图象具有高度的相关性, 可以利用这种相关性来降低传输速率。根据已知的像素值预测任何未知的相邻像素的彩色和亮度是可行的。通过预测技术得到的、只需要传输速率为 $20\sim45\text{Mb/s}$ 的、具有广播质量的数字彩色电视信号已有了报道^(1.17, 1.18)。

图 1.7 所示的 CCITT 数字多路复用系列是以时分复用 30 路电话, 输出比特速率为 2.048Mb/s 的 PCM 终端为基础的。更高的转接等级包括 8.448Mb/s 、(电话和电视编译码器) 34.368Mb/s 和 139.264Mb/s 的数据速率。速率为 1.544Mb/s 以及更高的各标准化传输速率列于表 1.2^(1.9, 1.10)。欧洲尚没有对 5 次群的确切传输速率定出标准。美国和加拿大还没有构成 5 次群的肯定方案。相应于 64kb/s PCM 话路容量列于表 1.3。

表 1.2 美国/加拿大、日本和欧洲的标准传输速率

多路复用 群号	美/加 (Mb/s)	日 本 (Mb/s)	欧 洲 (Mb/s)
1	1.544	1.544	2.048
2	6.312	6.312	8.448
3	44.736	32.064	34.368
4	274.176	97.728	139.264
5	—	396.200	560~840

表 1.3 美国/加拿大、日本和欧洲标准 PCM 话路容量

多路复用 群号	PCM 话路数 (容量)		
	美/加	日 本	欧 洲
1	24	24	30
2	96	96	120
3	672	480	480
4	4032	1440	1920
5	—	5760	7680~11520

1.3 数字微波通信系统的组成

假设的单向数字微波通信线路方框图示于图1.12。2500km 长的假设参考电路已经

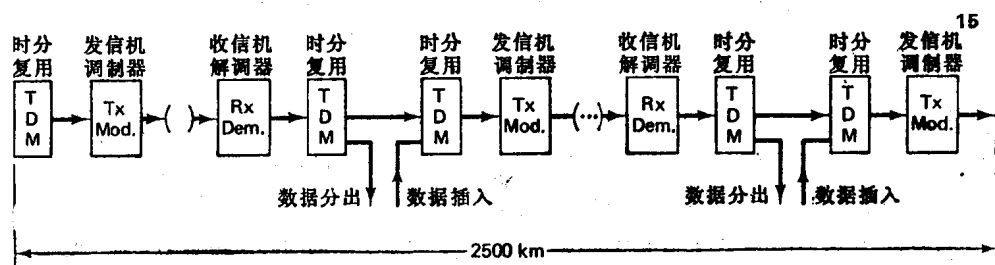


图1.12 假设的数字微波参考电路

广泛地应用于模拟调频微波系统，而且也应用于数字微波系统工程。CCIR 规定的假设的数字微波参考电路包括通过 9 套高次群数字多路复用设备连接的 9 套无线电终端设备。假设的数字微波参考电路长2500km，在此电路的每一端表现为64kb/s 的数据速率。时分多路复用设备的发送部分为微波发信机的调制器提供输入数字序列。收信机解调并再生数字信息，然后把数字信息送到时分多路复用设备的接收部分。在再生器输出端，因频带受限和信道噪声而受到损害的信号，按照原来的数字形式被重新产生出来。在这一点上，数据信息的一部分或全部可以分出来，新的数据也可以插进去，或者全部复用的数据序列可以转接到线路的下一个调制器。在后一种情况下，在转接的地方不需要时分多路复用设备。数字微波发信机和收信机中的载波调制和解调过程，既可以在外差系统的中频进行，也可以直接在微波系统的射频进行。两种常用的收发信机方框图示于图1.13和图1.14。在外差收发信机的发信机中，数字基带调制中频振荡器。所产生的中频

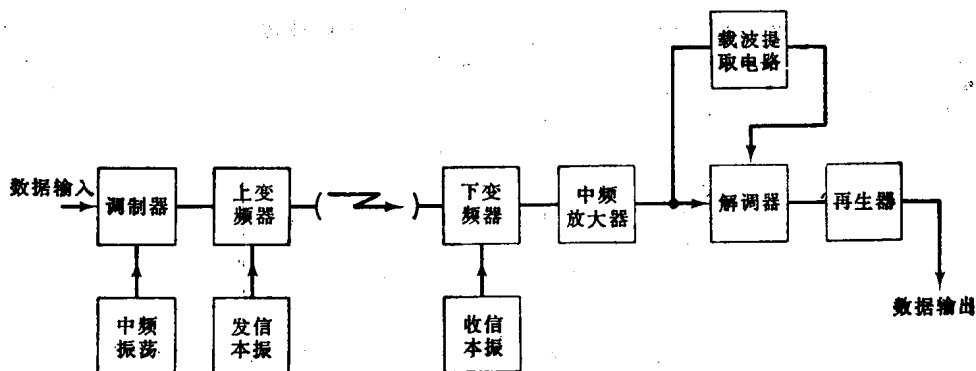


图1.13 外差收发信机方框图

已调波由混频器（上变频器）和（发信）本机振荡器上变频，达到所要求的频率^(1.3)。在收信端，微波已调波被下变频器变为中频，在多数系统中并被相干解调。为了进行相干解调，就必须得到同已调信号完全相同的载波频率和相位。最后解调出来的信号在再生器中被恢复成原来的数据形式。如图1.14所示，在用基带直接调制射频的过程中，数字信息是直接调制射频信号而不用任何中频电路。

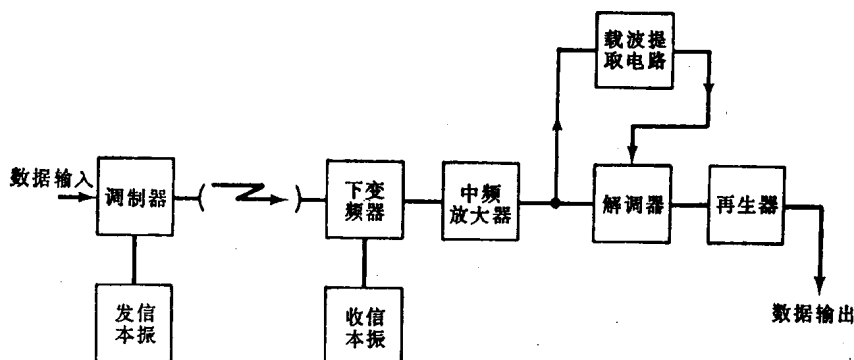
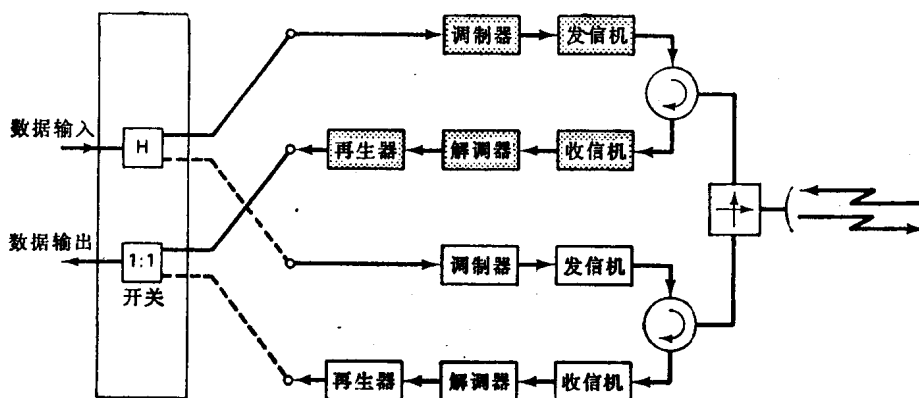


图1.14 直接射频调制收发信机方框图

为了提高数字微波通信系统的可靠性，通常用保护倒换系统和分集接收系统。一个典型的 $1 + 1$ 终端站具有一个主用波道和一个备用或分集波道，如图 1.15 所示。数字

图1.15 用极化分集的典型 $1 + 1$ 双向数字微波终端站

源信号通过高度可靠的桥接网路(H)被分成并行的两路。被平分的信号调制各自的载波，然后送到两部射频发信机。这些射频信号通过射频环行器连接到交叉极化滤波器，交叉极化滤波器将组合的极化分集信号送到发射天线系统。在收信机中，射频信号被下变频器变为中频，并被解调、再生。开关电路选出最佳特性的信号，最佳特性的信号是按照第十章中提出的一些准则确定的。

大部分数字微波系统用再生中继机。如果信号通过调制、解调和再生这一全过程，那么收发信机就被认为是再生中继机。再生中继机适于同时分多路复用设备接口，因而也就适用于数据插入和分出的地方。外差设备也可用于非再生的中频中继站。图1.16所表示的这种非再生中继机比再生中继机简单而且便宜，但是从一中继站到另一中继站有噪声和信号失真积累的缺点。用再生中继机，噪声和失真在再生过程中基本上被消除了，所以没有噪声积累的问题。

除了在图1.15和图1.16中所表示的两种数字微波通信系统的组成方式之外，还有其他许多种组成方式在应用。这些组成方式包括 $1 + 1$ 和 $n + 1$ 空间和频率分集方式； $n +$