

数字微波通信

王云飞 高奉全 尹民光 编译

朱庆璋 审校



人民邮电出版社

数 字 微 波 通 信

王云飞 高奉全 尹民光 编译
朱庆璋 审校

人 民 邮 电 出 版 社

9110165

2031.47

内 容 提 要

本书主要介绍数字微波通信系统方面的基础理论和应用技术,包括:数字脉冲技术、调制解调技术、电波传播对数字微波通信的影响及其改善措施、数字微波通信工程的设计,性能测试以及数字微波通信设备的组成等。书中还收录了与外国公司技术座谈、进口设备及工程设计和工程建设中总结到的一些技术资料。

本书可供从事通信技术工作的科研、设计、维护和管理人员及有关大专院校的师生阅读参考。

数字微波通信

王云飞 高奉全 尹民光 编译

朱庆璋 审校

责任编辑 梁素梅

*

人民邮电出版社出版发行

北京东长安街 27 号

中国铁道出版社印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本:850×1168 1/32 1991 年 2 月 第一版

印张:13 $\frac{28}{32}$ 页数:222 1991 年 2 月 北京第 1 次印刷

字数:363 千字 印数:1—3 500 册

ISBN7—115—04409—0/TN·426

定价:6.85 元

编译者序

随着模拟网逐步向 ISDN 过渡,数字微波通信系统作为一种新的传输手段越来越受到人们的重视。由于数字微波的显著优点,同时也由于大规模集成电路和微波集成电路技术的发展,使这一新的传输手段在近年来获得飞速的发展。

带宽利用率是人们最为关心的问题。这个问题目前已逐步解决。140Mb/s 系统原先使用 16QAM 技术,需要占用 40MHz 间隔的模拟 2700 路波道,现在采用 64QAM 技术,可以在 29MHz 间隔的模拟 1800 路波道中传输,频带利用率已赶上并超过模拟微波。即将进入市场的 256QAM 数字微波系统,在频带利用率方面无疑具有极大的吸引力。

为了适应调制值数的增加,电子电路的线性技术、对抗传播色散的均衡技术以及提高可用度的倒换技术和分集技术都取得了重大的进展。

为了适应数字传输的特点,监控系统也从单纯的告警和状态变换显示发展为具有监测和计数功能,使电路的维护更加方便。

各种压缩传输比特率的电视编码技术也得到重大的发展。电视的数字传输不但能够实现,而且比模拟传输更节省频带。

数字微波的前景是非常诱人的。我国已经开通大量数字微波电路,其中包括了采用 64QAM 技术的 140Mb/s 电路。广大通信技术人员都渴望有一本既具理论性又具实用性的数字微波技术书籍,为此我们以日本电信电话公社技术局长、工学博士桑原守二审编的《デジタルハスイクロ波通信》一书为基础,补充了我们在工程设计和工程建设中总结和收集到的资料,编译成本书,奉献给从事通信技术科研、设计、维护 and 管理的读者。

本书共分十一章。第一、二、四章由尹民光编译,第五、六、七章

由王云飞编译,第三、八、九、十、十一章由高奉全编译。朱庆璋对全书进行了审校,并对第五、六章作了补充。王云飞对第十、十一章作了补充。

最后,由于编译者的理论水平和实践经验有限,对书中出现的差错及不妥之处,敬请广大读者指正。

编译者

目 录

第 1 章 电信技术的发展和数字无线技术

1.1 电信技术的发展动向——INS 的形成	1
1.2 数字通信技术的历史	2
1.3 数字无线系统的特点和技术性问题	6
1.4 CCIR 关于数字无线系统的动向	8
1.4.1 假设参考数字通道及其指标	8
1.4.2 频率配置	10
1.4.3 其他建议	14
参考文献	14

第 2 章 数字无线系统中的脉冲技术

2.1 数字复用系列	16
2.2 数字信号的复用	17
2.2.1 同步复接和数字同步网	17
2.3 适用于中继传输的编码	19
2.3.1 中继传输的基本功能	19
2.3.2 传输线路码的必要条件	22
2.3.3 传输码形式	23
2.4 脉冲信号的傅立叶分析	26
2.4.1 周期脉冲波形	27
2.4.2 孤立脉冲波形	28
2.4.3 随机脉冲波形	30
2.4.4 带宽限制的影响	33
2.5 传输线路特性的影响	35
2.5.1 噪声和误码率	35
2.5.2 传输线路频率特性引起的波形失真	40
2.5.3 眼图	42

2.6 抖动	43
2.6.1 终端系统的抖动(码速调整抖动)	44
2.6.2 中继系统的抖动	44
2.7 扰码	46
2.8 比特序列独立(BSI)	47
参考文献	49

第3章 调制解调技术

3.1 调制	50
3.1.1 调制的意义	50
3.1.2 振幅调制(OOK, ASK)	51
3.1.3 相位调制(PSK)	55
3.1.4 频率调制(FSK)	57
3.1.5 正交调幅(QAM)	61
3.1.6 调制引起的频谱变化	63
3.2 解调和误码率的计算	66
3.2.1 基本的解调方法	66
3.2.2 载波频带的噪声与信号波的关系	67
3.2.3 ASK波(OOK波)的解调	71
3.2.4 PSK波的解调	77
3.2.5 FSK波的解调	81
3.2.6 QAM波的解调	84
3.2.7 误码率特性的比较	86
3.2.8 误码率和误比特率	90
3.3 调制解调器的构成	92
3.3.1 PSK调制解调器	92
3.3.2 16QAM调制解调器	109
参考文献	121

第4章 频率配置和干扰

4.1 载波频带中的脉冲传输	122
4.1.1 载波频带脉冲序列的频谱	122

4.1.2 等效低频特性	124
4.2 滤波技术	125
4.2.1 滤波系统的设计	125
4.2.2 实际采用的滤波器	131
4.3 干扰的影响	143
4.3.1 干扰和误码	143
4.3.2 干扰噪声的评价	151
4.4 无线频率的配置	158
4.4.1 概论	158
4.4.2 波道配置的决定	159
4.4.3 波道配置的实际情况	165
参考文献	169
第5章 电波传播	
5.1 衰落的一般性质	170
5.1.1 衰落的分类	170
5.1.2 衰落的统计和表示	175
5.2 干涉性衰落	176
5.2.1 干涉性衰落的机理	176
5.2.2 对数字无线通信的影响	180
5.3 由降雨引起的电波衰减	193
5.3.1 降雨衰减量的计算	193
5.3.2 相邻区间的降雨衰减差	197
5.3.3 多中继段的相关系数	198
5.3.4 交叉极化鉴别度的恶化	198
5.4 有效衰落储备	200
5.5 非最小相位衰落的影响	201
参考文献	202
第6章 抗衰落技术	
6.1 分集接收	204
6.1.1 分集接收的分类	204

6.1.2	空间分集(SD)	206
6.1.3	频率分集(FD)	216
6.1.4	路由分集	217
6.2	自适应均衡器	219
6.2.1	频域自适应均衡器	220
6.2.2	时域自适应均衡器	223
6.3	衰落补偿技术的效果	226
	参考文献	231

第7章 系统设计

7.1	电路指标	232
7.2	电路设计方法	233
7.2.1	C/N 分配	233
7.2.2	等效 C/N 恶化的因素	235
7.2.3	高斯噪声	243
7.3	线路设计例子	258
7.3.1	5GHz 频段数字无线系统(5L—D1 系统) 的线路设计	258
7.3.2	11GHz 频段数字无线系统(11G—D2 系 统)的线路设计	265
	参考文献	270

第8章 电路构成和主要设备

8.1	电路构成	271
8.1.1	基本构成	271
8.1.2	无线终端站的构成	271
8.1.3	中继站的构成	273
8.1.4	备用方式	273
8.1.5	辅助传输电路	274
8.2	主要设备	276
8.2.1	无线中继设备	276
8.2.2	电路倒换设备	283

8.2.3	远程监控设备	291
8.2.4	天、馈线及分路系统	298
第9章 电子器件技术		
9.1	高频半导体	309
9.1.1	耿氏二极管	309
9.1.2	雪崩二极管	310
9.1.3	PIN 二极管	312
9.1.4	变容二极管	312
9.1.5	场效应晶体管(FET)	313
9.2	微波电路元件	314
9.2.1	介质谐振器	314
9.2.2	铁氧体谐振器	316
9.2.3	传输线	316
9.2.4	无源电路	319
9.3	高频集成电路	320
9.3.1	混合集成电路	320
9.3.2	微波集成电路	321
9.4	连接部件	325
9.4.1	半软小型同轴电缆	325
9.4.2	OSM 连接器	325
	参考文献	327
第10章 测量技术		
10.1	误比特率的测试	329
10.2	振幅频率特性	332
10.3	时延特性	335
10.4	眼图测试	337
10.5	频谱的测试	337
10.6	抖动测试	338
10.6.1	抖动	338
10.6.2	抖动的测试	340

10.7 电路测试实例·····	342
10.7.1 收发信机的测试项目·····	343
10.7.2 调制解调器的测试项目·····	343
10.7.3 天馈线系统的测试项目·····	343
10.7.4 系统测试项目·····	343
10.7.5 测试方法·····	344

第 11 章 典型的数字无线系统

11.1 短距离系统·····	356
11.1.1 2S—D5 系统·····	356
11.1.2 2S—P3 系统·····	361
11.1.3 11G—D2 系统·····	365
11.2 长距离系统·····	372
11.2.1 20G—D2 系统·····	372
11.2.2 4/5L—D1 系统·····	380
11.3 其它系统·····	386
11.3.1 卫星通信系统·····	386
11.3.2 数字用户无线系统·····	391
11.4 电视广播的数字化·····	398
11.4.1 CCIR 的动向·····	398
11.4.2 电视演播室数字化动向·····	401
11.4.3 电视信号数字传输应该考虑的事项·····	402
11.5 其它国家的数字无线系统·····	409
11.5.1 概述·····	409
11.5.2 美国的数字无线系统·····	411
11.5.3 加拿大的数字无线系统·····	412
11.5.4 英国的数字无线系统·····	414
11.5.5 法国的数字无线系统·····	417
11.6 中国使用的数字无线系统·····	418
11.6.1 NEC—500S 数字无线系统·····	419
11.6.2 GTE—CTR186 数字无线系统·····	422

11.6.3 RD—6B 数字无线系统	426
参考文献.....	430

第1章 电信技术的发展和数字无线技术

1.1 电信技术的发展动向——INS 的形成

电信技术虽然是从数字形式的电报通信开始的,但自从贝尔发明了电话以后,由于电话具有实时和忠实地传送人的声音的特点而获得迅速的发展,此后建立的通信网都是适于传输声音这种模拟信息的模拟通信网。当时由于数字信号处理技术尚未成熟,不能充分发挥经济效益,而且当时数字信息在业务量中所占的比例也非常小,因此对于新发展起来的数据通信等数字信息的传输,一直是利用属于模拟通信系统的电话网或以它为基础的专用线来解决的。

近年来,由于计算机被广泛运用于社会经济活动的各个领域,社会对于计算机同通信网相结合的数据通信的需求日益增加,而且集成电路、大规模集成电路等电子技术和数字信号处理技术也日趋成熟,使原来作为模拟信息传输的图象信号、电话信号等也能够数字化,从而开始显示出数字通信具有比模拟通信更好的技术性能和经济效益。因此建立适于处理数字信号的数字通信网,已成了社会发展的要求。

面对这一现实,为了更有效和更经济地传输电话、图象、数据、传真等信息,就应把这些通信网综合成为一个包括全部电信业务在内的综合数字通信网——INS,以达到能更经济更方便地开通各种通信业务这一目的。

由于数字无线系统具有经济效益好、线路建设迅速和可靠性高等优点,它既可在 INS 的初期阶段发挥其提供经济有效的数字

通信传输干线这一特殊作用,又可作为 INS 早期形成的手段,对通信线路实现数字化作出巨大的贡献。而且,由于它具有在分散的任意的点间较容易地、迅速而经济地建立宽频带通信线路的特点,还可望它在形成 INS 的用户线路中起很大的作用。

1.2 数字通信技术的历史

第二次世界大战后,在美国进行了最早的 PCM 微波通信试验。美国贝尔系统继建立世界上最早的微波通信系统 TDX(即 4GHz 频段的调频系统)之后,于 1947 年开始研制 TD-2 系统。当时探讨了在该系统中采用适应 PCM 系统的调制方式,并进行了微波 12 路 PCM 通信试验。但因有关元件的技术性能不成熟以及 PCM 系统的频谱较宽等原因,实际使用的仍然是 FM 方式。此后,作为微波通信系统的调制方式,FM 方式就长期地占据着统治地位。

在日本,最早研制的微波通信系统,是在 4GHz 频段用脉时调制(PTM)传输 23 路信号的系统。但也因为上述那些原因未能实际应用。尔后日本在微波通信中采用了已在美国获得成功的 FM 系统。脉冲调制方式便被迅速发展起来的调频方式完全压倒了。

在 FDM-FM 系统已取得了巨大进展的同时,再度进行了把 PCM 引进微波系统的探讨。当时半导体技术和脉冲技术都已随着计算机技术而得到了发展,在这背景下,美国和日本的 24 路 PCM 有线系统都已实用化,经济的 PCM 终端设备已有可能实现;还有,原先用于长途干线的微波通信,已逐渐用于短途通信,使 FDM 载波终端设备的费用远大于无线传输系统的费用,因此必需进行包括载波终端设备在内的经济化的综合设计。此外,随着微波网的不断扩大,在路由拥挤的大城市中,干扰噪声已接近极限,这些现实都已成为必须考虑的重大因素。

在日本,1963 年正式提出研究无线 PCM 方式。在该年的 4 月 16 日,日本电报电话公司的电信技术委员会第 59 次无线部会议

上,发表了题为“PCM 在微波系统中的运用”的文件。该文件指出, FDM—FM 系统存在的问题是载波终端设备的费用太高,而且由于路由干扰而不能在两点间大量增设路由。它还指出:采用 PCM 系统,不仅能解决上述问题,而且还有可能采用单频率中继和多频率公共放大的方法,来降低传输线路的费用。

另一方面,在 1963 年秋的无线电主管部门临时会议上,日本提出了一个“地面通信系统采用 PCM 方式可使地面系统与卫星通信系统间的相互干扰减少 20dB 以上,从而使两种通信系统和平共处”的提案。这个提案得到了美、苏、英、德、法、加等国有关主管部门的支持,并建议:“为了减轻地面通信系统与卫星通信系统间的相互干扰、使两者共同健全发展,地面微波系统采用 PCM 来传输基带信号的问题,是 CCIR 今后的研究课题”。这就奠定了各国研究 PCM 的形势逐渐高涨的基础。

在国内外不断高涨起来的开发 PCM 无线传输系统的形势下,从 1962 年就开始调查研究的电报电话公司,于 1964 年试制了 PCM 系统用的调制解调装置,进行了基础性的实验,弄清了 PCM 信号在无线传输中质量恶化的主要原因。接着于 1965 年和 1966 年,在小雀(横滨市户塚区)至城山(小田原市)之间进行了传播实验,以了解 PCM 信号通过无线系统传输时的传播特性,并在 1967 年以无线 PCM 系统的实用化为目标进行了系统的总体研制。

至于无线 PCM 系统的传输容量,在 1965 年,随着全国电话自动直拨的进展,选择了适用于迅速发展的延伸至中心局以下的近距离长话电路的 240 路中容量。由于 FDM—FM 系统近距离传输采用 11GHz 和 2GHz 频段,而 2GHz 频段既适于中等容量传输,又容易实现元器件的全固体电子化,故选择了 2GHz。

此后,1968 年在熊谷—鸿巢(在埼玉县内),福冈—篠栗(福冈县内)之间,开通了世界上最早的商用无线 PCM 通信系统。它的各种技术性能列于表 1.1 中。该系统的主要技术特点是采用了:①微波直接调相方式;②同步检波方式;③解调式基准载波再生技术;④传输监视信号的复合调制方式。

由于 1971 年 CCITT 决定数字复用系列的二次群为 6312kb/s (相当于 96 路电话),故于 1975 年变更了该系统的比特率,同时对整个系统进行了一些修改,一直沿用至今。

继 2GHz 频段的无线 PCM 系统实用化后,1975 年研制了使用 15GHz 和 11GHz 频段的无线 PCM 系统。该系统的每一波道传输 2 个 32Mb/s 和数字复用系列 3 次群,亦即 64Mb/s(相当于 960 路电话),用于大城市的主要电话局之间以及汇接局与主要端局之间的中继线路上。除了与频率有关的部分以外,为了使其他部分都能通用,在中频(140MHz)用环形调制器进行四相调制。

表 1.1 最早的 2GHz 频段数字无线系统的主要参数

项 目	参 数
频段	2. 11GHz~2. 29GHz
传输容量	7. 876Mb/s×2 波道(相当于 240 路电话)
波道数量	9 主用波道+1 备用波道
频率配置	14MHz 间隔同波道配置
时钟频率	7. 876MHz
标准中继距离	25km
标准假设参考电路	200km
调制解调方式	4PSK,同步检波积分检出方式
中继方式	再生中继方式
发信功率	17dB(50mW)
噪声系数	10dB
瞬断率指标	严重衰落月份,误码率超过 10^{-3} 的时间百分数小于 0. 005%
长时间误码率	任何小时内的平均误码率小于 5×10^{-7}

到 1978 年,该系统由于采用高功率雪崩二极管振荡器、微波四相直接调相器,提高了输出功率。又由于增加均衡功能,以均衡电波传播中产生的时延失真,使它的传输容量增加到 100Mb/s(相当于 1440 路电话),而且增大了它的中继距离,所有这些都更加提高了它的性能。

在向大容量传输的目标努力的同时,也在向小容量传输的目标努力。在 1978 年,研制了经济的简便通信系统,用于通信容量小

的场合(如用于通向孤岛的线路、用于小汇接局与端局之间的线路、用于内河船舶电话等移动通信的入网线路等场合)。

由于公众通信 2GHz 频率配置各频段终端之间需要隔开,而且频段中部需要有保护频带使收与发频率群互相隔开,所以该系统设置 2 个波道,采用同频交叉极化,可以传送 4 个波道。每一波道传输 2 个 1.544Mb/sPCM 一次群,亦即传输 3Mb/s(相当于 48 路电话),系统的总容量为 192 路电话。

这种系统有以下特点:①在基带低通滤波器进行滚降整形,②采用基带处理式的基准载波再生,③采用机组备用方式等。

在七十年代中期,由于经济迅速发展,对电话的需要量迅速增长,通信网迅速扩大。当时充当无线电通信主角的,是能担负起传输大容量任务的模拟传输方式,特别是使用 4、5、6GHz 频段的远距离 FM 线路,遍布全国。但是为了适应将来数据、图象、电话等信息传输量增大的需要,作为大量传输这些信息的手段,仅依靠使用现有频段的系统,作用也是有限的,所以必需开发其它使用新频段的无线系统。

在日本,20GHz 固定通信的指配频段是从 17.7GHz 到 21.2GHz,频段宽度为 3.5GHz,相当于已经使用的 2、4、5、6、11、15GHz 频段的频带宽度的总和。因此,把它作为大容量传输系统用的频段,是极有魅力的。众所周知,10GHz 以上的电波遇到降雨等就会衰落,为了确保通信的可靠性,就必需缩短中继距离。因此,要建立一定距离的线路,中继段的数目就比 10GHz 以下的系统大为增加。模拟系统的噪声和失真都是各中继段相加的,作为长距离传输系统很难使用频率高的频段。采用 PCM 技术便不会由于中继而引起质量恶化,可以从根本上解决这些问题。1976 年研制成的使用 20GHz 频段的系统,每一波道的容量为 400Mb/s(等于 5760 个话路),每一路由共有 8 个主用波道和 1 个备用波道,总容量为 3.2Gb/s(约等于 46000 个话路)。它攻克了如下难题:确立了过去没有的高速脉冲调制解调技术,确立了高频半导体技术,探明了 20GHz 频段在降雨时的传播特性等。它实现了世界上未曾有过的