

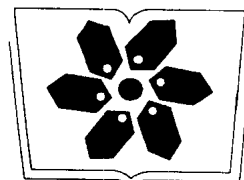


陈如明 著

信号、系统与高速无线数字传输

科学出版社

73.427
288



中国科学院科学出版基金资助出版

信号、系统与高速无线数字传输

陈如明 著



科学出版社

2000

2001048

内 容 简 介

2007/12

本书以作者负责完成的“七五”国家重点科技攻关项目研究成果为基础,并结合在国内外长期从事数字微波与卫星通信等科研工作的经验与体会,论述现代信号与系统的基本理论及高速无线数字传输的系统结构、系统工程设计方法与实际实现等有关问题。全书共八章,内容包括高速无线数字传输引论、信号分析、信号设计与信号检测、自适应信号处理、编码调制及功率/频谱有效利用、同步数字系列无线传输、信息高速公路中的无缝隙覆盖和多媒体世界,以及高速无线数字系统工程设计方法与示例等。书中理论讨论概念清晰、取材新颖,并紧密结合工程实际,有较强的可操作性。

本书可供高等学校、科研单位、新技术应用与管理部門的相关高年级大学生、研究生,高级工程技术人员和管理人员参考与应用。

图书在版编目(CIP)数据

信号、系统与高速无线数字传输/陈如明著.-北京:科学出版社,
2000.1

ISBN 7-03-007035-6

I. 信… II. 陈… III. ①信号系统②无线电通信-数字传输系统

N. TN919.72

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第28549号

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

2000年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2000年1月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—2800 字数:560000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

几年前科学出版社向我约稿,希望能以“七五”国家重点科技攻关项目“6GHz 1920 路大容量数字微波通信系统”取得的科研成果为基础,结合以往在国内外长期从事数字微波与卫星通信科研工作的经验与体会,把理论工作与工程实践有机结合,撰写一本涉及数字微波与数字卫星的高速无线数字传输系统工程方面的专著,我愉快地接受了这一较艰巨的任务,期望贡献出自己的可能力量,从系统工程观点出发,将这本书尽可能写得满意些。

本书共分八章,尽量用易于理解的语言,以现代信号与系统理论为轴心,阐明高速无线数字传输系统的一些基本概念及构成方法,从系统的观点出发,较完整地讨论其整套信号分析、信号设计、信号检测、自适应信号处理、编码调制、同步数字系列(SDH)无线传输、信息高速公路中的无缝隙覆盖与多媒体世界,并最终阐明高速无线数字系统的系统工程总体设计等基本理论与设计方法。从中不难理解,这与面向 21 世纪及更长远目标的信息高速公路建设中的大容量无线数字传输平台及无缝隙覆盖干线网、中继网、本地网与高速宽带接入网技术的需要密切相关。讨论中重点强调其方法论与方案结构优化比较,以期读者掌握这一基本方法后有可能“举一反三”地进行较好的系统工程开发研究与设计。

读者从本书目录中可以理解。本书编写时力求具有以下特点:第一,各章尽可能地有一定的自封闭性,以利读者按自己的工作需要与爱好部分地选择阅读和理解相关内容;第二,重视概念、方法的较深入讨论与保持一定程度的完整性;第三,特别注意有战略意义与普适作用的新概念、新技术的介绍与讨论。一系列自适应信号处理技术、编码调制及复杂环境下的信号检测技术,乃至全数字 HDTV(高清晰度电视)传输技术等深入讨论即为其例;第四,系统地反映本人三十余年来在国内外从事一系列科研工作的相关进展与成果;第五,重视软、硬件有机结合及引入必要的数学运算与理论解析,以支撑工程设计的科学性和严密性;第六,密切引证一定数量的参考文献,作为更深入研讨之参考。

本书基本内容安排如下:

第一章为引论,重点讨论与高速无线数字传输密切相关的一些信号、系统及数字传输方面最基本的定义与概念,并讨论高速无线数字传输与未来通信网和未来信息高速公路建设的密切关系及相关主要技术问题和基本发展动向。

第二章集中讨论信号分析基本方法。这种分析按全方位、多方向展开。从时域波形分析至频域功率谱分析,特别着重讨论热噪声、干扰、失真及设备恶化同时作用下的一般 MPSK 及 MQAM 系统的通用误码率分析方法;射频干扰分析及数、模兼容传输时的各类相互干扰的严整计算方法,同时讨论了涉及卫星轨道/频谱有效利用的广义隔离度概念及计算方法;多径传播条件下的中断性能预测分析,除简要介绍一般传播模型及 Signature 概念和一些基本中断预测方法及对抗措施外,重点讨论一种较严整的可同时计及

带内凹口、带外凹口统计影响及干扰、平衰落、设备恶化等同时作用时的中断预测方法。

第三章对信号设计与信号检测问题进行了较详细的分析讨论。从评价标准与极限性能估计出发,对于从时域、频域响应观点出发的最佳信号设计进行了讨论;进一步对频带有效利用与抵抗非线性失真观点的信号设计及从信号星座观点的信号设计优化问题进行了讨论;最后,讨论了信号检测与复杂环境下的最佳接收问题,包括有严重码间干扰作用下的最佳检测及估值均衡联合型自适应同步解调和全数字化高速自适应同步解调问题。

第四章讨论时变传播环境下特别重要的自适应信号处理问题。不仅讨论了频域、时域、整数及分数抽头自适应均衡问题,还花较大篇幅讨论了可对恶劣环境下载波恢复给予有力支持的自适应盲均衡问题,以及确保稳定可靠运行的全数字化自适应均衡问题;进而讨论了各类自适应干扰抵消技术、自适应预失真线性化技术、自适应发信功率控制技术、自适应分集接收技术、自适应无误码倒换技术,以及综合利用各类自适应信号处理技术的高速多载波并联传输技术的结构模型和抗衰落能力评价。

第五章讨论了各类编码调制及其功率/频谱有效利用性能评价,包括网格编码调制(TCM)、分组编码调制(BCM)、恒包络型编码调制、稍许牺牲频谱利用而获得较多功率利用改善的降低调制状态数编码调制、实用型编码调制,以及各类最新型的级联编码调制技术,包括计及所谓 Turbo 型编码调制在内的一般多层并联级联编码调制和串、并联级联编码调制在内;亦讨论了衰落环境及干扰环境下的编码调制信号的最佳设计问题,以及编码调制信号的最佳检测问题。最后,还对多维星座及多维编码调制进行了简要性能描述和综合评价。

第六章重点讨论的以微波及卫星为传输媒体的同步数字系列(SDH)无线传输问题,包括新一代 SDH 高速无线数字传输系统典型示例介绍及各类 SDH 网络拓扑结构和无线 SDH 网络结构及层模型。

第七章的目的是将上述讨论的各种信号与系统的基本理论与未来信息高速公路建设相联系,特别围绕涉及综合业务型个人通信的无缝隙覆盖和多媒体世界这两大主题展开。较详细地讨论了无线 ATM 的重要性和各类 LEO/MEO/GEO(低轨/中轨/静止轨道)窄带、宽带现代卫星系统及多媒体业务发展势头与全数字电视及全数字高清晰度电视(HDTV)的一整套现代高级传输处理技术,包括级联型多分辨率编码调制、具预编码的部分响应编码调制及组合编码调制的正交频分复用(COFDM)传输技术。

第八章为本书最后一章,综合讨论在利用上述信号与系统基本理论与方法基础上的高速无线数字系统工程设计的基本方法与相关示例,其中对 ITU-T/R 传输指标要求的分析讨论已计及最新要求 G. 826,并以作者亲自负责完成的“七五”国家重点科技攻关项目“5GHz 1920 路 16-QAM 大容量数字微波通信系统”为例,介绍了其研制、开发、实现,以及室内实测和野外现场试验评价等有关结果,以理解利用这些信号与系统基本理论进行系统工程设计的重要性与有效性。最后,在结语中进一步展望了这些方法论对未来信息高速公路建设的作用与意义。

阅读与理解本书内容需具备一定的高等数学、概率论、随机过程及特殊函数等基础数学知识和一定的无线通信、卫星通信、信道编码及信号处理等基础专业知识。此外,本书符号与缩写词较多,虽已有“符号表”与“缩写词”可作帮助,但一方面限于篇幅,难以一一开

列,另一方面,由于书中涉及符号太多,表中很可能有不适当的遗漏,对多义表达的一些符号,也只能给出其主要解释,请予谅解。

对本书的完成,笔者深感应该特别对中国科学院科学出版基金的支持,以及科学出版社有关同志的热心帮助与成功合作表示由衷感谢。当然,由于本人水平有限,兼之成稿匆草,不当之处,敬请批评指正。

陈如明

1997年12月于北京

目 录

前 言

第一章 引论	1
1.1 信号、系统及数字传输	1
1.1.1 数字信号	1
1.1.2 数字信号传输系列	7
1.1.3 数字信号传输系统	8
1.2 高速无线数字传输	12
1.2.1 信息高速公路及其关键技术	12
1.2.2 高速无线数字传输在信息高速公路中的地位与作用	13
1.2.3 一般系统模型	14
1.2.4 与未来通信网络构成的基本关系	16
1.2.5 主要技术问题	18
1.2.6 基本发展动向	20
第二章 信号分析	22
2.1 时域波形分析	22
2.2 频域功率谱分析	25
2.2.1 分析方法	25
2.2.2 一些重要公式与结果	26
2.3 通用误码率分析	32
2.3.1 分析计算方法分类	33
2.3.2 热噪声、干扰、失真及设备恶化同时作用下的一般 M-PSK 系统的通用误码率分析	34
2.3.3 热噪声、干扰、失真及设备恶化同时作用下的一般 M-QAM 系统的通用误码率分析	41
2.4 射频干扰分析	51
2.4.1 干扰模型	51
2.4.2 FDM-FM 系统间的干扰	51
2.4.3 模拟或数字系统对数字系统的干扰分析	54
2.4.4 数字系统对模拟系统的干扰分析	55
2.4.5 广义隔离度 A.I. 与 R.I. 方程及其应用	56
2.5 多径传播条件下的中断性能预测分析	62
2.5.1 一般传播模型	62
2.5.2 频率选择性衰落对抗措施及其 Signature 概念	65
2.5.3 频率选择性衰落环境下的中断概率预测	66
2.6 可靠性、可用性分析	73
2.6.1 概念与定义	73

2.6.2	设备可靠性与系统可用性估计	74
第三章	信号设计与信号检测	76
3.1	基本理论问题——评价标准及性能极限	76
3.2	从频域、时域响应观点出发的信号设计	79
3.2.1	Nyquist 三准则、网孔均衡及其特性分配	79
3.2.2	按 Nyquist 准则进行信号设计	84
3.2.3	最佳波形设计	86
3.3	从频域有效利用及抵抗非线性失真观点出发的信号设计	89
3.3.1	连续相位调制(CPM)的一般表达	89
3.3.2	相位网格图及相位圆柱图	95
3.3.3	CPM 信号设计及多种 CPM 型信号性能对比	96
3.4	从信号星座观点出发的信号设计	100
3.4.1	二维星座的最佳分布	100
3.4.2	正规 QAM 星座的优化修正设计	103
3.5	信号检测与最佳接收	105
3.5.1	再论匹配滤波	105
3.5.2	相干载波恢复	106
3.5.3	相干解调及延迟逻辑解调	117
3.5.4	瞬时判决的最佳检测	117
3.5.5	多符号间隔观察的延迟判决检测	118
3.5.6	有严重码间干扰作用下的最佳检测	119
3.5.7	估值均衡联合型自适应同步解调结构模型	120
3.5.8	全数字化高速调制自适应同步解调结构模型	122
第四章	自适应信号处理	127
4.1	频率域及时间域自适应均衡	127
4.1.1	中频自适应均衡	127
4.1.2	基带自适应均衡	130
4.1.3	自适应均衡器结构问题的进一步讨论	135
4.1.4	自适应盲均衡	142
4.1.5	自适应全数字均衡	149
4.2	自适应干扰抵消	153
4.2.1	基带自适应干扰抵消	153
4.2.2	中频自适应干扰抵消	154
4.2.3	雷达干扰抵消	155
4.2.4	自适应干扰抵消器结构问题的进一步讨论	156
4.3	预失真线性化处理	160
4.3.1	不同线性化处理技术的比较	160
4.3.2	自适应预失真线性化	162
4.4	多载波并行传输处理	164
4.4.1	基本结构模型	164
4.4.2	从容许带内线性振幅色散观点理解多载波并行处理的作用	165

4.4.3	从 Signature 曲线观点理解多载波并联处理的作用	166
4.5	自适应发信功率控制	167
4.5.1	适应数模兼容传输场合的 ATPC	167
4.5.2	适应多载波并联传输场合的 ATPC	169
4.6	自适应分集接收	171
4.6.1	结构分类及分集接收性能改善的一些新认识	171
4.6.2	单路振幅、相位同时可调的判决定向最佳合成分集接收	175
4.6.3	双路振幅、相位同时可调的最佳合成分集接收	177
4.7	自适应无误码倒换处理	179
4.7.1	无误码倒换的基本要求及主要指标拟订依据	179
4.7.2	业务中误码检测及自适应时延调节	181
4.7.3	SDH 传输无误码倒换	185
第五章	编码调制及功率/频谱有效利用	186
5.1	调制与编码	186
5.2	编码调制的优越性	186
5.3	网格编码调制(TCM)	187
5.3.1	TCM 概念及其极限性能估计	188
5.3.2	TCM 设计综合的一般途径	191
5.3.3	多维 TCM	194
5.3.4	TCM 的有关弱点及其解决途径	199
5.4	分组编码调制(BCM)	200
5.4.1	最佳集分解 BCM	200
5.4.2	BCM 的性能估计	205
5.5	恒包络型编码调制	207
5.5.1	CPM 型信号的编码调制	208
5.5.2	FSK/PSK 编码调制	211
5.6	降低调制状态数的编码调制	215
5.7	实用型编码调制	216
5.8	级联编码调制	219
5.8.1	串联型级联编码调制	219
5.8.2	并联型级联编码调制	220
5.8.3	串联加并联型级联编码调制	224
5.9	编码调制信号的最佳检测	225
5.9.1	Viterbi 译码	225
5.9.2	TCM 与 Viterbi 检测情况下自适应均衡与高速调制解调的联合结构设计	228
5.10	编码调制信号最佳码构成的进一步讨论	231
5.10.1	衰落环境下编码调制信号的最佳码构成	232
5.10.2	干扰环境下编码调制信号的最佳码构成	235
5.10.3	多维星座及多维编码调制	239
第六章	同步数字系列(SDH)无线传输	249
6.1	为什么要发展 SDH	249

6.2	SDH 的信号结构及传输规范	250
6.3	SDH 对形成新一代高速无线数字传输方式的影响	257
6.4	新一代高速无线数字传输系统	261
6.4.1	涉及 SDH 传输的 ITU 波道间隔容量配置及调制方式选择	261
6.4.2	系统设计构成示例	263
6.5	SDH 无线数字传输网络的构成	268
6.5.1	从传输网络拓扑看 SDH 的优越性	268
6.5.2	各类 SDH 网络拓扑结构	268
6.5.3	无线 SDH 网络	272
第七章	信息高速公路中的无缝隙覆盖连接和多媒体世界	276
7.1	信息高速公路与多媒体综合业务型个人通信	276
7.2	无线 ATM 的重要性	282
7.3	未来 LEO/MEO/GEO 窄带、宽带卫星通信系统	284
7.4	多媒体业务与 HDTV 传输	298
7.4.1	从 MPEG-2 至 MPEG-4	298
7.4.2	数字电视发展及其全球连接应用	299
7.4.3	全数字 HDTV 的高级传输处理技术	304
第八章	高速无线数字系统工程设计方法与示例	323
8.1	ITU-T/R 的假想参考数字连接模型及指标要求问题	323
8.2	基于 G. 821 的质量指标要求	324
8.3	基于 G. 826 建议的质量指标要求	327
8.4	线路信噪比计算方法及程序结构	328
8.5	组合平衰落、选择性衰落、干扰影响的瞬时中断预测的工程计算方法	341
8.6	线路性能指标及可用性指标分配方法	341
8.6.1	基于 G. 821 的高级 HDRP 的性能指标分配方法	341
8.6.2	基于 G. 826 及 SDH 场合的性能指标分配方法及其分析	343
8.6.3	由线路可用性指标要求综合设备可靠性指标要求	348
8.7	瞬时中断预测流程	350
8.8	信噪比分配估计流程	351
8.9	系统设计示例	352
8.9.1	高速数字微波传输系统设计示例	352
8.9.2	高速数字卫星传输系统设计示例	358
结语	.....	364
附表	.....	365
符号表	.....	365
特种数学符号	.....	368
缩略语	.....	369
参考文献	.....	372

第一章 引 论

作为进入信号、系统与高速无线数字传输讨论的引论,首先简要汇总一些与高速无线数字传输分析、讨论密切相关的数字传输信号与系统的基本概念、系统分析基本模型,以及高速无线数字传输与未来信息传送网络结构的关系及基本技术难点和发展方向。

1.1 信号、系统及数字传输

数字无线通信是一种利用无线手段作为传输媒体的数字通信方式,而地面微波通信及卫星通信是两种最典型的高速无线数字传输手段。此时,基带数字信号通过调制、解调及上下变频等一系列处理,被搬移到指定频段的无线传输频带,再经过包括电波传播,以致空中卫星中继转发器处理,实现数字无线型通带传输。然而,通带传输与基带传输往往有密切关系,特别是对高速、高效率无线数字传输应用极有潜力的 QAM(正交调幅)这一线性调制系统,基带传输的很多特点将反映到通带传输中去。而且,传输分析、处理方面,亦往往将通带模型简化为基带模型进行分析与计算,实际系统的基带传输部分亦首先要涉及基带传输的基本原理。为此,我们首先介绍与基带传输密切相关的数字信号的一些基本定义、传输码型、传输系列,以及数字信号传输系统模型等问题。从通带传输设备与基带传输终端的接口关系而言,这也是值得关心的。

1.1.1 数字信号

1. 二电平信号

二电平信号亦称为二进制信号或二状态信号,是数字传输的最简单信号,其取值往往以 0、1(或+1, -1)表征,而且通常以不同的脉冲波形 $g_1(t)$ 及 $g_2(t)$ 表示,如图 1-1 所示,最简单的脉冲波形即为矩形脉冲。

2. 码元、代码、比特、符号

任何信息均可用数字形式表示,这种以有限个数字的组合来表示信息的方法称为编码。而将代表某一信息的数字符号组合称为代码。例如:“10111”即代表我国五单元电报编码表中的“B”字母的代码。

数字传输的传输信号一般可用下述形式表示:

$$\dots a_{-n}, a_{-n+1}, \dots, a_k, \dots, a_{-1}, a_0, a_1, \dots, a_n, \dots$$

通常简记为集合形式 $\{a_k\}$ 。其中 a_k 即为该数字信号序列的基本单元,简称为码元,而 k 则代表该码元的序号(时隙号)。各

个码元可取多种数值,当然,由于 a_k 是实时随机变量,服从一定的统计规律,它取某一值

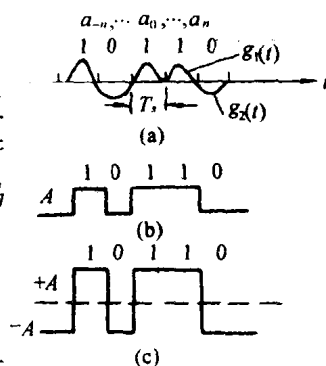


图 1-1 二电平数字信号

2001048

亦具有概率含义。例如,对图 1-1 所示 a_k ,若其值取 1 时概率为 $P_1=P$ 、取 0 时概率为 $P_2=(1-P)$,则 a_k 的统计规律可表示为

$$a_k = \begin{cases} 1, & \text{概率 } P_1 \\ 0, & \text{概率 } P_2 \end{cases} \quad (1-1)$$

当然, a_k 亦可取大于两个的数值,例如对八进制场合, a_k 可取 $0, 1, 2, 3, \dots, 7$, 共 8 个电平值,而且不同的值甚至可以用不同的波形表示,如图 1-1 中所示,最常见的模型是取 $g_1(t)=g_2(t)=g(t)$,则上述二进制序列可表示为

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k g(t - kT_s) \quad (1-2)$$

其中 T_s 为码元间隔。此时 a_k 取值状况可改写为

$$a_k = \begin{cases} 1, & \text{概率 } P_1, \\ -0, & \text{概率 } P_2, \end{cases} \quad \sum_{i=1}^2 P_i = 1 \quad (1-3)$$

类似地,对于 a_k 取 M 种电平值的场合,一般可有

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} a_k g(t - kT_s) \quad (1-4)$$

a_k 的取值状况相应为

$$a_k = \begin{cases} c_1, & \text{概率 } P_1, \\ c_2, & \text{概率 } P_2, \\ \vdots & \vdots \\ c_M, & \text{概率 } P_M, \end{cases} \quad \sum_{i=1}^M P_i = 1 \quad (1-5)$$

对二进制码元而言,每一码元常称为一个比特(bit),这一名称亦与一个二进制码元所含的信息量单位相同。对多进制码元($M>2$),常称每一个码元为符号,从而每一种符号即可按不同概率取 M 种电平值中的某一值。表 1-1 示出 8 种电平符号值的比特码元代码表示。

表 1-1 8 种电平符号值的比特码元代码表示

八电平符号值	3bit 码元表示
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

根据信息论中信息量及熵的基本定义,对一个可取 M 种电平的码元所包含的平均信息量可定义为:

$$I = - \sum_{i=1}^M P_i \log_2(P_i) \quad (1-6)$$

其中 P_i 为第 i 个符号值的发生概率。

最简单的实例为二进制码元,对于取值 1、0 的概率假设均为 0.5 这一对称场合,则有

$$I = - 0.5 \log_2(0.5) - 0.5 \log_2(0.5) = 1(\text{bit}) \quad (1-7)$$

由此,一个 1,0 取值等概(“等概”为“等概率”之简称。下同)的二电平码元所包含的信息量为 1bit。从而“bit”既是该二进制码元的单位,也是该码元所包含的平均信息量的单位。

同理,对一个 $M=2^L$ 电平符号,在其取值满足等概分布情况下所具有的平均信息量(参见表 1-2)即为:

$$I = L(\text{bit}) \quad (1-8)$$

表 1-2 M 电平系统所具有的信息量

M	$I(\text{bit})$
2	1
4	2
8	3
16	4
32	5
64	6
128	7
256	8
1024	10
4028	12

3. 比特速率、符号速率

比特速率即指单位时间内传送的信息量,亦可称为信息速率。常记为 R_b ,其单位为比特/秒(bit/s)。而二进制码元的间隔称为比特间隔,记为 T_b 。类似地,对多进制符号场合,单位时间内传送的符号数称为符号速率,记为 R_s (亦可称为码元速率或键控速率),其单位为波特(Baud),相应于多进制场合的码元间隔称为符号间隔,记为 T_s 。对二进制场合 $T_s = T_b$,即其码元速率在数值上等于符号速率。

比特速率 R_b 、符号速率 R_s 与符号信息量 I 之间存在下述简单关系:

$$R_b = IR_s \quad (1-9)$$

与 R_s 、 R_b 对应的时钟频率常记为 f_s 及 f_b 。

4. 数字信号传输码型

(1) 不归零(NRZ)码

图 1-1(b)用电平 $+A$ 代表“1”码,用电平 0 代表“0”码,这是一种最简单的二进制代码形式。对这种代码,在整个比特间隔中电平不回归至零,这种占满全部比特间隔的代码称为 NRZ 码型,对这种构成不归零码的基本矩形脉冲,其频谱表达式及形状如图 1-2 所示。

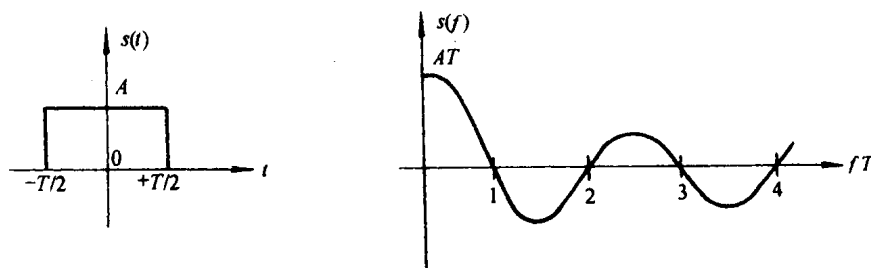


图 1-2 矩形(NRZ)脉冲及其频谱 $\left(S(t) = \begin{cases} A, & t \leq T/2 \\ 0, & t > T/2 \end{cases}; S(f) = AT \frac{\text{Sin}\pi fT}{\pi fT} \right)$

该矩形 NRZ 码型在传输数字信息时有下述明显缺点:首先是频谱拖尾严重,从而需占用很宽频带;其次,直流分量不等于零,不能用交流耦合实现无失真传输。然而,由于矩形或接近矩形形式的 NRZ 代码一般说来形成简单,因而在高速数字信息的基带处理电路之间通常仍是一种常用的直流耦合方式的传输码型。

作为一般基带数字传输(包括无线数字传输与数字终端接口之间的互连传输),对传输码型的设计与选择相当重要。设计与选择基带线路传输码型时应考虑下述有关因素:

- 可能实现业务中的误码监测;
- 直流分量尽可能小,以便能采用交流耦合,缩小基线漂移,有利于判决;
- 减少码流中连 0、连 1 长度,有利于位定时恢复;
- 便于使整个系统建立辅助业务信道;
- 携带信息量尽可能大;
- 抗干扰性强;
- 接收端译码时误码增值要小;
- 结构简单、经济,易于实现。

上述有些要求是相互矛盾的,只能根据其使用要求强调某些方面。以下依然从较简单的一些码型谈起,结合高速无线数字传输接口的需要,介绍少许几种与之密切相关的除 NRZ 以外的其它传输码型。

(2) 归零(RZ)码

一般定义脉冲实际宽度 Δ 与标称码元间隔 T 之比为占空比($\alpha_\Delta = \Delta/T$)。NRZ 码即为 $\alpha_\Delta = 1$ 的码。对 RZ 码则 $\alpha_\Delta < 1$,亦即通常用窄脉冲(例如 $\alpha_\Delta = 0.5$ 的脉冲)代表 1,无脉冲代表 0。对数字传输设备中的位定时信号经常用归零码。 $\alpha_\Delta = 0.5$ 的 RZ 码见图 1-3。

(3) 差分(DNRZ)码

在此以传号(“传号”为“信号传送”之简称,下同)差分码为例(空号差分码可类推),即

用电平变化代表“1”，电平不变代表“0”（参见图 1-4）。在无线数字传输中，为解决所谓相位模糊问题，经常用这种差分码。该差分码 0、1 值的决定可按该图右方所示模 2 相加进行，由 $y_i = x_i \oplus x_{i-1}$ 公式计算，有 $y_1 = 0 \oplus 1 = 1$ ； $y_2 = 1 \oplus 1 = 0$ ； $y_3 = 1 \oplus 0 = 1$ ，等等，亦即有电平改变者对应“+1”，无电平改变者对应“0”。

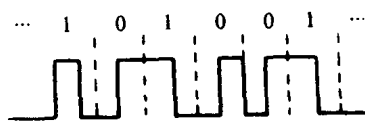


图 1-3 占空比为 0.5 的 RZ 码序列

(4) 编码传号反转(CMI)码

这是高速数字基带传输的一种很常用码型，其定义的编码规则如表 1-3 所示。该码序列波形如图 1-5 所示。

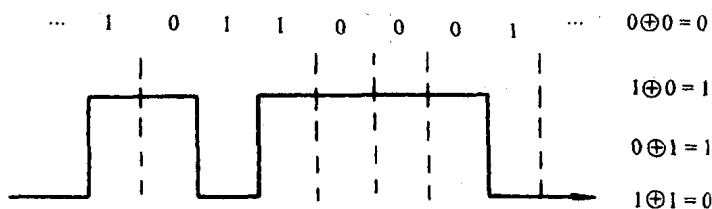


图 1-4 (传号)差分码序列

表 1-3 CMI 码的编码规则

原码	CMI 码
0	0 1
1	00 或 11 交替出现



图 1-5 CMI 码序列

由图 1-5 可见，对原码为二进制 0 的场合，变为间隔中点具正转换的 0、1 码。对原码为 2 进 1 场合，若前续最后一个 1 电平为 A_1 则变为正转换的全占空码；若前续最后一个 2 进 1 电平已为 A_2 ，则变为负转换全占空码。上述编码电平跃变情况已由图 1-5 中箭头符号表示清楚；按 ITU-T G.

703 建议，这种码型即用于 140Mbit/s 及 156Mbit/s 等高速数字无线传输的数字系列的接口连接传输。

(5) 传号交替翻转(AMI)码

亦称为三进制码，即取 0、±1 三种值，+1 与 -1 前后交替，以确保其直流分量为 0，如图 1-6 所示。其严重缺陷为可能出现过长的连 0（即多个连续的 0，下同）。这时，为避免过长连 0 对位定时恢复的影响，可加扰码处理。

(6) 三阶高密度双极(HDB₃)码

HDB₃ 码是在 AMI 码基础上改进而成。当没有三个以上连 0 时，HDB₃ 码与 AMI 码相同；当出现 4 个以上连 0 时，人为的将第 4 个 0 变为 1 码，从而将长连 0 切割成不超过 3 个连 0 的小段，其极性安排可参阅图 1-7 中 AMI 及 HDB₃ 码波形对比，相应编码规则如

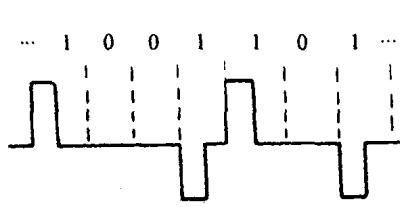


图 1-6 AMI 码序列

下:

(a) 遇到 4 个连 0 场合, 将第 4 个 0 编为正或负极性, 其极性必须与前面的最邻近的传号极性相同。即如 V_1 与 a_1 均为正, V_3 与 a_{12} 均为正, V_2 与 B_2 均为负, 亦即此第 4 个连 0 与前面的传号为同极性。破坏了 +、- 极性交替原则, 称为破坏点, 记为 V_+ 或 V_- , 下脚标记

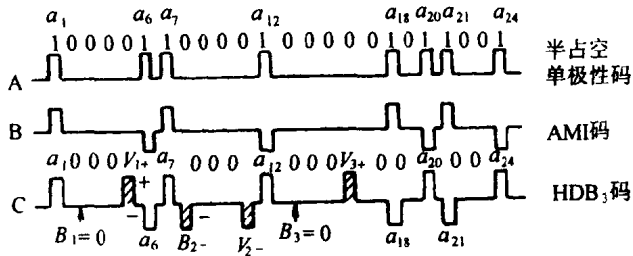


图 1-7 HDB₃ 码序列

“+”即标明为+极性。

(b) 两个破坏点间的原始传号码元个数为奇数时, 4 连 0 串中第一个连 0 仍取为 0, 如 B_3 (对应两破坏点为 V_{2-} 及 V_{3+})。

(c) 两个破坏点间的原始传号个数为偶数时, 则必须将此 4 连 0 串中第一个变为传号码 (如 B_2), 此传号的极性以与前一个传号极性相反为原则 (如 a_7 与 B_{2-})。从而可保证 V_2 前的传号与 V_2 同极性, 而所加 B_2 又与前一个 a_7 呈极性交替, 此 B_+ 、 B_- 为非破坏点, 称为 B 取代码。

(d) 译码时破坏点的识别可由识别连续两个同极性码的后一个, 确定其为 V_+ 或 V_- , 再推前两个连 0 前边的同极性传号码 B_+ 或 B_- , 则应令其为 0, 即可还原。

(e) 相邻两个 V 定为 V_+ 、 V_- 极性交替形式。从而一般 4 连 0 取代方式 (取代节) 按上述规则变为 $\{0, 0, 0, V_{\pm}\}$ 或 $\{B_{\pm}, 0, 0, V_{\pm}\}$, 使之不超过 3 个连 0。

中、小容量的无线数字传输场合, 常用此类 AMI 及 HDB₃ 码作为数字基带接口码型。

(7) 多电平码

能进一步提高频带利用能力的基带传输码型为多电平码, 部分响应码即为常见的例子。其构成方法可用抽头延时线结构的横向滤波器来实现, 如图 1-8 所示。

具有代表性的五类部分响应码时间域波形及形成此码波形的相应系统频率域传输特性 $H(f)$ 如表 1-4 所示。可见这种编码后的时域响应波形在指定单元符号间隔内不能全部完成, 因此称为部分响应码。

第一类部分响应码取 $K_1=1$ 、 $K_2=1$, 输入二电平输出三电平, 一般输入 L 电平输出 $2L-1$ 电平, 在数字微波传输中, 这类部分响应编码对提高频谱利用效率较为有用, 对二电平输入时所得的输出码常称为双二进制, 对 $n=3$ 的第四类部分响应码, 其直流分量为零, 可视为“准带通信号”, 其频带中心为 $f_s/2$, 常称为修正双二进制, 对部分响应码的应用在相关章节中再作较详细的论述。

与上述有关码型类似的其它一些传输线路及接口码型, 有如双相码 (Bi- ϕ)、差分双相

码(DBi- ϕ)、差分横式反转码(DMI)、H-1码、延迟调制码(DM)、mBnB码、PSI码、BnZS码、HB3T码及2B2Q码等等,限于篇幅,在此不再赘述,有兴趣的读者可参阅文献[2,9]等。至于多位多电平基带数字信号传输码型的一般构成问题,已超出本书论述范围。当然这对节约频带进行传输通常相当有效,尽管其构成更为复杂。

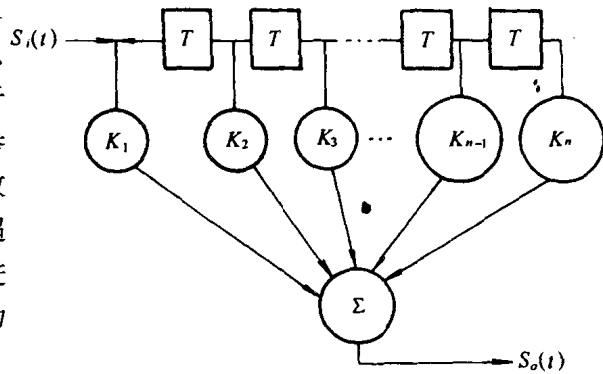


图 1-8 部分响应码形成

表 1-4 几种典型的的部分响应码的波形及传输特性

类别	$K_1 K_2 K_3 K_4 K_5$	$h(t)$	$H(f)$	收信电平数 (二电平输入)
0	1			2
1	1 1			3
2	1 2 1			5
3	2 1 -1			5
4	1 0 -1			3
5	-1 0 2 0 -1			5

1.1.2 数字信号传输系列

以数字传输一次群为基础,用异步复接方式产生各高次群的数字系列常称为准同步数字系列(PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy)。在五次群以下,PDH数字传输系列已标准化,五次群的标准化工作未彻底完成便转向了新一代的性能更优越的同步数字系列SDH(Synchronous Digital Hierarchy)。北美、日本、欧洲的PDH系列如表1-5所示,括号内的数值为相应等效标准PCM(脉冲编码调制)话数容量数。我国PDH数字传输系列与欧洲系列相一致。

PDH系列的最主要缺点是存在北美、日本、欧洲三种不同系列制式差别,这使得用户网络接口(UNI)难以标准化,从而难以支持宽带综合业务数字网(B-ISDN),而且高于五次群以上的PDH系列的异步复接实施在技术上亦愈来愈困难。从而导致期望将上述三种PDH制式融合在一起,并有利于高次群传输系列按同步方式和直接字节复接形式产生此同步数字系列。它可与全球UNI接口协调,并利用世界统一的网络节点接口(NNI)规范,除可支持现有同步转移模式(STM)外,还可支持未来B-ISDN信息交换、递送的异步转移