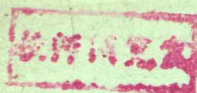


81.6.15



672127

数字微波通信原理



南京邮电学院科技情报室

TIV 925
911

672127



数字微波通信原理

顾金根 编著

刘 沈 酆广增 邵钟浩 审校



90033022

南京邮电学院科技情报室

1990 年

内 容 提 要

近年来，数字微波通信得到了较快的发展，本书是为了适应这种形势的需要而编著的。

本书重点介绍了 PCM 通信系统的基本原理，数字微波通信系统的调制、解调原理，热噪声、码间干扰、频率干扰等质量恶化因素对系统指标的影响，并介绍了微波线路的路由选择及天线高度计算，数字微波线路系统指标的估算方法。

本书深入浅出，通俗易懂，图文并茂，又列举了若干工程计算实例。

本书可作为培训数字微波维护、管理人员的教材，也可供数字通信技术人员参阅。

序 言

80年代以来,我国的数字通信技术得到了较快的发展,增加了程控交换机、数字微波、光纤、数字卫星通信以及数字电视电话会议等新技术和新设备。

本书作者有见于此,在数字微波通信技术方面认真地联系实际,结合国外有关资料下了一番功夫,搜集整理了不少实用的资料,编著了《数字微波通信原理》一书。

该书比较深入浅出,通俗易懂,力求在普及新技术的基础上为提高新技术水平而添砖加瓦,可供维护、管理人员参考;可供由模拟通信转向数字通信工作的工程技术人员参阅;可作为数字通信的教材。这类书籍现在远不是多了,恰恰相反,是太少了。

希望此书对发展数字通信技术和对读者有所帮助,这就是我和作者的一点愿望。



1989年6月于北京

前 言

在改革、开放的形势下，近年来，程控交换、光纤通信、数字微波、卫星通信等新设备，加速了邮电通信现代化的建设步伐。其中数字微波通信技术得到了较快的发展。

为了适应这种形势，现有的维护、管理人员以及大量的新增人员亟需提高数字微波通信技术方面的基本知识，本书就是为了这种需要而撰写的。

全书约 15 万字，分 5 章。介绍了通信系统的构成，PCM 通信的基本原理；从理论上分析了数字微波的调制、解调原理，热噪声、码间干扰、频率干扰等质量恶化因素对系统指标的影响；微波线路的路由选择及天线高度计算原理，数字微波线路系统质量指标的估算方法等。希望通过这些内容，能对数字微波通信系统有一个基本的了解，对微波线路工程设计也有初步的了解。

本书除了适用于数字微波通信维护、管理人员参考外，其中第 1、2、3 章同样适用于从事光纤通信和其它数字通信工作人员参考，而第 1、4、5 章也适用于从事短程微波通信方面的设计、施工人员阅读。

本书承蒙邮电部电信总局主任高工刘沈同志主审并写了序言；南京邮电学院教授鄧广增、副教授邵钟浩对本书进行了审校；又得到了有关单位的关心和帮助，在此一并表示由衷的感谢。

限于水平，书中错误和不当之处，恳请读者批评指正。

作 者

1989 年 1 月 于南京

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 通信系统的构成	1
1.1.1 通信系统的模型	1
1.1.2 通信系统的分类	2
1.1.3 模拟通信系统和数字通信系统	3
1.2 脉冲通信系统和数字通信系统	4
1.2.1 脉冲通信系统	4
1.2.2 数字通信系统	6
1.2.3 数字通信系统的特点	8
1.3 多路复用技术	9
1.3.1 频分多路复用	10
1.3.2 时分多路复用	11
1.4 脉码调制通信的基本原理	13
1.4.1 实现脉码调制通信的基本过程	13
1.4.2 取样	15
1.4.3 量化	16
1.4.4 编码和译码	20
1.4.5 PCM 信号的基带传输和载波传输	22
1.4.6 标准数字传输速率和 PCM 话路 容量	23
第 2 章 数字微波传输系统	25
2.1 数字微波传输系统的组成	25

2.1.1	系统的组成	25
2.1.2	数字微波的中继方式	26
2.1.3	系统的两个重要指标: R_b 和 P_e	28
2.2	数字信号的调制方式	30
2.2.1	三种调制方式	31
2.2.2	相移键控方式	34
2.3	二相 DPSK 的调制和解调原理	41
2.3.1	调制原理	41
2.3.2	解调原理 (相位检波)	44
2.3.3	判决电路原理	50
2.4	四相 PSK 系统的调制和解调	52
2.4.1	调制原理	52
2.4.2	相干解调	57
2.4.3	载波恢复	61
2.5	四相 DPSK 系统	69
2.5.1	系统方框图	69
2.5.2	差分解 (译) 码	69
2.5.3	逻辑运算 (码处理) 系统	73
2.6	十六进制正交调幅方式	74
2.7	CCIR 推荐的系统设计频段配置	78
第 3 章	数字微波系统的传输性能	82
3.1	热噪声对误码率的影响	82
3.2	常用调制方式的理论误码性能	92
3.2.1	四相 PSK 误码函数 P_e 的推导	92
3.2.2	几种调制方式的理论误码特性曲线 ...	95
3.3	码间干扰对误码率的影响	99
3.4	干扰对误码率的影响	106

3.4.1	数字微波系统间的干扰	106
3.4.2	来自其它无线电系统的干扰	107
3.4.3	干扰对误码率影响的估算	109
3.5	设备不完善性对误码率的影响	109
3.6	传输质量的标准	110
3.6.1	标准的制订	111
3.6.2	指标的分配	111
3.7	传输指标的测量	115
3.7.1	误码率的测量	115
3.7.2	眼图的观察	119
第4章 微波线路的路由选择及天线高度计算		
	原理	122
4.1	微波在自由空间中的传播	123
4.2	微波在大气中的传播	125
4.2.1	等效地球半径系数 K	126
4.2.2	K 值在工程设计中的意义	127
4.3	微波传播受地形的影响	131
4.3.1	直视距离	131
4.3.2	地球凸起高度	133
4.3.3	费涅耳区的概念及其运用	135
4.3.4	路径余隙	137
4.3.5	地面反射	140
4.3.6	电波在传播路径上反射点的计算	148
4.3.7	地面绕射	154
4.4	衰落	161
4.4.1	衰落及其分类	161
4.4.2	衰落的统计特性	164

4.5 路由选择	166
4.5.1 技术要求	166
4.5.2 经济要求	167
4.6 天线高度的计算	168
第5章 数字微波线路系统性能指标的估算	
方法	175
5.1 数字微波电路指标的规定	175
5.1.1 高级数字微波通道的性能指标	176
5.1.2 中级数字微波通道的性能指标	176
5.1.3 用户级数字微波通道的性能指标	177
5.2 数字微波误码率恶化的几个部分	180
5.3 系统性能指标的估算方法	181
5.3.1 平衰落对传播的影响	182
5.3.2 频率选择性衰落对传播的影响	183
5.3.3 干扰噪声产生的影响	190
5.3.4 衰落时综合瞬断率的计算	190
5.4 分集接收在对抗频率选择性衰落中 的作用	191
5.4.1 分集接收及其应用范围	191
5.4.2 分集接收改善系数的讨论	192
5.4.3 空间分集的正确选用	194
5.4.4 一组国外的频率分集系统 和空间分集系统的实验曲线	197
5.5 电路指标的分配	202
5.6 误码率的实际测试	204
参考资料	208

第 1 章 概述

本章将讨论通信系统的构成、数字通信系统的特点以及脉码调制通信的基本原理。在此基础上，以下几章再讨论数字微波中继通信中的几个有关问题。

1.1 通信系统的构成

通信的实质就是文字、语言、图像等信号的传递和交换。为了实现这些传递和交换，人们需要组成各种通信系统。

1.1.1 通信系统的基本模型

实际通信系统的形式是多种多样的，但是它们的基本模型相近，都是由五个基本部分所组成：信源、变换器、信道、反变换器和信宿。此外，不可避免地还会引入干扰源。如图 1.1 所示。

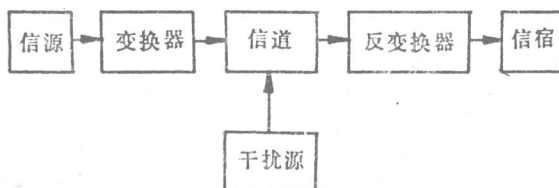


图 1.1 通信系统的基本模型

信源中包含的信息是我们所要传送的对象，信道是我们

传送信息的媒介和通路，变换器的功能在于把来自信源的信息变换成适合于在信道上传输的电信号，反变换器的功能是将来自信道的电信号恢复成原来的信息，然后再送到接收端——信宿，达到通信的目的。

此外，在实际系统中，不可避免地还会引入干扰。信源的信息中可能混有干扰，变换器、反变换器本身也会引入干扰，信道中也会引入干扰，还有设备或信道中引入的畸变或失真通常也作为干扰来处理。为分析方便起见，我们常把这些干扰折合成信道干扰，用干扰源来表示，如图 1.1 所示。干扰源的存在会影响信号的传输质量，因此，在通信系统中希望它尽量小些。

1.1.2 通信系统的分类

通信系统的分类有多种方法，例如，可按信源不同或信道不同进行分类。

信源不同的通信系统可分为电报系统、电话系统、传真系统及电视系统等等。电报系统是用来传送离散信息的，例如文字和数字就是离散信息。而电话系统、传真系统及电视系统是用来传送连续信息的。例如，声音和图像就属于连续信息。

关于离散信息和连续信息的概念在以后几节还要继续讨论。

信道不同的通信系统可分为有线系统和无线系统两种。有线信道系统利用导线组成的线路来作为传输信号的信道，常用的有线信道有架空明线、对称电缆、同轴电缆、波道管等，光导纤维也属此列。无线信道系统则是利用自由空间作为传播信号的信道。随着发射机所用的频率不同，无线信道

可分为长波信道（频率较低、波长较长）、中波信道、短波信道、超短波信道和微波信道（频率较高、波长较短）。卫星通信为微波通信的特例。

在无线信道中，常用的是短波信道和微波信道。

按信道上传输的信号是连续的还是离散的来区分，通信系统还可分为模拟通信系统和数字通信系统两类，关于这点在下小节作进一步讨论。

附带说明，与各种通信系统相对应的传输系统也可以按相似方法分类和命名。

1.1.3 模拟通信系统和数字通信系统

如 1.1.2 节所述，为了进行通信，通常把话音、图像、文字、数据等原始信息转换成适合传输的电信号，使电信号的某一参数随着原始信息变化。这种带有信息的电信号，按其参数的取值形式可分为模拟信号和数字信号。模拟信号的某一参数直接与信息变化相对应，而且连续取值。例如，用电话机作变换器的输出信号，其幅度与话音的强弱相对应，而且其幅度值是连续变化的，所以属于模拟信号。而对数字信号而言，只取其某一参数的有限个离散值来表示原始信息的变化。例如，电传机输出的脉冲信号，其幅度只有表示空号的“0”和表示传号的“A”两个电流值，所以属于数字信号。一般来说，模拟信号随时间连续变化，而数字信号在时间上是离散的。

由此可见，按照传输信号参数取值形式，通信系统又可分为模拟通信系统和数字通信系统两个类型。前者传输模拟信号，后者传输数字信号。

应该指出，模拟通信系统和数字通信系统的分类并不是

绝对的。在模拟通信系统中，有时也可以传输数字信号，因为数字信号通常取脉冲序列的形式，而脉冲序列也可以看成连续变化的波形之一。但是，数字通信系统则只能传输离散值。所以，在数字通信系统中，不能直接传输模拟信号。要想在数字通信系统中传输模拟信号，就必须利用模/数转换(A/D转换)设备，先把模拟信号转换为数字信号后再在数字系统中进行传输。下面要介绍的脉冲编码调制(PCM)就是实现这种模/数转换的一种方法，此外，增量调制(ΔM)也是实现这种转换的一种方法。当然还有其他方法。

1.2 脉冲通信系统和数字通信系统

脉冲通信系统和数字通信系统都采用脉冲调制，前者采用模拟脉冲调制，后者采用数字脉冲调制。

1.2.1 脉冲通信系统

脉冲通信系统采用模拟脉冲调制方式，它将连续的模拟信号转换成参数连续变化的脉冲信号，然后，在信道上传输。

常用的模拟脉冲调制方式有：脉幅调制(PAM)、脉宽调制(PWM)、脉位调制(PPM)及脉频调制(PFM)等。

图 1.2 (a) 表示由电话信源的信息转换成的音频输入电信号(模拟信号，但不作为传输的信号)。

图 1.2 (b) 表示经过脉幅调制后的信号波形。由图可

见，脉幅调制是用输入信号控制一系列等间隔、等脉宽的脉冲的幅度，使脉冲的幅度随输入信号的变化而变化，从而获得一系列幅度变化的脉冲作为传输信号，实现这个信号转换的过程通常称为脉幅调制过程。

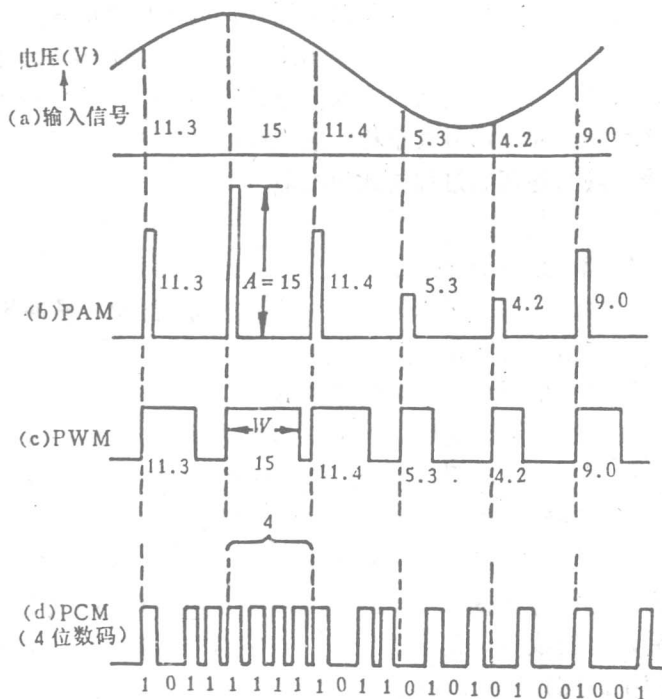


图 1.2 几种脉冲调制后的波形

与此相似，脉宽调制、脉位调制及脉频调制是分别用输入信号调制脉冲序列的脉冲宽度、相位或频率，从而获得包含信息的脉冲序列。

图 1.2 (c) 表示脉宽调制 (PWM) 方式的信号波形。

显然，在脉冲通信系统中，无论是采用脉幅、脉宽、脉位还是采用脉频调制方式，其传输信号随时间的变化是不连续的。但是，由于受到模拟信号的调制，脉冲的幅度、宽度、相位或频率的值，随着模拟信号的大小而连续变化，因此，仍属于模拟信号，这种信号通常称为半离散信号。

实现上述各种调制的过程比较简便。以脉幅调制为例，只须按适当的时间间隔对输入信号进行取样，使脉冲幅度与取样瞬间的模拟信号大小相对应，即可得到脉幅调制方式的信号。其它各调制过程与此相类似。

1.2.2 数字通信系统

数字通信系统采用数字脉冲调制方式，这时，脉冲的参数随模拟信号的变化离散化。

数字通信系统也可采用多种不同的调制方式，如脉数调制 (PNM)、脉码调制 (PCM) 及增量调制 (ΔM) 等。其中脉码调制方式应用得尤为广泛。这些调制方式的信号特点和调制过程较为相似，本节以脉码调制方式为例作一讨论。

脉码调制是在脉幅调制的基础上，对信号进一步在幅值上离散化，即先使 PAM 脉冲的幅度变换为有限个离散值，然后，再变成包含信息的二进制数字信号，即 PCM 脉冲，如图 1.2 (d) 所示。由于 PCM 脉冲在时间上和幅度上都是离散的，所以属于数字信号，这种信号也称为离散信号。

脉码调制过程要比脉幅、脉宽等调制过程复杂。首先也要对输入信号进行取样，获得 PAM 脉冲。其次，对 PAM 脉冲的幅度以四舍五入的原则将脉冲的幅度转换为有限个数的离散值，这一步骤称为量化。然后，把具有离散幅值的脉冲用二进制数字脉冲代表，从而得到 PCM 脉冲，这一过程

称为脉冲编码。实现从模拟信号到 PCM 信号变换的过程称为脉冲编码调制。关于 PCM 系统的调制原理将在 1.4 节中进一步讨论。

表 1.1 各种脉冲调制方式的比较

名 称		调 制 过 程				噪声容限
		取 样	量 化	编 码	调制脉冲参数	
模拟 脉冲 调制	脉幅调制 (PAM)	✓	×	×	幅 度	较低
	脉宽调制 (PWM)	✓	×	×	宽 度	
	脉位调制 (PPM)	✓	×	×	相 位	
	脉频调制 (PFM)	×	×	×	频 率	
数字 脉冲 调制	脉数调制 (PNM)	✓	✓	✓	——	较高
	脉码调制 (PCM)	✓	✓	✓	——	
	增量调制 (ΔM)	✓	✓	✓	——	

注：表中“✓”表示调制过程中采用的步骤；

“×”表示调制过程中不采用的步骤

表 1.1 中列出了模拟脉冲通信系统和数字脉冲通信系统中各种调制过程的比较。由表中可以看出，数字脉冲通信系统中的各种调制除了取样这一步外，需要采用量化、编码等步骤。而在模拟脉冲通信系统的各种调制过程中，除量化外，不需采用其他步骤。

需要说明的是，上面我们都以输入信号为电话信源的模

拟信号为例讨论了各种调制过程，而在实际的数字通信系统中，输入信号可以是电话、传真或电视的模拟信号，也可以是电报、计算机输出的数字信号。

1.2.3 数字通信系统的特点

数字通信系统传输离散信号，因此，有许多特点与模拟通信系统不同。本节仍以 PCM 通信方式为例，讨论数字通信系统的主要特点。

PCM 通信系统与模拟通信系统相比，受传输途径上的传输失真、干扰和噪声的影响较小，这是由于 PCM 通信系统传输的是数字脉冲信号。所以，在接收端，只要正确判别脉冲的“有”或“无”，而对失真、干扰和噪声，只要求它们不要大得足以影响判别即可。可见，这种通信系统对抵抗外来的失真、干扰和噪声的能力比较强，这就意味着收、发信机可以做得比较简单一些。而在模拟通信系统中，要求不失真地传输连续变化的信号波形，必须从技术上对上述一些制约因素有较高要求。

PCM 通信系统能避免长距离传输过程中的失真、噪声和干扰的积累，因此，非常适合于长距离通信。在模拟通信系统中，信号在传输过程中一旦受到噪声、失真和干扰等外界影响，就难于恢复出传输前的原有信号。结果是，一站一站往下传输，直到终端，传输距离越长，外界影响的积累越多，被传输的信号波形变得越坏。与此不同的 PCM 通信系统，采用了再生中继方式传输信号，即在沿信号的传输路径上设立若干个再生中继站，在每个再生中继站对接收信号进行判别，使信号得到整形（再生）、放大，然后再传送下去。因此，对到达每个再生中继站的信号来说，只要信号受