



[日] 猪濑 博 编

冯丙昌 窦瑞华 译

码通信的基础与新技术

脉码通信的基础与新技术

[日]猪 濑 博 编

冯丙昌 樊瑞华 译

人民邮电出版社

PCM通信の基礎と新技術

猪瀬 博/編

1968年6月初版

株式会社産報発行

内 容 提 要

本书讲述脉码通信的基础和新技术。基础理论方面有端机编码理论、传输理论、线路编码理论和同步方式等；新技术方面有端机、中继、电视传输、PCM交换、宇宙飞行器的遥测和非同步多路通信方式等。本书可供从事数字通信的科学技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

脉码通信的基础与新技术

〔日〕猪瀬 博 编

冯丙昌 窦瑞华 译

责任编辑：董 乐 前

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1983年2月 第一版

印张：14 20.32页数：234 1983年2月河北第一次印刷

字数：332千字 印数：1—6,000册

统一书号：15045·总2612—无6195

定价：1.90元

序

数字技术的飞速进步，使信息传输和信息处理的形式发生了巨大的变化，这就是数字通信方式和数字计算机的实用化。数字通信技术的历史，尽管可以追溯到十九世纪的电信技术，但是近年来以PCM (Pulse Code Modulation, 脉码调制) 为代表的编码调制技术以及数据通信的实用化却使它开辟了新局面。

利用PCM这种新的数字通信技术，可以实现抗干扰性强的通信电路，可以实现交换局之间的中继线的多路化，而且已经可以实现三亿五千万公里的远距离图象无线传输；另外，利用PCM这种新的数字通信技术，还可以发展传输和交换一体化的综合通信方式以及数据传输和数据处理一体化的综合信息处理。

数字通信技术乃是由集成电路等半导体技术的飞速发展和社会经济活动的广泛需要所支持的。可以预言，它作为包含有声音、图象、数据等各种信息的大规模信息传输处理系统，今后将越发加快其发展步伐。

在这种情况下，对数字通信技术的关心正在与日俱增。特别是对以PCM为中心的编码调制技术的关心正在与日俱增。因此，日本工业经济联盟在科学技术厅的帮助下，计划设立PCM讲习会，并委托笔者提出规划。为此，笔者与这方面的第一流著名学者宫川洋、藤崎博也、秋山稔、国野楠太郎、大桥康隆、金子尚志、安田靖彦、高木幹雄诸氏相商，拟改变以往类似讲习会的方式，决

定把以PCM为中心的**数字通信技术的基础理论和最新技术**作为重点加以解说；并且，完成了大约250页的讲义，于是，讲习会于1966年2月开始。听众之多出乎意外，而且讲习会结束之后要求购买讲义的呼声颇高。

于是，打算发行在此讲义基础上更加完善起来的单行本。为此，开了几次编辑会议，对内容再度研讨，结果，在基础理论方面新增了**线路编码理论**一章，应用方面新增了**非同步多路通信方式**一章。各章由讲演者分头执笔，大约于1967年夏脱稿。脱稿后由执笔者相互传阅并对内容作了调整。这样，逐渐一个个地达到出版的程度，这是全体执笔者的大喜事。

以上即本书成书之原委，谨以之代序。

猪濑 博 1968年2月

译 序

本书的取材是相当丰富的。基础理论方面有编码理论，传输理论，线路编码理论和同步方式等；新技术应用方面有端机，中继，电视传输，交换，宇宙飞行器的遥测和非同步多路通信方式等。基本上抓住了理论和应用的要点并结合当时的最新技术作了比较深入而广泛的叙述。每章末还列举了大量参考资料作为深入研究的引荐。本书一问世，便受到热烈欢迎，至1974年的短短五年期间就重版四次。

我们在翻译过程中对原书中的某些错误作了些修正，必要时加了注解。并对有些问题作了些补述。

本书第1、2、5、9章由冯丙昌译，其余七章由窦瑞华译。

承刘宜伦教授审阅译稿，谨致以衷心感谢。

译者 1978年10月于山城

目 录

第一章 绪论	猪濑 博 (1)
1.1 PCM的历史	(1)
1.1.1 通信方式的发展	(1)
1.1.2 PCM的诞生	(3)
1.1.3 PCM的实用化	(4)
1.2 PCM的原理	(6)
1.2.1 抽样	(8)
1.2.2 量化	(9)
1.2.3 编码	(11)
1.2.4 多路化和帧同步	(15)
1.2.5 传输与中继	(17)
1.3 PCM技术的动向	(18)
1.3.1 PCM传输	(18)
1.3.2 PCM综合通信系统	(21)
参考文献	(25)
第二章 编码	藤崎博也 (27)
2.1 PCM的编码过程	(27)
2.2 抽样	(28)
2.2.1 抽样定理及其推广	(28)
2.2.2 与抽样有关的各种误差	(30)
2.3 抽样	(34)
2.3.1 均匀量化和量化噪声	(35)
2.3.2 信号的统计性质和非线性量化	(38)

2.3.3 非线性量化特性的比较评价	(42)
2.4 编码	(46)
2.4.1 二进制的种类和相互转换	(47)
2.4.2 误码及其影响	(49)
2.5 预测编码	(51)
2.5.1 预测编码的概念	(51)
2.5.2 增量调制方式 (ΔM 方式) 及其改进	(52)
2.5.3 增量PCM (ΔPCM) 方式	(55)
参考文献	(57)
第三章 传输理论	宫川 洋 (59)
3.1 数字信息的传输码型	(59)
3.1.1 基带方式	(60)
3.1.2 载波方式	(63)
3.2 数字信息的频谱	(63)
3.2.1 单个波形的振幅谱	(64)
3.2.2 符号间干扰和无失真传输条件	(66)
3.2.3 基带方式信息序列的功率谱	(68)
3.2.4 载波方式信息序列的功率谱	(78)
3.3 数字信息的检测	(81)
3.3.1 单个脉冲的最佳检测	(82)
3.3.2 脉冲序列的最佳检测	(85)
3.3.3 检测误差率	(90)
3.4 PCM多路传输	(95)
3.4.1 时分多路PCM传输方式	(96)
3.4.2 频分多路PCM传输方式	(100)
参考文献	(103)
第四章 线路编码理论	宫川 洋 (106)
4.1 传输码型应具备的性质	(106)

4.2	准三元码	(110)
4.2.1	双流归零码	(111)
4.2.2	差动二元三值码	(111)
4.2.3	成对选择三元码 (<i>PST</i> 码)	(114)
4.2.4	准三元平衡码	(119)
4.2.5	计数- n 双极码和保留- n 双极码	(123)
4.3	多电平码	(124)
4.3.1	重二元码	(125)
4.3.2	重双极码	(129)
4.3.3	多电平平衡码	(130)
4.3.4	各种多电平码之间的关系	(131)
4.4	正交码	(133)
4.4.1	最佳检测器与误差率	(134)
4.4.2	正交码的构成	(137)
4.4.3	正交码的噪声特性	(141)
4.4.4	正交编码的收益	(142)
4.5	码的可解性和自同步性	(143)
4.5.1	码的可解性	(144)
4.5.2	紧致码	(146)
4.5.3	自同步码	(147)
	参考文献	(152)
第五章	终端方式	大橋康隆 (155)
5.1	<i>PCM</i> 方式及其端机的构成	(155)
5.1.1	24路 <i>PCM</i> 端机	(155)
5.1.2	高速 <i>PCM</i> 端机	(159)
5.1.3	超高速 <i>PCM</i> 端机	(164)
5.2	抽样与内插滤波	(167)
5.2.1	抽样电路和保持电路	(167)

5.2.2	话路分离与内插滤波电路	(170)
5.2.3	联络信号电路	(171)
5.3	编码器和解码器	(173)
5.3.1	线性编码器	(173)
5.3.2	非线性编码器	(182)
5.3.3	解码器	(186)
5.4	控制脉冲与同步	(189)
5.4.1	控制脉冲发生电路	(189)
5.4.2	帧同步电路	(191)
	参考文献	(193)
第六章	PCM中继方式	金子尚志 (196)
6.1	适用范围和传输媒介	(196)
6.2	再生中继的功能	(198)
6.2.1	码型	(199)
6.2.2	均衡·放大	(201)
6.2.3	识别再生	(208)
6.2.4	定时	(212)
6.3	多次中继特性	(218)
6.3.1	误差率的相加	(218)
6.3.2	抖动的相加	(218)
6.4	PCM中继方式的例子	(226)
6.4.1	有线传输PCM的例子	(226)
6.4.2	无线传输PCM的例子	(230)
6.4.3	超高速传输PCM方式的例子	(232)
	参考文献	(237)
第七章	同步方式	高木幹雄 (238)
7.1	比特同步	(238)
7.2	字同步	(240)

7.2.1	利用数字的统计特性的字同步方式	(240)
7.2.2	利用自同步码的字同步	(242)
7.3	帧同步	(244)
7.3.1	数字同步方式	(245)
7.3.2	利用帧相关的同步方式	(255)
7.3.3	PCM遥测中的同步方式	(265)
7.3.4	关于同步图案	(274)
7.3.5	采用最佳检测法的同步方式	(280)
7.4	系统同步	(286)
7.4.1	从属同步方式	(286)
7.4.2	相互同步方式	(287)
7.4.3	独立同步方式	(291)
	参考文献	(294)
第八章	电视传输天野橘太郎	(298)
8.1	电视信号的编码	(299)
8.1.1	电视信号的性质	(299)
8.1.2	PCM后的图象质量	(301)
8.1.3	ΔM 方式	(305)
8.1.4	DPCM方式	(308)
8.1.5	高速编码器	(311)
8.2	电视信号的频带压缩	(314)
8.2.1	频带压缩的目的和问题	(314)
8.2.2	各种频带压缩方式	(314)
8.2.3	利用视觉心理的方式	(315)
8.2.4	利用图象统计性质的方式	(318)
	参考文献	(322)
第九章	PCM交换方式秋山 稔	(324)
9.1	电子交换方式	(324)

9.1.1	电子交换机的构成	(324)
9.1.2	存储程序控制	(327)
9.1.3	PCM交换的原理	(332)
9.1.4	电子交换方式的分类与电子化的目的	(337)
9.2	PCM接续网	(341)
9.2.1	公共通道接续方式	(341)
9.2.2	并列PCM接续方式	(343)
9.2.3	脉冲相位变换方式	(347)
9.2.4	再配置接续方式	(351)
9.2.5	通话接续电路网的构成	(354)
9.3	控制方式	(361)
9.3.1	PCM交换的控制	(361)
9.3.2	ESSEX交换机	(362)
9.3.3	DEX—T 1 号交换机	(369)
9.4	综合通信系统的构成	(374)
9.4.1	综合通信系统中的PCM交换	(374)
9.4.2	PCM综合交换电路网	(377)
9.4.3	PCM交换系统的同步	(380)
	参考文献	(385)

第十章 宇宙飞行器的PCM遥测 安田靖彦 (388)

10.1	PCM遥测的特征和各种方式	(388)
10.1.1	PCM遥测的优点	(388)
10.1.2	作为传输线路的宇宙空间的性质	(389)
10.1.3	PCM遥测方式的分类	(392)
10.2	PCM遥测系统的构成	(394)
10.2.1	发送端的构成	(394)
10.2.2	接收端的构成	(395)
10.3	PCM遥测信号的构造和码型	(396)

10.3.1	字和帧的构成	(396)
10.3.2	PCM数字信息的码型	(398)
10.3.3	载波调制方式	(399)
10.4	PCM遥测的实例(“水手”系列的遥测)	(401)
10.4.1	概要	(401)
10.4.2	通信系统的构成	(402)
10.4.3	遥测和指令子系统	(403)
10.4.4	同步方式	(403)
10.5	编码PCM方式	(408)
10.5.1	编码对信息传输速度的改善	(408)
10.5.2	编码PCM遥测(相位同步方式的情形)	(418)
10.5.3	编码PCM遥测(未相位同步的情形)	(420)
10.5.4	脉冲频率调制(PFM)遥测	(422)
	参考文献	(424)

第十一章 非同步多路通信方式.....猪濑 博(427)

11.1	方式的概要	(427)
11.1.1	原理	(427)
11.1.2	RADA方式	(430)
11.1.3	其它方式	(432)
11.2	传输特性	(435)
11.2.1	衰减	(435)
11.2.2	多路径效应	(435)
11.2.3	噪声	(437)
11.3	地址的构成和伪地址	(438)
11.3.1	地址的构成	(439)
11.3.2	出现伪地址的概率	(440)
11.3.3	伪地址引起的误差率	(442)
11.4	问题及其对策	(444)

11.4.1	特点与问题	(444)
11.4.2	脉冲调制方式的改善	(446)
11.4.3	中继和交换功能的引入	(450)
参考文献		(453)

第一章 绪 论

猪濑 博

PCM发明于1937年,但是,正如许多卓越的发明一样,长时期都没有得到实用,PCM在系统上的完成大约在1955年。PCM之所以能付诸实用*),很大程度上是与半导体技术和数字电路技术的惊人发展有关。

PCM实用化的最初成果是24路短距离PCM方式,而频带更宽、距离更长的通信方式也正在发展中。另外,随着近距离PCM方式的普及和时分电子交换技术的发展,通过PCM把传输和交换一体化了的综合通信方式已受到人们的重视。而且,由于信号检测技术的进步,PCM在诸如“水手”**之类的宇宙飞行器的超远距离遥测方面也显示出了它的魅力。

在编码通信方式中,还包括增量调制之类的单一编码通信方式。增量调制曾经在以移动通信为目的的非同步多路通信中试用过。

本章主要叙述编码通信方式的发展过程以及将来的动向,同时对PCM方式的基本原理、基本构成和功能进行解说,以作为后面各章的绪论。

1.1 PCM的历史

1.1.1 通信方式的发展

电气通信的初期技术是电报形式的数字通信。1835年莫尔斯(Morse)、发明电报机,自此以后,这种把电文变换为莫

·) PCM正式付诸使用是1961年美国的T1—24路方式。——译注

··) “水手”是美国探测火星、金星计划中的宇宙飞行器系列,详见第4节。——译注

尔斯码，再用与莫尔斯码的长短相对应的断续电流，将信息传输到对方的电报业务便迅速得到了普及。1844年，在华盛顿和巴尔的摩（Baltimore）之间开通了电报业务；1858年，开通了大西洋海底电报业务；日本在1874年开通了长崎——东京——青森之间的电报业务。

当时，电气通信这一概念就是以电报为代表的数字通信方式。虽然考虑过根据声压对膜片有无振动而将声音直接变换为断续电流的方法，但是多次试验都以失败告终。

然而在另一方面，却有过着眼于模拟声电变换器的研制。在这种模拟声电变换器中，产生一种跟随对膜片的声压变化而变化的电流。于是在1876年，A·G·贝尔（Bell）终于成功地发明了可付诸使用的电话机。

有这样一段纪念贝尔的碑铭：

*"Leave the beaten track occasionally and drive into
the woods, you will be certain to find something
that you have never seen before" . .¹⁾*

这段碑铭充分表明了，在“数字通信方式”的全盛时代里提出模拟通信方式的设想的伟大意义。

1906年，De Forest发明了真空管。接着，振荡、调制、放大、滤波等技术相继取得成功，从而在有线和无线长距离信息传输中使载波电话成为了主体，并且包括无线电广播和电视广播在内，出现了模拟通信方式的全盛时代，直至今日。

在多路传输方面，从1925年在美国开通的3路载波开始，经过1932年，由松前重义等研制成功的6路非加感电缆载波方式和1934年在美国研制成功的240路同轴电缆载波方式等等，到目前，1800路乃至2700路同轴电缆载波和1800路微波中继等

¹⁾意为“偶然离开常道而奔向森林，你将发现从未见过的东西”。——译注

频分超多路通信线路已作为干线通信网分布于全国。

另一方面，从1930年起便开始研究时分多路方式，并从第二次世界大战中期到战后的一段时期内，脉幅调制（PAM）和脉位调制（PPM）的24路方式便已提供实际使用。但是，由于它们都是模拟通信方式，在保持传输质量、提高多路化程度以及上下话路等方面存在不少困难，因此后来便没有再作进一步的研究。

1.1.2 PCM的诞生

脉幅调制及脉宽调制的发明者A·H·Reeves，于1937年首先提出用脉冲的有无的组合来传递声音信息的方式^[1]。以后就把这种方式称为脉码调制（即PCM，Pulse code modulation的缩写）。其设想是：首先，每隔适当的时间间隔对声音信号抽样，抽取其瞬时幅度；然后，将各抽样时点的幅度以适当的精细度划分为若干区间，并量出其区间数；最后，把此区间数变换为相应的脉冲的有无的组合。上述的三个过程分别称为抽样（Sampling）、量化（quantizing）和编码（Coding），都是大家已熟悉的概念。

在1.1.1节中提到的那种在电话机发明之前就试验过的声音数字化，不但因为声电变换器本身还没有成熟，而且从现在的观点看来，它相当于不完全的零交叉调制，所以当然不适宜于传输声音信息。但是PCM则与之相反，根据上述的三个过程，把抽样、量化后的信号幅度进行编码以后传输，因此可以充分保证传输质量。这是一个大的进步。

数字方式的特点是，即使在干扰多或距离长的通信线路上也可以保持开始时的通信质量，因为它可以在沿线设置若干中继器，这些中继器在原理上只需具有对脉冲的有无进行识别和