

数字电话

SHUZI

DIANHUA

[美] 约翰·贝拉米 著

汤国权 李洪 李正福
廖世静 邵汀 译
汤国权 校

人民邮电出版社

DIGITAL TELEPHONY
JOHN BELLAMY
JOHN WILEY & SONS
1982

内 容 提 要

本书论述了数字电话各方面的技术,包括话音数字化、数字调制、数字交换、数字传输、数字网、网同步、话务量分析等。并引用北美通信网的设施作为实例来充实概念。

本书不是传统的通信理论分析的技术书,而是着重于工程的实际应用和操作系统设计,因此对于理论问题只作了适当的分析。本书可供从事通信工作的工程技术人员阅读,也可作为有关大专院校通信专业的教学人员参考。

数 字 电 话

[美]约翰·贝拉米 著
汤国权 李洪 李正福 廖世静 邵汀 译
汤国权 校
责任编辑: 宗慕军 易东山

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河南省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本: 850×1168 1/32 1985年7月 第一版
印张: 17 24/32 页数: 284 1985年7月 河南第一次印刷
字数: 469千字 印数: 1—7,000册

统一书号: 15045·总3033—市366

定价: 4.00 元

序

在严格的意义上说，“数字电话”这个词是指电话通信网的信息路由上所用的数字技术。在这一情况下，“数字”这个词是指信号编码的方法，它是一种调制方式。因此数字电话包含话音传输和交换的应用，而不是数据通信。但是，话音数字化的一个最吸引人的特征是信源编码后的信号（脉冲）摆脱了模拟波形。因此电话网中的数字传输和交换设备自然也具有适用于任何数字性质业务的能力，尤其是数据业务。

有些图书评论家认为《数字电话》这个书名会对本书所包括的题材受到限制。比较有代表性的书名也许是《电话和数据通信数字网》。冒着缩小销售的危险，我仍保持原来的书名以期扩大“电话”这个词的含义。世界上的电话网正在出现激动人心的变革，在所用的技术方面和提供的业务方面都是如此。这两方面的变革都是发源于数据处理。发展价格低廉的数字电子器件使得在传统的话音电话系统中能够采用新的而且优越的技术。与此同时，数据通信的迅速发展使“电话网”扩大了使用的范围。非常明显，纯粹的（综合）数字网可以发展到既能传送电话业务又能传送数据业务。我料想这种网将永远称为电话网，即使日后有一天它承担的数字性质的业务比话音性质的业务更多的时候。

把“电话”这一词放在书名里的第二个动机是想引起人们对这种已建立的但是新的和有活力的工业的注意。由于世界上许多国家，特别是美国，出现了新的情况，电话设备和业务的市场向新的公司开放而造成与原有供应公司之间的竞争。这种工业之所以有活力是因为技术和业务发生了革命。

本书介绍了数字通信的各个方面，重点是话音的应用：如话音

数字化、数字传输、数字交换、网同步、网路控制和网路分析。本书的大部分内容是作者在上述领域中工作、研究和教学的成果。由于美国的电话是属于公用事业的范围，它们按传统培训自己的工程师，因此没有公开发行的包括上述范围的教材。在编写本书时，作者主要依据贝尔系统技术杂志（BSTJ）、电机及电子工程师学会（IEEE）通信学报以及技术会议会刊的文章。

必须强调一下，本书不是传统的通信理论分析方面的技术书，因为已有许多通信原理方面的书（参阅文献目录）。本书着重于通信系统设计的使用和操作方面。一些基本原理是用定性和定量（当合适时）表示的。但是，本书的目的是介绍术语和解释各种系统是如何工作的以及在使用上如何影响设施的。在大部分情况下，引用电话网中的设备实例来充实概念。实例大都来自美国网路，虽然也包括国际电报电话咨询委员会（CCITT）标准的一些实例。

本书的主要意图是作为大学毕业的电气工程师的教材或参考书。电气工程系的学生在必要时也可用本书作理论的验证和实践的指导。总之，本书偏重运用的说明而未作严格的理论分析，因而易为面向工程的读者所理解。

书中有些地方比其他部分分析得更深入而且讨论了设备安装的细节。无疑会出现一些不平衡，这是由于作者对某些专业部分比其他部分经验更多的缘故。在另一方面，曾有意作出努力着重于探讨在其他地方尚未广泛涉及的课题，尤其是交换系统的设计和话务量分析是没有被广泛了解的（至少在美国没有）。数字调制和无线电系统设计的某些方面（第六章）也包含额外的细节。这些课题可以很方便地略去而不会影响本书的连贯性。

本书的大部分材料曾作为南卫理公会（Southern Methodist）大学的电气工程研究生教材，内容包括电信、数据通信还有专门的数字电话。对于缺乏电信术语、实践和系统概念预备知识的学生，这些教材是太多了。第六章（包括数字微波和调制）和第九章（包括话务量分析）可以略去而仍能在其他部分保持连贯供整个一学期

学习。全书主要内容要点如下：

第一章 美国公用模拟电话网的综述以及数字技术进网的简要回顾。

第二章 详细讨论话音通信数字设施的基本优点和缺点。

第三章 最通用的话音数字化的讨论和比较。

第四章 数字线路传输和复用的基础。

第五章 数字交换设备的基本概念和操作。

第六章 数字调制和无线电基础。

第七章 网同步、控制和管理要求及设施。

第八章 几个数字网的深入叙述和未来数字电话的讨论。

第九章 设计网路时话务量分析的基础。

附录中包括方程式的推导、脉码调制有关的话音编码、数字通信原理的基础以及话务量表。

约翰·贝拉米

译 者 序

当前世界各国的通信网正在由传统的模拟通信网向数字通信网的方向发展。《数字电话》这本书是适应这种发展需要作为教材和参考书而编写的。本书对数字网、话音数字化、数字交换、数字传输、数字调制、网同步和话务量分析等方面作了广泛的论述。书中主要引用北美通信网、贝尔系统 (Bell System)、美国电话电报公司 (AT&T) 的设施作为实例来充实概念, 这些设施和西欧一些国家不尽相同, 各有差异, 但其基本原理还是一样的。

由于作者的经历, 在引用美国电信设施时, 作了许多不适当的夸张, 读者阅读时要注意分析。

由于电信方面出现的名词很多, 我国目前尚无统一的标准译名。本书尽量采用通常惯用的译名, 对于新名词则用暂译名并附以原文对照。

本书第一章、第二章及第九章由汤国权译, 第三章及附录由李正福译, 第五章及第八章由李洪译, 第四章及第七章由邵汀译, 第六章及词汇表由廖世静译, 全书由汤国权总校。

由于水平有限, 译文中错误和不妥之处, 希读者批评指正

译 者

1984年4月

目 录

第一章 背景和术语

1.1	终端、传输和交换	(2)
1.2	模拟电话网	(3)
1.2.1	网路等级	(4)
1.2.2	交换系统	(8)
1.2.3	传输系统	(14)
1.2.4	线对增容方法	(20)
1.2.5	调制/复用	(22)
1.2.6	宽带传输媒介	(26)
1.2.7	传输衰减	(31)
1.2.8	功率电平	(39)
1.2.9	信号	(40)
1.2.10	接口	(44)
1.2.11	特种业务	(46)
1.3	数字电路概述	(48)
1.3.1	话音数字化	(49)
1.3.2	时分复用	(51)
1.3.3	话下数据	(57)
1.3.4	数字微波	(59)
1.3.5	数字交换	(60)

第二章 为什么要数字化

2.1	数字电话网的优点	(66)
-----	----------	--------

2.1.1	易于复用	(66)
2.1.2	便于采用数字信号	(68)
2.1.3	采用现代技术	(68)
2.1.4	传输和交换的综合	(72)
2.1.5	在低信噪比和低信号干扰比的情况下工作	(73)
2.1.6	信号再生	(74)
2.1.7	提供其他业务	(76)
2.1.8	性能的可监测性	(77)
2.1.9	易于加密	(78)
2.2	数字电话网的缺点	(78)
2.2.1	增加带宽	(78)
2.2.2	模数转换	(79)
2.2.3	必须时间同步	(80)
2.2.4	复用受地区限制	(80)
2.2.5	和现有模拟设备不能兼容	(81)
2.3	经济考虑	(82)

第三章 话音数字化

3.1	脉冲幅度调制	(89)
3.1.1	奈奎斯特抽样速率	(89)
3.1.2	折叠失真	(91)
3.2	脉冲编码调制	(94)
3.2.1	量化噪声	(95)
3.2.2	空闲信道噪声	(98)
3.2.3	均匀编码的 PCM	(99)
3.2.4	压缩扩张	(101)
3.2.5	容易数字化的线性编码	(104)
3.2.6	自适应增益控制	(115)
3.3	话音信息冗余度	(118)

3.3.1	非均匀幅度分布	(119)
3.3.2	样值与样值相关	(119)
3.3.3	周期与周期相关	(120)
3.3.4	音调间隔与音调间隔相关	(120)
3.3.5	静止系数	(122)
3.3.6	非均匀长期频谱密度	(122)
3.3.7	短期频谱密度	(124)
3.4	差分脉冲编码调制	(124)
3.4.1	DPCM的实现	(127)
3.4.2	高阶预测	(129)
3.5	增量调制	(130)
3.5.1	斜率过载	(132)
3.5.2	线性增量调制	(134)
3.5.3	音节压扩	(139)
3.5.4	自适应增量调制	(141)
3.6	自适应预测编码	(144)
3.7	子带编码	(147)
3.8	声码器	(148)
3.8.1	通路声码器	(150)
3.8.2	共振峰声码器	(153)
3.8.3	线性预测编码	(153)
3.9	编码器/译码器选择考虑	(155)
3.9.1	话音质量	(156)
3.9.2	传输速率	(158)
3.9.3	传输误码的偏差	(159)
3.9.4	编码格式和码型	(160)
3.9.5	信号处理要求	(161)
3.9.6	定时要求	(161)
3.9.7	实现费用	(163)

第四章 数字传输和复用

4.1	脉冲传输	(170)
4.2	异步传输与同步传输的对比	(173)
4.2.1	异步传输	(174)
4.2.2	同步传输	(176)
4.3	线路编码	(181)
4.3.1	电平编码	(181)
4.3.2	双极性编码	(184)
4.3.3	二进制N零取代 (BNZS)	(187)
4.3.4	成对选择三进码	(190)
4.3.5	三进制编码	(191)
4.3.6	数字双相码	(193)
4.3.7	差分编码	(194)
4.3.8	编码传号反转(CMI)码	(195)
4.3.9	多电平传输	(196)
4.3.10	部分响应信号传输	(197)
4.4	误码性能	(202)
4.4.1	信号检出	(203)
4.4.2	噪声功率	(203)
4.4.3	误码概率	(204)
4.5	性能监测	(213)
4.5.1	冗余度校验	(213)
4.5.2	信号质量测量	(215)
4.6	时分复用	(216)
4.6.1	比特复接与码组复接的比较	(217)
4.6.2	帧同步	(218)
4.7	时分复用环路	(225)

第五章 数字交换

5.1	交换功能	(234)
5.2	空分交换	(236)
5.2.1	多级接线	(239)
5.2.2	阻塞概率 (李氏图)	(243)
5.2.3	阻塞概率 (雅可比斯)	(248)
5.2.4	折叠式四线交换机(Folded Four-Wire Switches)	(253)
5.2.5	路径寻找 (Pathfinding)	(255)
5.2.6	接线器矩阵的控制	(257)
5.3	时分交换	(259)
5.3.1	模拟时分交换	(259)
5.3.2	数字时分交换	(261)
5.4	二维交换	(266)
5.4.1	空一时一空 (STS) 交换	(270)
5.4.2	时一空一时 (TST) 交换	(272)
5.4.3	模块式交换机结构	(278)
5.4.4	专用集成电路的交换机设计	(278)
5.5	在模拟环境中的数字交换	(282)
5.5.1	零损耗交换	(283)
5.5.2	BORSCHT	(285)
5.5.3	会议电话	(285)
5.5.4	转换复用 (Transmultiplexing)	(286)

第六章 数字无线电

6.1	数字调制	(294)
6.1.1	调幅	(296)
6.1.2	移频键控	(299)

6.1.3	移相键控	(302)
6.1.4	正交调幅	(317)
6.1.5	部分响应 QAM	(324)
6.2	滤波器分隔	(326)
6.2.1	邻道干扰	(327)
6.2.2	最佳分隔	(328)
6.3	发射规格	(330)
6.4	无线电系统设计	(332)
6.4.1	衰落储备	(333)
6.4.2	系统增益	(334)
6.4.3	频率分集	(337)
6.4.4	空间分集	(338)
6.4.5	自适应均衡	(339)
6.4.6	路由设计	(339)
6.4.7	技术限制	(341)

第七章 网的同步、控制和管理

7.1	定时的不稳定性	(345)
7.1.1	定时抖动	(346)
7.1.2	缓冲存储器	(349)
7.1.3	抖动测量	(353)
7.1.4	系统抖动	(355)
7.2	定时不准确度	(357)
7.2.1	滑码	(357)
7.2.2	脉冲塞入	(363)
7.2.3	等待时间抖动(Waiting Time Jitter)	(371)
7.3	网同步	(373)
7.3.1	准同步	(374)
7.3.2	全网范围的脉冲塞入	(375)

7.3.3	互同步	(376)
7.3.4	主时钟同步	(377)
7.3.5	主从同步	(377)
7.3.6	分组交换	(378)
7.4	网路控制	(379)
7.4.1	层次化的通信过程	(379)
7.5	网路管理	(382)
7.5.1	路由控制	(382)
7.5.2	流量控制	(383)

第八章 数字网

8.1	报文交换(Message Switching)	(392)
8.2	分组交换(Packet Switching)	(394)
8.2.1	分组格式	(397)
8.2.2	统计复用	(398)
8.2.3	路由控制(Routing Control)	(400)
8.2.4	流量控制	(404)
8.2.5	附带的利益	(408)
8.3	数字数据系统	(414)
8.4	数字卫星系统	(417)
8.4.1	卫星商业系统(SBS)	(418)
8.4.2	施乐通信网(XTEN)	(420)
8.5	话音数据综合网	(421)
8.5.1	促进业务综合的动力	(422)
8.5.2	综合的途径	(423)
8.5.3	动态虚电路的网路构成	(429)
8.6	综合数字网(IDN)	(434)
8.6.1	电话交换区	(435)
8.6.2	市话配线与交换	(436)

8.6.3	长途网.....	(438)
8.6.4	综合网中的话音编码.....	(439)

第九章 话分量分析

9.1	话务量特性.....	(445)
9.1.1	来话分布.....	(450)
9.1.2	占用时间分布.....	(454)
9.2	呼损系统.....	(456)
9.2.1	呼损清除.....	(457)
9.2.2	呼损返回.....	(463)
9.2.3	呼损保留.....	(466)
9.2.4	呼损清除—有限信源.....	(469)
9.2.5	呼损保留—有限信源.....	(472)
9.3	网路阻塞概率.....	(476)
9.3.1	端到端阻塞概率.....	(476)
9.3.2	溢出话务量.....	(479)
9.4	延迟系统.....	(481)
9.4.1	指数服务时间.....	(484)
9.4.2	固定服务时间.....	(488)
9.4.3	有限排队.....	(491)
9.4.4	串联排队(Tandem Queues)	(495)
附录 A	公式推导.....	(501)
附录 B	PCM 折线编码/译码算法.....	(505)
附录 C	数字传输分析原理.....	(513)
附录 D	话务量表.....	(530)
词汇表		(535)
文献目录		(552)

第一章 背景和术语

六十年代初，美国电信在几个不同方面开始发生根本的变化。首先，要求传统的模拟电话网提供许多不同的新兴业务，其中大多数是从数据处理工业发展起来的。其次，市场和管理部门鼓励传统垄断业务的新旧领域进行竞争。第三，出现了数字技术在美国国内电话网和世界上其他网路上承担许多基本传输和交换功能，本书的主要目的是阐述这一新数字设备的设计、应用和操作。作为当前的背景，回顾一下占优势的模拟电话网作为即将介绍的新数字设备的基础。

下面讨论的大部分内容是叙述各个系统和从传统的模拟设备转换到看来不是那么习惯的数字设备的过程。因此本书的目的之一是阐述如何利用数字技术改进和扩充电话通信网中各个分系统容量的。目的之二是阐述当整个网路应用数字技术后所得到的主要利益，当将个别系统设计成采用全部数字设备的综合网时，可以得到很大程度的协调性。该协调效应有利于公用网中传统话音业务和其他现有的和正在发展的需要。

本书中大部分设备的说明和设计实例来自贝尔电话实验室的工程师。至于基本原理并非贝尔系统或一般公用电话网所专有的，这些概念可以适用于任何通信网：如公用或专用网，话音或数据网。数字网的固有特征，是其设计可以不管其应用而独立进行。

必须强调指出，数字技术用于话音业务是由于改进质量、增加性能和降低成本而推动起来的。网路数字化并非是由于数据处理工业为改善数据传输业务的需要而兴起的。的确，目前引入网路的大多数数字技术，除非是通过模拟通路，否则是不能接受数据业务的。美国有些数字传输设施是通过贝尔系统数字数据电话业务网来的。

实现的，但这些设施需要特殊的接口（数据端口）。当然，数字网对于数据通信业务是很合适的。当现有网路上发展到数字设备占多数时，或是当推广新的数字网时，数据传输的性能和经济性将显著提高。

如果考虑到目前仍有大量模拟设备在使用，美国的公用网发展为全数字网将要经历相当长的时间。但是，当新的专用网建立时，全数字化不仅是可行的而且在经济上也是理想的，尤其是当数字网有一定数量的非话音业务之后更是如此。此时（1981年）阻止专用数字网发展的主要障碍是缺少适当的长距离传输设施。但是，已有的新数字微波系统以及预期的数字光纤和卫星业务将使话音和数据专用数字网的发展指日可待。

1.1 终端、传输和交换

通信网的三个基本要素是：终端、传输系统和交换。本章先对装设在模拟电话网上的这些要素加以综述。然后，简要综述模拟网内的数字设备。在第二章里详细讨论数字设备的发展动态。以后四章叙述数字电话网基本部件的运用和设计。第三章讨论数字话音终端和把模拟话音信号转换为数字比特流的常用方法。第四章介绍数字传输系统的基础。第五章叙述数字交换基础。第六章叙述基本数字调制技术及其在点对点数字微波系统上的应用。第七章讨论数字网的各种同步和控制方法。

第七章（也就是全书的重点）介绍电话网上通常采用的电路交换技术。电路交换网是一种为应答每一次业务请求而把电路端对端完全连接起来的网路。每次连接将连同其附属网路设施在通话期间始终保持。第八章叙述一种新型网，通常称为分组交换网，这种网特别适合数据业务。第八章还将讨论设计对话音和数据都很有效的

网路时所作的基本考虑。最后一章介绍话务理论基础：分析和预测电信网路性能的基础数学。

电信标准的组织机构

大型的国家电信网或国际电信网的成功运用需要一套标准以确保设备的正常工作。北美标准主要由贝尔系统制定，因为美国80%以上的电话是由贝尔公司提供的。协助制定标准的其他美国机构是美国独立电话协会（U S I T A）和农村电气化管理局（R E A）。世界上其他大部分国家都依靠国际电信联盟（I T U）所主持的两个国际委员会。这两个委员会是：国际电报电话咨询委员会（CCITT）和国际无线电咨询委员会（CCIR）。CCITT制定电话、电报、数据传输电路和数据传输设备的建议。CCIR是协调无线电频谱的利用和无线电设备与有线设施的接口。美国无线电频谱的利用是由联邦通信委员会（FCC）管制的。

贝尔系统标准和CCITT标准有时会发生矛盾。北美标准常常被引入CCITT建议作为副标准。而且，当CCITT建议和贝尔系统的要求不发生矛盾时，北美网的设备制造厂商常常采用CCITT建议。

1.2 模拟电话网

美国以及全世界现有模拟网显示了卓越的工程成就。由于当前的网路是经过长时期发展起来的，设备的程式和设施存在着很大的差异。对基本电话通信采用数字技术标志着向新技术过渡，这种技术将降低成本并改善传统业务的性能。向数字过渡还标志着进展到能提供新业务的更统一的通信网。但是，由于需要模拟和数字新设备与现有设备兼容，这种过渡是非常复杂的。