



TIELU SHUZI DIAODU TONGXIN

铁路数字调度通信

沈尧星 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版

铁路数字调度通信

沈尧星 主编

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书针对铁路数字调度通信设备的特点、组成和运用而编写,介绍了数字调度通信的基础知识,铁路调度通信网的网络结构和设备特点;叙述了铁路目前使用的干局线、区段数字调度通信系统的组成和运用;结合铁路现场的实际情况论述了调度通信网络的各种组网方式;最后还简要介绍了铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)的基本结构、组网和通信过程,以及铁路调度通信的发展方向。

本书可供从事铁路专用通信设计、施工和维护等工作的技术人员、管理人员学习使用,也可供部队、城市轨道交通、地方铁路等部门相关专业人员学习使用,还可作为中等专业学校、高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路数字调度通信/沈尧星著. —北京:中国铁道出版社,2004.11
ISBN 7-113-06179-6

I. 铁… II. 沈… III. 铁路运输-运输调度-数字通信 IV. U285.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第099551号

书 名:铁路数字调度通信

作 者:沈尧星 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:安颖芬 周泰文 任 军

封面设计:薛小卉

印 刷:北京市兴顺印刷厂

开 本:787mm×1 092mm 1/16 印张:6.5 字数:148 千

版 本:2004 年 11 月第 1 版 2005 年 4 月第 2 次印刷

印 数:3 001~4 000 册

书 号:ISBN 7-113-06179-6/TN·155

定 价:16.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话:021-73147(路电) 发行部电话:021-73169(路电)

010-51873147(市电)

010-63545969(市电)

序

铁路专用通信设备经历了机械、模拟和数字三个阶段,新型数字调度通信设备的推广采用,为实现铁路调度通信数字化奠定了基础,开创了铁路专用通信数字化的新纪元。

该书针对铁路调度通信的业务性质、特点和要求,比较全面地介绍了数字调度通信设备的基础知识、设备组成和系统运用,既有基础理论又有现场实际运用的实例分析,是一本铁路数字有线调度通信的专著,对铁路区段通信数字化改造和维护管理有一定的指导意义,为从事该领域工作的技术人员、管理人员提供了帮助,同时也为相关专业人员研究如何全面实现铁路专用通信数字化、网络化、宽带化、智能化提供一个思路。

随着通信技术的进步,铁路专用通信的更新、改造和建设也要适应铁路跨越式发展的节奏。衷心希望,以此为起点,铁路专用通信迈上一个新的台阶。

周孝光

2004年7月18日

前 言

铁路数字调度通信系统是针对专用通信数字化的要求,而研制开发的新一代铁路有线调度通信设备。该系统采用模块化设计、分布式集中控制方式、数字交换和计算机通信技术,具有强大的处理能力和适应各种通信业务的接口,既能满足调度通信的需要和多种业务的综合接入,又能适应与铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)的互连互通及与其他数字程控交换机的互连互通;具有数字和模拟的兼容性,为实际运用提供方便、灵活组网,并从软、硬件两个方面来保证系统运用的安全可靠。

本书部分内容曾作为 2002 年全路电务处长、通信科长通信新技术培训班的讲稿。

本书第一、五章由沈尧星编写;第二章由沈尧星、陈金华编写;第三章由沈尧星、张德玲编写;第四章由陈金华、周军民编写;第六章由钟章队、沈尧星编写。为便于读者进一步了解数字调度通信设备的性能,本书附录列出了目前在路内已大量采用的 FH 98 II、CTT 2000L/M、ZST-48 三种数字专用通信系统的特点、硬件结构和主要技术指标。

本书得到铁道部运输局、中国铁通集团有限公司、中国软件与技术服务股份有限公司、北京佳讯飞鸿电气有限责任公司、济南铁路天龙高新技术开发有限公司以及西门子数字程控通信系统有限公司的大量帮助和校阅,在此表示感谢。全书由戴未央主审。

由于铁路数字专用通信系统是新一代的产品,系统设备性能和功能在不断提升,运用技术也在不断更新,本书内容有待于通过实际运用不断充实完善,加上编者写作和实践的局限性,难免存在缺点和错误,希望读者提出批评指正,共同为铁路专用通信的发展做出贡献。

编 者

2004 年 7 月 18 日

目 录

第一章 概 述	1
第一节 铁路专用通信业务	1
第二节 铁路调度通信设备的发展历程	1
第三节 铁路调度通信网的网络结构	2
一、铁道部干线调度通信网	2
二、铁路局局线调度通信网	3
三、区段调度通信网	4
第四节 数字调度通信设备的特点	4
第二章 数字调度通信的基础知识	6
第一节 模拟信号数字化的基本原理	6
一、抽样	6
二、量化	6
三、编码	9
第二节 时分多路通信的概念	10
一、PCM 传输系统	10
二、时分多路复用	10
三、PCM 30/32 的帧结构	11
第三节 数字交换的基本原理	13
一、时隙交换的概念	13
二、时分接线器(T 接线器)	14
三、呼叫处理基本过程	15
四、信号系统(信令系统)简介	16
五、交换机的组成	17
第四节 区段数字调度的基础知识	18
一、数字会议电路的基本原理	18
二、回波相消技术简介	18
三、数字锁相环技术简介	19
四、数字交叉连接(DXC)的运用	20
第三章 干局线调度通信系统	21
第一节 Hicom 调度交换机设备构成	21
一、Hicom 主机	21

二、Hicom 调度专用模块	23
三、服务器公共控制单元(ISP)	23
第二节 系统配置	24
一、线路中继单元(LTU)的运用	24
二、Hicom 调度交换机的配置	25
第三节 系统维护与管理	27
一、系统启动	27
二、系统维护	28
三、系统管理	30
第四章 区段数字调度通信系统	34
第一节 系统组成	34
一、数字调度主机	34
二、操作台	36
三、集中维护管理系统	37
第二节 系统运用	38
一、单机运用	38
二、多机组网综合运用	38
第三节 系统主要业务及功能	40
一、区段调度通信	40
二、专用通信	41
三、站场通信	41
四、站间通信	42
五、区间通信	42
六、DXC 功能	43
七、PBX 和自动电话延伸功能	43
八、集中维护管理功能	43
九、通道保护功能	44
第四节 系统运用的安全与保护措施	44
一、组网	44
二、硬件设计	45
三、诊断告警、集中维护	45
第五章 铁路调度通信网	46
第一节 干线调度通信网络	46
一、网络组成	46
二、网络编号及呼叫方式	46
三、网络同步	47
四、接口及信令	47
第二节 局线调度通信网络	48

一、网络组成·····	48
二、网络编号及呼叫方式·····	50
三、网络同步·····	51
四、接口及信令·····	51
第三节 区段调度通信网络·····	52
一、区段调度通信网络的特点·····	52
二、区段调度通信网络的组成·····	52
第六章 铁路数字专用通信系统与铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)·····	58
第一节 GSM-R 的组成·····	58
一、GSM-R 陆地移动网络的基本结构·····	58
二、FAS 固定网络·····	59
三、移动终端和固定终端·····	59
第二节 GSM-R 的组网方式·····	60
第三节 GSM-R 调度通信网络内的通信过程·····	61
一、点对点个别呼叫·····	61
二、组呼(VGCS)和广播呼叫(VBS)·····	63
三、会议呼(临时组呼)·····	63
附录一 CTT 2000L/M 专用数字通信系统简介·····	65
附录二 FH 98Ⅱ铁路数字专用通信系统简介·····	74
附录三 ZST-48 铁路数字专用通信系统简介·····	83

第一章 概 述

第一节 铁路专用通信业务

铁路是一个庞大的企业,包含了运、机、工、电、车辆等专业部门,各部门围绕铁路运输协同动作,为保证部门之间信息畅通,指挥列车运行和编解列车,铁路历来有一套完整的专用通信。铁路专用通信一直被人们誉为铁路的“千里眼、顺风耳”,是铁路运输的重要基础设施,对铁路运输指挥和安全生产起着至关重要的作用。

传统的铁路专用通信的业务包括干、局线通信,区段通信,站场通信,无线专用通信,应急通信和列车通信,最近铁路正在大力发展 GSM-R 数字移动通信系统,具体类别见表 1-1。

表 1-1 铁路专用通信业务

干、局 线通信	区 段 通 信			站场通信	无线专 用通信	应急通信	列车通信
	区段调 度通信	区段专 用电话	区段数 据通信				
1. 干线各 种调度通信 2. 局线各 种调度通信 3. 干、局 线会议电话 4. 干、局 线会议电视	1. 列车调 度通信 2. 货运调 度通信 3. 电力调 度通信 4. 其他调 度通信	1. 车务、 工务、水电、 供电等电话 2. 桥隧守 护电话 3. 道口电 话 4. 站间行 车电话 5. 区间电 话	1. 各 类 MIS 信息通 道 2. 电力远 动通道 3. 红外线 轴温检测通 道 4. 信号控 制信息通道 5. 其他控 制信息通道	1. 站内调度 电话 2. 站场内部 电话 3. 扳道电话 4. 客运广播 系统 5. 客运信息 系统 6. 站场扩音 对讲	1. 列车无线 调度电话 2. 列车无线 防护报警 3. 站场无线 电话 4. 铁路数字 移动通信系统 5. 公安、工 务对讲 6. 道口无线 报警	1. 救援指挥 系统电话 2. 图像传输 3. 数据传输	1. 列车广播 2. 列车电话 3. 闭路电视 4. 旅客电话 5. 列车安全 告警系统

注:本表参照《中国铁路通信史》、《铁路专用通信技术体制》。

从表 1-1 可以看出,铁路运输调度通信是铁路专用通信的重要组成部分,是直接指挥列车运行的通信设施,按铁路运输指挥系统分干线、局线、区段三级调度通信体系。

干线调度通信是铁道部为统一指挥各铁路局,协调地完成全国铁路运输计划,在铁道部与铁路局之间设立的各种调度通信。

局线调度通信是铁路局为统一指挥所属分局及主要站段,协调地完成全局运输计划,在铁路局与分局、编组站、区段站、主要大站之间设立的各种调度通信。

区段调度通信是分局(单局制的铁路局)为指挥运输生产,在调度员与所管辖区段的铁路各中间站按专业、部门设置的调度通信系统,统称区段调度,按业务性质可分为列车调度、货运调度、电力牵引调度以及无线列车调度等。

第二节 铁路调度通信设备的发展历程

铁路调度通信设备的发展,从其技术特征来分析,大致经历了三个阶段。

第一阶段 20 世纪 50 年代至 60 年代末,以电子管为主要器件,采用脉冲选叫技术

建国初期全路统一使用国产 55 型机械式选叫调度电话设备,到 60 年代改进为 63 型,仍为脉冲选叫技术。

第二阶段 20 世纪 70 年代初至 90 年代末,以晶体管为主要器件,采用双音频选叫技术

70 年代初 YD-I 型双音频调度电话的研制成功,使得我国铁路调度电话设备的技术水平有了新的突破,经过了 YD-I、YD-II、YD-III、YD-IV 型的几代改进,产品覆盖全路,部分产品还供应路外,以及出口援外。随着数字通信技术的发展,到 90 年代初又推出了以“数字编码”取代“双音频”的 DC-7 程控式调度电话总机,原来的双音频设备于 1994 年停产,程控式调度电话选叫速度由原来的 6 s 缩短为 600 ms,性能优越,功能增多,设备可靠,逐步取代了双音频调度电话,但 DC 型设备还是属于模拟设备,一直到目前 YD 型和 DC 型调度设备仍在维持使用。

第三阶段 20 世纪 90 年代末至现在,以集成电路芯片为主要器件,采用数字交换和计算机通信技术

90 年代的信息革命浪潮,信息和知识呈爆炸式增长,使人们意识到信息和知识已成为社会和经济发展的新的增长点。庞大的铁路运输网的高速运转,需要相应的信息通信网的支持,各级运输指挥中心需要随时随地获取信息进行分析、处理,而信息源点分散在千里铁道线上的各中间站和基层站段,由于运输信息化的需要,铁路专用通信必须实现数字化。为此,铁道部决定干线调度通信不再使用模拟调度设备,而采用西门子 Hicom 数字调度交换机组建干线调度通信网络,由单一的调度电话业务改建成具有图像、文字、语音等业务的多媒体调度通信。1998 年发布的《铁路专用通信技术体制》,确定了“车站通信设备一体化”、“专用通信数字化、综合化、智能化、宽带化”的发展方向。

1995 年铁道科学研究院根据铁道部科技司、电务局下达的重点科研项目,进行了“铁路数字区段通信系统研究”,然后不少生产厂家针对区段通信数字化的要求,研制开发了“铁路数字专用通信系统”。目前,新建铁路全部采用数字调度设备,现有铁路线已有五分之一的区段进行了设备改造,目前使用的产品有:北京佳讯飞鸿电气有限责任公司生产的 FH98 II 铁路数字专用通信系统,中软网络技术股份有限公司生产的 CTT2000L/M 专用数字通信系统,济南铁路天龙高新技术开发有限公司生产的 ZST-48 铁路数字专用通信系统。

新型数字调度设备采用数字交换和计算机技术、大规模集成电路芯片器件,其技术水平和性能可以说“是一次质的飞跃”,开创了铁路专用通信数字化的新纪元。

第三节 铁路调度通信网的网络结构

铁路调度通信网的网络结构根据铁路运输调度体制,分为干线、局线、区段三层,没有分局的单局制铁路局分二层网络结构,各层网络自成系统独立组网,铁路局和分局为各层网络的相切点。例如,局调台在干调网内是一台干调分机,可是在局调网内是局调指挥中心,同样,区段调度台在局调网内是一台局调分机,可是在区段调度网内是区段调度指挥中心,可见调度网是根据调度业务流程和地理位置来组网。干、局调网络是一个呈辐射形的星型网络,区段调度网络是一个呈链状的总线型网络,见图 1-1。

一、铁道部干线调度通信网

铁道部运输指挥中心设数字调度交换机,用数字中继通道与各铁路局运输指挥中心的数

字调度交换机相连,相邻铁路局的数字调度交换机之间也以数字中继通道相连作为直达路由,从而组成一个复合星型网络结构的干线调度通信网。

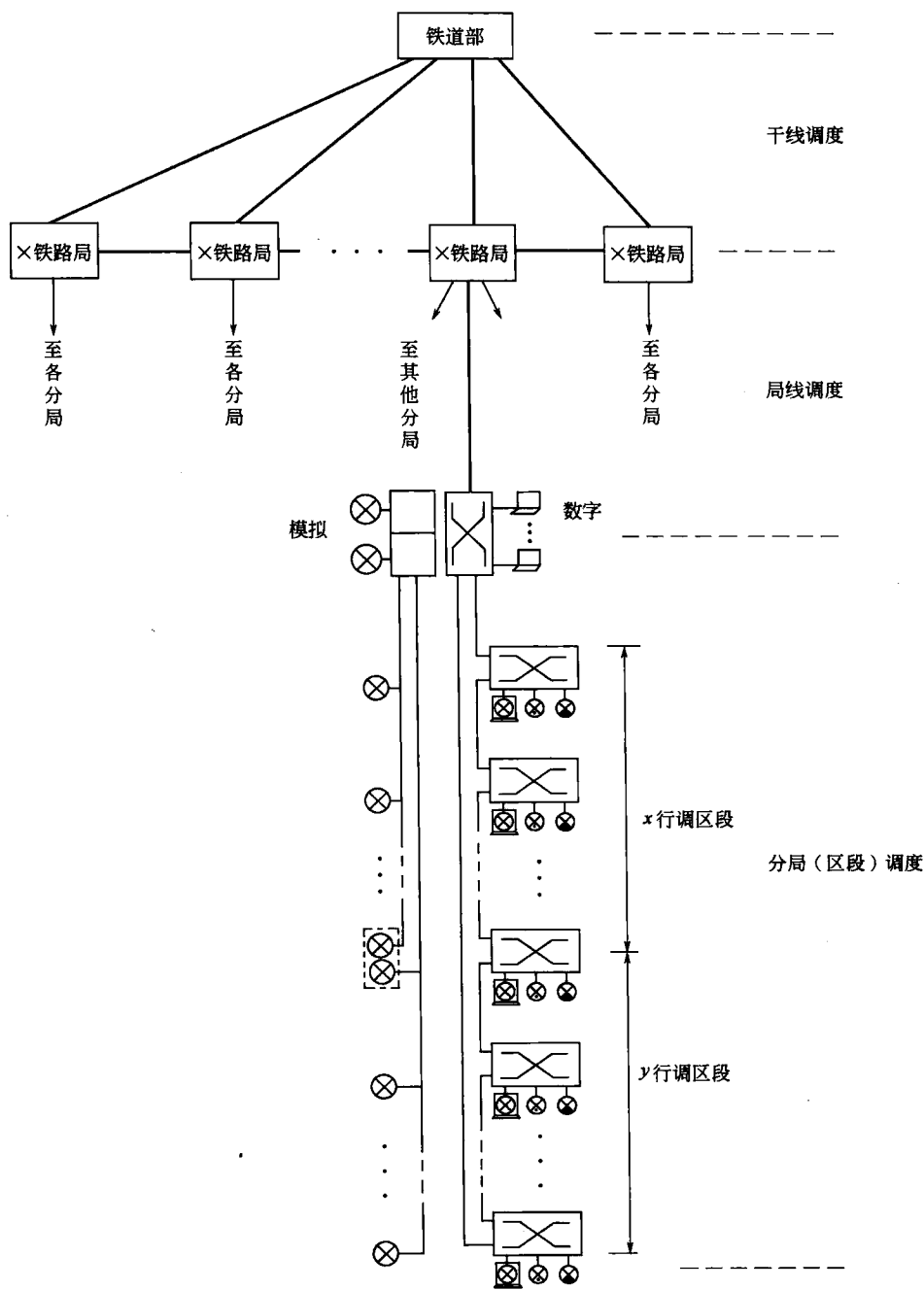


图 1-1 铁路调度通信网络结构示意图

二、铁路局局线调度通信网

铁路局的干调数字交换机用数字中继通道与各铁路分局数字调度交换机(也可利用区段

数字调度设备)相连,构成一个星型网络结构的局线调度通信网。

不在分局所在地的局调分机,利用区段数字调度通道或专线延伸至区段站、编组站、中间站。

三、区段调度通信网

铁路分局运输指挥中心(分局调度所)设区段数字调度机(俗称主系统),与所辖区段沿线各中间站车站数字调度机(俗称分系统),用 2M 数字通道呈串联型逐站相连,并由末端车站环回,组成一个 2M 自愈环。

区段内所有调度业务(行调、货调、电调、无线列调)纳入 2M 数字环内,一种调度业务固定占用一个共线时隙。具体组网方式见后续章节。

第四节 数字调度通信设备的特点

铁路运输调度通信的性能是针对调度业务性质来确定的,干、局线调度业务比较单一,可是区段调度通信网的调度用户——车站值班员,除了接受列车调度台指令性的调度业务之外,还要办理行车业务,因此还有站间通信、站内通信、区间通信等业务的接入,所以干、局线调度设备和区段调度设备不完全一样。干、局线调度设备是以 ISDN 交换机配置调度功能模块,组成数字调度交换机,而区段调度设备却不同了,除了要有交换功能之外,还要实现共线型组网、其他通信业务的接入,列车调度台既是局调用户又是区段行车调度指挥员,必须与局调连网接受呼叫,并能转接所辖区段内任一行调分机。所以严格说来,区段调度设备不能称之为数字调度交换机,而是具有交换功能,以电路交换为平台构建多种通信业务综合接入的区段数字通信设备。利用该系统开放与区段调度有关的一切通信业务,所以习惯上称为“数字调度通信设备”。

区段数字调度通信设备有以下主要特点:

1. 基于数字传输的数字通信设备,具有优良的传输性能

提供端到端的数字连接,即从调度台至车站值班台之间的传输全部数字化,所以噪声、串音、信号失真都非常小。数字通道为无衰耗通道,所以近端分机和远端分机声音都一样大小,具有优良的传输性能。而且呼叫接续速度快,不超过 50 ms,比程控调度总机的 600 ms 又缩短了一个数量级。

2. 基于数字交换平台与计算机技术融为一体,体现了技术先进性

使用计算机硬件、软件去控制时分交换网络的交换接续来实现各种调度功能,采用大规模集成电路芯片为主要器件,模块化设计,分散式控制。

3. 数字与模拟的兼容性,为实际运用提供了方便

在进行区段调度组网时,有时会碰到分叉站的分支线路为模拟设备,为了使模拟线路上的调度分机、站间、区间电话接入,采用专用接口,实现数模混用。利用专用接口还可实现将模拟实回线作为数字通道的备用。对于枢纽调度台某方向的小站仍为模拟设备时,同样可以组网,这种具有铁路特色的数模兼容的运用也是区段数字调度的一大特点。

4. 多种业务的兼容性,为区段通信数字化奠定了基础

区段调度通信设备不仅成功地开放了各类区段调度通信业务,还很好地解决了站间通信、站内通信、区间通信等通信业务的接入。此外,配置数据接口,还可开放数据通信业务;配置用

户接口还可将局调网的自动电话延伸至任何区段内的任意小站和区间,为应急通信提供话音业务和图像传输;配置音频 2/4W 接口,为用户提供透明的音频通道。总之,根据业务需要配置相应接口可实现多种业务的综合接入,为区段通信数字化、网络化奠定了基础。

5. 安全可靠,为保证调度指挥不间断通信创造了条件

调度通信必须安全可靠,数字调度设备从硬件、软件两个方面来保证。元器件采用大规模集成电路芯片、模块化设计、分散式控制来保证安全可靠;主要部件采用 1+1 实时热备份,出现故障自动倒向备份;除传输系统具有自愈保护功能外,还采用了自愈环组网,即使中间断线仍然畅通不影响使用。

6. 具有集中维护网络管理功能,大大减少了维护工作量,安全运行更有保障

在调度通信机械室设数字调度网管维护台,对沿线各车站分系统进行状态监视、故障告警监测、系统配置管理,沿线车站分系统可以做到无人值守,还具有远程诊断业务,技术支援响应快,对安全运行更有保障。

第二章 数字调度通信的基础知识

铁路数字调度通信系统的主要技术特征是采用数字交换技术。要实现数字程控交换,必须解决两大问题:第一,将模拟的话音信号变为数字信号,即话音信号数字化;第二,将数字化的话音信号进行交换,即数字交换。另外,在区段的数字专用通信系统中如何实现数字共线和数字交叉连接,这些是本章所要介绍的主要内容。

第一节 模拟信号数字化的基本原理

模拟信号的数字化,常采用脉冲编码调制(Pulse Code Modulation,缩写为 PCM)的方法。将模拟信号变为 PCM 信号,必须经过抽样、量化、编码三个步骤。

一、抽 样

抽样就是每隔一定的时间间隔(T)来抽取模拟信号的瞬时电压值,称为抽样值,抽样后的信号称为抽样信号,显然,它是一种幅度连续、时间离散的脉冲信号,即脉冲幅度调制(PAM)信号,抽样过程如图 2-1 所示。

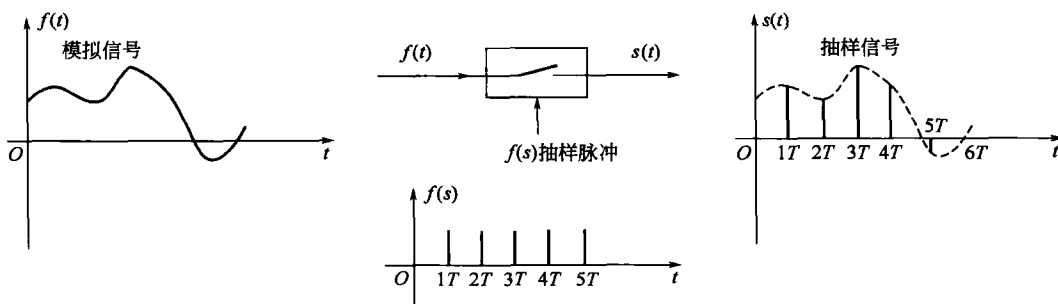


图 2-1 抽样过程

如果取出的样值足够多,那么抽样信号就越接近原来的模拟信号,也就是说抽样间隔时间 T 越短越好。

抽样定理:对于一个最高频率为 f_m 的模拟信号,只要抽样频率以 $f_s \geq 2f_m$ 的速率进行抽样,其抽出的样值可以完全表征原信号,因此抽样间隔时间 $T \leq 1/(2f_m)$ 。例如,话音频带为 300~3 400 Hz,抽样频率至少为 6 800 Hz,目前 PCM 通信普遍采用每秒抽样 8 000 次,因此抽样间隔时间 $T = 1/8\,000 \text{ s} = 125 \mu\text{s}$ 。

可以简单地概括为:抽样就是将模拟信号变为幅度连续、时间离散化的抽样脉冲信号,即 PAM 信号。

二、量 化

经过抽样后的 PAM 信号,是一个幅度连续、时间离散的脉冲信号,连续的幅值可以有无

限多个,不能用有限个数字来表示,因此抽样信号仍是模拟信号,而不是数字信号。要将这样的模拟量直接去编码是不可能的,因为编码的位数总是有限的,用二进制的数字信号每位码代表两个数值, n 位码只能代表 2^n 个数值。那么如何用有限的数码状态来表示这无限个数值呢? 解决的办法就是量化。量化就是分级取整的意思,把幅度连续的抽样信号分成若干个信号幅度等级,称为量化级,这就是分级,而连续的信号值不一定正好落在划定的等级线上,两个幅度等级之间的信号值,采取“四舍五入”方法,归并到最邻近的一个幅度等级(量化级)中去,这就是取整。量化级数的多少与编码方式有关,例如采用均匀量化(即各量化级之间的级差相等),如果采用了 3 位二进制码元可将信号值分为 $2^3=8$ 个相等的量化级,如图 2-2 所示。

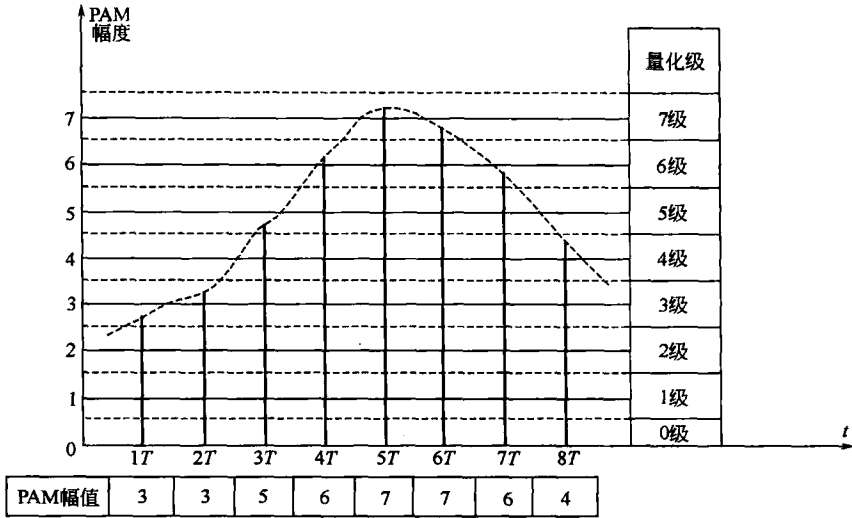


图 2-2 均匀量化示意图

图中把 PAM 连续幅度的信号值分为 0,1,2,⋯,7 共 8 级,并规定小于 0.5 的为 0 级; 0.5~1.5 的为 1 级;⋯⋯大于 6.5 和小于 7.5 的为 7 级。这样,幅度连续的信号必然归纳到 0,1,2,⋯,7 级中的某一级,这就是幅值的离散化,将无限多个幅值经分级取整后归纳为有限个数值,就可用一定位数的代码来表示。

量化后对抽样值采用四舍五入方法取整,如果用量化值来代替原抽样信号值,显然有一个误差,称为量化误差,这一误差对收听者来说表现为噪声,故又称为量化噪声。量化级分级越多,量化噪声就越小,但在通信中,人们注重的是有用信号功率(S)和噪声功率(N_q)的比值,即信噪比,信噪比与量化分级数(N)的平方成正比,如果用对数来表示为:

$$(S/N_q)_{dB} = 20 \lg N$$

上式说明,增加量化分级数,可提高信噪比,但是增加量化级数需要增加二进制码位数,就要增加传输的数码率,因此用增加量化级数来提高信噪比不是理想的办法。

在均匀量化时,对幅度大的信号和幅度小的信号采用相同的量化级,显然,小信号引起的量化误差要大于大信号引起的量化误差,因此,当大信号的信噪比达到要求时,对小信号就达不到要求。从语声幅度概率密度特性可知,处于小信号范围的幅度概率密度大,而处于大信号范围的幅度概率密度小。根据这一特点,启发人们把小信号的量化级分得细一点,即量化间隔小一点,把大信号的量化级分得粗一点,量化级级差不相等称为非均匀量化。采用非均匀量化是提高小信号信噪比的有效方法。

实现语音非均匀量化的技术称为压缩扩张技术,目前普遍采用非线性量化与非线性编码结合在一个过程中完成,国际上采用两种压扩方法,即 A 律特性压扩和 μ 律特性压扩,A 律特性为欧洲标准, μ 律特性为北美标准,我国采用 A 律特性压扩方式。

A 律特性曲线为一条指数型的曲线,可以用 13 折线近似来表示,如图 2-3 所示。

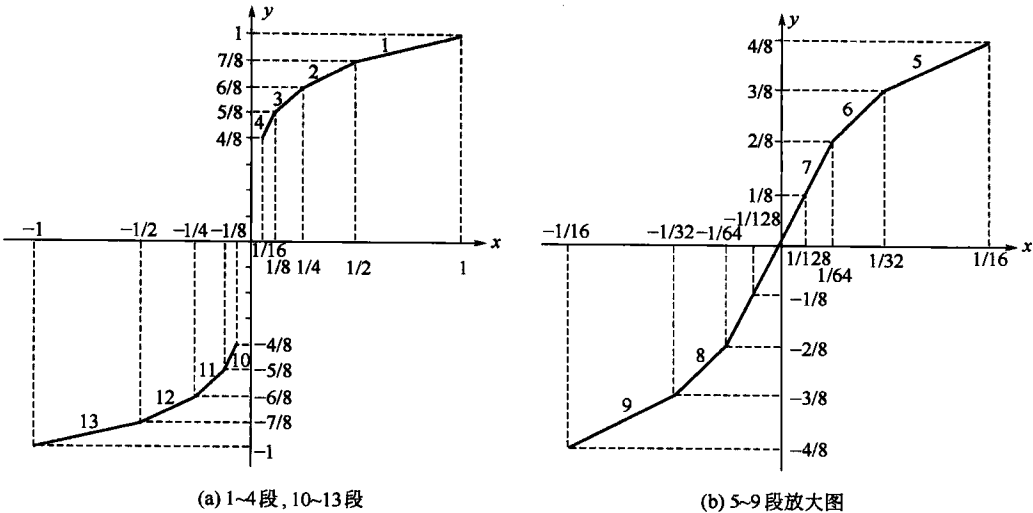


图 2-3 A 律特性曲线 13 折线表示图

这种压缩特性的特点是将 x 轴代表输入信号,采用非均匀分段的办法,达到非均匀量化的目的。分段规律是每次以 $1/2$ 进行分段,共分成非均匀的 8 段,第 8 段为 $1/2 \sim 1$;剩下 $0 \sim 1/2$ 再一分为二,即取 $1/4 \sim 1/2$ 为第 7 段;剩下 $0 \sim 1/4$ 再一分为二,……一直到分成 8 个段落,最小一段为 $0 \sim 1/128$,作为第 1 段。 y 轴代表输出信号,均匀等分 8 个段落,分别为 $1/8, 2/8, 3/8, 4/8, 5/8, 6/8, 7/8, 1$,且与 x 轴一一对应,把 x 轴与 y 轴相应的交点连接起来,共有 8 段直线组成的折线,其中 1、2 段长度相等、斜率相同,因此连接起来共有 7 段斜率不同的折线,如表 2-1 所示。

表 2-1 在第 I 象限的折线函数表

y	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8	1
x	0	1/128	1/64	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	1
段 落	1	2	3	4	5	6	7	8	
斜 率	16	16	8	4	2	1	1/2	1/4	
折线编号	7	6	5	4	3	2	1		

由于输入样值脉冲有正负两个极性,在负方向也应有一组与正方向对称的折线段,在第Ⅲ象限也有 7 段斜率不相同的折线,见表 2-2。正负两方向的 1 和 2 段斜率相同合成一段直线,所以一共有 13 段折线,简称为 A 律 13 折线压扩特性。

表 2-2 在第Ⅲ象限的折线函数表

y	0	-1/8	-2/8	-3/8	-4/8	-5/8	-6/8	-7/8	-1
x	0	-1/128	-1/64	-1/32	-1/16	-1/8	-1/4	-1/2	-1
段 落	1	2	3	4	5	6	7	8	
斜 率	16	16	8	4	2	1	1/2	1/4	
折线编号	7	8	9	10	11	12	13		

三、编 码

所谓编码,就是用一组二进制脉冲来代表已量化的样值脉冲,这个过程又称为模/数变换,即 A/D 变换。

上面曾经提到非均匀量化与非线性编码结合在一个过程中完成,这种方式称为折线近似压扩。按 A 律 13 折线进行编码,称为 A 律编码,下面以 A 律 13 折线来讨论码位的安排。码位由三部分组成。

1. 极性码 A_0

样值脉冲有正、负之分,当 $A_0 = "1"$ 时,代表样值为正脉冲; $A_0 = "0"$ 时,代表样值为负脉冲。

2. 段落码 $A_1 A_2 A_3$

A 律 13 折线单方向分为 8 段,非均匀分段,从小信号的第 1 段开始到大信号的第 8 段为止,各段的长度不一样,段落起始电平、量化值范围也不一样,见表 2-3。

表 2-3 各段落对应的长度、起始电平、量化值范围

段落码 $A_1 A_2 A_3$	000	001	010	011	100	101	110	111
段落序号	1	2	3	4	5	6	7	8
段落长度(Δ)	16	16	32	64	128	256	512	1 024
段落起始电平(Δ)	0	16	32	64	128	256	512	1 024
量化值范围(Δ)	0~16	16~32	32~64	64~128	128~256	256~512	512~1 024	1 024~2 048

注:表中 Δ 为最小的量化间隙, $\Delta = \frac{1}{128} \times \frac{1}{16} = \frac{1}{2048}$ (归一化值)。

3. 段内电平码 $A_4 A_5 A_6 A_7$

每个段落内又均匀等分成 $2^4 = 16$ 个量化级,由于非线性量化分段每一段落长度不一样,各段落间的级差也不一样,见表 2-4。

表 2-4 段内各量化级起始电平值

量化级 序号	段内电平(Δ) 段内码	量化级							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	0000	0	16	32	64	128	256	512	1 024
2	0001	1	17	34	68	136	272	544	1 088
3	0010	2	18	36	72	144	288	576	1 152
4	0011	3	19	38	76	152	304	608	1 216
5	0100	4	20	40	80	160	320	640	1 280
6	0101	5	21	42	84	168	336	672	1 344
7	0110	6	22	44	88	176	352	704	1 408
8	0111	7	23	46	92	184	368	736	1 472
9	1000	8	24	48	96	192	384	768	1 536
10	1001	9	25	50	100	200	400	800	1 600
11	1010	10	26	52	104	208	416	832	1 664
12	1011	11	27	54	108	216	432	864	1 728
13	1100	12	28	56	112	224	448	896	1 792