

数据压缩的原理与应用

●吴乐南 编著 ●徐孟侠 审



电子工业出版社

数据压缩的原理与应用

吴乐南 编著
徐孟侠 审

电子工业出版社

(京)新登字 055 号

图书在版编目(CIP)数据

数据压缩的原理与应用 吴乐南编著 徐孟侠审。

——北京:电子工业出版社,1994

ISBN7-5053-2781-X

I. 数… II. 吴… III. 数据压缩-标准-应用 IV. TP274

内 容 提 要

本书较全面、系统地阐述了数据压缩的基本理论、实用技术、最新标准和具体应用。

全书分八章:第一章“绪论”是数据压缩技术的概述。第二章“信源的数字化与压缩系统评价”和第三章“压缩的理论及极限”,是数据压缩的理论基础。第四章“统计编码”不但失失真数据压缩的基本手段,也常作为其它压缩技术的组成部分,讨论了中文电报、传真数据及计算机文件的压缩算法并给出了实用程序。第五章“预测编码”和第六章“变换编码”,是限失真信源编码的主要原理和方法,结合语音、遥测、遥感、电视、音响等具体信源,介绍了有关标准和实用程序。第七章“分析-综合编码”及第八章“若干国际建议介绍”,引述了数据压缩的新方法、国际上的新标准、专用硬件的新进展,供有志深入者参考。

本书可作为研究生《数据压缩》、《信源编码》课程的教材,也可作为无线电技术、信息工程、通信工程、信号处理、软件工程等专业的本科生选修课教材或教学参考书。尤其适于从事图像通信、数字通信、计算机通信、广播电视、数字音响、遥感遥测、数据处理、图文管理、多媒体系统、计算机应用等工作的科技人员自学与提高,书中作为例子而提供的大量源程序可帮助他们迅速入门,立即收效。

数据压缩的原理与应用

吴乐南 编著

徐孟侠 审

责任编辑:陆伯雄

*

电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱(100036)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社计算机排版室排版

北京市顺义县天竺颖华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:22.5 字数:572 千字

1995 年 2 月第一版 1995 年 2 月北京第一次印刷

印数:4500 册 定价:26.00 元

ISBN7-5053-2781-X/TP·886

前 言

人类社会已进入信息时代。“信息爆炸”的结果要求人们解决如何对浩如烟海的数据进行有效的压缩,以便以最少的数码表示信源所发的信号,减少数据的存储容量(如各种数据库、电子出版物和多媒体娱乐)、传输时间(如数据通信和遥测)或占有带宽(如多媒体通信、数字音频广播和高清晰度电视),也就是说,要想方设法压缩给定消息集合所占用的空间域、时间域和频率域资源。而另一方面,随着现代电子技术特别是超大规模集成电路工艺的发展,以及国际上系列标准化算法的制定与公布,数据压缩技术已经从经典信息论中的信源编码理论和通用计算机中的软件模拟方案,固化为一系列功能强大的集成电路硬件,在电子信息技术领域各产业部门中迅速地转化成如潮水般涌现的新产品。

越来越多的应用领域对数据压缩技术提出了实际需求,越来越多的工程技术人员希望了解(也应该掌握)数据压缩的原理与方法。而目前在这个充满生机的领域中,理论研究远没有结束,实用技术也远没有成熟,困难与希望同在,挑战和机遇并存。作者多年来从事图像编码和数据压缩方面的科研与教学工作,在为研究生讲授“数字图像处理”中“图像编码”章节和为本科生开设《数据压缩》课程的基础上,一直有心将粗浅所得整理成章以益他人。因此,在选材上强调系统性、实用性、先进性和全面性。除了用作高等院校的教材或教学参考书,将力求为从事实际工作的通信工程师、多媒体计算机设计师、广播电视与数字音像工作者、数据信息系统管理员等科技人员提供一本入门与深入的自学书籍。

本书在内容编排上可分为三部分:第一章至第三章为全书的基础部分。第二章中“信源的数字化”是数据压缩的前提,“信号压缩系统的性能评价”则为全面衡量一个实际系统的综合尺度。第三章“压缩的理论极限”,是数据压缩的数学基础,考虑到数据压缩最终要依靠通用计算机或专用数字硬件实现,此前一般已完成了足够精度的数字化,故在取材中舍弃了只是体现信息理论的完整性但读者较难理解且无直接关系的连续信源的熵与率失真函数部分;第四章至第七章为全书的主体部分。第四章“统计编码”不但是信息保持型数据压缩的基本手段,也常常是其它压缩技术的重要组成部分,结合对霍夫曼编码、游程编码、算术编码和 LZ 编码的介绍,讨论了中文电报、文件传真及任意数据的压缩算法与标准。第五章“预测编码”和第六章“变换编码”,是限失真信源编码的主要原理和方法,结合语音、遥测、遥感、电视、音响等具体信源进行讨论。在变换编码中,删除了既耗费篇幅、又为最新国际标准所不用且在大多数同类书籍中可以找到的沃尔什变换、哈尔变换、斜变换、正弦变换、傅里叶变换等离散正交变换。第七章“分析-综合编码”,介绍了基于子带、小波、分形和模型的数据压缩新理论、新方法和新进展,供有志深入者参考,其中子带编码已成为当前压缩宽带音频信号的若干国际建议中的主要技术框架。第八章“若干国际建议介绍”是全书的综合应用部分,既是对国际上新标准、新建议的概略介绍,也是对本书主体部分主要压缩技术的综合运用,对于读者复习验证、融会贯通前面所学的知识亦会大有助益。

为使普及与提高相得益彰,本书较难的章节之前均加有星号(“*”),略过它们并不影响对于基本内容的理解。少量的习题及解答为自学者提供一点方便。各章所引用前人的研究成果,均注明出处,并在该章的参考文献中列出,可供读者继续深入研究时参考。作者对这些文献著

者表示感谢。东南大学无线电工程系孙崇洲副主任、何永明副教授热情地向有关出版社推荐本书并给作者以鼓励；在写作过程中得到作者所在信息工程教研室全体成员以及茅一民教授的帮助，在此谨向他们表示深切的谢意。

全书承蒙北京大学无线电电子学系徐孟侠教授审阅。他不仅深入细致地审校了原稿，提出了许多颇具建设性的修改意见，而且向作者提供了大量最新的国际建议资料文本。将最初散布在各章的部分国际标准集中起来单独成章，正是采纳了徐教授的建议。作者愿在此对徐教授多年来的关怀与帮助，表示由衷的感谢。

本书的写作得到江苏省科委应用基础研究“声、文、图、形、数的高效存储”项目的支持，封面的立体气象云图照片由中国气象局卫星气象中心王大昌研究员提供。作者衷心感谢他们的支持。

限于作者的水平与时间，难免有不够严谨和错漏之处，敬请读者指正。

作 者

1994年7月28日于南京

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 什么是数据压缩?	(1)
1.2 数据压缩的必要性	(2)
1.3 数据压缩技术的发展简史	(3)
1.4 数据压缩技术的应用前景	(5)
1.4.1 信息系统的发展与融合	(5)
1.4.2 多媒体技术简介	(7)
1.4.3 数据压缩技术的应用前景	(9)
1.5 数据压缩技术的分类	(12)
参考文献	(14)
第二章 信源的数字化与压缩系统评价	(15)
2.1 取样	(15)
2.1.1 取样定理	(15)
2.1.2 内插恢复	(17)
2.1.3 取样噪声	(19)
2.1.4 电视信号的亚取样	(19)
2.2 量化	(20)
2.2.1 无记忆量化	(21)
2.2.2 矢量量化	(25)
2.3 信号压缩系统的性能评价	(28)
2.3.1 信号质量	(28)
2.3.2 比特率	(36)
2.3.3 复杂度	(37)
2.3.4 通信时延	(39)
2.3.5 编码与数字通信系统的性能空间	(39)
习题	(40)
参考文献	(41)
第三章 压缩的理论极限	(43)
3.1 数据压缩与信息论	(43)
3.2 离散无记忆信源的熵	(44)
3.2.1 自信息量和一阶熵	(44)
3.2.2 数据压缩基本途径之一	(47)
3.3 率失真理论	(49)
3.3.1 互信息量	(49)
3.3.2 离散信源的率失真函数	(51)

3.4 条件熵与相关信源	(53)
3.4.1 数据压缩基本途径之二	(53)
3.4.2 随机序列的信息量	(56)
3.4.3 非平稳信源的处理	(58)
习题	(59)
参考文献	(59)
第四章 统计编码	(60)
4.1 编码器的数学描述	(60)
4.2 变长编码	(61)
4.2.1 基本分析	(61)
4.2.2 唯一可译码的存在问题	(63)
4.2.3 唯一可译码的构造	(65)
4.3 霍夫曼码	(67)
4.4 信源编码基本定理	(68)
4.5 中文电报举例	(70)
4.6 基本的游程编码	(73)
4.7 二值图像压缩基础	(74)
4.7.1 图文传真的标准化	(74)
4.7.2 二值图像的统计特性	(75)
4.7.3 二值图像游程编码的码率下界	(77)
4.8 CCITT 建议的文件传真压缩方法	(78)
4.8.1 MH 编码	(78)
4.8.2 MR 编码	(81)
4.9 二值图像的算术编码	(85)
4.9.1 编码过程	(86)
4.9.2 不做乘法的二进制算术码	(87)
4.9.3 译码步骤	(90)
4.9.4 不对称数 $Q(s)$ 的确定	(91)
4.9.5 编码效率	(91)
4.9.6 $p(L s)$ 的确定	(92)
4.10 实用的算术编码——Q-编码器	(93)
4.10.1 概述	(93)
4.10.2 编、解码算法	(95)
4.10.3 Q-编码器的压缩效果	(98)
4.11 计算机文件压缩	(98)
4.11.1 概述	(98)
4.11.2 计算机文件的冗余度类型	(99)
4.11.3 常用的压缩方法	(100)
4.12 LZW 算法和 QIC-122 标准	(103)
4.12.1 LZW 算法描述	(103)

4.12.2	LZW 算法的文件压缩效果	(105)
4.12.3	LZW 算法与数据通信	(105)
4.12.4	QIC-122 工业标准	(106)
4.12.5	发展趋势	(106)
4.13	结语	(108)
	习题	(109)
	参考文献	(110)
第五章	预测编码	(113)
5.1	DPCM 的基本原理	(113)
5.2	最佳线性预测	(116)
5.3	语音信号的预测编码	(120)
5.3.1	压缩的基本依据之一——语音信息冗余度	(121)
5.3.2	压缩的基本依据之二——人的听觉感知机理	(123)
5.3.3	语音预测编码简介	(124)
5.3.4	语音编码的进展	(126)
5.3.5	语音编码的标准化	(127)
5.3.6	CCITT G.721 建议	(128)
5.3.7	CCITT G.722 建议简介	(131)
5.3.8	CCITT G.728 建议简介	(131)
5.4	遥测信号的预测编码	(132)
5.4.1	遥测的特点	(133)
5.4.2	预测系数不变性准则	(135)
5.4.3	遥测信号压缩举例	(138)
5.5	遥感图像的预测编码	(140)
5.5.1	帧内预测器的设计	(140)
5.5.2	反射型 DPCM 编码器	(142)
5.5.3	气象卫星云图压缩	(144)
5.6	电视信号的预测编码	(146)
5.6.1	电视信号概述	(146)
5.6.2	压缩电视信号码率的一般途径	(149)
5.6.3	电视图像中典型景物的类型	(152)
5.6.4	帧间预测编码	(154)
5.6.5	图像通信中的运动估值方法	(156)
5.6.6	传输误码及对策	(159)
5.7	可视电话与会议电视的压缩编码	(159)
5.7.1	可视电话的发展概况	(160)
5.7.2	会议电视的发展概况	(162)
5.7.3	CCITT H.120 建议简介	(163)
5.8	高清晰度电视的压缩编码	(164)
5.8.1	发展由来	(164)

5.8.2 制式之争	(165)
5.8.3 压缩编码	(166)
5.9 结语	(168)
习题	(169)
参考文献	(169)
第六章 变换编码	(172)
6.1 基本原理	(172)
6.2 离散正交变换	(174)
6.2.1 正交变换与正交矩阵	(174)
6.2.2 K-L 变换	(176)
6.2.3 离散余弦变换	(179)
6.3 变换域数据压缩	(182)
6.3.1 变换矩阵的选择	(182)
6.3.2 系数选择和比特分配	(184)
6.3.3 变换编码与预测编码的比较	(185)
6.4 静止图像的变换编码	(186)
6.4.1 静止图像传输与存储的特点	(186)
6.4.2 变换编码的实现	(188)
6.5 应用举例	(190)
6.5.1 居民身分证照片管理系统	(190)
6.5.2 地震数据压缩	(191)
* 6.6 MDCT 介绍	(192)
6.7 宽带数字音频的变换编码	(193)
6.7.1 宽带数字音频的发展概况	(193)
6.7.2 数字声音的信号压缩技术	(194)
6.7.3 数字声音的变换编码	(196)
* 6.8 直接映射编码	(197)
6.8.1 神经网络编码与矢量量化	(197)
6.8.2 信源-信道联合编码	(202)
6.9 结语	(203)
习题	(204)
参考文献	(204)
第七章 分析-综合编码	(208)
7.1 引言	(208)
7.2 子带编码	(209)
7.2.1 基本原理	(209)
7.2.2 整数子带滤波器组	(210)
7.2.3 正交镜像滤波器组	(211)
7.2.4 宽带数字音频的子带编码	(213)
7.2.5 关于图像子带编码的评注	(215)

* 7.3	小波变换编码	(217)
7.3.1	更合理的子带-多分辨率表示框架	(217)
7.3.2	小波变换的定义	(218)
7.3.3	快速小波算法	(219)
7.3.4	图像的小波变换编码	(223)
* 7.4	分形图像编码	(225)
7.4.1	基本概念	(225)
7.4.2	分形图像编码的理论基础	(227)
7.4.3	分形图像编码的 IFS 方法	(230)
7.4.4	关于分形图像编码的评注	(232)
* 7.5	模型基图像编码	(234)
7.5.1	从波形到动画	(234)
7.5.2	语义基图像编码	(235)
7.5.3	物体基图像编码	(239)
7.5.4	关于模型基图像编码的评注	(240)
7.6	结语	(240)
	参考文献	(241)
第八章	若干国际建议介绍	(245)
8.1	引言	(245)
8.2	H. 261 建议	(248)
8.2.1	关于图像尺寸的规定	(248)
8.2.2	主要指标与技术要点	(249)
8.2.3	视频信源编码算法	(251)
8.2.4	改进与扩充	(254)
8.2.5	小结	(254)
8.3	JPEG 标准	(255)
8.3.1	基本原理	(255)
8.3.2	基本系统的实现	(256)
8.3.3	扩展系统	(267)
8.3.4	无失真压缩系统	(268)
8.4	MPEG-1 视频压缩标准	(269)
8.4.1	数据流结构	(269)
8.4.2	编码图像的类型	(270)
8.4.3	视频流的组成	(271)
8.4.4	运动补偿	(272)
8.4.5	分层结构、语法和位流	(273)
8.5	MPEG-1 音频压缩标准	(273)
8.5.1	系统基本框架	(273)
8.5.2	编码参数标志信息	(275)
8.5.3	编码器简介	(276)

8.5.4	子带分析滤波器组	(277)
8.5.5	编、解码流程图	(277)
* 8.6	MPEG-2 标准简介	(279)
8.6.1	背景介绍	(279)
8.6.2	MPEG-2 视频体系	(279)
8.6.3	MPEG-2 的分级编码	(280)
8.6.4	MPEG-2 声音编码	(282)
8.7	JBIG 标准	(282)
8.7.1	技术特点	(282)
8.7.2	编码模式之一——累进编码	(282)
8.7.3	编码模式之二——兼容的累进/顺序编码	(283)
8.7.4	编码模式之三——单层编码	(284)
8.7.5	编码器功能模块	(284)
* 8.8	MHEG 标准简介	(287)
8.9	图像与声音压缩硬件的进展	(288)
8.9.1	图像编/解码单片集成电路与专用芯片集	(288)
8.9.2	声音编/解码单片集成电路	(293)
8.9.3	高性能数字信号处理器	(293)
8.10	结语	(294)
	参考文献	(295)
	习题答案	(298)
附录 A	源程序清单	(301)
A-1	MH/MR 编码压缩 C 源程序清单	(301)
A-2	MH/MR 解码恢复 C 源程序清单	(312)
A-3	8 比特图像无失真压缩 FORTRAN 源程序清单	(321)
A-4	8 比特图像无失真恢复 FORTRAN 源程序清单	(325)
A-5	JPEG 图像压缩 FORTRAN 源程序清单	(329)
A-6	JPEG 图像恢复 FORTRAN 源程序清单	(336)
附录 B	一条海洋地球物理勘探遥测取样数据的原始记录	(343)

第一章 绪 论

在深入进行本书的讨论之前,先简单了解一下有关数据压缩的基本概念、定义、必要性、发展过程、应用前景和技术分类的概况,将有助于提高我们的学习兴趣,并建立一个后续讨论的基本出发点。

1.1 什么是数据压缩?

人类社会已进入信息时代。而信息的本质,则要求交流和传播。即使是最高度的机密,也需要有解密的使用者。否则,不能称之为信息。于是需要将信息从“这里”传输到“那里”——典型的“通信”概念;或者将信息从“现在”传输到“将来”——所谓“存储”问题。这两种物理过程,均可用图 1-1 那样一个统一的数字传输系统模型来概括。

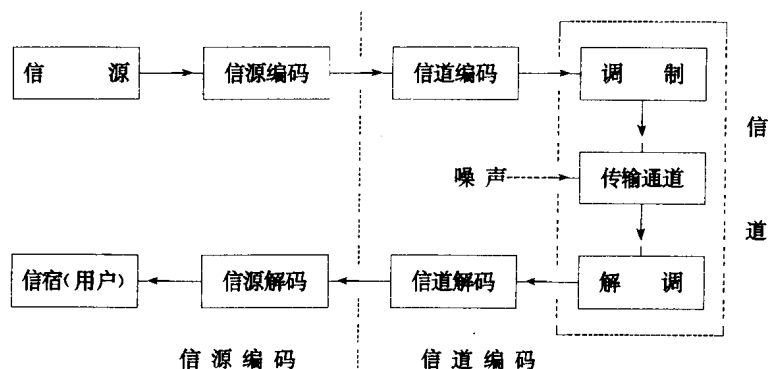


图 1-1 数字传输系统模型

图 1-1 中的信源编码和信源解码即为本书所要研究的内容,统称为信源编码(图 1-1 虚线以左部分);而信道编码和信道解码也统称为信道编码。信源编码和信道编码都是信息科学的重要分支。其中

信源编码:主要解决有效性问题。通过对信源的压缩、扰乱、加密等一系列处理,力求用最少的数码传递最大的信息量,使信号更适宜传输。

信道编码:主要解决可靠性问题。即尽量使处理过的信号在传输过程中不出错或少出错,即使出了错也要能自动检错和尽量纠错。如果信道编码的纠错能力足以保证对数字序列的无误差解码,则图 1-1 中的信道编、解码器(简称为 Codec,即 Coder + Decoder),调制、解调器(简称为 Modem,即 Modulator + Demodulator),以及实际的物理传输通道(模拟信道),有时集中成一个理想的方框,叫作无噪声数字信道,如图 1-1 虚线以右部分。而模拟信道加上 Modem 构成的方框,即为一个实际的数字信道。

因此,从信息论角度看,信源编码的一个最主要目的,就是要解决数据的压缩问题,它构成

了数据压缩的理论基础。那么,什么是数据压缩呢?

数据压缩,就是以最少的数码表示信源所发的信号,减少容纳给定消息集合或数据采样集合的信号空间。

所谓信号空间亦即被压缩对象是指:

- ① 物理空间,如存储器、磁盘、磁带等数据存储介质;
- ② 时间区间,如传输给定消息集合所需要的时间;
- ③ 电磁频谱区域,如为传输给定消息集合所要求的带宽等。

也就是说信号空间是指某信号集合所占的空域、时域和频域空间。信号空间的这几种形式是相互关联的:存储空间的减少也意味着传输效率的提高与占用带宽的节省。这就是说,只要采用某种方法来减少某一种信号空间,都能压缩数据。从这个意义上,通过选择不同 Modem 的调制与解调方式[例如从频移键控(FSK)、相移键控(PSK)到正交调制(QAM)等],可以在同样的频带宽度上传送更高的数码率,提高单位频带的利用率,因而也具有频带压缩之功效。但这属于传输信道的频带压缩技术,与信源本身无关,不在本书的讨论范畴。

究竟采用什么方法、压缩哪一种信号空间,要根据实际需要与技术条件决定。最初,人们关心的是提高电话信号传输带宽的利用率,继而对图文传真要求提高传输速度;近几年来,则更迫切地要求减小数据存储空间,因为数字系统的成本几乎按位计算。近代信源编码的理论与方法,主要也以压缩数字编码的数码率为目标。因此,在今天,“数据压缩”与“信源编码”已是两个具有相同含义的术语了。

1.2 数据压缩的必要性

采用数字技术(或系统)具有许多优越性,但也使数据量大增。表 1.1 列举了一些常见的数字化音、视频的取样频率 f_s 。如果对每个取样的幅度值用 R 位二进制编码[叫作 R 比特,其中比特(bit)的涵义为二进制数字,即 binary digit]表示,就得到数字信号的传输速率或比特率 I ,即

$$I = f_s \times R \text{ (bit/s 或 b/s)} \quad (1.2-1)$$

此即为该信号在通信线路上每秒钟应传送的比特数,或者保存一秒钟信号样值所需占用的存储容量。传输速率 I 也可以用每秒千比特(kb/s)或每秒兆比特(Mb/s)来表示。当信号带宽给定从而 f_s 为已知且不变时,传输速率就简单地由每样值的比特数 R (或 bit/样值)来确定。在有关编码的文献及本书中,比特率(或数码率、码率、速率、数据率)用来表示 I 和 R ,具体指哪一个从其量纲即可看出,不会混淆。一般传输时多用 I ,而存储时只用 R ,因为此时不再涉及时间。具体地,从传输角度看:

数字电话的取样率最低,按每一取样用 8 bit 压扩量化(2.2.1 节),通常也需要 $I=8 \times 8 = 64 \text{ kb/s}$ 的数码率(亦写作 64 kbps);一路 PAL 制彩色数字电视,若用 3 倍副载频采样,每像素(pixel,即 picture + element,简称为 pel 或 p)8 bit 编码,数码率为 $I = 4.43 \times 3 \times 8 = 106.3 \text{ Mb/s}$ 。若实时传送,需占用上述数字话路 1660 个(即使黑白电视也要占近 900 个数字话路)!若能将其压缩到原来的 $1/3$,即可同时增开 1100 路数字电话;而一路高清晰度电视 HDTV (High Definition Television,又称高分辨率电视),数码率更高达 $I = 1280 \times 720 \times 60 \times 3 \times 8 = 1327 \text{ Mb/s}$,相当于 13 路普通数字电视。

表 1.1 数字音、像格式

数字音频格式	取样率 (kHz)	带宽 (kHz)	频带 (Hz)
电 话	8	3.2	200~3400
会议电视	16	7	50~7000
紧凑盘 (CD)	44.1	20	20~20000
数字音带 (DAT)	48	20	20~20000
数字电视格式		时间-空间 分辨率	取 样 率
通用中间格式 (CIF)		352×288×30	3 MHz
国际无线电咨询委员会 (CCIR)		720×480×30	13.5 MHz
		720×576×25	13.5 MHz
高清晰度电视亮度信号一例		1280×720×60	60 MHz

再从存储角度看：

一幅 512×512 像素、8 bit/pel 的黑白图像占 256 kB^①；一幅 512×512 像素、每分量 8 bit 的彩色图像则占 $3 \times 256 = 768$ kB；一幅 $2291 \times 2190 \times 8$ bit 的气象卫星红外云图占 4.90 MB，而一颗卫星每半小时即可发回一次全波段数据(5 个波段)，每天的数据量高达 1.2 GB！

其它非图像数据如海洋地球物理勘探遥测数据，是用 60 路传感器，每路信号按 1 kHz 频率采样、16 位模-数转换器(A/D)量化而得，每航测 1 km 就需记录 1 盘 0.5 英寸的计算机磁带，而仅仅一条测量船每年就可勘测 15000 km，数据量之大可见一斑。

由此可见，信息时代带来了“信息爆炸”。数据压缩的作用及其社会效益、经济效益将越来越明显。反之，如果不进行数据压缩，则无论传输或存储都很难实用化。而数据压缩的好处就在于：

- ① 较快地传输各种信源(降低信道占有费用)—— 时间域的压缩；
- ② 在现有通信干线上开通更多的并行业务(如电视、传真、电话、电报、可视图文等)—— 频率域的压缩；
- ③ 降低发射机功率 —— 能量域的压缩；
- ④ 紧缩数据存储容量(降低存储费用)—— 空间域的压缩。

1.3 数据压缩技术的发展史

以上两节我们分别引出了数据压缩的两个基本问题，即：“我们要压缩什么”和“为什么进行压缩”。由于数据压缩在时域、频域、能量及空域几方面都可能带来好处(不一定同时)，因此，数据压缩技术几乎与通信系统的设计同时发展。

1843 年出现的莫尔斯(Morse)电报码是最原始的变长码数据压缩实例。1939 年美国贝尔实验室(Bell Lab.)的达德利(H. Dudley)发明了通道声码器(Vocoder, 即 Voice + Coder)，成为第一个语音压缩系统(把语音谱划分为有限的频带，各带宽内传输其能量电平，压缩比大于 100 倍)。

1938 年里夫斯(Reeves)、1946 年德劳雷恩(E. M. Delorain)以及 1952 年贝尔公司的卡特

① 遵循计算机工程习惯，本书用大写字母“B”表示字节(Byte)，用小写字母“b”表示二进制位(bit)，1 Byte = 8 bit。

勒(C. C. Cutler)分别取得了脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, 简称为 PCM)、增量调制(Delta Modulation, 简称为 ΔM)和差分脉冲编码调制(Differential PCM, 简称为 DPCM)的专利(3个在数字信息传输中非常有名的方法)。

1952年霍夫曼(D. A. Huffman)给出了最优变长码的构造方法,同年贝尔实验室的奥利弗(B. M. Oliver)等人开始了线性预测编码理论研究。1960年马克斯(J. Max)发表了确知分布信号最佳标量量化算法;1963年黄(J. J. Y. Huang)等人又提出了对相关随机变量先正交变换再分组量化的方法。

但是,有关数据压缩的理论研究,还是在仙依(C. E. Shannon)信息论基础上开始的。1948年仙依的经典论文“通信的数学原理”中首次提到信息率-失真函数概念,1959年他又进一步确立了率失真理论,从而奠定了信源编码的理论基础。随后又由伯杰(T. Berger, 1971)等人进行了深入研究。

对各种语言、音频、图片和视频信号的实用压缩技术研究,更多地得益于数字信号处理(DSP)、时间序列分析、参数估计、离散变换、模式识别、自适应技术以及感知生理-心理学的理论进展。由于对人的发声机理、听觉特性以及对语音信号本身的自回归模型研究较早,以及与视频信号相比,语音只有一维且频率低易于实时处理,因此语音编码比图像编码更成熟,除音质要求较高者仍采用波形编码外,低码率传输普遍采用了基于分析-合成思想的各种声码器。

图像编码直接借鉴了语音压缩的许多成熟技术。1966年奥尼尔(J. B. O'Neal)对比分析了DPCM和PCM并提出了用于电视的实验数据;1969年进行了线性预测编码的实际试验。此后,出现了各种改进的帧内和帧间线性预编码方法和自适应预测编码方法。1975年以来,有人通过测量电视图像中运动物体的位移来进行帧间预测,结果使数码率进一步降低。这一方法不仅用于电视传输提高了图像质量,也可用于可视电话和会议电视。

变换编码是1968年安德鲁斯(H. C. Andrews)等人提出的,他们采用的是二维离散傅里叶变换(2D-DFT)。此后,相继出现了沃尔什-哈达玛(Walsh-Hadamard)变换、斜变换、K-L变换、离散余弦变换(DCT)等。变换编码是从频域(变换域)的角度减小图像信号的相关性,但实现起来要比预测法复杂得多。

1973年哈比比(A. Habibi)提出了兼有二者优点的变换——DPCM混合编码。

现代电子技术的发展,使得原来只能以通用计算机仿真的技术方案已能用硬件实现,这就为数据压缩技术转化为生产力、产生社会效益和经济效益提供了基础。为了在世界范围内促进数据压缩技术的应用,1980年以来,国际标准化组织(ISO)、国际电工委员会(IEC)和国际电信联盟(ITU,简称国际电联)下属的国际电报电话咨询委员会(CCITT)^①陆续完成了各种数据压缩与通信的标准和建议。例如:

在二值图像、传真机方面,有 CCITT T. 4、T. 30、T. 82 及 ISO 11544(JBIG)标准;

在语音编码方面,有 CCITT G. 721、G. 722、G. 728 和 J. 41、J. 42 标准;

在文本、图形、曲线方面,有 CCITT T. 101、T. 150 标准;

在静止图像方面,有 CCITT T. 81 及 ISO 10918(JPEG)标准;

^① 1993年10月,ITU进行了改组。以原CCITT为主,加上原CCIR中从事标准化工作的部分共同组成了ITU的电信标准化部门(Telecommunication Standardization Sector, 缩写为ITU-T);而原CCIR的大部分则与原频率登记委员会(IFRB)合并组成了ITU的无线电通信部门(Radiocommunication Sector, 缩写为ITU-R)^[5]。为保持历史的延续性,本书在涉及此前的标准时,仍延用CCITT和CCIR的名称,同时不再特别说明。

在运动图像方面,有 CCITT H. 261 及 ISO 11172(MPEG-1)标准等。

这些标准的建立不仅极大地推进了数据压缩技术的实用化、产业化^①,同时也将在一定意义上刺激信源编码理论研究的进一步拓展——任何一种新的压缩方法欲广为应用,其性能就必须比现有的标准方法更优异。

1.4 数据压缩技术的应用前景

根据以上三节的介绍,信息的传播(如电视)、传输(如语音通信)与存储(如云图的计算机存储)都离不开数据的压缩,因此也就不难明白,数据压缩技术的应用前景自然应该与通信、计算机和大众传播技术的发展息息相关。

1.4.1 信息系统的发展与融合^[4]

图 1-1 曾给出一个统一的数字传输系统模型,它也是信息传输的模型。从人类对信息管理和使用的地点来看,信息既可以在本地加工利用(如数据、文字的计算机处理),也可以交互传递(如电报、电话),还可以向大众传播(如报纸、广播)。因此,通信系统、计算机系统和大众传播系统都属于信息系统的范畴。信息系统的逐步计算机化和系统技术本身的发展,都极大地促进了人类之间的信息交流,促进了生产力的发展。在这些目的不同、技术不同、但又相互促进相互支持的领域之间,由于技术发展的原因,对最终用户而言,一直存在着较大的差距,难以融合;但若单就技术本身而言,却又早已是你中有我、我中有你而互相渗透的。技术发展到今天,这“三个方面军”该到达会师的时候了,见图 1-2。

(1) 通信

烽火台上的“狼烟”,是古人用于通信联络的信号;建驿站、设信使,飞马接力、信鸽报信,已是邮政的雏形。随着电信技术的发展,通信的内容也从电报、电话、传真、数据发展到了智能用户电报(Teletex)、可视电话、会议电视以及能提供图像和声音的电子邮政,等等。通信技术的一个发展方向是宽带化智能化个人化的综合业务数字网(BIP-ISDN),即 ISDN 是通信信道发展的必由之路,它为用户在计算机联网、远端通信、文件交换、工作站/语音通信、视频传输、多媒体信息存取等方面,带来了很大的方便。

(2) 大众传播

大众传播的最原始内容是记号、文字,以后逐步发展了广播、电影、电视等形式,以及电视双伴音、调频立体声、电视文字广播(Teletext)、电视静止图像广播等多种多工广播方式,已经十分成熟。各种卫星遥感图像(典型的如气象卫星云图)的发送也是一种静止图像广播方式。无线寻呼系统(从简单的数字机发展到中文及多功能信息机)、声信服务系统(如电话“168 信息

^① 对此,ISO 的主席、IEC 的主席以及 ITU 的秘书长联名在主题为“全球标准使信息处理更快更好”的 1993 年 10 月 14 日世界标准日祝词^[6]中自豪地指出:“ISO、IEC 和 ITU 超前制定国际标准,已为全世界不同销售商的产品和服务相互协调创造了条件,促进了信息管理系统的普遍互操作性。因此,全球信息技术标准更加促进也更加开辟了跨国界的通信和贸易”。

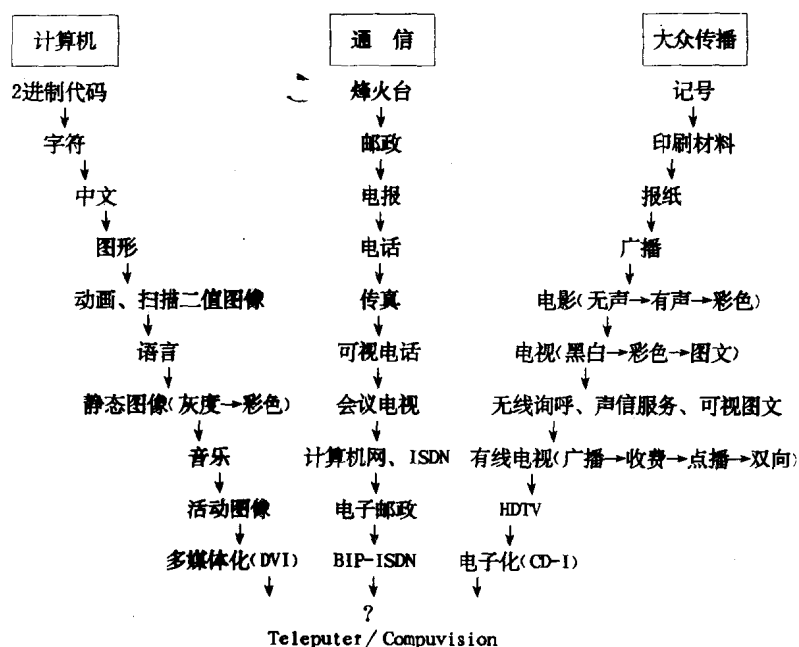


图 1-2 信息系统有关技术发展示意图

台”)及可视图文(Videotex)是大众传播系统与电话通信系统走向融合的产物;有线电视〔为了与广播电视相区别,把闭路电视(CCTV)、有线电视(CATV)以及工业电视等通常使用电缆传送的电视统称为有线电视,有时也简记为CATV〕是另一个广播和通信之间差别正在缩小的例子。基本的CATV与无线电视一样,为广播型;如果其用户购买了一块专用卡插入接收机,就能收看新电影或体育比赛等特别节目,成为收费电视(PayTV)型;某些变被动收看为主动点播的节目点播型实验系统〔亦称交互式电视(Interactive TV,简记为ITV)〕已实现双向化;随着CATV的双向化,其应用正向图像业务以外扩展,如在家庭里设置各种传感器,通过CATV将传感器输出集中到监视中心的家庭安全系统已进入实用阶段。在美国还把为电视转播而引入的CATV扩展成一种区域性通信网,并将双向化CATV与高速宽带通信网和电话网综合考虑,组成更加合理的系统。这使广播和通信的差别进一步缩小,要明确地区分二者将越来越不容易。近来瞄准家庭用的CD-I(Compact Disc-Interactive,交互式紧凑盘)系统和全数字HDTV也将推向市场,而CD-I已经是一种具有代表性的多媒体计算机系统,它以价格低、容量大(目前为650MB/盘片)的CD-ROM(Compact Disc-Read Only Memory)作为数字信息的存储载体,实现交互特性。

(3) 计算机

现代化的通信终端,必然以计算机为核心。计算机信息的表达最初用0、1来表示,与开关的二态相对应;后来有了ASCII码,方便了用户的使用。中文标准代码的出现在很大程度上取决于计算机中图形技术和软件技术的发展,使汉字信息能以图形方式来表达。随后计算机开始处理图形、波形、动画、语言、图像、音乐,甚至近来发展到能处理视频信息。最近美国的微软(Microsoft)、Novell和苹果(Apple)等三家计算机厂商分别发表了自己关于“电脑电话机”