



信息科学技术学术著作丛书

数字视频 编码技术原理

高文 赵德斌 马思伟 著



科学出版社
www.sciencep.com

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
信息科学技术学术著作丛书

数字视频编码技术原理

Principles of Digital Video Coding Technology

高 文 赵德斌 马思伟 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书力图沿着技术与标准发展的主线,向读者介绍数字视频编码主要的技术原理和算法,引导读者掌握数字视频编码的核心技术,为读者进一步的研究提供参考。本书第1章为数字视频编码概论;第2章对视频编码基础进行介绍;第3~6章对预测、变换、量化、熵编码等关键技术进行详细介绍;第7章、第8章分别对视频编码系统以及当前最新的国内外编码标准即H.264/AVC和AVS进行介绍;第9章、第10章对视频编码应用过程中的可伸缩编码、转码等技术进行介绍;第11~13章对三维视频编码、分布式视频编码以及基于视觉的编码等新型编码方向进行介绍;第14章对一些编码优化技术进行详细介绍;第15章对图像/视频质量评价技术进行介绍。

本书可供计算机、通信专业高校师生参考,也可作为从事数字视频编码研究工作的科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字视频编码技术原理/高文、赵德斌、马思伟著. —北京:科学出版社,2010

(信息科学技术学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-029419-7

I. ①数… II. ①高… ②赵… ③马… III. ①视频信号-数字技术-图像编码 IV. ①TN941

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第214747号

责任编辑:任 静 王志欣 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年11月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年11月第一次印刷 印张:25 1/4

印数:1—3 000 字数:486 000

定价:70.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《信息科学技术学术著作丛书》序

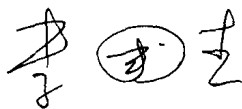
21 世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代,一场以网络科学、高性能计算和仿真、智能科学、计算思维为特征的信息科学革命正在兴起。信息科学技术正在逐步融入各个应用领域并与生物、纳米、认知等交织在一起,悄然改变着我们的生活方式。信息科学技术已经成为人类社会进步过程中发展最快、交叉渗透性最强、应用面最广的关键技术。

如何进一步推动我国信息科学技术的研究与发展;如何将信息技术发展的新理论、新方法与研究成果转化为社会发展的新动力;如何抓住信息技术深刻发展变革的机遇,提升我国自主创新和可持续发展的能力?这些问题的解答都离不开我国科技工作者和工程技术人员的求索和艰辛付出。为这些科技工作者和工程技术人员提供一个良好的出版环境和平台,将这些科技成就迅速转化为智力成果,将对我国信息科学技术的发展起到重要的推动作用。

《信息科学技术学术著作丛书》是科学出版社在广泛征求专家意见的基础上,经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播网络科学和未来网络技术,微电子、光电子和量子信息技术,超级计算机、软件和信息存储技术,数据知识化和基于知识处理的未来信息服务业,低成本信息化和用信息技术提升传统产业,智能与认知科学、生物信息学、社会信息学等前沿交叉科学,信息科学基础理论,信息安全等几个未来信息科学技术重点发展领域的优秀科研成果。丛书力争起点高、内容新、导向性强,具有一定的原创性;体现出科学出版社“高层次、高质量、高水平”的特色和“严肃、严密、严格”的优良作风。

希望这套丛书的出版,能为我国信息科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时,欢迎广大读者提出好的建议,以促进和完善丛书的出版工作。

中国科学院计算技术研究所所长



序

视觉是人类获得外界信息的最重要的途径,与人们的生活密不可分。视频技术借助工程方法仿真视觉功能,因而应用极为广泛。在视频技术发展的历史中,从模拟视频到数字视频是一次伟大的技术变革,使得视频数据更容易被处理。然而,数字视频在给处理带来好处的同时,也给传输和存储带来了挑战,数字化带来的原始数据量之大是存储空间和传输带宽都难以承受的。因此,数字视频的编码压缩,简称视频编码,就成为近半个世纪视频处理领域的重要研究问题。

视频编码的学术研究始于 20 世纪 60 年代。第一次学术讨论会于 1969 年在美国波士顿举行,讨论会名称叫 PCS(Picture Coding Symposium),我当时在 MIT 任教,发起了这次会议。今天我高兴地看到,PCS 作为系列会议定期举行,它不仅是这个领域的先驱,也是视频编码专家每年见面的一个场所。PCS 2009 去年在芝加哥召开,纪念 PCS 40 周年,会议主席 Delp 教授专门安排高文教授做特邀报告,介绍他的工作。Delp 是我早期的学生,我很高兴他接受了我的建议邀请高文。

如何消除视频数据中的冗余,是视频编码的核心所在。从 20 世纪 50 年代至今,视频编码技术不断发展,形成了以预测、变换和熵编码为核心的主流视频编码框架,并在此基础上产生了 MPEG, H. 26X 等一系列多媒体编码标准。近几年,视频编码技术又有新的进展,在 H. 264/MPEG-4 AVC 以及 AVS 等新一代编码技术标准之后,新的编码技术还在继续提高编码效率。与此同时,分布式视频、超高清视频、立体视频等应用也逐渐展开,它们对视频编码技术提出了新的需求。这给我们提出许多挑战性问题,比如视频编码的效率提高有无止境?针对新应用如何设计高效视频编码系统等?对于这些极具挑战性的问题,我们需要从原理上深入探究,进而找到解决问题的方法。

作者高文教授多年来从事视频编码领域教学和科研工作,成果很多,造诣很深。他还是 AVS 标准的主要缔造者,在算法研究和标准制定方面积累了丰富的经验。此次他和他的学生们将这些研究成果及个人心得成书出版,对于本领域的研究人员和工程师将大有裨益。该书内容丰富,理论与技术并重,讨论问题由浅入深,既可以帮助初学者掌握基础,又可以帮助专业人员解决具体技术问题,适合作为高校本科生和研究生的教学用书,以及研究人员或工程师的工具参考书。

黄熙韬(Thomas S. Huang)

2010 年 7 月于伊利诺伊大学香槟分校(UIUC)

前 言

过去二十年信息技术为社会发展做出了巨大的贡献,互联网、移动通信、宽带通信、多媒体技术等,在创造巨大财富的同时,也改变了我们的工作条件和生活环境。其中,多媒体业务作为电信领域共同看好的杀手级应用,对于全球范围内本轮信息技术发展的推动功不可没。多媒体数据包含多种类型,如图像、视频、图形、声音、动画、文字等。其中,视频数据是最重要的,这不仅是因为视频处理数据量大、难度高,还因为在人的感知过程中,视觉感知对整体感知的影响最大。很多论文提到,在人的感知系统所获取的信息中,视觉信息大约占到 80%~85%。

在商业领域,“视频为王”的观点已经被普遍接受。但是在技术领域,视频处理距离理想境地还有很长的路要走。视频编码、视频处理、视频检索等技术还在不断地进化中。

视频数据的利用需要经过视频获取、视频传输或存储、视频显示几个环节。为了获得高清晰度的视频,视频采集设备的精度要高。但是高精度的采集会产生很大的数据量,这会给传输带来压力。经过分析不难发现,视频采集过程带来的数据冗余有这样或那样的规律可循,因此有可能通过利用这些规律的编码处理实现压缩,这个技术就被称为视频编码(video coding),其最有影响的技术产物就是视频编码标准。

视频编码技术与视频编码标准是包括数字电视、网络视频、手机电视、MP3 等音视频产业的技术基础。如果没有 MPEG-1 标准,就不会有 VCD 和 MP3;如果没有 MPEG-2 标准,就不会有 DVD、数字电视机顶盒等。像其他年轻的技术一样,视频编码技术也在不断进步。视频编码是否也像半导体领域一样存在类似的摩尔定律呢?本书作者之一高文,曾在很多场合预言:视频编码标准按照每 10 年效率提高一倍的规律发展。我们不妨将这个规律称为“视频编码标准进化定律”。按照这个定律,今天国内已经开播的卫星高清频道使用 MPEG-2 编码标准传输码流的码率是 20Mb/s,而正在逐渐过渡开始使用的第二代视频压缩标准(典型的第二代标准包括 MPEG-4 AVC/H.264、VC-1、AVS)播出同样质量的一个高清频道所需的码率应该不超过 10Mb/s,四到五年以后,当下一代视频压缩标准制定完成并投入使用后,播出同样高清频道所需的码率大约只需要 5Mb/s。换句话说,1995 年的视频编码标准可以将一路高清压缩至 20Mb/s;2005 年的视频编码标准可以将一路高清压缩至 10Mb/s;2015 年的视频编码标准将可以将一路高清码流压缩至 5Mb/s。按此规律发展,一路高清电视的码率 2025 年需要 2.5Mb/s,2035 年需要

1. 25Mb/s。

可能有读者要问,视频编码的摩尔定律能够持续多少年?换句话说,视频编码的上限是什么?要回答这个问题,首先要了解为什么视频可以被压缩。

数字视频因为存在数据冗余,所以可以被压缩。

数字视频由于在数字化时采用了帧内与帧间均匀采样,并由 RGB 三个分量均匀表达采样量化后的数据,从而带来了空间冗余、时间冗余、和编码冗余。正是由于这三种冗余的存在,才使得视频可以被压缩。很显然,视频编码的上限就是当冗余不再存在时的数据表达。

香农的信息论不仅是通信理论的基础,同时也是视频编码理论的基础。六十多年来,视频编码领域的科学家们利用各种可能的技术努力去除视频中的空间冗余、时间冗余,以及编码冗余。

本书力图沿着技术与标准发展的主线,向读者介绍视频编码各主要方面的技术原理和算法,引导读者了解和掌握视频编码技术的核心,为读者进一步的研究提供参考。

本书第 1 章为数字视频编码概论;第 2 章对视频编码基础进行介绍;第 3~6 章对预测、变换、量化、熵编码等关键技术进行详细介绍;第 7 章、第 8 章分别对视频编码系统以及当前最新的国内外编码标准即 H. 264/AVC 和 AVS 进行介绍;第 9 章、第 10 章对视频编码应用过程中的可伸缩编码、转码等技术进行介绍;第 11~13 章对三维视频编码、分布式视频编码以及基于视觉的编码等新型编码方向进行介绍;第 14 章对一些编码优化技术进行详细介绍;第 15 章对图像/视频质量评价技术进行介绍。

本书的主要内容是高文、赵德斌和马思伟多年从事本领域教学与科研的一些成果和心得集合。这些集合中包含了很多已经毕业博士研究生的研究成果,包括张莉和王强(第 6 章),季向阳和孙俊(第 9 章)、袁禄军和张鹏(第 10 章)、郭岫(第 11 章)、国玫和郭岫(第 12 章)、吕岩(第 13 章)、黄倩和张永兵(第 14 章)等。而且,许多已经毕业或在读博士生还直接参与了本书部分章节内容的讨论与图文编辑工作,包括张莉、王强、齐洪刚、季向阳、孙俊、刘延伟、国玫、张永兵、黄倩、王诗淇、苏荔、王志航、张凯、李勇鹏等,他们的无私贡献对于本书完成至关重要,我们三位作者在此深表谢意。作者高文早期的学生吴枫博士极力建议撰写本书;孙惠方博士、熊瑞勤博士、范晓鹏博士、蒋婷婷博士等作者的朋友和同事通读了书稿,提出了很多宝贵的修改意见;作者在本书相关内容研究与写作过程中还曾与李卫平教授、陈学敏博士、张亚勤博士、王瑶教授、陈长汶教授、熊子祥教授、柯瑞德(Cliff Reader)博士、李世鹏博士、沈向洋博士、张宏江博士、芮勇博士、陈宏铭教授、雷少民博士、郭宗杰教授等进行过很多有益讨论,在此一并表示感谢,感谢他们对本书最终完成所起的推动作用。本书在成稿过程中,有关视觉心理学、计算机视觉、视

频分析与检索等方面得到了作者高文牵头的 973 项目组同仁的很大帮助,在此我们特别表达对濮鸣亮教授、李量教授、吕宝梁教授、陈熙霖教授、山世光博士、王亦洲博士、黄铁军教授、黄庆明教授、郭宗明博士等的衷心谢意。

本书的完成与作者家人的支持是分不开的,没有他们的支持,很难想象我们能有足够的时间和精力完成文字工作。值此工作完成之际,作者愿意把这本著作作为送给我们三位所有家人的一个答谢,感谢他们常年无怨无悔的支持。

本书的出版得到了国家重大基础研究计划项目“基于视觉特性的视频编码理论与方法研究(2009CB320900)”、国家自然科学基金重点项目(60833013)和(60736043)、国家科学技术学术著作出版基金等的支持,在此表示衷心感谢。

目 录

丛书序

序

前言

第 1 章 概论	1
1.1 视觉感知	2
1.1.1 颜色表达	3
1.1.2 视觉系统的颜色感知	4
1.1.3 视觉系统的光强感知	7
1.1.4 视觉感知	8
1.2 数字视频	10
1.2.1 数字视频系统	10
1.2.2 视频采集	12
1.2.3 色度空间	14
1.2.4 视频格式	16
1.3 视频数据冗余	17
1.3.1 冗余的类型	17
1.3.2 去除冗余的方法	18
参考文献	19
习题	19
第 2 章 视频编码基础	20
2.1 信息论基础	20
2.2 香农编码定理	21
2.3 视频编码技术	23
2.3.1 预测	23
2.3.2 变换	26
2.3.3 量化	27
2.3.4 扫描	27
2.3.5 熵编码	28
2.3.6 编码框架与编码标准	29
2.4 视频图像质量评价	31

2.4.1 客观质量评价	31
2.4.2 主观质量评价	31
2.4.3 基于结构失真的质量评测准则	32
参考文献	34
习题	35
第3章 预测编码	36
3.1 预测编码	36
3.2 帧内预测	37
3.3 帧间预测	40
3.4 运动的表示及估计	41
3.4.1 基于像素的运动估计	41
3.4.2 基于块的运动估计	42
3.4.3 全局运动估计	45
3.5 预测技术的最新进展	49
3.5.1 1/8 插值技术	49
3.5.2 运动矢量预测技术	51
3.5.3 自适应插值技术	52
参考文献	52
习题	54
第4章 变换编码	56
4.1 K-L 变换	56
4.2 DCT 变换	57
4.2.1 一维 DCT 变换	58
4.2.2 二维 DCT 变换	59
4.2.3 DCT 的编码性能	59
4.2.4 DCT 的重要性质	61
4.2.5 快速 DCT 变换	63
4.2.6 整数变换	66
4.3 小波变换	69
4.3.1 一维小波变换与二维小波变换	69
4.3.2 离散小波变换	70
4.3.3 提升小波	72
4.3.4 快速小波变换	73
4.3.5 小波编码方法	74
4.4 变换编码增益	75

参考文献	76
习题	77
第 5 章 量化	78
5.1 量化基本原理	78
5.1.1 基本概念	78
5.1.2 标量量化	80
5.1.3 矢量量化	84
5.1.4 自适应量化	85
5.1.5 视觉量化器设计	87
5.2 量化与码率控制	89
5.2.1 率失真理论	89
5.2.2 率失真理论与优化编码参数选择	92
5.2.3 率失真模型与码率控制	95
参考文献	104
习题	105
第 6 章 信息熵编码	106
6.1 基本原理	106
6.1.1 信源的数学描述及信息熵测度	107
6.1.2 变长编码	111
6.1.3 算术编码	114
6.2 变换系数分布特性	115
6.2.1 DCT 系数的统计特性	115
6.2.2 小波变换系数的统计特性	117
6.3 典型的图像熵编码方法	117
6.4 典型的视频熵编码方法	124
6.4.1 基于上下文的变长编码方法	124
6.4.2 基于上下文的算术编码	127
6.4.3 位平面编码	130
6.4.4 零树编码	132
参考文献	133
习题	137
第 7 章 视频编码系统	138
7.1 视频编码系统技术框架的演进	138
7.2 数字视频编码标准	142
7.2.1 MPEG-1/2/4 和 H. 261 及 H. 263	143

7.2.2 H.264/AVC 和 AVS	145
7.2.3 WMV 和 Real	148
参考文献	149
习题	151
第 8 章 第二代视频编码标准	152
8.1 H.264/AVC	152
8.1.1 帧内空间预测	153
8.1.2 运动补偿预测	155
8.1.3 整数变换与量化	156
8.1.4 熵编码	159
8.1.5 环路滤波技术	162
8.2 视频编码标准 AVS	165
8.2.1 帧内空间预测	165
8.2.2 运动补偿预测	166
8.2.3 B 帧预测编码模式	168
8.2.4 整数变换与量化	171
8.2.5 熵编码	172
8.2.6 环路滤波技术	175
参考文献	177
习题	178
第 9 章 可伸缩视频编码	179
9.1 可伸缩编码方法	179
9.1.1 传统的分层视频编码方法	179
9.1.2 精细粒度可伸缩视频编码方法	180
9.1.3 可伸缩小波视频编码方法	182
9.1.4 可伸缩视频编码技术的近期进展	184
9.2 FGS 编码率失真分析	185
9.2.1 广义高斯分布	185
9.2.2 FGS 增强层变换系数的统计特性	192
9.2.3 FGS 量化模式及其率失真函数的合成	196
9.2.4 FGS 率失真函数及近似模型	200
9.3 FGS 编码中的漂移误差控制	203
9.3.1 AR-FGS	204
9.3.2 基于 cycle 的漏预测 FGS 编码	205
参考文献	214

习题	216
第 10 章 视频转码	217
10.1 转码的分类	217
10.1.1 码率缩减的视频转码	219
10.1.2 分辨率缩减的视频转码	221
10.1.3 帧率缩减的视频转码	224
10.1.4 其他类型的转换	226
10.2 MPEG-2 码率缩减的转码	227
10.2.1 MPEG-2 漂移误差的分析	227
10.2.2 MPEG-2 码率缩减的快速转码结构	229
10.2.3 MPEG-2 漂移误差的自适应控制算法	231
10.3 H.264/AVC 和 AVS 码率缩减的转码	232
10.3.1 H.264/AVC 和 AVS 的率失真优化分析	233
10.3.2 码率缩减中的模式映射算法	234
10.3.3 有限率失真优化的转码	236
10.3.4 有限率失真优化转码的复杂度分析	237
10.4 H.264/AVC 和 AVS 分辨率缩减的转码	238
10.4.1 转码框架	238
10.4.2 分辨率缩减的模式映射算法	239
参考文献	242
习题	244
第 11 章 三维视频编码	245
11.1 三维视觉原理	247
11.1.1 立体视觉	247
11.1.2 双目视差	249
11.1.3 立体视觉模型	250
11.1.4 三维视频获取	251
11.2 三维场景表示	253
11.2.1 典型的三维场景表示技术	253
11.2.2 二进制场景描述语言	256
11.3 立体视频编码	257
11.3.1 立体视频的生成	257
11.3.2 传统的立体视频编码	262
11.3.3 纹理+深度格式的立体视频编码	263
11.4 多视点视频编码	265

11.4.1 基于 3D 模型的多视点视频编码	265
11.4.2 基于混合编码框架的多视点视频编码	266
11.4.3 基于四维小波的多视点视频编码	278
11.5 全景视频编码	280
11.6 立体显示	283
参考文献	285
习题	289
第 12 章 分布式视频编码	290
12.1 分布式信源编码理论与技术	290
12.1.1 相关信号的无损压缩——Slepian-Wolf 理论	290
12.1.2 基于辅助信息解码的有损压缩——Wyner-Ziv 理论	292
12.1.3 分布式信源编码	292
12.1.4 信道编码	295
12.2 分布式视频编码技术	296
12.2.1 视频辅助信息的生成	297
12.2.2 频域变换与系数组织	298
12.2.3 分布式视频编码框架	299
12.3 分布式编码应用技术	301
12.3.1 分布式多视视频编码	301
12.3.2 基于分布式编码的可伸缩视频编码	305
12.3.3 基于分布式编码的多码率码流切换	305
参考文献	307
习题	310
第 13 章 基于视觉的编码	311
13.1 人眼视觉系统	311
13.1.1 视觉通路	311
13.1.2 神经细胞感受野	313
13.1.3 人类视觉系统特性	314
13.2 基于 Sprite 的视频压缩和分割	316
13.2.1 Sprite 生成	317
13.2.2 静态 Sprite 编码	322
13.3 稀疏编码	326
13.3.1 统计理论背景	327
13.3.2 学习规则	329
13.4 Foveation 编码	331

13.4.1 Foveation 视觉模型	331
13.4.2 Foveation 视觉模型的应用	333
参考文献	335
习题	337
第 14 章 编码优化	338
14.1 去噪声	338
14.1.1 空域滤波	338
14.1.2 时域滤波	340
14.2 去块效应与去振铃效应	343
14.2.1 去块效应	344
14.2.2 去块效应滤波器	345
14.2.3 去振铃效应	346
14.3 超分辨率插值	347
14.4 帧率转换	350
14.4.1 直接运动补偿插值	351
14.4.2 重叠块运动补偿插值	352
14.4.3 权值自适应重叠块运动补偿插值	352
14.4.4 STAR 插值	353
14.4.5 MAAR 插值	353
14.5 去隔行效应	355
14.5.1 运动估计	356
14.5.2 运动检测	357
14.5.3 自适应插值	359
参考文献	360
习题	363
第 15 章 图像质量评价	364
15.1 图像质量评价概述	364
15.1.1 图像质量含义	364
15.1.2 图像质量评价的应用	365
15.1.3 质量评价方法分类	365
15.1.4 性能指标和评价准则	366
15.2 图像质量评价方法	367
15.2.1 主观质量评价	367
15.2.2 客观质量评价	368
15.2.3 JND 模型	373

15.3 人工效应分析.....	375
15.3.1 块效应及其评价方法	375
15.3.2 模糊、振铃效应及其评价方法	377
参考文献.....	380
习题.....	382
词汇表索引.....	384

第 1 章 概 论

自从有了电视,视频就以各种各样的方式影响和改变着社会,不论是政治、经济、文化、体育、教育,还是娱乐。自从数字视频开始取代模拟视频,数字视频应用就成为信息产业发展最重要的驱动力。可以预见,不论是在学术界还是在产业界,数字视频在今后若干年,仍然都将是多媒体领域的热点。

在数字视频研究的众多分支领域中,视频编码和视频理解是最具有挑战性的两个分支。视频编码的研究动机,是去除数字视频中的冗余,节省传输和存储开销。视频理解的研究动机,是用人工智能的方法实现视频的识别与理解。本书论述重点是前者,即视频编码。对于视频编码领域,初入门的读者可能会提出如下问题:

- (1) 为什么数字视频是可以压缩的,数字视频中的冗余是如何产生的?
- (2) 数字视频采集与处理,和人的视觉系统工作机理是否一致? 哪一个效率更高?

一般而言,图像是由摄影空间中物体对光源的反射和折射在摄影平面上的投影所产生的。视频是由按一定时间间隔获取的图像序列,序列中的一幅图像也被称为一帧图像。视频在获取或显示时,每秒钟按逐行扫描处理的图像数称为帧率,每秒钟按隔行扫描处理的图像数称为场率,例如每秒 25 帧或 50 场等。由于光是连续的,投影后的图像在空间是连续的,即原始视频在空间上是连续的。

为了处理、传输和存储方便,需要将图像在空间上的连续模拟量进行采样和量化,将其变为数字量,这个过程称为数字化。为了保证在数字化过程中信息不丢失,以便将来恢复为模拟量时做到完全复原,按照采样定理,需要用至少两倍于图像空间信号的频率进行采样。在实际使用中,由于很难测定图像信号的频率,人们通常只是简单地将图像按照一个约定俗成的密度进行采样,例如每行 1920 个采样点,每幅图像 1080 行等。每个采样点得到的数据称为像素,一幅图像采样的行数和列数被称为图像的分辨率。按照固定分辨率采样的结果,可能使得原本图像中存在的一些空间频率不高的区域也用很高的频率采样,从而产生了数据冗余,这种现象也被称为空间过采样。另一方面,由于大多数情况下获取视频的空间场景是不变的,改变的只是场景中运动的物体,因此对于没有变化的空间区域来说,等间隔的重复出现就是冗余,也可以将其看做是时间上的过采样。因此,模拟视频信号在数字化过程中的过采样,是导致数字视频中存在着大量的数据冗余的根本原因。数字视频除了可以用摄像机获取以外,还可能是计算机动画生成的。计算机动画