

数字视频技术进展

侯自强

(中国科学院声学研究所 北京 100081)

近年来随着微电子技术和计算机技术的发展,传统模拟技术的最后一块领地——视频技术也进入了数字化革命的阶段。视频技术从节目制作、编辑存储记录到传输播出全部实现了数字化。本文综述了在视频技术各个领域数字化的进展及相关国际标准的制定。

1 数字视频压缩和调制传输技术进展

视频信号经数字化后数据率是很高的。不压缩的演播室质量的数字视频信号的数据率在100兆比特/秒以上。要在窄于原模拟电视频道带宽内传送数字视频节目,必须解决数字视频压缩(包括运动图象压缩和音频压缩两部分)和高效率调制传输两项关键技术,现在这两项技术均已解决并制定了相应的国际标准。此后,数字视频技术迅速发展,数字电视进入实用阶段。

目前普遍采用的视频压缩技术是基于DCT的静止图象压缩技术(帧内)和运动补偿技术(帧间)。现已制定的标准有用于可视电话和会议电视的CCITT H. 261建议及用于数字电视的MPEG-2。

H. 261也称PX64。考虑到ISDN以64千比特/秒传输码率为单位,也可以PX64千比特/秒为H. 261的标称码率。信源编码基于CIF格式,亮度为 352×288 ,色差为 176×144 。也可再取1/4为QCIF格式,采用帧内/帧间自适应预测加DCT变换的混合算法。根据对画面质量要求的不同,P可选在1—30范围内,相应输出码率为64千比特/秒至2兆比特/秒。H. 261没有太多的传输编码的规定。主要对视音频同步问题有些规定。

MPEG是运动图象专家组的缩写,该组于1988

年在国际标准化组织(ISO)下成立,目的是建立活动图象及相应音频的编码标准。现已制定ISO/IEC11172(MPEG-1)和ISO/IEC 13818(MPEG-2)国际标准。标准的视频部分,规定了视频编码数据的表达方式和解码中重组编码图象的解码过程,以及把视频音频数据组合在一起并使之同步的复用结构,同时也包括用于传输的数据源的结构等。实际上这种规定只是一种句法描述,给编码器留有不断改进的余地。

MPEG是一个标准系列,包括MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4。MPEG-1输入格式为 $CIF 352 \times 288$,适用于低速率,主要用于CD-ROM、VCD或E1(T1)线路传输,码率为1.5兆比特/秒。MPEG-2供数字电视用,它可支持标准分辨率、 $16:9$ 宽屏及高清晰电视多种格式,提供广播质量编码影像。原来还有专用于高清晰度电视的MPEG-3,现已取消。MPEG-4尚在发展中,用于超低速率(10千比特/秒),可用极少数据产生精确图象。

MPEG-2是一个家族。其输入可有4种格式,称为级(level)。处理方法称为类(profiles),共有5类。不同类和级的组合可提供不同图象质量和输出速率。可以有20种组合,其中有11种是标准通过的,称为MPEG-2的适合点,如图1所示。

输入影像格式的第二级为主级(ML),其格式符合ITU—R Rec. BT 601标准 $704 \times 576 \times 25$ 。第一级为低级LL,是主级的 $1/4$, $352 \times 288 \times 25$ 。第三级为1440,第四级为高级即高清晰度电视格式 1920×1080 。在处理方法分类方面,第一类为简单类SP,只有单向预测,第二类为主类MP,最常使用,采用双向预测,第三、四类分别是信噪比可分级类SNR SCL和空间可分级类SPA SCL,主要是为了在强干

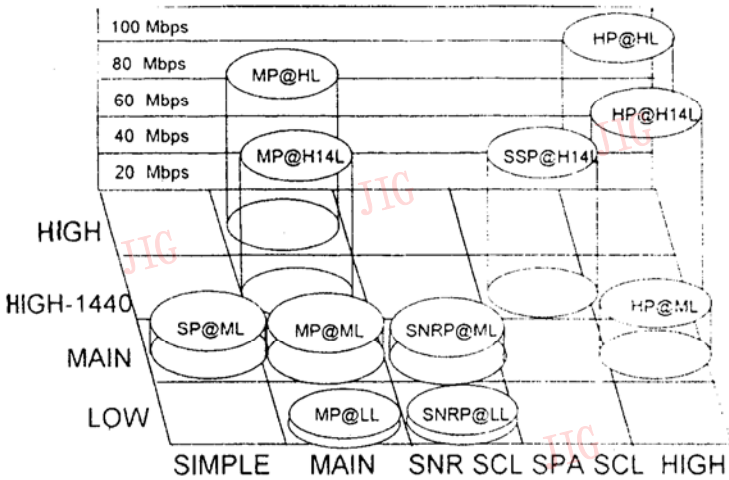


图 1 MPEG-1 家族示意图

Fig. 1 The Levels and profiles of MPEG-1

扰地方仍可保证画面质量,而在好的地方有更好的质量。第五类为高级内 HP,可以逐行同时处理色差信号。MPEG-2 格式经常用级和类的缩写来表示,如最常用的(如 DVB)主类主级可表示为 MP@ML,美国的高清晰度电视为 MP@HL。以目前编码的水平达到 ITU-R Rec, BT601 演播室质量的 MP@ML 所需码率为 9 兆比特/秒,而达到 PAL 质量所需速率为 5 兆比特/秒。

MPEG-2 除视频编码和音频编码外,还有关于系统的规定。包括对编码的视、音频信号打包,打包后形成基本码流(PES)。基本码流经复用后形成节目码流和传送码流。节目码流用于误码较小的传输或存贮媒介。传送码流用于误码较大的传输或存贮媒介。传送码流中可包括多个节目和其它数据,在接收传送码流时首先要解复用,MPEG-2 标准对上述系统各环节的码流的格式有明确的规定。

以上介绍的数字视频压缩,也可称之为信源编码。经信源编码后得到的是节目码流和传送码流。在经信道传输或介质存贮时,还需要进行信道编码,即调制传输。

在用磁带、光盘存贮或数字线路传输时要进行基带处理。在上述过程中,往往直流分量通不过,希望脉冲直流分量为零,为此可采用下列方法:改变编码码型;增加冗余法(如 8-14 编码);使用伪随机序列进行扰码等。

在地面广播、卫星广播或有线电视等应用中,码流的二进制信号是调制在射频正弦波上传输的。调制的方法主要是通过改变正弦波的振幅、相位或频率来传送信息。为适应不同的要求,有多种调制方法

可供选择。四相移位键控(QPSK)有较高的抗干扰能力,在较低信噪比时仍可工作,但频谱利用效率不够高,每赫带宽只能传送 1.2 比特,在卫星直播中多使用这种方法。而正交振幅调制(QAM)则有很高的频谱利用效率,64QAM 可达 6 比特/赫,但抗干扰能力差,主要用于有线电视中。地面广播有反射造成的多途效应,会造成码间干扰,可采用编码正交频分复用(COFDM)法或残余边带调制 VSB。

2 会议电视系统

会议电视采用前述的 H. 261 视频压缩标准。高档的会议电视系统可用大屏幕显示器显示清晰的影象,其传输速率用到 2 兆比特/秒的最高档。采用多点控制单元控制在几十个地点同时召开的会议,并可同时传送图片和文件。语言系统是全双工的,还具有回声抵消系统消除室内混响,提高清晰度,讲话人可不必对着话筒。由于远程传送通信网路价格很贵,因此降低通信速率可大大节约开支。目前会议电视系统常用 6 通道 ISDN(384 千比特/秒)工作,最经济的可以在 128 千比特/秒速率下工作。会议电视系统以政府、部门、大型企业为销售目标,可联系几个人至几十人的会场,其价格较昂贵。近年来随着 PC 的普及和压缩/解压缩技术的发展,信号可用局域网和 ISDN 线路来传送,PC 为基础的桌上型会议电视系统发展迅速,价格已降至 1000—2000 美元,有望降至 500 美元以下。

目前大部分会议电视的标准业已制定,国际电信联盟(ITU)制订了 H. 320 建议,这是一个框架性标准,其中有:H. 261 视频压缩标准,H. 221、H. 230、H. 242 分别是信道帧结构、端一端信令、通信协议等标准。G. 711、G. 722 及 G. 728 是针对音频信号编码的规范。如果一个会议电视系统仅符合 H. 261,则不能保证与其它产品互通。在数据传送方面,T. 120 系列标准规范了一组协定,保证在会议电视网路中传送文件及图形信息。

目前桌上型会议电视系统多数符合 H. 320 标准,用 ISDN 线路传送,可支持 352×288 及 176×144 两种分辨率的影象,符合 H. 320 标准的不同公司的产品可以互通,用于局域网上的会议电视产品应符合 H. 320(QOS),H. 323(非 QOS)的标准。

近年来互联网(internet)发展迅速,能够在互联网环境下应用的会议电视系统正在发展中,这种系

统除能传达双方的视觉、声音外,还可共用电子白板、传送文件,以供双方实时讨论所需。由于PC性能不断增强,采用全软件实现的会议电视系统正在出现,这将大大推动会议电视的普及。目前存的问题是要降低通信费用,进一步提高压缩比,高压压缩比的MPEG-4将解决这一问题。

3 Video CD 及 DVD

MPEG-1 标准公布后,以飞利浦、索尼为首的7家公司制定了 Video CD 标准或称白皮书标准,可以CD盘上存贮74分钟的MPEG-1压缩的视频信号和立体声信号。此后,Video CD 开始迅速发展。一种方法是在多媒体计算机上用CD-ROM驱动播放,用MPEG-1解压卡回放。近年来随着奔腾芯片的出现,PC速度提高,已可实现用软件解压缩来回放VCD,但效果较硬件解压缩差一些。由于MPEG-1影象质量不够好,好莱坞不接收其为新一代电影的标准记录媒体。在美国等西方国家,VCD主要是在多媒体计算机上使用,没有大量发展。在亚洲国家尤其是中国情况不同,VCD放像机得到快速发展,在市场上压倒了LD激光放像机。冲击VHS磁带录像机市场。VCD的影象质量相当于VHS磁带机。但盘片价格低于磁带,又不会磨损,可长期保存。中国已有大量CD盘片生产线,生产VCD非常方便,VCD在近若干年内将成为中国市场放影机的主体。

MPEG-2 标准公布后,基于MPEG-2的DVD的发展开始进行。DVD将成为新一代的影视记录媒体,其影象质量超过LD大影碟,声音为高保真环绕

声。各大公司纷纷竞相发展DVD放像机,形成了两个集团。一是以飞利浦、索尼为首的MMCD,另一是以东芝、松下为首的SDCD。最后两家协议达成统一标准,采用画面质量更高的SDCD的记录格式和MMCD的调制编码方法(优点是与计算机CD-ROM有兼容性)。DVD仍采用现有CD尺寸,有单面单层容量为4.7吉字节,单面双层为9吉字节,双面单层为9.4吉字节,双面双层为18吉字节。单面双层可记录128分钟MPEG-2。双面双层可记录255分钟节目。为提高影象质量,DVD记录MPEG数据时可以是变数据率的,以保证快速画面有较高质量。声音压缩则采用Dolby实验室的AC-3。有5声道数字环绕声,并可有多种语言。DVD将在1996年下半年上市,价格在520—700美元。

表1给出了CD与两种DVD的参数。

4 数字磁带录象机

专业数字磁带录象机已有若干年历史,家用数字磁带录象机DVD则是1993年制定标准,1995年开始有产品面世。

专业数字录象机记录的是未压缩的或无损压缩的数字视频信号,SMPTE制定了数字磁带录象机D1—D6的格式。

1986年索尼首先生产了D1数字磁带录象机,它可以直接记录符合CCIR601建议的分量编码数字视频信号和符合AES/EBU格式的数字音频信号。视频信号码率为216兆比特/秒,加音频后总码率为227兆比特/秒。一盘3/4"磁带可记录94分钟。

表1 两个企业集团提出的数字视盘标准

Table The specification of CD and DVD

名称	HDMCD * 1	SD 规格 * 2	CD(供参考)	
提案厂家	索尼等公司 * 3	东芝等公司 * 4	飞利浦公司等	
视盘的标准	视盘直径(mm)	120	120	
	视盘坑直径(mm)	15	15	
	视盘基板厚度(mm)	1.2	0.6	1.2
	记录范围的起始直径(mm)	46	预定 46	50
	记录范围的最大直径(mm)	116	116	116
	轨迹节距(μm)	0.84	0.725	1.6
	最短记录刻度长度(μm)	0.451	预定 0.40—0.43	约 0.9
	线速度(m/s)	约 4	约 4	约 1.3
	视盘旋转控制方式	线速恒定(CLV)	线速恒定(CLV)	线速恒定(CLV)

(续)

名称	HDMCD * 1	SD 规格 * 2	CD(供参考)
提案厂家	索尼等公司 * 3	东芝等公司 * 4	飞利浦公司等
视盘的标准	数据传输速度(Mb/s)	最大 11.2	最大约 10
	总记录容量(Gb)	约 3.7 (记录层单层时)	约 5 (单面记录时)
	提高记录容量的方法	两层	两面
	基板材料	聚碳酸酯	聚碳酸酯
记录格式	记录编码(调制)方式	EFMplus * 6	未定
	纠错码方式	CIRC plus	RS-PC * 8
	纠错后的误码率	10 ⁻¹⁴ 以下	10 ⁻²⁰ 以下(纠错前的 误码率为 5×10 ⁹ 时)
	作为计算机记录媒体的逻辑格式	预计可对应 ISO9660 的扩展	预计可对应 ISO9660 的扩展
图像的标准	压缩算法	MPEG2	MPEG1(图象 CD 时)
	编码速度(Mb/s)	可变(约 1—11)	可变(最大约 10)
声音	压缩算法	未定(正在研究采用 杜比-AC3 改进版等)	杜比-AC3
标准	编码速度(kb/s)	128(立体声 384(环绕声))	384 等
光学参数	光源波长(nm)	635	650 或 635
	镜头孔径(NA)	0.52	0.6

* 1. HCMCD 是高密度多媒体小型视盘的英文缩写(High Density Multimedia Compact Disc)。* 2. 超高密度视盘的英文缩写(Super Density Disc)。* 3. 索尼和飞利浦两家公司共同提出的。* 4. 东芝、松下等日美欧 8 家公司共同提出的。* 5. 由两张 0.6mm 基板压成厚 1.2mm 视盘。* 6. 8—14 调制 Plus。* 7. 交叉编织李德·所罗门编码 PluS。* 8. 李德·所罗门乘积编码。

D2 格式数字录象机记录复合数字视频信号,其码率仅为分量式的一半。较 D1 经济实用。一盘 3/4" 磁带可记录 204 分钟。

D3 格式数字磁带录象机出现于 1991 年,是一个经济有效的数字复合录象机系列。适合于现有广播环境。价格比模拟 C 格式磁带录象机贵不了多少。使用 1/2" 磁带,可记录 245 分钟,这种磁带机在 1992 年巴塞罗那奥运会上大量使用。

D5 是目前最高质量最高性能的数字录象机。记录码率可高达 300 兆比特/秒,使用 1/2" 磁带记录

123 分钟,记录数字分量信号。原始码率为 1.2 吉比特/秒的 HDTV 信号经 4:1 压缩后可记录到 D5 上。

D6 是 1994 年出现的,它适用于 HDTV,其记录码率为 1.2 吉比特/秒,一盘 3/4" 磁带记录 60 分钟。

以上 D1—D6 均是记录未压缩的数字视频信号。1993 年出现两种记录无损压缩的数字视频信号的录象机:Digital Betacom 和 Amplex DCT,其记录码率分别为 100 和 130 兆比特/秒。

表 2 给出了各种专业数字录象机的参数比较。

表 2
Table 2

录象机型号	年份			bit	信号码率 (Mbps)	可记录时间(min)
D1	1986	3/4"	525/625	分量	216	94
D2	1988	3/4"	525/625	复合	115/142	208
D3	1991	1/2"	525/625	复合	115/142	245
D5	1993	1/2"	525/625	分量	8/10	123
Digital Betacom	1993	1/2"	525/625	分量	8/10	123
Amplex DCT	1993	3/4"	525/625	分量	100	125
D6	1994	3/4"	1920×1080	分量	8	60

1993年,索尼、飞利浦等10家公司宣布确立数字视频盒带DVC格式,主要用于消费类产品,该格式规定四大要素:压缩标准,盒式磁带系列,机械格式和一整套芯片。视频码率为24.948兆比特/秒,记录码率为41.85兆比特/秒。

视频亮度信号抽样频率为13.5兆赫,色差信号小,3.38兆赫抽样,视频数据压缩采用DCT和可变字长编码。对于普通标准清晰度电视采用4:1:1数字分量结构,分辨率与D5相同,为演播室水平,色度取样率减半影响不大。只采用帧内压缩,没有活动损伤。4:2:2数字信号码率为216兆比特/秒,变为4:1:1,再经压缩后变为24.948兆比特/秒。最小盒式带尺寸相当于微小音频带(66×48×12.2毫米),可记录1小时,而与音频盒式带尺寸相近的盒式带(125×78×14.6毫米)可记录4小时。

目前索尼、松下、佳能等公司均已采用DVC录象机的家用摄录一体机上市,价格约4000美元。

5 数字电视

数字音频视频压缩技术和调制技术的发展,使得在较窄的频带内传送高质量的数字电视信号成为现实,利用这一技术可在现有电视标准频带上播送HDTV尚不需增宽频带。

数字电视首先在卫星直播电视中实现商业性应用,并取得巨大成功。1994年美国休斯公司经营数字卫星系统(DSS),下半年开播DirectTV服务,一年内即发展了100万用户。由于当时MPEG-2标准尚未公布,该系统介于MPEG-1和MPEG-2之间,用3.5兆比特/秒数据率播送全运动电视信号,采用QPSK调制后,可大大提高转发器的利用率。该系统用两颗卫星可为美国本土及加拿大南部城市居民提供150套直播电视节目,采用Ku波段,用0.45米小天线即可接收。购机初装费700美元。月租25—30美元。

DirectTV的巨大成功,推动了卫星直播数字电视的发展。GI的primestar也改为直播数字电视。1995年底我国长征公司又为美国发射了一颗Echostar卫星,用于直播数字电视,另一颗卫星Alphastar也将发射。

在欧洲150个组织合作开展数字视频广播DVB项目,并制定了数字电视标准,包括卫星直播电视、有线电视和地面广播电视。在图象格式方面包括标准分辨率电视和高清晰度电视。

DVB项目发展了一套适用于上述应用的数字电视技术和系统。它的要求是:系统使用统一的MPEG-2压缩方法和MPEG-2传输流及复用方法,统一的服务信息系统提供广播节目的细节信息,统一的R-S纠错码,统一的加扰系统和条件接收公共接口,不同厂商可选用不同条件接收系统。对于不同的传输媒体可采用不同的调制方法及通道编码纠错方法,目前DVB已制定了两个标准。

DVB-S用于卫星直播电视,采用QPSK调制,使用MPEG-2的MP@ML。符合CCIR601演播室质量时的码率是9兆比特/秒,而PAL质量信号码率是5兆比特/秒。采用一个转发器、一个载波系统、一个54兆赫转发器传送速率可达68兆比特/秒,可代多套节目复用。

DVB-C用于有线电视系统中播放数字电视,可用于直播电视,也可用于影视点播VOD或准点播NVOD。由于在电缆中有很好的信噪比,可以采用高频谱利用率的正交振幅调制QAM。可选用16,32,64QAM三种方式。采用64QAM调制时,一个PAL频道8兆赫,可传送码率41.34兆比特/秒。可供多套节目复用。

DVB的音频压缩方法可以有多种选择:立体声MUSICAM,多声道MUSICAM以及DOLBY实验室的AC-3。而用于地面广播的效果电视可能会选用COFDM调制,这个标准正在制订中。

采用数字电视几乎可将有线电视播选节目的容量提高10倍。550兆赫系统可传送500套节目。这就为发展交互式电视应用提供了基础。交互式数字电视应用包括影视点播、交互式教育、交互式游戏、家庭购物等。

影视点播VOD使得用户能通过有线电视上行频道发出指令,从分布在不同地点的服务器中存贮的成千上万部电影中选播一部播放,还需要光纤电路传送和ATM交换机转接,需要复杂的基础设施。VOD是前两年有线电视业的热点,在美国建立了几十个试验网,由于技术和市场还不成熟,VOD的发展将不像最初预料的那样快。而较简单的NVOD可能发展较快,在不同频道以一定时间间隔如15分钟重播一部电影。这样一部两小时电影仅用8个频道,在任何时间点播最多等15分钟即可看到。

视放服务器由磁盘存贮器阵列组成。一部存贮500部电影的视频服务器的容量的2太字节,能同时输出1000个视频数据流。实现视频服务器的计算机平台有四种。一是利用PC平台,如MICROSOFT

的方案,另一是用多处理的 UNIX 机,如 SGI 和 IBM 系统,N CUBE 则采用大规模并行多处理机,DEC 和 HP 则选用了专用硬件的方案。

在美国,1995 年 4 月通过了先进电视 ATV 的 ATSC 标准,包括视频编码输入、扫描格式和预处理,视频编码压缩和压缩参数,音频编码器输入格式、预处理、编码和压缩参数,服务业务复用,传输层特性及规范规定 VSB/RF 传输子系统。视频压缩采用 ISO/IEC MPEG-2 标准,音频压缩可选用 AC-3 或 ISO/IEC MPEG-2。该标准有标准电视、16:9 电视及高清晰度电视等几种格式。

调制方法在地面广播中选用 8VSB 残余边带调制,6 兆赫 NTSC 频带内可传送码率为 19 兆比特/秒,可供 4 套节目复用。有线电视则用 16VSB,6 兆赫频带可传送码率为 38 兆比特/秒,可供 8—10 套标准格式电视节目复用。

美国计划在 15 年内将所有地面电视广播改为改字数字电视。

美国的高清晰度电视 HDTV 计划发展成了 ATV 的一部分,它采用 MPEG-2 的 MP@HL。有两种格式:1280×720 及 1920×1080,用于地面广播时用 8VSB 调制,码率小于 19.4 兆比特/秒,用于有线电视时用 16VSB 调制,码率小于 38.8 兆比特/秒。

6 非线性视频编辑系统

长期以来用来编辑电视节目的编辑系统采用模拟技术。在这种系统中,原始素材被记录在多台模拟磁带记录器上,事先要找到所需素材在磁带上的位置,用计算机作为智能编辑控制器,控制各台磁带记录器的动作。将存放在不同磁带上的素材按顺序转录到一台磁带机上进行编辑。这种编辑系统称为活性视频编辑系统。编辑人员不能在一条记录多种素材的磁带上快速地任意选取所需素材。另外在编辑过程中对素材进行加工特技处理也较困难。

数字视频技术的发展,可以将大量素材高质量地存贮在磁盘存储器中用计算机控制,可按地址快速取出所需素材。用这种方法进行组频编辑,编辑人员可快速按需任意选用素材,而不必顾及记录的顺序,编辑结果记录在磁盘中,可方便地进行检查修改,最后再转录到磁带上。这种编辑系统被称为非线性视频编辑系统。

目前基于 MAC 和 PC 的桌式非线性视频编辑系统发展很快,有些系统已可用于广播级的非线性编辑。目前采用得最多的压缩方法是 MJPGG,少量系统用小波 Wavelet 和 DVL。为保证画面质量,一般在正式编辑时采用 3-8 倍的压缩比,基本是无损压缩。在预先草编时最多用到 100:1 的压缩比。

在小压缩比时,数字视频使用存贮空间很大,在编辑时遇到转录大段素材时不必数字化,可直接转录模拟信号(如记录的已是数字磁带,记录器则可直接转录不必存入磁盘)。这就是所谓的混合视频编辑系统,如 FAST 公司的 Video Machine,同时有数字记录/回放和 Matrox studio。

非线性视频编辑系统有很强的实时处理能力,包括视频画面的叠加、画象,层数无限的几百种二维、三维数字特技如卷页,透视定位,马赛克,多画面尺寸改变,全方位旋转,定位镶边,合成,修旁,S 曲线运动等速率可调的快慢象功能。这种系统有直观的编辑界面,使用方便易掌握。属这类的系统有 Avid 公司的 MC1000,ImMIX 的 TurboCube 及 Asia 公司的 Asia3000AV 等。

数字视频技术正在快速发展中,随着技术的成熟和价格的降低将逐步取代模拟视频技术。数字视频技术推动了计算机业、通信业、消费类电子和影视传媒业的合聚,作为信息高速公路的信息通信的核心特征——多媒体,将给教育、卫生保健、商业、办公自动化、管理和娱乐等带来新的革命。



侯自强,1958 年毕业于北京大学物理系。曾任中国科学院秘书长。现任中国科学院声学研究所所长、研究员,中国图象图形学会理事长,中国声学学会副理事长。主要研究领域为数字图象处理、声信号处理、医学影象、数字视频、网络通信技术等。主要著作有《声纳信号处理——原理和设备》,《医学诊断数字影象技术》。

The Progress of Digital Video

Hou Ziqing

(Institute of Acoustics, CAS, Beijing 100080)

Abstract In recent years, as the development of Microelectronic and computer, Video, the Last area which traditional analog Technology has hold, is going to have digital revolution. From program edition storage, recording to transmission and broadcasting, all the video signal processing has been digitization. This paper introduces the new progress of digital video and gives correspondent international standard.