

高等学校通用教材

数字电视原理及应用

杨建华 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书深入浅出地阐述了数字电视的基础理论、系统组成、关键技术以及各种业务。全书共 10 章,重点介绍了数字电视音频技术及相关标准、数字电视传输和调制技术、大屏幕显示技术、机顶盒与数字电视的条件接收以及数字电视的应用技术等内容。在讲述基本概念、原理的同时,着重介绍了最新的技术成果,反映了本学科的发展趋势。

本书可作为高等院校广播电视、电子信息和通信类专业的本科生教材,也可供有关技术管理人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理及应用/杨建华编著. —北京:北京航空
航天大学出版社,2006

ISBN 7-81077-696-7

I. 数… II. 杨… III. 数字电视
IV. TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 128624 号

数字电视原理及应用

杨建华 编著

责任编辑 韩文礼

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:15.75 字数:353 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 7-81077-696-7

定价:22.00 元

前言

20世纪90年代以来,随着计算机技术、数字处理技术、图像压缩技术等高新技术的迅猛发展,电视技术进入了从模拟电视向全数字高清晰度电视发展的新时期。数字电视是继黑白电视和彩色电视之后的第三代电视,是电视发展史上的一个新的里程碑。随着数字电视时代的到来,为了适应数字电视技术普及发展的需要,作者结合自己多年的教学经验和科研体会编写了本书。

本书系统地讲述了数字电视的基本原理和数字电视技术的应用。全书共10章:第1章讲述电视的基本原理,包括光的特性和人眼视觉特性、电视发送与接收原理、兼容制彩色电视制式等内容;第2章讲述数字电视的基础知识,包括数字电视的基本概念、系统组成与关键技术以及电视信号的数字化;第3章讲述视频压缩编码的基本原理,包括熵编码、预测编码、变换编码;第4章讲述数字电视的传输技术,包括数字电视信号的基带处理、纠错编码以及三种数字电视传输系统,详细地介绍数字电视有线传输系统;第5章讲述数字电视调制技术,主要是数字电视信号的载波调制、多进制数字调制系统以及世界主要数字电视标准;第6章讲述数字音频技术,主要是数字音频压缩技术和数字音频广播;第7章介绍一些数字电视的国际标准,主要是H.261标准、JPEG标准和MPEG标准;第8章介绍机顶盒与数字电视的条件接收;第9章介绍数字电视的应用技术,包括交互电视、视频点播、数字会议电视、数字电视电话、多媒体电视以及数字电视的数据广播;第10章介绍大屏幕显示技术,重点是液晶显示器和等离子体显示器。

本书可作为高等院校广播电视、电子信息和通信类专业的本科生教材,也可供有关技术管理人员阅读参考。

数字电视技术的发展日新月异,加之作者水平和经验有限,书中缺点和错误敬请读者批评指正。在此感谢宋茂忠教授为本书提出的宝贵的修改意见。

编者

2005年9月

目 录

第 1 章 电视基础知识

1.1 光的特性与人眼视觉特性	1
1.1.1 光的特性与度量	1
1.1.2 人眼的视觉特性	2
1.2 扫描和黑白电视图像转换	6
1.2.1 扫 描	6
1.2.2 电视扫描的基本参数	9
1.2.3 全电视信号	13
1.2.4 电视传送原理	19
1.3 彩色三要素与三基色原理	24
1.3.1 彩色三要素	24
1.3.2 三基色原理及混色方法	25
1.3.3 配色方程与亮度方程	26
1.3.4 彩色图像的摄取与重现	27
1.4 兼容制彩色电视制式概述	29
1.4.1 色度信号的编码传输	29
1.4.2 彩色电视信号的频带压缩	30
1.4.3 NTSC 制	33
1.4.4 PAL 制	34
1.4.5 SECAM 制	35
1.4.6 现行彩色电视制式的缺陷	36
思考题	37

第 2 章 数字电视基础

2.1 数字电视和高清晰度电视	38
2.2 数字电视系统组成	40
2.3 数字电视系统的关键技术	41
2.3.1 数字电视的信源编/解码	41
2.3.2 数字电视的传送复用	41
2.3.3 信道编/解码及调制解调	41

2.3.4 软件平台——中间件	42
2.3.5 条件接收	42
2.3.6 大屏幕显示	42
2.4 电视信号的数字化	43
2.4.1 PCM 调制	43
2.4.2 全信号和分量信号编码	44
思考题	45

第 3 章 视频数据压缩编码

3.1 基本原理	46
3.1.1 视频压缩的必要性和可能性	46
3.1.2 视频数据压缩方法的分类	48
3.2 熵编码	49
3.3 预测编码	55
3.3.1 DPCM 预测编码	55
3.3.2 运动估值和运动补偿预测编码	57
3.4 变换编码	62
思考题	68

第 4 章 数字电视传输技术

4.1 数字电视信号的基带处理	69
4.1.1 选择适合信道传输的码型	69
4.1.2 使用伪随机序列进行扰码	71
4.2 数字电视信号的纠错编码	72
4.2.1 差错控制方式	72
4.2.2 差错种类	73
4.2.3 RS 码	73
4.2.4 交织技术	73
4.2.5 卷积编码	74
4.2.6 TCM 格状编码调制	76
4.2.7 Turbo 码	77

8.3.1 CA 技术的发展历程和系统特点	171	9.6 数字电视的数据广播	213
8.3.2 CA 系统的组成及工作原理	172	9.6.1 互联网数据广播	214
8.3.3 同密和多密模式	180	9.6.2 卫星数字电视的数据广播	214
8.3.4 MPEG-2 以及 DVB 标准中有关 CA 的 规定	183	9.6.3 地面数字电视的数据广播	215
思考题	184	9.6.4 有线数字电视的数据广播	215
		9.6.5 图文电视业务	217
第 9 章 数字电视应用技术		思考题	220
9.1 交互式数字电视	185	第 10 章 大屏幕显示技术	
9.1.1 交互电视的特点	185	10.1 CRT 显示器	221
9.1.2 交互电视系统的结构	186	10.1.1 CRT 显示器工作原理	221
9.1.3 交互电视的关键技术	188	10.1.2 CRT 显示器的主要技术指标	222
9.2 视频点播(VOD)	193	10.2 液晶显示器	223
9.2.1 VOD 系统构成与信号流程	193	10.2.1 液晶显示器的工作原理	223
9.2.2 HFC 视频点播系统	194	10.2.2 液晶显示器的技术指标	225
9.2.3 基于以太网的 VOD 系统	197	10.2.3 液晶显示器的新技术	226
9.2.4 基于多种网络的 VOD 系统	197	10.2.4 国际技术水平和现状	227
9.2.5 基于 ADSL 的 VOD 系统	199	10.2.5 TFT-LCD 的主要特点	228
9.3 数字会议电视	200	10.3 等离子体显示器	230
9.3.1 会议电视系统的分类	200	10.3.1 三电极表面放电型彩色 AC-PDP 的 结构及工作原理	231
9.3.2 会议电视系统关键技术	201	10.3.2 多灰度级显示的实现方法	232
9.3.3 会议电视系统的组成	203	10.3.3 驱动方法	233
9.3.4 会议电视的国际标准	205	10.3.4 动态假轮廓及其形成机理	233
9.3.5 基于 MPEG-2 标准的会议电视	205	10.3.5 抑制动态假轮廓的措施	235
9.3.6 基于远程教育的会议电视系统	206	10.3.6 PDP 技术的发展方向	236
9.3.7 H.320 会议电视系统	208	10.4 投影式显示	237
9.4 数字电视电话系统	208	10.4.1 数字式光处理(DLP)显示技术	237
9.4.1 静止图像可视电话系统	209	10.4.2 硅基液晶(LCOS)显示技术	238
9.4.2 数字电视电话系统	210	10.4.3 D-ILA 显示技术	239
9.5 多媒体电视	211	思考题	241
9.5.1 多媒体技术	211	参考文献	
9.5.2 多媒体电视技术概述	213		

第 1 章 电视基础知识

1.1 光的特性与人眼视觉特性

1.1.1 光的特性与度量

光学和电磁场理论指出:光是一种电磁波。电磁波包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线和宇宙射线等,它们分别占据的频率范围如图 1-1 所示。其中人眼能看见的可见光谱只集中在 $3.85 \times 10^{14} \sim 7.89 \times 10^{14}$ Hz 的频段内,其波长范围为 $380 \sim 780$ nm。此范围内的不同波长的光作用于人眼后引起的颜色感觉不同,按波长从长到短的顺序依次为红、橙、黄、绿、青、蓝、紫。

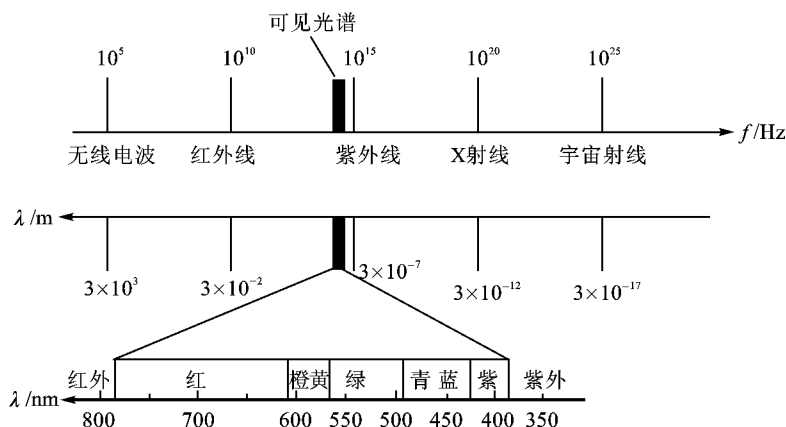


图 1-1 电磁辐射波谱

由于在相同的亮度环境条件下,辐射功率相同、波长不同的光所引起的亮度感觉不同;辐射功率不同、波长也不相同的光可能引起相同的亮度感觉。为了按照人眼的光感觉去度量辐射功率,特地引入光通量的概念。

在光度学中,光通量(Φ_v)定义为能够被人的视觉系统所感受到的那部分辐射功率的大小的度量,单位是流明(lm)。光通量的大小反映了一个光源所发出的光辐射能量所引起的人眼光亮感觉的能力。

对于一个光源,可以说这个光源发出的光通量是多少;对于一个接收面,可以说它接收到的光通量有多少;对于一束光,可以说这束光传播的光通量是多少。由光通量可以导出光度学

中其他几个常用的量。

当有一定数量的光通量到达一个接收面上时,就说这个面被照明了,照明程度的大小可以用照度来描述。照度的单位是勒克斯(lx),其定义为:1 lx 等于 1 lm 的光通量均匀地分布在 1 m² 面积上的光照度,即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。光照度常用 E_v 表示。

下面列举几个实际生活中的照度值。教室中的标准照明是指在课桌面上照度不低于 50 lx;白天无阳光直射自然景物上的照度为 10 000~20 000 lx;晴天室内的照度为 100~1 000 lx;阴天自然景物上的照度约为 10^3 lx ;阴天室内的照度为 5~50 lx;夜间满月下为 10^{-1} lx 。

一个光源,例如一个电灯泡,在它发光的时候,可以向四面八方照射,但它向各个方向所发出的光通量可能是不一样的,于是定义发光强度来描述在某指定方向上发出光通量的能力。发光强度的单位是坎德拉(cd)。1979 年第 16 届国际计量大会决定:坎德拉是一光源在指定方向上的发光强度,该光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单色辐射,而且在此方向上的辐射强度为 $(1/683) \text{ W/sr}$ 。发光强度常用 I 表示。

发光强度只描述了光源在某一方向上的发光能力,并未涉及光源的面积,采用单位面积上的发光强度更能反映各种光源的“优劣”,这就要用到亮度这个概念。亮度表示单位面积上的发光强度,其单位是坎德拉每平方米(cd/m^2)。光亮度常用 L 表示。

1.1.2 人眼的视觉特性

1. 人眼的光谱响应特性

视觉效应是由可见光刺激人眼引起的。如果光的辐射功率相同而波长不同,则不仅会对人眼产生不同的彩色感觉,而且还会产生不同的亮度感觉。在等能量分布的光谱中,人眼感觉最暗的是红色,其次是蓝色和紫色;感觉最亮的是黄绿色。

为了确定人眼对不同波长光的敏感程度,可在相同亮度感觉的情况下,测出各种波长光的辐射功率 $P(\lambda)$ 。 $P(\lambda)$ 越大,说明人眼对该波长的光越不敏感; $P(\lambda)$ 越小,人眼对该波长的光越敏感。因此, $P(\lambda)$ 的倒数可用来衡量视觉对波长为 λ 的光的敏感程度,称为视敏度,用 $K(\lambda)$ 表示。

实验表明,对 $\lambda = 555 \text{ nm}$ 的黄绿光,有最大的视敏度 $K_m = K(555)$ 。其他波长的 $K(\lambda)$ 与 K_m 之比称为相对视敏度,用 $V(\lambda)$ 表示。图 1-2 给出了相对视敏度曲线。这条曲线也称为相对光谱灵敏度(或光谱响应)曲线。

2. 人眼的亮度感觉特性

(1) 明暗视觉

前面讨论了人眼的相对视敏度曲线。这条曲线表明在白天正常光照下人眼对各种不同波长光的敏感程度,称为明视觉视敏度曲线,如图 1-3 中粗曲线所示。明视觉过程主要是由锥状细胞完成的,它既产生明感觉,又产生彩色感觉。因此,这条曲线主要反映锥状细胞对不同波长光的亮度敏感特性。

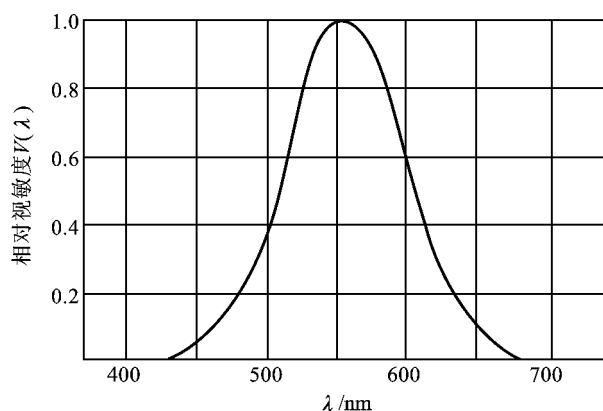


图 1-2 相对视敏度曲线

在弱光条件下,人眼的视觉过程主要由杆状细胞完成,而杆状细胞对各种不同波长光的敏感程度将不同于明视觉视敏度,表现为对波长短的光敏感程度有所增大,即曲线向左移。这条曲线称暗视觉敏感度曲线,如图 1-3 中细曲线所示。在弱光条件下,杆状细胞只有明暗感觉,而没有彩色感觉。

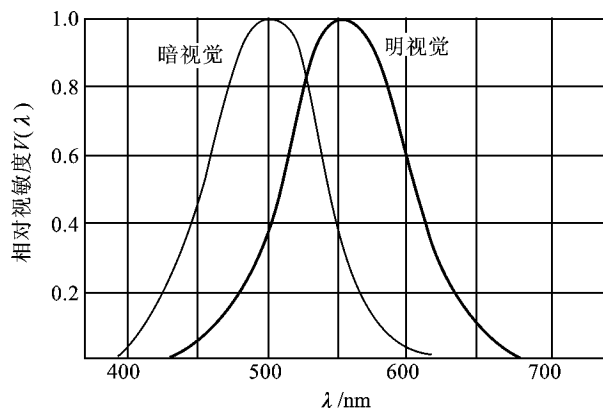


图 1-3 明视觉与暗视觉的视敏度曲线

(2) 亮度感觉

在定义亮度时虽然已经考虑了人眼的视觉视敏度函数曲线,但在观察景物时所得到的亮度感觉却并不直接由景物的亮度所决定,而且还与周围环境的背景亮度有关。

人眼察觉亮度变化的能力是有限的。要使人眼感觉到两个画面有亮度差别,必须使两者的亮度差达到 ΔB_{\min} , ΔB_{\min} 称为可见度阈值。因 ΔB_{\min} 是有限小量,而不是无限小量,因此,人眼察觉亮度变化的能力是有限的。

对于不同的背景亮度 B , 人眼可觉察的最小亮度差 ΔB_{\min} 也不同。但在一个均匀亮度背景下, $\Delta B_{\min}/B$ 是相同的, 并等于一个常数 ξ 。

$\xi = \Delta B_{\min}/B$ 称为相对对比度灵敏度阈或韦伯—费赫涅尔系数 (Weber-Fechner Ratio)。随着环境的不同, ξ 的值通常在 $0.005 \sim 0.02$ 范围内变化。当背景亮度很高或很低时, ξ 的值可增大至 0.05 。在观看电视图像时, 由于受环境杂散光影响, ξ 的值会更大些。

(3) 视觉范围及明暗感觉的相对性

视觉范围是指人眼所能感觉到的亮度的范围。由于眼睛的感光作用可以随外界光的强弱而自动调节, 所以, 人眼的视觉范围极宽, 从千分之几直到几百万坎德拉每平方米。但人眼不能同时感受这么宽的亮度范围, 当人眼适应了某一环境的平均亮度之后, 所能感觉到的亮度范围将变小。这主要是由于依靠了瞳孔和光敏细胞的调节作用。瞳孔根据外界光的强弱调节其大小, 使射到视网膜上的光通量尽可能是适中的。在强光和弱光下, 分别由锥状细胞和杆状细胞作用, 而后的灵敏度是前者的 1 万倍。

在不同的亮度环境下, 人眼对于同一实际亮度所产生的相对亮度感觉是不相同的。例如, 对同一盏电灯, 在白天和黑夜它对人眼产生的相对亮度感觉是不相同的。通常, 在适当的平均亮度下, 能分辨的最大亮度与最小亮度之比约为 $1000:1$ 。当平均亮度很低时, 这个比值只有 $10:1$ 。例如, 晴朗的白天, 环境亮度约为 10000 cd/m^2 , 人眼可分辨的亮度范围为 $200 \sim 20000 \text{ cd/m}^2$, 低于 200 cd/m^2 的亮度引起黑色感觉。而在夜间, 环境亮度为 30 cd/m^2 时, 可分辨的亮度范围为 $1 \sim 200 \text{ cd/m}^2$, 这时 100 cd/m^2 的亮度就引起相当亮的感觉, 只有低于 1 cd/m^2 的亮度才引起黑色感觉。

人眼的这种视觉特性具有很重要的实际意义。一方面, 重现图像的亮度不需要等于实际景象的亮度, 只需要保持二者的最大亮度 B_{\max} 和最小亮度 B_{\min} 之比值 C 不变。此比值 $C = B_{\max}/B_{\min}$ 称为对比度。另一方面, 对于人眼不能察觉的亮度差别, 在重现图像时也不必精确复制出来, 只要保证重现图像和原景物有相同的亮度层次。简而言之, 只要重现图像与原景象对人眼主观感觉具有相同的对比度和亮度层次, 就能给人以真实的感觉。正因为如此, 电影和电视中的景物实际上并不反映实景亮度, 却能给人以真实的亮度感觉。

3. 人眼的分辨力与视觉惰性

人眼觉察亮度最小变化的能力是有限的, 不仅如此, 人眼对黑白细节的分辨力也是有限的; 另外, 人眼主观亮度感觉总是滞后于实际亮度的变化, 即存在所谓“视觉惰性”。下面分别加以说明。

(1) 人眼的分辨力

图像的清晰度是指人眼对图像细节是否清晰的主观感觉。就电视图像清晰度来说, 它受两种因素的限制: 一是电视系统本身分解像素的能力, 即电视系统分解力; 二是人眼对图像细节的分辨力。由于人眼对图像细节的分辨能力是有限的, 为此, 电视系统分解力只要达到人眼的极限分辨力就够了, 超过这一极限是没有必要的。

人眼的分辨力是指人在观看景物时人眼对景物细节的分辨能力。当人眼观察相隔一定距离的两个黑点时,若两个黑点靠得太近,则人眼就分辨不出有两个黑点存在,而只感觉到是连在一起的一个点。这种现象表明人眼分辨景物细节的能力是有一定极限的。

人眼对被观察物体上刚能分辨的最近邻两黑点或两白点的视角 θ 的倒数称为人眼的分辨力。在图1-4中, L 表示人眼与图像之间的距离, d 表示能分辨的最近两黑点之间的距离, θ 表示人眼对该两点的视角(也称分辨角)。若 θ 以分(")为单位,则根据图示几何关系得

$$\frac{d}{2\pi L} = \frac{\theta}{360 \times 60}$$

$$\theta = \frac{57.3 \times 60 \times d}{L} = 3\,438 \frac{d}{L} \quad (1-1)$$

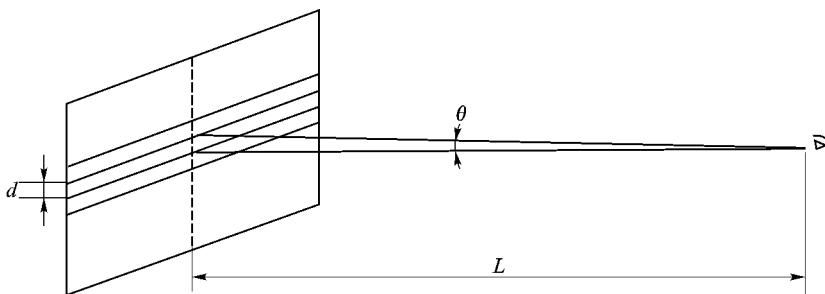


图1-4 人眼的分辨力

由此可见,扫描行数直接与观察距离有关。观察距离越近,要求的扫描行数越多,这样才能使相邻扫描线不产生间隔断开的感觉。人观看电视图像的最佳距离,应该是在看不清扫描线结构的情况下,能看清电视图像的所有细节,就是说要看清图像最高分辨力的线数。

另外,人眼的分辨力还与照明强度、被观察物体运动速度、景物的相对对比度等因素有关。

实验表明,人眼对彩色细节的分辨力要比对黑白细节的分辨力低。例如,若把人眼刚好能分辨的黑白相间的条纹换成不同颜色的相间条纹,则眼睛就不能再分辨出条纹。如果条纹是红绿相间的,我们感觉到的是一片黄色。不但人眼对彩色细节的分辨力低,而且对不同彩色的细节分辨力也不一样。一般来说,人眼对红绿色的分辨力比对蓝色的分辨力要高。

由于人眼对彩色细节的分辨力低,所以在彩色电视系统传送彩色图像时,图像的细节可只传黑白的亮度信号,而不传彩色信息。这就是所谓的彩色电视大面积着色原理。利用这个原理可以节省传输的频带。

(2) 视觉惰性与临界闪烁频率

视觉惰性是人眼的重要特性之一,它描述了主观亮度与光作用时间的关系。当一定强度的光突然作用于视网膜时,人眼并不能立即产生稳定的亮度感觉,而须经过一个短暂过程后才形成稳定的亮度感觉。另外,当作用于人眼的光突然消失后,亮度感觉并不立即消失,也需

经过一段时间的过渡过程。光线消失后的视觉残留现象称为视觉暂留或视觉残留。人眼视觉暂留时间,在白天约为 0.02 s,夜晚约为 0.2 s。人眼亮度感觉变化滞后于实际亮度变化,以及视觉暂留特性,总称为视觉惰性。电视中利用人眼的视觉惰性和荧光粉的余辉作用以及电子束高速反复运动,使屏幕上原本不连续的光亮,产生整个屏幕同时发光的效果。

当人眼受周期性的光脉冲照射时,如果光脉冲频率不高,则会产生一明一暗的闪烁感觉,长期观看容易疲劳。如果将光脉冲频率提高到某一定值以上,由于视觉惰性,眼睛便感觉不到闪烁,感到的是一种均匀的连续的光刺激。刚好不引起闪烁感觉的最低频率,称为临界闪烁频率。它主要与光脉冲的亮度有关。当光脉冲的频率大于临界闪烁频率时,感觉到的亮度是实际亮度的平均值。

电影和电视正是利用视觉惰性产生活动图像的。在电影中每秒放 24 幅固定的画面,而电视每秒传送 25 幅或 30 幅图像,由于人眼的视觉暂留特性,从而在大脑中形成了连续活动的图像。假设人眼不存在视觉惰性,人们将只会看到每秒跳动 24 次静止画面的电影,如同观看快速变换的幻灯片一样;同样,电视也将没有连续活动的感觉。

为了不产生闪烁感觉,在电影中采用遮光的办法使每幅画面放映两次,实际上相当于每秒钟放映 48 格画面,其闪烁频率为 $f_V = 48 \text{ Hz}$ 。电视中,采用隔行扫描方式,每帧(幅)画面用两场传送,使场频($f_V = 50 \text{ Hz}$ 或 60 Hz)高于临界闪烁频率。因此正常的电影和电视都不会出现闪烁感觉,并能呈现较好连续活动的图像。

应当指出的是,人眼在高亮度下对闪烁的敏感程度高于在低亮度下的情况。对于今天的高亮度显示器而言,临界闪烁频率达 60~70 Hz。

1.2 扫描和黑白电视图像转换

1.2.1 扫描

一幅(帧)平面图像,根据人眼对细节分辨力有限的视觉特性,可以看成是由许许多多的小单元组成。

在图像处理系统中,这些组成画面的细小单元称为像素。像素越小,单位面积上的像素数目就越多,由其构成的图像就越清晰。

一幅黑白平面图像,表征它的特征参量是亮度。这就是说,组成黑白画面的每个像素,不但有各自确定的几何位置,而且它们各自还呈现着不同的亮度。像素亮度不同,则图像黑白程度不同。

每帧图像由许多像素组成。在电视中,通过扫描处理,图像元素一个接一个地平铺在屏幕上,但视觉暂留的存在使我们同时感觉到这些图像元素。把构成一幅图像的各像素传送一遍称为进行了一个帧处理,或称为传送了一帧。

电视图像的摄取与重现实质上是一种光电转换过程,是分别由摄像管和显像管来完成的。

顺序传送系统在发送端将平面图像分解成若干像素顺序传送出去,在接收端再将这种信号复合成完整的图像。这种图像的分解与复合是靠电子扫描来完成的。

按电子束的运动规律不同,电子扫描可分为直线扫描、圆扫描、螺旋扫描等多种方式。在电视系统中,为了充分利用矩形屏幕,并使扫描设备简单、可靠,通常采用匀速单向直线扫描方式。

在电视系统中,摄像管与显像管外部都装有水平和垂直两组偏转线圈。当水平和垂直偏转线圈中同时加入锯齿波电流时,电子束既作水平扫描又作垂直扫描,而形成直线扫描光栅。这称为直线扫描。它分为逐行扫描和隔行扫描两种方式。

1. 逐行扫描

电子束从屏幕左上端开始,按照从左到右、从上到下的顺序以均匀速度一行接一行的扫描,一次连续扫描完成一帧电视画面的方式称为逐行扫描。逐行扫描电流波形图如图 1-5 所示。

把电子束在水平方向的扫描过程称为行扫描,行扫描过程中电子束从左到右的扫描称为行正程扫描,所需的时间用 T_{HS} 表示(其中, T 表示周期, H 表示行, S 表示正程);电子束从右至左扫描称为行逆程扫描,所需的时间用 T_{HR} 表示(其中 R 表示逆程)。一行的扫描时间用 T_H 表示,称为行扫描周期, $T_H = T_{HS} + T_{HR}$;而行扫描周期之倒数为行扫描频率(简称行频),用 f_H 表示, $f_H = 1/T_H$ 。同样,把电子束在垂直方向的扫描过程称为帧扫描,电子束从上到下的扫描称为帧正程扫描,所需的时间用 T_{FS} 表示;电子束从下至上的扫描称为帧逆程扫描,所需的时间用 T_{FR} 表示。一帧的扫描时间用 T_F 表示,称为帧扫描周期, $T_F = T_{FS} + T_{FR}$;而帧扫描周期之倒数为帧扫描频率(简称帧频),用 f_F 表示, $f_F = 1/T_F$ 。

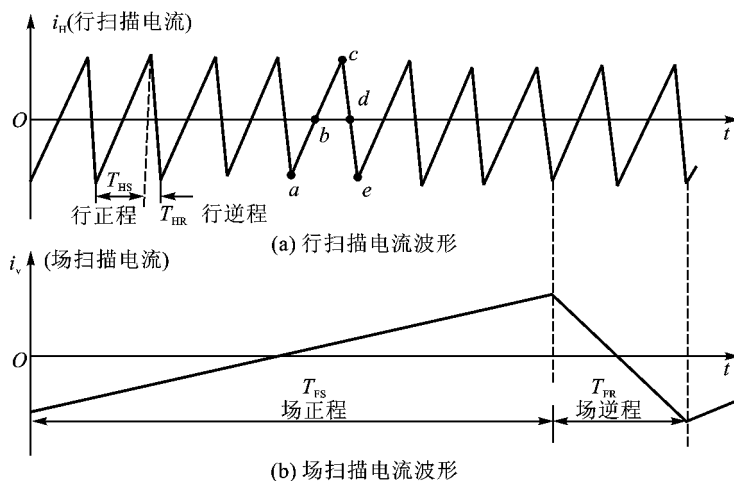


图 1-5 逐行扫描电流波形

为了使图像均匀而清晰,电视系统在逆程期间不传送图像信号,采用消隐脉冲截止扫描电子束,使逆程无扫描线。为了提高传输效率,应使正程时间远大于逆程时间。我国广播电视技术体制规定:行扫描逆程系数 $\alpha = T_{HR}/T_H \approx 18\%$, 帧扫描逆程系数 $\beta = T_{FR}/T_F \approx 8\%$ 。随着电视技术的发展,人们将利用逆程期间传送文字广播等辅助信息。该业务称为图文电视广播。

在逐行扫描方式中,每帧的光栅都应重合,因此要求 T_F 为 T_H 的整数倍。若每帧的扫描行数为 Z (Z 为整数), 则有 $T_F = ZT_H$ 。当 Z 增加时,扫描光栅的水平倾斜角减小而趋于平直; 当 Z 足够大时,人眼将分辨不出行扫描的光栅结构,而只看到一个均匀发光的平面。

2. 隔行扫描

一帧图像逐行扫描完成后,整个屏幕亮一次。根据人眼视觉惰性及其临界闪烁频率,在保证无闪烁感的条件下,要求电视屏幕每秒钟亮的次数须在 48 次以上。若要提高帧频,则会增加图像信号的传输带宽。为了消除闪烁感而又不使图像信号的传输带宽过宽,提出了隔行扫描方案。隔行扫描光栅及电流波形如图 1-6 所示。

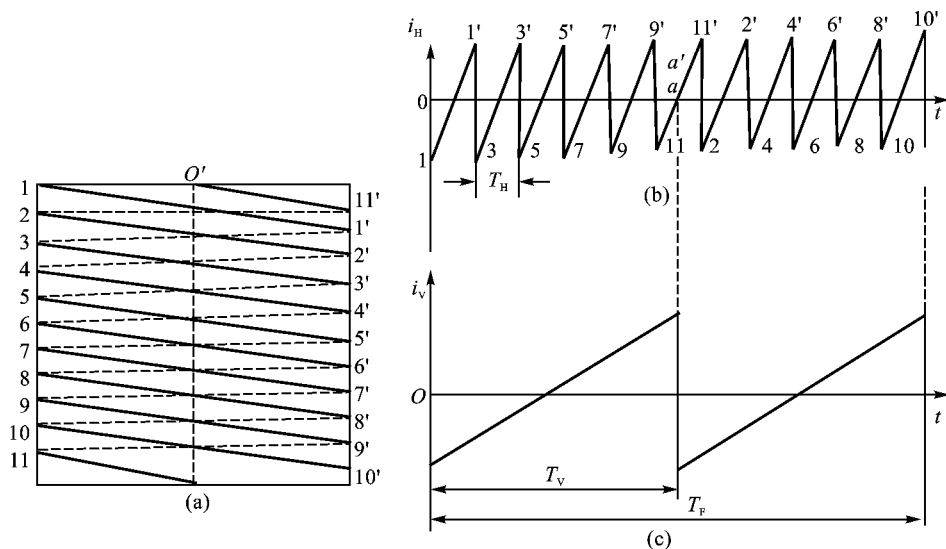


图 1-6 隔行扫描光栅及电流波形

隔行扫描是将一帧电视图像分成两场进行交错扫描。第一场对图像的 1, 3, 5, 7, ... 奇数行扫描,称为奇数场;第二场对图像的 2, 4, 6, 8, ... 偶数行扫描,称为偶数场。奇、偶两场光栅均匀相嵌,构成一帧完整的画面。经过两场扫描完一幅图像的全部像素。由于扫完每一场屏幕从上到下整个亮一次,所以扫完一幅图像屏幕亮了二次。这样,帧频就是场频的一半,即 $f_F = f_V/2$,在保证无闪烁感的同时,又使图像信号的传输带宽下降一半。

隔行扫描的关键是要使两场光栅均匀镶嵌;否则屏幕上扫描光栅不均匀,甚至产生并行现象,会严重影响图像清晰度。为此选取一帧图像总行数为奇数,每场均包含有半行。设计成奇

数场最后一行为半行,然后电子束返回到屏幕上方的中间,开始偶数场的扫描;偶数场第一行也为半行,最后一行为整行。

设 Z 为一帧图像总的行数,隔行扫描应满足: $T_F = ZT_H$, $f_H = Zf_F = Zf_V/2$, $f_H/f_V = Z/2 = (2n+1)/2 = n+1/2$ (n 为整数)。

1.2.2 电视扫描的基本参数

1. 图像的亮度、对比度与灰度

亮度是人眼对光的明暗程度的感觉。电视图像的亮度是指图像的平均亮度,取决于电视图像信号的平均直流成分。改变电视图像信号的直流成分,可以改变其亮度。

根据人眼视觉特性,并不要求电视图像恢复原来景物的亮度,这就给确定电视图像的亮度较大的自由度;但是在不同的环境亮度下要求电视图像具有不同的平均亮度,以保证重显必需的对比度和亮度层次(灰度),使人们长时间观看时不致于过分疲劳。

图像中最亮处的亮度(B_{\max})和最暗处亮度(B_{\min})之比称为对比度(C),即 $C = B_{\max}/B_{\min}$ 。当计及环境亮度 B_{φ} 时的对比度为

$$C = (B_{\max} + B_{\varphi}) / (B_{\min} + B_{\varphi}) \quad (1-2)$$

因此,观看电视时外界的杂散光线照射到屏幕上,就会使屏幕暗处的亮度增加而造成对比度下降。

图像从黑色到白色之间的过渡色统称灰色。灰度就是这一灰色划分成能加以区分的层次数。灰度反映了电视接收系统所能恢复原图像明暗层次的程度。通常电视台发送一个具有 10 级灰度的阶梯信号(或称级差信号),接收系统经调整后在重现图像中能加以区分的从黑到白的层次数,称其为该系统具有的灰度级。由于显像管调制特性的非线性,电视接收机一般都达不到 10 级灰度,一般只要能达到 6 级灰度,就可收看到明、暗层次较满意的图像了。我国电视标准:甲级电视机达到八级灰度,乙级电视机达到七级。

2. 图像清晰度与电视系统分解力

图像清晰度是指人主观感觉到的图像重现景物细节的清晰程度。分别用人眼在水平方向和垂直方向所能分辨的像素数来定量描述,相对应的称为水平清晰度和垂直清晰度,并用“线数”做单位。清晰度既与电视系统本身的分解力有关,也与观察者的视力状况有关。在评价图像清晰度时,应由一批视力正常的观众或专家来进行。

如果人眼最小分辨角(即视敏角)为 θ ,在分辨力最高的垂直视线角 15° 内所能分辨的线数应为

$$Z = 15^\circ / \theta \quad (1-3)$$

当 θ 分别为 $1'$ 、 $1.5'$ 、 $2'$ 时, Z 对应为 900 线、600 线、450 线。由于人眼长期观看图像容易疲劳,一般取 $\theta = 1.5'$ 。所以,电视图像的垂直清晰度应为 600 线左右。

电视系统分解力是指电视系统本身分解像素的能力,它不受人眼视力的影响。显然,扫描

行数越多,分解成的图像像素数目就越多,原景物的细节就呈现得越清楚,主观感觉的图像清晰度也就越高。所以,通常就用扫描行数来表征电视系统的分解力,并称为标称分解力。电视系统分解力分为垂直分解力和水平分解力。

垂直分解力是指沿着图像垂直方向电视系统所能分解的像素数目(或黑白相间的条纹数),它受扫描行数 Z 的限制。但垂直分解力不等于也不会超过每幅图像的扫描行数 Z ,因为在分解时,并非每一扫描行都有效。

在场扫描逆程期内,被消隐的行数不分解图像;所以,将其除去后分解图像的有效扫描行数为 $(1-\beta)Z$ 。

此外,由于扫描电子束和被扫描像素的相对位置关系,并非每一有效行都能代表垂直分解力。例如,图 1-7(a)是被摄取的水平细条,其宽度与扫描行相当,即扫描电子束截面直径等于行距。在摄像时,当黑白点竖列恰好落在扫描线上时,如图 1-7(a)的左列所示,被扫描的相邻两行图像信号完全不同,并分别代表黑点与白点,这时,接收端就能得到正确重现的图像,如图 1-7(b)的左列所示。在这种最佳情况下,垂直分解力等于有效扫描行数,即 $M=(1-\beta)Z$ 。但在最坏情况下,如图 1-7(a)的中间一列所示,扫描线刚好覆盖黑白像素各一半,则所得图像信号均为黑与白信号的平均值,即各行图像信号均相同。在接收端就必然重现出一条灰色带子,如图 1-7(b)的中列所示。这时完全失去了细节,即垂直分解力为最低。假如这时在垂直方向减少一半像素点,将能重现黑白条纹,如图 1-7(a)和图 1-7(b)的右列所示;但这时的垂直分解力只有有效扫描行数的一半,即 $M=(1-\beta)Z/2$ 。实际上,这种黑白相间、排列整齐的图像是一种特例;而一般的图像内容都具有随机性,所以垂直分解力介于 $(1-\beta)Z$ 和 $(1-\beta)Z/2$ 之间,并用一个小于 1 的系数 K_c 乘以有效扫描行数来表示,即垂直分解力 M 表示为

$$M = K_c(1-\beta)Z \quad (1-4)$$

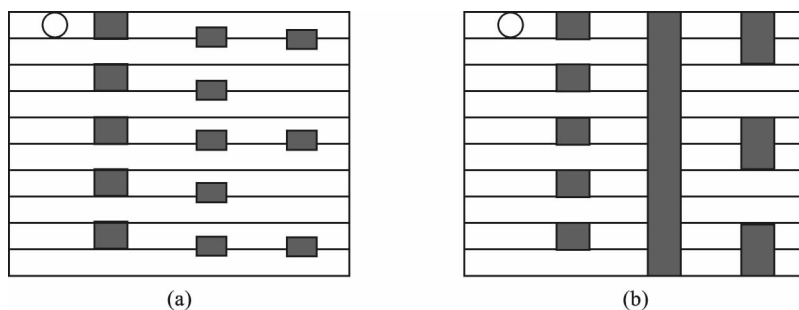


图 1-7 扫描单元对垂直分解力的影响

式中, $K_e \approx 0.76$, 称为凯尔(Kell)系数。按我国电视标准, $Z=625$, $\beta=0.08$, 故 $M \approx 440$ 线。这相当于视力只有 0.5 (即视敏角为 $2'$) 的人所能分辨的线数, 故目前的电视图像是不够清晰的, 要实现 HDTV, 增加行数势在必行。

水平分解力是指沿着图像水平方向电视系统所能分解的像素数目(或黑白相间的条纹数)。水平分解力与电子束孔径相对于图像细节宽度大小有关。也就是说, 电子束孔径的大小将影响图像的水平分解力。这种现象称为孔阑效应, 如图 1-8(a) 所示。

实验表明, 在同一电视系统中, 当水平分解力与垂直分解力相当时, 图像质量为最佳。当图像的幅型比为 K 时, 则水平分解力(即一行内所能分解的黑白条纹数)为

$$N = KM = KK_e(1 - \beta)Z \quad (1-5)$$

视频通道的通频带则应当满足这一水平分解力的要求。它决定了电视信号的最高频率。

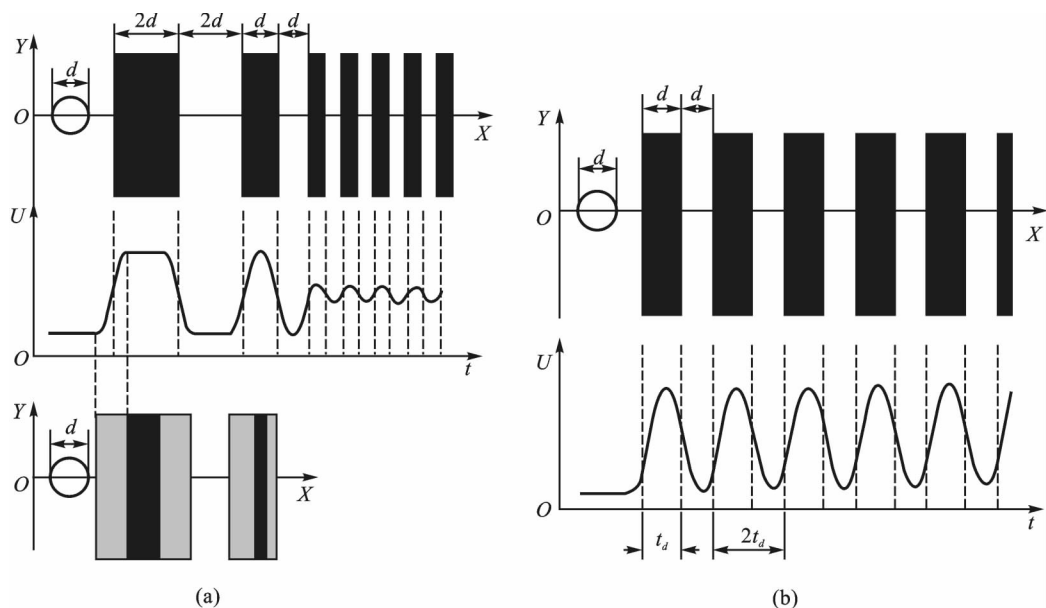


图 1-8 图像孔阑效应及对应电视信号

3. 图像信号的最高频率

在摄像时, 图像上各像素的亮度按时间顺序变为电信号, 因此, 图像信号是时间的函数。由于图像亮度只有正值没有负值, 所以, 图像信号是单极性的信号, 其幅度与亮度成正比, 其频带宽度与图像内容有关。欲求其频带宽度, 必须知其最高和最低频率。图像信号的最低频率几乎接近于零。任一景物(或图像)都有一定的背景亮度, 反映在图像信号上是信号的直流分量, 其频率接近于零。

为了说明图像信号的最高频率, 图 1-8(b) 示例了一幅黑白相间的竖条图像, 对应电视信