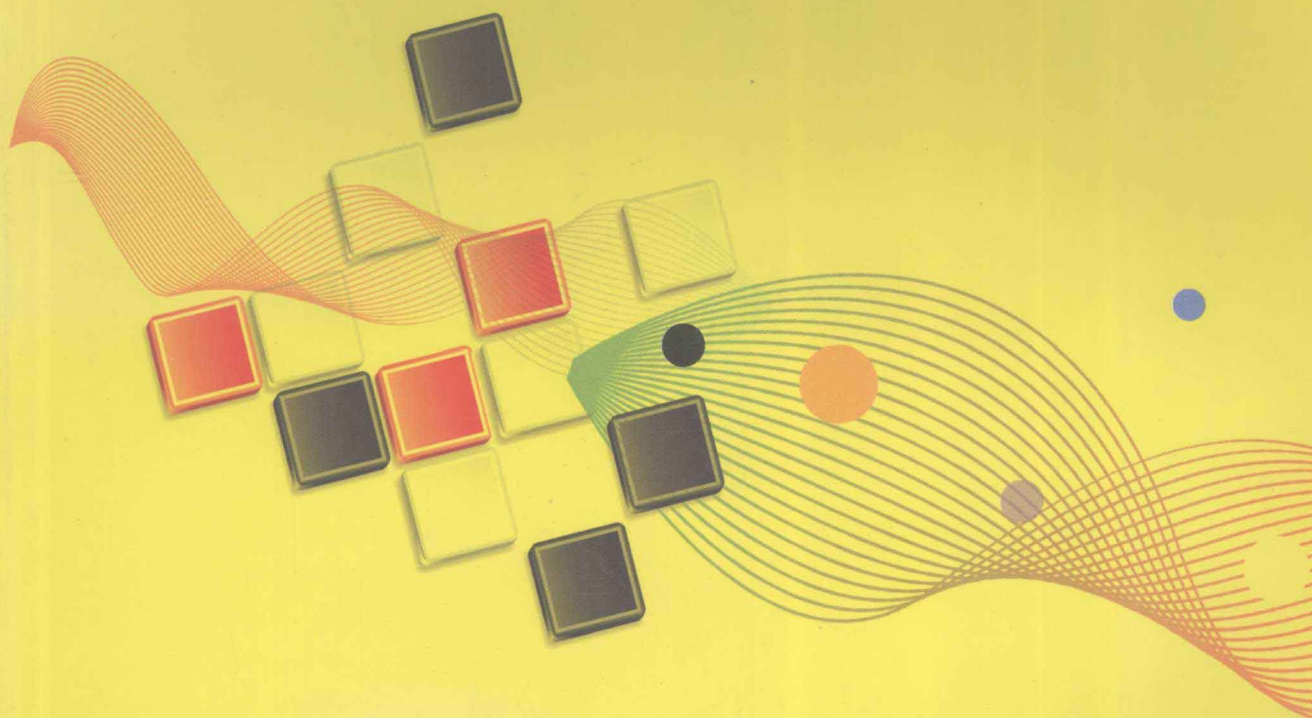




普通高校“十二五”规划教材



- 精理论，重实践，悉心选材
- 内容新，层次清，图文并茂
- 资料全，数据详，编撰严谨

杨建华 主编

数字电视技术

SHUZI DIANSHI JISHU



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十二五”规划教材

数字电视技术

杨建华 主编

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、关键技术及各种业务。

本书共 9 章,重点介绍了数字视音频技术及相关标准、数字电视传输和调制技术、机顶盒与数字电视的条件接收以及数字电视的应用技术。

本书注重选材,内容丰富,层次分明,系统性强。在讲述基本概念、原理的同时,着重介绍了相关领域最新的技术成果,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

数字电视技术 / 杨建华主编. -- 北京 : 北京航空航天大学出版社, 2011.3

ISBN 978-7-5124-0345-1

I. ① 数… II. ① 杨… III. ① 数字电视—技术 IV. ① TN949.197

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 022855 号

版权所有,侵权必究。

数字电视技术

杨建华 主编

责任编辑 韩少甫

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: bhpess@263.net 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:294 千字

2011 年 3 月第 2 版 2011 年 3 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-0345-1 定价:22.00 元

前 言

从 20 世纪 90 年代以来,随着计算机技术、数字处理技术、图像压缩技术等高科技技术的迅猛发展,电视技术走向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与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。为了迎接数字电视时代的到来,适应数字电视技术普及发展的需要,作者在广泛学习的基础上,结合自己多年的教学科研的体会编写了本书。

本书用通俗易懂的语言系统全面地讲述了数字电视的基本原理,比较系统地介绍了数字电视技术的应用。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。

本书共 9 章,第 1 章讲述了电视的基本原理,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 章讲述了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 章讲述了视频压缩编码的基本原理,包括熵编码、预测编码及变换编码等;第 4 章讲述了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,较详细地介绍了数字电视有线传输系统;第 5 章讲述了数字电视调制技术,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 章讲述了数字音频技术,主要是数字音频压缩技术和数字音频广播;第 7 章介绍了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 章介绍了机顶盒与数字电视的条件接收;第 9 章介绍了数字电视的应用技术,包括交互电视、视频点播、会议电视以及 IPTV 等。

由于数字电视技术的发展日新月异,作者水平和经验有限,书中难免存在缺点和不足,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 2 月

目 录

第 1 章 电视基础知识	1
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	4
1.2.1 扫 描	4
1.2.2 电视扫描的基本参数	6
1.2.3 全电视信号	8
1.2.4 电视传送原理.....	14
1.3 彩色三要素与三基色原理.....	18
1.3.1 彩色三要素.....	18
1.3.2 三基色原理.....	19
1.3.3 亮度方程.....	21
1.3.4 彩色图像的摄取与重现.....	21
1.4 兼容制彩色电视制式概述.....	23
1.4.1 彩色电视信号的传输.....	24
1.4.2 彩色电视信号的频带压缩.....	25
1.4.3 正交平衡调幅.....	26
1.4.4 NTSC 制	28
1.4.5 PAL 制	29
1.4.6 SECAM 制	29
1.4.7 现行彩色电视制式的缺陷.....	30
第 2 章 数字电视基础	31
2.1 数字电视和高清晰度电视.....	31
2.2 数字电视系统结构.....	32
2.3 电视信号的数字化.....	33
2.3.1 PCM 调制	33
2.3.2 全信号和分量信号编码.....	35
第 3 章 视频数据压缩编码	37
3.1 基本原理.....	37
3.1.1 视频压缩的必要性和可行性.....	37

3.1.2 视频数据压缩方法的分类	38
3.2 熵编码	39
3.2.1 霍夫曼编码	40
3.2.2 算术编码	42
3.2.3 游程编码	45
3.3 预测编码	46
3.3.1 DPCM 预测编码	46
3.3.2 运动补偿预测编码	48
3.4 变换编码	50
3.4.1 离散余弦变换(DCT)	51
3.4.2 子带编码	54
第4章 数字电视传输技术	55
4.1 数字电视信号的基带处理	55
4.1.1 常用的传输码型	55
4.1.2 扰码	57
4.2 数字电视信号的差错控制编码	58
4.2.1 差错控制方式	59
4.2.2 信道编码的分类	60
4.2.3 信道编码的基本原理	61
4.2.4 信道编码	62
4.3 数字电视传输系统	67
4.4 数字电视卫星传输系统	69
4.4.1 卫星电视广播的基本规定	69
4.4.2 数字卫星电视广播系统的组成	71
4.5 数字电视有线传输系统	73
4.5.1 系统基本组成	73
4.5.2 光纤传输	76
4.5.3 数字有线电视系统	78
4.6 数字电视地面广播传输系统	79
4.6.1 COFDM 调制方案	80
4.6.2 残留边带(VSB)调制方案	80
第5章 数字电视调制技术	82
5.1 二进制数字调制	82
5.1.1 幅度键控(ASK)调制原理	82
5.1.2 频率键控(FSK)调制原理	83
5.1.3 相位键控(PSK)调制原理	84
5.2 数字电视信号的载波调制	86

5.2.1 正交相移键控(QPSK)	86
5.2.2 正交振幅调制(QAM)	87
5.2.3 多电平残留边带调制(VSB)	89
5.2.4 多载波调制	90
5.3 世界主要数字电视标准	90
5.3.1 ATSC 标准	91
5.3.2 DVB 标准	92
第 6 章 数字音频技术	94
6.1 音频压缩编码技术	94
6.1.1 音频信号的特点	94
6.1.2 音频信号的数字化	95
6.1.3 音频压缩编码方法	97
6.2 模拟电视的数字音频技术	98
6.3 高保真音频信号压缩编码标准	100
6.3.1 MUSICAM	100
6.3.2 MPEG 音频压缩编码标准	101
6.3.3 杜比 AC-3 数字音频编码	104
6.4 数字音频广播	106
6.4.1 数字音频广播的特点	107
6.4.2 数字音频广播的调制方式	107
6.4.3 Eureka-147 简介	108
6.4.4 数字多媒体广播(DMB)	109
第 7 章 数字电视的国际标准	111
7.1 国际标准概述	111
7.1.1 CCIR 601 建议	111
7.1.2 JPEG 标准	111
7.1.3 H.26x 标准	112
7.1.4 MPEG 标准	113
7.1.5 超高清晰度成像(HRI)建议(ITU-R BT.1201)	115
7.1.6 JVT 标准	116
7.1.7 AVS 标准	116
7.2 H.261 标准	117
7.2.1 基本特点	118
7.2.2 图像格式	118
7.2.3 信源编码器	120
7.2.4 信源解码器	123
7.3 JPEG 标准	123

7.3.1 基于 DCT 的编码器和解码器	124
7.3.2 数据交换格式	125
7.4 MPEG 标准	125
7.4.1 MPEG-1 标准	126
7.4.2 MPEG-2 标准	129
7.4.3 MPEG-4 标准	136
第 8 章 机顶盒与数字电视的条件接收	140
8.1 机顶盒的基本概念	140
8.2 数字电视机顶盒的基本原理	141
8.2.1 数字电视机顶盒的原理与结构	141
8.2.2 数字电视机顶盒涉及的技术	143
8.2.3 中间件	145
8.3 数字电视的条件接收	146
8.3.1 条件接收技术的概念和特点	146
8.3.2 CA 系统的组成及工作原理	147
8.3.3 加密/解密算法	151
8.3.4 同密和多密标准	156
第 9 章 数字电视应用技术	161
9.1 交互式数字电视	161
9.1.1 交互电视的基本概念	161
9.1.2 交互电视系统的结构	161
9.2 视频点播(VOD)	163
9.2.1 VOD 系统组成	163
9.2.2 基于 HFC 网的 VOD 系统	165
9.2.3 基于以太网的 VOD 系统	166
9.2.4 基于 ADSL 的 VOD 系统	166
9.3 会议电视	168
9.3.1 会议电视系统的分类	168
9.3.2 会议电视系统的组成	169
9.4 IPTV	170
9.4.1 IPTV 系统基本原理	170
9.4.2 IPTV 的关键技术	172
参考文献	174

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

根据光学和电磁场的有关理论,光是一种电磁波。电磁波包含了无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线和宇宙射线等,它们分别所占据的频率范围如图 1-1 所示。在频谱中人眼能看见的可见光谱集中在 $3.85 \times 10^{14} \sim 7.89 \times 10^{14}$ Hz 的频段内,其对应的波长范围为 $380 \sim 780$ nm。在此范围内的不同波长的光作用于人眼后引起不同的颜色感觉,按波长从长到短的顺序依次为红、橙、黄、绿、青、蓝和紫。

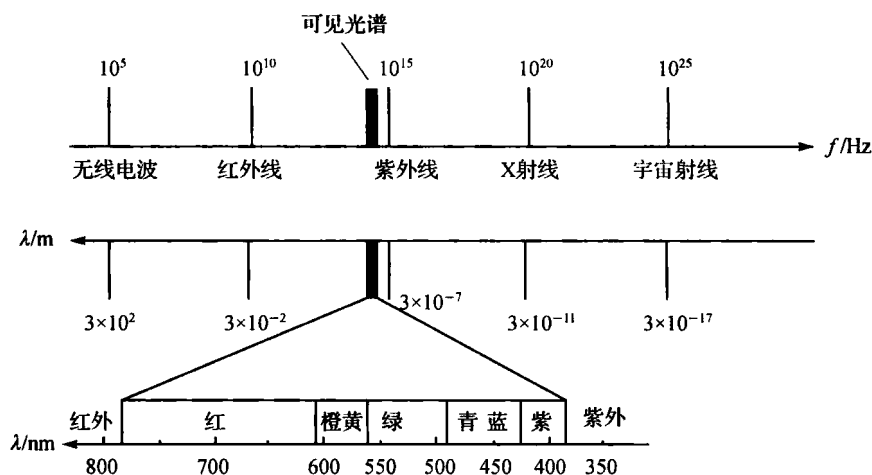


图 1-1 电磁辐射波谱

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,引入了光通量的概念。

在光度学中,光通量(Φ_v)的定义是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。

当一定数量的光通量到达一个接收面上时,可以说这个面被照明了,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),1 lx 等于 1 lm 的光通量均匀地分布在 1 m^2 面积上

的光照度,即 $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ 。光照度通常用 E_v 表示。

一个光源(例如一个灯泡),在它发光的时候,通常可以向各个方向照射,但它向各个方向所发出的光通量很可能是不同的,因此又定义了**发光强度**来描述光源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)。单位面积上的发光强度称为**亮度**,其单位是坎德拉每平方米(cd/m^2)。

1.1.2 人眼的视觉特性

1. 亮度感觉

人眼的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,则人眼不仅会产生不同的彩色感觉,也会产生不同的亮度感觉。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 $P(\lambda)$ 。显然, $P(\lambda)$ 越小,说明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,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,而最亮的是黄绿色。对于 $\lambda = 555 \text{ nm}$ 的黄绿光,有最大的视敏度 $K_m = K(555)$ 。将其他波长的 $K(\lambda)$ 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。

相对视敏度曲线表明了白天正常光照下人眼对各种不同波长光的敏感程度,它也称为明视觉视敏度曲线。明视觉过程主要是由锥状细胞完成的。因此,这条曲线主要反映的是锥状细胞对不同波长光的亮度敏感特性。而在弱光条件下,人眼的视觉过程主要由杆状细胞完成。杆状细胞对不同波长光的敏感程度不同于锥状细胞,表现为对波长短的光敏感程度有所增大,即曲线向左移,这条曲线称暗视觉视敏度曲线,如图 1-3 所示。

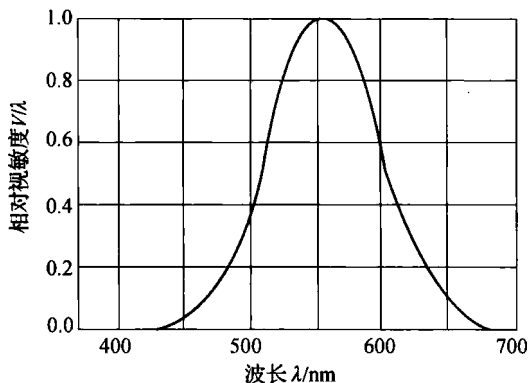


图 1-2 相对视敏度曲线

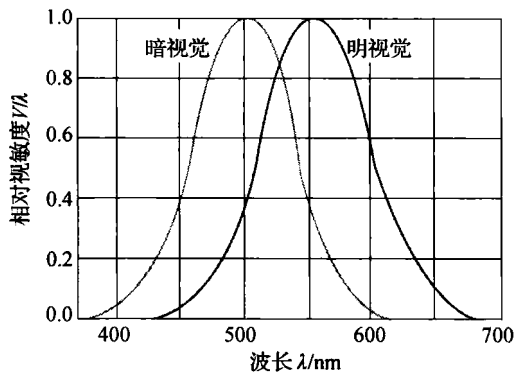


图 1-3 明视觉与暗视觉的视敏度曲线

人眼在观察景物时所得到的亮度感觉除了主要由景物的亮度所决定,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亮度有差别,两者的亮度差必须达到一个最小亮度差 $\Delta B_{\min}$ (可见度阈值)。在不同的背景亮度 B 下,人眼可觉察的最小亮度差 $\Delta B_{\min}$ 也不同;但在任意一个均匀的背景亮度下, $\Delta B_{\min}/B$ 都是相同的,并且等于一个常数 ξ 。

人眼所能感觉到的亮度的范围称为视觉范围。因为人眼的感光作用可以随外界光线的强弱进行自动调节,所以,人眼的视觉范围可以从千分之几直到几百万坎德拉每平方米。但是人眼并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;而在不同的亮度环境下,人眼对于相同的实际亮度所产生的相对亮度感觉也是不相同的。

人眼的这些视觉特性对于电视技术具有很重要的意义。首先,重现图像的亮度不需要完全等同于实际景物的亮度,只需要保持二者的最大亮度和最小亮度之比 $C(C=B_{\max}/B_{\min})$,称为对比度)不变即可。其次,对于人眼不能察觉的亮度差别,在重现图像时也无需精确复原,只要保证重现图像和原景物有相同的亮度层次。换言之,只要重现图像与原景物具有相同的对比度和亮度层次,就能使人眼具有相同的主观感觉,给人以真实的感觉。

2. 人眼的分辨力与视觉惰性

(1) 人眼的分辨力

当人眼观察两个相隔一定距离的黑点时,如果两个黑点靠得太近,人眼就无法分辨出有两个黑点,而只是感觉到连在一起的一个点。由此可见人眼分辨景物细节的能力是有一定极限的。人眼分辨景物细节的能力称为分辨力(或视觉锐度)。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,也就是说图像最高分辨力的线数应该满足人眼分辨力的要求。

我们可以用视敏角来定义人眼的分辨力。观看景物时,景物大小对眼睛形成的张角叫做视角,其大小既决定于景物本身的大小,也决定于景物与眼睛的距离。而视敏角则是人眼对被观察物体刚能分辨出它上面最接近的两黑点或两白点的视角。视敏角的倒数称为人眼的分辨力。

从生理上讲,视敏角决定于视网膜相邻光敏细胞间的距离。除此之外,影响分辨力的因素还有:物体在视网膜上成像的位置、照明强度、对比度、被观察物体的运动速度等。通过实验,正常视力的人眼视敏角为 $1.5'$ 。

(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之间的关系。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,而需要经过一个短暂过程后才会形成稳定的亮度感觉。在过渡过程中,亮度感觉先随时间变化由小到大,达到最大值后,再回降到稳定的亮度感觉值。另外,当作用于人眼的光突然消失后,亮度感觉并非立即消失,也需经过一段时间的过渡过程,近似按指数规律下降而逐渐消失。光线消失后的视觉残留现象称为视觉暂留

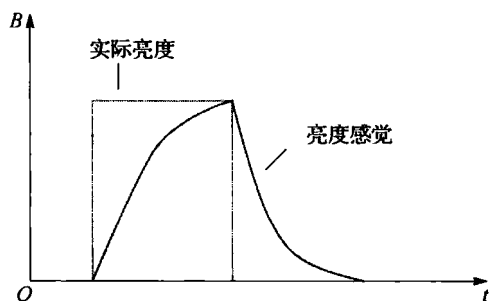


图 1-4 人眼的视觉惰性

或视觉残留,如图 1-4 所示。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。

人眼在周期性的光脉冲刺激下,如果频率不高,则会产生一明一暗的闪烁感觉,长期观看人眼很容易疲劳。如果将光脉冲频率提高到某一定值,由于视觉惰性,则人眼不会再感觉到闪

烁,感觉到的亮度是实际亮度的平均值。人眼恰好感觉不到闪烁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,同时还受到许多因素影响,例如相邻画面的亮度、颜色的分布及其变化、观察者与画面的距离和环境等。

电影和电视正是利用视觉惰性产生活动图像的。在电影中每秒播放 24 幅固定的画面,而电视则每秒传送 25 幅或 30 幅图像。由于人眼的视觉惰性,这些图像在大脑中形成了连续活动的图像。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;而在电视中,则采用隔行扫描方式,每帧(幅)画面用两场传送,使得场频高于临界闪烁频率,因此通常电影和电视都不会出现明显的闪烁感觉,能呈现出较好的连续活动的图像。

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,这些组成图像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,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。组成黑白画面的每个像素,不但具有各自确定的几何位置,而且还具有各自不同的亮度。像素亮度不同,则图像的黑白程度不同。

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,但由于视觉暂留的影响,我们可以同时感觉到这些图像元素。通常把构成一幅图像的所有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是一种光电(电光)转换过程,分别由摄像管和显像管来完成。在发送端,平面图像被分解成若干像素,转换成电信号传送出去,在接收端再将电信号转换复合成完整的图像。图像的分解与复合是依靠电子扫描来完成的。

按照电子束运动规律的不同,电子扫描可以分为直线扫描、圆扫描、螺旋扫描等多种方式。在电视系统中,通常采用匀速单向直线扫描方式。摄像管与显像管外部都装有水平和垂直两组偏转线圈。当水平偏转线圈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,因而形成直线扫描光栅,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、从上到下的顺序均匀地一行接一行地进行扫描,一次连续扫描完一帧电视画面的方式称为逐行扫描。

如图 1-5 所示,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;反之称为行逆程扫描,所需的时间用 T_{HR} 表示。行扫描周期 $T_H = T_{HS} + T_{HR}$,行扫描频率(简称行频,用 f_H 表示)为行扫描周期的倒数,即 $f_H = 1/T_H$ 。同样,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。帧扫描周期 $T_F = T_{FS} + T_{FR}$;帧扫描频率(简称帧频,用 f_F 表示)为帧扫描周期之倒

数,即 $f_F = 1/T_F$ 。

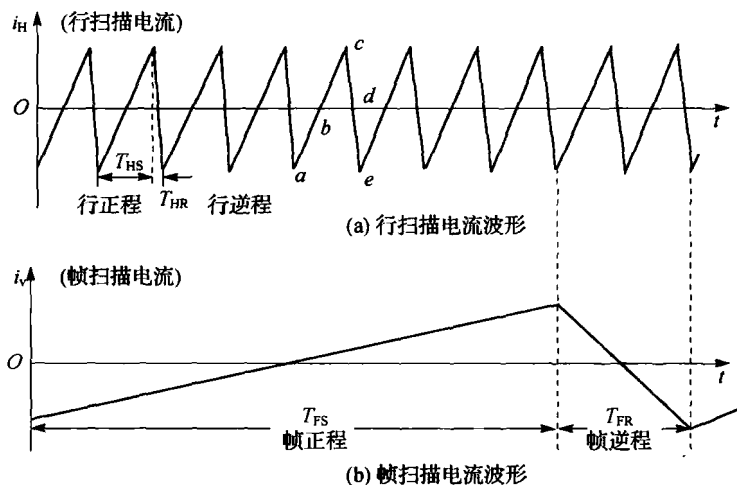


图 1-5 逐行扫描电流波形

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,使得逆程无扫描线。因此为了提高传输效率,应使正程时间远大于逆程时间。我国广播电视国家标准规定:行扫描逆程系数 $\alpha = T_{HR}/T_H = 18\%$,帧扫描逆程系数 $\beta = T_{FR}/T_F = 8\%$ 。

在逐行扫描方式中,每帧的光栅都应重合,因此 T_F 应为 T_H 的整数倍。若每帧的扫描行数为 Z ,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,人眼将无法分辨行扫描的光栅结构,只能看到一个均匀发光的平面。

2. 隔行扫描

根据人眼视觉惰性及其临界闪烁频率,若要使人眼无闪烁感,则要求电视屏幕每秒钟亮的次数须在 48 次以上,即逐行扫描的帧频需要达到或超过 48 Hz,因此需要增加图像信号的传输带宽。为了消除闪烁感而图像信号的传输带宽又不过宽,人们提出了隔行扫描方式。

隔行扫描是将一帧电视图像分成两场进行交错扫描,如图 1-6 所示。第一场对图像的

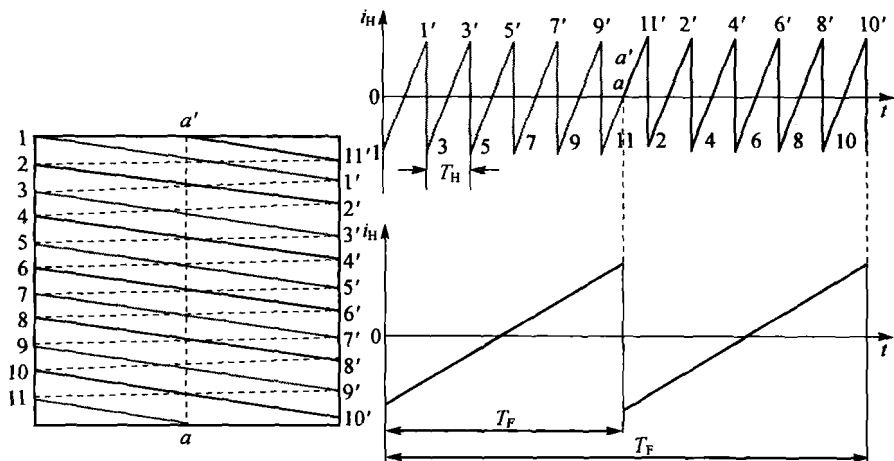


图 1-6 隔行扫描光栅及电流波形

1,3,5,7,...奇数行进行扫描,称为奇数场;第二场对图像的2,4,6,8,...偶数行进行扫描,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。由于扫描完一场屏幕从上到下整个亮一次,所以扫描完一幅图像屏幕将亮两次。因此,帧频是场频的一半,即 $f_F = f_V/2$ 。这样,即使得人眼无明显闪烁感,同时又可使得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会不均匀,甚至会产生并行现象,将严重影响图像清晰度。因此选取一帧图像总行数为奇数,每场均包含有半行,并使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。

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。

根据人眼的视觉特性,电视图像并不需要完全恢复原来景物的亮度。但是在不同的环境亮度下,电视图像需要具有不同的平均亮度,以保证图像重显所必需的对比度和亮度层次(灰度),使得电视图像给人以真实的感觉。

图像中最亮处的亮度($B_{\max}$)和最暗处的亮度($B_{\min}$)之比称为对比度,即 $C = B_{\max}/B_{\min}$ 。当考虑到环境亮度 B_ϕ 时,对比度 C 为

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

因此,观看电视时,如果外界的光线照射到屏幕上,会使得环境亮度增加,对比度下降。

图像从黑色到白色之间的过渡色统称为灰色。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,就可以收看到明、暗层次较满意的图像了。我国电视标准:甲级电视机达到8级灰度,乙级电视机达到7级。

2. 图像清晰度与电视系统分解力

图像的清晰度是指人眼对图像细节是否清晰的主观感觉。电视图像清晰度受到两种因素的制约: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,所以电视系统分解力只要能够达到人眼的极限分辨力即可,超过这一限度是没有必要的。

图像清晰度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,称为水平清晰度和垂直清晰度,并用“线数”作单位。人眼最小分辨角(即视敏角)为 θ ,一般取 $\theta = 1.5'$,在分辨力最高的垂直视角 15° 内所能分辨的线数则为

$$Z = 15^\circ/\theta = 600 \quad (1-2)$$

所以,电视图像的垂直清晰度应该为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。电视系统分解力的高低,可由专用仪器测定。一般来说,扫描行数越多,分解成的图像像素数目就越多,

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。与图像清晰度相似,电视系统分解力也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),它受到扫描行数 Z 的限制。垂直分解力通常低于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。

首先,在场扫描逆程期内,被消隐的行数并不分解图像。所以,将其去除后分解图像的有效扫描行数只是 $(1-\beta)Z$ 。此外,由于一般的图像内容都具有随机性,扫描电子束和被扫描像素之间的相对位置未必一一对应,所以并非每一有效扫描行都能代表垂直分解力。如图 1-7 所示,图像(a)经扫描发送后,重现的图像(b)与原图像有很大差别。根据实验,垂直分解力介于 $(1-\beta)Z$ 和 $(1-\beta)Z/2$ 之间,可用一个小于 1 的系数 K_e 乘以有效扫描行数来表示,即垂直分解力 M 表示为

$$M = K_e(1-\beta)Z \quad (1-3)$$

式中 $K_e \approx 0.76$,称为凯尔(Kell)系数。按照我国电视标准, $Z=625$, $\beta=0.08$,所以 $M \approx 437$ 线。这仅相当于视力为 0.5(即视敏角为 $2'$)的人所能分辨的线数,所以目前的电视图像不够清晰。

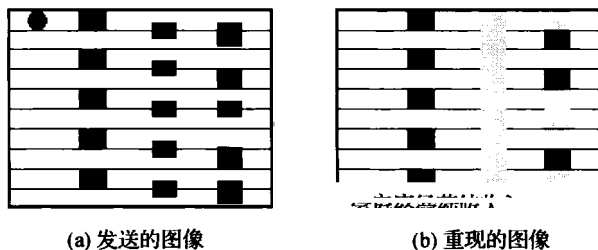


图 1-7 扫描电子束对垂直分解力的影响

电视系统沿着图像水平方向所能分解的像素数目(或黑白相间的条纹数)称为水平分解力。水平分解力由电视传送通道的频带宽度和电子束孔径的大小决定。

电子束孔径相对于图像细节宽度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。当图像出现黑白变化时,如果电子束孔径无穷小,则相应的信号波形是理想的矩形脉冲;但实际上扫描电子束的直径 d 不可能无穷小,所以输出的电信号不可能出现阶跃,会有一定宽度的过渡带,使得重现图像的边缘和细节展宽模糊;而当电子束直径大于图像细节的尺寸时,不仅会产生边界的模糊,还将使电视信号幅度减小,使得水平方向的图像细节对比度下降。

图 1-8(b)是一幅黑白相间的竖条图像,对应电视信号是以行周期重复的一连串矩形脉冲。显然,沿水平方向的竖条数越多,一行内的亮度变化次数越多,信号频带也就越宽。由于传送通道的频带宽度是有限制的,所以水平分解力也受到限制。

实验表明,当电视系统的水平分解力与垂直分解力相当时,图像质量最好。所以,当图像的幅型比为 K 时,水平分解力为

$$N = KM = KK_e(1-\beta)Z \quad (1-4)$$

当 $K=4:3$ 时, $N \approx 583$ 线。它也决定了电视信号的最高频率,电视传送通道的频带宽度应当满足这一水平分解力的要求。

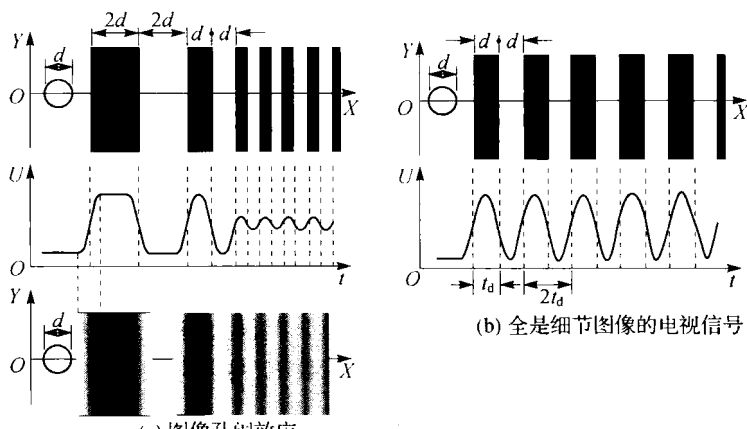


图 1-8 图像孔阑效应及对应电视信号

图像细节越细,信号的频率越高。假设传送一幅全是细节的图像,如图 1-8(b)所示,在行正程时间 T_{HS} ($T_{HS}=52 \mu s$) 内水平方向能分解 N 个像素,所以沿水平方向扫过一个像素所需的时间为

$$t_d = T_{HS}/N \quad (1-5)$$

由于存在孔阑效应,所以扫描电子束直径与像素大小相当时,其图像信号近似为正弦波,故图像信号的最高频率为

$$f_{\max} = 1/2t_d = N/2T_{HS} = 583/2 \times 52 \times 10^{-6} = 5.6 \text{ MHz} \quad (1-6)$$

任何景物都有一定的背景亮度,反映在图像信号上是信号具有直流分量,因此图像信号的最低频率几乎接近于零。电视传送通道的频带宽度主要取决于图像信号的最高频率,所以电视信号传输通道的频带规定为 6 MHz。

3. 场频与行频

场频 (Vertical Scan Frequency), 又称为“垂直扫描频率”, 也就是指每秒钟屏幕刷新的次数, 通常以赫兹 (Hz) 表示。行频 (Horizontal Scan Frequency), 又称为“水平扫描频率”, 指电子枪每秒在荧光屏上扫描过的水平线数量, 等于“行数 $\times$ 场频”。由于广播电视的标准行数为每帧 525 行和 625 行, 所以场频越大就意味着行频越大, 即显示器可以提供的分辨率越高, 图像稳定性越好。

选择场频时, 为了保证人眼观看图像时无闪烁, 场频一定要大于临界闪烁频率 (48 Hz)。场频越高, 人眼感受到的闪烁情况也就越不明显, 眼睛也就越不容易疲劳。但是另一方面, 场频越高, 图像信号占用的频带就越宽, 所以场频并不能随意提高。此外, 为了避免电源的干扰, 场频最好与电力网频率同步。尽管目前的技术已能克服这些干扰, 但是各国的场频还是与当地的电源频率相同, 为 50 Hz 或 60 Hz。

1.2.3 全电视信号

黑白全电视信号由“图像信号”和确保扫描同步的“同步信号”以及消除扫描逆程回扫线的“消隐信号”等辅助信号而构成的。

1. 图像信号

(1) 波形

图像信号是由摄像管将明暗不同的景象经过电子扫描和光电转换而得的电信号。五条由白→灰→黑而变化的图像的信号如图 1-9 所示(有正负极性之分),所示波形为一个行正程的对应波形。 $U/U_m(\%)$ 表示相对幅值。图 1-9(a)中光线越强,输出信号电平值越高;光线越弱,输出信号电平值越低的电信号,称为正极性的图像信号。图 1-9(b)中光线越强,输出信号电平值越低;光线越弱,输出信号电平值越高的电信号,称为负极性的图像信号。

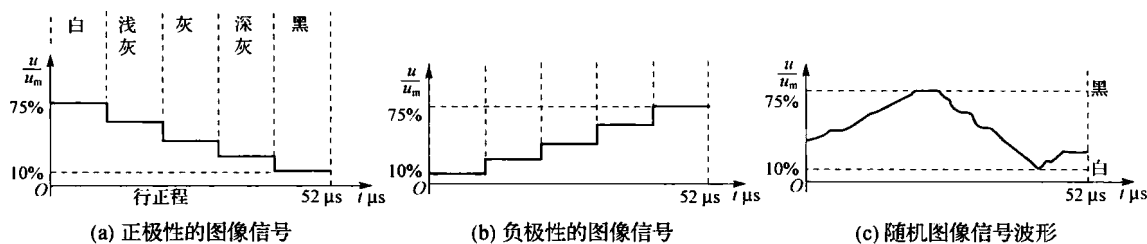


图 1-9 图像信号

一般来说,图像信号是随机的,图 1-9(c)给出了一行随机的图像信号的波形。

(2) 特点

- 周期性:对于一般活动图像,由于在垂直方向上变化缓慢,相邻两行或相邻两帧之间的图像信号的差别很小,行(帧)间具有很强的相关性,如图 1-10 所示,可近似认为是周期性重复的,即具有周期性。

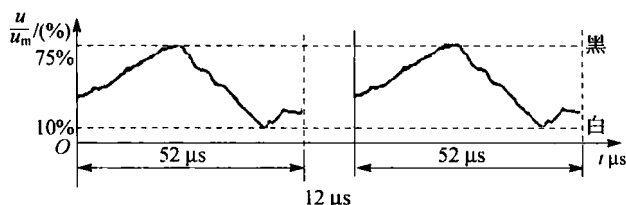


图 1-10 图像信号的波形

- 单极性:图像信号具有直流成分,其数值总是在零值以上或以下的一定范围内变化,不会同时跨越零值上下两个区域,即图像信号具有单极性。因此,图像信号具有平均值,其数值确定了图像的背景亮度。图像信号在传输时可隔断直流信号,在接收端另行恢复。

(3) 频谱

所谓频谱,就是指图像信号中包含的频率成分及其能量分布,即各频率成分的相对幅度。为了方便讨论,在此忽略了行逆程。

1) 静止图像的频谱

- 只在水平方向有亮度变化的静止图像,如图 1-11 所示。

在这种情况下,每个行扫描得到的图像信号都是一样的(以行频重复)。根据傅里叶分析,频谱是线状谱,位于行频 f_H 及其谐波 nf_H 上。 n 越大,能量(幅度)越小。对于我国电视标准,6 MHz 带宽的最高谐波次数 $n=384$ 。

- 在垂直方向有亮度变化的静止图像,如图 1-12 所示。