



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数字电视原理 习题及解答

余兆明 王明伟 朱晓蓉 张丽媛 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

数字电视原理习题及解答

余兆明 王明伟 朱晓蓉 张丽媛 编著

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书是《数字电视原理》(西安电子科技大学出版社出版,余兆明等编著)的配套教材。本书为原教材的每章列举了典型例题,并对其进行了分析和讲解,是对《数字电视原理》教材中难点的补充,它有助于“数字电视原理”的教学,有助于读者对“数字电视原理”知识的深入理解和全面掌握。

本书共分8章:第1章为数字电视中的模拟域技术;第2章为数字电视的基本概念;第3章为视频信号的数字化;第4章为图像数据压缩编码;第5章为视频压缩编码标准;第6章为数字电视传输;第7章为数字电视调制和解调;第8章为数字音频技术。每章的第1节为典型例题分析与讲解,第2节为习题,第3节为习题解答。

本书可作为高等院校广播电视、多媒体通信专业及相关专业的教材,也可供通信部门、电视台、广大通信设备的生产厂家和公司的工程技术人员和管理人员参考。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

数字电视原理习题及解答/余兆明等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2009.2

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2180-7

I. 数… II. 余… III. 数字电视—高等学校—解题

IV. TN949, 197—44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201286 号

策 划 毛红兵

责任编辑 王 瑛 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 17.875

字 数 423千字

印 数 1~4000册

定 价 25.00元

ISBN 978-7-5606-2180-7/TN·0480

XDUP 2472001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主任: 杨 震 (南京邮电大学校长、教授)

副主任: 张德民 (重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授)

秦会斌 (杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授)

通信工程组

组 长: 张德民 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 晖 (深圳大学信息工程学院副院长、教授)

巨永锋 (长安大学信息工程学院副院长、教授)

成际镇 (南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授)

刘顺兰 (杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授)

李白萍 (西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授)

张邦宁 (解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院院长、教授)

张常年 (北方工业大学信息工程学院院长、教授)

范九伦 (西安邮电学院信息与控制系系主任、教授)

姜 兴 (桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授)

姚远程 (西南科技大学信息工程学院副院长、教授)

康 健 (吉林大学通信工程学院副院长、教授)

葛利嘉 (中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授)

电子信息工程组

组 长: 秦会斌 (兼)

成 员: (成员按姓氏笔画排列)

王 荣 (解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授)

朱宁一 (解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师)

李国民 (西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授)

李邓化 (北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授)

吴 谨 (武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授)

杨马英 (浙江工业大学信息工程学院副院长、教授)

杨瑞霞 (河北工业大学信息工程学院院长、教授)

张雪英 (太原理工大学信息工程学院副院长、教授)

张 彤 (吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授)

陈鹤鸣 (南京邮电大学光电学院院长、教授)

周 杰 (南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授)

欧阳征标 (深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授)

雷 加 (桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授)

项目策划: 毛红兵

策 划: 曹 昉 寇向宏 杨 英 郭 景

前 言

本书是作者从事 20 多年数字电视原理教学和科研工作的成果结晶。为进一步配合“数字电视原理”课程的教学,帮助从事数字电视的工程技术人员更深入地了解数字电视技术中的基本知识、基本原理、数字电视新标准中的各项关键技术,以便扩大推广数字电视技术应用,作者通过对数字电视技术大量相关资料的阅读、消化、理解,浓缩、综合数字电视各个国际标准中的技术,并结合研究生、本科生的教学以及多年科研的亲身体会编写了此书。

本书的重点是图像数据压缩编码、视频压缩编码标准、数字电视传输、数字电视调制和解调、数字音频技术等内容的习题及解答。每章均分为典型例题分析与讲解、习题、习题解答 3 部分。其中有“*”号的习题是难点,可供掌握好基础知识后有余力的学生解读。

本书共分 8 章:第 1 章为数字电视中的模拟域技术;第 2 章为数字电视的基本概念;第 3 章为视频信号的数字化;第 4 章为图像数据压缩编码;第 5 章为视频压缩编码标准;第 6 章为数字电视传输;第 7 章为数字电视调制和解调;第 8 章为数字音频技术。

第 1 章由研究生张丽媛编写;第 2、3、4、5、8 章由余兆明教授编写;第 6、7 章由研究生朱晓蓉编写;各章的软件编程分别由王明伟老师和研究生张丽媛完成。余兆明教授还对全书进行了审校。

本书是在《数字电视和高清晰度电视》(1997 年人民邮电出版社出版,余兆明编著)(曾被评为江苏省高校一类优秀课程教材)、《数字电视原理》(2003 年人民邮电出版社出版,余兆明、余智编著)和《数字电视原理习题及解答》(2004 年人民邮电出版社出版,余兆明、孙海安、徐栋梁编著)三本书的基础上,经过全面修改、编排、整理和补充而编写成的。

本书内容丰富、系统性强、取材新颖、观点明确、易于理解,可作为高等院校广播电视、多媒体通信专业及相关专业的教材,也可供通信部门、电视台、广大通信设备的生产厂家和公司的工程技术人员和管理人员参考。

希望本书能为从事数字电视原理教学、数字电视设备研制和从事数字电视传输与组网推广应用的工程技术人员稍尽绵薄之力。

在此,对关心本书的所有同仁深表谢意。数字技术的发展一日千里,数字电视设备不断推陈出新,相关文献浩如烟海,本书疏漏之处在所难免,还望读者不吝赐教。

作 者

2008 年 12 月

目 录

第 1 章	数字电视中的模拟域技术	1
1.1	典型例题分析与讲解	1
1.2	习题	10
1.3	习题解答	12
第 2 章	数字电视的基本概念	41
2.1	典型例题分析与讲解	41
2.2	习题	50
2.3	习题解答	51
第 3 章	视频信号的数字化	63
3.1	典型例题分析与讲解	63
3.2	习题	65
3.3	习题解答	66
第 4 章	图像数据压缩编码	72
4.1	典型例题分析与讲解	72
4.2	习题	116
4.3	习题解答	120
第 5 章	视频压缩编码标准	151
5.1	典型例题分析与讲解	151
5.2	习题	156
5.3	习题解答	156
第 6 章	数字电视传输	170
6.1	典型例题分析与讲解	170
6.2	习题	194
6.3	习题解答	198
第 7 章	数字电视调制和解调	230
7.1	典型例题分析与讲解	230
7.2	习题	242
7.3	习题解答	243
第 8 章	数字音频技术	256
8.1	典型例题分析与讲解	256
8.2	习题	269
8.3	习题解答	260
参考文献		276

第1章 数字电视中的模拟域技术

1.1 典型例题分析与讲解

例 1.1 求饱和青色光的三个分量信号 Y 、 $R-Y$ 、 $B-Y$ 。

解：因为

$$\text{绿色光} + \text{蓝色光} = \text{青色光}$$

设 $G=E$, $B=E$, 而 $R=0$, 则有

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B = 0.59E + 0.11E = 0.7E$$

$$R - Y = -0.7E$$

$$B - Y = E - 0.7E = 0.3E$$

例 1.2 求对应 100-0-100-0 彩条信号的三个分量信号 Y 、 $R-Y$ 、 $B-Y$ 的数据。

解：按亮度方程的精确公式： $Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$, 可求得表 1.1.1 所示 100-0-100-0 彩条亮度信号、色差信号、色度信号的数据。

表 1.1.1 100-0-100-0 彩条亮度信号、色差信号、色度信号的数据

色别	R	G	B	Y	$B-Y$	$R-Y$
白	1.00	1.00	1.00	1.000	0.000	0.000
黄	1.00	1.00	0.00	0.886	-0.886	0.114
青	0.00	1.00	1.00	0.701	0.299	-0.701
绿	0.00	1.00	0.00	0.587	-0.587	-0.587
紫(或品红)	1.00	0.00	1.00	0.413	0.587	0.587
红	1.00	0.00	0.00	0.299	-0.299	0.701
蓝	0.00	0.00	1.00	0.114	0.886	-0.114
黑	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000

例 1.3 求 PAL 信号的水平分解力和垂直分解力。

解：(1) 水平分解力。当考虑到光栅宽度为高度的 K (幅型比, 或称宽高比) 倍时, 水平方向的分解力 (也就是在一行内所必须分解的黑白条纹数) 为

$$N = KM = KK_1 Z(1 - \beta) \quad (1.1.1)$$

式中: N 为水平分解力; K_1 为克尔系数, $K_1(1 - \beta) = 0.7$; K 为幅型比, $K = 4/3$; $\beta = 8\%$ (指 PAL 电视标准)。

所以

$$N = \frac{4}{3} \times 0.7 \times 625 \approx 583 \text{ (TV 线)}$$

视频通道的通频带则应适应这一水平分解力要求。分解力的单位采用电视线(TV 线)。

(2) 垂直分解力。垂直分解力 M 可用下式表示:

$$M = K_1 Z(1 - \beta) \quad (1.1.2)$$

式中: M 为垂直分解力; K_1 为克尔系数, $K_1(1 - \beta) = 0.7$;

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\text{一帧内消隐行数}}{\text{一帧图像的扫描行总数}} \times 100\% \\ &= \frac{50}{625} \times 100\% = 8\% \quad (\text{指 PAL 电视标准}) \end{aligned}$$

所以

$$M = 0.7 \times 625 \approx 438 \text{ (TV 线)}$$

例 1.4 求 PAL 信号的带宽。

解: 根据人眼的视觉特性, 图像信号的最大带宽可由下式计算:

$$f_{\max} = \frac{1}{4} K K_1 \frac{1 - \beta}{1 - \alpha} f_v N^2 \quad (1.1.3)$$

式中: K_1 为克尔系数, $K_1(1 - \beta) = 0.70$; N 为扫描行数, 即 625; f_v 为场频, 即 50 Hz; K 为图像宽高比, 即 4/3; α 、 β 分别为行、场逆程系数, $\alpha = 18\%$, $\beta = 8\%$ 。

当 $N = 625$ 行时, 由式(1.1.3)可计算出带宽为

$$f_{\max} = \frac{1}{4} \times \frac{4}{3} \times \frac{0.7}{0.82} \times 625 \times 625 \times 50 \text{ Hz} \approx 6 \text{ MHz}$$

说明: 下面所列内容是第 1 章深层次的讲练内容, 是难点, 可作为优秀学生提高用。

例 1.5 简述超高清晰度成像(HRI)建议的内容。

解: ITU-R BT.1201 建议书提出了超高清晰度成像(HRI)格式和规范建议。该建议的提出主要考虑到如下因素:

(1) 超高清晰度图像能够在诸如计算机图形、印刷、医疗和电影及电视等领域里作为未来的图像系统使用;

(2) 世界各国正在进行有关超高清晰度图像的研究和应用试验;

(3) 为了经济地实现超高清晰度图像系统, 应该建立世界通用标准;

(4) 超高清晰度图像信号传送时, 数据压缩技术起着重要作用。

1. ITU-R BT.1201 建议的内容

ITU-R BT.1201 建议的内容如下:

(1) 空间和瞬时分辨率及图像宽高比应该足够地灵活, 以适合于各种不同应用场合的需要;

(2) 数据流里包头应该使用统一规范的参数;

(3) 色度学的通用性应体现在不同的格式里。

表 1.1.2 列出了超高清晰度电视建议的参数。

表 1.1.2 超高清晰度电视建议的参数

参 数	数 值
屏幕宽高比	4:3 或 16:9 是基本尺寸,但鉴于其他用途,也可采用其他数值
空间分辨率	考虑到与计算机兼容,最好在 16:9 屏幕上采用 1920×1080 或与其成整数倍的像素数
瞬时分辨率	由于逐行扫描比隔行扫描更便于进行图像编码和图像处理,更高的空间分辨率需要更高的瞬时分辨率,因此采用 60 帧/秒和逐行扫描是合适的
量化比特数(灰度级)	活动图像: 8 bit; 静止图像: 10 bit。在图像合成、编辑等两次使用的场合,量化比特数应该取 12 bit
色度	可按 ITU-R BT.709 建议,但需使用更新的方法来实现宽范围的彩色重现

2. 超高清晰度成像(HRI)的进展报告

1) 典型空间分辨率的级别

典型空间分辨率的级别的建议如表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 典型空间分辨率的级别的建议

	HRI-0	HRI-1	HRI-2	HRI-3
空间分辨率 (取样点数)	1920×1080	3840×2160	5760×3240	7680×4230

2) 显示技术

(1) 显像管(CRT)。按目前的技术,20 英寸的 CRT 的荫罩间距为 0.3 mm 时,能够获得约 1000 行的分辨率。在高级工作站里,已经实现了 0.15 mm 的荫罩间距。目前 CRT 里电子束的尺寸大约为 1~2 mm,为了获得更高的分辨率,需要将电子束的尺寸减小到 0.5~1 mm。另外,还需要提高 CRT 扫描电路的驱动速度,它可以通过减少扫描线圈的宽度和降低铁芯损耗来实现。当然,还需要采用数字补偿电路来减少扫描的误差。

(2) 液晶显示(LCD)。现在的大屏幕显示可采用 LCD 技术来显示高分辨率图像。由于生产工艺的提高,这种显示装置目前使用较普遍。

3) 摄像技术

如果假设实用镜头系统的边缘分辨率约为 100 行/mm,则 1 英寸镜头系统(CCD 扫描面积为 14 mm×7.8 mm)可以得到的垂直分辨率是 $7.8 \times 100 \times 2 = 1560$ (TV 线),这样可得出: HRI-1(3840×2160)需要使用大于 1 英寸的光学系统。再要提高分辨率,摄像器件的像素尺寸趋向于减少,这就需要通过增大光学图像的接收面积、采用高灵敏度器件和降低杂波等措施来实现了。

目前,已生产出超过 1000 万像素的 CCD,它可用于 HRI 摄像机。新的技术进一步提高了分辨率,减少了杂波电平。

4) 传输问题

超高清晰度电视实时传输可以通过卫星、光纤信道进行。表 1.1.4 列出了 HRI 传输带

宽和调制电平的关系。

表 1.1.4 HRI 传输带宽和调制电平的关系

实时 HRI 传输层(压缩后)	传输带宽和调制电平的关系
HRI-0 (50 Mb/s)	12 MHz/64QAM
HRI-0~HRI-1(65~130 Mb/s)	24~36 MHz/64QAM
	18 MHz/256QAM
HRI-2~HRI-3(500 Mb/s)	100 MHz/256QAM

例 1.6 列出 ITU BT.1203 建议的典型图像格式和 HRI 建议的典型空间样点格式。

解: ITU BT.1203 建议的典型图像格式如表 1.1.5 所示, HRI 建议的典型空间样点格式如表 1.1.6 所示。

表 1.1.5 ITU BT.1203 建议的典型图像格式

	50 Hz		60 Hz	
HDTV (16:9)	1920×1152	In	1920×1035	In
	1440×1152	In	1920×1080	Se
			1920×1080	In
			1440×1080	In
EDTV (16:9)			1280×720	Se
	960×576	Se	960×483*	Se
	960×576	In	960×483*	In
SDTV (4:3)	720×576	In	720×483*	In
	720×576	In	720×483*	In

注: ① HDTV 为高清晰度电视; EDTV 为改良清晰度电视; SDTV 为标准清晰度电视。

② In 为隔行扫描; Se 为逐行扫描。

③ “*”号表示用于发射和二次分配时, 编码图像信号的行数可能是 480 行, 但宽高比应该规定采用 483 有效行。

表 1.1.6 HRI 建议的典型空间样点格式

	HRI-0	HRI-1	HRI-2	HRI-3
空间抽样点数	1920×1080	3840×2160	5760×3240	7680×4230

例 1.7 试阐明电视信号空间频谱。

解: (1) 电视信号的二维空间频谱。尽管电视信号的一维频谱分析已能满足某些信号处理的需要, 但在涉及相邻行、相邻帧间像素的视频信号处理时, 一维频谱的分析方法就不能胜任了。而采用二维或三维频谱的分析方法能更深入、更直观地解释处理的结果, 特别适用于交叉亚抽样亮色数字分离、二维轮廓增强、多维滤波涉及信号多维频谱特性的分析。下面介绍 PAL-D 信号的二维空间频谱。

对于 PAL-D 信号, 每帧 625 行, 图像亮度信号的最高频率为 6 MHz。所以, 垂直空间

频率频谱的界限为 $n \leq N/2 = 312$ ；水平空间频率的界限可以由电视亮度信号的最高频率求得，即

$$m = \frac{6 \text{ MHz}}{f_H} = \frac{6 \text{ MHz}}{15\,625 \text{ Hz}} = 384$$

因此，PAL-D 信号的空间频谱界限是 $|m| \leq 384$ ， $|n| \leq 312$ 。这样，可以建立一个二维空间频谱坐标，如图 1.1.1 所示，横轴为 m ，纵轴为 n 。 m 轴过坐标原点，向右为正，向左为负； n 轴过坐标原点，向上为正，向下为负。如果把 PAL-D 理想亮度信号的频谱用二维空间谱来表示，则为图 1.1.1(b) 所示的椭圆范围内。另外，我们知道，随频率的提高，信号幅度下降，也即电视信号的能量主要集中在低频端。所以，电视亮度信号的二维空间幅频特性应该为图 1.1.1(c) 所示的圆锥形状。其圆锥形状的幅频特性的数学表达式为

$$\frac{m^2}{384^2} + \frac{n^2}{312^2} = \frac{(z-K)^2}{K^2} \quad (0 \leq z \leq K, m, n \text{ 为整数}) \quad (1.1.4)$$

式中： z 表示幅度轴； K 为圆锥最大幅度。

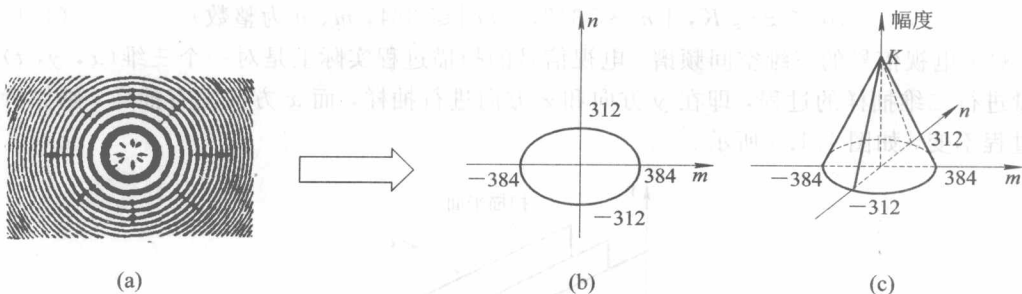


图 1.1.1 理想亮度信号的二维空间频谱

(a) 理想亮度信号；(b) 二维空间频谱；(c) 二维空间幅频特性

在实际情况下，水平空间频率高的地方，对应着的垂直空间频率较低；垂直空间频率较高的地方，对应着的水平空间频率较低。这样，实际亮度信号的二维空间频谱应为菱形频谱，它的幅频特性应为菱形锥状，如图 1.1.2(c) 所示。

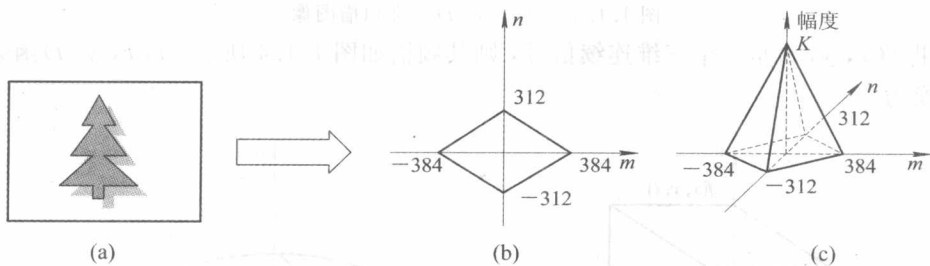


图 1.1.2 实际亮度信号的二维空间频谱

(a) 实际亮度信号；(b) 二维空间频谱；(c) 二维空间幅频特性

实际亮度信号的二维频谱如图 1.1.2(b) 所示，它可以看做是由 4 条直线围成的，即

$$n = -\frac{312}{384}(m + 384) \quad (1.1.5a)$$

$$n = \frac{312}{384}(m + 384) \quad (1.1.5b)$$

$$n = \frac{312}{384}(m - 384) \quad (1.1.5c)$$

$$n = -\frac{312}{384}(m - 384) \quad (1.1.5d)$$

化简得

$$|n| = -\frac{312}{384}(|m| - 384) \quad (|n| \leq 312, |m| \leq 384, m, n \text{ 为整数})$$

而实际黑白电视信号二维频谱的幅频特性为菱形锥状, 其数学表达式为

$$\left| \frac{nK}{-z + K} \right| = \frac{312}{384} \left(\left| \frac{mK}{-z + K} \right| - 384 \right) \quad (0 \leq z \leq K, |n| \leq 312, |m| \leq 384, m, n \text{ 为整数}) \quad (1.1.6)$$

化简得

$$|n| = -\frac{312}{384} \left(|m| - 384 + 384 \frac{z}{K} \right) \quad (0 \leq z \leq K, |n| \leq 312, |m| \leq 384, m, n \text{ 为整数}) \quad (1.1.7)$$

(2) 电视信号的三维空间频谱。电视信号的扫描过程实际上是对一个三维 (x, y, t) 模拟量进行二维抽样的过程, 即在 y 方向和 z 方向进行抽样, 而 x 方向没有抽样, 则保持模拟过程不变, 如图 1.1.3 所示。

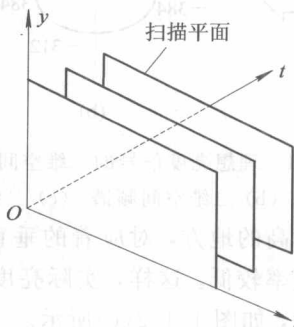


图 1.1.3 $f(x, y, t)$ 三维扫描图像

如果 $f(x, y, t)$ 是一个三维连续信号, 则其频谱如图 1.1.4 所示。 $f(x, y, t)$ 函数的傅里叶变换为

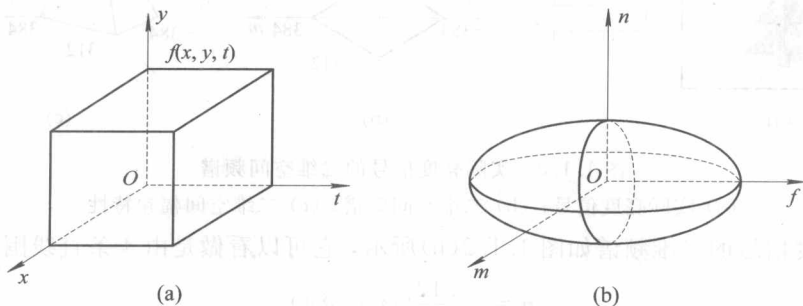


图 1.1.4 $f(x, y, t)$ 三维扫描图像及其频谱 $F(m, n, f)$

(a) 三维扫描; (b) 三维频谱

$$f(x, y, t) \Leftrightarrow F(m, n, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y, t) e^{-j(mx+ny+ft)} dx dy dt \quad (1.1.8)$$

视频信号作为三维连续信号在 y 方向(扫描线)和 t 方向(场间隔)的周期抽样, 显然, 根据抽样定理, $f(x, y, t)$ 的视频信号的频谱在 f 方向和 n 方向分别以 $1/t_0$ 和 $1/y_0$ 的间隔重复 $F(m, n, f)$, 见图 1.1.4。如果对视频信号在 x 方向上抽样, 则成了数字视频信号, 其频谱在 m 方向以 $1/x_0$ 的间隔无限地重复, 其频谱为 $F(m, n, f)$, 见图 1.1.5。

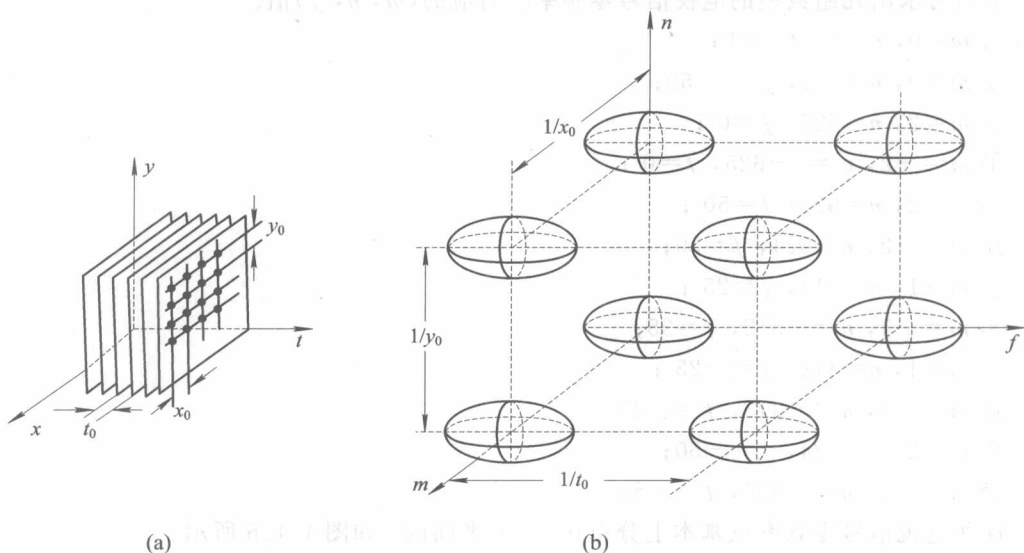


图 1.1.5 三维抽样及其频谱

(a) 三维抽样; (b) 三维抽样频谱

下面作较深入的定量分析。

一幅幅连续静止的图像, 可以看成是多幅二维空间频率分量 (m, n) 图像的叠加。而活动图像可以看成具有一定速度移动的二维空间频率分量 (m, n) 图像的叠加。运动速度可以用同相位点通过某一固定点的速度来表示(单位为 Hz, 符号为 f)。这样, 任何一幅图像都可以用 m, n, f 三维空间函数和具有一定幅度与相位的二维频谱来表示。这时电视信号的频率与三维坐标的关系, 在隔行扫描时有

$$f_{in} = f_H \left(m \pm \frac{2n}{N} \right) \pm f \quad (1.1.9)$$

式(1.1.9)中, 如果扫描是从左上角向右下角进行的, 图像是向左运动的, 则有

$$f_{in} = f_H \left(m - \frac{2n}{N} \right) + f \quad (1.1.10)$$

如果扫描是从右上角向左下角进行的, 图像是向右运动的, 则有

$$f_{in} = f_H \left(m + \frac{2n}{N} \right) - f \quad (1.1.11)$$

为分析问题方便, 我们仅对式(1.1.10)进行讨论。

在二维频谱分析中, 我们发现, 彩色副载波不能有整数的垂直空间频率解, 其原因是彩色副载频在屏幕上实际上是运动的图像。彩色副载波的图形可以看成是以 18.75 Hz 向

左运动($m=284, n=78$)的空间频率图像,可证明如下:

$$f_{sc} = f_H \left(m - \frac{2n}{N} \right) + f \quad (1.1.12)$$

$$283.7516f_H = f_H \left(284 - 2 \times \frac{78}{625} \right) + f \quad (f = 18.75 \text{ Hz})$$

对式(1.1.12),任何一个信号频率 f_m , 都有无限多个 (m, n, f) 解。

下面可求出几组典型的电视信号零频率点对应的 (m, n, f) 值。

- ① $m=0, n=1, f=50$;
- ② $m=0, n=-1, f=-50$;
- ③ $m=2, n=625, f=0$;
- ④ $m=-2, n=-625, f=0$;
- ⑤ $m=2, n=626, f=50$;
- ⑥ $m=-2, n=624, f=50$;
- ⑦ $m=1, n=313, f=25$;
- ⑧ $m=-1, n=-312, f=25$;
- ⑨ $m=1, n=312, f=-25$;
- ⑩ $m=-1, n=-313, f=-25$;
- ⑪ $m=2, n=624, f=-50$;
- ⑫ $m=-2, n=-626, f=-50$ 。

这些电视信号零频率点基本上分布在 $n-f$ 平面内,如图 1.1.6 所示。

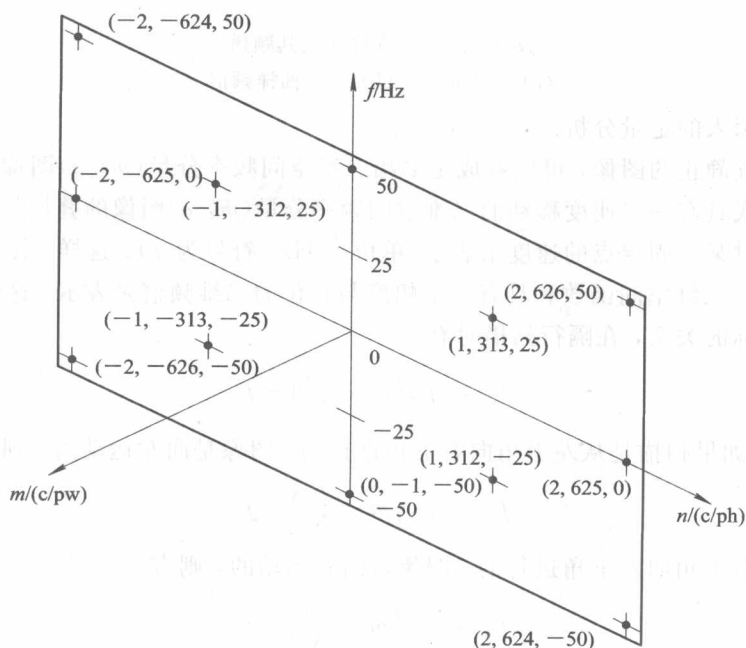


图 1.1.6 $n-f$ 平面零频率点分布示意图

下面我们来分析 PAL 亮度信号的三维结构。亮度分量的三维频谱是以图 1.1.6 所示

的零频率点为中心重复的三维频谱,并位于近似平行于 $n-f$ 平面的两个平面的夹层内,这两个平面距离 $n-f$ 平面分别为 $+384$ 和 -384 ,也即水平空间频率的最大范围。图 1.1.7 画出了隔行扫描系统不发生频谱混叠的范围,虽然也是矩形但却是倾斜的。这种倾斜结构意味着 m 和 n 分量之间有很大的不同。例如,只有水平空间频率(无垂直空间频率)的移动速度可以达到 25 Hz 而不发生频谱混叠。又如,只有垂直空间频率(无水平空间频率)的移动速度在不发生频谱混叠的条件下却依赖于垂直空间频率的大小:当 n 接近于零时,画面能以 25 Hz 的速度移动; n 较大的画面(如水平细条)却几乎不能移动。为了使频谱不产生混叠而对空间频率运动速度的限制也可以解释为对运动物体的空间频率的限制。也就是说,物体运动得越快,对运动物体所含的垂直频率的限制也就越大。由此看来,理想 PAL 亮度信号的三维频谱应该是锥状频谱,如图 1.1.8 所示。

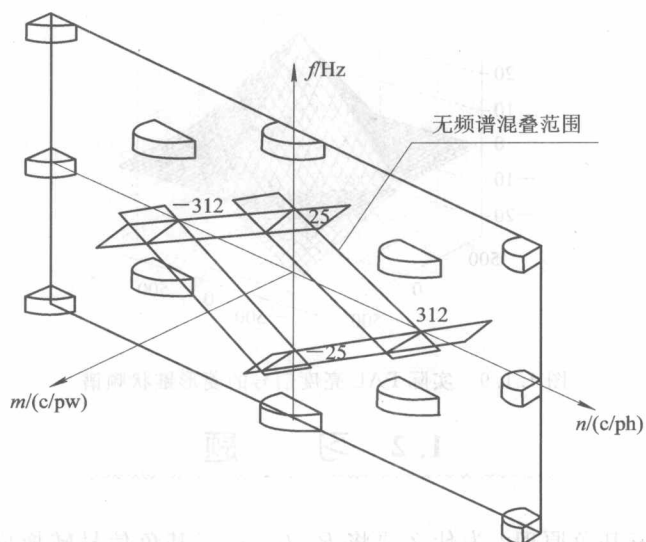


图 1.1.7 隔行扫描系统不发生频谱混叠的范围

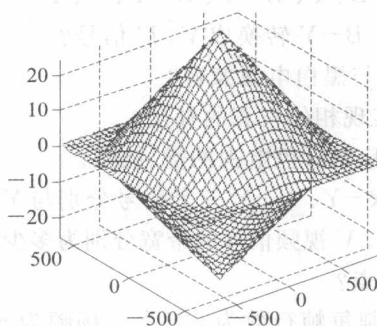


图 1.1.8 理想 PAL 亮度信号的椭圆锥状频谱

图 1.1.8 所示的理想 PAL 亮度信号的三维频谱为椭圆锥状,其数学表达式为

$$\frac{m^2}{384^2} + \frac{n^2}{312^2} = \frac{(f-25)^2}{25^2}$$

其中,

$$\begin{cases} -25 \leq f \leq 25 \\ -384 \leq m \leq 384 \quad (m \text{ 为整数}) \\ -312 \leq n \leq 312 \quad (n \text{ 为整数}) \end{cases} \quad (1.1.13)$$

图 1.1.9 所示的实际 PAL 亮度信号的三维频谱为菱形锥状, 其数学表达式为

$$|n| = -\frac{312}{384} \left(|m| - 384 + 384 \frac{|f|}{25} \right)$$

其中,

$$\begin{cases} -25 \leq f \leq 25 \\ -384 \leq m \leq 384 \quad (m \text{ 为整数}) \\ -312 \leq n \leq 312 \quad (n \text{ 为整数}) \end{cases} \quad (1.1.14)$$

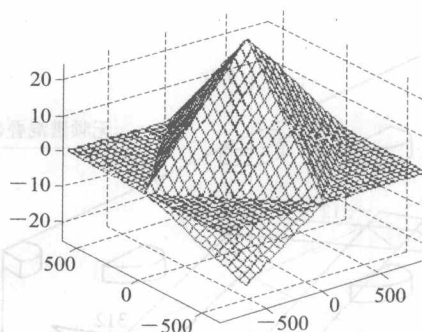


图 1.1.9 实际 PAL 亮度信号的菱形锥状频谱

1.2 习 题

- 1-1. 什么叫三基色原理? 为什么要将 R 、 G 、 B 三基色信号转换成 Y 、 $R-Y$ 、 $B-Y$ 信号?
- 1-2. 求绿色光的 R 、 G 、 B 、 Y 、 $B-Y$ 、 $R-Y$ 、 C 、 $Y+C$ 、 $Y-C$ 的值。
- 1-3. 为什么要将 $R-Y$ 、 $B-Y$ 转换成 V 、 U 信号?
- 1-4. 怎样实现彩色电视与黑白电视兼容?
- 1-5. PAL 彩色制如何实现相位失真的补偿?
- 1-6. 比较 NTSC 与 PAL 制彩色电视的优、缺点。
- 1-7. PAL 信号中, Y 、 $R-Y$ 、 $B-Y$ 三个信号分别与 Y 、 U 、 V 和 Y 、 u 、 v 有何区别?
- 1-8. PAL 信号中, Y 、 U 、 V 视频信号的带宽分别为多少? 一套节目的总带宽为多少?
- 1-9. 隔行扫描有什么优点?
- 1-10. 已知 NTSC 彩色制每帧行数为 525 行, 场频为 60 Hz, $\alpha=18.75\%$, $\beta=8\%$, $K_1(1-\beta)=0.7$, 求视频信号的带宽。
- 1-11. 利用所学知识, 分别求出 625 行、1125 行、2248 行电视的模拟带宽。
- 1-12. 什么叫做空间频率? 水平空间频率和垂直空间频率的高、低分别与哪些因素有关?
- 1-13. 简述静止图像的频谱和运动图像的频谱的特点。

1-14* 试用所学知识, 求出如图 1.2.1 所示的圆信号的频谱。(外径为 R_1 , 内径为 R_2 , 圆环为白, 其余部分为黑, 假设圆环宽度保持为 $R_1 - R_2$, 不考虑行消隐。)

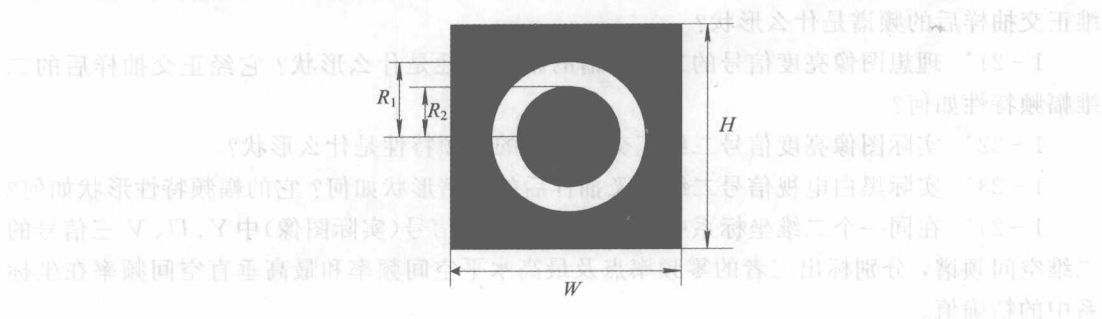


图 1.2.1 圆信号

1-15* 求如图 1.2.2 所示中“T”“V”信号的频谱。(“T”“V”为白, 其余为黑, 不考虑行、场消隐。)



图 1.2.2 “T”信号和“V”信号

1-16* 求如图 1.2.3 所示斜三角电视信号的频谱。(考虑行、场消隐。)

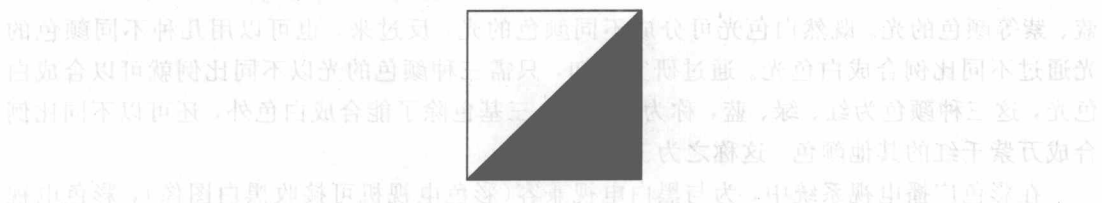


图 1.2.3 斜三角电视信号

1-17* 求如图 1.2.4(a)、(b)、(c)所示中各黑白条的水平空间频率和垂直空间频率, 以及电视信号的最高频率。

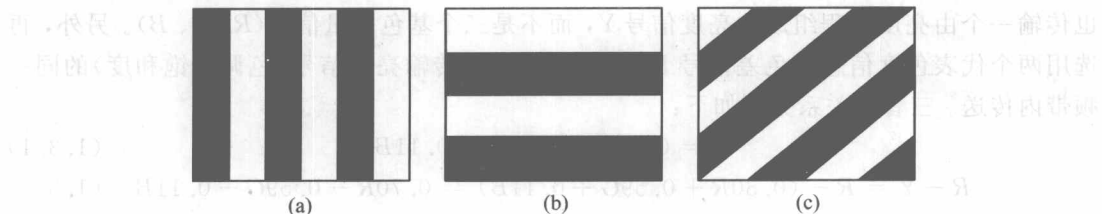


图 1.2.4 黑白条电视信号

1-18* 在考虑 25 Hz 偏置和不考虑 25 Hz 偏置两种情形下, 讨论隔行扫描和逐行扫描系统的电视信号一维频谱中 Y、U、V 的主谱线和副谱线的间隔, 分别用一维谱线标出。

1-19* 理想黑白电视信号的二维频谱及其幅频特性是什么形状? 实际黑白电视信号