



普通高等教育“十三五”规划教材

光电 & 仪器类专业规划教材

# 图像传感器应用技术 (第3版)

◎ 王庆有 尚可可 速力红 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

三五”规划教材

光电 & 仪器类专业规划教材

# 图像传感器应用技术

(第3版)

王庆有 尚可可 逯力红 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书不但讲述了 CCD、CMOS 的驱动与像感原理及特性,还讨论了图像传感器的计算机数据采集、数据传输、信息提取与处理技术。精选了 18 种典型应用实例,使读者能尽快解决实际应用中常遇到的选择光源、设计光学系统、提取信息、构建光电系统等困难和技巧,以便在“为机器安装智慧眼睛”过程中发挥作用。

本书可作为高等院校光信息科学与工程、测控技术与仪器、计量测试仪器、测绘工程、环境工程、机械电子工程、公安图像技术、光电检测仪器、光学技术与仪器、生物医学工程等专业本科生及研究生的教材,也可作为光电技术领域科技人员的技术参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

图像传感器应用技术/王庆有,尚可可,逯力红编著. —3 版. —北京:电子工业出版社,2019.2  
ISBN 978-7-121-35827-2

I. ①图… II. ①王… ②尚… ③逯… III. ①图像传感器-高等学校-教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 296083 号

责任编辑:韩同平 特约编辑:邹凤麒 等

印 刷:北京七彩京通数码快印有限公司

装 订:北京七彩京通数码快印有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:19.5 字数:624 千字

版 次:2003 年 9 月第 1 版

2019 年 2 月第 3 版

印 次:2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价:65.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlls@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:88254525, hantp@phei.com.cn。

## 第 3 版前言

人们通过感官从自然界提取各种信息,其中以人眼通过视觉提取的信息量最多,也最丰富多彩,最可靠。成语“百闻不如一见”就说明了这个道理。图像传感器帮助人们提高人眼的视觉范围,使人们看到肉眼无法看到的微观世界和宏观世界,看到人们暂时无法到达之处所发生的事情,看到超出肉眼视觉范围的各种物理、化学变化过程,生命、生理、病变的发生、发展过程等,可见图像传感器在人们的文化、体育、生产、生活和科学研究中起到非常重要的作用,可以说现代人类活动已经无法离开图像传感器。

图像传感器能够将各种光学图像转换成一维时序信号并输出。尤其是进入 21 世纪以来,CCD (Charge Coupled Devices)、CMOS (Complementary Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 等半导体集成图像传感器分辨率的提高,以及半导体集成电路的发展,使传感器的体积、重量、功能与智能化等优势凸显,互联网与通信技术的发展使人类对图像传感器的依赖程度愈加增强。人机交互,机器与机器之间的通信、控制与管理都需要图像传感器提供瞬息万变的图像信息,增强人机以及机器设备之间的信息沟通,已成为实现物联网的关键。

“为机器安装智慧的眼睛”为本书的宗旨,本书的目的是培养从事图像传感器应用技术的科技人才,并为物联网建设事业发挥积极作用。

本书第 1 版自 2003 年出版以来受到光电界工程技术人员与高等院校有关专业广大师生的欢迎与厚爱,被很多高校选作技术基础课的必修教材。

本书第 2 版于 2013 年出版,为“天津市自然科学学术专著”,得到天津市科协的资助。

随着科技的发展,图像传感器应用技术不断进步与提高;随着智能制造技术的发展,图像传感器已成为机械设备的必备部件。为适应当前技术层面的提高和高校有关专业人才培养、教育改革的需要,结合广大师生的反馈意见,为保持教材的先进性,推出了第 3 版。

第 3 版共 10 章,主要包括:图像解析基本理论,各种图像传感器的工作原理、特性、驱动方式、计算机数据采集与接口技术等,通过对典型器件的驱动与典型图像传感器结构分析达到掌握各种半导体图像传感器和基本输出特性。通过介绍图像传感器在非接触尺寸测量、图像传感、图像分析、光谱探测、天文观测和安防监控等领域的典型应用实例,达到开拓思路,开发创新产品的目的。书中还收集了许多典型图像传感器的特性参数、特性曲线、典型驱动电路和利用图像传感器的一些技巧,使本书成为教科书及光电工程和现代测试技术领域的有益参考书。

本书第 3 版由王庆有、尚可可、逯力红编著。尚可可负责第 6、7 章,逯力红负责第 8、9 章及第 10 章的部分内容,王勤协助完成第 2 章,于桂珍协助完成第 5 章,其余各章节均由王庆有编写,并负责全书的统编定稿。

在本书编写过程中得到了国内光电技术领域许多老教师和朋友的支持和帮助,他们为本书提供了大量的素材和技术资料。在此忠心感谢:天津大学叶声华院士、孙长库教授、黄战华教授,北京理工大学张忠廉教授、周仁忠教授,天津工业大学张海明,南京理工大学李开明,空军第一航空学院黄宜军,中科院西安光机所陈良益、孙传东,中科院光电技术研究所沈忙作、陈旭南,北京凌云光视

数字图像技术公司姚毅博士,北京嘉恒中自图像技术有限公司吴小宁经理,本书还得到天津大学光电子信息工程系的支持,在此一并表示诚挚的谢意!

本书编写、修订过程中难免会有疏漏或错误之处,望读者批评指正,并提出宝贵意见(wqy@tju.edu.cn)。

育萌网

编著者

本书共分10章,第1章介绍数字图像处理的基本概念,第2章介绍数字图像的表示方法,第3章介绍数字图像的变换,第4章介绍数字图像的增强,第5章介绍数字图像的复原,第6章介绍数字图像的分割,第7章介绍数字图像的识别,第8章介绍数字图像的压缩,第9章介绍数字图像的传输,第10章介绍数字图像的应用。

# 目 录

|                               |      |                                 |      |
|-------------------------------|------|---------------------------------|------|
| 绪论 .....                      | (1)  | 3.1.2 TCD1209D 的基本工作原理 .....    | (36) |
| 第1章 图像解析与显示 .....             | (4)  | 3.1.3 TCD1209D 的特性参数 .....      | (37) |
| 1.1 图像解析原理 .....              | (4)  | 3.1.4 TCD1209D 的驱动电路 .....      | (38) |
| 1.1.1 图像的解析方法 .....           | (4)  | 3.1.5 TCD1209D 的外形尺寸 .....      | (39) |
| 1.1.2 图像传感器基本技术参数 .....       | (7)  | 3.2 典型双沟道线阵 CCD 器件 .....        | (40) |
| 1.2 图像的显示与电视制式 .....          | (8)  | 3.3 具有积分时间调整功能的<br>线阵 CCD ..... | (44) |
| 1.2.1 电视监视器的扫描 .....          | (8)  | 3.3.1 TCD1205D .....            | (44) |
| 1.2.2 电视制式 .....              | (9)  | 3.3.2 IL-P1 型线阵 CCD .....       | (47) |
| 1.3 图像显示器的分类 .....            | (10) | 3.4 具有采样保持输出电路的<br>线阵 CCD ..... | (50) |
| 1.4 典型图像显示器 .....             | (11) | 3.5 并行输出的线阵 CCD .....           | (52) |
| 1.4.1 TFT-LCD 图像显示器简介 .....   | (11) | 3.5.1 并行输出的 TCD1703C .....      | (52) |
| 1.4.2 TFT-LED 图像显示器简介 .....   | (13) | 3.5.2 分段式并行输出的线阵 CCD ...        | (54) |
| 1.4.3 LED 图像显示器 .....         | (13) | 3.6 用于光谱探测的高性能<br>线阵 CCD .....  | (57) |
| 1.5 本章小结 .....                | (14) | 3.6.1 RL1024SB .....            | (57) |
| 思考题与习题 1 .....                | (15) | 3.6.2 RL2048DKQ .....           | (60) |
| 第2章 电荷耦合摄像器件的基本<br>工作原理 ..... | (16) | 3.6.3 TCD1208AP .....           | (62) |
| 2.1 电荷存储 .....                | (16) | 3.7 彩色线阵 CCD .....              | (62) |
| 2.2 电荷耦合 .....                | (17) | 3.7.1 TCD2000P .....            | (63) |
| 2.3 CCD 的电极结构 .....           | (18) | 3.7.2 TCD2558D .....            | (64) |
| 2.4 电荷的注入和检测 .....            | (21) | 3.7.3 TCD2901D .....            | (66) |
| 2.5 CCD 的特性参数 .....           | (24) | 3.8 环形线阵 CCD .....              | (68) |
| 2.6 电荷耦合摄像器件 .....            | (25) | 3.9 本章小结 .....                  | (71) |
| 2.6.1 工作原理 .....              | (25) | 思考题与习题 3 .....                  | (72) |
| 2.6.2 CCD 的基本特性参数 .....       | (29) | 第4章 典型面阵 CCD .....              | (74) |
| 2.6.3 动态范围 .....              | (30) | 4.1 DL32 型面阵 CCD .....          | (74) |
| 2.6.4 暗电流 .....               | (31) | 4.1.1 结构 .....                  | (74) |
| 2.6.5 分辨率 .....               | (32) | 4.1.2 工作原理 .....                | (75) |
| 2.7 本章小结 .....                | (32) | 4.1.3 DL32 型 CCD 的光电特性 .....    | (76) |
| 思考题与习题 2 .....                | (33) | 4.2 TCD5130AC 面阵 CCD .....      | (77) |
| 第3章 典型线阵 CCD 图像传感器 ...        | (35) | 4.3 TCD5390AD 面阵 CCD .....      | (81) |
| 3.1 典型单沟道线阵 CCD .....         | (35) | 4.4 IA-D4 型面阵 CCD .....         | (84) |
| 3.1.1 TCD1209D 的基本结构 .....    | (35) |                                 |      |

|                                            |              |                                          |              |
|--------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|--------------|
| 4.4.1 IA-D4 的结构 .....                      | (84)         | 6.2 CMOS 成像器件的原理结构 ...                   | (125)        |
| 4.4.2 工作原理 .....                           | (85)         | 6.2.1 CMOS 成像器件的组成 .....                 | (125)        |
| 4.4.3 IA-D4 的基本特性 .....                    | (87)         | 6.2.2 CMOS 成像器件的像元结构 ...                 | (126)        |
| 4.5 特种面阵 CCD .....                         | (88)         | 6.2.3 CMOS 图像传感器的工作<br>流程 .....          | (129)        |
| 4.5.1 IA-D9-2048 型面阵 CCD .....             | (88)         | 6.2.4 CMOS 成像器件的辅助电路 ...                 | (130)        |
| 4.5.2 IA-D9-5000 型面阵 CCD .....             | (91)         | 6.3 CMOS 图像传感器的性能<br>指标 .....            | (134)        |
| 4.5.3 2620 万像素面阵 CCD .....                 | (91)         | 6.3.1 光谱响应与量子效率 .....                    | (134)        |
| 4.6 面阵 CCD 摄像器件的特性 .....                   | (92)         | 6.3.2 填充因子 .....                         | (134)        |
| 4.7 面阵 CCD 的电荷累积时间<br>与电子快门 .....          | (96)         | 6.3.3 输出特性与动态范围 .....                    | (136)        |
| 4.8 MTV-2821 摄像机 .....                     | (97)         | 6.3.4 噪声 .....                           | (136)        |
| 4.8.1 工作原理 .....                           | (97)         | 6.3.5 空间传递函数 .....                       | (137)        |
| 4.8.2 MTV-2821CB 特性参数 .....                | (98)         | 6.3.6 CMOS 图像传感器与 CCD 图像<br>传感器的比较 ..... | (138)        |
| 4.8.3 MTV-2821CB 的主要功能及<br>其设置 .....       | (100)        | 6.4 典型 CMOS 图像传感器 .....                  | (138)        |
| 4.8.4 帧累积功能 .....                          | (101)        | 6.4.1 IBIS4 SXGA 型 CMOS 成像<br>器件 .....   | (138)        |
| 4.9 本章小结 .....                             | (104)        | 6.4.2 FUGA1000 图像传感器 .....               | (142)        |
| 思考题与习题 4 .....                             | (105)        | 6.4.3 高速 CMOS 图像传感器 .....                | (144)        |
| <b>第 5 章 CCD 彩色摄像机概述 .....</b>             | <b>(107)</b> | 6.5 CMOS 摄像机 .....                       | (146)        |
| 5.1 三管 CCD 彩色电视摄像机 ...                     | (107)        | 6.5.1 IM26-SA 型 CMOS 摄像机 ...             | (146)        |
| 5.1.1 三管 CCD 彩色电视摄像机的<br>基本组成 .....        | (107)        | 6.5.2 MC1300 高速 CMOS 摄像机 ...             | (149)        |
| 5.1.2 光学系统和 CCD 摄像机中的<br>重合调整 .....        | (108)        | 6.6 本章小结 .....                           | (150)        |
| 5.1.3 频谱混叠干扰在 $R, G, B$ 信号<br>之间相互抵消 ..... | (109)        | 思考题与习题 6 .....                           | (151)        |
| 5.2 两管式 CCD 彩色电视<br>摄像机 .....              | (110)        | <b>第 7 章 视频信号处理与计算机数据<br/>采集 .....</b>   | <b>(152)</b> |
| 5.3 单管 CCD 彩色摄像机 .....                     | (111)        | 7.1 CCD 视频信号的二值化<br>处理 .....             | (152)        |
| 5.4 典型单片彩色 CCD .....                       | (114)        | 7.1.1 二值化处理方法 .....                      | (152)        |
| 5.4.1 Bayer 滤色器单片彩色 CCD ...                | (114)        | 7.1.2 二值化数据采集与计算机<br>接口 .....            | (154)        |
| 5.4.2 复合滤色器(或补色滤光片)型<br>的彩色 CCD .....      | (115)        | 7.2 CCD 视频信号的量化处理 ...                    | (156)        |
| 5.5 彩色数码照相机简介 .....                        | (118)        | 7.3 线阵 CCD 输出信号的数据采集<br>与计算机接口 .....     | (158)        |
| 5.6 本章小结 .....                             | (120)        | 7.4 面阵 CCD 数据采集与计算机<br>接口 .....          | (169)        |
| 思考题与习题 5 .....                             | (120)        | 7.4.1 图像采集卡的基本工作原理 ...                   | (169)        |
| <b>第 6 章 CMOS 图像传感器 .....</b>              | <b>(121)</b> | 7.4.2 图像卡的基本结构 .....                     | (170)        |
| 6.1 MOS 场效应管 .....                         | (121)        | 7.4.3 典型图像数据采集卡 .....                    | (173)        |
| 6.1.1 MOS 场效应管的基本结构 .....                  | (121)        | 7.5 本章小结 .....                           | (181)        |
| 6.1.2 场效应管的主要性能参数 .....                    | (122)        |                                          |              |

|                                 |       |                                   |       |
|---------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| 思考题与习题 7 .....                  | (182) | 9.1.1 微光图像传感器的发展概况 ...            | (215) |
| <b>第 8 章 图像传感器的光学成像系统</b> ..... | (184) | 9.1.2 微光电视摄像系统 .....              | (217) |
| 8.1 光学成像系统的基本计算公式 .....         | (184) | 9.1.3 微光电视摄像系统观察距离的估算 .....       | (219) |
| 8.1.1 理想光学系统的基本参数 .....         | (184) | 9.1.4 微光 CCD 摄像器件 .....           | (220) |
| 8.1.2 理想光学系统的物像位置公式 .....       | (185) | 9.2 红外 CCD 图像传感器 .....            | (229) |
| 8.1.3 理想光学系统的放大率 .....          | (186) | 9.2.1 主动红外电视摄像系统 .....            | (229) |
| 8.2 光学元件的成像特性 .....             | (187) | 9.2.2 被动红外电视摄像系统 .....            | (230) |
| 8.2.1 球面光学元件的成像特性 .....         | (188) | 9.3 X 光 CCD 图像传感器 .....           | (233) |
| 8.2.2 平面光学元件的成像特性 .....         | (189) | 9.3.1 X 光像增强器 .....               | (233) |
| 8.3 光学成像系统中的光阑 .....            | (194) | 9.3.2 医用 X 光电视摄像系统 .....          | (235) |
| 8.3.1 光学系统的孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳 ..... | (195) | 9.3.3 工业用 X 光光电检测系统 .....         | (236) |
| 8.3.2 光学系统的视场光阑、入射窗和出射窗 .....   | (195) | 9.4 热成像技术 .....                   | (237) |
| 8.3.3 渐晕光阑 .....                | (196) | 9.4.1 点扫描式热释电热像仪 .....            | (237) |
| 8.3.4 消杂光光阑 .....               | (197) | 9.4.2 热释电摄像管的基本结构 .....           | (238) |
| 8.4 常用光电图像转换系统的成像特性 .....       | (197) | 9.4.3 典型热像仪 .....                 | (238) |
| 8.4.1 摄影系统及其物镜的光学成像特性 .....     | (197) | 9.5 本章小结 .....                    | (240) |
| 8.4.2 显微系统及其物镜的光学成像特性 .....     | (199) | 思考题与习题 9 .....                    | (241) |
| 8.4.3 望远系统及其物镜的光学成像特性 .....     | (200) | <b>第 10 章 图像传感器的典型应用实例</b> .....  | (242) |
| 8.5 照明系统 .....                  | (202) | 10.1 图像传感器用于一维尺寸的测量 .....         | (242) |
| 8.5.1 照明系统设计的基本原则 .....         | (202) | 10.1.1 玻璃管内、外径尺寸测量控制仪器的技术要求 ..... | (242) |
| 8.5.2 临界照明和柯勒照明 .....           | (202) | 10.1.2 仪器的工作原理 .....              | (242) |
| 8.5.3 图像传感器应用系统中光源和照度的匹配 .....  | (203) | 10.1.3 线阵 CCD 的选择 .....           | (243) |
| 8.6 远心光路在动态测试中的应用 .....         | (205) | 10.1.4 光学系统设计 .....               | (243) |
| 8.7 面阵 CCD 摄像机光学镜头的类型及其参数 ..... | (206) | 10.1.5 外径、壁厚的检测电路 .....           | (246) |
| 8.8 线阵 CCD 常用的物镜 .....          | (210) | 10.1.6 微机数据采集接口 .....             | (248) |
| 8.9 本章小结 .....                  | (212) | 10.1.7 系统的长线传输 .....              | (248) |
| 思考题与习题 8 .....                  | (212) | 10.2 CCD 的拼接技术在尺寸测量系统中的应用 .....   | (248) |
| <b>第 9 章 特种图像传感器</b> .....      | (215) | 10.2.1 CCD 的机械拼接技术在尺寸测量中的应用 ..... | (248) |
| 9.1 微光图像传感器 .....               | (215) | 10.2.2 线阵 CCD 的光学拼接 .....         | (250) |
| 9.1.1 微光图像传感器的发展概况 ...          | (215) | 10.3 线阵 CCD 图像传感器用于二维位置的测量 .....  | (252) |
| 9.1.2 微光电视摄像系统 .....            | (217) | 10.3.1 高精度二维位置测量系统 .....          | (252) |
| 9.1.3 微光电视摄像系统观察距离的估算 .....     | (219) | 10.3.2 光学系统误差分析 .....             | (254) |
| 9.1.4 微光 CCD 摄像器件 .....         | (220) | 10.4 CCD 在 BGA 管脚三维尺寸测量中的应用 ..... | (254) |
| 9.2 红外 CCD 图像传感器 .....          | (229) |                                   |       |
| 9.2.1 主动红外电视摄像系统 .....          | (229) |                                   |       |
| 9.2.2 被动红外电视摄像系统 .....          | (230) |                                   |       |
| 9.3 X 光 CCD 图像传感器 .....         | (233) |                                   |       |
| 9.3.1 X 光像增强器 .....             | (233) |                                   |       |
| 9.3.2 医用 X 光电视摄像系统 .....        | (235) |                                   |       |
| 9.3.3 工业用 X 光光电检测系统 .....       | (236) |                                   |       |
| 9.4 热成像技术 .....                 | (237) |                                   |       |
| 9.4.1 点扫描式热释电热像仪 .....          | (237) |                                   |       |
| 9.4.2 热释电摄像管的基本结构 .....         | (238) |                                   |       |
| 9.4.3 典型热像仪 .....               | (238) |                                   |       |
| 9.5 本章小结 .....                  | (240) |                                   |       |
| 思考题与习题 9 .....                  | (241) |                                   |       |

|         |                   |       |         |                 |       |
|---------|-------------------|-------|---------|-----------------|-------|
| 10.4.1  | 测量原理              | (255) | 10.11.2 | 实验结果分析及结论       | (277) |
| 10.4.2  | 数学模型              | (255) | 10.12   | CCD 图像传感器用于光学   |       |
| 10.4.3  | 系统的标定             | (256) |         | 系统像差测量          | (278) |
| 10.4.4  | BGA 芯片测量实验        | (257) | 10.12.1 | 像差测量原理          | (279) |
| 10.5    | CCD 图像传感器用于平板     |       | 10.12.2 | 哈特曼光电测量系统       | (280) |
|         | 位置的检测             | (258) | 10.12.3 | 实验测量系统          | (281) |
| 10.5.1  | 平板位置检测的基本原理       | (258) | 10.12.4 | 米字形光斑坐标的测量      | (281) |
| 10.5.2  | 平板位置检测系统          | (258) | 10.13   | 线阵 CCD 图像传感器在扫  |       |
| 10.5.3  | 测量范围与测量精度         | (259) |         | 描复印技术中的应用       | (281) |
| 10.6    | 利用线阵 CCD 非接触测量    |       | 10.13.1 | CCD 图像传感器用于     |       |
|         | 材料变形量的方法          | (260) |         | 彩色复印机           | (281) |
| 10.6.1  | 材料拉伸变形量的测量        |       | 10.13.2 | 接触式图像传感器(CIS)   | (282) |
|         | 原理                | (260) | 10.14   | 面阵 CCD 用于钢板尺寸的  |       |
| 10.6.2  | 测量范围与测量精度         | (262) |         | 测量              | (283) |
| 10.6.3  | 现场测试结果            | (262) | 10.14.1 | 测量原理与系统组成       | (283) |
| 10.6.4  | 讨论                | (263) | 10.14.2 | 测量系统误差分析        | (285) |
| 10.7    | CCD 图像传感器用于物体     |       | 10.14.3 | 结论              | (285) |
|         | 振动的非接触测量          | (263) | 10.15   | CCD 天文图像观测系统    | (286) |
| 10.7.1  | 振动测量原理            | (263) | 10.15.1 | 云台一号 CCD 系统     | (286) |
| 10.7.2  | 振动测量的硬件电路         | (264) | 10.15.2 | 北京天文台的 CCD 太阳磁场 |       |
| 10.7.3  | 软件设计              | (264) |         | 图像采集系统          | (287) |
| 10.7.4  | 振动台测试实验结果         | (265) | 10.16   | 图像传感器用于光电显微     |       |
| 10.8    | 图像传感器用于高精度细丝      |       |         | 分析仪             | (287) |
|         | 直径的测量             | (265) | 10.16.1 | 光电显微镜的基本构成      | (288) |
| 10.8.1  | 细丝激光衍射原理          | (266) | 10.16.2 | 光电显微分析仪的基本      |       |
| 10.8.2  | 检测系统              | (266) |         | 工作原理            | (288) |
| 10.8.3  | 数据处理系统            | (267) | 10.16.3 | 光电显微分析仪的设计      | (289) |
| 10.8.4  | 测量系统的误差分析         | (267) | 10.16.4 | 结论              | (290) |
| 10.8.5  | 讨论                | (268) | 10.17   | 图像传感器在内窥镜摄像     |       |
| 10.9    | 图像传感器用于透镜曲率       |       |         | 系统中的应用          | (290) |
|         | 半径的自动测量           | (268) | 10.17.1 | 工业内窥镜电视摄像系统     | (290) |
| 10.9.1  | 测量原理和系统构成         | (268) | 10.17.2 | 医用电子内窥镜摄像系统     | (292) |
| 10.9.2  | 测量系统的硬件与软件        | (270) | 10.17.3 | 侦察内窥镜摄像系统       | (292) |
| 10.9.3  | 系统测量误差            | (271) | 10.18   | 图像传感器用于数码照      |       |
| 10.10   | 图像传感器用于成像物镜       |       |         | 相机              | (292) |
|         | 光学传递函数的测量         | (271) | 10.18.1 | 数码照相机的结构与       |       |
| 10.10.1 | 光学传递函数检测原理        | (272) |         | 工作原理            | (293) |
| 10.10.2 | 光学传递函数检测系统        | (273) | 10.18.2 | 典型数码照相机简介       | (296) |
| 10.11   | CCD 用于 ICP-AES 光谱 |       | 10.19   | 本章小结            | (298) |
|         | 探测与分析             | (275) |         | 思考题与习题 10       | (299) |
| 10.11.1 | ICP-AES 光谱探测器的    |       |         |                 |       |
|         | 基本原理              | (275) | 参考文献    |                 | (301) |

# 绪 论

## 1. 图像传感器发展史

早在二次世界大战期间,利用无线电扫描发现敌机飞行方向与数量的雷达扫描成像技术就已经有了长足的发展。英国 1938 年在法国海岸线上布设能够观测敌方飞机的雷达链,成为图像传感器用于战争防御的最早实例。当时的雷达受限于电子(真空管)技术的现状,分辨率很低,只能判断出敌机的数量与方向,不能获取更为详细的信息,满足不了人们对图像质量(分辨率与灰度)的要求。

自 1887 年外光电效应被发现后,于 1897 年人们利用外光电效应研制出机械扫描电视系统,为早期的真空电子束摄像管奠定了基础。尽管这种笨重、分辨力低、不能分辨图像细节的装置所获得的图像还难以被人们接受,但是毕竟迈出了寻求图像信息的第一步。

1922 年美国的菲罗·法恩兹沃斯设计出第一幅电视传真原理图,1928 年美国的兹沃尔金发明了光电显像管,并与范瓦斯合作实现了扫描式电视发送与传输设备,为通过电视远距离传输图像打下了基础。

1931 年菲罗·法恩兹沃斯研制成功了第一只光电发射型摄像管(析像管),1933 年美国的佐沃赖金利用电荷存储方式与光电发射原理研制出光电摄像管,提高了灵敏度与图像分辨率,使电视摄像管走向实用阶段。

1937 年美国无线电公司(RCA)研制成功灵敏度更高的超光电摄像管,并开始电视系统中应用。

1939 年 RCA 公司又推出采用双靶面(光电成像与电子束扫描靶面)的低速电子扫描摄像管(正析像管),使灵敏度、成像质量和响应速度都有很大提高,但是仍然不能满足人们对视觉图像的要求。

1946 年 RCA 公司研制出超正析像管,它在正析像管基础上又增加了移像、反束和增强等措施,使灵敏度提高了 1000 倍,图像质量已经达到相当高的程度。使得它在电视摄像领域一直处于垄断地位。直到 20 世纪 60 年代中期氧化铅视像管的出现才打破了它的垄断地位。

1963 年荷兰飞利浦公司推出氧化铅靶面光电导型摄像管(氧化铅视像管)。它在暗电流、惰性、灵敏度、分辨率等方面都表现优秀,也使电视摄像机走向快速发展阶段。后来又研制出性能更为优异的“硒靶视像管”“硅靶视像管”等图像传感器。但是,它们都没有脱离真空封装和电子扫描系统,其体积、重量与功耗都无法减小,无法满足人们的需要。

1970 年美国贝尔电话实验室的 W. S. Boyle 与 G. E. Smith 提出了 CCD(Charge coupled devices, 电荷耦合器件)概念,后来人们又研制出 CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor, 金属氧化物半导体元件)半导体集成图像传感器,使图像传感器发展到今天的程度。

半导体集成图像传感器的产生与发展使图像传感器进入了更为广阔的应用领域。真空视像管无法克服的“电子束扫描”体制限制了图像传感器的应用范围,扫描的非线性会造成图像畸变,产生难以克服的测量误差。而半导体集成图像传感器采用像元阵列方式摄取图像,以及驱动电荷顺序输出的方式,不存在图像畸变的问题,因此它的应用可扩展到生产、生活的各个领域,尤其是半导体集成电路、无线网络与手机通信技术的发展,使得亿万民众几乎每天都离不开图像传感器。图像传感器应用技术也在此基础上产生、发展起来。

## 2. 图像传感器应用技术的主要内容

本书的前身是1993年编写出版的《CCD应用技术》,2003年根据图像传感器的发展而更名为《图像传感器应用技术》。

本书共10章。

第1章为图像解析与显示,介绍图像解析方法,图像摄取与显示共同遵守的制式,在电视制式的支持下电视系统才能确保电视传输与显示的图像不扭曲,不变形,保持良好的图像还原特性。

第2~5章介绍CCD图像传感器的原理、特性与典型器件。

第2章详尽讲解了CCD图像传感器的原理,包括信号的存储、转移、注入与检测等几个关键环节,转移效率与驱动频率等CCD工作的基本技术参数。CCD由两大类型构成,线阵列与面阵列,它们在实际应用上各自发挥不同的作用,表现不同的特点,同时又具有一定的共性,因此本章分节介绍构成线、面阵的不同结构、信号输出(驱动)与基本特性参数。

第3章介绍典型线阵CCD器件及其驱动器,因为线阵CCD种类很多,工作所需要的驱动脉冲又具有不同的方式,在不同驱动脉冲下线阵CCD又可以表现出不同的特性,在不同的应用中掌握它的驱动特性会获得不同的效果。因此,本章详细介绍了具有代表性的典型线阵CCD器件及其驱动器。介绍典型线阵CCD在不同应用中如何发挥作用。

第4章为典型面阵CCD,重点介绍各类典型面阵CCD器件的特性及其驱动器,既重视面阵CCD视频输出特性(与电视制式相匹配的驱动方式),又重视超高分辨率面阵CCD提高输出信号频率的措施。为从所用面阵CCD的图像中快速提取有用信息,同时也为理解第7章面阵CCD计算机数据采集技术奠定基础。

第5章以CCD彩色摄像机为例介绍CCD彩色摄像机的基本原理与发展历程,通过详细介绍3管CCD彩色摄像机的组成与工作原理,了解彩色摄像机的基本结构,掌握彩色信号形成的过程和“全电视信号”的内涵,为理解图像采集卡中为什么要设置“行、场分离电路”和“同步锁相器”等奠定基础。通过学习3管摄像机装调工艺中的中心调整与倾斜调整工艺要求,理解为什么要对3片CCD提出必须采用同一个工艺下制成的芯片这样严格的要求,认识3管CCD彩色摄像机维修过程中必须注意的事项。

通过分析典型帧转移型与隔列转移型彩色面阵CCD器件的结构、驱动方式与输出特性,理解单管彩色CCD摄像机的彩色分辨率低于相同像元数的“黑白”摄像机分辨率的原因。

本章最后介绍彩色数码照相机的基本构成单元和各个单元的发展。

第6章介绍CMOS图像传感器的原理、图像信号输出特性、线性特性与图像动态范围的扩展方法等,最后通过对典型CMOS相机所具有的功能与特性分析,对CMOS与面阵CCD图像传感器在信号输出方式、光电转换的线性、动态范围等性能方面进行对比,为我们在实际应用中正确选用提供必要的参考。

第7章介绍视频输出信号处理与计算机数据采集技术,掌握图像传感器输出信号的处理方法和将其采集到计算机的技术。认识从CCD图像传感器中提取有用信息的关键环节和主要参数。只有掌握各类信号的特点,采用相应的措施才能从CCD输出信号中提取出有效信号,完成各种应用任务。本章最后以典型图像采集卡为题介绍了图像传感器数据采集由板卡式发展成为自带WiFi通信接口的图像传感器,使读者掌握图像传感器的计算机数据采集技术。

第8章为图像传感器的光学成像系统,集中给出光学成像系统的基本计算公式,理想光学系统基本参数定义与基本概念,物像关系,尤其是对一些经常困扰设计者的有关光学系统3种放大倍率、像差与分辨率等技术参数给出明确的定义与计算方法,为我们在光电检测系统设计时提供参考。

光学元件的成像特性包括球面光学元件与平面光学元件的成像特性等,该内容会对光电系统

设计起到开拓思路的作用。

了解光学系统中光阑在光路中所起的作用,会对光电系统的设计与调试工作有指导意义。

常用光学系统(包括摄影、显微与望远系统)是指经常在光电检测系统中遇到的实用光学系统。掌握它们的成像特性有助于我们能够顺利完成相关检测系统的设计。

照明光源是光电系统设计的关键,良好的照明光源有助于光电系统的信息提取,从而顺利完成各种任务。但是如果没有注意到照明光源存在的问题也会使光电系统设计遇到相当大的麻烦,使信息的提取遇到障碍。特别是照明光源的照度匹配问题值得注意。

远心光路包括远心照明与远心成像系统,它们在光电检测系统中均具有特殊的功效,在进行光电设计前应该掌握。

掌握一些线、面阵 CCD 常用物镜,对快速完成光电系统设计十分有利。

第 9 章为特种图像传感器,它适用于各种特殊环境下的应用。例如在照度极低的条件下需要采用微光图像传感器才能获得可视的视频图像或图像信息。

在无辐射作用的条件下需要利用红外光源进行主动式红外摄像或直接利用被测目标的自身红外辐射,然后利用红外 CCD 图像传感器才能获取可见图像。

X 光具有穿透骨骼、织物与金属等特性,常用于医学诊断与工业压力容器质量的检测,采用 X 光 CCD 图像传感器能够使 X 光检测系统更方便地获取 X 光图像。

第 10 章介绍图像传感器应用技术,本书作者希望能够尽可能多地介绍图像传感器在科技领域的各种典型应用,但是限于篇幅,本书只能精选了 18 种典型应用进行介绍,希望读者能够从中得到提示,将图像传感器应用技术推广到我们生活的每一处。

### 3. 讲授与学习方法建议

希望主讲《图像传感器应用技术》的教师首先要精读本书,尤其对第 10 章的典型应用要求能够尽量掌握,在此基础上才能明确学习本书的意义。这样在向学生传授图像传感器知识时也能够将学习本书的意义与价值先交代给学生,让学生提高学习的兴趣。

了解各章节内容以及各章之间的内在关系,是学习好本课程的关键,如学习第 1 章的时候会感觉有些不深入,但是,在学习第 4 章内容(面阵 CCD)时需要按照第 1 章所述的电视制式安排面阵 CCD 的驱动脉冲,才能使图像信息以视频信号输出。同样第 3 章所介绍的典型线阵 CCD 图像传感器可使第 2 章的内容更加充实。有了第 2、3、4 章的基础,在学习第 7 章的图像传感器数据采集与计算机接口技术时会感觉容易理解,便于掌握。第 10 章中的每一项典型应用都需要前些章内容的支持才更容易理解,才能对学习“图像传感器应用技术”的意义有更深入的理解。第 10 章所列内容并不需要教师在课堂上都向学生讲授,可选择一些典型应用让学生自己看,自己学习。有问题或困难再拿出来讨论,这样会收到更好的效果。

“图像传感器应用技术”是技术性较强的课程,学习这类课程需要配备适当学时的实验,让学生通过实验认识一些 CCD 的基本特性,尤其是信号积累(积分)、传输与输出等特性,才能更深入地掌握它的应用。为此需要实验课,实验课内容既要包含图像传感器的驱动特性、输出特性与时间特性等内容,也应包含一些应用较为广泛的内容,例如尺寸测量、振动测量、图像扫描与光谱探测等典型应用型实验。通过对图像传感器驱动特性、输出特性的观测实验能够真正理解它的输出信号所表现的时间阶段特性(积分时间)与驱动频率间的关系;通过典型应用实验才能在实际系统设计过程中认识到影响测量范围与测量精度的因素,才能充分认识测量系统各个环节的重要性,为应用图像传感器于各种设备奠定基础。

“为机器安装智慧的眼睛”是《图像传感器应用技术》的宗旨,将图像传感器应用于各种机器设备,使其更加聪颖是我们追求的目标。

# 第 1 章 图像解析与显示

图像扫描是产生图像视觉的关键技术,也是学习和掌握图像传感器,利用图像传感器完成机器视觉检测与识别的关键。本章主要介绍利用各种光电传感器完成对图像信息进行采集的方法,以及还原图像(图像显示)的技术,为学习图像传感器的基本工作原理奠定基础。

如何将场景图像分解(变换)成一维时序信号?如何将一维时序信号还原成图像画面是本章要解决的问题。显然,它包括图像扫描(分解)的基本原理,一维时序信号的特点,电视制式包含的内容,以及图像显示技术等。

## 1.1 图像解析原理

二维场景只有通过成像物镜(镜头)才能使感光底片感光,将场景图像留于感光胶片上。很多人已经熟知,如何将场景二维空间光强的分布(光学图像)传送出去,以便于更方便地观察、分析与判断其中所需要的信息,以及如何将遥远的图像传送到人们的面前。但其中的工作原理却都不知道。其中包括图像解析(分解)、信号发送、接收与再现等过程。

图像解析是指将二维光强分布的光学图像转变成一维时序电信号的过程。完成图像解析过程的器件常称其为图像传感器,如 CCD 图像传感器。CCD 图像传感器又是如何将通过成像物镜获得的二维光强分布变换成一维时序信号输出的呢?要解决这个问题需要详细了解图像的解析方法与原理。

### 1.1.1 图像的解析方法

#### 1. 光机扫描图像解析方法

光机扫描图像解析方法是借助于光电传感器完成的,光电传感器有分立的和集成的两类。集成的又分为线阵列与面阵列的,为了便于学习,先讨论单元光电传感器光机扫描方式对图像的解析。

##### (1) 单元光电传感器光机扫描方式

采用单元光电传感器(包括各种独立光电传感器、热电传感器等)与机械扫描装置相配合可以将一幅完整的图像分解成按行与列方式排列的点元光信息,单元光电传感器将这些点元图像转换成电信号输出  $U_{xy}$ ,其中,  $x$  为图像的行( $x$ )坐标,  $y$  为图像的列( $y$ )坐标。当单元光电传感器以一定的速率做相对于光学图像运动时(如图 1-1 所示的运动),则输出信号电压  $U_{xy}$  成为光学图像的解析信息(或信号),即信号电压  $U_{xy}$  解析了光学图像。为此,可以将具有机械扫描装置的单元光电传感器系统称为单元扫描图像传感器。

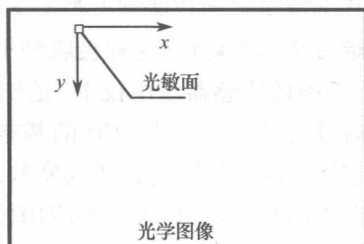


图 1-1 光机扫描方式原理图

显然,单元扫描图像传感器必须具备以下条件。① 单元光电传感器的面积与被扫描图像的面积相比必须很小,才可以将图像分解为一个像元点;② 单元光电传感器必须对图像发出各种波长

的光敏感;③ 单元光电传感器必须相对被分解图像做有规则的周期运动(扫描),且扫描速率应该较图像的变化速率快;

机械扫描机构带动单元光电传感器的光敏面在光学图像上做水平( $x$ )方向高速往返运动的过程称为行扫描。行扫描中,自左向右运动速率较慢,扫描花费的时间( $T_{xx}$ )长,称其为行正程时间;自右向左的返回运动速率快,所用时间( $T_{xx}$ )短,称其为行逆程时间。在垂直( $y$ )方向所做的扫描为场扫描,自上而下的扫描速率更慢,所用时间( $T_{yy}$ )更长,称为场正程扫描;返回的运动是自下而上的,且运动速率较快,所耗时间( $T_{yy}$ )较短,称为场逆程时间。上下往返的运动称为场扫描。通常场扫描周期远大于行扫描周期,即在一场扫描周期内要进行多次的行扫描。这样才能使图像在垂直方向上获取更高的分辨率。

规定行、场正程扫描过程中都有输出信号  $U_{xy}$ ,而行、场逆程期间均没有信号输出,以确保图像的质量。在使用 CRT 显示器显示图像时,在行、场逆程期间采用对扫描电子束“消隐”的技术,不使逆程显现扫描亮线,因此,有时也称行逆程为行消隐,场逆程为场消隐。行、场扫描应满足下面两个条件:

① 行周期与场周期满足

$$T_y = nT_x \tag{1-1}$$

式中, $T_y$ 为光敏单元扫描整幅图像的场周期。 $T_y$ 为场正程时间  $T_{yx}$ 与场逆程时间  $T_{yy}$ 之和。同样, $T_x$ 为光敏单元扫描一行图像所用的时间,称为行周期。它也由行正程时间  $T_{xx}$ 与逆程时间  $T_{xx}$ 之和构成,即  $T_x = T_{xx} + T_{xx}$ 。其中  $n$  为一场图像扫描的行数。

② 行、场扫描的时间分配。为将图像分解得更清晰,光敏单元的轨迹将布满整个像面,光敏单元输出的信号是光学图像对应位置的光照强度信号。这常被称为光敏单元对光学图像的解析。为此将光敏单元称为像元(像素),它的输出信号是时间的一元函数(时序信号),因此该光机扫描机构能够将光学图像解析成一维的视频信号输出。

当然,光机扫描方式也可以采用停顿方式进行间断式工作。在  $y$  方向扫描到某行  $y_i$ 时,暂停  $y$  方向的扫描,扫描完  $x$  方向的一行后再启动  $y$  扫描,光电传感器输出一行的信号后返回到  $x$  方向的起始位置,启动  $y$  方向的扫描,再前进一行,进入第  $y_{i+1}$ 行的扫描,再进行一行的扫描与输出,如此往复,完成对整个像面的扫描输出。这种停顿式的扫描方式速度慢,只适用于静止图像的分解、转换,不能用于变化图像的转换和采集工作,但是,它很容易获得更清晰的扫描图像。

单元光电传感器的光机扫描方式的水平分辨率正比于光学图像水平方向的尺寸与光电传感器光敏面在水平方向的尺寸之比。对于尺度较大的图像,一行之内(行正程时间内)输出的像元点数越多,水平分辨率自然也越高。同样,垂直分辨率也正比于光学图像垂直方向的尺寸与光电传感器光敏面在垂直方向的尺寸之比。因此,减小光电传感器的面积是提高光机扫描方式分辨率的有效方法。然而,光电传感器光敏面的减小,扫描点数的提高,使行正程的时间增长,或必须提高行扫描速度(当要求行正程时间不变的情况下),对光机扫描结构设计带来很大的难度。因此,单元光电传感器光机扫描方式的水平分辨率受到扫描速度的限制。提高光机扫描方式分辨率与扫描速度的方法是,采用多元光电自扫描传感器(例如线阵 CCD)构成多元光机扫描方式。

(2) 多元光机扫描方式

采用多个光电传感器,并将其排成一行,构成如图 1-2 所示的多元光机扫描方式。在该方式中,行扫描通过光电传感器的顺序输出完成。在行正程期间,按排列顺序将光电传感器的输出信号取出形成行视频信号。在这种情况下,机械

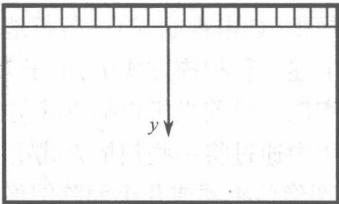


图 1-2 多元光机扫描方式原理图

扫描只需要进行  $y$  方向的一维扫描便可以将整幅图像转换成视频信号输出,弥补了机械扫描速度慢的缺点,同时减少了双向行扫描带来的繁杂机械扫描机构。

例如,由线阵 CCD 光电传感器构成的图像扫描仪是一个典型的多元光机扫描系统,该系统中线阵 CCD 完成水平方向的自扫描,而  $y$  方向由步进电机带动光学成像系统完成对整幅图像的扫描运动,再由线阵 CCD 完成对整幅图像的转换与输出。

一些生产线上的质量检测也属于多元光机扫描方式成像的案例,例如玻璃表面瑕疵的检测,大米色选,纺织物品的质量检测等,它们都有一个共同的特点,都能够形成图像输出,都可以利用所成图像完成各种目的的检测。

2. 电子束扫描图像解析方法

电子束扫描方式的传感器是最早应用于图像传感器的,如早期的各种电真空摄像管,真空视像管,以及红外成像系统中的热释电摄像管等。在这种电子束扫描成像方式中,被景物图像通过成像物镜成像在摄像管(见图 1-3)的靶面(光电导靶)上,以靶面的电位分布或以靶面的电阻分布形式将面元光强度分布图像信号存于靶面,并通过电子束将其检取出来,形成视频信号。预热后的灯丝发出的电子束在摄像管偏转线圈与聚焦线圈的作用下,进行行扫描与场扫描,完成对整个图像的扫描(或分解)。当然,行扫描与场扫描要遵守一定的规则。电子束摄像管电子扫描系统遵循的规则称为电视制式。

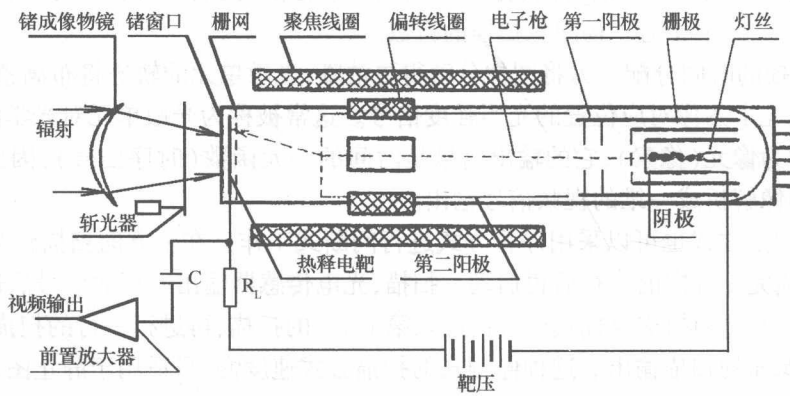


图 1-3 电子束摄像管的结构

电子束扫到靶面某点  $(x,y)$ ,由于该点记录了图像光强分布的信息,而电子束带负电使之在负载电阻  $R_L$ 上产生压降  $U_{RL}$ 经放大器输出成为视频信号。

3. 固体自扫描图像解析方法

固体自扫描图像传感器是 20 世纪 70 年代发展起来的新型图像传感器件,如面阵 CCD 器件,CMOS 图像传感器件等,这类器件本身具有自扫描功能。例如面阵 CCD 固体摄像器件的光敏面能够将成像于其上的光学图像转换成电荷密度分布的电荷图像,它可以在驱动脉冲的作用下按照一定的规则(如电视制式)一行行地输出,形成图像信号(或视频信号)。

上述三种扫描方式中,电子束扫描方式由于电子束摄像管逐渐被固体图像传感器所取代,已逐渐被淘汰。目前光机扫描方式与固体自扫描方式在光电图像传感器中占据主导地位。但是,在有些应用中通过将一些扫描方式组合起来,能够获得性能更为优越的图像传感器。例如,将几个线阵 CCD 图像传感器或几个面阵图像传感器拼接起来,再利用机械扫描机构,形成一个视场更大、分辨率更高的图像传感器,以满足人们探索宇宙奥秘的需要。

### 1.1.2 图像传感器基本技术参数

图像传感器的基本技术参数一般有以下两种:

#### 1. 与光学成像物镜有关的参数

##### (1) 成像物镜的焦距 $f$

成像物镜的焦距决定了被摄景物与光电成像器件的距离,以及所成图像的大小。在物距相同的情况下,焦距越长的物镜所成的像越大。

##### (2) 相对孔径 $D/f$

成像物镜的相对孔径为物镜入瞳的直径与其焦距之比。相对孔径的大小决定了物镜的分辨率、像面照度和成像物镜的成像质量。

##### (3) 视场角 $2\omega$

成像物镜的视场角决定了能在光电图像传感器上成像良好的空间范围。要求成像物镜所成的景物图像要大于图像传感器的有效面积。

以上三个参数是相互制约的,不可能同时提高,在实际应用中要根据情况适当选择。

#### 2. 与光电成像器件有关的参数

##### (1) 扫描速率

不同的扫描方式有不同的扫描速率要求。例如,单元光机扫描方式的扫描速率由扫描机构在水平和垂直两个方向的运动速率(转动角速率)决定。行扫描速率(行正程) $\nu_{xz}$ 取决于光学图像在水平方向的尺寸  $A$  和行正程时间  $T_{xz}$ ,即

$$\nu_{xz} = A/T_{xz} \quad (1-2)$$

同样,垂直方向的场扫描速率(场正程) $\nu_{yz}$ 取决于光学图像在垂直方向的尺寸  $B$  和场正程时间  $T_{yz}$ ,即

$$\nu_{yz} = B/T_{yz} \quad (1-3)$$

多元光机扫描方式图像传感器的行扫描速率  $\nu_{xz}$  取决于读取一行像元所需的时间  $T_H$  与一行内像元数  $N$ ,即

$$\nu_{xz} = N/T_H \quad (1-4)$$

对应于线阵 CCD 为行积分时间的倒数。

垂直方向的场扫描速率  $\nu_{yz}$  取决于光学图像在垂直方向的尺寸  $B$  和场正程时间  $T_{yz}$ ,即

$$\nu_{yz} = B/T_{yz} \quad (1-5)$$

固体自扫描图像传感器的水平扫描速率取决于传感器水平行的像元数与行扫描时间之比;垂直方向的场扫描速率取决于传感器在垂直方向的像元行数与场扫描时间之比。

##### (2) 分辨率

光机扫描方式图像传感器水平方向的分辨率(解像率) $\delta$  正比于机械扫描长度  $A$  与光电传感器在水平方向的长度  $a$  之比,即

$$\delta \propto A/a \quad (1-6)$$

显然,传感器在水平方向的相对长度  $a$  越小,水平分辨率越高。当然水平分辨率还与成像物镜的水平分辨率有关。对于线阵 CCD 扫描方式,水平分辨率与线阵 CCD 分解图像长度  $A$  及有效像元数量有关。显然,充分利用线阵 CCD 的像元数是获得最高水平分辨率的有效措施。

垂直分辨率也与光电传感器在垂直方向的长度  $b$  有关,另外与垂直方向的扫描长度及扫描速率有关。显然,垂直方向扫描速率越低获得的垂直分辨率越高。

固体自扫描图像传感器的水平与垂直分辨率分别与器件本身在两个方向上的分辨率有关。

## 1.2 图像的显示与电视制式

前面介绍了利用各种扫描方式将光学图像分解成一维视频信号的方法。本节介绍将一维视频信号还原成光学图像的方法,即图像的显示问题。

图像的显示方法很多,采用计算机显示器可以显示各种数字图形与图像;也可以采用发光器件显示各种不同规则(制式)的数字或模拟图形与图像。本节首先介绍电视监视器的图像显示器及其相关的电视制式。

### 1.2.1 电视监视器的扫描

CRT 电视监视器与 CRT 电视接收机的显示部分原理是相同的,它们都是利用电子束激发具有余辉特性的荧光物质,使其发光来完成电光转换并显示光学图像的。在 CRT 监视器中的电子束在显像管的电磁偏转线圈作用下受洛伦兹力做水平方向和垂直方向的偏转(即行、场两个方向扫描荧光屏)。电子束扫描的同时,视频输出电压控制电子束的强度,使荧光屏的亮度被视频信号调制。

荧光屏的发光强度与视频信号具有如下的函数关系

$$L_v = L(U_o) \quad (1-7)$$

式中, $L$ 为与 CRT 荧光材料有关的电光转换系数, $U_o$ 为遵守电视制式的视频电压信号,在行、场扫描锯齿脉冲的作用下形成电视图像。

电视图像扫描的场扫描常有逐行扫描与隔行扫描两种方式,通过这两种方式能将摄像机景物图像分解成一维全电视信号输出,CRT 接收全电视信号,再将其解码出全电视信息,并分解出行、场同步控制扫描脉冲,最终,将一维全电视信号转换为图像,显示在荧光屏上。而且,摄像机与图像显示器必须遵守同一个扫描制式才能确保完整图像的解析与还原。

#### 1. 逐行扫描

显像管的电子枪装有水平与垂直两个方向的偏转线圈,线圈中分别流过如图 1-4 所示的锯齿波电流,电子束在偏转线圈形成的磁场作用下同时进行水平方向和垂直方向的偏转,完成对显像管荧光屏的扫描。

场扫描电流的周期  $T_{vt}$  远大于行扫描的周期  $T_{ht}$ ,即电子束从上向下的扫描时间远大于水平方向的扫描时间,在场扫描周期中可以有几百个行扫描周期。而且,场扫描周期中电子束由上向下的扫描为场正程,场正程时间  $T_{vt}$  远大于电子束从下面返回初始位置的场逆程时间  $T_{vr}$ ,即  $T_{vt} \gg T_{vr}$ 。电子束上下扫一个来回的时间称为场周期,场周期  $T_v = T_{vt} + T_{vr}$ 。场周期的倒数为场频,用  $f_v$  表示。

定义电子束自左向右的扫描为行正程,即  $t_1$  时刻到  $t_2$  时刻的扫描为行正程扫描时间  $T_{ht}$ 。电子束从右返回到左边初始位置的过程称为回扫,或为行逆程。显然,行逆程时间  $T_{hr}$  为  $t_2$  到  $t_3$  的时间。 $T_{ht} \gg T_{hr}$ 。电子束左右扫一个周期的时间称为行周期,行周期  $T_h = T_{ht} + T_{hr}$ 。行周期的倒数为行频,用  $f_h$  表示。

在行、场扫描电流的同时作用下,电子束受水平偏转力和垂直偏转力的合力作用,进行扫描。

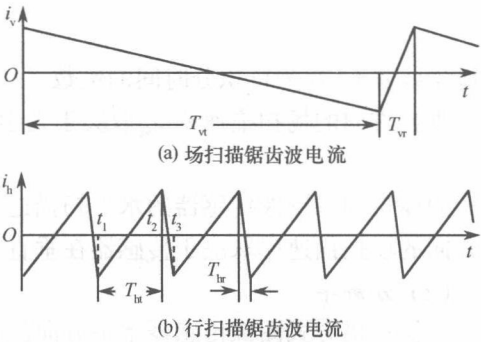


图 1-4 逐行扫描电流波形