

西安电子科技大学

硕士学位论文

面向机器视觉系统的CCD数字相机设计

姓名：王伙荣

申请学位级别：硕士

专业：物理电子学

指导教师：向健勇

20080101

摘 要

机器视觉系统在工业化生产中的应用日趋广泛，工业相机是机器视觉系统的核心部件，要求有较高的图像质量、较高的传输速度和工业标准的接口。本文设计了一款适用于机器视觉系统的 CCD 数字相机。

本文设计的 CCD 数字相机主要由两个模块构成：CCD 芯片的驱动时序脉冲产生电路模块和 IEEE1394a 数字接口传输模块。设计中采用 FPGA 与专用 A/D 来共同产生 CCD 驱动时序脉冲，提高了设计的灵活性与稳定性；使用 IEEE 1394a DCAM 协议作为数字接口的传输协议，提高了相机的兼容性。

测试结果表明，该相机图像清晰度高，传输速度快，兼容 DCAM 协议，达到了预期的结果。

关键词：机器视觉 CCD 数字相机 FPGA DCAM

Abstract

Machine Vision System has an increasing wide range of industrial application. Industrial camera is the core of the system. It requires high image quality, high transmission rate and standard interface. This paper describes the design of a CCD digital camera applied to Machine Vision System.

The CCD digital camera presented in this paper is mainly constituted by two modules: timing pulse generation circuit for CCD device and IEEE1394a digital interface module. The design utilize FPGA and dedicated A/D to jointly produce timing pulse for CCD, increasing design flexibility and stability; the use of IEEE 1394 DCAM protocol as a digital interface transfer protocol has raised the camera compatibility.

The test results show that the camera produces hi-definition images, transmits data at high speed, and is compatible with DCAM protocol. It has achieved the expected results.

Keyword: Machine Vision CCD Digital Camera FPGA DCAM

西安电子科技大学
学位论文独创性（或创新性）声明

秉承学校严谨的学风和优良的科学道德，本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果；也不包含为获得西安电子科技大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切的法律责任。

本人签名：王伙荣

日期 2008年2月29

西安电子科技大学
关于论文使用授权的说明

本人完全了解西安电子科技大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属西安电子科技大学。学校有权保留送交论文的复印件，允许查阅和借阅论文；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存论文。同时本人保证，毕业后结合学位论文研究课题再撰写的文章一律署名为西安电子科技大学。

（保密的论文在解密后遵守此规定）

本学位论文属于保密，在___年解密后适用本授权书。

本人签名：王伙荣

日期 2008年2月29

导师签名：王向

日期 2008.2.29



第一章 绪论

机器视觉^[1]是一个新兴的并且发展十分迅速的研究领域，目前已经成为计算机科学的重要研究领域之一。近年来，在机器视觉技术基础上的各项研究及应用不断的发展，针对不同的应用情况，形成了不同的基于机器视觉的应用系统。

目前，机器视觉已成功地应用在工业检测领域，大幅度地提高了产品的质量 and 可靠性，保证了生产的速度。例如产品包装、印刷质量的检测、饮料行业的容器质量检测、饮料填充检测、饮料瓶封口检测、木材厂木料检测、半导体集成块封装检测、卷钢质量检测、关键机械零件的工业 CT 等。在海关，应用 X 射线和机器视觉技术的不开箱货物通关检验，大大提高了通关的速度，节约了大量的人力和物力。在制药生产线上，利用机器视觉技术，可以对药品包装进行检测，以确定是否装入正确数量的药粒等。

机器视觉的传感输入设备，即成像系统，是机器视觉系统的一个重要的组成部分。随着机器视觉技术在各个领域不断的应用，对成像系统的要求也越来越高，例如对成像速度，成像质量要满足系统的要求。本文针对机器视觉在一般场合的应用，对机器视觉理论和成像传感器进行了深入的分析 and 研究，并设计了一款应用于机器视觉系统的 CCD 数字相机。

1.1 引言

1.1.1 机器视觉的概念

机器视觉是机器（通常指数字计算机）对图像进行自动处理并报告“图像是什么”的过程，也就是说它识别图像中的内容^[2]。简单的说，机器视觉就是使机器具备“看”的功能，使机器能认识和看懂所要看的東西，能确定它所见的范围内目标的位置，利用摄像机和计算机等机器代替人眼对目标进行测量、跟踪和识别，并加以判断。

一个典型的工业机器视觉应用系统包括光源、光像捕捉系统、图像数字化模块、数字图像处理模块、智能判断决策模块和机械控制执行模块，如图 1.1 所示^[3]。首先采用 CCD 摄像机或其它图像拍摄装置将目标转换成图像信号，然后转变成数字化信号传送给专用的图像处理系统，根据像素分布、亮度和颜色等信息，进行各种运算来抽取目标特征，根据预设的容许度和其它条件输出判断结果。

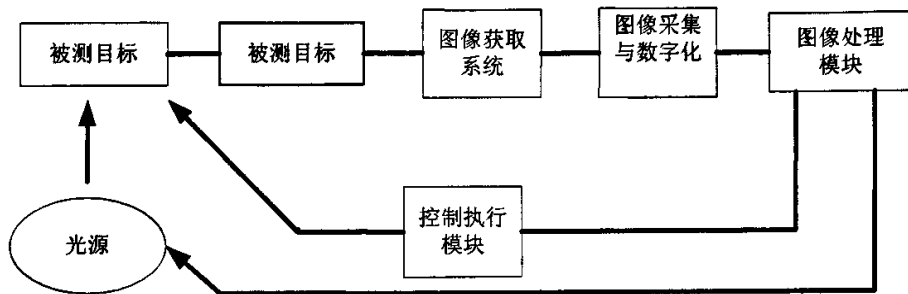


图 1.1 机器视觉应用系统结构

1.1.2 机器视觉的发展历程

从 20 世纪 50 年代开始到现在，机器视觉一直在快速发展^[1]。

50 年代，机器视觉当时的工作主要集中在二维图像分析和识别上，如光学字符识别、工件表面、显微图片和航空图片的分析以及解释等。

60 年代，Roberts(1965)通过计算机程序从数字图像中提取诸如立方体、楔形体、棱柱等多面体的三维结构，并对物体形状及物体的空间关系进行描述。Roberts 对积木世界的创造性研究给了人们极大的启发，许多人相信，一旦由白色积木玩具组成的三维世界可以被理解，则可以推广到理解更复杂的三维场景。于是人们对积木世界进行了深入的研究，研究范围从边缘、角点等特征的提取，到线条、平面、曲面等几何要素分析，一直到图像明暗、纹理、运动以及成像几何等，并建立了各种数据结构和推理规则。到了 70 年代，已经出现了一些视觉应用系统（Guzman 1969, Mackworth 1973）。

70 年代中期，麻省理工学院(MIT)人工智能(AI)实验室正式开设“机器视觉”(Machine Vision)课程，由国际著名学者 B.K.Horn 教授讲授。同时，MIT AI 实验室吸引了国际上许多知名学者参与机器视觉的理论、算法、系统设计的研究。1977 年，David Marr 教授提出了不同于“积木世界”的分析方法的计算机视觉(Computational Vision)理论，该理论成为 80 年代机器视觉研究领域的一个十分重要的理论框架。

可以说，对于机器视觉的全球性研究热潮从 20 世纪 80 年代开始，到了 80 年代中期，机器视觉获得了蓬勃的发展，新概念、新方法、新理论不断涌现。例如，基于感知特征的物体识别理论框架、主动视觉理论框架、视觉集成理论框架等。

到目前为止，机器视觉仍然是一个非常活跃的研究领域，许多会议论文集都反映了该领域的最新进展。例如，国际计算机视觉与模式识别会议(International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,CVPR)；国际计算机视觉会议(International Conference on Computer Vision,ICCV)；计算机视觉研讨会

(Workshop on Computer Vision, WCV)以及许多 SPIE 的会议, 还有许多学术期刊也包含了这一领域的最新成果, 如 IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence(PAMI); Computer Vision, Graphics, and Image Processing (CVGIP); IEEE Transaction on Image Processing; Application; International Journal on Computer Vision (IJCV); Image and Vision Computing; pattern Recognition。

1.1.3 机器视觉的研究内容

机器视觉研究可分为如下五大研究内容^[4]:

1. 输入设备

输入设备(input device)包括成像设备和数字化化设备。成像设备是指通过光学摄像机或红外、激光、超声、X 射线对周围场景或物体进行控制成像, 得到关于场景或物体的二维、三维数字化图像。目前应用于视觉研究的大多数输入设备是商品化的产品, 如 CCD 黑白或彩色摄像机、数字扫描仪、超声成像探测仪、CT 成像设备等。

2. 底层视觉

底层视觉(low level)主要是对输入的原始图像进行处理, 这一过程借用了大量图像处理技术算法, 如图像滤波、图像增强、边缘检测等, 以便从图像中抽取诸如角点、边缘、线条以及色彩等关于场景的基本特征。

3. 中层视觉

中层视觉(middle level)的主要任务是恢复场景的深度、表面法线方向、轮廓等有关场景的 2.5 维信息, 实现的途径有立体视觉(stereo vision)、测距成像(rang finder)、运动估计(motion estimation)、明暗特征、纹理特征等。

4. 高层视觉

高层视觉(high level)的任务是在以物体为中心的坐标系中, 在输入原始图像、图像基本特征、2.5 维图的基础上, 恢复物体的完整三维图, 建立物体的三维描述识别三维物体并确定物体的位置和方向。

5. 体系结构

体系结构(system architecture)这一术语最通常的含义是指在高层抽象的层次上, 根据系统模型, 而不是根据实际设计的具体例子来研究系统的结构体系。结构研究涉及一系列相关的课题: 并行结构、分层结构、信息流结构、拓扑结构以及从设计到实现的途径。

1.1.4 机器视觉的应用现状

机器视觉技术正广泛地应用于各个方面,从医学影像到遥感图像,从工业检测到文件处理,从毫微米技术到多媒体数据库,不一而足。可以说需要人类视觉的场合几乎都需要机器视觉。机器视觉不会有人眼的疲劳,有着比人眼更高的分辨精度和速度,借助于红外线、紫外线、X 射线、超声波等高新控制技术,它在测控不可视物体和高危险场景时,更具有其突出优点。下面是机器视觉技术的典型应用。

1. 在工业检测中的应用

目前,机器视觉已成功地应用于工业检测领域^{[5][6][7]},大幅度地提高了产品的质量和可靠性,保证了生产的速度。例如产品包装、印刷质量的检测,饮料行业的容器质量、饮料填充、饮料瓶封口的检测、木材厂木料检测、半导体集成封装质量检测、卷钢质量检测、关键机械零件的工业 CT 等。在海关上,应用 X 射线和机器视觉技术的不开箱货物通关检验,大大提高了通关速度,节约了大量的人力和物力。在饮料瓶生产线了,机器视觉技术可以对瓶盖或者瓶体进行检测,以确定瓶盖或者瓶体质量是否合格。

2. 在农产品分选中的应用

我国是一个农业大国,农产品十分丰富,对农产品进行自动分级,实行优质优价,以产生更好的经济效益,其意义十分重大。如水果,根据颜色、形状、大小等特征参数^{[8][9]};禽蛋,根据色泽、重量、形状、大小等外部特征;烟叶,根据其颜色、形状、纹理、面积等进行综合分级^{[10][11]}。此外,为了提高加工后农产品的品质,对水果的坏损坏部分、粮食中混杂的杂质、烟叶^[12]茶叶中存在的异物等都可以用机器视觉系统进行检测并准确去除。随着工厂化农业的快速发展,利用机器视觉技术对作物生长状况进行监测,实现科学浇灌和施肥也是一种重要应用。

3. 在机器人导航和视觉伺服系统中的应用

赋予机器人视觉是机器人研究的重要课题之一,其目的是要通过图像定位、图像理解,向机器人运动控制系统反馈目标自身的状态与位置信息,使其具有在复杂、变化的环境中自适应的能力。例如机械手在一定范围内抓取和移动工件,摄像机利用动态图像识别与跟踪算法,跟踪被移动工件,始终保持其处于视野的正中位置。

4. 在医学中的应用

在医学领域,机器视觉用于辅助医生进行医学影像的分析,主要利用数字图像处理技术、信息融合技术对 X 射线透视图、核磁共振图像、CT 图像进行适当叠加,然后进行综合分析;还有对其它医学影像数据进行统计和分析,如利用数字图像的边缘提取与图像分割技术,自动完成细胞个数的计数或者统计,这样不仅

节省了人力,而且大大提高准确率和效率。

5. 其它方面

在闭路电视监控系统中,机器视觉技术被用于增强图像质量,捕捉突发事件、监控复杂场景,鉴别身份,跟踪可疑目标等,它能大幅度地提高监控效率,减少危险事件发生的概率。在交通管理系统中,机器视觉技术被用于车辆识别、调度,向交通管理与指挥系统提供相关信息^[13]。在卫星遥感系统中,机器视觉技术被用于分析各种遥感图像,进行环境监测、地理测量,根据地形、地貌的图像和图形特征,对地面目标进行自动识别、理解和分类等。

1.1.5 CCD 技术的现状与发展趋势

CCD(Charge Coupled Device,电荷耦合器件),是在 20 世纪 70 年代发展起来的新型半导体光电成像器件。美国贝尔实验室的 W.S.Boyle 和 G.E.Smith 于 1970 年提出了 CCD 的概念,随后建立了以一维势阱模型的非稳态 CCD 的基本理论。30 多年来,CCD 技术随着新型半导体材料的不断涌现和器件的微细化技术的完备而不断发展。目前,CCD 技术已经广泛应用于信号处理、数字存储和影像传感器等领域。其中,CCD 技术在影像传感器中的应用最为广泛,已成为现代光学电子和测试技术最活跃,最富有成果的领域之一。

这 10 年来,CCD 相机的用量以每年 20%的速度递增。在监视、广播、预警系统、车载、多媒体等都有广泛的应用,是跨行业、跨专业、多方面应用的一种光电产品。据不完全统计,1997 年至 1998 年间,仅国内彩色和黑白 CCD 相机用量就达 60-70 万台。从 1998 年日本出版《技术市场》杂志获悉,世界上已把 CCD 列为未来 10 年可能增益 100 倍的高技术产品。

由于 CCD 相机用量的急速增加,世界上几个发达国家和地区已形成大规模 CCD 相机制造产业。美国和日本在 CCD 产业上处于领先地位。美国在 CCD 传感器和应用电视技术方面,以高清晰度、特大靶面、低照度、超高动态范围、红外波段等的 CCD 相机占有绝对优势。在航空、航天各方面的应用非常成功。这些产品不仅价格昂贵、而且受到国家的严格管制。日本在民用消费型光电产品的开发和生产上堪称世界一流,尤其在 CCD 相机,摄录一体化和广播数字化电视摄录设备基本上占有全世界的大部分市场^[14]。

1.3 课题研究的内容与目的

对于机器视觉的研究应用,日本、德国和美国等发达国家早在上世纪 60 年代就开始了。到上世纪 90 年代,随着光电子技术和计算机技术的发展,机器视觉已

取得了广泛的应用,其市场潜力十分巨大。在 1984 年,西欧的工业视觉系统销售总额达到 589 万美元,到 1989 年达到近 4320 万美元。而在美国,1984 年的视觉系统销售总额达到 6000 万美元,到 1994 年近 12 亿美元。在日本,2000 年机器视觉市场为 300-400 亿日元。另外,据“视觉系统国际公司”的一份市场调研报告显示:1999——2004 年北美的机器视觉市场规模从 16.8 亿美元增长到 19 亿美元,从上述数据可以看出机器视觉技术发展之快,市场之大。国内的机器视觉发展较发达国家晚,目前尚属概念导入期,但其市场潜力不可忽视。由于中国成为“世界工厂”,与制造活动密切相关的机器视觉技术正逐步被商家认可和接受,而且在中国,机器视觉行业还是刚刚起步,相对其它行业来说竞争还不是很激烈。所以,谁占了市场先机谁就赢得了主动权。相信再过几年,中国将会成为全球继北美、欧洲与日本后的第 4 大机器视觉市场。因此,我们有必要在机器视觉系统设计应用方面做一些研究,来构建一个通用的、适应性强的图像自动采集平台,以便更快速、高效地开发针对不同工业应用环境的视觉系统。

本文所开发的面阵 CCD 数字相机可以用于机器视觉系统的前端,作为机器视觉系统的“眼睛”。例如,可应用在饮料瓶生产线上检测瓶子是否合格的机器视觉系统中。该 CCD 相机能够抓拍高速运动的饮料瓶,且图像不会发生形变。得到数字化的图像,通过 IEEE 1394 总线上传到计算机。本文所设计的传输协议是基于 1394 组织发布的标准传输协议 DCAM(IIDC 1394-based Digital Camera Specification)的,所以国际上很多支持该协议的大型软件都能直接操作本文所开发的相机。如 NI 的 Labview、Conex 的 Vision Pro 等软件。对于图像的后续处理都可以在这些软件里完成。当然,该面阵 CCD 数字相机是一个通用性、适用性强的产品,不仅仅能用在饮料瓶生产线检测上,还能用在其它机器视觉系统。根据不同的系统,软件算法需要做适当的修改。

本文将围绕设计一款面向机器视觉系统的面阵 CCD 数字相机,分别对机器视觉理论、CCD 传感器技术、硬件系统设计与开发实现过程进行了详细论述。论文中涉及到的机器视觉相关理论知识、CCD 传感器技术、CCD 时序驱动、硬件设计方法等将对今后类似的设计工作有一定的借鉴意义。

1.4 本论文的组织结构

第二章详细研究了 CCD 传感器技术,主要内容包括:CCD 的工作原理、CCD 成像芯片的分类和 CCD 器件的基本参数。

第三章详细介绍本文设计的 CCD 数字相机,首先介绍 CCD 数字相机的系统结构,并简单介绍系统结构的每个部分,其中,重要介绍该相机使用的接口(IEEE 1394a)的相关技术与协议。

第四章详细介绍了 CCD 数字相机中 CCD 驱动时序电路的设计方法，结合该相机的特点，重要介绍了基于 FPGA 芯片、使用 VerilogHDL 硬件描述语言设计驱动时序的技术。最后还介绍了用于降噪的相关双采样技术。

第五章详细介绍了 CCD 数字相机的数字传输模块设计，包括单片机设计和 FPGA 设计。单片机设计的功能包括配置 ROM、实现异步传输等。FPGA 设计的功能主要为等时传输的实现。

第六章讲述了 CCD 数字相机的调试，包括硬件调试、软件调试和总体调试，并给出了调试运行的结果，并对 DCAM 协议的兼容性作了分析。

最后一章总结了全文，并对相机的未来提出了展望。

第二章 CCD 传感器技术

机器视觉系统的基本部分是图像获取采集部分和图像处理部分。图像的获取一般都采用图像传感器，而采集和处理依据不同的实际要求有不同的方案。目前固体半导体图像传感器相机市场已经形成了 CCD 和 CMOS 两大分支，本文所设计的成像系统采用的是 CCD 图像传感器，因此，以下主要对 CCD 图像传感器作详细的介绍。

CCD (Charge Coupled Device) 全称为电荷耦合器件，是 70 年代发展起来的新型的半导体器件，它是在 MOS 集成电路技术基础上发展起来的，为半导体技术应用开拓了新的领域。它具有光电转换、信息存贮和传输等功能，具有集成度高、功耗小、结构简单、寿命长、性能稳定等优点，故在固体图像传感器、信息存贮和处理等方面得到了广泛的应用。

2.1 CCD 的工作原理

CCD 的工作原理主要可以分为光电荷的产生、存储、转移和输出^[15]。一个完整的 CCD 器件由光敏单元、转移栅、移位寄存器及一些辅助输入、输出电路组成，如图 2.1 所示：

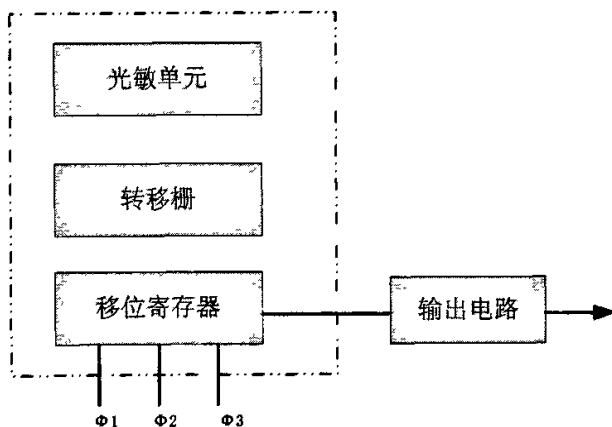


图 2.1 CCD 器件的组成

CCD 工作时，在设定的积分时间内由光敏单元对光信号进行取样，将光的强弱转换为各光敏单元的电荷多少。取样结束后各光敏单元中的电荷从转移栅转移到移位寄存器的相应单元中，移位寄存器在驱动时钟的作用下，将信号电荷顺次转移到输出端。将输出信号接到图像显示器或者其它信号存储、处理设备中。就可对信号再现或者进行存储处理，由于 CCD 光敏单元可做得很小（约 10μm），所以

它的图像分辨率可以做得很高。

2.1.1 光电荷的产生

当光入射到 CCD 的光敏面时,便产生了光电荷。CCD 在某一时刻所获得的光电荷与前期所产生的光电荷所进行累加,称为电荷积分。入射光越强,通过电荷积分所得到的光电荷量越大。光电荷产生的方法主要分为光注入和电注入两类。通常的 CCD 相机一般采用光注入方式。当光照射到 CCD 硅片上时,在栅极附近的半导体体内产生电子-空穴对,其多数载流子被栅极电压排开,少数载流子则被收集在势阱中形成信号电荷。光注入方式又分为正面照射式与背面照射式。背照式 CCD sensor 是一种新型的特殊 CCD 传感器,区别于正面照射式传感器在于入射面不同。它具有较高的入射光量子效率和成像灵敏度,可以实现微光成像。光电荷的总电量可以用下式表示: $Q = \eta q \Delta n_{e0} A T_c$, 其中: η 为材料的量子效率; q 为电子电荷量; Δn_{e0} 为入射光的光子流速率; A 为光敏单元的受光面积; T_c 为光注入时间。

2.1.2 光电荷的存储

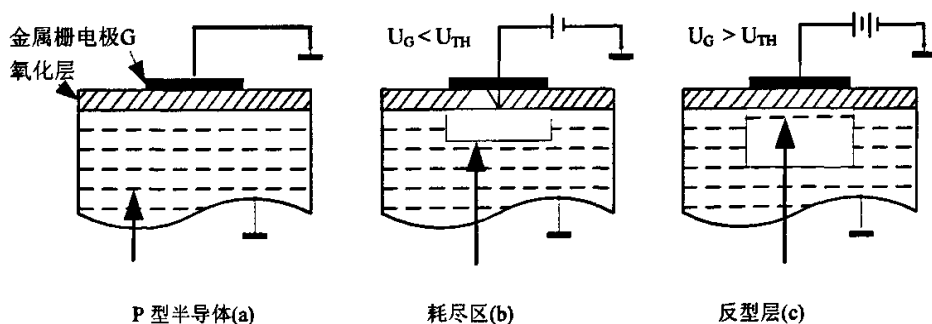


图 2.2 单个 CCD 栅极电压变化对耗尽区的影响

构成 CCD 的基本单元是 MOS (金属-氧化物-半导体) 结构。如图 2.2(a)所示,在栅极 G 电压为零时, P 型半导体的空穴 (多数载流子) 的分布是均匀的。当施加下偏压 U_G (此时 U_G 小于 P 型半导体的阈值电压 U_{TH}), 如图 2.2(b) 示, 空穴被排斥, 产生耗尽区。电压继续增加, 则耗尽区将进一步向半导体内延伸。称半导体与绝缘体界面上的电势为表面势, 用 Φ_s 表示, 当 $U_G > U_{TH}$ 时, Φ_s 变得很高, 以致于将半导体内的电子 (少数载流子) 吸引到表面, 形成一层薄的 (约 $10\text{-}2\ \mu\text{m}$)、但电荷浓度很高的反型层, 如图 2.2(c)。反型层电荷的存在表明了 MOS 结构存储电荷的功能。

表面势 Φ_s 与反型层的电荷浓度 Q_{INV} 、栅极电压 U_G 有关。 Φ_s 与 Q_{INV} 有着良好的反比例线性关系。由于CCD的像素的光电转换可以比喻为往井内注水，所以用半导体物理中的“势阱”的概念来描述上述线性关系。如图2.3所

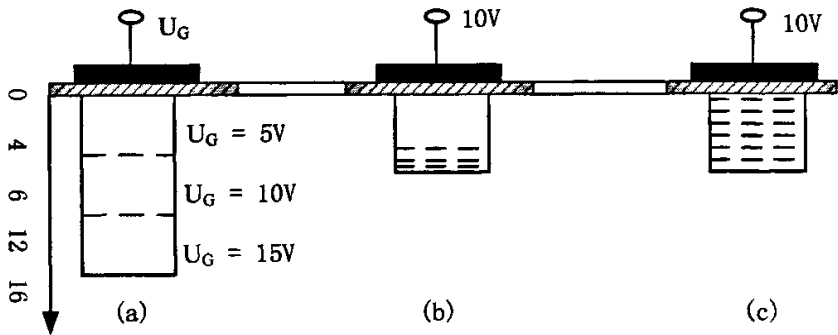


图 2.3 势阱

(a) 空势阱 (b)填充 1/3 的势阱 (c)全满势阱

电子所以被加有栅极电压的 MOS 结构吸引到氧化物与半导体的界面处，是因为那里的势能最低。在没有反型层时，势阱的深度和 U_G 成正比例关系。如图 2.3(a)空势阱的情况。当反型层电荷填充势阱时，表面势收缩，如图 2.3(b)。反型层电荷浓度继续增加，势阱被填充更多，此时表面不再束缚多余的电子，电子将产生“溢出”现象。如图 2.3(c)所示。

2.1.3 光电荷的转移

通过按一定的时序在电极上施加高低电平，可以实现光电荷在相邻势阱间的转移。我们用图 2.4 来示意 CCD 势阱中电荷的转移。

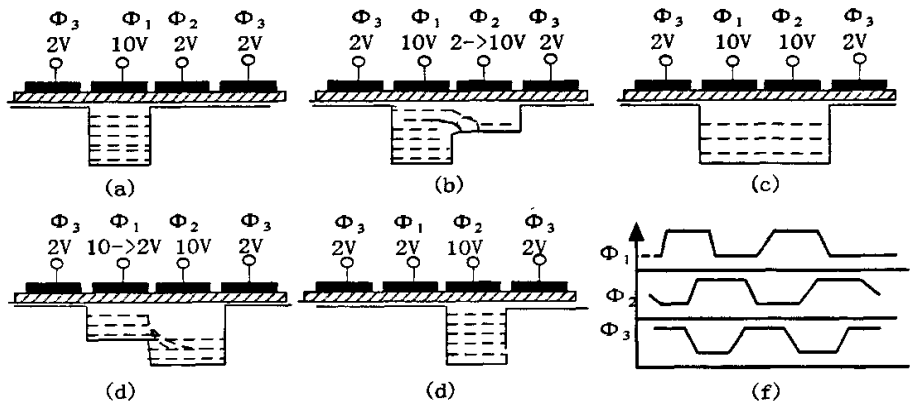


图 3.4 CCD 势阱中电荷的转移

图 2.4 中 CCD 的四个电极彼此靠的很近。假定一开始在偏压为 10V 的 F_1 电极下面的深势阱中，其它电极加有大于阈值的较低的电压（例如 2V），如图 (a) 所示。一定时刻后， F_2 电极由 2V 变为 10V，其余电极保持不变，如图 (b)。因为 F_1 和 F_2 电极靠得很近（间隙只有几微米），它们各自的对应势阱将合并在一起，原来在(1)下的电荷变为(1)和(2)两个电极共有，图(c)示。此后，改变 F_1 电极上 10V 电压为 2V， F_2 电极上 10V 不变，如图 (d) 示，电荷将转移到 F_2 电极下的势阱中。由此实现了深势阱及电荷包向右转移了一个位置。

通常把 CCD 的电极分为几组，每一组称为一相，并施加同样的时钟脉冲。按相数划分，CCD 一步可以分为二相、三相、四相。上面示例的就是三相 CCD 的电荷转移过程。图 2.5 示例了典型的三相、二相 CCD 传感器的电极结构。

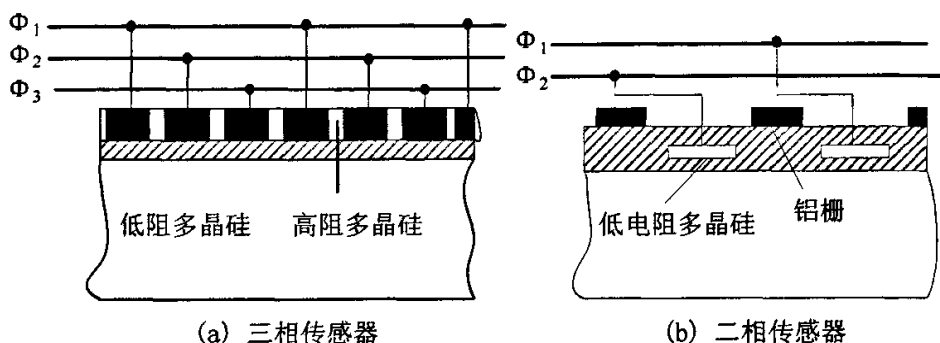


图 2.5 传感器的电极结构

为了实现转移，CCD 电极间的间隙必须很小，电荷才能不受阻碍得从一个电极转移到相邻电极下。电极间的间隙由电极结构、表面态密度等因素决定。理论和实践证明，间隙的长度应小于 $3\ \mu\text{m}$ 。

2.1.3 光电荷的输出

光电荷的输出是指在光电荷转移通道的末端，将电荷信号转换为电压或电流信号输出，也称为光电荷的检测。目前 CCD 的主要输出方式有电流输出方式、浮置扩散放大输出和浮置栅极放大器输出。

如图 2.6 所示，当信号在转移脉冲的驱动下向右转移到末极电极的势阱中后， Φ 电极电压由高变低时，由于势阱的提高，信号电荷将通过输出栅（加有恒定电压）下的势阱进入方向偏置的二极管（图中 n^+ 区）由 U_D ，电阻 R 、衬底 P 和 n^+ 区构成的方向偏置二极管相当于一个深势阱，进入到反向偏置二极管中的电荷，将产生输出电流 I_d ， I_d 的大小与注入到二极管中的信号电荷量 Q_s 成正比，其关系

可以表示为: $Q_s = I_D dt$ 。由于 I_D 的存在, 使得 A 点的电位发生变化, I_D 增大, A 点的电位降低。所以可以用 A 点的电位来检测二极管的输出电流 I_D 。CCD 的电流输出模式即是用隔直电容将 A 点的电位变化取出, 再通过放大器输出。图中的场效应管 Reset 为复位管, 其作用是提供一个读出周期内的像素复位。

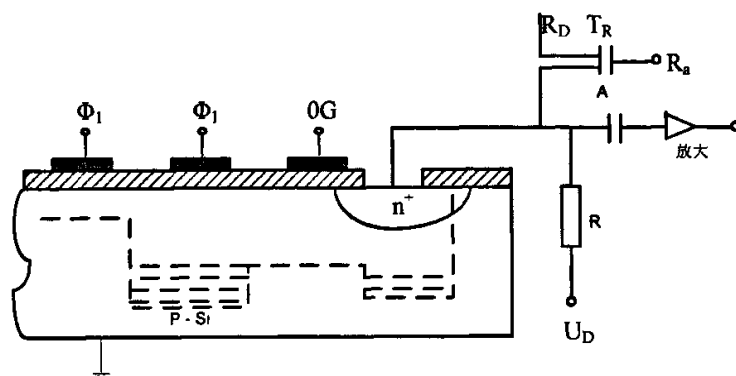


图 2.6 CCD 输出模式结构示意图

CCD 电荷的检测方式还有浮置扩散输出、浮置栅放大器输出等。其结构示意图如下。

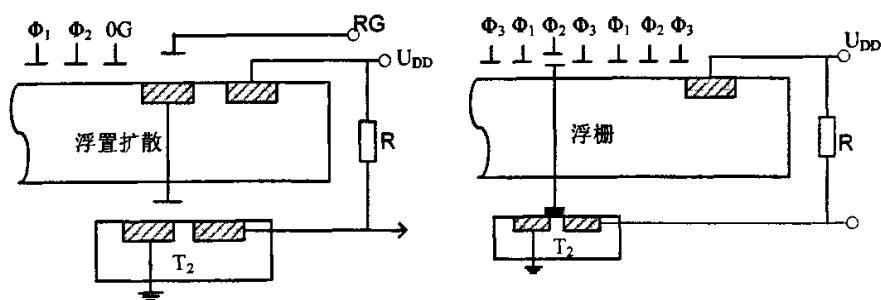


图 2.7 CCD 浮置扩散输出示意图

2.2 CCD 成像芯片的分类

CCD 器件的主要功能是把二维的光学图像信号转变为一维视频信号输出, 一般分为线阵 CCD 和面阵 CCD。这里我们只介绍面阵 CCD 的情况。

按一安的方式将一维线型 CCD 的光敏单元及移位寄存器排列成二维阵列, 就构成了二维面阵 CCD。由于排列的方式不同, 面阵 CCD 有帧转移、行间转移、线转移和全帧转移等方式^[16]。

2.2.1 帧转移 CCD

帧转移 CCD 器件分为成像区，暂存区和水平读出寄存器三部分，如图 2.8 所示。成像区由并行排列的若干电荷耦合沟道组成，各沟道之间用沟道阻隔开，水平电极横贯各沟道。暂存区的结构和单元都和成像区相同。暂存区与水平读出寄存器均被屏蔽。

图像首先经过物镜成像到光敏区。当光敏区的某一相电极加有适当的偏压时，光生电荷将被收集到这些电极下方的势阱里，这样就将被摄光学图像转为光积分电极下的电荷包图像。在光积分周期结束时，通过加到成像区和存储区电极上的垂直驱动脉冲，将代表整个一帧图像的电荷转移到存储区中各对应的存储单元内，这个过程称之为帧转移。

完成帧转移后，在存储区脉冲作用下存储区内的每行的电荷以平移方式向下移动，逐行进入读出寄存器。然后在读出脉冲的作用下沿水平方式移动，最后经输出电路输出。

在当第一场信号读出的同时，第二场信息通过光积分又收集到势阱中。当第一场全部读出的同时，第二场信息随之传送到寄存器，使之连续读出。

帧转移面阵 CCD 的特点是结构简单，光敏单元的尺寸较小，但光敏面积占总面积的比例小。

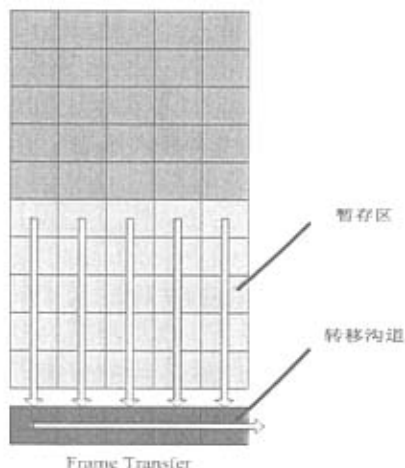


图 2.8 帧转移 CCD 结构示意图

2.2.2 行间转移 CCD

行间转移 CCD，又称隔列转移 CCD，它的像敏单元呈二维排列，每列像敏单

元被遮光的读出寄存器用沟阻隔开，像敏单元与读出寄存器之间又有转移栅控制。每一个像敏单元对应于二个遮光的读出寄存器单元。读出寄存器与像敏单元的另一侧被沟阻隔开。行间转移 CCD 器件的结构示意图如图 2.9 所示。

行间转移 CCD 有以下几个特点：

1. 输入速度快：曝光和数据读出可同时进行；
2. 具有电子快门功能；
3. 动态范围较小。

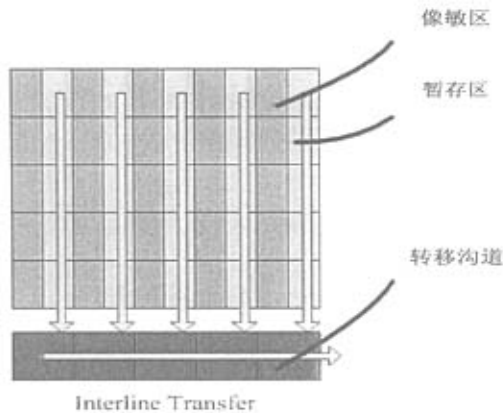


图 2.9 行间转移 CCD 的结构图

2.2.3 线转移 CCD

线型转移 CCD 取消了存储区，多了一条寻址电路。它的光敏单元一行行紧密排列，类似于帧转移型的光敏区。它没有水平读出寄存器，只有一个输出寄存器。这种转移方式的优点是有效光敏面积大、转移速度快、转移效率高，但是电路结构复杂。

2.2.4 全帧转移 CCD

全帧转移 CCD 器件除了部分辅助电路外，大部分区域都为感光区，没有存储区。示意图如图 2.10 所示。全帧转移 CCD 器件的特点有以下几点：

1. 动态范围宽；
2. 信噪比高；
3. 分辨率高；
4. 没有电子快门功能；

5. 成像速度慢。

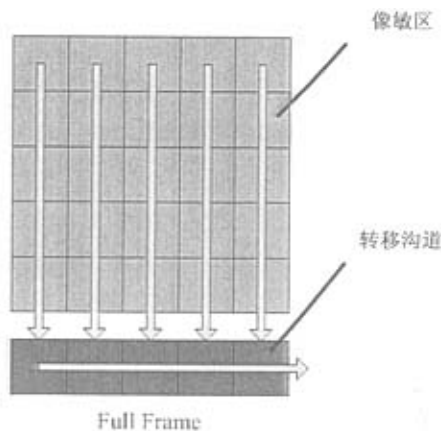


图 2.10 全帧转移 CCD 的结构示意图

2.3 CCD 的基本参数

CCD 的基本参数主要包括：感光度、动态范围、分辨率、灵敏度和光谱响应等^[17]。

2.3.1 感光度

感光度是表示在多暗的状态下，能够进行摄像的基准。决定 CCD 图像传感器感光度的要素有很多，不过从整体来看，如何将进入图像传感器的光有效地转换成信号才是最重要的。因此，影响感光度的主要要素主要有下面几个方面：

1. 光电二极管的量子效率；
2. 微镜头；
3. FD 的转换效率；

2.3.2 动态范围

动态范围的定义为最大的信号量，也就是饱和信号量与噪声之比。定义基准的噪声，多指图像传感器产生的随机噪声，有时甚至忽视固定图形噪声。因为从原理上说，固定图形噪声是可以去除的。

1) 决定饱和信号量的要素

单纯地考虑饱和信号量，就是光电二极管可储存的信号电荷量最大值，可由

光电二极管的大小和构造 (SCCD、BCCD)、时钟驱动方式及驱动脉冲电压幅值等决定。

根据器件结构分类, CCD 有两种基本类型: 一是电荷包存储在半导体与绝缘体之间的界面, 并沿着界面传输, 这类为表面沟道 CCD (SCCD)。二是电荷包存储在半导体表面一定深度的体内, 并在半导体内沿一定方向传输的, 这类器件称为体沟道或埋沟道 CCD (BCCD)。

表面沟道 CCD (SCCD) 的最大电荷量的表达式为: $Q_{\max} = C_{ox} U_G A = \frac{\epsilon_s \epsilon_0}{d_i} A U_G$ 。其中 C_{ox} 为单位氧化膜的电容容量; U_G 为栅极电压; A 为 CCD 电极的有效面积; ϵ_s 为介质常数 (3.38); ϵ_0 为空气介质常数; d_i 为氧化膜厚度。

BBC 的计算比较复杂, 随着沟道深度增加, 势阱中可容纳的电荷量减少。同样条件下, BCCD 比 SCCD 容纳电荷少。

2) 噪声

噪声是指除信号原本信息外, 混入不规则变动的成分。信号出现时总是有噪声伴随, CCD 图像传感也不例外。噪声是决定面质的的重要因素。CCD 图像传感器除了具有与周期性或者位置无关的噪声外, 在画面中的固定位置也会出现噪声。前者称为随机噪声, 后者称为固定图形噪声。这里主要介绍随机噪声。

随机噪声是当图像在画面播出时与画面位置无关的噪声, CCD 图像传感器本身发生的典型随机噪声, 有以下几种:

暗电流散粒噪声: 起因于光电二极管或垂直/水平 CCD 发生的是暗电流, 该暗电流不规则变动的成分。暗电流是基于在能级深处的电子因高热激发而产生, 但因暗电流的发生过程不规则, 瞬间看时并非每次总是产生相同个数的电子。光电二极管或垂直/水平 CCD 发生的暗电流, 若平均电子数为 N 个, 散粒噪声的电子数为 N 的平方根 (\sqrt{N})。

FD 复位噪声: 是因为开关介入电容带来的电压, 当开关切到 OFF 后出现的噪声, 也是在采样电路必然发生的噪声。即使是 CCD 图像传感器, 在信号电荷检测之前, 必须复位 FD 电源电压等, 复位后恢复基准的 FD 电压, 就会加上噪声 kTC 。噪声 kTC 的电压 V_n , 可由以下式表示, 其中 k 为玻耳兹曼常数, T 为绝对温度, C 为电容。

$$V_n = \sqrt{\frac{kT}{C}}$$

FD 放大器噪声: 产生于组成 FD 放大器的放大电路。该放大电路是为了让在 FD 中由信号电荷转变的信号电压, 可承受连接 CCD 图像传感器的图像信号处理 IC 等的输入负载, 具有降低输出阻抗的作用的源极跟随器电路。如图 XXX 所示, 为作放大器件使用 MOS 晶体管, 因此主要发生热噪声与 $1/f$ 噪声。

热噪声是因为 MOS 晶体管的沟道电阻而发生的。换算成栅极输入的平方平均

噪声电压 $\overline{V_n^2} = \frac{8}{3} \frac{kT}{g_m} \Delta f$ 。其中 k 为玻耳兹曼常数, T 为绝对温度, f 为频率, $1/f$

噪声主要在 MOS 晶体管沟道的界面能级, 因捕获/放出电子而产生。换算成栅极

输入的平方平均噪声电压 $\overline{V_n^2} = \frac{q^2 d_{ox}^2 n_{Te}}{\epsilon_{ox}^2 W L f}$, 其中 q 为电子的电荷量, d_{ox} 为栅极氧化膜的厚度, n_{Te} 为沟道单位面积的有效捕获密度, ϵ_{ox} 为栅极氧化膜的介电常数, W 与 L 各为栅极宽度与栅极长度。

光散粒噪声: 即使光强度一定, 由于光具有光子的粒子特性, 因此一次储存时间内入射光电二极管的光, 每次的光子数不会相同, 这样的变动特性引发光散粒噪声。光散粒噪声与暗电流散粒噪声一样, 将入射光电二极管的光子数 N_s 的平方根当作光散粒噪声 N_n 。

2.3.3 分辨率

分辨率就是表示图像传感器可照出多细微图像的指标, 一般由于像素越多, 分辨率也越高, 因此也常用像素取代分辨率。CCD 图像传感器采用自扫描方式, 每个光敏都被隔开一定的距离。因此, CCD 的光电转换实质上是由空间上分立的光敏单元对光学图像的抽样。光敏单元呈周期性排列, 假设要摄取的光学图像是沿水平方向光强为正弦分布的条状图像, 经 CCD 光敏单元进行光/电转换, 所得的信号在时间轴方向也是正弦波信号。由奈奎斯采样定理, CCD 的极限分辨率是空间抽样频率的一半, 因此, CCD 原分辨率主要取决于 CCD 的像素数, 其次, 还受到传输效率的影响。高度集成的光敏单元可以获得高分辨率, 但光敏单元的尺寸的减少将导致灵敏度的降低。

2.3.4 灵敏度

灵敏度是 CCD 重要的参数之一, 它有两种意义, 一是表示光电器件的光电转换能力。对于给定芯片尺寸的 CCD 来说, 其灵敏度可用光功率所产生的信号电流来表示, 单位可为纳安/勒克斯 (nA/lx)、伏/瓦 (V/W)、伏/勒克斯 (V/lx)、伏/流明 (V/lm)。勒克斯 (lx) 是光度学中辐射能流密度的单位, 其转换式为: $1W/m^2 = 20lx$ 。

另一种是指器件所能传感的最低辐射功率 (或照度), 与控测率的意义相同。单位用瓦 (W) 或勒克斯大林 (lx) 表示。

2.3.5 光谱响应

该参数表征 CCD 对于不同的波长光线的响应能力。CCD 接收光入射的方式分为正面光照和背面光照两种。由于 CCD 的正面布置有很多转移电极，电极的反射和散射作用使得正面照射的光谱灵敏度比背面照射式的低。即使是透明的多晶硅电极也会因为电极的吸收，以及硅—二氧化硅界面上的多次反射引起某些波长的光的干涉现象，出现明暗条纹。

2.4 本章小结

本章研究了 CCD 的工作原理，包括光电荷的产生、存储、转移与输出。介绍了帧转移 CCD、行间转移 CCD、线转移 CCD 和全帧转移 CCD 的基本结构，并且分析了感光度、动态范围、分辨率、灵敏度和光谱响应等关键性能参数。

第三章 CCD 数字相机的系统结构

CCD 相机的系统结构可分为几个功能模块：相机的光学成像系统、CCD 图像传感器及其驱动电路、CCD 视频信号 A/D 电路、数据存储或者传输接口电路、相机控制电路和电源电路。针对于工业应用，数字相机应具备如下的性能和特点：光学成像系统的性能卓越，以适应不同的工业应用需要；基于对生产效率的追求，要求数字相机的 CCD 传感器和驱动电路、视频信号 A/D 电路都具有相当的速度，这样才能够在不影响生产效率的情况下稳定工作；数据的存储和传输电路应符合通用的工业标准，能够和配套设备协同工作；控制电路应能够灵活的实现相机的工作模式转换，以适应不同的工作环境；良好的电源抗干扰能力，以使得系统在恶劣的工业生产环境下稳定工作。合理的机械结构设计，使相机便于安装和固定。

3.1 CCD 数字相机的系统结构

本文设计的 CCD 数字相机的基本工作原理如图 3.1 所示。

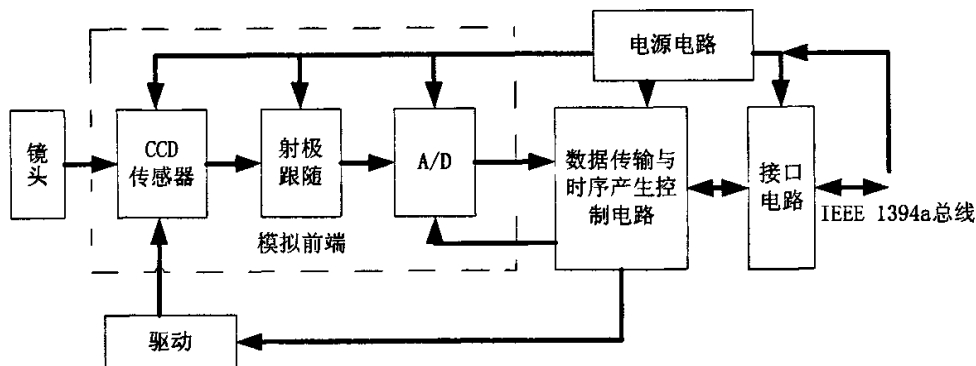


图 3.1 CCD 数字相机基本工作原理框图

待采集的物体经过光学成像系统的成像物镜后，以一定的放大倍率成像在图像传感器的像敏面上。CCD 图像传感器在时序驱动脉冲的作用下，将光学图像转换成电荷包图像，在经后级电路，成为视频信号。视频信号经过视频放大器放大后，送至 A/D 转换成数字信息传给通用可编程芯片(FPGA)，再经过 TI 公司的 IEEE 1394 控制芯片组，以 IEEE 1394 接口传输给后级的图像处理主机（计算机）。

3.1.1 CCD 数字相机的各部分功能描述

1. 光学成像系统

相机系统中的光学成像系统的作用是, 将被研究对象通过光学方法以一定的放大倍率成像在图像传感器上。因此, 这种系统通常可以根据物像面位置、物像面大小等成像条件归类为摄影、显微、望远或者投影等典型的光学系统。

2. CCD 图像传感器

CCD 图像传感器是 20 世纪 70 年代发展起来的新型图像传感器。CCD 图像传感器的像敏面能够将成像于其上的光学图像转换为电荷密度分布的电荷图像, 电荷图像可以在驱动脉冲的作用下按照一定的规则输出, 形成图像信号。

本文设计采用的是 SONY 公司的 CCD, 型号为 ICX204AL。该 CCD 是行间转移型、逐行扫描面阵黑白图像传感器, 有效分辨率为 $1034(\text{H}) \times 778(\text{V})$ 像素, 最高输出 25frame/s , 具有电子快门功能, 可以清楚抓拍运动物体, 满足一般工业场合要求。

3. CCD 驱动时序产生电路

CCD 图像传感器必须在驱动脉冲的作用下完成信号电荷的转移, 输出信号电荷。一般的将加在转移栅上的驱动脉冲 H_{F1} 或 H_{F2} 的频率称为驱动频率。本文采用 FPGA 编程来产生 CCD 的垂直驱动时序, 采用专用 A/D 芯片产生 CCD 的水平驱动时序。有关 CCD 驱动电路设计的技术, 在本文第四章将详细介绍。

4. 视频信号的采集和模拟前端

CCD 输出信号的特点: 由 CCD 的输出原理可知, 在驱动脉冲的每一个周期内输出一个电荷包, 输出电平在相邻两个电荷包输出的间隔期间复位到基准电平。因此, CCD 输出的电压是脉冲调幅信号, 这种信号必须经过处理才能得到连续的图像信号, 在本文 CCD 相机中采用相关双采样电路去除脉冲干扰, 得到图像信号。

CCD 作为光电传感器, 在进行光谱探测、光学图像测量与光强分布测量时, 需要测出 CCD 每个像敏单元的光照强度值。CCD 的输出为周期时序电压信号, 在这种情况下, 需要进行视频信号的量化处理与 A/D 转换, 并将转换后的数字信号送入计算机进行后续处理工作。

模拟前端 (AFE) 用于调理图像传感器的模拟输出并将其转换成数字信号。

模拟前端的作用是将图像传感器输出的模拟图像信号箝位放大到 A/D 转换器所需要的电平并完成 A/D 转换。

模拟前端的第一级通常是输入箝位电路。图像传感器输出的信号中含有共模电压的成分, 与模拟前端之间必须采用交流耦合。输入箝位电路的作用是根据模拟前端供电电压的高低从信号中恢复出优化的信号直流分量。

可控增益放大器位于取样电路之前, 信号需要放大到 A/D 转换器要求的水平并充分利用 A/D 转换器的动态范围。黑电平偏移校正应该在设置增益之前完成, 以避免使动态范围受到不良影响。高速 (视频) ADC 用于将调理好的图像信号转换为数字, 以便由后端数据处理对其进行处理^[18]。

可控增益放大电路之后是取样电路。CCD 器件的取样一般采用相关双采样 (CDS) 的方式。每个像素取样两次, 一个对应于复位电平, 另一个对应于视频电平。相关双采样的输出是两次采样的差分。CDS 具有抗 CCD 输出互相关噪声和低频漂移的特点, 系统的信噪比因此得以改善^[19]。

在本文设计中, 模拟前端的可控增益放大器, 黑电平校正以及取样方式和数模转换都是用专用 A/D 芯片完成的。A/D 芯片选用 AD 公司的型号为 AD9849 的芯片。该芯片的采样时钟最高可达 30M, 采样精度为 12 位。

5. CCD 数字相机的接口。

为了提高传输效率以及降低传输成本, 本文所设计的相机采用的是工业标准的 IEEE 1394a 接口, 所采用的数据传输协议是 DCAM 协议 (IIDC 1394-based Digital Camera Specification)。有关这方面的知识在下一节中介绍。

3.2 CCD 数字相机的接口与传输协议

3.2.1 IEEE1394a 接口

IEEE 1394a^[20]是一种串行接口标准, 这种接口标准允许把电脑、电脑外部设备、各种家电非常简单地连接在一起。IEEE 1394a 标准定义了两种总线传输模式, 即: Backplane(背板)模式和 Cable(线缆)模式。其中 Backplane 模式支持 12.5、25、50Mbps 的传输速率; Cable 模式支持 100、200、400Mbps 的速率。所以我们既可以把他称为总线, 也可以把他称为接口。IEEE 1394a 的原形是运行在 Apple Mac 电脑上的 Firewire(火线), 由 IEEE 采用并且重新进行了规范。它定义了数据的传输协定及连接系统, 可用较低的成本达到较高的性能, 以增强电脑与外设如硬盘、打印机、扫描仪, 和与消费性电子产品如数码相机、DVD 播放机、视频电话等的连接能力。

作为一种数据传输的开放式技术标准, IEEE 1394 被应用在众多的领域。

首先, IEEE 1394 总线是一种比并行总线便宜的设计。也许有人 would 认为像 IDE 或 PCI 这样的并行总线似乎更加可取, 因为更多的导线将提供更大的带宽。其实, 并行端口非常复杂, 相对于串行总线来说需要更多的软件控制, 而且系统开销也很大。因此, 并行接口不一定能够提供更快的传输速率。除此之外, 相比其它串行总线如 USB, IEEE 1394a 还具有很多令其更适合应用在机器视觉系统的优点:

- a) 速度高: 支持 100、200 和 400Mb/s 的速度。
- b) 热插拔: 无需将系统断电就可以动态加入和移除设备;
- c) 即插即用: 每次加入或移除设备时, 总线会自动枚举, 节点会自动配置, 无需主机干预;

- d) 资源占用少: 允许设备之间直接进行通信, 占用的系统资源更少;
- a) 工业标准化: IEEE 的接口、线缆都已经工业标准化, 在工业场合上应用更方便、可靠;
- e) 传输协议标准化: 有专门用于 IEEE1394a 数字相机的传输协议支持。

3.2.2 IEEE 1394a 的通信服务

IEEE 1394a 规范定义了通信模型在用于层与层之间传递参数的服务。这些服务被用来初始化事务或向接收到的事务做出响应。以下将分别表述执行等时和异步事务所用的服务及其原理。

等时传输和异步传输是 IEEE 1394a 的两种数据传输方式。等时传输以事先分配好的带宽传输, 不要求确认数据传输, 发送方只需定时发送数据包即可, 而无需关心数据是否正确的到达接收方, 而异步传输用于要求数据必须毫无损坏的传输场合, 此时串行总线可以验证数据是否通过总线正确传送, 同时也向异步事务的发起方确认接收方是否正确接收到传输。

等时传输模式在优先级上要高于异步传输模式。当一台设备发送等时数据包时, 将获得一个专用的数据通道, 直到数据传送完毕为止。而同一时刻发生的异步数据传输则只能使用当前所剩的可用带宽。因此, 要求充分保证传输带宽来传输像视频流数据的, 对时间延迟要求很高的应用可以在不受其它应用干扰的情况下通过等时传输来完成。IEEE 1394a 规定等时传输的最高带宽为总线最高带宽的 80%, 即 32Mbytes/s。在等时占用最高带宽时, 异步传输还有 20% 的带宽, 来保证其它异步事务。

1. 等时传输

等时传输可以通过总线广播并以指定的信道号码为基础发送到一个或多个设备, 此时, 每个等时传输都有一个被保证了的总线带宽, 为确保有足够的总线带宽可用, 希望执行等时传输的节点必须向执行等时资源管理器任务的节点申请所需的带宽, 而且所有等时传输的带宽之和不能超过总线带宽的 80%。

通过等时资源管理器内部的寄存器可以得到等时信道号和总线带宽。一旦获得这两个值, 目标节点就必须如此配置以便它向所希望的等时事务做出响应, 如果目标节点上的信道号和它所接收到的等时传输的信道号相同的话, 就可以接收这个数据包了。

初始化和接收等时事务的另一方面是保持等时的能力。根结点每隔 125us 发布一个循环开始数据包, 并在每次等时间隔开始时等时化所有等时信道并初始化等时传输。物理层检测到循环开始数据包时, 向链路层控制器发布一个事件通知。

一旦等传输获得了总线带宽, 那么信道就在每个 125us 周期内收到一个等时数

据包。每个总线在 125us 的内周期最多有 80%带宽可分配给等时传输，即一个给定的等时传输支持的最大包长度受可用的总线带宽和数据传输速度的限制：数据传输的速度越快，每包中所含的有效数据就越多。

2. 异步传输

异步传输使用的一种确定的 64 位地址来指向某一特定的节点，所有异步传输根据总线带宽利用状况，最高可以占用 100%的带宽，最小也有 20%的带宽保证。和等时传输不同，异步传输时，节点不被分配任何特定的总线带宽，但可以通过总线仲裁让它在适当的时间间隔内获得对总线的公平访问，使每个节点都能在单一的适当间隔内访问总线。

当总线上没有等时传输时，异步传输就有可能占用全部的总线资源，所以对于异步传输来说，在 IEEE 1394 – 1995 版本中，它的最大速度也可以达到 400Mb/s 的水平。和等时传输一样，异步包的大小和数据传输的速率有很大的关系。

3.2.3 寄存器与配置 ROM

IEEE 1394 以 ISO/IEC13213 规范为基础，通常被称为微机总线的控制和状态寄存器(CSR)体系结构，这一规范定义了一套能由遵循这一标准的多种总线所实现的核心特征。也就是说，CSR 定义了一组核心寄存器，把寄存器放在一个特定的空间中，并且可以访问这些寄存器。IEEE 1394 规范定义了为实现串行总线兼容而必须支持的 CSR 体系结构特征的子集。其中包括了状态和控制寄存器。

每个 IEEE 1394 节点的物理层都提供了至总线的接口，并可以通信过程中执行如下功能：

1. 总线配置；
2. 仲裁 IEEE 1394a 总线的控制权；
3. 向其它节点中转事务；
4. 执行数据选通的编码/解码；
5. 发送速度信号并检测传输速度；
6. 检测设备的加入和移除。

物理层寄存器支持由物理层执行的功能，这引起寄存器映射为偏移地址，物理寄存器可以被节点上的应用程序读取或写入，也可以由远程节点通过物理层配置包和远程访问数据包来写入和读取。如端口状态寄存器包含每个端口连接状态的信息，通过读它就可以得到这个端口是父节点还是子节点，是不是可用等信息。

当计算机连上一个 1394 设备后，作为根节点的计算机希望得到关于 1394 设

备的一些信息，这些信息就存放于设备的配置 ROM 中，这些信息包括：

1. 为识别本设备驱动程序所需的信息；
2. 为识别设备涉及总线的各种性能而需要的信息；
3. 为指定可选的模块、节点以及元件特征和参数所需的信息。

IEEE 1394 规范定义了两种 ROM 格式，最小格式和一般格式。最小格式仅标识了生产此设备的公司；一般格式定义了一个总线信息块和根目录，它们包含了一些配置项，用户指定指向其它目录和数据结构的指针。在本文的第五章中将有一部分内容专门介绍如何去配置 ROM 信息。

3.2.4 DCAM 协议简介

DCAM 协议的全称为：IIDC(Instrumentation & Industrial Digital Camera) 1394-based Digital Camera 协议^[21]。这个协议的接口是基于 IEEE 1394 接口的。是由 1394 商业协会 IIDC(Instrumentation & Industrial Digital Camera)工作组制定的。是一个描述如何与 IEEE 1394a 相机进行数据交换的协议，该协议定义在总线驱动之上，而在应用程序(包括设备驱动)之下。定义了应用程序与总线驱动之间数据交换的形式。由此，只要是兼容 DCAM 协议的应用程序(包括设备驱动)都能与兼容 DCAM 协议的相机相连接，并对其操作。该协议的产生提高了相机设备或者图像处理软件的通用性，它在相机与软件之间建立了一种标准的数据交换方式，使得相机或者软件可以独立开发，并且彼此不依赖于对方，一个同样的相机，可以用多个不同的软件打操作，一个同样的软件也可以操作不同的相机。

协议中，以 CSR 寄存器的形式定义了相机的各种参数与特征，软件通过读写这些寄存器就可以知道相机支持哪些特征和改写相机的调节参数。如，图像的分辨率、图像的亮度范围等。读写这些寄存器都是通过异步传输来实现的，而图像数据的传输则能过等时传输来完成。

在总线管理上，DCAM 协议规定：兼容 DCAM 协议的相机是主机的一部分，主机充当着相机控制器的功能。也就是说，对于一些有关相机的操作都只能由主机发起，相机只是作被动的响应。因此，作为兼容 DCAM 协议的相机，既不能充当等时资源管理器，也不能充当循环管理器的功能。在等时传输过程中，相机只能作为谈话者(talker)，而主机机能作为监听者(listener)。对于异步传输，相机具有响应所有异步事务的功能，异步包中最大的有效数据由配置 ROM 决定。

3.3 CCD 数字相机的性能指标

影响数字 CCD 相机的性能指标因素有很多，其中最为重要的是 CCD 图像传

传感器的动态范围、暗电流、像素数量和速度、A/D 转换的精度、数字输出接口的传输性能。下表列出了本文设计的 CCD 数字相机的性能指标。

表 3.1 CCD 数字相机的性能参数表

最大像素	1032(H) × 778(V)
采样精度	12 bit
最高帧率 (在最大分辨率下)	30Frame/s
频率输出格式	Y(灰度信息)
曝光控制	软件可控
亮度与增益	软件可控
输出接口	IEEE 1394a
传输线	IEEE 1394a 六芯线缆
镜头接口	C 口

3.4本章小结

本章详细研究了 CCD 数字相机的系统结构。结构主要分为光学成像部分、CCD 传感器、CCD 驱动时序产生电路、视频信号的采集和模拟前端和 CCD 数字接口五部分。详细介绍了 IEEE 1394 接口与 DCAM 协议。

第四章 CCD 器件(ICX204AL)的驱动电路设计

4.1 CCD 驱动电路技术

CCD 图像传感器的基本功能是完成信号电荷包的产生、存储、转移和输出,要想完成这一系列的工作,必须在外围驱动电路的驱动下才能实现。一般对于面阵 CCD,驱动电路从功能上可以分为以下几个部分:

1. 时序脉冲产生电路;
2. 垂直驱动电路;
3. 水平驱动电路;
4. 信号预处理电路,包括相关双采样,可控增益放大,模数转换电路。

其中信号预处理电路也叫前后端电路(Front End),它起连接前端 CCD 电路和后端图像处理电路的桥梁作用,主要功能是对 CCD 输出的视频模拟信号进行消噪、放大和模数转换等信号处理。时序脉冲产生电路是整个驱动电路设计的关键所在。它不仅负责产生 CCD 正常所需的驱动时序,而且信号预处理电路也需要由它来提供一些控制信号,比如箝位和采样/保持等脉冲信号,同时后续的图像处理、压缩、存储等工作必须与前端 CCD 光信号采集和转移输出的过程同步进行,这样就需要时序产生电路来产生同步控制逻辑时序来进行协调工作。

4.1.1 CCD 时序脉冲产生电路设计方法

CCD 驱动时序是一组周期性的,关系比较复杂的时序脉冲信号而且具有特定的电压电平,它是直接影响 CCD 转换效率,信噪比等光电转换特性的一个重要因素。精确的驱动时序是 CCD 器件正常稳定工作的保证,所以如何设计出可靠的 CCD 驱动时序电路,就成为 CCD 应用的关键问题之一。总的来说,CCD 时序脉冲产生电路的设计可以有很多种方法,主要有直接数字电路驱动法、单片机驱动法、EPROM(可擦除可编程只读存储器)驱动法、可编程逻辑器件驱动法和专用 IC 驱动法^[22]。根据 CCD 的类型不同,可以采取不同的设计方法,而且各个方法都有各自的优缺点,下面分别进行介绍:

1. 直接数字电路驱动法:这种时序电路通常由振荡电路、逻辑门电路、计数器电路、单稳态电路等构成。这种方法尽管可以产生出高频的驱动脉冲,稳定性也较好,但是逻辑设计较复杂,电路设计周期长,电路元器件多,电路板面积大,调试非常困难。该方法目前基本上已经很少采用了。

2. 单片机驱动法:该方法是通过单片机进行编程,由单片机的 I/O 端口来

输出 CCD 驱动脉冲信号。这种方法灵活性好, 对不同的 CCD 器件只需要修改程序即可, 但是由于时序的产生完全依赖程序指令的延时来实现, 而且目前的单片机时钟频率较低, 因此由指令产生多路脉冲时, 其最高频率不过几千赫兹, 要达到兆赫兹级的 CCD 驱动频则无能为力。

3. EPROM 驱动法: 该方法是在 EPROM 中事先存放好驱动 CCD 工作的所有时序信号数据, 由计数电路产生 EPROM 地址, 从而使 EPROM 输出特定的时序信号, 但编制 EPROM 程序单调繁冗, 易出现错误, 给调试带来困难, 不适合设计大面阵 CCD 的驱动时序电路。

4. 可编程逻辑器件驱动法: 这种方法是目前国内比较常用的一种方法, 可编程逻辑器件可以采用 FPGA 或者 CPLD, 这种方法的器件集成度高, 电路板面积小, 频率也可以很高。在应用这种方法设计 CCD 的时序电路时, 主要有两种输入方法, 原理图设计输入法和硬件描述语言输入法。原理图设计法仍然是自下向上的传统设计方法。利用已有的逻辑元器件来构造硬件电路。原理图输入法要求设计人员按照设计数字电路的过程, 一步一步地进行原理力的设计, 尤其 CCD 芯片需要复杂的三相或四相交迭驱动脉冲时, 一般整个驱动电路的原理图设计将变得非常复杂, 那么就要要求设计人员对数字电路相当熟悉。与原理图输入法相比, 硬件描述语言则与电路的结构相关不大, 数字系统的设计直接面向用户需求, 根据系统的行为和功能要求, 自上向下地逐层完成相应的描述、综合、优化、仿真与验证, 直到生成最终的硬件电路, 可以省去大量时序电路的设计。

5. 专用 IC 驱动法: 这种驱动方法利用专门为某型号或某种类型的 CCD 设计时序脉冲芯片来设计驱动时序电路, 这种方法具有很多优点, 如设计和调试较为简单, 只通过软件设置其工作参数即可。电路的集成度也很高, 可靠性好, 功耗很低, 但是与可编程逻辑器件驱动法相比, 该方法最大的缺点就是灵活性不够好。

本文设计中选用的 CCD 类型是行间转移型的, 共有 8 路驱动脉冲, 每路脉冲的相位关系相对复杂。由于本文设计中选用的模数转换器(A/D)集成了两路水平驱动脉冲, 为了提高设计的灵活性与方便性, 并且节省成本, 系统中除了两路水平驱动脉冲采用模数转换器器件编程输出外, 其余几路驱动脉冲, 如垂直驱动脉冲, 均采用可编程逻辑(FPGA)驱动法产生。设计方法采用硬件描述语言输入法。

4.2 CCD 前端电路设计

4.2.1 电路结构

CCD 相机前端电路主要由 CCD 传感器、CCD 供电电路、时序产生和控制电路、驱动电路、CCD 信号处理器及增益电路等组成。如图 4.1 所示。

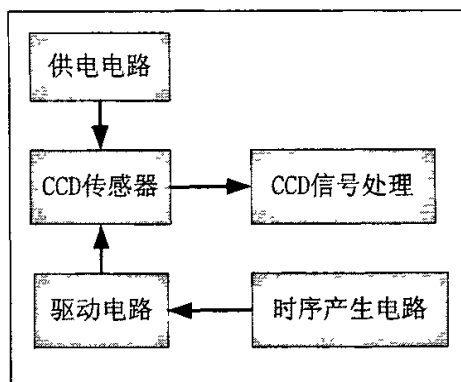


图 4.1 CCD 前端电路组成

目标通过光学系统成像在 CCD 传感器的光敏面上, 在偏压和驱动脉冲的作用下, CCD 完成光电荷的转换、存储和检测过程, 将二维光学信息转换为一维电信号输出, 形成的模拟电信号通过 CCD 信号处理器, 进行降噪和模数转换, 把模拟图像转换为数字图像, 传输到后端电路处理。

4.2.2 CCD 传感器选型及其工作模式

本文采用的 CCD 是 SONY 公司的 ICX204AL 芯片^[23], 该芯片为行间转移型、逐行扫描面阵黑白图像传感器。有效像敏单元为 $1034(H) \times 779(V)$, 像敏单元尺寸为 $4.65\mu m(H) \times 4.65\mu m(V)$ 。水平驱动频率可达 $20MHz$, 支持快读功能。共有 8 路驱动脉冲, 分别是四相垂直转移脉冲(V_1, V_{2A}, V_{2B}, V_3), 两相水平转移脉冲(H_1, H_2), 电子快门控制脉冲 $FSUB$ 和复位脉冲 FRG , 结构如图 4.2 所示。表 4.1 为 ICX204AL 芯片的管脚说明。

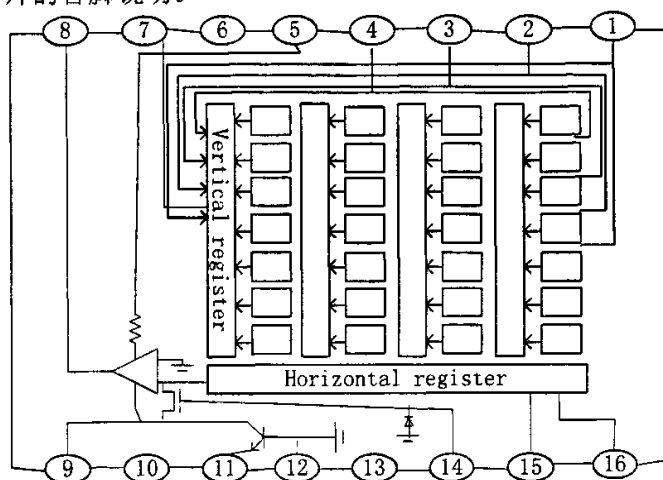


图 4.2 ICX204AL 结构图

表 4.1 ICX204AL 的管脚说明

管脚号	管脚名称	管脚说明	管脚号	管脚名称	管脚说明
1	V _{F3}	垂直转移脉冲	9	V _{DD}	电源
2	V _{F2B}	垂直转移脉冲	10	GND	地
3	V _{F1}	垂直转移脉冲	11	F _{SUB}	电子快门控制脉冲
4	V _{F2A}	垂直转移脉冲	12	C _{SUB}	衬底电压
5	GND	地	13	V _L	偏置电压
6	NC	空脚	14	FRG	复位脉冲
7	NC	空脚	15	H _{F1}	水平转移脉冲
8	V _{OUT}	信号输出	16	H _{F2}	水平转移脉冲

该型 CCD 工作流程如下: 在场消隐期间, 四路垂直转移脉冲(V_{F1}, V_{F2A}, V_{F2B}, V_{F3})完成信号由光积分区向垂直移位寄存器的转移。转移完成后进入有效像敏单元的转移输出阶段, 输出有效像素单元的信号, 即在场正程期间, 逐行输出模拟信号。在行消隐期间, 在垂直转移脉冲(V_{F1}, V_{F2A}, V_{F2B}, V_{F3})的作用下将垂直移位寄存器的一行像元转移到水平寄存器中, 此时, 水平转移脉冲(H_{F1}, H_{F2})保持不变。在行正程期间, V_{F1}、V_{F2A}、V_{F2B}、V_{F3} 保持不变, 进入水平寄存器中的信号在水平转移脉冲(H_{F1}, H_{F2})的作用下, 逐行从输出端输出。

4.3 CCD 时序及控制电路

高速 CCD 的驱动时序关系复杂程度高, 相位要求严格, 使得时序发生器的设计规模较大, 很难用传统的逻辑图和布尔方程描述, 必须采用更抽象的描述方法, 以实现自顶向下的设计。本文在 CCD 时序驱动电路的设计中利用 FPGA 器件实现了电路的高度集成, 在高于逻辑级的同一层次上, 采用硬件描述语言(HDL, Hardware Description Language)实现了高层次复杂逻辑的设计。

4.3.1 时序及控制电路硬件设计

时序及控制电路主要功能是为 CCD 提供所需的驱动脉冲信号, 并为信号处理器提供箝位、相关双采样、A/D 控制脉冲, 同时将来自外部的控制命令转换成相应的控制信号, 传递至 CCD 芯片, 对相对的工作状态进行控制, 另外, 还需要时序发生器所产生的同步信号发送给后端电路用于对图像的采集传输控制。该部分的原理框图如图 4.3 所示。

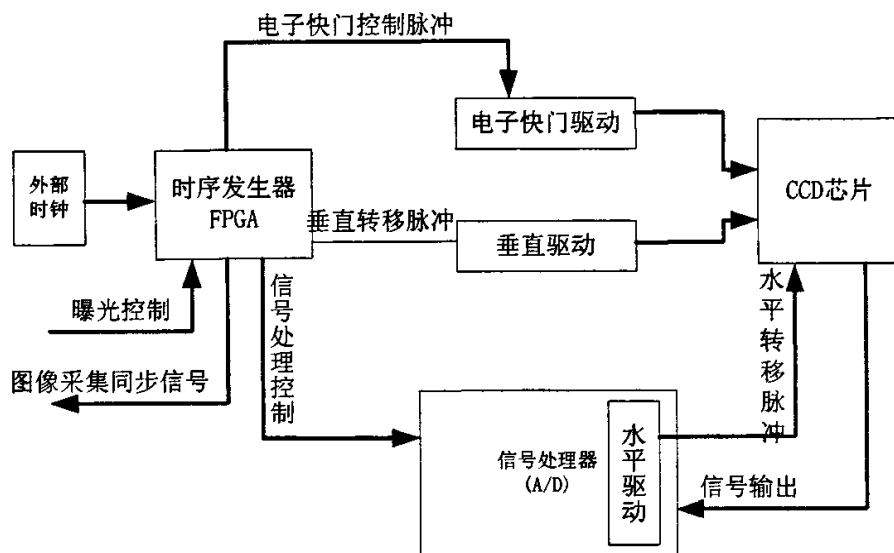


图 4.3 CCD 时序及控制电路原理框图

本系统的 FPGA 选用的是 Altera 公司的 EP1C3T144C8 芯片，属于 Cyclone 系列。Cyclone 现场可编程门阵列系列基于 1.5V、0.13 μm 及全层铜 SRAM 工艺，其密度增加至 20060 个逻辑元件(LE),RAM 增加至 288Kb。它具有用于时钟的锁相球以及 DDR、SDR 和快速周期 RAM(FCRAM)存储器所需的专用双数据率 (DDR) 接口等，支持多种 I/O 电平标准^[24]。

由 FPGA 时序发生器产生的时序脉冲不能直接输送给 CCD 芯片，一方面因为 CCD 驱动电平比较特殊，各不相同，如 V_{F2A} 、 V_{F2B} 高电平为正 15V，低电平为负 8 伏，而 H_{F1} ， H_{F2} 高电平为 5V，低电平为 0V。另一方面，CCD 各移位寄存器等效于容性负载，而且阻抗不尽相同，要求的驱动电流也不相同。驱动电路将时序发生器输出的时序信号变换成具有一定电压的电压幅值，并提供一定的电流驱动能力的脉冲，加到 CCD 芯片上，驱动其工作。

在本文系统中，电子快门控制驱动和垂直驱动都采用同一款驱动芯片 (CXD1267AN)。系统中所用的模数转换芯片本身带有水平驱动输出，因此 CCD 的水平驱动(H_{F1} ， H_{F2})由模数转换芯片提供。

CXD1267AN 是 SONY 公司生产的，用于 CCD 垂直驱动芯片^[25]。该芯片内建衬底电压产生器，可以产生 4.0 伏到 18.5 伏的衬层电压。芯片需要正 15 伏和负 8.5 伏电源供电。芯片的结构如图 4.4 所示；芯片的管脚描述见表 4.2；输入到输出的真值表见表 4.3。

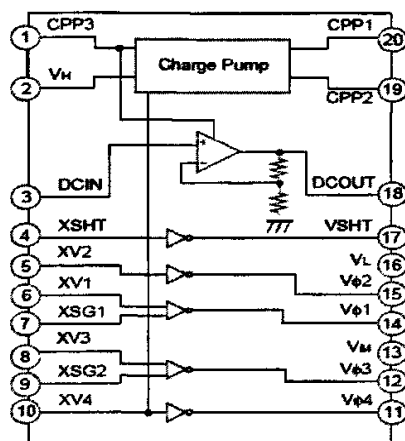


图 4.4 CXD1267AN 的结构图

表 4.2 CXD1267AN 的管脚描述

管脚号	管脚名称	功能描述
1	CPP3	电荷泵
2	V _H	电源 (15V)
3	DCIN	可操作放大器输入
4	XSHT	电子快门脉冲 VSHT 输入控制
5	XV2	垂直转移脉冲 V _{F2} 输入控制
6	XV1	垂直转移脉冲 V _{F1} 输入控制
7	XSG1	垂直转移脉冲 V _{F1} 输入控制
8	XV3	垂直转移脉冲 V _{F3} 输入控制
9	XSG2	垂直转移脉冲 V _{F3} 输入控制
10	XV4	垂直转移脉冲 V _{F4} 输入控制
11	V _{F4}	垂直转移脉冲 V _{F4} 输出
12	V _{F3}	垂直转移脉冲 V _{F3} 输出
13	V _M	地
14	V _{F1}	垂直转移脉冲 V _{F1} 输出
15	V _{F2}	垂直转移脉冲 V _{F2} 输出
16	V _L	电源(-8.5V)
17	VSHT	电子快门脉冲(XSHT)输出
18	DCOUT	可操作放大器输出
19	CPP2	电荷泵
20	CPP1	电荷泵

表 4.3 CXD1267AN 输入到输出的真值表

输入				输出		
XV、XV3	XSG1、XSG2	XV、XV4	XSHT	V _{F1} 、V _{F3}	V _{F2} 、V _{F4}	VSHT
L	L	X	X	V _H	X	X
H	L	X	X	Z	X	X
L	H	X	X	V _M	X	X
H	H	X	X	V _L	X	X
X	X	L	X	X	V _M	X
X	X	H	X	X	V _L	X
X	X	X	L	X	X	V _H
X	X	X	H	X	X	V _L

其中 L 表示电压 0V；H 表示电压 3.3V；V_H 表示电压 15V；V_M 表示 0V；V_L 表示 -8V；X 表示不理睬；Z 表示高阻态。

下图为 CXD1267AN 与 CCD 芯片(ICX204AL)的电路连接图。

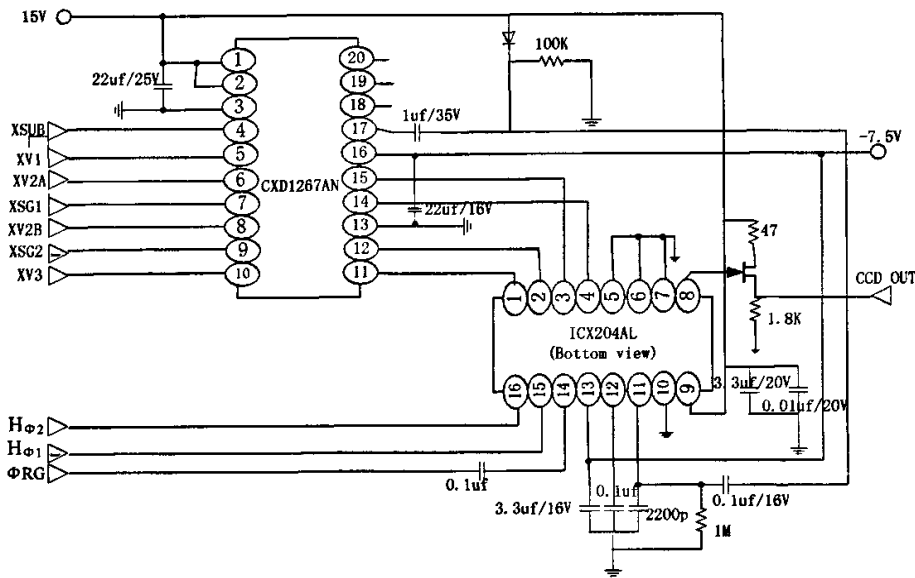


图 4.5 CXD1267AN 与 CCD 芯片(ICX204AL)的电路连接图

4.3.2 驱动时序产生模块设计

本系统的驱动时序是令 CCD 芯片工作在连续工作模式的，即 CCD 芯片一起直处在电荷积累，电荷转移和电荷输出的循环之中。因此，该工作模式下的 CCD

驱动时序实质上是多重嵌套循环。其中，垂直寄存器从光敏区读出电荷阶段构成了时序循环的外环，一次循环代表一帧图像从曝光结束到开始转移的过程；然后垂直寄存器把电荷逐行转移到水平寄存器构成了时序循环的中环，其间，在每一行判断曝光时间控制，根据相应的曝光时间控制快门脉冲的产生；在行转移期间，一行图像的元素逐个输出，构成了时序循环的内环，一个循环周期代表一帧图像中一行像素的转移。

1、程序编制

系统采用 VerilogHDL 硬件描述语言编制 CCD 驱动时序。由于水平转移信号是由信号处理器(A/D)产生的，所以 FPGA 时序产生器只需要产生 CCD 芯片的读出脉冲(由光敏区到存储区)、垂直转移脉冲和快门控制脉冲三个时序电路。下面介绍垂直转移脉冲时序的 VerilogHDL 编制方法，其它时序逻辑的编制类似于垂直转移脉冲设计。

由上面论述可知，水平转移是驱动时序循环的内环。包括水平消隐在内，CCD 芯片(ICX204AL)一共需要 1264 个周期的水平转移脉冲。也就是说，每 1264 个周期内循环进行一次。因此，可以设计一个计数器(HCNT)来对这个循环进行记录，这个计数器每计数 1264 个时间周期清零一下。用 VerilogHDL 设计如下，其中 PCLK 为 CCD 信号输出的像素时钟。

```
reg [15:0] HCNT;
always @(posedge PCLK)
    if(HCNT[15:0] == 1263)
        HCNT[15:0] <= 0;
    else
        HCNT[15:0] <= HCNT[15:0] + 1;
```

在每一次内环循环之中，都要有一次垂直转移。垂直转移发生在内环的位置简单分析如图 4.6 所示：

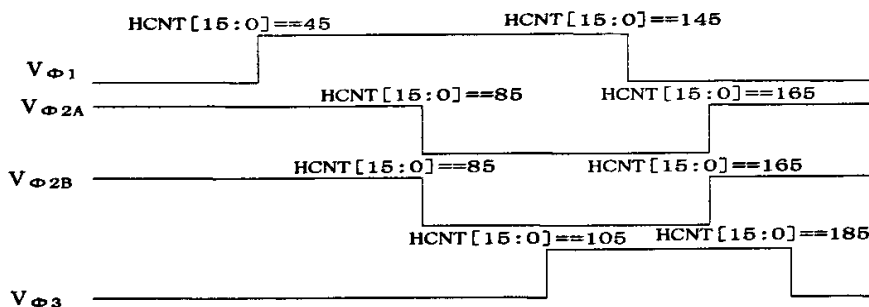


图 4.6 垂直转移脉冲的位置

根据上图,可以看出 V_{F2A} , V_{F2B} 是一样的。所以上面的时序可以用三个触发器和一个连线逻辑就可以完成。用 VerilogHDL 语言编写如下:

```
reg    V1; //  $V_{F1}$ 
reg    V2A; //  $V_{F2A}$ 
wire   V2B; //  $V_{F2B}$ 
reg    V3; //  $V_{F3}$ 
always @(posedge PCLK)
    if(HCNT[15:0] == 45)
        V1 <= 1;
    else if(HCNT[15:0] == 145)
        V1 <= 0;
always @(posedge PCLK)
    if(HCNT[15:0] == 85)
        V2A <= 0;
    else if(HCNT[15:0] == 165)
        V2A <= 1;
assign V2B = V2A;
always @(posedge PCLK)
    if(HCNT[15:0] == 105)
        V3 <= 1;
    else if(HCNT[15:0] == 185)
        V3 <= 0;
```

2、仿真结果

驱动时序产生模块的仿真在仿真工具 M0delsim 下仿真的。仿真的波形图如下。经分析,仿真的结果满足时序要求。

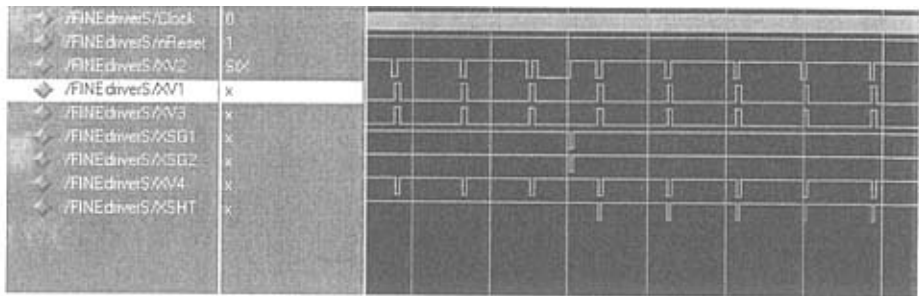


图 4.7 读出时序的波形仿真图

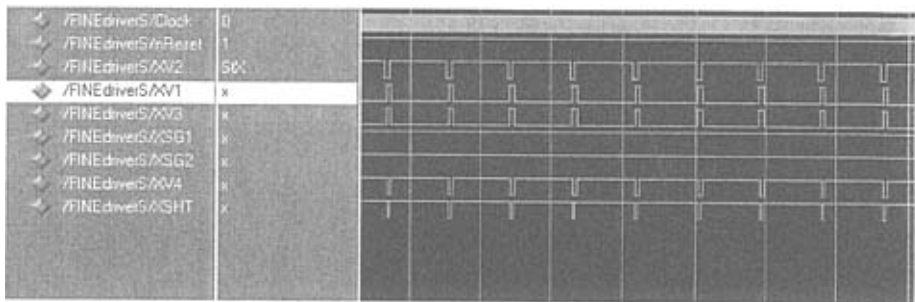


图 4.8 垂直转移时序的仿真波形图

3、综合结果

驱动时序产生模块在 QuartusII 7.2 编译平台下综合通过，并顺利布线，产生的电路结果下载到硬件板下可正常工作。布线综合结果如下图所示。

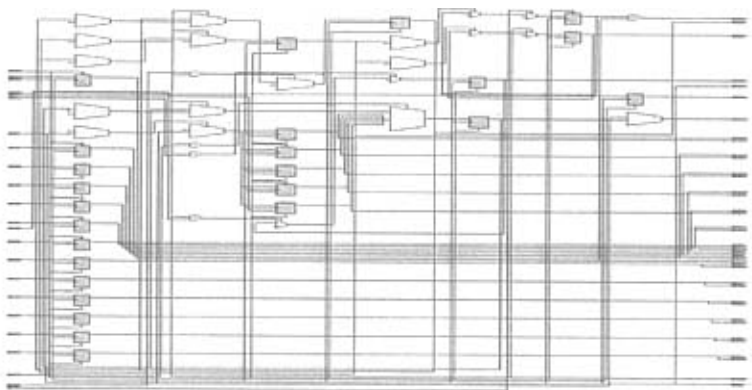


图 4.9 驱动时序产生模块综合结果

4.4 CCD 信号处理的设计

本文系统采用了一款功能较强的信号处理芯片（AD9848），该芯片内部具有 10 位的模数转换模块，高达 20MHz 的采样频率；具有用于降噪的相关双采样电路

(CDS); 有宽范围的增益控制(2dB——36dB)等电路^[26]。下面主要介绍用于 CCD 降噪的相关双采样(CDS)技术。

4.4.1 相关双采样(CDS)的基本原理

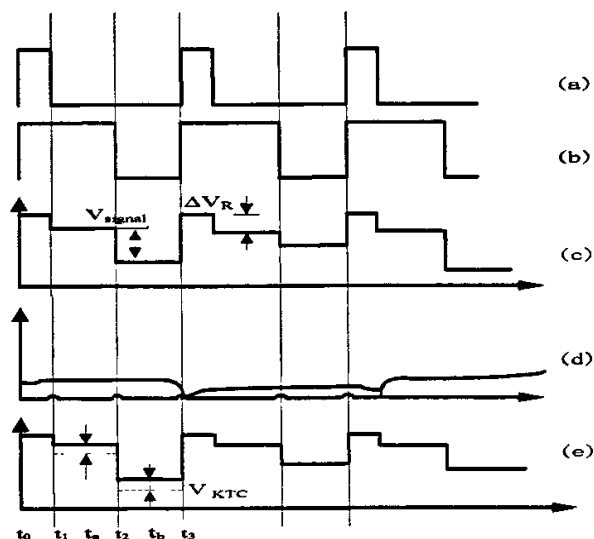


图 4.9 CCD 的输出信号

- (a) 复位脉冲 (b) 移位寄存器驱动脉冲 (c) 无复位噪声的信号输出波形
(d) 复位噪声 V_{KTC} (e) 含复位噪声的信号输出波形

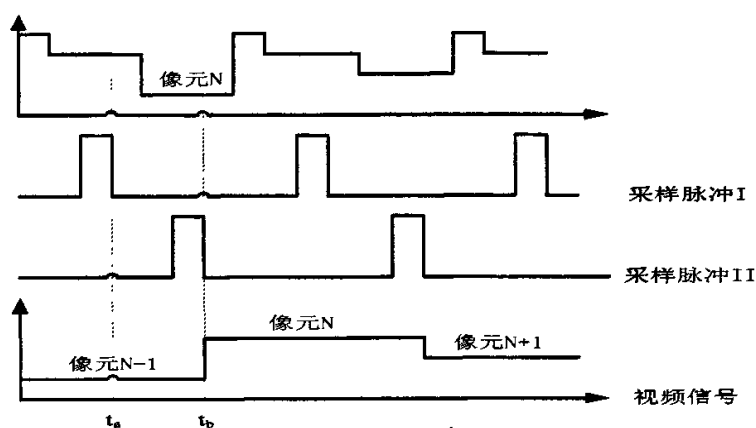


图 4.10 相关双采样时序图

CCD 视频输出信号的实际波形如图 4.9 所示, 每一像元输出周期都以复位脉冲 ($t_0 \sim t_1$) 开始, 它可以清除前一个像元的电荷, 以迎接下一个像元电荷包的到来。此阶段视频信号被箝位到复位电平, 同时产生复位噪声 V_{KTC} 。在 $t_1 \sim t_2$ 期间, 视频输出为复位电平 V_R 与复位噪声 V_{KTC} 、复位失调电压 ΔV_R 的叠加, 周期的最后部分

($t_2 \sim t_3$)是复位电平、复位噪声、复位失调电压和有用视频信号的叠加。

由于复位失调电压 ΔV_R 和复位噪声 V_{KTC} 在同一像元周期内基本保持不变,因此,在同一像元周期内,在像元电荷包到来之前的某个时刻 t_a 和电荷包到来之后的某个时刻 t_b ,分别进行前后两次采样,这两次采样的时间上是相关的,再将两次采样后的电平进行模拟相减,就能消除复位晶体管偏置漏电流和噪声所引起的复位电平缓慢变化的影响,其差值即是真正的信号电平。这就是相关双采样技术。图 4.10 为其时序图。

相关双采样技术抑制复位噪声的程度由两次取样所得到的复位噪声的相关程度来决定。由于两次取样都是在复位开关管截止时间内进行的,可以求得此时复位噪声的自相关系数为: $P_{off}(\tau) = \exp(-\frac{\tau}{R_{off}C})$ 。其中 τ 是两次采样之间的时间间隔。在通常情况下,可取得 $R_{off}C = 1ms$,若要求抑制复位噪声的程度不小于 99.9%,则 τ 应不大于 $1\mu s$ 。相关双采样电路的传递函数为: $G(s) = \frac{G_0(1-e^{-s\tau})}{1+s/\omega_0}$ 。式中 ω_0 为电路带宽; G_0 为电路增益。由上式可知,当频率为零时,电路的频率响应下降为零。所以,相关双采样电路还可以抑制 $1/f$ 噪声和其它的低频噪声^[19]。

4.5 本章小结

本章在研究了常用的 CCD 时序脉冲产生电路的设计方法后,结合 FPGA、A/D 的特点,采用了一种用 FPGA 与 A/D 共同产生时序脉冲的方法,即 FPGA 产生 CCD 的读出脉冲、快门脉冲和垂直驱动脉冲, A/D 产生水平驱动脉冲的方法。

然后,对 FPGA 设计驱动时序脉冲模块作了详细的分析,并对设计模块做了仿真与综合。

最后,介绍相关双采样技术的基本原理,并在 A/D 中实现了该技术,降低了 CCD 的噪声。

第五章 基于 1394 接口与 DCAM 协议的传输模块设计

本文设计的 CCD 数字相机采用 IEEE 1394a 接口,为了开发一款更加适合在工业视器视觉领域应用的 CCD 相机数字,相机与计算机之间的通信协议采用版本为 1.31 版的 DCAM 标准协议。本章将详细介绍基于 IEEE 1394a 接口与 DCAM 协议的传输模块的硬件设计。

5.1 传输模块硬件框图

本模块采用单片机和 FPGA 作为核心控制芯片,单片机主要用来实现设备的配置 ROM、DCAM 协议中寄存器的读写。FPGA 主要的功能是先把数字图像采集到外部的 SDRAM 中,然后再将数字图像以 DCAM 协议中规定的格式以等时传输方式传送到计算机。该 FPGA 和上一章中所说的 FPGA 是同一个芯片,也就是说,在整个 CCD 数字相机中,FPGA 除了实现本章所述的功能外,还要实现上一章所述的 CCD 驱动时序产生模块的功能。此外,采用 TI 公司的 1394 芯片组 TSB12LV32A (链路层)^[27]和 TSB41AB1 (物理层)^[28]来实现 IEEE 1394a 的接口协议。传输模块的硬件框图如图 5.1 所示。

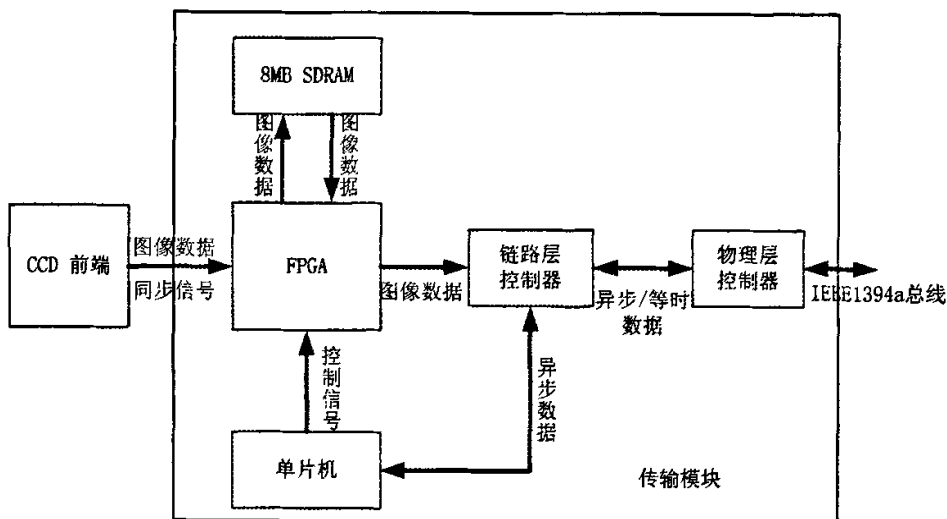


图 5.1 传输模块硬件框图

5.2 单片机程序设计

本模块中的单片机主要完成系统的控制功能,包括配置 ROM、异步读写等。相机作为主机的一個设备,所有控制命令都源于计算机,通过 IEEE 1394a 总线传到 CCD 相机。这些命令都以异步包的格式发送和接收。本节主要介绍单片机的程序设计。

5.2.1 配置寄存器

对于链路层芯片 TSB12LV32A,正常工作之前对它的寄存器进行配置是必不可少的。通过合理的配置芯片的寄存器,可以使它工作在需要的模式下。TSB12LV32A 寄存器的地址空间为 0x00—0x4C,每个单元为 32bit。该芯片提供两种模式对内部寄存器进行读取和写入,分别为 big endian 模式和 little endian 模式。读取和写入都是通过芯片的微控制器接口进行。本模块采用的是 8 位的 big endian 模式进行寄存器读写。

在单片机读写 TSB12LV32A 寄存器时,必须是以 quadlet (4 字节)为单位进行的。即,每次读或写都要以 quadlet 为单位进行操作,而单片机与 TSB12LV32A 的连接是采用 8 位的数据接口,所以,单片机每读写操作寄存器,都要作四次循环。

5.2.2 配置 ROM

要使 CCD 相机能够正常工作,首先要使计算机能正确识别到相机。而要使计算机能正确识别到相机,相机必须进行配置 ROM 工作。对于配置 ROM 的功能已经在第三章中作过介绍,下面介绍配置 ROM 信息的具体形式,并介绍单片机配置 ROM 的流程。

配置 ROM 共有两种格式^[20]:最小格式和一般格式。下面分别说明其格式。

1. 最小格式

图 5.2 说明了最小配置 ROM 格式,其中包括了一个 24 比特的 Vendor_ID (厂商标识符),此标识符由 IEEE 注册管理局进行分配。最先有效的 8 比特值为 01h,它表明了 ROM 格式是最小格式。紧跟在这个最小格式之后,可以由厂商定义附加的配置项,由于该配置项格式没有在规范中规定,所以只被厂商提供的软件所理解。

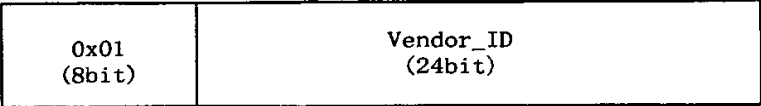


图 5.2 最小格式的配置 ROM 格式

2. 一般格式

图 5.3 说明了一般 ROM 格式，其中阴影部分是 CSR 体系结构所要求的配置项。

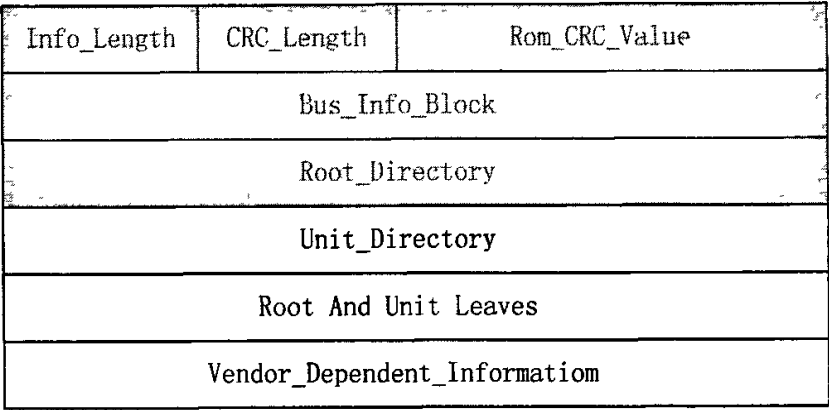


图 5.3 一般格式的配置 ROM 格式

1) 包头信息：ROM 格式中的第一个 quadlet，其中包括三个字段：

- Info_Length——以四字节为单指字了 Bus_Info_Block（总线信息块）的长度。
- CRC_length——这个字段定义了能被 Rom_CRC_Value 覆盖的最大长度（以四字节为单位）。
- CRC_Value——为 CRC_length 内数据提供了 16 位的循环冗余校验（CRC）值。

2) 总线信息块：用来指定与总线相关的性能。通用的模式如图 5.4 所示，其中单位为比特。其中由 Chip_ID_Hi 和 Chip_ID_Lo 构成了 40 位的芯片标识符（Chip_Id）。而 Node_Vendor_ID 和 Chip_ID 合并在一起构成了该节点的 64 比特的唯一标识符。这个 64 位的 ID 是确定设备是否存在的唯一方法，与物理 ID 的区别在于，总线复位之后，物理 ID 是可能发生改变，而这个设备标识 ID 是固定的，对于设备的检测和设备驱动的载入是必须的。

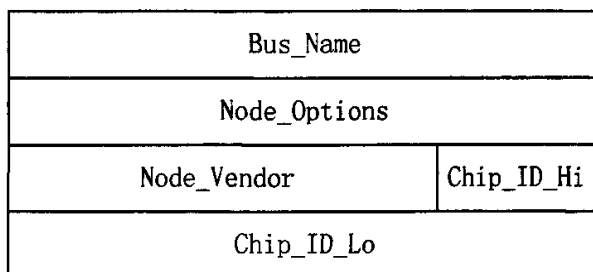


图 5.4 总线信息块的通用模式

3) 根目录：根目录位于总线信息块之后的固定位置，提供了用来识别驱动程序和诊断软件的一些值，同时也提供了指向其它目录和数据结构的可选指针。另外，根目录可以定义单元目录项，提供了用来控制单元的软件接口，也可以定义节点的描述信息等。

本设计中，配置 ROM 采用了一般格式。ROM 的信息结构如图 5.5 所示。

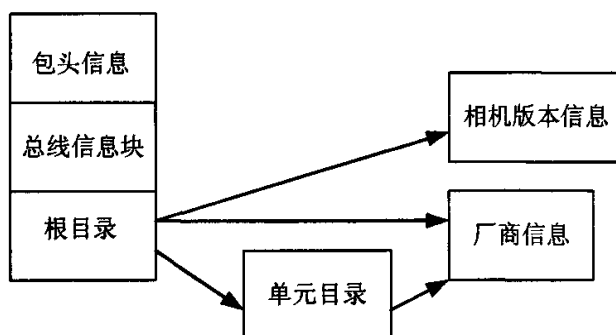


图 5.5 配置 ROM 信息结构图

当相机通过 IEEE 1394 接口连接到主机时，根据 IEEE 1394 的协议可知，此时的相机相当于 IEEE 1394 总线的一个节点，当总线上有节点增加时，IEEE 1394 总线会先后发生树标识过程和自标识过程。树标识过程用来标识根节点和所有连接节点的拓扑结构。自标识过程用来自节点本身做一个标识，在这个过程中，每个节点会得到一个唯一的物理标识。树标识和自标识完成之后，计算机会给节点发送 4 字节读请求包来读取节点的配置 ROM 信息，要使计算机能正确识别相机，相机必须以响应计算机发过来的 4 字节读请求包，响应时所用的数据包格式为 4 字节读响应包。在 TSB12LV32A 中，两种数据包格式如图 5.6 所示，阴影部分表示保留字段。表 5.1 和 5.2 介绍了包中一些字段所表示的意义：

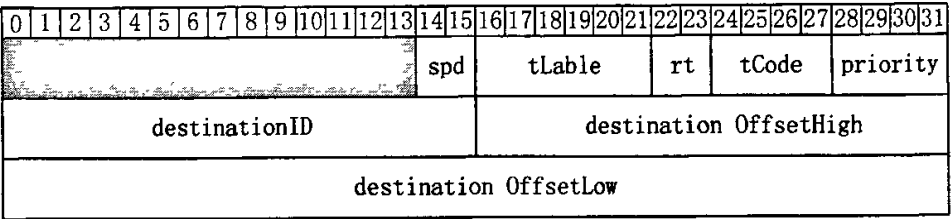


图 5.6 (a) 4 字节读请求包

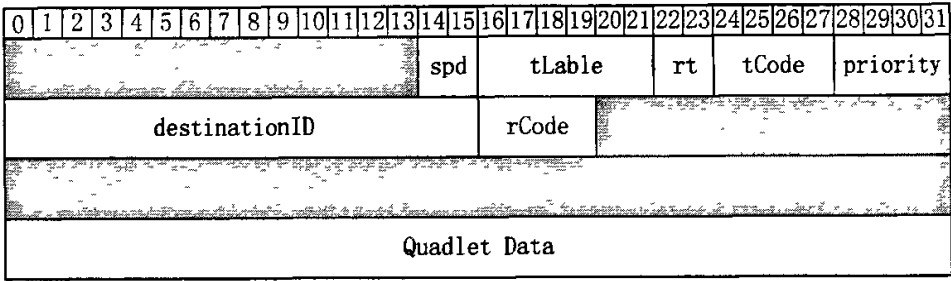


图 5.6 (b) 4 字节读响应包

表 5.1 包中字段的定义

spd	表明了所要发送包的速度大小。spd = 10b 时，速度为 400Mb/s
tLable	传输标签，是每个包所特有的，用于区分不同的数据包
rt	重传代码
tCode	包的传输代码，用于说明不同类型的包
rCode	响应代码
destinationID	16 位地址，包括 10 位总线地址和 6 位节点地址
quadlet Data	以 4 字节为单位的所要发送的数据

表 5.2 常用的 tCode 所代表的数据包类型

tCode	事务类型
0	4 字节写请求包
1	数据块写请求包
2	写响应包
4	4 字节读请求包
5	数据块读请求包
6	4 字节读响应包
7	数据块读响应包

从表中我们可以看出写响应包只有一种，这就说明两种写请求包对应的响应包是一样的，这是与读请求包不同的地方，同时我们可以根据 tLable 的同来区分不同的响应包所对应的请求包。

配置 ROM 的过程中，主机发过来的是 4 字节读请求包，所以数据包中的 tCode=4。也就是说，可以通过 tCode 的值来判断数据包的类型，从而作出相应的响应。根据以上描述，单片机设计配置 ROM 过程的程序流程图如图 5.7 所示。

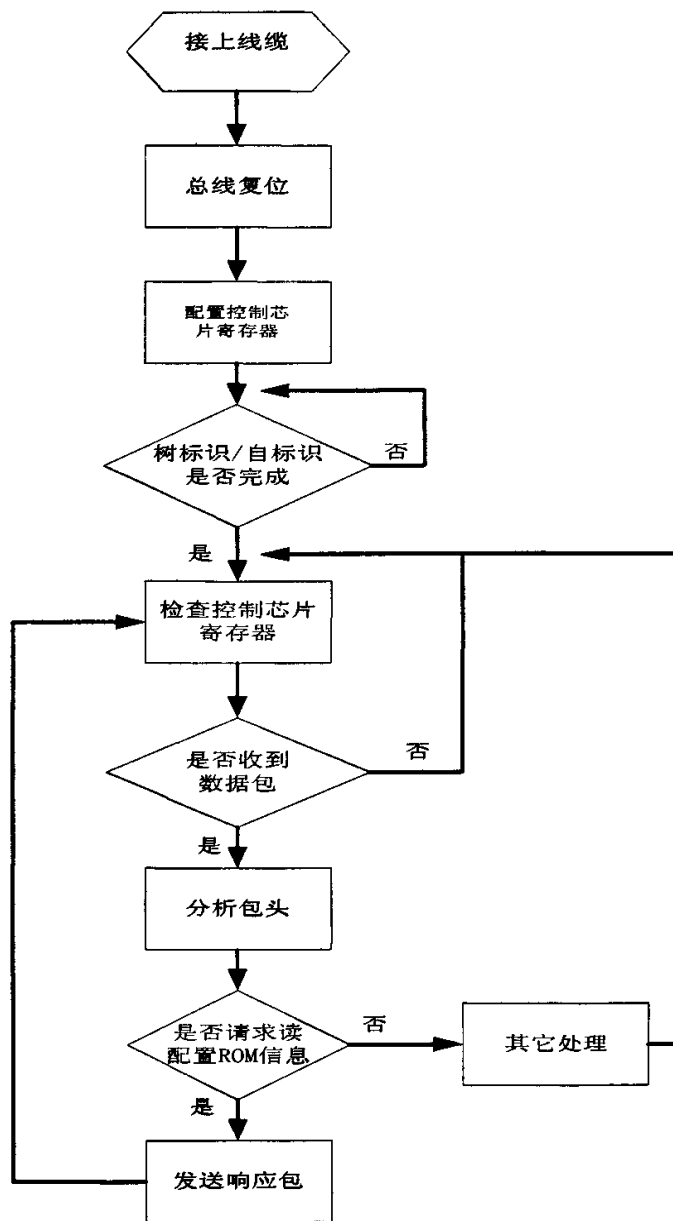


图 5.7 配置 ROM 程序设计流程图

当配置 ROM 操作成功后,主机就会发现有新的设备,并要求给设备装上驱动。如下图。



图 5.8 主机发现新的设备

5.2.3 DCAM 协议中的寄存器读写设计

在本文所设计的 CCD 相机中,所采用的协议是标准的 DCAM 协议。DCAM 协议规定,读取相机本身的特征、有关图像的各种参数设定、图像传输的开始或停止等操作都是用异步读写来完成的。而本文所设计的相机关于这些信息的交互都是用 4 字节读请求包和 4 字节写请求包来完成的。例如,如果主机要读取相机的亮度范围这个信息,就会向相机发一个 4 字节读请求包(包含要读信息的地址),来读取亮度范围信息寄存器的值。当单片收到这个 4 字节读请求包后,就根据包中给出的要读寄存器的地址,构造相应的 4 字节响应包。如果主机要改变相机的亮度,就会向相机相应的地址(亮度值寄存器的地址)发送一个 4 字节写请求包,包中的数据包含亮度的值,单片机收到这个 4 字节写请求包的时候,会根据包中的寄存器地址,改变相机的参数。4 字节读请求包与 4 字节读响应包的格式和上一小节所述的一样。4 字节写请求包与 4 字节写响应包的格式见图 5.8。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
														spd	tLable				rt		tCode				priority						
destinationID																destinationID OffsetHigh															
destinationID OffsetLow																															
Quadlet Data																															

图 5.8(a) 4 字节写请求包格式

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
														spd	tLable				rt	tCode				priority							
destinationID																rCode															

图 5.9(b) 写响应包格式

包中的字段所表示的意义和上一小节中的描述一致。阴影部分表示保留字段。当数据包是 4 字节写请求包时，tCode 的值为 0；构造的写响应包中，tCode 的值为 2。

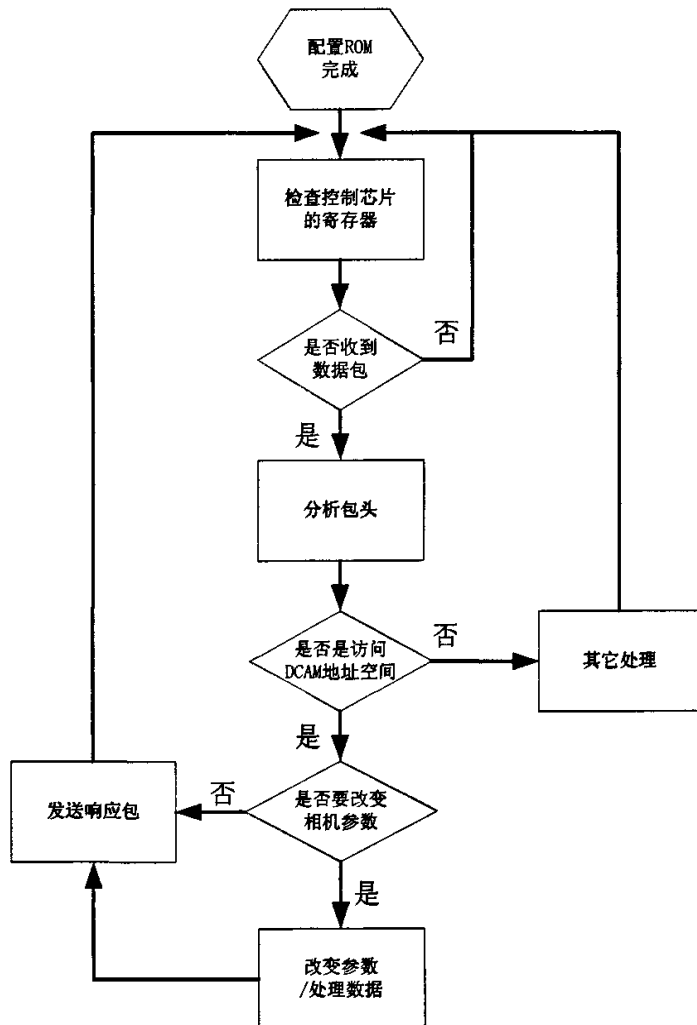


图 5.10 单片机实现 DCAM 寄存器读写控制流程图

DCAM 协议对于相机的各种特性,例如,亮度、增益、图像大小,图像格式等等都规定了相就在地址空间,也规定了访问这些地址空间的方法^[21]。于对兼容 DCAM 协议的相机来说,理论上用任何一款兼容 DCAM 协议的软件都能操作该相机。要本文所设计的相机当中,单片机除了上述的配置 ROM 外,最主要的工作是完成 DCAM 协议中规定的相机特性参数的读写控制。图 5.10 是单片机实现这个过程的流程图。

5.2 基于 FPGA 的等时传输设计

DCAM 协议中规定,图像数据必须用等时传输方式来传输到计算机的^[18]。本节介绍基于 FPGA 实现的等时传输设计。

5.2.1 DCAM 协议的等时传输

等时传输是一种保证带宽的传输方式。即每 125 μ s 内发送一个等时包。DCAM 协议中规定,作为兼容 DCAM 协议的相机,本身不具备等时资源管理器和循环管理器的功能,等时资源的申请和发起必须由接到相机的主机来完成。即在发起等时传输时,主机要根据当时的资源利用情况,申请等时带宽和等时信道,等获得带宽和信道成功后,才能发起等时传输。在芯片 TSB12LV32A 中,等包的格式如图 5-11 所。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
destinationID																tLable				rt		tCode				priority					
sourceID																destinationID OffsetHigh															
quadlet Data																															

图 5-11 等时包的数据格式

本文设计的 CCD 相机是黑白相机,采样的精度为 10 位,但传输到主机的是 10 位数据的高 8 位。对于 8 位黑白相机,DCAM 协议里规定的图像传输格式如下图所示:

$Y-(K+0)$	$Y-(K+1)$	$Y-(K+2)$	$Y-(K+3)$
$Y-(K+4)$	$Y-(K+5)$	$Y-(K+6)$	$Y-(K+7)$
.			
$Y-(K+Pn-8)$	$Y-(K+Pn-7)$	$Y-(K+Pn-6)$	$Y-(K+Pn-5)$
$Y-(K+Pn-4)$	$Y-(K+Pn-3)$	$Y-(K+Pn-2)$	$Y-(K+Pn-1)$

图 5.12 DCAM 协议规定的 8 位灰度图的传输格式

其中，Y 表示图像的灰度值；Pn 表示每个等时数据包包含的像素个数；K 表示一帧图像中的第 K 个等时数据包。

5.2.2 TSB12LV32A 等时接口的时序要求

在 TSB12LV32A 中，等时接口可以以 8 位模式或者 16 模式操作，对于 8 位模式，等时传输的最高速度只能到 200Mb/s，而对于 16 位模式等时传输的最高速度可以达到 400Mb/s。此外，对于这两种模式，在芯片发送等时数据包时，分别又有自动包头插入模式和手动包头插入模式两种操作。自动包头插入模式是指，在发送的过程中，FPGA 程序只需要按照时序把数据包的有效数据写到控制芯片的等时接口上，当数据包向物理层芯片发送的时候，由链路层芯片把包头插入到数据包中一起发送出去。而手动包头插入模式是指，FPGA 程序在发送数据时，每包数据都要加上等时数据包包头信息一起发出去。为了更好的控制和获得较高的速度，本设计中采用的是 16 位中的手动包头插入模式。下图是该模式的时序图^[27]。

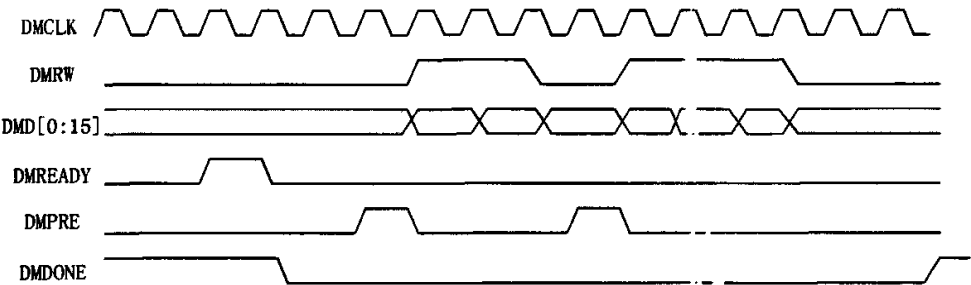


图 5.12 400MBs/s 等时发送的时序图

其中，DMCLK 是发送数据的同步时钟，频率为 24.576MHz；DMRW 为读写标识，当 DMRW 为高时，数据有效写入；DMD[0:15]为 16 位数据，其中第 0 位

是最高位；DMREADY 为准备发送一次等时数据包的脉冲，当它保持一个时钟宽度的高脉冲时，表示将要发送一个等时包；DMPRE 是用来提示处理器下一个脉冲起，数据有效。DMDONE 用来表示接口是否在传输等时数据包，为低电平的时候，表示接口在传输数据，为高电平的时候，表示接口在空闲，可以开始下一次传输。

5.2.3 FPGA 等时传输模块设计

根据图 5-12，每一个等时数据包的发送都是用 DMREADY 信号发起的。当图像数据准备好后，就可以用 DMREADY 作为申请传输图像数据的信号，当申请成功后，DMDONE 这根信号会变为低电平。在 DMDONE 信号低电平期间，完成一个等时包的传输。

FPGA 中采用一个状态机来控制 DMREADY 信号。该状态机的状态图如图 5-13 所示。

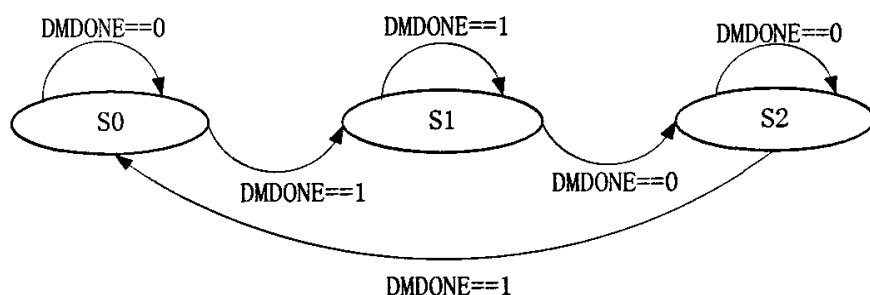


图 5-13 产生 DMREADY 信号的状态跳转图

这个状态在运行在相机要传输图像到主机的过程中，根据要传输的图像的大小和每个等时数据包每次传输的字节数据，决定该状态机的循环次数。下面介绍这个状态机每个状态完成的工作。

在状态 S0 中，判断 DMDONE 信号是否为高，若为高，则表示可以申请传输，下一个状态跳转到 S1，同时置高 DMREADY 信号以申请下一数据包传输；为低则表示上一个数据在占用接口，下一个状态跳转到 S0。

在状态 S1 中，判断 DMDONE 是否为低，不低则表示接口已申请到，可以传输数据，下一个状态跳转到 S2；为高则表示，上一状态对接口的申请还没有得到，下一个状态跳转到 S1。

在状态 S2 中，判断 DMDONE 是否为高，为高则表示上一数据包已经完成传输，可以进行下一包的传输申请，下一个状态跳转到 S0；为低则表示上一包的数据还没有完成传输，下一个状态跳转到 S2。

5.2.4 FPGA 程序设计结果

本设计中的 FPGA 程序是在 quartusII 7.2 平台下设计的,设计通过编译与综合,布线结果下载到目标板上能正常工作。等时传输模块占用了 190 个逻辑单元。

下图是该模块在 quartusII 7.2 综合出来的 RTL (寄存器传输级) 图。

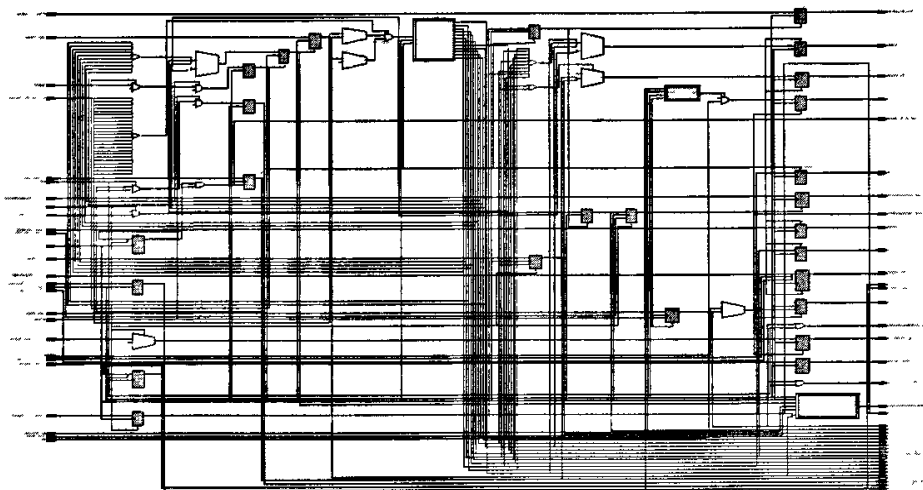


图 5.14 等时传输模块的综合结果

5.3 本章小结

本章介绍了数字图像传输模块的硬件原理框图,根据框图的功能划分,可以分为单片机程序设计与 FPGA 程序设计。并分别对单片机设计中的配置 ROM、异步读写操作、FPGA 设计中的产生 DMREADY 信号等设计作了详细的介绍。

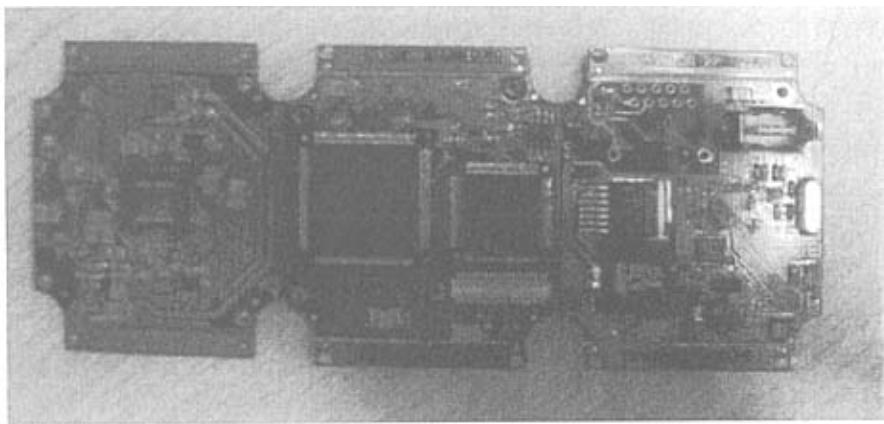
第六章 相机调试运行与结果分析

6.1 相机的调试与运行

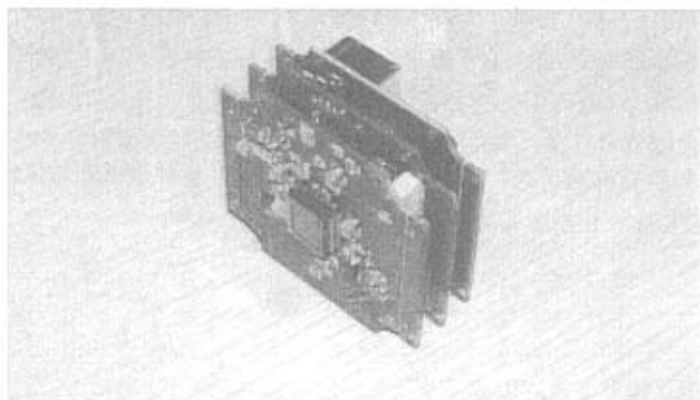
CCD 数字相机的调试包括三个部分：硬件调试、软件调试和总体调试。三个环节是相辅相成，互相交叉的。下面分别具体叙述。

6.1.1 硬件调试

硬件调试的任务是排除应用系统的硬件电路故障，包括设计性错误和工艺性故障。一般来说，硬件系统的板子制造好后，在系统调试中不易修改硬件结构，因此在设计时，应考虑有充分的余量。本硬件系统主要由三部分组成：CCD 前端电路、系统控制与传输电路、系统的供电电路。电路在设计时，根据系统具体的要求，查阅了很多相关的资料和相关的参考设计电路，确定了最终的电路原理图，然后在 Protel 软件中完成了原理图的绘制和 PCB 的布局与布线，制作了印刷电路板。为了节省相机的体积，电路板分三块，如图 6.1 所示。硬件焊接完后，对于不同的模块，分别进行了测试。首先是电源部分，对系统的每一个电源都经过严格的测试，以确保其电压范围与纹波大小都符合要求。然后通过一些简单的测试程序，分别测试各个模块是否能正常工作。比如，系统的单片机是否正常跳程序；FPGA 是否能正常下载程序等等。测试结果非常满意，都顺利通过了检测，可以完成设计功能。



(a) 电路印刷板效果图



(b) 三块板组装后的效果图

图 6.1 相机的电路印刷板

6.1.2 软件调试

在硬件调试检测完成以后，就可以根据设计的要求编写系统的功能模块程序了。本系统中，要编写的程序分为两块：FPGA 程序、单片机程序。由于本文设计的相机是支持标准 DCAM 协议的，因此，可以不需要编写 PC 机的软件程序，而采用其它公司开发的，兼容 DCAM 协议的软件。

FPGA 软件设计是在 Altera 公司的 QuartusII 7.2 中用 Verilog HDL 语言编写完成的。Verilog HDL 源程序可以直接用于仿真。仿真，是对电路设计的一种间接检测的方法，对电路设计的逻辑行为和运行功能进行仿真，可以获得许多对原设计进行排错、改进的信息。FPGA 中的程序是分模块编写的，每个模块除了完成自己的功能外，还要和其它模块进行通信，来确保每个模块工作的统一。例如，CCD 时序驱动脉冲产生模块，主要的功能是产生 CCD 的驱动脉冲时序，但这个模块也不是独立的，还要给图像采集模块提供同步控制信号。

单片机程序是用 C51 语言编写的，在编写单片机程序的过程中，充分利用了其串口通信的好处，把调试过程中想知道的信息都通过串口传到计算机进行分析，大大提高了调试的效率。

为了配合硬件程序的调试，采用了专门用于调试 1394 设备的调试软件 VHPD 1394 Demo Application 进行调试。该软件提供了 IEEE 1394a 的几乎所有的事务操作，如异步读写请求、等时传输等。下图是该软件的调试界面。

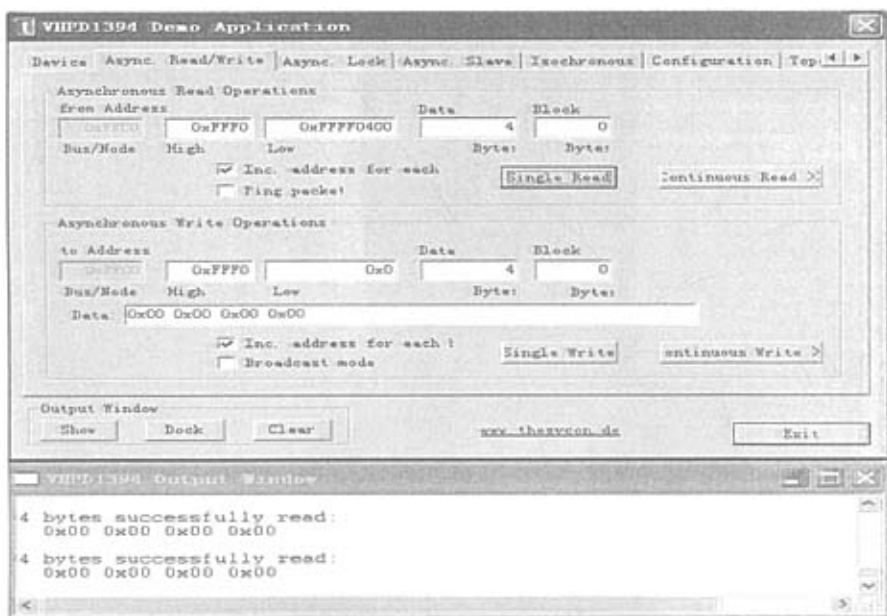


图 6.2 VHPD1394 Demo Application 的调试界面

6.1.3 总体调试

总体调试包括系统的初始化、软硬件的联合调试等。此时，系统所有的软硬件设计调试都已经完成，将系统整体组装到位，按照要求接上线缆，与相机其它相关的部件，如光源、镜头等都已经调好。然后对相机的兼容性、图像的质量、传输的速度等进行调试。由于之前已经进行了分块调试，解决了很多问题，整体调试已经穿插在软硬件调试中，因此，很顺利通过了整机调试。

6.2 运行结果分析

为了验证本文设计的 CCD 数字相机对于 DCAM 协议的兼容性，本文分别用了 NI 公司的软件包 labview 与 Cognex 公司的软件包 Vision Pro 操作相机。在这两个软件中，都能很好的操作相机。以下几幅图是用这两个软件件操作本文相机的效果图。

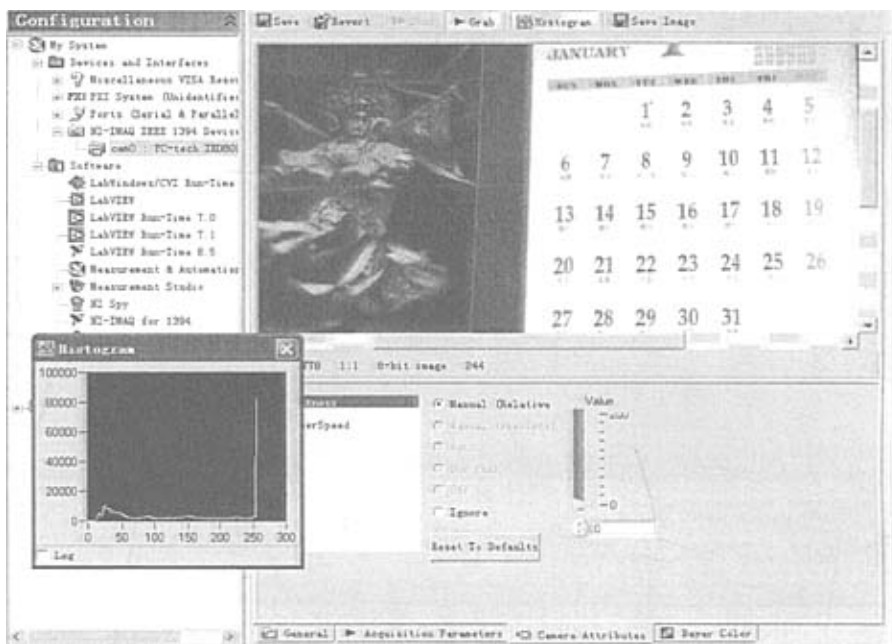


图 6.3 Labview 8.5 操作相机的效果图

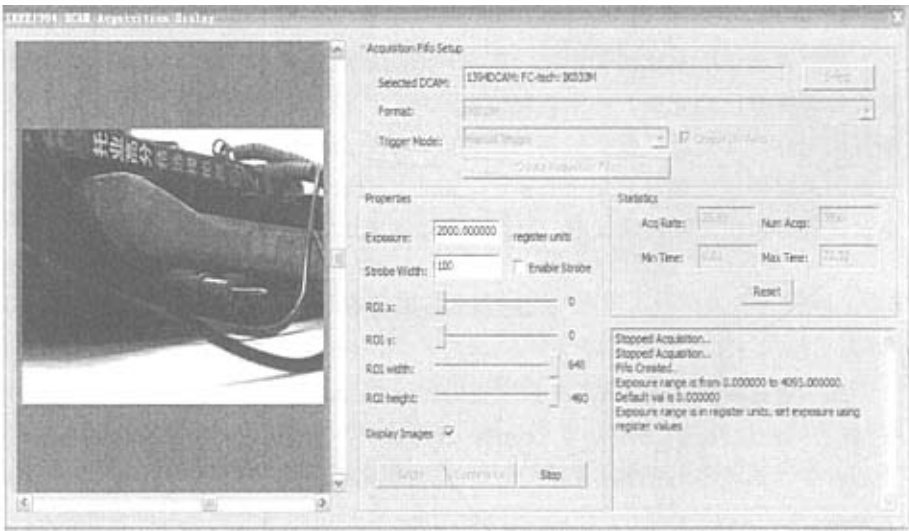


图 6.4 Vision Pro 操作相机的效果图

结果表明，本文设计的 CCD 数字相机能很好的兼容 DCAM 协议，并且采集到的图片的清晰度很好。图片的效果图如下图所示。



图 6.5 相机采集到的图像效果

本章小节

本章介绍了相机的调试过程，包括硬件调试、软件调试和总体调试。并对调试运行结果进行了分析，得到了较好的效果。

第七章 总结与展望

面向机器视觉的 CCD 数字相机的设计中采用了比较新的技术和适合工业应用的器件,并采用了标准的传输协议,使得相机的性能达到了较好的水平。设计中选用的 AD 内嵌了相关双采样(CDS),保证了图像信号的稳定,降低了图像的噪声。使用 FPGA 来实现 CCD 驱动时序准确、可靠、灵活,简化了系统结构,缩小了整机的体积。CCD 像素的输出时钟稳定工作在 30MHz 的频率下,在多种兼容 DCAM 协议的软件下能正常稳定的工作,并采集到的图像清晰度高。所有这些使本文设计的相机达到了设计的功能和性能,保证了 CCD 数字相机在大部分机器视觉场合上的稳定应用。

本文的 CCD 数字相机是专门为要求价格合理并能取代国外的兼容 DCAM 协议的相机而设计的。这款相机基本完全兼容 DCAM 协议,对于兼容 DCAM 的软件来说,几乎可以不做改动就可以应用该相机,大大提高了软件开发的效率,降低了维护费用。此外,这款相机采用 IEEE 1394a 接口,连接简单、传输速度高。距离也较远,并且符合工业标准,较之于国外的同类产品有着相当大的价格优势和功能灵活性。

随着机器视觉在工业上的应用越来越广泛,机器视觉系统对相机的要求也越来越高。更高分辨率、更好的传输速度、更远的传输距离的相机将不断的出现。目前本文所设计的相机最高的传输速度为 32Mbytes/s,加中继器时,最长的传输距离不超过 100 米。在速度和传输距离上还有更大的发展空间。

参考文献

- [1] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2000
- [2] Wesley E.Snyder and Hairong Qi. 机器视觉教程[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1-5
- [3] 段峰,王耀南,雷晓峰,吴立钊,谭文. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 自动化博览,2002,(3):59-62
- [4] 唐向阳,张勇,李红有,黄岗,杨松,关宏. 机器视觉关键技术的现状及应用展望[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2004,29(2)
- [5] 房超. 机器视觉及其在工业检测中的应用[J]. 北京:中国大恒(集团)有限公司北京图像视觉技术分公司
- [6] 金隼,洪海涛. 机器视觉检测在电子接插件制造工业中的应用[J]. 海交通大学
- [7] 席斌,钱峰. 机器视觉测量系统在工业在线检测中的应用[J]. 北京
- [8] 王桂琴,杨子彪等. 计算机视觉在农产品检测中的应用[J]. 中国农业科技导报,2003(3)
- [9] 吴雪. 计算机视觉技术在农产品和食品检测中的应用[J]. 粮油加工与食品机械,2002(3):38-39
- [10] 赵静等. 果实形状的计算机识别方法研究[J]. 农业工程学报,2001(2):165-167
- [11] 蔡健荣等. 利用计算机视觉的烟叶质量分选系统研究[J]. 农业工程学报,2000(5):118-112
- [12] 张建平. 计算机视觉在烟草行业中的研究及应用展望[J]. 烟草科技,1998(2):22-23
- [13] 许晓鸣,张卫东,王春波. 计算机视觉技术在智能交通系统的应用[J]. 测控技术,2005(5)
- [14] 王庆有,何在新,张以谟,付维乔. CCD 应用技术发展动向[J]. 北京:光电技术与信息,1994,02: 2-6
- [15] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社,2000
- [16] CCD 知识介绍. <http://china-vision.com>
- [17] [日] 米本和也. CCD/CMOS 图像传感器基础与应用[M]. 北京:科学出版社,2006
- [18] 王庆有. 图像传感器应用技术[M]. 北京:电子工业出版社,2003
- [19] 李刚,周彦平. CCD 图像传感器件的输出噪声及其处理电路研究[J]. 电子质量检测与制作卷,2007(4):25-28

-
- [20]张大朴,王晓,张大为. IEEE 1394 协议及接口设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社 2004
- [21]1394 Trade Association. TA Document 2003017 IIDC 1394-based Digital Camera Specification Ver.1.31. 2004
- [22]杜琳琳,马云. 线阵 CCD 测径系统电路设计[J].电子技术应用,2005.31(11):50-53
- [23]Sony Corporation. ICX204AL 数据手册. Sony Corporation,Datasheet 2005
- [24]Altera Corporation. Cyclone 系列数据手册. Altera Corporation,Datasheet,2005
- [25]Sony Corporation. CXD1267AN 数据手册. Sony Corporation,Datasheet,2005
- [26]Analog Devices Corporation. AD9849 技术手册. Analog Devices Corporation, Datasheet,2003
- [27]TI Corporation. TSB12LV32A 数据手册. TI Corporation ,Datasheet,2003
- [28]TI Corporation. TSB41AB1 数据手册. TI Corporation ,Datasheet,2000

致谢

值此论文完成之际，谨向所有给予我关心与帮助的人致以衷心的感谢！

首先要感谢我的导师向健勇副教授，在我两年半的硕士学习期间给了我很多提高能力的机会，这是我论文得以顺利完成的前提。其次要特别感谢袁胜春老师平时的悉心指导和帮助，从论文的选题、科研工作的展开、设计方法的完善都给予了关注与建议，反复审核论文，提出了许多宝贵的意见。

赵小明老师、王新怀同学把我带入了电子技术的世界，我要感谢你们。何珊、宗靖国、张献祖、赵星梅、樊光辉等等，在我们一起合作的日子里，快乐过、痛苦过，我会记住你们。周晶晶、冯剑、孙国峰、梁伟、吕小平等等，能和你们在一起学习生活，我感到无比的快乐。

最后，以此文献给我远方的父母，感谢二十年来他们对我付出的一切，养育之恩无以回报，唯有感恩，我会带着他们的爱和期望一直前进！

作者在读期间研究成果

一、论文发表

1. 王伙荣、向健勇、周晶晶,《基于 FPGA 的图像坏点修正算法的硬件实现》,载于《电子科技》2008 年第 2 期

二、参加的科研项目

1. 红外末制导跟踪器, 2005 年至 2006 年

作者: [王伙荣](#)
学位授予单位: [西安电子科技大学](#)

相似文献(10条)

1. 学位论文 [姚峰林](#) [机器视觉和CCD在铁轨对中性检测中的应用研究](#) 2005

机器视觉是近年发展起来的一个新兴学科, 以它为基础的CCD应用技术近年来由于其广泛应用而受到学术界的青睐。基于CCD的机器视觉系统以组成简单和使用方便, 近年来在非接触测量系统中应用更为广泛。作为机器人技术不可或缺的部分机器视觉和CCD也就成了我们研究的重点。

本文以铁轨对中性检测为目的, 从介绍机器视觉相关的光学与镜头知识为课题的开端, 着重介绍了机器视觉中的光源, 照明以及镜头问题。作为近年来机器视觉中的成像的最主要的器件, CCD近年来也有了突飞猛进的发展, 本课题的主要实验器件也是CCD, 所以它的工作原理和器件特性也成为本课题研究的重点之一。基于我们实验室现有的设备, 我们做了基于灰度的图像匹配, 基于轮廓的图像匹配, 以及基于聚类法的彩色图像分割法在铁轨对中性检测中的应用。并对它们在实际应用中的优劣进行了研究与分析, 而且取得了一些具有一定意义的结论, 为我们今后的工作指明了方向。

作为无接触测量的重要部分的标定技术以及测量, 误差的探讨也成为本课题的重要研究问题。我们从理论上出发结合实际应用, 分析了测量系统中的误差来源和它们对测量的影响, 并以齐次变换为基础, 得到了图像空间与物空间的坐标变换方程。这对实际的应用标定方法具有较强的理论指导意义。

运用机器视觉和CCD对铁轨基桩的对中性检测, 在国内目前还是首次提出这种概念和方法, 虽然本课题的全部工作还需要进一步完善, 但是这就为我们下一步的工作留下广阔的发展空间与契机。

2. 期刊论文 [宋培华](#), [牛玉洲](#), [高敦岳](#) [在线检测中机器视觉的CCD方案](#) -[计算机工程](#)2001, 27 (11)

详细介绍了CCD摄像机的工作原理及其在动态图象采集方面存在的问题, 并给出了解决方案。

3. 学位论文 [徐彧](#) [机器视觉中CCD自然图像的降噪和分割研究](#) 2002

该文结合项目: 视觉坐标测量机和三维视觉坐标测量机的优化模式, 在低级视觉和中层视觉的层次上进行CCD自然图像降噪和分割方面的理论性研究以及机器视觉在测量领域的应用性研究。集中体现在以下几个方面: 分析CCD自然图像的随机噪声; 建立影响立体匹配精度的随机噪声模型; 设计降噪滤波算法; 建立基于尺度刻度图像的非线性散射方程, 并应用于自然图像的多尺度分割; 设计确定最佳分割尺度的算法; 设计主动追踪的自然图像分割算法。具体在以下几个方面的工作中取得了进展及创新: 1、通过试验的方法, 将CCD自然图像的随机噪声分成测量噪声、照度噪声和视差噪声三类, 进行定性和定量的分析。并针对影响立体匹配精度的随机噪声建立一种简化的模型, 使噪声的滤除有了理论依据。根据所建立的噪声模型, 确定了加权Winer滤波器的高斯窗形状。2、利用反馈的方式, 建立四种基于尺度刻度图像的非线性散射方程, 并分别给出它们的物理解释, 仿真结果与理论分析取得一致。将非线性正散射方程应用于自然图像的多尺度分割, 它能够消除图像的细节成分, 而保持主体成分。3、设计基于信息论和稀疏性的两种确定最佳分割尺度的算法, 它们都能使分割后的CCD自然图像达到伪平衡状态。基于稀疏性的方法对细节成分较少的图像选择了较小的分割尺度, 因此具有更好的分割效果。4、利用压缩灰度值范围的方法形成主动追踪图像, 从原理上模拟生物视觉系统利用眼球移动追踪目标的工作。建立的主动追踪分割的神经网络模型说明它符合视觉皮层信息传递集成的多级同步集成假说。5、将CCD自然图像降噪和分割方面的研究成果应用于视觉检测, 进行两个视觉检测系统的试验: (1) 交通事故现场勘查系统; (2) 火炮自动检靶系统。

4. 学位论文 [江川贵](#) [基于CCD和CMOS图像传感技术的机器视觉系统设计与研究](#) 2005

本文首先介绍了机器视觉技术的研究领域, 以及这种技术在各个领域日益广泛的应用和发展情况。并结合现代工业生产和市场特点, 指出构架基于CCD和CMOS图像传感器的机器视觉系统是很有意义的; 论文接着介绍了CCD和CMOS图像传感器的工作原理和应用情况, 并对二者的综合性能做了全面的比较。

本论文的创新点在CCD摄像头的设计, 它仅用一片小型单片机巧妙的将CCD驱动、信号处理、数据采集和数据输出融为一体, 而独特的输出接口给了主控制器最需要的数据格式, 真正的做到了实时检测和控制。

5. 期刊论文 [刘松林](#), [哈长亮](#), [郝向阳](#), [西勤](#), [LIU Song-lin](#), [HA Chang-liang](#), [HAO Xiang-yang](#), [XI Qin](#) [基于机器视觉的线阵CCD相机成像几何模型](#) -[测绘科学技术学报](#)2006, 23 (5)

以研究机器视觉技术在运动的流线条类型的工业品在线质量检测领域的应用为基础, 重点地研究线阵CCD相机结构、成像原理、成像方式及外部条件, 分析了CCD相机成像误差来源及相关解决方法, 探讨了线阵CCD相机在质量检测领域的成像模型的具体应用模式, 并结合具体的实例内容进行了验证, 证明了线阵CCD相机的成像几何模型在这一领域的应用性和适用性, 为线阵CCD相机在机器视觉系统中大规模的应用提供了可靠的借鉴意义。

6. 学位论文 [陈勇](#) [基于机器视觉的表面缺陷检测系统的算法研究及软件设计](#) 2006

为了不断提高产品质量和生产效率, 金属工件表面缺陷在线自动检测技术在生产过程中显得日益重要。本文针对金属工件表面的多种缺陷, 设计了一套能够实现金属工件表面缺陷进行实时在线、无损伤的自动检测系统。

该系统采用黑白面阵CCD和多通道图像采集卡作为图像采集部分, 提高了检测系统的速度并降低了对CCD的性能要求, 使系统在现有的条件下比较容易实现实时在线检测; 采用自动选取图像分割阈值, 根据实际应用的阈值把工件信息从图像中提取出来并扫描工件在图像中的位置、尺寸信息, 实现了系统的自动测量;

根据扫描得到的工件信息去除掉工件边缘的光圈, 利用自动选取的阈值对金属工件表面的图像进行二值化分割, 从而实现各种缺陷的自动提取, 为缺陷类型的识别打下基础。

系统以计算机视觉理论为检测原理, 在现有技术基础上, 借助误差理论, 以模块化为设计思想, 通过了大量的实验和图像算法仿真, 以现有的图像处理理论为基础, 设计了适合本产品表面缺陷检测的算法, 具体工作如下:

1、研究图像的采集与计算机内部图像存储方法, 为本系统分配计算机内存, 将图像采集卡采集的两路面阵CCD数据保存到计算机内存, 并去掉图像噪声为下一步图像处理做准备。

2、设计了图像分割所需要的不同阈值的获取算法, 利用自动选取的阈值对工件图像进行二值化分割, 实现了各种缺陷的自动化提取。

3、根据表面缺陷特点, 对图像平滑、边缘增强、区域分割和膨胀细化等有效的处理算法进行了研究, 设计了适合本系统的检测算法, 并成功在Matlab6. 5中进行算法仿真。

4、进行软件编程, 将在Matlab6. 5中经过成功仿真的算法移植到VC6. 0编程环境中, 不断完善系统的软件部分。

7. 期刊论文 [黄振宇](#), [卢德润](#), [方强](#), [HUANG Zhen-yu](#), [LU De-run](#), [FANG Qiang](#) [基于机器视觉的前照灯仪校准器检定装置](#) -[中国测试](#)2009, 35 (5)

目前对汽车前照灯仪校准器的人工检定方法存在着检定效率低、测量不确定度大的缺点, 而利用机器视觉技术改造后的检定装置则存在着CCD芯片本身无法进行量值溯源的原理缺陷。建立了一套结合机器视觉技术与传统检定方法的检定装置, 根据机器视觉分析得到校准器光型特征, 利用转台测量光轴角参数及照度计测量发光强度参数, 可以实现高准确度、高效率的检定。实验结果表明, 该装置的性能完全满足检定前照灯仪校准器的要求。

8. 学位论文 [营伟](#) [基于机器视觉的工业钢球检测技术的研究与应用](#) 2008

随着信息时代的到来, 计算机的普及和应用给各行各业带来了极其深远的影响。在工业控制领域, 现代工业技术的快速发展为工业检测提供了众多的检测技术与手段, 比起传统的测量技术具有极大的优越性, 其中, 利用机器视觉技术进行检测就是一个很好的例子。这有着极其广阔的发展前景。

本文通过工业摄影CCD测量方法与LabVIEW IMAQ系统结合进行工业钢球表面缺陷检测研究与应用, 在理论上与实践上均具有较大的意义与推广价值。

本文主要研究的对象是一种面向轴承企业应用基于机器视觉的钢球表面缺陷检测系统。该系统以NI公司的LABVIEW8.2以及开发包VisionBuilderAI、VisionBuilder Assistant为软件开发环境,采用UNIQ工业自动化摄像机、NI公司PCI-1394数据采集卡、定制的LED光源、步进电机、传送带、计算机等组成视觉检测系统的硬件平台。

本文的工作重点在软件的系统设计并利用计算机图像技术采集钢球表面图像信号,提出一种用灰度值梯度搜索法对图像信号进行缺陷识别分析的方法,该方法具有误差率低,系统抗干扰性强的优点。

以机器视觉为核心的钢球自动检测系统由给料系统、展开系统、光学成像系统、识别控制系统和分选出料系统五个子系统组成。给料系统定时定量规律地将钢球供应展开系统。展开系统在指定的时间段内充分展开给料系统提供的钢球,保证钢球表面的所有缺陷充分暴露出来。识别控制系统对展开系统中的钢球进行图像采集,并对采集到的数据进行识别,判断钢球表面缺陷状况,并将识别结果通知分选系统。分选系统根据识别结果对钢球进行分类统计,最后由出料系统输出。识别控制系统是整个系统的核心部分,其主要模块为钢球图像的采集与处理,识别与匹配、执行检测。

本文克服了以前系统误差率高,系统抗干扰性差的缺点,增强了系统的稳定性和可靠性,对于实际工业环境中的应用具有和好的前景。

9. 期刊论文 [徐杰. XU Jie 机器视觉中摄像机标定Tsai两步法的分析与改进 -计算机工程与科学2010, 32\(4\)](#)

为提高摄像机标定精度,本文在分析Tsai两步标定法优缺点的基础上,提出了一种新的标定方法.该方法针对面阵CCD摄像机,建立新的综合畸变模型,并运用两步迭代法逐步逼近精确解,取消了Tsai两步法中对摄像机镜头只有径向畸变的限定,可用于多种复杂的镜头畸变情况.改进的方法只使用一平面标定板和单幅图像,操作简便,相比Tsai两步法中无法用平面标定板直接求解全部标定参数而言是一个突破.实验结果表明,改进方法速度快且精度较高,可广泛应用于机器视觉研究、工业三维测量等多个领域的摄像机标定.

10. 期刊论文 [陈丽君. 赵凤芹. CHEN Li-jun. ZHAO Feng-qin 基于机器视觉的变量机械系统的关键技术 -农机化研究2005, "" \(6\)](#)

简要介绍了应用于变量机械的GPS技术与机器视觉技术两种方式的优缺点;重点阐述了光源照明、动态图像采集(CCD摄像机、图像采集卡)、图像处理 and 快速准确的执行机构等基于机器视觉的变量机械的关键技术的发展现状;最后扼要介绍了机器视觉在田间导航、农田喷洒等变量机械中的应用及展望.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1246660.aspx

授权使用: 陕西理工学院(sxlgyx), 授权号: 8471d29a-6f62-496a-bdea-9df201188fd3

下载时间: 2010年9月15日