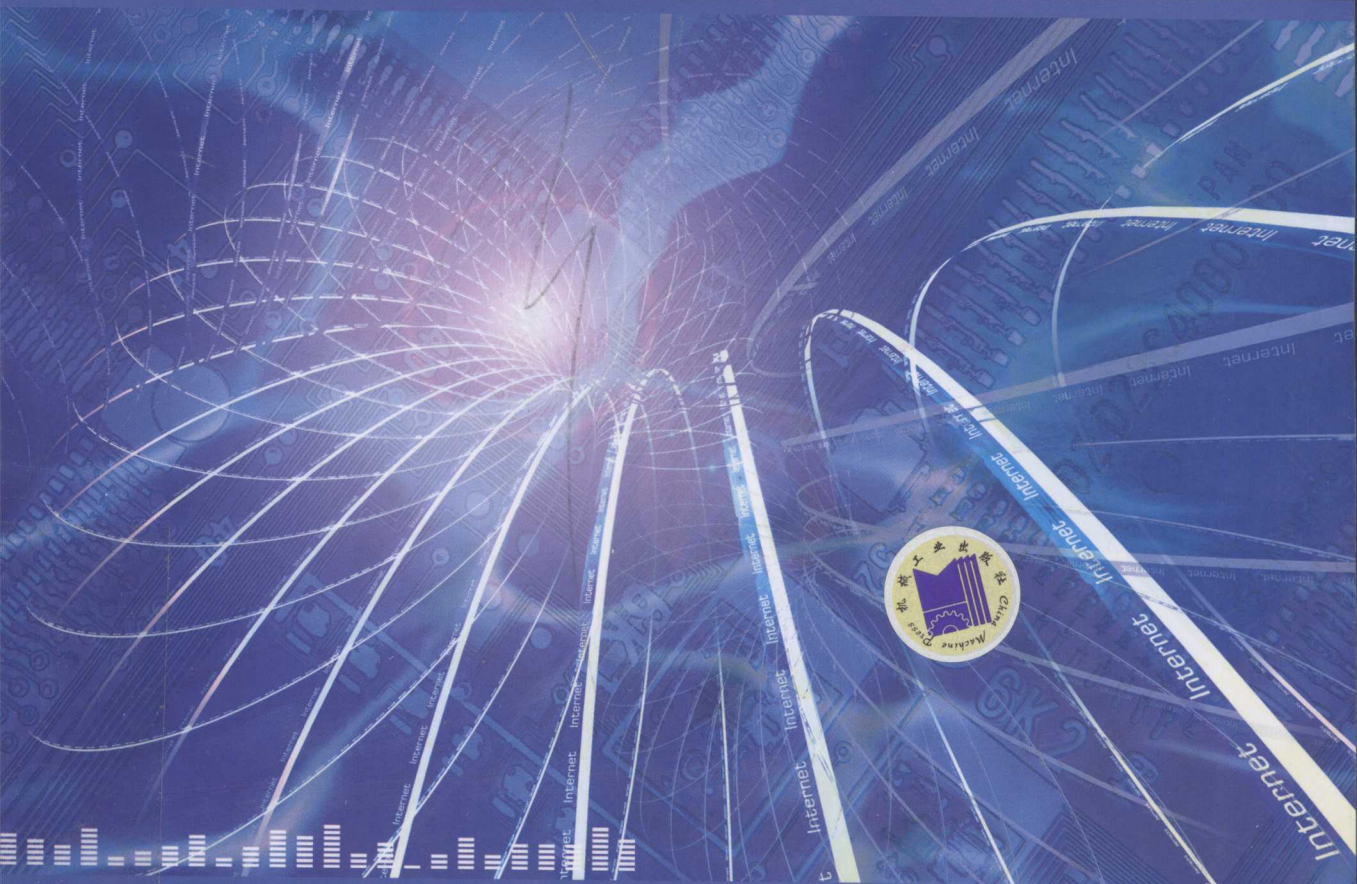


嵌入式图像检测技术

刘铁根 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TP391.41/1879

2008

嵌入式图像检测技术

刘铁根 主编

机械工业出版社

在这个信息化时代,作为信息最佳代表形式之一的图像及其处理已经逐步成为众多学科的融合点,应用于生产实际,为人类带来了巨大的经济和社会效益。随着科学技术的迅猛发展,基于单片机、ARM、DSP 等的嵌入式技术已日臻成熟。

本书尝试介绍嵌入式技术和图像检测技术相结合的新技术,力图给读者展现嵌入式图像检测技术最新应用实例。本书共分 8 章,主要包括:对嵌入式图像检测技术基本概念和背景的讲解,系统重要组成结构的原理和选择器件的方式及性能的介绍;从嵌入式图像检测系统的各个组成部分出发,介绍嵌入式系统硬件原理及组成、实时操作系统、基于嵌入式技术的图像检测处理算法基本原理;最后以实例的方式描述了从需求分析、系统设计到软硬件实现的整个嵌入式图像检测过程。

本书内容新颖、全面,论述翔实,深入浅出,可读性强,理论与实践相结合,可供从事嵌入式技术和图像检测技术的各类工程技术人员在工作学习和参考,也可作为光电技术专业师生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式图像检测技术/刘铁根主编. —北京:机械工业出版社, 2008.2
ISBN 978-7-111-23222-3

I. 嵌… II. 刘… III. 图像处理 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001321 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王保家 责任校对:陈延翔

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京振兴源印务有限公司印刷厂印刷

2008 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·524 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-23222-3

定价: 33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

在 21 世纪最初的 10 年中, 嵌入式系统的市场的发展速度可谓迅猛, 全球市场的需求量有比 PC 市场大数十倍甚至百倍的商机, 在制造业、过程控制、通信、仪器仪表、汽车、消费类产品等方面均有广泛的应用。在市场的推动下, 嵌入式技术也在不断地更新发展着。微处理器、大规模集成电路、软件技术和各种具体的行业应用技术共同组成了嵌入式系统。嵌入式系统与图像处理技术相结合形成的嵌入式图像检测技术, 已广泛应用于人们的社会生活、生产中, 成为一个研究和应用热点。

本书是在作者近年来从事嵌入式图像检测技术研究、开发基础上, 吸收了国内外同仁相关研究成果编写而成。本书从嵌入式系统产生、发展的背景出发, 系统地讲解了各个组成部分和相关知识。第 1 章介绍了嵌入式系统的基本概念、结构和各种主流的图像检测技术, 使读者对嵌入式图像检测技术有较全面的了解。第 2 章概述了嵌入式图像检测系统中的重要部分——光电传感器, 其中重点介绍了 CMOS、CCD 等主要的光电传感器。第 3 章从软硬件方面对嵌入式技术进行了综述, 对现状进行了分析, 并对其未来进行了展望。第 4、5 章介绍了系统的核心——处理器, 详细地讲解了 DSP 和 ARM 技术的相关知识。第 6 章对嵌入式系统进行了整合, 将系统作为一个整体介绍了它的功用和测评手段。第 7、8 章对嵌入式系统在图像检测方面的应用做了详尽的说明, 并结合本研究室近年来的成果和积累的经验, 以图像处理的算法作为基础, 分别介绍了嵌入式图像检测技术在印鉴防伪、交通视频检测和生物特征识别上的应用。

本书由刘铁根教授主持编写, 王铁城、李秀艳、朱均超、邓集杰、杨永、王佳佳、张芸、李操、柳森、周苏晋、宣海燕、李宝强、杨莉珺、周友伟、王双、梁燕、刘立、王云新等参与了编写。在编写过程中得到了机械工业出版社、天津大学防伪工程研究中心和天津大学光电检测仪器与技术研究室的大力帮助, 在此表示衷心感谢。

虽然, 在编写中我们努力使得本书所有的内容都是最新的和实用的, 并且由浅入深地介绍给大家, 但是, 由于技术的迅速发展, 嵌入式图像检测技术也会有更新和发展, 所以希望读者在阅读完此书后, 还能沿着书中所引出的方向继续学习。当然我们也会一直努力, 将更好的书再呈献给大家。

作 者

目 录

前言

第1章 嵌入式图像检测技术概况 1

- 1.1 背景概述 1
- 1.2 图像传感检测技术 4
 - 1.2.1 电荷耦合器件 4
 - 1.2.2 电荷注入器件 5
 - 1.2.3 MOS 图像传感器 5
- 1.3 图像扫描检测技术 7
 - 1.3.1 激光光切法测量不规则堆料的截面面积 8
 - 1.3.2 油罐内底板表面腐蚀检测技术 11
 - 1.3.3 一种基于多特征扫描的车牌快速定位方法 13
- 1.4 光信息处理检测技术 16
 - 1.4.1 基本变换 17
 - 1.4.2 光相关技术 18
 - 1.4.3 全息术 19
- 1.5 嵌入式系统 25
 - 1.5.1 嵌入式系统结构 25
 - 1.5.2 嵌入式系统平台开发 29
 - 1.5.3 嵌入式操作系统 36
- 本章参考文献 43

第2章 光电传感器 45

- 2.1 概述 45
 - 2.1.1 传感器 45
 - 2.1.2 光电效应 46
 - 2.1.3 光电传感器概述 47
- 2.2 光电传感器分类 48
 - 2.2.1 光电传感器几种常用分类 48
 - 2.2.2 CCD 与 CMOS 光电传感器及其性能比较 49
- 2.3 光电传感器的应用 62
 - 2.3.1 光电传感器的使用方法 62
 - 2.3.2 光电传感器应用举例 65
 - 2.3.3 CCD 和 CMOS 光电传感器的应用 68
- 2.4 光电传感器的研究现状与发展 73
 - 2.4.1 国内外光电传感器的研究现状 73

- 2.4.2 光电传感器的发展方向 74

本章参考文献 77

第3章 嵌入式技术 78

- 3.1 嵌入式技术介绍 78
 - 3.1.1 嵌入式技术的概念 78
 - 3.1.2 嵌入式技术的硬件基础 82
 - 3.1.3 嵌入式技术的软件基础 90
- 3.2 嵌入式技术现状 94
 - 3.2.1 嵌入式技术的硬件现状 94
 - 3.2.2 嵌入式技术的软件现状 95
- 3.3 嵌入式技术的发展 98
- 3.4 嵌入式系统的应用实例 102
- 本章参考文献 103

第4章 DSP 技术 104

- 4.1 DSP 介绍 104
- 4.2 DSP 的特性 107
 - 4.2.1 DSP 芯片的特点 107
 - 4.2.2 DSP 芯片的分类及选用原则 110
- 4.3 DSP 的发展动向 112
 - 4.3.1 DSP 的发展 112
 - 4.3.2 DSP 的应用领域 123
 - 4.3.3 DSP 的开发 125
- 4.4 几种典型的 DSP 芯片 126
 - 4.4.1 TMS320C6000TM 系列 DSP 芯片简介 127
 - 4.4.2 TMS320C6000TM 系列 DSP 芯片典型应用 129
 - 4.4.3 TMS320C5000TM 系列 DSP 芯片简介 130
 - 4.4.4 TMS320C5000TM 系列 DSP 芯片典型应用 131
- 本章参考文献 135

第5章 ARM 技术 137

- 5.1 ARM 介绍 137
 - 5.1.1 ARM 的定义 137
 - 5.1.2 ARM 的发展史 138
 - 5.1.3 ARM 体系结构的发展 139

5.1.4 ARM 产品介绍	140	6.3.10 在线仿真器调试	222
5.1.5 ARM 芯片选择的一般原则	141	6.3.11 其他调试方法	223
5.2 ARM 的特性和应用领域	145	6.4 嵌入式系统评测手段	224
5.2.1 ARM 的特点	145	本章参考文献	227
5.2.2 ARM 与 DSP、FPGA 的区别	145	第7章 图像处理及处理算法	229
5.2.3 ARM 的应用领域	146	7.1 图像处理的基本知识	229
5.3 ARM 微处理器简介	147	7.1.1 数字图像处理的概念	229
5.3.1 ARM 微处理器系列	147	7.1.2 图像的基本概念	230
5.3.2 ARM 微处理器选型	147	7.1.3 图像的数字化	231
5.3.3 ARM7 微处理器系列	147	7.1.4 图像变换	231
5.3.4 ARM9 微处理器系列	148	7.2 图像处理的基本方法	238
5.3.5 ARM9E 微处理器系列	149	7.2.1 现代图像处理技术的发展趋势	238
5.3.6 ARM10E 微处理器系列	149	7.2.2 图像增强	239
5.3.7 ARM11 微处理器系列	150	7.2.3 图像复原	249
5.3.8 SecurCore 微处理器系列	151	7.2.4 图像压缩	253
5.3.9 基于 ARM 的 Intel 微处理器系列	152	7.3 图像检测的实现算法	256
5.4 ARM 的体系结构	152	7.3.1 图像滤波	256
5.4.1 ARM 的处理器模式	152	7.3.2 图像分割	262
5.4.2 ARM 的寄存器介绍	153	7.3.3 数学形态学	274
5.4.3 ARM 指令的寻址方式	157	7.3.4 利用傅里叶变换提取图像纹理特征	274
5.4.4 ARM 的指令集	159	7.3.5 基于小波变换的纹理分割	275
5.4.5 ARM 中的伪指令	175	7.3.6 图像处理算法的效果评价标准	276
5.5 ARM 的开发	185	7.4 小结	277
5.6 小结	189	本章参考文献	277
本章参考文献	190	第8章 嵌入式图像检测技术的典型应用	278
第6章 嵌入式系统构成及其评测手段	191	8.1 嵌入式图像检测技术在印鉴防伪方面的应用	278
6.1 嵌入式系统结构概述	191	8.1.1 印鉴自动识别系统的仪器研制	279
6.1.1 嵌入式系统的硬件构成	192	8.1.2 印鉴自动识别系统的软件处理过程	283
6.1.2 嵌入式系统设计要点	202	8.2 嵌入式图像检测技术在智能交通系统中的应用	307
6.2 图像采集及信号处理	205	8.2.1 交通视频检测卡的硬件设计	308
6.2.1 图像采集	205	8.2.2 交通视频检测的软件算法	312
6.2.2 图像信号处理	207	8.3 嵌入式图像检测技术在生物特征识别中的应用	314
6.3 嵌入式系统调试软件	213	8.3.1 虹膜特征识别系统原理	315
6.3.1 常见调试方法	213	8.3.2 嵌入式虹膜识别系统硬件设计	316
6.3.2 内存调试	213	8.3.3 虹膜识别技术的关键算法实现	318
6.3.3 程序调试	214	本章参考文献	331
6.3.4 嵌入式系统调试软件概述	216		
6.3.5 基于主机调试	216		
6.3.6 软件仿真器调试	217		
6.3.7 远程调试	217		
6.3.8 边界扫描技术调试	220		
6.3.9 ROM 仿真器调试	222		

第1章 嵌入式图像检测技术概况

1.1 背景概述

嵌入式系统是当今非常热门的研究领域。在 PC 市场已趋于稳定的今天,嵌入式系统市场的发展速度却正在加快。由于嵌入式系统所依托的软硬件技术得到了快速发展,这几年嵌入式系统自身获得了快速发展。根据美国嵌入式系统专业杂志 RTC 报道,在 21 世纪初的 10 年中,全球嵌入式系统市场需求量具有比 PC 市场大 10 倍到 100 倍的商机。有机构估计,全世界嵌入式系统产品潜在的市场将超过 1 万亿美元。随着技术的发展,业内对嵌入式系统的定义也越来越清晰。它是微处理器、大规模集成电路、软件技术和各种具体的行业应用技术相结合的结果,其中各种软件技术涵盖了嵌入式系统 80% 的工作量。可以说,嵌入式系统是不可垄断、需要不断创新的技术。

嵌入式系统最初的应用主要以单片机系统为核心,其应用领域非常广泛。但单片机系统功能简单,速度较慢,难以适应现代技术的快速发展。特别是随着工业、医疗卫生和国防等部门对智能控制需求的增长,对嵌入式微处理器的运算速度、可扩充能力、系统可靠性、功耗和集成度方面提出了更高的要求。为适应各方面的需求,嵌入式微处理器体系结构经历了一个从 CISC 到 RISC,从 4 位、8 位、16 位、32 位到 64 位,寻址空间从 64KB 到 16MB 甚至更大位数,处理速度从 0.1MIPS 到 2000MIPS,常用封装从 8 引脚到 144 引脚的过程。微处理器的功耗也有了明显降低,其集成度进一步提高,涌现了大量的 SOC (System On Chip) 系统。在嵌入式系统中,嵌入式处理器是核心,嵌入式处理器有硬核和软核之分。常用的嵌入式处理器硬核有 ARM、MIPS、PowerPC、Intel x86 和 Motorola 68000 等;软核有 Altera 公司开发的 16/32 位嵌入式处理器软核 NIOS 以及 NIOSII, Xilinx 公司推出的 32 位哈佛结构的 RISC 处理器软核 Micro Blaze 等。

嵌入式系统被定义为:以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统,对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统。嵌入式计算机在应用数量上远远超过了各种通用计算机,一台通用计算机的外部设备中就包含了 5~10 个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、网卡、Modem、声卡、打印机、扫描仪、USB 集线器等均是由嵌入式微处理器控制的。制造工业、过程控制、通信、仪器仪表、汽车、消费类产品等方面均是嵌入式计算机的应用领域。

总的来说,嵌入式系统的出现至今已经有 30 多年的历史了,大致经历了以下 4 个阶段。

第一阶段是以单芯片为核心的可编程序控制器形式的系统,同时具有与监测、伺服、指示设备相配合的功能。这种系统大部分应用于一些专业性极强的工业控制系统中,一般没有操作系统的支持,通过汇编语言编程对系统进行直接控制,运行结束后清除内存。这一阶段系统的主要特点是:系统结构和功能都相对单一,处理效率较低,存储容量较小,几乎没有用户接口。由于这种嵌入式系统使用简便、价格很低,以前在国内工业领域化工业控制和新

兴的信息家电等领域的应用较为普遍,但是已经远远不能适应高效的、需要大容量存储介质的现代需求。

第二阶段是以嵌入式 CPU 为基础、以简单操作系统为核心的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是:CPU 种类繁多,通用性比较弱;系统开销小,效率高;操作系统具有一定的兼容性和扩展性:应用软件较专业,用户界面不够友好;系统主要用来控制系统负载以及监控应用程序运行。

第三阶段是以嵌入式操作系统为标志的嵌入式系统。这一阶段系统的主要特点是:嵌入式操作系统能运行于各种不同类型的微处理器上,兼容性好;操作系统内核精巧、效率高,并且具有高度的模块化和扩展性;具备文件和目录管理、设备支持、多任务、网络支持、图形窗口以及用户界面等功能;具有大量的应用程序接口(API),开发应用程序简单;嵌入式应用软件丰富。

第四阶段是以基于 Internet 为标志的嵌入式系统,这是一个正在迅速发展的阶段。目前大多数嵌入式系统还孤立于 Internet 之外,但随着 Internet 的发展以及 Internet 技术与信息家电、工业控制技术等结合日益密切,嵌入式设备与 Internet 的结合将代表着嵌入式技术的真正未来。

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术和电子技术与各个行业的具体应用相结合后的产物,这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。

嵌入式系统工业是不可垄断的高度分散的工业。从某种意义上来说,通用计算机行业的技术是垄断的。占整个计算机行业 90% 的 PC 产业,80% 采用 Intel 的 80x86 体系结构,芯片基本上出自 Intel、AMD、Cyrix 等几家公司。在几乎每台计算机必备的操作系统和文字处理器方面,Microsoft 的 Windows 及 Word 占 80% ~ 90%,凭借操作系统还可以搭配其他应用程序。因此当代的通用计算机工业的基础被认为是由 Wintel (Microsoft 和 Intel 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的工业。

嵌入式系统则不同,它是一个分散的工业,充满了竞争、机遇与创新,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场。即便在体系结构上存在着主流,但各不相同的应用领域决定了不可能有少数公司、少数产品垄断全部市场。因此嵌入式系统领域的产品和技术,必然是高度分散的,留给各个行业的中小规模高技术公司的创新余地很大。另外,社会上的各个应用领域是在不断向前发展的,要求其中的嵌入式处理器核心也同步发展,这也构成了推动嵌入式工业发展的强大动力。嵌入式系统工业的基础是以应用为中心的“芯片”设计和面向应用的软件产品开发。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,如果独立于应用自行发展,则会失去市场。嵌入式处理器的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等方面均受到应用要求的制约,这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。

和通用计算机不同,嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计,量体裁衣、去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能,这样才能在具体应用对处理器的选择面前更具有竞争力。嵌入式处理器要针对用户的具体需求,对芯片配置进行裁剪和添加才能达到理想的性能;但同时还受用户订货量的制约。因此不同的处理器面向的用户是不一样的,可能是一般用户,行业用户或单一用户。

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也是和具体产品同步进行的,因此,嵌入式系统产品一旦进入市场,具有较长的生命周期。嵌入式系统中的软件,一般都固化在只读存储器中,而不是以磁盘为载体,可以随意更换,所以嵌入式系统的应用软件生命周期等同于嵌入式产品的使用寿命。另外,各个行业的应用系统与通用计算机软件不同,很少发生突然性的跳跃,嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性,发展比较稳定。

嵌入式处理器的发展也体现出稳定性,一个体系一般要存在8~10年的时间。一个体系结构包括其相关的片上外设、开发工具、库函数,即嵌入式应用产品是一套复杂的知识系统,用户和半导体厂商都不会轻易地放弃一种处理器。

由于嵌入式系统有过很长一段单片机的独立发展道路,大多是基于8位单片机,实现最底层的嵌入式系统应用,带有明显的电子系统设计模式特点,且大多数从事单片机应用的开发人员,都是基于对象系统领域中的电子系统工程师,加之单片机的出现,立即脱离了计算机专业领域,以“智能化”器件身份进入电子系统领域,没有带入“嵌入式系统”概念,因此,不少从事单片机应用的人,不了解单片机与嵌入式系统的关系,在谈到“嵌入式系统”领域时,往往将其理解成计算机专业领域的、基于32位嵌入式处理器的、从事网络通信及多媒体等的应用。这样,“单片机”与“嵌入式系统”成了嵌入式系统中常见的两个独立的名词。但由于“单片机”是典型的、独立发展起来的嵌入式系统,从学科建设的角度出发应该把它统一到“嵌入式系统”中。考虑到原来单片机的电子系统底层应用特点,可以把嵌入式系统应用分成高端与低端,把原来的单片机应用理解成嵌入式系统的低端应用,含义为它的底层性以及对象系统的紧耦合性。

嵌入式系统开发需要开发工具和环境,通用计算机具有完善的人机接口界面,在上面增加一些开发应用程序和环境即可进行对自身的开发。由于嵌入式系统本身不具备自开发能力,必须有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。嵌入式系统应用程序可以没有操作系统的支持直接在芯片上运行;但是为了合理地调度多任务,利用系统资源、系统函数以及和专家库函数接口,用户必须自行选配RTOS开发平台,这样才能保证程序执行的实时性、可靠性,并减少开发时间,保障软件质量。

目前,嵌入式系统已广泛应用于办公自动化、信息家电、移动通信、手持信息设备、工业控制以及军事等领域。且大多数实时系统都是嵌入式应用,在这种系统中,计算机是一种智能部件,内装于专用设备/系统的高速计算机;一般是不能被用户编程,也不需要用户知道装置内有计算机存在。

嵌入式系统已深入到人们生活的各个领域,它的应用几乎无处不在。典型的应用包括:

- 1) 过程控制:对生产过程中的各种动作流程进行控制。这种控制是在对被控对象和环境进行不断检测的基础之上做出及时的、恰当的反应。在控制过程中,计算机扮演着中心的角色。它通过传感器从外部接收有关过程的信息,对这些信息进行加工处理,然后对执行机构发出控制指令。

- 2) 网络通信:程控交换机、路由器、BB机、手机、交接器、集线器和Modem等是网络通信的必要设备。

- 3) 智能仪器:示波器、医疗仪器等。

4) 消费电子:掌上电脑、数字电视、游戏机、洗衣机和微波炉等属于家庭和办公所用消费电子产品。

5) 计算机外设:包括打印机、扫描仪、终端和磁盘驱动器等。

6) 军事电子:雷达、电子对抗、坦克、战机和战舰等。

1.2 图像传感检测技术

图像传感器是利用光电器件的光电转换原理,将其感光面上的光像转换为与光像成相应比例关系的电信号“图像”的一种功能器件。它是在一半导体衬底上布设若干光敏单元与移位寄存器构成的。图像传感器将投射到光敏器件上的光学图像转换成电信号“图像”,即将光强的空间分布转换成与光强成比例的大小不等的电荷包空间分布,利用移位寄存器的移位功能将这些电荷包在时间脉冲控制下实现读取和输出,形成一系列幅值不等的时间脉冲序列。图像传感器的敏感器件有 CCD、CID、BBD 以及 MOS 等。以下就是对它们的简略介绍。

1.2.1 电荷耦合器件

电荷耦合器件 (CCD) 有线阵和面阵之分,线阵是把 CCD 像素排成一直线的器件,面阵是把 CCD 像素排成一个平面的器件。面阵 CCD 结构一般有 3 种:第一种是帧转移 CCD,它由上、下两部分组成,上半部分是集中了像素的光敏区域,下半部分是被遮光而集中垂直寄存器的存储区域。其优点是结构较简单并容易增加像素数,缺点是 CCD 尺寸较大,易产生垂直拖影。第二种是行间转移 CCD,它是目前 CCD 的主流产品,它们是像素群和垂直寄存器在同一平面上,其特点是在一个单片上、价格低、容易获得良好的摄影特征。第三种是帧行间转移 CCD,它是第一种和第二种的复合型,结构复杂,但能大幅度减少垂直拖影,并容易实现可变速电子快门等优点。

CCD 是一种光电变换器件,以集成电路形式制作生产,它以电荷包的形式存储和传输信息。主要由输入结构、输出结构、光敏单元阵列等组成,分为线阵列和面阵列,光敏单元只有一行的称为线阵列,CCD 阵列上有多少个光敏单元就称多少像元 CCD,例如 512、1024、2048、4096、5120、6144、8192、9126 像元等。光敏单元按纵向、横向排列组成一个平面的称为面阵列 CCD,例如 1024×1024 、 2048×2048 、 4096×4096 、 5120×5120 、 6144×6144 、 8192×8192 、 9126×9126 像元等。光敏单元每隔两个 (二相) 或三个 (三相) 分成两组或三组,各组分别与电极连接,每个光敏单元下部对应,可产生一个势阱 (由电极的电压决定),分两种情况产生电荷包,一种是在输入端加电信号产生电荷包,称电注入;一种是光敏单元受光照时产生光生电荷。上述两种情况在每个光敏单元下形成的电荷包,在电极所加的时钟脉冲电压驱动下,从光敏阵列始端依次串行转移到末端,由末端输出结构放大后输出,便得到 CCD 输出信号。若从输入端进行电注入时,CCD 就可作为模拟延迟线和数字移位寄存器使用。当从光敏单元进行光照时,CCD 可作为光电转换器件使用。当作为光电转换器件使用时,有光照的光敏单元就输出光电脉冲信号;没有受到光照,即受物体遮光的光敏单元没有光电脉冲信号输出,因而可以将图像信号转换为光电脉冲信号进行处理。

图 1-1 所示为某基地的 X 光光电检测系统原理^[1]。

其工作过程如下: X 光穿透被测件投 (透) 射到 X 光增强器的阴极上,经过 X 光增强

器变换和增强的可见光图像为 CCD 所摄取, 进一步变成视频信号。视频信号经采集板采集并处理为数字信号送入计算机系统。计算机系统将送入的信号数据(含形状、尺寸、均匀性等数据)与原来存储在计算机系统的数据比较, 便可检测出误差数值等一系列数据来。检测的结果不仅可以显示或由外部设备打印记录下来, 而且还可将差值数据转换为模拟信号, 用以控制传送、分类等伺服机构, 自动分捡合格与不合格产品, 实现检测、分类自动化。

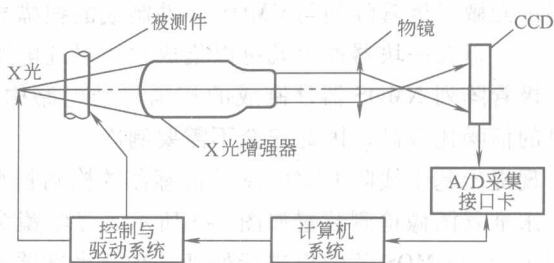


图 1-1 X 光光电检测系统原理

1.2.2 电荷注入器件

电荷注入器件 (CID) 是一种像感元件, 能存储少数载流子。CID 的基本感测单元是一对 MOS 电容器。CID 像元的基本结构如图 1-2 所示。

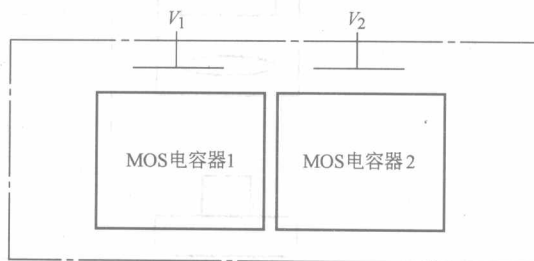


图 1-2 CID 像元的基本结构

如果某个电极处于高电平, 这个单元中便存在势阱, 可以存储光生电荷。根据两个电极上电压的不同, 这些电荷能够在两者之间转移。与 CCD 不同的是, 电荷转移只能在两个单元之间发生。如果两个电极都关断, 电极下面的耗尽层崩溃, 电荷便注入衬底深处。CID 的信号检测方法有两种:

- 1) 检测电荷注入衬底所产生的位移电流。
- 2) 通过检测组成存储单元电极上的电容变化来检测电荷。

后一种检测方法可以在电荷读出后重新对该单元加电压, 使信号电荷转移回电极, 从而使信号电荷得到保留, 因而是一种非破坏性的读出方式。如果在硅片上加上适当的扫描电路, 也可以实现随机存取选址。与 CCD 相比, CID 各单元信息可以随机读出, 硅片面积利用率高, 能够实现非破坏性读出, 并能在许多帧周期上积分。因为不用电荷转移, 所以不涉及电荷转移效率的问题。

1.2.3 MOS 图像传感器

MOS 图像传感器又称为自扫描光敏二极管阵列, 基本感光单元是光敏二极管阵列, 其基本结构包括光敏二极管阵列与扫描电路两部分。单个光敏二极管的 PN 结与普通的 PN 结一样, 具有单向导电性。施加正向电压时, 等效电阻很小, 可通过很大的电流; 施加反向电压时, 等效阻值很大, 只有很小的反向电流流过。如果在施加反向电压的同时, 用光照射光敏面, 就会激发出电子和空穴对 (光生电子和空穴对), 也就是光生载流子, 并在反向电压作用下参与导电。光敏二极管阵列是在同一衬底上通过扩散技术, 形成独立的 PN 结二极管阵列。阵列的优势在于, 使用一个电压源就可以得到与分立元器件同样的特性, 大大减少了分立元器件组合所需的电源。MOS 传感器分为 CMOS 传感器与 NMOS 传感器两种。CMOS 传

感器由光敏二极管阵列与 CMOS 器件制成的扫描寻址电路构成。由于 CMOS 具有集成度高的特点，所以在一块器件上既可以集成扫描寻址电路又可以集成驱动电路。NMOS 传感器由光敏二极管阵列 NMOS 器件制成的扫描寻址电路构成。器件本身不集成驱动电路，但是器件自身的信噪比极高，因此完全不需要制冷。

现提出基于线阵 CMOS 图像传感器的检测长水准器主要部件的长水准泡的方法^[2]。

水准器图像检测装置如图 1-3 所示。光学镜头将水准器成像在 CMOS 图像传感器上，由处理单元对 CMOS 的输出进行处理，判断水准器的两个边界位置，然后把两个边界的位置显示在显示单元上，则两个边界的中心点就是水准泡当前的位置。数码相机获得的长水准器图像如图 1-4 所示。

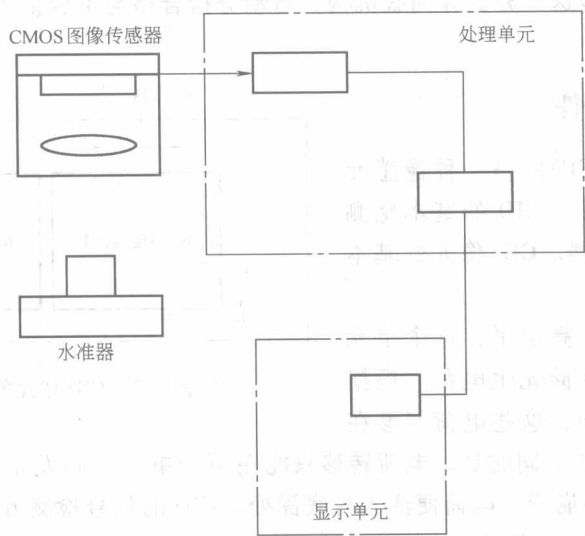


图 1-3 水准器图像检测装置

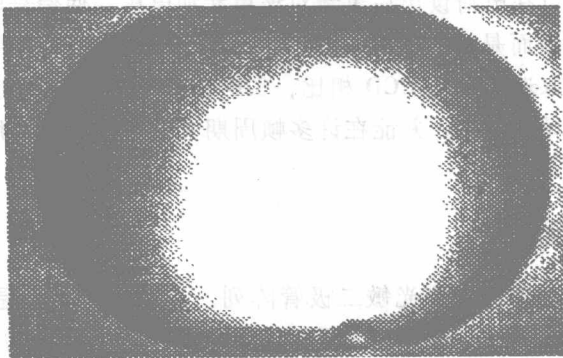


图 1-4 数码相机获得的长水准器图像

从图 1-4 中可以看出，由于光源在水准器中心的下方，视场中心的亮度较两侧要强。在图像中，垂直于边缘走向的灰度变化剧烈，因此，使用线阵 CMOS 及处理单元找到这两个灰度变化剧烈的点，即为需要确定的边界位置。由线阵 CMOS 图像传感器输出的水准器图像信号如图 1-5 所示。

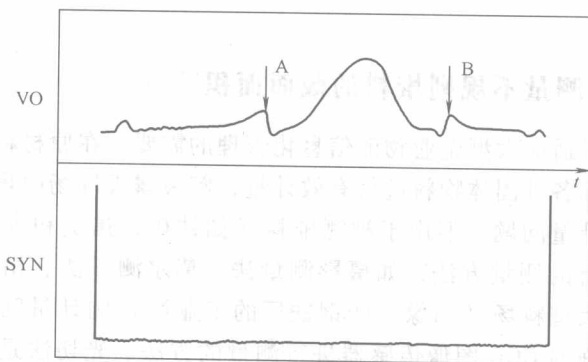


图 1-5 线阵 CMOS 图像传感器输出的水准器图像信号

VO—图像值的输出 SYN—同步信号

根据图 1-5, CMOS 输出信号基本与数码相机拍摄的中间一行像素灰度值一致,通过目测可以判断出水准泡的边界在 A 和 B。得到边界位置,可以利用比较器对 CMOS 输出信号进行处理,比较器的作用是将输入信号的电平进行比较,然后把比较的结果输出。比较器一般有两个输入端和一个输出端,它的输入信号是两个模拟量,一般情况下,其中一个是不变的参考电压,另一个则是变化的信号电压,而输出信号只可能是低电平或高电平。将 CMOS 输出的模拟信号与预先设定的阈值电压输入比较器,根据比较器输出的高低电平变化来确定边界位置。图 1-6 为 CMOS 输出信号通过比较器后得到的信号。图 1-6 中,下降沿 A 与上升沿 B 即为两个边界的位置。本实验中,利用单片机 I/O 口读取 CMOS 的时钟和同步信号,通过计数和判断比较器的输出得到长水准泡边界位置,然后将两个边界位置送到显示部分进行显示。

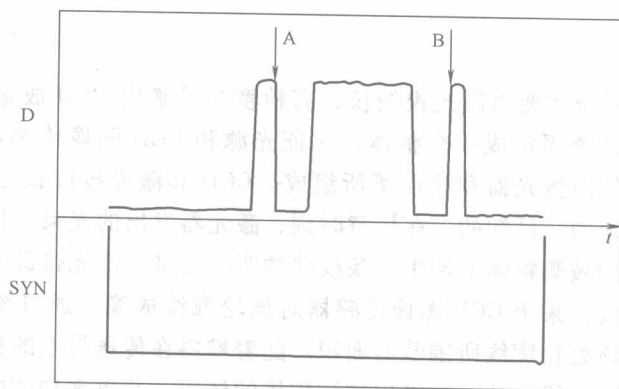


图 1-6 CMOS 输出信号通过比较器后得到的信号

D—通过比较器之后的信号 SYN—同步信号

1.3 图像扫描检测技术

图像传感检测的灵敏度与精度完全取决于光传感阵列的分布密度,即光电器件的组合总数。而图像扫描检测技术、图像的像元完全取决于扫描光子的大小以及扫描所需的时间。图像扫描的基本形式有:光电扫描形式、传真扫描形式和热敏照相机扫描形式。以下简略的介

绍几种应用。

1.3.1 激光光切法测量不规则堆料的截面面积^[3]

在钢铁厂中,为了适应大型企业物流信息化管理的需要,在原材料的管理过程中,需要对煤堆、矿堆、焦炭等各种固体物料进行有效计量,解决露天堆场中煤堆和矿堆等物料堆放与盘存过程中的有效计量问题。但由于被测堆料(如铁矿、焦炭和煤等)的结构纹理和表面反射率等因素,现有的测量方法,如摄影测量法、莫尔测量法、相位测量法和余弦测量法,不能有效地解决大型料场(如像一些钢铁厂的工业港)的计量问题。对此本节提出了使用激光光切法和面阵列 CCD 图像传感器进行测量的方法。光切法是近十多年来发展起来的一种非接触摄像测量方法。它用线光源产生的光平面投射到被测物体表面,形成一条明亮的投影轮廓线,如图 1-7 所示。计算机通过 CCD 摄像机和图像采集卡,可获得投影轮廓的数字图像。利用 CCD 与激光照明系统之间的相互关系,建立相应数学模型,经计算机处理即得该目标物体表面的全部三维轮廓信息。该方法原理直观,装置简单,三维重建方便,是一种应用领域十分广泛的非接触测量方法。在对堆料体积的测量过程中,堆料截面面积的测量是其中最关键的部分。截面面积求出来后,如果堆料在传送带上移动,这样堆料的体积很容易就可求出。本节将着重讨论截面面积的求法。

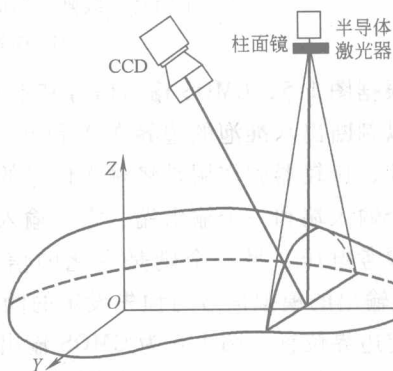


图 1-7 激光光切法测量原理

1. 测量原理

如图 1-7 所示,系统主要由激光投线仪、高精度高灵敏度 CCD 成像系统、计算机及电源等组成。整个测量系统固定成一个整体,保证光源和 CCD 图像传感器的相对关系不变。测量系统中激光投线仪由激光器和柱面镜所组成。CCD 和激光投线仪之间的关系经过实验室和现场标定后是确定的、已知的。在任意时刻,激光器发出的光束经柱面镜变换后形成光切面。平面光束照射到被测物体上产生一条线状的明亮光带,此光带即光切面与堆料相交所获截面的部分轮廓曲线,采用 CCD 图像传感器对该轮廓线成像,通过图像采集卡,送入计算机处理,并计算出该处轮廓线所围截面面积。随着堆料在传送带上的移动,就可以获得被测物体的一系列三维轮廓线,从而计算出被测物体的体积,并再现物体的三维形貌。

2. 表面轮廓线的获取

为了求出截面面积,必须得到堆料截面轮廓线上点的坐标,这样首先要对 CCD 采集的图像进行处理。为了避免露天测量时太阳光照射对激光照射的干扰,实际上可以做到遮住每次被测截面附近的区域,这样可以得到很好的信噪比,轮廓线在图像中是一条明亮的曲线,而背景基本上是黑的。然后采用光刀中心自适应阈值提取法,就可以得到很精确的轮廓线。轮廓线分离出来后,下一步就是将轮廓线细化,提取出轮廓线的骨架。利用内插细分算法可以提高像点中心的定位精度,其精度可以达到亚像素级。为下述说明问题方便,首先定义一些概念和公式。轮廓线某点处宽度 W 定义为轮廓线中沿该点法线方向上所有点所占长度。

固定法线方向上所有点中的3个连续采样点 y_1 、 y_2 和 y_3 ，其对应的灰度值分别为 s_1 、 s_2 、 s_3 。设3个采样点的权重分别为 p_1 、 p_2 、 p_3 ，则轮廓线在该法线方向上的精确位置按如下公式表示

$$y = y_2 + \frac{\ln p_3 s_3 - \ln p_1 s_1}{2(\ln p_2 s_2 - \ln p_1 s_1 - \ln p_3 s_3)} \quad (1-1)$$

显然，对于高斯型光源，上述定位不会有算法误差，精度高，但考虑到系统对处理速度有要求，则可采用近似的定位算法

$$y = y_2 + \frac{p_3 s_3 - p_1 s_1}{(p_2 s_2 - p_1 s_1 - p_3 s_3)} \quad (1-2)$$

该算法是目前最普遍使用的定位算法，在轮廓线宽度为两个像素附近时，定位误差达到最小。经过细化后的轮廓线上的点的精度已经达到亚像素精度，能满足工业实时测量要求的精度。

3. 截面面积的计算

CCD 相机几何成像的过程，实际上就是通过一定的空间投影变换原理，把一个三维空间点最后变换为图像平面上的二维像点。为此先建立坐标系。以激光光源的中心在地面的投影为原点，以地面的铅垂线为 Z 轴、以光源中心和镜头中心的连线在地面的投影为 Y 轴建立世界坐标系。像平面坐标系则以像主点为原点，这两个坐标系之间的变换关系由摄影测量知识易得

$$x = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (1-3)$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (1-4)$$

上式就是著名的共线方程，它表达了像平面坐标和物方坐标之间应满足的几何关系的解析形式。其中 (X_s, Y_s, Z_s) 为镜头中心（投影中心）在世界坐标系中的坐标。根据上面定义的坐标可知，截面上点的 Y 坐标为零，将上式变形得

$$X = X_s - \frac{a_1 x + a_2 y + a_3 f}{b_1 x + b_2 y + b_3 f} Y_s \quad (1-5)$$

$$Z = Z_s - \frac{c_1 x + c_2 y + c_3 f}{b_1 x + b_2 y + b_3 f} Y_s \quad (1-6)$$

式中， f 为有效焦距。

根据上面的变形公式，已知图像上的一点，就可求出实际点的坐标。这些点构成一条曲线，将这些点进行数值积分，便可求得截面面积。在上面计算过程中，采用的是以地面为基准的物空间坐标系，实际上还可以采用以镜头主点为原点的像空间坐标系。但由于以像空间坐标系为基准时，求截面面积转化为二重积分，并且积分区域是离散的，不容易实现积分的数值化，这样积分结果精度太差，积分过程太慢，不能实现实时化。

4. 系统标定

上面推导的公式是基于理想的成像关系，实际上镜头存在畸变，光轴与像面的交点不一

定在像面中心，且光轴与像面有垂直度误差。同时，CCD 驱动信号经图像采集卡抽样，水平像元的等效间距也要发生变化，考虑到这些因素，必须建立实际模型，完成标定过程。

根据 Tsai 的方法，如图 1-8 所示，从三维世界坐标系到计算机图像平面坐标的转换公式如下

$$S_x^{-1} d'_x X + S_x^{-1} d'_x X k_1 r^2 = f \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + T_x}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + T_z} \tag{1-7}$$

$$d_y Y + d_y Y k_1 r^2 = f \frac{r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + T_y}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + T_z} \tag{1-8}$$

式中， $r = \sqrt{(S_x^{-1} d'_x X)^2 + (d_y Y)^2}$ ； $\begin{cases} X = X_f - C_x \\ Y = Y_f - C_y \end{cases}$ ；

$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$ 为平移矩阵； $R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}$ 为旋转矩阵；

S_x 为水平因子； d'_x 、 d_y 为 X 、 Y 方向上相邻像素之间距离； k_1 为畸变系数； X_f 、 Y_f 分别为计算机图像坐标； C_x 、 C_y 为计算机图像的中心坐标，可以通过预先标定得到。

根据 Tsai 的方法，求得以上各未知数，便可根据图像平面坐标得到点的世界坐标，进而求出截面面积。

5. 实验结果

当实验装置固定好后，为了达到精度要求，首先进行标定。其中 Tsai 的两步法中，非线性优化采用 Powell 法。Powell 法是直接利用函数值来构造共轭方向的一种共轭方向法，它可以在有限步内找到函数的极值。

实验采用透镜焦距的名义值为 12mm，相对孔径为 1/2，CCD 采用 1/2in 的 CV—M501R，其有效像素为 752 × 582 像素，有效输出像素为 737 × 575 像素。 $d_x = 8.6 \times 737 / (768 \times 1000)$ mm， $d_y = 8.3 \times 575 / (576 \times 1000)$ mm。经标定后的参数如表 1-1 所示。将这些参数代入公式即可算出截面面积。数值积分采用复合 Simpson 公式，对不同的物体测量 10 次的截面面积测量结果如表 1-2 所示，由实验数据可以看出，截面面积的测量精度是比较高的。

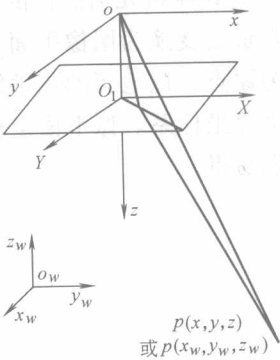


图 1-8 Tsai 两步法的标定模型

表 1-1 标定后的参数

参 数	标定后的值	参 数	标定后的值
f	12.467117mm	r_7	-0.017301182
r_1	0.999656825	r_8	-0.384823739
r_2	-0.011499688	r_9	0.922827914
r_3	0.023536997	T_x	57.901270501
r_4	0.019669828	T_y	18.700374815
r_5	0.92291844	T_z	1844.71545466
r_6	-0.384492719		

表 1-2 截面面积测量结果

测量次数	物体 1/cm ²	物体 2/cm ²
1	292.28	782.38
2	291.77	784.49
3	294.22	783.08
4	291.93	785.37
5	292.00	781.50
6	291.16	783.70
7	293.95	786.44
8	289.96	785.65
9	292.05	782.99
10	290.13	784.01
平均值	291.95	784.01
实际值	295.68	789.88
相对误差	1.26%	0.74%

6. 结论及改进

针对大型物流管理的需要,在分析现有三维测量方法的基础上,结合被测堆料存放的实际方式,本节利用光切法测量方案,先测量截面面积再计算体积,实现堆料体积测量的自动化,同时保证结果的精确性,使得堆料管理的可视化变成现实。由于本节标定采用的是 Tsai 的两步法,只考虑径向畸变的影响,而实际存在的畸变有很多种,更精确的标定方法采用 Weng 的方法,这样测量的精度会大大提高。

1.3.2 油罐内底板表面腐蚀检测技术^[4]

迄今检测油罐内底板表面腐蚀状态依然是遵照消防法的准则,通过超声波测厚仪来检测其板厚。虽然测量精度很精确,但是大面积检测油罐内底板腐蚀状况时,因受覆盖物制约的影响,经常会出现检测不到位的现象。因此,本节利用红外线图像扫描检测技术来讨论检测油罐内底板表面腐蚀的适用性。

1. 原理

该方法是以测定温度场的变化作为对象,利用腐蚀部分存在的热传导不均匀性,来检测油罐内底板表面腐蚀状态,如图 1-9 所示。从图中可以看出,在覆盖膜上以一定的热量均匀地向钢板表面加热,如果存在腐蚀部分,就会产生妨碍传热现象,在腐蚀部位的表面就会出现高温的二维图像。通过红外线传感器就可以检测出腐蚀部位产生的微小温差 ΔT (约为 0.1°C); 如果以定量的数值来测量温度分布,就可以检测出腐蚀部位和凹陷腐蚀等定量尺寸。

2. 实验方法

(1) 实验板

在 10mm 厚的 SS400 钢板上,模拟各种尺寸的圆形沟状腐蚀面和半面阶梯形凹陷腐蚀面(圆形沟状腐蚀开口和深度,半面凹陷损失深度)。在实验板的内表面涂上 $400 \sim 800\mu\text{m}$ 沥

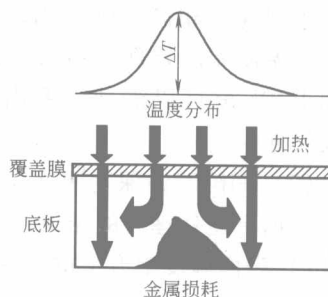


图 1-9 检测原理