



全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

视觉测量 技术基础

◎ 白福忠 主编



基础性 + 层次性 + 系统性 + 先进性 + 实用性

展示工业检测中非接触精密测试领域新技术

提供重要算法的 MATLAB 源代码和一定量习题



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

.. 013364038

TP391.41-43
505

全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

视觉测量技术基础

白福忠 主 编

王建新 杨慧珍 副主编

刘 晓 参 编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1671855

TP391.41-43
505

880480810

内 容 简 介

本书从计算机视觉以及人类视觉的概念与特点出发,系统地阐述了视觉测量的基础原理、测量方法、测量系统、关键技术与实用算法。全书共12章,前两章介绍计算机视觉、视觉测量技术的基本概念、人类视觉系统及其特性;第3、4章介绍视觉测量硬件系统,分别为光辐射与光源照明、光学成像与图像采集;第5~8章介绍图像与图像处理的基础知识,包括图像基础、图像质量的改善、二值图像分析和图像的特征提取;第9~12章介绍图像测量的基础理论及典型应用技术,包括图像配准、摄像机标定、双目立体成像和光学三角法三维测量。

本书内容广泛,涉及光学、光电子学、图像处理、模式识别、信号与数据处理及计算机技术等诸多学科领域,但其作为一门基础教材,读者即使不具备计算机应用专业的相关知识背景,也可以自成体系地进行学习。除了可以作为高等院校测控技术与仪器、光电信息等相关专业的学生、研究生的教学参考书外,还适合从事计算机、自动化、模式识别、智能科学、人机交互技术的科技人员阅读。

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

视觉测量技术基础/白福忠主编. —北京:电子工业出版社,2013.8

(全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-121-20925-3

I. ①视… II. ①白… III. ①计算机视觉—测量—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第146160号

策划编辑:郭穗娟

责任编辑:毕军志

印 刷:北京京师印务有限公司

装 订:北京京师印务有限公司

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:16.75 字数:429千字

印 次:2013年8月第1次印刷

定 价:39.80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。

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

服务热线:(010)88258888。



图 1 色环示意图



图 2 索引图像与 RGB 图像



原始图像



R 分量



G 分量



B 分量

图 3 彩色图像及其 R、G、B 分量

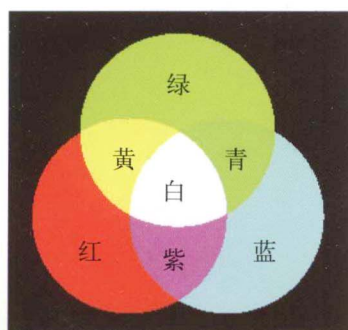


图 4 RGB 三基色与混合色

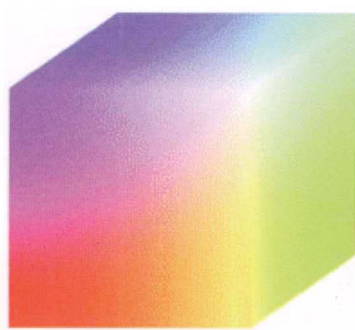


图 5 RGB 彩色模型

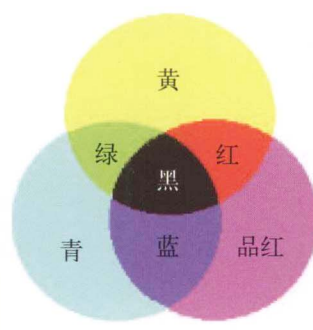


图 6 CMY 混色模型

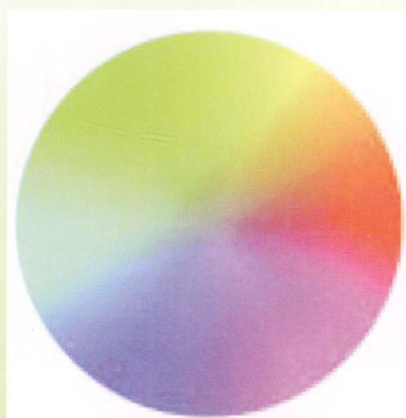


图 7 HSI 彩色空间 (色环)

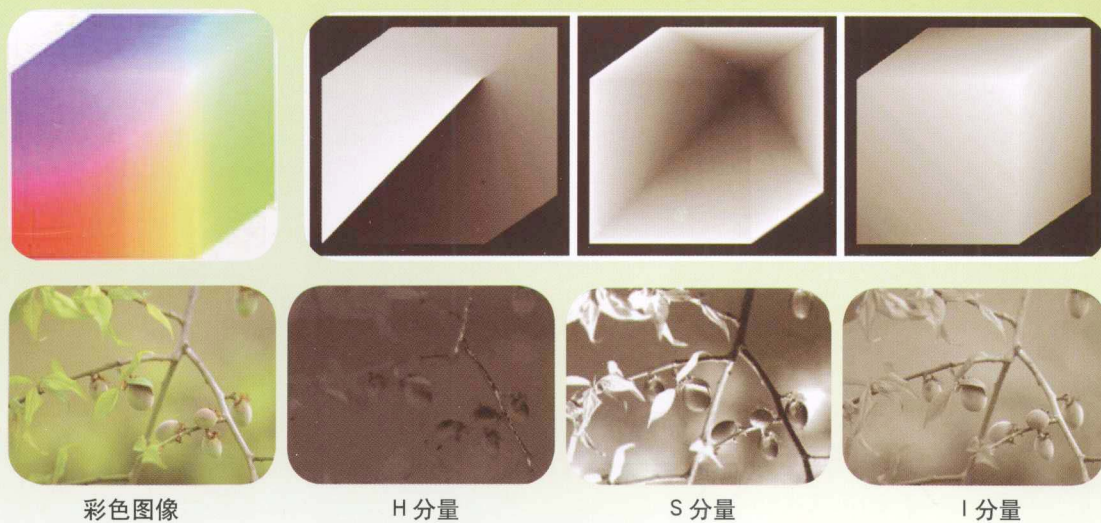


图 8 彩色图像与 HSI 各分量显示

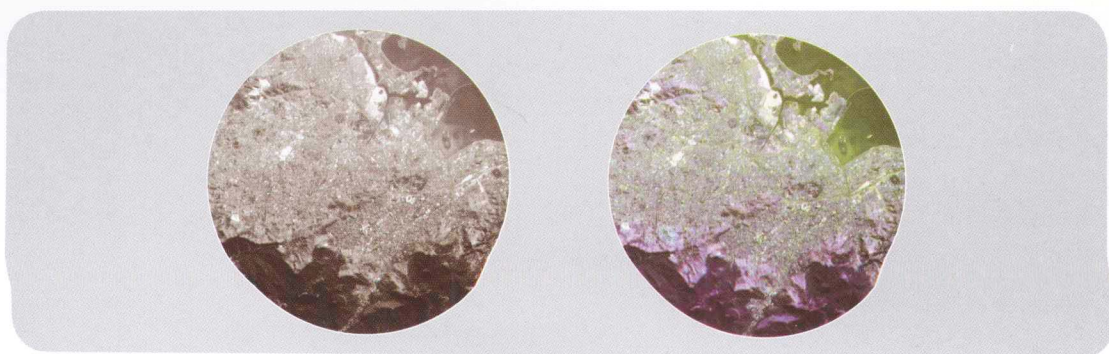
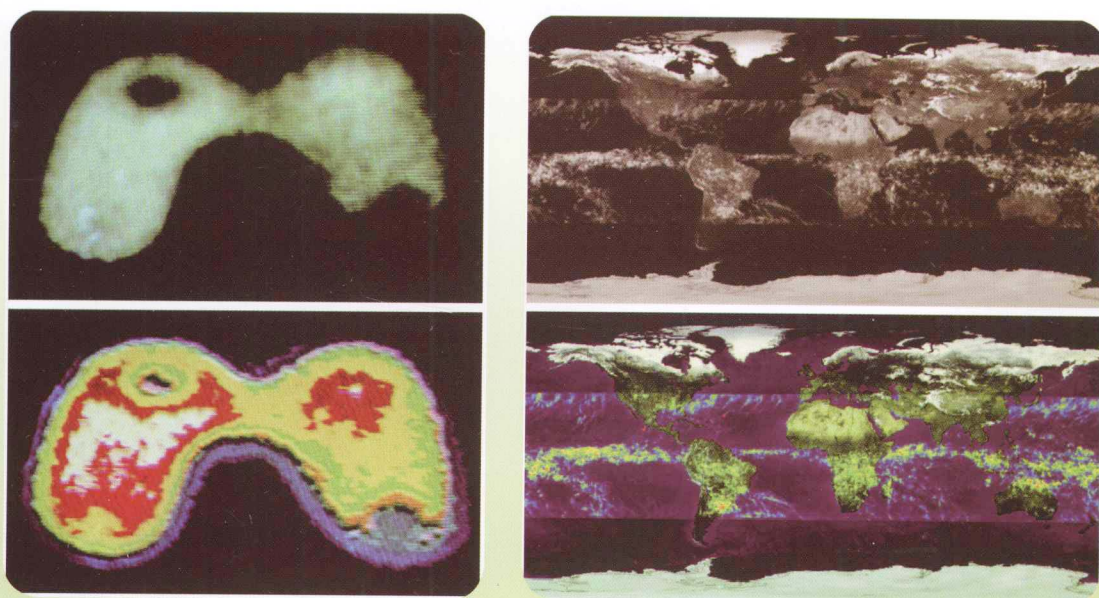


图 9 遥感图像假彩色处理结果



(a) 医学灰度图像与灰度分层法 (层数等于 8) 处理结果

(b) 气象灰度图及其伪彩色增强结果

图 10 伪彩色增强示例

《全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材》

编委会名单

主 任：许贤泽

副主任：谭跃刚

刘波峰 郝晓剑 杨述斌 付 华

委 员：赵 燕 黄安贻 郭斯羽

武洪涛 靳 鸿 陶晓杰 杨书仪

李志华 秦 斌 王 欣 李德俊

孙士平 冯先成 白福忠 张国强

王后能 张雪飞 谭保华 郑红霞

前 言

《史记·夏本纪》记载的大禹治水中有“左准绳，右规矩，载四时，以开九州，通九道，陂九泽，度九山”，其中的准绳、规矩便是古代的量具。《孟子·离娄上》中有“离娄之明，公输子之巧，不以规矩，不成方圆”。这说明，测量自古以来就是工程科学的重要内容，也申明了测量技术在工程实践中的重要性。

传统意义上，机械系统及制造过程中的测试计量技术，在某种程度上只是产品质量的检验手段。而现代测量技术及其仪器设备不再是单纯的辅助检测设备，已逐渐发展成为必需的生产部件或设备，集成于机械系统、参与制造过程、应用于工业现场。

视觉测量技术是一门将计算机视觉应用于空间几何尺寸的精确测量和定位所产生的一种测量领域中的新技术，是工业检测中非接触精密测试领域最具有发展潜力的新技术，具有非接触、在线检测、实时分析、连续工作、测量可靠等特点，能够适应多种危险的应用场合，广泛应用于军事、工业、遥感、农林业、医学、航天航空、科学研究等领域。因此，在高等院校的仪器科学与技术、机电工程、自动化、模式识别等学科专业开设视觉测量技术相关课程是相当必要的。

与目前更为常见的计算机视觉、数字图像处理教材相比较，视觉测量技术无论从教学侧重点、教学容量、教育思想还是学习目的等方面来讲，更符合仪器仪表及自动化类专业的人才培养目标，更好地做到了理论服务于实践、理论与实践结合。

本书按照基本概念、成像系统与理论、图像基础、图像处理与分析、三维立体成像这一主线安排编写，体现从简到繁、由浅入深、从理论到实际、从技术到系统的特点，力求具有基础性、层次性、系统性、先进性与实用性。每章均以“引例”开篇，通过引入一个工程实例，以设问的方式提出采用哪种解决方案来实现，依次指出本章将要阐述的重点内容或关键问题。正文中，对抽象或重要的概念力争以图文并茂的方式进行阐述，对某些重要算法一并给出 MATLAB 源代码，并配合一定量的习题进一步启发读者对知识的理解与应用。

本书共 12 章，第 6 章由西南科技大学王建新编写，第 7 章由淮海工学院杨慧珍编写，其余 10 章由内蒙古工业大学白福忠编写，思考与练习由山东轻工业学院刘晓编写。全书由白福忠统稿。

本书以编者多年来从事本科生与硕士生教学工作的成果积累以及相关科研成果为主要内容，在编写过程中借鉴并引用了相关国内外优秀教材、重要学术期刊刊载的最新研究成果以及同行研究人员的学位论文资料，在此对所引用的文献资料的作者或机构表示衷心感谢！

限于编者的学识水平，书中难免存在不足之处，恳请读者给予批评指正。

编者

2013 年 7 月

书 目

ISBN	书 名	作 者	定 价	出版时间
978-7-121-15103-3	PLC 及电气控制	吴亦锋	38	2012-1
978-7-121-16154-4	机械工程控制基础学习指导与题解	曾孟雄	27	2012-3
978-7-121-16746-1	机械制造技术基础	苏建修	33	2012-5
978-7-121-16954-0	单片机原理及应用 (第 2 版)	蔡振江	33	2012-5
978-7-121-17512-1	工程制图 (第 2 版)	黄玲	39	2012-8
978-7-121-17770-5	机床夹具设计教程	何庆	29	2012-8
978-7-121-18663-9	互换性与技术测量 (第 2 版)	万书亭	29	2012-10
978-7-121-11378-9	汽车概论 (第 2 版)	夏怀成	32	2012-11
978-7-121-17101-7	单片机技术及 C51 程序设计	唐颖	38	2012-06
978-7-121-12430-3	机械设计基础	李敬	38	2011-01
978-7-121-12886-8	材料力学	李文星	35	2011-02
978-7-121-15575	工程力学 (第二版)	梁建术	29	2012-01
978-7-121-13586-6	互换性与测量技术基础	万秀颖	28	2011-08
978-7-121-12966-7	机械工程材料与成型技术	刘贯军	39	2011-03
978-7-121-13151-6	机械工程控制基础	田勇	28	2011-04
978-7-121-12297-2	机械设计	庞兴华	28	2010-11
978-7-121-13219-3	机械设计基础	薛铜龙	36	2011-04
978-7-121-12933-9	机械生产实习教程与范例	何庆	28	2011-03
978-7-121-13499-9	机械原理同步辅导与习题全解	李瑞琴	33	2011-06
978-7-121-13596-5	机械制造工艺学	刘传绍	36	2011-09
978-7-121-13510-1	数控加工工艺	施晓芳	33	2011-06
978-7-121-13544-6	微机原理及接口技术	张登攀	35	2011-06
978-7-121-13500-2	液压与气压传动技术及应用	田勇	39	2011-07
978-7-121-10886-0	机床电气控制与 PLC	曲尔光	39.8	2010-06
978-7-121-13168-4	电气控制系统设计	王得胜	36	2011-04
978-7-121-13489-0	工程测试技术	郑艳玲	34	2011-06
978-7-121-13487-6	机电传动与控制	王宗才	38	2011-06
978-7-121-13493-7	机械控制工程基础	玄兆燕	35	2011-05
978-7-121-13490-6	机械设计课程设计	刘建华	36	2011-05
978-7-121-13491-3	精密与特种加工技术	明平美	32	2011-05
978-7-121-13399-2	数控编程与加工	杨丙乾	36	2011-05
978-7-121-10890-7	工程图学	姚辉学	36	2010-06
978-7-121-10904-1	工程图学习题集	姚辉学	32	2010-06
978-7-121-13600-9	简明材料力学	徐鹏	34	2011-06
978-7-121-10315-5	简明工程力学	徐鹏	34	2010-04

ISBN	书 名	作 者	定 价	出版时间
978-7-121-10880-8	机械原理课程设计	李瑞琴	35	2010-06
978-7-121-12535-5	磨削原理	任敬心	55	2011-01
978-7-121-12166-1	机械设计基础	乔峰丽	39	2011-12
978-7-121-18012-5	SolidWorks 三维设计及动画制作	上官林建	45	2012-08
978-7-121-13559-0	材料成型 CAE 技术及应用	吴梦陵	33	2011-05
978-7-121-13506-4	冲压工艺与模具设计	宇海英	32	2011-08
978-7-121-12374-0	单片机原理与接口技术	吴亦锋	38	2010-11
978-7-121-08995-4	互换性与测量技术基础	庞学慧	33	2009-07
978-7-121-13507-1	机电一体化系统设计	俞竹青	29	2011-08
978-7-121-11731-2	机械工程测试技术	邵明亮	35	2010-09
978-7-121-13283-4	机械工程控制基础	曾孟雄	29	2011-05
978-7-121-03006-3	机械工程控制基础	玄兆燕	21	2006-08
978-7-121-13372-5	模具设计与制造	李大海	36	2011-05
978-7-121-13373-2	模具制造工艺学	张霞	32	2011-05
978-7-121-13508-8	数控技术及应用	王怀明	27	2011-06
978-7-121-13305-3	数控加工工艺与编程	赵先仲	33	2011-04
978-7-121-13511-8	塑料成型工艺及模具设计	贺平	27	2011-08
978-7-121-13509-5	CAD/CAM 应用技术	任军学	33	2011-07
978-7-121-18071-2	测控电路设计与应用	郝晓剑	39.8	2012-08
978-7-121-18946-3	传感器原理与工程应用	戴蓉	39.8	2013-01
978-7-121-19027-8	仪器制造工艺学	张雪飞	39.8	2013-01
978-7-121-19398-9	PLC——从原理到应用程序设计	赵燕	39.8	2013-01
978-7-121-19545-7	微弱信号检测与应用	孙士平	39.8	2013-02
978-7-121-19594-5	动态测试技术与应用（第2版）	郝晓剑	39.8	2013-02
978-7-121-14441-7	数字电子技术基础	常丹华	39	2011-10
978-7-121-13607-8	过程控制系统	牛培峰	38	2011-06
978-7-121-13473-9	计算机控制技术——工业控制工程应用理论与实践	郝成	29	2011-05
978-7-121-13327-5	微机原理与接口技术	娄国焕	35	2011-05
978-7-121-12970-4	自动控制原理	杨友良	39	2011-03
978-7-121-12988-9	电气工程专业英语	薛士龙	29	2011-03

样书索取联系电话：电子工业出版社工业技术出版分社 010-88254502



北航

C1671855

目 录

第1章 绪论	1
1.1 计算机视觉	1
1.1.1 计算机视觉的概念	1
1.1.2 计算机视觉的发展	2
1.1.3 Marr 视觉理论简介	3
1.1.4 计算机视觉的研究内容及面临的问题	6
1.1.5 计算机视觉的应用	8
1.1.6 相关学科	9
1.2 视觉测量技术	10
1.2.1 视觉测量技术分类	10
1.2.2 视觉测量系统组成	11
1.2.3 视觉测量的流程	13
1.2.4 视觉测量技术的特点	14
1.2.5 视觉测量技术的应用	14
1.2.6 视觉测量技术的发展趋势	15
思考与练习	16
第2章 人类视觉	17
2.1 感觉与视觉	18
2.1.1 感觉	18
2.1.2 感觉的生理机制	18
2.1.3 感觉阈值	18
2.1.4 视觉	19
2.2 人眼构成	20
2.3 视觉过程	21
2.3.1 光学过程	21
2.3.2 化学过程	22
2.3.3 神经处理过程	24
2.4 视觉感受野	25
2.5 视觉的空间特性	26
2.5.1 空间频率响应特性	26
2.5.2 视觉在空间上的累积效应	27
2.5.3 眼睛的空间分辨率	28

2.6 视觉的时间特性	28
2.6.1 时间频率响应特性	28
2.6.2 视觉在时间上的累积效应	30
2.6.3 眼睛的时间分辨率	30
2.6.4 视觉适应	30
2.7 视觉的心理物理学特性	31
2.7.1 视觉对比	31
2.7.2 视错觉	31
2.7.3 马赫带效应	33
2.7.4 赫尔曼格子错觉	34
思考与练习	35
第3章 光辐射与光源照明	36
3.1 电磁波与光辐射	36
3.2 辐射度量和光度量	38
3.2.1 辐射度量	38
3.2.2 光度量	40
3.2.3 辐射度量与光度量之间的关系	41
3.3 光源	42
3.3.1 光源的基本性能参数	42
3.3.2 常用可见光光源	44
3.4 光源照明系统	49
3.4.1 照明光源类型	49
3.4.2 照明方式	50
3.4.3 照明颜色	52
第4章 光学成像与图像采集	53
4.1 镜头	53
4.1.1 镜头结构	55
4.1.2 视场	55
4.1.3 光学倍率和数值孔径	56
4.1.4 景深	56
4.1.5 曝光量和光圈数	58
4.1.6 分辨率	58
4.1.7 镜头选择	60

4.2 光电成像器件	61	5.7.4 二维 DFT 的性质	110
4.2.1 光电成像器件的发展	61	5.7.5 图像傅里叶变换的 MATLAB 实现	114
4.2.2 光电成像器件分类	62	思考与练习	114
4.3 电荷耦合器件	63	第 6 章 图像质量的改善	116
4.3.1 MOS 结构	63	6.1 对比度增强	117
4.3.2 CCD 工作原理	64	6.1.1 灰度级变换	117
4.3.3 CCD 分类	68	6.1.2 直方图变换	120
4.3.4 CCD 特性参数	74	6.1.3 彩色增强	125
4.3.5 CMOS 传感器	79	6.2 平滑与噪声滤除	129
4.4 图像采集卡	80	6.2.1 图像中的噪声	129
4.5 计算机	81	6.2.2 均值滤波	130
4.5.1 硬件配置	81	6.2.3 中值滤波	132
4.5.2 数据通信接口	82	6.2.4 边缘保持滤波器	134
思考与练习	83	6.3 频域滤波	135
第 5 章 图像基础	84	6.3.1 频域滤波基础	135
5.1 图像的产生	84	6.3.2 低通滤波器	137
5.2 数字图像	85	6.3.3 高通滤波器	139
5.2.1 数字化	85	6.3.4 带阻滤波器	141
5.2.2 数字图像的表示	88	6.3.5 同态滤波器	142
5.2.3 图像文件格式	89	6.4 锐化	143
5.3 图像分类	90	6.5 图像的代数运算	144
5.4 彩色图像	92	6.5.1 图像相加	144
5.4.1 彩色基础	92	6.5.2 图像相减	146
5.4.2 彩色模型	93	6.5.3 图像相乘	146
5.4.3 彩色图像的灰度化处理	97	6.5.4 图像相除	147
5.5 图像性质	98	思考与练习	148
5.5.1 图像分辨率	98	第 7 章 二值图像分析	150
5.5.2 直方图与联合直方图	98	7.1 图像分割与阈值分割	151
5.5.3 熵和联合熵	101	7.1.1 图像分割	151
5.5.4 其他统计特征	101	7.1.2 阈值分割	151
5.5.5 图像品质评价	102	7.2 全局阈值法	153
5.6 图像处理运算的形式	104	7.2.1 双峰法	153
5.6.1 点处理	105	7.2.2 p 参数法	154
5.6.2 邻域处理	105	7.2.3 判别分析法	154
5.6.3 全局处理	106	7.2.4 最大熵法	155
5.7 图像的傅里叶变换	106	7.2.5 自动迭代法	155
5.7.1 傅里叶级数	106	7.3 自适应阈值法	156
5.7.2 傅里叶变换	108	7.3.1 阈值插值法	156
5.7.3 幅度谱、相位谱和功 率谱	109		



7.3.2 移动平均法	156	思考与练习	196
7.4 二值图像的几何学性质	156	第9章 图像配准	198
7.4.1 连通性	156	9.1 图像配准概述	199
7.4.2 距离	158	9.1.1 图像配准概念	199
7.5 二值图像的操作	159	9.1.2 常用的图像配准技术	200
7.5.1 连通成分标记	159	9.1.3 图像配准技术的应用	201
7.5.2 膨胀与腐蚀	160	9.2 空间几何变换	202
7.5.3 细化化	161	9.2.1 简单变换	202
7.5.4 形状特征的测量方法	163	9.2.2 刚体变换与相似性变换	204
思考与练习	166	9.2.3 仿射变换	204
第8章 图像的特征提取	167	9.2.4 投影变换	205
8.1 点检测	167	9.2.5 非线性变换	205
8.1.1 Moravec 角点检测算子	168	9.3 基于灰度的图像配准	206
8.1.2 SUSAN 角点检测算子	168	9.3.1 空域模板匹配及相似性	206
8.1.3 Harris 角点检测算子	170	度量	206
8.2 边缘检测	171	9.3.2 相位相关法	208
8.2.1 边缘的模型、边缘检测的		9.4 基于特征的图像配准	210
基本步骤	171	9.4.1 基于特征的配准步骤	210
8.2.2 基于梯度的边缘检测	173	9.4.2 形状匹配及 Hausdorff	211
8.2.3 基于拉普拉斯算子的边缘		距离	211
检测	176	9.5 快速配准算法	212
8.2.4 Canny 算子	178	9.5.1 变灰度级相关算法	212
8.3 边缘跟踪	181	9.5.2 FFT 相关算法	212
8.3.1 局部处理方法	181	9.5.3 序惯相似性检测算法	213
8.3.2 边缘跟踪方法	181	9.5.4 变分辨率相关算法	213
8.4 Hough 变换	182	9.5.5 基于投影特征的匹配	213
8.4.1 Hough 变换及直线检测	183	算法	213
8.4.2 Hough 变换圆检测	185	9.6 亚像素级配准技术	214
8.4.3 广义 Hough 变换	187	9.6.1 拟合法	214
8.5 形状特征	188	9.6.2 插值法	215
8.5.1 形状特征须满足的条件	188	9.6.3 细分像素法	216
8.5.2 形状特征的应用	188	思考与练习	216
8.5.3 形状的描述和表示	189	第10章 摄像机标定	218
8.6 变换系数特征	191	10.1 视觉测量坐标系	218
8.7 纹理特征	192	10.1.1 四个基本坐标系	218
8.7.1 灰度共生矩阵	193	10.1.2 四个坐标系间的变换	219
8.7.2 自相关函数	195	关系	219
8.7.3 灰度差值统计	195	10.2 摄像机成像模型	221
8.7.4 傅里叶描述子	196		

10.2.1	针孔模型	222
10.2.2	透视投影	222
10.2.3	摄像机镜头畸变	223
10.3	摄像机标定方法	225
10.3.1	线性标定方法	226
10.3.2	Tsai 两步标定法	228
第 11 章	双目立体成像	232
11.1	双目成像模式与视差	233
11.1.1	双目横向模式	233
11.1.2	双目横向会聚模式	234
11.1.3	双目纵向模式	236
11.2	双目视觉测量数学模型	237
11.3	立体匹配方法概述与极线约束	238
11.3.1	立体匹配技术	238
11.3.2	极线约束	238
11.4	双目视觉测量系统标定	239

第 12 章	光学三角法三维测量技术	241
12.1	三维测量技术及应用	241
12.1.1	接触式与非接触式测量	242
12.1.2	光学三维测量技术的应用	244
12.2	光学三角法测量原理	245
12.3	结构光视觉测量法	246
12.3.1	结构光视觉测量系统	246
12.3.2	结构照明光源与照明方式	247
12.3.3	单线结构光测量原理	248
12.3.4	多线结构光测量原理	249
12.4	光栅投射法	250
12.4.1	光栅投射法基本原理	250
12.4.2	相位测量技术	251
参考文献		254

第1章

绪论

教学要求

通过本章学习，了解计算机视觉与视觉测量技术的基本概念以及二者之间的关系。

引例

据统计，人类从外部世界获得的信息约有 70%是由视觉获取的。这既说明视觉信息量的巨大，也表明人类对视觉信息的利用率较高，同时又体现了人类视觉功能的重要性。随着科学技术的发展，将人类视觉功能赋予计算机、机器人或其他智能机器是人类多年以来的梦想，由此形成的一门新兴学科称为计算机视觉。

针对图 1-1 至 1-3 所示的测量对象，可以利用传统检测计量手段分别完成圆形零件内外径测量、目标物体计数和三维形貌测量。类似于这些工程实例，是否可以利用视觉测量技术实现测量目的？如何实现？视觉测量系统由什么组成、关键技术是什么，如何设计合理可行的技术方案，等等，本章以及本书将对这些内容进行阐述。

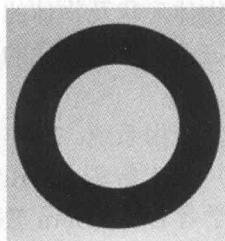


图 1-1 圆形零件内外径测量

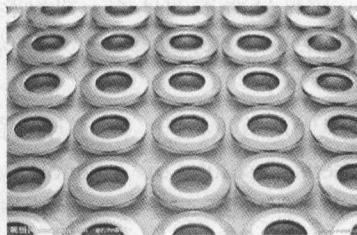


图 1-2 目标物体计数

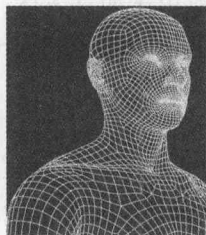


图 1-3 三维形貌测量

1.1 计算机视觉

视觉测量技术的理论基础是计算机视觉（computer vision），本章首先介绍计算机视觉的相关知识，并在此基础上对视觉测量技术进行阐述。

1.1.1 计算机视觉的概念

计算机视觉也称为机器视觉（machine vision），可以实现人类视觉系统理解外部世界、

完成各种测量和判断的功能。计算机视觉是利用计算机对采集的图像或视频进行处理,实现对客观世界三维场景的感知、识别和理解。

计算机视觉不仅能模拟人眼所能完成的动作,更重要的是它能完成人眼所不能胜任的工作。在一些不适合人工作业的危险工作环境或人工视觉难以满足要求的场合,常用计算机视觉来替代人类视觉,以提高生产的柔性和自动化程度;同时在大批量工业生产过程中,用人类视觉检查产品质量效率低且精度不高,用计算机视觉检测方法则可以大大提高生产效率。而且计算机视觉易于实现信息集成,是实现计算机集成制造的基础技术。

计算机视觉是一个相当新且发展十分迅速的研究领域,它既是工程领域,也是科学领域中一个富有挑战性的重要研究领域。计算机视觉是一门综合性的学科,它已经吸引了来自各个学科的研究者加入对它的研究之中,其中包括计算机科学和工程、信号处理、物理学、应用数学和统计学、神经生理学和认知科学等学科的研究人员。美国把对计算机视觉的研究列为对经济和科学有广泛影响的科学和工程中的重大基本问题,即所谓的重大挑战(*grand challenge*)。虽然目前还不能够使机器也具有像人类等生物那样高效、灵活和通用的视觉,但计算机视觉在简单视觉应用方面的精确性、可靠性和更为宽广的波谱感受范围等方面的独特优势使其研究和应用正在进一步扩大。

1.1.2 计算机视觉的发展

计算机视觉技术源于 20 世纪 50 年代,经过几十年的发展,各种研究理论与研究方法层出不穷,研究内容已经从最初的二维图像分析扩展到当前的三维复杂场景理解。

20 世纪 50 年代,计算机视觉的研究开始于统计模式识别,当时的工作主要集中在二维图像的简单分析和识别上,如光学字符识别,工件表面、显微图片和航空图片的分析和解释等。

60 年代,Roberts 将环境限制在所谓的“积木世界”,即周围的物体都是由多面体组成,需要识别的物体可以用简单的点、直线、平面的组合来表示。通过计算机程序从数字图像中提取出诸如立方体、楔形体、棱柱体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 的研究工作开创了以理解三维场景为目的的三维计算机视觉的研究领域。

较为完整的视觉理论于 70 年代被首次提出,同时出现了一些视觉应用系统。70 年代中期,麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology, MIT)人工智能(Artificial Intelligence, AI)实验室正式开设“计算机视觉”课程,由国际著名学者 B.K.P.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计算机视觉的理论、算法、系统设计的研究,英国的 David Marr 教授就是其中的一位。他于 1973 年应邀在 MIT AI 实验室创建并领导一个以博士生为主体的研究小组,从事视觉理论方面的研究。1977 年, Marr 提出了不同于“积木世界”分析方法的计算视觉理论(*computational vision theory*)——Marr 视觉理论,该理论在 80 年代成为计算机视觉研究领域中的一个十分重要的理论框架。

80 年代中期,计算机视觉获得蓬勃发展,新概念、新方法和新理论不断涌现,例如,基于感知特征群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。

90 年代中期,计算机视觉技术进入一个深入发展、广泛应用时期,它的功能以及应用范围随着工业自动化的发展逐渐完善和推广。特别是目前图像传感器、嵌入式技术、图像处理和模式识别等技术的快速发展,大大地推动了计算机视觉的发展。

1.1.3 Marr 视觉理论简介

1977 年, Marr 教授首次从信息处理的角度综合图像处理、神经生理学、临床神经病学等方面已经取得的重要研究成果, 提出了第一个较为完善的视觉理论框架, 使计算机视觉研究有了一个比较明确的体系。虽然这个理论还需要通过研究不断改进和完善, 但 Marr 视觉理论对人类视觉和计算机视觉的研究都产生了有力的推动作用。人们普遍认为, 计算机视觉这门学科的形成与 Marr 视觉理论有着密切的关系。下面简要介绍 Marr 视觉理论的基本思想及理论框架。

1. 视觉系统研究的三个层次

Marr 从信息处理系统的角度出发, 认为对此系统的研究应分为三个层次, 即计算理论层次、表达 (representation) 与算法层次、硬件实现层次。

1) 计算理论层次

计算理论层次要回答视觉系统的计算目的和策略是什么, 或视觉系统的输入和输出是什么, 如何由系统的输入求出系统的输出。在这个层次上, 信息系统的特征是将一种信息 (输入) 映射为另一种信息 (输出)。例如, 系统输入是二维灰度图像, 输出则是三维物体的形状、位置和姿态, 视觉系统的任务就是如何建立输入与输出之间的关系和约束, 如何由二维灰度图像恢复物体的三维信息。

2) 表达与算法层次

表达与算法层次是要进一步回答如何表示输入和输出信息, 如何实现计算理论所对应的功能的算法, 以及如何由一种表示变换成另一种表示, 如创建数据结构和符号。一般来说, 不同的输入、输出和计算理论对应不同的表示, 而同一种输入、输出或计算理论可能对应若干种表示。

3) 硬件实现层次

这一层次解决如何用硬件实现上述表达和算法的问题, 如计算机体系结构及具体的计算装置及其细节。

视觉系统研究的三个层次如表 1-1 所示。

表 1-1 视觉系统研究的三个层次

要素	名称	含义和所解决的问题
1	计算理论	计算的目的是什么, 为什么要这样计算
2	表达与算法	如何实现这个计算理论, 输入、输出的表示是什么, 用什么算法实现表示与表示之间的变换
3	硬件实现	如何在物理上实现这些表示和算法, 什么是视觉系统计算结构的具体细节

从信息处理的观点来看, 至关重要的是最高层次, 即计算理论层次。这是因为构成视觉的计算本质, 取决于解决计算问题本身, 而不取决于用来解决计算问题的特殊硬件。换句话说, 正确理解待解决问题的本质, 将有助于理解并创造算法。如果考虑解决问题的机制和物理实现, 则对理解算法往往无济于事。

上述三个层次之间存在着逻辑的因果关系, 但它们之间的联系不是十分紧密的, 因此, 某些现象只能在其中一个或两个层次上进行解释。例如, 神经解剖学原则上与第三层次即硬件实现联系在一起。突触机制、动作电位、抑制性相互作用都在第三层次上。心理物理

学与第二层次（即表达与算法）有着更直接的联系。更一般地说，不同的现象必须在不同的层次上进行解释，这会有助于人们把握正确的研究方向。例如，人们常说，人脑完全不同于计算机，因为前者是并行加工的，后者是串行加工的。对于这个问题，应该这样回答：并行加工和串行加工是在算法这个层次上的区别，而不是根本性的区别，因为任何一个并行的计算程序都可以写成串行的程序。因此，这种并行与串行的区别并不支持这种观点，即人脑的运行与计算机的运算是不同的，人脑所完成的任务是不可能通过编制程序用计算机来完成的。

2. 视觉信息处理的三个阶段

Marr 从视觉理论出发，将视觉过程划分为自上而下的三个阶段，即视觉信息从最初的原始数据（二维图像数据）到最终对三维环境的表示经历了三个阶段的处理，如图 1-4 所示。



图 1-4 Marr 视觉理论框架

第一阶段是早期视觉处理，从输入的二维原始图像中抽取诸如角点、边缘、纹理、线条、边界等基本特征，这些特征的集合称为基元图（primitive sketch）。

第二阶段是中期视觉处理，是在以观测者为中心的坐标系中，由输入图像和基元图恢复场景可见部分的深度、法线方向、轮廓等。这些信息中包含了深度信息，但不是真正的物体三维表示，因此，称为 2.5 维图（2.5 dimensional sketch）。2.5 维描述是一种形象的说法，意即部分的、不完整的三维信息描述。当人眼或摄像机观察周围环境物体时，观察者对三维物体最初是以自身的坐标系来描述的，另外，我们只能观察到物体的一部分（另一部分是物体的背面或被其他物体遮挡的部分）。

第三阶段是后期视觉处理，是在以物体为中心的坐标系中，由输入图像、基元图、2.5 维图来恢复、表示和识别三维物体的过程。这种三维形状描述与观察者视角无关。表 1-2 总结了视觉信息处理三个阶段的目的和特点。

表 1-2 由图像恢复形状信息的表示框架

名 称	目 的	基 元
图像	光强表示	图像中每一点的强度值
基元图	表示二维图像中的重要信息，主要是图像中的强度变化位置及其几何分布和组织结构	零交叉，斑点，端点和不连续点，边缘，有效线段，组合群，曲线组织，边界
2.5 维图	在以观测者为中心的坐标系中，表示可见表面的方向、深度值和不连续的轮廓	局部表面朝向（“针”基元） 离观测者的距离 深度上的不连续点 表面朝向的不连续点
3 维模型	在以物体为中心的坐标系中，用由体积基元和面积基元构成的模块化多层次表示，描述形状及其空间组织形式	分层次组成若干三维模型，每个三维模型都是在几个轴线空间的基础上构成的，所有体积基元或面积形状基元都附着在轴线上