



智能港口物流丛书



装卸机器视觉 及/其/应/用/

宓超 沈阳 宓为建 编著

ZHUANGXIE JIQI

SHIJUE

JIQI YINGYONG

上海科学技术出版社



智能港口物流丛书

装卸机器视觉 及其应用

宓超 沈阳 宓为建

——编著——

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书系统阐述了自动化集装箱码头自主装卸的多源机器视觉的处理特点和几种图像融合理解的模型框架。全书主要针对装卸机器视觉的各个层次展开阐述,从视觉数据采集方式,到数据处理与识别算法,再到模式识别算法逐级深入。在本书的最后,以案例形式讲解了装卸机器视觉在港口自动化方面的具体应用。

全书主要围绕装卸机器视觉常用的两类视觉形式——图像与三维激光点云的相关知识进行阐述,并讲述了模式识别人工智能方面的入门知识和综合应用案例,可为广大从事装卸机器视觉工作和学习的读者提供相关的技术参考。

图书在版编目(CIP)数据

装卸机器视觉及其应用 / 宓超, 沈阳, 宓为建编著.

—上海: 上海科学技术出版社, 2016. 1

(智能港口物流丛书)

ISBN 978-7-5478-2890-8

I. ①装… II. ①宓… ②沈… ③宓… III. ①港口装卸设备—计算机视觉—研究 IV. ①U653.92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 275144 号

装卸机器视觉及其应用

宓 超 沈 阳 宓为建 编著

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

上海中华商务联合印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 11.5

字数 250 千字

2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-2890-8/U·36

定价: 42.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向工厂联系调换

智能港口物流丛书序

“天下熙熙皆为利来，天下攘攘皆为利往。”司马迁在《货殖列传》中的描述正切合今天全球化背景下熙熙攘攘之经贸往来。在繁忙的全球经贸活动中，物流无疑是支撑世界经济发展的大动脉。作为一个国家和地区的门户，港口正是这一大动脉的枢纽。进入新世纪以来，港口的功能不断扩展，保税物流、临港产业、自由贸易区等各种创新功能正不断丰富着港口及港口城市的内涵，如今港口已不仅是吐纳、存储货物的核心节点，还是国际商业贸易的重要环节。对于一个受益于全球化的开放经济体，港口物流的重要性不言而喻。

任何一个产业的发展，都离不开科学技术的支撑。在国家创新驱动、转型发展背景下，港口物流发展路在何方？2008年11月，全球金融危机伊始，IBM在美国纽约发布的《智慧地球：下一代领导人议程》主题报告提出“智慧地球”的概念，开启了未来产业升级之路。近年来，为了奠定德国在重要关键技术上的国际顶尖地位，继续加强德国作为技术经济强国的核心竞争力，德国推出了以“智能工厂”及“智能生产”为核心的“工业4.0”概念。“工业4.0”也被称为继机械、电气和信息技术之后的第四次工业革命。

“智能化”在港口不只是概念上的发展，而正是当前发展实践之路。随着劳动力成本的逐年攀高，以及码头整体装备设计制造水平的不断提升和新工艺、新技术的不断完善，国内外自动化码头在经历了一段时间的技术发展期后，再次掀起新一波建设热潮。近期，天津、青岛、上海等港口已经将自动化码头的建设提上议事日程，国内第一个自动化集装箱码头——厦门远海码头已于2014年年底建成并投入试运营。智能政务、智能商务、智能管理、自主装卸为核心的智能化发展，正是当前港口物流发展的重要支撑。

在此背景下,《智能港口物流丛书》的推出旨在梳理当前港口物流智能化发展脉络,展示当前及未来一段时间内,支撑港口物流智能化发展的相关关键技术及应用前景。丛书主要包括以下相关内容:智慧港口概论、集装箱码头数字化营运管理、无水港数字化运营管理、港口物流系统仿真、自动化码头规划设计与仿真、大型港口机械结构稳定性与裂纹控制技术、装卸机器视觉及其应用等。

丛书所反映的内容是作者及其研究团队长期工作的积累和对相关学术领域的探索,也是对长期大量实践及科研成果的总结。希望丛书的出版能对从事该领域的相关管理、技术人员及感兴趣者有所助益。

宓为建

前 言

目前,机器视觉与图像处理是计算机、人工智能、模式识别、自动化控制等学科的一个热门研究方向。随着科学技术水平的发展,以及工业、民用自动化需求的发展,机器视觉在各行各业中的基础应用研究也不断升温。从汽车的自动驾驶、流水线的自动化控制,到日常生活中的自动 OCR 字符识别、人脸识别等,均大量应用了机器视觉的研究成果。

随着国内外港口自动化的兴起,机器视觉的相关技术也被引入了港口自动化装卸中。在港口由人工操作转向自动化作业的进程中,机器视觉的应用变得尤为重要,例如:中国第一个全自动化港口建设项目“厦门远海自动化集装箱码头”采用了大量基于激光视觉系统的自动化装卸系统和基于视频系统的自动化集装箱信息采集系统。这些机器视觉系统替代了传统操作工人的肉眼,自动进行信息采集并引导港口装备完成自主装卸,成了自动化港口装备不可或缺的重要环节。

目前,国内现有关于机器视觉的相关书籍均没有涉及大型港口装卸领域,因此本书以港口装卸自动化应用为主要背景,系统地讲述了常见机器视觉系统在装卸过程中的理论方法与应用案例,对目前港口装卸常用的视频图像机器视觉系统和激光雷达机器视觉系统均进行了从数据采集原理到识别算法分析及应用案例剖析多层次的阐述,完整展现了港口装卸中多种机器视觉系统的内在原理和应用情况,为广大从事港口自动化装备的研究人员及工程师提供了一个装卸机器视觉的技术参考。

本书由上海海事大学集装箱供应链技术教育部工程研究中心的宓超工程师、宓为建教授、沈阳讲师编著,编写组主要成员还包括赵宁、徐子奇、凤宇飞、张志伟、何鑫等。编者及其所在团队长期从事港口自动化装备方面的研究,在港口装卸设备设计、自动化

装卸工艺设计与仿真等方面有着扎实的研究基础和丰厚的工程项目经验积累,承接过天津港、上海港、宁波港乃至国外同行业单位的诸多工程项目,在工程实践中积累的大量文档材料和视频资料,为该书的写作提供了丰富的材料来源。

本书第1章主要讲述装卸机器视觉相关的概念和研究现状。第2章和第3章主要针对图像相关内容展开阐述。其中,第2章主要讲述了图像的采集方式,包括常见的图像传感器及采集、传输、数据结构等内容,侧重于图像采集硬件及图像编码方面的阐述;第3章主要侧重于对装卸机器视觉常用的一些图像处理与识别算法进行详细阐述。

第4章和第5章主要针对三维激光点云的相关内容展开阐述。其中,第4章讲述了三维激光点云的采集方式,包括常见的激光扫描设备及采集、传输、数据结构等内容,侧重于三维激光点云采集硬件及图像编码方面的阐述;第5章主要围绕装卸机器视觉常用的三维激光点云处理与识别算法进行详细阐述。

第6章主要阐述了装卸机器视觉常用的模式识别算法,包括常见的图像特征提取算法、图像浅层分类算法及聚类算法。这部分内容涉及装卸机器视觉人工智能的许多基础知识,为读者未来从事面向装卸机器视觉的人工智能研究提供入门知识。

第7章主要讲述了多个装卸机器视觉在港口自动化方面的应用案例,是第2~6章所述知识的综合应用,为读者将来从事装卸机器视觉工作提供典型入门案例参考。

由于作者水平有限,加之时间紧迫,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 机器视觉概述	3
1.2 装卸机器视觉的应用	6
1.3 装卸机器视觉研究现状	9
第 2 章 图像成像与数据采集	13
2.1 常见图像传感器原理与结构	15
2.2 图像传感器的性能特点和选型	18
2.3 图像传感器的通信及计算机接口	20
2.4 图像数据结构与编码方式	23
第 3 章 图像处理与识别算法	25
3.1 图像增强算法	27
3.1.1 灰度级修正	28
3.1.2 平滑空间滤波	33
3.1.3 锐化空间滤波	37

3.2 图像的几何运算	41
3.2.1 灰度级插值	41
3.2.2 空间变换	43
3.3 图像分割算法	46
3.3.1 基于阈值的分割方法	47
3.3.2 基于区域的分割方法	50
3.3.3 基于边缘的分割方法	53
3.4 图像形态学与几何形状识别算法	57
3.4.1 图像形态学	58
3.4.2 几何形状识别	62
第4章 激光点云成像与数据采集	67
4.1 常见激光点云传感器原理与结构	69
4.2 二维激光雷达的性能特点与选型说明	72
4.3 二维激光雷达的通信及计算机接口	75
4.4 二维激光雷达点云数据结构与编码方式	77
第5章 激光点云处理与识别算法	79
5.1 激光点云滤波与降噪算法	81
5.1.1 激光点云滤波与降噪算法概述	81
5.1.2 有序点云数据滤波算法	83
5.1.3 无序点云滤波算法	88
5.2 激光点云修补与增强算法	91
5.2.1 点云修补算法	92
5.2.2 点云增强算法	97
5.3 激光点云形态学与形状拟合算法	99
5.3.1 点云拼接算法	99
5.3.2 点云拟合算法	101

6.1 机器视觉特征提取算法	109
6.1.1 颜色灰度特征	109
6.1.2 纹理特征	112
6.1.3 形状轮廓特征	115
6.1.4 空间关系特征	117
6.2 图像识别常用分类器算法	117
6.2.1 朴素贝叶斯分类	117
6.2.2 支持向量机	119
6.2.3 AdaBoost	121
6.2.4 人工神经网络	122
6.2.5 深度学习	125
6.3 聚类算法	125
6.3.1 聚类算法基本概念	126
6.3.2 相似性度量	128
6.3.3 聚类准则	132
6.3.4 聚类算法	136

第7章 装卸机器视觉应用案例

7.1 基于图像的集装箱箱号识别	147
7.1.1 图像预处理	147
7.1.2 箱号定位	149
7.1.3 字符分割	150
7.1.4 字符识别	151
7.2 基于图像的集装箱锁孔识别案例	153
7.2.1 预处理	154
7.2.2 图像分割	155
7.2.3 特征提取与识别	157
7.3 基于图像的散货堆场人形识别案例	159

7.3.1	HOG 优化算法	159
7.3.2	支持向量机	162
7.3.3	多尺度检测融合算法	165
7.4	基于激光雷达的散货船舱特征识别	166
7.4.1	点云数据采集	166
7.4.2	船型表面三维重建	167
7.4.3	船舶三维模型平面化	167
7.4.4	散货船舱特征提取	169

参考文献

173

第 1 章

绪 论

视觉是指环境光作用于生物的视觉器官(例如:人眼),使其感受细胞兴奋,信息经加工后便产生视觉。与生物视觉不同,工业领域主要利用感光器件代替生物视觉神经系统实现对物体信息的加工,这便是机器视觉。如今,机器视觉除了能实现物体的图像化功能之外,还替代了人脑的一部分功能,实现图像的加工处理和信息提取,从而用于工业上的检测、测量和控制。在工业自动化领域,这种服务于自动化装备的机器视觉也被称为装卸机器视觉。

本章将主要介绍机器视觉的一般概念和发展,以及装卸机器视觉相关的概念和研究现状。

1.1 机器视觉概述

“视觉”一词首先是一个生物学概念,除了“光作用于生物的视觉器官”这个狭义概念外,其广义定义还包括了对视觉信号的处理与识别,即利用视觉神经系统和大脑中枢,通过视觉信号感知外界物体的大小、明暗、颜色、方位等抽象信息。对于动物,至少80%以上的外界信息是通过视觉系统获得的,可见视觉系统对于动物的重要意义。

随着科学技术的发展,尤其是自动化技术、计算机科学与技术、模式识别等学科的发展,以及自主机器人、工业自动化、智能安全防护等应用领域的现实需求,赋予这些智能机器以人类视觉能力变得尤为重要,并由此形成了一门新的学科——机器视觉。

有很多学者对机器视觉进行了定义,德国慕尼黑工业大学教授 Steger Carsten 等人在其《Machine Vision Algorithms and Applications》一书中对此的定义是——机器视觉是面向过程控制及工业机器人的基于图像自动识别与分析的一种检测技术^[1,2]。这个定义提出了机器视觉首先是一种基于图像分析的检测技术,并且主要面向的是过程控制与工业机器人。但是,随着自动化和智能化研究的慢慢深入,机器视觉的应用突破了过程控制与工业机器人的范畴,机器视觉的信息源也不仅仅局限于图像一种,因此美国机械工程师协会(ASME)提出机器视觉的定义——机器视觉是使用光学器件进行非接触感知,自动获取和解释一个真实场景的图像,以获取信息和控制机器的过程。该定义将机器视觉拓展为一个过程,更贴近当前机器视觉系统的现状。

机器视觉是一个发展十分迅速的领域,其研究主要从20世纪50年代统计模式识别开始。从一开始对图像的点、线、边缘等基本信息的提取,发展到几何信息的分析。到60年代,科学家 Roberts 实现了通过计算机程序自主地获取数字图像信息中的立方体、棱柱等三维结构^[3]。到了70年代,提取的图像信息已经从基本的几何信息慢慢增加了图像的明暗、纹理及多帧动态图像间等信息,并开始建立图像相关的数据结构与简单模式识别规则。Mackworth 等人基于这些图像信息开发出了针对图像几何形态识别的视觉系统^[4]。同时,在70年代,国际上的知名大学(如麻省理工学院),都逐渐开设机器视觉或者计算机视觉等相关的课程和研究项目,吸引了广大知名学者参与其中。其中一个里程碑的成果就是,形成了一个机器视觉的理论框架,直至今日绝大多数的机器视觉系统均是基于这个理论框架而设计的。这个理论框架由 Marr 教授在1982年提

出^[5]。Marr 教授当时是麻省理工学院 AI 实验室的教授,同时也是心理学的兼职教授,他提出的框架系统地概括了心理学、神经学、生物视觉等方面的重要成果,并将其迁移到机器视觉理论研究中。

Marr 认为,机器视觉处理应当像人脑一样分为三个层次,分别是:

- ① 计算理论层次——图像计算的目的和策略。
- ② 表示和算法层次——如何实现和表达上述的计算,其输入、输出是什么。
- ③ 硬件实现层次——如何在物理上实现上述两个层次。

Marr 机器视觉理论框架是一个重大成就,虽然其理论存在一定的缺陷,例如:没有很好地与领域知识相结合,仅仅空洞地阐述了机器视觉本身的框架,但是其框架依旧是目前应用最为广泛的机器视觉系统框架。

2000 年以后,随着计算机硬件的发展和机器视觉相关理论研究的成熟,机器视觉成为自动化学科、计算机学科等相关学科的研究重点。

伴随着工业自动化的发展和完善,机器视觉在工业方面的应用也越来越广泛。利用机器视觉代替人眼来测量识别目标具有更加灵敏、精确、快速、抗噪等优点,且能够长时间工作于恶劣的环境中。在自动化工业领域,机器视觉主要应用在零件识别定位、产品检验、视觉导航、安全监控及各种危险场合工作的机器人等。一般情况下,一个典型自动化工业机器视觉系统主要包括图像采集、图像处理、模式识别三个部分。

图像采集主要通过图像采集设备将被测目标物体图像转化成能够被计算机处理的数字信号。图像采集系统由光源、摄像设备和图像采集卡构成。摄像部分主要采用 CCD、CMOS 等摄像机作为采集设备。在图像获取过程中,除了感光设备以外,光源也是必须考虑的。通常除了自然光源、辅助灯光以外,还包括激光雷达、超声波雷达等主动式图像采集设备发出的不可见光。物体通过光敏元件成像,将图像转化为电信号,便于计算机处理。现代工业主要使用 CCD、CMOS 等图像传感器来捕捉图像。甚至在某些工业自动化控制领域,会使用图像采集设备阵列(摄像机阵列、雷达阵列等),形成双目或多目视觉系统,获得深度图像信息。图像采集卡则能够将图像采样、量化以后转化为数字图像输入存储到存储设备中,同时提供数字 I/O 功能,是连接图像采集部分和图像处理部分的重要桥梁。例如,F. Lahajnar(2002)的电路板检测系统采用了两个长焦摄像机,能够快速精确地分拣次品;AFTvision 的双目视觉图像定位系统通过两台工业摄像机和两路高清图像采集卡同时获取图像,对芯片点焊位置精确定位^[6]。

在机器视觉系统中,图像采集实现了人眼“看”的功能,视觉信息的分析与处理则是通过图像处理部分来完成。在工业自动化实际过程中,图像采集后的数据交于后台工控机进行图像处理。图像处理主要包括图像增强、图像几何变换、图像分割、边缘提取及形态学处理等部分。图像增强一般包括图像的平滑、去噪等滤波内容,目的是增强图像感兴趣区域的特征,减弱不需要特征。图像几何变换是指通过数学方法来变换图像的位置、大小、形状等。例如,在实际场景中,拍摄位置不佳时会造成目标图像过大或过小,甚至发生畸变,因此需要几何变换来对图像进行缩小放大和仿射变换等处理。图像分割、边缘提取及形态学处理主要是对图像中感兴趣的目标建立客观描述,提取出目标的结构和边缘特征。例如,S. Trika(1994)等人利用零件各相邻面的信息提取出了多面

体零件相关特征;汽车制造行业机器视觉也应用于车身轮廓、外形尺寸的检测等^[7]。经过这些处理后,图像质量在视觉上得到了很大的改善,感兴趣目标的特征更加明显,便于计算机的分析处理及后续的模式识别。

模式识别是指对观测事物所得到的具有时间和空间的分布信息分析处理,达到对事物描述、分类、辨认和解释的过程。在人们的日常生活中,模式识别时时刻刻伴随着我们,我们能够通过感官区别出桌椅,认出身边不同的人,分辨不同的声音,辨认不同气味,这些都是我们具备模式识别能力的体现。机器视觉的模式识别过程实际上是利用识别算法辨识图像场景中已经分割好的各个物体,并赋予相应的标记。模式识别的方法主要包括特征提取、数据分类和聚类。在工业自动化控制中,人们希望利用计算机代替人类完成对事物的辨识和分类,协助人类完成各种视觉任务,最终达到工业控制的目的。

机器视觉的应用研究几乎已经拓展到了每个自动化工业领域之中,其中主要包括医学、工业制造、汽车、半导体电子等。在工业自动化生产中,涉及各种产品检测、零件识别等应用。如在医疗行业,机器视觉技术的应用使得CT影像成为非常常用的医学检测手段,不仅方便了医学图像的存储,而且能够对数字化图像进行滤波、调整等,辅助医师的工作(图1-1)。在工业制造生产线上,飞利浦荧光灯灯管组装生产线上应用SICK Inspector视觉传感器能够解决每一个工序中产品的组装质量问题,包括检查端口是否破损、灯丝是否断丝、涂层合格与否等(图1-2)。机器视觉系统的应用不仅解决了人工检测疲劳度和主观性等无法完全保证质量的缺点,而且机器的高速定位检测大大提高

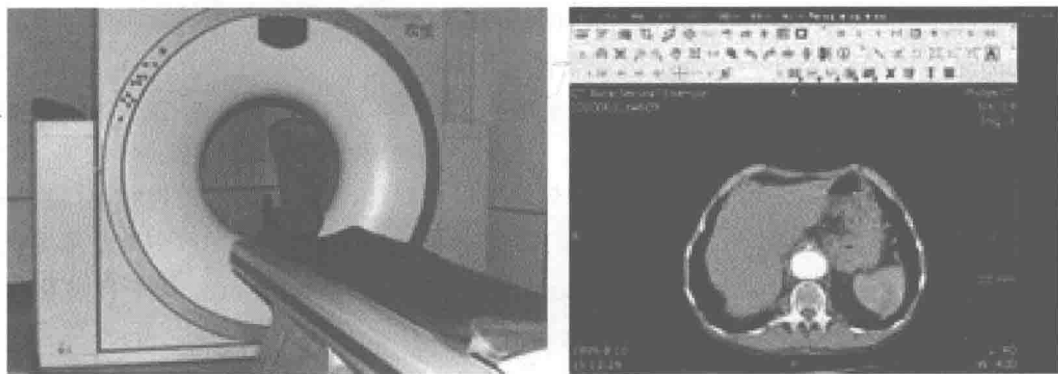


图1-1 艾菲特光电公司CT影像工作站示意图

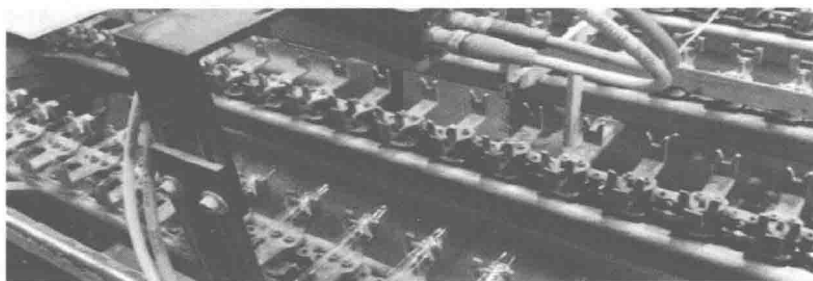


图1-2 基于机器视觉的荧光灯灯管组装质量检查

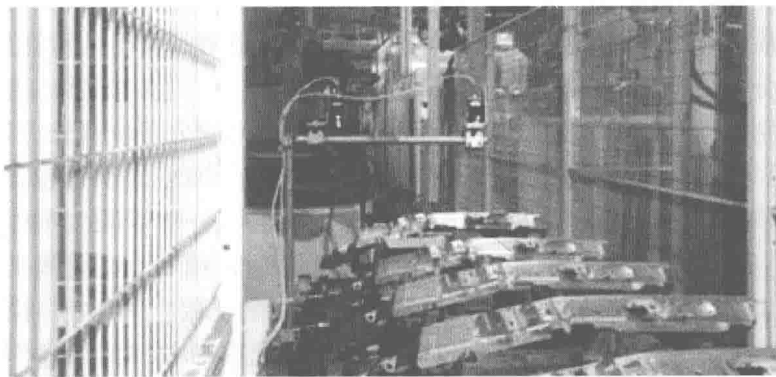


图 1-3 车辆制造中车身到达判断和车型识别

了生产效率,降低了成本。在汽车的生产装配方面,未涂装的车身焊接过程中,通过 SICK DS50 中量程激光测距传感器可以判断不同工位之间的转换是否到位,也能够分辨到达工位的车型(图 1-3)。在半导体行业,机器视觉系统已经在业内广泛应用,需要根据图像的查找来检测装配半导体电子元件的外观缺陷、尺寸、数量等。

1.2 装卸机器视觉的应用

随着机器视觉研究的深入,以及机器视觉在工业应用中的发展,机器视觉与行业自动化相结合的情况越来越多。例如,生产线质量检查和汽车装配的视觉导引。

装卸机器视觉是指服务于自动化装卸装备的机器视觉。装卸机器视觉限定了机器视觉的应用领域和应用背景,是机器视觉在应用研究方面的一个分支方向。目前对装卸机器视觉的研究,主要集中在一些零星的个别应用,尤其集中在港口自动化装卸方面。

早在港口大规模机械化操作时代,如何使用计算机替代人工操作,来控制港口机械自动化作业就已经慢慢成为研究重点。在早期港口发展过程中,主要集中于使用编码器、GPS 差分导航等手段对作业设备进行定位,并在一定程度上实现半自动化作业^[8~11]。这种技术柔性差,不能适应多变的装卸环境;尤其是散货装卸设备,几乎无法使用这种硬性定位方式实现自动化。

随着装卸机器视觉研究的发展,装卸机器视觉开始应用于港口自动化装卸,通过装卸机器视觉技术的引入,港口自动化装卸克服了之前传统硬性定位系统缺乏柔性及无法适用装卸环境变化的缺点,并将其推向了新的发展高度。

目前,装卸机器视觉已经深入港口自动化装卸的方方面面,从机械定位到目标识别再到安全防护,都能找到装卸机器视觉技术的应用。

在集装箱码头实际装卸过程中,桥吊司机在距离集装箱十几米的高空中完成吊具与集装箱锁孔的对接。人工操作的装卸难度大,效率低,甚至制约了集装箱码头的整体装卸效率。利用装卸机器视觉技术,三菱重工业株式会社实现了集装箱位置的自动检测。通过在吊具一角安装 2 台摄像机采集集装箱图像,分析处理图像数据后检测出集