

○ 张国英 沙 芸 著

矿业视频图像 目标识别与分割



石油工业出版社

矿业视频图像目标 识别与分割

张国英 沙 芸 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书应用图像增强、数学形态学变换、目标标记、特征匹配等数学及图像处理技术,以视频图像为处理对象,对视频中大量的、相似的、边界模糊的目标进行标识,对目标的边界进行分割,并对其形态特征进行统计。内容包括灰度变换、双边滤波、距离变换及重构、目标标记、分水岭矿石图像分割、泡沫图像分割及浮选泡沫测速等。本书主要应用于采矿场爆破、矿石传送和浮选泡沫的视频处理,对图像中的矿石和泡沫目标进行分割及形态统计。

本书主要为计算机、自动控制、资源及安全等领域从事图像处理和模式识别工作的研究人员和工程技术人员提供参考,也可作为相关专业的研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

矿业视频图像目标识别与分割/张国英,沙芸著.

北京:石油工业出版社,2010.5

ISBN 978-7-5021-7778-2

I. 矿…

II. ①张…②沙…

III. 矿业-视频信号-图象处理

IV. TD17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 080845 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523593

发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:8.25

字数:210 千字 印数:1—1500 册

定价:39.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

面向矿业领域应用的在线视频分析系统，即计算机视觉系统，包括图像采集与增强、图像分割、特征提取、特征与模型匹配和基于领域知识识别图像内目标等过程，除了图像采集，大部分是软件处理过程。采选过程的在线视频分析系统是采选过程自动化和信息化的基础，蕴藏着巨大的应用前景，是解决无人采矿、采区变形、运输设备自动导航等问题的支撑技术。矿山行业是我国的基础行业，其自动化、信息化程度与国际水平有一定的差距，矿业软件在国内市场的潜力巨大，很少有国产软件占据市场。采选过程计算机视觉应用系统和关键技术有很大的市场需求，能够针对性地解决目前爆破、选矿、破碎和浮选过程存在的安全、节能、增效、降耗等问题。矿业领域在线视频分析系统由于需要领域知识与图像分析技术的结合，目前国内研究尚处于初始阶段，利用视觉信息实时提取采选过程的参数，能够指导采选生产。

采场爆破过程需要计算机视觉系统，粒度分析及矿石识别用于控制爆破成本和安全预警。运输和破碎是金属矿山的两大能耗环节，决定产业的成本，传送带是矿石运输的主要途径之一，矿石在传送带上送入破碎机和碾磨机，在线视频分析系统能够提取矿石的粒度分布信息，反馈调节破碎和磨矿设备孔径，大大降低能耗。浮选过程产品质量和回收率与浮选泡沫的状态（颜色、大小、纹理、稳定性、流动性等）密切相关，浮选泡沫变化由操作工人用肉眼观测，难以及时准确掌控浮选泡沫状态。粒度分布信息是采选系统的重要参数，从钻探、爆破到最终产品，各环节合理的粒度分布决定当前及下游操作的能耗成本。在线视频分析矿业混合物的组分和属性，也利于采选过程的优化控制。

由于采选现场在线视频采集处于高粉尘、高污染、混合大量水和泥土等不利环境条件下，视频模糊且内容复杂，与其他场景相比，其视频内容分析及识别在技术上更具挑战性，为了自适应处理预处理不同生产现场、不同光照条件下视频。本书主要包括以下三部分内容：

(1) 图像增强。由图像灰度变化和双边滤波部分组成，增加图像中目标与背景之间的颜色对比度，在保留图像边缘的条件下对噪声进行过滤处理。

(2) 矿石图像分割。由自适应二值化、数学形态学重构、种子区域提取和

去噪、分水岭分割部分组成。

(3) 浮选泡沫图像的分割及测速。由种子区域提取、基于射线群的泡沫分割、基于区域生长的泡沫分割和泡沫测速部分组成。

本书力求理论与实践结合, 为了达到这一效果, 每章内容均包括视频处理的理论依据、在 h 图像处理系统中的地位与作用介绍, 算法描述、源码或流程图、试验结果及其分析部分。读者在了解矿业领域图像分割与粒度分析的系统结构、掌握各种算法原理外, 将直接掌握工程应用技术, 预测处理效果, 直接在工程实践中进行应用。

本书由中国矿业大学(北京)的张国英副教授和北京石油化工学院的沙芸副教授共同完成。其中第一章、第二章、第三章、第五章、第六章、第七章、第八章以及第九章的部分内容由张国英著, 第四章以及第九章的部分内容由沙芸著。研究生牟春洁、王兰莎、刘冠洲、邱波、王刚、杨晨等参与了本书的源代码调试及文字录入和校对工作, 邱波负责了书中图表内容的编辑工作。在本书编写过程, 受到了国家 863 项目“选冶过程测控关键技术与设备”的课题“浮选泡沫图像处理”(2006AA060205) 和国家科技支撑计划项目“煤矿采空区固体充填综合机械化采煤技术研究”的资助, 在此一并表示感谢。同时, 参考了国内外出版的大量书籍和论文, 对本书所引用论文和书籍的作者深表感谢。

张国英 沙 芸
2010 年 2 月于北京

目 录

第一章 序言	(1)
1.1 图像处理在矿业领域应用和意义	(1)
1.2 矿业领域数字图像	(2)
1.3 矿业领域的图像处理研究	(3)
1.3.1 矿石分割研究	(3)
1.3.2 浮选泡沫分割研究	(3)
1.3.3 特征提取研究	(4)
1.4 计算机视觉系统	(4)
1.4.1 机器视觉	(4)
1.4.2 控制照明	(5)
1.4.3 数字图像处理	(5)
1.4.4 模式识别	(6)
第二章 图像增强	(7)
2.1 灰度变换	(7)
2.1.1 线性灰度变换	(8)
2.1.2 分段线性变换	(10)
2.2 双边滤波	(11)
2.2.1 高斯滤波器	(12)
2.2.2 双边滤波原理	(12)
2.2.3 双边滤波器	(13)
2.2.4 双边滤波实验结果	(14)
2.2.5 双边滤波讨论	(17)
2.2.6 双边滤波程序	(17)
2.3 结论	(19)
第三章 矿石图像二值化	(20)
3.1 图像二值化	(21)
3.2 灰度共生矩阵	(22)
3.2.1 灰度共生矩阵概念和原理	(22)
3.2.2 灰度共生矩阵的特征参数	(23)
3.2.3 灰度共生矩阵程序	(25)
3.3 基于杂乱度的局部阈值分割方法	(26)
3.3.1 图像杂乱度	(26)
3.3.2 基于 $C(t)$ 曲线加权阈值算法	(27)
3.3.3 基于 $C(t)$ 曲线程序	(28)
3.4 基于连通度的分割技术	(31)

3.4.1	形状连通性测度单阈值分割	(31)
3.4.2	形状连通性测度程序	(32)
3.5	自适应二值化	(34)
3.5.1	自适应二值化算法	(34)
3.5.2	自适应二值化程序	(35)
3.6	实验结果及分析	(37)
3.6.1	$C(t)$ 曲线和直方图二值化	(37)
3.6.2	$C(t)$ 曲线和直方图加权二值化	(38)
3.6.3	形状连通度和自适应二值化	(39)
3.7	结论	(40)
第四章	图像形态学重构	(41)
4.1	图像形态学基本变换	(41)
4.1.1	腐蚀	(43)
4.1.2	腐蚀程序	(45)
4.1.3	膨胀	(46)
4.1.4	开运算	(47)
4.1.5	闭运算	(48)
4.2	距离变换	(49)
4.2.1	距离变换基本原理	(50)
4.2.2	倒角模板处理	(51)
4.2.3	距离变换实验	(52)
4.2.4	距离变换程序	(53)
4.3	图像形态学重构	(54)
4.3.1	灰度图像重构基本原理	(55)
4.3.2	灰度图像重构结果及讨论	(55)
4.3.3	灰度图像重构程序	(57)
4.4	结论	(59)
第五章	图像种子区域提取	(60)
5.1	标记提取	(60)
5.1.1	连通区域标记处理	(60)
5.1.2	标记后处理	(60)
5.2	泡沫图像标记区域提取	(61)
5.2.1	高亮区域提取	(61)
5.2.2	种子区域去噪	(62)
5.2.3	泡沫标记区域提取程序	(63)
5.3	矿石图像种子区域提取	(69)
5.3.1	标记区域提取	(69)
5.3.2	标记阈值选取	(71)
5.3.3	种子区域选取	(72)
5.3.4	标记区域提取程序	(73)

5.4 结论	(75)
第六章 分水岭矿石图像分割	(76)
6.1 分水岭算法	(76)
6.2 传统分水岭算法	(78)
6.2.1 传统分水岭算法定义	(78)
6.2.2 传统分水岭算法	(79)
6.3 改进分水岭算法	(81)
6.3.1 基于标记的分水岭算法	(82)
6.3.2 分水岭算法和程序	(83)
6.4 分水岭实验	(86)
6.5 结论	(87)
第七章 基于区域生长的泡沫图像分割	(88)
7.1 区域生长	(88)
7.1.1 单一型区域生长	(89)
7.1.2 质心型区域生长	(89)
7.1.3 混合型区域生长	(89)
7.2 种子区域边界描述	(90)
7.2.1 种子区域边界定义	(90)
7.2.2 边界生长流程	(90)
7.3 边界生长分割算法	(91)
7.3.1 寻找种子边界上下左右四个像素	(91)
7.3.2 种子区域边界表示	(91)
7.3.3 种子区域边界生成算法	(92)
7.3.4 种子区域数据结构	(92)
7.4 区域生长	(92)
7.4.1 区域生长定义	(92)
7.4.2 生长过程描述	(93)
7.4.3 生长停止规则	(94)
7.4.4 边界区域生长程序	(94)
7.5 边界区域生长实验结果	(98)
7.6 结论	(99)
第八章 基于射线群的泡沫图像分割	(100)
8.1 泡沫图像种子区域提取及其去噪	(100)
8.1.1 高亮区域提取	(100)
8.1.2 泡沫的种子区域提取	(101)
8.2 射线群分割算法	(101)
8.2.1 射线群的描述	(101)
8.2.2 射线程序描述	(102)
8.3 基于射线灰度梯度的边界提取	(104)
8.4 实验结果及统计	(105)

- 8.5 结论 (106)
- 第九章 视频测速 (108)
 - 9.1 光流法 (108)
 - 9.1.1 光流算法发展现状 (108)
 - 9.1.2 光流算法的基本原理 (109)
 - 9.2 基于匹配的运动泡沫图像追踪算法 (110)
 - 9.2.1 种子区域 (111)
 - 9.2.2 种子区域提取算法 (111)
 - 9.2.3 基于匹配的泡沫图像追踪算法 (112)
 - 9.2.4 追踪目标特征 (115)
 - 9.2.5 追踪算法 (115)
 - 9.3 追踪实验 (116)
 - 9.4 结论 (118)
- 参考文献 (119)

第一章 序 言

1.1 图像处理在矿业领域应用和意义

面向矿业领域应用的在线视频分析系统,即计算机视觉系统,包括图像采集与增强、图像分割、特征提取、特征与模型匹配、图像 3D 重建和基于领域知识识别图像内目标等过程,除了图像采集,大部分是软件处理过程。采选过程的在线视频分析系统是采选过程自动化和信息化的基础,蕴藏着巨大的应用前景,是解决无人采矿、采区变形、运输设备自动导航等问题的支撑技术。矿山行业是我国的基础行业,其自动化、信息化程度与国际水平有一定的差距,矿业软件在国内市场的潜力巨大,很少有国产软件占据市场。采选过程计算机视觉应用系统和关键技术有很大的市场需求,能够针对性地解决目前爆破、选矿、破碎和浮选过程存在的安全、节能、增效、降耗等问题。矿业领域在线视频分析系统由于需要领域知识与图像分析技术的结合,目前国内研究尚处于初始阶段,本书基于计算机视觉技术对采选过程的视频内容进行处理分析,对采选目标进行识别,实时提取采选生产过程的粒度参数,并对采选过程进行自动调节,用于指导采选生产。

计算机视觉系统对采场爆破过程进行粒度分析及矿石识别,能够控制爆破成本和安全预警。运输和破碎是金属矿山的两大能耗环节,决定产业的成本,传送带是矿石运输的主要途径之一,矿石在传送带上送入破碎机和碾磨机。传送带在线视频分析系统能够提取矿石的粒度分布信息,反馈调节破碎和磨矿设备孔径,大大降低能耗。浮选过程产品质量和回收率与浮选泡沫的状态(颜色、大小、纹理、稳定性、流动性等)密切相关,传统过程由操作人员用肉眼观测浮选泡沫变化,难以及时准确掌控,而浮选过程的视频分析能够实时提取泡沫粒度分布信息。从钻探、爆破、浮选到最终产品,各环节合理的粒度分布决定当前及下游操作的能耗成本。在线视频分析也利于采选过程的优化控制。

爆破现场的矿石、传送带上运送的矿石和浮选泡沫的粒度、体积和运动速度等信息是重要的采选控制指标。开发矿业领域的计算机视觉系统需要解决几个问题。

(1) 高适应性

采选现场光源的流明差别很大,采选品种、品位各不相同,粒度分布范围从几毫米到几百毫米,不同的曝光时间、不同的拍摄角度和位置导致图像的清晰度不同,高速传送过程的图像容易出现抖动,不同环境、不同内容和不同明暗度图像的自适应处理是系统的第一个挑战。

(2) 目标定位

图像内容高度复杂,有些含泥土及水,在目标和背景差异度很小的情况下,如何对繁多的、相互堆积的、颜色和形态相似性高、相互粘连的目标进行准确定位是另一个技术难点。

(3) 图像特征与目标分割的关系

矿石和泡沫形状不规则、表面粗糙,准确描绘矿石和泡沫的边缘是粒度分析的难点及关键技术之一。有效的图像特征提取有助于目标的区分,但增加了系统的计算负担,研究图像

特征与目标分割的相互关系是视觉系统的又一个问题。

(4) 目标识别技术。

从视频中进行目标识别,以区分采选目标的边界和粒度,如何设计有效的目标识别算法,是在线视频分析技术应用的下一个难点问题。

综上所述,采选过程在线视频分析的系统结构与算法研究具有应用价值和理论意义,实时处理及视频内容本身的复杂性使这一问题的研究面临一定挑战。

1.2 矿业领域数字图像

采矿工业爆破和破碎过程的矿石粒度分布信息已经用于碎矿、磨矿和浮选等一系列工业过程的优化控制。机械筛分是决定传送带上或传送带终端的自由降落处矿石累积重量分布的传统技术,这个过程耗能且耗时。基于计算机视觉对视频进行增强、分割、测速等处理过程,对矿石和泡沫目标进行分割和粒度分布统计是本书的研究内容。

在粉碎阶段,磨矿设备把矿石研磨到要求的粒度,用于矿物的后续阶段提取。磨矿控制需要将矿物粒度保持在要求的尺度,缺乏磨矿控制时,产出的颗粒或者成为不必要的粉状,或者由于磨矿时间不够导致颗粒太粗糙,前者高耗能源,后者磨矿程度不够导致回收率低。目前存在两种磨矿方法,即自动化磨矿和半自动化磨矿。自动化磨矿利用矿石本身相互进行研磨,半自动化磨矿除矿石自身相互研磨外还利用钢球或棒作为研磨媒介,两种磨矿类型都需要矿石粒度分布图。在检测到不合适的粒度分布后,自动调节磨矿设备进行修正。计算机视觉系统能够监测、检测粉碎机输入和输出图像的粒度分布,对各种输入矿石粒度分布的磨矿行为进行调节。除此之外,爆破现场的矿石、传送带上运送的矿石和浮选泡沫的粒度、体积和运动速度等信息是重要的采选控制指标

采选现场在线视频采集,处于高粉尘、高污染、混合大量水和泥土等不利环境条件下,视频模糊且内容复杂,与其他场景相比,其视频内容分析及识别在技术上更具挑战性。问题有:(1)高粉尘污染环境,对照明设备影响严重,图像普遍昏暗,存在明显的阴影及其反光,高速运动使图像模糊且存在抖动现象。(2)图像中几乎没有背景信息,矿石和泡沫严重堆积,粒度差异巨大,形态不规则,几何信息复杂。(3)矿石表面凹凸不平,纹理信息对矿石分割不灵敏。图像噪声干扰较大,单独的颜色信息难以发挥作用。

在传送带上采集的矿石图像如图1-1所示,因为矿石块的表面不平坦,在布满粉尘和泥土的传送带上高速运动,受灯光和户外环境等问题的影响,导致属于一个矿石目标的像素群的光谱或纹理特征完全不同。浮选现场采集到的浮选泡沫图像如图1-2所示,由于浮选现场环境对照明设备严重污染,导致浮选图像普遍背景昏暗,且存在明显的阴影区域。图像中充满大量处于运动状态的气泡,气泡边缘形状不规则。图像噪声干扰较大,气泡粘连且部分边缘模糊,一些小气泡附着在大气泡上。

本书研究背景来源于产业界迫切需求,为了使研究成果能够实际应用于采选工业现场,重点解决图像预处理、采选目标定位与识别、多目标分割等关键问题,对各部分的研究现状、理论基础、算法描述、实验结果及分析进行阐述。

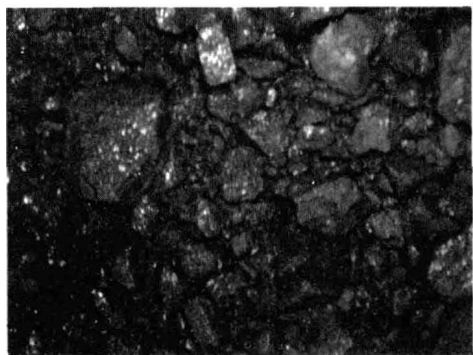


图 1-1 传送带上的矿石图像

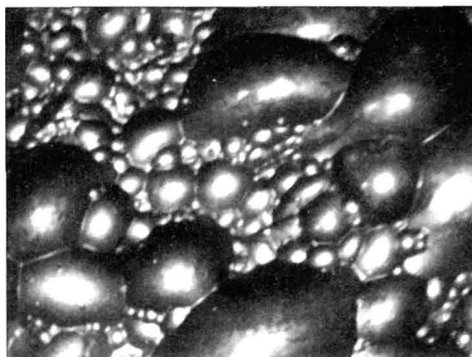


图 1-2 浮选现场的泡沫图像

1.3 矿业领域的图像处理研究

采选工业在线视频分析系统的研究起自 20 世纪末期，国内科研单位就“在线粒度测量”进行过有益的尝试和研究工作，开发过一些在线粒度检测仪，如马鞍山矿山研究院的超声波粒度仪、北京矿冶研究院的激光粒度仪等一些设备，存在反应时间长、实时性差等问题。国内研究人员从运输带上、从矿石重力降落处采集生产线上的矿石图像，利用计算机视觉技术对在线图像的矿石的尺寸及形状进行过研究，但目前国内尚缺少在矿业领域的计算机视觉成套系统及装置，而且分析领域的研究工作进展也比较慢。

1.3.1 矿石分割研究

1995 年，南非 Cape Town 大学的 Crida 研发的基于计算机视觉的矿石分割系统，分级过滤产生 n 幅图像，栈顶最后过滤的图像具有最大的粒度，自适应阈值获取矿石轮廓（Crida, 1995）。系统没有对矿石的 3D 分布进行估算。Waterloo 大学 Maerz 和 Franklin 研发的 Wip-Frag 计算机视觉系统（Maerz）用于爆破、采矿和矿物加工过程，包括 2D 到 3D 转换、案例学习、校准、在线粒度分析等功能，但立体估算结果和实际分布差异很大。Arizona 大学开发的 Split - Online 在线视频分析系统（Webmaster, 2004），包括梯度过滤器、阴影分析、分割算法和分水岭算法。分水岭输出结果是白色矿石和黑色矿粉组成的二值图像，但需要用户人工干预不同的光线条件。2000 年，芬兰 Outokumpu 采用图像处理技术计算浮选泡沫参数，开发了 FrothMaster 泡沫处理系统，但只能测量浮选泡沫的速度，不能提取泡沫图像的颜色、形状、个数、稳定度、移动速度及纹理等特征参数。

另外，国内外研究人员在矿石图像分割、浮选泡沫图像分割、图像特征提取和矿石分类与识别等领域也进行了大量技术研究。

1.3.2 浮选泡沫分割研究

Moolman 和 Aldrich 等人采用灰度阈值法提取气泡中心的亮点，预测泡沫的大小分布。该算法比较简单，但随着泡沫图像质量的恶化，其性能下降明显。Wang（1999）和 Wang（2003）采用基于 valley - edge 的边缘探索法分割泡沫图像。该方法需要首先对泡沫图像进行分类，且对图像质量要求高，其准确性很大程度受气泡类型和光照条件的影响。曾荣在浮选泡沫图像的研究（曾荣，2002）中提出了泡沫区域探索法，从每一气泡中心出发，在 12

个方向（每 30° ）放射状地搜索灰度最小值，寻找泡沫边界，气泡边缘用椭圆曲线连接，导致与泡沫的实际形状有较大偏差，且难以实现泡沫粘连处和模糊处的分割。分水岭算法（Roerdink 2000；李静 2004；Wang 2007）用于浮选泡沫图像分割时，受气泡亮点的影响易造成过分割，分割效率迅速降低，其形状信息也不可靠。

1.3.3 特征提取研究

单纯使用颜色、形状或纹理等某一底层特征表示图像目标时，矿石及泡沫图像的分割效果与应用还有很大差距。边界检测技术、区域生长技术处理复杂的矿石和泡沫图像，结果也不理想。分水岭、多级阈值只能分割清晰度高的图像，适用性差，难以用于采选现场的实时在线操作。矿石图像准确分割和识别需要提取特征和分类研究。矿石图像特征包括颜色、纹理和形态等。颜色一般由 RGB、HSV 模型表示；纹理信息可提供矿石图像的平滑、稀疏和规则性等特性，纹理（Stephen，2007）由灰度共生矩阵、傅里叶方法和小波变换等方法提取；形态特征包括面积、凸率、离心率等。类似于图像颜色提取，为了使图像目标检测过程自动化，研究者在矿石和泡沫图像的纹理及形态提取方面进行了大量工作。

Wu（1992）通过 2D 小波变换对图像进行多尺度表示，图像信号的频率分解成不同的子带，从中获取图像的纹理特征。杨育彬对图像的颜色和纹理信息进行了映射，提出一种结合图像颜色连通区域信息及其纹理特征的图像描述方法（杨育彬，2005）。该方法综合了图像的纹理信息、颜色构成和分布信息，具有较好的分类性能。关于堆积矿石的形态特征提取，王卫星（Wang，2007）使用矿石边界的形态和颜色信息，即突起、灰度梯度和曲率信息，通过合并相邻的小区域去除过分割现象，合并原则为相邻的边足够长、两个区域灰度接近、连接后的区域非凹。

Snehomoy 提取了铁矿石的 189 个颜色和纹理特征，并用神经网络成功对六种铁矿石进行分类（Snehomoy，2008）。Jayson 将矿石图像分为若干子图像，用灰度共生矩阵和小波技术提取颜色和纹理特征，主成分分析后保留 6 维特征，由支持向量机估算矿石边界，并实现矿石分类（Jayson，2007）。Dipti 对含沙粒的油矿图像进行了分类研究（Dipti，2009），提取了颜色和形态特征，进行了粒度分布统计，基于形态特征的油和沙分割效果良好。文献通过对图像分块、滤波和形态学操作提取其中的矿石粒度信息，并基于面积估算 3D 体积分布，结果与机械筛分方法基本一致。Souhail 提出重叠矿石的两步分割算法（Souhail，2008），第一步提取连接的背景区域，第二步提取连接的种子区域，基于连接个数对种子区域进行聚类。

复杂的矿石图像是多目标分类问题，矿石表面、阴影和背景等属于不同区域，而矿石表面又是复杂多面体的投影，自适应、无监督的分类聚类技术可提高矿石图像识别与重建的质量。

1.4 计算机视觉系统

机器视觉可以解决矿石粒度分布问题，包括矿石图像处理模块、矿石的模式识别、分割算法中目标边缘检测、各种模式分类及在数据集中进行比较、经验转换 2D 矿石分布到 3D 粒度分布、利用现场数据进行测试并量化性能以及统计结果并最终优化控制。

1.4.1 机器视觉

Shapiro 和 Haralik 把机器视觉定义为一门科学，设计了通过计算机从图像中自动提取和分析有用信息的算法。一个典型的机器视觉系统包括：可控照明装置、视频摄像头和带有图

像采集卡的计算机 摄像头抓取现场图像，将其转换为模拟视频信号，然后再把这个模拟信号输入采集卡，成为最终数字图像框架 一个典型机器视觉系统由以下几个步骤组成：图像捕获和增强、分割、特征提取、匹配功能模型、提取系统参数和恢复图像处理过程中丢失的信息、相关领域知识和技术的掌握，图 1-3 给出了传送带矿石粒度分析的机器视觉系统

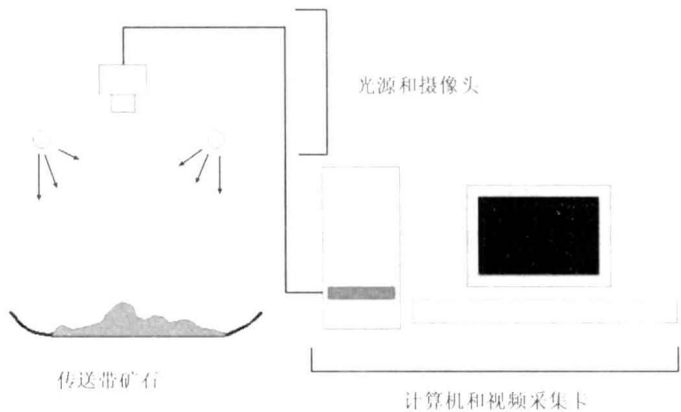


图 1-3 传送带矿石粒度分析的机器视觉系统

除了捕捉图像，大部分过程通过软件实现，光照条件的设计并没有包括在系统内 然而，从光照条件在机器视觉系统的实践应用效果来看，设计适当的照明装置是该系统的重要组成部分 一般来说，照明装置应该突出对于分割的重要性和图像识别的特点

1.4.2 控制照明

图像中目标的显示是由于目标对光照的反射特性 在图像形成过程中，光在物体表面的反射被摄像头里面的光传感器获取 图像中一个点的亮度取决于物体的反射特性和成像过程的几何结构 一幅图片辐射的量 and 场景光度成比例，一个像素点的灰度值与现场辐射 E （物体受光总量）和相应的坐标点 x 的反射 r 成正比 给出公式如下：

$$f(x) = E(x) r(x) \tag{1-1}$$

x 点的辐射 E 是所有光源的总和，反射 r 是通过摄像头反射的部分辐射 而反射部分在表面方向发生变化，从而在物体表面改变很快 很明显，现场辐射就是所谓的“背景照明” 辐射通常在数字图像处理过程中通过一个过滤操作删除，这个过滤操作模仿背景照明的结构并从所获图像中去掉

总之，所捕获的图像和光照条件之间有很强的联系，这个关系在机器视觉应用中很重要 对于衡量矿石和泡沫的粒度分布的应用而言，光照装置应该强调在场景中每个目标周围的阴影，以便对其边缘检测

1.4.3 数字图像处理

一旦采选过程图像以数字形式获得，通过数字图像处理过程实现图像中采选目标的准确分割 首先进行图像增强这一预处理过程，降低在图像形成过程中引起的噪声，在硬件捕获中的取样、量化和随机干扰都会产生噪声 降低图像噪声也会引起图像信息的损失，比如模糊物体边缘 降低图像噪声的算法应慎重选择

滤波后的图像可以进行边缘检测，通过阈值技术、数学形态学、图像锐化等和其他图像

变化过程形成的组合方法将图像分割成不相交的区域。这种处理方式可以归类为图像处理的低层次过程。因为没有识别出图像中的目标或对区域功能进行分类。

对于矿石和泡沫图像处理，在可控照明装置环境中，旨在能够实时将图像中的多个目标进行分割。

1.4.4 模式识别

模式识别的工作目的是区分目标和背景的区域。这个分类是建立在区域属性和特征基础上的，如形状、纹理、边缘和区域灰度值等特征。每个区域都被看做一个在 N 维特征向量上的样本点，其中 N 是特征维数。相邻点被视为具有类似的特性，从而形成一组有着相同标记的群。

在监督学习中，训练数据被标记过类别，其功能是将测试数据映射到相同的类中，并进行类别标记。在非监督学习中，训练数据是不被标记的，相反，聚类算法把特征向量空间分为很多类簇，从而一个新的测试点被分配到一个最接近的类簇，有很多种方法来获得这种映射和分类器。

第二章 图像增强

采选生产过程视频处理的核心过程为图像增强、图像目标定位和目标分割。由于采选生产过程视频的采集环境、视频内容存在较大差异，高适应性的图像增强处理可以提高图像处理系统的适应性和后续分割过程的准确性。由于矿石图像的复杂性，在图像增强后，需要借助形态学变换将相连的目标区域分开，并使每个目标区域内部出现明显的标识特征。再利用分割计算将图像内的多个目标的边界进行分割。

矿石图像处理面临诸多挑战：（1）传送带上矿石图像，经常处于高粉尘污染环境，自然光导致图像的颜色及亮度差异巨大，且在矿石周围形成阴影。（2）矿石堆积，粒度差异巨大，形态呈现没有规则的多面体，几何信息对矿石的分割作用有限。整幅图像中几乎没有背景信息，仅颜色信息难以区分矿石，而且目标的纹理信息很不规则，同一矿石表面的纹理有较大差异，单独的纹理信息也难以识别矿石。

图像增强有选择地突出有用信息，削弱或抑制一些无用信息。按处理域的不同分为空域增强方法和频域增强方法。空域增强针对图像的二维空间位置进行处理，即直接对每一像素或邻域的灰度值进行变换；频域增强针对图像的二维频率空间进行处理，即直接对高频或者低频内容进程变换，图像在低频时比高频明显有更多的能量（信息），低通滤波器去除高频信号的内容，尽可能保存低频信号，即图像的细节信息，高通滤波器去除低频信号的内容，尽可能保存高频信号，即图像的边缘信息。采选图像由于目标表面凹凸不平、颜色纹理信息差别很大，目标内部和目标边缘的频域处理不易区分，故没有对其进行频域增强处理。

空域增强按技术可分为灰度变换和空域滤波。灰度变换是基于点操作，将每一个像素的灰度值按照一定的数学变换公式转换为一个新的灰度值，使感兴趣目标的灰度更突出、更容易提取，包括对比度增强、直方图均衡化等方法。

空域滤波将信号从加性高斯噪声中分离出来，是基于邻域进行处理。应用特定模板对每个像素及其周围邻域的像素进行数学运算，得到该像素新的灰度值。图像平滑就属于空域滤波，但均值滤波器和中值滤波器在平滑图像去掉噪声的同时，对边缘信息也会削弱。而采选图像需要滤波平滑目标的内部，同时需要加强边界信息。

针对矿业领域图像昏暗的问题，本章以矿石图像为例，采用灰度变换方法，增强矿业领域图像中采选目标与背景之间的对比度。对于灰度变换后的图像采用非线性滤波器去除照明设备及灰尘污染导致的噪声。

2.1 灰度变换

在曝光不足或曝光过度，或景物本身灰度值较低的情况下，图像灰度可能局限在一个很小的范围内，致使图像中的细节分辨不清。尤其是矿业领域的图像在高污染、高粉尘及在户外环境采集，采集图像往往昏暗不清。

灰度变换是图像增强的重要手段，使图像目标与背景之间的对比度进行扩展，尤其适用于矿石图像，使其中的矿石目标清晰，特征明显。灰度变换通过线性或非线性映射函数 T ，

将输入图像中每个像素 (x, y) 的灰度值 $f(x, y)$ ，变换成灰度值 $g(x, y)$ ，即 $g(x, y) = T[f(x, y)]$ ，使变换后图像目标与背景间对比度得到扩大，有效改善视觉效果。

映射函数 T 应该根据原图像的直方图自适应获取，即如果图像直方图为单峰，则可以采用线性灰度变换。如果直方图为双峰或多峰情况，则采用分段线性变换或非线性变换。

2.1.1 线性灰度变换

计算机视觉系统按照在传送带上部，进行实时视频采集，图 2-1 是采集的任意一帧矿石图像，对其进行直方图统计，如图 2-2 所示，显示其直方图为单峰。线性变换公式为：

$$g(x, y) = f(x, y) \cdot C + R \quad (2-1)$$

线性变换公式中斜率 C 和截距 R 的值由图像直方图决定，对于黑暗的图片，较大的 R 值可使图像快速变亮；对于过亮的图片，较小的 R 值可使图像快速变暗。直方图的峰值出现在低灰度值区域，取 $R > 1$ ，对低灰度值区域进行扩展；直方图的峰值出现在高灰度值区域，取 $R < 1$ ，对高灰度值区域进行扩展。截距 R 加大，可以整体提高图像亮度。

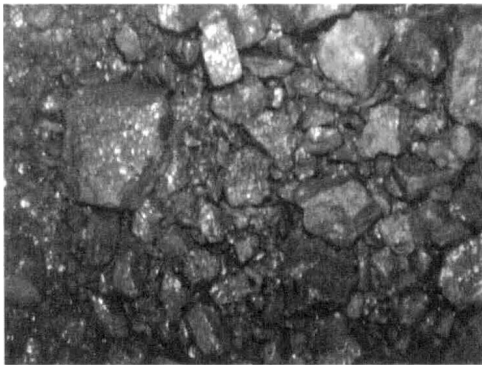


图 2-1 传送带采集矿石图像

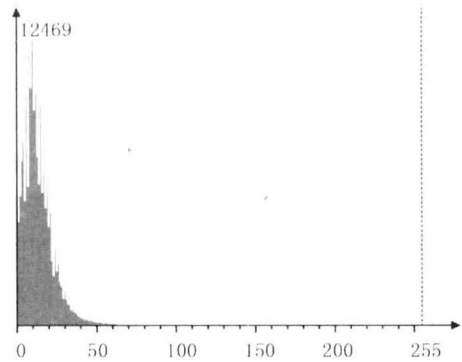


图 2-2 矿石图像直方图

假定原始输入图像的灰度取值范围为 $[f_{\min}, f_{\max}]$ ，输出图像的灰度取值范围为 $[g_{\min}, g_{\max}]$ ，其变换公式为：

$$g(x, y) = \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} (g_{\max} - g_{\min}) + g_{\min} \quad (2-2)$$

对于 8 位灰度图像，如果在整个灰度范围内进行拉伸，则：

$$g(x, y) = \frac{f(x, y) - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \times 255 \quad (2-3)$$

2.1.1.1 灰度变换实验

对于图 2-2 直方图进行统计， $f_{\min}$ 和 $f_{\max}$ 分别为直方图单峰的左右两侧灰度值，灰度范围 $[f_{\min}, f_{\max}]$ 内像素个数占整幅图像的 80% 以上。图 2-3 是矿石图像的灰度变换结果，比原图清晰，对比度得到扩展。图 2-4 是灰度变换的线性关系图， $P(r)$ 是图像中灰度为 r 的像素频率，高频率的灰度范围出现在 0 ~ 50 之间，对此灰度范围进行灰度线性变换。

$$\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} p(r) dr > 80\% \quad (2-4)$$