

# 一种基于 IST 的板形参数测量方法的研究与应用

付柏杨 徐宏喆 郑卫斌 仲维鲁 文 革

(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

**摘 要** 将板形参数测量方法应用于工业测量智能控制过程中,不仅降低了板形测量的成本,而且提高了测量的精度和效率。结合实际应用的板材测量过程,研究了板形图像目标提取方法,提出了图像阈值分割和图像区域细化相结合的基于 IST 算法(Image Segmentation and Thinning)的板形参数测量方法。该方法在保证测量精度的前提下,可以有效地消除噪声和运动因素的干扰,同时能够满足实时性需求。

**关键词** 板形参数测量,图像阈值分割,图像区域细化

中图分类号 TP391 文献标识码 A

## Research and Implementation of a Plate Parameter Measurement Method Based on IST

FU Bai-yang XU Hong-zhe ZHENG Wei-bin ZHONG Wei-lu WEN Ge

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract** The plate parameter measurement method can be applied to industrial intelligent control. It not only reduces the cost of plate parameter measurement, but also improves the accuracy and efficiency. Based on the practical application and research of object extraction on plate image, the paper proposed a kind of plate parameter measurement method based on ISL(Image Segmentation and Thinning) algorithm that combines image threshold segmentation with image region thinning. Under the premise of ensuring accuracy, the method can effectively eliminate the noise and movement interference and meet the demands of real-time.

**Keywords** Plate parameter measurement, Image threshold segmentation, Image region thinning

## 1 引言

将计算机视觉检测技术引入工业测量领域,有效地弥补了人眼观测的主观性,对未来工业智能化的发展具有一定的指导意义<sup>[1]</sup>。然而,传统的板形图像处理受限于随机噪声、运动模糊等诸多外界因素的影响,如何对图像背景进行有效的分离并解决除噪问题一直是该领域研究的难点。基于 IST 算法的板形测量方法完成了板形图像处理和平均直度计算两大功能:一方面,从大量的图像像素点中找到可以用于计算并能反映平均直度特点的像素集合;另一方面,使用光学测量原理,把实际的板形参数测量过程转化为对像素间距的测量。

## 2 一种 IST 板形参数测量方法的分析与研究

计算机视觉检测中,目标提取技术为解决图像背景的有效分离提供了可行性方案。该技术研究的核心在于如何对目标与背景区域进行合理的分离,以及如何对分离结果进行计算。下面将分析相关的图像分割技术、图论中最优分割思想以及区域细化算法,研究适合于板形图像目标提取的算法。

常用的图像分割技术有轮廓分割、区域分割和阈值分割。轮廓分割的特点是提取出图像中灰度差异最大的相邻点作为

边缘,区域分割则通过像素点的相似性进行分割。与这两种算法相比,阈值分割计算时间少,对噪声具有一定的抑制能力,对模糊的图像也有很好的分割效果,而且只需要一个度量函数和一个阈值就可以将图像分为两个集合。这种方法对于边缘部分的灰度渐变区域有很好的适应性,但是对分割结果的评价比较困难,没有一个通用的准则来表示最优的划分。

最优分割思想研究的是如何将一个划分准则应用于两个像素集合的聚类中,使得分割效果达到最优。划分准则的好坏直接影响到聚类结果的优劣。常见的划分准则有 Minimum cut, Normalized cut, Min-max cut 等<sup>[2]</sup>。最小最大割集准则(Min-max cut)<sup>[3]</sup>与 Minimum cut, Normalized cut 方法相比,可以保证产生平衡的分割效果,其目标函数遵循集合间样本间的相似度小而集合内样本间的相似度大的原则,而且该方法从理论上被证明是最优化的分割方法,与 Normalized cut 相比,当集合间重叠较大时,其目标函数能得到更精确的结果<sup>[3]</sup>。

区域细化算法是将条形区域经过逐层的无效边缘点筛选,最后得出中心单像素宽细线的方法。本文配合一定的改进策略,将该方法应用于激光线的提取中。现有的细化算法可大致分为两类:基于二值边缘图像的方法<sup>[4]</sup>以及基于数学

到稿日期:2010-12-14 返修日期:2011-03-22 本文受国家科技部支撑项目(2008BAH37B04-4)资助。

付柏杨(1987-),男,硕士生,主要研究领域为计算机应用技术,E-mail: xiaobaiyang\_cool@163.com;徐宏喆(1961-),女,博士,副教授,主要研究领域为计算机应用技术;郑卫斌(1972-),男,博士,讲师,主要研究领域为计算机网络;仲维鲁(1987-),男,硕士生,主要研究领域为计算机应用技术;文 革(1987-),男,硕士生,主要研究领域为计算机应用技术。

形态学的方法<sup>[5]</sup>。二值边缘图像方法只关注边缘点的信息,如果像素点可以归为边缘点则丢弃,否则就保留<sup>[6,7]</sup>。OPTA算法是一种典型的二值边缘图像细分算法,该算法使用模板匹配消除边缘点,可达到较好效果<sup>[9]</sup>。

目标板形提取的问题可以转化为图像二值划分问题,而且针对传统图像分割和区域细化算法中存在分割以及细化结果不精确等问题,可以采用最优分割和像素点预测跟踪的思想来解决,从而有效地去除噪声以及避免运动模糊的干扰。

## 2.1 图像阈值分割算法的改进

基于以上分析,在传统的阈值分割算法的基础上,将对其进行改进。改进的方法是将图论最优分割思想引入图像阈值分割的方法中,使阈值分割达到最优。可以把图像转化为一个无向带权图  $G(V, E)$ ,  $V$  代表像素点集,  $E$  由任意两点  $u, v$  的度量函数  $w(u, v)$  的值表示,反映的是两个点之间的关联程度,即关联度。由关联度组成的邻接矩阵称为关联度矩阵。假设点集合  $V$  被划分成  $A$  与  $B$  两个集合,那么  $A$  与  $B$  所有的点之间的权值边的和  $\sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$  就反映了集合  $A$  与  $B$  之间的关联度,这样就解决了阈值分割中分割结果难以度量的问题。根据集合聚类的思想,要使划分集合的结果效果最好,必须满足划分后的集合之间的关联度最小且集合内部之间关联度最大的思想。我们取集合  $A$  中任意两点间的关联度的和  $\sum_{u \in A, v \in A} w(u, v)$  为集合  $A$  的内部关联度,集合  $B$  有类似定义。因此,最优划分的思想就转化为求集合  $A$  和  $B$  使其满足  $\sum_{u \in A, v \in B} w(u, v)$  最小、 $\sum_{u \in A, v \in A} w(u, v)$  和  $\sum_{u \in B, v \in B} w(u, v)$  最大的问题。根据上述,本文采用最小最大分割算法进行分割计算。

### 2.1.1 最小最大分割算法

最小最大分割算法基于图论中的最小最大分割准则,其目标函数称为  $Mc_{cut}$  函数:

$$Mc_{cut}(A, B) = \frac{cut(A, B)}{asso(A, A)} + \frac{cut(A, B)}{asso(B, B)}$$

式中,  $cut(A, B)$  为集合  $A$  与  $B$  的关联度,  $asso(A, A)$  和  $asso(B, B)$  分别为集合  $A$  和  $B$  内部的关联度。最小最大分割理论要满足  $\min cut(A, B)$ ,  $\max asso(A, A)$ ,  $\max asso(B, B)$  3 个条件。当  $Mc_{cut}$  取最小值时,恰好可以满足这 3 个条件,此时获得的集合  $A$  和  $B$  就是最优分割的结果。

### 2.1.2 分割问题与改进策略

#### (1) 算法精度

图像上任意两个像素点的关联程度取决于灰度差和像素点距离两个因素,最小最大分割所使用的方法只考虑到了灰度因素的影响,很容易引入灰度较高的噪声点。通过改进关联度函数,在灰度因素的基础上引入距离因素,并调节两个因素的对比参数,提高算法适应性,降低噪声影响。

#### (2) 计算效率

根据文献<sup>[8]</sup>所描述的雅克比法,计算关联度矩阵的特征向量共需  $(n^2 - n)/2 \cdot 2n$  次循环,时间复杂度为  $O(n^3)$ ,大量的计算导致系统运行缓慢。改进方法有:用相同灰度的点集合代替单个点生成关联度矩阵,使关联度矩阵的维数由  $n$  降为 256;由于我们需要的是两个连续灰度区间的分割结果(例如灰度区间  $[0, 110]$  和  $[111, 255]$ ),因此可以用顺序扫描的方法代替特征向量的计算,即遍历所有灰度级  $0 \sim 255$ ,每次遍历扫描一遍矩阵计算  $Mc_{cut}$  的值,找出的最小  $Mc_{cut}$  就对应最优的分割结果,计算频度仅为  $256 \times 256 \times 256/2$ 。

改进的图像阈值分割算法流程如下:首先,构建原始图像的带权图  $G(V, E)$ ,计算每个点与其半径为  $r$  的邻域内所有点的关联度  $w$ ;其次,将上步得到的关联度的值以其两点的灰度值为坐标,填入灰度级邻接矩阵  $M$  中。如果已有值,则与该值求和后填入对应位置。

最后,使用  $M$  的上三角矩阵作为计算矩阵,采用顺序扫描的方法找出最小的  $Mc_{cut}$ ,将其对应的灰度值  $t$  作为灰度阈值,对图像进行二值分割。大于  $t$  的像素点属于目标集合,小于  $t$  的则属于无效像素点,得到的分割结果如图 1(b) 所示。

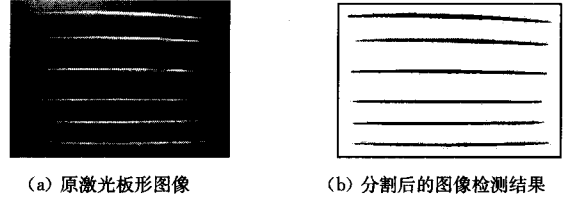


图 1 改进图像阈值分割算法的分割结果

## 2.2 OPTA 区域细化算法的改进

由于光线照射在运动板材上出现残影,提取到的光线“很粗”,如图 1(b) 所示,对这种激光线的计算会造成很大误差,因此有必要对光线进行细化处理来提高识别准确性。

### 2.2.1 OPTA 区域细化算法

OPTA 算法的核心是通过应用消除和保留这两套模板,来达到细化原图的目的<sup>[9]</sup>。经过实验发现,如图 4(a) 所示,该算法保持了原激光线的拓扑性,保持了光线的连续性和单像素宽的特点,达到了预期的细化效果,但是仍有一些需要改进的地方。

### 2.2.2 区域细化问题与改进策略

算法存在的不足:细化结果存在毛刺和突起区域。毛刺是由于算法的保留模板定义不精确,保留了一些不该保留的点,形成了分支线而造成的。突起是线段上局部几个像素点的整体上升或下降。这是算法细化过程中对于不规则边缘所产生的错误结果。在 OPTA 算法细化的基础上使用预测跟踪算法进行去噪处理,还原线段的原始特征。下面是具体的改进方案:

(1) 去毛刺:本文使用线段跟踪算法,找出需要的线段,从而过滤掉毛刺点。

(2) 去突起:如图 2 所示领域,在细化处理过程中,如果  $P_8$  匹配不成功,则向右寻找  $m$  个点,如果找到第  $n$  ( $n \leq m$ ) 个点时与  $P_8$  匹配成功,则把右侧  $n$  区间内所有点的高度变为  $P$ ,使区间内保持为一条直线。

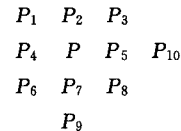


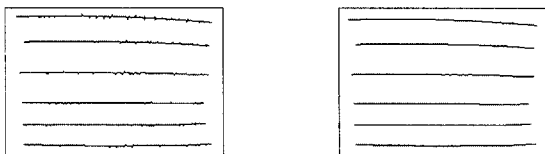
图 2 算法所取的邻域示意图

改进的 OPTA 算法的思想是通过匹配模板,找到区域的中心线,再通过跟踪邻域像素的方法连接整条完整光滑的曲线。算法流程是:首先,使用原始的 OPTA 算法进行图像细化;其次,使用图 3 所示模板匹配细化后的图像,找出所有线的左端点;最后,取一个左端点定为  $P$ ,匹配的邻域参照图 2。首先匹配邻域  $P_5$  点,如果匹配成功则把当前  $P$  点加入结果集中,扫描点变为  $P_5$  点;如果  $P_5$  匹配不成功,而  $P_3$  或  $P_8$  匹

配成功,则向右找  $m$  个点,如果有像素点  $p'$  的高度与  $P$  的高度相同,则把  $P$  与  $p'$  间所有像素都变为  $P$  的高度加入到结果集中,将当前的扫描点变为  $p'$ ;如果  $P_3$ 、 $P_5$ 、 $P_8$  都没匹配成功则取下一个左端点直到取完所有左端点。改进后的细化结果如图 4(b)所示。

0	0	1
0	1	1
0	0	1

图 3 改进的 OPTA 算法的左端点模板



(a) OPTA 算法细化结果

(b) 改进后的细化结果

图 4 OPTA 算法改进前后的细化结果

### 2.3 基于 IST 的板形参数测量方法

基于 IST 的板形参数测量方法,是将上述改进后的阈值分割算法和区域细化算法结合,还原了反映板形的激光线的位置数据,最终通过计算激光线位置移动得出板形形变的参数。算法流程是:首先,使用改进后的阈值分割算法将图像进行二值划分;其次,应用匹配模板将图像的宽边缘进行裁剪,得到中心的连续信息曲线,并使用跟踪算法进行去噪;最后,把激光线的偏移转化为激光线的间距,近似计算出板材实际长度与标准长度的比值(延伸率)  $v$ ,计算所有激光线的延伸率,并对数据进行求和取平均  $\sum_{i=1}^n v_i/n$ ,此值即为当前时刻的板形参数。结果表明,该算法可以很好地适用于板形图像特征的提取,且具有较高的精度。

## 3 结果分析

将 IST 板形测量方法应用到实际系统测量环境中,分析实际的测量情况,通过研究实际测量中的精度和效率,探讨本文提出的方法在实际应用中的价值。

### 3.1 精度分析

板形参数测量的误差主要分为两个方面:一是算法带来的误差;二是测量误差。漏检率和误检率是评价图像处理性能的重要指标。漏检率定义为未被归入集合的有效像素点与集合内像素点总数的比值,误检率定义为集合内无效的像素点与集合内所有像素点总数的比值。像素分类的错误只会出现在图像分割的过程中,因此,这里只对图像分割算法进行对比分析。从表 1 中可以看出两者的误差概率差别不大。由于改进的阈值分割法将像素点的分割变为相同灰度像素点集合的分割,因此误检的像素点会比未改进的阈值分割法多,但是在可容忍的误差范围内,改进的算法有很强的适应性,可以满足实际测量对精度的要求。

表 1 改进的阈值分割算法和未改进的算法检测精度对比

图像阈值分割算法	平均漏检率	平均误检率
未改进	0.012	0.0334
改进后	0.010	0.0506

另一方面,延伸率是板形测量的一个重要指标,值越大表明板材弯曲程度越高,反之就越低。对同一组板材,分别使用

IST 算法实现的板形参数测量系统和传统手工方法测量得到两组板材表面板形数据,且均采用钢板纵向的延伸率表示,对比结果如图 5 所示。可见,系统得到的板形参数与传统板形仪测量出的板形参数相差较小。

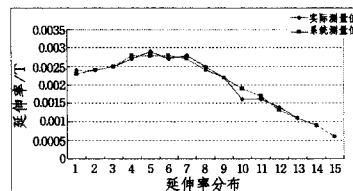


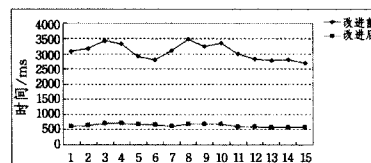
图 5 板形检测系统测量误差分析对比图

### 3.2 效率分析

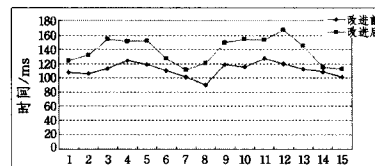
#### 3.2.1 算法时间效率分析

阈值分割算法改进前后的时间比较,如图 6(a)所示。从分割结果可以看到改进后的算法的时间明显少于原分割算法,但在优化分割效率的同时降低了分割的灵活性,将任意像素点的分割变为为了以灰度为集合的像素点的分割,体现了效率与精度的不可兼得性。但本文的应用背景是激光线有效区域的提取,主要根据亮度差作为分割标准,所以改进的算法仍然适合于本系统。

区域细化算法改进前后的时间比较,如图 6(b)所示。从算法时间上看,细化算法总的计算量不大,主要是因为使用了模板匹配规则;从对比结果分析,改进的算法时间要比原细化算法时间长,主要是因为改进算法在原算法上加上了跟踪算法进行去噪和平滑处理。但跟踪算法的扫描次数只与激光线条数和图像宽度有关,对整个细化算法的时间影响不大。



(a) 图像分割算法的时间比较



(b) 区域细化算法的时间比较

图 6 算法时间效率比较

#### 3.2.2 系统运行的实时性分析

实时性是指板形测量系统能够检测到任意区域的板材信息。如果实时性不够,将有部分区域因为系统来不及处理而未被检测,会严重影响测量精度。反映系统实时性的重要指标是处理一帧图像的最大运行时间。设钢板运动的速度为  $v$ ,图像高度为  $h$  个像素点,每个像素点对应的图像高度为  $\eta$ ,图像采集系统单位时间最少应采集  $\varphi_{\min}$  帧,其中  $\varphi_{\min} = v/(h \cdot \eta)$ ,则板形识别算法的最大运行时间  $t_{\max} = 1/\varphi_{\min} = h \cdot \eta/v$ 。如果识别算法不能在  $t_{\max}$  内完成,板形识别系统的实时性就无法得到保证。

实际的板材测量过程中有低速和高速两种运行环境,要分别满足这两种环境对板形参数计算的需求。表 2 是实际环

(下转第 186 页)

[8] Kowalski R A, Toni F. Abstract argumentation[J]. Journal of Artificial Intelligence and Law, Special Issue on Logical Models of Argumentation, 1996, 4(3/4): 275-296

[9] Kakas A C, Toni F. Computing argumentation in logic programming[J]. Journal of Logic and Computation, 1999, 9(4): 515-562

[10] Bench-Capon T J M. Persuasion in practical argument using value-based argumentation framework[J]. Journal of Logic and Computation, 2003, 13(3): 429-448

[11] Coste-Marquis S, Devred C, Marquis P. Symmetric argumentation framework[C]//8<sup>th</sup> European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU). Barcelona, Spain, 2005: 317-328

[12] Modgil S. Hierarchical argumentation [C]// Proc of 10<sup>th</sup> European Conference on Logics in Artificial Intelligence. Liverpool, UK, 2006: 319-332

[13] Modgil S. Reasoning about preferences in argumentation frameworks[J]. Artificial Intelligence, 2009, 173: 901-934

[14] Modgil S. Nested argumentation and its application to decision making over actions[C]//Proc of second Int, Workshop on Argumentation in Multi-Agent Systems. 2005: 57-73

[15] 伍京华, 蒋国瑞, 黄梯云. 基于论据的 agent 谈判中威胁及其评价的形式化模型[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(15): 205-211

[16] 陈荣, 姜云飞. 一种新的论据推理模式及其应用[J]. 计算机学

[17] Rahwan I, Amgoud L. An argumentation based approach for practical reasoning[C]//Proc of Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. Hakodate, Japan, 2006: 347-354

[18] Bench-Capon T J M, Prakken H. Argumentation[M]. Lodder A R, Oskamp A. eds. Information Technology & Lawyers: Advanced Technology in the Legal Domain, from challenges to daily routine. Springer-Verlag, 2006: 61-80

[19] Rissland E L, Ashley K D, Loui R P. AI and Law: a fruitful synergy[J]. Artificial Intelligence, 2003, 150: 1-15

[20] Prakken H. Analysing and reasoning about evidence with formal models of argumentation[J]. Law, Probability and Risk, 2004, 3: 33-50

[21] Dung P M, Mancarella P, Toni F. Computing ideal skeptical argumentation[J]. Artificial Intelligence, 2007, 171: 642-674

[22] 袁金平, 姚莉, 佟濛. 用于辩证分析的多方对话协议[J]. 计算机科学与技术, 2010, 4(6): 511-519

[23] 陈荣, 孙吉贵. 真稳定类与辩论语义[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(8): 936-942

[24] Trojahn C, Quaresma P, Vieira R. Using an Extended Argumentation Framework Based on Confidence Degrees for Legal Core Ontology Mapping[C]//Proc. International Conference on AI and Law. Stanford, USA, 2007: 41-46

(上接第 178 页)

境中经过测量得到的参数值。当板材低速时, 处理一幅图像需要 4. 153s, 对系统的实时性要求比较低。但是当板材高速运行时, 处理一幅图像仅需要 1. 384s, 如果板形参数测量系统达不到这个时间要求, 将无法满足板形处理的实时性。

表 2 实际运行时的各参数表

参数值	v(m/s)	h(pixel)	$\eta$ (m/pixel)	$\varphi_{\min}$	$t_{\max}$ (s)
低速时	10	576	0. 0721	0. 241	4. 153
高速时	30	576	0. 0721	0. 722	1. 384

选取 6 个不同的有代表性的运行时间样本, 分析系统运行是否满足实时性, 如表 3 所列, 可以看出系统总的运行时间均小于最大运行时间 1. 384s 的要求。实际的测量结果表明, 本文提出的参数测量方法可以满足实际现场环境中板形测量实时性的要求。

表 3 样本图像的系统运行时间表

系统的各子模块	视频转换	区域分割	区域细化	参数计算	总时间
样本 1 运行 计算时间(ms)	75	613	124	60	872
样本 2 运行 计算时间(ms)	83	642	119	54	898
样本 3 运行 计算时间(ms)	81	597	106	45	829
样本 4 运行 计算时间(ms)	69	563	110	67	809
样本 5 运行 计算时间(ms)	68	552	133	87	840
样本 6 运行 计算时间(ms)	65	587	143	78	873

**结束语** 本文以工业测量智能参数选择系统为研究背景, 在深入研究系统中板形参数测量方法的基础上, 结合图像处理的相关理论, 提出了图像分割与区域细化相结合(IST 算法)的板形参数测量方法, 并通过实验对该方法进行了验证。

经过对实际应用结果的分析可以看出, 该方法适用于板材的参数测量过程, 可以有效地给出板形信息。同时, 其检测结果可以输入到矫直机工艺参数选择系统, 从而得到板材的矫直参数, 具有较好的理论实用价值。

### 参 考 文 献

[1] Liu K, Xu H Z, Peng X H, et al. The Research and Application of a Learning Algorithm of Batch Increment and Online Which Bases on Support Vector Regression[C]//2008

[2] 蔡晓妍, 戴冠中, 杨黎斌. 谱聚类算法综述[J]. 计算机科学, 2008, 35(7): 14-18

[3] Ding C, He X, Zha H, et al. Spectral Min-Max Cut for Graph Partitioning and Data Clustering [C]//Proc. of the IEEE Intl Conf. on Data Mining. 2001: 107-114

[4] Park J, Chen H C, Huang S T. A new gray level edge thinning method[C]//Proceedings of the ISCA 13th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering. November 2000: 114-119

[5] Lee T C, Kashyap R L. Building skeleton models via 3-D medial surface/axis thinning algorithm[J]. Graphical Models and Image Processing, 1994, 56(6): 462-478

[6] Hall R W. Fast Parallel Thinning Algorithms: Parallel Speed and Connective Preservation[J]. Commun. ACM(US), 1989(1)

[7] Holt C M. An Improved Parallel Thinning Algorithm[J]. Commun. ACM(US), 1987(2)

[8] 何渝. 计算机常用数值算法与程序(C++版)[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003

[9] Chin R T, Wan H K, Stover D L. A one-pass thinning algorithm and its parallel implementation[J]. Computer vision graphics image processing, 1987(1): 30-40