

基于改进多目标模板匹配在铝材计数的应用

高旭升, 陈晓荣, 王原野, 王子旋, 徐 挺

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

✉ 15800961656@163.com; cxrsjtu@163.com; 1194701571@qq.com; 823196574@qq.com; 1565912192@qq.com



摘 要:针对铝材入库计数过程存在效率低和耗时长的问题,提出了一种基于机器视觉和改进的图像金字塔的铝材计数方法。该方法应用 Sobel 边缘检测提取模板轮廓,采用加权最小二乘法进行直线拟合实现模板轮廓的优化处理,进而得到最优模板,改进后的图像金字塔算法实现了对图像模板匹配的快速计数。实验结果表明,所提出的方法应用于铝材入库计数,具有较高的召回率和较快的匹配速度,测试数据集的平均检测准确率达到 98.4%,匹配效率相较于传统图像金字塔算法提升了 37.0%。

关键词:边缘检测;模板匹配;直线拟合;图像金字塔

中图分类号:TP391.4 **文献标志码:**A

Application of Improved Multi-objective Template Matching in Aluminum Counting

GAO Xusheng, CHENG Xiaorong, WANG Yuanye, WANG Zixuan, XU Tin

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

✉ 15800961656@163.com; cxrsjtu@163.com; 1194701571@qq.com; 823196574@qq.com; 1565912192@qq.com

Abstract: This paper proposes an aluminum counting method based on machine vision and an improved image pyramid, to address the problems of low efficiency and time consumption in the process of counting stock-in aluminum products. In this method, Sobel edge detection is used to extract the template contour that is optimized by weighted least squares method for line fitting, so as to obtain the optimal template. The improved image pyramid algorithm achieves fast counting of image template matching. The experimental results show that the proposed method has a high recall rate and fast matching speed when applied to aluminum stock-in counting. The average detection accuracy of the test dataset reaches 98.4%, and the matching efficiency is improved by 37.0% compared to traditional image pyramid algorithms.

Key words: edge detection; template matching; linear fitting; image pyramid

0 引言 (Introduction)

随着铝材需求的增加,铝材的入库和出库频率相应增加,准确统计铝材数量对库存调配愈发重要。传统的统计方法通常依赖人工清点计数,但是人工计数方式不仅效率低下,而且无法确保统计数据的准确性,此外铝材存放环境复杂、堆积量

大,在这样的环境下采用人工计数方法统计铝材的入库和出库数据存在巨大的安全隐患。

目前,自动化技术^[1-2]在各个领域都有应用。在铝材数量统计方面,采用自动化技术可以提高统计效率和统计结果的准确性,同时降低作业风险。自动化的铝材数量统计方法使用计算机视觉算法和图像处理技术实现对铝材数量的识别和计算,

为解决传统人工计数方式存在的效率低、耗时长及无法保证统计结果准确性的问题提供了较好的方案。

1 相关研究(Related research)

CHEN 等^[3]提出了一种基于深度学习的 YOLOv4 模型,通过无人机采集图像对杨梅树数量进行统计的方法。SOZZI 等^[4]提出了一种使用 YOLO 模型对每株葡萄树进行自动化计数,实现对葡萄产量的估算。CHOWDHURY 等^[5]提出了一种使用无人机捕获图像并结合 YOLOv5 模型对棕榈树进行计数的方法。上述基于深度学习算法的检测方法需使用大量的图像进行训练且训练结果不能预期。冯书庆等^[6]借鉴模板匹配的方法,设计了一种图像分割扫描及特征匹配的模板检测算法,提出了一种基于机器视觉的鱼类目识别算法。杨俊杰等^[7]提出了对图像金字塔顶层使用 Linemod-2D(基于特征匹配的快速目标识别算法)的快速查表法,并结合 Otsu(最大类间方差法)算法和自动双阈值分割法对多目标工件进行快速识别定位及分拣。应捷等^[8]运用仿射变换和模板匹配的方法对道路车位进行识别并计数。上述方法虽然不必使用大量图像进行训练,但是在面对复杂图像时,其识别速度较慢、召回率较低。

本文通过基于双阈值的 Sobel 边缘检测算法提取模板轮廓,针对轮廓可能会出现断续、凹凸不平等问题,采用直线拟合算法求出最优的模板轮廓,提出一种基于图像金字塔裁剪的改进图像金字塔算法,并在此基础上进行模板匹配,实现对铝材的准确计数。

2 模板轮廓提取(Template contour extraction)

本研究检测所用图像均由相机拍摄,采集到的铝材待测图像如图 1 所示。

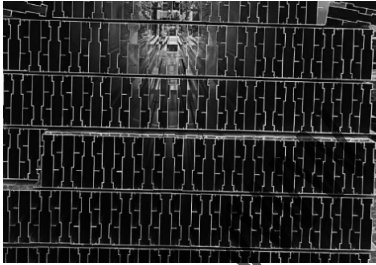


图 1 铝材待测图像

Fig. 1 Aluminum material image to be tested

检测所需图像处理操作如下:首先进行图像预处理,使用 Sobel 算法进行边缘提取、直线拟合,其次采用经过改进的图像金字塔算法进行多目标模板匹配等操作。测出图像中每个板材的位置,并将检测结果显示在板材对应位置。图像处理流程图如图 2 所示。

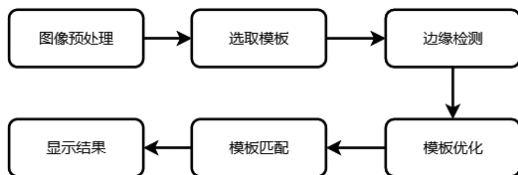


图 2 图像处理流程图

Fig. 2 Image processing flowchart

2.1 图像预处理

为简化图像处理过程,需要将采集到的图像转成灰度图像,减少计算量。采集的图像易受到光照、曝光等因素的影响,容易出现局部模糊、细节丢失等情况,因此需对图像进行细节增强。

为了增强图像细节,经多组实验对比,采用导向滤波^[9]对图像进行增强,平滑图像边缘的同时,图像的整体细节也可以得到很好的控制;实现原理如公式(1)和公式(2)所示:

$$q_i = a_k I_i + b_k, \forall i \in \omega_k \quad (1)$$

$$q_i = p_i - n_i, \forall i \in \omega_k \quad (2)$$

其中: p_i 为输入图像, I_i 为导向图, q_i 为滤波后的输出图像,系数 a_k 和 b_k 是对导向图 I_i 进行线性变换的参数, n_i 可以看成输入图像的纹理和噪声。

原图像如图 3(a)所示,预处理后的结果图像如图 3(b)所示。通过图 3 可以观察到,通过导向滤波处理后的图像对比原图像,边缘更加平滑、细节更加清晰。

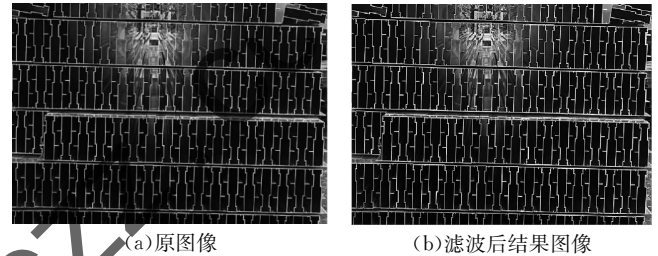


图 3 图像预处理结果

Fig. 3 Image preprocessing results

2.2 模板轮廓预处理

对图像进行预处理后,需要选择合适的模板进行模板匹配,选择的模板通过图像预处理后如图 4(a)所示。本文通过 Sobel 边缘检测算法对预处理后的模板图像进行边缘提取。Sobel 边缘检测算法的优点是具有较高的抗噪声和抗干扰能力,但在处理复杂背景的图像时,无法严格区分背景和所需提取的图像,可能导致提取的图像边缘轮廓模糊^[10]。因此,本文引入滞后阈值法,用于优化 Sobel 算法对边缘轮廓的提取^[11]。该方法设置高低阈值各一个,并通过遍历像素的方法进行比对。高于高阈值的像素点,认为是强边缘,予以保留;低于低阈值的边缘点,认为是弱边缘,予以舍弃;对于介于高低阈值的像素点,如果该像素点连接强边缘时,予以保留,如果连接到弱边缘时,予以舍弃。对经过预处理后的模板图像,运用 Sobel 边缘检测算法提取的模板轮廓如图 4(b)所示。



(a)预处理后的模板图像

(b)Sobel 算法提取模板轮廓

图 4 边缘提取结果

Fig. 4 Edge extraction results

使用 Sobel 边缘检测算法提取的模板轮廓并不适用于直接匹配模板。如图 4(b) 所示, Sobel 边缘检测算法检测到的边缘可能会出现断断续续、凹凸不平的问题, 因此如果直接使用该模板轮廓进行匹配, 会产生许多错误匹配, 并且召回率较低, 无法满足实际应用的要求。为了优化模板轮廓, 需要对 Sobel 算子提取的模板轮廓进行直线拟合。

2.3 直线拟合算法

由于最小二乘法^[12]对直线拟合是将时间序列中各项数据予以同等对待, 直接使用最小二乘法对模板轮廓进行直线拟合, 最终得到的结果并不理想。这是因为所要得到的模板轮廓不是一条简单的直线, 而是对模板图像最贴合的边缘。基于加权最小二乘法的拟合, 通过对临近的像素点赋予较高的权重, 对较远的像素点给予较低的权重, 因此能得到更真实的模板图像轮廓^[13]。加权最小二乘法采用指数权重 W^{n-1} , $0 < W < 1$, 加权后的参数估计值应满足的条件如公式(3)所示, 其中 S 为加权剩余平方和, y_i 为实际值, $\hat{y}_i$ 为拟合后的模型值, $\min$ 为加权剩余平方和的最小值。

$$S = \sum_{i=1}^n W^{n-i} (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

对图 4(b) 进行直线拟合后, 得到的模板轮廓如图 5 所示。从图 5 中可以清晰地看到直线拟合后的模板轮廓与真实的模板轮廓非常接近, 相比 Sobel 算法提取的模板轮廓更加准确。图 5 可以作为模板轮廓进行匹配操作。

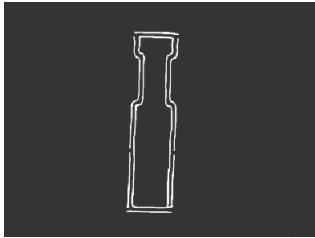


图 5 直线拟合后的模板轮廓

Fig. 5 The template contour after linear fitting

3 模板匹配 (Template matching)

模板匹配的原理是将一个预定义的模板或样本图像与目标图像进行比较, 通过计算它们之间的相似度或差异度确定匹配的位置。传统的模板匹配方法采用遍历的方式, 在原图像上从左到右、从上到下以像素为单位采用滑动方式进行匹配。在每个像素位置, 将原图像中与模板图像大小相同的区域截取出来, 并进行像素值比较运算, 找到最佳匹配位置或最高相似度得分^[14]。

由于传统模板匹配方法是采用遍历的方式进行搜索, 因此存在匹配时间长、内存消耗高等缺陷, 不适用于大规模检测计算。本文引入图像金字塔算法对模板匹配进行加速。

3.1 图像金字塔算法

图像金字塔算法^[15]是一种多尺度图像处理技术, 用于在不同分辨率下对图像进行分析和处理; 它以金字塔的形式表示图像的多个尺度, 每个尺度对应图像的不同分辨率, 通常包括两个主要步骤, 通过重复进行向下采样和向上采样, 可以构建

图像金字塔。每个金字塔级别都对应于原始图像的不同分辨率。常见的图像金字塔算法有高斯金字塔算法和拉普拉斯金字塔算法。

如图 6 所示, 金字塔底部为高分辨率图像, 顶部为低分辨率图像, 将一层一层的图像比喻成金字塔, 层级越高, 则图像越小、分辨率越低。

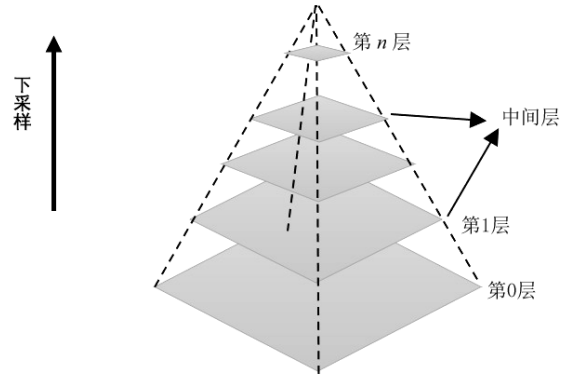


图 6 图像金字塔

Fig. 6 Image pyramid

将图像金字塔和传统模板匹配方法相结合, 先使用图像金字塔算法生成一系列不同尺度的图像, 然后将模板放在金字塔最高级别 (即最高层) 进行匹配。在当前级别的金字塔中找到一个匹配位置后, 可以将该匹配结果传递到较低级别的金字塔中, 作为下一级别的初始估计。重复以上步骤, 在下一级别的金字塔中继续匹配过程, 直到达到金字塔的最低级别。通过这种迭代的方式, 可以在不同尺度的图像中搜索匹配, 从而提高匹配的效率和, 有效地解决传统模板匹配效率较低的问题。本文采用高斯金字塔算法对原图像进行连续的下采样生成用于模板匹配的金字塔。

3.2 改进的图像金字塔算法

采用基于图像金字塔的算法对模板匹配进行加速, 虽然在匹配速度上已经有了很大的提高, 但是未能满足实际应用的要求。因此, 本文提出了一种更高效的图像金字塔算法, 具体步骤如下。

(1) 创建图像金字塔: 使用高斯图像金字塔算法生成不同分辨率的图像金字塔, 其中包括多个层级。

(2) 确定中间层级: 根据匹配需求和图像金字塔的层级数, 选择适当的中间层级作为匹配的目标层级。

(3) 在中间层级进行搜索: 使用图像金字塔裁剪算法, 在选定的中间层级上进行匹配搜索。具体步骤如下: ① 计算金字塔尺寸: 根据输入的图像金字塔, 由函数确定金字塔的总层数以及每个层级的尺寸。② 确定层级范围: 根据输入的起始层级和结束层级, 确定需要保留的层级范围。③ 获取指定层级的图像域: 由函数根据指定的层级从金字塔中获取对应的图像域。④ 裁剪图像域: 对金字塔中的每个层级的图像域进行裁剪, 保留指定层级范围内的图像域。裁剪操作可以调整图像域的尺寸, 使其符合指定范围。⑤ 返回结果: 由函数返回一个新的金字塔, 其中仅包含在指定层级范围内的图像域。

(4)结果映射回原始图像:根据中间层级的匹配结果,将结果映射回原始图像的坐标系,这样可以得到原始图像上的匹配结果,包括每个匹配的中心坐标和偏移角度。

4 实验和结果 (Experiments and results)

为了对本文提出的改进的图像金字塔算法的实际效率进行验证,使用同一图像数据集对本文提出的算法、传统方法及图像金字塔算法进行多组实验,对各类算法的耗时进行统计,不同算法的耗时结果如表 1 所示。

表1 不同算法的耗时

Tab.1 Time consumption of different algorithms

实验组数	传统方法 耗时/s	图像金字塔 方法耗时/s	改进的图像金字塔 方法耗时/s
1	1.28	0.275	0.188
2	1.67	0.443	0.268
3	1.42	0.376	0.205
4	1.66	0.305	0.202
5	1.62	0.361	0.226
6	1.34	0.355	0.216
7	1.58	0.322	0.195
8	1.22	0.283	0.185
9	1.45	0.325	0.214
10	1.65	0.424	0.275

根据表 1 中的数据可以得出以下结论:在相同的实验条件下,传统算法的执行时间较长,而图像金字塔算法极大地提高了传统算法的效率。本文提出的算法在图像金字塔算法的基础上进行了改进,取得了显著的效果。

为了验证本文所提算法的有效性,进行多组实验,部分实验结果展示如图 7 和图 8 所示,检测结果用加粗线条表示。

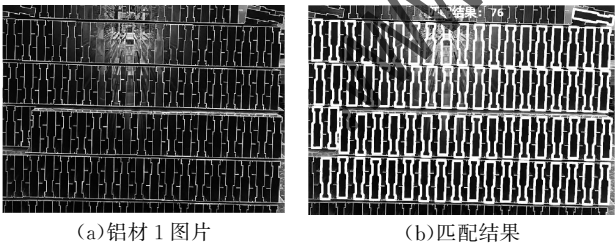


图 7 检测结果 1
Fig. 7 Test results 1

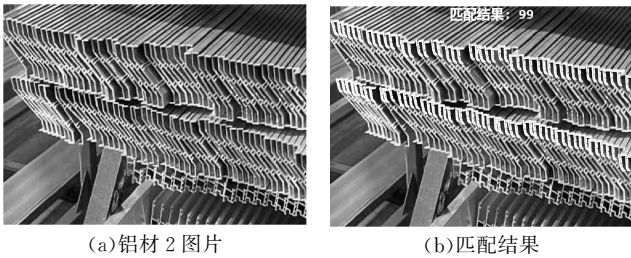


图 8 检测结果 2
Fig. 8 Test results 2

如图 7 所示,铝材 1 的实际数量为 76 个,检测结果为 76 个;如图 8 所示,铝材 2 的实际数量为 105 个,检测结果为 99 个。

为了对算法的有效性进行判断,根据实际应用中的几个关键指标进行数据采集,记录的实验数据如表 2 所示。

表2 不同类型铝材的识别准确率和耗时

Tab.2 Identification accuracy and time consumption of different types of aluminum

实验组数	匹配耗时/s	召回率/%	漏检率/%	误检率/%
1	0.174	99.47	0.53	0.26
2	0.255	96.20	3.80	0.38
3	0.215	100	0	0
4	0.208	98.84	1.16	0.18
5	0.231	98.51	1.49	0.12
6	0.208	97.45	2.55	0.25
7	0.188	99.38	0.62	0
8	0.192	95.88	4.12	0.45
9	0.224	98.65	1.35	0.18
10	0.254	100	0	0

根据表 2 中的数据可以得出以下结论:本文提出的改进算法在匹配耗时及召回率方面均有良好的表现,平均检测准确率达到了 98.4%,匹配效率相较于传统图像金字塔算法提升了 37.0%,漏检率和误检率都在可接受的误差范围内,本文所提算法满足实际应用要求。

5 结论 (Conclusion)

本文采用基于双阈值的 Sobel 边缘检测算法进行模板边缘的提取,结合基于权重的直线拟合方法对模板轮廓进行优化处理,提出改进的图像金字塔算法对入库铝材进行计数检测。实验结果表明,该算法具有召回率高、识别效率高等特点,可满足工业生产的实际检测要求。但是,本文提出的检测方法在面对目标被遮挡或堆叠的情况时存在漏检和误检的情况。为了解决这些问题,希望未来的研究可以利用目标周围的上下文信息辅助检测过程,例如通过对目标与背景之间的关系或目标与其他目标之间的关联进行建模,提高检测的鲁棒性,减少误检和漏检情况。

参考文献 (References)

[1] LATIF G,BOUCHARD K,MAITRE J,et al. Deep-learning-based automatic mineral grain segmentation and recognition[J]. Minerals,2022,12(4):455.

[2] GOMAA A,MINEMATSU T,ABDELWAHAB M M,et al. Faster CNN-based vehicle detection and counting strategy for fixed camera scenes[J]. Multimedia tools and applications,2022,81(18):25443-25471.

[3] CHEN Y L,XU H L,ZHANG X J,et al. An object detection method for bayberry trees based on an improved YOLO algorithm[J]. International journal of digital earth, 2023,16(1):781-805.

- [4] SOZZI M, CANTALAMESSA S, COGATO A, et al. Automatic bunch detection in white grape varieties using YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5 deep learning algorithms[J]. *Agronomy*, 2022, 12(2): 319.
- [5] CHOWDHURY P N, SHIVAKUMARA P, NANDANWAR L, et al. Oil palm tree counting in drone images[J]. *Pattern recognition letters*, 2022, 153: 1-9.
- [6] 冯书庆, 王志勇, 湛志新, 等. 基于图像特征的模板匹配成鱼多目标识别算法研究与程序设计[J]. *渔业现代化*, 2023, 50(2): 74-84.
- [7] 杨俊杰, 袁清珂, 梁杰超, 等. 基于 Linemod-2D 与 Otsu 的多目标工件快速分拣方法研究[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2022(10): 79-82, 87.
- [8] 应捷, 陈文, 杨海马, 等. 基于仿射变换与模板匹配的车位识别与计数算法研究[J]. *计算机应用研究*, 2022, 39(3): 919-924.
- [9] HE K M, SUN J, TANG X O. Guided image filtering[J]. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2013, 35(6): 1397-1409.
- [10] LIU W J, WANG L. Quantum image edge detection based on eight-direction Sobel operator for NEQR[J]. *Quantum information processing*, 2022, 21(5): 190.
- [11] TIAN R, SUN G L, LIU X C, et al. Sobel edge detection based on weighted nuclear norm minimization image denoising[J]. *Electronics*, 2021, 10(6): 655.
- [12] YANG Y G, XU T H, SUN Z Z, et al. Middle- and long-term UTI-UTC prediction based on constrained polynomial curve fitting, weighted least squares and autoregressive combination model[J]. *Remote sensing*, 2022, 14(14): 3252.
- [13] KUNDU D, NANDI S, GROVER R. On weighted least squares estimators of parameters of a chirp model[J]. *Circuits, systems, and signal processing*, 2023, 42(1): 493-521.
- [14] ZHAO W H, YAN L, ZHANG Y S. Geometric-constrained multi-view image matching method based on semi-global optimization[J]. *Geo-spatial information science*, 2018, 21(2): 115-126.
- [15] LI S T, HAO Q B, KANG X D, et al. Gaussian pyramid based multiscale feature fusion for hyperspectral image classification[J]. *IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing*, 2018, 11(9): 3312-3324.

作者简介:

- 高旭升(1996-), 男, 硕士生。研究领域: 机器视觉, 图像处理。
- 陈晓荣(1974-), 女, 博士, 副教授。研究领域: 图像处理, 在线检测, 信号与信息处理。
- 王原野(2002-), 男, 本科生。研究领域: 图像处理。
- 王子旋(2002-), 男, 本科生。研究领域: 图像处理。
- 徐挺(2001-), 男, 本科生。研究领域: 图像处理。

(上接第 39 页)

该模型未来可以考虑引入居民的性别、年龄、职业、需求偏好等参数, 进一步提高其准确性, 为构建高质量和人性化的公共服务体系提供更可靠的技术支持。

参考文献(References)

- [1] SASIENI P. Equality and equity in medical screening: what is fair? [J]. *The lancet gastroenterology & hepatology*, 2019, 4(8): 578-580.
- [2] RONG P J, ZHENG Z C, KWAN M P, et al. Evaluation of the spatial equity of medical facilities based on improved potential model and map service API: a case study in Zhengzhou, China [J]. *Applied geography*, 2020, 119: 102192.
- [3] 张金萍, 林丹, 周向丽, 等. 基于改进 3SFCA 的乡村地区公共医疗设施空间可达性与公平性评价: 以海口市为例[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(4): 636-647.
- [4] 邵晖, 吕思琦. 北京市公共服务资源空间分布特征研究[J]. *现代城市研究*, 2019, 34(8): 2-10.
- [5] 安芸睿. 网络社会下城市公共文化设施的规划策略研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- [6] 许翔宇. 济南市中心城区公共文化设施服务水平空间差异及格局优化研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2019.
- [7] 李旭丽, 陈伟新, 高新伟, 等. 深圳市公共文化设施特区一体化配置研究[C]//中国城市规划学会. 活力城乡 美好人居——2019 中国城市规划年会论文集, 北京: 中国建筑工业出版社, 2019: 131-142.
- [8] 罗萌. 郑州市公共文化设施空间布局研究[J]. *郑州航空工业管理学院学报*, 2019, 37(5): 34-41.
- [9] 唐少军. 基于 GIS 的公共服务设施空间布局选址研究[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [10] 赵立志, 高思琪. 基于人口密度的社区卫生服务设施布局优化研究: 以北京市中心城区为例[J]. *城市发展研究*, 2020, 27(4): 26-32.
- [11] 邓康. 合肥市社区卫生服务中心适老化评价与优化研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.

作者简介:

- 吴建军(1971-), 男, 硕士, 副教授。研究领域: 计算机应用, 空间优化算法研究。
- 孔云峰(1967-), 男, 博士, 教授。研究领域: 空间分析, 空间优化算法研究。