

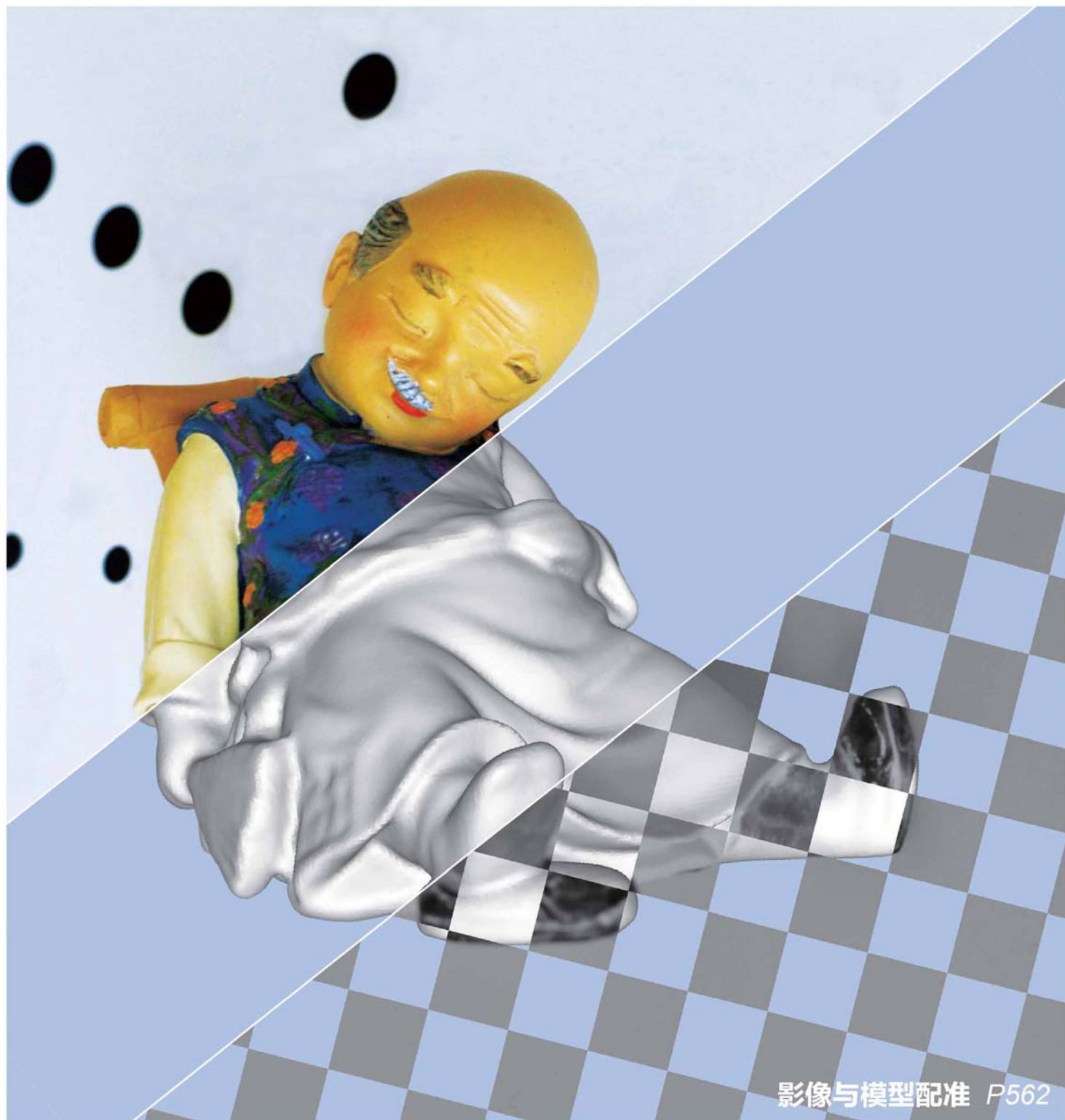


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2014
04
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



影像与模型配准 P562



第19卷第4期（总第216期）

2014年4月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048)

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

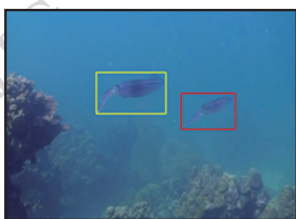
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

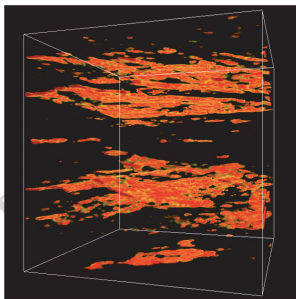
国内定价 50.00元



面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理(第512页)



融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪(第534页)



针对全空子数据体的GPU体绘制(第577页)

图像处理和编码

- 梯度矢量扩散控制实现边缘保持的彩色图像去噪
贾迪, 孟祥福, 张一飞, 董娜, 李思慧 0493
- 联合矩阵F范数的低秩图像去噪
刘新艳, 马杰, 张小美, 胡钊政 0502
- 面泊松融合结合色彩变换的无缝纹理辐射处理
周漾, 郑顺义, 黄荣永, 马电 0512
- 改进的局部方向模式纹理表示方法
刘海军, 常东超, 张凌宇 0520
- 图像插值空间大容量可逆数字水印算法
王继军 0527

图像分析和识别

- 融合视觉深度的特征计算与水下目标跟踪
王慧斌, 程勇, 陈哲 0534
- 融合颜色属性和空间信息的显著性物体检测
徐丹, 唐振民, 徐威 0541
- 采用人工鱼群的改进广义Hough变换目标定位
李志, 谢强 0549
- 非规则弯曲形变的不变量表示
李国祥, 夏国恩 0556

图像理解和计算机视觉

- 小物体3维重建中影像与几何模型的配准
郑顺义, 王晓南 0562
- 像素聚类改进二进制描述子鲁棒性
惠国保, 李东波 0569

计算机图形学

- 针对全空子数据体的GPU体绘制
李国和, 段忠祥, 吴卫江, 洪云峰, 刘智渊, 程远 0577

医学图像处理

- 基于无损水印的医学图像篡改检测和质量恢复
邓小鸿, 陈志刚, 毛伊敏 0583

遥感图像处理

- 特征点和不变矩结合的遥感图像飞机目标识别
曾接贤, 付俊, 符祥 0592
- 结合稀疏识别的自适应Wallis滤波在高分辨率影像控制点匹配中的应用
耿蕾蕾, 孙权森, 纪则轩, 刘佑鑫, 袁凯 0603

第9届和谐人机环境联合学术会议专栏

- 局部特征点的3维模型变换域水印算法
张建明, 周小梅, 王新宇, 詹永照 0613
- 足球视频搜索引擎中的用户偏好挖掘
胡雨成, 于俊清, 黄贤强, 何云峰, 管涛 0622
- 随机亮度差量化的二进制特征描述
庄东晔, 张冬明, 张勇东, 李锦涛 0630
- L_1 优化在网格去噪中的应用
王鹏, 王胜法, 曹俊杰, 李楠楠, 李波, 苏志勋 0637
- 多视点视频双向实时转码技术的设计与实现
孙立峰, 蔡飞飞, 杨士强 0645

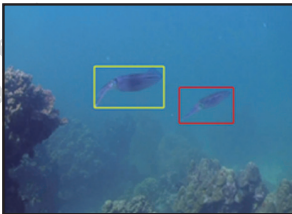
- 第五届数字地球高峰论坛征文通知 封三

CONTENTS

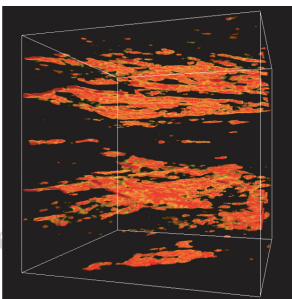
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing(P512)



Visual depth based feature calculation and underwater target tracking(P534)



GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks(P577)

Image Processing and Coding

Edge preserving denoising of color image through controlling the gradient vector Jia Di, Meng Xiangfu, Zhang Yifei, Dong Na, Li Sihui	0493
Image denoising of low-rank matrix recovery via joint Frobenius norm Liu Xinyan, Ma Jie, Zhang Xiaomei, Hu Zhaozheng	0502
Face-wise Poisson blending with color transfer in seamless texturing Zhou Yang, Zheng Shunyi, Huang Rongyong, Ma Dian	0512
Improved local directional pattern texture descriptor Liu Haijun, Chang Dongchao, Zhang Lingyu	0520
High capacity reversible watermarking for image interpolation space Wang Jijun	0527

Image Analysis and Recognition

Visual depth based feature calculation and underwater target tracking Wang Huibin, Cheng Yong, Chen Zhe	0534
Combining color names with spatial information for salient object detection Xu Dan, Tang Zhenmin, Xu Wei	0541
Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location Li Zhi, Xie Qiang	0549
The global descriptor for bending non-rigid shapes Li Guoxiang, Xia Guoen	0556

Image Understanding and Computer Vision

Images and geometric model registration in 3D reconstruction of small objects Zheng Shunyi, Wang Xiaohan	0562
Robust descriptor structured by pixel clustering Hui Guobao, Li Dongbo	0569

Computer Graphics

GPU-based volume rendering for full-empty subdata blocks Li Guohe, Duan Zhongxiang, Wu Weijiang, Hong Yunfeng, Liu Zhiyuan, Chen Yuan	0577
--	------

Medical Image Processing

Lossless watermarking algorithm for medical image's tamper detection and recovery with high quality Deng Xiaohong, Chen Zhigang, Mao Yimin	0583
---	------

Remote Sensing Image Processing

Aircraft target recognition in remote sensing images based on distribution of the feature points and invariant moments Zeng Jiexian, Fu Jun, Fu Xiang	0592
Adaptive enhancement via sparse recognition for automatic control point extraction in high-resolution images Geng Leilei, Sun Quansen, Ji Zexuan, Liu Jixin, Yuan Kai	0603

Special Issue on HHME 2013

Transform domain watermarking scheme of 3D models based on local feature points Zhang Jianming, Zhou Xiaomei, Wang Xinyu, Zhan Yongzhao	0613
User preference mining for soccer video search engine Hu Yucheng, Yu Junqing, Huang Xianqiang, He Yunfeng, Guan Tao	0622
Novel binary feature from intensity difference quantization Zhuang Dongye, Zhang Dongming, Zhang Yongdong, Li Jintao	0630
The application of l_1 -optimization in mesh denoising Wang Peng, Wang Shengfa, Cao Junjie, Li Nannan, Li Bo, Su Zhixun	0637
The design and implementation of real time MVC transcoding Sun Lifeng, Cai Feifei, Yang Shiqiang	0645

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)04-0549-07

论文引用格式: 李志, 谢强. 采用人工鱼群的改进广义 Hough 变换目标定位[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 549-555. [DOI:10.11834/jig.20140408]

采用人工鱼群的改进广义 Hough 变换目标定位

李志, 谢强

南京航空航天大学计算机科学与技术学院, 南京 210016

摘要: 目的 传统广义 Hough 变换可以在平移、旋转、缩放、局部遮挡等情况下, 对任意目标进行定位, 但是存在定位速度较慢、存储空间较大、累加器空间离散化等缺点。因此提出了基于全局自适应人工鱼群的广义 Hough 变换算法, 对目标进行更快地定位。**方法** 根据目标形状的极坐标信息建立精简 R 表, 去除梯度信息, 降低计算复杂度, 同时提高目标模型的鲁棒性; 然后, 根据精简 R 表计算待测目标模型函数值, 作为人工鱼的适应度值, 人工鱼群采用自适应的感知范围和步长, 通过不断交互并协调行为, 在连续的多维累加器空间中启发式地搜索最优目标模型参数, 从而标定出目标的准确位置。**结果** 实验结果表明, 该算法只需要常量级的存储空间开销, 并且与广义 Hough 变换算法相比速度提高了 90% 以上, 较大地减少了空间和时间开销, 也提高了目标的定位精度。**结论** 新的累加器空间搜索策略, 能够更快速准确地定位目标, 特别是在复杂背景下对复杂目标定位更为明显。

关键词: 广义 Hough 变换; 精简 R 表; 全局自适应人工鱼群; 目标定位

Improved generalized Hough transform using artificial fish swarm algorithm in target location

Li Zhi, Xie Qiang

College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China

Abstract: **Objective** Traditional generalized Hough Transform in translation, rotation, scaling, partial occlusion and other circumstances, can locate any target, However, the slow positioning speed, the large storage space, the discrete accumulator space, and other problems hinder the usability of this method. **Method** Therefore, an improved generalized Hough transform based on a global adaptive artificial fish swarm algorithm is proposed to locate targets more quickly. According to the polar coordinates of the target shape information a reduced R-Table is established, which removes the gradient information to reduce the computational complexity and improve the robustness of the target model. Then we use a reduced R-table to calculate the value of the candidate target model as an artificial fish fitness value. And the artificial fish uses adaptive vision and step as well as constantly interaction and coordinate behavior to search the optimal target model parameters in the continuous multi-dimensional accumulator space heuristically which demarcates the exact location of the target. **Result** Experimental results show that, the algorithm requires only a constant level of storage space cost. The speed is improved more than 90% compared with the generalized Hough Transform algorithm. The algorithm not only greatly reduces the cost of space and time, but also improves the positioning accuracy of the target. **Conclusion** We propose a new search strategy in the accumulator space, which can be more quickly and accurately to locate the target, especially the complex target in complicated backgrounds.

Key words: generalized Hough transform; reduced R-Table; global adaptive artificial fish swarm algorithm; target location

收稿日期: 2013-07-15; 修回日期: 2013-11-01

第一作者简介: 李志 (1988—), 男, 南京航空航天大学计算机科学与技术学院在读硕士研究生, 主要研究方向目标跟踪与检测。

E-mail: devonlz@nuaa.edu.cn

0 引言

Hough 变换是一种基于图像形状的定位技术,具有对噪声和局部遮挡不敏感、可并行处理等特点,在虹膜定位^[1]、道路检测^[2]、数字签名^[3]等计算机视觉领域中有广泛应用。Hough 变换根据图像的边缘检测特征,对形状参数化描述,并将图像中的点映射到累加器空间进行投票,从而在形状的大小、位置、方向未知的条件下对目标定位。标准 Hough 变换主要用于检测直线、圆、椭圆等简单几何形状,定位精度高、速度较快。广义 Hough 变换(简称 GHT)可以检测任意形状的目标,但是用于计算的累加器空间维数高,特别是时间开销很大。为了提高 Hough 变换的计算效率,经历了不断改进与发展,近年来又提出了扩展 Hough 变换^[4]、模糊随机 Hough 变换^[5]、模糊广义 Hough 变换^[6]等。这些算法并没有搜索整个累加器空间,以不同的方式缩减了空间和时间的开销,但都有可能提取到错误的形状,特别是在较大的复杂背景下对较大目标的定位更加难以应付,空间和时间开销也较大^[7]。其次,广义 Hough 变换中 R 表是根据目标模型的边缘特征,通过梯度信息进行构造以减少计算量^[8]。但是实际环境中由于噪声的存在无法提取很好的边缘特征,对梯度信息影响也较大,定位效果不是很好^[9]。最后,累加器空间是离散化的,而实际目标定位的参数是在连续空间中。累加器空间若分得太细,精度提高但速度明显变慢;若分得太粗,速度提高了但由于峰值扩散精度会下降。

本文提出基于全局自适应人工鱼群的广义 Hough 变换(简称 GAAFS-GHT)。广义 Hough 变换算法中多维的累加器空间中存在较多极值,且全局极值在较小邻域内突出。而全局人工鱼群算法(简称 GAESA)具有全局收敛性好、抗干扰能力强、能很快跳出局部极值、对初值不敏感等特点^[10],适合在高维多极值的连续空间中并行地搜索,不需要遍历整个空间。在此基础上,对全局人工鱼群算法进行改进,采用自适应感知范围^[11]和自适应步长^[12],进一步提高人工鱼群的收敛速度和对较小邻域的寻优能力,降低搜索的盲目性,从而快速准确地对目标进行定位。

1 算法组成框架

图 1 给出了 GAAFS-GHT 算法的组成框架,大

致分为 3 步:1)目标模型的建立,根据目标图像的边缘特征建立精简 R 表;2)累加器空间搜索,采用全局自适应人工鱼群算法在广义 Hough 变换的连续累加器空间中启发式地搜索待测目标模型;3)目标标定,根据人工鱼群在累加器空间中搜索到最优的待测目标模型,与模板目标模型对比,判断是否找到目标并且标定目标。

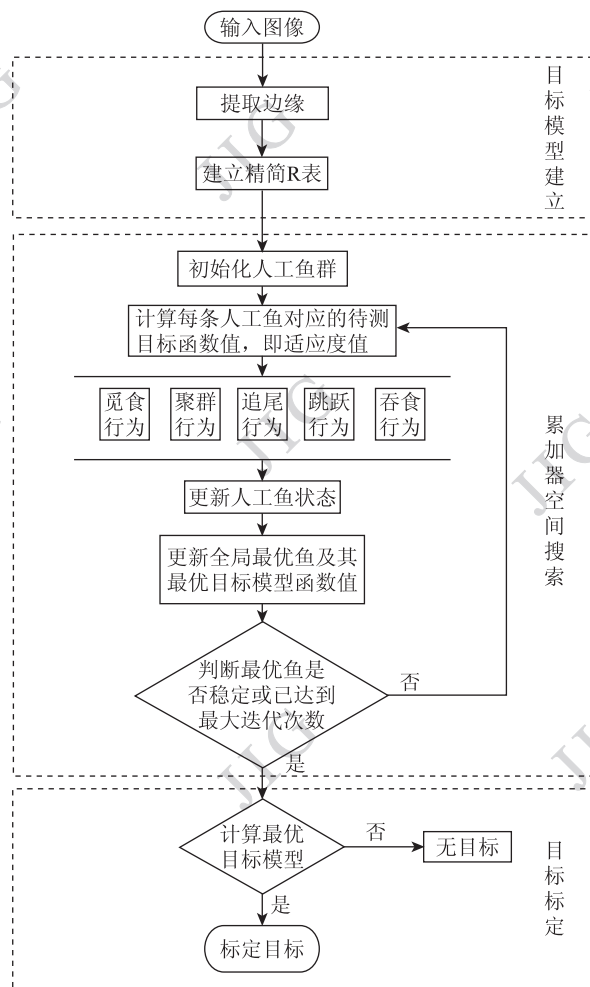


图 1 GAAFS-GHT 算法组成框图

Fig. 1 Diagram of the GAAFS-GHT algorithm

2 GAAFS-GHT 算法

2.1 基于精简 R 表的目标模型

在广义 Hough 变换的 R 表中,引入梯度信息可以降低计算复杂度,因为图像中的每个点对应某个梯度,在映射到累加器空间(M, N, θ, A)(也称 Hough 变换域)时,只需根据 R 表中对应该梯度值的参数进行变换,但是梯度容易受噪声干扰,导致目

标定位精度下降。人工鱼群是在累加器空间中进行启发式地搜索,根据精简 R 表中全部参数计算待测目标模型的函数值,是图像到累加器空间的多对一的映射,同样降低了复杂度,不再需要梯度信息,所以采用精简的 R 表(如表 1)。

表 1 精简 R 表
Table 1 Reduced R-Table

r	a
r_1	a_1
r_2	a_2
r_3	a_3
$\vdots$	$\vdots$

当某条人工鱼在 (M, N, Θ, Λ) 空间中的状态为 (m, n, θ, λ) , m, n 分别为待测目标中心的横坐标、纵坐标, θ, λ 分别为待测目标的旋转角度和缩放比例,则其边缘位置为

$$m_G(i) = m + R_{\text{table}}(i, r) \times \lambda \times \cos(R_{\text{table}}(i, a) + \theta) \quad (1)$$

$$n_G(i) = n + R_{\text{table}}(i, r) \times \lambda \times \sin(R_{\text{table}}(i, a) + \theta) \quad (2)$$

式中, R_{table} 表示 R 表, $m_G(i)$ 、 $n_G(i)$ 分别表示由 R 表中第 i 行参数计算的待测目标模型的边缘点的位置横坐标和纵坐标, r, a 分别为 R 表中记录的目标模型边缘点到中心的半径和方向,如图 2。

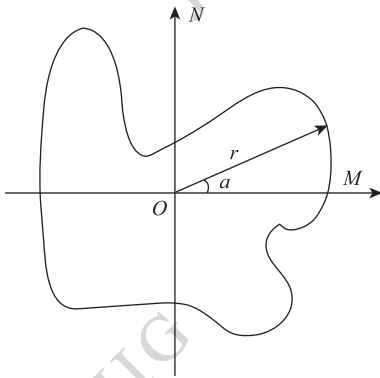


图 2 目标模型

Fig. 2 Target model

待测目标模型函数值,即该待测目标模型中边缘点个数为

$$y = \sum_{i=1}^{|R_{\text{table}}|} \delta(G(m_G(i), n_G(i))) \quad (3)$$

式中, $|R_{\text{table}}|$ 为 R 表中参数组数目, $\delta(\cdot)$ 为单位冲

击响应函数, $G(\cdot)$ 为图像中某点的像素值。

2.2 基于 GAAFSA 的 GHT 累加器空间搜索

广义 Hough 变换将待检测图像边缘上的每个点映射到累加器空间 (M, N, Θ, Λ) , 空间中局部极值较多,而全局极值(即最优的待测目标模型函数值)在较小邻域内十分突出。采用全局人工鱼群(GAAFSA),不仅具有基本人工鱼群全局收敛性好,抗干扰能力强,能很快跳出局部极值,对初值不敏感,并行计算等特点,还通过引入全局信息和吞食行为,在连续的累加器空间 (M, N, Θ, Λ) 中进行启发式地搜索,从而保证目标定位精度、降低算法复杂度。

全局人工鱼群感知范围对目标定位的收敛性能影响较大,感知范围越大越容易发现全局极值,但是在全局极值十分突出的邻域内搜索力越弱,目标定位的收敛速度会降低越快,定位精度也会随之降低。因此,全局人工鱼群的觅食行为采用自适应感知范围 V ,其他行为的感知范围不变,从而增强其在较小邻域内搜索全局极值的能力,同时保证跳出局部极值的能力^[11]。全部行为采用自适应步长 s ,有效避免由于使用随机步长带来的盲目性和振荡现象,提高收敛速度和目标定位精度^[12]。

设在时刻 k ,人工鱼群状态为 $\{x_i^k\}_{i=1,\dots,N}$, $x_i^k \in (M, N, \Theta, \Lambda)$ 。此时待测目标模型对应的函数值为 $\{y_i^k\}_{i=1,\dots,N}$,由式(3)得出,全局最优状态为 $x_{\text{best_af}}^k$ 。人工鱼群的行为描述如下:

1) 觅食行为。人工鱼在 (M, N, Θ, Λ) 空间中当前状态附近随机地搜寻更好的待测目标模型。设在时刻 k 某人工鱼的状态为 x_i^k ,在其感知范围内随机选择一个状态为

$$x_{\text{next}} = x_i^k + V \cdot a^k \cdot r \quad (4)$$

式中, $a \in (0, 1]$ 为衰减因子,以增强人工鱼在当前状态的较小邻域内搜索更好的待测目标模型的能力, r 为 -1 到 1 之间的随机数。

若由式(3)求得待测目标模型函数值 $y_{\text{next}} > y_i^k$,则觅食行为完成;否则继续尝试 3 次后仍不满足,执行跳跃行为。该人工鱼在时刻 $k+1$ 的状态为

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \frac{(x_{\text{next}} - x_i^k) + (x_{\text{best_af}}^k - x_i^k)}{\|(x_{\text{next}} - x_i^k) + (x_{\text{best_af}}^k - x_i^k)\|} \times \left| 1 - \frac{y_i^k}{y_{\text{next}}} \right| a^k s \quad (5)$$

式中, $\left| 1 - \frac{y_i^k}{y_{\text{next}}} \right| \cdot s$ 为自适应步长。如果人工鱼在

(M, N, Θ, Λ) 空间中找到的待测目标模型函数值 y_{next} 越大, 人工鱼移动得越大, 且倾向于当前全局最优待测目标模型, 从而提高目标定位收敛速度和目标定位精度。

2) 聚群行为。人工鱼向具有更好待测目标模型的群体中心靠拢, 以帮助个体在 (M, N, Θ, Λ) 空间中更快速准确地找到全局最优的待测目标模型, 降低搜索的盲目性, 加快目标定位的收敛速度。设在时刻 k 某人工鱼的状态为 $\mathbf{x}_i^k$, 在其感知范围内的群体数量为 n_f , 则该邻域内所有人工鱼的状态为 $\{\mathbf{x}_n^k\}_{n=1, \dots, n_f} = \{\mathbf{x}_n^k \mid \|\mathbf{x}_n^k - \mathbf{x}_i^k\| < \|\mathbf{V}\|\}$, 其中心点 $\mathbf{x}_c$ 为

$$\mathbf{x}_c = \frac{1}{n_f} \sum_{n=1}^{n_f} \mathbf{x}_n^k \quad (6)$$

若由式(3)求得待测目标模型函数值 $y_c < y_i^k$, 执行跳跃行为; 否则该人工鱼在时刻 $k+1$ 的状态为

$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \frac{(\mathbf{x}_c - \mathbf{x}_i^k) + (\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k - \mathbf{x}_i^k)}{\|(\mathbf{x}_c - \mathbf{x}_i^k) + (\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k - \mathbf{x}_i^k)\|} \cdot \left| 1 - \frac{y_i^k}{y_c} \right| \cdot s \quad (7)$$

3) 追尾行为。人工鱼追随比自己具有更好的待测目标模型的人工鱼, 以帮助个体在 (M, N, Θ, Λ) 空间中快速找到更准确的待测目标模型。追尾行为与聚群行为相比寻优方式不同, 两者相互协调共同降低搜索的盲目性、加快目标定位的收敛速度。设在时刻 k 某人工鱼的当前状态为 $\mathbf{x}_i^k$, 在其感知范围内最优人工鱼的状态为 $\mathbf{x}_{\text{max}}$ 。若 $y_{\text{max}} < y_i^k$, 则执行跳跃行为; 否则该人工鱼在时刻 $k+1$ 的状态为

$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \frac{(\mathbf{x}_{\text{max}} - \mathbf{x}_i^k) + (\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k - \mathbf{x}_i^k)}{\|(\mathbf{x}_{\text{max}} - \mathbf{x}_i^k) + (\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k - \mathbf{x}_i^k)\|} \cdot \left| 1 - \frac{y_i^k}{y_{\text{max}}} \right| \cdot s \quad (8)$$

4) 跳跃行为。不管当前搜索到的待测目标模型是否更好, 人工鱼在其感知范围内随机地在 (M, N, Θ, Λ) 空间中移动, 使人工鱼具有跳出局部极值的能力, 搜索到全局最优的目标模型。设在时刻 k 某人工鱼的当前状态为 $\mathbf{x}_i^k$, 在其感知范围内下一个状态为

$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \mathbf{V} \cdot r \quad (9)$$

5) 吞食行为。吞食行为是为了进一步降低目标定位的复杂度, 提高目标定位精度。设当时刻 k 超过最大迭代次数 I 一半时, 某人工鱼的当前状态为

$$e = \eta \frac{y_{\text{best_af}}^k}{k} \quad (10)$$

式中, e 为鱼群中最优鱼在单位时间消耗的能量值, $y_{\text{best_af}}^k$ 为最优鱼对应的待测目标模型函数值(即能量值), η 为比例系数, 设置为 0.5。那么对于其他人工鱼, 采用生存竞争机制

$$\begin{cases} \frac{y_i^k}{e} > k & \text{生存} \\ \frac{y_i^k}{e} \leq k \wedge P > 0.5 & \text{淘汰} \\ \frac{y_i^k}{e} \leq k \wedge P \leq 0.5 & \text{重生} \end{cases} \quad (11)$$

式中, y_i^k 为该人工鱼的状态 $\mathbf{x}_i^k$ 对应的待测目标模型函数值, P 为概率, 如果人工鱼的能量充足, 即没有离最优的待测目标模型太远, 则生存下来继续寻优; 否则以一半的概率被淘汰或者重生为最优鱼, 从而降低目标定位的复杂度、加强目标定位收敛性能。

2.3 算法步骤

GAAFSFA-GHT 算法具体步骤如下:

1) 初始化目标模型, 将模板目标图像和可能含有目标的待检测图像进行预处理并提取边缘, 根据 2.1 节中描述建立精简 R 表。

2) 初始化人工鱼群, 鱼群总数为 N , 其状态集为 $\{\mathbf{x}_i^0\}_{i=1, \dots, N}$ 且满足均匀分布, $\mathbf{x}_i^0 \in (M, N, \Theta, \Lambda)$ 。

3) 根据式(3)计算每条人工鱼对应的待测目标函数值 $\{y_i^0\}_{i=1, \dots, N}$, 并记录下全局最优鱼的状态为 $\mathbf{x}_{\text{best_af}}^0$, 记初始时刻 $k=1$ 。

4) 每条人工鱼如果未被淘汰, 则随机地选择行为, 包括觅食行为、聚群行为、追尾行为、跳跃行为、吞食行为, 如 2.2 节描述。人工鱼之间相互协调, 并更新人工鱼的状态 $\mathbf{x}_i^k$ 并计算对应的待测目标模型函数值 y_i^k 。

5) 更新全局最优鱼的状态 $\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k = \max_{i=1, \dots, N} \{\mathbf{x}_i^k\}$, 对应的最优值为 $y_{\text{best}}^k = \max_{i=1, \dots, N} \{y_i^k\}$ 。

6) 判断 y_{best}^k 是否稳定, 或是否达到最大迭代次数 I , 若均不满足则时刻 $k=k+1$, 转向第 4) 步。

7) 若 y_{best}^k 太小(如 $y_{\text{best}}^k < \lambda_{\text{best}} |R_{\text{table}}|/2$, $|R_{\text{table}}|$ 为 R 表中参数组数目, 即目标模型边缘点个数), 则表示未找到目标; 否则根据全局最优鱼的状态 $\mathbf{x}_{\text{best_af}}^k = (m_{\text{best}}, n_{\text{best}}, \theta_{\text{best}}, \lambda_{\text{best}})$ 标定目标的位置、旋转角度和缩放比例。

2.4 算法复杂度分析

GAAFSFA-GHT 算法与 GHT 算法相比, 建立 R

表的时间、空间复杂度基本一样,主要是目标定位过程有着较大差距。GAAFSA-GHT 算法由于启发式地搜索而非遍历累加器空间,时间复杂度得到较大改善。此外,GAAFSA-GHT 算法中每条人工鱼只须记录当前状态下对应的待测目标模型的参数及函数值,不再像 GHT 算法需要分配并初始化累加器空间,记录所有的待测目标模型参数及对应的函数值(投票数),较大地降低了空间复杂度。

GAAFSA-GHT 算法的时间复杂度为

$$T_{\text{GAAFSA-GHT}} = O(kN |R_{\text{table}}|) \quad (12)$$

式中, $|R_{\text{table}}|$ 为 R 表参数组数目, k 为 GAAFSA-GHT 算法迭代次数,实验中一般 40 到 100 次就可得出结果, N 为人工鱼群总数。

GHT 算法进行目标定位的时间复杂度为

$$T_{\text{GHT}} = O(m_s n_s \theta_s \lambda_s |R_{\text{table}}| / \theta_g) \quad (13)$$

式中, m_s 、 n_s 分别为待检测图像的宽度和高度, θ_s 、 λ_s 、 θ_g 分别为待测目标模型的旋转角度、缩放比例、梯度信息在取值范围内离散值的个数。 θ_s 和 θ_g 均为角度,比值为常数值,式(13)可简化为

$$T_{\text{GHT}} = O(m_s n_s \lambda_s |R_{\text{table}}|) \quad (14)$$

由式(12)(14)可以看出,一般情况下如果待检测图像较大时, T_{GHT} 远大于 $T_{\text{GAAFSA-GHT}}$ 。

GAAFSA-GHT 算法和 GHT 算法进行目标定位的空间复杂度 $S_{\text{GAAFSA-GHT}}$ 、 S_{GHT} 分别为

$$S_{\text{GAAFSA-GHT}} = O(N) \quad (15)$$

$$S_{\text{GHT}} = O(m_s n_s \theta_s \lambda_s) \quad (16)$$

式中, S_{GHT} 空间复杂度为累加器空间大小。

由式(15)(16)可以看出,一般情况下如果待检测图像较大时, S_{GHT} 远大于 $S_{\text{GAAFSA-GHT}}$ 。

3 实验

实验平台硬件环境为 E5200 2.5 GHz 的 CPU, 2 G内存,软件环境为 Matlab 2009a。实验对象是在复杂背景下有一定旋转和缩放的具有复杂边缘特征的靶位目标。靶位目标的定位是移动激光打靶系统的关键环节,对精度和时间要求较高。GHT 和 GAAFSA-GHT 算法均以靶位模板目标模型(如图 3)作为参照,在整张图中, $\theta \in (-\pi/4, \pi/4)$ 、 $\lambda \in (0.9, 1.1)$ 搜索靶位目标。GAAFSA-GHT 算法中人工鱼群总数 $N=50$,最大迭代次数 $I=100$,感知范围 $V=(50, 50, \pi/9, 0.05)^T$,步长 $s=50$,觅食行为中衰减因子 $\alpha=0.9$ 。



图3 靶位模板目标模型

Fig. 3 The object model of target template

靶位目标仅有平移情况下, GHT 和 GAAFSA-GHT 算法定位精度都很好(如图 4、图 5 所示)。但 GAAFSA-GHT 算法定位速度较快(如表 2),因为它不是遍历整个累加器空间,而是启发式地搜索最优目标模型参数。此外, GHT 和 GAAFSA-GHT 算法目标定位的时间也和背景大小、目标大小相关。



图4 GHT 算法定位结果(仅有平移)

Fig. 4 Location result of GHT algorithm(only translation)

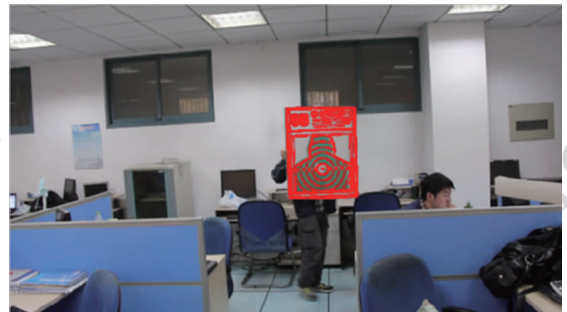


图5 GAAFSA-GHT 算法定位结果(仅有平移)

Fig. 5 Location result of GAAFSA-GHT algorithm(only translation)

GHT 算法中累加器空间分为 $467 \times 842 \times 90 \times 20$ 等份,由于梯度受图像旋转导致的噪声影响, GHT 算法定位精度不是太高(如图 6),而累加器空

表 2 GHT 和 GAAFSa-GHT 算法对比 (仅有平移)

Table 2 GHT and GAAFSa-GHT contrast (only translation)

	n	m	t/s
实际定位	395	188	—
GHT	395	188	7.78
GAAFSa-GHT	399	188	4.32

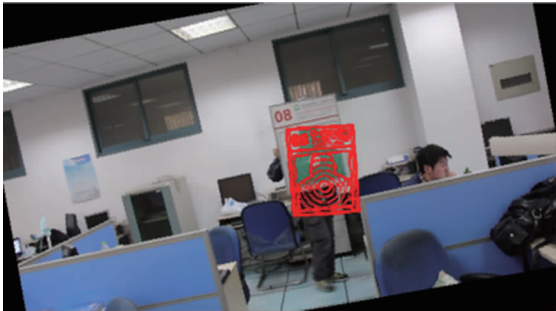


图 6 GHT 算法定位结果

Fig. 6 Location result of GHT algorithm

间维数的增加使时间和空间开销明显增大(如表 3),由式(14)(16)可得出。GAAFSa-GHT 由于在连续的累加器空间中采用精简 R 表进行启发式搜索,不受梯度影响,不仅目标定位精度高(如图 7),而且由 AFSA 具有适合在多维空间搜索的特点,时间开销与表 2 中相当。

表 3 GHT 和 GAAFSa-GHT 算法对比

Table 3 GHT and GAAFSa-GHT algorithm contrast

	n	m	θ	λ	t/s
实际定位	382	175	-0.17	0.95	—
GHT	392	205	-0.05	0.93	826.90
GAAFSa-GHT	382	173	-0.19	0.93	4.48

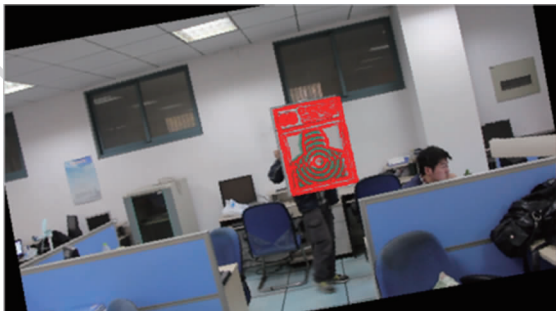


图 7 GAAFSa-GHT 算法定位结果

Fig. 7 Location result of GAAFSa-GHT algorithm

椅子不仅遮挡靶位目标,而且其本身的边缘特征也对靶位目标有一定影响。在靶位目标局部遮挡

情况下,由于梯度受图像旋转导致的噪声影响,GHT 算法定位精度仍然不是太高(如图 8、图 9)。此外,GHT 算法时间开销仍然较大(如表 4),但与靶位无遮挡的图 6 相比有所降低。这是由于待检测图像图 8 和图 9 中边缘相对减少,而 GHT 算法对非边缘点处理的时间开销很少,所以靶位目标定位的时间开销也有所降低。GAAFSa-GHT 算法在靶位目标局部遮挡情况下仍然具有良好的定位性能(如图 10、图 11)。由于靶位目标存在局部遮挡,由式(3)得出的待测目标函数值较小,算法中人工鱼群的迭代次数增大,所以时间开销比靶位目标未遮挡情况下略大(如表 4)。



图 8 GHT 算法的局部遮挡 1 定位结果

Fig. 8 Location result of GHT algorithm under first partial occlusion



图 9 GHT 算法的局部遮挡 2 定位结果

Fig. 9 Location result of GHT algorithm under second partial occlusion

表 4 GAAFSa-GHT 算法局部遮挡下性能

Table 4 GAAFSa algorithm performance under partial occlusion

	m	n	θ	λ	t/s
实际定位	240	180	-0.17	0.93	—
GHT 局部遮挡 1	239	192	-0.03	0.92	519.28
GAAFSa-GHT 局部遮挡 1	237	176	-0.27	0.92	8.24
GHT 局部遮挡 2	247	207	-0.10	0.90	489.69
GAAFSa-GHT 局部遮挡 2	237	185	-0.16	0.88	9.26



图10 GAAFSa-GHT 算法的局部遮挡1定位结果

Fig. 10 Location result of GAAFSa-GHT algorithm under first partial occlusion



图11 GAAFSa-GHT 算法的局部遮挡2定位结果

Fig. 11 Location result of GAAFSa-GHT algorithm under second partial occlusion

4 结 论

针对传统广义 Hough 变换存储空间大、定位速度慢等问题,采用全局自适应人工鱼群在广义 Hough 变换的基础上启发式地搜索累加器空间,能够在平移、旋转、缩放、局部遮挡、复杂背景等情况下,对目标进行快速准确的目标定位。此外,GAAFSa-GHT 采用精简 R 表,不需要计算梯度信息,不仅使目标形状的建模更简单,而且提高了抗干扰能力。但是针对不同目标,需要调节算法参数以提高目标定位性能,具体的参数优化有待进一步分析。本文算法对基于形状的目标检测与定位具有较为广泛的实用价值。

参考文献 (References)

[1] Ferdinand H, Heike R, Gordon B, et al. Model interpolation for eye localization using the discriminative generalized hough transform [C]//Proceeding of International Conference of the Biometrics Special Interest Group. Darmstadt, Germany: IEEE Computer Society, 2012: 1-12.

- [2] Chen J, Xu Y C, Zhao M, et al. A randomized hough transform based on road edge identification algorithm [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(5): 905-911. [陈军, 徐友春, 赵明, 等. 基于随机 Hough 变换的道路边界识别算法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(5): 905-911.]
- [3] Partha P R, Souvik B, Umapada P, et al. Signature based document retrieval using GHT of background information [C]//Proceeding of International Conference on Frontiers in Handwriting Recognition. Bari, Italy: IEEE Computer Society, 2012: 225-230.
- [4] Cha J, Corer R H, Kozaitis S P. Extended Hough transform for linear feature detection [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(6): 1034-1043.
- [5] Yuan W P, Shi P F. A new improvement of randomized Hough transform based on fuzzy theory [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2002, 36(12): 1825-1828. [袁卫鹏, 施鹏飞. 模糊随机 Hough 变换算法 [J]. 上海交通大学学报, 2002, 36(12): 1825-1828.]
- [6] Hamid I, Fereshteh S, Mohammad M E. Fuzzy generalized Hough transform invariant to rotation and scale in noisy environment [C]//Proceeding of IEEE International Conference on Fuzzy System. Jeju Island, South Korea: IEEE Computer Society, 2009: 153-158.
- [7] Zhang Y T, Huang J H, Tang J L, et al. A Hough transform algorithm based on reduced particle swarm optimization [J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(2): 162-167. [张英涛, 黄剑华, 唐降龙, 等. 一种基于精简粒子群优化的霍夫变换算法 [J]. 天津大学学报, 2011, 44(2): 162-167.]
- [8] Galambos C, Kittler J, Matas J. Using gradient information to enhance the progressive probabilistic Hough transform [C]//Proceedings of the International Conference on Pattern Recognition. Barcelona, Spain: IEEE Computer Society, 2000: 560-563.
- [9] Li Z L, Zhai H C, Wang M W. A 8-neighborhood based generalized Hough transform for fragmented graphics recognition [J]. Acta Physica Sinica, 2007, 56(6): 3234-3239. [李智磊, 翟宏琛, 王明伟. 一种可识别破碎图形的特殊广义 Hough 变换方法 [J]. 物理学报, 2007, 56(6): 3234-3239.]
- [10] Fernandes E M G P, Martins T F M C, Rocha A M A C. Fish swarm intelligent algorithm for bound constrained global optimization [C]//Proceeding of the International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering. Gijon, Spain: University of Minho Institutional Repository, 2009: 1-3.
- [11] Danial Y, Adel N T, Mohammad R M. Fuzzy adaptive artificial fish swarm algorithm [C]//Proceedings of 23rd Australasian Joint Conference: Adelaide, Australia: Springer Berlin Heidelberg, 2010: 334-343.
- [12] Jiang M Y, Nikos E M, Yuan D F, et al. Image segmentation with improved artificial fish swarm algorithm [C]//Proceedings of European Computing Conference. Tbilisi, Georgia: Springer US, 2009: 133-138.