

基于 RANSAC 的 SIFT 匹配阈值自适应估计

刘川熙 赵汝进 刘恩海 洪裕珍
(中国科学院光电技术研究所 成都 610209)

摘要 针对基于欧氏距离比值作为图像尺度不变特征变换(SIFT)特征匹配相似性度量时,距离比阈值难以设置最优,且固定距离比阈值易引起误匹配或漏匹配等问题,引入随机抽样一致性(RANSAC)算法。该算法对 SIFT 匹配算法中的距离比阈值进行自适应优化,确定最佳的阈值,再利用双向匹配的方法剔除误匹配点。实验结果表明,针对不同的实验图像,所提算法都能自适应地求解出一个最优的比例阈值,使得匹配点数最多,同时具有较高的匹配正确率,经过双向匹配的策略优化后效果更好。

关键词 尺度不变特征变换(SIFT),随机抽样一致性(RANSAC),自适应,匹配阈值,双向
中图分类号 TP911.73 文献标识码 A

Estimate Threshold of SIFT Matching Adaptively Based on RANSAC

LIU Chuan-xi ZHAO Ru-jin LIU En-hai HONG Yu-zhen
(Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China)

Abstract When matching images with scale invariant feature transform(SIFT), the Euclidean distance between feature vectors is used as the similarity measurement. But it was difficult to get the best distance ratio. Moreover, when the ratio was a constant, there would be some problems of error matching or matching leakage. Deal with the problem, the Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm was introduced. Optimize the ratio in the process adaptively, and we can get the best threshold. SIFT-based image matching algorithm was analyzed, and a bi-direction matching was used to improve the accuracy of image matching and ensure the correctness of matching at maximum level. Finally, the experiment results show that the proposed methods can obtain an optimal threshold for different images. It can get the most matching points and a better matching rate, and by bi-direction matching, better results can be got.

Keywords SIFT, RANSAC, Adaptively, Matching threshold, Bi-direction

图像特征提取与匹配是目标识别、三维重建、全景图拼接和运动跟踪等热点研究领域的基础,而图像匹配又是建立在准确地提取图像中稳定特征点的基础上的。目前为止,国内外提出了很多特征提取算法,常见的有 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)特征点^[1]、Harris 角点^[2]、K-L 角点^[3]、SURF(Speeded Up Robust Features)特征点^[4]等。文献[5]对现有的常用特征提取方法进行了实验,从实验结果可以看出,SIFT 对图像的尺度和光照变化都具有较好的稳定性,总体匹配效果要优于其他特征点。

SIFT 算法是 Lowe 于 1999 年提出的一种局部特征描述方法,并在 2004 年得到完善,是目前广大研究人员致力改善的一种算法。匹配阈值的选取是该算法的一个关键问题,文献[6-7]对 SIFT 的匹配阈值进行迭代研究,但效果并不理想。

本文结合自适应求解最佳距离比阈值和双向匹配方法,提高了图像匹配过程的准确性;基于 OpenCV(Open Source Computer Vision),利用 C++ 实现了上述 SIFT 算法的优化和改进。采用标准图像集进行实验,结果表明,本文提出的最佳阈值求解方法能够保证在获取较多正确匹配点的同时剔除

较多的误匹配点,结合双向匹配后获得的效果更好。

1 最优距离比阈值自适应估计

1.1 RANSAC 匹配方法

利用 SIFT 算法进行图像匹配时,通过对需要进行匹配的图像对的特征点进行最近邻匹配。这里的最近邻定义为关键点的描述符向量间的最小欧氏距离。通常,有如下两种方法可以得出两幅图像之间的匹配点的关系。

方法 1:穷举法。对于查询图像中的每一个特征点,利用穷举法遍历目标图像中所有的特征点,找到距离最小的那个点作为查询图像中该点的匹配点。

方法 2:比值法,即 Lowe 提出的方法。利用 K-近邻的方法,对于查询图像中的每一个特征点,在目标图像中找到与该点距离最近的两个点,如果最近距离与次近距离的比值小于某一个比值 *ratio*,则认为这个点是正确匹配的,否则是错误匹配的点。

为了验证实验的正确性,需要引入匹配正确率的概念。匹配正确率即是正确匹配的点与所有检测到的匹配点的比

本文受中科院青年创新促进(2016335),国家自然科学基金(61501429)资助。

刘川熙(1992-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理,E-mail:574109164@qq.com;赵汝进(1982-),男,博士,副研究员,主要研究方向为图像处理与视觉测量,E-mail:zhaorj@ioe.ac.cn;刘恩海(1964-),男,博士,研究员,博士生导师,主要研究方向为光电精密计量与测试,E-mail:leh@ioe.ac.cn;洪裕珍(1989-),男,博士生,主要研究方向为图像处理与视觉测量,E-mail:993284496@qq.com。

值。设正确匹配点数为 n_1 , 错误匹配点数为 n_2 , 则匹配正确率 $match_percent$ 的计算公式如式(1)所示。为了计算出正确匹配点的数目, 这里需要用到随机抽样一致性算法(Random Sample Consensus, RANSAC)进行优化^[8]。

$$match_percent = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \quad (1)$$

图像匹配过程中查询图像与目标图像之间的匹配关系可以用基本矩阵来描述, 可表示点与点之间的对应关系, 如式(2)、式(3)所示:

$$x'^T F x = 0 \quad (2)$$

$$[x' \ y' \ 1] \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

其中, (x, y) 表示查询图像的点, (x', y') 表示目标图像的点。因为 $Rank(F) = 2$, 所以 F 的 9 个变量中只有 7 个是独立变量, 理论上只需要 7 个点就可以算出基本矩阵, 但实验证明 8 个点的效果更好, 因此一般采用 8 点法进行基本矩阵的计算。RANSAC 的目的就是找到最优的参数矩阵, 使得满足该基本矩阵的数据点个数最多。

RANSAC 算法的步骤如下:

Step 1 从特征点集中随机抽选一个 RANSAC 样本, 即 8 个匹配点对;

Step 2 利用这 8 个匹配点对计算出基本矩阵 F ;

Step 3 利用特征点集和基本矩阵 F , 计算满足当前变换矩阵的一致集;

Step 4 利用当前一致集中元素的个数判断是否是最优一致集, 若是, 则更新当前最优一致集;

Step 5 计算该循环的错误概率 p , 若 p 大于允许的最小错误概率, 则返回 Step1 继续计算, 直到满足要求为止。

通过 RANSAC 算法的优化, 计算出图像匹配过程中的“内点”和“外点”, 从而得出匹配正确率。作为一种蛮力匹配的方法, 方法 1 的匹配正确率无疑是很低的, 实验证明只有 60% 左右, 但是不可否认的是该方法通过 RANSAC 优化后能找到绝大部分可能的正确匹配点。而对于方法 2, 如果阈值选取得不恰当, 它的匹配正确率可能达到百分之百, 但提取到的匹配点却非常少, 远远不能满足实际应用的需求。因此, 本文提出了一种结合上述两种方法的优势的新方法来估计最佳的 $ratio$, 保证了较高的匹配正确率, 同时又能获得较多的匹配点。

1.2 最佳阈值求解

为了求出最佳的阈值 $ratio$, 需要同时使用 1.1 节介绍的两种方法对图像进行匹配, 然后综合两种匹配方法可以估计出最佳的阈值。具体步骤如下:

Step 1 利用方法 1 进行匹配, 同时对得出的结果进行 RANSAC 优化, 得到的正确匹配点数记为 MAX_COUNT 。

Step 2 取 $ratio \in [0.1, 1.0)$, 以 0.01 为步长, 对每一个 $ratio$ 都采用方法 2 做匹配并进行 RANSAC 优化, 得出匹配正确率 $percent$ 和正确匹配点数 $COUNT$ 。

Step 3 利用 $PointCount_Percent = COUNT/MAX_COUNT$ 表示当前 $ratio$ 获得的正确匹配点数在可能的总点数 MAX_COUNT 中的百分比。

Step 4 采用 5 阶多项式对上述关系即 $ratio-percent$ 和 $ratio-PointCount_Percent$ 进行拟合, 得出如图 1 所示的结果。

其中圆圈标记的点即是最佳的阈值 $best_ratio$, 该阈值既保证了较高的匹配正确率, 又能得到较多的匹配点。

Step 5 得到最佳的阈值 $best_ratio$ 后, $best_ratio * MAX_COUNT$ 即是其对应的正确匹配点数。

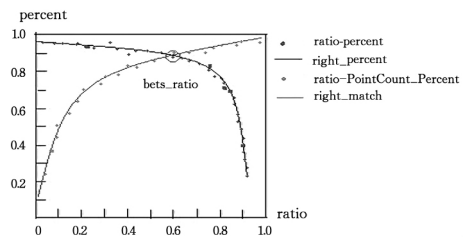


图 1 最佳阈值计算示意图

2 实验结果及分析

2.1 实验用图

本次实验采用的图像是 Daniel Scharstein 和 Richard Szeliski 立体匹配所用的图像对^[9], 包括 cones, teddy, tsukuba 和 venus 4 组图像, 每组图像中又包含了一对匹配的左右图像 imL 和 imR, 如图 2 所示。

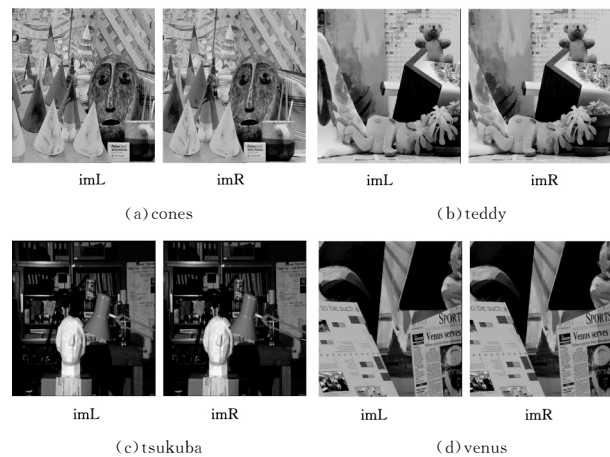


图 2 实验用图列表

2.2 最佳阈值求解实验

针对 1.2 节介绍的最佳阈值求解方法, 本文对 cones, teddy, tsukuba 和 venus 图像分别进行实验, 求出匹配过程中应该采用的最佳阈值 $ratio$ 。匹配过程包括从查询图像到目标图像和目标图像到查询图像两个方向的结果, 分别求出这两个过程的最佳阈值 $ratio$, 然后再取这两个方向的匹配点集的交集作为最终的匹配结果。这个过程就是双向匹配的过程^[10-11], 它可以剔除一部分误匹配点, 使匹配结果更加准确。

根据前人的实验结果, 取 $ratio$ 的可能最大值为 1.0, 因此, 本次实验过程中, 对 $ratio \in [0.1, 1.0)$ 之间的值进行实验, 并取 0.01 作为步长, 实验得出每个 $ratio$ 对应的匹配正确率 $percent$; 同时, 求出每个 $ratio$ 与对应的匹配点数的关系 $ratio-PointCount_Percent$ 。利用 matlab 对上述两个关系进行 5 阶多项式曲线拟合, 两条曲线的交点即是本次实验要求的最佳阈值 $best_ratio$ 。

在 $ratio \in [0.1, 1.0)$ 、步长为 0.01 的 90 次计算过程中, 实验采用的 PC 配置为 Intel Core i3 处理器和 2.27GHz 主频。针对 4 幅标准图像进行实验, 实验结果表明所需要的平均时间为 1.955s, 这对于实时性要求不高的应用是可接受的。

图 3 为利用上述方法求解最佳阈值的过程中通过拟合曲线的交点得出的最佳阈值 $best_ratio$ 。

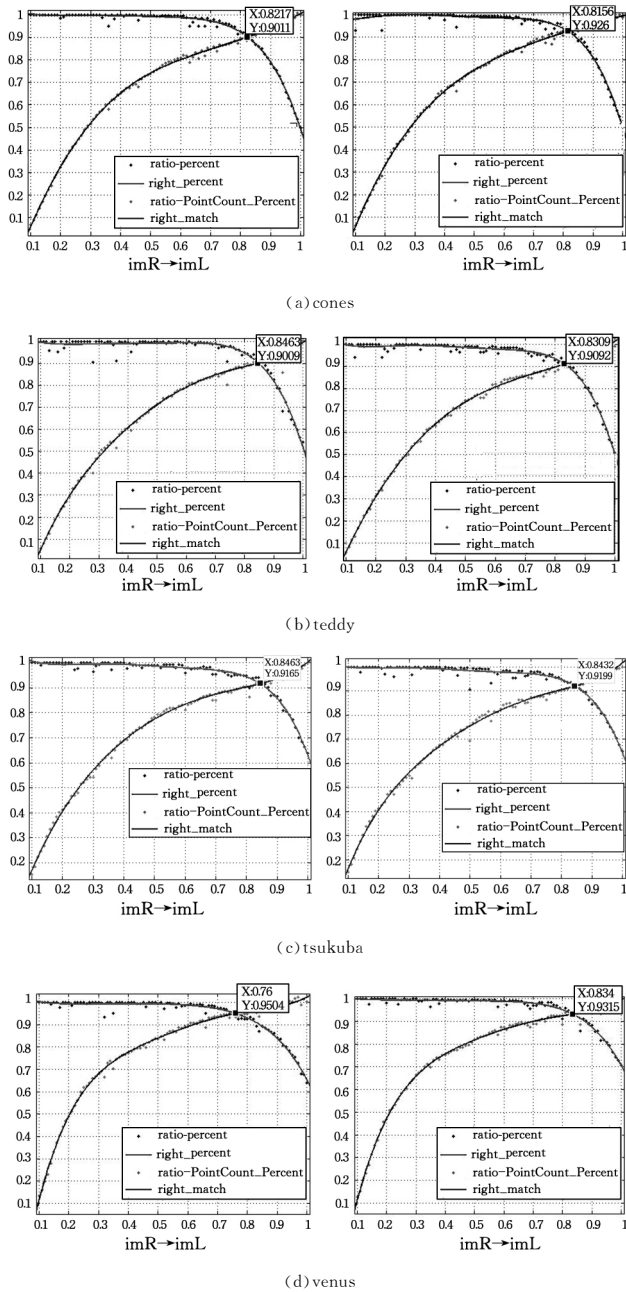


图 3 最佳阈值 $best_ratio$ 拟合曲线

图 3(a)一图 3(d)分别是 4 组匹配图像利用通过两条曲线的交点的方法求出的最佳阈值 $best_ratio$,从中可以看出,本文提出的方法求解出的阈值对应的匹配率和匹配点数都是很高的,完全符合预期。从图 3 中的拟合曲线还可以得出,如果要提高匹配的正确率,只需要适当降低最佳阈值 $best_ratio$,比如将其降低至 0.7 左右,这样就可以保证匹配正确率达到 95%左右,当然,这是以牺牲匹配点数为代价的,但从图中也可以看出,减少的数目在一定情况下是可以接受的。

表 1 和表 2 列出了利用图 3 中求解出的最佳阈值 $best_ratio$ 进行两个方向的匹配实验的数据。 MAX_COUNT 为利用 1.1 节中介绍的方法 1 进行实验,同时对得出的结果进行 RANSAC 优化而得到的正确匹配点数。表中记录的匹配点数是不经过 RANSAC 匹配的结果。

表 1 $imL \rightarrow imR$ 方向的 $best_ratio$ 求解结果

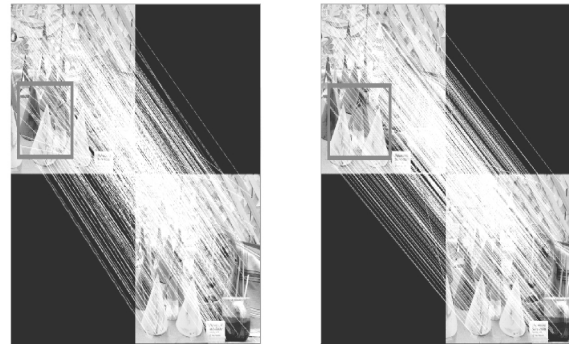
图像	MAX_COUNT / 个	$best_ratio$ / %	匹配率/ %	匹配点数/ 个
cones	623	0.8217	89.98	619
teddy	382	0.8463	92.30	377
tsukuba	448	0.8463	92.60	446
venus	423	0.7600	93.38	423

表 2 $imR \rightarrow imL$ 方向的 $best_ratio$ 求解结果

图像	MAX_COUNT / 个	$best_ratio$ / %	匹配率/ %	匹配点数/ 个
cones	614	0.8156	93.45	611
teddy	371	0.8309	90.27	370
tsukuba	457	0.8432	91.89	456
venus	436	0.8340	93.32	434

从表 1 和表 2 两个实验结果可以看出,本文采用的方法求解出的最佳阈值 $best_ratio$,一方面保证了较高的匹配正确率,都在 90% 以上;另一方面,也能够保证获得较多的匹配点对。

同时,从以上两个不同方向的实验结果可以看出,匹配方向不同,求解出的最佳阈值 $best_ratio$ 和匹配点数都有所不同,因此,可以采用双向匹配的方法对该结果进行一定的优化,以剔除部分误匹配点。简单来说,双向匹配就是在两个方向上利用求解出的最佳阈值 $best_ratio$ 进行匹配,本实验不再进行 RANSAC 优化,最后取两个匹配点集的交集即可。图 4 示出了 cones 图像的实验结果。



(a) 双向匹配前

(b) 双向匹配后

图 4 双向匹配前后的对比

如图 4 所示,方框内的误匹配在利用双向匹配进行优化后,大部分已经去除了。因此,利用双向匹配的方法确实可以去除一部分误匹配点,使得最后的匹配效果得到优化。更多的实验结果如表 3 所列。

表 3 双向匹配实验结果

图像	匹配方向	$best_ratio$ / %	匹配点数/ 个	双向匹配后点数/ 个
cones	L→R	0.8217	619	560
	R→L	0.8156	611	
teddy	L→R	0.8463	377	330
	R→L	0.8309	370	
tsukuba	L→R	0.8463	446	408
	R→L	0.8432	456	
venus	L→R	0.7600	423	393
	R→L	0.8340	434	

如表 3 所列,双向匹配确实能剔除部分误匹配点。利用双向匹配对匹配结果进行优化后,匹配点数比任意一个方向都有所减少,这说明双向的匹配对于去除误匹配点起到了一定的作用。

结束语 本文提出利用两条曲线的交点求出最佳阈值

best_ratio 的方法。通过一系列的实验证明,相比通常给定一个固定阈值的方法,利用本文所提方法求出的阈值不仅可以获取更多的匹配点,而且匹配正确率也得到了很大的改善;而且,在实验过程中,通过对画出的曲线进行分析,还可以得出阈值在 0.7 附近时匹配率能达到 95% 左右的结论,虽然这是以减少匹配点数目为代价的,但这部分匹配点数目的损失一般都是在可控范围内的。最后,本文对最佳阈值求解出的结果进行了双向匹配,剔除了部分误匹配点,进一步提高了匹配正确率。

参考文献

- [1] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110.
- [2] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[C]// Alvey Vision Conference. 1988:50.
- [3] TOMASI C, KANADE T. Detection and tracking of point features[M]. Pittsburgh: School of Computer Science, Carnegie Mellon Univ., 1991.
- [4] BAY H, TUYTELAARS T, Van Gool L. Surf: Speeded up ro-

- bust features[C]// European Conference on Computer Vision. Springer Berlin Heidelberg, 2006.
- [5] MIKOLAJCZYK K, SCHMID C. A performance evaluation of local descriptors[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10):1615-1630.
- [6] 万剑华, 孙姝娟, 曾喆. SIFT 算法距离比阈值自适应改进研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2013, 37(4):71-75, 82.
- [7] 王泽梁, 汪道寅, 汪丽华. 基于距离比阈值参数自适应的 SIFT 算法研究[J]. 陕西科技大学学报(自然科学版), 2011, 29(5):44-47, 72.
- [8] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6):381-395.
- [9] SCHARSTEIN D, SZELISKI R. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms[J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1-3):7-42.
- [10] 骞森, 朱剑英. 基于改进的 SIFT 特征的图像双向匹配算法[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(9):1179-1182.
- [11] 赵璐璐, 耿国华, 李康, 等. 基于 SURF 和快速近似最近邻搜索的图像匹配算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(3):921-923.

(上接第 140 页)

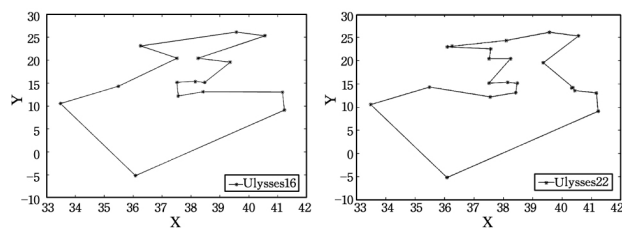


图 5 DFSOA 算法优化 Ulysses16 的最优路径图 图 6 DFSOA 算法优化 Ulysses22 的最优路径图

由实验结果及收敛曲线图可得出:1)DFSOA 算法求解精度高,对 Ulysses16 和 Ulysses22 算例的求解结果均优于 TSPLIB 测试库中提供的最优路径长度(Burma14 因 TSPLIB 未提供最优路径长度而无法比较);2)从平均值、标准差和收敛比例 3 个方面可以看出,DFSOA 算法稳定性好,每次都能收敛到最优解;3)DFSOA 算法收敛速度快,求解算例最优路径的平均耗时不超过 4s。

结束语 以求解 TSP 问题为例,提出了一种离散捕鱼策略优化算法。实验结果表明,DFSOA 算法具有求解精度高、稳定性好、收敛速度快的优点,能够在可接受的时间内求得问题的最优解。因此,该算法是有效且可行的。DFSOA 算法是将捕鱼策略优化算法应用于离散域优化的一种新尝试。下一步的研究是将离散捕鱼策略优化算法用于求解大规模 TSP 问题和离散域的其他优化问题。

参考文献

- [1] 陈建荣,王勇. 采用捕鱼策略的优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9):53-56.
- [2] 陈建荣,陈建华,王勇,等. 求解矩阵特征值的捕鱼算法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(20):55-59.
- [3] 李娟,刘海龙. 动态连续潮流与改进捕鱼算法结合计算静态电压稳定裕度[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2013, 40(3):11-16.
- [4] 苗亮亮,陈先中,侯庆文,等. 高炉料面传感器布置的混沌捕鱼策

- 略[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(1):132-139.
- [5] 项响琴,张沪寅. 渔夫捕鱼优化算法的认知无线频谱分配[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(6):72-76.
- [6] 王泽黎. 基于小生境渔夫捕鱼算法的变电站规划[J]. 电力系统保护与控制, 2014(16):84-88.
- [7] 王英彦,曾瑞. 基于改进单锚节点的无线传感器网络节点定位算法[J]. 激光杂志, 2014(12):128-131.
- [8] 姬建新. 捕鱼算法优化核极限学习机的微博热点话题预测[J]. 激光杂志, 2015(1):128-131.
- [9] 潘长森,王小亭,梁晓龙. 基于支持向量机的水资源预测模型[J]. 成都信息工程学院学报, 2015(1):59-62.
- [10] 张凤梅,邹丽. 捕鱼算法优化支持向量机的视频检索模型[J]. 计算机与数字工程, 2015(2):264-268.
- [11] 徐敏,戴薇. 基于渔夫捕鱼优化算法的配电网重构[J]. 电测与仪表, 2015(13):43-47.
- [12] 谢怡文,赵刚. 基于改进单锚节点的无线传感器网络节点定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2015(11):148-150.
- [13] 庞兴,王勇. 一种采用动态策略的模拟捕鱼优化方法[J]. 山东大学学报(工学版), 2010, 40(3):19-25.
- [14] WANG Y, HE D N, GUAN Y J, et al. An improving FSOA optimization by using orthogonal transform[C]// Proc of the International Conference on Electronic Commerce, Web Application, and Communication. 2011:63-69.
- [15] 陈建荣,陈建华,王勇. 一种改进的模拟捕鱼寻优算法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(34):47-50.
- [16] 李景洋,王勇,路闯. 具有认知能力的捕鱼策略优化算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(1):124-126.
- [17] 李景洋,王勇,李春雷. 自调整的捕鱼策略优化算法[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(5):923-928.
- [18] 庞兴,王勇. PSO 与捕鱼策略相结合的优化方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(8):36-50.
- [19] 陈建荣,王勇. 一种人工鱼算法与捕鱼算法相结合的优化方法[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(4):196-199.
- [20] 梁晓龙,李祚泳,汪嘉杨. 蜜蜂进化遗传与捕鱼策略相结合的优化算法[J]. 数学的实践与认识, 2016(17):143-148.