

## 云萤火虫算法改进二维 Tsallis 熵的医学图像分割\*

徐 浩<sup>1</sup>, 王 霜<sup>2</sup>

(1.温州医科大学附属眼视光医院, 浙江 温州 325000; 2.西安科技大学, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 为提高医学图像分割的效果, 针对二维 Tsallis 熵阈值法图像分割效果受参数  $q$  选择的影响, 提出一种基于云模型萤火虫算法优化二维 Tsallis 熵的医学图像分割算法。首先, 将云模型引入萤火虫算法, 提高萤火虫算法的收敛速度和寻优能力; 其次, 选择均匀性测度作为医学图像分割的评价指标, 运用 CMFA 算法对二维 Tsallis 熵阈值法参数  $q$  进行自适应寻优。研究结果表明, 与 FA-Tsallis 和 Tsallis 相比较, CMFA-Tsallis 的均匀性测度最高, 分割出来的结果边界清晰, 从而证明本算法的有效性。

**关键词:** 医学图像; 图像分割; Tsallis 熵; 萤火虫算法; 云模型

中图分类号: TN92; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.191116

中文引用格式: 徐浩, 王霜. 云萤火虫算法改进二维 Tsallis 熵的医学图像分割[J]. 电子技术应用, 2020, 46(6): 73-76, 81.

英文引用格式: Xu Hao, Wang Shuang. Medical image segmentation using two-dimensional Tsallis entropy improved by cloud model firefly algorithm[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(6): 73-76, 81.

## Medical image segmentation using two-dimensional Tsallis entropy improved by cloud model firefly algorithm

Xu Hao<sup>1</sup>, Wang Shuang<sup>2</sup>

(1.Department of Optometry, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, China;

2.Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** In order to improve the effect of medical image segmentation, for the effect of two-dimensional Tsallis entropy threshold method, two-dimensional Tsallis Entropy improved by cloud model firefly algorithm is applied to medical image segmentation algorithm. Firstly, in order to improve the convergence speed and optimization ability, the cloud model is introduced into the Firefly algorithm. Secondly, the homogeneity measure was chosen as the evaluation index of medical image segmentation, and the parameter  $q$  of the two-dimensional Tsallis entropy threshold method was optimized by CMFA algorithm. The results show that CMFA-Tsallis has the highest homogeneity measure compared with FA-Tsallis and Tsallis, and the result boundary is clear, thus proving the effectiveness of this algorithm.

**Key words:** medical image; image segmentation; Tsallis entropy; firefly algorithm; cloud model

## 0 引言

图像分割是指从图像中提取感兴趣的区域, 由于人体组织的特性, 医学图像边界模糊以及对比度低, 使得医学图像分割成为一个难点<sup>[1]</sup>。文献[2]提出一种基于二进制交叉的实数编码遗传算法的脑部图像多级阈值分割方法。文献[3]提出一种基于萤火虫算法的二维熵多阈值图像分割算法, 该方法可以有效提高图像的分割速度, 但由于搜索空间的局限性, 图像分割精度较低。文献[4]运用粒子群算法对二维 Tsallis 熵的参数  $q$  进行优化选择, 该方法可以较好地分割图像。文献[5]针对二维最大熵分割图像存在计算量大的问题, 将人工蜂群算法应用于二维最大熵优化, 结果表明, 该方法抗噪性强且

收敛速度快。

本文为提高医学图像分割的效果, 针对二维 Tsallis 熵阈值法图像分割效果受参数  $q$  选择的影响, 提出一种基于云模型萤火虫算法优化二维 Tsallis 熵的医学图像分割算法。最后通过仿真研究, 证明了本文算法的有效性。

## 1 云萤火虫算法

## 1.1 萤火虫算法

萤火虫算法<sup>[6-7]</sup>(Firefly Algorithm, FA)是模拟萤火虫发光特性而衍生出来的仿生智能搜索算法。在 FA 算法寻优过程中, 萤火虫个体被当作目标函数的解空间, 目标函数的大小用萤火虫的亮度强弱衡量, 根据萤火虫自身亮度和吸引力大小的不同进行相应的空间移动, 通过一定次数的吸引和迭代后, 萤火虫汇聚到亮度最大的位置, 从而实现目标函数的最优求解。

\* 基金项目: 浙江省科技项目技术成果基金项目(2017ZH009)

# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

萤火虫的亮度  $I$ 、吸引度  $\beta$ 、萤火虫之间的距离  $r_{ij}$  分别定义为:

$$I = I_0 \times e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (1)$$

$$\beta = \beta_0 \times e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (2)$$

$$r_{ij} = ||x_i - x_j|| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (3)$$

其中,  $x_i, x_j$  分别为萤火虫  $i$  和  $j$  所处的位置,  $I_0$  为萤火虫的最大亮度,  $\beta_0$  为最大吸引度,  $\gamma$  为光强吸收系数。

萤火虫位置更新数学式为<sup>[8]</sup>:

$$x_i' = x_i + \beta \times (x_j - x_i) + \alpha \times (\text{rand} - 1/2) \quad (4)$$

其中,  $\alpha$  和  $\text{rand}$  均为扰动。

## 1.2 云模型(Cloud Model)

若一定性概念  $W$  上存在一定量论域  $U$ , 如果  $x \in U$ , 并且定性概念  $W$  在定量论域  $U$  上的随机实现为  $x$ , 则可以用  $\mu(x)$  衡量  $x$  对定性概念  $W$  的确定度<sup>[9]</sup>。  $\mu(x)$  为随机数, 具有稳定倾向, 且  $\mu(x) \in [0, 1]$ 。如果  $\mu: U \rightarrow [0, 1]$ , 针对任意  $x \in U$  存在  $x \rightarrow \mu(x)$ , 那么将  $x$  称为云, 其组成元素称为云滴。通常云模型由期望  $E_x$ 、熵  $E_n$  和超熵  $H_e$  3 个特征参数进行表征<sup>[10]</sup>, 可表示为  $C(E_x, E_n, H_e)$ 。如果  $x \in N(E_x, E_n^2)$ , 其中  $E_n' \in N(E_n, H_e^2)$ , 并且  $x$  对定性概念  $W$  的确定度  $\mu(x)$  满足下列条件<sup>[11]</sup>:

$$\mu = e^{-\frac{(x-E_x)^2}{2(E_n')^2}} \quad (5)$$

此时, 云  $x$  在定量论域  $U$  上的分布称为正态云。

## 1.3 云萤火虫算法

在 FA 算法中, 假设种群规模为  $N$ , 最优适应度、平均适应度和个体适应度分别为  $f_{\min}$ 、 $f_{\text{mean}}$  和  $f_i$ , 适应度大于  $f_{\text{mean}}$  的萤火虫个体的平均适应度为  $f_{\text{mean}}'$ , 适应度小于  $f_{\text{mean}}$  的萤火虫个体的平均适应度为  $f_{\text{mean}}''$ 。为避免 FA 陷入局部最优和提高收敛速度, 种群被划分为 3 个子群<sup>[12]</sup>, 分别为优良子群、普通子群和较差子群, 则调整因子 CR 的调整策略为:

(1) 优良子群:  $f_i$  优于  $f_{\text{mean}}'$

优良子群的最优解几乎接近理论最优解, 因此, 针对该种群本文选择较小的调整因子 CR, 目的是进行精细化搜索, 取  $\text{CR}=0.2$ 。

(2) 普通子群:  $f_i$  次于  $f_{\text{mean}}'$  但优于  $f_{\text{mean}}''$

与较差子群和优良子群相比, 该子群个体的适应度较为一般, 而且数量最多, 调整因子 CR 则使用正态云生成器产生<sup>[13]</sup>:

$$E_x = f_{\text{mean}}' \quad (6)$$

$$E_n = (f_{\text{mean}}' - f_{\min}) / k_1 \quad (7)$$

$$H_e = E_n / k_2 \quad (8)$$

其中,  $k_1, k_2$  为控制参数。

$$E_n' = \text{Normrnd}(E_n, H_e) \quad (9)$$

$$\text{CR} = 0.9 - 0.7 \times e^{-\frac{(f' - E_x)^2}{2(E_n')^2}} \quad (10)$$

由于  $e^{-\frac{(f' - E_x)^2}{2(E_n')^2}} \in [0, 1]$ , 因此  $\text{CR} \in [0.2, 0.9]$ 。

(3) 较差子群:  $f_i$  次于  $f_{\text{mean}}''$

较差子群的解偏离理论最优解最远, 因此, 针对该种群使用较大的调整因子 CR, 主要目的是扩大搜索范围和提高收敛速度, 取  $\text{CR}=0.9$ 。

综合上述分析, 云模型萤火虫算法(Cloud Model Firefly Algorithm, CMFA)的位置更新公式如式(11)所示:

$$x_i = \text{CR} \times x_i + \beta \times (x_j - x_i) + \alpha \times (\text{rand} - 1/2) \quad (11)$$

其中,  $\text{CR} \in [0, 1]$ 。

## 2 二维 Tsallis 熵阈值法

假设一幅数字图像的大小为  $M \times N$ , 坐标点  $(x, y)$  处的灰度值为  $f(x, y)$ ,  $f(x, y) \in G = \{0, 1, \dots, L-1\}$ , 定义坐标点  $(x, y)$  处的像素点  $K \times K$  邻域的平均灰度值  $g(x, y)$  如式(12)所示<sup>[14]</sup>:

$$g(x, y) = \left[ \frac{1}{K \times K} \sum_{m=-(K-1)/2}^{(K-1)/2} \sum_{n=-(K-1)/2}^{(K-1)/2} f(x+m, y+n) \right] \quad (12)$$

其中,  $K$  为邻域宽度。

图像二维直方图为:

$$P(i, j) = \frac{n(i, j)}{M \times N} \quad (13)$$

其中,  $n(i, j)$  为灰度值等于  $i$ 、8 邻域灰度平均值等于  $j$  的像素点数量。二维直方图的示意图如图 1 所示。

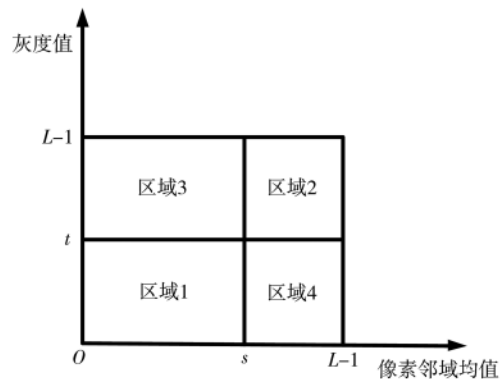


图 1 二维直方图的示意图

图 1 中,  $t$  为灰度值,  $s$  为像素邻域均值。  $t$  与  $s$  的取值范围均为  $[0, L-1]$ 。区域 1 和 2 分别为背景和目标像素, 区域 3 和区域 4 分别为边界和噪声信息。

对于  $L$  个灰度级的二维图像, 假设在阈值  $(t, s)$  定义区域 1 和区域 2 的概率分别为  $P_1, P_2$ <sup>[15]</sup>:

$$P_1 = \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} P(i, j) \quad (14)$$

$$P_2 = \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} P(i, j) \quad (15)$$

# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

SAHOO P K 等在一维 Tsallis 熵的基础上提出了二维 Tsallis 熵, 定义目标和背景的二维 Tsallis 熵  $H_q^1(t, s)$  和  $H_q^2(t, s)$  为<sup>[16]</sup>:

$$H_q^1(t, s) = \frac{1}{q-1} \left( 1 - \sum_{i=0}^{s-1} \sum_{j=0}^{t-1} \left( \frac{p(i, j)}{P_1(t, s)} \right)^q \right) \quad (16)$$

$$H_q^2(t, s) = \frac{1}{q-1} \left( 1 - \sum_{i=s}^{L-1} \sum_{j=t}^{L-1} \left( \frac{p(i, j)}{P_2(t, s)} \right)^q \right) \quad (17)$$

当式(18)最大时, 其所对应的阈值  $(t^*, s^*)$  就是 Tsallis 熵值法的最佳阈值<sup>[17]</sup>。

$$H_q(t, s) = H_q^1(t, s) + H_q^2(t, s) + (1-q) \times H_q^1(t, s) \times H_q^2(t, s) \quad (18)$$

$$(t^*, s^*) = \arg \max [H_q(t, s)], 0 \leq s, t \leq L-1 \quad (19)$$

运用 Tsallis 熵值法分割后的二值图像  $f_{\xi}(x, y)$  的取值

$$f_{\xi}(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) \leq s^* \\ 255 & f(x, y) > s^* \end{cases} \quad (20)$$

由式(18)和式(19)可知, Tsallis 熵  $q$  参数选择直接影响图像分割效果, 因此本文运用 CMFA 算法对 Tsallis 熵  $q$  参数进行自适应优化选择。

## 3 基于 CMFA-Tsallis 熵的医学图像分割

针对 Tsallis 熵  $q$  参数选择直接影响图像分割效果, 运用 CMFA 算法对 Tsallis 熵  $q$  参数进行自适应优化选择, 本文选择均匀性测度 (Uniform Measurement, UM) 作为适应度函数:

$$f_{UM} = 1 - \frac{1}{C} \sum_i \left\{ \sum_{(x, y) \in R_i} \left[ f(x, y) - \frac{1}{A_i} \sum_{(x, y) \in R_i} f(x, y) \right]^2 \right\} \quad (21)$$

其中,  $R_i$  为分割后的第  $i$  个图像区域,  $i=1, 2$ ;  $C$  为归一化参数;  $A_i$  为区域  $R_i$  中的像素总数量。

最优  $q$  参数为:

$$q^* = \arg \max [f_{UM}(q)], q > 0 \quad (22)$$

基于 CMFA-Tsallis 熵的医学图像分割算法流程可以具体描述为:

(1) 读取原始医学图像, 初始化 CMFA 算法参数: 萤火虫初始位置  $x(t, s)$ 、萤火虫数量  $N$ 、最大迭代次数  $T$ 、初始吸引度  $\beta_0$  和步长因子  $\alpha$ 。图 2 为萤火虫初始位置。

(2) 根据式(21)计算每个萤火虫个体的适应度  $f_{UM}$  并排序, 计算亮度最大的萤火虫的空间位置。图 3 为萤火虫位置更新图。

(3) 判断算法终止条件: 若当前迭代次数  $t > T$ , 则转到步骤(4); 反之, 转到步骤(5)。

(4) 输出最优解: 将亮度最大的萤火虫位置所对应阈值  $x(t^*, s^*)$  作为 Tsallis 熵图像分割的最优阈值, 其对应的最优  $q$  值为  $q^*$ 。

(5) 更新萤火虫群体的空间位置: 按照式(11)更新萤火虫群体的空间位置。

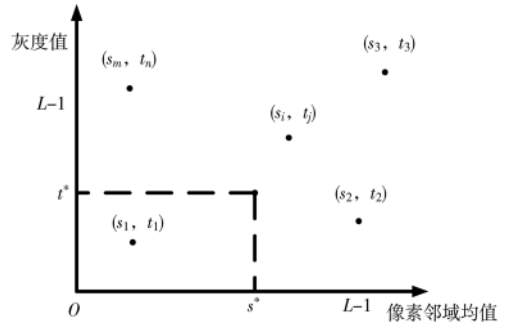


图 2 萤火虫初始位置

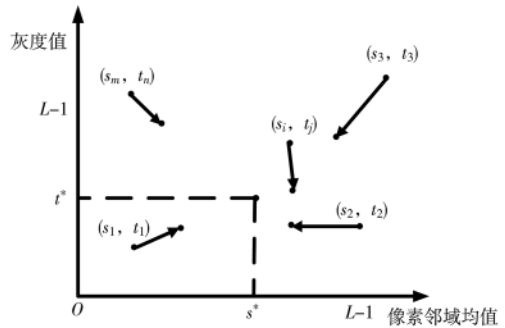


图 3 萤火虫位置更新

基于 CMFA-Tsallis 熵的医学图像分割流程图如图 4 所示。

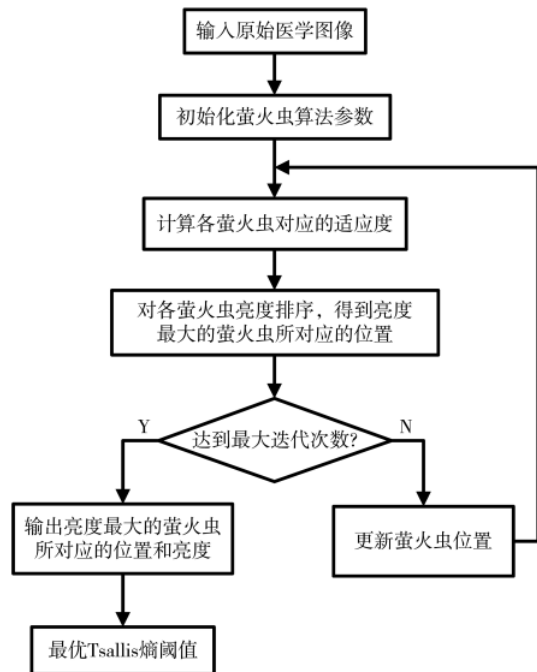


图 4 基于 CMFA-Tsallis 熵的医学图像分割流程图

## 4 仿真分析

为了验证本文算法的有效性和可行性, 选择脑部图像、血管图像和胃部图像为研究对象, 图像分割结果用均匀性测度 (UM) 进行评价,  $UM \in [0, 1]$ ,  $UM$  值越大, 图

# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

像分割效果越好。FA 算法参数为:萤火虫数量  $N=50$ 、初始吸引度  $\beta_0=1$ 、步长因子  $\alpha=0.5$  和最大迭代次数  $T=100$ , 邻域宽度  $K=8$ , 控制参数  $k_1=k_2=2$ , 脑部图像、血管图像和胃部图像分割结果如图 5~图 7 和表 1 所示。

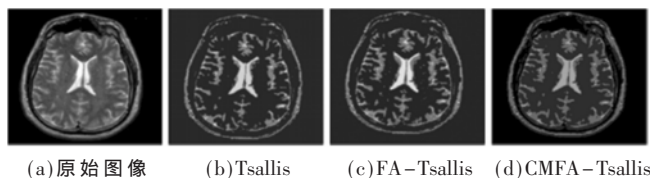


图 5 脑部图像分割

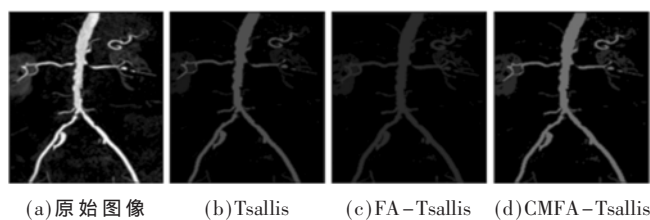


图 6 血管图像分割

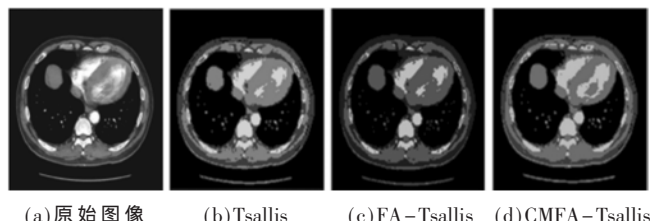


图 7 胃部图像分割

表 1 不同图像分割算法对比

算法	脑部图像/UM	血管图像/UM	胃部图像/UM
Tsallis	0.967 2	0.973 2	0.944 1
FA-Tsallis	0.970 8	0.974 8	0.960 3
CMFA-Tsallis	0.974 4	0.976 4	0.971 8

由图 5~图 7 和表 1 可知,CMFA-Tsallis、FA-Tsallis 和 Tsallis 脑部图像分割的均匀性测度分别为 0.967 2、0.970 8 和 0.974 4,血管图像分割的均匀性测度分别为 0.973 2、0.974 8 和 0.976 4,胃部图像分割的均匀性测度分别为 0.944 1、0.960 3 和 0.971 8。通过对比发现,3 幅图像的 CMFA-Tsallis 的均匀性测度优于 FA-Tsallis 和 Tsallis 分割结果,分割出来的结果边界清晰,从而证明本文算法的有效性。表 2 为不同图像分割算法的分割阈值和参数  $q$ 。

## 5 结论

本文为提高医学图像分割的效果,针对二维 Tsallis

熵阈值法图像分割效果受参数  $q$  选择的影响,将云模型引入萤火虫算法,提出了一种基于云模型萤火虫算法优化二维 Tsallis 熵的医学图像分割算法。选择均匀性测度作为医学图像分割的评价指标,运用 CMFA 算法对二维 Tsallis 熵阈值法参数  $q$  进行自适应寻优。研究结果表明,与 FA-Tsallis 和 Tsallis 相比较,CMFA-Tsallis 的均匀性测度最高,分割出来的结果边界清晰,从而证明本文算法的有效性。

## 参考文献

- [1] 申铨京,潘红,陈海鹏.基于一维 Otsu 的多阈值医学图像分割算法[J].吉林大学学报(理学版),2016,54(2):344-348.
- [2] MANIKANDAN S,RAMAR K,IRUTHAYARAJAN M W,et al. Multilevel thresholding for segmentation of medical brain images using real coded genetic algorithm[J].Measurement, 2014,47(1):558-568.
- [3] 陈恺,陈芳,戴敏,等.基于萤火虫算法的二维熵多阈值快速图像分割[J].光学精密工程,2014,22(2):517-523.
- [4] 林爱英,李辉,吴莉莉,等.二维 Tsallis 熵阈值法中基于粒子群优化的参数选取[J].郑州大学学报(理学版),2012,44(1):50-55.
- [5] 阿里木·赛买提,杜培军,柳思聪.基于人工蜂群优化的二维最大熵图像分割[J].计算机工程,2012,38(9):223-225.
- [6] 张剑飞,杜晓昕,王波.基于量子萤火虫和增益 Beta 的医学 DR 图像自适应增强[J].微电子学与计算机,2014(5):135-139.
- [7] 杜晓刚,党建武,王阳萍,等.基于萤火虫算法的互信息医学图像配准[J].计算机科学,2013,40(7):273-276.
- [8] 贺明,宋文爱,康珩.基于萤火虫算法的三维 Renyi 熵眼底图像血管分割[J].科学技术与工程,2018,18(9):260-265.
- [9] 秦昆,李德毅,许凯.基于云模型的图像分割方法研究[J].测绘地理信息,2006,31(5):3-5.
- [10] 许凯,秦昆,黄伯和,等.基于云模型的图像区域分割方法[J].中国图象图形学报,2010(5):757-763.
- [11] 姚红,王国胤,张清华.基于粗糙集和云模型的彩色图像分割方法[J].小型微型计算机系统,2013,34(11):2615-2620.
- [12] HE L,HUANG S.Modified firefly algorithm based multi-level thresholding for color image segmentation[J].Neuro-computing, 2017,240:152-174.
- [13] 朱莉.增益映射耦合局部正则化的图像重构算法[J].电

表 2 不同图像分割算法的分割阈值和参数  $q$

算法	脑部图像	血管图像	胃部图像
Tsallis	$q=0.8,(t,s)=(3,190)$	$q=0.8,(t,s)=(11,112)$	$q=0.8,(t,s)=(10,97)$
FA-Tsallis	$q=0.823\ 4,(t,s)=(6,191)$	$q=0.823\ 6,(t,s)=(12,113)$	$q=0.805\ 2,(t,s)=(8,96)$
CMFA-Tsallis	$q=0.814\ 3,(t,s)=(7,192)$	$q=0.867\ 2,(t,s)=(13,115)$	$q=0.836\ 9,(t,s)=(7,98)$

(下转第 81 页)



# 计算机技术与应用 Computer Technology and Its Applications

线逐渐运动到各自的期望特征点,图像特征误差小于0.1个像素,其中叉号表示任务开始时的质心位置,圆圈的中心表示质点的期望位置。观察图5(c),机械臂末端由起始位置沿着曲线逐渐运动到设定的期望位置,其中星号表示期望的位置。图5(f)展示了控制量随时间的变化曲线,由关节速度变化曲线可以观察到各关节的控制量都在机械臂各关节电机的运动能力范围内,即 $-200\text{ deg/s} \sim 200\text{ deg/s}$ 。

## 4 结论

本文针对单目手眼机器人系统,介绍了一种基于图像的无标定视觉伺服系统设计方案,提出一种关节空间内速度控制的视觉伺服方法,使用卡尔曼滤波算法对关节-图像雅可比矩阵在线估计,使用C++多线程技术完成三大模块的独立运行,实现了在手眼关系完全无标定条件下的机器人末端高精度定位。实验表明该系统设计方案有效、可行,定位精度优于0.1像素。

## 参考文献

- [1] 党宏社,候金良,强华,等.基于视觉引导的SCARA机器人自动装配系统[J].电子技术应用,2017,43(5):21-24.
- [2] Wikipedia.Visual\_servoing[EB/OL].(2019-09-19)[2019-10-22].https://www.en.wikipedia.org/wiki/Visual\_servoing.
- [3] 苏剑波.机器人无标定手眼协调[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [4] 方勇纯.机器人视觉伺服研究综述[J].智能系统学报,2008,3(2):109-114.
- [5] 贾丙西,刘山,张凯祥,等.机器人视觉伺服研究进展:视觉系统与控制策略[J].自动化学报,2015,41(5):4-16.
- [6] 陶波,龚泽宇,丁汉.机器人无标定视觉伺服控制研究进展[J].力学学报,2016,48(4):767-783.
- [7] LIU S, XIE W F, SU C Y. Image-based visual servoing using improved image moments[C]. International Conference on Information & Automation, 2009: 577-582.
- [8] ZHAO Y, XIE W F, Liu S. Image-based visual servoing using improved image moments in 6-DOF robot systems[J]. International Journal of Control Automation & Systems, 2013, 11(3): 586-596.
- [9] WU D, ZHONG X, ZHANG X, et al. Uncalibrated image-based visual servoing based on joint space and image moment[C]. Chinese Control Conference, 2018: 5391-5397.
- [10] Luoweifu. Visual studio-multi-threaded development[EB/OL]. (2016-05-18)[2019-08-20]. https://blog.csdn.net/luoweifu/article/details/51449364.
- [11] HERVE J, SHARMA R, CUCKA P, et al. Toward robust vision-based control: hand/eye coordination without calibration[C]. International Symposium on Intelligent Control, 1991: 457-462.
- [12] QIAN J, SU J. Online estimation of image Jacobian matrix by Kalman-Bucy filter for uncalibrated stereo vision feedback[C]. International Conference on Robotics and Automation, 2002: 562-567.
- [13] Wikipedia. Kalman filter[EB/OL]. (2019-08-10)[2019-10-22]. https://en.wikipedia.org/wiki/Kalman\_filter.
- [14] 刘丁酉. 矩阵分析[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [15] MARK M W, SETH H, VIDYASAGAR M. 机器人建模和控制[M]. 贾振中, 等, 译. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [16] DENSO WAVE INCORPORATED. 编程手册 I 基础知识与指令[Z]. 2009.
- [17] Inria Rainbow team. Tutorial: Blob tracking[EB/OL]. (2019-08-15)[2019-10-22]. https://visp-doc.inria.fr/doxygen/visp-3.1.0/tutorial-tracking-blob.html.

(收稿日期: 2019-10-22)

## 作者简介:

彭叶予光(1992-),男,本科,助理工程师,主要研究方向:机械设计制造与自动化。

武东杰(1990-),通信作者,男,博士研究生,主要研究方向:机器人无标定视觉伺服。

(上接第76页)

子技术应用,2016,42(3):127-131.

- [14] SRI M R N, RAJINIKANTH, V, LATHA K. Otsu based optimal multilevel image thresholding using firefly algorithm[J]. Modelling & Simulation in Engineering, 2014, 4(2): 1-17.
- [15] JAGADEESAN R, SIVANANDAM S N. A novel clustering and classification based approaches for identifying tumor in MRI brain images[J]. International Journal of Computer Applications, 2013, 67(8): 16-21.

- [16] SAHOO P K, ARORA G. Image thresholding using two-dimensional Tsallis-Havrda-Charvát entropy[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(6): 520-528.

- [17] 冉清华, 龚劬, 王珂. 一类新的基于一维 Renyi 熵的图像分割迭代算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(2): 91-94.

(收稿日期: 2019-10-22)

## 作者简介:

徐浩(1989-),男,本科,助理工程师,主要研究方向:软件工程。

王霜(1980-),女,博士,主要研究方向:图像识别等。

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所