

# 基于粒子滤波和仿射变换的鱼目标跟踪算法

侯崇明,袁广林,王 健

(陆军军官学院 十一系,安徽 合肥 230031)

**摘要:**针对鱼目标跟踪,提出了一种基于粒子滤波与仿射变换的算法。该算法引入仿射变换来建立鱼姿态变化的形状空间,同时用粒子滤波在鱼姿态变化的形状空间内进行搜索,求解鱼姿态变化的参数,然后对鱼目标进行跟踪。运用鱼的运动模型进行了实验,结果显示所提算法的跟踪轮廓在正确跟踪目标的基础上,能够对目标的形状进行更加形象的描述,较好地解决了目标在颜色上出现干扰的问题,从而有效地解决了鱼在水中游动时产生的平面旋转及短暂遮挡的问题。

**关键词:**鱼目标;仿射变换;粒子滤波;跟踪算法

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)04-0135-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.04.034

## A Fish Tracking Algorithm Based on Particle Filtering and Affine Transform

HOU Chong-ming, YUAN Guang-lin, WANG Jian

(No. 11 Department, The Army Officer Academy, Hefei 230031, China)

**Abstract:** A new fish tracking algorithm has been developed based on affine transform and particle filtering. Affine transformation is introduced to build the fish shape space, and particle-filtering is used to search in the space in order to solve the parameters of fish shape change, and finally to track targeted fish. Experiments were conducted with the guidance of fish kinetics, and the results show that the proposed algorithm can track the targeted fish and better describe the shape of fish, and as a result, can solve the problems of in-plane rotation and short-time hiding.

**Key words:** fish target; affine transform; particle filtering; tracking algorithm

## 0 引言

鱼类作为水中的主要动物,它们的生活习性不仅能够对水环境产生影响而且作为大自然中重要的一环它们对人类的生存也有着重大的影响,这使得鱼类无论在民用还是军用方面都存在研究的价值。鱼类作为水中的佼佼者,依靠身体、尾和鳍的协调摆动,不仅可以在持久游速下保持低能耗、高效率,而且也可以在爆发游速下实现高机动性,不仅给汽车和潜水艇的设计带来了灵感,也使得许多研究者将研究的目光聚集到了鱼的跟踪上。如果能够通过图像跟踪的方法对鱼游动时的运动参数进行采集,那么便能对采用仿鱼水下推进技术的水下机器人(仿生机器鱼)进行更好的模拟,从而使仿生机器鱼能在复杂环境下进行水下作业,如军事侦察、排雷、布雷等行动,进而更好地发挥其在军事方面的作用<sup>[1-2]</sup>。还可以利用鱼类对生存环境

变化的敏感性来进行水环境的检测,对需要进行检测的水环境进行采样,然后跟踪记录生活在其中的鱼的运动变化数据,发现其生存的水环境的变化情况<sup>[3-6]</sup>。视觉跟踪的主要任务是在连续的图像帧中,检测出运动目标并对其进行定位,从而确定其完整的运动轨迹,目标可以用状态来描述,从而视觉跟踪问题从数学上可以看作对目标状态的求解。目前,对鱼的跟踪采用的多是基于颜色信息的算法。文献[7]中运用了色彩跟踪算法—Camshift算法对机器鱼进行了单目标跟踪,获得了较好的效果;文献[8-10]中采用粒子滤波的方法对养鱼场里养鱼池中的鱼进行了多目标跟踪,也取得了较好的效果。尽管颜色信息有很多优点,但是以上算法中却有一个不足,没有考虑像素点所构成的空间结构<sup>[11-12]</sup>。这样在跟踪过程中当有相似颜色的目标出现时,跟踪算法就会受到干扰。如文献

收稿日期:2013-06-24

修回日期:2013-09-29

网络出版时间:2014-01-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61175035)

作者简介:侯崇明(1963-),男,硕士,研究方向为人工智能应用和图像跟踪。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140128.1201.062.html>

[7-8]中,当 2 个跟踪目标距离较近时便会出现误跟踪的现象。为了解决这个问题,针对鱼具有不同形状的特点提出一种基于仿射变换与粒子滤波的算法。对于鱼在平面上旋转和朝不同方向游动的特性,采用仿射变换来描述鱼的姿态变化。它能够针对鱼在平面上旋转时只发生水平方向尺度变化的特点,较好地模拟其姿态变化,而对于在不同方向上游动发生身体倾斜时的状态也能进行较好地描述。再通过粒子滤波的方法在鱼轮廓的变形区域内进行搜索,求解鱼轮廓参数,进行鱼轮廓跟踪。

## 1 基于仿射变换与粒子滤波的目标跟踪算法

由于鱼游动的不确定性,文中采用随机游走模型来描述目标的运动。鱼的形状近似椭圆,所以目标轮廓采用椭圆表示。鱼的运动状态可用  $X$  来表示:

$$X = (O_x, O_y, \theta, L_x, L_y) \quad (1)$$

其中,  $O_x, O_y$  分别为目标中心点在  $x$  方向和  $y$  方向的位置;  $\theta$  为目标轮廓旋转的角度;  $L_x, L_y$  为目标在  $x$  方向和  $y$  方向的大小。

目标运动状态方程可表示为

$$X_k = X_{k-1} + \omega_{k-1} \quad (2)$$

式中,  $X_k$  为目标在  $t$  时刻的状态;  $\omega_k$  是归一化噪声。

### 1.1 粒子滤波

粒子用以表示尺度极小的滤波器,可以看作一个代表了目标状态中的一个点。滤波是指可以“滤出”目标的当前状态,在估计理论中指用当前和过去的观测值来估计目标的当前状态。粒子滤波法通过寻找一组在状态空间传播的随机样本对概率密度函数进行近似,以样本均值代替积分运算,从而获得状态最小方差分布的过程。这里的样本即指粒子,当样本数量趋于无穷大时可以逼近任何形式的概率密度分布。尽管算法中的概率分布只是真实分布的一种近似,但由于非参数化的特点,它摆脱了解决非线性滤波问题时随机量必须满足高斯分布的制约,能表达比高斯模型更广泛的分布,也对变量参数的非线性特性有更强的建模能力。因此,粒子滤波能够比较精确地表达基于观测量和控制量的后验概率分布。粒子滤波由重要性采样和序列重要性采样两个部分构成,其中的后验概率密度可表示为:

$$\hat{p}(x_{0:k} | z_{1:k}) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (3)$$

其中,  $x_{0:k}^i$  是由后验分布采样得到的粒子;  $\delta$  表示 Dirac Delta 函数;  $z_{1:k}$  为观测值。

重要性采样就是从已知的一个容易采样的参考分

布  $q(x_{0:k} | z_{1:k})$  通过对采样粒子进行加权来近似  $p(x_{0:k} | z_{1:k})$ 。

$$\hat{p}(x_{0:k} | z_{1:k}) \approx \sum_{i=1}^N \tilde{w}_k(x_{0:k}^i) \delta(x_{0:k} - x_{0:k}^i) \quad (4)$$

式中,  $\tilde{w}_k(x_{0:k}^i) = \frac{w_k(x_{0:k}^i)}{\sum_{i=1}^N w_k(x_{0:k}^i)}$ , 为归一化权值, 其中  $w_k(x_{0:k}^i)$  为重要性权值,  $x_{0:k}^i$  为来自假设样本  $q(x_{0:k} | z_{1:k})$  的粒子。

序列重要性采样就是将重要性采样算法写成序列形式以便对后验分布进行递推估计。

$$w_k(x_{0:k}) = w_{k-1}(x_{0:k-1}) p(z_k | x_k) \quad (5)$$

### 1.2 仿射变换

二维欧氏空间上的仿射变换可以表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中,  $(x, y), (x', y')$  分别是平面中相对应 2 个点的坐标;  $(a_3, a_6)^T$  为平移矢量;  $\begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix}$  为旋转、缩放、错切的合成变换的矩阵表示;  $a_i (i = 1, \dots, 6)$  为实数。

一个包含平移、旋转和等比例缩放变换的合成变换可以表示为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} \quad (7)$$

### 1.3 基于仿射变换的形状模型

沿着鱼的轮廓计算梯度就可以根据形状很好地区分非目标鱼和目标鱼。设  $X$  为一个候选椭圆区域, 并设其圆周上像素点的位置为  $(x_j, y_j)$ 。对跟踪过程中鱼发生的平面旋转, 用仿射变换来描述其轮廓的变化。开始椭圆轮廓变化的形状空间可以用形状参数向量  $S$  来描述, 则有

$$\begin{bmatrix} x_j' \\ y_j' \end{bmatrix} = \mathbf{W} \mathbf{S} + \begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中,  $\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix}$  是开始椭圆形状;  $\mathbf{W}$  是形状矩阵。

可知椭圆空间的维数为  $2N$ , 若引入的形状空间维数为  $N_s$ , 则  $\mathbf{S}$  是  $N_s \times 1$  的矩阵,  $\mathbf{W}$  是  $2N \times N_s$  的矩阵。仿射变换常用 6 个自由度表示, 因此  $N_s = 6$ 。形状矩阵  $\mathbf{W}$  定义为

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_j & 0 & 0 & y_j \\ 0 & 1 & 0 & y_j & x_j & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

由目标的形状模型, 目标的参数向量  $\mathbf{S}$  可以表示为

$$\mathbf{S} = (O_x', O_y', L_x' \cos\theta' - 1, L_y' \cos\theta' - 1, -L_y' \sin\theta', L_x',$$

$$\sin\theta') \quad (10)$$

式中,  $O'_x, O'_y$  为目标中心点的变化;  $\theta'$  为目标轮廓变化的角度;  $L'_x, L'_y$  分别为目标在  $x$  和  $y$  方向上的变化比例。

每个粒子代表了目标的一种运动状态,对于粒子  $N^i$ ,它表示的运动状态参数  $O^i$  可计算出形状参数  $L^i$ ,并由  $O^i$  可以计算出经仿射变换后椭圆轮廓各点的位置  $(x_i^i, y_i^i)$ 。在该轮廓上采样  $M$  个点  $(x_1^i, y_1^i, i=1, \dots, M)$ ,在各点引出法线,计算各法线的梯度值  $G_j (j=1, 2, \dots, M)$ 。比较该像素点与梯度最大值的像素点  $(x_2^i, y_2^i, i=1, \dots, M)$  间的距离,就可计算所求轮廓与真实轮廓之间的相似性。用欧氏距离表示相似性:

$$d[p_1, p_2] = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sqrt{(x_1^i - x_2^i)^2 + (y_1^i - y_2^i)^2} \quad (11)$$

那么观测的概率密度函数可表示为:

$$p(z_k | x_k^i) = \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2}d\right\} \quad (12)$$

在选定它的颜色模型后,则观测概率密度函数为:

$$p(z_k | x_k^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{d^2(p(x), q)}{2\sigma^2}\right\} \quad (13)$$

对于多特征信息有各种融合方法,这里采用民主融合策略。若某一信息在当前帧可靠,则其加权就大。此种方法加大了信息之间的互补性,提高观测目标的鲁棒性。融合了颜色模型和形状模型信息的加权组合可以表示为:

$$p(z | x) = w^c p(z^c | x) + w^s p(z^s | x) \quad (14)$$

其中,  $w^c$  和  $w^s$  分别表示颜色信息和形状信息的加权,表示信息的可靠性。

再定义一个因子  $q^s$  来表示单个信息得到结果和信息融合得到结果的一致性大小:

$$q^s = e^{-aD_k^s} \quad (15)$$

其中,  $s$  是一个符号,取值为  $c$  或者  $g$ ,代表亚瑟或形状信息;  $a$  是一个常量;  $D_k^s$  是欧氏距离,表示每个信息的估计结果和融合结果的距离。这个距离越小,表示这个信息与融合的最终结果越接近,表明这个信息越可靠。

通常相邻两帧图像之间变化较小,信息加权可通过下面的方程预测:

$$\tau \frac{w_k^s - w_{k-1}^s}{\Delta t} = q_{k-1}^s - w_{k-1}^s \quad (16)$$

式中,  $\tau$  是一个常量,用以改变加权的自适应变化率;  $\Delta t$  是连续两帧之间的时间间隔。

从式(16)可知,可靠性大于当前帧加权的信息,它的加权有提高的趋势。这样就实现了自适应的融合,从而自动提高可靠性高的信息权重,减小可靠性低

的权重。

作为最后的步骤,用最大似然估计来表示目标的状态,有:

$$\hat{X} = \operatorname{argmax}_x \{p(z | x)\} \quad (17)$$

## 2 实验结果

在光照强度稳足的条件下,分别用文中算法和文献[7]算法对鱼进行了2组跟踪实验。实验中通过人机交互进行了目标初始化,目标真实状态通过手动标定得到。图1为在没有其他鱼干扰时,对目标鱼游动产生平面旋转情况进行跟踪的实验结果。图2为在有同颜色但形状偏小的鱼作为干扰时,对目标鱼进行跟踪的实验结果。

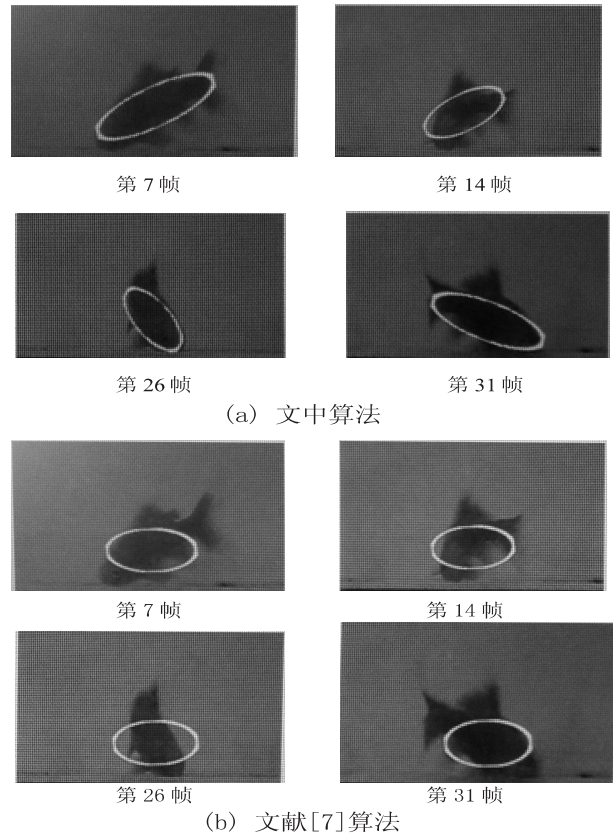
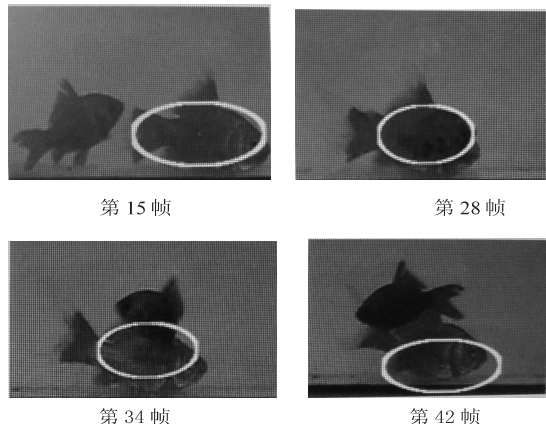


图1 对平面旋转情况进行跟踪的实验结果

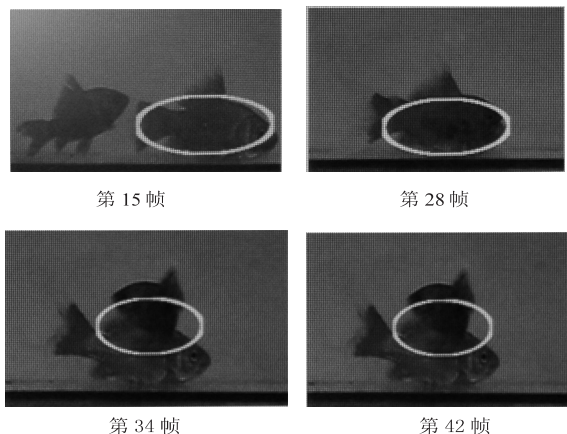
由图1可知,文中算法的跟踪轮廓在正确跟踪目标的基础上不仅能发生大小上的变化而且在垂直方向上发生了偏转,使得跟踪轮廓能够对目标的形状进行更加形象的描述,而文献[7]算法仅仅能在实现正确跟踪的基础上发生大小的变化而不能对目标的形状进行更加形象的描述。这主要是因为文中在对目标进行建模时引入了目标轮廓旋转角度参数  $\theta$ ,使得跟踪轮廓能够随目标一起进行角度上的调整。比较图2中两种算法的跟踪结果,在第42帧中,当干扰噪声离开跟踪目标时,由于跟踪目标在形状上恢复了原来的大小,因此文中算法的跟踪轮廓能够重新回到跟踪目标上,



而文献[7]算法由于采用的是颜色特征,无法正确分辨干扰噪声和跟踪目标,因此出现了误跟踪的情况。相对于文献[7]算法,文中算法不仅能够形象地表现目标的形状而且较好地解决了目标在颜色上出现干扰的问题。



(a) 文中算法



(b) 文献[7]算法

图 2 对短暂遮挡情况进行跟踪的实验结果

### 3 结束语

在所提出的应用于鱼目标跟踪的算法中,引入了基于仿射变换的形状模型,通过建立鱼目标姿态变化的形状空间,对鱼目标进行跟踪。在跟踪过程中用粒子滤波在鱼姿态变化的形状空间内进行搜索,求解目标参数。相对于基于颜色信息的模型,文中方法有效地解决了同颜色不同形状的鱼的平台旋转、不同方向游动及部分遮挡的问题。这是因为文中提出的基于动态帧差法和颜色信息的鱼目标粒子滤波跟踪算法能够同时考虑目标与背景的变化差异,由此返回区分度权值并对各特征进行自适应加权融合,通过基本粒子滤

波算法对融合特征进行观测跟踪。

经实验验证,该算法能够在鱼目标快速、突然运动的情况下进行有效的跟踪,具有较好的鲁棒性。所采用的基于颜色和形状信息的粒子滤波算法能够在颜色和形状的特征上分别建立模型,用来区分不同颜色和大小,在建立的形状模型中采用仿射变换解决鱼的部分形变问题,最后通过民主融合策略来提高算法的鲁棒性。结果表明,该方法有效地解决了鱼有干扰背景的环境下的平面旋转及短暂遮挡的问题。

跟踪尤其是多目标跟踪问题是计算机视觉领域中的一个热点难点问题,下一步准备参考经典的多目标跟踪算法研究多鱼目标的跟踪。

### 参考文献:

- [1] Xiang T, Gong S G. Beyond tracking: Modeling activity and understanding behaviour[J]. International journal of computer vision, 2006(1): 21-51.
- [2] Papadakis V M, Papadakis I E, Lamprianidou F, et al. A computer-vision system and methodology for the analysis of fish behavior[J]. Aquacultural engineering, 2012, 46: 53-59.
- [3] 陈 勇. 面向水质监测的鱼类目标跟踪与运动行为建模系统研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [4] 张迎霞. 面向水质监测的鱼类行为异常识别方法研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- [5] 胡江龙, 方景龙, 王大全. 多目标跟踪算法在水质监测中的应用[J]. 机电工程, 2012, 29(5): 613-615.
- [6] 卢焕达, 刘 鹰, 范良忠. 基于计算机视觉的鱼类行为自动监测系统设计与实现[J]. 渔业现代化, 2011, 38(1): 19-23.
- [7] 方 非, 谢广明. 一种基于图像的机器鱼动态跟踪算法[J]. 机器人技术与应用, 2009(4): 22-25.
- [8] Pinkiewicz T, Williams R, Purser J. Application of the particle filter to tracking of fish in aquaculture research[J]. Digital image computing: Techniques and application, 2008(3): 457-464.
- [9] 许廷发, 姚剑敏, 韦 岗. 约束的 B-Snake 模型的非线性粒子滤波算法研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(3): 207-209.
- [10] 刘士荣, 朱伟涛, 杨 帆, 等. 基于多特征融合的粒子滤波目标跟踪算法[J]. 信息与控制, 2012, 41(6): 752-759.
- [11] 郑世友, 费树根, 袁晓辉, 等. 基于仿射不变量的运动目标遮挡检测和跟踪[J]. 信号处理, 2006, 22(3): 434-439.
- [12] 向志炎, 曹铁勇, 潘竞峰. 基于粒子滤波框架联合仿射和外貌模型的目标跟踪[J]. 电讯技术, 2012, 52(8): 1291-1297.

基于粒子滤波和仿射变换的鱼目标跟踪算法

作者：[侯崇明](#)，[袁广林](#)，[王健](#)，[HOU Chong-ming](#)，[YUAN Guang-lin](#)，[WANG Jian](#)

作者单位：[陆军军官学院 十一系, 安徽 合肥, 230031](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

ISTIC

年，卷(期)：2014(4)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201404034.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201404034.aspx)