

Docking Aircraft Tracking Algorithm Based on Affine Group Self-Tuning Particle Filtering

Yanying Guo, Zhigang Liu

Guangzhou Civil Aviation College, Guangzhou Guangdong
Email: guoyynuaa@126.com

Received: May 29th, 2019; accepted: Jun. 13th, 2019; published: Jun. 20th, 2019

Abstract

The algorithm based on affine group self-tuning particle filtering is proposed to track docking aircraft in airport, and to prevent the aircraft collision. The algorithm is mainly used to find the optimal state with minimum number of particles tracking target. The online learning estimator is used to adjust these particles, the similarity score is based on the feedback, which makes the particles move towards the optimal state. It comes to an end when all the particles are adjusted to meet the maximum degree of similarity or the maximum number of particles allowed. The algorithm achieves sparse sampling and obtains better robustness and high accuracy tracking results.

Keywords

Docking Aircraft, Tracking, Affine Group, Particle Filtering

基于仿射群自调整粒子滤波泊位飞机跟踪算法

郭艳颖, 刘志刚

广州民航职业技术学院, 广东 广州
Email: guoyynuaa@126.com

收稿日期: 2019年5月29日; 录用日期: 2019年6月13日; 发布日期: 2019年6月20日

摘 要

基于仿射群的自调整粒子滤波算法被提出, 用于跟踪机场内泊位飞机, 防止飞机发生相碰。算法中主要

是利用最少粒子数量找到最优状态跟踪目标, 在线学习估计器来交替地调整这些粒子, 根据反馈出现相似分数使得这些粒子朝着邻近的最优状态移动, 当所有调整的粒子满足目标块最大相似度或者允许的最大粒子数量达到时结束。算法实现了稀少采样, 能够获得更好的鲁棒性和高准确率跟踪的效果。

关键词

泊位飞机, 跟踪, 仿射群, 粒子滤波

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

运用具有智能跟踪功能的视频系统[1] [2] [3]对机场进行监控, 通过对机场人员、车辆、飞机等进行分割、跟踪和识别, 实现对地面空勤调度服务的优化, 增强安全性以及监控车辆的异常行为。在飞机泊位自动引导系统中, 对飞机进行跟踪并引导其沿线泊位是至关重要的。视频序列中的运动目标跟踪已经引起国内外学者广泛关注, 对不同应用条件的跟踪作了较详细的论述[4] [5] [6] [7] [8], 其中粒子滤波 (particle filter, PF) 算法取得较好的跟踪效果。PF 采用一些密集的图像像素点来描述目标的状态, 由当前和之前观测值推出目标现在最可能的状态。但是 PF 用于目标跟踪存在两个问题: 退化的问题和选择参考分布的问题。

为了解决这两个问题, 结合文中所研究的视觉飞机泊位引导中目标的情况: 静止单目摄像机、飞机目标运动速度比较慢, 灰度值变化不明显, 平移、尺度会发生很大变化, 寻找一种满足上述情况、实时性和鲁棒性好的运动目标跟踪算法, 引导飞行员操纵飞机准确泊位。

基于仿射群的自调整粒子滤波算法被提出, 跟踪机场内泊位飞机。具体过程: 首先算法使用在线学习估计器来引导随机粒子移动到他们邻近的最佳状态, 稀少采样变得可能。然后, 粒子能递增地给出通过前一运动, 然后交替调整向邻近的最优状态移动。在移动过程中一些粒子成为新的粒子达到最优状态的桥节点, 粒子集在状态空间形成短链, 有效找到最优状态, 从而实现跟踪飞机的目的。

2. 仿射群的自调整粒子滤波算法

2.1. 仿射群

所有仿射矩阵来自群 G 的矩阵乘法操作, 仿射群 G 是差分迭代得来的[9] [10], 具体过程参考文献[9] [10]。这个群的识别元素 I 的切线空间形成 Lie 代数学 \mathfrak{g} , 矩阵结构如下式:

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 & x_3 & x_5 \\ x_2 & x_4 & x_6 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中 $x_i \in \mathfrak{R}$ 。Lie 代数学等价于六维矢量空间。

仿射群展开距离通过测量长度进行测量, 是两点之间最短曲线。如图 1 显示, 从识别元素点 I , 给出任意测量值 $I \rightarrow X$ (I 的附近), 在切线空间 \mathfrak{g} 中一个相应矢量被决定: $i \rightarrow x$, 反之亦然。在 I 周围群元素和切线空间 \mathfrak{g} 之间的转换可以通过下式得到。

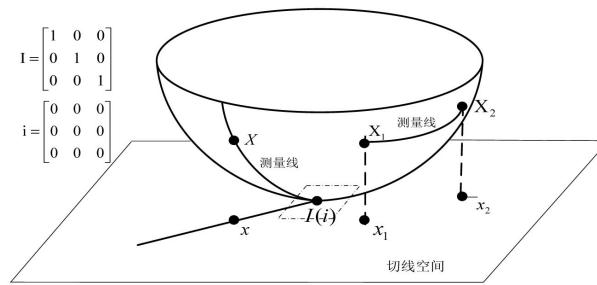


Figure 1. Geometric relationship of affine groups
图 1. 仿射群的几何关系

$$\begin{aligned} \exp : g \rightarrow G, X &= \exp(x) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{x^i}{i!} \\ \log : G \rightarrow g, x &= \log(X) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^{i-1}}{i} (I - X)^i \end{aligned} \quad (2)$$

2.2. 仿射群自调整粒子滤波算法

假定状态变换函数是一阶自回归处理仿射群:

$$X_t = X_{t-1} \cdot \exp(A_{t-1}) \exp(d\Omega_t) \quad (3)$$

$$A_{t-1} = a \log(X_{t-2}^{-1} X_{t-1}) \quad (4)$$

其中 a 是 AR 处理参数, $d\Omega_t = \sum_{i=1}^6 w_{t,i} E_i$ 是关于 g 的高斯噪声, $w_t = \{w_{t,1}, \dots, w_{t,6}\}$ 采样来自高斯分布 $N_g(o, \Sigma_g)$. $\Sigma_g = \text{diag}\{\sigma_s^2, \sigma_\alpha^2, \sigma_\theta^2, \sigma_\phi^2, \sigma_x^2, \sigma_y^2\}$, E_i 是下列矩阵的基本元素。

$$\begin{aligned} E_1 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ E_3 &= \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ E_5 &= \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, E_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

E_{1-6} 测量变换节点分别是尺度、高宽比、旋转、斜交角度、 x 变换和 y 变换[10]。

具体算法过程[10]:

输入: 粒子最大数量 N_{total} , 初始化粒子数量 ΔN_0 , 递增因子 α_{inc} , 前一粒子状态 $X_{t-1} = \{X_{t-1,i}\}_{i=1}^{\Delta N_0}$, \hat{X}_{t-2} 和 \hat{X}_{t-1} 。

1) 通过(6)式 \hat{X}_t 和 \hat{X}_{t-1} 计算速率 A_{t-1} ;

2) 通过状态变换(5)式传递 χ_t 到新的状态 $\chi_t^0 = \{X_{t,i}^0\}_{i=1}^{\Delta N_0}$;

3) 调整 χ_t^0 到最优状态 $\hat{\chi}_t^0 = \{\hat{\chi}_{t,i}^0\}_{i=1}^{\Delta N_0}$ 通过自调整算法, 然后计算 $S_{\max}^0 = \max\{Sim(o(\tilde{X}_{t,i}^0))\}_{i=1}^{\Delta N_0}$;

4) $n = \Delta N_0$, $k = 0$;

5) 循环: 当 $S_{\max}^k < \mu_T - \sigma_T$ 和 $n < N_{total}$ 完成以下步骤:

6) a) $k = k + 1$; b) $\Delta N_k = \min\{\alpha_{inc} \Delta N_{k-1}, N_{total} - n\}$; c) 通过 \tilde{X}_t^{k-1} 重采样产生新的粒子集 $\Delta \chi_t^k = \{X_{t,j}^k\}_{j=1}^{\Delta N_k}$; d) 传播新的粒子: 用 $d\Omega_{t,j}^k \sim N_g$ 传播 $X_{t,j}^k = X_{t,j}^{k-1} \exp(d\Omega_{t,j}^k)$; e) 调整 $\Delta \chi_t^k$ 到它们邻近的最优状态 $\Delta \tilde{\chi}_t^k$; f) $n = n + \Delta N_k$; g) 传播所有调整粒子: $\tilde{\chi}_t^k = \{\tilde{\chi}_t^{k-1}, \Delta \tilde{\chi}_t^k\} = \{\tilde{X}_{t,i}^k\}_{i=1}^n$; h)

$S_{\max}^k = \max\{Sim(o(X_{t,i}^k))\}_{i=1}^n$;

7) 计算 $\hat{X}_t = \tilde{X}_{t,i}^k |_{Sim(o(\tilde{X}_{t,i}^k)) = S_{\max}^k}$ 和 $\hat{S}_t = S_{\max}^k$;

8) 条件更新: 假如 $\hat{S}_t > \mu_B + \sigma_B$ 那么利用 \hat{X}_t 更新观测模型;

9) 通过 $\tilde{\chi}_t^k$ 的重采样产生下一帧 $\chi_t = \{X_{t,i}\}_{i=1}^{\Delta N_0}$ 。

输出: \hat{X}_t 。

3. 泊位飞机跟踪实验结果

在飞机泊位过程中摄像机完成图像序列的采集, 各帧图像中飞机的尺寸随飞机逐渐接近摄像机逐渐变大, 同时随飞机转弯与摄像机角度不同而变化。图 2 为飞机泊位跟踪效果, 分别为第 10、253、332 和 483 帧图像, 跟踪周期平均为 15 帧/秒。其中, 矩形框是用自调整粒子滤波得到的跟踪结果, 白色点是在跟踪过程产生的粒子。

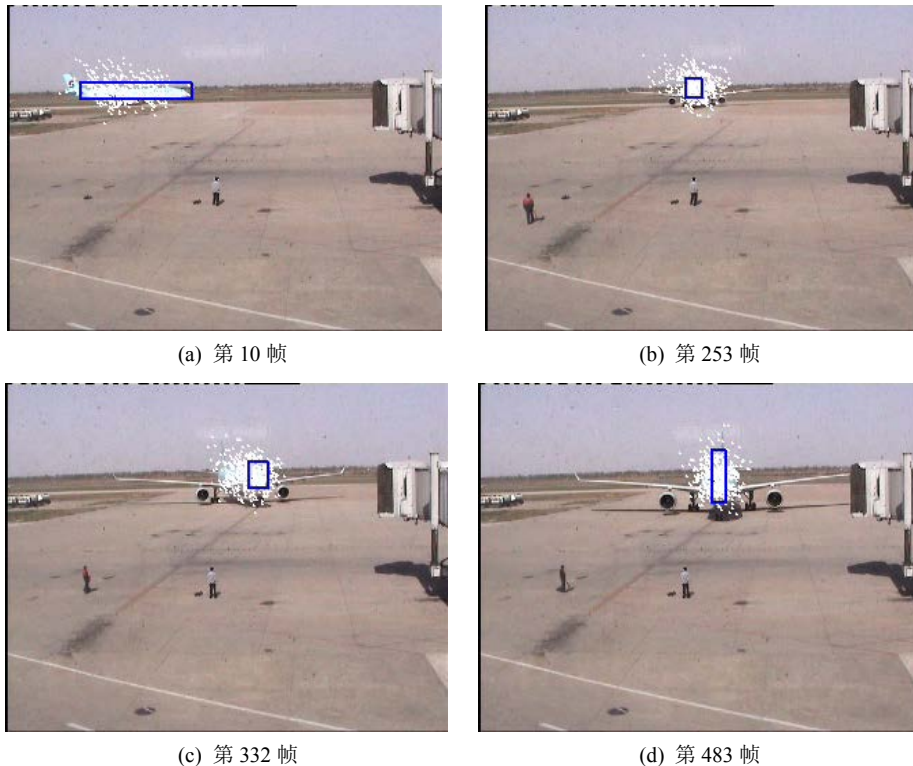


Figure 2. Tracking effect image of PF algorithm

图 2. PF 算法的跟踪效果图像

从跟踪效果中可见, PF 跟踪算法在初始粒子较均匀分布在飞机上, 飞机拐弯准备进入泊位位置时, 机身发生了较大的旋转, 依然可以较好的跟踪飞机。但是 PF 跟踪算法所用时间复杂度高, 采样粒子数量很大, 容易出现粒子匮乏现象。

图3 所处理的图像序列为白云机场采集的泊位飞机运动跟踪序列视频图像, 分别为第 575、703、932、1205 帧图像。本文提出的跟踪算法的目标跟踪周期为 12 帧/s, 而采集图像的周期为 14 帧/s。

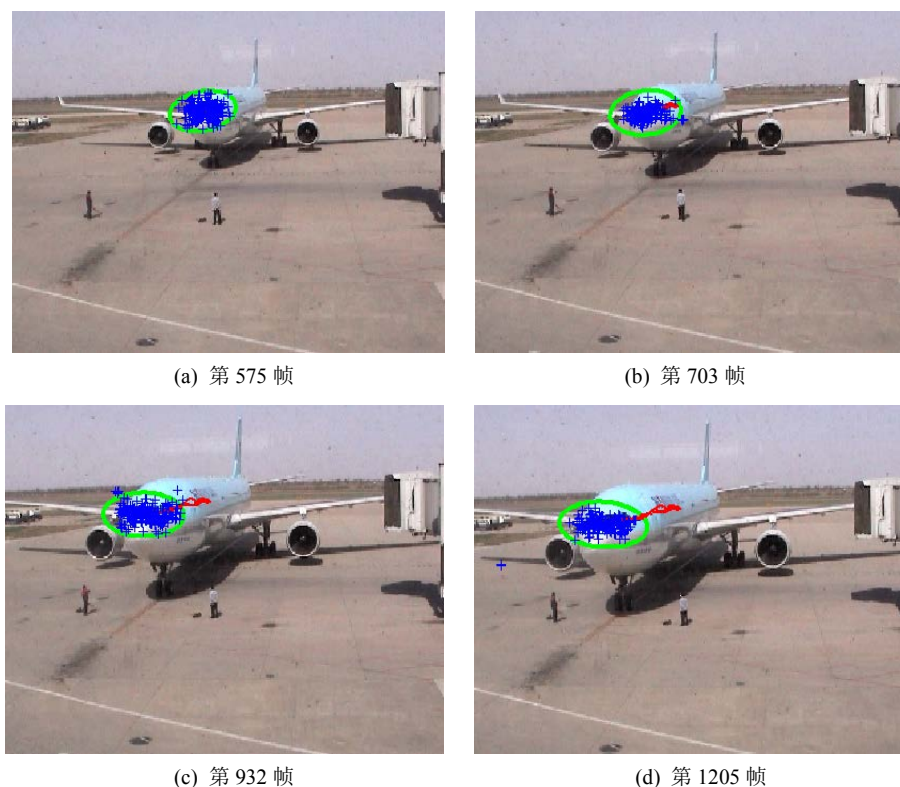


Figure 3. The tracking effect image of the algorithm of this paper
图3. 本文算法的跟踪效果图像

从图3 仿真跟踪结果可见, 本文提出的算法在物体运动速度比较慢的情况下都能够完成较好的跟踪, 而且采样粒子数量较少, 实现了稀少采样。粒子能够自调整调整位置向最佳状态移动。本文所提的跟踪方法能有效跟踪位置发生较大变化目标, 因为利用链智能寻找处理目标最优化状态。当仅仅采样很少量的粒子时, 仿射群的自调整粒子滤波算法跟踪方法比传统 PF 跟踪方法能获得更好的鲁棒性和准确性。

4. 结论

基于仿射群自调整递增调整粒子数量的粒子滤波视频跟踪算法, 不像传统粒子滤波仅依靠状态估计的随机采样, 其利用智能粒子最大相似度来引导粒子移动, 解决了重采样导致采样图像丧失多样性的问题, 减少了采样数量。仿真结果证明本算法具有良好的鲁棒性、可靠性和实时性的特点。但该算法在跟踪框架下多种特征信息多模板的综合特征跟踪算法方面有待进一步探讨研究。

基金项目

广东省高等职业教育教学改革项目(项目编号 20130301051); 2014 年度广东省教育教学成果奖(高等教育)培育项目(项目序号 834)。

参考文献

- [1] Yilmaz, A., Javed, O. and Shah, M. (2006) Object Tracking: A Survey. *ACM Computing Surveys*, **38**, 1-45.

<https://doi.org/10.1145/1177352.1177355>

- [2] Nummiaroa, E.K.-M.K. and Gool, L. (2003) An Adaptive Color-Based Particle Filter. *Image and Vision Computing*, **21**, 99-110. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(02\)00129-4](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(02)00129-4)
- [3] 李培华. 一种新颖的基于颜色信息的粒子滤波器跟踪算法[J]. 计算机学报, 2009, 32(12): 2455-2463.
- [4] Pocok, J., Dance, S. and Lawless, A. (2011) State Estimation Using the Particle Filter with Mode Tracking. *Computer Fluids*, **46**, 392-397. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2011.02.009>
- [5] 李远征, 卢朝阳, 高全学, 李静. 基于多特征融合的均值迁移粒子滤波跟踪算法[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(2): 411-415.
- [6] 郑华, 谭博, 裴承鸣. 粒子滤波算法在多传感器测量中的应用[J]. 现代电子技术, 2014, 37(1): 25-30.
- [7] Wang, J.Y., Chen, X.L. and Gao, W. (2005) Online Selection Discriminative Tracking Features Using Particle Filter. In: *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Press, New York, 1037-1042.
- [8] 林霖. 基于几何特征的飞机部位识别跟踪算法[J]. 红外, 2007, 28(8): 131-135.
- [9] Porikli, F., Tuzel, O. and Meer, P. (2006) Covariance Tracking Using Model Update Based on Lie Algebra. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, New York, 17-22 June 2006, 728-735.
- [10] Li, M., Tan, T., Chen, W. and Huang, K. (2012) Efficient Object Tracking by Incremental Self-Tuning Particle Filtering on the Affine Group. *IEEE Transactions on Image Processing*, **21**, 1298-1313. <https://doi.org/10.1109/TIP.2011.2169970>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-474X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jast@hanspub.org