

基于多线索融合的目标跟踪算法研究

谢之宇, 蒋晓瑜, 汪 熙, 裴 闯
(装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072)

摘 要: 目标跟踪是计算机视觉领域一项核心技术, 通用的目标跟踪算法以单线索或简单融合多个线索为主, 当背景突然改变时, 单一线索或多个线索的简单融合便难以跟踪成功。针对这个问题, 在粒子滤波的框架下提出了自适应融合颜色线索和角点线索的跟踪方法, 通过判断各个线索的可信程度, 自适应给不同线索分配不同的权重, 很好地解决了在复杂背景、互相遮挡情况下的跟踪问题。实验证明, 采用的自适应多线索融合方法在实际应用中有更强的鲁棒性。

关键词: 目标跟踪; 颜色线索; 角点线索; 多线索融合; 自适应融合

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)03-0125-03

A Target Tracking Algorithm Research Based on Multi-Cue Fusion

XIE Zhi-yu, JIANG Xiao-yu, WANG Xi, PEI Chuang

(Department of Control Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Target tracking is the key technology on the field of computer vision. Methods that generally used now are mainly based on single cue or straightforwardly fusing several cues. So when the background suddenly changed, this methods are hard to track the target. In order to handle this problem, a tracking algorithm based on adaptive combination of color cue and corner cue was proposed to solve the tracking problem under complex situation properly by estimating the reliability of each cue and distribute different weight to different cues automatically. The experiment results prove that the self-adaptive multi-cue fusion algorithm is stable and robust in the application.

Key words: target tracking; color cue; corner cue; multi-cue fusion; self-adaptive fusion

0 引 言

在视频目标跟踪中, 如何选择有效的目标视觉特征, 是实现目标鲁棒跟踪的关键。颜色和角点特征是其中最重要的两个信息。但颜色线索或角点线索都存在着一一定的不足^[1,2]: 颜色线索虽然具有最基本的信息, 但是它忽略了像素点之间的空间结构。角点线索则容易受到背景角点或其他目标角点的干扰。当前的多线索融合^[3]方法一般是在角点线索或颜色线索其中一个不可靠的时候切换成另一个, 这样虽然可以在两个线索中选取更可靠的一个, 但却无法充分利用每种线索的其置信度高的部分。针对这个问题, 文中提出了一种自适应的多线索融合方法, 利用乘性融合和加性融合的切换, 并通过自适应地调整颜色线索和角点线索的权重, 选择其可信度高的特征, 提高了算法的可

靠性和鲁棒性。

1 多线索融合中的似然模型

1.1 目标运动模型

文中采取粒子滤波^[4,5]来进行运动估计。首先必须对目标运动进行建模, 为了使模型符合目标实际运动规律, 文中选择矩形运动参数描述人体的状态向量 $X_k = \{x_k, y_k, w_k, l_k\}$; 用椭圆来近似轿车的状态向量 $X_k = \{x_k, y_k, c_k, d_k\}$, 其中 (x_k, y_k) 为中心坐标, w_k, l_k 为矩形半长、半宽, c_k, d_k 分别为椭圆的半长轴、半短轴。目标状态方程为:

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

其中 ω_k 是高斯噪声且在各个变量之间是相互独立的。

1.2 似然模型

1.2.1 颜色似然模型

颜色特征是一个被广泛采用的特征, 它对于平面旋转、非刚体和部分遮挡很稳定。利用颜色信息的统计直方图技术可以建立相应的颜色模型^[6]。

文中采用 Bhattacharyya 距离^[7] $\rho(p(X), q(X))$ 衡

收稿日期: 2010-08-27; 修回日期: 2010-12-14

基金项目: 军队“十一五”预研项目(404010204)

作者简介: 谢之宇(1986-), 男, 江西玉山人, 硕士研究生, 研究方向为目标探测与识别; 蒋晓瑜, 教授, 博士生导师, 研究方向为图像融合、电子稳像及目标探测与识别。

量真实目标颜色分布 $\bar{p}(X) = \{p_u(X), u = 1, 2, \dots, m\}$ 和候选目标颜色分布之间 $\bar{q}(X) = \{q_u(X), u = 1, 2, \dots, m\}$ 的相似度:

$$\rho(\bar{p}(X), \bar{q}(X)) = \sum_{u=1}^m \sqrt{p_u(X)q_u(X)} \quad (2)$$

定义颜色相似度函数为:

$$D(\bar{p}(X), \bar{q}(X)) = \sqrt{1 - \rho(\bar{p}(X), \bar{q}(X))} \quad (3)$$

其中: $p_u(X)$ 、 $q_u(X)$ 为模版和候选目标的颜色概率分布。

颜色似然 $p_{\text{color}}(Z_{\text{color}} | X)$ 定义为:

$$p_{\text{color}}(Z_{\text{color}} | X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{color}}} \exp\left(-\frac{D^2(\bar{p}(X), \bar{q}(X))}{2\sigma_{\text{color}}^2}\right) \quad (4)$$

其中: Z_{color} 是颜色线索的观测值, σ_{color} 为颜色线索观测值中的高斯噪声。

1.2.2 角点似然模型

文中采用 Harris 角点检测算法, 并选择 Hausdorff 距离用于衡量两个点集的匹配程度^[8]。

针对车辆和人的椭圆和矩形模板, 用 $\bar{r}(X)$ 、 $\bar{s}(X)$ 分别表示目标区域和候选区域的角点分布, 计算每个粒子的角点线索观测似然概率 $p_{\text{corner}}(Z_{\text{corner}} | X)$, 计算公式如下^[9]:

$$p_{\text{corner}}(Z_{\text{corner}} | X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\text{corner}}} \exp\left(-\frac{H^2(\bar{r}(X), \bar{s}(X))}{2\sigma_{\text{corner}}^2}\right) \quad (5)$$

其中: σ_{corner} 为角点线索中的高斯噪声。 $H^2(\bar{r}(X), \bar{s}(X))$ 为目标区域和候选区域之间的 Hausdorff 距离。最终观察似然为:

$$p(Z_{\text{color}}, Z_{\text{corner}} | X) = \lambda_{\text{color}} p_{\text{color}}(Z_{\text{color}} | X) + \lambda_{\text{corner}} p_{\text{corner}}(Z_{\text{corner}} | X) \quad (6)$$

基中 λ_{color} 、 λ_{corner} 分别为颜色线索和角点线索的权重, Z_{corner} 为角点线索的观测值。

2 多线索融合

如图 1 所示, 多线索融合就是通过不同线索的观测计算得到总的观测似然, 通过比较观测目标与实际目标的差异来推断不同线索的有效性。常采用的融合方法有以下两种。

2.1 乘性融合

对于多线索跟踪问题, 乘性融合^[10]假设线索间独立, 这样, n 个线索的联合似然为:

$$p(y_1, \dots, y_n | x) = \prod_{i=1}^n p(y_i | x)^{\lambda_i} \quad (7)$$

其中: y_i 为第 i 条线索下的观测且相互独立, x 为待估计目标状态。乘性融合能简单直接地利用多种不同的线索, 且在独立性假设下, 结果在理论上最优, 但乘性融合假设线索间独立的前提很难满足。

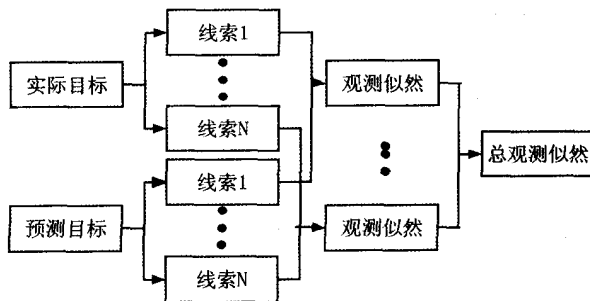


图 1 融合框图

2.2 加权和融合

加权和融合是另一种常用的方式, 适合处理复杂、计算量大的密度估计, 融合模型表示为:

$$p(y_1, \dots, y_n | x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i p(y_i | x), \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (8)$$

其中: λ_i 是密度函数 $p(y_i | x)$ 的加权系数, 加权模型容易理解, 且能减少噪声的影响, 但其无法提高观测似然的可靠性^[11,12]。

2.3 自适应融合策略

文中提出一种自适应线索融合方法, 结合了乘性融合与加权和融合的优点。文中通过协方差矩阵来判断多线索的有效性, 如果线索的可靠率都较高, 则采用乘性融合方式; 否则采用加权和融合方式并取各自颜色线索和角点线索中置信度高的信息区间。判断线索是否退化最直接的想法是根据协方差矩阵判断线索的不确定性。文中使用的跟踪器是粒子滤波器, 通过协方差阵的 Frobenius 范数 Δ_i 来表征线索的不确定性。

文中算法的跟踪流程图见图 2。

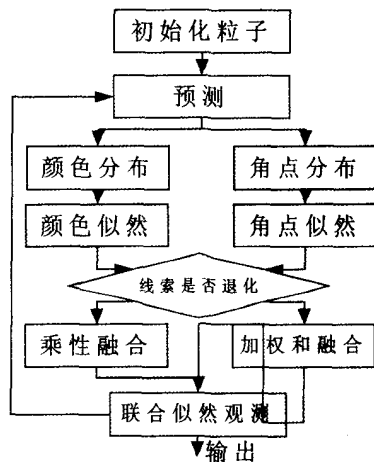


图 2 算法框图

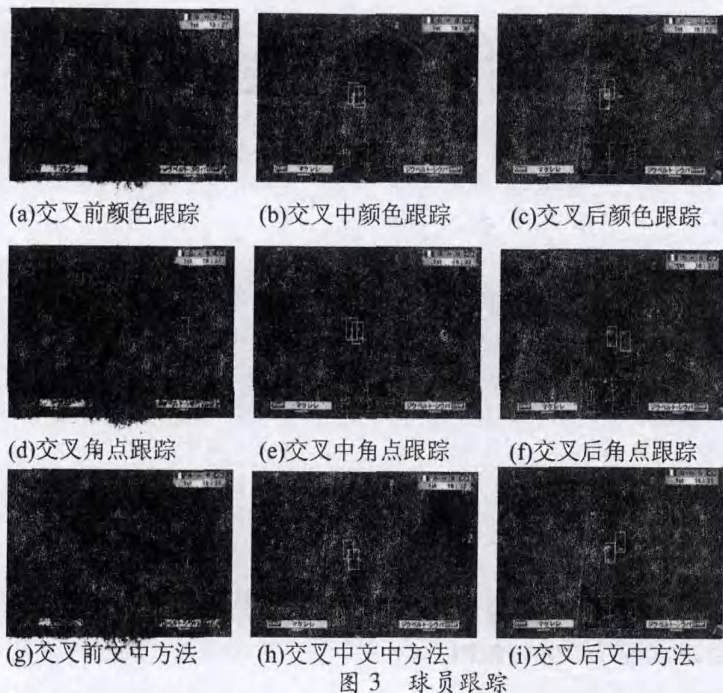


图3 球员跟踪

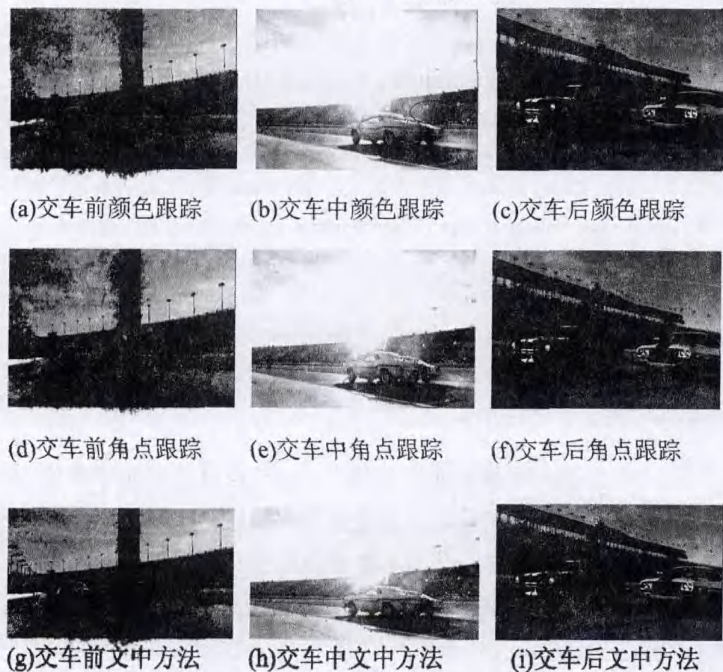


图4 赛车跟踪

(d)(e)(f)为单一角点线索的跟踪效果,(g)(h)(i)为文中算法的跟踪效果。图4中,(a)(b)(c)(d)(e)(f)为简单多线索融合算法的跟踪效果,(a)(b)(c)为乘性整合,(d)(e)(f)为加权和融合,(g)(h)(i)为文中算法的效果。图中,球员用方框表示,车子用椭圆表示。

图3(a)(d)(g)中,球员相距较远,背景颜色又与球衣颜色相差较大,目标的颜色和角点线索都比较清晰而稳定,颜色法和角点法都能稳定跟踪。(b)(e)(h)中,球员交叉,(c)(f)(i)是球员交叉后的跟踪情况。交叉时是依据之前的信息进行推断,所以单一颜色,单一角点,文中融合算法都能正确跟踪。交叉后,由于球员互相遮挡住了球衣的主体颜色,颜色信息突变,跟踪失效,如(c)所示。而角点信息却没有发生改变,如(f)所示。在该文方法中,角点线索所占的权重自适应的增加,成功跟踪目标,如(i)所示。

图4(a)(d)(g)中,角点、颜色信息稳定,三种方法都能准确跟踪。(b)(e)(h)中,车辆进入阳光直射区且两车交汇,(c)(f)(i)是发生交汇后的跟踪情况。在阳光直射下和地面反光下,背景亮度突变,并且两车交汇的阴影导致角点和颜色信息各自有部分丢失和错误。所以不管是颜色线索还是角点线索,简单的多线索融合无论选择哪条线索,跟踪效果都不好,如(c)(f)所示。而文中的算法在颜色和角点的线索都不稳定的情况下,自适应选择了颜色线索和角点线索中置信区间高的信息,取长补短,提高了综合线索的稳定性,跟踪效果相对有了较大的提高,如(i)所示。

4 结束语

文中在粒子滤波的框架下,分析了乘性融合和加权和融合的特性,结合颜色线索和角点线索,提出了一种自适应融合颜色线索和角点线索的跟踪方法。对比实验结果充分证明,文中提出的自适应多线索融合方法比单一线索和简单多线索融合具有更好的稳定性,能有效抑制光照突变和背景混入等问题带来的影响。

参考文献:

[1] 高建坡,王煜坚,杨浩,等.以颜色和形状直方图为线索

(下转第131页)

$$\Delta_i = \| \text{Cov}(C_i) \|_F = \left(\sum_{m=1}^{\dim(x)} \sum_{n=1}^{\dim(x)} (\text{Cov}(C_i))_{m,n}^2 \right)^{\frac{1}{2}}, i = 1, 2 \quad (9)$$

其中: $\text{Cov}(C_i)$ 为线索 i 的协方差,若某 Frobenius 范数大于设计的阈值,则线索退化。

另外,文中以协方差 Frobenius 范数的倒数作为线索的可信度 $r_i = \Delta_i^{-1}$,则式(8)各融合加权系数 λ_i 为:

$$\lambda_i = r_i / \sum_{j=1}^2 r_j = \Delta_i^{-1} / \sum_{j=1}^2 \Delta_j^{-1}, i = 1, 2 \quad (10)$$

3 实验结果与分析

图3中,(a)(b)(c)为单一颜色线索的跟踪效果,

源预留的策略比 DCLC-K 算法在路由确认后资源预留的策略效率要高,能够更快的建立路由。

实验 2 检测了在不同的链路负载时,两种算法建立路由的成功率的对比。图 4 表明在不同的链路负载条件下,本算法建立路由的成功率总体上优于 DCLC-K 算法。DCLC-K 算法没有考虑带宽的约束要求,其建立的部分路由不能满足业务的带宽要求^[10],因此其成功率相对本算法小。在合适的链路负载条件下,本算法建立路由成功率接近 80%,这表明本算法可有效建立路由。

4 结束语

文中提出了一种利用网络节点状态信息进行路由探测的分布式 QoS 单播路由算法,在探测过程中考虑带宽和时延的约束要求,进行有选择的路由探测。通过在中间节点进行约束参数的分布计算,来减小算法中约束参数计算的复杂度。在路由确认过程中,在满足资源要求的节点上实施资源预留,如果不能满足资源要求则选取新的前驱节点进行路由确认。确认过程中资源预留的方法有效减小了建立路由的时间^[11],提高了路由算法的效率。仿真结果表明本算法能有效快速的建立路由。由于业务的 QoS 参数的动态变化^[12],需进一步研究改进算法以适应业务的 QoS 约束参数的变化。

参考文献:

[1] Xiao Xipeng, Ni L. Internet QoS: A Big Picture [J]. IEEE

Network Magazine, 1999, 3(4): 8-18.

[2] 林 闯,单志广,任丰原. 计算机网络的服务质量(QoS) [M]. 北京:清华大学出版社,2004.

[3] White Paper—QoS Protocols & Architectures [EB/OL]. 1999-07. <http://www.qosforum.com>.

[4] 孔令山,丁 炜. 基于时延约束的分布式 QoS 单播路由算法[J]. 北京邮电大学学报, 2003, 26(1): 37-40.

[5] 余 健,陈 琳,杨志云. 一个有效的延迟费用受限的多路径算法[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(7): 222-224.

[6] Xue G L, Zhang W Y, Tang J. Polynomial time approximation algorithms for multi-constrained QoS routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(3): 656-669.

[7] 胡迎松 高国强. 改进的分布式 QoS 路由算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(22): 127-129.

[8] El-Bakry H M, Mastorakis N. An effective routing algorithm for real-time applications [C]// Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Communications. Heraklion, Greece: [s. n.], 2008: 362-374.

[9] Guo Zhuo, Qiao Jianzhong, Lin ShuKuan, et al. A Distributed Parallel QoS Routing Algorithm with Multi-path Probing [C]//2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009). [s. l.]: [s. n.], 2009: 296-301.

[10] Feng Jing, Ma Xiao-jun, Gu Guan-qun. Network model research adapted to QoS routing mechanism [J]. Chinese Journal of Computers, 2000, 23(8): 799-805.

[11] 杨 勇,王雪晶,陈良臣. QoS 在 IP 中的研究和应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(5): 33-36.

[12] 朱慧玲,杭大明,马正新,等. QoS 路由选择:问题与解决方法综述[J]. 电子学报, 2003, 31(1): 109-116.

(上接第 127 页)

的粒子滤波人脸跟踪[J]. 中国图像图形学报, 2007, 12(3): 466-473.

[2] Spengler M, Schiele B. Towards robust multi-cue integration for visual tracking[J]. International Journal of Machine Vision and Applications, 2003, 14: 50-58.

[3] 彭一凡,张 翼,宋明黎. 基于特征跟踪和融合的人脸风格化动画的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(2): 127-132.

[4] Crisan D, Doucet A. A survey of convergence results on particle filtering methods for practitioners[J]. IEEE Trans. Speech and Audio Proc, 2002, 10(3): 173-185.

[5] Carpenter J, Clifford P, Fearnhead P. Improved particle filter for nonlinear problems[C]. Proc. Inst. Elect. Eng. Radar. Sonar. Navig, 1999: 2-7.

[6] 王永忠,梁 彦,赵春晖,等. 基于多特征自适应融合的核跟踪方法[J]. 自动化学报, 2008, 34(4): 393-399.

[7] Hua Chunsheng, Wu Haiyuan, Chen Qian, et al. A pixel-wise object tracking algorithm with target and background sample

[C]//Proceeding of the 18th International Conference on Pattern Recognition, ICPR. Hongkong: [s. n.], 2006: 739-742.

[8] 刘 伟,王建平,张崇巍. 一种移动机器人对运动目标的检测跟踪方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 105-108.

[9] 胡昭华,宋耀良,梁德群,等. 复杂背景下多信息融合的粒子滤波跟踪算法[J]. 光电子·激光, 2008, 19(5): 680-685.

[10] 青 波,杨晨辉,陈 涛. 基于分割的复杂运动跟踪的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 157-159.

[11] Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W A. Comparing Images Using the Hausdorff Distance[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1993, 15(9): 850-863.

[12] 钟小品,薛建儒,郑南宁,等. 基于融合策略自适应的多线索跟踪方法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(5): 1017-1022.