

·信号与信息处理·

基于中值移位的粒子滤波多目标跟踪算法

李春鑫

(91996部队, 辽宁 大连 116023)

摘要:针对传统粒子滤波多目标跟踪过程中的发散问题,提出了一种基于中值移位的粒子滤波多目标跟踪算法。该算法采用具有优良特性的中值移位方法对重要性重采样后的中间结果进行聚类分析,得到相应的粒子子群,从而获得各个目标的最优状态估计,提高滤波精度,并对目标的进出场景和遮挡问题进行有效处理。视频跟踪仿真试验表明该算法是稳健的,能够在复杂环境下对视频多目标进行有效、可靠的跟踪。

关键词:粒子滤波;中值移位;多目标跟踪;聚类分析

中图分类号:TP317.53

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2011)06-0070-05

Multi-object Tracking Algorithm of Particle Filter Based on Median Shift

LI Chun-xin

(91996 Naval Troops, Liaoning, Dalian 116023, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional particle filter is divergent and failed in tracking for multiple objects, a multi-object tracking algorithm of the particle filter based on the median shift is presented. The intermediate result after sampling can be analyzed by the method based on the median shift and the subset particles of the object can be obtained, therefore, each object can be estimated optimally, the filter accuracy is improved, so the problem of object entering or leaving and the occlusion can be also solved effectively. The simulation results demonstrate that the algorithm is robust and effective for multiple objects under complex backgrounds.

Key words: particle filter; median shift; multi-object tracking; clustering analysis

近年来,粒子滤波作为一种求解后验概率的实用性方法,受到了众多研究者的关注,在多目标跟踪领域获得了长足的发展。在一些要求精度较高,而传统的方法又难以解决的场合,粒子滤波发挥了巨大的潜力。但传统的粒子滤波算法的数学期望收敛于目标后验概率密度的单极值点,当跟踪区域内出现多个目标时,粒子常常会发散,从而导致滤波结果出现错误。此外,与单目标跟踪相比,多目标跟踪情况更为复杂,不仅存在目标的进出场景、遮挡等问题,观测源还存在着不确定性。针对以上问题进行了深入研究,提出一种基于中值移位的粒子滤波多目标跟踪算法。

1 传统粒子滤波的发散问题

由粒子滤波的基本算法^[1,2]可知,令 x_k^i ($i=1, 2, \dots, N$)为 k 时刻第 i 个粒子,其对应的权值为 w_k^i ,则对于 $\varphi(x)$,目标的后验状态估计可表示为

$$\hat{\varphi}(x) = \frac{\sum_{i=1}^N w_k^i \varphi(x_k^i)}{\sum_{i=1}^N w_k^i} = \sum_{i=1}^N \tilde{w}_k^i \varphi(x_k^i) \quad (1)$$

其中, \tilde{w}_k^i 为归一化粒子权值。由式(1)可以看出,传统的粒子滤波算法的数学期望收敛于目标后验概率

收稿日期:2011-09-07

基金资助:国家自然科学基金(60975016);辽宁省自然科学基金(20082176);浙江大学CAD&CG国家重点实验室开放基金(A0906)

作者简介:李春鑫(1980-),男,辽宁大连人,博士,工程师,主要研究工作是视频目标跟踪技术。

密度的单极值点,当跟踪区域内出现多个目标时,粒子常常会发散,从而导致滤波结果出现错误。

2 Tukey中值移位

为了解决传统的粒子滤波算法在多目标跟踪过程中发散的问题,引入对粒子进行聚类分析的思想。将均值移位(mean shift, MS)和粒子滤波相结合,对粒子进行聚类是目前研究的热点^[3-6]。均值移位的主要缺点就是对初始化要求较高,如果初始值不够精确,将大大影响该方法的性能,而从每个数据点进行初始化,计算量较大,尤其对多维数据进行处理时,问题更加严重。因此,这里采用Tukey中值^[7]移位。这种方法不仅计算速度快、精度高,而且对噪声具有较强的鲁棒性。中值移位的基本思想就是利用能够提供鲁棒数据概率密度估计的多维深度函数使每一个样本点移向其局部邻域内的中值,也就是局部邻域内具有代表性的点。下面首先给出多维Tukey深度的定义,令 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为一组 d 维的实数样本集,其中 $d > 1$,则Tukey深度定义为

$$DEPTH(x_i) = \min[u^T x_i, u \in R^d, \|u\| = 1] \quad (2)$$

采用一组有限个数的随机映射 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$,

Tukey中值定义为

$$MEDIAN(X) = \max_{x_i \in X} \left\{ \sum_{u_i \in U} DEPTH(x_i^T u_k) \right\} \quad (3)$$

则对于样本集 X 中的一点 x ,其中值移位定义为

$$\tilde{x} = MEDIAN(\{x_i \in X \mid \|x_i - x\| \leq r\}) \quad (4)$$

其中, r 为带宽。中值移位只需要一步迭代就可以将所有点联系起来,通过得到的一系列中值就可以得到分类的结果。因此,可以将中值移位的聚类特性应用到多目标跟踪。

3 多目标跟踪相关问题的处理

多目标跟踪过程中常常存在新目标的出现、目标的消失以及目标的相互遮挡等问题。如果在某个时刻,新出现目标的观测不对应于任何已存在的状态向量且靠近场景的边界,则认为有新目标出现。令 $x_k(m, n)$ 为属于第 m 个运动目标的第 n 个粒子的状态,假设 $k-1$ 时刻存在 M 个目标, k 时刻检测到 J 个目标观测,且 $J > M$ 。以第 j 个目标观测为例,

分别计算 k 时刻各运动目标的假设状态对 k 时刻的目标观测 j 的观测似然概率,如果有

$$p(z_k(j) | x_k(m, n)) < T_e \quad (5)$$

则认为有新目标进入场景。如果现存的状态不能找到对应的观测且靠近场景的边界,则认为有运动目标退出了场景。假设 $k-1$ 时刻存在 M 个目标, k 时刻检测到 P 个目标观测,且 $P < M$ 。以 k 时刻得到的第 p 个目标观测为例,分别计算 k 时刻第 m 个运动目标的假设状态对 k 时刻的第 p 个目标观测的观测似然概率,如果满足

$$p(z_k(p) | x_k(m, n)) < T_q \quad (6)$$

则认为有目标退出场景。当目标之间相互遮挡时,不能获得被遮挡目标的观测数据。对发生遮挡的所有目标只执行预测操作,当相互遮挡的目标分开时,可以通过对图像进行检测,重新获得运动目标的观测数据。在 k 时刻进行跟踪之前,计算 $k-1$ 时刻目标 m 与其他运动目标之间的欧氏距离,若

$$\|d_{k-1}(m) - d_{k-1}(j)\| < T_o \quad (7)$$

则认为有遮挡现象发生。这里对目标的检测采用基于统计模型的帧间差分法^[8]。 T_e 、 T_q 和 T_o 分别为设定的阈值。

4 算法步骤

在多目标跟踪过程中,由于实际问题的复杂性,各个目标的观测可能会互相交叉,从而无法判断哪个观测值来源于哪个目标,这就是多个目标跟踪的数据关联问题^[9-12]。在数据关联过程中,作以下唯一性假设:(1)一个观测只能由一个目标产生;(2)一个目标只能产生一个或零个观测。则基于中值移位的粒子滤波多目标跟踪的算法步骤为

(1)初始化:对于目标 $m = 1, 2, \dots, M$,根据已知的先验信息 $p(x_m, 0)$,产生相应的 N 个采样粒子 $x_{m,0}^i, i = 1, 2, \dots, N$;

(2)由运动方程进行粒子状态转移,预测下一时刻目标位置,粒子进行传播;

(3)利用基于统计模型的帧间差分目标检测算法进行目标检测,得到可能的测量值;

(4)对于测量和目标进行数据关联,利用各自阈值分别对新目标出现、目标退出和遮挡问题进行处理;

(5)计算 W_k^i ;

$$W_k^i = \max_m W_{m,k-1}^i \frac{p(z_{m,k}|x_k^i)p(x_k^i|x_{k-1}^i)}{q(x_k^i|x_{0:k-1}^i, z_{m,k})} \quad (8)$$

其中, $W_{m,k}^i$ 服从 $p(z_{m,k}|x_k^i)$, 这样在观测 $z_{m,k}$ 附近的粒子获得了较大的权值;

(6) 进行重要性采样, 并利用多项式重采样算法进行重采样处理, 对于权重大的粒子重采样概率大, 使粒子基本分布在 $z_{m,k}$ 附近, 形成目标周围的粒子子群, 重置权值为 $\frac{1}{N}$;

(7) 利用中值移位算法进行聚类分析, 中值移位算法的带宽 r 的值为目标的半径, 通过聚类分析得到粒子子群集合, 并获得各目标的最优状态估计, 剔除粒子数目较小的聚类集合;

(8) 对粒子分布重新进行目标半径高斯重分布, 返回步骤(2)。

5 仿真比较与分析

为了验证算法的跟踪性能, 选取了3个视频进行

跟踪测试。视频1和视频2是实拍的2个不同场景的行人视频, 在整个过程中存在着目标的严重遮挡现象, 视频3中存在多次目标之间的交叉运动、新目标进入场景、目标退出场景以及光照的明显变化。3个视频的参数如表1所示。为了便于比较和说明问题, 对于视频1和视频2分别采用了传统的粒子滤波跟踪算法和所提出的算法进行跟踪仿真比较。取400个粒子, 在 Pentium IV 2.8 GHz, 内存为1 GB的计算机上进行试验。视频1和视频2的跟踪仿真结果分别如图1和图2所示。为了进一步验证所提出算法的性能, 对情况更为复杂的视频3采用所提出的算法进行跟踪仿真, 结果如图3所示。

由仿真结果可以看出: 对于视频1和视频2, 传统的粒子滤波算法最后发散, 导致跟踪失败; 而所提出的算法可以很好地跟踪到目标; 对于视频3, 在第5帧中有目标的交叉运动和新目标的出现, 第77帧有光照的明显变化, 第82帧有目标退出场景, 所提出的算法自始至终都能较好的跟踪目标, 具有较强的鲁棒性和较高的精度。

表1 跟踪仿真试验视频参数表

视频	视频1	视频2	视频3
总帧数	102	131	84
每帧图像大小	320×240	640×480	320×240



第1帧

第20帧

第47帧

(a) 粒子滤波多目标跟踪结果



第1帧

第20帧

第47帧

(b) 提出算法的多目标跟踪结果

图1 视频1多目标跟踪结果比较



(a) 粒子滤波多目标跟踪结果



(b) 提出算法的多目标跟踪结果

图2 视频2多目标跟踪结果比较

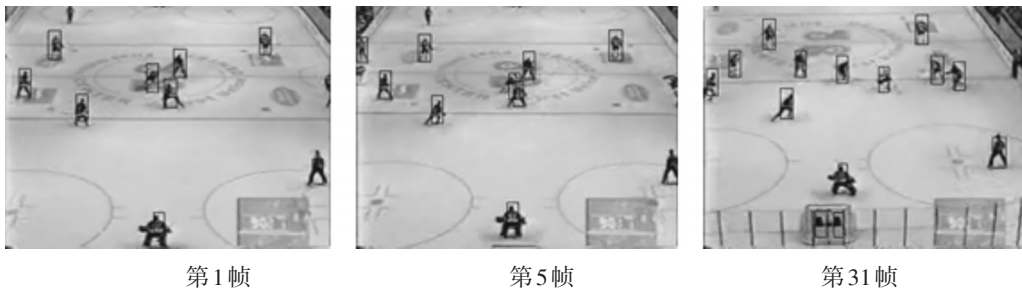


图3 提出算法的跟踪结果

6 结束语

文中针对传统粒子滤波多目标跟踪过程中的发散问题,提出了一种基于中值移位的粒子滤波多目标跟踪算法,并给出了多目标跟踪过程中常常出现的目标进出场景和遮挡问题的处理方法。通过对实拍的两组视频目标的仿真比较与分析,传统的粒子滤波算法最终发散,而所提出的方法可以对多目标

进行很好的跟踪,对一组情况更为复杂的视频进行仿真,算法在目标多次进出场景、遮挡以及光照明显变化的情况下都能取得较好的跟踪效果,进一步验证了算法的有效性。

参考文献

[1] M Isard, A Blake. Condensation—conditional density propagation for visual tracking[J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 29 (1):5–28.

- [2] Doucet A, Gordon N J, Krishnamurthy V. Particle Filter for State Estimation of Markov linear Systems[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2001,49(3): 613-624.
- [3] Chang C, Ansari R. Kernel particle filter for visual tracking [J]. IEEE Signal Process. Lett, 2005, 12:42-45.
- [4] Zhang B, Tian W F, Jin Z H. Head tracking based on the integration of two different particle filters[J]. Meas. Sci. Technol. 2006, 17: 2877-2883.
- [5] Maggio E, Cavallaro A Hybrid particle filter and Mean Shift tracker with adaptive transition model[C]// Proc. IEEE Signal Processing Society Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing (Philadelphia, USA),2005,2:221-224.
- [6] Shan C, Wei Y, Tan T, et al. Real time handtracking by combining particle filtering and mean shift[C]// 6th Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004: 669-674.
- [7] J A Cuesta-Albertos, A Nieto-Reyes. The random tukey depth[J]. Comput. Stat. Data Anal, 2008, 52(11):4979-4988.
- [8] Aach T, Kaup A Mester R. Statistical model-based change detection in moving video[J]. Signal Processing, 1993, 31(2): 165-180.
- [9] 廖德勇. 支持向量机在多目标跟踪中的应用研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2006.
- [10] J A Roecker, G L Phillis. Suboptimal joint probabilistic data association[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29(2):510-517.
- [11] 杨小军. 基于粒子滤波的混合估计理论与应用[D]. 西安:西北工业大学, 2006.
- [12] B Zhou, N R Bose. Multi Target tracking in clutter: fast algorithms for data association[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29(2):352-363.

(上接第54页)

对于大多数慢光技术,实际应用和小型化是最大的挑战。光子晶体慢光波导可以在室温下产生慢光,而且可以在无需特殊材料的情况下对慢光群速度进行调节,且其独特的线缺陷结构,可以得到较低的群速度^[12]。文中通过介绍结构简单的二维三角晶格光子晶体单线缺陷波导,提出利用热光效应和热胀冷缩效应实现动态可控群速度的方法。仿真结果表明,这两种方法在理论上可以对群速度进行动态调节,从而得到光传播的低群速度。在此基础上,分析说明了缺陷模式的能带频率是使得群速度发生变化的根本因素,只要能带频率不变,改变缺陷位置及同时调节两种介质的折射率均不能改变群速度的大小。由于已有大量文献对慢光波导的各种参数进行详细分析,文中未对介质柱尺寸、晶格大小等参数对群速度大小的影响进行深入分析,是下一步对波导参数进行优化的努力方向,同时,提出一种新的具有更高性能的慢光波导结构也是下一步努力的方向。

参考文献

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58 (20): 2059-2062.
- [2] 掌蕴东,翁文,喻波,等. 光子晶体波导慢光技术[J]. 激光与光电子学进展, 2007, 44(10):26-32.
- [3] Povinelli M L, Steven G Johnson, Joannopoulos J D. Slow-light band-edge waveguides for tunable time delays [J]. Opt Express, 2005, 13(18):7145-7159.
- [4] A Yu Petrov, M Eich. Zero dispersion at small group velocities in photonic crystal waveguides[J]. Appl Phys Lett, 2004, 85(21):4866-4868.
- [5] Lars H Frandsen, Andrei V Lavrinenko, Jacob Fage-Pedersen. Photonic crystal waveguides with semi-slow light and tailored dispersion properties[J]. Opt Express, 2006, 14(20): 9444-9450.
- [6] Chu J H, Voskoboinikov O, Lee C P. Slow light in photonic crystals[J]. Microelectronics J, 2005(36):282-284.
- [7] 张曼,潘炜,闫连山,等. 二维三角晶格介质柱光子晶体线缺陷波导慢光研究[J]. 中国激光, 2009, 36(4): 857-861.
- [8] Yurii A Vlasov, Martin O'Boyle, Hendrik E Hamann. Active control of slow light on a chip with photonic crystal waveguides[J]. Nature, 2005(438).
- [9] 张宁,朱娜,刘武. 光子晶体慢光控制及其规律[J]. 光电子技术, 2010(1):50-53.
- [10] http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/MPB_Data_Analysis_Tutorial[EB/OL], 2008.
- [11] http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Libcint_User_Reference[EB/OL], 2008.
- [12] 鲁辉,田慧平,李长红,等. 基于二维光子晶体耦合腔波导的新型慢光结构研究[J]. 物理学报, 2009, 58(3): 2049-2055.