文章编号 1004-924X(2009)10-2542-06

基于粒子滤波的彩色图像跟踪

吴 川[1],杨 冬[2],郝志成[1]
(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2.长春工业大学 计算机科学与工程学院,吉林 长春 130012)

摘要:视频跟踪中的目标检测和目标跟踪通常不能通过一个算法同时完成,而是需要两个计算法则,过程复杂,耗时较多。为了实现序列彩色图像的实时检测与跟踪,本文提出了一种基于粒子滤波的实时目标跟踪算法。以目标有无信息和目标位置信息为变量建立了联合状态向量,利用粒子滤波方法实现目标检测及跟踪。为了减少计算量,在充分考虑跟踪区域各像素权重的条件下,建立基于颜色信息的特征直方图作为观测向量,并用于后验估计。实验表明,本文提出的方法在选择 150 个粒子的情况下,对于 768 pixel×576 pixel 大小的彩色图像,能够在 14.37 ms 内检测并跟踪目标,而且能在目标发生旋转变化和尺度变化时,保持稳定跟踪,证明了该方法具有一定的鲁棒性。

关 键 词:目标检测;目标跟踪;粒子滤波;特征直方图
中图分类号:TP394.1;TN941.1 **文献标识码**:A

Color image tracking algorithm based on particle filter

WU Chuan[1], YANG Dong[2], HAO Zhi-cheng[1]

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130033, *China*; 2. *Institute of Computer Science & Engineering, Changchun University of Technology, Changchun* 130012, *China*)

Abstract: In video tracking, target detection and target tracking can not be implemented by an algorithm synchronously, so the image processing is complex and processing time is very long. To implement the target detection and target tracking of sequential color images in real time, a target tracking algorithm was presented based on a particle filtering in this paper. By taking the target information and target positions as the variables, a hybrid valued sequential state vector is established, and the target detection and the target tracking are implemented synchronously by using the particle filtering method. Moreover, in order to reduce process time, the color-based feature histogram is presented based on the pixel position weight in tracking fields as an observing vector, and then it is used in the posterior estimation successfully. Experimental results indicate that a target can be detected and tracked synchronously in 14.37 ms by using 150 particles for a color image with a size of 768 pixel×576 pixel. Obtained results also prove that the method has higher robustness due to its stable tracking state in the rotation and scalar change of the target.

Key words: target detection; target tracking; particle filter; feature histogram

---

收稿日期:2008-11-28;**修订日期**:2008-12-23.
基金项目:中国科学院青年基金资助项目(No. O76031T070)

1　引　言

目标检测和跟踪是计算机视觉研究的热点之一。在视频监控、人机交互、弹道测量等许多领域有着广泛的应用。粒子滤波方法又称蒙特卡洛粒子滤波或条件密度传播。粒子滤波通过随机样本的状态和权值来计算后验概率分布，是一种简单、有效的由非高斯、非线性的观测数据计算后验概率的方法。实验证明粒子滤波对解决目标跟踪非常有效[1]。目前许多学者已经开始应用粒子滤波方法进行目标检测跟踪的研究。文献[2]以目标位置为状态向量空间，以图像灰度为观测向量，相关函数为测量方程实现灰度图像粒子滤波跟踪。其优点在于能准确跟踪目标，而缺点在于以图像灰度为观测向量进行计算，计算量大，且计算结果受光线变化的影响较大。文献[3]中提出建立多个动态模型，通过对状态向量空间中设置的模型标志进行判断，然后应用相应动态模型产生不同的粒子进行粒子滤波跟踪，该方法优势在于可选择性地产生粒子进行目标跟踪，不足之处在于算法过于复杂，不利于实时实现。文献[4]中 Black 和 Jepson 建立混合状态空间向量实现姿态识别，其方法有效的前提需要对目标已有姿态进行训练，这就极大限制了该方法的实际应用。文献[5]中提出以目标个数、目标位置及目标尺寸构建状态向量空间，通过马尔可夫链预测目标的有无，从图像中抽取彩色直方图作为观测向量进行粒子滤波跟踪，该方法仅以彩色直方图作为观测向量而没有考虑图像中各像素的位置信息在实际跟踪中起的作用，因此有时会跟错目标。本文在研究了其他学者应用粒子滤波跟踪的基础上，提出一种针对实际场景的简单实时彩色图像粒子滤波目标检测跟踪方法。该方法简化了状态空间，只以图像的有无和目标的位置信息组成状态向量空间，以一阶自回归方程为动态模型预测粒子分布，为了使跟踪算法对亮暗的变化和形状的变化具有鲁棒性，在充分考虑了计算量及图像像素位置信息的前提下，建立特征彩色直方图作为观测向量，通过 Bhattacharyya 相关系数得到各粒子在下一帧出现位置的概率，通过加权准则得到目标位置，此外通过统计目标在各位置出现概率的大小得到目标是否消失，当目标消失可通过加大动态模型中的搜索半径找到目标。

2　粒子滤波跟踪

粒子滤波算法实际是序列蒙特卡洛估计方法和贝叶斯方法的结合[6]。应用粒子滤波进行目标跟踪，跟踪问题被转化为状态空间的时间序列估计问题。计算步骤主要有预测和更新两步，在实时跟踪过程中就是通过这两步反复叠代实现目标跟踪。

2.1　目标的预测

在预测阶段主要是通过动态模型实现对状态向量空间的预测，即粒子传播的预测。本文要在目标检测的同时完成目标跟踪，因此以目标有无标志和目标位置信息建立状态向量空间即粒子，用 $\boldsymbol{x}_{i,k}=[E,x,y]^{\mathrm{T}}$ 表达。其中 i 表示第 i 个粒子，k 表示第 k 帧，E 表示目标有无，当有目标时为 1，当目标丢失时为 0，x,y 表示目标的位置，T 表示对该向量取转置。粒子的初始化主要通过人机交互的方法，当目标第一次出现通过鼠标点击得到目标位置，然后利用动态方程依据该位置得到粒子群，这时各粒子中的 E 都为 1。通常情况下粒子数越多跟踪效果越好，但同时运算时间也越长，因为本文只进行单目标跟踪，因此粒子数取 150 个可满足跟踪要求，可用 $\boldsymbol{X}=(\boldsymbol{x}_{0,k},\cdots,\boldsymbol{x}_{149,k})$ 表示。因为目标在新时刻的位置只与它上一时刻的位置有关而与以前时刻的位置无关，因此目标转移的过程符合一阶马尔可夫过程。依据文献[2]目标预测过程可表示为：

$$p(x_k/z_{k-1})=\int p(x_k/x_{k-1})p(x_{k-1}/z_{k-1})\mathrm{d}x_{k-1}, \tag{1}$$

其中 z_{k-1} 表示第 $k-1$ 帧图像，$p(x_{k-1}/z_{k-1})$ 表示 $k-1$ 时刻粒子分布，假设 $p(x_{k-1}/z_{k-1})$ 已知，$p(x_k/x_{k-1})$ 表示粒子的转移概率，即在已知 $k-1$ 时刻粒子分布情况下预测 k 时刻粒子的分布。公式(1)的积分过程的实现是很困难的，而目标的运动即粒子的传播可以看作是随机运动，服从一阶或高阶 ARP(Auto-Regressive Process)方程。从实际应用出发，考虑到可行性和实效性，这里使用一阶 ARP 方程作为目标位置预测的动态方程可表示为：

$$x_k=Ax_{k-1}+Bw_{k-1}. \tag{2}$$

为了进一步简化算法 $A=1$，则公式(2)可理解为在 x_{k-1} 上叠加一个随机位移，该随机位移用 w_{k-1} 表示，w_{k-1} 为设计参数是 -1 和 $+1$ 之间的随机数。位移的步长由 B 决定，B 也为设计参数，在跟踪过程中 $B=10$。当目标丢失，$B=20$，即在一个较大范围找到目标。通过上述动态方程可简化公式(1)的过程预测粒子的传播。

2.2 目标更新

在通过动态模型预测目标运动趋势后，就需要在更新阶段计算各粒子出现概率。这一过程是通过以图像像素或从图像抽取特征量作为观测量，利用测量函数实现的，可表示为：

$$p(z_k/x_k)\propto N(D_k;0,\sigma^2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{D^2}{2\sigma^2}\right). \quad (3)$$

这里以彩色特征直方图做为观测向量。为了提高运算速度，本文没有用整幅图像求取特征直方图，而只是分别以各粒子为中心，在一个 32×32 的小区域内求取特征直方图。设当前帧 x_k 处彩色特征直方图为 $p_k(x_k)$，参考彩色特征直方图为 q 因此上式又可写成：

$$p(p_k/x_k)\propto N(D_k;0,\sigma^2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{D_k^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

其中：$D_k^2=1-\sum_{u=1}^{U}\sqrt{q\times p_k(x_k)}$ 为 Bhattacharyya 相似系数。因为本文在跟踪的同时也实时检测目标的有无。这里采用公式(5)进行目标检测。

$$\text{Flag}=\begin{cases}1 & \text{Num}_1>\text{Num}_0\\ 0 & \text{Num}_1\leqslant\text{Num}_0\end{cases},$$

其中 Num_1 为 $p(q_k/x_k)>0.5$ 时的累加和，Num_0 为 $p(q_k/x_k)\leqslant0.5$ 时的累加和。通过上述方法可检测到目标的有无。当目标消失时，首先加大动态模型中的 B，如果连续多帧搜索不到，可在图像的各边缘取粒子，检测目标是否出现。

2.3 彩色特质直方图的求取

因为在实际应用中随着目标的移动存在着光线的变化和目标形状的变化，如果直接以图像作为观测向量，当目标发生上述变化时，有可能目标丢失[7-9]，此外本文是针对彩色图像进行目标跟踪，以图像本身作为观测量计算量也非常大，所以在本文中没有直接用图像作为观测向量。直方图是图像的统计特性，但对于彩色 RGB 图像而言，其直方图为 $256\times256\times256$ 维，求取过程耗时较多，此外受光线亮暗影响也较大。为此这里把 RGB 三个分量都分成 8 份，在降低直方图维数的同时，可达到分段统计各灰度像素数量的目的，这样就可以使直方图不会对颜色的变化过于敏感。虽然把彩色直方图粗化可增强对光线变化的鲁棒性，但直方图只是统计图像各灰度像素数而没有考虑不同灰度的像素在图像中所占比重，而通常情况下，离目标中心越近的像素所起的作用越大而离目标中心越远的像素所起的作用越小。因此这里在取直方图时也应考虑各像素在图像中所占比重，把这种考虑图像位置的直方图称为特征直方图。令 $\{z_k^i\}_{i=1,\cdots,n}$ 为第 k 帧观测图像某一粒子区域内各像素归一化坐标。令 $k(\|z_k^i\|^2)$ 表示观测图像各像素在图像中所占比重。其中离目标中心越近所占比重越大，离目标中心越远所占比重越小。令 $b(x_k)$ 表示某一粒子临域内的像素的灰度，因为图像分为 $8\times8\times8$。则特征直方图可用公式表示为：

$$p(x_k)=\sum_{i=0}^{512}k(\|z_k^i\|^2)\delta[b(x_k)-u_i], \quad (6)$$

其中 u_i 表示所分的各灰度级。δ 为克罗内克尔函数。

3 实验分析

为了验证本文算法的有效性。这里利用彩色相机通过图像采集卡把含有目标的图像实时采到计算机，然后使用本文方法进行目标检测和跟踪。本文所用的机器的 CPU 为 AMD1800 利用 MatroxII 图像采集卡采集图像。在实验 1 中主要进行目标的实时检测和跟踪，如图 1 所示。图 1 是一个图像序列中的 6 帧，其中目标为一个储蓄盒。从图像序列中可以看到在第 1 帧中还没有选取跟踪目标，这时跟踪波门在图像的中心。在第 19 帧通过鼠标点击选中目标并开始跟踪，随着目标移动跟踪波门始终锁定目标，在第 288 帧目标移到边缘，在第 290 帧目标移出图像区域，可以看出由于检测出目标消失，跟踪波门又回到图像中心。在第 313 帧目标又出现在图像边缘，在第 320 帧通过本文算法检测出目标并跟踪上目标。在实验 2 中主要对一个商品标签发生旋转和尺度变化时的实时跟踪。实验效果如图 2。在图 2 中

第 1 帧

Frame 1

第 313 帧

Frame 313

第 19 帧

Frame 19

第 320 帧

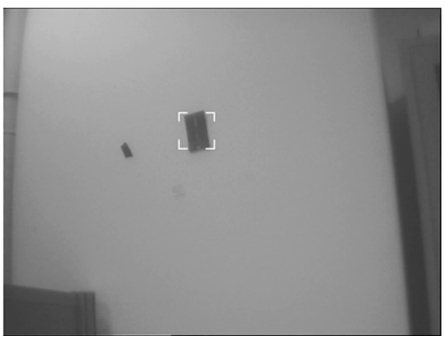
Frame 320

图 1　目标的检测与跟踪序列图

Fig. 1　Sequence maps of detected and tracked target with a rectangle

第 288 帧

Frame 288



第 16 帧

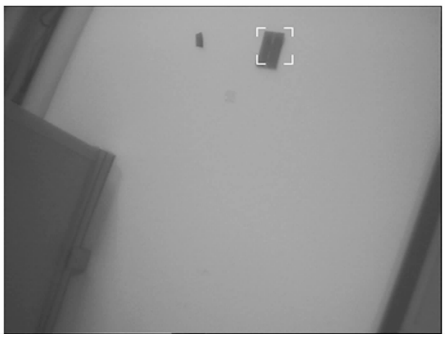
Frame 16

第 290 帧

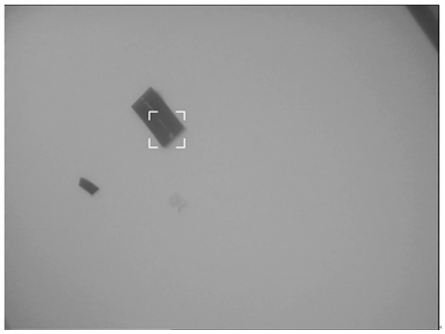
Frame 290

第 27 帧

Frame 27

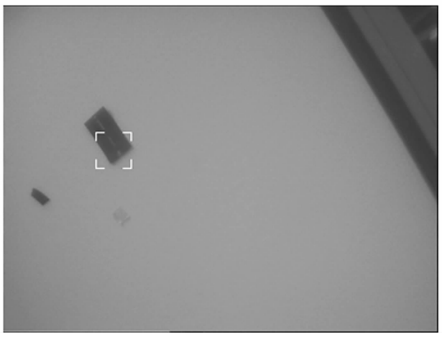


第 134 帧
Frame 134



第 570 帧
Frame 570

第 368 帧
Frame 368



第 492 帧
Frame 492

图 2　目标发生旋转及尺度变化的跟踪序列图
Fig. 2　Sequence maps of rotated and changed targets with a rectangle

是一个图像序列中的 6 帧图像，从图中可以看出当目标发生旋转变化和尺度变化时能够有效跟踪目标。

4　结　论

本文应用粒子滤波方法实现了对彩色图像中的目标的检测与跟踪。首先应用目标的有无和目标位置信息构建状态向量空间，然后通过建立特征彩色直方图进行各粒子相似度测量，得到目标位置，并且利用各粒子相似度信息检测目标的有无。实验表明本文方法能够有效检测跟踪目标。文中所采集的彩色图像大小为 768 pixel×576 pixel，粒子数为 150 个，所使用的抽取特征直方图的图像大小为 32 pixel×32 pixel。目标检测跟踪所用时间为 14.37 ms，而所使用的图像帧频为 40 ms。

参考文献：

[1] 程水英，张剑云. 粒子滤波评述[J]. 宇航学报，2008，29(4)：1099-1111.
CHENG SH Y，ZHANG J Y. Survey of particle filter [J]. *Journal of Astronautics*，2008，29(4)：1099-1111. (in Chinese)

[2] 姚剑敏. 粒子滤波跟踪方法研究[D]. 长春：长春光学精密机械与物理研究所，2005：30-56.
YAO J M. *Study on particle filter based visual tracking method*[D]. Changchun：Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics，2005：30-45. (in Chinese)

[3] LSARD M，BLAKE A. A mixed-state condensation tracker with automatic model-switching [C]. *In Proc. Int. Conf. Computer Vision*，1998：107-112.

[4] BLACK M J, JEPSON A D. Recognizing temporal trajectories using the condensation algorithm[C]. *In Proc. of the 3rd Int. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition*, 1998: 16-21.

[5] CZYZ J, RISTIC B, MACQ B. A particle filter for joint detection and tracking of color objects[J]. *Image Vision Computing*, 2007, 25(8): 1271-1281.

[6] 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.

[7] 王昕,马岩,杨剑,等. 区域立体匹配算法的实现及改进[J]. 光学 精密工程, 2008, 16(10): 2003-1004.
WANG X, MA Y, YANG J, *et al*.. Implementation and improvement of area-based stereo matching algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10): 2003-2004. (in Chinese)

[8] 陈华,叶东,陈刚. 遗传算法的数字图像相关搜索法[J]. 光学 精密工程, 2007, 15(10): 1633-1637.
CHEN H, YE D, CHEN G. Digital image correlation search method based on genetic algorithm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(10): 1633-1637. (in Chinese)

[9] 曾密,张可黛,李生良. 用极线约束方法进行图像匹配后的质量控制[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(3): 221-224.
ZENG L, ZHANG K D, LI SH L. Quality control after matching or image using constraint of epipolar line bunch[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000, 8(3): 221-224. (in Chinese)

作者简介:

吴　川(1974－),男,吉林长春人,博士,副研究员,2006 年在中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要研究领域为数字图像处理、自动目标识别、图像跟踪与测量。E-mail: wuchuan0458@sina.com

杨　冬(1976－),女,吉林公主岭人,硕士,讲师,2003 年在长春工业大学获得硕士学位,主要研究领域为数字图像处理。E-mail: yd-mail@sohu.com

郝志成(1978－),男,辽宁营口人,博士,助理研究员,2007 年在中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要研究方向为信号检测、数字图像处理、模式识别。E-mail: hzc972513@tom.com