

基于 Kalman 滤波和边缘直方图的实时目标跟踪

刘惟锦, 章毓晋

(清华大学 电子工程系, 北京 100084)

摘要: 为提高光照变化和背景混淆下的实时跟踪效果, 提出了基于 Kalman 滤波和边缘直方图特征 (edge orientation histogram, EOH) 的实时目标跟踪方法。边缘方向直方图对光照变化不敏感, 且对颜色变化依赖程度低, 适合背景混淆和光照变化场合下跟踪。Kalman 滤波用于预测目标位置和角度, 通过预测调整边缘方向直方图的计算得以快速找到跟踪目标, 提高边缘方向直方图的匹配能力。经过实际复杂背景和光照场景下与颜色直方图的多组对比测试, 颜色直方图很快会失去跟踪目标, EOH 能快速正确跟踪, 说明 EOH 和 Kalman 滤波能在这种场景下快速正确跟踪目标。

关键词: 边缘方向直方图; Kalman 滤波; 实时目标跟踪; 积分直方图; 背景混淆

中图分类号: TN 911.73 文献标识码: A
文章编号: 1000-0054(2008)07-1104-04

Edge-color-histogram and Kalman filter-based real-time object tracking

LIU Weijin, ZHANG Yujin

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University,
Beijing 100084, China)

Abstract: An object tracking algorithm based on Kalman filter and edge orientation histogram (EOH) was used to improve the tracking performance with scene illumination variations or complicated backgrounds. Since the EOH is not sensitive to light or color variation, this method works well when tracking object in such cases. The Kalman filter is used to estimate the new position and angle and then a new estimate of the EOH is calculated to quickly and efficiently match the target. Tests show that the color histogram method easily loses objects while the EOH follows them very well. The tests show that the EOH and the Kalman filter can track objects in real-time when the illumination varies or background clutter is present.

Key words: edge orientation histogram (EOH); Kalman filter; real-time object tracking; integral image; background clutter

目标跟踪技术广泛用于智能监控, 交通监视, 军事制导, 以至于视频压缩和医学图像处理领域。由

于现实世界中的复杂性, 被跟踪物体往往被背景干扰、遮挡, 加之场景及光照的变化加大了目标正确跟踪的复杂性和挑战性。有许多方法被提出来解决这些问题, 他们大体可分为 2 个方面, 一种是基于特征模型匹配的方法。另一种是基于运动参数估计的随机方法。

特征模型匹配的方法需要合适的模型来表征运动目标, 迄今有许多目标表征的方法已经被提出来。相对于其他方法, 基于颜色直方图的方法^[1-2]使用简单而且灵活的目标统计模型。它能快速有效和鲁棒的解决部分遮挡和非刚体运动问题。然而, 当场景或光照变换导致颜色突变时目标往往会跟丢。为应对颜色方法的缺陷, 一种简单而快速的表示方法——边缘方向直方图 (edge orientation histogram, EOH)^[3]被提出来, 它能够有效应对光照变化和背景颜色变化的混淆, 特别适合这种场合下的跟踪。

基于运动参数估计的方法采用状态空间来描述被跟踪系统的运动特性。在采用线性测量的线性 Gauss 模型中, 只有一个状态量后验概率密度 (probability density function, pdf) 被使用。而 Kalman 滤波更新和传递运动分别的期望值和方差, 能够很高效地预测 Gauss 分布下的物体运动, 因此, 适合用来对目标的运动进行估计。

本文提出一种基于 Kalman 滤波和边缘方向直方图的快速跟踪方法, 利用 Kalman 来预测目标位置和角度, 并用新角度来计算边缘方向特征。边缘方向特征将精确定位的目标位置, 新位置作为 Kalman 滤波过程的观测值来更新滤波参数。二者紧密结合的方法在光照变化和背景混淆场景下可以快速有效

收稿日期: 2007-01-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60573148)

作者简介: 刘惟锦(1980—), 男(汉), 江西, 博士研究生。

通讯联系人: 章毓晋, 教授。

E-mail: zhang-yj@mail.tsinghua.edu.cn

的跟踪目标。

1 用于跟踪边缘方向直方图模型

1.1 边缘方向直方图定义

边缘方向直方图, 是对目标物体中边缘点的边缘方向一种分布统计, 已经被用来描述表达目标物体^[3]。它已经被实践证明具有快速运算和鲁棒的特点。

一幅二值边缘图像的 m 维边缘方向直方图定义如下:

$$E_i = P [O(p) = i], \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

其中: 方向空间被划分成 m 个不同方向; p 代表每一个边缘点进而 $O(p)$ 表示点 p 的边缘方向; E_i 表示边缘点中具有边缘方向 i 的所有点的比重, 所有 m 个方向的比重之和显然应当为 1。

1.2 EOH 特性

本文采用 Canny 边缘算子^[4]来计算图像的二值边缘点图, 并计算二值图中的每一个边缘点的边缘方向, 然后统计出每一个边缘方向的比重得到它的直方图。图 1 给出实际场合下目标的边缘方向直方图, 汽车和行人, 他们是跟踪中最经常的目标。图中 m 取值为 8, 即将方向分成 8 个方向, 每个方向代表 22.5 角度, 用 0~7 分别代表这 8 个方向, 其中方向 0 表示竖直方向, 方向 4 表示水平方向。从图中可以发现车和行人明显不同的分布特点。



(a) 汽车



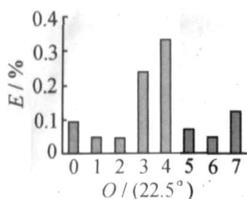
(b) 行人



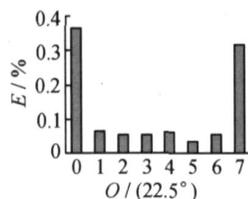
(c) 汽车边缘点



(d) 行人边缘点



(e) 汽车边缘方向直方图



(f) 行人边缘方向直方图

图 1 汽车与行人的目标、边缘及边缘方向直方图

1) 汽车的绝大部分边缘点应处于 2 个正交方向上, 图 1e 中可以看出在水平和垂直方向的特征点明显多, 水平方向尤为明显。

2) 对于行人, 垂直方向的边界点是最重要的。

在图 1d 中, 可以看出方向 0 和方向 7 即接近竖直方向的比重要远高于其他方向, 而水平方向比其他方向略微多一点分布。在跟踪情况下, 边缘方向直方图的特点如下:

1) 它将目标的轮廓信息包含进来, 反应了物体的结构信息。使用边缘统计可以自适应对区域颜色和光照的变化。

2) 该特征在部分遮挡, 背景混淆和光照变化下有很强的鲁棒性。

3) 具有二维移动和二维缩放不变性。

2 Kalman 滤波下用边缘方向直方图跟踪

如果只使用 EOH 本身在区域内搜索匹配跟踪, 需要对搜索区域内每一点都进行计算求取最匹配值, 在目标运动速度快的情况下需要很大的搜索窗, 从而加大了运算量, 并容易受局部极点干扰。使用 Kalman 滤波方法进行运动估计下一个位置, 在预测位置区域很小范围内使用 EOH 进行匹配, 得到新的观测点, 并更新 Kalman 滤波的目标状态估计。

2.1 EOH 目标表达

用于跟踪的边缘直方图模型表达如下:

$$q = \{q_i\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad \sum_{i=1}^m q_i = 1; \quad (2)$$

$$q_i = \alpha \sum_{n=1}^N k(\|x_n\|^2) \delta[O(x_n) - i]; \quad (3)$$

其中: k 代表一个各向同性的核心函数使得那些离物体中心远的点将被赋予较小的权重, 离中心近的点有较大的权重, 它同时将需要计算的点限制在一个局部窗口里面, 在窗口外点的权重将是 0; N 代表跟踪窗口中总的像素点数; m 代表边缘方向直方图中的方向维数; α 代表归一化参数。该公式定义的是中心坐标为 0 时的模型, 而在后续帧中位于候选位置 x 点的 EOH 表示如下:

$$p = \{p_i(x)\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad \sum_{i=1}^m p_i(x) = 1. \quad (4)$$

$$p_i(x) = \beta \sum_{n=1}^N k\left\|\frac{x - x_n}{h}\right\|^2 \delta[O(x_n) - i] \quad (5)$$

其中: h 代表 2-D 搜索窗的大小; β 为归一化参数。

2.2 EOH 搜索匹配优化

在搜索匹配中采用 Bhattacharyya 系数^[5]来计算目标模型和候选模型的距离,在后续帧中寻找最佳匹配就是一个在搜索窗中找到和参考模型最小距离的过程。

为了减少搜索窗中各候选点边缘方向直方图的计算量,将只计算一次边缘点及其方向,计算的区域是当搜索窗移动时目标窗所覆盖的所有点。而在边缘方向直方图统计的过程中,采用积分直方图的方法^[6]来加速统计运算,取决不同搜索窗大小可以将计算速度提高 20~50 倍。

2.3 Kalman 滤波过程

将前面提出的搜索匹配方法应用于 Kalman 滤波目标跟踪。

定义 Kalman 滤波的状态为 $x(t) = (x, y, dx, dy, \theta)^T$ 。观测为 $y(t) = (x, y, \theta)^T$ 。其中: x 和 dx 分别是目标图像在水平方向的位置和运动速度; y 和 dy 分别是目标图像在垂直方向的位置和运动速度, θ 是目标图像转动的角度。跟踪的基本过程如下。

1) 初始化阶段。在参考图像中定义目标观测 z_{pos} 以及目标的初始状态 $x(0)$ 。采用 Kalman 滤波的过程模型预测目标的可能出现区域:

$$x(t) = Ax(t-1) + w(t), \quad (6)$$

其中:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\Delta t = 1, \quad p(w) = N[0, Q]$$

式(6)根据 $x(0)$ 预测目标在下一时刻的位置在 $\tilde{x}(1)$ 。

2) 目标观测和特征更新过程。采用当前目标模型式(4)中的 p 在 Kalman 滤波的预测目标位置 $\tilde{x}(t)$ 一定区域内使用 3.2 节的方法搜索目标的最佳匹配图像得到观测 $z_{\text{pos}}(t)$ 。由于运动中目标物体会发生转动,此时直接计算 EOH 用于匹配是不正确的,需要根据预测转动角度 θ 对式(5)进行调整

如下:

$$p_i(x) = \beta \prod_{n=1}^N k \left\| \frac{x - x_n}{h} \right\|^2 \delta \left[O(x_n) - \frac{\theta_n}{2\pi} - i \right]. \quad (7)$$

3) 根据 $z_{\text{pos}}(t)$ 更新目标状态的估计。

$$x(t) = \tilde{x}(t) + K(t)[y(t) - H\tilde{x}(t)] \quad (8)$$

其中:

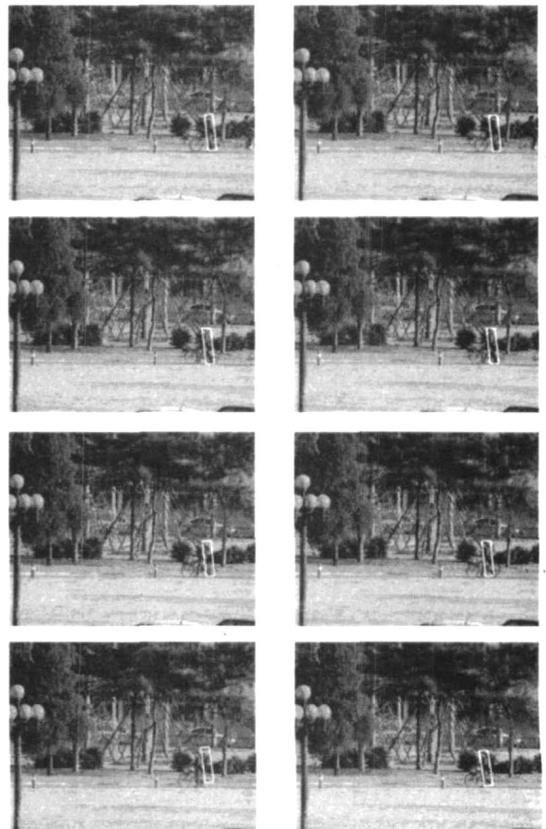
$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$K(t)$ 是 Kalman 增益。

4) 目标位置预测新过程。利用方程式(6)对下一帧的目标可能出现区域进行预测,得到 $x(t+1)$ 。

3 实验结果

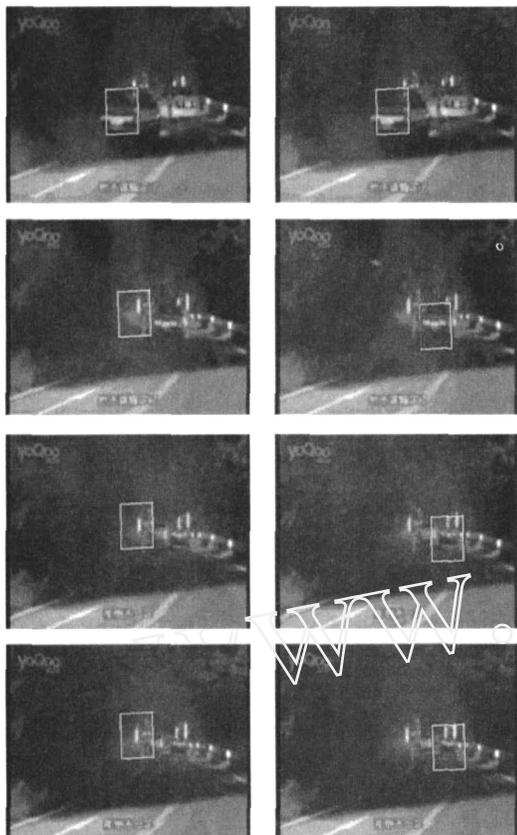
为了验证方法的有效性和对比,本文全部采用实际采集的数据和标准图集的数据进行实验。视频都为 30 帧/s,大小 704 × 576 的标准 D1 视频。实验在 Pentium 2.4 GHz 的普通配置计算机上进行,跟踪中每帧需要 10~15ms 的计算时间,为实时的 2 倍左右。



(a) 使用颜色特征跟踪 最后失去目标
(b) 使用 EOH 特征跟踪 一直紧跟目标

图 2 背景颜色混淆下的跟踪

图2是一组在背景颜色混淆下分别使用颜色和EOH跟踪的结果,可以看出跟踪目标的颜色和背景颜色很接近,在这种情况下,使用颜色的方法由于受背景颜色的干扰基本不跟随人走动,很快就丢失目标,而EOH的方法由于是对目标的边缘信息进行跟踪,能够继续跟随物体的运动,始终正确跟踪。



(a) 使用颜色特征跟踪在光照变化后失去目标 (b) 使用EOH特征跟踪不受光照变化的影响

图3 光照变化下的跟踪

图3是一组光照变化下的分别使用颜色和EOH跟踪的结果,在跟踪过程中,光照一直在发生变化,基于颜色的方法对光照变化很敏感,基本停留在原地不能跟踪车的运动,而基于EOH的方法因为车尾的边缘信息很明显,并不受光照的影响,继续正确跟踪车的运动。

实验中还计算了跟踪结果与真值之间的方差,即所有帧中目标中心坐标的计算结果与真值之间的平方差之和的平均。在实验的视频中,颜色直方图方法在跟踪开始不久就迅速偏离目标真实位置,方差结果并无意义;而边缘方向直方图的方法平均偏离1个像素左右,最大偏差不超过4像素,这说明在绝大多数情况下方法能够紧跟目标,即使偶有偏移也能很快被真实目标吸引回来。

4 结论

本文提出一种在Kalman滤波运动估计下的基于边缘方向直方图特征目标跟踪方法。它能够在这场景光照变化和背景颜色易混淆的场合下对目标进行快速准确的跟踪。实验已经证明它在这种场合下的非凡效果,并具有很快的运算速度以满足实时跟踪的要求,而且具有很强的鲁棒性来抵挡噪声的干扰。

结合边缘方向直方图和其他统计特征例如颜色可以用于更复杂的场合,例如还有部分遮挡和视点变换等场景。而对于非Gauss运动模型,采用粒子滤波或其他非Gauss滤波方法将能达到更合适的效果,这是下一步继续研究的方向。

参考文献 (References)

- [1] Birchfield S, Sriram R. Spatiogram versus histograms for region-based tracking [C]//CVPR05, Pages II San Diego: IEEE CS Press, 2005: 1158 - 1163
- [2] Comaniciu D, Ramesh V, Meer P. Kernel-based object tracking [J]. *PAMI*, 2003, 5: 564 - 577.
- [3] Zhu W, Levinson S E. Edge orientation-based multiview object recognition [C]//ICPR00 Barcelona: IEEE CS Press, 2000: 1936 - 1939.
- [4] McInerney T, Terzopoulos D. T-snakes: Topology adaptive snakes [J]. *Medical Image Analysis*, 2000, 2: 73 - 91.
- [5] Kailath T. The divergence and Bhattacharya distance measures in signal selection [J]. *IEEE Transaction on Communication Technology*, 1967, 15: 52 - 60
- [6] Porikli F. Integral histogram: A fast way to extract histograms in Cartesian spaces [C]//CVPR05, Pages I San Diego: IEEE CS Press, 2005: 829 - 836