

文章编号 1004-924X(2011)03-0703-06

# 自适应搜索的快速分块跟踪

吴本涛, 吴敏渊, 曾霖

(武汉大学 电子信息学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:** 针对传统的分块跟踪算法计算量大, 难以实时地对运动目标进行跟踪这一问题, 提出了一种改进的分块跟踪算法。首先, 为降低背景噪声对跟踪性能产生的不利影响, 提出的算法对目标所在矩形窗口进行了更细致的划分; 然后, 根据目标运动信息确定搜索范围和搜索中心, 采用分层次的自适应搜索算法, 在每一层采用不同的搜索策略逐步逼近与目标模板最相似的位置, 避免算法将时间过多地浪费在无效位置的运算上; 最后, 给出了改进算法在 DSP 上的实现和优化方法。实验结果显示, 该改进算法能够在 DM642 上以 30 frame/s 的速度处理 768 pixel $\times$ 576 pixel 的图像, 与传统的分块跟踪算法相比, 提高了跟踪精度, 运算时间减小了约 47.5%。该改进算法较好地解决了传统分块算法的缺陷, 实现了在嵌入式系统上对运动目标的实时跟踪。

**关键词:** 分块跟踪; 积分直方图; 算法优化; 自适应搜索

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111903.0703

## Fast fragment based tracking using adaptive search

WU Ben-tao, WU Min-yuan, ZENG Lin

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** For the large computation and the real-time tracking to be hard to achieve by traditional fragment based tracking algorithm, an improved fragment based algorithm was proposed. Firstly, in order to reduce the negative effect yielded by the background noise, the region of the tracked object was divided into more fragments. Then, the position and the range of the search region were identified according to the movement information of the object. By utilizing a fast hierarchical adaptive search approach which adopts different search patterns in different steps, most of the calculations for invalid positions were skipped, and the coordinate where the candidate was most similar with the object template was obtained quickly. Moreover, the improved algorithm was implemented and optimized on a DSP. Experimental results indicate that the improved algorithm can process the image of 768 pixel $\times$ 576 pixel on DM642 at a processing speed of 30 frame/s. Compared with the traditional fragment based tracking algorithm, it shows a more precise tracking and saves the processing time about 47.5%. These results show that the improved algorithm overcome the shortcomings from traditional fragment based tracking algorithms, and can achieve a real-time tracking with better tracking performance.

**Key words:** fragment based tracking; integral histogram; algorithm optimization; adaptive search

收稿日期: 2010-04-02; 修订日期: 2010-07-23.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2006AA040307)

## 1 引言

目标跟踪是模式识别、机器视觉等领域的重要课题,近年来受到了越来越广泛的关注。常见的跟踪算法有光流法、mean shift 算法、粒子滤波算法等<sup>[1-3]</sup>。这些算法都各有优缺点,光流法优点在于光流不仅携带了运动物体的运动信息,而且还携带了有关景物三维结构的丰富信息,但运算量大,且在强杂波以及强噪声背景下稳定性不强<sup>[4]</sup>;mean shift 具有非参数概率密度估计的优点,但在目标尺度变化较大时,会导致跟踪失败<sup>[5]</sup>,且在跟踪时易陷入局部极值点<sup>[4]</sup>;粒子滤波摆脱了解决非线性滤波问题时随机量必须满足高斯分布的制约,但跟踪精度严重依赖于样本数量,且具有粒子退化等问题。为保证跟踪的准确性,这些算法都大量使用了浮点运算,在嵌入式系统上实现时会存在精度降低或计算量过大的问题,跟踪时难以保证实时性和准确性同时达到要求。

分块跟踪是 Adam 提出的一种基于特征的目标跟踪算法<sup>[6]</sup>,其基本原理是将目标窗口分成多个子块,依据多个子块直方图的联合来表示目标。该算法具备较好的抗干扰和遮挡能力,且运算量与被跟踪目标大小无关<sup>[6]</sup>。国内外已有一些学者也对该算法进行了相关研究:Lao 等<sup>[7]</sup>将分块的思想用于粒子滤波算法中,取得了较好的效果,但该方法仍具有粒子滤波的固有缺点,且运算量很大;Srikrishnan 等<sup>[8]</sup>针对目标大小有变化及部分遮挡的情况对该算法进行了改进,根据前几帧获得的目标相似度判断是否进行窗口大小的更新;Wang 等<sup>[9]</sup>提出了一种基于分块的 mean shift 算法,采用迭代的方式获得目标位置,但未解决 mean shift 算法本身存在的问题。上述算法在嵌入式系统上实现时均存在精度降低或计算量过大的问题。

针对上述问题,本文提出了一种改进的分块跟踪算法。针对传统分块跟踪算法分块方式的缺陷,对目标窗口采用更细致的划分,以降低背景噪声的影响。根据目标运动信息确定搜索范围和搜索中心,采用分层次的自适应搜索策略,在目标可能出现的范围内快速逼近目标的中心位置,减少

对无效位置的搜索,加快算法执行速度。最后提出了该算法在 DSP 嵌入式系统上的实现和优化方法。

## 2 分块跟踪简介

分块跟踪算法将待跟踪目标所在矩形区域分为若干子块,使用各子块的联合直方图来表示目标,根据候选目标的联合直方图和模板的联合直方图的相似度来确定目标位置。分块跟踪可以分为以下步骤:

(1)模板初始化。计算目标所在矩形区域的积分直方图,并将待跟踪目标所在窗口划分为  $K$  块,从积分直方图<sup>[6]</sup>得到联合直方图。

(2)根据目标的运动速度,以目标不移出搜索范围为准,将目标所在矩形区左右各扩大  $M$  像素,上下各扩大  $N$  像素的窗口设定为下一帧的目标搜索窗口。

(3)假设  $\{\hat{p}^{(k)}(y)\}_{k=1,\dots,K}$  为中心位于  $y$  的候选目标,  $\{\hat{q}^{(k)}\}_{k=1,\dots,K}$  为目标模板,  $\hat{s}(y)$  为位于  $y$  的候选目标与模板的相似度,有:

$$\hat{s}(y) = \lambda^{(1)}\hat{s}^{(1)} + \dots + \lambda^{(K)}\hat{s}^{(K)} = \sum_{k=1}^K \lambda^{(k)}\hat{s}^{(k)}, \quad (1)$$

其中

$$\hat{s}^{(k)} \equiv s(\hat{p}^{(k)}(y), \hat{q}^{(k)}), \quad (2)$$

表示候选目标中第  $k$  个分块与模板第  $k$  个分块的相似度,  $\lambda^{(k)}$  表示每个分块的权重,且有:

$$\sum_{k=1}^K \lambda^{(k)} = 1. \quad (3)$$

实际运算中权重的取值方法是将子块的相似度由大到小排序后的前  $K/4$  个子块的权重都设为  $4/K$ , 余下  $3/4$  的子块权重设为零。

(4)对搜索范围内所有位置计算相似度,取相似度最大的位置作为目标新的中心,更新目标模板并进入下一帧继续跟踪。

## 3 改进算法

### 3.1 快速算法

在实际跟踪时,被跟踪目标的形状通常是不规则的。传统分块跟踪算法将目标所在矩形区域在行和列方向上分为两部分,如文献<sup>[6]</sup>中图 5 所

示。显然,许多子块都可能包含大量的背景像素,影响跟踪的效果,导致跟踪性能降低或跟踪失败。为降低背景噪声对跟踪产生的不利影响,本文在进行子块划分时,将目标在行和列方向划分为3个部分,在子块相似度排序后,权重不为零的子块包含背景像素较少,受背景噪声影响降低,有利于提高跟踪精度。

由上一节可知,分块跟踪算法等价于在搜索范围内找到取得最大相似度的像素点作为当前帧中目标的中心位置。在选取最相似位置过程中,算法采用了对中心周围 $[(2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1)]$ 范围内所有像素点进行搜索的策略以取得最佳。这种方法将大量时间用在了无效点的搜索上,而且目标速度越快,为使目标不移出搜索范围, $M, N$ 取值需越大,计算量随其取值呈二次方上升。为解决这一问题,本文在UMHexagonS算法<sup>[10]</sup>的基础上,提出了分块跟踪算法的自适应搜索策略。该策略步骤如下:

(1)采用新的分块方式初始化目标模板。

(2)预测目标当前帧中的位置。采用三次线性预测器(如公式4)进行预测,以目标不移出搜索范围为准设置搜索范围。将预测位置定为初始搜索中心 $O$ 。

$$Y(t) = \frac{1}{3} [4Y(t-1) + Y(t-2) - 2Y(t-3)], \quad (4)$$

设当前帧为第 $t$ 帧, $Y(t)$ 为第 $t$ 帧中目标的位置。

(3)在实际跟踪过程中,目标在水平方向运动的幅度一般要大于垂直方向幅度。依照此原则,计算以 $O$ 点及周围如图1(a)中所示非对称十字型位置为中心的候选目标与目标模板的相似度,以相似度最大的点作为下一次搜索的中心。进入步骤4。

(4)设当前搜索中心位置与目标模板相似度为 $S$ ,若 $S > T$ ,进入步骤6,否则继续步骤5。 $T$ 为事先设定阈值,在进行直方图归一化时,该值取0.85较为合适。

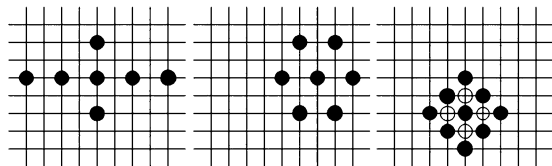
(5)计算以当前中心位置及周围六边形角点位置为中心的候选目标与目标模板的相似度,如图1(b)中所示。选择相似度最大的位置作为下一个搜索中心,若此次搜索的中心位置为相似度

最大的位置或达到限定的搜索次数,则进入步骤6,否则继续步骤5。从图1(b)中可以看出,相邻的两次六边形搜索会有4个位置重复,所以再次搜索时对重复位置无须进行第二次计算。

(6)采用大钻石模式<sup>[11]</sup>搜索,如图1(c)中实心圆位置,取相似度最大的位置作为下一个搜索中心。若此次搜索的中心位置为相似度最大的位置或达到限定的搜索次数,则进入步骤7,否则以最大相似的位置为搜索中心继续搜索。

(7)采用小钻石模式<sup>[11]</sup>搜索,如图1(c)中空心的圆位置及搜索中心,取相似度最大位置的坐标作为当前帧中目标的位置坐标。

(8)更新当前的目标模板,转入下一帧继续跟踪。



(a) 十字模板 (b) 六边形模板 (c) 钻石模板  
(a) Cross-pattern (b) Hex-pattern (c) Diamond-pattern

图1 快速搜索模板

Fig. 1 Fast search patterns

### 3.2 算法对比分析

对比传统分块跟踪算法和改进算法,在分块数相同的情况下,原算法须对所有分块进行 $(2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1)$ 次相似度比较以及排序等运算,假设改进算法搜索 $T$ 点后找到最优解( $0 < T < [(2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1)]$ ),则改进算法的运算量约为传统算法的 $T / [(2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1)]$ 。

设 $B$ 为直方图宽度, $K$ 为传统算法分块的数量, $M, N$ 为设定的搜索范围, $w, h$ 为目标所在矩形窗口的宽度和高度。从算法跟踪原理上可以看出,原算法在跟踪时需占用 $B + (B + 2) \times (2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1) + (2 \times M + 1 + w) \times (2 \times N + 1 + h) + K$ 长度的数组存储搜索区域的积分直方图,临时直方图相似度等数据,而改进算法仅需长度为 $B + B \times (2 \times M + 1) \times (2 \times N + 1) + K \times 3/2$ 的数组存储搜索区域的积分直方图,分块直方图以及直方图相似度值。相比于传统算法,改进算法降低了对存储空间的需求。在增加分块数量的

情况下,与原算法的分块方式相比,改进算法在计算量和存储空间需求上依然具有优势。

#### 4 算法在 DSP 上的实现及优化

为适应实际的应用要求,本文在定点 DSP 处理器 DM642 上实现了传统的分块跟踪算法和本文提出的改进算法。针对 DSP 的硬件架构,采用了如下的优化措施:

(1) 调整代码。将多个函数完成的工作在单函数中完成,避免函数的多次跳转以及频繁调度,提高 CPU 取指令的命中率。减少算法中的判断语句,对循环进行展开,以利于 DSP 的流水线操作。

(2) 存储空间的分配。由于 DSP 内部存储器空间较小且对外部存储器访问较慢,本文将跟踪算法中的直方图相似度计算,排序等需频繁调用的函数代码以及临时直方图,直方图相似度等数据放入内部存储器,以便快速访问。另外在内存开辟两小块区域,将外存中需处理的大量数据由 CPU 与 EDMA 以乒乓的方式访问,避免 CPU 对外存的直接访问。

(3) 重要函数的优化处理。算法中排序和直方图相似度运算约占用总时间的 70%,所以对该部分采用汇编语言重新编写。因各分块大小相同,所以在直方图计算过程中省略归一化过程,采用定点运算代替浮点运算;排序运算使用选择排序算法选取相似度最大的前 1/4 子块即退出排序过程。优化后的相似度运算和排序运算所需时间分别可以达到原所需时间的 32.8% 和 24.7%。

#### 5 实验结果与分析

为验证改进算法的有效性,选用了标准的视频序列对传统的分块跟踪算法和本文提出的改进算法在 DM642 上进行了测试。

测试序列来自于 PETS2009 数据库<sup>[12]</sup>。跟踪目标为运动的人体,原始图像大小为 768 pixel × 576 pixel。选取序列长为 200 frame,搜索窗口参数  $M, N$  设定为固定值 5 pixel,直方图宽度为 32,原算法在行和列方向上将目标窗口划分为 2 部分,改进算法划分为 3 部分。图 2 显示了两种算法的跟踪结果。第一组为原分块跟踪算法的跟

踪效果,第二组为本文提出的改进算法的跟踪效果。图 3 为试验中两种算法确定的目标中心和真实目标中心的误差对比。误差计算方法如下:

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}, \quad (5)$$

其中  $d$  为误差,以像素为单位,  $(x_0, y_0)$  为目标真实的中心位置,  $(x, y)$  为算法确定的目标中心位置。



Frame 19

Frame 48

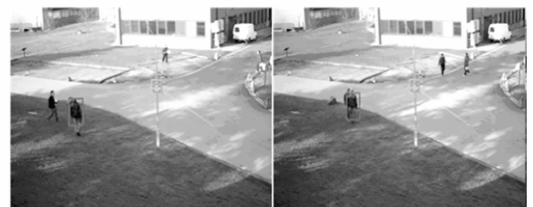


Frame 110

Frame 191

(a) 传统分块跟踪算法的实验结果

(a) Experimental results of traditional algorithm



Frame 19

Frame 48



Frame 110

Frame 191

(b) 改进算法的实验结果

(b) Experimental results of proposed improved algorithm

图 2 跟踪效果对比

Fig. 2 Tracking results of two algorithms

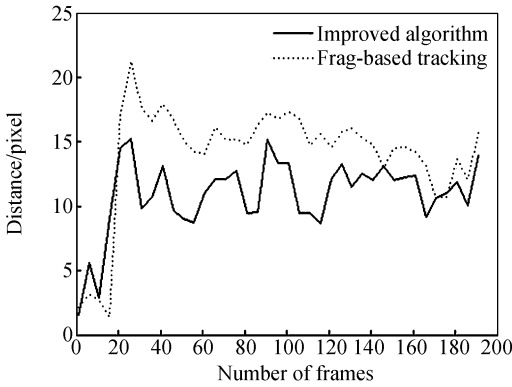


图3 两种算法跟踪的误差对比

Fig. 3 Comparison of distance errors

从图2和图3可以看出,改进的算法明显提高了跟踪精度,这是因为改进算法对目标窗口划分更为细致,能够有效降低背景噪声的影响。

图4为试验中两种算法跟踪所用时间对比,两者都针对DM642平台进行了如第4节中所述的优化。从图中可以看出,改进算法虽然增加了子块数量,在一定程度上增加了运算量,但由于采用了快速搜索策略,与传统算法的全搜索相比,在运算速度上远优于传统算法。

传统分块跟踪算法在每帧中跟踪所用时间平均为64.47 ms,最短为64.01 ms,最长为64.68 ms,每帧搜索位置数为121个,显然达不到实时跟踪的要求。改进算法平均使用时间为33.82 ms,与原算法相比,减小约47.5%。最短处理时间为33.76 ms,最长为34.43 ms。每帧搜索位置数平均为35个,相对于传统算法,减少约70%,能够以约30 frame/s的处理速度达到实时跟踪的需求。

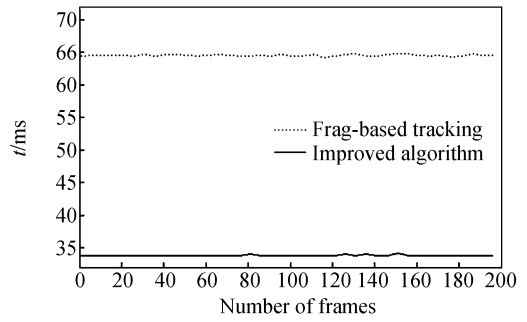


图4 两种算法运算所用时间对比

Fig. 4 Comparison of handling time

## 6 结论

针对传统的分块跟踪算法计算量大,不易于在对实时性要求高的嵌入式系统上实现等问题,提出了一种改进的分块跟踪算法。采用对目标窗口进行更细致的划分策略,降低了目标所在窗口中背景噪声对跟踪性能产生的不利影响。以UMHexagonS算法为基础,提出了分层次的分块跟踪快速搜索算法,快速逼近目标在当前帧中的位置,减少算法对无效位置的运算,加快算法执行速度,并将改进算法实际运用于嵌入式系统,给出实现方法。实验结果表明,改进算法能够以约30 frame/s的速度实时地跟踪运动目标。与传统的分块跟踪算法相比,改进算法能够有效地提高跟踪性能,并将需搜索的位置数减少约70%,运算时间减小约47.5%,较好地解决了分块跟踪算法运算量大,难以在嵌入式系统上实现实时跟踪等问题。

## 参考文献:

- [1] 施家栋,王建中. 人体运动检测的光流与肤色融合方法[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(4): 347-350.  
SHI J D, WANG J ZH. Detection of human motion using a fusion method based on optical flow and skin color[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2009, 29(4): 347-350. (in Chinese)
- [2] 颜佳,吴敏渊,陈淑珍,等. 跟踪窗口自适应的 Mean

Shift跟踪[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(10): 2606-2611.

YAN J, WU M Y, CHEN SH ZH, *et al.*. Mean Shift tracking with adaptive tracking window[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10): 2606-2611. (in Chinese)

- [3] 吴川,杨冬,郝志成. 基于粒子滤波的彩色图像跟踪[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(10): 2542-2547.  
WU CH, YANG D, HAO ZH CH. Color image tracking algorithm based on particle filter[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10): 2542-2547. (in Chinese)

- [4] 魏坤, 赵永强, 潘泉, 等. 基于均值漂移和粒子滤波的红外目标跟踪 [J]. 光电子·激光, 2008, 19(2): 213-217.  
WEI K, ZHAO Y Q, PAN Q, *et al.*. IR target tracking based on mean shift and particle filter [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2008, 19(2): 213-217. (in Chinese)
- [5] 张恒, 李立春, 于起峰. 尺度方向自适应 Mean Shift 跟踪算法 [J]. 光学 精密工程, 2008, 16(6): 1133-1139.  
ZHANG H, LI L CH, YU Q F. Scale and direction adaptive Mean Shift tracking algorithm [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(6): 1133-1139. (in Chinese)
- [6] ADAM A, RIVLIN E, SHIMSHONI I. Robust fragments-based tracking using the integral histogram [C]. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, New York, NY. CVPR*, 2006: 798-805.
- [7] LAO Y W, ZHU J D, ZHENG Y F. Sequential particle generation for visual tracking [J]. *Circuits and Systems for Video Technology*, 2009, 19(9): 1365-1378.
- [8] SRIKRISHNAN V, NAGARAJ T, CHAUDHURI S. Fragment based tracking for scale and orientation adaptation [C]. *Sixth Indian Conference on Computer Vision, Graphics & Image Processing, Bhubaneswar, ICVGIP*, 2008, 19: 328-335.
- [9] WANG F L, YU SH Y, YANG J. A novel fragments-based tracking algorithm using mean shift [C]. *10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Hanoi, ICARCV*, 2008: 694-698.
- [10] LIN CH CH, LIN Y, HSIEH H J. Multi-direction search algorithm for block motion estimation in H. 264/AVC [J]. *Image Processing, IET*, 2009, 3(2): 88-99.
- [11] ZHU S, MA K K. A new diamond search algorithm for fast block matching motion estimation [J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 2000, 9(2): 287-290.
- [12] <http://www.cvg.rdg.ac.uk/PETS2009/> [OL].

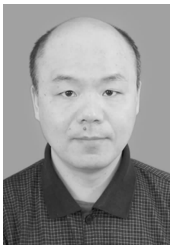
#### 作者简介:



吴本涛(1982—),男,湖北武汉人,博士研究生,2005年于武汉大学获得学士学位,研究方向为数字信号与信息处理。E-mail: wbtx83@foxmail.com



曾霖(1983—),男,江西赣州人,博士研究生,2006年于武汉大学获得学士学位,研究方向为数字信号与信息处理。E-mail: zenglin480168@126.com



吴敏渊(1964—),男,江苏淮阴人,副教授,1984年、1989年于武汉测绘科技大学分别获得学士、硕士学位,主要从事图像处理、机器视觉等方面的研究。E-mail: wmy@eis.whu.edu.cn

(本栏目编辑:李树军)