

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)04-0572-07

论文索引信息: 齐美彬, 杨立宾, 蒋建国. 自适应权值的 MRF 分割与跟踪方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(4): 572-578

自适应权值的 MRF 分割与跟踪方法

齐美彬^{1),2)}, 杨立宾¹⁾, 蒋建国^{1),2)}

¹⁾(合肥工业大学计算机与信息学院, 合肥 230009) ²⁾(安全关键工业测控技术教育部工程研究中心, 合肥 230009)

摘要: 提出一种基于自适应权值的区域马尔可夫随机场(MRF)分割与跟踪的方法,该方法利用了相邻像素区域的空间相关性,自适应更新系统能量函数中的参数 β ,可以更准确地分割出运动目标,在此基础上建立分片积分直方图特征模板,并结合 Kalman 预测与目标运动方向等信息,进一步提高算法准确性,实现目标匹配跟踪。实验结果表明,本文算法在部分遮挡、光线变化等情况下,能准确实现运动目标分割与跟踪。

关键词: 运动目标跟踪; MRF 分割; 自适应权值; 分片模板; Kalman 预测; 积分直方图

MRF segmentation and tracking algorithm based on adaptive weight

Qi Meibin^{1),2)}, Yang Libin¹⁾, Jiang Jianguo^{1),2)}

¹⁾(College of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009 China)

²⁾(Engineering Research Center of Safety Critical Industrial Measurement and Control Technology, Ministry of Education, Hefei 230009 China)

Abstract: The paper proposes a segmentation and tracking method based on adaptively weighted Markov random field (MRF). By using spatial relativity of the adjacent regions, this method adaptively updates the system energy function parameter β , and makes object segmentation more accurate. On this condition, the fragments-based integral histogram feature template is established. And Kalman prediction method is combined with object motion information to improve the algorithm's accuracy and implement matching and tracking. Experiment results proved that this algorithm can accurately settle with the problem of objects segmentation and tracking problem under the case of partial shelter, and illumination change.

Keywords: moving object tracking; MRF segmentation; adaptive weight; fragment template; Kalman prediction; integral histogram

0 引言

运动目标的准确分割,直接影响到进一步运动目标跟踪的处理,传统的背景差分、相邻帧间差分、光流场等方法都有各自的缺点^[1],不能满足准确分割运动目标的需要。

文献[2]采用分层减法聚类方法把图像数据分成一定数量的色彩相近的子集,利用聚类有效性分

析指标来确定聚类数目,但这种方法需要事先确定分类个数,且初始参数对分类结果影响较大,而且没有考虑空间信息,因而对噪声敏感。文献[3]对二值化后的差分图像进行分块,根据每块信息熵来确定该块是否为前景块,但由于采用全局阈值,而且必须通过实验手工选取,实验效果较差。基于马尔可夫随机场(MRF)的运动目标分割方法^[4]考虑了图像颜色信息和空间关联信息,分割效果较好。另外,马尔可夫随机场参数 β 选取的好坏会直接影响分割

收稿日期:2009-09-23;修回日期:2009-12-07

基金项目:安徽省科技计划项目(08020303095)。

第一作者简介:齐美彬(1969—),男,教授。2007年于合肥工业大学获得信号与信息处理专业博士学位,主要研究方向为视频编码、智能视觉监控、DSP 技术及应用。E-mail:qimeibin@163.com。

结果,选取参数如果较大容易形成较长的边缘,较小容易形成微边缘,而固定参数则使目标的轮廓模糊,对分割出的目标准确判断产生不利影响。

因此,提出一种基于自适应权值 β 的区域马尔可夫随机场的分割方法,结合分水岭^[5] 预分割算法,并利用形态滤波对分割结果进行修正,较好地解决了分割不准确、目标信息丢失的问题。

为解决目标遮挡情况下的跟踪问题,文献[6]研究了粒子滤波预测的方法,是一种较典型的跟踪方法,但粒子滤波器本身的计算复杂降低了跟踪的实时性。本文在分割出运动目标区域,获得准确目标信息后,建立了分片灰度积分直方图模板^[7],快速提取目标区域的直方图特征,并将运动方向信息与 Kalman 预测相结合,进一步提高跟踪的准确性和算法速度,较好地实现了运动目标的匹配与跟踪。

1 自适应权值 β 的区域 MRF 分割

1.1 基于 MRF 的运动目标分割

Hammersley-Clifford 定理指出了 MRF 和 Gibbs 分布之间的等价性,每个 MRF 都可以用一个 Gibbs 分布来描述,这样就解决了 MRF 概率难求的问题。

对于一帧 CIF 图像 A ,存在一系列的像素点 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 对于这些点 X 存在一标记场 $\Omega_i \subset \Omega = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ($i = x_1, x_2, \dots, x_n$) 和事先观察场 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 。这样马尔可夫随机场的运动目标分割问题可以归结为在事先观察场和其他一系列约束条件下,确定运动目标区域和背景区域的二值标记问题。本文中的观察场采用隔帧做差方法得到,如式(1)所示:

$$D(t+2) = X(t+2) - X(t) \quad (1)$$

根据 Hammersley-Clifford 理论,图像上每一点的概率分布如式(2):

$$P(X = x) = \frac{1}{Z} \exp[-U(x)] = \frac{1}{Z} \exp[-\sum_{c \in C} V_c(x)] \quad (2)$$

式中, Z 是标准化常数, $U(x)$ 表示所有基团势能的总和, $V_c(x)$ 表示各基团势能函数, C 表示邻域系统所包含基团的集合^[8], 基团势能可以有效表示像素邻域间的相互作用,并且能够任意被赋值。

MRF 运动目标分割就是在已知观察场和一系列约束条件下求一个分割 φ , 使后验概率 $P(w/d)$ 达

到最大,根据贝叶斯和 Hammersley-Clifford 理论得

$$\varphi = \arg \max P(w/d) \propto \arg \max P(d/w) P(w) \propto \operatorname{argmin} U(w, d) \quad (3)$$

所以,运动目标分割的工作就转化为 Gibbs 能量最小化问题。

1.2 能量函数的建立

结合先验知识和观察场,定义能量函数为

$$U(w, d) = U_1(w, d) + U_2(w) \quad (4)$$

$U_1(w, d)$ 服从高斯分布,是反映观察场和标记场关系的条件能量函数,如式(5):

$$U_1(w, d) = \sum_{x \in X} \left[\frac{1}{2} \ln(2\pi\sigma_{w_x}^2) + \frac{(d_x - u_{w_x})^2}{2\sigma_{w_x}^2} \right] \quad (5)$$

式中, u_{w_x} 表示标记值为 w_x 的像素值的均值, $\sigma_{w_x}^2$ 表示标记值为 w_x 的像素值的方差。

$U_2(w)$ 是先验模型能量,是所有基团势能的总和,反映空间邻域信息,其为

$$U_2(w) = \sum_{x \in X} \sum_{c \in C} V_c(w_x, w_i) = \beta \sum_{(s,t) \in C} [1 - \delta(w_x - w_t)] \quad (6)$$

w_x, w_t 为基团中两像素标记值,为了结合空间信息,根据多级逻辑模型得式(7):

$$V_c(w_x, w_t) = \begin{cases} \beta & w_x \neq w_t \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

1.3 β 值的自适应更新

对先验模型中的马尔可夫模型参数 β 的估计,目前没有统一的方法,常根据具体的模型来确定。由于大多数图像的非平稳性,如光照不均匀、场景剧烈变化等,固定的马尔可夫参数应用受到了限制,对分割出目标的准确判断产生不利影响,导致像素的局部属性和特征属性发生了混叠。因此,本文采用 β 值自适应更新的方法,克服不利影响,能准确分割出运动目标。

1.3.1 区域的邻接特性

由于直接求取 β 值存在困难,所以引入一个连接系数 K , 建立连接系数与 β 值的关系,进行 β 值的更新。由于每个区域都有一个或几个与其连接的区域,称为区域的邻域,对两个相邻区域的连接程度用下式的连接系数描述:

$$K = \frac{N_n^m}{\sum_i N_i^m} \quad (8)$$

式中,分子 N_n^m 为第 m 个区域与第 n 个区域相连接

的像素个数,分母为第 m 个区域的所有连接区域的总像素和。可以看出,连接系数较好地反映了当前区域与其相连接区域的紧密程度。

1.3.2 β 值的更新方法

通过计算获得连接系数 K 以后, β 值便可以实现更新,更新方法如下:通过大量的仿真实验获得连接系数 K 与 β 值的对应关系, β 值也称为惩罚因子,在自身能量与邻域能量之间起到权衡的作用。当 K 值比较大时,表示与邻域连接比较紧密,此时取较小的 β 值来抑制邻域能量的影响,如表 1 所示给出了部分对应数据。

表 1 K 与 β 值的关系对照表

Tab.1 Comparison between the value of K and β

i	1	2	...	23	24
K_i	0.651 03	0.574 10	...	0.016 72	0.014 51
β_i	0.05	0.15	...	3.0	5.0

如果 $K_{i-1} > K > K_i$,则 β 值取 β_i ;特殊地,如果 $K > K_1$,则 β 值取 β_1 ;如果 $K < K_{24}$,则 β 值取 β_{24} 。

1.4 快速 EM 算法求最优化配置

运动目标分割的工作现已转化为 Gibbs 能量最小化的问题,利用贝叶斯公式计算似然函数,在求取能量耗费函数最小值时,有的文献使用 ICM 迭代条件模型,此方法虽然时间开销小,但属于局部最优化算法,而本文使用快速 EM 算法及模拟退火算法求解最优化配置,避免了局部最优。但该方法时间开销大,本文在模拟退火过程中仅对分割出的运动目标区域进行处理,减少了所消耗的时间,在表 2 中给出了实验对比结果。

表 2 整幅图像与目标区域上 MRF 分割性能分析对比

Tab.2 MRF segmentation performance analysis comparison based on the whole image and motion object region

整幅图像 MRF 分割	运动目标区域 MRF 分割		
	基于像素点	β 固定	β 自适应
4 801	1 102	326	269

2 复杂情况下多目标的跟踪

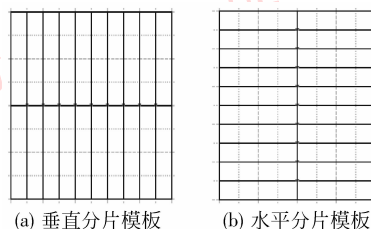
在多目标运动跟踪中,存在目标之间的相互遮挡问题,另外目标与背景之间也可能互相遮挡。人眼在跟踪被部分遮挡的目标时,仍能根据未被遮挡部分的特征来跟踪该目标。本文受文献[9]启发,将目标模板划分成若干片,利用未被遮挡的片来进

行特征匹配,匹配成功的片数越多,则认为此目标匹配成功的概率越大。

2.1 目标分片特征模板的建立

为解决遮挡情况下的多目标跟踪问题,建立有效的特征模板非常重要。根据人类的视觉特性,在部分遮挡出现时人眼能根据未遮挡的部分继续跟踪目标,所以本文将目标模板划分成若干片,每一片分别进行特征匹配,这样可以较好地解决部分遮挡问题,提高了匹配模板的灵活性,但同时也增加了算法的难度,加大了计算量。因此,本文在特征选取方面,采用灰度积分直方图统计特征的方法,这种方法快速有效提取出运动目标区域的直方图特征,具有比较明显的节约时间优势。

将分片模板分为 40 片,包括水平和垂直方向,如图 1 所示,每一片分别进行直方图特征匹配,这样克服了传统直方图空间信息丢失的问题。定义目标遮挡因子 $K_s = \text{无效片数} / \text{总片数}$,未匹配成功的片即为无效片。实验结果表明,遮挡因子 K_s 如果低于 0.4,则判定匹配成功。



(a) 垂直分片模板 (b) 水平分片模板

图 1 分片模板

Fig.1 Fragment template

2.2 结合运动信息与 Kalman 预测解决遮挡问题

为进一步提高跟踪的准确性,提高算法速度,并解决遮挡问题。本文根据目标在运动过程中具有轨迹连续性的特点,利用目标的运动速度及位置信息^[10],预测目标在下一帧可能出现的位置,并结合 Kalman 预测的方法。这样可以缩小目标搜索范围,减少搜索时间,充分利用目标分割的信息,建立分片灰度积分直方图模板。在预测区域内进行分片模板匹配。在未遮挡时,如果匹配成功,模板就不断更新;当出现部分遮挡时,取遮挡前一帧的目标模板作为临时模板,并结合运动轨迹信息在以后各帧中利用临时模板进行匹配。如果成功匹配的片数大于 60%,则认为目标仍然存在。当遮挡结束,目标重新出现时,再更新模板进行匹配,这样较好地解决了遮挡情况下目标的有效跟踪问题。

3 算法步骤与实验结果分析

3.1 本文算法步骤

1) 对输入原始图像进行隔帧差运算,在帧差图上进行分水岭预分割,得到众多不同区域,作为初始标记场;

2) 在初始标记场上,存在各个不同的较小区域,首先建立区域邻接图,然后使用快速 Expectation-Maximization (EM) 算法估计均值、方差等参数,在此基础上建立 MRF 模型,构造系统能量函数;

3) 通过计算各区域连接系数 K ,查表得到能量函数中的参数 β ,计算各相邻区域之间的系统能量函数,利用模拟退火迭代算法,将计算得到的能量值最小的相邻区域合并,从而得到分割结果;

4) 利用形态学滤波算法对分割结果进行去噪,边界连通处理,得到目标区域;

5) 在分割出的目标区域建立分片灰度积分直方图模板,利用运动信息与 Kalman 预测下一帧目标可能位置,在预测区域用分片模板进行匹配跟踪;

6) 若匹配成功,更新模板,否则,判定目标丢失,模板不更新,转步骤 5),进行下一帧跟踪。

3.2 实验结果与分析

实验序列为 352×288 的 YUV 序列,计算机处理器为 AMD 双核 3600+, 1.9 GHz。分别在白天自然光和夜晚日光灯环境下进行了实验,如图 2 所示,其中(b)噪声大,轮廓也出现了断裂;乙和丙目标的分割结果较理想,但甲和丁目标分割出现了严重的断裂;(d)采用固定 β 值的 MRF 方法分割效果得到一定的改善,但部分目标不完整;(e)空洞现象得到改善,轮廓更加连续,目标信息更加完整。

图 3 中(b)出现了大量的噪声;(c)目标断裂严重;(d)分割结果得到一定的改善;(e)相比前几种方法,目标分割更准确。

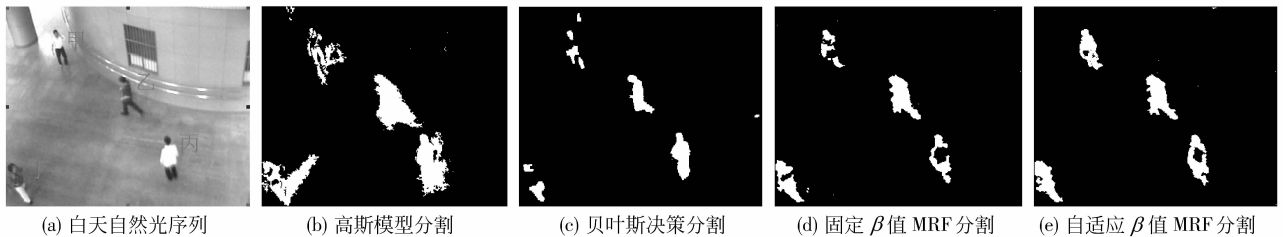


图 2 白天自然光下多种方法分割结果对比

Fig. 2 Regmentation results comparison of multi-methods in the sunshine

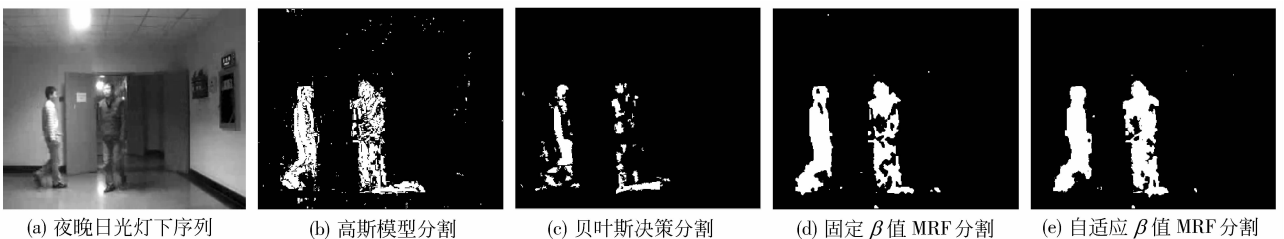


图 3 夜晚日光灯下多种方法分割结果对比

Fig. 3 Regmentation results comparison of multi-methods at night

基于马尔可夫随机场的分割本身比较耗时的考虑,ICM 等局部优化算法容易陷入局部最优的境地,考虑到这一点,本文采用模拟退火全局优化算法进行迭代,解决消耗时间多的问题。本文在进行优化迭代时,并不对整幅图像进行处理,而只处理检测到的有效运动目标区域,如表 2 是整幅图像和有效目标区域分割的实验对照结果,表中数据为 300 帧的

平均时间性能。

从表 2 中对比数据可以看出,相比整幅图像上的 MRF 分割而言,运动目标区域的分割耗时明显减少,而且基于运动目标区域的 3 种方法中自适应 β 值的方法耗时最少。本文就采用了这种方法,而且分割效果也比固定 β 值效果要好。

目标分割以后,采用分片跟踪的思想建立目标

模板,对目标实现跟踪。针对部分遮挡情况,图 4 给出了白天自然光下的实验结果。从 198 帧到 245 帧的过程中,丙目标和甲目标之间出现了部分遮挡。

对比实验结果显示,本文方法对丙目标实现了连续跟踪,而 Camshift 方法和粒子滤波的方法在未遮挡情况下,可以实现有效跟踪,但遮挡时,目标跟踪失败。

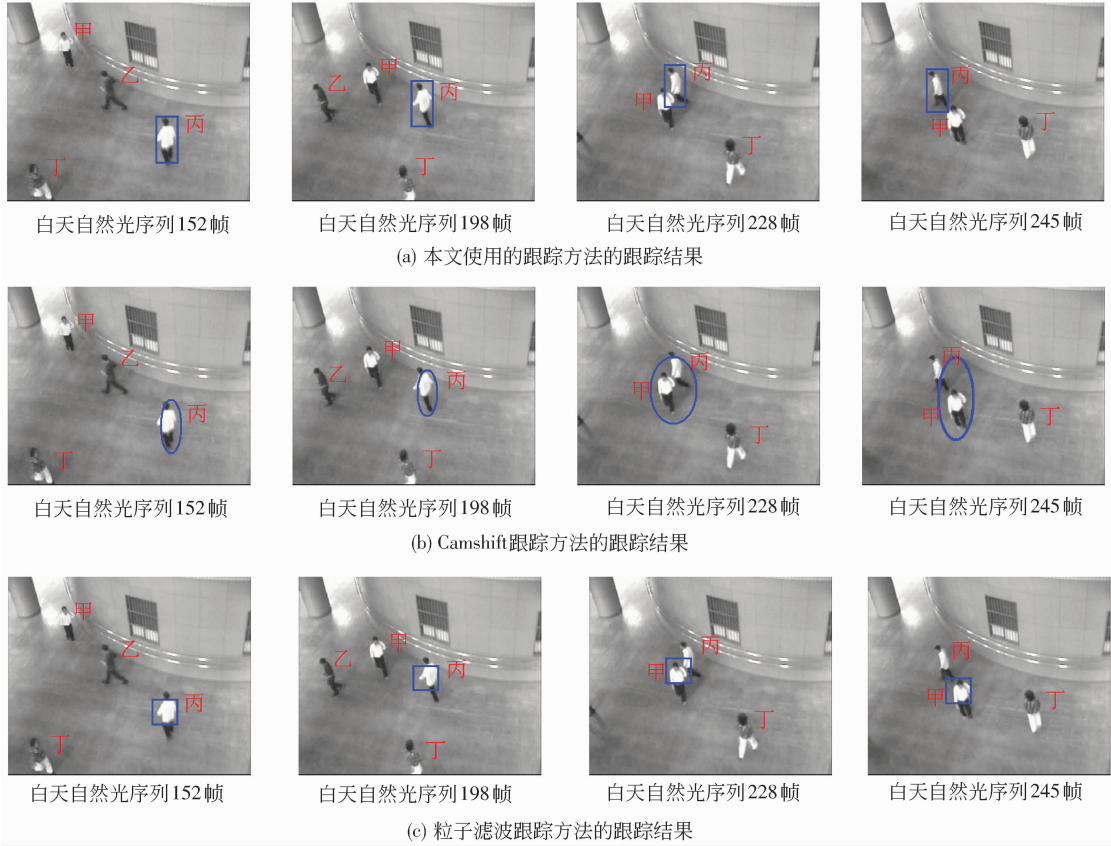


图 4 部分遮挡情况下的跟踪方法对比

Fig. 4 Comparison of tracking methods in the case of partial shelter

在图 5 中给出了夜晚日光灯下的跟踪结果,从实验结果可以看出,夜晚灯光下该方法仍能有效跟踪目标。



图 5 夜晚日灯光下的跟踪结果

Fig. 5 Tracking results under the light at night

图 6 给出了自然光序列中丙目标跟踪曲线在分片跟踪与未分片跟踪两种情况下的效果对比,以 Y 方向为例,给出了 Y 方向上的偏离程度对比。图 6 中

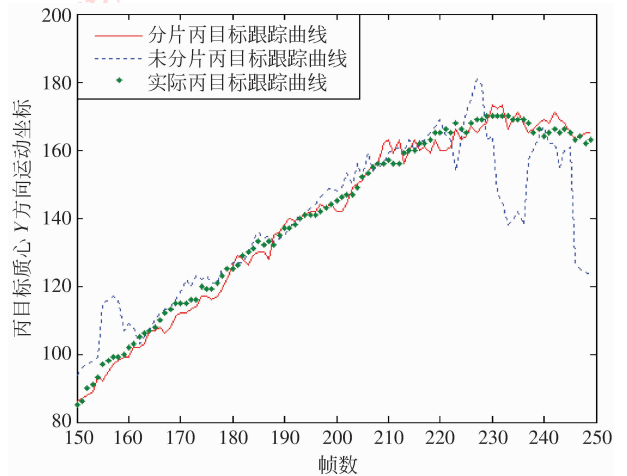


图 6 丙目标跟踪曲线分片跟踪与未分片跟踪效果对比

Fig. 6 Result comparison of fragment and non-fragment

粗点线代表丙目标真实坐标值,真实值是采用手工方式逐帧获取的;实线代表分片跟踪得到的坐标值;虚线代表未分片跟踪的坐标值。从图上看,分片跟踪在 Y 方向与实际坐标值偏离程度明显较小,尤其是 200 帧以后即目标出现遮挡的情况下,未分片跟踪的结果明显出现严重偏离,而且在目标重新出现以后, Y 方向出现了目标跟丢的现象。

为了更形象地说明分片跟踪方法的有效性,本文绘制出了 4 个运动目标的轨迹图,如图 7 所示,

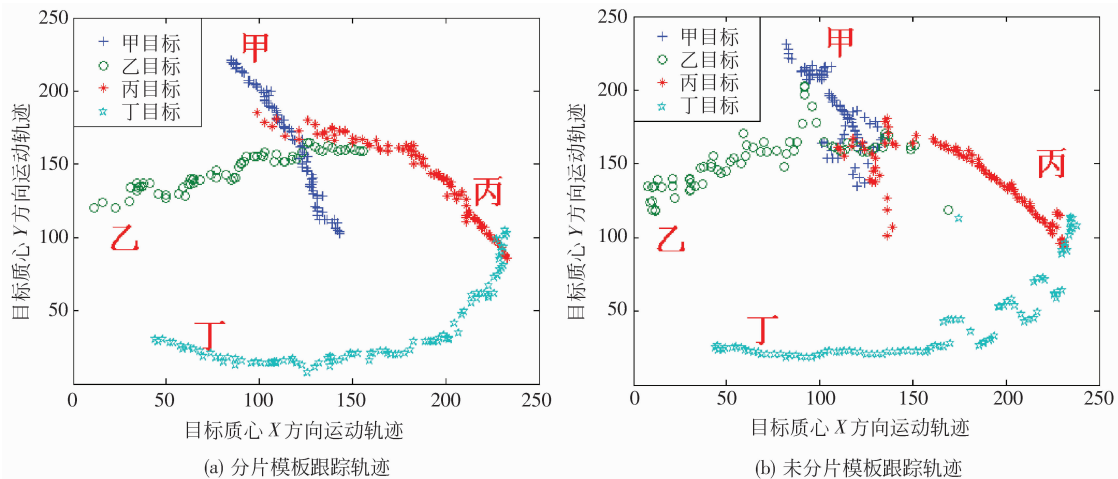


图 7 实验室自拍序列 4 目标运动轨迹

Fig. 7 Motion track of four targets based on lab sequence

4 结论

采用自适应权值 β 的区域马尔可夫随机场分割,得到了较为理想的分割结果,结合 Kalman 预测与运动目标轨迹、方向等信息,提高了算法的准确性和速度,并建立分片灰度积分直方图模板,实现匹配跟踪。实验结果表明,该算法能够在一些复杂环境下,如部分遮挡、光照变化等情况下对目标进行准确分割及跟踪,但算法在尺度缩放和实时性方面还有待于进一步改善和提高。

参考文献 (References)

[1] Dai Kexue, Li Guohui, Tu Dan, et al. Prospects and current studies on background subtraction techniques for moving objects detection from Surveillance vide [J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(7) : 919-927. [代科学, 李国辉, 涂丹, 等. 监控视频运动目标检测减背景技术的研究现状和展望 [J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(7) : 919-927.]

在 (a) 中,显示了在分片模板匹配下,目标跟踪的轨迹,4 条不同的曲线分别代表 4 个目标的运动轨迹; (b) 给出了未进行分片模板匹配下,目标跟踪的轨迹。通过下面两幅轨迹的对比,我们发现未分片的目标轨迹混乱,尤其在目标发生遮挡时,目标跟踪出现了严重的跟丢、跟错现象。通过以上分析可以得出结论,分片模板匹配跟踪目标准确,能有效解决遮挡问题,实验效果优于未分片跟踪的结果。

[2] Lin Kaiyan, Xu Lihong, Wu Junhui. A fast fuzzy C-means clustering for color image segmentation [J]. Journal of Image and Graphics, 2004, 9(2) : 159-163. [林开颜, 徐立鸿, 吴军辉. 快速模糊 C 均值聚类彩色图像分割方法 [J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(2) : 159-163.]

[3] Zuo Junyi, Zhao Chunhui, Pan Quan, et al. A novel binary image filtering algorithm based on information entropy [C] // Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Washington DC, USA: IEEE, 2006: 10375-10379.

[4] Yaakov T, Averbuch. A Region-based MRF model for unsupervised segmentation of moving objects in Image sequences [C] // Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2001: 889-896.

[5] Wang D M. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking [J]. IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, 1998, 8(5) : 539-546.

[6] Zhou Shaohua, Chellappa R, Moghaddam B. Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(11) : 1491-1506.

[7] Porkili F. A fast way to extract histograms in Cartesian spaces [C] // Proceedings of the IEEE Conf. on Computer Vision and

- Pattern Recognition (CVPR). Washington DC, USA: IEEE Computer Society, 2005: 829-836.
- [8] Zhan Jinfeng, Qi Feihu, Wang Hailong. Moving object segmentation technology based on spatial-temporal Markov random field [J]. Journa of China Institute of Communication, 2000, 21(11): 63-68. [詹劲峰, 戚飞虎, 王海龙. 基于时空马尔可夫随机场的运动目标分割技术 [J]. 通信学报, 2000, 21(11): 63-68.]
- [9] 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 (CVPR). Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006: 798-805.
- [10] Jin Fang, Li Junbo, Yang Yong. Research on image tracking algorithms based on template matching and movement forecasting [J]. Microcomputer Information, 2007, 23(7): 313-315. [金芳, 李君波, 杨勇, 基于模板匹配与运动预测的跟踪算法研究 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(7): 313-315.]