

文章编号: 1001-0920(2013)10-1568-05

多特征提取的双目机器人目标跟踪

王丽佳^{1,2}, 贾松敏¹, 李秀智¹, 王爽¹

(1. 北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100124;

2. 河北工业职业技术学院 信息工程与自动化系, 石家庄 050000)

摘要: 为了解决复杂环境下双目机器人的目标跟踪问题, 提出多特征提取的方法. 在机器人静止-目标运动模式下根据改进的步态光流图和视角识别目标并构造颜色直方图模板; 在机器人运动-目标运动模式下利用扩展卡尔曼滤波器、基于自适应核函数的CamShift算法、基于Hu矩的头肩模型匹配算法提取目标的运动特征、颜色特征和头肩特征以实现目标跟踪. 实验分析表明, 所提出方法能够避免启动时手动框选目标, 可以实现遮挡和背景与目标相似度高等复杂环境下的目标跟踪.

关键词: 多特征提取; 改进的步态光流图; 扩展卡尔曼滤波器; 头肩模型; CamShift算法

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

Person following of binocular robot by extracting multiple features

WANG Li-jia^{1,2}, JIA Song-min¹, LI Xiu-zhi¹, WANG Shuang¹

(1. College of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Department of Information Engineering and Automation, Hebei College of Industry and Technology, Shijiazhuang 050000, China. Correspondent: JIA Song-min, E-mail: jsm@bjut.edu.cn)

Abstract: To solve the person following problem of binocular robot in complex environment, a method of extracting multi-feature is presented. For the stationary robot and moving target, the improved gait flow image and view are adopted to recognize the target, and then the color template is constructed. For both the moving robot and target, the motion information of the head and shoulder model and the color feature extracted by extended Kalman filter(EKF), the Hu moment based head and shoulder model matching method and the adaptive kernel based CamShift algorithm are used to track the target. The experiments show that this method avoids selecting the person manually, and tracks the person effectively in complex environment, such as background and target high similarity, occlusion and so on.

Key words: multi-feature extraction; improved gait flow image; extended Kalman filter; head and shoulder model; CamShift algorithm

0 引言

双目立体视觉通过提取立体图像对之间的视差恢复场景的三维信息, 提供了目标的三维位置信息和目标与观察者之间的距离信息^[1], 广泛应用于机器人目标跟踪系统^[2-3]. 目前, 大部分双目机器人目标跟踪系统利用颜色信息识别并跟踪目标^[1,4], 但对与背景颜色相似度高的目标进行识别和跟踪的准确性和稳定性较差. 步态识别是生物识别技术的一个新兴领域, 它根据人的走路姿势进行身份识别^[5]. 步态具有独特性、非侵犯性、难伪装性、远距离可识别等优点, 近年来受到越来越多的关注, Han等^[6]和Lam等^[7]将

步态特征用于视频监控并取得了良好的识别结果. 目前, 多种特征应用于运动目标跟踪, 其中扩展卡尔曼滤波器(EKF)^[8-9]是提取运动特征的代表方法, 因其具有计算量小、易于实现的特点, 对匀速运动目标的短时间遮挡有一定的适应能力, 但是当目标急停或突然转弯时跟踪性能不佳. CamShift算法^[10]是一种基于核密度估计的无参快速模式匹配算法, 当目标快速运动或发生遮挡时该方法的跟踪效果不理想. 基于局部形状特征(如头肩模型)^[11]的跟踪方法能够解决部分遮挡问题, 但确定头肩模型属于哪个运动目标也是难题.

鉴于上述研究现状, 本文采用多特征提取的双

收稿日期: 2012-07-05; 修回日期: 2012-09-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61175087, 61105033); 国家教育部留学回国人员科研启动基金项目(第40批); 北京市自然科学基金重点项目(KZ201110005004).

作者简介: 王丽佳(1981-), 女, 讲师, 博士生, 从事计算机视觉、目标跟踪的研究; 贾松敏(1964-), 女, 教授, 博士生导师, 从事机器人分散控制、计算机视觉等研究.

目机器人目标跟踪方法. 在机器人静止-目标运动模式下, 利用改进的步态光流图和视角识别目标并初始化颜色模板, 解决了传统的机器人目标跟踪中需要手动框选目标的问题. 启动结束进入机器人运动-目标运动模式下的目标跟踪阶段, 利用 EKF、基于 Hu 矩的头肩模型匹配算法和基于自适应核函数的 CamShift 算法提取目标的运动信息、头肩轮廓和颜色特征. 在跟踪过程中, 根据 Bhattacharyya 系数判断目标的遮挡情况, 当发生遮挡时根据 EKF 的预测进行跟踪, 否则根据 CamShift 算法的搜索结果进行跟踪. 实验表明所提出方法提高了复杂环境下目标跟踪的鲁棒性.

1 系统模型

系统由目标识别(自启动)、目标跟踪和机器人跟随 3 部分组成, 整体流程如图 1 所示. 自启动部分根据改进的步态光流图和视角识别目标并初始化颜色模板. 目标跟踪阶段左右眼协同工作提取目标的运动特征、颜色特征和头肩轮廓特征, 以实现特定目标的跟踪.

2 目标识别

传统的基于颜色信息的移动机器人目标跟踪需要在启动阶段手动框选目标并初始化颜色模板, 当目标所穿衣服颜色改变时需要重新框选目标, 大大降低了系统的灵活性和自适应性. 利用步态特征实现目标识别并自动初始化目标的衣服颜色模板可以解决上述问题. 目前大部分基于步态的身份识别假定在侧面视角下进行, 视角的改变大大降低识别率. 本文采用改进的步态光流图和视角相结合的方法, 当行人的行走方向改变时, 查询数据库中相应视角下的步态光流图并判断其是否为目标, 克服了视角对步态识别的影响, 提高了步态识别率. 图 1 中自启动阶段为机器人静止-目标运动模式下的目标识别流程.

Step 1: 建立目标在各视角下的步态光流图数据

库, 只考虑目标背离机器人行走的情况. Lam 等^[7]采用 Horn-Schunck (HS) 方法计算光流场, 并构造步态光流图以表征步态的运动信息, 但 HS 方法很慢使得该算法的实时性变差. 采用 Lucas-Kanade (LK) 光流法计算连续两帧侧影之间的光流场, 进而构造步态光流图, 在保留了步态的运动特征的同时克服了 HS 光流法实时性差的缺点.

Step 2: 提取步态光流图和视角. 首先利用背景减除法提取行人的侧影图像; 然后将侧影图像归一化为标准尺寸并提取步态周期; 最后提取行人的步态光流图和行走方向^[12], 并根据行走方向确定视角.

Step 3: 识别目标. 根据 Step 2 中提取的视角在数据库中搜索目标在相应视角下的步态光流图, 利用欧氏距离度量行人与目标的步态光流图之间的相似度, 如果该行人跟踪目标则初始化其衣服颜色直方图模板.

3 目标跟踪

基于颜色直方图匹配的 CamShift 算法在不发生遮挡的情况下显示了良好的跟踪性能, 但是当目标被遮挡或背景中存在与目标颜色相似度高的物体时, 跟踪的准确性下降. EKF 可以解决匀速运动目标跟踪过程中的遮挡问题, 但是当目标急停或者突然转弯时跟踪性能不佳. 结合 EKF、头肩模型匹配和 CamShift 算法提取目标的运动特征、头肩模型特征和颜色特征, 以解决复杂环境下的目标跟踪问题. 图 1 中目标跟踪阶段为机器人运动-目标运动模式下目标跟踪流程.

通过目标识别完成了系统的自启动并建立目标的颜色直方图模板. 从下一帧开始, 首先利用双目视觉技术恢复场景的三维信息获得视差图, EKF 预测目标的 3D 位置, 获得目标在视差图上的最优 ROI 并提取前景图像; 然后在前景图像中利用基于 Hu 矩的头肩模型匹配检测并定位目标. 若头肩模型检测失败则用 EKF 跟踪目标, 否则根据头肩位置确定目标上身

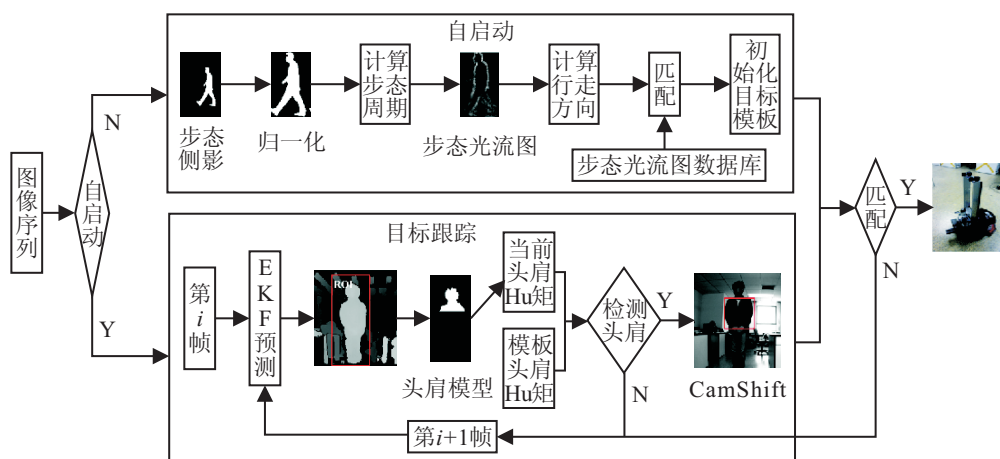


图 1 双目机器人目标跟踪系统整体流程

所在区域并将其作为初始搜索窗口,应用基于自适应核函数的 CamShift 算法搜索最优跟踪窗口. 当背景中存在与目标颜色相似度高的物体时仍能准确跟踪,同时也提高了目标急停或突然转弯时的跟踪性能. 设定高低阈值并根据 Bhattacharyya 系数与阈值的关系判断目标遮挡情况,发生遮挡时 CamShift 算法跟踪失败,根据 EKF 的预测值跟踪目标,解决了短暂遮挡时的跟踪问题.

3.1 扩展卡尔曼滤波器

EKF 是一种简单且易于实现的状态最优估计方法,常用于解决目标被短暂遮挡情况下的跟踪问题.

EKF 的状态向量为 $X_r = [x_r, y_r, z_r, \dot{x}_r, \dot{y}_r]$, 其中: (x_r, y_r, z_r) 为目标在机器人坐标系下的 3D 位置, \dot{x}_r 和 \dot{y}_r 为目标在水平平面上的速度. 在机器人运动-目标运动模式下,根据目标运动模型可以得到机器人坐标系下 t 时刻和 $t+1$ 时刻目标水平位置 (x_r, y_r) 与水平速度 (\dot{x}_r, \dot{y}_r) 的相互关系,有

$$\begin{aligned} x_r^{t+1} &= (x_r^t - \Delta x_r) \cos \Delta\theta + (y_r^t - \Delta y_r) \sin \Delta\theta, \\ y_r^{t+1} &= -(x_r^t - \Delta x_r) \sin \Delta\theta + (y_r^t - \Delta y_r) \cos \Delta\theta, \\ \dot{x}_r^{t+1} &= \dot{x}_r^t \cos \Delta\theta + \dot{y}_r^t \sin \Delta\theta - v, \\ \dot{y}_r^{t+1} &= \dot{x}_r^t \sin \Delta\theta + \dot{y}_r^t \cos \Delta\theta. \end{aligned} \quad (1)$$

进而得到目标的状态方程为

$$X_r^{t+1} = f_t(x_r^t, \text{control}_t) + R_t w_t, \quad (2)$$

其中 $\text{control}_t = [v_l, v_r]$. 过程噪声的协方差矩阵为

$$Q_t = \text{Cov}(w_t) = E[w_t, w_t^T] = \sigma_w^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

假设相机在 t 时刻观测到的目标 3D 位置为 $Y_r^t = (x_r^t, y_r^t, z_r^t)$, 则观测方程为

$$Y_r^t = H_t X_r^t + p_t, \quad (3)$$

其中

$$H_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

观测噪声 p_t 的协方差矩阵为

$$R^t = \text{Cov}(p_t) = E[p_t, p_t^T] = \sigma_p^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

3.2 基于 Hu 矩的头肩模型匹配

因为人体目标的非刚性特点和人体运动的复杂性,难以用一种模型准确地描述人体,但是人体肩部和头部的形状基本稳定且容易区分,而且在复杂环境中不容易被遮挡,所以采用头肩形状来检测人. 根据人体形态学原理提取头肩模型的步骤如下.

Step 1: 通过双目视觉获得左右图像并进行立体

匹配以得到场景的视差图.

Step 2: 通过边缘提取、周长滤波、轮廓填充、形态学处理从视差图中提取人体的二值图像,如图 2(a) 所示.

Step 3: 对二值图像作垂直投影得到垂直投影直方图,如图 2(b) 所示.

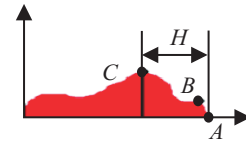
Step 4: 垂直投影直方图中的 A 点为人的头顶点,在 A 点附近搜索局部最大点 C 作为头宽.

Step 5: 取头宽的 2.5~3.0 倍作为头肩模型的高度 H , 截取二值图像中相应高度的图像以提取头肩模型,并对其作水平投影,如图 2(c) 所示.

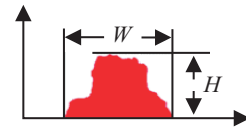
Step 6: 在水平投影直方图中搜索最左点和最右点,计算两点的 X 轴坐标之差作为肩宽 W .



(a) 二值图像



(b) 垂直投影直方图



(c) 水平投影直方图

图 2 头肩模型的提取

采用 Hu 提出的基于区域形状识别的不变矩法进行头肩模型的匹配,利用 7 个不变矩的平移、旋转和尺度的不变性解决目标运动过程中多姿态导致的模型尺寸及其形状变化问题. 利用 SVM 对不同距离、不同姿态的头肩模型和非头肩模型进行分类,得到头肩模型的 7 个标准不变矩^[8]分别为

$$0.685\ 925\ 714, 1.757\ 955\ 71, 2.339\ 888\ 571,$$

$$2.839\ 337\ 142, 5.947\ 205\ 714, 4.138\ 642\ 857,$$

$$7.157\ 368\ 571.$$

3.3 基于自适应核函数的 CamShift 算法

在 HSV 空间依据目标区域的颜色概率分布直方图进行目标跟踪对光照变化具有较强的鲁棒性,但目标与背景颜色相似度高时跟踪效果不理想. 为了更好地解决这一问题,将 Epanechnikov 核函数与目标图像相融合构造自适应核函数. 首先通过限定视差范围去除深度图中的背景图像,对获得的前景图像进行周长滤波、轮廓填充、形态学处理以提取目标,然后

将 Epanechnikov 核函数与目标图像作点乘构造出自适应核函数.

自适应核函数为

$$K_{\text{new}}\left(\left\|\frac{y_0 - x_i^*}{h}\right\|^2\right) = K\left(\left\|\frac{y_0 - x_i^*}{h}\right\|^2\right)BM(x_i), \quad (4)$$

则背景图像处的自适应核函数值为零, 前景图像处其值保持与 Epanechnikov 核函数一致. 采用自适应核函数构造的目标加权颜色直方图模板为

$$\hat{q}_u(y) = C \sum_{i=1}^n K_{\text{new}}\left(\left\|\frac{y_0 - x_i^*}{h}\right\|^2\right)[b(x_i^*) - u], \quad (5)$$

其中

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n K_{\text{new}}\left(\left\|\frac{y_0 - x_i^*}{h}\right\|^2\right)}$$

为归一化系数, $\{x_i^*\}_{i=1,2,\dots,n}$ 为目标模板区域内的像素点, y_0 为模板区域中心. 该方法降低了背景对颜色直方图模板的影响.

当前帧中以图像空间点 y 为中心的候选图像区域内像素点 $\{x_i\}_{i=1,2,\dots,n_h}$ 的加权颜色直方图为

$$\hat{p}_u(y) = C_h \sum_{i=1}^{n_h} K_{\text{new}}\left(\left\|\frac{y - x_i}{h}\right\|^2\right)[b(x_i) - u]. \quad (6)$$

利用 Bhattacharyya 系数度量当前帧图像的加权颜色直方图与模板颜色直方图之间的相似度, 有

$$\hat{\rho}(y) = \rho[\hat{p}(y), \hat{q}] = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(y) \hat{q}_u}. \quad (7)$$

根据头肩模型位置和人体形态学原理确定目标上身所在区域, 并将其作为 CamShift 算法的初始搜索窗口, 该方法解决了目标快速运动时 Bhattacharyya 系数容易陷入局部极大值所造成的跟踪失败问题. 应用 CamShift 算法最大化 Bhattacharyya 系数以搜索被跟踪目标, 步骤如下.

Step 1: 计算当前图像区域内各点的权重

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(\hat{y}_0)}} [b(x_i) - u]. \quad (8)$$

Step 2: 计算候选目标的新位置

$$\hat{y}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_i w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{n_h} w_i g\left(\left\|\frac{\hat{y}_0 - x_i}{h}\right\|^2\right)}. \quad (9)$$

Step 3: 若 $\|\hat{y}_1 - \hat{y}_0\| < \varepsilon$ 则停止, 否则用 y_1 代替 y_0 , 返回 Step 1 继续寻找满足条件的目标位置.

研究表明^[9], 通过监测 Bhattacharyya 系数可以判断目标是否被遮挡. 设定高低两个阈值, 当系数急剧下降并小于最低阈值时目标被全遮挡, 利用 EKF 预测目标位置; 当系数大于最高阈值时目标正常运动; 当系数在两个阈值之间时目标被半遮挡. 后两种情况结合 EKF、基于 Hu 矩的头肩模型匹配和基于自适应核

函数的 CamShift 算法实现目标跟踪.

3.4 算法时间复杂度分析

本文算法将 EKF、基于 Hu 矩的头肩模型匹配和基于自适应核函数的 CamShift 算法相结合, 所以算法的时间复杂度与上述 3 种方法的时间复杂度有关. EKF 的计算复杂度与状态向量的个数有关, 本文状态向量个数为常数 5, 时间复杂度为 $O(1)$; 基于 Hu 矩的头肩模型匹配的时间复杂度为 $O(m)$, 其中 m 为目标头肩模型的像素点点数; 基于自适应核函数的 CamShift 算法的时间复杂度为 $O(n)$, 其中 n 为选定区域内像素点点数. 可见, 本文算法的最大时间复杂度为 $O(m+n+1)$, 算法效率较高, 能满足目标跟踪的实时性要求.

4 实验结果及分析

硬件平台为 Pioneer3-DX 机器人, 视觉系统采用两个 Point Grey 公司的 FLEA2 系列的 FL2-08S2C-C 相机搭建而成, 采样速率为 30 帧/s, 软件采用 VC2008 和 OPENCV 实现.

实验 1 目标识别. 分别对中科院自动化所的 CASIA B 步态数据库中 4 个人的 88 个序列和实验室获得的步态序列进行验证. 采用本文方法得到的错误拒绝率 (FRR) 和错误接受率 (FAR) 如表 1 所示.

表 1 步态识别结果 %

数据	FRR	FAR
CASIA B	7.95	0.00
实验室数据	9.12	0.00

实验室获得步态数据的错误拒绝率较高, 因为其步态侧影的完整性受背景的复杂性影响较大. 目标识别结果如图 3 所示.

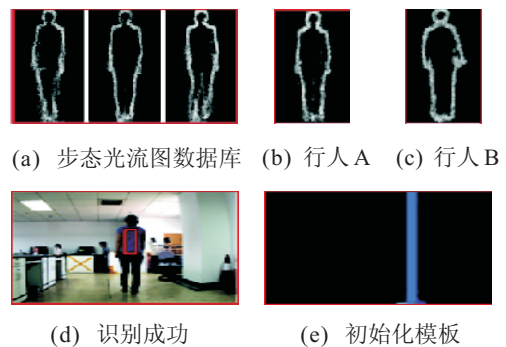


图 3 目标识别结果

实验 2 当背景中存在与目标上衣颜色相似度高的物体时进行跟踪实验. EKF 预测目标在视差图中的 3 维 ROI, 然后对视差图进行预处理以去除 ROI 范围外的背景, 根据头肩模型位置和人体形态学原理确定 CamShift 算法的初始搜索窗口, 最后通过基于自适

应核函数的CamShift算法搜索最优跟踪窗口. 该方法有效地克服了背景对跟踪目标的干扰, 跟踪结果如图4所示.

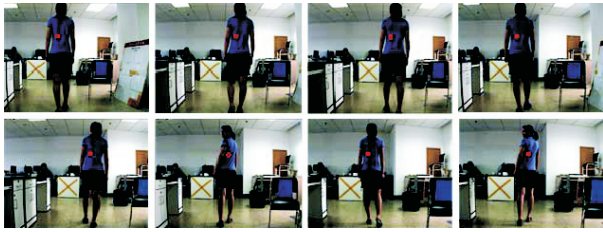


图4 背景中存在与目标颜色相似度高物体时的跟踪结果

实验3 当目标被遮挡时进行跟踪实验结果如图5所示. 目标被半遮挡时新的核函数降低了遮挡物对目标颜色直方图的影响, 提高了目标跟踪性能, 目标丢失时利用EKF预测最优跟踪位置.



图5 遮挡情况下的目标跟踪结果

5 结 论

本文实现了复杂环境下的双目机器人目标跟踪. 在机器人静止-目标运动模式下利用改进的步态光流图作为步态特征, 同时结合视角实现目标识别, 识别成功则完成对其衣服颜色模板的初始化. 该方法不要求人必须面向机器人, 解决了传统机器人目标跟踪系统中需要手动框选目标的问题. 在机器人运动-目标运动模式下根据Bhattacharyya系数判断目标运动状态, 当目标被遮挡时CamShift算法跟踪失败, 将EKF的预测值作为跟踪位置, 解决短暂遮挡情况下的目标跟踪问题; 当背景中存在与目标颜色相似度高物体时, 利用头肩模型位置确定初始搜索窗口, 采用基于自适应核函数的CamShift算法跟踪目标, 提高了跟踪性能. 本文方法提高了复杂环境双目机器人目标跟踪的鲁棒性, 但是目标急停或突然转弯时的跟踪性能还有待进一步提高.

参考文献(References)

- [1] 张娟, 潘建寿, 吴亚鹏, 等. 基于双目视觉的运动目标跟踪与测量[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(25): 191-194. (Zhang J, Pan J S, Wu Y P, et al. Tracking and measurement of moving object in binocular stereo vision[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(25): 191-194.)
- [2] 刘宏鼎, 秦世引. 双目轮式移动机器人的运动目标识别与跟踪[J]. 智能系统学报, 2007, 2(3): 19-24.

- (Liu H D, Qin S Y. Recognition and tracking of moving targets for binocular wheel moving robots[J]. CAAI Trans on Intelligent Systems, 2007, 2(3): 19-24.)
- [3] 沈志华, 赵英凯, 王晓荣, 等. 全自主机器人双目视觉运动检测研究[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(1): 26-27. (Shen Z H, Zhao Y K, Wang X R, et al. Research on ios-vision system of autonomous mobile robot for motion detection[J]. Computer Measurement & Control, 2006, 14(1): 26-27.)
- [4] 何挺, 杨向东, 陈恳. 机器人双目视觉目标跟踪研究[J]. 机械设计与制造, 2008, 36(3): 161-163. (He T, Yang X D, Chen K. Research on target tracking of binocular vision robot[J]. Machinery Design & Manufacture, 2008, 36(3): 161-163.)
- [5] 王亮, 胡卫明, 谭铁牛. 基于步态的身份识别[J]. 计算机学报, 2003, 26(3): 1-9. (Wang L, Hu W M, Tan T N. Gait-based human identification[J]. J of Computers, 2003, 26(3): 1-9.)
- [6] Han J, Bhanu B. Individual recognition using gait energy image[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(2): 316-322.
- [7] Lam T H W, Cheng K H, Liu J N K. Gait flow image: A silhouette-based gait representation for human identification[J]. Pattern Recognition, 2011, 44(4): 973-987.
- [8] 常发亮, 马丽, 乔谊正. 遮挡情况下的视觉目标跟踪方法研究[J]. 控制与决策, 2006, 21(5): 503-507. (Chang F L, Ma L, Qiao Y Z. Study on vision target tracking method under occlusion[J]. Control and Decision, 2006, 21(5): 503-507.)
- [9] 王江涛, 杨静宇. 遮挡情况下基于Kalman均值偏移的目标跟踪[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(18): 4216-4220. (Wang J T, Yang J Y. Object tracking based on Kalman-mean shift in occlusions[J]. J of System Simulation, 2007, 19(18): 4216-4220.)
- [10] 董蓉, 李勃, 陈启美. 基于SIFT特征的目标多自由度Mean Shift跟踪算法[J]. 控制与决策, 2012, 27(3): 399-407. (Dong R, Li B, Chen Q M. Multi-degree-of-freedom mean-shift tracking algorithm based on SIFT feature[J]. Control and Decision, 2012, 27(3): 399-407.)
- [11] Satake J J, Miura J. Stereo-based multi-person tracking using overlapping silhouette templates[C]. 2010 Int Conf on Pattern Recognition. New York: IEEE Press, 2010: 4304-4307.
- [12] Wang Li-jia, Jia Song-min, Li Xiu-zhi, et al. Human gait recognition based on gait flow iamge considering walking direction[C]. IEEE Int Conf on Mechatronics and Automation. New York: IEEE Press, 2012: 1990-1995.