

一种重叠视域多摄像机环境下的 运动目标匹配 SHFSM 算法*

霍阔^{1†}, 李长云¹, 李妍², 赵阳¹

(1. 湖南工业大学 计算机与通信学院, 湖南 株洲 412008; 2. 深圳大学 数学与计算科学学院, 广东 深圳 518000)

摘要: 针对重叠视域下多摄像机间目标匹配问题,提出了一种基于色度特征信息的色度特征区间集合匹配算法。通过分析目标颜色色度分量对光照强度的不变性,依据色度分量直方图定义了色度特征区间,并证明了其相关特性。该算法首先获取目标色度特征区间集合,并依据区间内特征信息像素的数量对特征区间进行排序,最后采用模糊匹配原理对排序的色度特征区间集合进行匹配。实验结果表明,算法匹配正确率可达95%,通过与经典算法对比体现了其准确率高、可靠性强的优点。

关键词: 重叠视域; 目标匹配; 色度特征区间集合匹配; 模糊匹配

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0619-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.084

Algorithm named SHFSM about multi-camera moving object matching in overlapping fields of view

HUO Kuo^{1†}, LI Chang-yun¹, LI Yan², ZHAO Yang¹

(1. School of Computer & Communication, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China; 2. College of Mathematics & Computing Science, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong 518000, China)

Abstract: The key problem of multi-camera object tracking is how to match the same object in overlapping fields of view between different cameras. This paper introduced an algorithm named SHFSM which based on the information of hue feature. By analysing characteristic of hue component, it defined hue features section which named HFS, and proved its characteristic using hue component histogram. Firstly, this algorithm calculated the set of objects' HFS, then sorted the set based on the number of characteristic pixels distributed in HFS. Finally, it matched the set of object sorted by using fuzzy similar matching principle. Results obtained from experiments demonstrate that the algorithm achieves a correct matching rate of 95%. In contrast with classical algorithm, it has high accuracy and good reliability.

Key words: overlapping fields of view; object matching; SHFSM; fuzzy similar matching

0 引言

运动目标的视觉分析一直是近年来计算机视觉领域中备受关注的研究方向, Gavrilu 总结了它的一些主要应用领域, 其中智能监控是一个主要的应用领域^[1]。然而位置固定的单一摄像机本身具有局限性。例如, 当发现异常目标时单一摄像机无法凝视跟踪某一目标, 不能使目标处于图像中的有利位置, 单一摄像机条件下难以实现大范围、多角度、长时间对目标的跟踪以及不易对目标的遮挡进行跟踪监测; 而多摄像机的使用不仅可以扩大视野范围, 还可以从不同的视角解决目标遮挡等问题, 因此多摄像机视频监控逐渐成为目前研究的热点。多摄像机视频监控中目标跟踪的难点是实现对穿越多个摄像机视频中的相同目标进行匹配, 即目标交接。

当前研究较多的是摄像机之间有重叠视域(field of view, FOV)条件下的目标匹配, 重叠视域下多摄像机间目标匹配算

法主要有基于特征匹配(融合)的目标交接算法^[2-5]、基于视野分界线的目标交接算法^[6-8]、基于3D环境和标定摄像机的匹配算法^[9,10]。基于外形特征匹配的目标交接算法是解决多摄像机目标跟踪中交接问题最原始的匹配算法, 但是对于运动目标中的非刚体(如人、动物)来说, 外形会随着目标的不断运动而发生严重形变, 这对使用目标外形特征匹配的算法带来致命的打击。基于摄像机视野分界线的目标交接算法原理简单、易于实现, 但由于新目标进入摄像机时的检测一般存在延时问题, 因此仅利用视野分界线来实行一致性标号非常容易出错。文献[10]提出基于3D环境模型和标定摄像机的方法来解决目标匹配问题。使用摄像机标定可以得到目标在环境模型中的3D坐标信息, 每个目标都能在同一坐标系中找到一个唯一的3D坐标。然而基于3D环境模型的方法需要标定所有摄像机参数, 代价较高。

本文利用SIFT算法及射影变换首先获得摄像机间的重叠

收稿日期: 2012-07-12; **修回日期:** 2012-08-26 **基金项目:** 国家技术创新基金资助项目(11C26214302856); 国家自然科学基金资助项目(6077311); 湖南工业大学研究生创新基金资助项目(CX1212)

作者简介: 霍阔(1986-), 男(通信作者), 河北辛集人, 硕士研究生, 主要研究方向为智能信息处理(hawke1986@126.com); 李长云(1972-), 男, 湖南耒阳人, 教授, 博士(后), 主要研究方向为可信软件和软件动态演化; 李妍(1987-), 女, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理; 赵阳(1987-), 男, 河南太康人, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式系统。

视域,提出了一种基于色度特征信息的色度特征区间集合匹配算法 SHFSM,实验证明该算法对解决多摄像机间目标匹配问题是可行、可靠的。

1 重叠视域

1.1 SIFT 特征点

尺度不变特征转换(scale-invariant feature transform, SIFT)是一种特征匹配算法,由 Lowe 在 2004 年总结了现有基于不变量技术的特征检测方法,并正式提出的一种基于尺度空间的对图像缩放、旋转甚至仿射变换保持不变性的图像局部特征描述算子,即 SIFT^[11,12]。每个关键点包含位置、所处尺度以及方向三个信息。

当具有重叠视域的两幅背景图像的特征点生成之后,采用关键点特征向量的欧式距离作为两幅图像中关键点的相似性判定度量。对于每个关键点都可以产生 128 个数据,从而可以生成 128 维的特征向量 $R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{i128})$,因此两幅图像中任意两关键点的欧氏距离为 $d(R_i, S_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{128} (r_{ij} - s_{ij})^2}$ 。得到配对各关键点的最近距离 $d(R_i, S_i)$ 除以次最近距离 $d(R_i, S_k)$ 要小于某个阈值 α 才算匹配成功。因此降低阈值 α , SIFT 匹配点数会减少,但更稳定准确。

关键点的匹配可以采用穷举法来完成,但是耗费时间太长,本文采用 kd 树来完成搜索。搜索的内容是以目标图像的关键点为基准,搜索与目标图像的特征点最邻近的原图像特征点和次邻近的原图像特征点。

生成的 SIFT 匹配点会有误配点。本文采用随机抽样一致(random sample consensus, RANSAC)算法清除其中的误配点。RANSAC 是一种鲁棒性的参数估计方法,其实质是一个反复测试,不断迭代,最终找出最优匹配的过程。

1.2 单应矩阵

对于不同摄像机对同一目标的拍摄操作可以理解为同一个摄像机在三维空间经过平移、旋转对同一目标进行的拍摄。由计算机图形学射影几何理论可知,具有重叠视域的两幅图像的重叠部分存在一一对应关系,并且这种对应关系可以用一个称为单应矩阵的射影变换矩阵 H 来表示。

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: H 为单应矩阵, (x, y) 与 (x', y') 为两幅背景图像中的匹配点。 H 中 h_{33} 一般取值为 1,因此从两幅背景图像中取合适的 4 对匹配点就可以求解出另外的 8 个参数,确定一个单应矩阵。通过单应矩阵可以获得两幅背景图像的重叠视域及其视野分界线,如图 1 所示。



图 1 多摄像机重叠视域及视野分界线

2 SHFSM 算法

目标匹配经常利用目标的特征(如运动目标的形状、轮廓

以及颜色特征)进行匹配。但在多摄像机环境下由于不同摄像机是从不同角度对目标进行拍摄,所以以运动目标的形状、轮廓特征很难对同一目标进行匹配。由于颜色特征具有很好的区分性,不因目标移动而改变,因此基于颜色特征的方法在目标匹配中用得最多。而一般依据颜色特征对目标进行匹配所采用的色彩空间是 RGB 色彩空间,RGB 色彩空间的三个分量 R, G, B 都包含了足够的颜色信息。但是不同摄像机下由于光照强度、摄像机参数等因素的影响,使得分布在两个不同摄像机下的目标颜色饱和度与亮度会有很大的变化。在图像分析算法中,以色度作为特征量对目标有较好的区分效果,因为不同光照环境下,运行目标的亮度可能会不一样,但是色度是不变的。

色度分量直方图是一种概率统计的方法,具有旋转不变性和缩放不变性等特点,在图像处理中应用广泛,所以本文采用目标色度分量直方图的色度信息来对目标进行匹配。下列公式会从 RGB 色彩空间转换到 HSV(色调(H)、饱和度(S)、亮度(V))色彩空间。

$$H = \begin{cases} \arccos\left(\frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right) & R \neq G \text{ 或 } R \neq B \\ 2\pi - \arccos\left(\frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}}\right) & B > G \end{cases} \quad (2)$$

因此可以得到不同摄像机环境下每个运动目标的色度分量直方图。

2.1 色度特征区间的定义

在运动目标的色度分量直方图中,目标一般会有几种不同的颜色分布,如运动人体上半身穿红色上衣,下半身穿黑色下衣,脚上穿白色鞋,这样运动目标色度分量直方图将会体现出三种色度分布,而这三种色度将分布在三个聚集的区间。

定义 1 在色度分量直方图中,令 $S_{k,N} = \sum_{m=k}^{k+N-1} \text{Hist}[m]$, $A_{k,N} = \frac{S_{k,N}}{N}$, $k \in [0, 360 - N]$, 如果 $\forall x \in [0, 360 - N]$ 都有 $S_{k,N} \geq S_{x,N}$, 并且满足 $A_{k,N} \leq A_{k+1,N}$, $A_{k,N} \leq A_{k-1,N}$ 及 $A_{k,N} \leq A_{k-1,N+1}$, 则称区间 $[k, k+N-1]$ 为该图像的主色度特征区间,区间长度为 N , 区间 $[k, k+N-1]$ 记为 C_1 。

定义 2 在色度分量直方图中已知图像的主色度特征区间为 $[M, M+L]$, 令 $S_{k,N} = \sum_{m=k}^{k+N-1} \text{Hist}[m]$, $A_{k,N} = \frac{S_{k,N}}{N}$, $k \in [0, M-N+1] \cup [M+L, 360-N]$, 如果 $\forall x \in [0, M-N+1] \cup [M+L, 360-N]$ 都有 $S_{k,N} \geq S_{x,N}$, 并且满足 $A_{k,N} \leq A_{k+1,N}$, $A_{k,N} \leq A_{k-1,N}$ 及 $A_{k,N} \leq A_{k-1,N+1}$, 则称区间 $[k, k+N-1]$ 为该图像的次色度特征区间,区间长度为 N , 区间 $[k, k+N-1]$ 记为 C_2 。

同上还可以定义出 C_3, C_4 等色度特征区间。

由直方图的定义可以知道,目标的主要色度信息聚集在色度特征区间中。假设分布在色度特征区间中的色度信息像素服从高斯分布,那么服从高斯分布的色度信息像素总和并不是与色度特征区间内像素数量总和成正比例关系,色度特征区间长度 N 是有限的,即色度特征区间内像素数量总和只是其中一部分。

定理 1 分布在色度特征区间的该类色度信息像素数量

之和正比于 $M \times \sigma$ 。其中, M 为分布在色度特征区间像素数量的最大值, σ 为色度特征区间分布像素的方差。

证明 设色度特征区间的像素分布函数为

$$p(x) = M \times \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2 \times \sigma^2}\right) \quad (3)$$

所以,分布在色度特征区间的目标色度数量之和为

$$\text{sum} = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx \quad (4)$$

由正态分布积分可以得到

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2 \times \sigma^2}\right) dx = 1 \quad (5)$$

所以

$$\text{sum} = M \times \sqrt{2\pi}\sigma \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2 \times \sigma^2}\right) dx = \sqrt{2\pi}M \times \sigma \quad (6)$$

其中: M 为高斯分布函数 $p(x)$ 在 $x = u$ 时取得的最大值,即色度特征区间内直方图的最大值; σ 为 $p(x)$ 函数的方差,即色度特征区间分布像素方差。

2.2 SHFSM 算法步骤

由于色度特征区间的像素服从高斯分布,而高斯分布函数是中间波峰处最大,由波峰向两边呈递减变化,因此下列算法可以获得目标的色度特征区间集合。

a) 设定搜索窗口宽度 W ($W < N$, N 为色度特征区间长度),在色度分量直方图中搜索满足 $\text{sum}_{[W_{\text{left}}, W_{\text{left}} + W - 1]}$ 最大的窗口区间 ($\text{sum}_{[W_{\text{left}}, W_{\text{left}} + W - 1]}$ 表示为区间 $[W_{\text{left}}, W_{\text{left}} + W - 1]$ 像素之和, W_{left} 为窗口区间左侧起点)。

b) 取搜索步长为 R ($R \leq W$),从窗口区间左侧 W_{left} 进行搜索,如果满足条件 $\text{sum}_{[W_{\text{left}} - R, W_{\text{left}} - 1]} < \text{sum}_{[W_{\text{left}}, W_{\text{left}} + R - 1]}$,则将窗口区间左侧左移 R ,继续执行 b),否则执行 c)。

c) 取搜索步长为 R ($R \leq W$),从窗口区间右侧 W_{right} 进行搜索,如果满足条件 $\text{sum}_{[W_{\text{right}} - R, W_{\text{right}} - 1]} > \text{sum}_{[W_{\text{right}}, W_{\text{right}} + R - 1]}$,则将窗口区间右侧右移 R ,继续执行 c),否则执行 d)。

d) 此时可以得到区间 $[W_{\text{left}}, W_{\text{right}}]$,记为目标的一个色度特征区间,区间长度 N 为 $W_{\text{right}} - W_{\text{left}} + 1$ 。将色度分量直方图中 $[W_{\text{left}}, W_{\text{right}}]$ 像素数量标记为 0 并去除区间 $[W_{\text{left}}, W_{\text{right}}]$,重复 a) ~ d) 获取其他色度特征区间,并标记该区间为 C_i ($i = 1, \dots, n$)。

e) 此时可以获得一个色度特征区间集合 $\text{section} = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 。由定理 1 可以知道,每个色度特征区间的像素数量之和正比例于 $M \times \sigma$,因此依据每个色度特征区间的像素数量对色度特征区间集合 section 进行排序可以得到 $\tilde{\text{section}} = \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_n\}$ 。重复 a) ~ e) 获得其他目标的色度特征区间集合。

f) 目标匹配。详见 2.3 节。

SHFSM 算法的主要工作是获得色度特征区间集合 section ,这里考虑算法运行的最坏情况,即每个点作为一个区间,那么获取色度特征区间集合 section 的时间复杂度就与冒泡排序法一样,所以其时间复杂度为 $O(n^2/2)$ 。

2.3 目标匹配

由 2.2 节可以得到每个运动目标的色度特征区间集合 $\tilde{\text{section}}$,色度特征区间集合中都是依据像素数量排序的色度特征区间。由于相同目标在不同摄像机下的色度组成成分以及

比例是不会变化的,所以对不同摄像机下重叠视域内运动目标的色度特征区间集合 $\tilde{\text{section}}$ 进行匹配即可。

设 $\tilde{\text{section}} = \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_n\}$ 是一摄像机重叠视域内某一目标的色度特征区间集合, $\tilde{\text{section}}_{\text{other}} = \{\tilde{C}_{1\text{other}}, \tilde{C}_{2\text{other}}, \dots, \tilde{C}_{n\text{other}}\}$ 是另一摄像机重叠视域内某一目标的色度特征区间集合。要判断目标的相似程度,首先要选取相似性度量,然后再用匹配算法进行匹配求解。相似性度量是衡量目标匹配与否的标准。本文选用模糊数学中贴适度作为相似性度量,对目标的每个色度特征区间进行衡量匹配。由于色度特征区间的像素服从高斯分布,所以选择的隶属度函数为

$$u_{\tilde{C}_i} = \exp\left(-\left|\frac{x(u) - u_i}{\sigma_i}\right|\right) \quad (7)$$

其中: u_i 与 σ_i 为色度特征区间的均值与方差, $x(u)$ 为匹配目标的色度特征区间均值。

在本文选择目标匹配的贴适度函数为

$$\sigma(\tilde{C}_i, \tilde{C}_{i\text{other}}) = \frac{1}{2} [\tilde{C}_i \cdot \tilde{C}_{i\text{other}} + (\tilde{C}_i \odot \tilde{C}_{i\text{other}})^c] \quad (8)$$

其中: $\tilde{C}_i \cdot \tilde{C}_{i\text{other}} = \bigvee_{j=1}^m (\tilde{C}_i \wedge C_{i\text{other}})$ 是两模糊子集的内积, $\tilde{C}_i \odot \tilde{C}_{i\text{other}} = \bigwedge_{j=1}^m (\tilde{C}_i \vee \tilde{C}_{i\text{other}})$ 是两模糊子集的外积。可得到两目标第 i 色度特征区间的贴适度为

$$\sigma(\tilde{C}_i, \tilde{C}_{i\text{other}}) = \frac{1}{2} \left[\exp\left(-\left|\frac{u_i - u_{i\text{other}}}{\sigma_i - |\sigma_i - \sigma_{i\text{other}}|}\right|\right) + 1 \right] \quad (9)$$

其中: u_i 与 σ_i 为色度特征区间 $\tilde{C}_i$ 的均值与方差, $u_{i\text{other}}$ 与 $\sigma_{i\text{other}}$ 为待匹配目标的色度特征区间 $\tilde{C}_{i\text{other}}$ 的均值与方差。

由于每个色度特征区间的长度、数量都不同,本文经过综合考虑,依据特征区间对应的像素数对色度特征区间的贴适度进行加权平均:

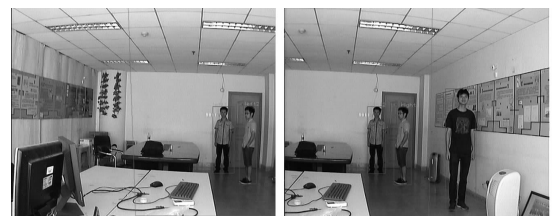
$$P(\text{obj}, \text{obj}_{\text{other}}) = \sum_{i=1}^n w_i \times \sigma(\tilde{C}_i, \tilde{C}_{i\text{other}}) \quad (10)$$

其中: $w_i = \frac{M_i \times \sigma_i}{\sum_{k=1}^n M_k \times \sigma_k}$ 为贴适度的权重,与该色度特征区间的像素数量之和有关。

3 实验结果与分析

本文所有算法是由 C++ 与 MATLAB 编程实现的,采用 VS2005 软件开发平台结合 Intel 公司 OpenCV 开源代码库及 MATLAB6.5 仿真平台。视频采集设备是 SONY 公司生产的型号为 SSC-DC593P 摄像机。

利用 SIFT 算法可以得到图 2 的结果,并且可以算出左视频图像目标 left1、left2 在重叠视域中,右视频图像目标 right2 及 right3 在重叠视域中,因此可以得到不同摄像机下重叠视域内各目标的色度分量直方图,如图 3 所示。



(a) 左视频图像运动目标

(b) 右视频图像运动目标

图 2 多摄像机重叠视域内运动目标

由本文提出的色度特征区间算法可以得到每个目标的色度

特征区间集合。为降低复杂度,在实验中取section集合前三个特征区间进行匹配。本文实验搜索窗口 $W=10$,步长 $R=10$,因此通过本文提出的算法可以获得如表1、2所示的实验参数。

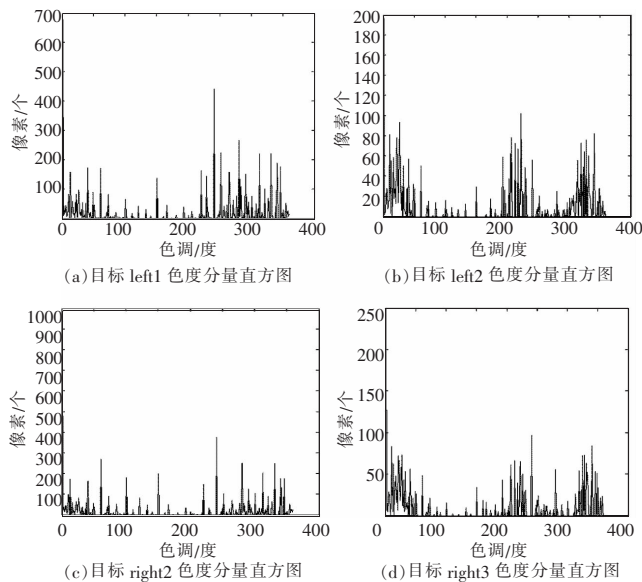


图3 目标的色度分量直方图

表1 左摄像机目标实验参数

参数	left1			left2		
	M	σ	区间	M	σ	区间
$\tilde{C}_1$	88.5	11.65	[0,39]	42.9	16.14	[9,98]
$\tilde{C}_2$	50.3	6.90	[267,296]	30.9	16.84	[269,358]
$\tilde{C}_3$	50.7	6.66	[231,260]	23.0	16.89	[177,266]

表2 右摄像机目标实验参数

参数	right2			right3		
	M	σ	区间	M	σ	区间
$\tilde{C}_1$	114.3	11.15	[0,39]	38.2	14.89	[2,71]
$\tilde{C}_2$	41.7	8.41	[267,306]	33.4	9.14	[295,344]
$\tilde{C}_3$	42.0	5.65	[231,260]	23.6	12.67	[167,236]

由本文的目标间匹配函数式(10)进行匹配计算可以得到left1与right2最匹配,left2与right3最匹配。实验结果如表3所示。

表3 目标匹配相似度结果

目标	left1	left2
right2	0.860 7	0.538 8
right3	0.558 5	0.875 5

本文采用原颜色直方图匹配(histogram matching, HM)算法与SHFSM算法对重叠视域内的两个目标进行准确率分析,分别取左右摄像机中20帧图像对两个目标进行20次匹配。因为本文篇幅有限,图4只显示两种方法与left2匹配结果。由图4可以看出HM算法20次匹配结果中13次匹配正确,正确率65%;SHFSM算法20次匹配结果中19次匹配正确,正确率95%,所以依据实验结果可以说明本文算法的有效性 & 准确性。

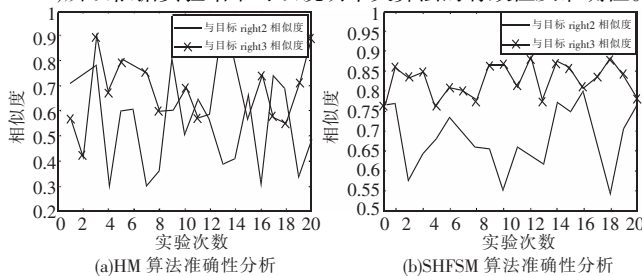


图4 两种方法准确性分析

4 结束语

本文在SIFT算法及射影变换所获得的摄像机间重叠视域基础之上,提出了一种基于色度特征信息的色度特征区间集合匹配SHFSM(set of hue features section matching)算法。该算法首先获取目标色度特征区间集合,并依据区间内的特征信息像素的数量对特征区间进行排序,最后对排序色度特征区间集合进行匹配。实验结果表明,该算法能较理想地解决上述问题,并有一定的可靠性、准确性。

参考文献:

- [1] CUI Y, WENG J. Hand segmentation using learning-based prediction and verification for hand sign recognition [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington DC: IEEE Computer Society, 1997: 88-93.
- [2] HU Wei-ming, HU Min, ZHOU Xue, et al. Principal axis-based correspondence between multiple cameras for people tracking [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(4): 663-671.
- [3] LEE L, ROMANO R, STEIN G. Monitoring activities from multiple video streams: establishing a common coordinate frame [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 758-768.
- [4] STARK M, SCHIELE B. How good are local features for classes of geometric objects [C]//Proc of the 11th International Conference on Computer Vision. 2007: 1-8.
- [5] COMANICIU D, RAMESH V, MEER P. Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2000: 142-149.
- [6] WE G, PETRUSH V, GERSHMAN A. Multiple-camera people localization in a cluttered environment [C]//Proc of the 5th International Workshop on Multimedia Data Mining. 2004: 52-60.
- [7] UTSUMI A, TETSUTANI N. Human tracking using multiple-camera based head appearance modeling [C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 2004: 657-662.
- [8] HAN S K, SHAH M. Consistent labeling of tracked objects in multiple cameras with overlapping fields of view [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1355-1360.
- [9] KELLY P, KATKERE A, KURAMURA D, et al. An architecture for multiple perspective interactive video [C]//Proc of the 3rd ACM International Conference on Multimedia. 1995: 201-212.
- [10] ZHAO Tao, AGGARWAL M, KUMAR R, et al. Real-time wide area multi-camera stereo tracking [C]//Proc of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005: 976-983.
- [11] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [12] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//Proc of International Conference on Computer Vision. 1999: 1150-1157.
- [13] 杨俊, 战荫伟. 基于SIFT及射影变换的多摄像机目标交接 [J]. 中国体视学与图像分析, 2011, 16(1): 174-180.
- [14] 党建武, 宗岩, 王阳萍. 基于SIFT特征检测的图像拼接优化算法研究 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 329-332.
- [15] 申明军, 欧阳宁, 莫建文, 等. 多摄像机环境下的目标跟踪 [J]. 现代电子技术, 2009, 299(12): 61-65.