

文章编号 1004-924X(2012)11-2500-07

## 改进的步态光流图与视角相结合的身份识别

贾松敏<sup>1\*</sup>, 王丽佳<sup>1,2</sup>, 王 爽<sup>1</sup>, 李秀智<sup>1</sup>

(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, 河北 石家庄 050000)

**摘要:** 提出将改进的步态光流图(LK-GFI)与视角相结合的方法来解决步态识别易受视角影响的问题。该方法采用 Lucas-Kanade (LK)光流法获得连续两帧侧影图像间的光流场,并构造步态特征图像 LK-GFI,利用成像原理计算人的行走方向以确定视角。首先,离线建立目标在各视角下的 LK-GFI 数据库;然后,提取待识别人的当前视角和 LK-GFI;最后,用欧式距离度量同一视角下待识别人与目标的 LK-GFI 之间的相似性。分别采用 CASIA 数据库和实际室内获得的步态序列对该方法进行了验证。结果显示,错误拒绝率分别为 7.95%和 9.12%,与采用传统的步态能量图(GED)相比分别降低了 12.5%和 14.45%;与采用步态光流图(GFD)相比分别降低了 7.77%和 6.74%。该方法识别准确性高,实时性强,对多视角有较强的鲁棒性。

**关键词:** 身份识别;步态光流图;视角;侧影;数据库

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122011.2500

## Personal identification combining modified gait flow image and view

JIA Song-min<sup>1\*</sup>, WANG Li-jia<sup>1,2</sup>, WANG Shuang<sup>1</sup>, LI Xiu-zhi<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Information and 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)

\* Corresponding author, E-mail: jsm@bjut.edu.cn

**Abstract:** A method combined the modified Lucas-Kanade Gait Flow Image (LK-GFI) with the view was proposed to solve the problem that personal identification based on a gait is sensitive to view change. The Lucas-Kanade optical method was used to compute the optical flow between two silhouettes to construct LK-GFI, and the view was obtained according to the walking direction of the person. The LK-GFI database for the target at different views was established, then the new person's view and LK-GFI were extracted. At last, the similarity between the new person's LK-GFI and the target's LK-GFI at the same view was computed by the Euclidian distance method. The performance of this method was evaluated on the data in the CASIA database and the data obtained in indoor lab

**收稿日期:** 2012-06-21; **修订日期:** 2012-08-30.

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(No. 61175087; 61105033); 国家教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(第 40 批); 北京市自然科学基金重点项目(B类, No. KZ201110005004)

environment, and the False Rejection Rate (FRR) is 7.95% and 9.12% respectively. It is reduced by 12.5% and 14.45% respectively compared with that of the Gait Energy Image (GEI), and by 7.77% and 6.74% respectively compared with that of the Gait Flow Image (GFI). The proposed method has high recognition accuracy, strong real-time and the robustness to view changes.

**Key words:** personal identification; Lucas-Kanade Gait Flow Image(LK-GFI); view; silhouette; database

## 1 引言

目前在身份识别领域应用比较成熟的生物特征有指纹,声音,脸<sup>[1]</sup>,虹膜等<sup>[2]</sup>,这些特征都要求近距离(脸,虹膜)或接触性(指纹)的感知。与这些生物特征相比,步态具有独特性、非侵犯性、难伪装、远距离可识别等优点,近年来受到越来越多的关注<sup>[3]</sup>。

步态识别是指根据人的走路姿态进行身份识别<sup>[4]</sup>,其主要分析方法包括基于模型和非基于模型 2 类。前者根据解剖学原理对人体建立静态或动态模型,将提取出的模型参数(躯干质心、下肢、躯干比率等)与步态序列中的每一帧图像匹配<sup>[5]</sup>。由于识别过程中需要对图像逐帧处理致使此类方法实时性较差。后者是在相邻帧之间建立起内在关联,并采用统计方法获得表征人体运动模式的特征图像<sup>[6]</sup>。该类方法可提取出人体运动过程中的动态信息和静态信息,其中步态能量图(GEI)<sup>[7]</sup>、运动侧影轮廓模板<sup>[8]</sup>、静态侧影模板<sup>[8]</sup>和步态光流图(GFI)等表征方法在识别中取得了良好的效果。Lam 采用 Horn-Schunck(HS)光流法计算一个周期内相邻 2 帧侧影间的光流场,构造出表征步态动态特性的 GFI<sup>[9]</sup>,然而 HS 方法运算时间长使得该算法的实时性较差。文献[7-9]是在假定视角不变的情况下进行步态识别,并没有充分利用各视角图像序列之间的关联性。多视角的步态识别是一个较热门的研究方向,Huang<sup>[10]</sup>等提出对各个视角的结果赋予不同权重的融合方式;Kusakunniran<sup>[11]</sup>等通过视角转换模型将不同视角下的步态特征转换到一个共同的视角上;Han<sup>[12]</sup>采用基于模型的方法提取步态特征并结合行走方向对各视角下的步态分别识别。在以上方法中,识别结果都受多视角的影响较大。本文提出将 LK-GFI 和视角相结合的身份识别方法,以克服多视角对识别结果的影响。用

LK 光流法改进 GFI 获得步态特征图像 LK-GFI,在保留了人体动态信息的同时提高了算法的实时性。根据人在步态周期的起始和终止位置时的坐标变化与高度变化估计行走方向并确定视角。在识别阶段用欧式距离度量相同视角下待识别人与目标的 LK-GFI 之间的相似性。最后通过 CASIA 数据库和实际室内环境获得的步态序列分别对本文的方法进行验证,结果表明该方法有效地克服了多视角对识别结果的影响并提高了算法的实时处理能力。

## 2 步态光流图的改进

### 2.1 预处理

步态特征 LK-GFI 以单个步态周期内的侧影图像为基础,为了获得高质量的步态侧影并提高步态特征的识别能力,需要对原始的图像序列进行预处理。本文的预处理过程分为以下几个步骤:

(1)运动目标分割。采用背景减除法将运动目标从背景图像中分割出来<sup>[13]</sup>,并在设定的阈值下进行二值化操作得到人体步态侧影,其中步态侧影区域为白色,背景区域为黑色。

(2)形态学处理<sup>[14]</sup>。背景减除法得到的步态侧影图像因受光照等干扰因素的影响含有噪声和空洞,故使用形态学算子进一步滤除噪声和填充小的空洞,同时进行连通性分析以获得质量较高的步态侧影。

(3)侧影图像归一化。为了消除由于人体场景深度造成的侧影图像尺寸变化对后期特征提取的影响,将侧影图像归一化为标准尺寸。

(4)步态周期提取。步态具有稳定的周期性运动特点,在一个步态周期内侧影的宽度和高度随时间呈规律性变化。本文利用步态序列中人体侧影的高宽比变化对步态进行周期性分析,将步

态周期定义为步态侧影的高宽比连续取 3 个极小值时的时间间隔。图 1 为某步态序列在一个步态周期内的侧影图像。其中第 1、12、24 帧步态侧影的高宽比最小,故一个步态周期为第 1 帧至第 24 帧步态侧影之间的时间间隔。

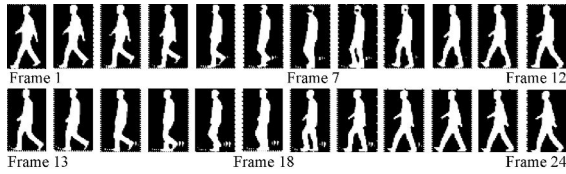


图 1 一个步态周期内的侧影图像

Fig. 1 Silhouettes in a gait cycle

## 2.2 步态光流图的改进

经过预处理,从原始的步态序列中提取侧影并确定步态周期。LK-GFI 是在单个步态周期内根据相邻两帧侧影图像间的光流场而构造的时空步态表征。Lam<sup>[9]</sup>利用 HS 方法计算 GFI 的光流场并在实验中取得了良好的识别效果,然而受运算速度的影响该方法不能满足实时性要求。利用 LK 方法运算速度快特点对 GFI 进行改进,获得的 LK-GFI 提高了算法的实时性同时保留了更多的步态运动信息。图 2 是构造 LK-GFI 的流程图,相邻两帧侧影间的光流场由下式得到:

$$(F_u(t, i), F_v(t, i)) = f_{\text{opt}}(S(t, i), S(t+1, i)), \quad (1)$$

其中:  $f_{\text{opt}}(\cdot)$  表示利用 LK 方法计算出的光流场,  $F_u(t, i)$  为光流场的水平分量,  $F_v(t, i)$  为光流场的垂直分量,  $S(t, i)$  为第  $i$  个步态周期内第  $t$  帧的侧影图像。由光流场的水平分量和垂直分量获得光流场的幅值图像,其计算方法如下:

$$F_A(t, i) = \|(F_u(t, i), F_v(t, i))\| = \sqrt{(F_u(t, i))^2 + (F_v(t, i))^2}. \quad (2)$$

二值化光流场幅值图像  $F_A(t, i)$ , 获得二值光流图像如下:

$$F_B(t, i) = \begin{cases} 1 & \text{if } F_A(t, i) \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (3)$$

二值光流图包含了连续两帧侧影图像间的运动信息。在图 2 的二值光流图中,白色的像素点表示连续两帧间的步态侧影在该点存在运动,黑色像素点表示无相对运动。用统计方法处理一个步态周期内的二值光流图像序列,获得改进的步态光流图 LK-GFI,其计算方法如下:

$$f_{\text{GFI}}(i) = \frac{\sum_{t=1}^{N-1} F_B(t, i)}{N}, \quad (4)$$

其中  $N$  是步态序列的周期。

LK-GFI 反映了整个步态周期中侧影的变化,表征了人体的动态特征。图中具有较高亮度像素值的点表示在该点位置人体运动发生的频率相对较高(上肢和下肢等部位)。

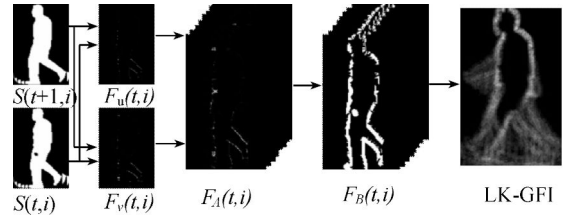


图 2 LK-GFI 的生成流程图

Fig. 2 Flow chart of generating the LK-GFI

## 3 视角的确定

视角问题是步态识别中一个富有挑战性的课题,视角的变化影响步态识别效果。文中视角被看作相机静止时人的行走方向。设定人沿着光轴靠近相机时的行走方向为  $0^\circ$ , 方向角度沿着顺时针逐渐增大, 当人平行于相机从场景的右侧走向左侧时, 行走方向为  $90^\circ$ 。建立视角与行走方向之间的内在联系, 通过对行走方向的估计确定视角。

根据相机成像原理和单个步态周期内人在起始和终止位置时的坐标变化与高度变化估计行走方向。将行走方向分为 4 类, 如图 3 所示: (1) 人从场景的右侧走向左侧, 且逐渐靠近或平行于相机; (2) 人从场景的右侧走向左侧, 且逐渐远离相机, 或沿着光轴远离相机; (3) 人从场景的左侧走向

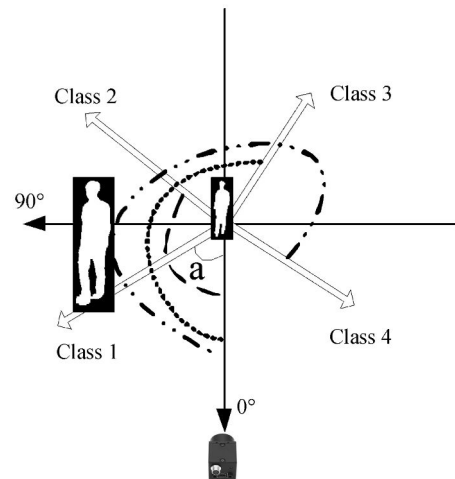


图 3 行走方向示意图

Fig. 3 Walking direction

向右侧,且逐渐远离或平行于相机;(4)人从场景的左侧走向右侧,且逐渐靠近相机,或沿着光轴靠近相机。行走方向的计算方法如下:

类别 1:人在起始位置时的横坐标大于在终止位置时的横坐标,当逐渐靠近相机时,其在相机成像平面的侧影高度逐渐变大,平行于相机行走时其高度不变。即:  $h_b \leq h_e, x_b > x_e$ 。行走方向为:

$$\alpha = 90^\circ - \left| \arctan \frac{f \times (h_b - h_e)}{h_b x_e - h_e x_b} \right|, \quad (5)$$

其中:  $f$  是相机焦距,  $x_b$  为人在起始位置的横坐标,  $x_e$  为人在终止位置的横坐标,  $h_b$  为在起始位置处人在相机成像平面的侧影高度,  $h_e$  为在终止位置处人在相机成像平面的侧影高度。

类别 2:人在起始位置时的横坐标大于在终止位置时的横坐标,且侧影高度逐渐变小。当人沿着光轴远离相机时,其在起始和终止位置时的横坐标不变,侧影高度逐渐变小。即  $h_b > h_e, x_b \geq x_e$ 。行走方向为:

$$\alpha = \left| \arctan \frac{f \times (h_b - h_e)}{h_b x_e - h_e x_b} \right| + 90^\circ. \quad (6)$$

类别 3:  $h_b \geq h_e, x_b < x_e$ ,行走方向为:

$$\alpha = 270^\circ - \left| \arctan \frac{f \times (h_b - h_e)}{h_b x_e - h_e x_b} \right|. \quad (7)$$

类别 4:  $h_b < h_e, x_b \leq x_e$ ,行走方向为:

$$\alpha = \left| \arctan \frac{f \times (h_b - h_e)}{h_b x_e - h_e x_b} \right| + 270^\circ. \quad (8)$$

在  $0 \sim 360^\circ$  内设定 21 个特殊视角 ( $0^\circ, 18^\circ, \dots, 360^\circ$ ),行走方向划分为 21 个区间,建立起视角和行走方向的对应关系,如表 1 所示,即在区间  $9 \sim 27^\circ$  内的行走方向对应视角为  $18^\circ$ 。

表 1 视角与行走方向的关系

Tab.1 Relationship between views and Walking Directions (WD)

行走方向/ $^\circ$	0~9	9~27	27~44	44~62	62~80	80~98
视角/ $^\circ$	0	18	36	54	72	90
行走方向/ $^\circ$	98~116	116~134	134~152	152~170	170~188	
视角/ $^\circ$	108	126	144	162	180	
行走方向/ $^\circ$	188~206	206~224	224~242	242~260	260~278	
视角/ $^\circ$	198	216	234	252	270	
行走方向/ $^\circ$	278~296	296~314	314~332	332~350	350~360	
视角/ $^\circ$	288	306	324	342	360	

## 4 实验结果及分析

为了测试本文方法的有效性,分别用中科院 CASIA 数据库和实际室内采集的步态序列进行验证,实验流程如图 4 所示。首先离线建立目标在各视角下的 LK-GFI 数据库。接着对视频图像预处理获得归一化的步态侧影图像并计算步态周期。然后在单个周期内用统计方法构造步态特征图像 LK-GFI,同时估计行走方向并确定人与相机的视角。在识别阶段,结合待识别人的视角在数据库中查找出相应的 LK-GFI。最后用欧式距离度量相同视角下目标与待识别人的 LK-GFI 间的相似性。

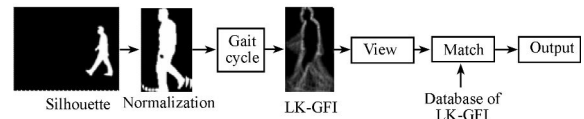


图 4 步态识别流程图

Fig.4 Flow chart of gait recognition

### 4.1 基于 CASIA 数据库的步态识别

CASIA 步态数据库 B 是一个大规模多视角的数据库,如图 5 所示。该数据库为相机与行人平行的角度下拍摄获得,包含 124 个人的步态序列,每个人有 11 个视角及 3 种行走模式(背包、穿外套、正常)。实验通过软件 VC2008 实现,采用数据库中 11 个视角下的正常行走模式,根据表 1 将行走方向  $0^\circ \sim 180^\circ$  划分为 11 个区域并分别与数据库中的 11 个视角相对应。预先离线建立目标在 11 个视角下的 LK-GFI 数据库(CASIA 中编号为 001 的 nm-02 作为目标)。用本文方法对

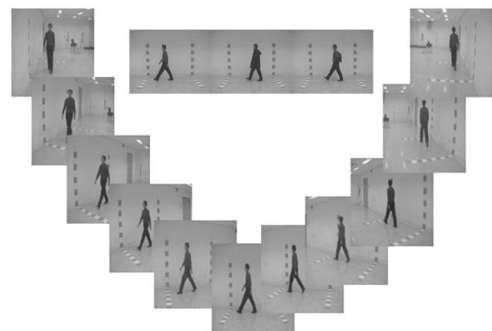


图 5 CASIA B 数据库中步态序列

Fig.5 Gait sequence in CASIA B database

88 个序列进行验证,行走方向的估计结果如表 2 所示,表 3 为计算 GFI 和 LK-GFI 所耗时间,表 4 为采用本文方法的错误拒绝率(False Rejection Rate,FRR)和错误接受率(False Acceptance Rate,FAR),步态特征分别采用传统的 GEI、GFI 和 LK-GFI。

表 2 行走方向的识别结果

Tab. 2 Recognition results of walking direction ( $^{\circ}$ )

序列	0	18	36	54	72	90
nm-01	0.8	18.4	35.7	50.5	69.9	87.7
nm-03	0.3	19.2	37.0	53.5	74.3	87.7
nm-04	1.0	19.4	31.8	53.9	71.8	94.3
nm-06	0.5	18.1	35.3	54.9	70.5	88.6
序列	108	126	144	162	180	
nm-01	111.5	126.0	143.9	161.9	179.6	
nm-03	111.1	126.1	148.9	164.4	179.9	
nm-04	113.6	126.7	143.6	162.4	180.0	
nm-06	109.2	128.1	144.8	163.4	179.0	

表 3 构造 GFI 和 LK-GFI 所耗时间

Tab. 3 Time-consuming of constructed GFI and LK-GFI

方法	时间/ms
GFI	353
LK-GFI	12

表 4 步态识别的结果比较

Tab. 4 Comparison of gait recognition results

方法	FRR/(%)	FAR/(%)
GEI	20.45	0.01
GFI	15.72	0.00
LK-GFI	7.95	0.00

实验结果表明本文的方法可以较准确地估计出行走方向,为识别提供了视角依据。由表 3 可以看出 LK-GFI 计算所耗时间仅为 GFI 的 3.40%,满足系统的实时性要求。表 4 表明,在相同的阈值条件下采用 LK-GFI 作为步态特征时 FRR 为 7.95%,明显低于采用 GEI 和 GFI 作为步态特征的识别结果,识别率有了显著的提高。

## 4.2 室内步态识别

实验平台为 Point Grey 公司的 FLEA2 系列的 FL2-08S2C-C 相机水平架设在 Pioneer3-DX 机器人上,相机距地面为 80 cm,采样速率为 30 Frame/s,如图 6 所示。实验通过 VC2008 实现。此实验只考虑人远离相机的情况,即行走方向为  $152^{\circ}\sim 206^{\circ}$ 。对 24 个图像序列进行验证,其中 12 个序列属于目标 A,12 个序列属于行人 B。图 7 为目标在 3 个视角下的 LK-GFI 数据库,图 8 为行人 B 在  $180^{\circ}$  视角时的侧影和 LK-GFI。分别用 GEI、GFI 和 LK-GFI 识别步态特征的结果如表 5 所示。由表 5 可知,与 GEI 和 GFI 作为步态特征相比,利用 LK-GFI 作为步态特征的 FRR 明显降低,这表明 LK-GFI 可以更有效地表征步态的运动特征,同时本文方法改善了室内环境下多视角步态识别的性能。

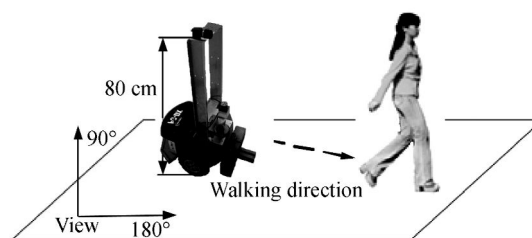


图 6 实验平台

Fig. 6 Experiment platform

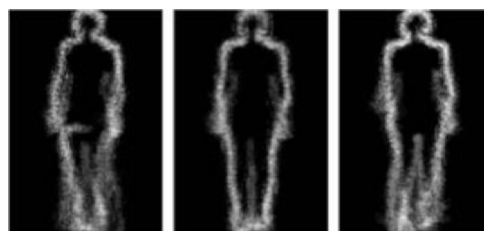


图 7 目标的 LK-GFI 数据库

Fig. 7 LK-GFI database of the target

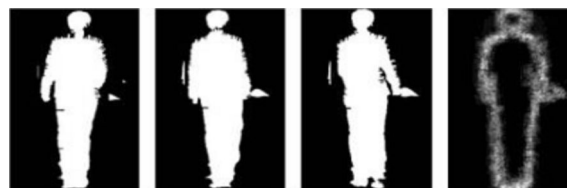


图 8 行人 B 的侧影和 LK-GFI

Fig. 8 Silhouettes and LK-GFI of person B

表 5 步态的识别结果  
Tab. 5 Gait recognition results

方法	FRR/(%)	FAR/(%)
GEI	23.57	0.00
GFI	15.86	0.00
LK-GFI	9.12	0.00

## 5 结 论

目前大部分基于步态的身份识别都是假定在侧面视角下进行,当视角发生变化时识别率大幅

度降低。为了解决这一问题,本文提出将 LK-GFI 与视角相结合的方法。用 LK 光流法对 GFI 改进获得表征步态动态特性的 LK-GFI,利用视角与行走方向的关系确定视角。首先建立目标在各视角下的 LK-GFI 数据库,然后提取行人的视角和 LK-GFI,最后用欧式距离度量相同视角下目标与行人的 LK-GFI 之间的相似度。对 CA-SIA 数据库和室内环境获得的步态序列进行对比验证显示,采用 LK-GFI 作为步态特征的错误拒绝率分别为 7.95% 和 9.12%,比传统的 GEI 和 GFI 的识别准确率有了明显的提高。该方法还可以用于目标跟踪系统的初始识别。

### 参考文献:

- [1] 周志宇,杨卫成,汪亚明,等. 应用梯度矢量流 Snake 和灰预测的人脸轮廓跟踪[J]. 光学精密工程, 2011,19(11):2744-2752.  
ZHOU ZH Y, YANG W CH, WANG Y M, et al.. Realization of face contour tracking by GVF Snake and grey prediction [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(11): 2744-2752. (in Chinese)
- [2] 胡荣,王宏远. 对步态空时数据的连续特征子空间分析[J]. 中国图象图形学报,2011,16(4):625-633.  
HU R, WANG H Y. Recursive spatiotemporal subspace learning for gait recognition [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2011, 16(4): 625-633. (in Chinese)
- [3] CHENG M H, HO M F, HUANG CH L. Gait analysis for human identification through manifold learning and HMM [J]. *Pattern Recognition*, 2008, 41(8): 2541-2553.
- [4] 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]. *Journal of Computers*, 2003, 26(3): 1-9. (in Chinese)
- [5] 王利巧,裴亚南. 基于步态能量图和不变矩的身份识别算法[J]. 计算机与数字工程,2009,37(10): 128-131.  
WANG L Q, PEI Y N. Human recognition based on gait energy image and invariant moments [J]. *Computer & Digital Engineering*, 2009, 37(10): 128-131. (in Chinese)
- [6] 赵黎丽,侯正信. 步态识别问题的特点及研究现状[J]. 中国图象图形学报,2006,11(2):151-161.  
ZHAO L L, HOU ZH X. Characteristics of gait recognition problem and a review of its research [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(2): 151-161. (in Chinese)
- [7] JU H, BHANU B. Individual recognition using gait energy image [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(2): 316-322.
- [8] LAM T H W, LEE R S T, ZHANG D. Human gait recognition by the fusion of motion and static spatio-temporal templates [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(9): 2563-2573.
- [9] LAM T H W, CHEUNG K H, LIU J N K. Gait flow image: silhouette-based gait representation for human identification [J]. *Pattern Recognition*, 2011, 44(4): 973-987.
- [10] HUANG X X, BOULGOURIS N V. Human gait recognition based on multiview gait sequences [J]. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008: 1-9.
- [11] KUSAKUNNIRAN W, WU Q, LI H D, et al.. Multiple views gait recognition using view transformation model based on optimized gait energy image [C]. *IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops*, Tyoto, P. R. Japan: ICCVW, 2009:1058-1064.
- [12] HAN X, LIU J W, LI L, et al.. Gait recognition considering directions of walking [C]. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, Bangkok, P. R. Thailand: CIS, 2006:1-5.

[13] 屠大维,江济良.改进的光流运动图像分析方法及其应用[J].光学精密工程,2011,19(5):1159-1164.

TU D W, JIANG J L. Improved algorithm for motion image analysis based on optical flow and its application[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19 (5): 1159-1164. (in Chinese)

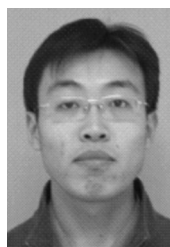
[14] 曲兴华,宫辉,贾果欣.数码相机的彩色图像预处理过程[J].光学精密工程,2009,17(1):207-212.

QU X H, GONG H, JIA G X. Preprocessing of color image based on digital camera [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(1): 207-212. (in Chinese)

#### 作者简介:



王丽佳(1981—),女,河北承德人,博士研究生,讲师,2008年于郑州大学获得硕士学位,主要从事智能机器人导航、机器视觉等方面的研究。E-mail: wanglijia\_19811103@163.com



李秀智(1979—),男,山东冠县人,博士,讲师,硕士生导师,2008年于北京航空航天大学获得博士学位,主要从事智能机器人导航、机器视觉等方面的研究。E-mail: xiuzhi.lee@163.com



王爽(1989—),男,北京人,硕士研究生,2011年于北京工业大学获得学士学位,主要从事智能系统与模式识别等方面的研究。E-mail: wangshuang89@gmail.com

#### 导师简介:



贾松敏(1964—),女,北京人,博士,教授,博士生导师,2002年于日本国立电气通信大学获得博士学位,主要从事智能服务机器人及其关键性技术、机器人分散控制、计算机视觉等方面的研究。E-mail: jsm@bjut.edu.cn

#### ●下期预告

## EUV 成像仪极间串扰和伪信号触发计数修正

王晓东\*,朱小明,吕宝林,刘文光

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;

2.中国科学院研究生院,北京 100039)

为了提高极紫外光子计数成像仪的分辨率,分析了 EUV(Extreme Ultraviolet)成像仪系统 WSZ 阳极(Wedge Strip Zigzag anode)不同条带间的极间串扰以及非目标能量区内信号触发产生的伪信号对图像质量的影响。分析串扰产生的原因,找到了串扰系数所在的范围,并最终确定最优值;使用该系数对不同能量范围内的光子进行处理,确定合适的能量区间(上下限);设定能量区间重新成像,对比发现图像质量有了明显提高。通过消除极间串扰和剔除混杂在图像数据中的伪数据,使图像的边缘特性更强,提高了图像分辨率。