

一种基于 Hough 变换的步态特征提取方法的研究

禹晶 段娟 苏开娜

(北京工业大学计算机学院, 北京 100022)

摘要 步态识别是一种新兴的生物特征识别技术,旨在通过人们走路的姿态进行身份识别。与其他的生物识别技术相比,步态识别具有非接触远距离和不容易伪装的优点。提出了一种基于新的特征提取方法的自动步态识别算法,该算法仅从腿部的运动进行身份识别。对于每个序列,用一种基于图像色度偏差的背景减除算法来检测运动对象,在经过后处理的二值图像序列中利用边界跟踪算法获取对象边界。在对象边界图像上,局部应用 Hough 变换检测大腿和小腿的直线,从而得到大腿和小腿的倾斜角。用最小二乘法将一个周期内的倾斜角序列拟合合成 5 阶多项式,把 Fourier 级数展开后得到的相位与振幅的乘积定义为低维步态特征向量。在小样本的数据库上用 Fisher 线性分类器验证所研究算法的性能,正确分类率为 79.17%。在步态数据库不很理想的情况下也获得了较好的识别率。

关键词 步态识别 特征提取 背景减除 Hough 变换

中图法分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2005)10-1304-06

A Hough Transform Based Method for Gait Feature Extraction

YU Jing, DUAN Juan, SU Kai-na

(Computer Institute of Beijing University of Technology, Beijing 100022)

Abstract Gait is an emergent biometric aimed essentially to recognize people by the way they walk. Gait as a biometric can be seen as advantageous over other forms of biometric identification techniques, for it offers the possibility to identify people at a distance without any interaction or co-operation from the subject. This paper proposes a novel automatic gait recognition method, which extracts gait signature from legs of the subject. For each image sequence, background subtraction based on chromaticity distortion is used to segment moving objects. Boundary tracking algorithm is then used to find perimeter pixels in each processed binary image sequence. This paper makes use of Hough Transform to locally extract the lines which represent legs, and thus obtains inclination angles of upper legs and lower legs. The angles are then fitted to a fifth-order polynomial by least squares method. The polynomial curve is expressed by a Fourier series. The lower-dimensional gait signature vector, that is, the product of phase and magnitude, is derived from phase and magnitude spectra. Fisher Linear Classifier is used to validate the performance of the proposed algorithm on small database samples and the correct classification rate is 79.17%. The recognition rate is still good for these unideal outdoor image sequences.

Keywords gait recognition, signature extraction, background subtraction, Hough transform

1 引言

随着安全敏感场合(如银行、军事装置、机场)对智能监控系统需求的增加,非接触远距离的身份

识别技术近来倍受关注。在牛津字典中,步态的定义是:“走路的方式,一个人走路时的举止、姿态。”在计算机视觉领域,步态识别是较新的研究方向,它引起了越来越多的研究者的浓厚兴趣,很多步态识别的方法已经建立。因治疗步态异常病人的需要,

基金项目:北京市自然科学基金项目(4031004);北京市教委科技发展计划项目(km200310005006)

收稿日期:2004-11-10;改回日期:2005-03-07

第一作者简介:禹晶(1981~),女,北京工业大学计算机应用技术专业在读硕士研究生。研究方向为模式识别与图像处理。E-mail: yujing@emails.bjut.edu.cn

最早的步态分析用于医学研究, Murray^[1]的步态研究表明步态是独特的个体特征,脚步的节奏实际上呈周期性变化。在 19 世纪 70 年代, Johansson^[2]做了这样一个实验:他在被观察者的关节处固定了灯泡,在黑暗的背景下,可以通过观察他们走路时关节处的灯的运动轨迹识别出熟悉的人。Johansson 的实验结果再次表明,每个人的步态特征是独特的,通过人的步态特征进行身份识别是可行的。

术语“步态识别”指通过视频序列中人走路的姿态进行身份识别。这并不意味着步态局限于步行,它也适用于奔跑等运动。与其他生物特征识别技术相比,步态识别有许多优势,如:

(1) 可以在不让研究对象察觉的情况下,提取和分析其步态特征,不像指纹和视网膜扫描,通常要求接触性的感知;

(2) 可以远距离捕获研究对象的步态信息,不像脸像识别,通常要求近距离的感知;

(3) 步态识别对捕获图像的质量要求不高,不像脸像识别,低分辨率的图像很容易影响识别率;

(4) 步态不容易伪装,试图伪装会使他更可疑,而人脸可能被改变或隐藏。

正是因为以上这些优势,步态识别吸引了众多研究者。步态识别是一种非接触远距离的身份识别,在无法用其他更有效的生物特征进行身份识别时,步态识别可以作为身份识别的辅助手段。

处理器性能的提高、高速内存和数据存储设备价格的降低对计算机视觉和视频处理技术的日益广泛应用做出了贡献。实时视频处理使此项生物特征识别技术用于安全监控成为可行。

尽管步态识别是一个新的研究领域,但目前国内外已有很多研究成果。文献[3]结合 PCA (principal component analysis) 和 CA (canonical analysis) 识别步态。文献[4]从光流图像中获取频率和相位识别个体;文献[5]用 SSP (SSP 是任意两个时刻 t_i 和 t_j 的前景对象的相似度量) 作为步态特征,用 PCA 降低数据维数;文献[6]描述了一种参数方法,它明确地提出了 4 个步态参数,前 2 个与人的高度有关,即视在高度与身高,视在高度指人行走时上下振动的高度,是时变量,而身高是常量。其他 2 个参数分别是速率和步长。王亮等人^[7]将时变的 2 维轮廓形状转换为对应的 1 维距离信号,同时通过特征空间变换来提取低维步态特征。

2 算法构想

步态识别目前仍处于起步阶段,实验通常有很多限制条件,例如,相对简单的背景;场景中单人无遮挡的运动;相对于摄像机而言人侧面行走;算法评估都是在小样本的数据库上进行等。

如图 1 的算法流程图所示,一个步态序列的识别需要经过 3 个主模块的处理:

(1) 前景分割模块 在摄像头固定的条件下,拍摄人走路的视频序列,检测和跟踪运动对象,将每帧中的前景运动对象从背景中提取出来,即完成前景和背景的分隔。最常用的运动目标检测方法是背景减法。

(2) 特征提取模块 为了使计算机能够进行分类识别,要从分割出的前景运动对象(通常是二值图像)中提取能反映对象步态特征的数据信息。步态是时空运动,期望在时空维上捕捉步态特征。

事实上,由图像或波形所获得的数据量是相当大的,为了有效地实现分类识别,就要对原始数据进行变换,得到最能反映分类本质的特征。一般把原始数据组成的空间叫测量空间,把分类识别赖以进行的空间叫特征空间,通过变换,可把在维数较高的测量空间中表示的模式变为在维数较低的特征空间中表示的模式。

(3) 训练分类模块 在特征空间中用统计方法把被识别对象归为某一类别。

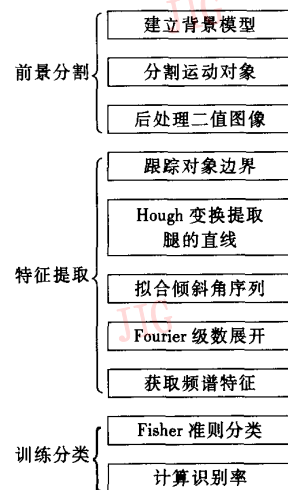


图 1 算法流程

Fig. 1 Flow of the proposed algorithm

3 运动目标检测

采用基于图像色度偏差^[8]的背景减除方法分割前景运动目标和背景,对于每一个序列,首先用像素点的中间值作为背景的像素值,生成背景帧;然后将当前帧和背景帧的偏差分解为亮度偏差和色度偏差,若色度偏差大于某一阈值,则判定该像素属于前景运动目标集合,否则,属于背景。此方法对亮度变化、反光和阴影有较强的鲁棒性。

4 步态特征提取

4.1 步态周期性

步态是时空运动,从时空维的角度看,步态具有周期性。图 2 为一个序列的宽高比-帧曲线图,定义一个步态周期(两步)为每隔一个波峰之间的距离。

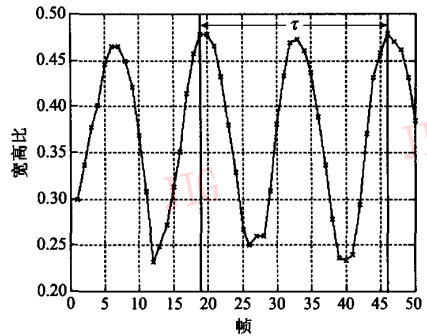


图 2 周期示意图

Fig.2 Periodicity of gait

通常截取一个周期来分析步态模式。图 3 展示了一个周期内每 3 帧的步态时空变化模式。对于每个对象,腿的倾斜角度在一段时期内呈一定的周期性变化,因此角度序列可以作为用于识别的原始数据,能够提供不同对象步态之间的差异。

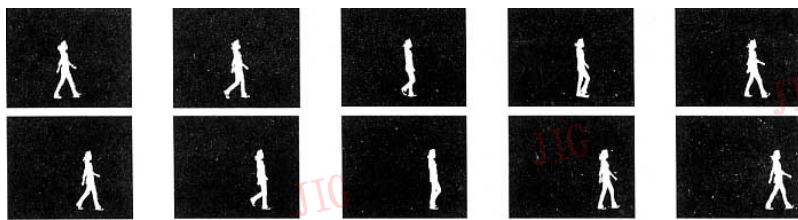


图 3 一个周期内每 3 帧的步态模式的时空变化示例(帧 19 ~ 46)

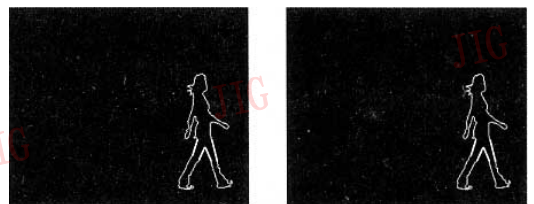
Fig.3 Spatio-temporal changes every three frames in a gait pattern(frame 19 ~ 46)

4.2 Hough 变换提取腿的直线

利用 Hough 变换法提取直线的主要优点是受直线中的间隙和噪声影响小,可以有效地检测出图像中近似属于同一直线上的点,通过最小二乘法拟合成直线。提取步态特征的过程是:首先从经过后处理的二值图像序列中跟踪运动对象的边界,检测对象腿部边界上的直线,大腿或小腿的边界近似为直线,因此用腿部边界上提取的直线的倾斜角表示腿的倾斜角是合理的;然后,对每个对象的每个序列截取分析一个步态周期,在对象边界图像上,局部应用 Hough 变换检测大腿和小腿的直线,从而得到直线的倾斜角,即大腿和小腿的倾斜角;将截取的周期沿时间轴平移到 $[0, T]$,用最小二乘法将一个周期内的倾斜角序列拟合成 5 阶多项式,利用 Fourier 变换完成测量空间到特征空间的变换,将拟合曲线表示为简单的正弦波的迭加,从而得到振幅频谱和相位频谱,相位和振幅的积即为低维步态特征向量。

对每个对象每个序列提取一个步态周期,局部应用 Hough 变换检测大腿和小腿直线的步骤如下:

- (1)粗略地定位大腿和小腿区域。
- (2)利用 Hough 变换检测大腿和小腿的单侧直线。通常,行人腿的两侧不平行,在大腿的区域直接应用 Hough 变换检测直线时,腿两侧的直线都可能被检测出来(见图 4(a)),检测出的直线太多,会干



(a)腿两侧直线的检测结果 (b)腿前侧直线的检测结果

图 4 局部应用 Hough 变换检测大腿的直线

Fig.4 Hough transform is used to locally extract the lines which represent upper legs

扰后面的直线挑选,因此,规定只检测单侧直线。大腿前侧直线的检测结果如图 4(b)所示。

(3) 聚类倾斜角度。一方面受运动目标检测算法精确度的影响(例如噪声的干扰),可能存在凹陷与突起,造成错误检测。另一方面腿的边界并不是理想的直线,可能存在很小程度上的弯曲,造成角度相差很小的若干条直线被检测。为了抑制这些影响,按像素数从多到少检测直线若干条,应用聚类分析的原理将这些直线的倾斜角聚类,这里用 Ward 法聚类分析,设置一个阈值 Th ,当类与类之间的距离大于 Th 时,停止聚类过程,计算每一类类内数据的平均值,就本问题而言,基本上聚集为 2 类(除遮挡和错误检测的情况)。

(4) 根据腿运动的约束,挑选角度。因为人两条腿的运动相似,只挑选一个步态周期内一条腿运动的角度,从步宽处于最大值状态开始,初值选择大于零的角度(规定行走的方向为正方向,前面的腿与纵轴的角度为正,后面的腿与纵轴的角度为负),根据下面的约束,依次挑选出后续的角度。这些对腿运动的约束可以排除因噪声或错误的跟踪参数而造成的不可能状态。

对腿运动的一些约束如下:

- (1) 腿的角度变化平缓,不会突然地或高或低,而且一个步态周期内角度变化大致上呈单调性。
- (2) 当腿的角度接近 0 时,双腿相互遮挡,正负正在交替。
- (3) 大腿的倾斜角 α 值不会大于 $\pm 50^\circ$ 。
- (4) 前面大腿的倾斜角应该和后面大腿的倾斜角方向相反,大小未必相等。
- (5) 小腿的倾斜角 β 值一定总是小于等于 α 值。

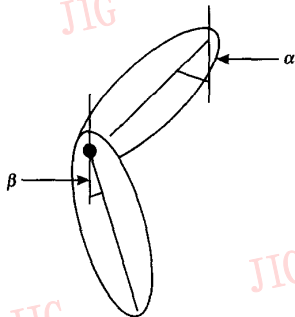


图 5 某个运动时刻腿的捕捉(角度为 0 时平行于纵轴)
Fig. 5 Snapshot of leg with angles (An angle of zero degree means parallel to y-axis)

因为非线性运动和遮挡的问题,腿是身体中最难分析的部分。遮挡的情况下,必然有一条腿的直线不可能检测出来,遮挡结束后方能检测出这条腿,此时的倾斜角与前一次检测的差值突然增大,因为在遮挡的时间段内,这条腿的倾斜角不能获取(见图 6 中的折线),可以依据具体情况解决具体出现的问题。下一步,再通过多项式拟合估计未被检测出的直线角度。

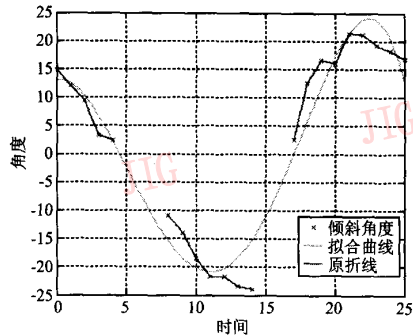


图 6 对象 2 第 1 个序列的大腿倾斜角的多项式拟合曲线
Fig. 6 Upper-leg angles of sequence 1 of subject 2 are fitted to a polynomial curve

4.3 拟合倾斜角序列

将截取分析的周期沿时间轴平移到 $[0, T]$, 使周期的开始对准到同一点上,如图 6 所示。

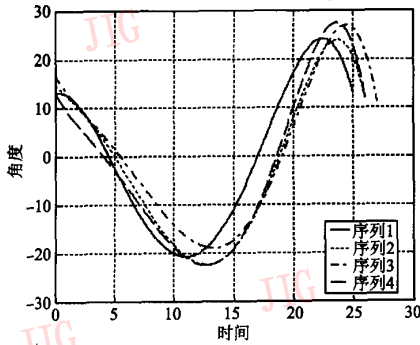
腿被遮挡的情况下,腿部的直线是不能检测出来的,因此数据出现间断,当然,数据中也可能存在一些高频噪声,为了填补间断点和平滑数据,使用最小二乘拟合。

根据 Weierstrass 定理可知 $P[a, b]$ 在 $C[a, b]$ 中稠密,其中, $P[a, b]$ 表示区间 $[a, b]$ 上的多项式函数, $C[a, b]$ 表示区间 $[a, b]$ 上的连续函数。所以将离散的角度拟合为高阶多项式,设角度 θ 随时间 t 变化,5 阶多项式的表达式为 $\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_5t^5$ 。步态数据库中对象 2 的第 1 个序列在一个步态周期内的大腿倾斜角变化及曲线拟合如图 6 所示。

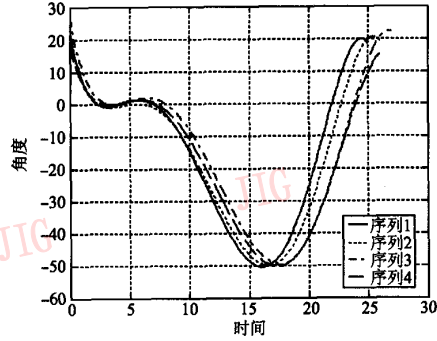
实际上,当通过拟合曲线之间的差异进行身份识别时,同一对象的曲线相似,不同对象的曲线存在差异,依据这个原理,步态可被认为是独特的。图 7 展示了对象 2 和对象 3 的 4 个序列的多项式拟合曲线的差异。

4.4 获取频谱特征

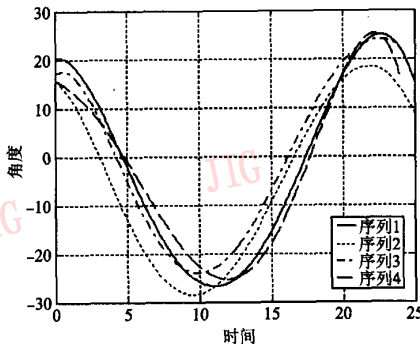
为了定量计算曲线之间的差异,将拟合的多项式



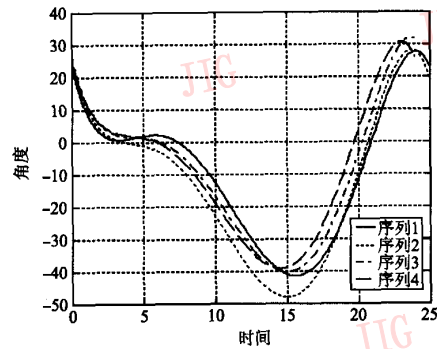
(a) 对象 2 的大腿倾斜角序列的多项式拟合曲线



(b) 对象 2 的小腿倾斜角序列的多项式拟合曲线



(c) 对象 3 的大腿倾斜角序列的多项式拟合曲线



(d) 对象 3 的小腿倾斜角序列的多项式拟合曲线

图 7 对象 2 和对象 3 的 4 个序列的多项式拟合曲线比较

Fig. 7 Fitted polynomial curve comparison between subject 2 and subject 3

用 Fourier 级数展开,用直流项,一阶谐波,二阶谐波……表示。将一个给定的以 T 为周期的周期函数 $f(x)$ 展开成一系列正弦函数之和,也就是表达式:

$$f(x) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin(nx + \varphi_n)$$

其中, $A_0 = \frac{a_0}{2}$ 为直流项, $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$ 为 n 阶谐波的振幅, $\varphi_n = \arctan \frac{a_n}{b_n}$ 为 n 阶谐波的相位。

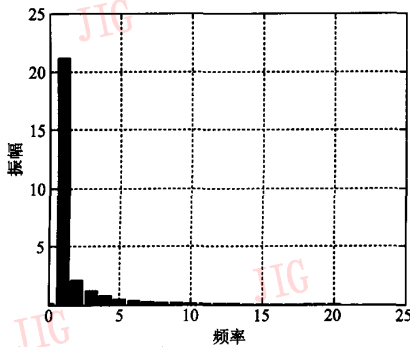
分析对象序列的振幅和相位频谱,对象 2 第 1 个序列和对象 1 第 1 个序列的一个步态周期内的振幅和相位频谱如图 8 所示。在 5 阶谐波时,振幅几乎降为 0,取谐波的阶数 $n = 3$ 。可以使用振幅频谱作特征向量。与振幅频谱相比,不同对象的相位频谱差异更大。但是,不能仅仅使用相位量,因为当振幅太低时,对应频率上的相位量不重要^[9]。因此用相位与振幅的积作低维特征向量,振幅值作为相位量的权值,当振幅小时,降低相位量的贡献。

5 步态特征识别与实验结果

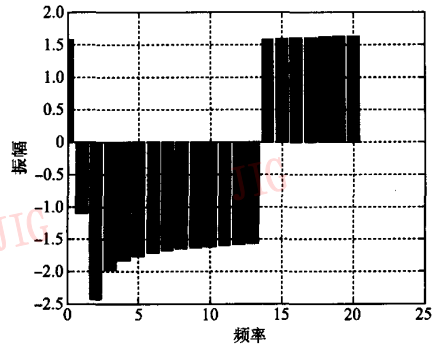
设计和实现 Fisher 线性分类器,决策未知对象属于特征空间中的某一类。Fisher 线性分类器把 d 维空间的样本投影到一条直线上,使在这个方向的直线上,样本的投影能分开得最好,它比较简单且性能良好,因此时常被采用。

目前国际上没有通用的步态数据库,为了验证本文所研究算法的性能,我们创建了自己的步态数据库,行人相对于摄像机侧面行走。数据库中每人拍摄 4 个序列,以 25fps 的速率捕捉到计算机中,序列中图像的分辨率是 288×352 。用 6 个人每人 4 个序列共 24 个序列验证算法的性能。

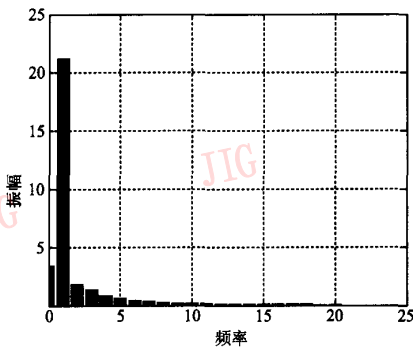
使用留一法来获取识别率的估计值,正确分类率是 79.17%。在步态数据库不很理想的情况下,也获得了较好的识别率。



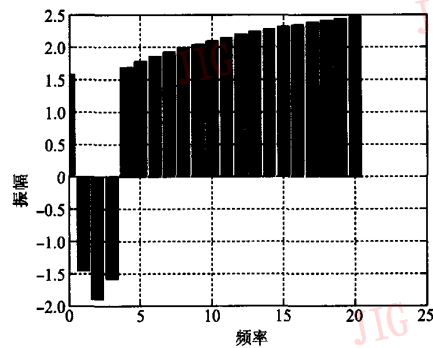
(a)对象 2 第 1 个序列的振幅频谱



(b)对象 2 第 1 个序列的相位频谱



(c)对象 1 第 1 个序列的振幅频谱



(d)对象 1 第 1 个序列的相位频谱

图 8 对象 2 和对象 1 的振幅和相位频谱

Fig.8 Magnitude and phase spectrum comparison between subject 2 and subject 1

6 结 论

基于新的特征提取方法的自动步态识别算法, 仅从腿部的运动进行身份识别, 并用 MATLAB 系统地设计和实现了算法的整个流程。在小样本数据集上的验证和分析表明, 该算法是非常有效的, 且有较好的研究前景。但为了增强算法的鲁棒性和实时性, 还需进一步改进算法, 在更丰富的步态数据库上检验其性能, 获得更高的正确分类率和识别速度。

参考文献 (References)

- 1 Dawson M R. Gait Recognition [D]. London, England; Department of Computing, Imperial College of Science, Technology & Medicine, 2002.
- 2 Johansson G. Visual motion perception [J]. Scientific American, 1975, 232(6):76 ~ 88.
- 3 Huang P, Harris C, Nixon M. Human gait recognition in canonical space using temporal templates [J]. Vision Image and Signal

Processing, 1999, 146(2):93 ~ 100.

- 4 James J L, Jeffrey E B. Recognizing people by their gait; the shape of motion [J]. Journal Videre, 1998, 1(2): 1 ~ 32.
- 5 BenAbdelkader C, Cutler R, Davis L. Motion-based recognition of people in eigengait space [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C], Washington, DC, USA, 2002;267 ~ 274.
- 6 BenAbdelkader C, Cutler R, Davis L. Stride and cadence as a biometric in automatic person identification and verification [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition [C], Washington, DC, USA, 2002;372 ~ 377.
- 7 Wang L, Hu W M, Tan T N. Gait-based human identification [J]. Chinese Journal of Computers, 2003, 26(3):353 ~ 360. [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):353 ~ 360.]
- 8 Horprasert T, Harwood D, Davis L S. A statistical approach for real-time robust background subtraction and shadow detection [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, FRAME-RATE Workshop [C], Kerkyra, Greece, 1999;1 ~ 19.
- 9 Nixon M S, Carter J N, Nash J M, et al. Automatic gait recognition [A]. In: Proceedings of the IEE Colloquium on Motion Analysis and Tracking [C], London, England, 1999;3/1 ~ 3/6.