

平行线约束下的视角无关步态识别算法

张元元¹, 吴晓娟¹, 李秀媛¹, 阮秋琦²

(1. 山东大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250100; 2. 北京交通大学 信息科学研究所, 北京 100044)

摘要:提出了一种满足一定约束条件的与视角无关的步态识别算法. 首先给出了与视角无关步态特征的定义及约束条件, 进而探讨了在单目平行线约束下空间点的坐标重建方法, 利用相应的坐标转换因子可以从拍摄到的二维图像恢复出关键点的空间三维坐标. 然后将人体建模成一个相互连接的三棍模型, 利用这种坐标重建方法可以恢复出模型的参数, 并定义了由模型参数表示的步态特征向量, 即与视角无关的步态特征. 理论推导和实验结果表明, 这种方法在理想情况下能克服视角因素的影响. 虽然得到的正确识别率不高, 但它提供了多种视角交叉进行识别的可能性.

关键词:单目摄像机; 平行线约束; 三维重建; 视角无关; 步态识别

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-4785(2009)03-0264-06

Viewpoint-independent gait recognition with parallel line constraints

ZHANG Yuan-yuan¹, WU Xiao-juan¹, LI Xiu-yuan¹, RUAN Qiu-qi²

(1. School of Information Science and Technology, Shandong University, Ji'nan 250100, China; 2. Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper proposes a novel gait recognition algorithm that is independent of viewpoints under certain constraints. First, we described the definition of the proposed gait feature and its constraints. Then we discussed a coordinate reconstruction method for spatial points under the constraints of monocular parallel lines. With this we could employ the relevant coordinate conversion factor to recover 3D coordinates of some key points from 2D monocular camera images. The human body was modeled and simplified as three connected sticks, and the parameters of that model were estimated using the proposed reconstruction method. Thus, we obtained viewpoint-independent gait features represented by those parameters. Both theoretical calculations and experimental results revealed that the proposed gait features partially avoid the influence of viewpoint under ideal circumstances. Though correct classification rates are not high enough, it provides a useful tool for the identification of human gaits at arbitrary viewing angles.

Keywords: monocular camera; parallel restriction; 3D reconstruction; viewpoint independent; gait recognition

步态, 即人的行走方式. 医学研究表明步态具有良好的特异性, 它依赖于个体的身体特征和行走习惯, 具有良好的非侵犯性及难于隐藏等优点. 因此, 可认为步态是一种理想的、独特的可用于身份识别的生物特征. 随着安全敏感场合对视觉监控系统的需求越来越迫切, 非接触式远距离的身份识别研究^[1] 近来引起了计算机视觉学者们的浓厚兴趣.

目前, 步态识别方法大体可分为 2 类. 第一类是

模型无关的方法, 它通过分析目标侧影并从中得到一定的步态表示. 由于只需分析侧影图像的某些性质, 避免了复杂的人体结构建模与运动建模, 因此处理起来相对比较容易. 典型的算法有南安普敦大学的研究者提出的主成分分析^[2] 和正则分析^[3] 的方法以及中科院王亮等人提出的轮廓解卷绕的方法^[4] 和 Procrustes 统计步态分析^[5] 等. 虽然这种基于侧影的方法取得了较好的跟踪与识别效果, 但它始终无法克服遮挡以及视角因素带来的不利影响. 另一类是基于模型的方法, 这类方法对人体结构进行建模, 并试图从图像序列中恢复运动参数, 它包含运动跟踪及运动建模, 要求模型能够很好地模拟人

的运动.例如,Yam^[6]等人提出了连接钟摆建模腿部的方法,以及麻省理工^[7]、瑞士联邦技术学院^[8]的学者研究了通过计算机视觉^[9-10]的方法恢复人体的结构模型并进行识别.这些方法中一般都采用多个摄像机并辅助特殊设备进行三维结构重建与参数恢复,计算复杂度很高.

考虑真实场景中所拍摄的目标,其行走方向往往是随机的,尤其是在犯罪现场或者公共监控场所,这无法保证拍摄的视频满足特定的视角条件,而且通常只有1个摄像机.因此,一种与拍摄视角无关的步态识别方法,对于步态识别系统的实用化显得尤为重要.这种新的步态识别方法应该具有以下特点:1)不受视角因素和遮挡等因素的影响;2)避免过于复杂的建模,并且最好在步态采集过程中使用单目摄像机,因为这样最符合实际情况.

本文对上述新方法作了一定的尝试:首先给出了视角无关步态特征的定义;然后利用平行线约束求解像点所对应物点在三维空间中的坐标;在此基础上提出了一种视角无关的特征提取方法,并实现了多视角交叉情况下的步态识别;此外还给出了遮挡出现时的处理策略;最后,给出了实验结果.

1 相关定义

视角无关的步态特征是指从视频序列中提取并在一定程度上反映人体步态内在特征的数学表达.该特征在各种拍摄视角情况下都可通过图像处理技术获得,不会因为拍摄视角的变化而产生畸变.如图1所示,将特定姿态下的人体高度定义为该姿态下头顶部到脚底部在竖直方向上的距离.尽管人在行走时由于姿势的不同,身高会略有不同,但差异较小.为了简化计算,假定人在行走过程中身高始终保持为 H .将左(右)脚支撑,右(左)脚摆动,且两脚距离最近时的人体姿态称为左(右)支撑最近距离姿态,如图1(a)所示;而将两脚几乎同时支撑,且两脚距离最近时的人体姿态称为左(右)支撑最近距离姿态,如图1(b)所示.

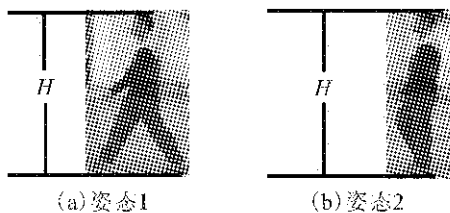


图1 2个不同姿态下的人体高度

Fig.1 The heights of a person at two different stances

根据上述关键姿态的定义,可将步态周期定义

为相邻2个左(右)支撑最近距离姿态的间隔时间,如图2所示.

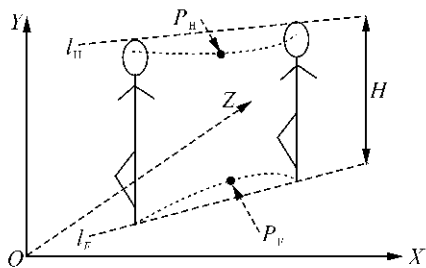


图2 步态周期的定义

Fig.2 The definition of gait cycle

为了简化处理,进一步假设如下:

1)将小孔成像作为摄像机的成像原理.摄像机成像一般遵循透镜成像原理,但是在物距较大时可以使用小孔成像来近似分析问题.另外,这种假设也无需考虑镜头曲率对成像过程造成的影响.

2)相邻2个左(右)支撑最近距离姿态之间,目标沿直线运动,该方向称为步行方向.

3)相邻2个左(右)支撑最近距离姿态之间,头部点与脚部点的运动轨迹在同一平面上,且该平面与地面垂直.这种近似是与视角相关的.以NLPR数据库^[11]为例,在侧面90°视角下的计算结果较为准确,近似也较为合理;在135°视角下计算的时候将出现误差,这种误差在迎面180°视角的情况下达到最大.如图3所示.

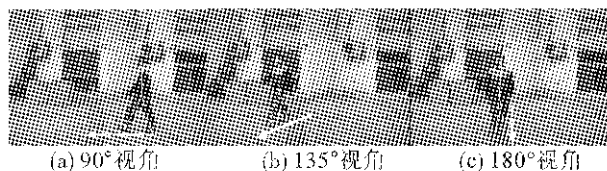


图3 3个不同拍摄视角步态示例

Fig.3 The person's gaits towards three different directions

因此,本文所指的视角无关步态特征并非完全不受拍摄视角的制约,而是通过弱化某些条件来实现的.然而现实情况中,这样的处理可以简化计算并得到近似精确的结果.

2 特征提取

为了从单目摄像机拍摄的步态序列中提取视角无关的步态特征,首先讨论了一种基于平行线约束的三维空间点的重建方法^[12],并对人体进行基于平行线约束的三维运动分析;进而将人体建模成相互连接的三根模型,并得到了利用模型参数表示的视角无关步态特征.

2.1 空间点的三维重建

如图2所示,在世界坐标系中,平面 XOZ 表示地平平面, Y 轴表示高度.设步态周期为 T .基于前文的假设2),在步行过程中人体2个相邻的左(右)支撑最近距离姿态可以确定空间中的一对平行线.各姿态下头部顶点的连线 l_H 和脚底部分的连线 l_F 是平行的,其距离近似等于人体高度 H .基于假设3),2条 l_H 和 l_F 所确定的平面 S 垂直于地面 XOZ ,头部和脚部的运动轨迹均在平面 S 内.

对于摄像机所得的图像中任一点 $p(x, y)$ (即像点)所对应的物点 P 在世界坐标系中的坐标 (X, Y, Z) 可由如下公式求得

$$[X \ Y \ Z]^T = \eta [x \ y \ f]^T = (H/h) [x \ y \ f]^T.$$

式中: $\eta = H/h$,是像平面到空间三维坐标的转换系数,称为坐标转换因子; H 是两平行线 l_H 与 l_F 之间的距离即人体身高; h 为这2条平行线在像平面中的距离; f 是摄像机焦距.

2.2 视角无关的步态特征

将人体结构建模为1个相互连接的三棍模型,如图4所示.该模型的4个质点 P_H 、 P_{FL} 、 P_{FR} 和 P_M 分别为代表头部质心、左脚质心、右脚质心以及人体中部质心.设起始时刻为 t_0 ,考虑1个周期的步态序列,即终止时刻为 t_T .如图4所示, φ_R 、 φ_L 、 β 分别是各质心点连线间的夹角.

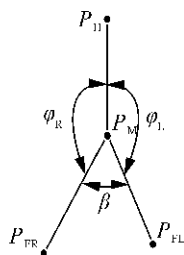


图4 人体结构的三棍模型

Fig.4 Three-stick model of human body

假定 $\delta_i = p_i \eta_i$, ($i = FL, FR, M, H$), 其中 $\eta_i = H_i/h_i$.则可以定义并计算下列5个由模型参数表示的量:

$$\begin{aligned} v_1 &= \left| \frac{P_{FL}P_M}{P_HP_M} \right| = \left| \frac{p_{FL}\eta_{FL} - p_M\eta_M}{p_H\eta_H - p_M\eta_M} \right| = \left| \frac{\delta_{FL} - \delta_M}{\delta_H - \delta_M} \right|, \\ v_2 &= \left| \frac{P_{FR}P_M}{P_HP_M} \right| = \left| \frac{p_{FR}\eta_{FR} - p_M\eta_M}{p_H\eta_H - p_M\eta_M} \right| = \left| \frac{\delta_{FR} - \delta_M}{\delta_H - \delta_M} \right|, \\ v_3 &= \cos \varphi_R = \frac{|\delta_H - \delta_M| + |\delta_{FR} - \delta_M| - |\delta_{FR} - \delta_H|}{2\sqrt{|\delta_H - \delta_M| |\delta_{FR} - \delta_M|}}, \\ v_4 &= \cos \varphi_L = \frac{|\delta_H - \delta_M| + |\delta_{FL} - \delta_M| - |\delta_{FL} - \delta_H|}{2\sqrt{|\delta_H - \delta_M| |\delta_{FL} - \delta_M|}}, \end{aligned}$$

$$v_5 = \cos \beta = \frac{|\delta_{FR} - \delta_M| + |\delta_{FL} - \delta_M| - |\delta_{FR} - \delta_{FL}|}{2\sqrt{|\delta_{FR} - \delta_M| |\delta_{FL} - \delta_M|}}.$$

式中:大写 P 代表空间中的三维点,小写 p 为 P 在像平面上的像点.

定义向量 $V = [v_1 \ v_2 \ v_3 \ v_4 \ v_5]^T$.在理想的情况下,向量 V 仅与模型参数以及模型在像平面上的投影有关,而与摄像机和目标之间的相对位置无关.因此,向量 V 具有视角无关的性质.从 t_0 时刻过渡到 t_T 时刻,假定共有 N 帧图像,则可得到 N 个的视角无关向量 V_1, V_2, \dots, V_N ,将其表示成矩阵形式为

$$F_N = [V_1 \ V_2 \ \dots \ V_N]^T = [f_1 \ f_2 \ f_3 \ f_4 \ f_5].$$

式中: f_i ($i=1, 2, \dots, 5$)为列向量.此时, F_N 满足本文对于视角无关步态特征的定义,因此 F_N 就是提出的视角无关的步态特征.

2.3 特征提取过程

可按以下步骤来提取视角无关的步态特征 F_N :

1) 利用文献[12]的方法确定摄像机的焦距 f .

2) 确定起始左(右)支撑最近距离姿态,并将其作为起始时刻 t_0 ;确定下一个左(右)支撑最近距离姿态,将其作为终止时刻 t_T .

3) 根据上一步中确定的2个相邻的左(右)支撑最近距离姿态,确定头部连接线 l_H 和脚部连接线 l_F 及头部质心、左脚质心、右脚质心以及人体中部质心在像平面中的坐标.

4) 确定 t_0 到 t_T 之间各时刻头部点 P_H 、脚部点 P_{FL} 和 P_{FR} 以及直线点 P_M 的空间坐标,并计算该时刻对应的视角无关向量 V_i ,进而获得步态特征矩阵 F_N .

5) 对特征矩阵 F_N 的各个列向量幅度与长度进行归则化处理.将 F_N 的每一列都除以该列元素的均值即可将幅度规则化.由于每个步态序列的周期各不相同,因此需将所有的列向量的长度使用插值法归一化到同一指定长度.

3 遮挡处理策略

由于使用单目摄像机拍摄,不可避免地会受到遮挡的影响.对于被遮挡的部分,须采用适当的方法进行估计.为了简化运算,根据步态的特点,提出了以下的运动估计算法.

1) 取连续的3帧 I_1 、 I_2 和 I_3 ,通过目标点(头部点、脚点和直线点)在各帧中的位置 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) ,可以计算其在 I_3 时刻水平方向上的速度 v_{x3} 和加速度 a_{x3} ,竖直方向上的速度 v_{y3} 和加速度 a_{y3} .

2) 目标点在第4帧 I_4 中的位置 (x_4, y_4) 可以通过下式进行估计:

$$\begin{cases} x_4 = x_3 + v_{x3}\Delta t + 0.5a_{x3}(\Delta t)^2, \\ y_4 = y_3 + v_{y3}\Delta t + 0.5a_{y3}(\Delta t)^2. \end{cases}$$

式中, Δt 为从 I_3 到 I_4 所经历的时间, 即步态视频帧率的倒数, 一般为 $1/25$ 。

4 实验结果

实验中采用中科院自动化所提供的 NLPR 数据库中 6 个人的视频数据, 每人 3 个拍摄视角分别为 90° 、 135° 和 180° , 每个视角 4 个序列, 共计 72 个步态序列。将实验所得的特征 F_N 的列向量 f_1 到 f_5 绘制在一张图上, 如图 5 所示。图中所示为 2 个不同目

标 A 和 B 在 3 个视角下所获得的步态特征, 横坐标代表步态特征向量的长度即步态序列所包含的帧数, 而纵坐标代表了 f_1, f_2, \dots, f_5 5 个特征向量, 为方便比较, 将向量长度通过插值法归一化到统一值。从图 5 可以很直观地看出, 对于同一目标 (A 或 B) 所提取的步态特征在 90° 、 135° 和 180° 视角时均具有较好的相似性, 说明本文的方法的确能够在一定程度上克服视角因素的影响, 具有视角无关的特性。另外对于不同目标在同一视角时也具有一定的差异性, 说明可以将该特征用于基于步态的身份识别。

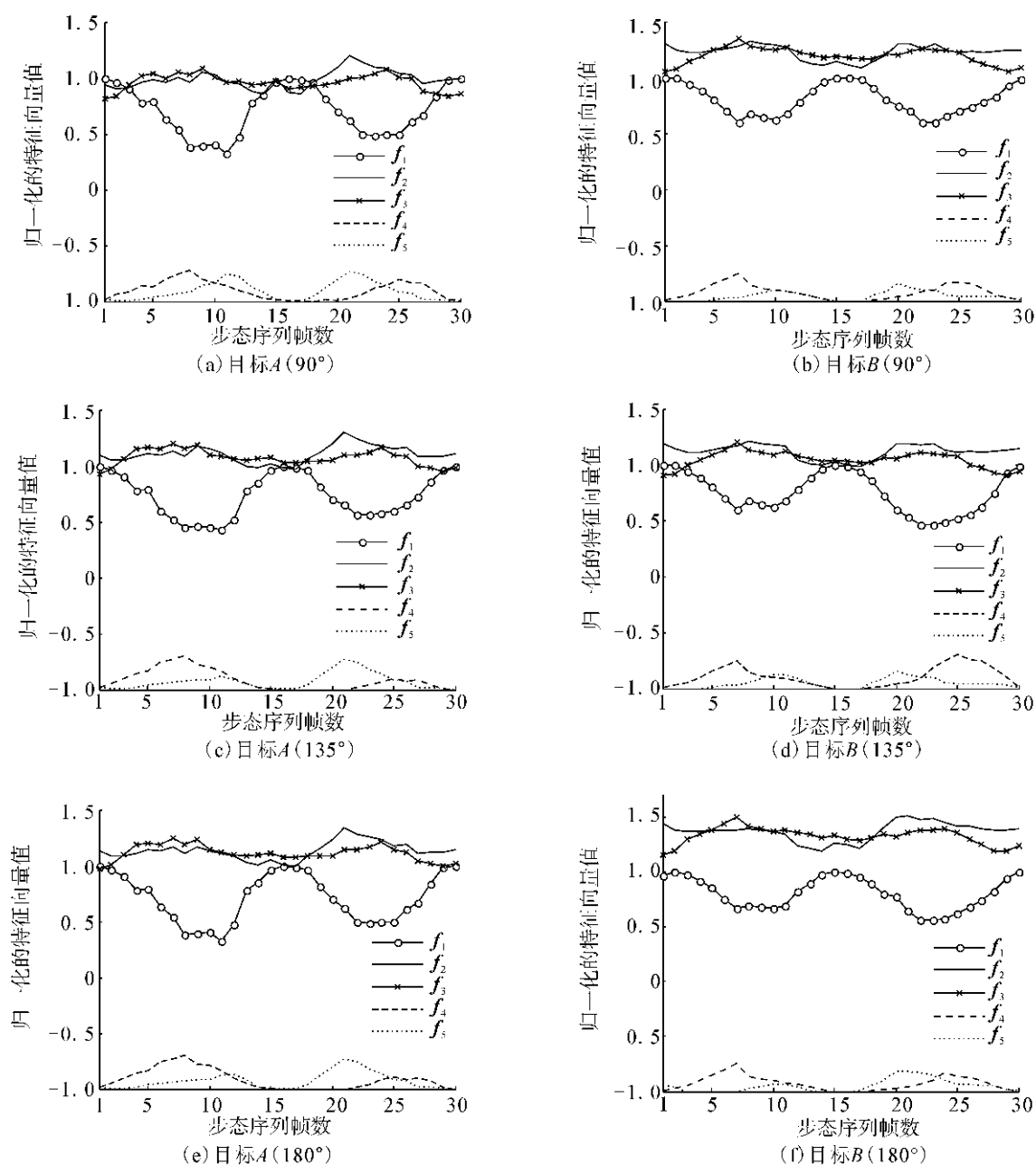


图5 2个不同目标(A 与 B)在3个不同视角下的步态特征

Fig.5 The extracted gait features of different targets at three different viewpoints

为了验证该算法所提取的步态特征用于身份识别的有效性,设计了2组实验.第一组实验是将6个人的任意2个视角的步态序列混合在一起,再对其进行分类.例如将24个90°视角的序列与135°视角的序列合在一起共计48个样本序列,利用留一交叉校验(leave-one-out cross validation)来划分样本并获取识别率的无偏估计.留一交叉校验是指对于所有步态序列,每次留出一个样本作为测试样本,剩下的样本全部作为训练样本;进而通过相似性度量进行分类,并记录正确分类的次数.实验中使用经典的欧式距离作为相似性度量,所得的正确分类率(correct classification rate, CCR)如表1所示.

表1 不同视角两两混合所得的正确识别率

Table 1 CCR in every two of different viewpoints mixed

| 测试样本 | 训练样本 | | |
|--------|---------|----------|----------|
| | 90°视角/% | 135°视角/% | 180°视角/% |
| 90°视角 | 91.67 | 72.92 | 64.58 |
| 135°视角 | 72.92 | 87.50 | 68.75 |
| 180°视角 | 64.58 | 68.75 | 87.50 |

另一组实验是将所有3个视角的序列混合在一起共计72个样本,同样利用留一交叉校验获取识别率的无偏估计,实验所得的CCR为63.89%.虽然2组实验所得的正确分类率并不高;但是本文的方法将不同视角的样本序列混合并进行交叉识别,在一定程度上克服了视角因素对步态识别的影响,并提供了一种从任意角度识别同一个体的可能性.

5 结束语

本文尝试了一种与视角无关步态识别算法,它需要满足一定的约束条件,即目标在行走过程中头部顶点连线与脚点连线需满足平行关系.这样的约束条件是为了简化空间点的坐标重建过程.通过空间点坐标恢复方法可以估计人体三棍简化模型的参数.本文抽取了其中5个模型参数来构成与视角无关的步态特征向量.实验结果表明新算法能在一定程度上克服视角因素的影响,提供了多种视角交叉进行识别的可能性.未来的方向将集中于建立更好的骨架模型来模拟人的姿态,以求更准确地表述人体运动特性,并进一步要在更大规模的数据库上测试算法的有效性.

参考文献:

[1] SARKAR S, PHILLIPS P J, LIU Z, et al. The humanID

gait challenge problem: data sets, performance, and analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(2): 162-177.

[2] KIRBY M, SIROVICH L. Application of the KL procedure for the characterization of human faces[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1990, 12(1): 103-108.

[3] HUANG P S, HARRIS C J, NIXON M S. Recognizing humans by gait via parametric canonical space[J]. Journal of Artificial Intelligence in Engineering, 1999, 13(4): 359-366.

[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): 353-360.

WANG Liang, HU Weiming, TAN Tieniu. Gait-based human identification[J]. Chinese Journal of Computer, 2003, 26(3): 353-360.

[5] WANG Liang, TAN Tieniu, HU Weiming, et al. Automatic gait recognition based on statistical shape analysis[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2003, 12(9): 1120-1131.

[6] YAM C Y, NIXON M S, CARTER N J. Gait recognition by walking and running: a model-based approach[C]//Proceedings of the 5th Asian Conference on Computer Vision. Melbourne, Australia, 2002: 23-25.

[7] SHAKHNAROVICH G, LEE L, DARRELL T. Integrated face and gait recognition from multiple views[C]//Proceedings of CS Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Kauai, Hawaii, USA, 2001, 1: 439-446.

[8] URTASUN R, FUA P. 3D tracking for gait characterization and recognition[C]//Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Seoul, Korea, 2004: 17-22.

[9] AVIDAN S, SHASHUA A. Trajectory triangulation: 3D reconstruction of moving points from a monocular image sequence[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(4): 348-357.

[10] PONS A D, LOPEZ A, LUMBRERAS F, et al. 3D vehicle sensor based on monocular vision[C]//Proceedings of IEEE Intelligent Transportation Systems. Vienna, Austria, 2005: 1096-1101.

[11] 生物识别与安全技术研究中心. NLPR 步态数据库[EB/OL]. (2001-12-10) [2008-06-01]. <http://www.sinobiometrics.com/china/Gait%20Databases%20CH.asp>.

Center for Biometrics and Security Research. NLPR Database[EB/OL]. (2001-12-10) [2008-06-01]. <http://www.sinobiometrics.com/china/Gait%20Databases%20CH.asp>.

www. sinobiometrics. com/english/Gait% 20Databases. asp.

- [12] QI Lei, WU Xiaojuan, ZHANG Yuanyuan, et al. New method of 3D point reconstruction from monocular camera [C]// MAYBANK S J, DING Mingyue, WAHL F, et al. MIPPR (Multispectral Image Processing and Pattern Recognition) 2007: Pattern Recognition and Computer Vision. Bellingham, USA: SPIE, 2007, 6788: 688808.

作者简介:



张元元,男,1984年生,博士研究生,主要研究方向计算机视觉、图像处理和模式识别等。



吴晓娟,女,1944年生,教授,博士生导师,山东大学信息科学与工程学院图像处理与模式识别方向的学科带头人。主要研究方向为智能信息处理、图像处理、模式识别、计算机视觉等。近几年来,主持了国家自然科学基金、军工、国际合作、教育部、省自然科学基金、省科技攻关等项目20余项。发表学术论文100余篇,其中有近30篇被SCI、EI检索。



李秀媛,女,1972年生,博士研究生,主要研究方向为无线通信、计算机网络等。

两本机器人学新著介绍——《机器人学基础》与《机器人学》

蔡自兴教授编著的《机器人学基础》和《机器人学》(第二版)两本教材,已分别由机械工业出版社和清华大学出版社出版。该教材作为国家级《智能科学基础系列课程教学团队》机器人学课程的配套教材使用。其中,《机器人学》曾获2002年全国普通高校优秀教材一等奖,被国家教育部推荐“优先选用的获奖优秀教材”,并被广大高校师生誉为“经典著作”,主要面向研究生和重点高校高年级学生。而《机器人学基础》则是首次出版的面向本科生的机器人学导论性教材。

两教材主要内容相似,但深度、篇幅和使用对象不同。该教材介绍机器人学的基本原理及其应用,涉及机器人学的概况、数理基础、运动学、动力学、控制、规划、编程、应用和展望等内容。该教材简述机器人学的起源与发展,讨论机器人学的意义,分析机器人的特点、结构与分类,探讨机器人学与人工智能的关系、机器人学的研究领域和人工智能争论对机器人学的影响;讨论机器人学的数学基础,包括空间任意点的位置和姿态变换、坐标变换、齐次坐标变换、物体的变换和逆变换,以及通用旋转变换等;阐述机器人运动方程的表示与求解,包括机械手运动姿态、方向角、运动位置和坐标的运动方程以及连杆变换短阵的表示,欧拉变换、滚-仰-偏变换和球面变换等求解方法等;着重分析机械手动力学方程的2种求法,即拉格朗日功能平衡法和牛顿-欧拉动态平衡法,然后总结出建立拉格朗日方程的步骤;研究机器人的控制原则和控制方法,包括机器人的位置伺服控制、力和位置混合控制和智能控制等;介绍机器人传感器的特点与分类、各种典型的机器人内传感器和外传感器的工作原理;讨论机器人轨迹规划问题,着重研究关节空间和笛卡儿空间中机器人运动的轨迹规划和轨迹生成方法;比较概括地论述机器人的程序设计,研究对机器人编程的要求和分类、机器人语言系统的结构和基本功能,几种重要的专用机器人语言,以及机器人的离线编程等;探讨机器人的应用问题,论述应用机器人必须考虑的因素和采用机器人的步骤,分析机器人的应用领域,介绍工业机器人的应用实例;分析机器人学的现状,展望机器人学的未来,包括国内外机器人技术和市场的发展现状和预测、21世纪机器人技术的发展趋势等。

《机器人学》第二版对第一版进行较大的修订与补充,例如增加了“机器人传感器”一章,把“机器人控制”一章改编为“机器人位置和力控制”与“机器人高级控制”各一章,把“机器人规划”一章扩展为“机器人高层规划”和“机器人轨迹规划”2章,并增加了“机器人路径规划”新内容等。

除了用作本科生和研究生的机器人学教材外,该书也适合从事机器人学研究、开发和应用的科技人员学习参考。

(周智星 季奇人)