

# 中型组足球机器人的非正面视角步态辨识方法设计<sup>①</sup>

田 锐<sup>②</sup>\* \*\* \*\* 卢振利<sup>③</sup>\* \*\* \*\* \*\* 刘 超\*\* 徐惠钢\*\* 毛丽氏\*\* 李 斌\*\*\*

(\* 中国矿业大学信息与电气工程学院 徐州 221116)

(\*\* 常熟理工学院 电气与自动化工程学院 常熟 215500)

(\*\*\* 中国科学院沈阳自动化研究所 机器人学国家重点实验室 沈阳 110014)

(\*\*\*\* 阿威罗大学 电子和信息通信工程研究所 阿威罗 3810-193 葡萄牙)

**摘 要** 研究了运动学中人体步态的特点,以实现中型组足球机器人在非正面视角时辨识人的步态。选取有效表征步态的特征量,用阈值法和帧差法判定特征量的状态,形成了解决该问题的基本方法。由 Kinect 获取人体骨骼点的三维信息,通过其生成的人体骨骼模型测得了机器人的视野范围。通过对人体步态处于非正面视角下的状况的分析,提出了一种基于 Kinect 的在非正面视角时的识别方法,且能够给出人体所处的方位角。实验验证了该方法的实用性和有效性,结果表明,该方法在多个非正面视角下都具有较高的识别率。该研究可为将来的人机足球对抗赛提供技术储备。

**关键词** 中型组足球机器人, Kinect, 步态识别, 非正面视角

## 0 引言

近年来,足球机器人技术进步明显,其最终目标是到 21 世纪中叶,拥有完全自主能力的类人机器人足球队能够打败人类组成的足球队。其中中型组足球机器人也越来越贴近人类足球运动的真实环境<sup>[1]</sup>,比赛的对抗程度最为激烈,防止机器人的恶意碰撞也被纳入了比赛规则。有效地识别目标以及目标的行为成了其中的关键,也为将来足球机器人与人之间的足球对抗赛打下基础。而在比赛场上,人类运动员的移动会不可避免地使机器人的观察视角发生变化。从而导致机器人对人体轮廓的提取发生巨大变化,这将对步态识别特征的选择和提取都会产生较大的影响<sup>[2]</sup>,从而引发不可预估的状况。因此,如何识别非正面视角的步态,用于机器人决策

系统决定下一步的动作,就显得尤其重要。近年来,关于步态识别的问题已经有了很多的研究成果。齐美彬等提出的一种将任意视角下待识别人的行走序列矫正为规范视角下行走序列的算法,可明显提高识别率<sup>[3]</sup>。Johnson 和 Bobick 提出了一种基于恢复静态身体参数的步态识别算法<sup>[4]</sup>,这种方法不依赖于角度,其观察方向的变化是通过计算跨角度的映射函数来完成的。

一种解决该问题的方法是先建立人的三维模型,再从此模型中提取步态特征进行步态识别。曾莹和刘波提出了一种利用下肢关节角度进行步态识别的方法<sup>[5]</sup>,但在视角变化时对步态识别的影响有待验证。文献<sup>[6]</sup>指出人体的三维步态特征相比二维步态特征为参数的步态识别,识别效果明显提高。张元元等提出的满足一定约束条件下的视角无关的步态识别算法<sup>[7]</sup>,利用二维图像恢复出关键点的空

① 国家自然科学基金(61473283),机器人学国家重点实验室开放课题(2014-008),校新引进教师科研启动项目(XZ1306,QZ1103)和葡萄牙政府(FCT CIANCIA2007)资助项目。

② 男,1989年生,硕士生;研究方向:机器人智能控制;E-mail:ts13060143@cumt.edu.cn

③ 通讯作者,E-mail:zhenhulu@csig.edu.cn

(收稿日期:2015-02-21)

间三维坐标,再将人体建模成一个相互连接的三棍模型,这样可以定义与视角无关的步态特征。本研究对非正面视角的步态行为进行了分析,利用新型体感设备 Kinect 获得已知的确定的骨骼信息,对非正面视角的步态特征选取方法进行了优化。而且提取有效的表征步态的特征量,用阈值法和帧差法判定特征量的状态,提出了一种为依赖三维深度信息非正面视角下进行步态识别的方法,最后在实验场地上对此方法进行了测试。

## 1 非正面视角的步态状况

### 1.1 视角变化

本文中,视角是指机器人观测人体的方向。当人行走的路线与摄像机图像平面不平行时,图像中人体的高度及步幅宽度等步态特征都会发生变化,这些变化对基于特征的人体步态识别影响较大。对于人体动作识别,观察视角的变化由两个情况引起——人体自身移动和机器人运动。当机器人静止时,这时只需分析由人体自身运动引起的视角变化。

视角变化可分为平移或旋转。在动作识别中,人体的自身体态表示具有平移的不变特性<sup>[8]</sup>。在步态识别中,人体的运动都类似于平移的线性移动,所以只需要考虑平移不变性。

### 1.2 实验场景

将 Kinect 放置于机器人顶部,由 Kinect 获得的人体深度信息生成的骨骼模型,用观察模型是否发生畸变的方法就可得到精度较高的骨骼点位置,从而获得机器人的视野范围。图 1(a)为机器人系统的视野范围在实验场地的标示图。图中场地上的红色标示线为系统的最小视距位置,黄色标示线以内的区域为机器人在此静态时识别人体骨骼可以取得较好的效果。图 1(b)为此标示图相应的示意图。机器人视野轴心为  $OO_1$ ,直线  $AB$  处为距摄像头 3.3m 的图像平面,直线  $AC$  与  $OO_1$  的夹角为  $45^\circ$  的方位角。本文所研究的对象都处于  $0 \sim 90^\circ$  视角内,其他区域视角的情况都可以以此做相应调整。

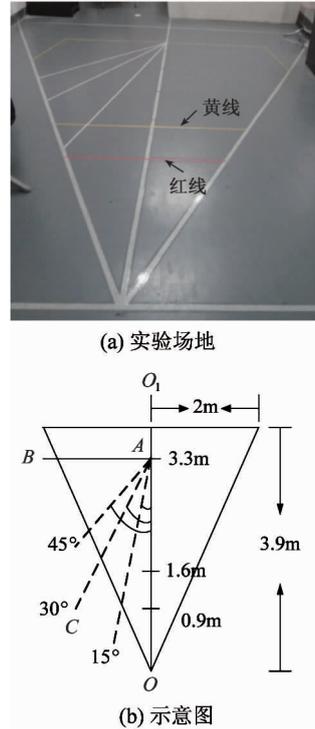


图 1 系统视野范围

在视野范围内,人体随着身体的转动,机器人的视角会发生变化,如图 2(a)所示,人体处于正面视角,图 2(b)则是非正面视角。

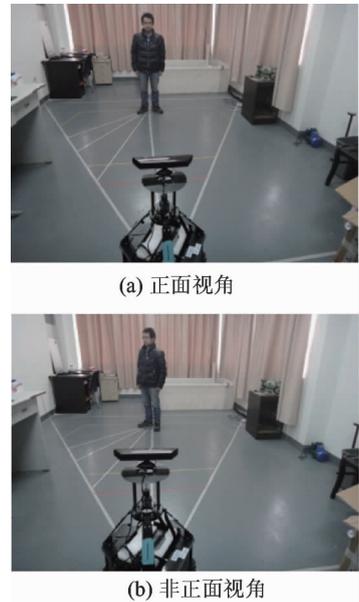


图 2 人体处于正面视角和非正面视角

实验者从 A 点以相同的步调出发,分别以方位角  $15^\circ$ 、 $30^\circ$  和  $45^\circ$  前进,用正面视角的测试方法进行

识别。开始前设定,若识别出前进步态则输出数值1,结果如图3所示。从图中可以看出,当方位角变化越大时,识别效果大大降低。

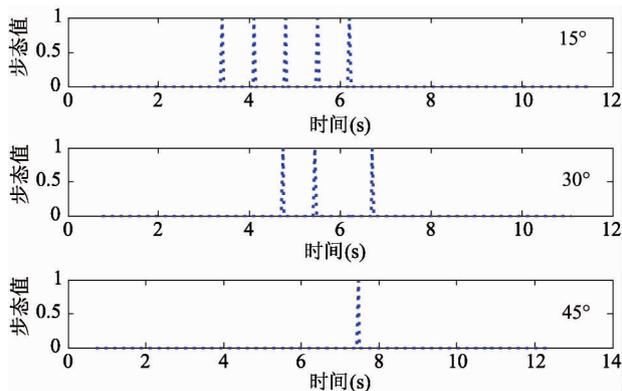


图3 非正面视角时的识别结果

### 1.3 人体骨骼追踪状态

微软的 SDK 能够提供 20 个骨骼点的追踪状态,该骨骼点的追踪状态用数值 0、1、2 表示,依次对应没有追踪、推测和确定追踪。当人体于非正面视角行走时,以  $45^\circ$  时的方位角为例,实验者在实验场地以此方向匀速向前行走,身体的各骨骼点的追踪状态如图4所示。图中的编号 0~3 表示人体躯干部分的骨骼点,依次为头部、肩部中心、脊椎和臀部中心;4~7 表示人体左臂的骨骼点,依次为左肩、左肘、左腕和左手;12~15 表示人体左腿的骨骼点,依次为左臀、左膝、左踝和左脚。由于人体的对称性,8~11 和 16~19 分别对应人体右臂和右腿的骨骼点。图中各小图的横坐标为系统运行的时间,纵坐标为骨骼点的追踪状态值。

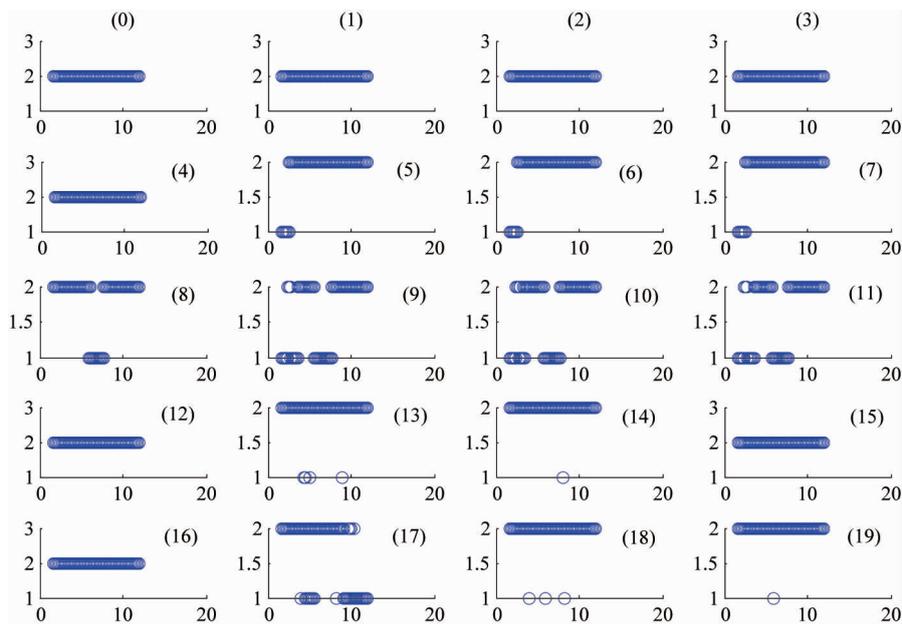


图4 骨骼点的追踪状态

从图中可以看出,在此过程中编号 0~4 所代表的躯干一直是确定追踪状态,左臂和左腿在人运动后也基本处于确定追踪状态,而右臂和右腿在此运动过程中存在一段时间的推测状态。这是由于人在运动的过程中,这部分的关节存在被遮挡而造成的。

由此可知,在非正面视角的条件下运动时,身体的被遮挡的骨骼点就会成为推测状态。此时,只有左半边的身体骨骼是处于确定追踪状态。但当这些骨骼位置未被遮挡时,这些骨骼点也会处于确定追

踪状态。

综上所述,在非正面视角运动时,部分骨骼点会由于遮挡存在一定的时间非确定追踪状态,这段时间的骨骼信息都是不确定信息,由此产生的关节点位置则是在模板匹配的过程中推测出来的。这些推测出来的信息不能用于步态识别,否则将影响辨识效果,甚至引起难以预估的误差。

## 2 非正面视角的步态识别

### 2.1 步态特征的选择

人体步态在运动中表现出明显的周期性。步态周期的时间可定义为一只脚触地开始直至同一只脚再次触地<sup>[9]</sup>。一个步态周期大致可以分为摆动期和支撑期。正常情况下,人在行走的过程中,腿部摆动伴随着相对的手臂摆动向着一个方向移动。由于左右腿运动的对称性,这个过程总是交替进行。

在人体步态识别研究中,人的身体的轮廓越明显越能获得更好的效果。在研究中也发现影响识别结果的较大的因素是下肢部位<sup>[10]</sup>。根据人的身体结构和 Kinect 能够采集的骨骼点信息,选取小腿和大腿间的弯曲角度(膝关节角度)作为特征变量,用  $\theta$  表示。为了消除运动过程中腿部被遮挡后对辨识结果的影响,由前文分析可知,在  $0 \sim 90^\circ$  的视角内,本文选择由确定信息计算出的手臂肘关节角度(用  $\delta$  表示)代替被遮挡后由推测信息计算出的膝关节角度,将其作为步态特征变量。

由于 Kinect 固定在机器人顶部,且其红外摄像机镜头位置为自身坐标系原点,则镜头距离地面的高度是不变的。在一个步态周期中,随着摆臂和抬腿,脚踝和手腕距离摄像头的高度  $Hf$ 、 $Hh$  是不同的,如图 5 所示,图中实线表示支撑期的运动状态,虚线表示摆动期的运动状态。这个高度也可作为步态识别的一个特征变量。

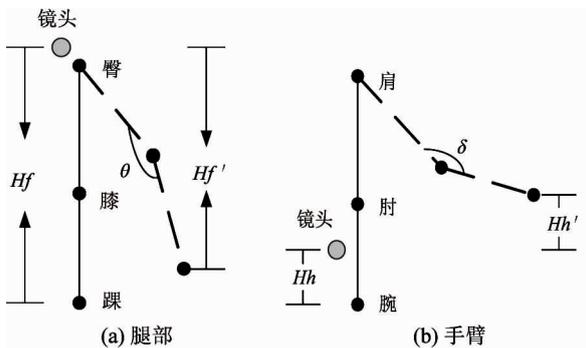


图 5 关节角度

### 2.2 关节角度获取

从人体骨骼模型中提取出臀部、膝部、脚踝 3 个

关节点,则运动过程中下肢关节角度可以用两个连续相邻关节点连线的夹角表示,如图 5(a)所示。

任意 2 个相连接的关节的长度值  $L$  计算式为

$$L = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (1)$$

式中,  $(x_1, y_1, z_1)$ 、 $(x_2, y_2, z_2)$  分别表示 2 个关节的 3 维坐标。

据式(1)和反余弦函数则可以估算出膝关节的夹角  $\theta$ , 计算式为

$$\theta = \cos^{-1}[(L_1^2 + L_2^2 - L_3^2)/(2L_1L_2)] \quad (2)$$

式中,  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$  分别表示左臀到左膝的长度、左膝到左踝的长度、左臀到左踝的长度。

手臂的关节点模型如图 5(b)所示,同理,可计算出手臂肘关节的夹角  $\delta$ 。

### 2.3 方位角的估算

三维中的人体左肩和右肩的连线是一条直线  $S_1S_2$ ,当人体处于  $0^\circ$  视角时向前运动,  $S_1S_2$  与视野轴心或其平行线垂直。人沿  $AC$  作直线运动时,摄像头在位置  $O$  捕捉到人体的骨骼是以方位角  $\alpha$  行走的,如图 6(a)所示,此时双肩的位置连线  $S_1'S_2'$  为图中的虚线表示,与  $0^\circ$  视角时  $S_1S_2$  的平行线的夹角为  $\beta$ 。

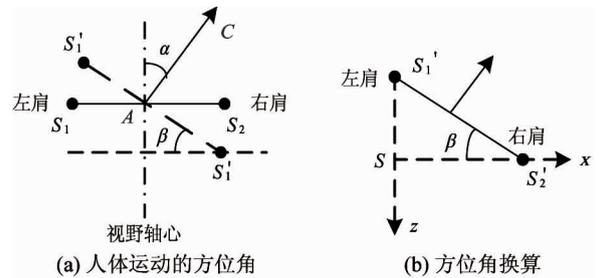


图 6 方位角计算

通常情况下,人体站立时双肩的高度大致相等,因此可以将 3 维空间降维到 2 维平面计算。在平面  $XOZ$  上,可知  $\alpha$  与  $\beta$  相等,则根据  $\beta$  求出人行走的方位角  $\alpha$ 。如图 6(b)所示,由几何关系可求得

$$\beta = \tan^{-1}[SS_1'/SS_2'] \quad (3)$$

式中,  $SS_1'$  是左肩到右肩的距离在  $Z$  轴方向上的分量,  $SS_2'$  是它们在  $X$  轴方向上的分量。

据式(3)和系统的视觉坐标系,任意时刻的方位角度值  $\alpha$  计算式为

$$\alpha = \tan^{-1}[(z_2 - z_1)/(x_2 - x_1)] \quad (4)$$

式中,  $(x_1, z_1)$ 、 $(x_2, z_2)$  分别表示左肩和右肩的在水平平面的坐标。

### 3 实验及结果分析

在对人体步态识别的测试中,实验的操作系统为 Windows 7,软件是使用 VS2010 工具中的 C++ 开发设置,选择 Win32 控制台应用程序编程实现。将一次前进序列的识别结果显示在屏幕上如图 7 所示。通过将机器人固定静态点标定的位置,测试在真实环境下对非规范视角的步态识别。最终将实验结果的数据进行了曲线描绘,并进行相关分析。

#### 3.1 识别规则

本文主要研究的对象是人的基本步态,所以针对未携带任何物品的人的行走步态,对人的前进和后退两种步态的周期进行识别。



图 7 步态识别结果输出到屏幕

由前文对非正面视角的步态分析可知,判断是否完成了一个步态周期,可将其分成 3 个状态:

(1) 步态信息来源的状态,其必须满足是确定追踪状态。

(2) 摆动期的状态,特征变量  $\theta$  和  $Hf$  用于共同表征左腿的步态信息,而  $\delta$  和  $Hh$  表征右腿的步态信息。

(3) 移动的状态。为了区分出前进和后退两种步态,引入特征变量  $X_{hip}$  (表示臀部  $X$  坐标) 和  $Z_{hip}$  (表示臀部  $Z$  坐标),用于辅助机器人判定实验者的步态行为。

本文所述的阈值法是通过经验法选择最佳的阈

值进行分割步态行为,帧差法是采用相邻两帧间(上一帧减去下一帧)人体骨骼点数据的差值来提取出步态中的变化。特征变量  $\theta(\delta)$  用阈值法选取合理的阈值(本文选取 2.8(2.7)),小于阈值的都可认为是在摆动期,累加连续帧摆动期的次数,当累计次数超过 10(5) 且  $Hf$  接近支撑期的高度( $Hh$  大于垂直放下的高度),则确定摆动期状态。移动期的状态是根据特征变量  $X_{hip}$  或  $Z_{hip}$  累加连续帧发生的次数来确定。以前进为例, $X_{hip}$  或  $Z_{hip}$  是由帧差法大于(或小于)阈值(本文选取  $\pm 0.005$ ) 为发生条件,阈值的正负是由 Kinect 视野方向决定,如图 8 所示,当累计次数超过 18,则确定此状态。事先设定,系统识别出实验者行走的步态后输出数值  $\pm 1$  和  $\pm 2$ ,“+”表示前进,“-”表示后退;“1”代表左脚,“2”代表右脚。

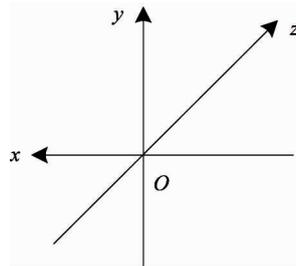


图 8 Kinect 的视野方向

#### 3.2 实验结果

本文主要进行两项测试,每次实验均选择系统有效视野的最右端为同一起点。第 1 项测试是在系统视野范围内以非正面视角行走,以 0.4m/s 的步调沿方位角约  $45^\circ$  的方向匀速前进,如图 9(a) 所示。到达视野边缘后,再以此位置向起始点位置后退,如图 9(b) 所示。当人体的步调过快时,需要调整用于判定状态的累计次数。

程序启动后开始计时,Kinect 从开始工作到获取第一帧骨骼信息经历的时间约为 2s,在此之后以 30 帧/s 的频率刷新视野内的人体骨骼信息。第 1 项测试相应的识别结果如图 10 所示,结合图 9 对比可看出,实验者在连续的步态序列中,左右脚的步态行为均被系统识别。图 9(a) 和图 9(b) 的最后一步为收脚动作,并未被系统判定为一次步态行为,符合常理。



(a) 前进序列



(b) 后退序列

图9 非正面视角的步态识别测试

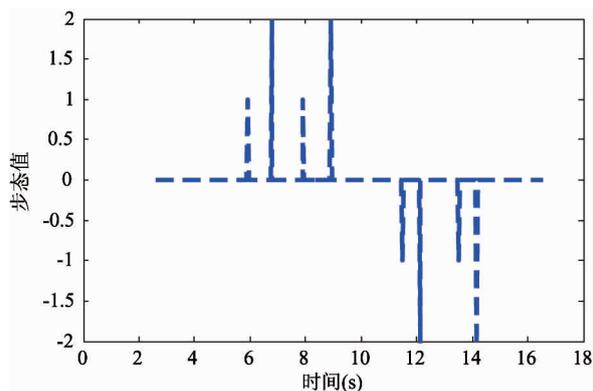


图10 步态识别结果

图11为对应图9的方位角实时变化曲线,由曲线可看出,方位角近似在 $51.5^\circ$ (弧度制为0.9)上下

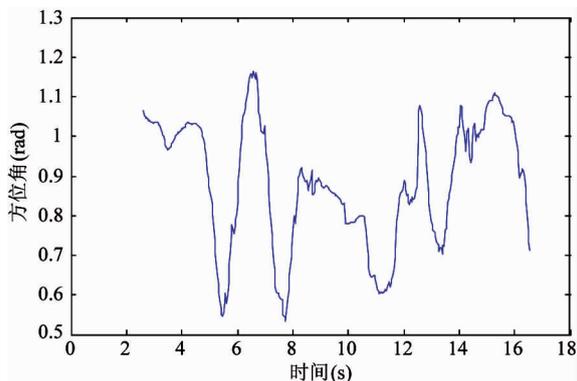


图11 方位角变化曲线

波动,这是因为人在行走的过程中,肩部会随着步态发生较小角度的转动所造成的。图中所得的方位角的轴线才是实验者真实行走的方向,结果表明与实际行走的方向相符合。

第2项测试是在不同视角条件下行走,成功识别该次试验前进和后退的步数,然后求出识别率,以测试该方法对不同方位角的鲁棒性。同一方位角的识别率为成功识别的步数和实验的总步数之间的比率,计算式为

$$\text{识别率} = \frac{\text{成功识别步数}}{\text{实验的总步数}} \times 100\% \quad (5)$$

相应测试结果如表1所示。可以看出:本文方法在多个非正面视角下对人的步态识别率总体普遍较高。这说明前面选取的步态特征的有效性,也说明本文的识别方法具有一定的合理性。

表1 非正面视角的步态识别率

视角	实验步数	成功识别	识别率(%)
15	50	48	96
30	50	48	96
45	50	48	96
60	50	46	92
90	50	44	88

对比各视角可看出,视角不大时,识别率要高于较大时的识别率,这是因为实验者的轮廓特征可以较完备地作为该人显著的正面轮廓。这样系统较为容易地分辨出人体的各个部分,也就是说此时目标的步态变化相对较大视角包含了更多的人体步态特征信息,特征信息越多则识别效果越好,所以此时识别率相对其它视角较高。视角在  $90^\circ$  附近时,主要是人体右边轮廓几乎被遮挡的影响,步态特征如手臂和腿部在此时的摆动不能很好的识别出来,从而特征变量的差异相对其它视角有所减小,识别率降低。

与文献[3]和文献[4]采用非建模的方法相比,文献[5]和文献[7]虽然是建立模型的方法,但是建立的模型和步态特征选取与本文有所不同,且他们都是针对步态形态的识别。而本文所做的工作侧重于检测出人体步态行为的步数,且在真实环境下对本方法进行了测试。虽然步态识别技术目前尚未在中型组足球机器人领域广泛开展,但通过以上的实验结果可以得出,未来将本方法应用到人机足球对抗赛也是可行的。

## 4 结 论

在人机足球对抗赛中,如何识别出场上运动员的动作,这一关键问题是当前研究的一个难题。本文将 Kinect 与中型组足球机器人结合,并将其作为机器人识别人体步态的眼睛,在此基础上根据人运动的实际步态,选取合理和有效的特征量,对正面的步态识别方法进行了优化,避免在非正面视角时影响步态识别的结果,进而提出了一种基于 Kinect 的非正面视角步态辨识方法。

为了验证本文所提出的非正面视角步态识别方法的实用性和有效性,本文进行了实验,并在多个非正面视角下进行了比较。实验证明,本文提出的基于 Kinect 的步态辨识方法能够在非正面视角下进行步态识别,并能检测出与实际行走相符合的方位角,在非正面视角的测试中是可行和有效的。但是

本方法仍然存在一定的不足,比如在多个人的情况下如何保证识别情况不被干扰。另外人体在步调过快时识别性能有一定程度的下降,如何最大程度地减小实际比赛场地对识别性能的影响还需要在今后进一步研究。

## 参考文献

- [ 1 ] 郑志强, 卢惠民, 王祥科等. RoboCup 中型组足球机器人系统关键技术. 控制工程, 2010, 17: 121-126
- [ 2 ] Collins R T, Gross R, Shi J. Silhouette-based human identification from body shape and gait. In: Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, Washington, USA, 2002. 366-371
- [ 3 ] 齐美彬, 王倩, 蒋建国. 非规范视角步态识别研究. 仪器仪表学报, 2008, 29(10): 2058-2061
- [ 4 ] Johnson A Y, Bobick A F. A multi-view method for gait recognition using static body parameters. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Audio-and Video-Based Biometric Person Authentication. Halmstad, Sweden, 2001. 301-311
- [ 5 ] 曾莹, 刘波. 一种基于关节角度的步态识别新方法. 现代电子技术, 2010, 33(10): 86-89
- [ 6 ] 邓秀春, 王仁芳. 基于三维步态特征的步态识别方法. 计算机仿真, 2011, 28(4): 279-282
- [ 7 ] 张元元, 吴晓娟, 李秀媛等. 平行线约束下的视角无关步态识别算法. 智能系统学报, 2009, 4(3): 264-269
- [ 8 ] 黄飞跃, 徐光祐. 视角无关的动作识别. 软件报, 2008, 19(7): 1623-1634
- [ 9 ] 张博锋, 张静茹, 颜科等. 基于人类行走模型的步态特征提取方法研究. 计算机应用与软件, 2009, 26(5): 198-201
- [ 10 ] Phillips P J, Sarkar S, Robledo I, et al. The gait identification challenge problem: data sets and baseline algorithm. In: Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, 2002, 1: 385-388. doi: 10.1109/ICPR.2002.1047410

## Design of a non-front view method for gait recognition for Middle Size League Soccer Robots

Tian Kai<sup>\* \*\* \*\* \*</sup>, Lu Zhenli<sup>\*\* \*\* \* \*\* \*</sup>, Liu Chao<sup>\*\*</sup>, Xu Huigang<sup>\*\*</sup>, Mao Limin<sup>\*\*</sup>, Li Bin<sup>\*\*\*</sup>

(<sup>\*</sup> SIEE, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

(<sup>\*\*</sup> SEAE, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

(<sup>\*\*\*</sup> State key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang110014)

(<sup>\*\*\*\*</sup> IEETA, University of Aveiro, Aveiro 3810-193, Portugal)

### Abstract

Kinematical characteristics of human gaits were studied with the aim to achieve middle-sized league soccer robots' human gait recognition at the non-positive view. The feature quantities for effective representing of gaits were adopted and the threshold and frame difference were used to determine the state of characteristic quantities to form the basic method to solve the problem. The three-dimensional information of human bone points was captured by using Kinect to measure the robot view field with the human skeleton model generated by Kinect. By analyzing the human gait situation at the non-positive view, a Kinect-based identification method for gait recognition under the non-positive view was presented. The proposed method can show the azimuth angle of the human body. The practicality and effectiveness of the method were verified by experiment, and the results showed that it had a high recognition rate at several different non-positive perspectives. The study provides technical reserves for future football match between human and robots.

**Key words:** middle size league soccer robot, Kinect, gait recognition, non-front view