

## 中型组足球机器人传球动作辨识与再现<sup>①</sup>

田 铛<sup>②</sup>\* \*\*\* 卢振利<sup>③</sup>\* \*\*\* 徐惠钢\* 顾启民\* 毛丽民\* 陈 勇\* 李 斌\*\*

( \* 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)

( \*\*\* 中国矿业大学信息与电气工程学院 徐州 221116)

( \*\*\*\* 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** 为了使中型组足球机器人具有识别并模仿人的传球动作的能力,在研究人的传球行为的基础上,提出了一种使中型组足球机器人能够识别和再现人的传球动作的可行方法。该方法利用 Kinect 感应器获取人体的三维骨骼信息,从生成的人体骨骼模型中选取有效表征人体传球动作的特征变量,然后通过阈值法和帧差法判定特征变量的变化,实现对人的传球行为的识别,并以此获取传球动作的传球角度,使机器人再现人的传球动作。针对人机交互中的传球动作辨识与再现提出了一种实际可行的解决方案。试验表明,该方法能够辨别多个角度传球的动作,并能保持较高的识别率,从而验证了该方法的实用性和有效性。

**关键词** 中型组足球机器人, 传球, 动作辨识, 动作再现

## 0 引言

如今机器人足球比赛已逐步发展成为人工智能研究的新领域,受到科技界的高度重视<sup>[1]</sup>。传球是足球运动中最基本的技术之一,是实现战术目的的重要手段,也是在比赛中应用最多的一项技术。传球在比赛中是队员之间最有效的相互联系的方式,而且巧妙和准确的传球也能够提高足球比赛的观赏性<sup>[2]</sup>。机器人在比赛中正确地搜索出有效的传球角度和传球路径,将球有效地传给自己的队员,是比赛取胜的一个重要因素<sup>[3]</sup>。

人体动作行为识别是近年来机器人领域的一个研究热点,其广泛应用于诸多领域,特别是人机交互<sup>[4]</sup>等相关研究。由于人体动作行为的空间复杂性和时间差异性,这一研究领域在目前还没有统一

的研究框架,相关技术也没有具体的分类分析方法。目前通常是选取人体动作行为识别中的部分典型问题作为对象,对研究这些对象中涉及的方法进行分析分类<sup>[5]</sup>。但现有关于传球动作的分析方法却很少,而大多是对人体动作序列和机器人本体作为研究对象,诸如踢球机构的建模与研究<sup>[6]</sup>、机器人基本动作的设计和实现<sup>[7]</sup>以及手势控制<sup>[8]</sup>,然后对其研究方法进行评估验证。因此,本文对人的传球动作行为进行了分析,在此基础上提出了以下传球动作辨识方法:利用 Kinect 感应器获得三维深度信息和骨骼模型,继而选取其中有效表征传球动作的特征变量,通过阈值法和帧差法判定特征变量的变化来实现对传球行为的判定,将人的传球动作行为再现问题归纳为机器人经过检测人的动作数据而获取传球角度,并转换为自转速度,从而使机器人具备与人进行传球动作行为交互的能力。对此研究有利于

① 国家科技支撑计划(2014BAK12B01),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)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: zhenliu@cslg.edu.cn

(收稿日期:2015-03-15)

人机交互的实际应用及未来发展,可为多方式人机交互模式研究提供参考,对服务机器人具有实用的技术价值。试验结果证明,上述方法既能简单方便地识别出机器人视野范围内多个角度的传球行为,并保持较高的识别率,又能使机器人再现该角度传球行为,具有较好的实用性和有效性。

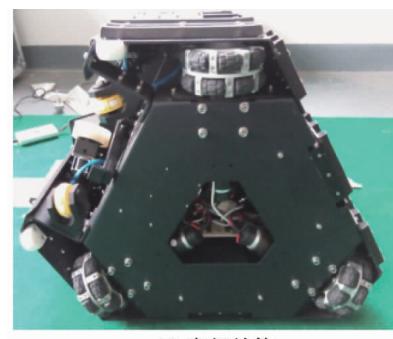
## 1 基于行为的动作设计

### 1.1 中型组足球机器人基本行为的实现

人类足球比赛中,传球和控球动作是依靠双腿的协作来完成的,而机器人在此方面不仅仅靠简单的行为,还需要在一定的条件下用一些技术去实现,而这些技术就是由机器人自身的基本动作构成的。因而,我们需要将人的足球动作作为参考,来设计机器人的基本行为,以适应于动态、未知环境下多个足球机器人的比赛任务<sup>[9]</sup>和人机交互研究。同时,基本行为动作是机器人智能行为的基础。一个完整的智能系统,如机器人的硬软件和上层的视觉、决策等控制系统,是机器人智能化的体现。但真正的智能化是体现在行为策略上,更直接体现在足球机器人是如何运动和完成动作的。而机器人的运动就需要依靠机器人的基本动作来实现<sup>[10]</sup>。

本研究所用的机器人为 RoboCup 中型组足球机器人,是博创公司研制的旅行者Ⅲ号机器人,其底盘为三轮全向轮式结构,如图 1(a)所示。底部驱动是由 3 个相同的伺服电机构成,呈现互补结构<sup>[11]</sup>。这种结构运行稳定,大轮外缘使用较多的小轮,始终有一个小轮的外缘可以着地,并且着地点内外交错,具有较高的承载能力,具备灵活的移动能力。

机器人工作空间为一平面,建立如图 1(b)所示的绝对坐标系  $x_u-y_u$  和机器人的坐标系  $x_r-y_r$ ,以分析三驱动轮的控制方法<sup>[12]</sup>。其中,机器人坐标系原点与机器人中心重合,  $L$  为机器人轮子中心到自身中心的距离。由运动学分析可知,三个轮子速度分配合理,就可以向任意方向运动。而机器人做自身中心为圆心的自转运动,只需给定 3 个轮子相同的大小和方向的转动速度  $v_i$ , 转动方向是沿着半径为  $L$  形成的圆的切线。



(a) 底部结构

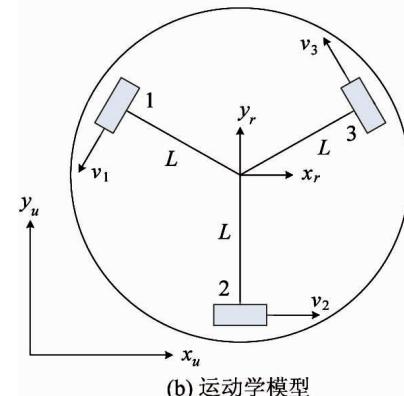


图 1 RoboCup 中型组足球机器人

此外,中型组足球机器人还具有体现足球运动显著特点的能力——持球和射门。机器人持球是用位于正前方的 2 个持球电机协调转动完成,机器人射门动作是用位于前方的电磁式弹射器来完成。

### 1.2 人的传球动作

关于人的足球传球动作,无论是哪一种传球方法,都要涉及到以下 3 个环节。

(1) 支撑脚站立。踢球时,由于一只脚要用来随意摆动击球,因此需要另一只脚站在地上以维持身体的平衡。起支撑作用的那只脚就叫做支撑脚,当支撑脚站立后,球员就可以向任意角度传球。

(2) 踢球脚的摆动。这是关系到传球方向和传球力度大小的决定因素。正常情况下,球与踢球脚正面接触后,由踢球脚传递的力使得球向远处运动,传球的方向就是踢球腿摆动的方向。

(3) 踢球脚的收回。踢球脚击球后,球会随着被踢得力度传向别处,此后传球动作由最大幅度向身体收回,传球动作结束。

## 2 传球动作的辨识与再现

### 2.1 传球动作的特征选取

传球动作特征提取是为了进一步选取传球信息,以使机器人能够学习和理解传球动作的过程。将 Kinect 感应器放置在机器人的顶部,人体正面面对机器人做出传球动作。根据人的身体结构和 Kinect 生成的骨骼模型,再依据前文的传球动作分析,本文选取踢球脚摆动的高度变化作为传球动作的一个特征,也就是踢球的脚抬起的高度。但由于 Kinect 识别脚心的位置会存在较大的偏差,故选择脚踝关节,用其变化的高度作为一个特征变量,用  $h$  表示。

在一次传球动作中,通常情况下随着抬腿和击球,踢球腿是伸展向前踢球,腿的长度不会发生大幅度的弯曲。因此选用骨骼模型中的脚踝到臀部的长度作为另一个特征变量,用  $l_1$  表示。而任意相邻关节在三维空间中的长度值  $l$  计算式为

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

特征变量的合理选取能够有效地和其他动作区分开,从而不会受到非传球动作的影响,造成机器人误判。

### 2.2 传球角度的获取

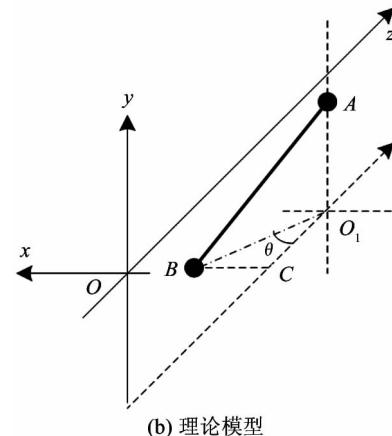
在传球过程中,有两个因素会影响到传球的结果,一个是传球力度,另一个是传球角度。传球力度的大小从单纯的传球动作上很难准确获取,因此本文中暂时不考虑传球力度,只对传球角度进行理论分析。

机器人的视野原点为图 2(b)中的  $O$  点,建立如图所示的坐标系。当人处于机器人正前方时,由 Kinect 获取的骨骼点信息是人体的空间三维信息,通常是将投影到  $xOy$  平面的信息生成骨骼模型,显示在窗口中。当人做不同的动作时,模型将会显示出与人当前相同的作品。由于二维平面的局限性,三维信息中的深度信息被隐藏。但只要在有效的视野范围内,Kinect 提供的骨骼点信息与实际人体所处的空间位置信息相差不大。

当球员不是向正前方传球时,传球的方向和人面对的方向就会形成一个传球角度  $\theta$ 。试验者做出的一次传球动作如图 2(a)所示,此时踢球腿摆动到一定的角度和高度。为分析传球角度,从人体骨骼模型中提取出臀部(图中 A 点)和脚踝(图中 B 点)2 个关节点放在三维空间中进行分析,从而建立的理论模型如图 2(b)所示。



(a) 传球动作



(b) 理论模型

图 2 人体传球的角度

过关节  $B$  作  $xOz$  平面的垂点  $C$ ,由于图 2(a)站立的位置,关节  $A$  恰好处于  $xOz$  平面内。过  $A$  作平行于  $y$  轴的直线,过  $C$  作平行于  $z$  轴的直线,两直线相交于点  $O_1$ 。由理论模型可知  $\theta$  为平面  $AO_1B$  和平面  $AO_1C$  的相交的夹角,则图中的  $\theta$  即为所求该次传球动作的角度。

因关节  $A(x_1, y_1, z_1)$  和关节  $B(x_2, y_2, z_2)$  由 Kinect 测得,则线段  $BC$  和  $O_1C$  的长度可由下式得出:

$$BC = x_2 - x_1 \quad (2)$$

$$O_1C = z_1 - z_2 \quad (3)$$

同时  $\theta$  也是直角三角形  $BO_1C$  的内角, 据式(2)和(3), 由反正切函数则可以估算  $\theta$ , 计算式为:

$$\theta = \tan^{-1}(BC/O_1C) \quad (4)$$

## 2.3 机器人传球动作再现

人可以通过双腿协作轻松地做到对各个方向传球, 而对于机器人来说这并非易事。中型组机器人属于轮式机器人, 本身不具备双腿的灵活性, 要使机器人进行传球行为, 就需要基本行为动作中的持球、自转和射门组合完成。

机器人持球和踢球都易于实现, 机器人再现传球动作的关键点是如何使机器人带球转过传球角度  $\theta$ , 到达踢球的位置。为此, 本文所采取的方法是先测得机器人在原地自转一圈后, 无误差回到起始位置所需的自转速度。且由于无误差自转一圈刚好是  $360^\circ$ , 则传球角度  $\theta$  可由转动速度换算得出。

测量方法是从机器人顶部观察, 在初始位置时, 以地上的白色标线为测量基准, 如图 3 所示, 机器人本体左后方的边缘连成的直线(图中以绿色线条标示)与地上的白色标线成平行关系。因机器人的驱动电机为伺服电机, 电机转动时位置精度非常高, 当

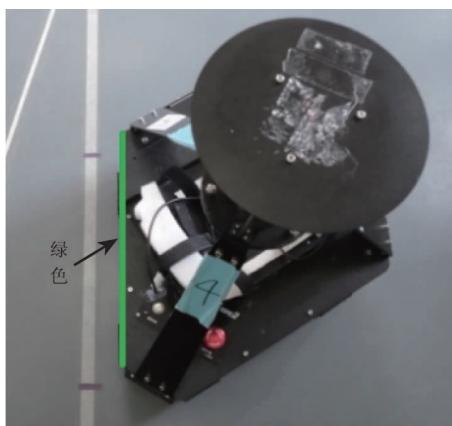


图 3 机器人转动测量方法

机器人无误差自转一周, 机器人会回到初始位置, 则两线应保持平行状态。

依照上述理论, 通过多次测量和反复验证求得机器人原地自转一圈所对应的自转速度。测得结果如表 1 所示。

表 1 机器人自转的测量

方向	速度 (rad/min)	连续周期	与基准偏差
向右	1190	8	有
	1191	10	无
	1192	8	有
向左	-1193	8	有
	-1194	10	无
	-1195	8	有

由分析可知, 机器人需要转动角度  $\theta$  后踢球, 此时  $\theta$  已知。求出机器人的转动速度  $V$ , 即为转动角度  $\theta$ , 由上表的测量结果可得出,  $V$  的计算式为

$$V = V_1 \cdot (\theta/360) \quad (5)$$

式中,  $V_1$  为机器人无误差旋转一周的自转速度, 取值与机器人的转动方向有关, 选取时参照表 1 的测量结果。

## 3 试验及结果分析

本研究对人体传球动作识别与再现进行了测试, 试验的操作系统为 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。本文所述方法的传球结构如图 4 所示, 即通过将机器人固定预先的位置, 测试本方法在真实环境下对人体传球动作及其角度的识别效果。最终将试验结果数据进行了整理, 并进行相关分析。

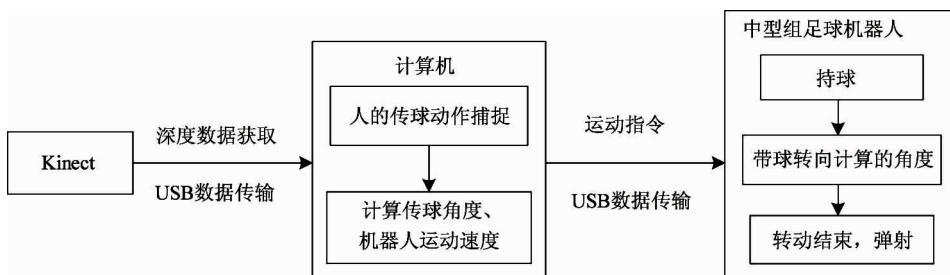


图 4 基于 Kinect 的中型组足球机器人传球结构

### 3.1 识别规则

本文主要研究的对象是人的传球行为，并使机器人对人体以不同角度传球进行识别和模拟。所用的阈值法是根据经验法选择一个合理的阈值作为判定变量发生变化的条件，帧差法是相邻两帧骨骼信息的相同骨骼点发生变化产生的差值。

由前文对传球动作的分析可知，判断是否处于传球动作，可从传球特征变量大于阈值来体现，通过经验法选定特征变量发生的阈值条件。表 2 是特征变量的变化值列表， $h$  是关节  $B$  在  $y$  轴上的变化，阈值由经验法选定，由帧差法判定只有大于此阈值时才是正在抬腿。此外，每当抬腿动作发生时，踢球腿应保持伸展而不是呈现弯曲状态，即  $AB$  的长度  $l_1$  要大于弯曲时的长度，阈值的选取是根据试验者的踢球腿的长度来确定，据式(1)可得出  $l_1$ 。

表 2 变化值列表

变量	阈值	作用
$h$	0.005	是否有抬腿动作
$l_1$	0.7	踢球腿是否伸展
$c$	10	连续的抬腿动作

人的传球行为是一个连续的动作，表现出连续抬腿动作发生且踢球腿一直保持伸展，因此引入一个计数变量，用  $c$  表示。对传球过程进行累加，阈值由经验法选定，当  $c$  大于此阈值时，则判定这是一次传球行为。当非连续的抬腿动作或传球行为已判定后， $c$  均会重新计数。

### 3.2 测量机器人传球后的角度

机器人传球后，需要对机器人转向的角度进行测量，以验证传球角度的准确性，所用的测量方法如图 5 所示。

机器人传球前，以场地上红色标线为基准线，机器人的正前方的边缘连成的直线（图中以黄线标示）与基准线平行，如图 5(a)所示。当机器人转动角度传球后，机器人本体会偏离原来的方向，此时黄线和基准线会形成一个夹角  $\delta$ ，这个夹角就是机器人实际转向的角度。例如，机器人转向  $90^\circ$  后，机器人停止的位置如图 5(b)所示，由图可知此时  $\delta$  等于  $90^\circ$ 。

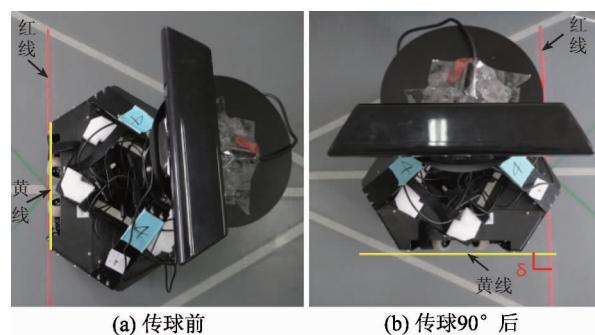


图 5 机器人转向角度的测量

### 3.3 试验结果

试验者站在机器人试验范围内，以正面面对机器人进行传球识别试验。当人的传球行为被成功捕获，则据式(4)可计算出本次传球的角度，据式(5)可计算出转向该角度所需的电机转速。程序启动后，软件的操作界面如图 6 所示，可将识别后的传球动作信息显示如图 6 的命令窗口内。

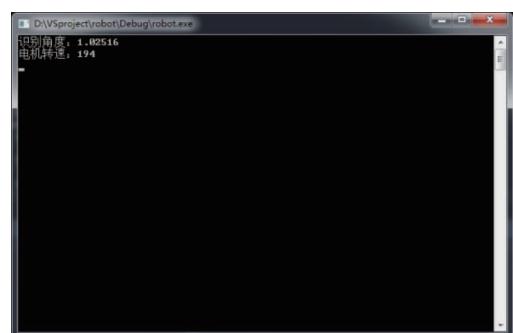


图 6 显示传球信息

机器人从试验者获取传球行为的信息，向目标（盒子）传球。图 7 展示的是机器人进行一次完整的传球行为识别和再现的过程。

针对本文所研究的问题，本文主要进行两项测试。

第 1 项测试是在系统视野范围内以不同角度传球并验证机器人实际转体的角度。试验者选择系统有效视野的同一地点进行测试，以  $0^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $-45^\circ$  方向对试验者的传球行为进行识别，并向目标（盒子）进行该角度传球，相应的试验结果如图 8 所示。

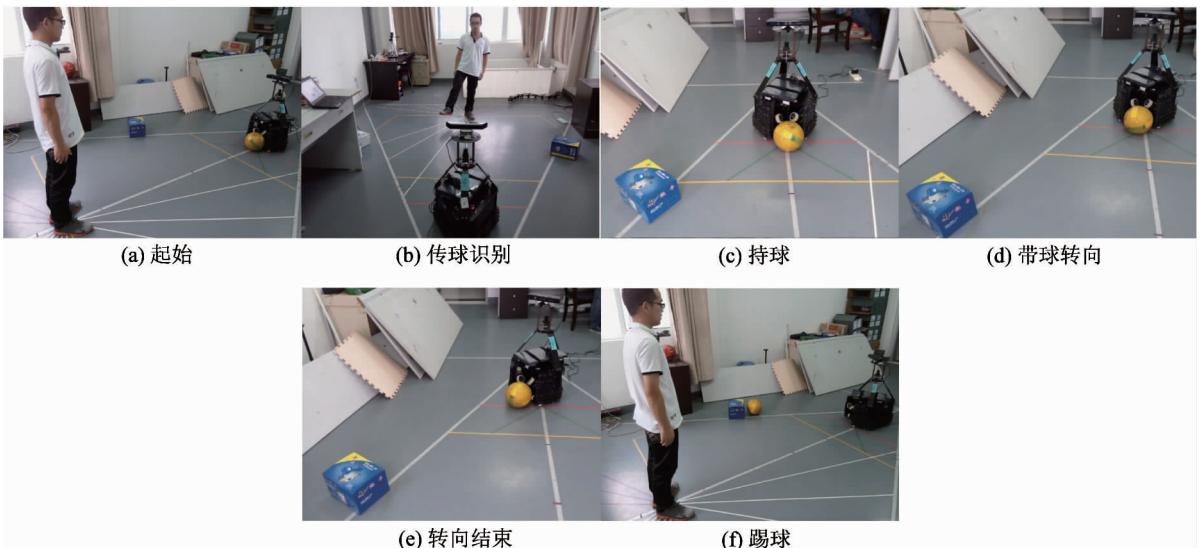


图 7 机器人的传球行为

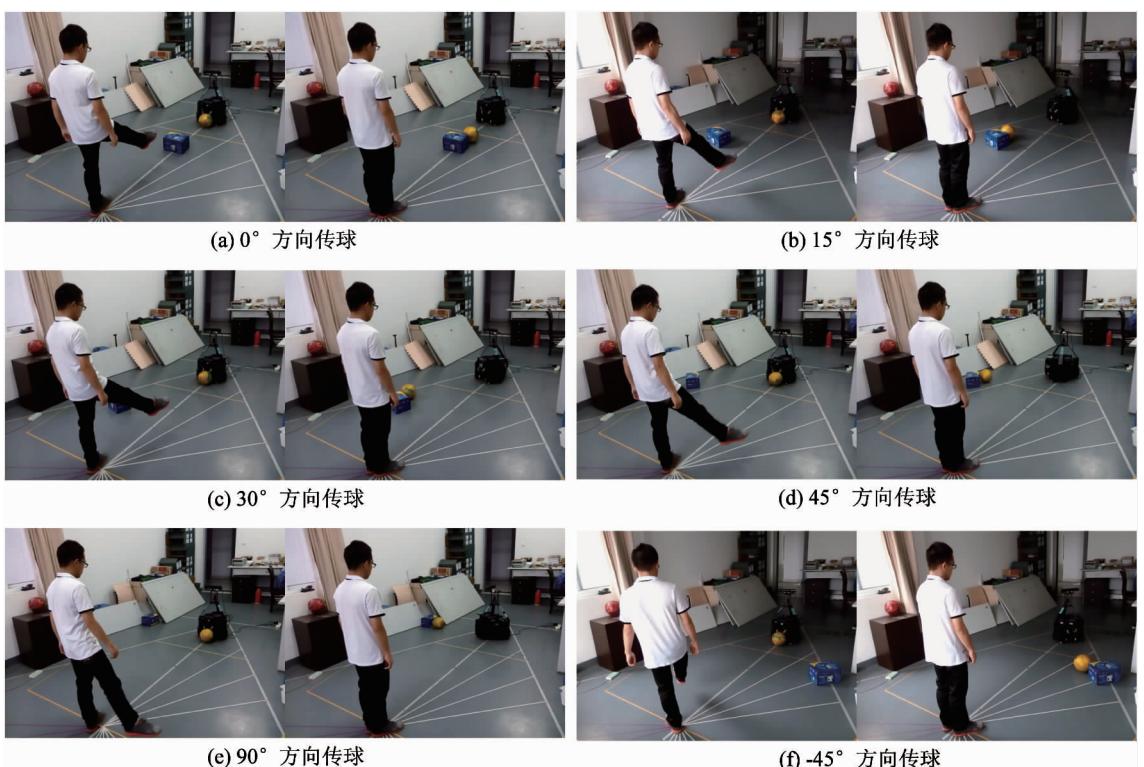


图 8 不同角度的传球识别及再现

该项测试相应的机器人识别信息如表 3 所示。表中的信息都是机器人识别传球行为后,计算机显示到界面上的当前角度测试的信息。

表 4 为机器人传球后对应该角度的机体转向角度验证的测量结果。测量方法是选择一个固定长度为 26.5cm 的长尺作为直角三角形的底边(图 5 中

的红线),再用卷尺测得机器人传球后的斜边(图 5 中的黄线)长度,根据反余弦公式即可求出  $\delta$ 。

通过表 3 和表 4 的试验数据,对比  $\theta$  和  $\delta$  可以得出,机器人识别出的角度和实际转向后的角度只有较小的偏差,且由于人工测量存在误差等原因,可认为两者是相等的。

表 3 机器人的传球识别信息

人传球角度(°)	$\theta$ (rad)	自转速度(rad/min)
0	0.0813246	15
15	0.33014	63
30	0.614521	117
45	0.838023	159
90	1.63198	309
-45	0.73082	-139

表 4 机器人传球的角度验证

人传球角度 (°)	底边长度 (cm)	斜边长度 (cm)	$\delta$ (rad)
0	26.5	26.5	0
15	26.5	28.5	0.3768605
30	26.5	34.5	0.6949028
45	26.5	41	0.8680163
90	26.5	--	$\pi/2$
-45	26.5	38.5	0.8116372

第 2 项测试是在不同角度条件下多次传球, 测得成功识别该角度传球试验的次数, 然后求出识别率, 以测试该方法对不同方向的鲁棒性。同一角度传球的识别率计算式为

$$\text{识别率} = (\text{识别次数}/\text{试验次数}) \cdot 100\% \quad (6)$$

相应测试结果如表 5 所示, 据式(6)可计算出识别率。识别失败的原因可归结于两个方面, 其一是传球动作幅度过小, 另外也可能是踢球动作过快, 没有达到判定计数行为的阈值。从以上的测试结果和机器人执行的效果可以看出, 本研究对于在多个角度传球的识别率总体普遍较高, 这说明了前面选取的传球动作特征的有效性, 也说明本文的识别方法具有一定的合理性。

表 5 机器人对传球动作的识别率

人传球角度	试验次数	识别次数	识别率(%)
0°	20	18	90
30°	20	18	90
45°	20	19	95
90°	20	19	95
-45°	20	17	85

## 4 结论

在人机交互问题的研究中, 如何让机器人识别出人的动作是一个关键问题, 是当前研究的一个热点。本文将 Kinect 感应器与中型组足球机器人相结合, 在此基础上根据人的骨骼模型选取合理和有效的动作辨识特征, 对人的传球行为进行识别。并以此获取传球动作的传球角度, 使机器人能够再现传球动作。

为了验证本文所提出的辨识方法的实用性和有效性以及传球动作再现, 对此进行了试验, 并对多个传球角度的识别率进行了比较。试验结果显示, 本文提出的传球辨识方法能够辨识多个角度传球的动作, 并能保持较高的识别率, 机器人也能够做出相同角度的传球动作。但是本文的辨识方法仍然存在一定的不足, 比如当人体不是以正面面对机器人时不能保证传球角度的准确性, 另外人体在传球动作太快时, 识别性能会随之下降, 如何让机器人实现自适应快速传球动作的识别还需要在今后进一步研究。

## 参考文献

- [1] 洪炳熔. 机器人足球比赛-发展人工智能的里程碑. 电子世界, 2000, 4: 4-5
- [2] 吕毅. 第 18 届世界杯足球赛八强球队传球特征分析 [博士学位论文]. 山东: 山东师范学院, 2008
- [3] 李建伟, 张凯, 王健等. 实时动态环境下多智能体的路径搜索研究. 机器人, 2004, 26(1): 74-77
- [4] Mokhber A, Achard C, Milgram M. Recognition of human behavior by space-time silhouette characterization. Pattern Recognition Letters, 2008, 29(1): 81-89
- [5] 李瑞峰, 王亮亮, 王珂. 人体动作行为识别研究综述. 模式识别与人工智能, 2014, 27(001): 35-48
- [6] 雷震. 中型足球机器人踢球机构的建模及系统研究 [博士学位论文]. 重庆大学, 2009
- [7] 潘娅, 王牛, 许威. 半自主足球机器人基本动作的设计与实现. 计算机测量与控制, 2006, 14(10): 1368-1370
- [8] 曲贺. 人与机器人交互中手势控制技术的研究 [博士学位论文]. 哈尔滨工业大学, 2013

- [ 9 ] 张小川, 李祖枢, 张品红等. 基于行为的足球机器人动作规划. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35 (9) : 1071-1073
- [ 10 ] 刘金龙. 足球机器人动作算法分析和实现. 软件导刊, 2009, (1) :69-70
- [ 11 ] Fish J, Markolefas S. Adaptive s-method for linear elastostatics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 1993, 104(3) : 363-396
- [ 12 ] 牟学刚, 朱劲, 蒋平. 三轮全向足球机器人结构设计与系统模型研究. 机械与电子, 2006, (5) : 38-41

## Recognition and representation of ball-passing motions for a middle size league soccer robot

Tian Kai \* \*\*\* , Lu Zhenli \* \*\*\* \*\*\*\* , Xu Huigang \* , Gu Qimin \* , Mao Limin \* , Chen Yong \* , Li Bin \*\*

( \* SEAE, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500)

( \*\* State key Laboratory of Robotics, Shenyang Institute of Automation, CAS, Shenyang 110014)

( \*\*\* SIEE, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116)

( \*\*\*\* IEETA, University of Aveiro, Aveiro 3810-193 Portugal)

### Abstract

In order to enable a meddle-sized league soccer robot to have the ability to recognize and imitate ball-passing motions, a realistic solution for recognition and representation of ball-passing motions of human players was put forward based on the study of the human behavior in ball-passing. The solution uses the kinect inductor to capture the three-dimensional human bone point information to create the human skeleton model, and selects some characteristic variables from the model to effctively represent human ball-passing. Then the threshold method and the frame difference method are used to determine the change of the characteristic variables to realize the recognition of human passing behavior, and based on this, the ball-passing angle is obtained to represent the ball-passing motion. The experiment proved that the proposed solution can accurately recognize the ball-passing motions from different passing angles. Thus the practicality and effectiveness of the method were verified.

**Key words:** middle size league soccer robot, ball- passing, motion recognition, motion representation