

# 受限视野下仿真类人机器人头部控制研究

朱明<sup>1</sup>, 陈万米<sup>1,2</sup>, 宋鑫坤<sup>1</sup>, 陈通璠<sup>1</sup>

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 上海大学 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200072)

**摘要:**在近期 RoboCup 各足球类比赛项目组的发展中, 视觉系统类人化是其中重要的趋势, 如减小视觉范围、减少场地提示性标识物等, 而 RoboCup 3D 仿真组也在 2009 年在人形智能体上开始使用受限的视野范围。视觉信息上的限制, 提高了比赛的真实性, 却也给比赛中机器人智能体的自定位和决策增加了相当的难度。针对具有受限视野范围的 3D 类人形智能体, 采用模拟人类足球中的头部运动是理想的选择。文中综合现有的头部控制模式设计并实现了综合头部控制模块, 较大程度上克服了现有头部控制模式的不足, 满足了仿真足球比赛的需要。

**关键词:**RoboCup 3D 仿真; 人形足球机器人; 受限视野; 头部控制

中图分类号: TP242.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)09-0010-04

## Research on Head Control of Humanoid Soccer Robot with Restricted View Field

ZHU Ming<sup>1</sup>, CHEN Wan-mi<sup>1,2</sup>, SONG Xin-kun<sup>1</sup>, CHEN Tong-luan<sup>1</sup>

(1. Sch. of Electromechanical Engineering and Automation, Shanghai Univ., Shanghai 200072, China;

2. Shanghai Key Lab. of Power Station Automation Techn., Shanghai Univ., Shanghai 200072, China)

**Abstract:** Humanoid vision system, such as restricted view field of the robot and decrease of indicative signals is a trend, which has been gradually applied to robot contests including RoboCup 3D simulation league since 2009. The environment of contests feels like more real with the development of vision as said. However, self localization and strategy-making is more difficult for robot agents. Therefore, humanoid head behavior shall be adopted as one of ideal solution to such an issue. The essay designs and proves useful modules of head control, which well fulfill the requirements brought by restricted view field.

**Key words:** RoboCup 3D simulation; humanoid soccer robot; restricted view field; head control

## 0 引言

The Robot World Cup (RoboCup) 作为足球机器人竞技中影响最大的赛事, 尝试为人工智能及智能机器人提供一个能综合与测试各种技术的标准平台<sup>[1]</sup>。RoboCup 之所以选择以足球项目为研究的核心课题, 目的在于其能运用于社会化, 有助于重大意义的问题的解决以及工业的发展。RoboCup 的最终目标是到 2050 年左右, 一支完全自主的类人机器人足球队能够战胜当时的人类足球世界冠军队伍<sup>[2]</sup>。为了最终实现这一目标, RoboCup 比赛分为多个项目, 各自研究侧重

不同。在仿真组的比赛中, 参赛队是由软件体机器人构成并运行在仿真环境中。同实体机器人系统实验方法相比, 仿真平台更快捷、更经济, 也更易于实施, 仿真实验的可重复性也大大方便了分析工作<sup>[3]</sup>。3D Soccer Competition (三维仿真机器人足球比赛, 下文简称“3D 仿真组比赛”) 作为仿真足球比赛中的一员, 其比赛平台为研究人员研究智能体与多智能体间的协作等提供了良好的环境<sup>[4]</sup>。2008 年在中国苏州举行的机器人世界杯上, 该项赛事开始使用基于 Aldebaran Nao robot<sup>[5]</sup>创建的新模型。具有 22 个自由度, 60.5cm, 质量达到 4.6071kg, 装备有全向视觉、惯性传感器、通信设备、压力传感器, 在 12m×8m 的场地上实现 3vs3 的比赛。2009 年使用的 Nao 模型得到更大地优化, 并使用受限视野对视觉信息加以限制, 传感器增多, 使得比赛的真实性得到提升。

机器人具有的智能行为之一就是感知周围的环

收稿日期: 2010-01-22; 修回日期: 2010-04-28

基金项目: 机器人技术与系统国家重点实验室开放基金 (SKLS-2009-MS-10)

作者简介: 朱明 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为多智能体、足球机器人仿真、人形足球机器人步态等等; 陈万米, 副教授, 研究方向为智能移动机器人、机器视觉、多机器人协调。

境,视觉是机器人最主要的外部信息来源,其重要性不言而喻。在机器人足球比赛中所有可见物体的位置、朝向、运动速度等都由视觉提供的信息分析得到。丰富的感知信息,不仅有利于机器人自身的定位,更是做出良好的高层决策的前提。因此,在 RoboCup 各个项目的早期发展中,有的使用大范围的视觉传感器——比如 3D 仿真组一直使用具有 360 度全局视野的模拟视觉传感器,又如中型组使用全景镜搭配前向摄像机<sup>[6]</sup>,更有在类人组比赛中使用全景镜或使用前后两台摄像机同时工作的情况;有的在局部视野情况下使用大量标志物——比如四腿组和类人组除了有场边着色标志杆,还有场内地标<sup>[7]</sup>等可用。以上方法都在一定程度上脱离足球比赛的实际,所以各个项目在近期的发展中都在视觉系统类人化上加大力度。中型组开始使用无色球门以及未涂上特殊颜色的足球,类人组禁止使用全景镜,限制摄像机个数和视野范围,减少场上可用于定位的标志杆和地标等措施,一方面提高了对各个参赛队的要求<sup>[8]</sup>,另一方面也使得比赛本身向着更真实的足球比赛环境步步迈进。

3D 仿真组比赛在这一时期也开始使用视野范围受限制的模拟视觉传感器。与其他项目组不同,现用的 3D 仿真平台中只有八个标志杆可见,场地可用来定位的白线<sup>[9]</sup>也暂时皆不可见,这为比赛中机器人智能体的自定位和决策增加了相当的难度,图 1 所示为无法自定位的情况。在原先 3D 仿真组比赛中大量使用的三角标志杆定位法<sup>[10]</sup>无法使用并且仿真平台暂时没有添加里程计等传感器的情况下,增加头部控制来实现视觉信息效用最大化是一个合理的选择。现有的两种头部控制分别为单纯扫描模式和盯球模式。前者为了克服原自定位方法无法使用的问题,控制头颈部关节使得头部不断进行全场扫描,但这显然不具有实际运用的价值;后者仅是追踪球,对场上其他的信息并没有过多的涉及,这种方法基本放弃自定位,围绕球的位置进行决策设定,仅能部分满足比赛的需要。文中针对视野范围受限的 3D 类人智能体,结合现有的方法设计并实现了综合头部控制模块,较大程度上满足了仿真足球比赛的需要。

## 1 综合头部控制模块的实现

RoboCup 3D 仿真平台是服务器/客户端(S/C)结构,参赛队编写客户端程序模拟实际足球队员在仿真服务器端进行比赛,每名球员都是一个软件智能体<sup>[11]</sup>。3D 仿真组比赛中智能体视觉感知部分的特殊性在于实现视觉的感知器(比如摄像机等)都是在仿真服务器上被模拟实现的。视觉信息由服务器以字符串

的形式通过网络发给客户端。客户端程序通过获取、解析来得到有用的视觉信息,并对其进行分析、处理,最后用于智能体的自定位和决策等。文中在叙述 3D 仿真组比赛中智能体视觉感知的基础上,设计并实现了包括视觉信息分析和基于状态切换的头部动作综合控制方式的模块。

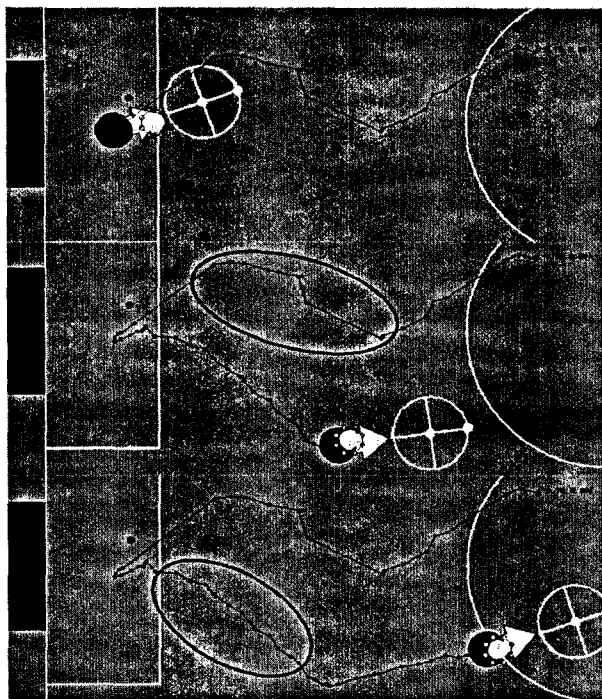


图1 具有受限视野范围的智能体在后退找球过程中出现无法自定位的情况

(图中:深色实心圆代表二维情况下智能体,箭头为其朝向,白色实心圆代表球,黑色点迹为可自定位情况下的记录,长时间无法自定位的结果就是图中黑点间距极不规则)

### 1.1 3D 仿真组比赛中智能体的视觉感知

3D 仿真组比赛中智能体上装配有包含智能图像处理软件的摄像机,这是视觉信息的来源。限制性视觉情况下该摄像机位于机器人头部几何块(球体)的中心,并可随头部和颈部关节的转动而改变朝向(初始化朝向以指向对方半场为 0 度)。针对现在使用的 Nao 型机器人,限制其视野范围为 120 度。在最新版本的 3D 仿真平台中可见物体包括其他机器人、球以及场上的 8 个标志杆(标志杆分布为 4 个角旗区和 4 个门柱)。视觉感知信息最终以物体在以摄像机为中心的极坐标中的距离(distance)、视平面中的角度(angle1, 0 度始终指向对方球门)以及仰俯角度(angle2, 视平面为 0 度)三个值来表示。

信息格式如下:

```
(See (<name> (pol <distance> <angle1> <angle2>)) (P
(team <teamname>) (id <playerID>) (pol <distance> <angle1> <angle2>)))[12]
```

## 1.2 视觉信息的处理

足球机器人在场上的任务多样性决定了所需的视觉信息也是不同的。比如针对机器人自定位的需求,视觉信息必须是相对机器人坐标系的,而头部动作所要用到的视觉信息却应该是相对于机器人的头部坐标系。为存储多元化的信息,文中使用如下数据:以摄像机为中心的极坐标中的距离(distance)、视平面中的角度(theta,0 度始终指向对方球门)以及仰俯角度(phi,视平面为 0 度),物体在视觉坐标系中的位置(local-Position-In-Vision),物体在机器人坐标系中的位置(local-Position),物体在全局坐标系中的位置(real-Position)。

极坐标向笛卡尔坐标系的转化:

$$\begin{aligned} \text{local-Position-In-Vision.x} &= \text{distance} * \cos(\phi) \\ &* \cos(\theta) \\ \text{local-Position-In-Vision.y} &= \text{distance} * \cos(\phi) \\ &* \sin(\theta) \\ \text{local-Position-In-Vision.z} &= \text{distance} * \sin(\phi) \end{aligned}$$

为了实现物体在视觉坐标系中的位置向机器人坐标系转化,需得到两坐标系之间的转换矩阵(transform-Matrix)。为方便计算,对机器人从头部到躯干进行建模。如图 2 所示,以躯干几何中心建立机器人坐标系  $\sum_t$ ,以头部几何中心建立视觉坐标系  $\sum_h$ 。定义  $'P_n$  为颈部在坐标系  $\sum_t$  中的位置,  $'R_n$  为颈部相对坐标系  $\sum_t$  的旋转矩阵,同样定义头部相对颈部坐标系的位置  $'P_h$  以及旋转矩阵  $'R_h$ 。这样以齐次变换矩阵来描述颈部和头部相对各自母杆的位姿即为  $'T_n$  和  $'T_h$ 。

$$\text{其中 } T = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

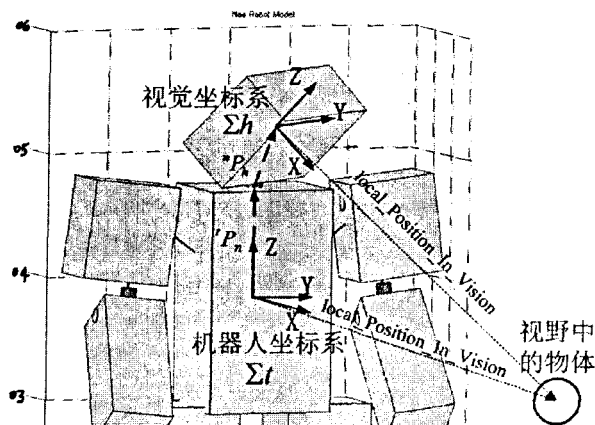


图 2 视觉坐标系和机器人坐标系间的转化  
由此  $\text{transform\_Matrix} = 'T_n * 'T_h$

$\text{local-Position} = \text{transform\_Matrix} * \text{local-Position-In-Vision}$ , 得到物体在机器人坐标系中的位置。

## 1.3 头部动作控制的实现

在实际对抗或比赛中,头部的基本动作即通过转动头部和颈部的关节以达到改变注视方向的目的,在此基础上开发出注视球、指定路径扫描、找球、注视多个物体等基础动作以供机器人在不同任务时使用。在视觉坐标系中以  $x$  轴所指方向为机器人注视方向,则通过计算期望注视方向与当前注视方向在视平面和垂直平面的夹角即可得到头部和颈部关节所需转动的角度,以实现注视方向的改变。

在机器人足球比赛中,球员时常不止需要关注一种物体,当另一种物体进入视野时,需要调整注视方向,以将两个或以上物体同时纳入视野,以最大化丰富视觉信息。图 3 展示了注视方向转变的过程,图中圆圈圈出了物体。上图是球员注视球时的情况,下图显示当门柱进入视野后,优化选择注视方向的结果。

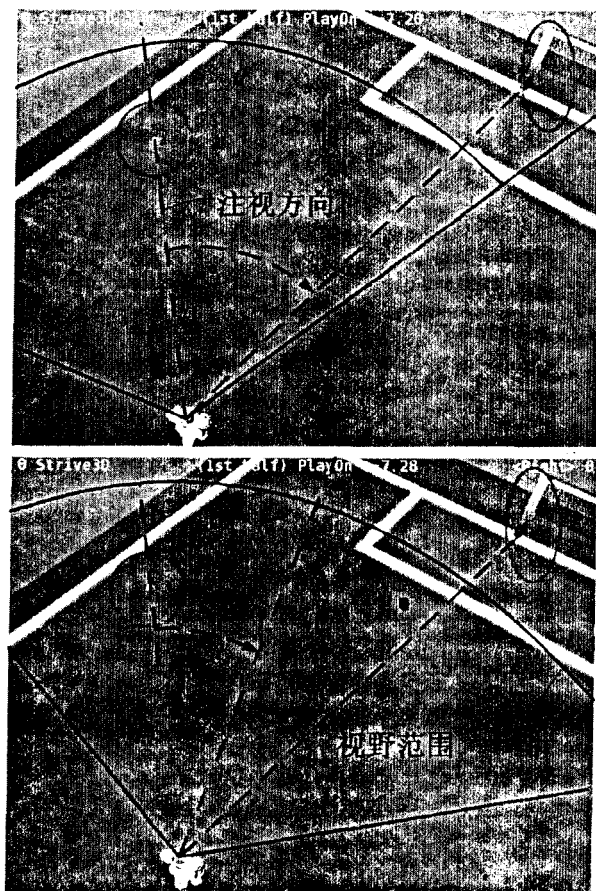


图 3 视野中出现多个物体时机器人注视方向的转变

在机器人仿真足球比赛中球的位置是最重要的信息,这在机器人足球比赛中亦然。文中设计了以追踪球的位置为基础的状态转换机制,不同机制调用不同的基础动作,以满足比赛的需要。图 4 展示这个头部



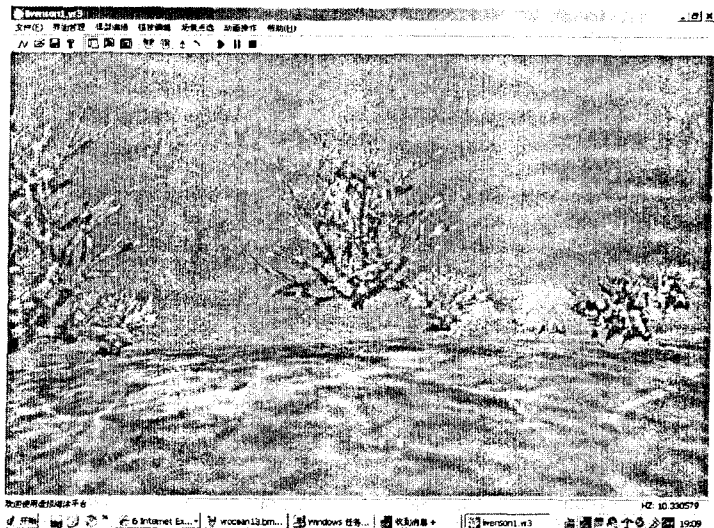


图 6 光影投射在植物上

场景中的光影效果可大大增加三维场景的真实感,但对自然场景中的光影效果的模拟通常涉及大量计算。特别是在对大规模场景中,受限于计算机硬件的发展,实时性和真实性通常无法同时得到满足,这时候,就需要另辟蹊径寻找合适的替代方案。文中以用动态纹理和投影贴图技术代替实时计算对水刻蚀效果进行模拟。该方法在国家自然科学基金项目《城域景观 VR-GIS 一体化仿真平台》中得到应用,极大地提高了三维场景的沉浸感,取得了令人满意的效果,其原理和方法也可用于对其它场景的模拟。

#### 参考文献:

- [1] 徐迎庆,苏成,李华,等.基于物理模型的流水及波浪

模拟[J].计算机学报,1996(增刊):153-160.

- [2] 鄢来斌,李思昆,张秀山.虚拟海战场景中的海浪实时建模与绘制技术研究[J].计算机研究与发展,2001,38(5):268-273.
- [3] 杜岩,张晓宇,李文秀.虚拟现实场景中海浪形态的计算机模拟[J].哈尔滨工程大学学报,2001,22(3):26-30.
- [4] 陈和平,王早.水波特效模拟原理及期快速实现方法[J].计算机应用研究,2005,22(4):252-255.
- [5] Peachey D. Modeling waves and surf[J]. Computer Graphics, 1986, 20(4): 65-74.
- [6] Foster N, Metaxas D. Realistic animation of liquids[J]. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(5): 471-483.
- [7] Lengyel E. Mathematics for 3D game programming & computer graphics[M]. Hingham: Charles River Media, Inc, 2002.
- [8] Premoze S, Ashikhmin M. Rendering natural waters[J]. Computer Graphics Forum, 2001, 20(4): 189-200.
- [9] Fernando R. GPU 精粹[M]. 姚勇,王小琴,译.北京:人民邮电出版社,2006.
- [10] Stam, Jos. Random Caustics: Wave Theory and Natural Textures Revisited[C]//Technical Sketch. In Proceedings of SIGGRAPH. [s.l.]: [s.n.], 1996.
- [11] OpenGL Architecture Review Board, Shreiner D, M Woo, et al. OpenGL 编程指南[M]. 徐波,译.北京:机械工业出版社,2009.
- [12] LaMothe A. 3D 游戏编程大师技巧[M]. 李祥瑞,陈武,译.北京:人民邮电出版社,2005.

(上接第 13 页)

#### 参考文献:

- [1] Kitano H, Asada M, Kuniyoshi Y, et al. RoboCup: The robot world cup initiative [C]//Proceedings of the International Conference on Autonomous Agents. [s.l.]: [s.n.], 1997: 106-107.
- [2] Kitano H, Asada M. RoboCup Humanoid Challenge: That's One Small Step for A Robot, One Giant Leap for Mankind [C]//Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS-98). Victoria, Canada: [s.n.], 1998: 149-164.
- [3] 罗青,吕恬生,费燕琼.足球机器人仿真系统的研究与开发[J].计算机仿真,1999,16(4):27-30.
- [4] 郭叶军.机器人足球仿真比赛中多智能体系统的构建[D].杭州:浙江大学,2004.
- [5] Alebaran Co. Ltd. Nao Academics Ed[EB/OL]. 2009. Available online <http://www.aldebaran-robotics.com>.
- [6] 侯清涛,厉广伟,李金屏. Robocup 中型组机器人足球技术探讨[J]. 济南大学学报:自然科学版, 2008, 22(3): 270-275.
- [7] 林昊,赵明国. Robocup 类人组技术挑战赛标志柱识别新探[J]. 计算机系统应用, 2009(2): 167-170.
- [8] Menegatti E, Kulvanit P, Von Stryk O. RoboCup Soccer Humanoid League Rules and Setup [EB/OL]. 2009. <http://www.tzi.de/humanoid/bin/view/Website/WebHome>.
- [9] 刘光宇,刘国栋,韩云生.一种基于全景视觉系统的 Robocup 机器人定位方法[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2009, 8(3): 279-282.
- [10] Bao Dunqiao, Wang Hao, Fang Baofu, et al. HfutEngine3D Soccer Simulation Team Description 2008 [C]//In: Proceedings CD RoboCup 2008. Suzhou, China: Springer-Verlag, 2008.
- [11] 程显毅,王军,张俊. RoboCup 3D Server 分析[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(3): 119-122.
- [12] Boedecker J, Dorer K, Rollmann M, et al. SimSpark User's Manual [EB/OL]. 2009-06. <http://simspark.sourceforge.net/>.