

类人足球机器人决策系统的设计

陈永利, 刘国栋

(江南大学 通信与控制工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 类人机器人足球比赛是机器人足球比赛的最高赛事. 类人足球机器人的决策系统是基于独立视觉的自主决策系统, 很大程度上决定着比赛的胜败. 介绍了自主研发的类人足球机器人决策系统的架构及实现方法, 并在此基础上运用有限状态机理论, 对单个机器人的自主进攻策略进行了详细分析和研究, 真实环境中的实验及比赛结果证明了其有效性. 该决策系统的设计及研究工作对基于自主决策的多智能体协作以及服务性机器人决策系统的研究都具有重要的价值.

关键词: 类人机器人; 决策系统; 有限状态机; 进攻策略

中图分类号: TP242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-4785(2008)03-0239-06

Designing a decision-making system for humanoid soccer robots

CHEN Yong-li, L U Guo-dong

(School of Communication and Control Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Soccer played by humanoid robots is the highest level of robot soccer. The humanoid soccer robot's decision-making system is based on independent vision and determines, to a large extent, the results of any competition. This paper introduces a framework and implementation methods for a decision-making system for such robots. On this basis, the offensive strategy of a single humanoid soccer robot was analysed and studied in detail using finite state machine (FSM) theory. Physical experiments in the lab environment and results in actual competitions proved the validity of the system design. The research offers important developments for both multi-agent collaboration based on independent decision-making and the study of active robot decision-making systems.

Keywords: humanoid robot; decision-making system; FSM; offensive strategy

类人机器人是多门基础学科、多项高新技术的集成, 代表了机器人的尖端技术^[1]. 类人机器人足球比赛是伴随着智能机器人技术和分布式人工智能的发展而迅速兴起的一种高科技对抗活动, 是机器人和人工智能领域最具挑战性的研究课题之一^[2-4]. 类人机器人足球比赛与其他机器人足球比赛的不同点之一在于参赛的每个机器人都具有独立的视觉系统和自主的决策系统. 决策系统又是每个类人足球机器人的核心子系统, 随着类人机器人硬件技术的飞速发展, 决策系统将成为类人机器人比赛成败的关键.

类人机器人足球比赛尚处起步阶段, 目前比拼的主要是单机器人的自主决策, 还没有上升到多智

能体协作的高级阶段^[5-6]. 以 2007 年的 RoboCup 国际机器人大赛为例, 类人组开展的仍是 2 对 2 比赛及技术挑战赛. 本文也主要是为单类人足球机器人的自主决策提供一种较好的实现方法, 目标是使机器人能够在动态不确定环境下通过有限的传感器信息, 自主地完成找球、走近球、传球、射门、摔倒后重新站立等基本任务.

1 实验平台

自主开发的类人足球机器人具有 20 个自由度 (头部 2 个、每条胳膊各 3 个、每条腿各 6 个), 各个自由度均由航模舵机构成. 控制系统由以 XScale PXA270 为处理器的主控制板和以 ATMEGA16L 低功耗单片机为处理器的舵机控制板组成. 其中主控板是决策过程进行的基础, 舵机控制板负责决策命令的具体执行.

收稿日期: 2007-11-05.

通讯作者: 陈永利. E-mail: CYL3925@163.com.

由于 RoboCup 比赛规则中明确规定机器人只能使用等效于人类某个感官的传感器来感知其环境,传感器位置也应与人类相近,特别要求不允许使用发射型传感器(向环境发射光、声、电磁波以测量发射信号),所以比赛中的类人机器人只使用了视觉传感器、前后方向与左右方向 2 个倾角传感器。视觉传感器采用 CCD 摄像头,用于采集比赛场地的图像信息,倾角传感器主要用来实时监测机器人的姿态。

2 决策系统描述

决策系统是整个人类机器人系统的决定部分。机器人决策系统的结构如图 1 所示。机器人通过视觉系统获取现场信息,决策系统基于经转换处理过的视觉信息以及倾角传感器信息,经分析计算后从策略库中调用相应的比赛策略,给机器人下发相应的动作,完成比赛任务。

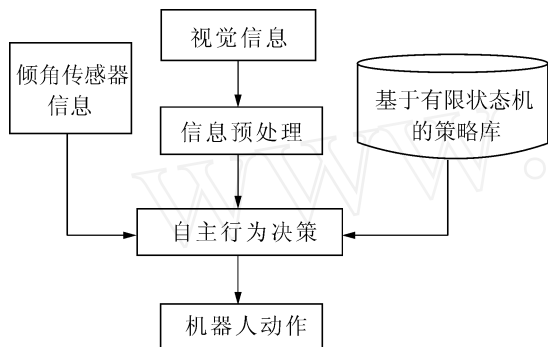


图 1 机器人决策系统结构

Fig 1 Robot decision making system structure

类人足球机器人自主决策系统的输入是经处理的视觉信息与倾角传感器信息,输出的是机器人的动作信息。实际上整个决策系统就是从传感器空间到动作空间的一个映射,定义为

$$D: A \rightarrow B.$$

D 表示决策过程; $A = \{\text{OurRobots}, \text{RivalRobots}, \text{Ball}, \text{OurGoalmouth}, \text{RivalGoalmouth}\}$, 为含有我方机器人位姿、对方机器人位置、球位置和双方球门位置信息的传感器信息空间; B 表示机器人的动作空间,下文中将给出详细定义。

2.1 动作层设计

类人足球机器人动作层设计属于机器人运动学和动力学的范畴,该层抽象了足球机器人的动作,封装了机器人的物理模型、运动学模型和动力学模型,完成了从机器人关节空间到动作空间的映射,从而从机器人关节空间的细枝末节中解放出来,更方便的为决策系统服务。

根据动作的复杂程度,把动作层分为低层动作

和高层动作。低层动作是只需一个动作文件就可完成的简单动作,高层动作是加入策略行为的需要多个动作文件才可完成的复杂动作。所有这些动作构成了机器人可选动作的集合即动作空间,定义如下:
 $B = \{b \mid b = \text{TurnLeft}, \text{TurnRight}, \text{SidleLeft}, \text{SidleRight}, \text{ShootLeft}, \text{ShootRight}, \text{HeadLeft}, \text{HeadRight}, \text{HeadUp}, \text{HeadDown}, \text{HeadReset}, \text{WalkForward}, \text{BallPassLeft}, \text{BallPassRight}, \text{RevolveBallLeft}, \text{RevolveBallRight}, \text{RestandUp} \dots\}$ 。

各个低层动作功能说明如下:

$\text{TurnLeft}(\text{TurnRight})$: 机器人身体向左(右)转动 45° 。

$\text{SidleLeft}(\text{SidleRight})$: 机器人身体向左(右)侧移一步。

$\text{ShootLeft}(\text{ShootRight})$: 左脚(右脚)踢球,调整力度参数可以选择合适的踢球力度。

$\text{HeadLeft}(\text{HeadRight}, \text{HeadUp}, \text{HeadDown})$: 头以指定的角度向左(右、上、下)转动一次。

HeadReset : 头部复位,即头部 2 个自由度转到无上下和左右偏转的初始态。

各个高层动作功能说明如下:

RestandUp : 机器人摔倒后重新站立。通过倾角传感器信息得知机器人是向前摔倒还是向后摔倒,从而决定机器人是前向重新站立还是后向重新站立。

WalkForward : 机器人径直向前走,该高层动作通过调用起步、中步、止步 3 个动作文件来实现。调整速度参数可以改变机器人行走的速度,选择中步的循环次数可以实现机器人行走任意整步数。

$\text{BallPassLeft}(\text{BallPassRight})$: 向左(右)方传球。该高层动作通过机器人身体的左右转、左右侧移以及左右脚踢球把球向左(右)传到适当的地方。

$\text{RevolveBallLeft}(\text{RevolveBallRight})$: 机器人绕球左(右)转,通过机器人身体的左右转、左右侧移实现,一般用于球在脚下时找对方球门。

2.2 信息预处理模块设计

输入是视觉信息,输出是密切关系机器人决策的赛场信息,包括双方机器人、球和双方球门的位置。信息预处理模块首先要解决的就是从输入到输出的信息转换。在实际比赛过程中,由于场地的光照条件往往不是很理想,再加上场地外围观众的干扰,视觉传感器采集的信息往往有很大的噪声。在这种情况下,必须通过信息预处理模块对视觉信息进行预处理,用软件的方法过滤噪声和矫正输入的视觉信息。所以,该模块的另一个重要作用就是保证从视觉系统传来的传感器信息的完整、准确。

3 基于 FSM 的进攻决策

针对类人机器人的决策, 目前主要有反应式和规划式 2 种主要的方法. 反应式决策方法环境适应能力强, 反应速度快, 但完成复杂任务的能力较差. 规划式决策方法又可分为基于决策树的决策方式、基于遗传算法的决策方式、基于神经网络的决策方式、基于模糊逻辑的决策方式等等. 这类方法要么基于完整的环境信息, 不适宜于高度的动态环境, 要么基于大量而长期的记忆, 增加对系统硬件的要求, 降低了反映速度. 更有些时候, 由于传感器采集信息的不准确性还可能导致机器人的错误决策.

基于有限状态机 (FSM) 的决策方法是一个很好的选择^[7-8]. 该方法既能简化控制流程, 又能兼顾系统的规划能力和快速反应特性, 具有较高的鲁棒性. 采用有限状态机的智能方式来对环境做快速的策略评估, 机器足球队员可以依据所获得的环境信息自行决定适和当时赛况的决策, 并且能顺应不同的决策做出不同的配套动作.

3.1 有限状态机工作原理

有限状态机 (FSM) 是一个五元组, 定义为

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F).$$

式中: Q 为非空的有限状态集合, $\forall q \in Q, q$ 称为 M 的一个状态; Σ 为输入字母表; δ 为状态转移函数, 有时又叫作状态转换函数或者移动函数, $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$; q_0 为开始状态, 也可叫作初始状态或启动状

态, $q_0 \in Q, F$ 为 M 的终止状态集合, F 被 Q 包含, 任给 $q \in F, q$ 称为 M 的终止状态.

有限状态机工作原理可以解释为非空的有限状态集合中, 当前活动的状态输入事件触发后, 在一定的映射规则下实现状态转移.

3.2 进攻决策的具体设计

本模块的设计思想是, 使用最少的状态数目, 调用最少的动作集合, 以最高的可靠性完成比赛. 基于 FSM 的决策过程流程图如图 2 所示. 该有限状态机共设计了 Find_Ball (找球)、Approach_Ball (接近球)、Ball_Pass (传球)、Shoot (射门) 和 RestandUp (重新站立) 5 个基本状态, 具体定义如下:

State = { Find_Ball, Approach_Ball, Shoot, Ball_Pass, RestandUp }.

根据各状态的不同情况, 状态机的不同的行为将被触发. 其中 5 个状态相对应的触发条件定义如下:

- Ball_Far: 机器人离球较远;
- Find_No_Ball: 找不到球;
- FallDown: 机器人摔倒;
- Obstacle: 有别的机器人阻挡;
- Without_FallDown: 机器人没有摔倒;
- Ball_Near and No_Obstacle: 球距离机器人很近并且没有别的机器人阻挡;
- Ball_Near but Obstacle: 球距离机器人很近但有别的机器人阻挡;
- Trans_Unconditional: 无条件转移.

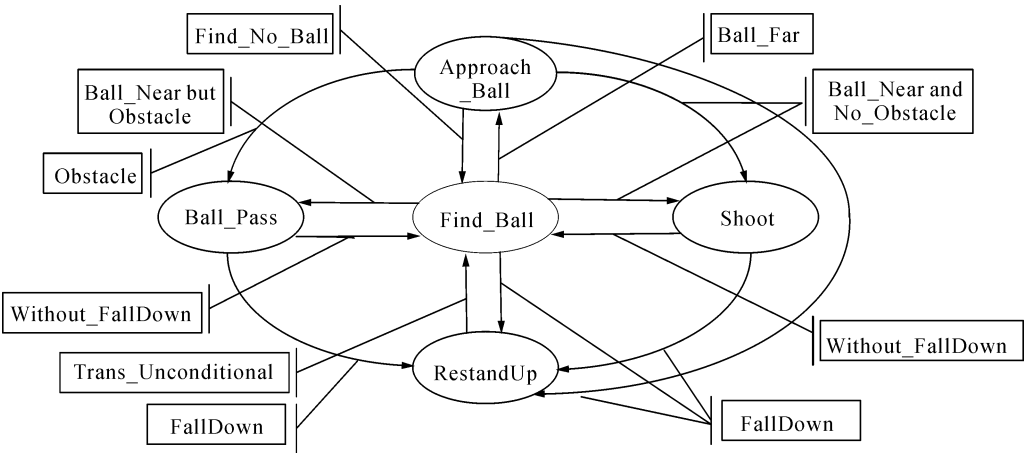


图 2 决策过程流程图

Fig 2 The decision-making process flowchart

3.2.1 各状态下的策略

自由状态机的各个状态分别对应不同的策略过程, 复杂程度及实现方法各不相同. 这些策略的集合就构成了机器人进行自主进攻决策的策略库.

找球状态是全部状态中最基础的状态, 其他每个状态都与它有直接的转换关系. 采用头部搜索加身体右转的策略完成找球任务. 头部完成一次找球任务的过程如图 3 所示, 带箭头的虚线指明了搜索

则找球状态立刻终止,机器人转换为射门状态;同理,若 Ball_Near but Obstacle 条件成立,则立即转换为传球状态;若 Ball_Far 条件成立,则立即转换为接近球状态;如果找球过程的任何时刻 Falldown,则立即转移到重新站立状态.其他状态的触发及转移情况依此类推.

3.3 实验及结果分析

图 5 为真实环境中对所设计的基于 FSM 的进攻策略的一次实验.首先,处于任意位置的机器人开始找球(如图 5(a)),找到球后经测距模块得知球距机器人较远,所以机器人正对球后向球走去(如图 5(b)),此时完成从找球到接近球的状态转换.当球位于机器人脚下时,机器人判断球门的位置以及前方有无障碍,当发现正前方即为球门并且无障碍时,再次低头确定球还在脚底下(如图 5(c)),最后,机器人判断球位于自己的左脚前,抬左脚并射门(如图 5(d)).此时完成接近球到踢球的状态转换.整个过程机器人的状态切换平稳、及时、准确,动作完成自然流畅.

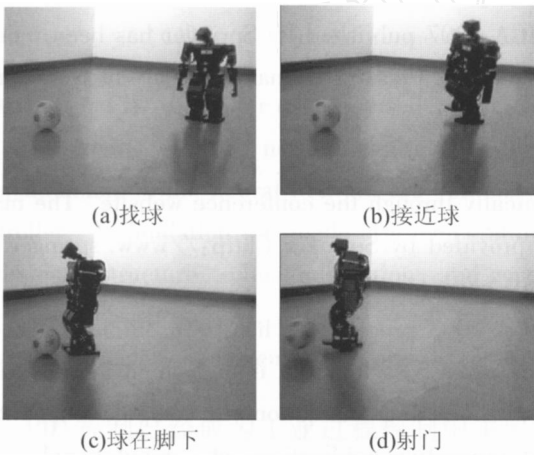


图 5 真实环境中的实验

Fig 5 Experiments in true environment

4 进攻决策的 C 语言实现

一旦进入比赛状态,等开球过后机器人就会不停的完成找球,接近球,射门的比赛任务.用 C 语言实现如下,其中 autoFind_Ball(), autoApproach_Ball(), autoBall_Pass(), autoShoot() 和 autoRestandUp() 为对应 5 个自由状态的执行函数.

```
while (1)
{
    Switch (State)
    {
        case Find_Ball:
            autoFind_Ball();
```

```
break;
case Approach_Ball:
    autoApproach_Ball();
    break;
case Ball_Pass:
    autoBall_Pass();
    break;
case Shoot:
    autoShoot();
    break;
case RestandUp:
    autoRestandUp();
    break;
default:
    break;
    }
```

5 结束语

应用本文设计的类人足球机器人决策系统,曾在 2007 年的全国机器人大赛中出色地完成了比赛任务,并获三等奖.实验和比赛结果证明了该设计方法是可行的.但是,动态环境下,面向更复杂任务的规划、多行为协调、多机器人智能体协作等问题仍有待进一步的研究.随着硬件技术的提高,特别是多智能体理论的成熟,开发出适应复杂环境变化的高效、稳定、鲁棒性强的多机器人智能决策系统,把机器人真正像人一样踢足球当成追求的目标,也是今后足球机器人系统的发展趋势.

参考文献:

[1] ASADA M, KITANO H. The robocup challenge[J]. Robotics and Autonomous Systems, 1999, 29: 3-12

[2] FDR NIP, SHLLER Z. Motion planning in dynamic environments using velocity obstacles[J]. International Journal of Robotics Research, 1998, 17(7): 760-772

[3] 钟碧良. 机器人足球系统的研究与实现[D]. 广州: 广东工业大学, 2002

ZHONG Biliang. Study and implementation of robot soccer system[D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2002

[4] 高立志, 张春晖, 徐心和. 机器人足球——智能机器人的新领域[J]. 机器人, 1998, 20(4): 309-314

GAO Dazhi, ZHANG Chunhui, XU Xinhe. Robot soccer-the new field of intelligent robot[J]. Robot, 1998, 20(4): 309-314

[5] 黄维芳, 白振兴. RoboCup 中 Agent 理论与结构研究[J].

现代电子技术, 2006, 29(2): 6-8

HUANG Weifang, BAI Zhenxing A study of theories and structure of Agent in robocup [J]. Modern Electronic Technique, 2006, 29(2): 6-8

[6] 杨善林, 倪志伟. 机器学习与智能决策支持系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 4-19.

[7] 贾建强, 陈卫东, 席裕庚. 基于有限状态机的足球机器人行为设计与综合 [J]. 高科技通信, 2004, 14(4): 61-65.

JIA Jianqiang, CHEN Weidong, XI Yugeng Behavior design and synthesis of autonomous soccer robot based on FSM [J]. High Technology Letters, 2004, 14(4): 61-65.

[8] 蒋宗, 姜守旭. 形式语言与自动机理论 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 86-102

作者简介:



陈永利, 男, 1982 年生, 硕士研究生, 主要研究方向为自主移动机器人.



刘国栋, 男, 1950 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能控制及机器人系统, 在国内外期刊发表论文 20 余篇.

第 3 届智能计算及其应用国际会议 (ISICA 2008)

The 3rd International Symposium on Intelligence Computation and Applications

The 3rd International Symposium on Intelligence Computation and Applications (ISICA 2008) will be held on December 19-21, 2008 in Wuhan China. Following the successful ISICA 2005 and ISICA 2007 sponsored by the China University of Geosciences (CUG), one proceedings of ISICA 2007 published by Springer has been indexed by EI and ISTP, and the other proceedings of ISICA 2007 published by Press of China University of Geosciences has been indexed by ISTP.

Submission and Publication

All papers should be in PDF format, and submitted electronically through the conference website. The manuscripts should be written in English and follow the LNCS format provided by Springer (<http://www.springer.de/comp/lncs/authors.html>). Full papers are limited to maximum 10 pages.

Two ISICA 2008 proceedings will be published. One of ISICA 2008 proceedings has been officially accepted by Springer to be published in Lecture Notes in Computer Science (LNCS). It would include high quality papers that contribute novel results and advance the state of the art of methods and foundations in computational intelligence. The other ISICA 2008 proceedings would mainly collect innovative applications of computational intelligence. It will be published by the Press of China University of Geosciences.

The emphasis of ISICA 2008 will be on the development of theories and methodologies in the field of computational intelligence and their applications. It covers all topics in intelligent computation, including, but not limited to:

- Evolutionary computation
- Fuzzy systems
- Artificial life
- Combinatorial & numerical optimization
- Evolutionary learning systems
- Molecular & quantum computing
- Real-world applications
- Neural networks
- Ant colony optimization
- Bioinformatics & bioengineering
- Evolutionary data mining
- Evolutionary multi-objective and dynamic optimization
- Representations & operators
- Theory of intelligent computation

Web site: <http://isica.cug.edu.cn/>

E-mail: isica2008@yahoo.cn