

# 一种 RoboCup 足球机器人动态角色分配机制的实现

程硕远<sup>1</sup>, 陈万米<sup>1,2</sup>, 桂春胜<sup>1</sup>, 陈海波<sup>1</sup>, 刘军江<sup>1</sup>, 林侃<sup>1</sup>

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072;

2. 上海市电站自动化技术重点实验室, 上海 200072)

**摘要:** 自主足球机器人动态角色分配是 RoboCup 足球机器人研究领域内的一个重要课题。为了弥补以往足球机器人角色分配的不足, 文中主要研究一种 RoboCup 足球机器人动态角色分配机制的实现。总结了现有 RoboCup 中型足球机器人角色分配机制, 通过对策略设计的层次划分, 利用机器人之间通讯的数据, 实时更新并同步各个机器人的状态, 采用排名制、优先级抢占式等多种方法实现动态自主的角色分配。通过实验以及比赛中的实战检验, 验证了该角色分配机制的有效性。

**关键词:** 角色分配; 排名制; 抢占式

**中图分类号:** TP301.6

**文献标识码:** A

**文献编号:** 1673-629X(2011)10-0010-04

## Implementation of Dynamic Role Assignment Mechanism in RoboCup Middle Size League Competition

CHENG Shuo-yuan<sup>1</sup>, CHEN Wan-mi<sup>1,2</sup>, GUI Chun-sheng<sup>1</sup>, CHEN Hai-bo<sup>1</sup>,  
LIU Jun-jiang<sup>1</sup>, LIN Kan<sup>1</sup>

(1. Department of Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China;

2. Shanghai Key Laboratory of Power Station Automation Technology, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** Dynamic role assignment of autonomous soccer robot is an important research focus among RoboCup Leagues. To make up for the lack of approaches popular in the past, described the implementation of a autonomous role assignment mechanism based on analysis of current role assignment mechanisms. After leveling of decision design, the mechanism makes full use of communication data between robots, updates and synchronizes the state of teammates, and achieves role assignment in adoption of ranking system and preemptive priority system. The performance of the mechanism has been verified in both laboratory test and real game.

**Key words:** role assignment; ranking system; preemptive priority

## 0 引言

RoboCup (Robot World Cup, 机器人世界杯) 于 1997 年首次在日本名古屋举行, 其宗旨在于给研究人员提供一个标准的任务和平台, 利用各种技术和理论找寻解决方案, 从而促进人工智能以及机器人相关领域的研究<sup>[1]</sup>。机器人足球赛是在一个实时动态的、高度对抗和不确定的环境中进行的, 已成为人工智能领域一个极富挑战性的课题, 引起国内外各方面研究人

员的关注。机器人足球赛现有中型组、仿真组、小型组、类人组等十几个大小组别, 其中中型组足球机器人是全自主、分布式的, 机器人只能凭借自身传感器完成对环境的感知, 再通过无线网络实现机器人之间的通讯<sup>[2]</sup>。其完全分布式的物理结构、高度的实时性和对抗性, 以及最接近人类足球等特点, 成为 RoboCup 各个组别中最受人瞩目的项目之一。

在 RoboCup 中型组足球机器人的团队配合策略设计中, 最重要的一个部分就是角色分配<sup>[3,4]</sup>。角色分配就是为每个机器人分配特定的任务集合, 并且最大程度保证各个机器人所分配的任务能够相互配合和相互弥补。优良的角色分配机制能够保证多个机器人像人类运动员一样相互配合<sup>[5]</sup>, 攻防有序。

基于动态角色分配的多机器人配合一直以来都是

收稿日期: 2011-03-14; 修回日期: 2011-06-20

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: 程硕远 (1986-), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 从事多机器人系统、机器人视觉等研究; 陈万米, 高级工程师, 博士, 从事多机器人系统、机器人视觉、智能移动机器人等研究。

国内外研究的热点。在 RoboCup 中型组中,国际强队如匈牙利 CAMBADA<sup>[6,7]</sup>,德国 RFC Stuttgart<sup>[8]</sup>、Tri-Bots<sup>[9]</sup>等都有相关的研究成果。较典型的如 CAMBADA 将角色划分为 Role Goaler, Role Supporter 和 Role Striker,使用多重优先级来实现角色分配<sup>[7]</sup>。国内在这方面研究领先的队伍是国防科技大学 NuBot,他们使用基于市场法和规则的混合方法实现角色分配<sup>[10]</sup>。这些队伍的研究成果,在国内、国际比赛中得到了考验。

笔者效力于上海大学中型组自强队。对多机器人配合的研究起步较晚,但是在分析、总结了国内外强队的方法之后,也在自己的中型组机器人平台上实现了动态角色分配及多机器人配合。该机制不仅在实验室中得到验证,并且在 2009 年 RoboCup 中国公开赛中投入使用。

文中的主要工作是侧重程序实现的方法介绍动态决策分配机制,该机制使用隐式的配合,机器人之间没有特定的通信连接。在角色划分上文中将所有角色划分为四种,与上述大部分队伍划分的方式略有不同。详细介绍如何融合队友间的数据,并且采用多个角色效能函数,通过排名制和优先级抢占的混合方法实现动态自主的角色分配,该混合方法为文中的主要创新点之一。

## 1 策略设计分层模型

在团队配合策略的设计上,由上到下可分为角色分配、行为模式设定、特定动作设定三个层次<sup>[5,6]</sup>。由此可以有效降低各个参量的耦合度和设计难度,并且提高稳定性和可维护性。图 1 显示的是一个策略程序实现的主循环流程图,其中角色分配、行为选择、数据输出分别对应上述模型中的三个层次。

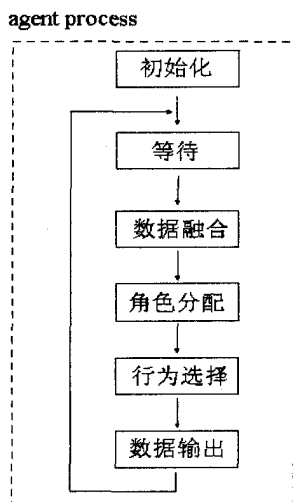


图 1 机器人策略分层设计流程

足球场上的所有队员的基本职责就是进攻与防

守,所有角色与配合都是为这两个职责服务的。基于这一考虑,可以将足球机器人基本角色分为进攻者 (Attacker 或简称 A) 和防守者 (Defender 或简称 D)。在进攻者中应有主攻 (Primary Attacker 或简称 PA) 和助攻 (Co. Attacker 或简称 CA) 2 种角色,防守者中应有主防 (Primary Defender 或简称 PD) 和协防 (Co. Defender 或简称 CD) 2 种角色。

各种角色有不同的行为模式。在进攻者中,主攻抢球、带球和射门,助攻掩护主攻,同时不能阻挡主攻的进攻路线。防守的主要思想就是站位防守,站在对方带球位置和我方球门连线上阻挡对方的进攻。主防和协防的区别在于,主防精确地站在连线上,协防紧密靠拢站在主防的旁边,增加防守的范围。

在确定角色与其行为模式之后,再根据具体机器人的运动特性,为每一种行为模式设计相应的动作,换算成机器人坐标系下的速度或者踢球动作并输出。

## 2 角色分配的机制流程

角色分配主要分为队友信息的共享与更新、队员信息的完善与排名、排名制与优先级抢占混合分配。

### 2.1 队员信息共享与更新

在中型组的比赛场上双方各有 5 个足球机器人队员,这些队员之间的通讯常常使用组播通讯。如图 2 所示,每个队员不断地向其他队员发送一些基本信息,同时也在不停地接收其他队员发来的这些信息。这些信息要经过共享和完善,以保证所有的队员维护同一个世界模型<sup>[11]</sup>。

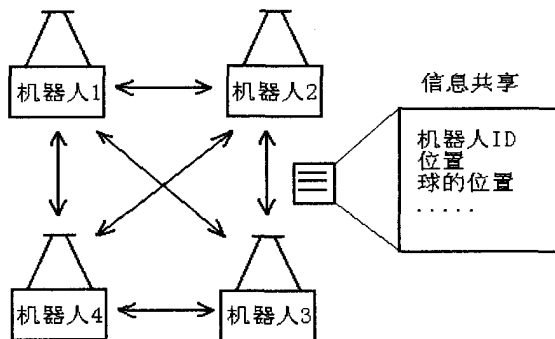


图 2 机器人之间通讯示意图

全局自定位是所有机器人自主和协作的基本要求<sup>[12]</sup>,如果某个机器人在场上不能实现自主定位,则不会向队员发送上述信息。对于队友来说,不能自定位的机器人将视为“阵亡”,阵亡的机器人将不参与角色分配。

“持球信心”是在本环节使用的一个角色效能函数,其值的大小反映的是机器人抢到球所耗费的时间或者路径代价,一般使用机器人相对球的位置来计算。

本机制在实际使用中使用的持球信心函数为:

$$Q_{bc} = 1 - k_1 \theta / \pi + k_2 \exp(-d/3) \quad (1)$$

其中  $k_1 + k_2 < 1$

式中  $Q_{bc}$  为持球信心值;

$k_1, k_2$  为两个权重系数;

$d$  为球到机器人的距离;

$\theta$  为球在机器人坐标系下与机器人正前方向的夹角。

$k_1, k_2$  这两个权重系数分别代表距离和夹角在持球信心中所占权重。可以根据机器人的运动性能,调整这两个权重值。如果机器人移动速度较快但转向较慢,需要将  $k_1$  调大,  $k_2$  调小;反之,如果机器人移动较慢但转速较快,需要将  $k_1$  调小,  $k_2$  调大;但是为了保证  $Q_{bc}$  始终为正,  $k_1, k_2$  必须满足  $k_1 + k_2 < 1$ 。 $Q_{bc}$  反映了当前机器人抢球的移动代价和转动代价。

为了保证所有机器人的角色分配处理是基于统一的世界模型,每个机器人需要根据其他机器人队友提供的信息对其自身获取的世界模型信息做出调整。在调整时使用的角色效能函数是识别球的相似度。如果当前某个机器人不能识别到球,则会直接相信所有队员中识别相似程度最高的;如果当前某个机器人识别到的球的相似程度低于所有队员中最高的,将根据距离函数的误差来折中选择是相信自己还是相信相似度最高的。这样就保证了全队所有机器人对球的位置作出的判断是一致的。

## 2.2 队员信息的完善和排名

如图 3 所示,在每个机器人的程序中,需要一张数据表来存储所有队员的上述信息,这张表不仅包含上述的信息,还为每个队员加上时间戳。在每次收到队员的信息后,程序会更新这张表中原有的信息,并在末尾加上收到这一条信息的时间。

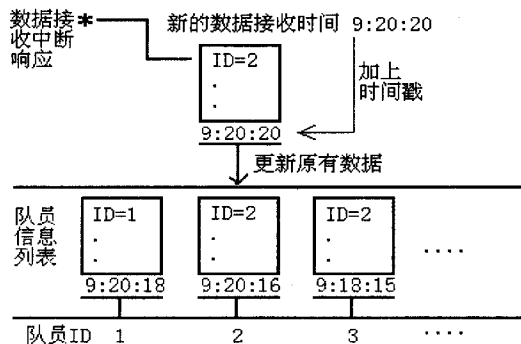


图 3 每次接收队员数据后加上时间戳

这一张数据表是实时更新的,即在每一次主循环中角色分配之前,要剔除掉那些超时的队员,将超时的队员认为是阵亡。若当前时间与时间戳时间之差大于超时阈值,则认为是超时。在实际使用中,根据网络通信的通畅与否,超时阈值一般设置在 50 ~ 100ms 之间。

所有阵亡的队员不会影响其他队员的角色分配,

并且当阵亡的队员恢复正常之后,又将重新被加入到队员信息列表中。

每个机器人在接收并更新最新的队员信息列表后,将对队员信息做一系列几何及数学运算,并找出自身在其中的排名,利用排名制来抢占角色,实现整个队伍的角色分配。这些排名主要包括:持球信心的排名、离我方球门的距离的排名、离对方球门的距离的排名。使用排名制的优势在于,只要保证队友信息更新的实时性,就能保证角色分配的可靠性。

## 2.3 角色的确定

角色确定首先根据持球信心的排名确定是否能成为主攻,否则根据多个条件来判断是否能担任助攻,否则再通过优先级抢占来确定主防和协防的角色。

基于各种的排名和队友数据,每个机器人做出判断,决定自己哪一个角色。程序的主要流程如下:

(1) 根据持球信心  $Q_{bc}$  的排名,如果是最高者的就是主攻。

(2) 如果上述条件不符合,则要判断是否符合助攻条件。助攻的条件要视具体情况而定,在实际程序实现中使用的条件是

$$(d_{ball} < d_{ca}) \cup (rank_{e_d} > rank_{e_{dpa}}) \quad (2)$$

式中  $d_{ball}$  是机器人与球的距离;

$d_{ca}$  是一个固定值;

$rank_{e_d}$  是与对方球门距离在所有队员中的排名;

$rank_{e_{dpa}}$  是主攻与对方球门距离在所有队员中的排名。

如  $d_{ca} = 4$  即与球距离小于 4m 就可以成为助攻,或者如果排名高于主攻,也可以成为助攻。根据对比赛形势的分析,当助攻比带球的主攻更加接近对方球门时,或者离球比较近时,掩护配合的成功率会大大提高。

(3) 如果上述条件不符合,则要判断主防位置是否被抢占。计算出我方球门与球的连线上的某一点 P,判断所有状态为防守(D)的队友的防守位置(Defense Pose)和 P 点的距离是否小于某一个范围(如机器人的直径),则认为被抢占。如果没有被抢占,就认定此点为自己的防守位置,成为主防。

(4) 如果主防位置被抢占了,则要循环迭代计算 2 次协防位置,并在协防位置中选择一个最优的作为自己的协防站位位置。

最多只计算 2 次的原因是场上每一方一共只有 5 个机器人,即使全部为防守状态,在一个队员抢占到主防位置后,他的左右位置成为一级协防队员(Level 1 Co-Defender 或简称 L1CD)的抢占位置,左边的一级协防队员的左边位置和右边的一级协防队员的位置将成为二级协防队员(Level 2 Co-Defender 或简称

L2CD)要抢占的位置。主防、一级和二级协防总共为5个名额,足够分配场上所有的队员。防守队员在抢占时优先抢占高级防守位置,即按照优先级从主防>一级>二级的顺序进行抢占,在同一优先级下,选择其他条件优越的(如距离较短、路径较简单等)。

在对方带球进攻时,由于球的位置变化,有可能会发生主防与协防之间切换的现象。但是主防与协防始终能够组成一个整体随着球移动,因此就防守效果而言仍然是有效的。

### 3 实验与验证

文中所介绍的角色分配机制的程序在 VC++6.0 下编写实现,每台机器人配备了笔记本电脑 Think Pad X61,处理器为 Inter(R) Core(TM)2 Duo CPU T7100 @ 1.8GHz,通过笔记本自带的无线网卡进行通讯。每台机器人之间的通讯速率约为 1.5kbps,全队所有机器人的总通讯量在 9kbps 左右。每个机器人主循环的运行周期约为 30ms,从主攻角色的确定开始一直到最后一个协防角色的确定,不超过 5 个机器人主循环周期即 150ms。

#### 3.1 实验室中的测试

在该实验中使用了一个监视程序,通过接收所有机器人发送的数据和时间来监视每个机器人的状态和角色。图4显示了在不同状况下各个机器人的反应。

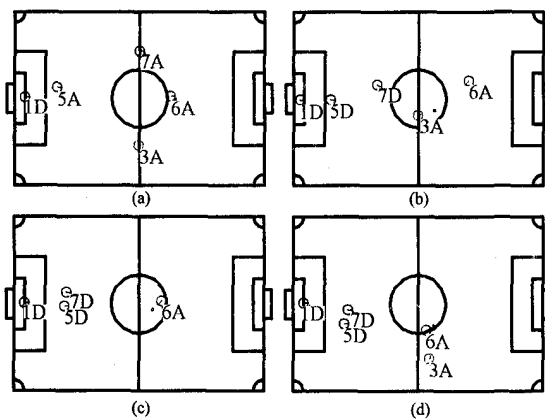


图4 四种不同情况下的角色分配结果

图4(a)显示场上没有球时,除守门员外其他都为进攻者;图4(b)显示放入球后,3号成为主攻去抢球,6号成为助攻掩护,5号成为主防,7号成为协防向5号靠拢;图4(c)显示将3号移出,6号变成主攻,其他角色不变;图4(d)显示将3号放回,6号仍然是主攻,3号变成助攻,7号成为主防,5号成为协防。

该测试过程模拟了实战中可能出现的各种情况,如球被遮挡或拿出场外、球被重新放回场内、机器人因故障离场、球被移动或对方带球进攻、离场机器人重新入场等。测试结果证明,该角色分配机制能够有效应

对上述所有情况,并且响应时间短(平均响应时间小于100ms,最长不超过200ms),角色分配稳定可靠。

#### 3.2 实战中的验证

在比赛中机器人能够做到灵活地分配任务,各司其职,并且与行为层的各种独立动作相配合,在实战中取得良好的效果。

在我方主攻队员带球进攻时,我方助攻队员会阻挡对方球员对主攻带球的干扰,完成了一次成功的进攻配合;在对方进攻球员带球时,我方防守队员组成严密的防守阵型,有效地阻挡了对方的进攻。

### 4 结束语

文中提出了一种混合方法的足球机器人动态角色分配的机制。首先阐述了角色分配在团队配合策略中的作用,并将策略设计划分为角色分配、行为模式设定、特定动作设定三个层次;然后介绍了一个实时有效的角色分配机制,该机制充分利用机器人之间少量的通讯数据,更新并同步各个机器人的状态,使用多个效能函数以及排名制、优先级抢占式等方法实现角色分配。最后,在实验室中和实际比赛中对该机制进行了验证。

#### 参考文献:

- [1] Kitano H, Asada M, Osawa E, et al. Robocup: A Challenge Problem for AI[J]. AI Magazine, 1997, 18(1):12-16.
- [2] Tambe M. Towards Flexible Teamwork[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 1997, 7: 83-124.
- [3] Xue Fangzheng, Xu Xinhe, Feng Ting. Design and development of the decision-making and control system of centralized soccer robot[J]. Robot, 2005, 27(5):431-435.
- [4] Chen Chiyang, Li Tzuu-Hseng. A real-time role assignment mechanism for five-on-five robot soccer competition[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation. Taipei: [s. n.], 2004:1099-1104.
- [5] 朱明,陈万米,宋鑫坤,等.受限视野下仿真类人机器人头部控制研究[J].计算机技术与发展,2010,20(9):10-14.
- [6] Lau N, Lopes L S, Corrente G. CAMBADA: information sharing and team coordination[C]//Proc. of the 8th Conf. on Autonomous Robot Systems and Competitions, Portuguese Robotics Open-ROBOTICA'2008. Aveiro, Portugal: [s. n.], 2008:27-32.
- [7] Lau N, Lopes L S, Corrente G, et al. Multi-robot team coordination through roles, positioning and coordinated procedures[C]//Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS-2009. St. Louis, MO, USA: [s. n.], 2009:5841-5848.



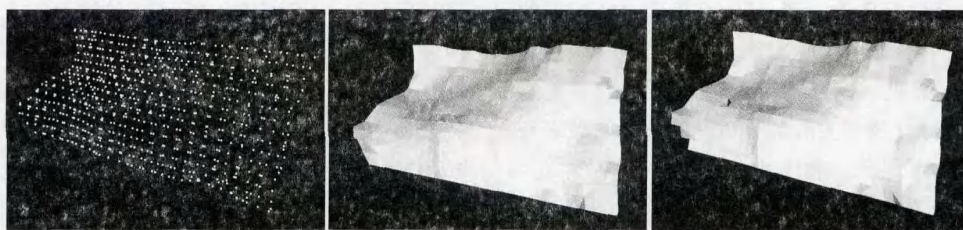


图 3 曲面点集 hz1 的重建结果(输入的孔洞系数为 2)

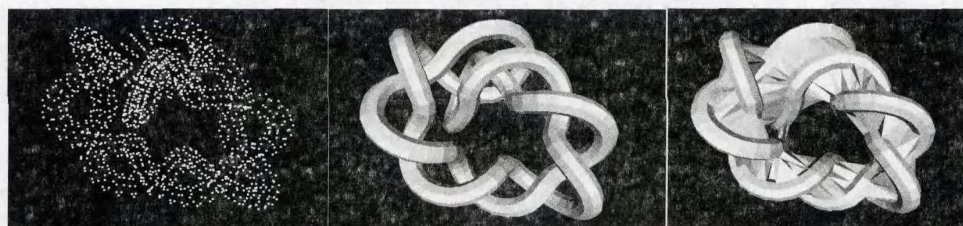


图 4 管道表面点集 test\_knot 的重建结果(输入的孔洞系数为 2)



图 5 恐龙模型表面点集 dinosaur 的重建结果(输入的孔洞系数为 3)

- [3] Lorensen W E, Cline H E. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm [J]. Computer Graphics, 1987, 21(4): 163-169.
- [4] Green P J, Sibson R. Computing Dirichlet tessellations in the plane [J]. The Computer Journal, 1978, 21(2): 168-173.
- [5] O'Rourke J. Computational Geometry in C[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 161-165.
- [6] Bowyer A. Computing Dirichlet tessellations [J]. The Computer Journal, 1981, 24(2): 162-166.
- [7] Watson D F. Computing the n-dimensional delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes [J]. The Computer Journal, 1981, 24(2): 167-172.
- [8] Edelsbrunner H, Mücke E P. Three-dimensional alpha shapes [J]. ACM Transaction on Graphics, 1994, 13(1): 43-72.
- [9] Chaine R. A geometric convection approach of 3-D reconstruction [C]//Eurographics Symposium on Geometry Processing. [s. l.]: [s. n.], 2003.
- [10] Bernardini F, Mittleman J, Rushmeier H, et al. The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1999, 5(4): 349-359.
- [11] Amenta N, Bern M, Kamvysselis M. A new Voronoi-based surface reconstruction algorithm [C]//Proceeding of SIGGRAPH'98. Danvers: Assison-Wsley Publishing Company, 1992: 415-421.
- [12] Edelsbrunner H, Shah N R. Incremental topological flipping works for regular triangulations [J]. Algorithmica, 1996, 15(3): 223-241.
- [13] Lawson C L. Generation of a triangular grid with application to contour plotting [R]. California: Institute of Technology, Jet Pollution Laboratory, 1972.

(上接第 13 页)

- [8] Benkmann R, Kappeler Uwe-Philipp, Zweigle O, et al. Resolving Inconsistencies using Multi-agent Sensor Systems [C]//Proceedings of the 8th Conference on Autonomous Robot Systems and Competition: Robotica 08. Aveiro, Portugal: [s. n.], 2008: 93-98.
- [9] Riedmiller M, Merke A. Using Machine Learning Techniques in Complex Multi-Agent Domains [M]//Adaptivity and Learning. [s. l.]: Springer, 2003.
- [10] 季秀才, 崔连虎, 郑志强. 混合分布式任务分配机制在足球机器人系统中的应用研究 [J]. 计算机应用, 2008, 28(3): 706-709.
- [11] 陈万米, 张冰, 朱明. 智能足球机器人系统 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 120-142.
- [12] 宋鑫坤, 陈万米, 徐昱琳, 等. 非结构化场景下移动机器人 FastSLAM 应用研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 95-99.