

文章编号: 1001-0920(2006)07-0801-04

足球机器人控制体系结构的研究

薛方正¹, 李庆², 徐心和²

(1. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400044; 2 东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 提出了基于粗粒度空间和垂直分解结构的控制体系结构, 用于解决实时多足球机器人的对抗问题。总结了智能机器人的控制体系结构, 提出了控制体系结构设计中的几个重要原则。提出了粗粒度行为的概念, 寻求决策精度与系统智能和实时性的平衡, 并设计了基于这种思想的控制体系结构。实现了基于这种结构的策略程序, 实战证明了该方法的正确性。

关键词: 粗粒度行为; 策略体系; 垂直分解; 足球机器人

中图分类号: TP242

文献标识码: A

On Control Structure of Robot Soccer System

XUE Fang-zheng¹, LI Qing-yun², XU Xin-he²

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2 College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: XUE Fang-zheng, Email: frank_xfz@sina.com.cn)

Abstract: Due to the strategy problem of multi soccer robots real time counterwork, a kind of control structure based on coarse granularity behaviors and vertical decomposition is presented. Several important principles in designing the control structures for robot strategy systems are brought out after the discussion of control structures of intelligent robots and Robot Soccer control structures are analyzed via space mapping method. Coarse granularity behavior is defined to get the balance among intelligence, real time quality and precision of the strategy system. The coarse granularity behavior based control structure is designed and realized in a strategy system.

Key words: Coarse granularity behavior; Strategy system; Vertical decomposition; Soccer robot

1 引言

足球机器人作为典型的多机器人合作与对抗系统, 已成为人工智能和机器人领域的研究热点, 其策略与控制问题也成为人工智能的标准问题。控制体系结构的研究是策略与控制问题的基础, 一直受到广泛的关注, 许多球队都设计了自己的控制体系结构。

本文主要关注足球机器人策略系统的控制体系结构问题, 提出了控制体系结构设计的一般性原则, 分析了足球机器人控制体系结构问题的现状和特点, 提出一种基于粗粒度行为的控制体系结构, 并通过实战验证了该结构的有效性。

2 控制体系结构问题

智能机器人的控制问题涉及到人工智能、运筹学和控制论等多个学科领域, 因此控制体系结构问题的第一层意义是将一个多学科耦合的复杂问题, 分解为若干个比较独立的简单子问题; 第二层意义是将分解后的子问题或解决这些子问题的子模块, 通过某种形式组织起来形成特定的结构, 为解决类似问题提供指导。

2.1 控制体系结构问题分类

学者们提出了一些控制体系结构^[1], 主要分为垂直分解、水平分解和混合结构等。

1) 垂直分解结构: 在垂直分解结构中, 子模块

收稿日期: 2005-05-06; 修回日期: 2005-07-04

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2001AA 422270)。

作者简介: 薛方正(1977—), 男, 安徽桐城人, 助教, 从事智能机器人等研究; 徐心和(1940—), 男, 河北山海关人, 教授, 博士生导师, 从事足球机器人、建模与仿真等研究。

之间是一种串联分层关系,其典型代表是递阶控制结构。该结构具有良好的规划推理能力,通过自上而下的任务逐层分解,较好地解决了智能和控制精度的关系,其缺点是系统可靠性、鲁棒性、实时性较差。

2) 水平分解结构:在水平分解结构中,子模块之间是一种并联叠加关系,其典型代表为包容结构。该结构采用基于行为的自下而上的构造系统的方式,以提高在动态环境中的鲁棒性。但过分强调单元的独立和平行工作,主动性和目的性较差,而且难以加入人的经验和启发性知识,限制了人的知识和应用。

3) 混合结构:一般是指垂直分解与水平分解相混合的一种结构,其典型代表为三层结构。该结构由反馈控制层、慎思规划层和连接二者的序列层构成。它既吸取了递阶结构中高层规划的智能性,又保持了包容结构中低层反应的灵活性。

随着多智能体理论的发展,一些学者提出了基于多智能体的控制体系结构^[2]。这类结构可归纳到上述三类结构中,但也有文献认为应看作一种新的结构类型^[1]。多智能体间的通信费用是这类结构应考虑的问题。

2.2 控制体系结构的设计原则

随着理论和应用的发展,不断有新的控制体系结构设计出来,因此需要有一般性和具有广泛指导性的设计原则来评判其优劣。考虑到设计目标、软硬件条件、多个学科协调和多人合作等因素,结合足球机器人系统的研究实践经验,本节提出控制体系结构设计的两大原则:简单原则和矛盾原则。

(1) 简单原则

简单原则是指控制体系结构应当简洁而不应繁杂,其内涵包括子问题简单、关系简单和实现简单。应尽量将结构化的有成熟解决方案的子问题从庞大而复杂的问题中剥离开来,将对应于不同学科领域或理论方法的问题分离开来;分解策略应是科学的,问题分解后子问题的组合应比原问题大大简化;控制体系结构应对控制系统的设计和实现具有重要的指导意义,并大大简化控制系统的设计和编码工作。

(2) 矛盾原则

矛盾原则体现了控制体系结构所蕴含的多学科多问题的耦合特性,以及结构对自身所蕴含问题的理解力和包容性。Saridis 认为智能随着控制精度的增加而降低^[3],并指出了智能与控制精度之间的矛盾。智能和决策频率也是一对矛盾。那些需要动用长时间、大量脑力劳动的决策往往是战略性的,不能随意更改;而稍动脑筋就轻易作出的决策是即时决策,可以随机变动。

智能和实时性的矛盾在实时决策系统中表现得尤为突出。机器人在宏观知识、心智状态层次上的推理和学习等高级智能行为是很耗时的。在实时系统中还有另外一对矛盾,即实时性与决策粒度之间的矛盾。决策粒度对应于问题解的准确性,在实时决策中,如果时间不允许,系统至少应给出一个粗略解。

3 足球机器人控制体系结构的研究

3.1 足球机器人策略和控制体系结构问题

足球机器人系统大致可分为两大类:一类是以 MiroSOT 系统为代表的集控式系统;另一类是以 RoboCup 仿真组比赛系统为代表的分布式系统。这两类系统的策略问题可描述为:多个机器人活动在一个实时、噪声以及对抗性的复杂环境下,通过协作来完成进球任务,表示为

$$D = S_{\text{sensor}} \rightarrow S_{\text{command}} \quad (1)$$

其中: D 表示整个策略过程, S_{sensor} 表示传感器信息空间, S_{command} 表示机器人命令空间。策略问题的本质是求传感器信息空间到机器人命令空间的映射,而控制体系结构的任务是将这个映射进一步分解。

3.2 足球机器人控制体系结构的研究现状

最初,很多球队的策略结构是机器人在每个赛场分区各自为战。这种方法容易理解且实现简单,但不够灵活。Soty 队的策略结构有 5 个层次^[4]:赛场态势分析,机器人优先级确定,角色分配,动作选择和动作执行。FC Portugal 队的策略系统是一种 4 层结构^[5]:更新全局信息来维护世界状态模型,确定阵形,进行任务分配,确定机器人动作。清华大学 Tsinghuaeolus 队的决策结构分为 5 层^[6]:根据世界状态得到可选动作集,选择能完成当前任务的动作集,为机器人选择合适的动作,经过协调后,动作被执行。东北大学牛牛队提出一种 4 层决策结构^[7],认为足球机器人策略系统的决策过程应分为 6 个关键步骤。

足球机器人控制体系结构大体上有三大类:第一类直接由传感器信息确定机器人的动作,然后确定机器人的命令。这是一种完全基于行为的方法,很少有球队采用这类结构。第二类由传感器信息确定机器人的状态或任务,然后求机器人的动作,最后得到机器人的命令。这类结构的缺点是由状态到动作的过程十分复杂,求解困难。第三类先由传感器信息确定机器人的状态,然后确定机器人所扮演的角色,再次求机器人的动作,最后得到机器人的命令。这类结构由于引入了角色的概念,使其显得更加直观,因此大多数球队都采用这类结构。但角色的概念是从人类的球类运动中抽象出来的,难以形式化。在实现过程中,角色分配函数的设计仍很复杂和困难。

4 基于粗粒度行为的控制体系结构

4.1 粗粒度行为

4.1.1 足球机器人行为

足球机器人的行为由动作函数来描述, 按其功能一般可分为三大类:

第一类是跑位 (Position). 跑位主要有两种: 一种是跑到赛场上的某个绝对位置; 另一种是以球为参照物, 跑到某个相对位置

第二类是踢球 (Kick). 它是用来改变球的运行状态的机器人行为, 有射门和传球等

第三类是特殊功能动作 这类动作比较复杂, 大都是专门设计的, 如守门和盯人等

在足球机器人系统中, 使用最多的是跑位行为 机器人大多都是同构的, 有些球队对守门员进行单独设计.

机器人的行为在控制体系结构中具有承上启下的作用, 用来连接命令和规划 对于低层次的命令而言, 行为必须是具体的和细节的, 也就是细粒度的; 对于高层规划而言, 行为可以是比较抽象的和粗粒度的

4.1.2 粗粒度行为

足球机器人动作函数的输入有两类: 一类是机器人位姿变量或球的位置变量 这类变量的值在传感器空间很容易得到 另一类是目标位姿、目标位置、目标方向等变量 这类变量体现了动作函数的设计目的和存在的意义, 将其定义为动作的属性 在数字系统中, 这个变量是离散的, 其最小分辨率反映了它的粒度 属性变量的粒度反映了动作的粒度, 或者说机器人行为的粒度

以跑位动作 Position (p_i) 为例, 属性变量 p_i , S , S 为赛场平面上所有点的集合 如果 p_i 是细粒度的, 则 Position (p_i) 也是细粒度的

粗粒度行为定义为

$$A_g = (N_o, R, G, Cost, Name, Task). \quad (2)$$

它表示机器人到以 R 为参照物时编号为 N_o 的区域, 其活动范围为 G (行为的粒度), 此次行为的代价为 $Cost$, 动作名称为 $Name$, 行为的任务为 $Task$ 定义粗粒度的跑位动作可有两种方法: 分区法和定义关键点法

(1) 分区法

如图 1 所示, 以参考点 R 为原点, 向右为 x 轴正方向, 向上为 y 轴正方向 区域编号 x_{N_o} 和 y_{N_o} 分别表示 x 方向和 y 方向的编号大小, 其计量方法都是以 R 为 0 点, 每增加一个 G 时加 1, 每减少一个 G 时减 1.

以 Position (x, y) ($x \in [0, 10), y \in [0, 10)$) 为

例, 表示目标点在 10×10 的正方形区域的跑位函数

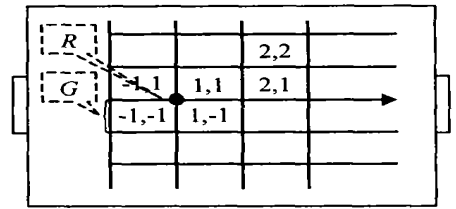


图 1 分区法得到的粗粒度行为

集, 可按分区法用粗粒度行为表示为

$$\begin{aligned} & \text{Position } (10, 10) \\ & ((1, 1), \text{zero}, 10, \text{GetpCost}, \text{Position}, \\ & \text{wait ball}). \end{aligned} \quad (3)$$

它表示机器人跑到以原点为参照系的 (1, 1) 区, 其评判指标由函数 GetpCost 来求得, 函数名为 Position, 作用为等球

(2) 定义关键点法

定义关键点法比较简单, 就是人为地设定一些关键点, 比如以场地原点为参照系的关键点集和以球为参照系的关键点集; 然后把这些关键点进行编号, 并定义机器人的活动范围, 便得到了粗粒度行为

4.2 基于粗粒度行为的控制体系结构

得到粗粒度行为后, 便得到了一个离散的粗粒度行为空间 $S_{ga} = \{A_g\}$. 整个球队的粗粒度行为可表示为

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_n), f_i \in S_{ga} \quad (4)$$

粗粒度队行为空间可表示为 $S_{gta} = \{F\}$. 动作分配后, 机器人的粗粒度行为按机器人号码排列, 可得到机器人粗粒度行为序列空间

$$S_{gra} = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid a_i \in S_{ga}\} \quad (5)$$

至此, 便得到了 5 个空间, 分别为: 传感器空间 S_{sensor} , 状态空间 S_{state} , 粗粒度队行为空间 S_{gta} , 粗粒度行为序列 S_{gra} 和命令空间 $S_{command}$. 同时得到 4 个过程, 分别为

$$\begin{cases} D_1: S_{sensor} & S_{state}, \\ D_2: S_{state} & S_{gta}, \\ D_3: S_{gta} & S_{gra}, \\ D_4: S_{sensor} \times S_{gra} & S_{command} \end{cases} \quad (6)$$

整个策略过程可描述为

$$D = D_1 D_2 D_3 D_4 \quad (7)$$

其中: D_1 主要为数学问题, D_2 主要为人工智能和机器人规划问题, D_3 主要为多机器人协调问题, D_4 主要为运动控制问题 (可能还有学习和优化问题). 于是, 足球机器人决策问题便分解成 4 个较为简单的

子问题, 每个子问题都可通过一些相应的理论来解决

基于粗粒度行为的智能机器人策略体系结构如图2所示。传感器信息处理对应于 D_1 过程, 全局规划中包含 D_2 过程, 多机器人协调对应于 D_3 过程。它们都是垂直分解, 产生每个机器人的粗粒度行为。局部优化、避障、目标和任务等作为一个整体, 对应于 D_4 过程, 它既可用垂直分解也可用水平分解。考虑到实时性和适应性等因素, 则用水平分解较好。

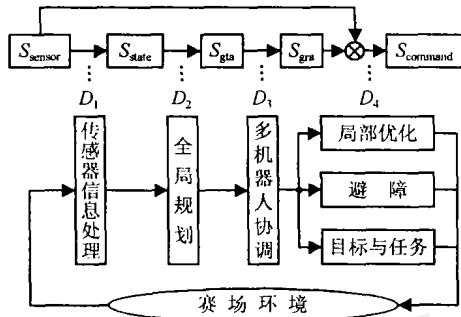


图2 基于粗粒度行为的控制体系结构

在所有的过程中, D_2 过程最复杂, 也最能体现智能的特点, 是真正的智能决策过程。从状态分析可以看出, 基于粗粒度行为的控制体系结构应尽可能将策略过程中的结构化问题从智能决策过程中分离出来, 各子问题之间没有耦合, 并用牺牲精度的方法来缓解智能决策的实时性和决策智能的压力。每个过程的衔接都有明确的接口, 因此可用独立的处理器完成, 很容易实现并行处理。

5 结 语

本文总结了控制体系结构问题, 提出控制体系结构设计两个必要原则, 分析了足球机器人的决策问题和一些决策系统; 提出了基于粗粒度行为的控制体系结构概念, 简化了足球机器人策略系统的设计。

文中提出的控制体系结构经历了长时间的比赛考验。东北大学牛牛队的M IRO SOT 系列策略系统采用该结构, 在国际机器人足球比赛FIRA Cup 2002中获得一个第二名, 两个第三名, 并在M IRO SOT 项

目上一直保持国内领先水平。本文设计实现的具有

自组织进化能力的仿真策略系统^[8], 验证了该结构的可扩展性能。通过使用策略编辑器编辑和调整粗粒度队行为, 实现了上层策略的即时调整和检查, 将策略调试时间由过去的一两个月缩短为一个多星期甚至几天。

参考文献 (References)

- [1] 刘海波, 顾国昌, 张国印. 智能机器人体系结构分类研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2003, 24(6): 664-668.
(Liu H B, Gu G C, Zhang G Y. Research on Classification of Intelligent Robot Architecture [J]. J of Harbin Engineering University, 2003, 24(6): 664-668.)
- [2] Kolp M. Organizational Multi Agent Architectures: A Mobile Robot Example [A]. Proc of AAMAS [C]. Bologna, 2002: 94-95.
- [3] Saridis G N. Architecture for Intelligent Controls [A]. IEEE Symposium on Implicit and Nonlinear Systems [C]. Worth, 1992: 13-25.
- [4] Kuk-Hyun Han, Kang-Hee Lee, Choon-Kyoung Moon, et al. Robot Soccer System of SOTY 5 for Middle League MiroSot [A]. Proc of FIRA Cup 2002 [C]. Seoul, 2002: 632-635.
- [5] Reis L R, Lau N. RoboCup-2000 FC Portugal Team Description: RoboCup 2000 Simulation League Champion [A]. RoboCup-2000: Robot Soccer World Cup IV [C]. Melbourne, 2002: 29-40.
- [6] Yao J Y, Chen J, Cai Y P, et al. Architecture of Tsinghuaeolus [A]. RoboCup-2001: Robot Soccer World Cup V [C]. Seattle, 2001: 491-494.
- [7] 吴丽娟, 张春晖, 徐心和. 足球机器人决策系统推理模型[J]. 东北大学学报, 2001, 22(6): 597-599.
(Wu L J, Zhang C H, Xu X H. Reasoning Model of Soccer Robot Strategy System [J]. J of Northeastern University, 2001, 22(6): 597-599.)
- [8] Xue F Z, Fang S, Xu X H. Artificial Ecological Pyramid Model and Its Application in Autonomous Robot Strategy System [A]. Proc of IEEE Conf on Robotics and Biomimetics [C]. Shenyang, 2004: 845-849.