

# 一种开放式机器人足球比赛仿真系统的研究

符德晓, 李晓明\*

(浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 机器人足球是学术研究的良好平台, 尤其是在人工智能和多智能体系统领域。仿真技术是机器人足球研究中广泛采用的一种手段, 可以在很大程度上降低研究的成本, 提高科研效率。针对“仿真技术在足球机器人中的应用还不够充分”的问题, 提出了一种基于平台/插件结构的机器人足球仿真系统, 并采用了 C/S 的系统模型, 将仿真系统的核心平台与显示模块分离, 大大提高了仿真系统运行的速度和三维场景的显示效果。通过对仿真模型和 ODE 参数的优化, 进一步提高了仿真系统的性能。研究与实际应用结果表明, 通过平台/插件的这种体系结构, 以及基于 C/S 的三维显示模型, 系统性能得到大幅改进, 并为球队策略系统的仿真提供了极大的灵活性和可扩展性。

**关键词:** 机器人足球; 开放式仿真比赛系统; 平台 + 插件; C/S

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)01-0055-05

## Development of open simulation system for robot soccer

FU De-xiao, LI Xiao-ming

(Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Robot soccer is considered as a good platform and test field for academic researches, especially for artificial intelligence and multi-agent system. Simulation technology was widely used in the development in order to lower the cost and improve the research efficiency. Aiming at the deficient use of the simulation in the robot soccer, an open simulation system was put forward based on the platform/plugin structure. The C/S model was adopted to separate the core of the simulation platform with the 3D display module, so that the speed of simulation calculating and scene rendering were both improved greatly. The performance of the simulation system was also improved by optimizing the ODE parameters and the simulation model. The results indicate that the great flexibility and expandability were brought by the platform/plugin mechanism and C/S based 3D display model.

**Key words:** robot soccer; open simulation system; platform/plugin; C/S

## 0 引言

虽然目前足球机器人的硬件平台已经相对比较完善, 但是很多相关的研究工作特别是路径规划、策略研究这些高层软件开发工作如果都在硬件平台上完成, 不但会降低研究效率, 同时也会由于各种硬件条件的限制降低实验结果的精准度和有效性<sup>[1]</sup>。足球机器人仿真比赛系统是在计算机上模拟机器人足球系统的真实环境, 通过计算机来完成实体机器人各个模块的

功能。它的领域特征简单概括为: 动态的环境、实时的状态改变、不完全的获取信息、非符号式的传感器信息、分布式的控制方式<sup>[2]</sup>。仿真系统的特点是要求条件简单, 能够模拟真实的环境, 故其对机器人足球和人工智能的研究具有重要意义。所以, 仿真系统可以弥补实体系统的不足, 实现复杂决策算法。因其要求的条件简单, 便于机器人足球技术的推广。因具备优良的可控制性, 便于机器人足球系统的实验和分析。因此开发仿真比赛系统就成为机器人足球项目研究的一

收稿日期: 2010-06-18

作者简介: 符德晓(1983-), 男, 河南南阳人, 主要从事人工智能与自动化控制方面的研究. E-mail: fudexiao123137@sina.com

通信联系人: 李晓明, 男, 副教授, 硕士生导师. E-mail: lxm\_zju@yahoo.com.cn

项重要工作。

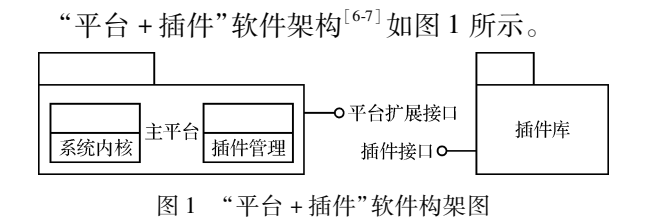
截至目前,这方面的研究工作已经进行了很多年,并且开发出了很多功能强大的仿真比赛系统,如 Carnegie Mellon University 的 Ubersim<sup>[3]</sup>,中科大的 Small-sim<sup>[4]</sup>等。另外,1999 年,哈尔滨工业大学足球机器人研究小组开发了 11 人制的仿真比赛平台,并且在正式比赛中投入使用。由于机器人足球仿真系统的研究要求条件不高、技术进步快,国内外很多大学都引进了机器人足球仿真系统。各国的研究人员已经在仿真系统的研究中取得了很多成果。2001 年澳大利亚研究人员又开发了 3D 环境下的 5 人组仿真比赛系统,使得仿真比赛的可观赏性更强,能够很好地模拟现实中的机器人足球比赛。

目前,机器人足球仿真比赛系统的研究内容主要集中在以下几个方面:构建机器人足球系统的环境模型;机器人基本行为的实现;机器人足球策略的研究。主要的研究方向有:多智能体决策模型的构建;机器人路径规划的研究<sup>[5]</sup>。

但是这些已完成的仿真系统大多数是针对某一特定球队,为了参加 RoboCup SSL 竞赛开发的。如此以来便会出现以下一些不足之处:首先,针对自己球队开发的仿真系统,一般用作自有球队研究之用,由于标准不一,仿真实现各式各样,开放性较差,不能够实现各个球队之间的交流学习。其次,多数仿真系统采用传统软件构架,封装实现当前研究状态下的仿真比赛,不利于软件功能的扩展和改进以及后续研究者进行二次开发。因此本研究主要探讨了一种开放式机器人足球比赛仿真系统的研究,为不同球队之间的科研交流和对比赛提供一个统一的平台。

# 1 开放式仿真系统框架

## 1.1 “平台 + 插件”软件架构



仿真平台实现刚体的动力学仿真、碰撞检测等功能,这些功能相对于每一支球队是大体相同的,可以作为软件的主体部分。不同的实体、不同的通讯协议、不同的视觉系统、不同的策略方法开发成插件。这样不必改变软件的主体结构,只需根据自己球队的实际情

况开发符合标准的插件即可实现对软件的扩展。常用的插件有:场地插件、足球机器人插件、视觉信号生成插件、决策命令解析插件等。

仿真系统的插件开发采用动态链接库方法,系统平台开发成为可执行文件,插件部分编译成动态链接库,以动态加载的方式使用插件。

## 1.2 仿真系统的基本功能

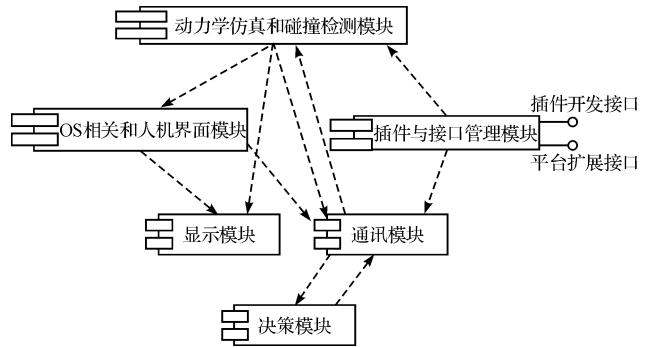
仿真比赛系统要实现模拟现实比赛、验证决策设计等,必须实现以下基本功能:

- (1) 能够仿真机器人的物理和动力学特性,以及足球和球场信息;
- (2) 能够处理仿真体之间的碰撞;
- (3) 仿真的赛场信息能够传递至决策系统;
- (4) 仿真体能够接收并执行决策系统的动作指令;
- (5) 能够通过终端显示比赛过程并能够提供人机交互接口。

为了实现仿真系统的开放性和可扩展性,还必须能够实现各种扩展接口。

## 1.3 仿真系统的模块构成

根据系统“平台 + 插件”的软件构架,可以得到系统的模块构成,如图 2 所示。



动力学仿真和碰撞检测模块是系统平台的核心模块,运动仿真负责仿真赛场上实物的动力学特性,并且能够根据仿真体当前状态信息计算出下一周期的状态信息。碰撞检测负责模拟仿真体之间的碰撞,寻找碰撞点,根据物体表面弹性系数、摩擦系数等参数计算碰撞对运动产生的影响。

通讯模块为仿真体与决策系统之间的通讯提供支持。仿真系统中各个仿真体必须能够和决策系统进行通讯,以接收决策指令。同时通讯模块也支持接口间通讯和仿真体与人机交互界面间的通讯。

插件与接口管理模块负责管理插入平台的所有插件,通过插件接口使用插件功能,同时也为插件提供插

入平台的通用接口,为系统的扩展提供标准。

OS 相关和人机界面模块处理与计算机操作系统相关的任务,同时提供人机交互接口和与显示模块通讯的接口。

显示模块是从系统主平台分离出来的一个模块,采用 C/S 模式设置显示客户端,可以减轻主平台计算压力,提高系统整体速度。

决策系统接口模块是仿真比赛的“神经中枢”——决策系统与仿真系统沟通的桥梁。独立开发的决策系统根据仿真体的状态信息确定仿真体的动作,决策系统接口模块的作用就是将决策系统的命令“翻译”成仿真体可以执行的语句,然后通过通讯模块传递至仿真机器人,仿真机器人接到指令并执行。同时,球场上仿真体 IMessage 格式的信息也要经过此模块的解析才能被决策插件识别。

#### 1.4 C/S 三维显示模型设计

大部分足球机器人仿真系统一般都是仿真和显示放在一台计算机上进行,这样做的好处是节约硬件资源,模块间的通讯实现简单,通讯效率极高。但是,三维显示技术(以本研究用到的 OpenGL 为例)对计算机的 CPU、内存要求特别高,该系统开发初期也是采用上述方法,系统运行测试结果表明,机器人小车运行球场宽度的距离用时大约 3 s,仿真结果的显示速度与真实比赛情况相差太大,达不到仿真比赛的要求。利用酷睿双核 CPU(2.55 GHz)2 GB 内存计算机测试系统运行情况发现仿真系统中 OpenGL 占用 CPU 超过 50%,占用内存超过 40%,严重影响仿真系统和计算机的运行速度。

经过研究,笔者设计了一种客户机/服务器(C/S)显示模式<sup>[8]</sup>,把仿真计算和三维显示剥离开来,利用两台 PC 机,其中 PC1 作为仿真计算机,主要负责球场上实体的建模仿真,碰撞检测,路径规划等。PC2 作为三维显示服务器计算机,接收从 PC1 发过来的球场实时状态信息,利用 OpenGL 三维显示技术,在计算机屏幕上显示比赛过程。两台 PC 机之间采用 TCP/IP 协议实现通讯,这样处理的结果是仿真计算和三维显示的速度都得到了大幅提升,经过和原有系统的对比测试,现在机器人运行一个球场宽度的距离用时仅为 1 s,运行速度基本达到了仿真比赛的要求。另外,采用同样配置的计算机测试改进后的系统,PC1 中仿真进程 CPU 占用率仅为 11%,内存占用率仅为 15%,系统运行明显流畅很多,仿真效果更接近实际比赛场景。结果表明,上述改进措施达到了预期的目标。

## 2 仿真系统的实现

### 2.1 开发工具的选择

目前“平台 + 插件”软件结构一般采用 COM、CORBA、动态链接库、脚本插件解释器等方法实现,其中脚本插件解释器不但效率不高,而且编程复杂,COM、CORBA 虽然功能强大,但实现起来却非常复杂。动态链接库(DLL)是一个包含可由多个程序同时使用的代码和数据的库,它不是可执行文件,只是提供了一种方法,使进程可以调用不属于其可执行代码的函数。通过使用 DLL,程序可以更好地实现模块化,并且可以容易地将更新应用于各个模块,而不会影响该程序的其他部分。这些特点正好符合本仿真系统的扩展性,开放式和系统插件的共享和跨平台的特性。所以系统的体系结构选用 DLL 来实现。另外,DLL 模块是彼此独立的,模块只在相应的功能被请求时才加载,所以利用 DLL 程序的加载速度也会更快<sup>[9]</sup>。

在开发语言方面综合考虑运行效率和移植性问题,该系统采用 C++ 来实现;动力学仿真方面采用品质优良的 ODE 库,而三维显示则采用主流的 OpenGL 实现。插件部分统一编译成动态链接库,采用动态加载的方式使用插件,并采用符合 C++ 98 标准的 code::blocks 开发环境,并利用了可跨平台的 C++ 类库 boost 1.36。

### 2.2 仿真平台的实现

动力学仿真和碰撞检测模块利用 ODE(Open Dynamics Engine)库来实现。ODE 库是一个免费的具有工业品质的刚体动力学仿真库,是一款优秀的开源物理引擎<sup>[10]</sup>,可以用来仿真球场上的所有实体,并且具有内建的碰撞检测系统,可以灵活处理球场上的所有碰撞。如图 3 所示为系统的仿真层次结构。IPart 包含仿真体的构成部件,以及各个部件的物理属性(形状、质量、弹性系数、摩擦系数等)。IEntity 是 IPart 中部件构成的物理实体(机器人、场地等),然后多个 IEntity 组合构成仿真群体 IPart,在 IPart 中模拟各种实体的动态特性及分工协作等。

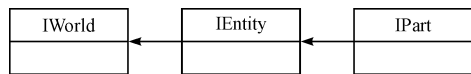


图3 系统仿真层次结构图

通讯模块功能是通过 ICommunicator 接口实现的,post 或者是 send 函数负责把实现了 IMessage 接口的消息信息发送到仿真体,仿真体接收到消息,分辨消息

类型和消息 ID,然后选择不同的处理方法处理消息。系统的通讯模块类图如图 4 所示。

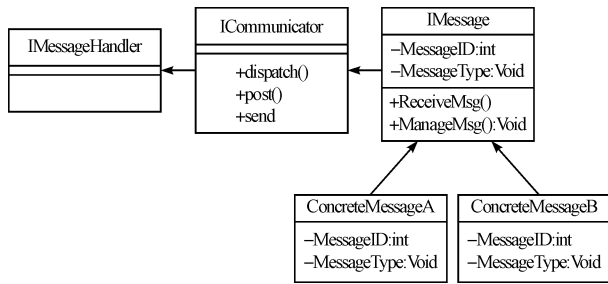


图 4 通讯模块类图

插件与接口管理模块通过仿真主平台接口和插件接口管理插件,扩展系统功能。其中 ISimulator 提供主平台扩展接口,IPlugin 提供插件接口。插件与接口管理模块类图如图 5 所示。

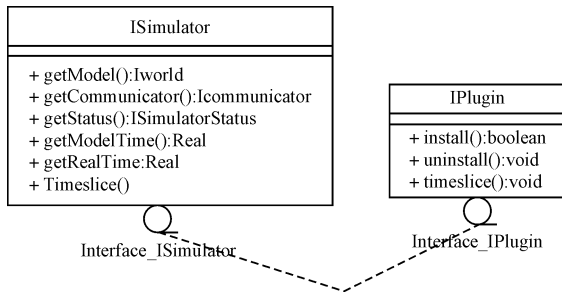


图 5 插件与接口管理模块类图

OS 相关和人机界面模块包含了与操作系统相关的应用和提供人机交互的接口。其中 ITimer 提供定时器;IApplication 支持应用程序主框架应用;IResourceManager 提供资源管理接口;ISimUI 支持人机交互界面,提升系统人性化设计。OS 相关和人机界面模块的类图结构如图 6 所示。

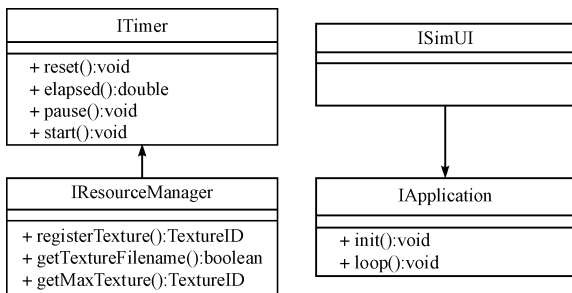


图 6 OS 相关和人机界面模块类图

显示模块提供统一的三维显示功能模块接口,程序实现 IDrawing 接口即可实现显示功能。IDrawing 封装 OpenGL 操作,使插件开发者不必了解 OpenGL 的使用方法,只要实现了接口方法即可实现仿真结果的三维显示,此部分功能放在上文提到的 PC2 计算机中完成。显示模块的类的方法成员如图 7 所示。

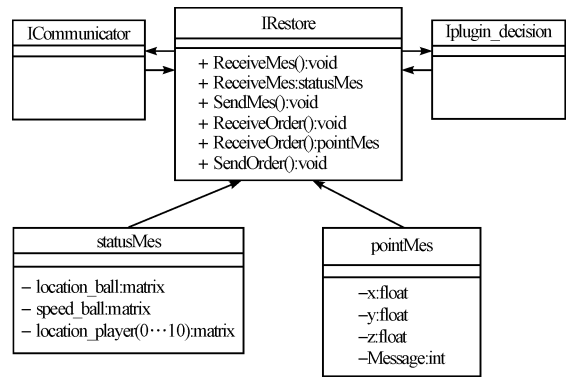


图 7 显示模块类成员

决策系统接口模块作为决策插件与系统沟通的桥梁,需要进行决策系统与仿真系统的双向解析任务。决策系统接口模块的类图如图 8 所示。

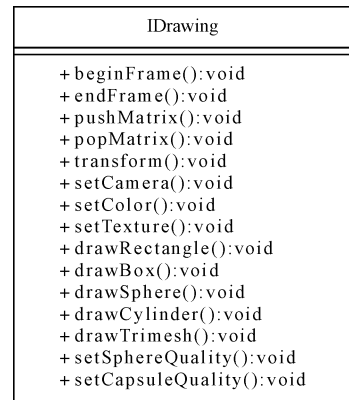


图 8 决策系统接口模块类图

### 3 仿真主平台性能优化

前期的仿真系统对机器人小车的仿真采用通用建模方法,即:根据机器人小车的机械结构,用 Joint(关节)连接 Cylinder(圆柱体)、Box(立方体)和 Sphere(球体)形成仿真体。这样的好处是仿真更加真实,但是代价却是增加了仿真复杂度,降低了系统速度。实验证明,采用上述方法仿真的小车跟实际的比赛机器人相比,速度太慢,并且发生了车轮散落的现象,因为 ODE 内没有捕获异常的机制,此类 BUG 很难被检查并且排除。

因此,本研究提出几点旨在改进优化 ODE 仿真、提高仿真速度和鲁棒性的方法:

(1) 缩短每步仿真时间 StepTime 并缩减步长 Step Size,以提高仿真速度。

经过研究发现,ODE 仿真的步长依赖以下的比例关系为:

$$k_1 O(m_1) + k_2 O(m_2^3) + k_2 O(n)$$

式中: $m_1$ —group 中关节 joint 的数量; $m_2$ —上述关节涉

及的自由度数量; $n$ —group 中仿真体个数; $k_1, k_2$ —自然数。

公式显示,仿真步长与  $m_1, m_2$  和  $n$  成线性关系,所以,要缩减步长就要减少仿真体数量;在仿真体数量一定的情况下减少关节数。针对本系统,采用单一圆柱体来仿真小车,仿真体 body 数为 1,关节 joint 数为 0,从而提高仿真速度。原模型采用机器人小车的机械结构作为参考,但是实际程序的运行中,小车的移动及踢球的动作利用的是小车和球的位置在场地坐标系中的改变来实现的,跟是否与本身机械结构一致无关,原模型只使仿真更真实,更美观而已。实验证明,改进后仿真速度明显加快,并且保证了仿真体的机械动力学性能没有被改变。同时可以设置旋转参数为 0,因为选择一个圆柱体仿真小车,不存在不稳定问题,从而可以提高速度。

#### (2) 提高系统仿真的鲁棒性。

ODE 库有其自身的巨大优势,但也不是特别完善,如 CFM,ERP 参数难以确定。经过实验得知,设置不同的 CFM 参数、ERP 参数得到的仿真效果是不一样的。经过反复实验比较,确定了适合本系统的 CFM 参数为 0,ERP 为 0,因为本系统采用了单一圆柱体代替关节连接的仿真体。同时将 CFM 和 ERP 设置成全局参数,以减少仿真过程中的计算错误,提高系统稳定性。

## 4 插件开发的一般流程简介

插件开发的一般流程如下:

#### (1) 实现 IPlugin 接口。

(2) 在 install() 方法中构建仿真体,并实现 IEntity 接口和 IMessageHandler 接口,通过 ISimulator 接口获得 IWorld 接口,并向 IWorld 中添加所构建的仿真体。

(3) 系统每个仿真周期都调用一次 timeslice() 函数,完成接收到的消息的处理工作。

(4) 编译链接生成动态链接库文件,导出 IPlugin 的接口函数。

## 5 仿真系统的应用前景

开放式仿真比赛系统突破以往针对 RobCup 比赛的仿真系统的局限性,使得球队之间的交流变得更加方便,不同球队的系统开发者只需要根据统一提供的插件开发标准开发符合自己球队的插件库,就可以经过简单处理进行校际比赛了。对于本球队来说,验证路径规划及策略算法也变得更加容易。系统运行结果示意图如图 9 所示。



图9 仿真系统比赛场景

## 6 结束语

研究表明,采用平台/插件的这种体系结构,以及基于 C/S 的三维显示模型,该开放式的仿真比赛系统结构更加合理,性能更加突出,为球队策略系统的仿真提供了极大的灵活性和可扩展性。经过本研究的改进,该仿真系统完全可以达到机器人足球比赛实时性的要求,并且能够满足不同球队之间的交流和相互学习,是一套性能优良、特色鲜明、实用性很强的机器人足球仿真比赛系统。

### 参考文献 (References):

- [1] 韩永,刘国栋. RoboCup 小型足球机器人建模及仿真平台研究[J]. 计算机仿真,2007,24(1):154-157.
- [2] SHIM H S, KIM H S, JUNG M J, et al. Designing distributed control architecture for cooperative multi-agent system and its real-time application to soccer robot[J]. **Robotics and Autonomous system**,1997,21(2):149-165.
- [3] BROWNING B, TRYZELAAR E. Ubersim: A Realistic Simulation Engine for Robot Soccer[C]. Proceedings of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, AAMAS' 03. Melbourne: [s. n.],2003.
- [4] 孙鹏,陈小平. RoboCup 小型机器人仿真系统[J]. 计算机仿真,2006,23(4):128-131.
- [5] 曹成才. 机器人足球仿真系统的研究[D]. 成都:四川大学制造科学与工程学院,2005.
- [6] 秦丰林,李晓明,汪嵩杰. 面向足球机器人比赛的开放式仿真系统的研究[J]. 机电工程,2009,26(12):62-64.
- [7] 李俊娥,周洞汝. “平台/插件”软件体系结构风格[J]. 小型微型计算机系统,2007(5):876-881.
- [8] 张友生,陈松乔. C/S 与 B/S 混合软件体系结构模型[J]. 计算机工程与应用,2002,38(23):138-140.
- [9] 梁忠杰,思敏,李婷. COM 技术和动态链接库技术的应用研究[J]. 微计算机应用,2006,27(6):702-705.
- [10] Russel Smith. Open dynamics engine v0.5 user guide[EB/OL]. [2009-05-29]. <http://www.ode.org/ode-latest-user-guide.html>.

[编辑:李辉]