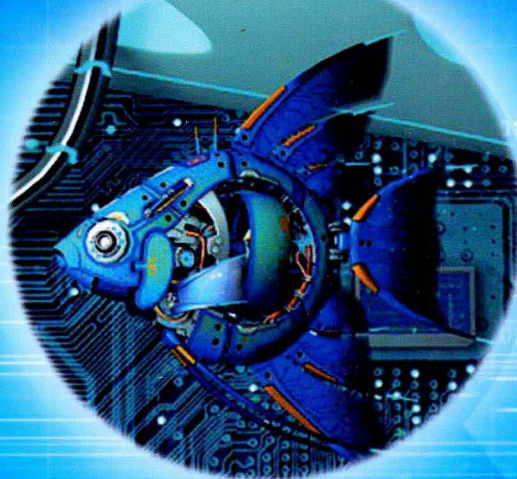


水中机器人（机器鱼）教育2D仿真系列教材
Underwater Robot (Robotic Fish) Technology Textbook Series: Simulation Technology

2D仿真组机器鱼竞赛

◎ 编著 谢广明 李淑琴 何宸光

Robot



HEUP 哈尔滨工程大学出版社

水中机器人（机器鱼）教育 2D 仿真系列教材

2D 仿真组机器鱼竞赛

编著 谢广明 李淑琴 何宸光

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

2D 仿真组机器鱼竞赛是中国素质体育机器人运动会水中专项运动的基本竞赛内容之一。本书全面系统地介绍了 2D 仿真组机器鱼竞赛的概况和所设立的具体项目和规则等内容。本书适用于参加中国素质体育机器人运动会水中专项运动全局视觉组竞赛项目的教练员、裁判员和运动员,也适合机器人爱好者学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水中机器人(机器鱼)教育 2D 仿真系列教材. 2D
仿真组机器鱼竞赛/谢广明, 李淑琴, 何宸光编著.
—哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2013. 7
ISBN 978-7-5661-0612-4

I. ①水… II. ①谢… ②李… ③何… III. ①海洋机
器人-竞赛-教材 IV. ①TP242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 148164 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 5
字 数 82 千字
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 15.00 元
[http: //www. hrbeupress. com](http://www.hrbeupress.com)
E-mail: [heupress@hrbeu. edu. cn](mailto:heupress@hrbeu.edu.cn)

利国利民 造福子孙

功在当代 利在千秋

水中机器人(机器鱼)教育 2D 仿真系列教材

编审委员会

编委会主任：何宸光

编 委 会：晓 敏 韩立群 冀运熙 张 怡
邢小泉 秦吉宏 白 洁 乔 雷
滕兆勇

前言

江泽民同志指出：科学技术是第一生产力。振兴经济首先要振兴科技。只有坚定地推进科技进步，才能在激烈的竞争中取得主动。当前，我国经济正面临着加速发展、调整结构、提高效益的重大任务，尤其需要全社会提高科技意识，多方面增加科技投入，真正依靠科技进步。科技工作要面向经济建设主战场，在开发研究、高新技术及其产业、基础性研究这三个方面合理配置力量，确定各自攀登高峰的目标。在世界高科技领域中，中华民族要占有应有的位置。通过深化改革，建立和完善科技与经济有效结合的机制，加速科技成果的商品化和向现实生产力转化。不断完善保护知识产权的制度。认真抓好引进先进技术的消化、吸收和创新。努力提高科技进步在经济增长中所占的含量，促进整个经济由粗放经营向集约经营转变。

众所周知，文化是一个民族的实力，教育是一个民族的生机，体育是一个民族的国力。社会变革是极其巨大的，正是这极其巨大的变革迫使人们去认识新事物，迎接新挑战，迫使人们去思考许许多多前所未有的东西。服务机器人作为新生事物，已经走进人类，人类已经走进机器人时代。机器人技术涵盖了人类所有的学科知识和自然科学知识，特别是智能机器人和服务机器人，与人们的生产生活密不可分。2012 年国家科技部组织编制了《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》，《规划》中明确了服务机器人技术是集机械、信息、材料、生物医学等多学科交叉的战略性高技术，对于相关技术与产业的发展起着重要的支撑和引领作用。在全国范围内实施《服务机器人科技发展“十二五”专项规划》，实现机器人技术作为战略高技术，推动国防军事、智能制造装备、资源开发，发展未来服务机器人产业，有望培育新的战略性新兴产业，而且具有很强的技术辐射性与带动性，对促进智能制造装备发展、提高应急处理突发事件能力、发展医疗康复设备、增强军事国防实力等都具有十分重要的现实意义。

2011 年，国家体育总局与神州通信集团战略合作，共同调研机器人运动

的国际和国内现状，在美国、日本、欧洲国家等发达国家，机器人教育教学已被纳入中小学的必修课，有些大学还专门设立了机器人学科或机器人学院；机器人体育赛事方面，国际上著名赛事均由本国军事或太空部门主办，如 AUVic 赛事由国际无人系统联合会（AUVSI）和美国海军装备研究中心联合主办，水下 SAUC-U 赛事由全球海军技术研究局主办。机器人运动在我国必须规范开展，而规范的前提是规则。国家体育总局借鉴国际机器人教育教学和机器人体育赛事的先进经验，结合国内机器人赛事的现状，根据《中华人民共和国体育法》的有关规定，将机器人运动纳入国家社会体育运动项目，定义为中国素质体育机器人运动，以彰显这项运动的本质是素质教育。

中国素质体育机器人运动受到了社会各界的广泛关注，全国政协十一届五次会议上以关于“高度重视，深入做好素质体育机器人赛事”提出提案（3427 号），国家体育总局对提案作出答复（体群字【2012】96 号）。《答复》中明确做好六项工作：一、项目的基础建设；二、组织建设；三、竞赛系统建设；四、加强对外交流；五、把握文化大发展大繁荣对素质体育机器人运动带来的新机遇、新要求；六、加强与其他部门的合作。并于 2012 年颁布施行《中国素质体育机器人运动通用竞赛规则》，为这项利国利民伟大工程的规范开展、健康开展、广泛开展打下了坚实的基础。

此次出版的机器人专项教育系列教材在我国机器人教育领域尚属首次，此系列教材的出版使我国机器人基础教育、专项教育、学历教育的全面普及有了良好的开端，为我国机器人体育事业的健康发展、积极发展起到了巨大的推动作用。

何宸光

2013 年 3 月于北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 机器人系统	1
1.2 机器人仿真比赛	2
1.3 机器鱼仿真比赛	11
思考与复习	13
第2章 仿真机器鱼竞赛系统	14
2.1 比赛目的	14
2.2 总体框架	15
2.3 硬件环境	21
2.4 软件环境	22
2.5 标准比赛设置	25
思考与复习	28
第3章 竞赛项目	29
3.1 2D 仿真水球(5:5)	29
3.2 2D 仿真抢球大作战	33
3.3 2D 仿真水球斯诺克	35
3.4 2D 仿真带球接力	38
3.5 2D 仿真协作过孔	41
3.6 2D 仿真花样游泳	44
思考与复习	45
第4章 关键技术	47
4.1 仿真机器鱼的顶球技术	47
4.2 路径规划技术	52
4.3 动态任务分配技术	56

思考与复习	59
第 5 章 总结与展望	60
5.1 机器鱼仿真系统总结	60
5.2 进一步工作展望	61
附录	62
参考文献	64
后记	68

第 1 章 绪 论

近年来，随着智能化领域的不断拓展，技术的日新月异，其科技研究的手段也推陈出新。大量的虚拟仿真系统不断涌现，成为与实体机器人技术研究相结合的重要的科研平台，同时基于这些平台的人工智能领域的比赛项目也如雨后春笋，蓬勃发展，掀起了人工智能领域的创新高潮。

1.1 机器人系统

机器人技术是一项各学科高度交叉的综合性前沿技术，其融合了信息技术、电子工程、机械工程、控制理论、传感技术以及人工智能等前沿科学技术，是各种先进技术的综合性平台。自从 20 世纪 60 年代初世界第一台机器人诞生以来，机器人技术得到了迅速的发展，无论是现实中的智能机器人还是计算机软件中的仿真自主体，机器人在动力学建模和主体之间协作运动策略上都具有一定的模仿生物的机能，并具备智能化功能，最终服务于人类。

为了促进机器人技术的进步和实现服务于人类的目标，多个国际及地区机器人组织每年都举办各种机器人大赛。通过比赛，检验机器人技术前沿研究，促进思想的交流和创新，从而更好地推动机器人技术的基础研究和应用基础的研究及其成果的转化。机器人竞赛实际上是各个国家之间高科技技术领域的对抗赛，从一个侧面反映了一个国家信息与自动化领域基础研究和科学技术发展的水平。

机器人比赛中软件仿真是根据实物机器人作出的模拟。开发合适的机器人技术仿真系统将成为降低机器人相关领域研究成本、加快机器人技术发展的重要途径，机器人比赛仿真系统也将成为测试机器人综合技术的理想平台。



1.2 机器人仿真比赛

近年来,机器人竞赛是国际上迅速开展起来的一种高科技对抗活动,它涉及人工智能、智能控制、机器人、通信、机械、传感等多个领域的前沿研究和技術融合。它集高技术对抗或协作、娱乐和比赛于一体,引起了全世界的广泛关注和极大兴趣。

机器人足球竞赛兴起于 20 世纪 90 年代。机器人踢足球展示了一个国家的信息和自动化技术的综合实力,它是在国际上开展的一项高技术对抗活动。机器人足球系统分为实物和仿真两种,其中,仿真机器人足球比赛是在标准的平台上进行,平台的设计充分体现了通信、传感、控制和人体机能等方面的实际限制,从而使仿真系统很容易转化为实物球队的控制软件。仿真球队的高级功能是仿真机器人足球系统的研究重点,包括动态不确定环境中的多主体合作、事实推理—规划—决策、机器学习和策略获取等这些当前人工智能的热点问题。

当前,国际上举办机器人竞赛的组织有两个:FIRA (Federation of International Robot Soccer Association) 组织和 RoboCup (Robot World Cup Soccer Games) 联合会。

FIRA 的竞赛以前只有实际机器人的竞赛,从 2002 年开始加入仿真组的竞赛,即 FIRA 仿真组(5:5)和 FIRA 仿真组(11:11)竞赛。国内在中国人工智能学会机器人竞赛委员会的组织下,“全国机器人大赛暨 FIFA 世界杯机器人大赛中国队选拔赛”每年也举办一次。

RoboCup 是由日本、欧美等国家发起并创立的组织,从 1997 年开始每年举办一届竞赛。在中国自动化学会机器人竞赛委员会的组织下,“中国机器人大赛暨 RoboCup 中国公开赛”每年也举办一次。RoboCup 比赛中仿真类项目较多,其仿真类竞赛主要有:微软(MS) Nao 类人仿真、微软(MS) 3D 类人仿真、微软(MS) 武术擂台赛仿真组、RoboCup 救援仿真组、RoboCup 仿真组(2D)、RoboCup 仿真组(3D)、微软(MS)、轮式微型机器人 5:5 仿真、微软(MS) 轮式微型机器人 11:11 仿真以及水中机器人 2D 仿真组比赛等。

1.2.1 国际机器人竞赛仿真平台

目前在仿真比赛中使用的平台主要有 RoboCup 委员会提供的标准 Server 系统 Rcsoccersim、FIRA 的仿真比赛中采用的 3D Robot Soccer Simulator、RoboCup 委员会最新提供的 Nao 类人机器人仿真比赛标准平台等。

1. Rcsoccersim 仿真

Rcsoccersim 仿真是 2007 年美国 Atlanta 国际比赛上新推出的比赛类型。在 Rcsoccersim 平台下，各参赛队编写各自的客户程序，比赛以客户端/服务器（Client/Server）的方式进行。但是，Rcsoccersim 机器人仿真平台有很多不足，其中包括平台界面的粗陋和演示效果的生硬。

2. 微软（MS）Nao 类人足球仿真比赛

让机器人像人一样踢球这一目标需要几代科研人员的努力，目前的研究水平与这个最终的目标还有一定差距，现阶段还不能实现机器人对人类的足球比赛，只能开展机器人之间的足球比赛。

图 1.1 为法国 Aldebaran Robotics 的 Nao 机器人比赛平台，Nao 机器人不仅能够双腿站立，而且有独立的视觉，其他功能上也更加先进。它能听能说，能够识别主人的相貌，还能通过眼镜发射红外线互相交谈。更重要的是 Nao 机器人还能够通过 Linux 和 URBI（Universal Real-time Behavior Interface）随意进行程序开发。该平台采用 3D 模型，对运动员实体进行多关节建模，使得比赛

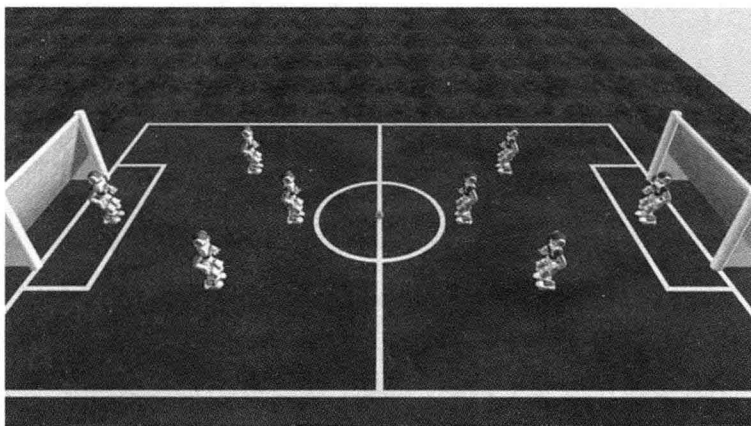


图 1.1 法国 Aldebaran Robotics 的 Nao 机器人比赛图



动作丰富。该平台 3D 模型均设为刚体，使得平台的碰撞处理相对简单。其比赛策略则是对多机器人协作思想的经典应用。

微软 Nao3D 类人机器人足球赛仿真平台采用客户端/服务器结构，两个客户端在比赛中相互独立，互不干扰；Nao3D 类人仿真平台中为每个单独的 Agent（机器人）都引入了一个线程，多智能体之间通过线程进行通信。

3. The Robot Soccer Simulator

当前国际机器人足球联合会（FIRA）承认的通用仿真平台是澳大利亚格利菲斯大学信息科技学院的罗杰·史密斯等人开发的 The Robot Soccer Simulator™（如图 1.2 所示），目前版本为 1.5a，不带电子裁判。该平台的模型为实测韩国 YuJin A 型比赛专用足球机器人的各项参数后建立的，十分逼真。其碰撞模型使用了专业的游戏碰撞引擎，很少会出现误判。总的来说，该平台仿真度或拟真度相当高，是仿真比赛的理想平台。

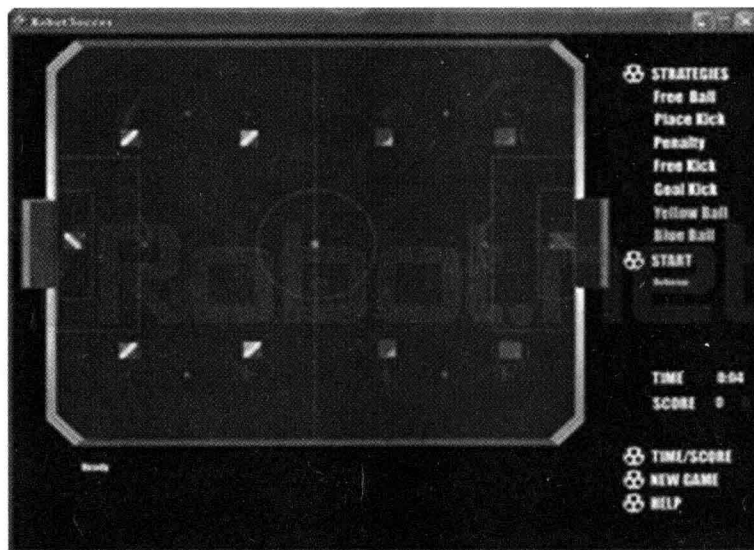


图 1.2 The Robot Soccer Simulator™图

平台的右侧提供有争球、开球、点球、任意球、门球的选项，平台调用的双方的策略为动态链接库（.dll），双方将各自的策略库分别放入/strategy/blue和/strategy/yellow 文件夹中即可。

4. Soccer Server 和 Soccer Server 3D

Soccer Server (rcssserver) 和 Soccer Server 3D (rcssserver3D, 包括 SimSpark) 是机器人世界杯足球锦标赛 (Robot Soccer World Cup, RoboCup) 的二维 (2D) 和三维 (3D) 仿真比赛项目官方比赛平台。

Rcssserver 采用客户端/服务端 (Client/Server, C/S) 模式。服务端模拟一片虚拟的二维足球场、控制比赛过程并处理各客户端进程之间的通信, 主要由三大模块构成, 分别是场地模拟模块、裁判模块和消息交互模块。客户端模拟单个足球机器人, 但其物理模型 (包括位置、速度、加速度等物理属性) 和几何模型 (包括形状、尺寸、颜色等外观属性, 事实上 Rcssserver 的形状一直都是非常简单的圆形, 圆形内填充不同的颜色和数字编号用以指示机器人的方向和区分不同的机器人) 由服务端模拟, 本质上客户端只是模拟实体机器人的控制系统。客户端由参赛队伍根据服务端给出的控制接口和通信协议进行编写。

客户端和服务端之间采用 UDP/IP 协议进行通信。比赛时, 由启动的服务端进程确定每支队伍的机器人数量 (一般为 11), 然后每支队伍都启动该数量的客户端进程, 每个客户端进程第一次连接到服务端进程时, 会被分配一个仿真机器人。随后, 各客户端模拟的机器人控制系统通过向服务端发送控制命令的方式控制该仿真机器人进行比赛。

Rcssserver 服务端运行界面如图 1.3 所示。

Rcssserver3D 总体架构与 Rcssserver 基本一致, 采用 C/S 模式, 服务端模拟仿真环境、控制仿真过程并负责客户端间的通信; 客户端需要参赛队伍编写, 用以模拟单个足球机器人的控制系统, 控制服务端模拟出来的足球机器人。最根本的不同在于 Rcssserver3D 构建了一个 3D 仿真物理引擎 SimSpark, 可以非常灵活地配置和处理仿真足球机器人的物理和几何属性及仿真环境, 并以更加直观的 3D 方式呈现。Rcssserver3D 因此获得极大的可扩展性, 仿真足球机器人由早期的只具有简单物理和几何属性的球型, 到具有比较复杂的物理和几何属性的小车型, 再发展到具有高度复杂的物理和几何属性, 并且支持较为复杂的传感器仿真的类人型。

Rcssserver3D 服务端运行界面如图 1.4 所示。

Rcssserver 和 Rcssserver3D 都是开源软件。前者于 1995 年开发出来, 1997 年第一次用于正式比赛, 截至 2012 年 4 月已经发布到 15.0.1 版本; 自 2001

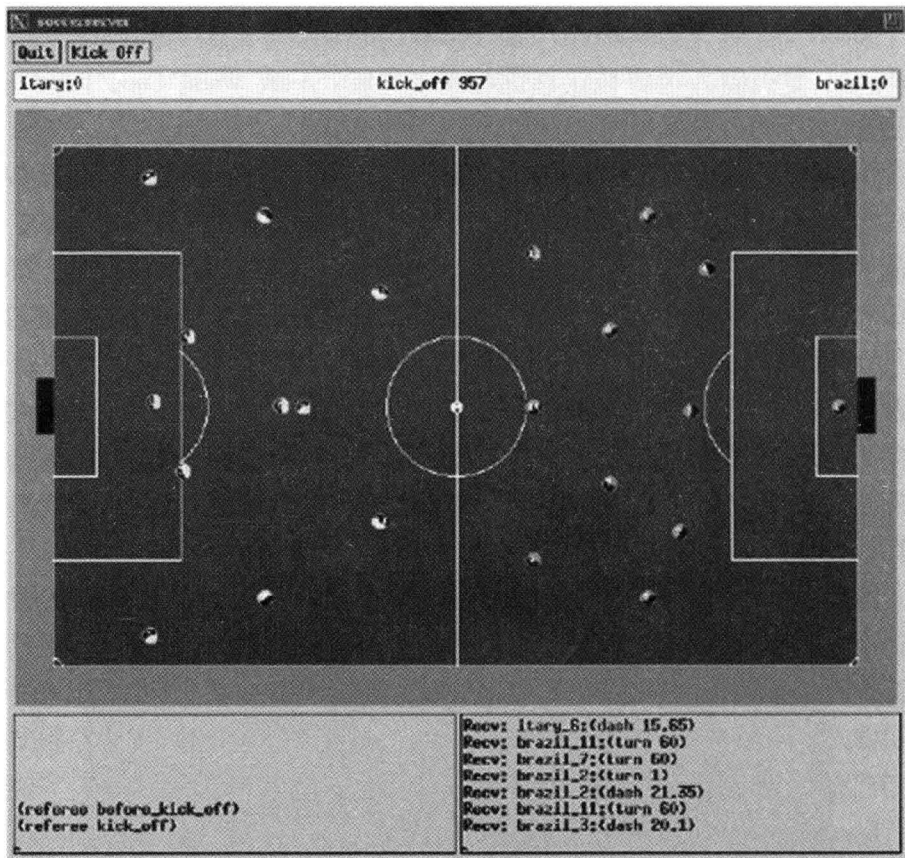


图 1.3 Rcserver 服务端运行界面图

年 5.26 版起,项目托管到著名开源软件网站 sourceforge.net,含源代码的软件包可以从项目主页 <http://sourceforge.net/projects/sserver> 下载,可下载的历史版本有 60 个。后者自 2003 年开始规划,2004 年第一次用于正式比赛,截至 2012 年 4 月已经发布到 0.6.5 版本;从 0.1 到 0.6 版之间发布的 17 个版本与 Rcserver 合并管理,在相同的项目主页下载;自 2009 年起,项目走向通用仿真平台方向,核心模块独立出来,项目名称更改为 SimSpark;从 0.6.1 版起,项目主页更改为 <http://sourceforge.net/projects/simspark>,截至 2012 年 4 月已有 0.6.1 到 0.6.5 共 5 个版本。



图 1.4 Rcserver3D 服务端运行界面图

1.2.2 国内机器人竞赛仿真平台

我国实体机器人竞技和仿真机器人竞技同外国比起来，起步普遍落后。RoboCup 联盟在中国的分会于 1999 年 5 月由清华大学计算机系和中国科技大学计算机系共同发起成立，随后，东北大学、哈尔滨工业大学、国防科技大学和香港科技大学等也相继加入了该委员会。经 RoboCup 联盟的正式授权后，RoboCup 中国分会负责组织中国境内的一切 RoboCup 活动，包括学术研讨、培训以及竞赛等。

目前国内机器人仿真平台主要有东北大学的 NEWNEU 3D 类人机器人仿真平台、微软轮式微型机器人仿真比赛平台等。

1. 高保真 NEWNEU 3D 类人足球仿真比赛

高保真 NEWNEU 3D 类人机器人仿真平台是受微软亚洲研究院研究基金资助，由东北大学“牛牛”足球机器人研发基地自主开发的一种新型类人机器人 3D 仿真平台。它是目前 Robocup 中国公开赛微软（MS）仿真组 3D 类人仿真比赛的专用平台。它能够对真实的类人机器人足球比赛进行比较好的模拟，集中体现真实比赛中的决策系统，具有适应性强、扩展性好、简洁高效的特点，为类人机器人系统的研究提供了一种较好的实验平台。正式比赛时的仿真平台如图 1.5 所示。

该仿真平台是基于 Microsoft Robotics Studio 开发的，它采用客户端/服务器



图 1.5 微软类人机器人足球赛仿真平台示意图

(Client/Server) 结构, Client/Server 结构是目前主流的软件系统体系结构之一, 具有很强的安全性和可靠性, 并得到广泛应用。其工作模式是通过客户端与服务器端之间相对独立、分工协作实现的。两个客户端在比赛中相互独立, 互不干扰, 保证比赛的公平性。

该平台基于开放可扩展性原语控制, 把具体的任务简单抽象为由动作原语构成的一个序列, 并将规划好的原语序列保存在动作数据库中, 而动作数据库则以结构性 XML 文件的形式存储, 方便阅读与修改。比赛中执行某类任务时, 仿真平台自动地从动作库中调出相应的原语序列, 交给类人机器人驱动服务解释执行。原语控制实现了动作规划和执行过程的分离, 充分发挥了决策逻辑的优越性。

2. 微软 (MS) 轮式微型机器人仿真比赛

微软轮式微型机器人仿真比赛平台是东北大学开发的一种新型足球机器人 3D 仿真平台, 如图 1.6 所示。目前微软轮式微型机器人仿真比赛已经作为中国机器人大赛的正式比赛平台使用。

仿真系统平台的左侧提供有时间、比分、队名显示、比赛 2D 显示, 仿真系统平台的右侧提供有裁判控制、测试界面、比赛项目、时间设定、决策加载模板、开球方式选择、比赛控制的选项, 平台调用的双方的策略为动态链接库 (.dll), 双方将各自的策略库分别加载到 Yellow 和 Blue 中即可, 如图 1.7 所示。