

江南大学阿福队 (RoboCup3D) 队伍描述

RoboCup 是一项研究分布式人工智能、智能机器人技术及其相关领域的研究大型比赛和学术活动，他已成为检验各种不同的 AI 技术的一个良好的平台。要建立出一支完整的具有竞争力的球队，需要完成许多工作，首先必须完善球队底层，要有良好的底层框架以方便后续开发，进而建立机器人世界模型，实现走路踢球等各种动作以及使机器人进行自主的决策。

江南大学阿福 RoboCup3D 仿真足球队 (JNafu3D) 作为 RoboCup 的新成员，成立于 2008 年 7 月，在 2008 RoboCup 中国机器人大赛中，获得二等奖。在过去的一年时间里，我们不断完善和改进自己的球队，使球队更加具有竞争力。今年的比赛环境和比赛规则都有所的改变，经过我们不懈的努力，不仅使球队在新的比赛环境中也能够发挥出正常水平，还在一些新的领域中进行了切实可行的探索。

一、程序框架

在 RoboCup 这样一个动态实时的系统中，场上的情况瞬息万变，机器人面对的是一个动态的环境，不仅需要保持对紧急情况的及时处理，还要能进行复杂的决策思考。为了满足 RoboCup 的比赛要求，我们运用层结构的方式将整个机器人体系分为三层，即决策层，底层系统，和接口层。从而使机器人作为一个球队的球员，能够独立完成接受感知信息，进行决策，决定动作，并发出命令。球员系统结构如下图 1。

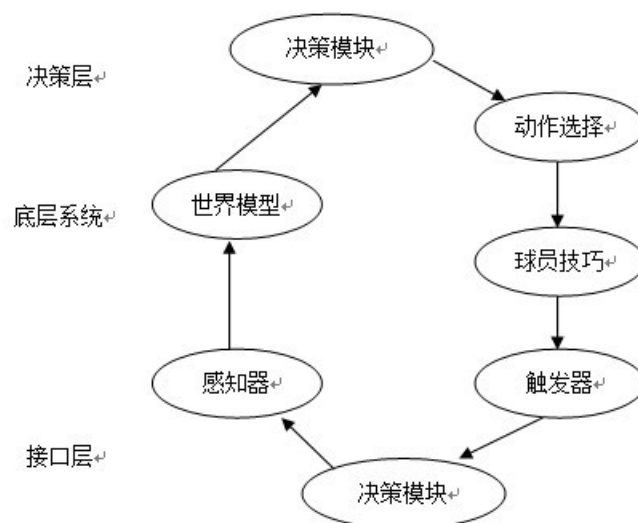


图 1 Agent 结构图

接口层为机器人提供底层控制。它的特征是具有紧密的感知—动作循环，它的决策循环是最快的，每个周期都会执行。系统底层在接口层和决策层之间起黏合剂的作用。它接收由决策层发出的指令，序列化之后送给接口层。例如，系统底层会处理由决策层生成的命令，并做出采取那种反应行为的决策。系统底层的决策循环通常慢于接口层。系统底层还负责将传感器的信息整合到一个内部状态表示中，也就是更新自己的世界模型。

1、系统核心模块

JNafu3D 仿真足球机器人程序的设计和实现充分利用了面向对象和设计模式结构。因为面向对象为概念和代码提供了直接映像，Agent 模块结构如图 2 所示。

程序主要有以下几个模块：Agent 与 rcssserver3D 的通信模块，解析服务器消息模块，建立机器人世界模型模块，决策生成模块，机器人的个体动作模块等几个模块构成。具体实现的功能为：

- (1) 通讯模块 (AgentConnection)，机器人通过此模块与环境进行交互，即发送和接受信息。
- (2) 解析消息模块 (MsgParser)，该模块主要是用来解析 S-expressions 数据格式。
- (3) 世界模型模块 (WorldModel)，是机器人对当前和过去的环境状态的描述，为规划和控制提供信息。
- (4) 决策模块 (Decisions)，决策函数的具体实现，使得机器人能够对于不同的比赛状态做出不同的反应。
- (5) 动作技能模块 (Skills)，主要用来实现了机器人进行比赛的基本行为。

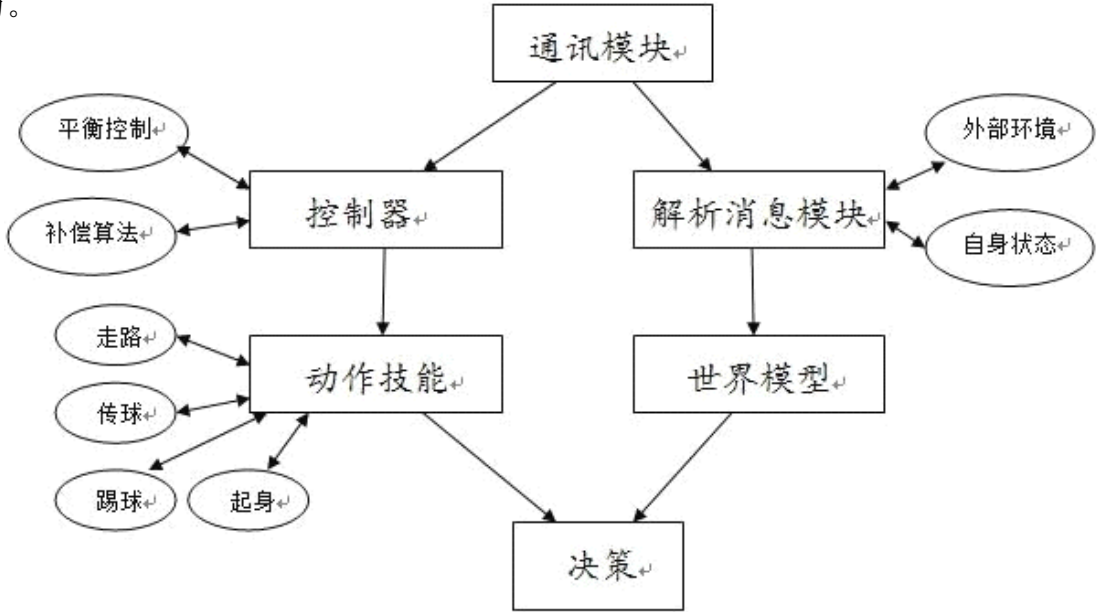


图 2 Agent 的模块结构

2、系统辅助模块

除了上述的各个模块以外，我们还需要一些辅助模块来辅助开发，增加机器人的功能，下面介绍是一些辅助模块的功能和实现。

(1) Logger 模块：日志模块，记录机器人运行时的一些数据，实现分对象，分层次，可视化的数据记录，为调试工作带来了方便。

(2) Geometry 模块：几何模块，提供了角度，矩阵，几何多边形，二维，三维数据的计算方法。

(3) ServerInfo 模块：Server 信息模块，对 Server 的固定参数进行了设置，包括球场参数，机器人参数，比赛参数。

(4) Controller 模块：机器人关节控制模块，对机器人的关节控制提供了相关的算法，方便程序对关节的控制。

(5) CmdOption 模块：解析程序启动参数模块，主要用来解析球员号码，队伍名等参数。

3、程序主循环的实现

程序主循环的实现是依照感知—分析—决策循环，从而可以实现机器人程序与 rcssserver3D 的交互，完成仿真。本文根据三个功能层次的设计思想，将每个层次实现为一个单独的线程，线程之间是异步通讯的。感知层线程中完成最底层的通讯和关节控制任务，所以该线程的计算量很小，能够保证机器人执行动作的实时性，并且根据收到感知信息的时刻决定发送动作命令的最佳时刻。分析层线程负责维护世界模型，并且根据上层决策的目标来产生动作序列。决策层根据世界模型决策出当前的目标，一般进行比较复杂但实时性要求不高的运算。这样，将三个层次分别实现为三个线程，满足了反应与慎思相结合的要求。

二、世界模型的建立

世界模型是球员对球场上状态感知的信息的存储和解释，这些信息必须保存起来以供球员决策使用，因此保持描述当前的世界模型的准确和不断更新非常重要。我将世界模型的建立分为对世界的描述和对自身的描述来适应比赛的需要，并在抗干扰和延迟的方面做了优化。

1、世界描述

我们在世界模型中建立一个全局坐标系，球场的中心是坐标系的原点，X 轴与球场边线平行，Y 轴与球场底线平行，Z 轴方向为竖直向上，并且 X 轴正方向指向对方球门。球场上一共有 8 个标志位，这样通过各个标志位的坐标值可以描述其他队员的状态。

2、自身描述

由于机器人无法直接得到自身的全局位置和姿态，因此需要通过综合场地周围放置的标志杆的全局位置和视觉信息，以确定自己视觉的全局位置和姿态，这就是机器人的自身定位问题。JNafu 通过三个标志杆来实现机器人的自身定位，这样在没有随机噪声的情况下，可以计算得到很精确的位置和姿态。

3、卡尔曼滤波

在最新版本的 rcssserver3D 中，加入了环境的噪声与干扰，这增加了 Agent 世界模型建立的难度。在许多工程领域，卡尔曼滤波以其广泛的适用性和递推算法获得了极大的成功。对于随机线性系统，当模型准确且系统过程噪声和观测噪声为高斯白噪声序列，方差已知时，卡尔曼滤波有近似完美的效果。所以 JNafu 将卡尔曼滤波的方法应用到 agent 定位中，采用时域上的递推算法进行数据滤波处理。

三、仿真机器人的步态规划

类人机器人进行比赛，必须能够实现机器人的各种动作，如双足步行，踢球，跌倒后的起身动作等。

1、步态设计

我们对机器人进行近似化，将行走理解为大腿与小腿的前后运动，将上半身身体保持为与地面垂直状态。迈出每步都是改变大腿与上半身的角度与改变大腿与小腿之间的角度，从而抽象出行走的本质。为了保证机器人行进的稳定性，我们运用动力学过滤和躯干轨迹补偿算法。我们通过这些控制方法来稳定误差，由此可产生稳定的步态。

2、路径规划

我们必须保证机器人运动的平稳性，并且有良好的避障及路径规划能力。JNafu 运用中垂线法和基于人工势场的方法方法来进行路径的规划，可以简单有效的规划机器人的路径，并使其保持有利的姿态。

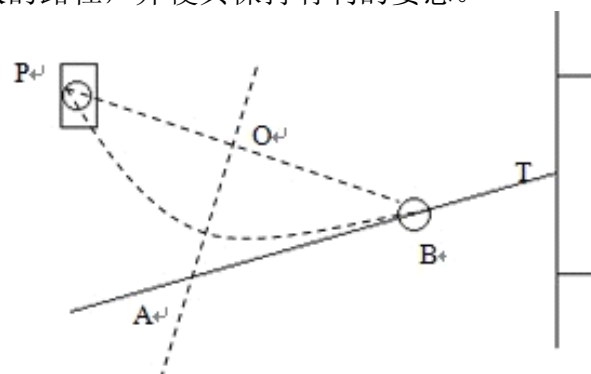


图 3 使用中垂线法计算出路径

图 3 是本队使用中垂线法计算出路径的示意图。作目标点与期望方向上一点的连线 BT，目标点与 Agent 的连线，在作目标点和 Agent 之间线段的中垂线交于 BT 与 A，使 Agent 向该点运动，在下一周期在作一条新的中垂线，交 BT 于新的一点，使 Agent 再向着新的一点运动，以此类推，最终 Agent 将趋向目标点，同时保证其姿态为期望的方向。

人工势场中的目标点产生引力场，障碍物则产生旋转场或斥力场。我们人工势场法将这些作用向量直接作用在本方的机器人上，是它们随着这些向量运动。它作用的范围更广，而且在回防和进攻的链接上更加流畅，算法直观，参数的物理意义很明确，并容易调整。

3、跌倒站立

在比赛中，起身动作的好坏直接影响到一个仿真球队的整体水平，因此，起身动作也是我们工作中的一个重点。JNafu 的起身策略为当检测到当前的状态为倒地状态，先将躯体恢复到平直状态，接着用手臂迅速撑起身体，再用腿部关节平稳身躯，然后在身体渐渐直立起来的过程中将支撑点由膝关节转移到脚部直到平稳站起。我们通过巧妙的算法实现了如上功能，使我们的起身动作在符合 server 对关节弯曲的角度要求下能实现快速站立，并且起身后偏离目标位置较小。

四、总结

JNafu3D 仿真球队具有以下的特点：

1、精确的世界模型系统：从视觉感知信息确定机器人自身的全局位置，描述了仿真足球比赛环境和机器人的自身状态；精确、高效的内部状态更新算法，使用正运动学计算机器人全身的位姿；通过卡尔曼滤波器去除噪声、精确数据，使仿真环境的噪声对机器人的干扰降到最低，从而满足机器人对实时性的要求；

2、灵活与方便扩展的框架结构：对程序进行合理的分层，通过不同功能细分为接口层，决策层和底层系统层。按照响应速度再将程序分成三个线程，感知线程、分析线程和决策线程，加快了程序的思考速度，减少反应时间，使程序在比赛过程中可以迅速的做出反应；

3、高效稳定的机器人行为动作：简化机器人的走路动作为抬腿、移动、落脚三个阶段，并对如何保持身体平衡做了系统的分析；通过动力学过滤器和躯干轨迹补偿算法来减少误差，从而来稳定步态；分析了机器人进攻时路径的规划，力争在确保稳定性的情况下，提高处理的速度，使得机器人保持有利的姿态；高效快速的起身动作，考虑更多的摔倒情况，分别设计起身方案和起身动作，增强机器人的对抗能力。