

ВИРТУАЛЬНЫЙ ФУТБОЛ: АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ИГРЫ РОБОТОВ-ФУТБОЛИСТОВ

Д.Е.Охоцимский*, В.Е. Павловский*,
А.Г.Плахов**, А.Н.Туганов**, В.В.Павловский**

**Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН,
Москва, 125047, Миусская пл., 4*

***МГУ им. М.В.Ломоносова, механико-математический факультет,
Москва, Воробьевы горы, МГУ*

Аннотация.

Представлена система моделирования игры роботов-футболистов и базовые алгоритмы управления игроками в игре. Дан краткий обзор современных соревнований роботов-футболистов.

Описаны общая схема игры, используемые модели игры, принципы управления движением роботов-игроков, структура системы моделирования, предложены эвристические методы управления коллективом роботов для достижения цели игры. Выполненные исследования являются первым шагом в решении задачи создания интеллектуальных алгоритмов группового управления роботами-футболистами.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 00-15-96135, 02-01-00750.

1. Введение.

Работа выполнена в рамках проекта по исследованию методов управления группой роботов в интеллектуальной игре. Цель представленного этапа заключается в разработке базовых алгоритмов управления виртуальными роботами-футболистами, а также - инструментальных средств, поддерживающих создание управляющих алгоритмов для роботов-футболистов, средств для организации соревнований по футболу роботов в рамках компьютерного моделирования. В статье описаны полученные в этих исследованиях результаты.

В настоящее время известны различные системы по организации соревнований роботов-футболистов, в том числе и на основе компьютерного моделирования, как например [1,2], настоящая работа вводит аналогичную схему для роботов, участие которых в соревнованиях предполагается в рамках Фестивалей "Мобильные роботы", проводимых в МГУ [9]. Предлагаемая в статье система аналогична упомянутой системе типа [1,2], но является самостоятельным проектом, ориентированным в большей мере на моделирование футбола роботов [1-6].

2. Схемы соревнований по футболу роботов.

В настоящее время предложен ряд различных схем организации соревнований роботов-футболистов, например схемы соревнований Ассоциации RoboCup, или схемы, принятые в Международной Федерации FIRA [1-3]. В RoboCup заявлен следующий манифест: "... Через 50 лет, в 2050 году, команда роботов-футболистов должна выиграть у Чемпиона мира по футболу (команды людей-футболистов) ..." [2], и для достижения этой цели соревнования проводятся в нескольких Лигах: Лиге Моделирования, Лиге малого класса (малых роботов), Лиге среднего класса (средних роботов), Лиге 4-ногих

роботов SONY (AIBO), Лиге гуманоидных роботов (она впервые в демо-режиме введена с 2001 года) и двух дополнительных (ассоциированных) Лигах - Лиге моделирования роботов-спасателей и Лиге реальных роботов-спасателей. Кроме того в RoboCup существуют юниорские лиги. Соревнования проводятся в виде Чемпионатов мира для роботов, открытых Чемпионатов или кубков отдельных стран, а также - в виде открытых турниров на крупнейших Международных соревнованиях. Так например, соревнования в 2000 г. были проведены в рамках Австралийской Олимпиады и проходили в Мельбурне.

В качестве примеров роботов-участников таких соревнований ниже на рис.1,2 показаны роботы Лиги малого класса и фрагмент игры роботов Лиги среднего класса [4], определенных правилами RoboCup.



Рис.1. Прототипы роботов-футболистов Малой Лиги RoboCup.



Рис.2. Фрагмент игры роботов Средней Лиги RoboCup на Чемпионате 2001 года.

На рис.2 приведен эпизод финального матча команды CS Freiburg Университета Albert-Ludwigs, Фрейбург, Германия (показана игра у ворот этой команды), против команды Traskies Университета Osaka, Осака, Япония, во время Чемпионата мира 2001 г., проходившего в рамках 1-ой Международной конференции по роботизированному футболу в Сиэтле, США, 4-10 августа 2001 г. (команда CS Freiburg этот турнир выиграла и стала Чемпионом мира 2001 г.).

Весьма интересный Чемпионат мира был проведен RoboCup в 2002 году параллельно с мировым футбольным чемпионатом, проходившим в Японии и Корее. Чемпионат RoboCup прошел в японском городе Фукуока. О постоянно возрастающей активности ассоциации RoboCup и разработчиков роботов-футболистов говорят следующие цифры – всего на Чемпионате в Фукуоке присутствовали 188 команд из 29 стран, в них суммарно

входило более 1000 участников – разработчиков роботов разных Лиг. Соревнования в Фукуоке за 5 игровых дней посетили более 117000 зрителей.

На всех очередных соревнованиях RoboCup совершенствуют правила игры роботов и вводит новые виды соревнований. Так, Чемпионат 2002 года примечателен тем, что на нем впервые на официальные соревнования вышли роботы-гуманоиды (двуногие роботы), соревновавшиеся в нескольких номинациях. Ниже на нескольких фотографиях приведены фрагменты соревнований роботов-футболистов в Фукуоке. Эти фотографии взяты с официальных Интернет-сайтов RoboCup и Чемпионата в Фукуоке [10 - 11].

На рис. 3 – 5 приведены фрагменты соревнований гуманоидных роботов. На первых фотографиях показаны роботы, соревнующиеся в упражнении "пенальти".



Рис.3. Новые роботы Asimo фирмы Honda демонстрируют упражнение "пенальти".

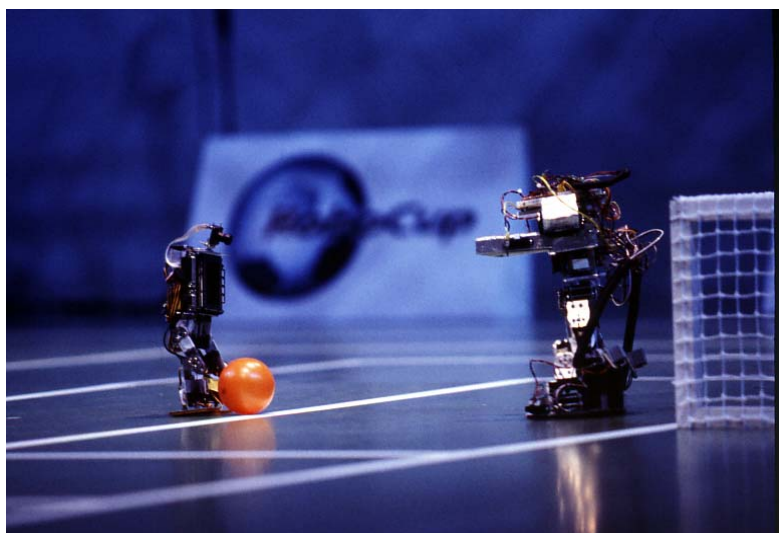


Рис.4. Пенальти выполняет робот Тао-Пие-Пие (Новая Зеландия), в воротах стоит робот ARICC-HURO (Сингапур).

Победитель соревнований роботов-гуманоидов определялся по общей совокупности номинаций-упражнений (всего их было задано три). И в итоге победителем среди гуманоидных роботов стал японский робот Nagara (разработчики – Ассоциация промышленности префектуры Гифу, Япония), показанный на рис.5.



Рис. 5. Робот Nagara – победитель 2002 года среди роботов – гуманоидов.

Ниже приведены фотографии, демонстрирующие фрагменты соревнований в других Лигах RoboCup. На рис.6 – фрагмент соревнований роботов Лиги малого класса RoboCup.



Рис.6. Соревнования в Лиге малых роботов RoboCup.

Важно здесь отметить, что, как показывает рис.6, роботы малой Лиги играют командами не более 5х5 игроков на небольшом поле, имеющем борта вокруг поля, мяч может отражаться от этих бортов. Система Лиги малых роботов предполагает, что над полем может находиться телекамера (или несколько телекамер), доставляющая для каждой из команд зрительную информацию об игровой ситуации основному управляющему компьютеру. Этот компьютер (такой компьютер может иметь каждая команда) расположен рядом с игровым полем и может связываться с игроками по радиолнии.

В отличие от Малой Лиги роботы, соревнующиеся в Лиге Среднего класса, являются полностью автономными и должны быть оснащены развитой бортовой системой управления и весьма развитой сенсорной системой, центром которой является подсистема зрения робота. Фрагмент этих соревнований в 2002 году приведен на рис.7.



Рис.7. Матч команд Средней Лиги.

Укажем нововведение в соревнованиях роботов Средней Лиги – сравнивая эпизоды 2001 г. (рис.2) и фрагмент, приведенный выше (рис.7), можно заметить, что ранее в этих соревнованиях на игровом поле также были борта, а с 2002 года они убраны, что означает, что роботы должны строже обращаться с мячом во время игры.

Наконец, на рис.8 показан фрагмент соревнований в Лиге 4-ногих роботов Sony.



Рис.8. Игра команд Лиги 4-ногих роботов Sony (роботы AIBO).

Анализ указанных схем соревнований роботов-футболистов показывает, что, несмотря на различие конструкций таких роботов и технических решений, принятых при их построении, в схемах соревнований роботов много общего в верхних, стратегических, уровнях управления игроками, что позволяет поставить задачу их отработки с помощью единых средств моделирования. Такая система моделирования предлагается и описывается в настоящей работе. Ее цель – создание и отработка в режиме моделирования таких алгоритмов управления роботами-футболистами, которые в дальнейшем могут быть перенесены и на реальные роботы. При этом рассматриваются групповые (командные) алгоритмы стратегического и тактического уровней управления командой роботов.

3. Схема игры и модель игры.

За прототип игры примем игру роботов Лиги малого класса RoboCup. Во многом порядок и правила этой Лиги соответствуют правилам, принятым и в другой международной ассоциации – FIRA.

Пусть игра проходит на прямоугольном поле с бордюрами (ограничивающими поле стенками) между двумя командами колесных роботов-футболистов. Размеры поля и ворот, роботов-участников и мяча заданы как параметры, они вводятся в конфигурационных файлах системы и могут быть при необходимости изменены. Также параметрами являются механические параметры игроков, мяча и игровой среды, задающие механическую модель игры [7-8]. В каждой команде n участников ($n=1,2,3,\dots$), при этом наиболее часто используемый случай - игра команд 5x5 участников, хотя рассматривались и другие варианты, вплоть до 11x11, или больше. Роботы имеют круглую цилиндрическую форму (т.е. форму диска в виде сверху), и в первой версии игры не имеют каких-либо средств контроля над мячом, кроме удара по нему корпусом. Мяч тоже имеет круглую форму. Параметрами управления роботов являются линейное ускорение (торможение) d , оно направлено по продольной оси робота, и угловая скорость робота w .

На первом этапе исследований предполагается, что роботы имеют автономную систему управления, но "видят" всё поле (игра с полной информацией). Коммуникация (обмен сообщениями) роботов одной команды между собой возможна, но используется, или не используется, по усмотрению их бортовой системы управления.

Правила игры в достаточной мере упрощены и содержат только условия возобновления игры с центра поля после гола, и некоторый аналог правил вбрасывания мяча в спорных ситуациях, к которым относятся тупиковые состояния, в которые может попадать игра. Примером такого тупика является ситуация, когда игроки вводят мяч в один из углов поля и игра "зацикливается" в таком состоянии. При обнаружении подобных ситуаций игра прерывается и возобновляется вбрасыванием мяча в области центра поля. Имеются также правила, задающие начальные расстановки игроков при вбрасывании мяча. После вбрасывания игроки обеих команд получают право начать движение к мячу одновременно. Любые игровые действия игроков считаются допустимыми, никаких правил насчет положения "вне игры", штрафных, угловых, пенальти нет. Игрокам разрешается блокировать или даже толкать друг друга в борьбе за мяч.

Здесь необходимо следующее замечание. В текущей версии системы ограничения на действия игроков минимальны, это сделано для того, чтобы обеспечить разработку возможно более широкого класса алгоритмов, однако, в дальнейшем с развитием проекта такие ограничения могут вводиться.

Игра может продолжаться заданное время, моделируя матч команд, либо выполняется в отладочном режиме - продолжается неограниченное время, и в этом режиме может быть остановлена вручную.

4. Система моделирования.

Система моделирования игры построена следующим образом. Реализованы несколько версий программ моделирования для разных операционных систем, в том числе - для системы WINDOWS, и каждая программа моделирования реализует идентичные механические модели и использует алгоритмы управления игроками, которые подключаются как модули и могут изменяться. Версии программ моделирования совместимы по конфигурационным файлам и схеме подключения модулей с алгоритмами управления игроками. Цель такого моделирования - оптимизация параметров алгоритмов, их сравнение и выбор наиболее эффективных алгоритмов. При этом алгоритмы управления противоборствующими командами могут быть как одинаковыми

(однотипными), так и различными. На этой основе организуются соревнования алгоритмов управления роботами-футболистами.

В целом структура каждой из версий программы моделирования организована следующим образом (рис.9). Программа состоит из трех частей - серверной программы и двух модулей *Team1*, *Team2*, описывающих команды игроков, и разрабатываемых и представляемых отдельно.

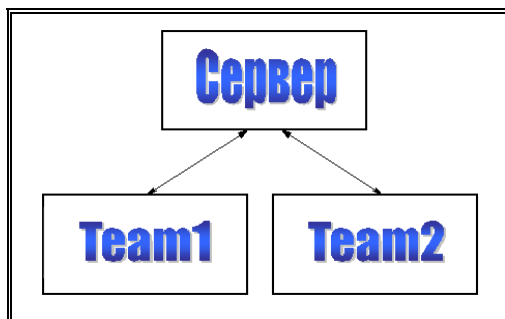


Рис.9. Структура системы моделирования: серверная программа и модули команд-игроков.

Серверная программа является ядром системы моделирования и объединяет все модули в единый комплекс. Модули используют разные схемы объединения с серверной программой, в WINDOWS используется протокол DLL. В ходе игры процесс игры моделируется по тактам "времени". Они могут быть соотнесены с реальными тактами реального времени, тогда игра будет развиваться в реальном (астрономическом) времени, либо эти такты могут быть минимизированы, тогда игра будет исполняться в максимально ускоренном режиме, при этом темп игры будет определяться быстродействием моделирующего компьютера.

В каждом такте программа моделирования выполняет вызовы модулей - сначала *Team1*, а затем *Team2*. Вызов каждого модуля выполняется столько раз, сколько определено игроков в команде, по одному вызову для каждого игрока. Программа модуля команды должна вернуть серверной программе "управления" для каждого очередного игрока. Рассчитывая их программа игрока может обращаться к специальным функциям серверной программы для опроса текущей ситуации на поле - положений и скоростей всех игроков и мяча. Тем самым моделируется визуальный ввод информации об игре в системы управления игроков.

Получив все данные управления, серверная программа на основе механических моделей (см., например, [7]) моделирует перемещения всех объектов игры за текущий такт системного времени. Моделируется динамика движения объектов и все их соударения. Фиксируется состояние "гола" и всех текущих ситуаций игры. При необходимости серверная программа может перевести игру в одну из начальных ситуаций - стартовую (после гола) или в ситуацию выхода из тупиков.

Фактически текущая версия программы моделирования моделирует игру с полной информацией, когда имеется host - камера, расположенная над полем, и наблюдающая все поле целиком (или две такие камеры, по одной для каждой команды, но с общей информацией о ситуации на поле), и с управлением игроками от двух управляющих host-машин. Однако, при желании, программы игроков могут моделировать автономные системы управления каждого игрока.

Интерфейс сервера моделирования в версии для WINDOWS приведен на рис.10. Фрагмент игры команд-участников (интеллектуальных алгоритмов управления футболистами) приведен на рис.11.

Как отмечалось выше, разработано несколько версий серверов моделирования и основанных на них средств разработки программ управления игроками. Имеются серверы для операционных сред MS DOS, MS WINDOWS и LINUX. Поддерживаются 7 наиболее популярных систем разработки программ на языках C(C++) и PASCAL для DOS и WINDOWS и компилятор GNU C(C++) для LINUX.

Разработанные программные средства моделирования со структурой, приведенной выше на рис.9, объединены в программный пакет "Виртуальный футбол". В настоящее время (осень 2002 г.) доступна версия 1.5 этого пакета.

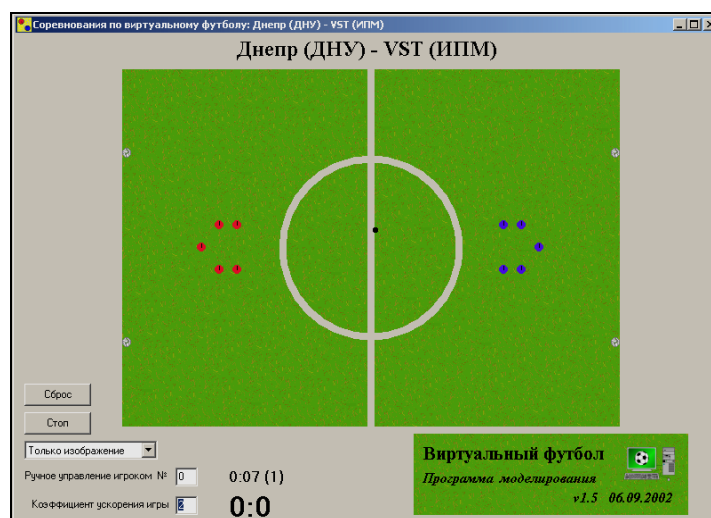


Рис.10. Интерфейс серверной программы пакета "Виртуальный футбол" в версии для WINDOWS.



Рис.11. Эпизод игры команд в пакете "Виртуальный футбол".

Отметим, что пакет "Виртуальный футбол" включает также программные средства, непосредственно поддерживающие разработку программ-игроков в упомянутых выше программных средах, к ним относятся необходимые библиотеки и шаблоны программ, эти средства и документация для разработчиков наряду с серверной программой предоставляются всем заинтересованным участникам проекта.

Начиная с версий 1.4 и 1.5 в пакет включены специальные дополнительные программы – утилиты для проигрывания (воспроизведения) записей игр, эти записи

выполняются серверной программой, а также набор утилит для проведения турнира по виртуальному футболу. К ним относятся утилиты составления (генерирования) расписания игр турнира, и утилиты управления играми турнира.

5. Пример алгоритма управления.

В проведенных с созданной системой экспериментах исследованы базовые эвристические алгоритмы управления, не использующие коммуникацию роботов между собой. Эти алгоритмы различались значениями характерных параметров и способами вычисления некоторых определяющих функций, но относились к одному классу [7-8], характеризующемуся следующим.

Считалось, что алгоритмы игроков одной команды, вообще говоря, одинаковы по типу, но могут различаться значениями параметров (всех, или некоторых). Игрокам выделяется прямоугольная зона на поле - зона ответственности игрока, эта зона может быть меньше целого поля, или совпадать со всем полем. Робот-игрок играет в пределах своей зоны ответственности и должен оставаться в этой зоне, за исключением тех случаев, когда он выходит из нее вследствие инерции своего движения, тогда он должен принимать меры к возврату в зону ответственности.

В каждый момент времени игрок определяет точку цели своего движения, эти точки называются особыми точками для игрока. Схема особых точек приведена на рис.12.

Особые точки - это точки удара (точка, в которой возможен удар по воротам противника), точка вратаря (точка, в которую нужно переместиться, чтобы защитить свои ворота) и точка паса другому игроку своей команды. Положение особых точек на поле зависит от положения всех объектов на поле, - и мяча, и игроков, и динамически изменяется с течением времени.

Геометрические характеристики этих точек таковы. Точка удара находится на прямой, соединяющей центр ворот команды противника с центром мяча так, что мяч находится между воротами и игроком. Расстояние от игрока до мяча при вычислении этой особой точки фиксировано и является параметром алгоритма. Точка вратаря находится на прямой, соединяющей центр своих ворот с центром мяча так, что игрок находится между воротами и мячом. В разных вариантах алгоритмов фиксировалось либо расстояние от игрока до ворот, либо расстояние от игрока до мяча. В последнем варианте зона ответственности вратаря выбиралась близкой к воротам, чтобы вратарь не передвигался за мячом по всему полю, а защищал ворота. Наконец, точка паса – точка, находящаяся на прямой, соединяющей центр мяча с тем положением робота-адресата паса, которое он достигнет, двигаясь по прямой с текущей скоростью за время, за которое мяч после удара придет в ту же точку.

Каждый алгоритм имеет набор параметров, определяющих приоритеты различных особых точек. Особые точки непрерывно рассчитываются системой управления с использованием функций прогноза положения всех объектов на поле и приоритетов особых точек. Робот принимает решение двигаться в ту особую точку, которая либо является наиболее быстро достижимой (вариант с "коротким" прогнозом), либо наиболее эффективна с точки зрения цели игры (вариант с полным прогнозом), либо является наиболее приоритетной (при этом приоритеты являются изменяемыми параметрами алгоритмов).

Наконец, на основе введенной схемы рассмотрены три класса алгоритмов управления. В первом из них ("жесткие" или детерминированные алгоритмы) реализована только лишь указанная схема управления по особым точкам. Во втором классе (расширенные алгоритмы) реализованы логика "упорядочивания" движения на половине поля противника, а также схемы, имеющие приоритетную задачу выбивать мяч со своей половины (режим защитной тактики). Введена еще одна особая точка, алгоритмом последней модели она выбирается подобно точке удара, но на расстоянии, меньшем, чем

радиус робота. Это позволяло эффективно вести мяч к воротам соперника, вместе с тем не пропуская удары в сторону своих ворот.

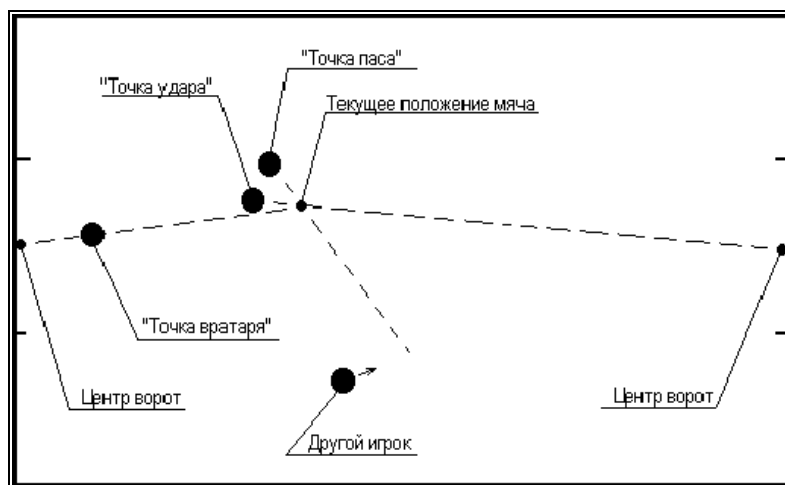


Рис.12. Схема особых ситуаций (особых точек) для принятия решений.

В третьей схеме введены роли игроков (вратарь, защитник, нападающий, и т.п.), причем игроки могут динамически менять свои роли в зависимости от конкретной игровой ситуации. Эти, так называемые, "ролевые" алгоритмы были приняты в качестве базовых для проведения первых соревнований на основе пакета "Виртуальный футбол".

Резюмируя отметим, что параметрами описываемой модели являются параметры роботов-участников, их зоны ответственности, глубина прогноза и варианты выбора типа прогноза (короткий или полный) при принятии решения, геометрические параметры расчета особых точек и их приоритеты, параметры типа алгоритма, задающие тот, или иной класс алгоритма, параметры выбора ролей игроков. Они оптимизировались путем многократного моделирования игры.

6. Моделирование и оптимизация алгоритмов.

Проведено большое количество экспериментов, в том числе использовавших методы "машинной эволюции" с использованием генетических алгоритмов, в ходе которых отбирались наиболее эффективно играющие алгоритмы. Механизм отбора был построен на основе игры сравниваемых алгоритмов, отличающихся значениями определяющих параметров. Победивший вариант алгоритма выбирался для дальнейшей направленной оптимизации. Целью этих экспериментов был поиск наилучших значений указанных выше параметров и их сочетаний.

В результате найдены оптимальные варианты алгоритмов, обеспечивавшие наибольший процент побед в проведенных "матчах". Нужно отметить, что при этом отдельно "тренировались" программы для роботов-вратарей, т.к. в реальной игре эпизодов с участием и, следовательно, тренировкой, вратарей происходит недостаточное количество.

Затем проводились эксперименты по моделированию, в которых частично некоторыми функциями управления игроками управлял человек-оператор. Целью этих экспериментов была дальнейшая оценка эффективности найденных управляющих алгоритмов. Показано, что автоматические алгоритмы в целом выигрывают у команды, в которой "участвует" человек-оператор.

Оптимизированные алгоритмы показали достаточно высокое качество игры, на этом основании они были предназначены для игры в соревнованиях. С их использованием была построена программа VST (название - аббревиатура от Virtual Soccer Team).

7. Соревнования по Виртуальному футболу.

С использованием созданных моделей организуются регулярные соревнования по Виртуальному футболу роботов, подготовлены регламент таких соревнований и необходимая техническая документация, ведется рассылка всех программных средств моделирования заинтересованным участникам.

Первые товарищеские соревнования трех команд были проведены 4.10.2001 г., этот турнир состоялся в рамках Конференции/Школы "Интеллектуальные и многопроцессорные системы" / "Интеллектуальные робототехнические системы" (ИМС-2001/ИРС-2001), прошедших в Дивноморском, Геленджик, Россия. В турнире участвовали команда авторов настоящей работы (команда из ИПМ им.М.В.Келдыша РАН - МГУ, Москва), команда из НИИ МВС ТРТУ, г. Таганрог (автор программы - Сергей Стоянов), команда из Днепропетровского национального университета, г. Днепропетровск, Украина (автор программы - Сергей Степанов).

В настоящее время (осень 2002 г.) в проекте участвуют 20 команд из городов России и Украины – Москвы (9 команд), Таганрога (3 команды), Волгограда (1 команда), Челябинска (1 команда), Владивостока (2 команды), Днепропетровска (1 команда), Донецка (3 команды). Количество команд в этих городах увеличивается, о своем намерении присоединиться к проекту заявили команды разработчиков из Санкт-Петербурга, Краснодара, Киева. Все перечисленные команды – это команды различных университетов и ВУЗов, развиваемый проект активно используется в них в том числе и в учебном процессе для обучения студентов и аспирантов.

В период осень 2001 – осень 2002 года проведены 4 официальных турнира, турнир на Фестивале "Мобильные роботы – 2001" в МГУ (декабрь 2001 г.) [9], турнир в МГУ во время "Дня механико-математического факультета МГУ" (апрель 2002 г.), турнир в Таганроге в рамках конференции "Многопроцессорные вычислительные системы" (июнь 2002 г.), турнир в Кацивели (Крым, Симеиз) на Украине в рамках конференции "Искусственный интеллект – 2002" (сентябрь 2002 г.). Запланирован турнир на Фестивале "Мобильные роботы – 2002" в МГУ в декабре 2002 г. По всем проведенным турнирам накоплен большой объем статистической информации и записей игр, позволяющий анализировать и совершенствовать создаваемые алгоритмы управления футболистами.

Победителями прошедших турниров становились команды Днепр (Днепропетровск, ДНУ), Нерв (Москва, МЭИ ТУ), VST (Москва, ИПМ им.М.В.Келдыша РАН – МГУ), Квазар (Москва, МЭИ ТУ).

Соревнования подтвердили эффективность принятых при разработке моделей игры решений и эффективность реализованной системы моделирования.

Вместе с тем, в дальнейшем предполагается существенное развитие этой системы. Его цель – повышение логической сложности игры, введение новых игровых функций.

8. Заключение. План развития системы.

На основе проведенных экспериментов определены технические предложения по созданию расширенных алгоритмов управления роботами-игроками, начата разработка алгоритмов с реализацией активного взаимодействия игроков (игры в пас, и т.п.).

Предполагается также следующее развитие модели игры, на основании которого будет реализована расширенная генерация системы. Для обеспечения эффективного воздействия игрока на мяч предполагается введение "вектора удара" игрока по мячу. Этот вектор соединяет центры игрока и мяча, но при этом не обязательно направлен вдоль продольной оси (или скорости) робота-игрока. Вектор удара будет реализовывать удар по мячу различной силы, но и различной точности (при большей силе удара точность удара должна уменьшаться). Этот вектор должен моделировать устройства удара, которыми оснащаются реальные роботы-футболисты, аналогичные показанным на рис.1-8.

В дополнение к этим "устройствам" предполагается введение модели захватного

устройства робота, обеспечивающего ведение мяча игроком.

Предполагается, что эти средства позволят реализовать игру с большим разнообразием ситуаций и более широкими возможностями по управлению роботами и принятию игровых решений.

Описываемое расширение будет включено в версию сервера 2.0, анонсировать который предполагается в декабре 2002 г. на Фестивале "Мобильные роботы".

Подготовлен также проект следующей версии сервера (версии 3.0), в которой будет реализована "строгая" мультиагентная среда управления виртуальными футболистами. Разработана пилотная версия сервера, реализующего 3D-моделирование игры.

ЛИТЕРАТУРА.

1. С.В.Ахапкин, С.В.Васильев, В.И.Городецкий, Л.А.Станкевич. Футбол роботов – многоагентная среда для исследования группового поведения интеллектуальных роботов. // Тр. X науч.-тех. конф. "Экстремальная робототехника", СПб, 1999, изд-во СПбГТУ, с.122-129.
2. RoboCup Federation. Official materials. [http:// www.robocup.org](http://www.robocup.org) .
3. SoccerServer Manual. (RoboCup Federation electronic documentation and links on the Internet). <http:// www.robocup.org/resource> .
4. Materials of CS Freiburg soccer team. <http:// www.informatik.uni-freiburg.de/~robocup> .
5. FIRA official materials. <http:// www.fira.net>.
6. France Robotic Festival. <http:// www.robotik.org>.
7. Д.Е.Охоцимский, В.Е.Павловский, А.Г.Плахов, А.Н.Туганов. Моделирование игры роботов-футболистов и базовые алгоритмы управления ими. // *Искусственный интеллект*, N 3, 2000, с. 534-540.
8. Д.Е.Охоцимский, В.Е.Павловский, А.Г.Плахов, А.Н.Туганов, В.В.Павловский. Моделирование игры роботов-футболистов в пакете "Виртуальный футбол". // *Мехатроника*, N 1, 2002, с. 2-5.
9. Фестиваль "Мобильные роботы" в МГУ. <http:// www.imec.msu.ru/fmrobot> .
10. RoboCup Federation. Rules. <http:// www.robocup.org/regulations & rules>.
11. RoboCup 2002. <http:// www.robocup2002.org> .