BAHIA2D: DESENVOLVIMENTO DE CONTROLADORES FUZZY PARA AGENTES ROBÔS JOGADORES DE FUTEBOL

HUGO SILVA[1], JESSICA MEYER[1], MARCO A. C. SIMÕES[1, 2], HELDER ARAGÃO[2], RICARDO LIMA[2].

[1] *Núcleo de Arquitetura de Computadores e Sistemas Operacionais (ACSO)*
Universidade do Estado da Bahia (UNEB)
Rua Silveira Martins, 2555, Cabula. Salvador – BA – Brasil

[2] *Grupo de Pesquisa em Computação Inteligente (GPCI)*
Centro Universitário da Bahia (FIB)
Rua Xingu, nº. 179, Jardim Atalaia/STIEP. Salvador – BA – Brasil

hugodaluz@gmail.com, jessy.meyer@gmail.com,marcosimoes@fib.br, helderfib@yahoo.com.br, ricardolima_uneb@yahoo.com.br

Abstract. This paper presents the initial research results of Bahia Robotics Team. This is a new research group created to investigate the application of artificial intelligence methods in the standard problem of robotics soccer. In this work, fuzzy controllers are used to improve some of the players skills. In the case of the attackers, the kick and the positioning ability were improved. The midfielders had their positioning and passing skill improved. The goalkeeper and the defenders had their positioning skill improved. The ball passing was improved for all the players. The generated Bahia2D soccer team was tested in matches against some victorious teams from Robocup Brazil Open 2006 and from previous editions of the Robocup World Competition. The positive results achieved and the ongoing works to improve the current limitations are also presented.

Key Words: Fuzzy Logic, Robots' Soccer, Robocup.

Resumo. Este artigo apresenta os resultados iniciais do grupo de pesquisa Bahia Robotics Team. Neste trabalho, controladores fuzzy são usados para melhorar algumas habilidades dos jogadores. Para os atacantes, o chute e o posicionamento foram aperfeiçoados. Os meiocampistas tiveram seu posicinamento e tomada de decisões abordados. Goleiro e defensores tiveram o posicionamento tratado. O passe de bola melhorou para todos os jogadores. O time gerado Bahia2D foi testado em partidas contra algumas equipes vitoriosas no Ropocup Brasil Open 2006 e em edições anteriores da competição mundial da Robocup. Apresenta também os resultados positivos obtidos até o momento, bem como os trabalhos em andamento para solucionar problemas que ainda são encontrados.

Palavras chave: Lógica Fuzzy, Futebol de Robôs, Robocup.

1 Introdução

O atual artigo apresenta um estudo, modelagem e aplicação de controladores fuzzy em agentes inteligentes jogadores de futebol de robôs simulado em 2 dimensões. O objetivo é desenvolver controladores nebulosos para os agentes jogadores de futebol especializados nas diversas posições em campo, de forma a construir uma equipe de agentes inteligentes capaz de disputar as competições da RoboCup Federation, constituindo o time Bahia2D. Especificamente, serão abordadas as habilidades de chute, passe, posicionamento sem bola e tomada de decisão.

A RoboCup (Kitano, 1997) é um iniciativa internacional de pesquisa e educação criada em 1996. Seu o objetivo é fomentar a pesquisa em inteligência artificial e robótica, fornecendo um conjunto de problemas padronizados onde uma larga gama de tecnologias pode ser experimentada e integrada. As pesquisas e competições da RoboCup são centralizadas em três temas principais: Futebol de Robôs, Robôs de Resgate e Robôs Domésticos.

A próxima seção apresenta uma breve descrição da modelagem do time Bahia2D. A seção 3 explica a arquitetura adotada pelo time. A seção 4 descreve os fundamentos básicos de lógica fuzzy utilizados neste trabalho. A seção 5 mostra sucintamente o ambiente do simulador utilizado neste projeto. Os modelos desenvolvidos pelo grupo para controlar cada um dos jogadores do time estão descritos na seção 6. Por fim, a seção 7 discute os resultados parciais obtidos, os trabalhos em andamento e os futuros.

2 Modelagem

Inicialmente, o grupo de pesquisa dedicou-se à investigação de outras equipes vitoriosas em competições promovidas pela Robocup internacional e brasileira. Nesta investigação, percebeu-se que muitos times atuais são construídos a partir de outros times chamados times-base. Um time-base fornece uma interface mais amigável de interação entre o agente jogador e o simulador. Usando um time-base pode-se abstrair todos os detalhes de comunicação UDP e ainda utilizar um modelo de representação do ambiente mais rico e funcional. Existem vários códigos disponibilizados gratuitamente para servir de time-base e, dentre os diversos investigados, optou-se por utilizar o do UvA Base 2003. Este código corresponde a parte do código fonte do UvA Trilearn 2003 (Kok *et al*, 2003), equipe desenvolvida pela Universidade de Amsterdã e atual campeã da competição mundial na categoria 2D. A escolha do UvA Base deu-se pela boa expressividade de seu modelo de ambiente e pela

facilidade da interface oferecida para comunicação com o simulador: Os estudos do UvA Base 2003 conduziram ao seu predecessor – UvA Trilearn 2001 (Boer & Kok, 2001) – que possui farta documentação sobre o simulador e o ambiente em foco, além de também ser adotado por outros fortes times nacionais, como o MecaTeam e o ITA-Androids.

3 Arquitetura

A arquitetura adotada é dividida em três camadas interrelacionadas, como pode ser visto na Figura 1.

O Nível Reativo é o que executa as ações. Ele possui os métodos importados do UvA e alguns do próprio Bahia2D. Esses métodos são fundamentais, pois eles recebem os dados brutos do simulador, tratando-os e transformando em informação. O programador tem essa informação e passa um comando para o simulador através deste dado já tratado, não sendo mais necessário manipular diretamente coordenadas.

Um time com apenas essa primeira camada não possui o que podemos chamar que uma inteligência propriamente dita, pois ele apenas reage às informações, ele não toma decisões ainda. Aí que entra o papel da segunda camada, o Nível Instintivo. Neste nível, o time passa a analisar as informações recebidas e tomar uma decisão com base nestes resultados. Assim, ele age conforme essas decisões e não indiscriminadamente como fazia antes, adquirindo um grau de inteligência mais significativo.

O Bahia2D utiliza controladores fuzzy para a tomada de decisões, já que as percepções do jogador em uma partida de futebol muitas vezes é imprecisa. O futebol não proporciona um ambiente exato e constante, é preciso tratar informações difusas, fazendo com que a Lógica Fuzzy seja promissora em problemas desta natueza.

Como uma terceira camada, ainda em fase de implementação no Bahia 2D, temos o Nível Cognitivo. Este é o mais avançado, pois é ele que traça os planos e metas do time com base nas informações da partida.

Pode-se fazer uma comparação das camadas da arquitetura do time com os níveis de classificação de um Sistema de Informação. O Nível Reativo seria um sistema do Nível Operacional, que cuida das tarefas do dia-a-dia, repetitivas; o Nível Institintivo seria do Nível Tático, que toma decisões para o grupo a curto prazo, com repercussões imediatas; e o Nível Cognitivo seria do Nível Estratégico, que, como o nome sugere, traça a estratégia do grupo, planos e metas a longo prazo.

O Nível Cognitivo objetiva o fim, o Nível Instintivo se preocupa com cada passo do meio e o Nível Reativo faz com que aconteça.

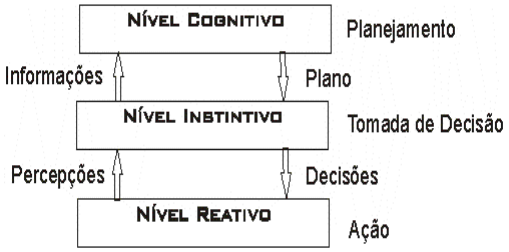

Figura 1: Divisão em camadas a arquitetura do time.

4 Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy foi desenvolvida por Zadeh em 1965 para representar conhecimento incerto e impreciso (Zadeh, 1965). Esta lógica fornece uma maneira aproximada, mas efetiva de descrever o comportamento de sistemas que são muito complexos, mal-definidos ou de difícil análise matemática. A intenção de Zadeh era flexibilizar a pertinência de elementos em conjuntos que não possuíam fronteiras bem definidas. Para isso, ele criou o conceito de grau de pertinência e, dessa forma, um elemento poderia pertencer parcialmente a um dado conjunto.

Segundo Russell e Norvig (2003), a teoria dos conjuntos Fuzzy é uma maneira de especificar o quanto um objeto satisfaz a uma descrição vaga. Fabri (2000) afirma que a força da Lógica Fuzzy deriva de sua habilidade em inferir conclusões e gerar respostas baseadas em informações vagas, ambíguas, incompletas e imprecisas. Neste aspecto, os sistemas de base Fuzzy têm habilidade de raciocinar com base em premissas parciais ou imprecisas. Seu comportamento é representado de maneira muito simples e natural, levando à construção de sistemas compreensíveis e de fácil manutenção. Estes conjuntos são formados por Variáveis Lingüísticas que possuem valor expresso qualitativamente por um termo lingüístico e, quantitativamente, por uma função de pertinência (Ortega, 2001). Estas variáveis podem conter modificadores que alteram seu valor. Esses modificadores podem amenizar ou intensificar seu valor; alguns exemplos mais comuns são: “muito”, “pouco”, “não muito”, “mais ou menos”.

5 O Ambiente do Futebol de Robôs Simulado

O ambiente no qual os agentes interagem é o simulador Soccer Server 2D. Ele fornece um campo de futebol virtual que segue as regras do futebol normal e possui, proporcionalmente, as mesmas medidas (aproximadamente 105m de comprimento e 68m de largura). O servidor, disponibilizado pela RoboCup Federation, é implementado em C e C++ e possui uma arquitetura estilo cliente-servidor onde os clientes (jogadores) podem ser escritos em

qualquer linguagem de programação que tenha interface UDP/IP. Esse servidor é um sistema em tempo real que trabalha com intervalos discretos (ciclos). Atualmente, o jogo ocorre em dois tempos de 5 minutos (3000 ciclos), portanto, cada ciclo tem uma duração de 100ms. O Soccer Server também inclui uma ferramenta de visualização chamada 'monitor de futebol' que exibe o que está acontecendo dentro do servidor durante um jogo. O servidor e o monitor são conectados por UDP/IP. Assim que o servidor é conectado ao monitor, ele passa a enviar informações relativas ao estado atual do mundo a cada ciclo.

6 Controladores Difusos para Robôs Jogadores de Futebol

Decidido o código base a ser utilizado, foi iniciado o trabalho de definição de variáveis lingüísticas de entrada e saída e bases de regras fuzzy para os controladores. Estes modelos estão descritos nas subseções a seguir. Para todo o processo de modelagem foi utilizada a ferramenta XFuzzy 3.0.

Após testes empíricos, optou-se pela utilização de um time com formação 4-3-3 ofensivo. Isto significa que o time é composto por um goleiro, dois zagueiros, dois laterais, um meio campo defensivo, dois meio campo ofensivos e três atacantes.

6.1 Controlador para Posição de Chute

O objetivo do controlador para posição de chute é encontrar o ponto no gol onde a possibilidade de marcar seja a maior possível, sendo a bola chutada da posição atual do agente. Dessa forma, o agente vai escolher o canto do chute de acordo com sua posição em relação ao gol e a posição relativa do goleiro. A variável de saída é a Posição do Chute, que representa a posição no gol em que o agente irá chutar a bola. Seu universo de discurso varia de -7.0 à 7.0, correspondente à posição das traves no eixo Y. O valor do eixo X a ser considerado é o limite do campo, o mesmo da linha do gol, 52.5. A variável possui os termos lingüísticos apresentados na Figura 2, cujo modelo é seguido pelos demais controladores.

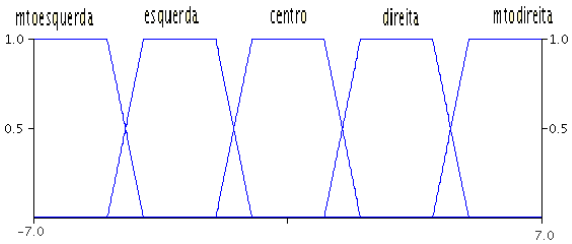

Figura 2: Conjunto fuzzy para as variáveis posição no gol e do goleiro

As variáveis de entrada que influenciam a saída são: Posição do Goleiro, que representa a posição do goleiro no gol e a Posição do Jogador, que representa a posição relativa do agente no campo, com universo de discurso variando de -7.0 à 7.0.

As regras para esse controlador foram criadas a partir da combinação entre as variáveis de entrada, visando a posição no gol mais distante possível do goleiro sem desconsiderar a posição do jogador. O mesmo peso foi atribuído para todas as regras da base. Este controlador foi inicialmente utilizado pelos três agentes atacantes. Posteriormente, o mesmo foi reutilizado também pelos meias ofensivos no momento em que se encontram em situação favorável a chutar para o gol.

6.2 Controlador para Avaliação de Possibilidade do Chute

O Controlador para Avaliação de Possibilidade do Chute tem o objetivo de avaliar a possibilidade de sucesso de um chute à gol. A saída do controlador é a variável Possibilidade de Chute que varia de 0 à 10, possuindo os seguintes termos: Baixa 0 à 3.75, Média 3.75 à 7.5, Alta 7.5 à 10.0.

O agente toma a decisão de acordo com as seguintes percepções: o ângulo em relação ao gol adversário, sua distância em relação ao gol adversário e a quantidade de adversários na direção do gol.

O universo de discurso para ângulo em relação ao gol varia de -180 à 180 graus. Essa definição é utilizada pelo modelo de mundo do UvA Base, sendo que o ângulo 0º é à frente do agente e o ângulo de 180º atrás. Está classificado da seguinte maneira: Ângulo ruim - negativo: -180 à -90, Ângulo ruim - positivo: 90 à 180, Melhor ângulo: -45 à 45, Ângulo bom - positivo: 75 à 90, Ângulo bom - negativo: -90 à -75.

A distância em relação ao gol adversário considerada nesse controlador vai de 0 à 67m e está baseada na distância entre dois pontos (0,-34) à (52.5,7) ou (0,34) à (52.5,-7). Essa é a distância que os atacantes percorrem e devem decidir se vão chutar ou não. Possui como termos lingüísticos: Perto: 0.0 à 35.125, Médio: 35.125 à 50.25, Longe: 50.25 à 67.0.

Quantidade de adversários no cone que vai da posição atual do agente ao gol adversário, com raio da base igual à 7.0 m. Seu universo de discurso vai de 0 à 11 e possui os seguintes termos lingüísticos: Pouco 0 à 3, Médio 3 à 6, Muito 6 à 11.

Quando este controlador indica uma pequena possibilitade de marcar o gol, ele executa o Controlador para Avaliação de Possibilidade de Passe para todos os companheiros próximos, exceto o goleiro.

6.3 Controlador para Avaliação de Possibilidade do Passe

O Controlador para Avaliação de Possibilidade de Passe tem o objetivo de avaliar a possibilidade de sucesso de um passe para um determinado jogador. A saída dele é a variável Possibilidade de Passe que

varia de 0 à 10, possuindo os seguintes termos: Baixa 0 à 3.75, Média 3.75 à 7.5, Alta 7.5 à 10.
O agente toma a decisão de acordo com as seguintes percepções a respeito do jogador candidato ao passe: sua distância à esse jogador, a quantidade de marcadores, a posição desse jogador.
A distância do agente ao jogador candidato ao passe considerada nesse controlador vai de 0 à 30m. Possui como termos lingüísticos: Perto: 0 à 14.25, Médio: 14.25 à 25.5, Longe: 25.5 à 30.
A quantidade de marcadores em um raio de distância de 2m do jogador candidato a passe. Seu universo de discurso vai de 0 à 11 e possui os seguintes termos lingüísticos: Pouco 0 à 3, Médio 3 à 6, Muito 6 à 11.
A posição do jogador em relação ao agente é calculada pela formula: *posiçãoJogador - posiçãoAgente*, o resultado é um valor que indica se o jogador candidato ao passe está antes, na mesma linha ou depois do agente com a bola. Seu universo de discurso varia de -30 à 30 e possui os seguintes termos: Antes -30 à 0, Igual 0, Depois 0 à 30.
Se a maior possibilidade retornada pelo controlador for muito pequena, o jogador carrega a bola. Para isso, basta dar um drible com a bola usando 0º de ângulo, pois, independentemente da posição em que o agente estiver no campo, ele irá virar para a frente chutando a bola rente ao corpo, já que o modelo de mundo define o grau 0 à frente e 180 atrás.
A rotina está sendo utilizada dessa forma para os meias e atacantes, os zagueiros e laterais utilizam esse passe, mas quando a possibilidade é pequena demais eles executam um *clear ball* (método para chutar a bola no ângulo com menor quantidade de adversários com exceção do próprio gol).

6.4 Controlador para Posicionamento sem a Bola

O objetivo do controlador para o posicionamento sem a bola é permitir aos atacantes, quando sem a posse da bola, encontrarem uma posição no campo do adversário baseando-se em sua posição atual, na linha de impedimento e na posição da bola. Foi utilizada a abordagem de divisão do campo em zonas (adaptada da proposta de Boer e Kok, 2002), onde a metade do campo do adversário foi dividida em uma matriz de 9 zonas. A Figura 3 apresenta essa divisão.
A ferramenta *XFuzzy* possibilitou a modelagem de dois controladores para a posição: um para o eixo X e outro para o eixo Y. Esses dois controladores foram integrados a um sistema que possui duas bases de regras independentes. Essa divisão simplificou a criação das regras e não gerou ruído no resultado desejado, pois a variável de saída do eixo X não é influenciada pelas variáveis de entrada no eixo Y e o mesmo ocorre com a saída no eixo Y. Dessa forma, o sistema funciona como um único controlador com cinco entradas e duas saídas.
As variáveis de saída utilizadas pelo controlador são a Posição X e a Posição Y, que representam a posição final para onde o agente deve se deslocar nos eixos X e Y, respectivamente.
As variáveis de entrada são: a posição do jogador e da bola nos eixos X e Y e a posição de impedimento no eixo X.
As regras para esse controlador foram criadas de forma que o agente se deslocasse apenas entre quadrantes adjacentes. Dessa forma, a movimentação ocorre entre distâncias curtas, pois a cada ciclo as percepções podem mudar e, conseqüentemente, a direção a seguir. Por exemplo, um agente posicionado no quadrante 8 só poderá se deslocar até os quadrantes 4, 5, 6, 7, 8 e 9, pois não conseguirá chegar aos quadrantes 1, 2 e 3 no próximo ciclo. Isso foi definido criando-se regras que possuem os mesmos valores para as entradas, mas com saídas e pesos diferentes. As regras para o agente permanecer no quadrante atual, quando a bola está em outro quadrante, possuem peso menor, fazendo com que ele se movimente sempre na direção da bola.

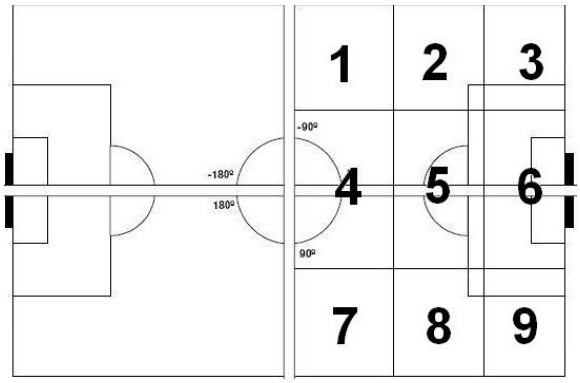

Figura 3: Divisão do campo em zonas, para o time que começa à esquerda. Adaptada de (Reis, 2003).

6.5 Controlador para Posicionamento do Meia Defensivo

O meia-defensivo possui um controlador fuzzy cujo objetivo é posicionar estrategicamente o agente na sua área de atuação, levando em consideração a posição da bola e a sua própria posição. Para esse controlador foram definidas duas bases de regras: uma para o eixo X (na direção de um gol ao outro) e outro para o eixo Y (na direção de uma lateral a outra).
A tática para o eixo X é movimentar-se em direção da bola, e a intensidade desta ação depende da posição global da bola e do jogador, ou seja, a depender da posição de cada objeto o jogador tenderá a se aproximar mais ou menos da bola.
Para o eixo Y, a movimentação ocorre de modo similar a do eixo X, só que levando em consideração a coordenada Y. Além disso, para esta base de regras é acrescentada a coordenada do eixo X da bola, que tem um peso expressivo sobre a decisão

final de posicionamento. Quanto mais a bola estiver afastada do campo defensivo do time do agente, mais ele tenderá a ficar no centro do campo (em relação ao próprio eixo Y), evitando assim um deslocamento desnecessário, já que a bola está, teoricamente, afastando-se de sua zona de atuação.

6.6 Controlador para Posicionamento do Goleiro

O controlador para posicionamento do goleiro faz com que este se desloque para determinada posição do gol, ao perceber que um jogador do time adversário está a uma distância apta a chutar a gol. A depender de qual posição do campo venha o jogador adversário e de sua própria posição atual, o goleiro reage seguindo uma base de regras definidas no XFuzzy, posicionando-se em determinada faixa de coordenadas (pré-estabelecidas de acordo com estas regras). Caso o atacante adversário esteja a uma distância considerada próxima demais do gol, o goleiro passa então a ter um outro comportamento mais adequado para a situação.

A *Posição do Goleiro* e a *Posição do Jogador* (o adversário que estiver com a posse de bola e apto a chutar) são as variáveis de entrada para a base de regras *Agarra.* Baseada nessas variáveis de entrada, a base de regras fornece uma variável de saída, que é justamente a posição que o goleiro deve tomar para agarrar a bola, chamada de *Posição Agarra.*

Após alguns testes, este modelo foi considerado ainda incompleto pois determina apenas a posição do goleiro no eixo Y. Isto fazia com o que o goleiro ficasse muito adiantado em chutes feitos das laterais do campo ou nas cobranças de faltas pelo adversário. Assim, foi criado também um controlador para o eixo X. Ele faz o goleiro se aproximar ou se afastar do gol, a depender da posição do atacante. Dessa maneira, o goleiro espera a bola na posição mais provável do gol, fechando o ângulo melhor.

Esses controladores ainda estão em fase de teste, faltando alguns pequenos ajustes para que funcionem plenamente. Acredita-se que, para a Robocup 2007 a ser realizada em Atlanta, estes problemas já estejam contornados.

7 Resultados Parciais e Trabalhos Futuros

O Bahia2D obteve a 14ª colocação durante as eliminatórias da Robocup 2007 (A SSIL - *Soccer Simulation Internet League*) utilizando a estrutura de controladores apresentada. Apesar de ser um time com uma estrutura básica e poucas mudanças em relação ao UvA Trilearn, o Bahia2D venceu todos os times nacionais que participaram das eliminatórias. A complexidade da simulação faz com que os resultados das partidas sejam influenciados por diversos fatores distintos. Consequentemente, derivar conclusões apenas de acordo com resultados das partidas é muito perigoso. Para avaliar o desempenho dos controladores utilizados no time foi feita a análise dos jogos das eliminatórias. Ao todo foram quatro vitórias em 17 jogos, 28 gols marcados e 161 sofridos. A Tabela 1 apresenta todas as equipes que foram enfrentadas, os gols e chutes à gol e o placar no formato Bahia2D:Adversário. Pela análise dos dados pode-se concluir que o time apresentou uma taxa de aproveitamento de chute à gol de 36%. Quando os times adversários possuiam uma rotina de marcação esse valor caiu para 0. Outro problema apresentado foi a ausência de rotinas de marcação, que juntamente com a ausência de rotinas para posicionamento e saída de bola do goleiro, prejudicaram bastante os resultados finais contra adversários mais maduros. Esses valores expõem as limitações do time e ao mesmo tempo caminhos para trabalhos futuros.

Tabela 1. Resultados obtidos pelo Bahia2D na Robocup 2007.

Adversário	Gols/Chutes	Placar
HELIOS2007	0/0	0:28
CZU2007	0/0	0:26
NCL07	0/0	0:14
Oxsy	0/4	0:19
Lingdong1214	0/0	0:14
Nemesis	0/0	0:13
FCPortugal07	0/2	0:8
DAINAMITE	0/3	0:10
OPU hana 2D	0/0	0:7
Incredibles	0/1	0:5
ATH	0/0	0:6
YowAI07	0/1	0:6
Hitro Jet	0/8	0:3
FURGBOL	1/4	1:0
FEI-Team	3/9	3:2
ITANDROIDS-2D	2/11	2:0
KickOffTUG	22/32	22:0

Como trabalhos futuros, já estão sendo investigadas a aplicação de outros métodos de inteligência artificial, como redes neurais, aprendizagem por reforço, computação evolutiva, dentre outros. Tem-se o objetivo de otimizar os comportamentos básicos descritos neste trabalho, criando um Nível Cognitivo para o time.

Referências

BOER, Remco de, KOK, Jelle. The Incremental Development of a Synthetic Multi-Agent System: The UvA Trilearn 2001 Robotic Soccer Simulation Team. Amsterdam: Faculty of ScienceUniversity of Amsterdam, Dissertação de mestrado para Inteligência Artificial e Ciência da Computação. Amsterdã, Holanda, 2002.

COSTA, Augusto Loureiro da, JÚNIOR, Orivaldo Vieira Santana, SOUZA, João Paulo Rocha de, LINDER, Marcelo Santos. MecaTeam: Um sistema Multiagente para o futebol de robôs simulado baseado no Agente Autônomo

Concorrente. ENRI - III Encontro de Robótica Inteligente, Campo Grande, 2006.

FABRI, José Augusto. Um Sistema Especialista Fuzzy Aplicado a Classificação de Arquiteturas de Computadores. Semana de Informática (SEMINFO) da Universidade Federal da Bahia realizado na Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Salvador – BA, período de 09 a 12 de maio de 2000. Disponível em: http://users.femanet.com.br/~fabri/trabcien.htm. Acesso em: 20 out. 2006, 20:30.

KITANO, Hiroaki, ASADA, Minoru, KUNIYOSHI, Yasuo, NODA, Itsuki, OSAWA, Eiichi. RoboCup -The Robot World Cup Initiative. Japão, 1997.

KOK, Jelle, VLASSIS, Nikos, GROEN, Frans. UvA Trilearn 2003 Team Description. Faculty of Science, University of Amsterdam, Amsterdã, Holanda, 2003.

ORTEGA, Neli Regina S. Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina. Tese de Doutorado em Ciências. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

REIS, Luís Paulo. Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico. Tese de PhD, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2003.

RUSSELL, Stuart, NORVIG, Peter. Inteligência Artificial: uma abordagem moderna. Ed. Campus, 2ª Edição. São Paulo, 2003.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets – Information and Control. University of California, Berkeley, California, Estados Unidos, 1965.