

SISTEMA FUZZY PARA TOMADA DE DECISÃO DE SISTEMAS MULTIAGENTES

Murillo Rehder Batista, Marcelo Oliveira Silva, Roseli Aparecida Francelin Romero

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - USP
{murillo}@grad.icmc.usp.br, {msilva,rafrance}@icmc.usp.br

Resumo – Este artigo descreve o uso de um Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* (*Fuzzy*-SBR) para definir o comportamento de robôs pertencentes a um time de robôs cooperativos. Três estratégias de cooperação são propostas e avaliadas em um simulador de futebol de robôs, utilizando-se um sistema de planejamento de caminhos baseado na técnica de Campos Potenciais e na variação dos parâmetros do sistema *Fuzzy*-SBR. Uma análise comparativa de desempenho das estratégias propostas foi realizada por meio de uma série de testes e foram levantadas as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Palavras-chave – Robótica, Sistemas *Fuzzy*, Tomada de Decisão.

Abstract – This article describes the use of a *Fuzzy* Rule Based System (*Fuzzy*-SBR) to choose the behavior of robots belonging to a team of cooperative robots using a path planning method based on the potential fields technique and changing some parameters of the *Fuzzy*-SBR. A comparative analysis of the performance of the proposed strategies was made through a series of tests and the advantages and disadvantages of each were raised.

Keywords – Robotics, *Fuzzy* Systems, Decision Making.

1. INTRODUÇÃO

Robôs tem sido utilizados em diversas aplicações, especialmente em automação industrial. Robôs industriais não necessitam lidar com ambientes dinâmicos ou situações não previstas a priori, apenas repetem uma série de tarefas já programadas. Com o desenvolvimento tecnológico, os robôs passaram a ser utilizados em aplicações e ambientes mais complexos, como entretenimento ou medicina e, especialmente, em situações que seriam perigosas ou inacessíveis para seres humanos, como desarme de artefatos bélicos ou exploração espacial.

Existem tarefas que podem ser realizadas com êxito por um único robô, como tarefas de entrega, busca e exploração. No entanto, um êxito maior pode ser obtido através do uso de vários robôs em tarefas como vigilância de ambientes, onde é conveniente que exista mais de um agente no ambiente de modo que a cobertura de vigia seja maior.

Neste contexto, o Futebol de Robôs surgiu como um ambiente favorável para o desenvolvimento de tecnologias de robótica cooperativa, sendo um ambiente dinâmico de alta complexidade, no qual técnicas de inteligência artificial podem auxiliar na autonomia aos robôs da equipe.

Vale ressaltar que robôs que participam de competições de futebol de robôs devem atuar de forma autônoma durante as partidas, ou seja sem a intervenção de um ser humano que não seja o juiz.

Em 1999, Stone et al. [1] utilizaram o Futebol de Robôs como plataforma de testes para o desenvolvimento de um sistema colaborativo de robôs para a realização de tarefas. Jung et al. [2] desenvolveram um controlador *fuzzy* para a realização do chute a gol a partir da colisão do jogador com a bola, dividindo a tarefa em duas etapas: decisão do posicionamento desejado do robô e definição das velocidades de roda. Em 2002, foi implementada por Huang e Liang [3] uma árvore de decisão *fuzzy* auto-organizável com o objetivo de realizar a tomada de decisão do jogador levando em consideração tanto a posição da bola como a existência de um jogador que possua o controle da bola. A decisão escolhida define o comportamento de todos os jogadores da equipe. Jolly et al. [4] utilizou em 2010 uma rede neuro-*fuzzy* para realizar o planejamento de tarefas, dividindo o campo através de uma fuzzificação bidimensional, utilizando a configuração dos robôs em cada posição do campo para determinar a ação requerida. Sulistijono et al. [5] utilizaram um controle *fuzzy* para controlar as ações de locomoção de um jogador robótico humanóide. Tal controlador define o ângulo de cada junta do robô. Em 2011, Morandin et al. [6] aplicaram um sistema *fuzzy* para definir a prioridade de atendimento do pedido de recursos feitos a um robô em um ambiente de manufatura. Já Wu e Lee [7] aplicaram um sistema *fuzzy* para a tomada de decisões de qual comportamento cada robô deveria tomar. Em [8] foram utilizadas métricas como "distância do agente até a bola", "distância da bola até os gols" e "distância angular entre o agente e a bola" para definir comportamentos.

Neste trabalho, é proposto um sistema inteligente para controlar um time de Futebol de Robôs na categoria *IEEE Very Small Size*. Este sistema é constituído por dois módulos: um Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* e um sistema de planejamento de caminhos baseado na técnica de campos potenciais. Todos os testes foram realizados a partir de um simulador desenvolvido no LAR-ICMC-USP, o USPDroidsSS [9].

Este trabalho está organizado da seguinte maneira. Na Seção 2, é feita uma revisão dos conceitos abordados no projeto. Na Seção 3, é detalhada a implementação proposta. Na Seção 4, são detalhados os testes a fim de avaliar as estratégias de jogo elaboradas, e é apresentada uma discussão dos resultados. Na Seção 5 são apresentados a conclusão e trabalhos futuros a serem realizados.

2. ABORDAGEM PROPOSTA

Segue uma síntese dos métodos e conceitos utilizados, iniciando pelos métodos utilizados para o desenvolvimento do Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* e para o sistema de planejamento de caminhos baseado em Campos Potenciais, e em seguida sobre o Futebol de Robôs, detalhando a categoria *IEEE Very Small Size*.

2.1 Sistemas Baseados em Regras Fuzzy

Lotfi Zadeh, na década de 60, desenvolveu uma extensão da Lógica Clássica baseada na ideia de incerteza, denominada Lógica Fuzzy, ou Lógica Nebulosa [10]. Na representação clássica, trabalha-se com números inteiros para identificar a veracidade de uma proposição: 1 para "Verdadeiro" e 0 para "Falso". Na proposta de Zadeh, trabalha-se também com o intervalo real $[0, 1]$: quanto mais próximo de 1, maior é considerado o grau de pertinência de uma proposição. Assim como na Lógica Clássica, é possível utilizar operadores lógicos. Tais operadores são uma generalização dos operadores clássicos, de forma que, caso as variáveis fuzzy sejam 0, 1, os resultados serão os mesmos dos operadores clássicos.

A partir de tais conceitos, é possível construir um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (Fuzzy-SBR), que consulta uma base de regras e gera saídas através de parâmetros na forma de conjuntos nebulosos. A grande vantagem de tal modelo é a produção de estimativas de sistemas complexos a partir do conhecimento especialista, sem a necessidade de modelos matemáticos complexos, e a robustez oferecida pela Lógica Fuzzy para tratar as incertezas.

A seguir, será brevemente apresentado o método de Campos Potenciais utilizado na implementação do sistema de planejamento de caminhos.

2.2 Campos Potenciais

O método de Campos Potenciais é um método reativo que, embora não seja muito eficaz para um domínio estático, funciona bem em ambientes dinâmicos como o do Futebol de Robôs.

O método consiste em somar forças repulsivas, provenientes de obstáculos, e forças atrativas, provenientes de metas para gerar uma força resultante, que deverá ser seguida.

2.3 Futebol de Robôs

O Futebol de Robôs apareceu como opção de plataforma de teste de sistemas robóticos pela primeira vez em 1998, em um trabalho de Mackworth [11]. Ele pode ser visto como um *benchmark* de Robótica Inteligente bastante rico, permitindo estudos nas áreas de Inteligência Artificial, Visão Computacional, Eletrônica, Mecânica, entre outras. O desenvolvimento de uma estratégia de jogo é um ótimo desafio: trata-se de um ambiente onde os agentes devem cooperar entre si em busca do domínio de uma meta móvel (no caso, a bola). Competições de âmbito nacional, continental e internacional são realizadas em diversas categorias, como a CBR (Competição Brasileira de Robótica), a LARC (Latin American Robotics Competition) e a RoboCup, estimulando o desenvolvimento de pesquisas em robótica como um todo.

2.3.1 *IEEE Very Small Size*

A categoria na qual a estratégia proposta foi aplicada é a *IEEE Very Small Size*, exclusiva de competições latino-americanas, com regras similares às da categoria Mirobot, da FIRA. Nesta categoria, as equipes são formadas por três robôs com dimensão de 7.5cm x 7.5cm x 7.5cm que se movimentam através de rodas e são diferenciados por adesivos coloridos na parte superior. Todas as informações sobre o ambiente são obtidas através de um sistema de visão composto por uma câmera de vídeo, no qual são utilizadas técnicas de visão computacional envolvendo as cores e formas dos objetos no campo. A informação de posições é então enviada à estratégia, na qual algoritmos definem qual será a velocidade de cada roda de cada robô da equipe. Essa informação é, então, enviada por rádio para os jogadores. A Figura 1 ilustra o ambiente de jogo nesta categoria como um todo, com o campo, jogadores, sistema de visão, computadores responsáveis pela estratégia e transmissão via rádio.

2.3.2 *USPDroids Soccer Simulator*

Para os testes realizados no presente trabalho será utilizado o *USPDroidsSS* [9], desenvolvido no LAR-ICMC-USP. A linguagem utilizada é C++, e é utilizada a biblioteca Qt [13]. Este simulador possui diversos recursos, como um visualizador tridimensional e gravação de partida. A simulação física é realizada através da biblioteca ODE [14]. Todas as regras dessa categoria são respeitadas durante a execução dos jogos.

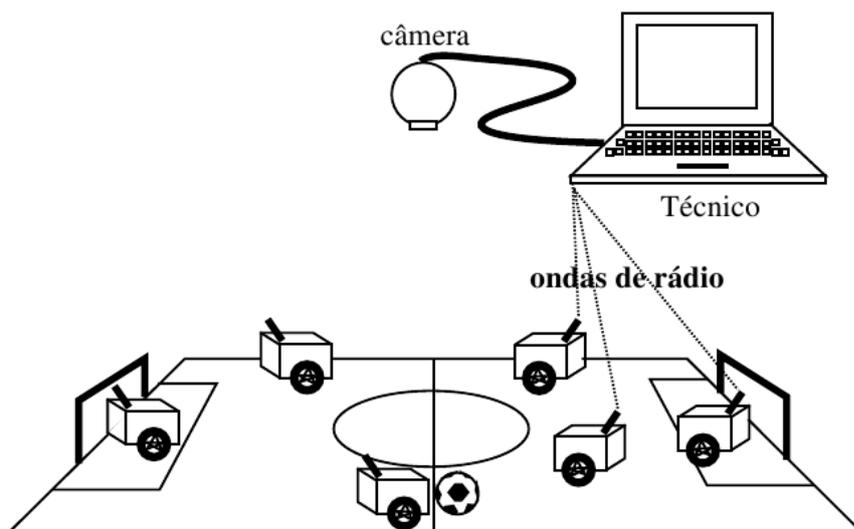


Figura 1: Visão geral do ambiente de jogo na categoria Very Small Size [12]

2.3.3 Estratégia Base

A Estratégia Base, implementada em C++ com o uso da biblioteca Qt, serve como ponto de partida para o desenvolvimento de estratégias. Ela oferece uma interface gráfica que utiliza a classe `QPaintEvent` para gerar uma visualização bidimensional do jogo a partir dos dados que o simulador lhe envia. Há nesta interface, também, acesso aos controles de início da estratégia e escolha de conjuntos de porta que a estratégia utilizará para a conexão (definidos no simulador como times: “Azul” e “Amarelo”). A conexão entre a estratégia e o Simulador é realizada por uma classe de sockets da biblioteca Qt que se conectam através do protocolo UDP (`QUdpSocket`).

3 Sistema proposto

A estratégia pode ser descrita, a grosso modo, como um *software* que recebe informações da posição dos jogadores e da bola e retorna velocidades de roda que são enviadas via rádio para os robôs. A Figura 2 esquematiza o ciclo da estratégia: esta recebe as posições de todos os objetos e os ângulos dos jogadores da própria equipe através do módulo de comunicação (Gerenciamento de Rede). Ao receber tais dados, processa os parâmetros do Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* para cada agente, e os envia ao mesmo, que retorna à estratégia o comportamento que será executado por cada robô. A seguir, cada comportamento escolhido é enviado para o método de planejamento de caminhos, que gera um vetor de saída, através do método de Campos Potenciais, com base no estado atual do ambiente. Este vetor é, então, passado para a função `VETOR2VEL` que tem o modelo cinemático do robô e transforma o vetor em velocidades de roda.

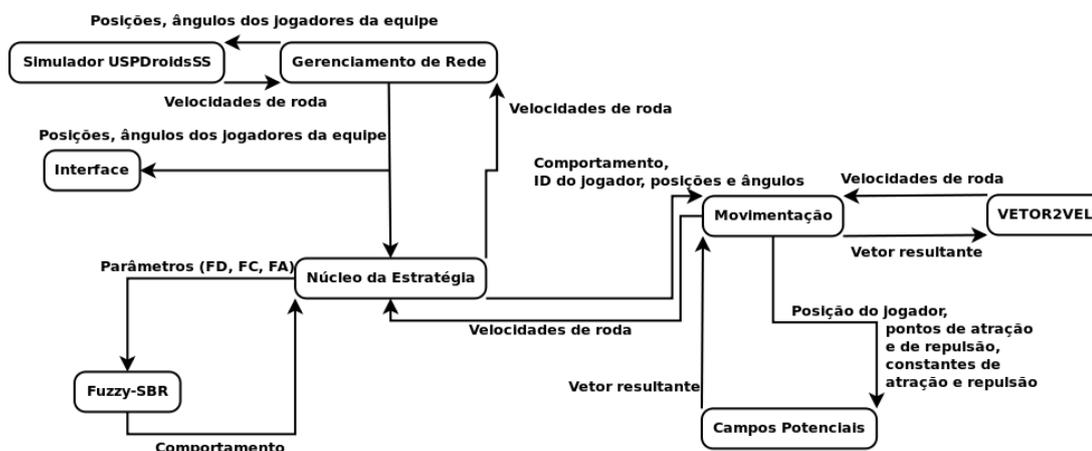


Figura 2: Diagrama do ciclo da estratégia de jogo.

A seguir, um detalhamento do *Fuzzy-SBR* utilizado para a tomada de decisão.

3.1 O Fuzzy-SBR do Sistema

O Fuzzy-SBR proposto por Wu e Lee [7] é do tipo TSK [15], designado para suportar técnicas de treinamento de parâmetros. Neste trabalho, foi proposto o uso de um sistema do tipo Mamdani [16], por que tal modelo visa uma inserção mais natural de conhecimento especialista na base de regras, e porque não existe no momento uma estrutura de testes em lote que se beneficie do recurso do aprendizado oferecido pelo modelo TSK.

O Fuzzy-SBR utilizado possui três parâmetros de entrada, que são obtidos a partir da análise do ambiente de jogo, e um parâmetro de saída que indica o comportamento escolhido pelo sistema.

Para os parâmetros de entrada do Fuzzy-SBR, foram adotados os três parâmetros utilizados por [7]: Fator Defesa (FD), Fator Competição (FC) e Fator Ângulo (FA).

O Fator Defesa representa a área de jogo da bola (Defesa, Meio de campo, Ataque) com um valor entre 0 e 1 dado por:

$$FD = \exp\left(-c \times \frac{d_2}{d_1}\right)$$

onde c é uma constante utilizada para tuning, d_1 é a distância entre a bola e o gol da própria equipe e d_2 é a distância entre a bola e o gol da equipe adversária. Quanto mais próximo este valor estiver de 1, maior será a proximidade da bola ao gol adversário. Através de observações empíricas, foi proposta por nós uma modificação deste fator, substituindo d_1 pela distância entre o jogador e o gol da própria equipe e d_2 pela distância entre o jogador e o gol da equipe adversária. Tal mudança encoraja maior liberdade de tomada de comportamentos entre os agentes.

O Fator Competição visa determinar o quão bem posicionado para domínio de bola o jogador está, em relação ao oponente mais próximo. Trata-se de um valor computado por:

$$FC = 0.5 \times \left(\exp\left(-c_1 \times \frac{d_1}{d_2}\right) + \exp\left(-c_2 \times \frac{a_1}{a_2}\right) \right)$$

onde c_1 e c_2 são constantes, d_1 e a_1 são, respectivamente, a distância entre o jogador e a bola e o ângulo entre o jogador e a bola, e d_2 e a_2 são os equivalentes para o jogador adversário mais próximo da bola. Como pode ser observado, trata-se também de um fator com valores entre 0 e 1, onde quanto mais próximo de 1 FC estiver, maior é a vantagem de domínio de bola em relação ao adversário. Quando $FC = 0.5$, podemos dizer que o jogador e o adversário mais próximo estão em iguais condições de domínio de bola.

O Fator Ângulo avalia a facilidade de domínio da bola que o jogador possui. Ao contrário do Fator Competição, ele apenas leva em conta o próprio jogador. Este fator é, originalmente, obtido através de:

$$FA = \begin{cases} 0 & , \text{ se } \hat{A} < 90^\circ \\ \frac{y_b - y_r}{\sqrt{(x_b - x_r)^2 + (y_b - y_r)^2}} & , \text{ c.c.} \end{cases}$$

onde (x_r, y_r) são as coordenadas do jogador, (x_b, y_b) são as coordenadas da bola e \hat{A} é o ângulo entre o jogador e a bola. Neste trabalho, uma modificação foi proposta em FA :

$$FA = \begin{cases} 0 & , \text{ se } \hat{A} < 90^\circ \\ \min\left(\frac{c}{\sqrt{(x_b - x_r)^2 + (y_b - y_r)^2}}, 1\right) & , \text{ c.c.} \end{cases}$$

onde c é uma constante. Tal modificação foi proposta levando em consideração casos onde $y_b = y_r$, que na fórmula original resultam em $FA = 0$. Tal condição ocorre em situações onde o jogador possui grande domínio de bola, tais como a de cobrança de pênalti, e que portanto deveriam ter um valor de FA elevado.

O método de inferência de regras escolhido foi o máx-min, ou seja, o uso do máximo na composição e do mínimo na agregação. Foi utilizada a média dos máximos para realizar a defuzzificação.

A saída do Fuzzy-SBR é um valor entre 0 e 4. Na estratégia, verifica-se qual é o número inteiro mais próximo do valor de saída. Este número determinará qual será o comportamento realizado.

3.2 Modelagem dos Comportamentos

Nesta sub-seção, será descrito como cada comportamento é modelado, ou seja, como são as forças atrativas, repulsivas, constantes, e tomadas de decisão mais simples dentro destes comportamentos, como por exemplo, se posicionar para chutar a gol caso não esteja em uma posição adequada. Excetuando-se o comportamento de Defender, todos os demais envolvem a aplicação de forças repulsivas a partir da posição dos demais jogadores.

Defender: Trata-se de um comportamento utilizado para proteger o gol. Este comportamento é ativado em casos no qual é muito difícil dominar a bola, o jogador está na área de defesa e um adversário está vindo. É o único comportamento que o goleiro executa. Trata-se de um comportamento muito simples, que envolve apenas exercer força atrativa em direção à bola. As coordenadas do ponto onde a força atrativa é exercida são limitadas à área do goleiro, de modo a evitar que ele fuja de sua região.

Interceptar: Este comportamento modela o equivalente robótico do “zagueiro do futebol tradicional”, cujo objetivo é apenas evitar que a bola avance em direção ao próprio gol. Ele é bastante similar ao comportamento de defesa, com a diferença que não exige que o jogador esteja na área próxima ao gol. Caso a posição da bola no eixo x seja maior que a do jogador, ele apenas se movimentará no eixo y . Caso contrário, a força atrativa será exercida de modo a posicionar o jogador em um local que permita a interceptação da bola.

Passar: Este comportamento consiste em, dado que o robô tenha a bola dominada, passá-la a um outro robô. Isto é feito verificando, inicialmente, se o robô está posicionado de modo que se ele for em direção à bola, ela será empurrada até uma posição à frente do jogador que receberá a bola. Tal verificação é realizada a partir da equação da reta entre a bola e a posição desejada: um ponto anterior ao da bola que seja pertencente a esta reta receberá a força atrativa caso o robô não esteja posicionado. O mesmo recurso é utilizado para verificar a posição dos próximos comportamentos. Para evitar que o robô empurre a bola durante o posicionamento para o passe, é aplicada uma força repulsiva na própria bola.

Driblar: O comportamento de drible visa carregar a bola em direção ao gol. Aqui, é estabelecido um ponto da reta entre a bola e o centro do gol que seja anterior ao da bola para a verificação e eventual aplicação de forças atrativas. Caso o robô esteja posicionado corretamente, a força atrativa estará na bola.

Chutar: O comportamento de chute é o que determina como colidir com a bola de modo a marcar um gol. É muito parecido com o comportamento de drible, com poucas diferenças. A mais notável está no aumento das forças atrativas e repulsivas, isto é, no aumento de forças atrativas porque o robô precisa atingir a bola com uma velocidade maior para dificultar a defesa da equipe adversária, e no aumento das repulsivas para fazer um direcionamento afastando-se dos robôs defensores.

3.3 Estratégias propostas

A partir do modelo proposto, foram desenvolvidas três estratégias de jogo, cuja diferenciação está somente na base de regras que cada uma utiliza.

A primeira delas, a Estratégia Equilibrada, possui uma base de regras *fuzzy* que procura mesclar um comportamento ofensivo e defensivo equilibrado. A Tabela 1 mostra a base de regras adotada.

Tabela 1: Base de Regras da Estratégia Equilibrada.

FD = Baixo			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Defender	Interceptar	Interceptar
Médio	Interceptar	Passar	Driblar
Alto	Passar	Driblar	Driblar
FD = Médio			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Defender	Interceptar	Interceptar
Médio	Interceptar	Driblar	Driblar
Alto	Passar	Chutar	Chutar
FD = Alto			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Passar	Driblar	Driblar
Médio	Driblar	Driblar	Chutar
Alto	Driblar	Chutar	Chutar

A Estratégia Ofensiva, por sua vez, visa chutes a gol em muitas situações ofensivas e até mesmo em diversas situações do meio-de-campo caso esteja em condições favoráveis de domínio de bola. Não há chamada ao comportamento de Defesa, tornando o mesmo utilizado somente pelo goleiro. Na Tabela 2, a base de regras desta estratégia é apresentada.

O foco da Estratégia Defensiva é diferente: ela procura utilizar o passe e a interceptação em várias situações, somente usando o chute a gol propriamente dito quando em condições excelentes. Muitos dos ataques envolvem uma jogada de contra-ataque (como consequência de um passe, por exemplo) e gols gerados a partir do comportamento de drible. A sua base de regras está representada na Tabela 3.

4. RESULTADOS

Foram realizados diversos jogos entre cinco estratégias de jogo a partir do Simulador USPDroidsSS:

- Uma estratégia “naive”, a Random, que movimenta os agentes de maneira aleatória;
- A estratégia vice-campeã da LARC 2010, desenvolvida pela equipe USPDroids;

Tabela 2: Base de Regras da Estratégia Ofensiva.

FD = Baixo			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Interceptar	Interceptar	Driblar
Médio	Interceptar	Driblar	Passar
Alto	Driblar	Passar	Passar
FD = Médio			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Driblar	Driblar	Passar
Médio	Passar	Chutar	Chutar
Alto	Passar	Chutar	Chutar
FD = Alto			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Passar	Passar	Passar
Médio	Passar	Chutar	Chutar
Alto	Passar	Chutar	Chutar

Tabela 3: Base de Regras da Estratégia Defensiva.

FD = Baixo			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Defender	Defender	Interceptar
Médio	Defender	Interceptar	Passar
Alto	Interceptar	Passar	Passar
FD = Médio			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Defender	Interceptar	Passar
Médio	Interceptar	Passar	Driblar
Alto	Passar	Driblar	Driblar
FD = Alto			
$FC \setminus FA$	Baixo	Médio	Alto
Baixo	Passar	Passar	Driblar
Médio	Passar	Driblar	Driblar
Alto	Driblar	Driblar	Chutar

- As estratégias Equilibrada, Ofensiva e Defensiva propostas neste trabalho.

Cada estratégia realizou 10 jogos contra cada uma das outras estratégias. Na Tabela 4, os resultados de todos os jogos realizados são apresentados. Na Tabela 5, são apresentados somente os resultados das estratégias propostas em jogos contra a equipe USPDroids.

Tabela 4: Resultados dos jogos entre todos os times

Estratégia	Vitórias	Empates	Derrotas	Gols Pró	Gols Contra	Saldo de Gols
Ofensiva	27	4	9	389	54	335
Equilibrada	26	4	10	327	83	244
Defensiva	20	4	16	367	85	282
USPDroids	17	6	17	281	103	178
Random	0	0	40	20	1061	-1041

Os resultados indicam que as estratégias propostas obtiveram bons resultados, vencendo mais partidas do que a estratégia da equipe USPDroids, vice-campeã de 2010 na categoria Very Small Size. Na Tabela 4, podemos observar que a estratégia Random não venceu nenhuma disputa, e que no quadro geral o desempenho da estratégia Defensiva foi levemente superior ao da estratégia USPDroids. Tanto na Tabela 4 quanto na Tabela 5 podemos notar que o desempenho das estratégias Ofensiva e Equilibrada foram superiores aos demais, com uma vantagem significativa de saldo de gols para a estratégia Ofensiva, o que indica que o comportamento de Interceptar foi mais adequado para ações defensivas do que o comportamento de Defender, que

Tabela 5: Desempenho das estratégias propostas contra a estratégia do time USPDroids

Estratégia	Vitórias	Empates	Derrotas	Gols Pró	Gols Contra	Saldo de Gols
Ofensiva	7	2	1	33	9	24
Equilibrada	6	2	2	39	10	29
Defensiva	4	2	4	27	27	0

sequer é previsto na base de regras desta estratégia, além de indicar que o comportamento Chutar é, de fato, mais indicado para a finalização em si do que o comportamento Driblar.

Os resultados da estratégia Defensiva foram inferiores aos das demais, que ocorreu devido a uma deficiência do comportamento Defender detectada durante os testes: muitas vezes, ao realizar o comportamento, o jogador bloqueia a ação do goleiro, dificultando o acesso do mesmo à bola. Outra deficiência encontrada foi a interferência de papéis entre os próprios jogadores da equipe. Quando ambos os jogadores desejam driblar, por exemplo, as forças repulsivas exercidas dificultam o acesso dos jogadores à meta, chegando a provocar em alguns casos um mínimo local.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi proposto um modelo de estratégia de jogo para a categoria IEEE Very Small que utiliza um Sistema Baseado em Regras *Fuzzy* para a tomada de decisão dos agentes, com um planejamento de rotas baseado em Campos Potenciais. Foram propostas, também, alterações na proposta de Wu e Lee, com o uso de um *Fuzzy*-SBR do tipo Mamdani e alterações em dois dos três parâmetros de entrada do mesmo.

Os resultados foram muito satisfatórios: as três estratégias desenvolvidas a partir do modelo proposto conseguiram resultados superiores aos de uma equipe que foi vice-campeã da LARC 2010.

Como continuidade deste trabalho, pretende-se exportar tal estratégia de jogo para outras categorias de Futebol de Robôs, além elaborar um *Fuzzy*-SBR que decida jogadas em conjunto ao invés de decisões individuais, buscando de uma melhor colaboração entre os agentes. Outro plano é adaptar a estratégia de jogo para resolver outros problemas, tais como exploração de ambientes e entrega de documentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Stone and M. Veloso. “Task Decomposition and Dynamic Role Assignment for Real - Time Strategic Teamwork”. In *Intelligent Agents V: Agents Theories, Architectures, and Languages*, edited by J. Müller, A. Rao and M. Singh, volume 1555 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 293–308. Springer Berlin / Heidelberg, 1999.
- [2] M. Jung, H. Kim, H. Shim and J. Kim. “Fuzzy rule extraction for shooting action controller of soccer robot”. volume 1, pp. 556–561, 1999.
- [3] H.-P. Huang and C.-C. Liang. “Strategy-based decision making of a soccer robot system using a real-time self-organizing fuzzy decision tree”. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 127, no. 1, pp. 49–64, 2002.
- [4] K. Jolly, R. S. Kumar and R. Vijayakumar. “Intelligent task planning and action selection of a mobile robot in a multi-agent system through a fuzzy neural network approach”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 23, no. 6, pp. 923–933, 2010.
- [5] I. Sulistijono, O. Setiaji, I. Salfikar and N. Kubota. “Fuzzy walking and turning tap movement for humanoid soccer robot EFuRIO”. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)*, pp. 1–6, 2010.
- [6] O. Morandin Jr, V. F. Caridá, E. Reis Rodrigues Kato and M. A. d. S. Fonseca. “A Hierarchical Fuzzy Rule-Based Building Model applied to a AGV Dispatching System in an FMS”. 2011.
- [7] C.-J. Wu and T.-L. Lee. “A Fuzzy Mechanism for Action Selection of Soccer Robots”. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 39, pp. 57–70, 2004.
- [8] A. L. F. Perez, G. U. Comerlato, J. G. Silveira, M. G. de Faria, G. Bittencourt and M. Roisenberg. “Arquitetura de Controle do Time de Futebol de Robôs UFSC-Team Categoria Very Small”. 2006.
- [9] W. C. Silva, R. Montanari, D. T. Doi, M. O. Silva and R. A. Romero. “USPDroidsSS Robot Soccer Simulator for Very Small Size Category”. *Latin American Robotics Symposium and Intelligent Robotics Meeting*, vol. 0, pp. 138–143, 2010.
- [10] L. Zadeh. “Fuzzy sets”. *Information and Control*, no. 8, pp. 338–353, 1965.

- [11] A. K. Mackworth. “On seeing robots”. In *Computer Vision: Systems, Theory, and Applications*, pp. 1–13. World Scientific Press, 1998.
- [12] IEEE. *Rules for IEEE Very Small Competition*, first edition. <http://www.cbr10.fei.edu.br/IEEEVerySmall.htm> (Mar. 2011).
- [13] “QT: cross-platform application and UI framework”. <http://qt.nokia.com/products/> (Mar. 2011).
- [14] R. Smith. *Open Dynamics Engine*, 2010. <http://www.ode.org/> (Mar. 2011).
- [15] S. M. and G. Kang. “Fuzzy Modelling and Control of Multilayer Incinerator”. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 18, pp. 329–346, 1986.
- [16] P. King and E. Mamdani. “The application of fuzzy control systems to industrial processes”. *Automatica*, vol. 13, no. 3, pp. 235–242, 1977.