

OTIMIZANDO A ESTRATÉGIA QUALITATIVA EM TIMES DE FUTEBOL DE ROBÔS COM A APLICAÇÃO DO D-FCM

Data de aceite: 01/04/2024

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Gabriela Helena Bauab Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
DAELE-CP – Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/3301713295448316>

João Maurício Hypólito

Departamento Computação-FATEC
Ourinhos-SP
<http://lattes.cnpq.br/5499911577564060>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia
Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ
São Joao Del Rei - PR
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Industria Senai
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Luiz Francisco Sanches Buzzacchero

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica –
Daele
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1747856636744006>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica –
Daele
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Guilherme Cyrino Geromel

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP
Piracicaba - SP
<http://lattes.cnpq.br/7535398878830738>

Michelle Eliza Casagrande Rocha

Egresso Universidade Norte do Paraná – Unopar – Kroton
Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/4411484670091641>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Faculdade de Tecnologia (FATEC) - Ourinhos -SP
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Ricardo Breganon

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/2441043775335349>

Augusto Alberto Foggiao

Departamento de Odontologia – UENP
Jacarezinho – Pr
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

André Luiz Salvat Moscato

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho
Jacarezinho - Pr
<http://lattes.cnpq.br/1744149363927228>

Iago Maranhão Machado

Acadêmico-PPGEM-CP - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica PP/CP
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/4733940365047328>

Miguel Angel Chincaro Bernuy

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/0848702819711420>

RESUMO: O objetivo e motivação deste trabalho é apresentar as vantagens da utilização da lógica fuzzy na estratégia de jogadores robóticos, em especial uma extensão dos mapas cognitivos fuzzy, mapas cognitivos dinâmicos, com algumas instanciações para clarificar a lógica de funcionamento. Controle fuzzy para navegação autônoma de robôs tem sido empregado em várias áreas como por exemplo, exploração, desarme de bombas, medicina, aplicações agrícolas, entre outras. O controle fuzzy pode desempenhar um papel fundamental na navegação desses robôs, ajudando-os a navegar com segurança e eficiência em diversas

situações tratando incertezas, aliás uma das vantagens de sistemas fuzzy. Os principais benefícios do controle fuzzy para navegação autônoma de robôs incluem: Adaptabilidade: A lógica fuzzy pode ser usada para se adaptar a diferentes condições das variáveis, como velocidade ou distância. Isso pode ajudar o robô a navegar com segurança e eficiência em vários ambientes. Robustez: Como citado, a lógica fuzzy é robusta a incertezas, como a localização de obstáculos, robôs do mesmo time ou adversários. Isso pode ajudar o robô a evitar colisões e completar com sucesso suas tarefas. Este trabalho conclui com uma conclusão e aborda pesquisas futuras.

PALAVRAS-CHAVE: Futebol de Robôs; Lógica Fuzzy; Robótica Autônoma; Controle Inteligente.

OPTIMIZING QUALITATIVE STRATEGY IN ROBOT FOOTBALL TEAMS WITH THE APPLICATION OF D-FCM

ABSTRACT: The objective and motivation of this work is to present the advantages of using fuzzy logic in the strategy of robotic players, in particular an extension of fuzzy cognitive maps and dynamic cognitive maps, with some instantiations to clarify the operating logic. Fuzzy control for autonomous robot navigation has been used in several areas, such as exploration, bomb disposal, medicine, and agricultural applications. Fuzzy control can play a fundamental role in the navigation of these robots, helping them navigate safely and efficiently in different situations while dealing with uncertainties, which is, in fact, one of the advantages of fuzzy systems. The main benefits of fuzzy control for autonomous robot navigation include Adaptability: Fuzzy logic can be used to adapt to different conditions of variables, such as speed or distance. This can help the robot navigate safely and efficiently in various environments. Robustness: As mentioned, fuzzy logic is robust to uncertainties, such as the location of obstacles, robots from the same team, or opponents. This can help the robot avoid collisions and complete its tasks. This work concludes with a conclusion and addresses future works.

KEYWORDS: Robot Soccer, Fuzzy Logic, Autonomous Robotics, Intelligent Control.

INTRODUÇÃO

Seres humanos demonstram uma notável habilidade para lidar com processos de alta complexidade, frequentemente baseados em informações imprecisas e aproximadas. A estratégia adotada nesses casos também é de natureza imprecisa e geralmente pode ser expressa em termos linguísticos. Assim, através dos conceitos da lógica fuzzy, torna-se viável modelar esse tipo de informação (MENDONÇA et al, 2013).

Por outro lado, informações também podem ser derivadas a partir dos dados operacionais e/ou do funcionamento de um sistema. Essa manipulação é realizada através de técnicas de identificação e modelagem (PASSINO; YOURKOVICH, 1997). Entre essas técnicas, as redes neurais se destacam pela capacidade de processar grandes volumes de dados de forma paralela (HAYKIN, 2000).

Entretanto, o mapa cognitivo fuzzy (FCM), uma ferramenta para modelagem do conhecimento humano, obtido através de termos linguísticos, apresenta uma estrutura

semelhante à das Redes Neurais Artificiais (RNA), facilitando o tratamento de dados e possuindo capacidade de treinamento e adaptação. Nesse contexto, um FCM pode ser considerado um modelo híbrido, combinando duas abordagens em sistemas inteligentes, com um forte componente de iteração, no qual as estruturas das áreas de origem não podem ser identificadas e separadas, apenas a semântica de construção.

Além das vantagens e características das técnicas primárias, o FCM foi originalmente proposto como uma ferramenta para construção de modelos e/ou mapas cognitivos em diversas áreas do conhecimento. Isso sugere que essa técnica confere uma facilidade na abstração de informações necessárias para a modelagem de sistemas complexos, devido à sua semelhança de construção com o raciocínio humano.

Assim, os mapas cognitivos fuzzy agregam vantagens de aquisição, tratamento e capacidade de adaptação a partir de dados e informações do sistema a ser modelado, com uma capacidade inteligente de tomada de decisão devido à sua natureza heurística. Essas características os tornam, a princípio, adequados para o desenvolvimento de sistemas inteligentes de controle e automação. O uso do D-FCM (*Dynamic Fuzzy Cognitive Maps*) na estratégia qualitativa de um time de futebol de robôs representa um avanço significativo. Esta abordagem, fundamentada em Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos, destaca-se por sua capacidade de aprimorar a tomada de decisões no ambiente complexo e dinâmico do futebol robótico.

A aplicação do D-FCM permite uma análise mais precisa e adaptativa das condições de jogo, capacitando o time a ajustar estratégias de maneira inteligente em tempo real. Assim, essa metodologia demonstra ser uma ferramenta valiosa para otimizar o desempenho e a eficiência do time, contribuindo para um melhor aproveitamento das habilidades dos robôs em campo. Aplicações correlatas empregando FCM (*Fuzzy Cognitive Maps*) pode ser conferida no trabalho de Case e Stylios (2016).

A origem dos FCM) está nos mapas cognitivos que foram inicialmente propostos por Axelrod (1976) para representar palavras, ideias, tarefas ou outros itens ligados a um conceito central e dispostos radialmente em volta deste conceito. São diagramas que representam conexões entre porções de informação sobre um tema ou tarefa. Os elementos são arranjados intuitivamente de acordo com a importância dos conceitos Kosko (1986). Eles são organizados em grupos, ramificações ou áreas.

FCMS tem aplicações em diferentes áreas de conhecimento: como por exemplo, médica Stylios et al. (2008), controle de processos em engenharia Papageorgiou et al. (2005), entre outras. A proposta desse trabalho é uma evolução do FCM clássico de Kosko, Chamado de *Dynamic-FCM* (D-FCM), e variação da DCN (*Dynamic Cognitive Networks*) Mendonça et al. (2013). Entretanto, existem outras evoluções na literatura, nesse contexto, pode-se citar o trabalho Papageorgiou e Salmeron (2013).

DESENVOLVIMENTO

Diversos módulos compõem o sistema de um time de futebol robôs, os principais são: visão, estratégia, controle. Os módulos de visão e controle são responsáveis pela aquisição de dados e ações de controle do sistema. O módulo de estratégia define, para cada robô, uma posição alvo - posição a ser atingida no campo e respectivas velocidades e orientação associadas para que estes dados possam ser traduzidos em termos de velocidades e sentido de rotação dos motores que comandam as rodas dos robôs. A definição da posição alvo depende do estado do jogo e dos comportamentos associados a cada robô.

O principal desafio do futebol de robôs é analisar o ambiente em tempo real, e tomar as decisões corretas para executar as ações necessárias ao objetivo do jogo. Como por exemplo, assumir o controle da bola durante o jogo.

A estratégia empregada para construção de uma D-FCM para o futebol de robôs, desenvolvida aqui, é baseada no trabalho de Costa e Pegoraro (2000) que modela o problema através de uma máquina de estado capaz de tomar as decisões do time.

A lógica a ser modelada é desenvolvida para dois jogadores de linha e um goleiro e é implementada através de ações simples tais que ir a determinado ponto do campo ou seguir a bola. A estratégia global é formada por uma composição dessas estratégias mais simplificadas; com base na situação do jogo. As funções de cada jogador variam de acordo com a sua posição em campo e variáveis globais como posição dos jogadores do outro time. O goleiro deve permanecer na área do gol e tem como objetivo evitar que a bola passe da linha que limita o gol se locomovendo lateralmente. O jogador de linha pode funcionar como zagueiro se estiver posicionado no seu campo defensivo ou como atacante se estiver no campo adversário. O zagueiro tem a função de evitar que algum jogador adversário se aproxime do gol com a bola sob controle. Já o atacante tem a função de recuperar a bola e conduzi-la até o gol do adversário, tomando decisões de qual ângulo e com que intensidade chutará a bola em direção ao gol. Por simplicidade de funcionalidades, quando um jogador ataca o outro defende.

De acordo com a estratégia apresentada, a heurística de controle para um mesmo jogador que pode atuar como atacante ou como zagueiro corresponde passo a passo à seleção de uma das ações listadas a seguir:

- Caminhar em direção ao gol;
- Caminhar junto com a bola (bola com o jogador);
- Ir para a posição de ataque;
- Ir para a posição de defesa;
- Ir de encontro da bola.

A figura 1 mostra o D-FCM que modela a estratégia de um jogador de linha.

Os conceitos em azul claro são as variáveis de entrada, para diferenciação os conceitos em azul escuro representam as saídas que são as tomadas de decisões e os conceitos em vermelho claro representam conceitos de seleção. Observa-se que esses conceitos de seleção poderiam também ser tratados como conceitos de fator binário, onde o fator assume valores (0 ou 1). Os arcos (azul contínuo) representam as relações causais. Os arcos (vermelho tracejado) representam as relações de seleção, e indicam os antecedentes (variáveis ou conceitos de entrada), e os seus consequentes (variáveis ou conceitos de saída).

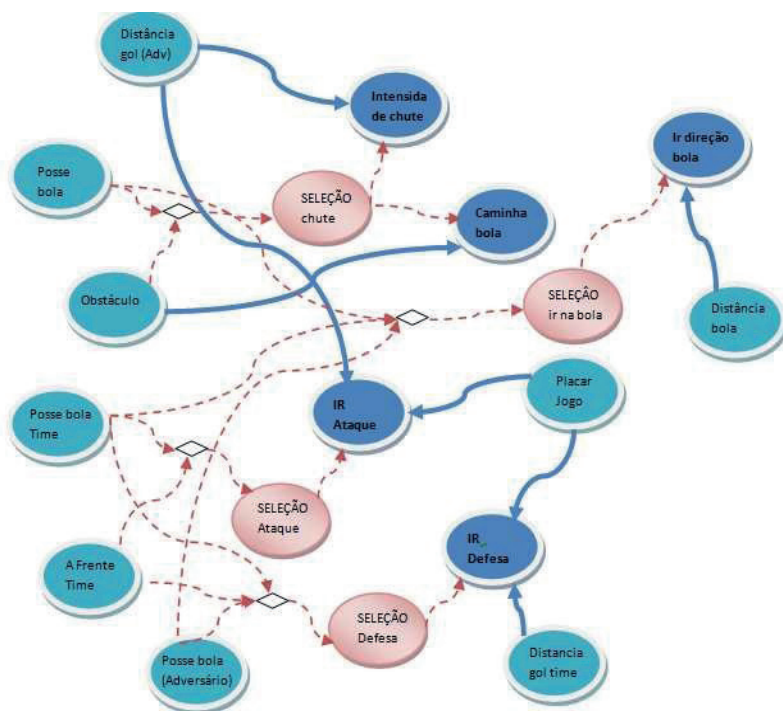


Figura 1. Estratégia robôs (D-FCM).

De um modo geral, a arquitetura proposta pode ser dividida em dois níveis. No nível mais baixo (nível 1, azul), as relações causais representam ações que estão sempre ocorrendo, por exemplo, a influência da variável (conceito) placar do jogo que tem função de incentivar o ataque e/ou defesa do jogador em qualquer circunstância. O quanto o placar do jogo influencia na tática de ataque ou defesa do time será decidido pelo especialista e será o peso da relação causal, que neste caso poderia ser “fraca”. Além do peso deve se definir se a relação tem uma influência “positiva”, por exemplo, na ação ir para defesa e “negativa” para a ação ir ao ataque.

No nível mais alto (nível 2, vermelho), a estratégia é mais elaborada e ocorre em situações específicas e são modeladas pelas relações de seleção. Como o próprio nome sugere, essas relações selecionam qual a ação deverá ser executada e, deste modo caracteriza a ocorrência de eventos. Lembrando que, raciocinar por eventos é uma maneira alternativa de representar o tempo Coppin (2010).

RESULTADOS

A tomada das ações é executada de acordo com uma base de regras modeladas por implicações linguísticas. Por exemplo, a ação de chutar a bola é definida pela seguinte regra.

- **Se** o jogador tem “posse bola” e “não tem obstáculo” **então** “chuta”;

A intensidade do chute será o valor do conceito que é calculado de acordo com a distância ao do gol adversário e peso da relação causal, que neste caso deve ser “positiva” e “forte”. Porém caso o jogador tenha a posse de bola e tenha um obstáculo a frente, a seguinte regra será acionada.

- **Se** jogador tem “posse bola” e “tem obstáculo” **então** “caminha com a bola”;

A velocidade que o jogador caminha com a bola dominada será determinada de maneira análoga por outro conjunto de regras. Essas regras consideram a distância do outro jogador (obstáculo), e a respectiva intensidade da relação causal. Outro exemplo para melhor ilustrar a lógica da D-FCM é a tomada de decisão de ir ao encontro da bola. Nesse caso, o conceito de seleção usa a seguinte regra:

- **Se** o jogador não tem “posse bola” e “jogador do mesmo time não tem posse bola” e jogador adversário não tem posse bola” **então** “ir em direção da bola”;

A velocidade com que o jogador vai ao encontro da bola será o valor do conceito “ir direção bola” calculado de acordo com o valor do conceito de entrada “distância do jogador” e da respectiva relação causal que deveria ser “positiva,” “média” ou “pouco forte”. De maneira análoga, considerando as regras, as relações causais e os valores atribuídos aos conceitos, são realizadas as execuções das outras ações modeladas no D-FCM.

De um modo geral:

O texto descreve um sistema de tomada de decisão em um contexto esportivo, especificamente relacionado ao comportamento de um jogador em uma partida de futebol. O sistema parece ser baseado em uma lógica difusa (D-FCM), que utiliza regras e implicações linguísticas para guiar as ações do jogador.

Regras de Tomada de Decisão: O sistema utiliza regras condicionais para tomar decisões sobre as ações do jogador. Essas regras consideram fatores como posse da bola, obstáculos e ações dos outros jogadores.

Lógica Fuzzy, por meio de um (D-FCM): O uso de conceitos como “positivo”, “forte”, “médio” e “pouco forte” sugere a presença de lógica difusa para lidar com a incerteza e a imprecisão nas relações causais e nos valores dos conceitos.

Variáveis de Decisão: O sistema considera variáveis como distância ao gol adversário, presença de obstáculos e ações dos jogadores do mesmo time e adversários. Essas variáveis são usadas para calcular a intensidade das ações, como a força do chute ou a velocidade ao ir em direção à bola.

Hierarquia de Decisões: O texto indica uma hierarquia de decisões, onde certas condições precisam ser atendidas antes que uma ação específica seja tomada. Por exemplo, o jogador só chuta se tiver posse da bola e não houver obstáculos.

Adaptação Dinâmica: O sistema parece levar em consideração a dinâmica do jogo, ajustando a intensidade das ações com base em fatores como a distância ao gol, obstáculos e ações dos outros jogadores.

Em resumo, o texto descreve um sistema inteligente de tomada de decisão para um jogador de futebol, onde as ações são governadas por regras baseadas em lógica difusa e adaptadas dinamicamente às condições do jogo.

CONCLUSÕES

Os resultados, embora ainda estejam em estágios iniciais e sejam qualitativos são promissores e sugerem que o D-FCM apresenta uma estratégia plausível, caracterizada por uma capacidade de modelagem dinâmica multiobjetiva para cada jogador em um time de futebol de robôs. Este estudo sugere que a abordagem proposta pode ser aplicada tanto em simulações quanto incorporada em equipes reais de futebol de robôs. Entre as vantagens observadas destaca-se a modelagem de conhecimento heurístico de maneira estruturada, associada a uma baixa complexidade computacional.

Futuros trabalhos endereçam validar e testar essa estratégia em experimentos simulados e ou embarcados.

REFERÊNCIAS

AXELROD, Robert. **Structure of Decision**: The Cognitive Maps of Political Elites. New Jersey: Princeton University Press, 1976.

CASE, D. M.; STYLIOS, C. D. **Fuzzy Cognitive Map to model project management problems**. In: Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS), TX, USA. Proceedings. El Paso, TX, USA: NAFIPS, 2016. p. 1-6. DOI: 10.1109/NAFIPS.2016.7851612.

COPPIN, B. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2010.

COSTA, Anna Helena Reali; PEGORARO, Ricardo. **Construindo robôs autônomos para partidas de futebol**: o time GUARANA. SBA Controle & Automação, Campinas, v. 11, n. 3, p. 141-149, set./dez. 2000.

HAYKIN, S. *Redes neurais, princípios e prática*, 2. ed. São Paulo: Bookman, 2000.

KOSKO, Bart. **Fuzzy Cognitive Maps**. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, vol. 24, pp. 65-75.

MENDONÇA, M.; ANGÉLICO, B. A.; ARRUDA, L. V. R.; NEVES, F. Jr. **A Subsumption Architecture to Develop Dynamic Cognitive Network-Based Models with Autonomous Navigation Application**. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 1, pp. 3–14, 2013.

PASSINO, M. K.; YOURKOVICH, S. **Fuzzy control**. Menlo Park: Addison-Wesley, 1997.

PAPAGEORGIU, Elpiniki I.; PARISOPOULOS, Konstantinos E.; STYLOS, Chrysostomos S.; GROUMPOS, Petros P.; VRATHATIS, Michael N. **Fuzzy cognitive maps learning using particle swarm optimization**. *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 95-121, 2005.

PAPAGEORGIU, Elpiniki I.; SALMERON, Juan Luis. **A Review of Fuzzy Cognitive Maps Research During the Last Decade**. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 66-79, Feb. 2013.

STYLIOU, C. D.; GEORGEPOULOS, V. C.; MALANDRAKI, G. A.; CHOULIARA, S. **Fuzzy cognitive map architectures for medical decision support systems**. *Applied Soft Computing*, v. 8, n. 3, p. 1243-1251, Jun. 2008.