

Projeto de implementação da estratégia para robôs virtuais no simulador FIRASim utilizando Campos Potenciais Artificiais

Murilo Gonçalves¹, Heigon A. S. Pires¹, Rodrigo O. Caus², Bruno C. Holanda³, Paulo Grego³

Abstract—Este *Team Description Paper* (TDP) tem como objetivo apresentar o desenvolvimento do projeto futebol da categoria IEEE *Very Small Size Soccer*, pelo Grupo Estudos em Robótica (GER) da Unicamp, com o intuito de participar da Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica (LARC) de 2020. O projeto consiste na implementação da comunicação remota e estratégia para que um time de três jogadores dispute uma partida de futebol virtual, dentro do simulador FIRASim, conforme as regras estabelecidas. Para tal, é utilizado um cliente que se comunica com o simulador, enviando comandos para que os três robôs executem a estratégia esperada.

I. INTRODUÇÃO

Já há mais de uma década, o futebol de robôs tem sido tomado como referência para o estudo da robótica, devido à sua complexidade e abrangência de diversos assuntos dentro da robótica. Lund e Pagliarini in Asada e Kitano (1999) [1] explicam a importância do desenvolvimento de projetos como este.

O futebol de robôs tem sido definido como um novo marco para a inteligência artificial (...). Em contraste com desafios anteriores de inteligência artificial, a exemplo do xadrez, o futebol de robôs é um jogo dinâmico e físico, em que o controle em tempo real é essencial. (...) Em geral, acredita-se que a participação no futebol de robôs proporciona a ambos estudantes e pesquisadores conhecimento sobre a importância da concretização e sobre os problemas a que abstrações infundadas podem levar.

Nesse sentido, a Competição Latino-Americana e Brasileira de Robótica (LARC) permite a estudantes e pesquisadores participar em diversas categorias de competição. Dentre elas, a categoria IEEE *Very Small Size Soccer* propõe a disputa de uma partida de futebol entre dois times de três jogadores autônomos, cada um de até 7,5cm x 7,5cm x 7,5cm.

Para o desenvolvimento do projeto, a equipe utiliza três robôs, um computador e uma câmera. A câmera, posicionada acima do campo, deve captar as imagens e enviá-las a um computador, para que este realize seu processamento, reconhecimento de objetos no campo (limites do campo, posição e direção de cada jogador, posição da bola) e

definição de uma estratégia a ser seguida, enviando para cada robô informações da ação que deve tomar, através de comunicação por radiofrequência. Dessa forma, a partida é disputada autonomamente, isto é, sem intervenção humana. Um esquema do sistema geral de jogo e a arquitetura utilizada pela equipe são apresentados a seguir.

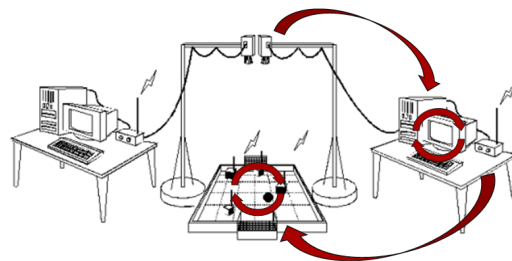


Fig. 1. Esquema do sistema geral do jogo (adaptado de [2]).

Com o fim de simular este ambiente do jogo de futebol de robôs, foi desenvolvido o *software* FIRASim pelo Parsian SSL Team com contribuição do grupo de pesquisa RobôCIn [3]. O simulador controla a mecânica do jogo, enviando para os times que se enfrentam as informações da visão que tradicionalmente seriam obtidas a partir da câmera, como posição e orientação dos robôs aliados e oponentes, e posição da bola no campo. Com essas informações, cada equipe é responsável por processar uma estratégia e enviar ao simulador comandos para as rodas de cada um dos três robôs, o que seria tradicionalmente feito através da comunicação por radiofrequência.

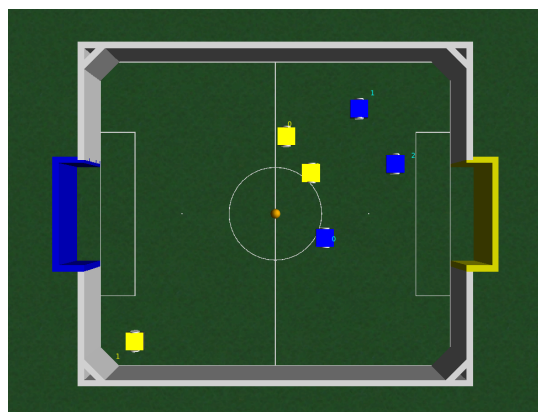


Fig. 2. Captura do simulador FIRASim. O campo é orientado a partir do centro, com crescimento de x na direção do gol amarelo e da orientação em relação à abscissa no sentido anti-horário.

¹M. Gonçalves e são do Instituto de Computação (IC) da Unicamp. Av. Albert Einstein, 1251. Cidade Universitária, Campinas, SP.

² R.O. Caus é da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC) da Unicamp, Av. Albert Einstein, 400, Cidade Universitária, Campinas, SP.

³B. C. Holanda e P. Grego são da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Unicamp, Rua Mendeleev, 200 Cidade Universitária, Campinas - SP CEP 13083-860

Email: contato@gerunicamp.com.br

O objetivo do projeto é desenvolver um tal sistema, uma estratégia e um time de robôs capazes de jogar futebol de forma cooperativa e autônoma, ou seja, sem intervenção humana. A cooperação entre robôs em um sistema multiagente é de grande importância para a robótica inteligente, pois permite que ações coordenadas sejam tomadas em prol da resolução de um problema em comum - no caso, marcar gols e impedir que o adversário o faça. Este documento apresenta um projeto de estratégia utilizando Campos Potenciais Artificiais.

O Grupo de Estudos em Robótica é formado por alunos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), uma entidade extracurricular associada à Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) e que conta com membros de diversos cursos de graduação da universidade. No projeto de futebol de robôs IEEE-VSSS participam atualmente alunos de Engenharia de Computação e de Controle e Automação.

II. PROJETO DE ESTRATÉGIA BASEADA EM CAMPOS POTENCIAIS ARTIFICIAIS

O projeto de uma estratégia consiste em determinar o comportamento de um robô com base em um estado de entrada. Tal comportamento atua em um sistema realimentado: o estado atual do jogo determina que saídas devem ser configuradas sobre os motores do robô, que o movimentam, gerando um novo estado do robô, que, em conjunto com as alterações de estado dos robôs oponentes e da bola, forma a entrada para a próxima iteração da estratégia.

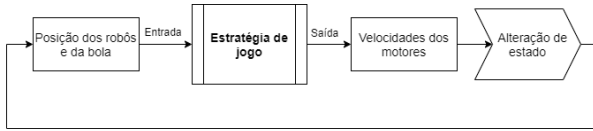


Fig. 3. Dinâmica da estratégia aplicada para cada robô em um sistema realimentado (adaptado de [4])

Entende-se que para o sucesso de uma estratégia em uma partida há dois objetivos principais a serem cumpridos: alcançar a bola e conduzi-la até o gol adversário. Para tanto, deve ser considerado um algoritmo de navegação capaz de implementar uma trajetória para cumprir tais objetivos evitando-se ao máximo a colisão com objetos no processo, como outros robôs no campo e as paredes. A principal ideia dos Campos Potenciais Artificiais é estabelecer um campo atrativo em torno do ponto de objetivo e campos repulsivos em torno dos obstáculos. Os campos somados resultam em um novo campo potencial ([5]):

$$U = \sum U_a + \sum U_r \quad (1)$$

O caminho resultante percorrerá a direção de decréscimo do potencial [6], isto é, a cada instante o robô será virtualmente conduzido pela força $\vec{F} = -\nabla U$.

A. CAMPO ATRATIVO À BOLA

O campo da bola ainda não está completamente implementado. Utilizaremos uma combinação de dois campos espirais

hiperbólicos para fazer com que o robô esteja sempre atrás da bola e em direção ao gol. Por hora, o campo da bola utilizado é apenas uma espiral hiperbólica com centro na posição da bola. A equação que descreve essa espiral é [7]:

$$\phi(pos, r) = \begin{cases} \theta \pm \frac{\pi}{2} \left(2 - \frac{r+k}{\rho+k}\right), & \text{se } \rho > r \\ \theta \pm \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\rho}{r}}, & \text{se } 0 \leq \rho \leq r \end{cases}$$

Onde:

- $V(d, r) = [\cos\phi, \sin\phi]^T$ é o vetor retornado pela função, utilizado para mover o robô,
- pos é a posição do robô,
- θ é o ângulo do eixo x na posição pos ,
- k é um parâmetro ajustável,
- ρ é a distância entre a origem 2e a posição pos ,
- r é o raio da espiral.

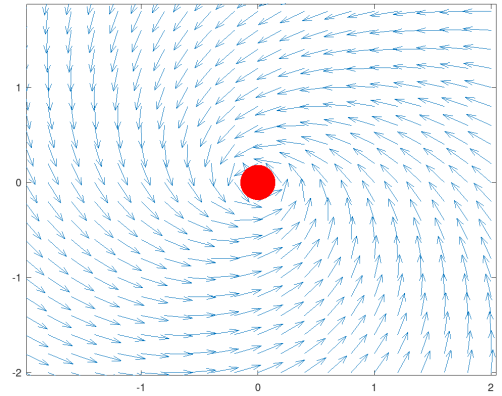


Fig. 4. Campo espiral hiperbólico com centro na bola.

Estamos trabalhando para implementar um campo combinado de duas espirais hiperbólicas, algo semelhante com a imagem abaixo.

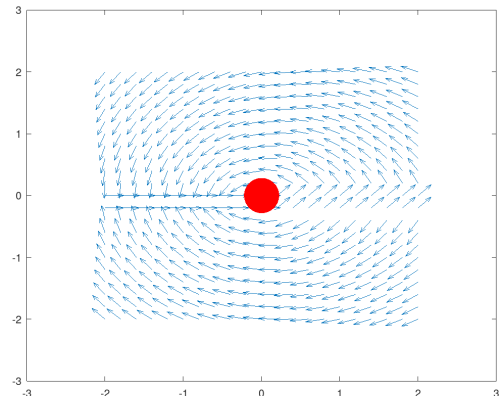


Fig. 5. Campo combinado de duas espirais hiperbólicas.

B. CAMPO REPULSIVO A JOGADORES

Além de perseguir a bola, nossos jogadores precisam ter como evitar contato com jogadores adversários. Para tal, aplicamos neles campos potenciais repulsivos, com a força sendo proporcional ao inverso do quadrado da distância d entre eles.

Sendo as coordenadas do robô alvo (x, y) , as coordenadas do centro do campo repulsivo (x_0, y_0) e raio r , temos que a distância d entre o jogador alvo e o adversário, assim como o ângulo θ em que se encontra, são obtidos pela seguinte equação [4]:

$$d^2 = (x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 \quad (2)$$

$$\theta = \text{atan} = \frac{y_0 - y}{x_0 - x} \quad (3)$$

Disso, para obtermos um vetor v definindo um campo repulsivo difuso com centro no robô adversário, aplicamos a seguinte relação, onde k é uma constante para regular a intensidade do campo:

$$v.x = -k \cdot \cos(\theta) / d^2 \quad (4)$$

$$v.y = -k \cdot \sin(\theta) / d^2 \quad (5)$$

Para incluir este campo repulsivo e o campo atrativo em relação à bola, como a somatória das forças que agem sobre o nosso jogador é uma operação linear, é válido o princípio da sobreposição.

$$\Delta x = \Delta o_x + \Delta g_x \quad (6)$$

$$\Delta y = \Delta o_y + \Delta g_y \quad (7)$$

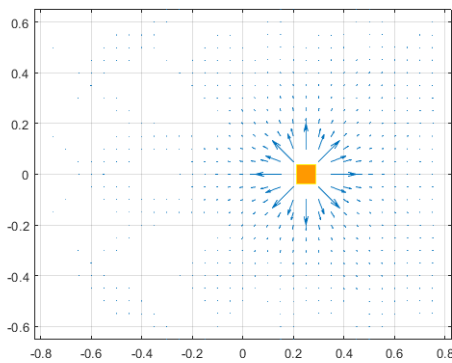


Fig. 6. Esquema de campo potencial repulsivo

C. CAMPO ATRATIVO AO GOL E REPULSIVO ÀS PAREDES

Os jogadores atacantes devem se direcionar ao gol adversário, assim que o campo atrativo da bola for suficientemente pequeno, para isso eles estarão submetidos a um campo potencial resultante da soma de dois outros. O primeiro é aplicado uniformemente ao longo do campo, paralelo ao eixo x e em direção ao gol adversário, atraindo os

jogadores ao gol. O outro é um campo repulsivo às paredes laterais, proporcional a posição y do jogador, repelindo o jogador mais intensamente quanto mais ele se afastar do centro.

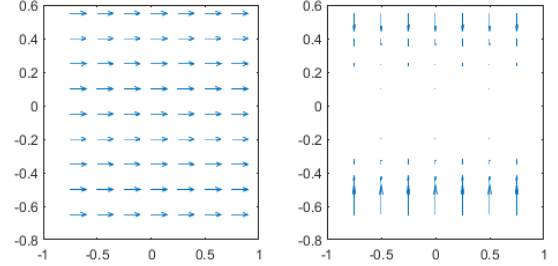


Fig. 7. Representação do campo atrativo ao gol a esquerda e o repulsivo às paredes a direita

Estabelecido ambos os campos e sobrepondo-os, resultará em um campo direcionado ao gol adversário com intensidade k , inferior a atração da bola e a repulsão dos jogadores adversários, para ainda ser primariamente atraído a bola e ser capaz desviar dos adversários enquanto se direciona ao gol, independentemente da posição atual.

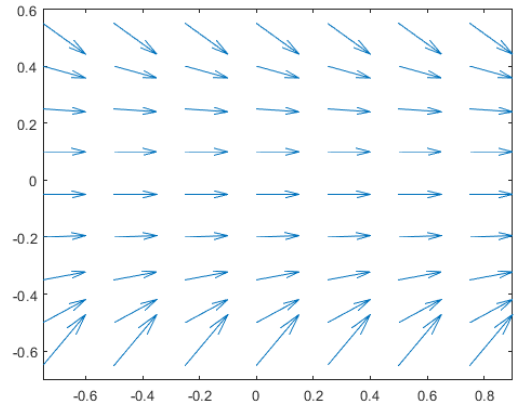


Fig. 8. Campo resultante direcionando os jogadores ao gol

D. RELAÇÃO DOS CAMPOS E AS VELOCIDADES DAS RODAS DO ROBÔ

A movimentação do robô é feita por um controlador de direção simples. Cada função dos respectivos campos potenciais (da bola, das paredes, etc) retorna um vetor (x, y) representando a força aplicada no robô pelo campo potencial. Os vetores retornados são somados, formando um vetor resultante na posição do robô. Para se mover, o robô interpreta esse vetor como um vetor de velocidade, comparando sua direção com a direção a ser seguida, da seguinte forma [9]:

$$v_l = k_{vel} \cdot \cos(\theta) + k_{vel} \cdot \sin(\theta)$$

$$v_r = k_{vel} \cdot \cos(\theta) - k_{vel} \cdot \sin(\theta)$$

Onde:

- v_l é a velocidade do motor da esquerda,
- v_r é a velocidade do motor da direita,
- θ é o ângulo formado pela orientação do robô e o vetor resultante dos campos potenciais e
- k_{vel} é uma constante multiplicativa.

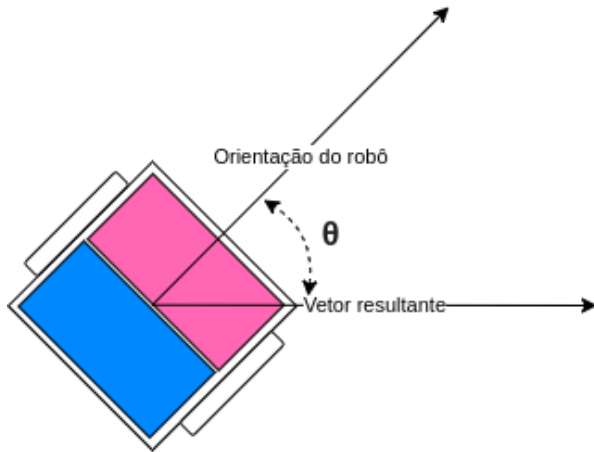


Fig. 9. Diagrama do estado do robô, com sua orientação atual, vetor resultante dos campos potenciais e θ .

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentamos um projeto de implementação de Campos Potenciais Artificiais para definir trajetórias de robôs com prevenção de colisão. Cada um dos campos introduzidos carrega parâmetros constantes que devem ser otimizados para o bom funcionamento da estratégia. Na literatura vê-se o emprego de técnicas de programação evolutiva ([6] e [7]) para otimização de parâmetros, bem como o emprego de outras técnicas inspiradas da natureza, como *particle swarm optimization*. Para o emprego de tais algoritmos é imprescindível a determinação de uma função de *fitness*, que qualifica a solução de uma determinada instância dos parâmetros em uma simulação transiente, com base na distância final do robô em relação ao objetivo, tempo para atingir os alvos, comprimento da trajetória, dentre outros aspectos que se deseja minimizar. O estudo desses algoritmos para a otimização da solução proposta é o próximo caminho que planejamos seguir.

Entendemos que a definição da trajetória do robô em relação ao objetivo é uma parte crucial da implementação da estratégia. No entanto, existem outros aspectos da estratégia que não apresentamos neste texto e que valem ser mencionados:

- O emprego do mesmo campo potencial para os três robôs pode ser prejudicial para o andamento do jogo. Os robôs devem se diferenciar em papéis, que podem ser definidos estaticamente (como goleiro, defensor, atacante, etc.) ou com base no estado atual de jogo (alternam-se as posições de papel defensivo ou ofensivo).
- Boa parte dos campos potenciais não levam em consideração a dinâmica do estado de jogo, isto é,

as velocidades e aceleração que os robôs e a bola possam ter. O emprego de algoritmos preditivos é uma forma de minimizar os efeitos da dinâmica de jogo sobre os parâmetros testados normalmente em condições estáticas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio dado pela Unicamp, pela FEEC (Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação), pela FEM (Faculdade de Engenharia Mecânica) e pelo IC (Instituto de Computação). Agradecemos também ao nosso professor orientador Tércio André dos Santos Barros.

REFERENCES

- [1] H. H. Lund; L. Pagliarini. Robot Soccer with LEGO Mindstorms. In: M. Asada; H. Kitano (Eds.). Robo Cup-98: Robot Soccer World Cup II. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milian; Paris; Singapore; Tokyo: Springer, 1999. p. 141-151.
- [2] Rules for the IEEE Very Small Competition: Version 1.0. In: 7th Latin American IEEE Student Robotics Competition. 2008. Disponível em: http://www.cbrobotica.org/wp-content/uploads/2014/03/VerySmall2009_ptbr.pdf. Acesso em: 30 jun. 2017.
- [3] Wiki do FIRASim. RobôCIn. 2020. Disponível em: <https://github.com/robocin/FIRASim/wiki>. Acesso em: 27 set. 2020.
- [4] Goodrich, M. A. Potential Fields Tutorial. 2014. Disponível em: <https://github.com/erceth/jsflags-ai/blob/master/potential%20fields.pdf>. Acesso em: 10 set. 2020.
- [5] Vadakkepat, P.; Lee, T. H.; Xin, L. Application of Evolutionary Artificial Potential Field in Robot Soccer System. Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore. IEEE: Singapore, 2001. p. 2781-2785.
- [6] Zhang, Q.; Chen, D.; Chen, T. An Obstacle Avoidance Method of Soccer Robot Based on Evolutionary Artificial Potential Field. In: International Conference on Future Energy, Environment, and Materials. Energy Procedia: 2012. p. 1792-1798.
- [7] Lim, Y. et al. Evolutionary Univector Field-based Navigation with Collision Avoidance for Mobile Robot. In: Proceedings of the 17th World Congress - The International Federation of Automatic Control. Seoul, Korea, July 6-11, 2008.
- [8] Hoang, T.T. et al. Proposal of Algorithms for Navigation and Obstacles Avoidance of Autonomous Mobile Robot. Department of Electronics and Computer Engineering University of Engineering and Technology Vietnam National University, Hanoi.
- [9] Bower, T. The Point Forward Steering Controller. Disponível em: http://faculty.salina.k-state.edu/tim/robot_prog/MobileBot/Steering/pointFwd.html. Acesso em 25 set. 2020.