

ESTRATÉGIAS COLABORATIVAS EM SISTEMAS MULTIRROBÔS

Daniel Giraldi Michels, Dieisson Martinelli, Vivian Cremer Kalempa

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) revolucionou a robótica ao permitir que robôs realizem tarefas complexas e imprevisíveis, superando as limitações dos sistemas tradicionais com comportamentos pré-programados (Adebayo; Ajayi; Chukwurah, 2024). Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias de navegação, manipulação e controle, tornou-se uma área promissora de pesquisa em IA (Costa; Ferdiansyah; Ariessanti, 2024).

Competições de futebol de robôs se destacam como ambiente ideal para estudar e validar essas estratégias, pois exigem que os agentes tomem decisões sequenciais em cenários de cooperação e competição, com regras complexas e dinâmicas imprevisíveis (Hong *et al.*, 2021; Spinelli *et al.*, 2024). O aprendizado por reforço (RL) tem se mostrado eficaz para a criar habilidades complexas, permitindo que os agentes aprendam por tentativa e erro sem programação explícita para cada situação (Abdelnabi; Rabadi, 2024).

Este trabalho se apresenta como uma contribuição ao *framework* rSoccer (Martins *et al.*, 2021) criado pela equipe RobôCIn, avançando na aplicação do RL em ambientes de robôs de Very Small Size Soccer (VSSS). Inicialmente, investigou-se a modificação da função de recompensa em um ambiente de agente único para incentivar a marcação de gols, mas os resultados não mostraram uma evolução consistente. Diante disso, o foco foi redirecionado para a criação de um novo ambiente multiagentes e uma nova arquitetura de treinamento adaptada ao algoritmo Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient (MADDPG). Para isso, o ambiente foi integrado ao PettingZoo, um *framework* utilizado para o desenvolvimento e padronização de ambientes de RL multiagentes, que organiza as interações entre agentes e permite um controle individualizado de cada robô. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um ambiente multiagentes no rSoccer, adaptado ao PettingZoo, para treinar robôs VSSS utilizando o algoritmo MADDPG e investigar sua eficácia na criação de estratégias colaborativas.

DESENVOLVIMENTO

A metodologia de treinamento foi construída de forma sistemática e iterativa, tendo como objetivo adaptar e aplicar o algoritmo MADDPG no ambiente de futebol de robôs VSSS. O trabalho partiu do *framework* rSoccer, que originalmente não suportava abordagens multiagentes, sendo necessário adaptá-lo para a estrutura PettingZoo, possibilitando o controle individualizado de cada robô.

O treinamento iniciou-se com uma configuração baseada no Deep Deterministic Policy Gradient (DPPG) em agente único, posteriormente substituída pelo MADDPG para permitir a interação simultânea de múltiplos agentes. A arquitetura implementada utilizou atores descentralizados, responsáveis pelas ações de cada robô, e um crítico centralizado, com acesso à visão global do jogo, fornecendo *feedback* de aprendizado consistente para toda a equipe.

O monitoramento do treinamento foi realizado com o TensorBoard, registrando métricas como a média móvel e a cumulativa de gols. Os modelos foram salvos periodicamente em arquivos *.pth*, um formato de arquivo padrão do *framework* PyTorch para modelos de redes neurais, enquanto os dados de progresso foram armazenados em arquivos *.pkl*, um formato de serialização de objetos Python, possibilitando a análise posterior do aprendizado.

RESULTADOS

Os resultados indicaram que a adaptação do rSoccer ao PettingZoo, em conjunto com o algoritmo MADDPG, estabeleceu um processo de aprendizado para a coordenação entre robôs, conforme ilustrado na Figura 1a. As métricas monitoradas no TensorBoard mostraram maior estabilidade e desempenho a longo prazo em relação à configuração inicial de agente único, conforme apresentado na Figura 1b.

A arquitetura ator-crítico mostrou-se eficaz ao fomentar a colaboração entre os agentes, permitindo a definição de estratégias coletivas emergentes. Esse fato confirma que o uso de abordagens multiagentes é adequado para cenários como o futebol de robôs VSSS, alinhando-se à literatura que destaca o RL como ferramenta para coordenação em sistemas complexos.

Como limitação, observa-se que os experimentos foram realizados exclusivamente em ambiente simulado, o que restringe a validação em cenários reais. Ainda assim, a metodologia proposta abre espaço para o desenvolvimento de estratégias mais sofisticadas e aplicáveis a situações reais de cooperação entre robôs.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho alcançou seu objetivo principal ao estabelecer uma metodologia eficaz para o aprendizado de estratégias de coordenação em um ambiente de robôs de futebol VSSS. A adoção da arquitetura MADDPG e da biblioteca PettingZoo validou um novo caminho de pesquisa para o desenvolvimento de comportamentos cooperativos. Os resultados obtidos confirmam a viabilidade da abordagem e reforçam seu potencial como base para pesquisas futuras.

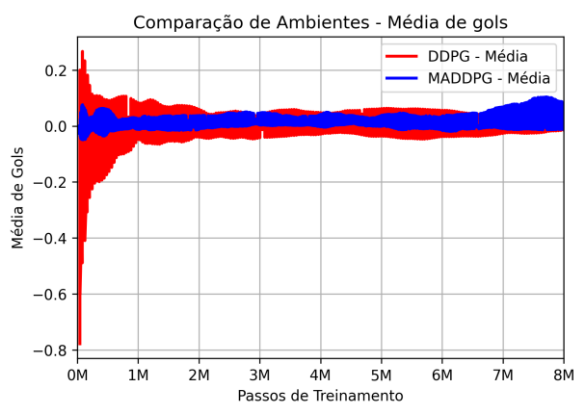
O projeto abre caminho para futuras inovações, como a exploração de funções de recompensa mais sofisticadas e o desenvolvimento de novas técnicas para o VSSS, que poderão ampliar a complexidade e a eficácia das estratégias colaborativas entre robôs.

Palavras-chave: futebol robótico; Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient; Reinforcement Learning; Very Small Size Soccer.

ILUSTRAÇÕES



a) Ambiente virtual adaptado para MADDPG



b) Comparação de média de gols entre ambientes

Figura 1. Desempenho do algoritmo MADDPG em ambiente virtual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELNABI, Ahmad A. Bany; RABADI, Ghaith. Robots Path Planning in RoboCup Competitions: A Literature Review. In: **2024 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)**. IEEE, 2024. p. 1-6.

ADEBAYO, Abiodun Sunday; AJAYI, Olanrewaju Oluwaseun; CHUKWURAH, Naomi. Explainable AI in robotics: A critical review and implementation strategies for transparent decision-making. **Journal of Robotics and AI Systems**, v. 12, n. 4, p. 101-118, 2024.

COSTA, Pedro; FERDIANSYAH, Januri; ARIESSANTI, Hani Dewi. Integrating artificial intelligence for autonomous navigation in robotics. **International Transactions on Artificial Intelligence**, v. 3, n. 1, p. 64-75, 2024.

HONG, Chansol *et al.* AI world cup: robot-soccer-based competitions. **IEEE Transactions on Games**, v. 13, n. 4, p. 330-341, 2021.

MARTINS, Felipe B. *et al.* rsoccer: A framework for studying reinforcement learning in small and very small size robot soccer. In: **Robot World Cup**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 165-176.

SPINELLI, Filippo A. *et al.* A Sampling-Based Algorithm for Multi-Agent Coordination in RoboCup Soccer. In: **Workshop on Humanoid Soccer Robots 2024**. 2024.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Daniel Giraldi Michels

MODALIDADE DE BOLSA: PROIP/UDESC (IP)

VIGÊNCIA: 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

ORIENTADOR(A): Vivian Cremer Kalempa

CENTRO DE ENSINO: CEPLAN

DEPARTAMENTO: Departamento de Sistemas de Informação - CEPLAN

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Ciências Exatas e da Terra / Ciência da Computação

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Coordenação e colaboração em Sistemas Multirrobôs

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3262-2022