SISTEMAS EMBARCADOS E INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADOS EM SENSORIAMENTO, CONTROLE, ROBÓTICA, SAÚDE E AUTOMAÇÃO

Mateus Pereira Nepomuceno de Carvalho, Prof. Dr. Yuri

INTRODUÇÃO

A coordenação de sistemas multirobôs em tarefas descentralizadas, como o forrageamento, exige modelos de controle robustos para garantir a eficiência e a segurança das operações. Embora técnicas formais sejam amplamente utilizadas para essa finalidade, a modelagem de supervisores para ambientes dinâmicos e de múltiplos agentes muitas vezes esbarra em altos custos de desenvolvimento e desafios de escalabilidade do espaço de estados. Nesse cenário, abordagens heurísticas e evolutivas surgem como alternativas promissoras de busca global, permitindo encontrar boas soluções sem depender de um alto custo computacional exato (LINDEN, 2012). O objetivo principal deste trabalho é avaliar a viabilidade da utilização de algoritmos genéticos na modelagem de supervisores para tarefas robóticas. De forma específica, o estudo busca aplicar essa estratégia evolutiva para a síntese de um supervisor dedicado à tarefa de foraging, executada por robôs e-puck, utilizando o ambiente de simulação Enki (MAGNENAT et al., 2025) como plataforma de aplicação e validação dos modelos gerados.

DESENVOLVIMENTO

A modelagem evolutiva adotada neste estudo partiu da integração proposta por Souza (2025) e foi expandida através do desenvolvimento de uma arquitetura mestre-operário para processamento distribuído. O gerenciamento do Algoritmo Genético (AG) foi centralizado em um nó mestre (Python), enquanto as avaliações físicas ocorreram em nós operários utilizando o simulador robótico Enki (C++) (MAGNENAT et al., 2025). A comunicação entre os sistemas foi estabelecida via sockets TCP, empregando um protocolo de empacotamento binário customizado para a transmissão eficiente da população e dos parâmetros físicos da arena.

A modelagem lógica baseou-se na Teoria de Controle Supervisório (TCS) (CURY, 2001). A planta global do sistema foi obtida por meio da composição síncrona dos autômatos referentes aos sensores e comportamentos individuais dos robôs, sendo exportada em formato XMD. No AG, cada indivíduo foi codificado como um bytearray, atuando como uma máscara sobre essa planta. Essa codificação é essencial, pois traduz a informação estrutural do problema para uma representação cromossômica tratável pelo algoritmo evolutivo (LINDEN, 2012), permitindo a otimização evolutiva simultânea tanto da estrutura do autômato quanto dos valores dos parâmetros que controlam as ações cinemáticas do robô (SOUZA, 2025). Essa estrutura genotípica determina a síntese do supervisor candidato, onde cada posição binária habilita ou bloqueia transições específicas do autômato. Para a avaliação da função de aptidão (fitness), os nós operários, padronizados via imagens Docker, recebiam lotes de indivíduos e instanciam as simulações.

O cenário de testes consistiu em arenas contendo obstáculos, uma base e fontes de recursos com capacidade finita, que se ofuscavam conforme o esgotamento. Em cada simulação, múltiplos robôs e-puck operaram de forma descentralizada, sendo regidos, respectivamente, por uma cópia do supervisor avaliado. A mecânica de foraging limitou os robôs ao transporte de um item por vez, exigindo a aproximação da fonte e a posterior descarga estritamente dentro da base. O fitness final do indivíduo consistiu no somatório do desempenho do enxame, bonificando a coleta e entrega de recursos, e aplicando penalidades a colisões, servindo como guia heurístico para a evolução da

população (LINDEN, 2012). Adicionalmente, logs de coordenadas e estados foram exportados para a geração posterior de vídeos, viabilizando a validação qualitativa do comportamento emergente.

RESULTADOS

Os resultados preliminares concentraram-se na validação da arquitetura computacional e do funcionamento do algoritmo, de modo que a viabilidade empírica do método evolutivo como ferramenta de modelagem de supervisores ainda requer testes em larga escala. No entanto, durante as execuções de validação, observou-se uma convergência progressiva no comportamento dos indivíduos. Ao longo das gerações, o enxame de robôs demonstrou uma melhoria gradual na execução da tarefa de foraging, aumentando a taxa de coleta e o depósito bem-sucedido de recursos na base. Apesar dos indícios promissores de adaptação evolutiva, constata-se a necessidade de realizar ensaios mais abrangentes. Experimentos futuros deverão envolver a execução distribuída em um número maior de nós operários, a progressão por um número elevado de gerações e o refinamento da função de fitness, visando direcionar a síntese a comportamentos de controle ótimos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa atingiu seu estágio decisivo ao estruturar e validar uma arquitetura distribuída funcional para a síntese evolutiva de supervisores. O projeto encontra-se agora na iminência da execução de testes em larga escala, etapa que avaliará de forma conclusiva a viabilidade real dos Algoritmos Genéticos como ferramenta de modelagem. Além da condução dos ensaios definitivos com um escopo maior de gerações e operários, os trabalhos futuros englobam a manutenção direta do código-fonte do simulador Enki. Atualmente, falhas ligadas a acessos indevidos de memória no simulador impedem a adoção de compiladores mais modernos e rigorosos, forçando a utilização de contêineres Docker para compilar o código em versões do GCC (13 ou anteriores) menos restritivas. A resolução desses gargalos de alocação de memória no Enki eliminará a dependência dessa conteinerização, modernizando a base tecnológica e garantindo maior estabilidade para os experimentos em massa.

Palavras-chave: Algoritmos Genéticos; C++; Docker; Enki; Python; Robótica de Enxame.

ANEXOS

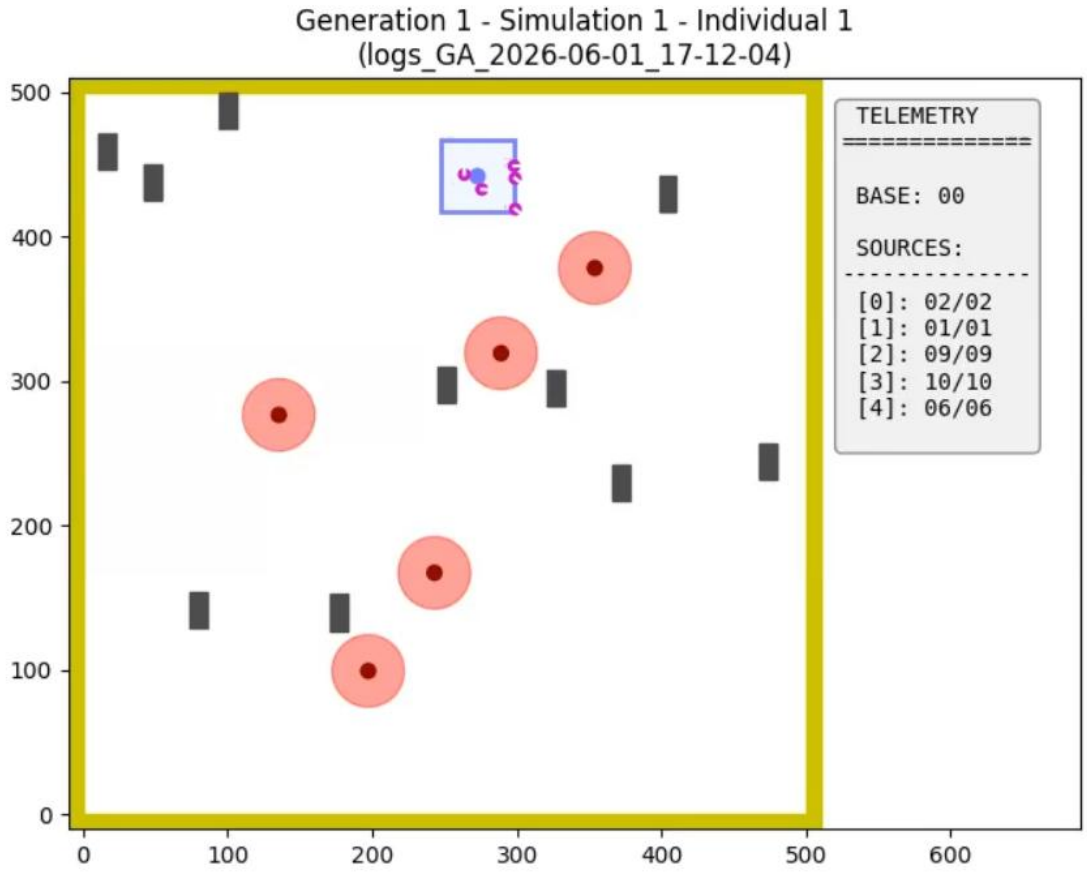


Figura 1. *Visualização gráfica da simulação da tarefa de foraging, destacando a arena delimitada, a base superior contendo o enxame, as fontes de recursos (círculos vermelhos) e o painel de telemetria do sistema.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CURY, J. E. R. **Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos**. Apostila (V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente). Canela, RS: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos: Teoria e Implementação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012.

MAGNENAT,S.etal. **Enki-afast2Drobotsimulator**. 2025. Disponívelem: https://github.com/enkicommunity/enki/blob/master/. Acesso em: 17 ago. 2026.

SOUZA, A. P. C. de. **Integrando a Teoria de Controle Supervisório e Algoritmos Genéticos para o projeto automático de comportamentos emergentes em robótica de enxame**. 2025. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação)– Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2025.