

Universidade de São Paulo
Instituto De Ciências Matemáticas e de Computação

**Implementação de um Sistema de Busca e Resgate Baseado
em Inteligência de Grandes Exames Acelerados em
Hardware**

Prof. Dr. Eduardo do Valle Simões (Orientador)

Programa Unificado de Bolsas de Estudo Para Apoio e Formação de
Estudantes de Graduação — PUB/USP

Resumo

Esse projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de busca e resgate com a aplicação dos conceitos de Inteligência de Enxame inspirada em formigueiro, com a aplicação de um algoritmo evolutivo (AE) para otimizar os parâmetros de controle da população de agentes (formigas robóticas) e do enxame como um todo. A implementação do sistema contará com a utilização de duas APIs (*Application Programming Interface*): OpenGL, uma API de computação gráfica usada para a parte visual da simulação, e CUDA, uma API para trabalho com computação paralela em placas de vídeo desenvolvidas pela Nvidia. Em sistemas de enxames, o grande número de agentes necessários provoca grande gargalo de execução e processamento, assim, com a aceleração na GPU (*Graphics Processing Unit*) espera-se que uma grande quantidade de agentes, cerca de 10 mil formigas, possam ser simulados ao mesmo tempo, o que pode solucionar o gargalo de processamento que muitos agentes provocam e também potencializaria a ação do enxame. O objetivo da população de formigas será coletar objetos de interesse e, assim como na natureza, a simulação adaptará a inteligência coletiva de busca e resgate das formigas através da adaptação computacional da estigmergia das formigas. Espera-se que essa inteligência, junto à otimização do formigueiro promovida pelo AE, contribua para a solução de problemas de busca em território e resgate de objetos de interesse, com otimização de rotas e ações de coleta dos agentes.

1. Introdução

As técnicas de busca e resgate que contam com cães, câmeras móveis, sonares e radares, ainda são utilizadas para encontrar pessoas desaparecidas, corpos em desastres naturais, localização aérea de objetos de interesse, entre outras. Porém, com o desenvolvimento tecnológico de *drones* e robôs autônomos, as técnicas de busca e resgate atualmente vem sendo atualizadas (Ko & Lau, n.d.) e, para além da utilização de poucos robôs nesse campo, introduz-

se a tecnologia dos Sistemas de Inteligência de Enxame, que abre espaço para novas abordagens no campo da robótica.

A chamada Inteligência de Enxame (IE), ou *Swarm Intelligence*, foi abordada por Craig W. Reynolds, em 1987, em seu artigo “*Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*” (Reynolds, 1987) no qual modelou um programa de vida artificial que ele chamara de “*Boids*”, termo proveniente do comportamento em bando dos pássaros. Esse sistema iniciou o estudo que atualmente se tornou um campo da inteligência artificial que estuda sistemas descentralizados e auto-organizados pelo comportamento coletivo de seus elementos. Tal tecnologia é utilizada em problemas nos quais há uma grande quantidade de elementos a serem trabalhados, os quais possuem algum tipo de interconexão e soluções que exigem dinamicidade, como, por exemplo: um grande número de *drones* voando simultaneamente, como estudado em (Majd et al., 2018); ou um grande número de pequenos robôs terrestres que se movem de maneira auto-organizada (Rubenstein et al., 2014). Nestas abordagens são utilizadas tecnologias bioinspiradas, aplicações que adaptam processos biológicos para soluções computacionais, como em aplicações de colônias de formigas (Dorigo et al., 2006), em aplicações inspiradas no comportamento de abelhas (Yang et al., 2007), ou em otimização via enxame de partículas (Kennedy & Eberhart, 1995), por exemplo.

Ao se trabalhar com dezenas, ou até centenas de pequenos robôs físicos, entretanto, acabam surgindo empecilhos operacionais, como por exemplo, o manejo de uma grande quantidade de componentes eletrônicos, carregamento da bateria de cada um dos agentes do enxame, posicionamento e inicialização manual de cada robô no ambiente de testes ou atuação, entre outros problemas que podem surgir quando se trata de um grande volume de robôs autônomos. Assim, trabalhar em uma simulação para estudar Enxames pode ser uma boa opção, a qual abstrai a complexidade de lidar com robôs físicos, possibilitando a criação de simulações das mais variadas aplicações de enxames, como sistemas inspirados em abelhas (Lim et al., 2021),

de comportamento de robôs autônomos em grupo, junto a outras Inteligências Artificiais (IAs) como em (Hiejima et al., 2019) ou até mesmo em aplicações de caça de alvos ou invasores, nas áreas militar e de segurança (Majd et al., 2018).

Todavia, mesmo em trabalhos com simulações, quando se lida com muitos agentes simultâneos, um grande processamento computacional é exigido, o que pode acarretar em problemas de performance, limitando a atuação do enxame devido ao limite do número de indivíduos. É nesse contexto que é proposta essa pesquisa, que propõe o desenvolvimento de um sistema de Inteligência de Enxame acelerado em hardware, baseado em colônia de formigas, para estudar a eficiência e a performance do sistema em relação às variações possíveis dos parâmetros, como a influência do número de agentes, quantidade de objetos a serem coletados em uma aplicação de busca e resgate. Com a aceleração em hardware, espera-se que uma grande quantidades de agentes possam estar presentes simultaneamente na simulação, sem que haja perda de performance do sistema, o que pode potencializar a ação do Enxame e possibilitar testes diversos, variando a quantidade de agentes e estudando suas interações.

2. Justificativa

Recentes desastres naturais, como a tragédia em Brumadinho (Senra, n.d.), que acarretaram na morte e desaparecimento de muitas pessoas, mostram que as técnicas atuais de busca ainda possuem limitações e a aplicação de novas tecnologias de busca e resgate, como a atuação sistemas de enxame, ainda é muito limitada e de restrito acesso, devido às particularidades que um sistema robótico demanda. Nesse cenário, até que sistemas robóticos de enxame fossem aplicados na vida real, diversos testes durante o desenvolvimento seriam necessários e, novamente, a exigência de grande capacidade de processamento poderia vir a ser um limitador. Portanto, para viabilizar a utilização de tais sistemas e, principalmente estudar a influência de

um grande número de agentes no enxame, a aceleração de hardware em placa gráfica pode ser uma boa alternativa para otimizar a performance do sistema.

Ao transferir algumas operações custosas do software da CPU para a GPU, os múltiplos processadores da placa gráfica podem auxiliar com seu processamento paralelo, o que pode ser fundamental para processar toda a movimentação, colisão e reconhecimento do ambiente de cada agente simulado ao mesmo tempo. Para isso, esse trabalho promoverá um estudo com três vertentes da computação: a computação gráfica com OpenGL (*The Industry's Foundation for High Performance Graphics*, n.d.), a aceleração de hardware em CUDA (*CUDA®*, n.d.) e a inteligência artificial (Algoritmos Evolutivos e Inteligência de Enxame). A integração dessas tecnologias resultará no desenvolvimento de um sistema de simulação gráfica, acelerado em hardware, que tem o objetivo de processar simultaneamente centenas, ou até milhares de agentes num enxame, sem perda de performance.

3. Objetivos

Propõe-se que um sistema com aceleração em hardware possa agregar novas abordagens para os sistemas de enxame, visto que, devido ao processamento paralelo das GPUs, uma quantidade maior de agentes poderá ser simulada simultaneamente, quando comparado a um sistema convencional limitado pelo processamento da CPU, o que pode acelerar e viabilizar possíveis testes em simulação, que antes demandariam muito tempo, energia e infraestrutura no ambiente real, com robôs físicos. Assim, esse trabalho visa avaliar se a aceleração em hardware irá melhorar a velocidade de execução do sistema, possibilitando tanto estudos a respeito da importância da quantidade de agentes em simulação, quanto a modelagem de robôs com comportamentos complexos e em ambientes dinâmicos.

Com isso, esse projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema que simulará as ações de um formigueiro (da Silva et al., 2005) nas seguintes tarefas: busca por recursos,

exploração de território, otimização de rotas através de deposição de feromônio e coleta de objetos. O sistema de controle terá como base teórica a inteligência de enxames, com a implementação de centenas, ou até milhares de agentes programáveis.

Os agentes do sistema serão adaptações artificiais de formigas, as quais se moverão num ambiente terrestre e terão a sua estigmergia, ou seja, seu sistema de comunicação a base de feromônios, estudada e adaptada lógica e graficamente para a simulação (da Silva et al., 2005). Essa comunicação será implementada como uma matriz de deposição de feromônio, representada por uma matriz de *pixels* que serão percebidos artificialmente pelas antenas das formigas que se sobrepuerem a eles.

O processamento da sobreposição das formigas com a matriz de feromônio talvez seja o processo mais custoso de todo o sistema, visto que a matriz deve ser atualizada e acessada por cada formiga a cada iteração do *looping* principal da simulação, portanto, para que não haja uma queda de desempenho com o aumento do número de formigas em simulação, todo o processamento dessa função deverá ser passada para a GPU, a fim de otimizar e amplificar a capacidade de processamento da simulação.

A parte visual, com a representação gráfica na tela, será implementada em OpenGL, e a conexão com a placa de vídeo para o processamento lógico será feita através da API desenvolvida pela Nvidia CUDA.

Além disso, propõe-se a implementação de um algoritmo evolutivo para otimizar os parâmetros operacionais das formigas, otimizando assim, todo o comportamento e autorregulação do enxame, que deverá funcionar com uma grande quantidade de indivíduos, o que fará com que o algoritmo evolutivo também deva ter o processamento mais denso realizado em placa gráfica.

Para isso, uma pesquisa bibliográfica deverá ser feita, tanto para conhecer o funcionamento biológico da inteligência por trás do formigueiro, como das implementações e abordagens já

feitas. Após isso, será realizada a integração das tecnologias de processamento gráfico e aceleração das ferramentas, para, então, implementar a simulação, sempre buscando um bom desempenho, tanto da parte gráfica, quanto da parte lógica da simulação.

A princípio, o foco é que o sistema otimize rotas para determinados objetos e adapte-as a diferentes configurações do ambiente que poderá ser modificado dinamicamente, fazendo com que os agentes do enxame alcancem os objetivos e retornem ao seu local de origem, coletando os objetos. Além disso, futuramente podem ser aplicadas novas ideias para a abordagem da inteligência de colônia de formigas, como testar o comportamento de duas colônias cooperando ou competindo, ou então combinar componentes de outros sistemas IE, como o inspirado no comportamento das abelhas.

4. Métodos

O aluno deverá realizar pesquisa bibliográfica em busca de aplicações de sistema de enxame, assim como aprender sobre a utilização de aceleração em hardware, programação em OpenGL e integração com sistemas evolutivos. Então, deverá implementar cada segmento do software: lógica de movimentação, colisão, localização e comunicação do enxame, assim como a parte gráfica independentemente, para que possa ser desligada para fins de aceleração do tempo de testes.

Após a implementação, serão realizados testes de desempenho, visando a aceleração do processamento, fazendo os ajustes necessários em cada parte da simulação, ambiente, formigueiro, formigas, obstáculos, objetivos, etc. Por fim, deverá ser realizada a integração de todos os componentes do sistema, integrando OpenGL, C++ e CUDA, buscando sempre a otimização do tempo de processamento das iterações do sistema e algoritmos.

Com o sistema finalizado, a fase de experimentação deve ser realizada, visando analisar a eficiência do enxame e relacioná-la ao número de agentes em simulação na aplicação de busca e resgate de objetos de interesse, adaptados, nesse caso, como suprimentos para o formigueiro.

5. Detalhamento das atividades a serem desenvolvidas pelo bolsista

O aluno terá diversas atividades conjuntas para desenvolver a pesquisa, partindo do aprendizado das tecnologias do sistema e APIs, seguido da busca por bibliografia a respeito do tema, desenvolver o sistema com todos os componentes propostos, realizar testes e analisá-los a fim de buscar melhorias. Assim, o aluno terá as seguintes tarefas:

- 1 Revisão bibliográfica sobre Inteligência de Enxame e Algoritmos Evolutivos.
- 2 Estudo do comportamento do sistema de enxame dos formigueiros.
- 3 Estudo da API de computação Gráfica OpenGL para a parte gráfica da simulação, bem como a otimização desta em GPU, buscando funções otimizadas e eficientes para grandes simulações.
- 4 Estudo da API CUDA de aceleração de hardware, para a realização dos cálculos necessários para a simulação da população de agentes de simulação.
- 5 Projeto da arquitetura e desenvolvimento do sistema que integrará a lógica do formigueiro, a parte gráfica e a aceleração de hardware.
- 6 Implementação de um Algoritmo evolutivo para otimização da eficiência das formigas e da população do formigueiro como um todo.
- 7 Integração de todas as tecnologias estudadas e desenvolvidas, para desenvolvimento do sistema final.
- 8 Realização de testes de desempenho do enxame em diferentes cenários e situações, análises de melhorias, assim como futuras aplicações e aperfeiçoamentos.

9 Escrita do relatório final e divulgação dos resultados.

6. Cronograma de execução

Na Tabela 1 apresenta-se o cronograma de 12 meses com o planejamento das atividades da pesquisa.

Atividade	1 Bim	2 Bim	3 Bim	4 Bim	5 Bim	6 Bim
1	•	•	•			
2	•	•	•			
3	•	•				
4	•	•				
5		•	•	•	•	
6			•	•	•	
7				•	•	•
8					•	•
9						•

Tabela 1: Cronograma de Atividades

7. Resultados previstos e seus respectivos indicadores de avaliação

Resultado	Indicadores de avaliação
Implementação das funções de uma formiga em simulação.	Testes e análises de movimentação da formiga em interação com o ambiente.
Implementação da Estigmergia do formigueiro (intercomunicação das formigas através da matriz de feromônio)	Testes e análises da interação entre as formigas e probabilidade de escolha de caminho baseado em quantidade de feromônio depositado
Criação do simulador com cenários variáveis para testes de desempenho do sistema de enxame em situações de busca e resgate.	Testes e exemplos de cenários e sua interação com as formigas.
Experimento simples com um objetivo a ser encontrado e resgatado.	Gráficos de desempenho do formigueiro ao longo das gerações em relação com a variação do número de agentes.
Experimento elaborado com mais de um objetivo a ser encontrado e resgatado.	Gráficos de desempenho do formigueiro ao longo das gerações em relação com a variação do número de agentes.
Experimento final com diversos obstáculos e objetivos a serem encontrados e resgatados.	Gráficos de desempenho do formigueiro ao longo das gerações em relação com a variação do número de agentes.

Tabela 2: Resultados previstos e seus indicadores de avaliação

8. Referências

- 1 *CUDA®*. (n.d.). <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>
- 2 da Silva, E. O. A., Bentes, C., Bahiense, L., & de Castro, M. C. S. (2005). Uma Abordagem Paralela Baseada em Colônia de Formigas para o Problema do Caixeiro Viajante. *Cadernos Do IME-Série Informática*, 18.
- 3 Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 1(4), 28–39. <https://doi.org/10.1109/MCI.2006.329691>

- 4 Hiejima, T., Kawashima, S., Ke, M., & Kawahara, T. (2019). Effectiveness of Synchronization and Cooperative Behavior of Multiple Robots based on Swarm AI. *2019 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS)*, 341–344. <https://doi.org/10.1109/APCCAS47518.2019.8953108>
- 5 Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948 vol.4. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- 6 Ko, A. W. Y., & Lau, H. Y. K. (n.d.). *Intelligent Robot-assisted Humanitarian Search and Rescue System*.
- 7 Lim, S., Wang, S., Lennox, B., & Arvin, F. (2021). BeeGround - An Open-Source Simulation Platform for Large-Scale Swarm Robotics Applications. *2021 7th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, 75–79. <https://doi.org/10.1109/ICARA51699.2021.9376494>
- 8 Majd, A., Ashraf, A., Troubitsyna, E., & Daneshtalab, M. (2018). Using Optimization, Learning, and Drone Reflexes to Maximize Safety of Swarms of Drones. *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/CEC.2018.8477920>
- 9 Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model. *Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 25–34.
- 10 Rubenstein, M., Cornejo, A., & Nagpal, R. (2014). Programmable self-assembly in a thousand-robot swarm. *Science*, 345(6198), 795–799. <https://doi.org/10.1126/science.1254295>
- 11 Senra, R. (n.d.). *Brumadinho, a história de uma tragédia que poderia ter sido evitada*. Retrieved June 3, 2021, from <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-47399659>
- 12 *The Industry's Foundation for High Performance Graphics*. (n.d.). Retrieved June 3, 2021, from <https://www.opengl.org/>
- 13 Yang, C., Chen, J., & Tu, X. (2007). Algorithm of Fast Marriage in Honey Bees Optimization and Convergence Analysis. *2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 1794–1799. <https://doi.org/10.1109/ICAL.2007.4338865>