

INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Uma proposta de path-planning para robôs móveis usando inteligência baseada em enxames.

Autor (es): Vitor Hugo Rocha, Carlos Alexandre Silva, Kênia Carolina Gonçalves, Bruno Nonato Gomes, Daniel Neves Rocha.

Palavras-chave: Path-planning; Robô autônomo; Inteligência computacional; Inteligência de enxame.

Campus: Sabará.

Área do Conhecimento (CNPq): Ciência da Computação.

RESUMO

A constante evolução da tecnologia aproxima cada vez mais os robôs ao cotidiano humano. É fácil perceber a inserção de robôs móveis autônomos em atividades como carregamento de mercadorias; limpeza de determinadas áreas; exploração em áreas de riscos; entre outras. Em grande parte dessas tarefas, o uso de robôs autônomos, ou seja, que podem realizar tarefas sem explícito ou contínuo controle humano sobre seus movimentos, vem crescendo bastante, e com isso, pesquisas para encontrar formas para que os robôs consigam trabalhar autonomamente vem se tornando cada vez mais requisitadas. Avaliando isso, nota-se que inúmeros desses problemas práticos podem ser entendidos e modelados como um problema de planejamento de caminho em meio a obstáculos. O planejamento de caminho ou *path-planning* é atualmente uma das principais linhas de pesquisa da robótica. Levando em consideração um ponto A e um B, o *path-planning* é a área de pesquisa que busca por encontrar o caminho mais curto e/ou otimizado entre esses pontos. O objetivo deste trabalho é implementar uma inteligência computacional baseada em enxames de partículas aplicada a um robô móvel autônomo construído através do kit LEGO EV3, a fim de superar os obstáculos do meio utilizando o melhor caminho possível, para chegar ao ponto objetivo. A princípio a proposta do trabalho seria desenvolvida utilizando o software MATLAB, mas por imprevistos, o algoritmo foi desenvolvido em Java e utilizamos a IDE Eclipse juntamente com um *firmware* LEGO para implementação, armazenamento e execução no robô. Os resultados provindos desse trabalho servirão para apoio e comparação com outros estudos na pesquisa do planejamento de caminhos, além disso, possíveis desdobramentos desta implementação podem ser utilizadas no meio acadêmico no ensino de disciplinas das áreas de engenharia mecânica, eletrônica, automação e computação, além de poder gerar um produto com aplicações voltadas para o deslocamento e transporte autônomo utilizando inteligência artificial.

INTRODUÇÃO

ANTECEDENTES E JUSTIFICATIVA

De acordo com (HWANG e AHUJA, 1992), o planejamento de caminho ou *path-planning* é uma das mais importantes pesquisas da robótica. Nesta mesma obra são apresentadas variantes desta classe de problemas e de métodos para sua resolução. O problema de *path-planning* é aplicável a robôs móveis autônomos no intuito de encontrar o caminho mais curto ou otimizado entre dois pontos. De acordo com (BEKELEY, 2005), um dos principais problemas da robótica é a navegação, ou seja, mover-se em um

ambiente de trabalho, em geral, constituído de obstáculos, partindo de um ponto inicial até um ponto final. Pode-se definir um robô móvel autônomo como um agente inteligente capaz de se locomover em um ambiente com o mínimo de intervenção e controle por parte dos seres humanos. A característica de inteligência se deve ao fato de poder se adaptar de forma coerente ao ambiente onde está inserido. Com o avanço da tecnologia e a crescente inserção da robótica no cotidiano humano, capacitar robôs com autonomia e inteligência se tornam cada vez mais necessários, e tem sido foco de recentes pesquisas. Existem inúmeras aplicações na literatura como, robótica industrial e de serviços (AHUACTZIN e PORTILLA, 2000) e (SUPPA, WANG, et al., 2004); animações de computador (PETTRÉ, SIMÉON e LAUMOND, 2002) e (KUFFNER JR, 1999); prototipagem virtual (LU e AKELLA, 2000) e (SUNDARAM, REMMLER e AMATO, 2001); planejamento de vigilância (DANNER e KAVRAKI, 2000) e (SIMOV, SLUTZKI e LAVALLE, 2000), e biologia computacional e (AMATO e SONG, 2002). A robótica de inspiração biológica é uma área de pesquisa emergente envolvendo conhecimentos de biologia, inteligência artificial e automação. Conforme (BEGUM e KARRAY, 2009) a perfeição estrutural e funcional alcançada por criaturas biológicas ao longo dos milhares de anos de evolução, tornaram-se uma grande fonte de inspiração para sistemas autônomos complexos. A robótica bio-inspirada faz uso da biomimética (BAR-COHEN, 2011), a qual utiliza princípios de engenharia, química e biologia em máquinas que possuem funções que imitam processos biológicos. Neste contexto, uma interessante técnica computacional evolucionária a ser aplicada no problema de *path-planning* é a *Particle Swarm Optimization* (PSO) de (KENNEDY e EBERHART, 1995). O método de enxame de partículas ou PSO é uma meta-heurística baseada em padrões da natureza, como a representação da movimentação de um bando de pássaros ou um cardume de peixes. A inspiração no comportamento social e cooperativo a torna um algoritmo promissor para a resolução de determinados problemas de otimização. O algoritmo guia-se por experiência pessoal, frequentemente denominada de *Pbest*, experiência geral denominada de *Gbest* e movimento das partículas do enxame para decidir posições no espaço de busca. A proposta deste trabalho visa implementar uma técnica computacional bio-inspirada no problema de planejamento de caminho de robôs. Desta forma, estaria sendo envolvida pesquisa das áreas de engenharia mecânica com a construção do robô e da computação com a elaboração da inteligência artificial do robô. O desenvolvimento desta pesquisa tem contribuído para o fortalecimento da linha de pesquisa de robótica e inteligência artificial no campus; auxílio na parte metodológica de eletrônica, automação e informática de disciplinas de cursos que envolvem estes conteúdos; e seu envolvimento com o grupo de pesquisa de robótica no campus tem despertado o interesse em competições de robóticas que exigem o planejamento de caminho com obstáculos como na OBR - Olimpíada Brasileira de Robótica, ou no Torneio de Robótica FIRST® LEGO® League (FLL), eventos dos quais a participação se tornará tendência em alguns campi do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG). A construção de um robô-inteligente pode propiciar inúmeras aplicações, como:

- Robô para atuar em ambiente de limpeza com obstáculos – impacto ambiental
- Robô base para ensino de disciplinas correlatas, tanto no cenário do IFMG como na parte de extensão, atendendo a comunidade externa – impacto social
- Robô imbuído de inteligência computacional baseada em algoritmo bio-inspirado para fins diversos, como condução de deficientes mediante um cenário com obstáculos – impacto científico e social

- Robô para realizar serviços em um ambiente de planejamento de caminho com obstáculos – impacto econômico

REFERENCIAL TEÓRICO

Pode-se citar três grandes autoridades na área de estudo:

1. Prof. Ning Xi. Professor de Robótica e Automação da Universidade de Hong Kong. É o atual presidente da *IEEE Robotics and Automation Society* (2018-2019). Ele trabalha com robótica, automação, nano sensores e controle inteligente de sistemas. Página pessoal: <http://www.imse.hku.hk/people/ning-xi>
2. Prof. Vijay Kumar. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica e Mecânica Aplicada da Universidade da Pensilvânia no Estados Unidos. Trabalha com robótica, sistemas multi-robôs e veículos micro aéreos. Atuou nos conselhos editoriais da *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *ASME Journal of Mechanical Design*, o *ASME Journal of Mechanisms and Robotics* e o *Springer Tract in Advanced Robotics* (STAR). Atualmente é o editor da *ASME Journal of Mechanisms and Robotics* e membro editorial do *AAAS Science Robotics Journal*. Página pessoal: <https://www.kumarrobotics.org/>.
3. Prof. Jean-Claude Latombe. Professor Emérito na Escola de Engenharia da Universidade de Stanford. Autor de um dos livros mais influentes da área de robótica em *path-planning "Robot Motion Planning"*. Tem aplicado o conhecimento de robótica a problemas de biologia estrutural. Página pessoal: <http://robotics.stanford.edu/~latombe/>

Cinco novidades publicadas na área do projeto nos últimos quatro anos:

1. No trabalho de (MAO e MA, 2016) são propostas técnicas de teoria dos grafos e inteligência de enxame para solucionar o problema de *path-planning* de um robô de mina de carvão em uma área de distribuição de gás. O ambiente abordado nesta pesquisa requer um alto grau de segurança devido o iminente risco de explosão, pois trata-se de uma área de distribuição de gás. A proposta de solução para o planejamento do caminho com obstáculos foi baseada nos algoritmos de caminho mínimo em um grafo, o algoritmo de Dijkstra e o refinamento da solução foi obtida por uma técnica de inteligência computacional baseada no comportamento de um enxame, mais especificamente no algoritmo colônia de formigas
2. O problema de *path-planning* em (ZIEGLER, GATTRINGER, et al., 2017) é abordado sob a perspectiva de sensores de profundidade e geração automática de trajetórias para a cobertura de caminhos com obstáculos. Utiliza-se o algoritmo ICP (Iterative Closests Point), comumente empregado na minimização da diferença entre duas nuvens de pontos em superfícies 2D ou 3D. Para o planejamento do caminho, o espaço em torno dos objetos é dividido em subvolumes para identificar os pontos base da trajetória.
3. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) no monitoramento de incêndios é empregado no trabalho de (SKEELE e HOLLINGER, 2016). Os autores buscaram encontrar métodos eficazes de monitoramento autônomo modelando o problema como *path-planning*. Foi utilizado um simulador de

incêndio para a previsão de fogo usando elementos topográficos, além de informações como velocidade do vento, taxa de umidade entre outros.

4. A quarta novidade na área do projeto trata-se de um trabalho recente que integra robô e humanos, em equipe para solucionar o problema de *path-planning*. Em (PERELMAN, MUELLER e SCHAEFER, 2017) compara-se caminhos planejados por humanos e robôs, levando em consideração modelos mentais dos usuários para a tomada de decisão.

5. O uso de inteligência baseado em enxames é utilizado no trabalho de (LIU, YANG, et al., 2017), aplicado ao problema de *path-planning*. Os autores propõem um algoritmo de colônia de formigas, combinando a difusão do feromônio das formigas e a otimização local geométrica.

RELEVÂNCIA DO TRABALHO

Como descrito, o problema abordado neste trabalho é um dos principais temas de pesquisa na área da robótica. Além de possuir inúmeras aplicações, o objeto de estudo reflete a uma tendência mundial no uso de robôs móveis autônomos para a execução de variadas atividades do cotidiano humano. A inteligência computacional baseada em enxames pode ser um indicativo de que inteligências artificiais que simulam comportamentos sociais sejam promissoras no uso de estratégias de planejamento de caminhos, especialmente no contexto de robôs móveis autônomos. Este resultado pode ter um grande impacto social, gerando dispositivos que facilitariam a vida das pessoas com a funcionalidade destes robôs em atividades que sejam modeladas como otimização de caminhos com obstáculos. Junto a essa contribuição social, conseqüentemente tem-se uma redução de custos operacional demandada por estas atividades. O desenvolvimento do projeto representa uma boa contribuição científica no âmbito do instituto, auxiliando no cenário educacional e de pesquisa.

METODOLOGIA

Está sendo utilizado um kit LEGO para a configuração real do problema a ser explorado. Dele estão sendo construídos e programados os robôs, assim como o ambiente com obstáculos. Na fase atual do projeto, alguns equipamentos estão sendo adquiridos como sensores de ultrassom, sensores de cor, entre outros. A inclusão destes itens irão ampliar a abordagem do problema. Todo o problema está planejado para ser simulado virtualmente, o que servirá como uma fase de teste para posteriormente ser aplicado na movimentação real dos robôs. Com o avanço desta pesquisa, novos robôs com finalidades distintas podem ser planejados, levando em consideração a inteligência computacional bio-inspirada utilizada. Uma evolução da pesquisa poderia ser aplicada em drones, inicialmente com propósito de atendimento de serviços inter-campi, e futuramente com fins comerciais. Tanto a aquisição dos materiais solicitados, quanto o produto final gerado pelo desenvolvimento da pesquisa, contribuirá com o avanço educacional e de pesquisa. A fim de complementar as informações a respeito da metodologia empregada, descrevemos detalhadamente as etapas de desenvolvimento da pesquisa, considerando o período de realização das mesmas.

Para a execução do projeto estão previstas o cumprimento de cinco etapas, as quais compreendem atividades, conforme descritas abaixo:

Etapa 1: Embasamento teórico

Estudo e embasamento em princípios da robótica e fundamentos da inteligência artificial. Para cumprir esta etapa, as determinadas ações foram previstas:

- Estudar princípios da robótica;
- Estudar e fazer revisão bibliográfica a respeito do problema de *path-planning*;
- Estudar sobre inteligência artificial, com ênfase na meta-heurística *Particle Swarm Optimization*.

Etapa 2: Montagem do robô:

Embasamento teórico, correspondente à montagem do robô; ambiente com obstáculos; cenários para testes usando simples inteligências computacionais. As ações:

- Montagem de modelos de robôs utilizando o kit lego;
- Aprimorar a configuração do robô com sensores que auxiliem em sua movimentação;
- Construir e configurar o ambiente com obstáculos.

Etapa 3: Simulação virtual

A simulação virtual tem início a partir do entendimento da técnica computacional estudada. Outros testes serão realizados como o uso de diferentes técnicas para problemas que envolvam a otimização no planejamento de caminhos com obstáculos.

Como não foi possível obter a licença do MATLAB, utilizamos da linguagem Java e a IDE Eclipse que possui ferramentas próprias para utilização do kit LEGO. Assim são apresentadas as ações:

- Implementação do *Particle Swarm Optimization* em Java;
- Implementação de algoritmos de minimização em grafos como Dijkstra e A*, visando incrementar as possibilidades de inteligência do robô;
- Simulação da movimentação do robô no ambiente planejado na Etapa 2.

Etapa 4: Simulação real

Após a fase de simulação virtual, o(s) robô(s) reais utilizarão a inteligência implementada na Etapa 3, a fim de solucionar o problema de *path-planning* previamente proposto na Etapa 2. O sucesso nessa fase representará um avanço para perspectivas futuras de uso de robôs autônomos, podendo ser utilizado como guias; entregadores de mercadorias ou objetos e futuramente pode-se expandir a ideia de robô móvel para drones. As ações programadas são:

- Configuração da comunicação da inteligência computacional com o “cérebro” do robô;
- Período de testes e ajustes da simulação;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como não foi possível a aquisição da licença do software MATLAB, foi utilizada a linguagem Java para execução do trabalho, devido à familiaridade da equipe com a linguagem e sua facilidade para modelar o problema.

Para a implementação do algoritmo foram criadas duas classes para a resolução do problema, mais especificamente as classes “Partículas” e “Ambiente”. A primeira a classe é responsável pelas características de cada partícula, como velocidade, posição atual e melhor posição. A segunda classe é responsável por definir o tamanho do ambiente e os valores para cada posição. Após receber a posição em que está, uma velocidade aleatória e o ponto objetivo, o robô executará a função:

Se $posiçãoAtual \geq melhorPosiçãoIndividual$ faça

$melhorPosiçãoIndividual = posiçãoAtual;$

Se $posiçãoAtual \geq melhorPosiçãoGlobal$ faça

$melhorPosiçãoGlobal = posiçãoAtual;$

Então a velocidade é atualizada e somada a posição atual seguido a função:

$$velocidade = velocidade * w + c_1 * r_1 * \Delta_1 + c_2 * r_2 * \Delta_2$$

Sendo w a constante de inércia; c_1 e c_2 o peso do comportamento cognitivo e social da partícula, respectivamente; r_1 e r_2 números aleatórios entre 0 e 1; Δ_1 e Δ_2 são, respectivamente, a diferença entre $melhorPosiçãoIndividual$ e $posiçãoAtual$, e, $melhorPosiçãoGlobal$ e $posiçãoAtual$.

Após isso, o algoritmo repete esse processo até que o número de interações definidas seja atingido.

Para a implementação do PSO de uma forma em que o robô Lego EV3, que pode ser visto na figura 1, pudesse executá-lo, utilizamos um micro SD e LeJOS, um firmware para LEGO Mindstorms EV3, onde o cartão de memória armazena o firmware e após criar uma rede via Bluetooth com o computador, através da IDE Eclipse pudemos desenvolver, transmitir, executar e salvar o código no robô.



Figura 1. Modelo construído para testes do algoritmo.

CONCLUSÕES

Atualmente a pesquisa se encontra na fase de implementação da inteligência computacional e na comunicação com o hardware, não tendo ainda resultados significativos. Espera-se que os resultados a serem obtidos podem ter um grande impacto social, gerando dispositivos que facilitarão a vida das

peças com essa funcionalidade implementada em robôs autônomos, trazendo grande potencial para situações que são impossíveis ou de grande dificuldade para humanos, além disso, conseqüentemente tem-se uma redução de custos operacional demandadas por estas atividades.

REFERÊNCIAS

- AHUACTZIN, J. M.; PORTILLA, A. **A basic algorithm and data structures for sensor-based path planning in unknown environments**. International Conference on Intelligent Robots and Systems. Takamatsu: IEEE/RSJ. 2000. p. 903-908.
- BAR-COHEN, Y. **Biomimetics: Nature-Based Innovation**. [S.l.]: CRC Press, 2011. 1-788 p.
- BEKELEY, G. A. **Autonomous robots: From biological inspiration to implementation and control**. [S.l.]: MIT Press, 2005. 593 p.
- DANNER, T.; KAVRAKI, L. E. **Randomized planning for short inspection paths**. IEEE International Conference on Robotics and Automation. San Francisco, CA, USA: [s.n.]. 2000. p. 971–976.
- HWANG, Y. K.; AHUJA, N. **Gross Motion Planning - A Survey**. ACM Computing Surveys, v. 24, n. 3, p. 219-291, Sep 1992.
- KENNEDY, J.; EBERHART, R. **Particle Swarm Optimization**. IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, WA, Australia: [s.n.]. 1995.
- KUFFNER JR, J. J. **Autonomous Agents for Real-Time Animation**. Tese de doutorado. ed. [S.l.]: Universidade de Stanford, 1999.
- LIU, J. et al. **An improved ant colony algorithm for robot path planning**. Soft Computing, 21, n. 19, October 2017. 5829–5839.
- LU, L.; AKELLA, S. **Folding cartons with fixtures: A motion planning approach**. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 16, n. 4, p. 346–356, Agosto 2000.
- PERELMAN, B. S.; MUELLER, S. T.; SCHAEFER, K. E. **Evaluating path planning in human-robot teams: Quantifying path agreement and mental model congruency**. IEEE Conference on Cognitive and Computational Aspects of Situation Management (CogSIMA). Savannah, GA, USA: [s.n.]. 2017.
- PETTRÉ, J.; SIMÉON, T.; LAUMOND, J. **Planning human walk in virtual environments**. International Conference on Intelligent Robots and Systems. Lausanne, Suíça: IEEE/RSJ. 2002. p. 3048-3053.
- SIMOV, B. H.; SLUTZKI, G.; LAVALLE, S. M. **Pursuit-evasion using beam detection**. IEEE International Conference on Robotics and Automation. San Francisco, CA, USA: [s.n.]. 2000. p. 1657–1662.
- SKEELE, R. C.; HOLLINGER, G. A. **Aerial Vehicle Path Planning for Monitoring Wildfire Frontiers**. [S.l.]: SpringerTracts in Advanced Robotics, v. 113, 2016.
- SUNDARAM, S.; REMMLER, I.; AMATO, N. M. **Disassembly sequencing using a motion planning approach**. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Seoul, Korea: [s.n.]. 2001. p. 1475–1480.
- SUPPA, M. et al. **C-space exploration using noisy sensor models**. IEEE International Conference on Robotics and Automation. New Orleans: [s.n.]. 2004. p. 4777–4782.
- ZIEGLER, J. et al. Automated, **Depth Sensor Based Object Detection and Path Planning for Robot-Aided 3D Scanning**. *Advances in Service and Industrial Robotics*, 49, 2017. 336-342.