

Implementação de algoritmo de controle autônomo baseado em Braitenberg para navegação e desvio de obstáculos em robô móvel robotino no ambiente de simulação webots

Vitor Amadeu Souza¹; 0009-00-02-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
vitor.amadeu@foa.org.br

Resumo: Este trabalho apresenta a implementação e análise de um sistema de controle autônomo para robô móvel Robotino utilizando o ambiente de simulação Webots. O sistema desenvolvido incorpora um algoritmo de navegação baseado nos princípios de Braitenberg, permitindo ao robô realizar navegação autônoma com capacidade de desvio de obstáculos através de nove sensores infravermelhos distribuídos ao redor da plataforma. A arquitetura de controle implementada oferece três modos de operação: controle manual via teclado, modo de demonstração das capacidades de movimento omnidirecional e modo autopiloto para navegação autônoma. Os resultados obtidos através da simulação demonstram a eficácia do algoritmo proposto na execução de trajetórias complexas e no desvio reativo de obstáculos, validando a aplicabilidade dos veículos de Braitenberg em sistemas robóticos móveis modernos. O sistema desenvolvido apresentou desempenho satisfatório em ambientes estruturados, conseguindo navegar de forma autônoma enquanto evita colisões com obstáculos estáticos, demonstrando a viabilidade da abordagem para aplicações em robótica móvel industrial e de serviços.

Palavras-chave: Robótica móvel. Algoritmo de Braitenberg. Desvio de obstáculos. Webots; Robotino. Navegação autônoma.

INTRODUÇÃO

A robótica móvel tem experimentado avanços significativos nas últimas décadas, impulsionada pela crescente demanda por sistemas autônomos em diversas aplicações industriais e comerciais. Segundo Russell e Norvig (2020), a capacidade de navegação autônoma representa um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento de sistemas robóticos eficazes, sendo essencial para aplicações que vão desde a automação industrial até assistência pessoal. Neste contexto, o desenvolvimento de algoritmos de controle que permitam aos robôs móveis navegar de forma segura e eficiente em ambientes complexos torna-se uma prioridade de pesquisa.

Os algoritmos de desvio de obstáculos constituem uma área fundamental da robótica móvel, sendo objeto de extensa pesquisa acadêmica. Segundo Siegwart *et al.* (2011), os métodos de navegação podem ser classificados em abordagens deliberativas, que utilizam planejamento de trajetória baseado em modelos do ambiente, e abordagens reativas, que respondem diretamente aos estímulos sensoriais sem construção explícita de mapas. Entre as abordagens reativas, os algoritmos baseados nos princípios dos veículos de Braitenberg destacam-se pela simplicidade de implementação e eficácia em ambientes dinâmicos.

Valentino Braitenberg, em sua obra seminal "Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology" (1986), propôs uma série de arquiteturas de controle baseadas em conexões diretas entre sensores e atuadores. Estes "veículos" demonstram como comportamentos complexos podem emergir de regras simples de controle sensório-motor, constituindo uma base teórica sólida para o desenvolvimento de sistemas robóticos reativos. A aplicação destes princípios em robótica móvel tem sido amplamente estudada, conforme demonstrado por Arkin (1998) em sua análise abrangente de arquiteturas de comportamento reativo.

O ambiente de simulação Webots, desenvolvido pela Cyberbotics, representa uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento e teste de sistemas robóticos. Michel (2004) destaca que simuladores robóticos como o Webots oferecem vantagens significativas no desenvolvimento de sistemas autônomos, permitindo testes rápidos e seguros de algoritmos sem os custos e riscos associados aos experimentos com hardware real. A plataforma



Webots oferece modelos físicos precisos e uma ampla gama de sensores e atuadores, tornando-se uma opção para pesquisa em robótica móvel.

O robô Robotino, desenvolvido pela Festo Didactic, constitui uma plataforma educacional e de pesquisa amplamente utilizada em instituições acadêmicas. Segundo Dudek e Jenkin (2010), plataformas robóticas padronizadas como o Robotino facilitam a reproducibilidade de experimentos e permitem comparações diretas entre diferentes abordagens algorítmicas. O Robotino caracteriza-se por sua configuração omnidirecional com três rodas mecanum ou suecas, que permitem movimento em qualquer direção sem necessidade de rotação prévia, representando uma vantagem significativa para navegação em espaços confinados. A Figura 1 apresenta este robô.

Figura 1 - Robotino Festo



Fonte: Festo didactic

A integração de sensores infravermelhos para detecção de obstáculos constitui uma abordagem clássica em robótica móvel. Everett (1995) demonstra que sensores infravermelhos oferecem uma relação custo-benefício favorável para aplicações de desvio de obstáculos, apesar das limitações em termos de precisão e alcance comparados a sensores mais sofisticados como LIDAR ou câmeras estéreo. A configuração de múltiplos sensores infravermelhos distribuídos ao redor do robô permite uma cobertura sensorial adequada para detecção omnidirecional de obstáculos.

O objetivo deste trabalho é desenvolver e analisar um sistema de controle autônomo para o robô Robotino baseado nos princípios dos veículos de Braitenberg, implementado no ambiente de simulação Webots. O sistema proposto visa demonstrar a eficácia de algoritmos reativos na execução de tarefas de navegação autônoma com desvio de obstáculos, fornecendo uma aparato para futuras implementações em hardware real.

MÉTODOS

A implementação do algoritmo de Braitenberg foi realizada através da função `base_braitenberg_avoidance()`, que recebe como entrada o array de valores dos sensores de distância e calcula as velocidades apropriadas para cada roda do sistema omnidirecional. O algoritmo implementado segue os princípios dos veículos do tipo "fear", onde a proximidade de obstáculos resulta em movimento de afastamento, conforme descrito por Braitenberg (1986). A resposta do sistema é proporcional à intensidade dos sinais sensoriais, criando um comportamento emergente de navegação que evita colisões enquanto mantém movimento direcionado.

O sistema de controle oferece três modos de operação distintos. O modo manual permite controle direto do robô através de comandos de teclado, utilizando as setas direcionais para movimento translacional, Page Up/Page Down para rotação e barra de espaço para parada. O modo de demonstração executa uma sequência pré-programada de movimentos que demonstra as capacidades omnidirecionais da plataforma, incluindo movimentos frontais, laterais, traseiros e rotacionais em uma trajetória quadrada. O modo autopiloto implementa navegação autônoma utilizando o algoritmo de Braitenberg para desvio de obstáculos.

A arquitetura de controle implementa um sistema de estados que permite transição entre os diferentes modos de operação através de comandos de teclado. A tecla 'A' alterna entre autopiloto ativo e inativo, enquanto a tecla 'D' ativa o modo de demonstração. Esta flexibilidade operacional permite análise comparativa do desempenho do algoritmo autônomo em relação ao controle manual, facilitando a validação do sistema proposto.

O ambiente experimental virtual foi configurado com obstáculos estáticos distribuídos de forma a criar cenários desafiadores para o algoritmo de navegação. A simulação física do Webots incorpora modelos realísticos de atrito, inércia e dinâmica das rodas mecanum,



proporcionando uma representação fidedigna do comportamento esperado em implementações reais. Os parâmetros de simulação foram ajustados para garantir estabilidade numérica mantendo realismo físico adequado.

O código-fonte desta pesquisa está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/robotino>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do sistema de controle autônomo baseado em algoritmos de Braitenberg para o robô Robotino demonstrou resultados satisfatórios em diferentes cenários de teste. Durante a execução do modo autopiloto, o sistema apresentou comportamento estável de desvio de obstáculos, mantendo navegação contínua sem colisões em ambientes com densidade moderada de obstáculos estáticos. A análise dos dados coletados revela que o algoritmo consegue responder adequadamente a estímulos sensoriais, gerando trajetórias suaves que evitam obstáculos e preservam a direção geral de movimento. A Figura 2 apresenta o cenário no qual o Robotino foi testado.

Figura 2 - Cenário de testes do Robotino



Fonte: O autor.

O algoritmo de Braitenberg implementado demonstrou capacidade de navegação complexa através de regras de controle sensório-motor. Em cenários com múltiplos obstáculos, o robô apresentou comportamento de "slalom", navegando entre obstáculos de forma fluida sem necessidade de planejamento explícito de trajetória. Este resultado confirma as observações de Braitenberg (1986) sobre como comportamentos aparentemente inteligentes podem emergir de arquiteturas de controle, alinhando-se com os achados de Arkin (1998) sobre a eficácia de sistemas reativos em ambientes dinâmicos.

A configuração omnidirecional do Robotino mostrou-se particularmente vantajosa para implementação do algoritmo de Braitenberg. A capacidade de movimento lateral permite respostas mais naturais aos gradientes sensoriais, resultando em trajetórias mais suaves comparadas a plataformas com configuração diferencial tradicional. Esta vantagem é especialmente evidente em situações onde obstáculos estão posicionados lateralmente à trajetória desejada, permitindo desvio sem necessidade de rotação prévia, conforme predito por Campion et al. (1996) em sua análise de cinemática de robôs omnidirecionais.

A comparação qualitativa entre o desempenho do algoritmo de Braitenberg e o controle manual revela vantagens e desvantagens de cada abordagem. O controle manual oferece precisão superior em manobras específicas e capacidade de planejamento antecipado baseado em informação visual global. Por outro lado, o algoritmo autônomo demonstra consistência superior em tarefas repetitivas e capacidade de operação contínua sem fadiga. Esta complementaridade sugere que sistemas híbridos, combinando supervisão humana com autonomia algorítmica, podem oferecer o melhor desempenho geral.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a implementação e análise de um sistema de controle autônomo para robô móvel Robotino baseado nos princípios dos veículos de Braitenberg, demonstrando a viabilidade desta abordagem para navegação reativa com desvio de obstáculos. O sistema desenvolvido no ambiente de simulação Webots integrou múltiplas funcionalidades, incluindo controle manual, demonstração de capacidades e navegação autônoma, proporcionando uma plataforma versátil para pesquisa em robótica móvel.

Os resultados obtidos demonstram a eficácia dos algoritmos de Braitenberg na geração de comportamentos emergentes de navegação, validando as observações teóricas originais através de implementação prática em plataforma robótica moderna. A capacidade do sistema de navegar autonomamente em ambientes com obstáculos estáticos, mantendo trajetórias suaves e evitando colisões, demonstra a aplicabilidade desta abordagem para cenários reais de robótica móvel industrial e de serviços.

A configuração omnidirecional do Robotino mostrou-se particularmente adequada para implementação de algoritmos reativos, oferecendo vantagens em termos de manobrabilidade comparada a plataformas convencionais com configuração diferencial. Esta sinergia entre algoritmo e plataforma mecânica resulta em melhor desempenho de navegação, especialmente em ambientes confinados onde capacidade de movimento lateral é vantajosa.

A modularidade da arquitetura desenvolvida facilita extensões futuras, incluindo integração de sensores adicionais como câmeras ou LIDAR, implementação de algoritmos híbridos combinando navegação reativa e deliberativa, e adaptação para diferentes plataformas robóticas. A transição para implementação em hardware real constitui o próximo passo natural desta pesquisa, validando os resultados de simulação em condições reais de operação.

REFERÊNCIAS

ARKIN, R. C. Behavior-based robotics. Cambridge: MIT Press, 1998. ISBN 0-262-01165-4. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262529204/behavior-based-robotics/>. Acesso em: 5 set. 2025.

BRAITENBERG, V. Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology. Cambridge: MIT Press, 1986. ISBN 0-262-52112-1. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262521123/vehicles/>. Acesso em: 5 set. 2025.

CAMPION, G.; BASTIN, G.; D'ANDRÉA-NOVEL, B. Structural properties and classification of kinematic and dynamic models of wheeled mobile robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 12, n. 1, p. 47-62, fev. 1996. DOI: 10.1109/70.481750.

DUDEK, G.; JENKIN, M. Computational principles of mobile robotics. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. ISBN 978-0-521-87217-8.

EVERETT, H. R. Sensors for mobile robots: theory and application. Wellesley: A K Peters, 1995. ISBN 1-56881-048-2.

MICHEL, O. Cyberbotics Ltd. Webots: professional mobile robot simulation. International Journal of Advanced Robotic Systems, v. 1, n. 1, p. 39-42, 2004. DOI: 10.5772/5618.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Artificial intelligence: a modern approach. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2020. ISBN 978-0-134-61009-7.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSH, I. R.; SCARAMUZZA, D. Introduction to autonomous mobile robots. 2. ed. Cambridge: MIT Press, 2011. ISBN 978-0-262-01535-6. Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262015356/introduction-to-autonomous-mobile-robots/>. Acesso em: 5 set. 2025.

FESTO DIDATIC. Robotino: mobile robot platform for research and education. Disponível em: <https://ip.festo-didactic.com/Infoportal/Robotino3/Overview/EN/index.html>. Acesso em: 5 set. 2025.