



4º Congresso Brasileiro
de Ciência e Saberes
Multidisciplinares
**tudo é
ciência**
11º Encontro de Extensão
Universitária do UniFOA

**23 a 25
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

Simulação e controle de robô móvel Pioneer 3-AT para navegação autônoma em ambiente estruturado utilizando o simulador 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: O presente trabalho apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de controle para navegação autônoma de um robô móvel Pioneer 3-AT utilizando o simulador Webots. O objetivo principal consistiu em programar o robô para visitar os quatro cantos de uma arena estruturada, evitando obstáculos através de sensores de proximidade. A metodologia envolveu a implementação de um algoritmo de controle reativo baseado em leituras de sensores de distância ultrassônicos, programado em linguagem C. Os resultados demonstraram que o sistema desenvolvido foi capaz de realizar a navegação autônoma com sucesso, executando manobras de desvio de obstáculos e seguindo uma trajetória pré-definida. O robô apresentou comportamento adequado na detecção de obstáculos frontais e posteriores, ajustando sua velocidade e direção conforme necessário. A simulação proporcionou um ambiente controlado para validação dos algoritmos de navegação, contribuindo para o avanço da área de robótica móvel e sistemas autônomos. Os resultados obtidos indicam a viabilidade da abordagem proposta para aplicações práticas em robótica de serviço e exploração de ambientes.

Palavras-chave: Robótica móvel. Pioneer 3-AT. Webots. Navegação autônoma. Sensores de proximidade. Controle reativo.



INTRODUÇÃO

A robótica móvel tem experimentado um crescimento exponencial nas últimas décadas, impulsionada pelos avanços em sensores, processamento computacional e algoritmos de controle (Siciliano; Khatib, 2016). A capacidade de robôs navegarem autonomamente em ambientes estruturados e não estruturados representa um dos principais desafios da área, com aplicações que variam desde robôs de serviço doméstico até sistemas de exploração espacial (Thrun *et al.*, 2005).

O robô Pioneer 3-AT, desenvolvido pela MobileRobots Inc., estabeleceu-se como uma plataforma amplamente utilizada na pesquisa e educação em robótica móvel devido à sua robustez e facilidade de programação. Este robô de quatro rodas possui características que o tornam adequado para navegação em terrenos irregulares, sendo equipado com diversos sensores que permitem a implementação de algoritmos de navegação autônoma (Borenstein; Everett; Feng, 1996), como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Pioneer 3-AT



Fonte: Adept Technology

A simulação computacional desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e validação de algoritmos robóticos, permitindo testes rápidos e seguros antes da implementação em sistemas reais (Koenig; Howard, 2004). O simulador Webots, desenvolvido pela Cyberbotics, oferece um ambiente de simulação realista que incorpora modelos físicos precisos e uma ampla gama de robôs e sensores (Michel, 2004). A utilização



de simuladores como o Webots tem se mostrado essencial para a redução de custos e tempo de desenvolvimento em projetos de robótica (Cousins, 2010).

A navegação autônoma em robótica móvel pode ser abordada através de diferentes paradigmas, sendo os principais: planejamento de trajetória baseado em mapas, navegação reativa e abordagens híbridas (Latombe, 1991). A navegação reativa, foco deste trabalho, baseia-se em respostas imediatas aos estímulos sensoriais, sem a necessidade de mapas prévios do ambiente (Brooks, 1986). Este tipo de abordagem é particularmente útil em ambientes dinâmicos ou quando o conhecimento prévio do ambiente é limitado.

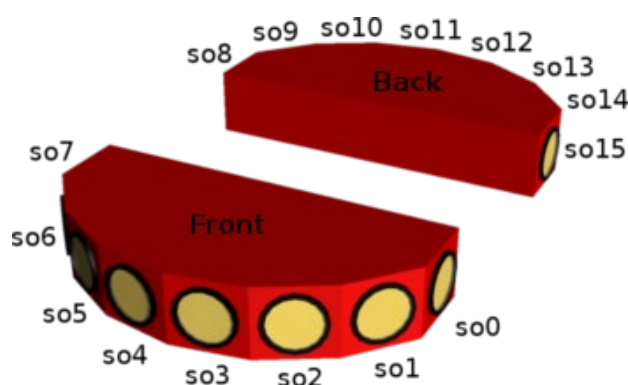
Os sensores de proximidade ultrassônicos representam uma das tecnologias mais utilizadas em robótica móvel devido ao seu baixo custo e eficácia na detecção de obstáculos (Everett, 1995). O Pioneer 3-AT é equipado com um arranjo de 16 sensores ultrassônicos distribuídos ao redor de sua base, proporcionando uma cobertura de 360 graus para detecção de obstáculos (Mobile Robots Inc., 2006).

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e implementar um sistema de controle para um robô Pioneer 3-AT que seja capaz de navegar autonomamente em uma arena estruturada, visitando os quatro cantos desta arena através de um algoritmo de controle reativo baseado em sensores de proximidade. A implementação foi realizada utilizando o simulador Webots e programação em linguagem C, permitindo a validação do algoritmo proposto em um ambiente controlado.

MÉTODOS

Para a simulação, foi utilizada uma arena retangular com superfície quadriculada, de modo a fornecer referências visuais úteis para a análise da trajetória do robô. Essa arena foi projetada com dimensões adequadas que permitiram a movimentação livre do robô e a execução das manobras necessárias. O robô possui quatro rodas motorizadas de forma independente, possibilitando movimentos diferenciados e manobras de rotação. Seu sistema de sensoriamento é composto por 16 sensores ultrassônicos distribuídos radialmente ao redor da base, numerados de so0 a so15, como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Sensores ultrassônicos no Pioneer 3-AT



Fonte: Cyberbotics Ltd, 2020.

O algoritmo de controle utilizado baseou-se em uma abordagem reativa fundamentada em comportamentos, conforme descrito por Arkin (1998). A arquitetura foi organizada em três módulos principais: aquisição de dados dos sensores, processamento e tomada de decisão, e controle dos atuadores. O módulo de aquisição consistiu na leitura contínua dos 16 sensores ultrassônicos por meio da função `wb_distance_sensor_get_value()`, armazenando os valores obtidos em um array. Esses valores foram expressos em unidades de distância, sendo que números menores indicam maior proximidade de obstáculos.

O módulo de processamento implementou uma máquina de estados que considerou as leituras dos sensores posicionados nas direções frontal e posterior do robô. Para a detecção de obstáculos, utilizou-se o sensor `so11` na parte traseira e o sensor `so3` na parte frontal. O limiar de detecção foi estabelecido em 150 unidades, definido de forma empírica após testes preliminares. Já o módulo de controle dos atuadores foi responsável pela gestão das velocidades e direções dos motores das rodas através da função `wb_motor_set_velocity()`, implementando três comportamentos: movimentação para frente, movimentação para trás e rotação. Nesses comportamentos, as velocidades foram configuradas em +1, -1 ou 0, conforme a manobra desejada.

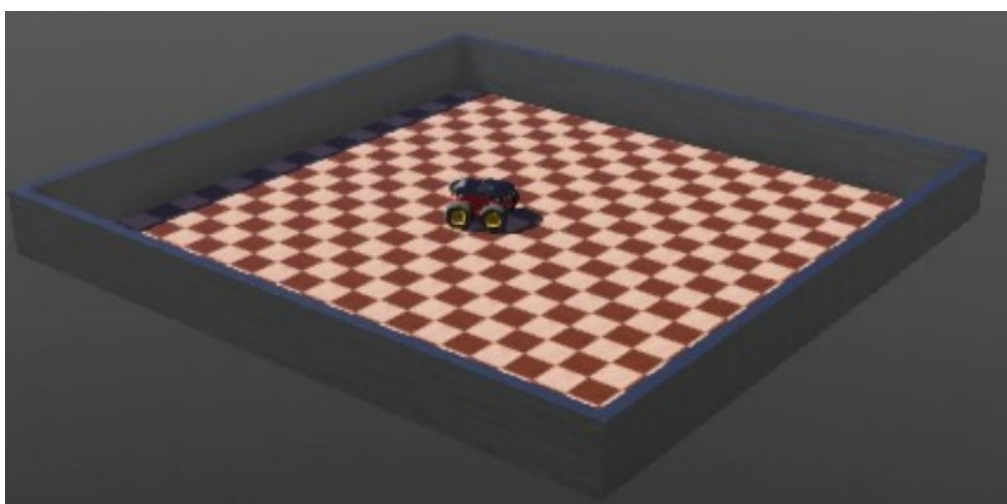
O código de implementação foi escrito em linguagem C, utilizando as bibliotecas específicas do Webots para controle de robôs (`webots/robot.h`), motores (`webots/motor.h`) e sensores de distância (`webots/distance_sensor.h`). A estrutura do programa seguiu o padrão estabelecido pelo framework do Webots, com etapas de inicialização dos dispositivos, configuração de parâmetros e execução de um loop principal de controle. Para o período de atualização da



simulação, foi adotada a constante `TIME_STEP` igual a 32 milissegundos, o que permitiu garantir um controle adequado sem sobrecarregar os recursos computacionais (Michel, 2004). Além disso, a constante `NUM_SENSORS` foi definida como 16, correspondente ao número total de sensores ultrassônicos presentes no modelo do Pioneer 3-AT.

Por fim, a lógica de navegação aplicada seguiu uma estratégia de controle hierárquico, atribuindo prioridade ao comportamento de desvio de obstáculos em relação ao comportamento de seguimento de trajetória. Foram definidas três regras básicas: caso o sensor posterior (`so11`) detectasse um obstáculo a menos de 150 unidades, o robô deveria executar movimento para trás por 10 milissegundos e em seguida realizar uma rotação à esquerda; caso o sensor frontal (`so3`) detectasse um obstáculo dentro do mesmo limiar, o robô deveria mover-se para frente por 10 milissegundos e depois realizar uma rotação à direita; nos demais casos, o robô manteria sua movimentação para frente em velocidade constante. Essa estratégia possibilitou a exploração do ambiente de forma reativa, permitindo que o robô se adaptasse às condições locais identificadas pelos sensores. A Figura 3 demonstra o ambiente de simulação com o robô no ambiente Webots.

Figura 3 - Arena de simulação do Webots com o Pioneer 3-AT



Fonte: O autor.

No link <https://github.com/vitor-souza-ime/pioneer> está disponibilizado o código-fonte deste experimento.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O algoritmo de controle reativo mostrou-se responsivo às mudanças no ambiente, executando as manobras de desvio de forma adequada. O sistema de inicialização funcionou conforme esperado, com todos os 16 sensores sendo ativados corretamente e os motores configurados para rotação contínua através da definição de posição infinita (INFINITY). A configuração inicial dos motores com velocidade unitária proporcionou um movimento suave e controlado do robô.

A análise dos dados coletados pelos sensores durante a execução revelou que o sistema de detecção baseado nos sensores so3 e so11 foi eficiente para os propósitos do algoritmo implementado. Os valores dos sensores variaram significativamente conforme a proximidade de obstáculos, permitindo a discriminação adequada entre situações que requeriam manobras de desvio e aquelas em que o movimento livre era possível. O limiar de 150 unidades estabelecido para detecção de obstáculos mostrou-se apropriado para o ambiente de simulação utilizado, pois proporcionou uma margem de segurança adequada, permitindo que o robô iniciasse as manobras de desvio antes de colidir, mas sem ser excessivamente conservador a ponto de causar comportamentos erráticos.

O comportamento implementado para desvio de obstáculos demonstrou características interessantes. A estratégia de executar um breve movimento na direção oposta ao obstáculo detectado (10ms), seguido de rotação lateral, mostrou-se eficaz para contornar obstáculos. Essa abordagem incorpora princípios de navegação reativa bem estabelecidos na literatura (Arkin, 1998). A diferenciação entre obstáculos frontais e posteriores através do uso de sensores específicos (so3 e so11) permitiu que o robô adaptasse seu comportamento de forma contextual: obstáculos detectados posteriormente resultavam em movimento de afastamento seguido de rotação à esquerda, enquanto obstáculos frontais geravam movimento de aproximação seguido de rotação à direita. Essa assimetria no comportamento contribuiu para a diversificação da trajetória exploratória.

Por fim, a utilização do simulador Webots para desenvolvimento e teste do algoritmo proporcionou um ambiente controlado e reproduzível para validação dos conceitos



implementados. A fidelidade da simulação física permitiu que o comportamento observado no ambiente virtual fosse representativo do que seria esperado em uma implementação real (Koenig; Howard, 2004). Além disso, a programação em linguagem C, utilizando as APIs nativas do Webots, garantiu eficiência de execução e portabilidade do código para implementações futuras em hardware real. A estrutura modular do código facilita modificações e extensões, permitindo a incorporação de funcionalidades adicionais.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos confirmaram a viabilidade da abordagem reativa para navegação robótica em ambientes controlados. O robô simulado foi capaz de se mover pela arena, detectar obstáculos e executar manobras de desvio apropriadas, demonstrando comportamento autônomo conforme especificado nos objetivos do projeto. A metodologia utilizada, baseada na combinação de simulação computacional e programação em linguagem C, mostrou-se adequada para o desenvolvimento e validação de algoritmos de controle robótico. O simulador Webots proporcionou um ambiente realista e eficiente para testes, permitindo iterações rápidas no desenvolvimento do algoritmo.

A contribuição deste trabalho para a área de robótica móvel reside na demonstração prática de conceitos fundamentais de navegação reativa e na validação do uso de simuladores para desenvolvimento de algoritmos robóticos. Os resultados obtidos servem como base para outros desenvolvimentos em sistemas de navegação autônoma e podem ser aplicados em diversas áreas, desde robótica educacional até aplicações industriais.

Trabalhos futuros poderão explorar a implementação do algoritmo desenvolvido em hardware real, a incorporação de algoritmos de mapeamento simultâneo e localização (SLAM), e o desenvolvimento de estratégias híbridas que combinem navegação reativa com planejamento de trajetória global. A extensão do sistema para operação em ambientes dinâmicos e não estruturados também representa uma linha promissora de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARKIN, R. C. Behavior-based robotics. MIT Press, 1998.



BORENSTEIN, J.; EVERETT, H. R.; FENG, L. Navigating mobile robots: systems and techniques. A. K. Peters, 1996.

BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. The vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 7, n. 3, p. 278-288, 1991.

BROOKS, R. A. A robust layered control system for a mobile robot, in IEEE Journal on Robotics and Automation, vol. 2, no. 1, pp. 14-23, March 1986, doi: 10.1109/JRA.1986.1087032.

CHOSSET, H. et al. Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation. MIT Press, 2005.

COUSINS, S. ROS on the PR2 [ROS Topics], in IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 17, no. 3, pp. 23-25, Sept. 2010, doi: 10.1109/MRA.2010.938502.

EVERETT, H. R. Sensors for mobile robots: theory and application. A. K. Peters, 1995.

KOENIG, N.; HOWARD, A. Design and use paradigms for gazebo, an open-source multi-robot simulator. Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, p. 2149-2154, 2004.

LATOMBE, J. C. Robot motion planning. Kluwer Academic Publishers, 1991.

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

MOBILE ROBOTS INC. Pioneer 3-AT operation manual. Mobile Robots Inc., 2006.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. Springer handbook of robotics. 2. ed. Springer, 2016.

THRUN, S. et al. Probabilistic robotics. MIT Press, 2005.

ADEPT TECHNOLOGY, Inc. Pioneer 3-AT (P3AT) Rev A Datasheet. [S.l.], 2011. Disponível em: <https://www.generationrobots.com/media/Pioneer3AT-P3AT-RevA-datasheet.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2025.