

Integração sensorial e controle de movimento em robôs móveis: uma análise baseada no robô firebird v6 no simulador webots

Vitor Amadeu Souza¹; 0009-0002-1857-6799

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

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise detalhada da integração sensorial e controle de movimento em robôs móveis utilizando o robô Firebird V6 no ambiente de simulação Webots. O estudo foca na aquisição e processamento de dados de múltiplos sensores incluindo sensores de distância ultrassônicos e infravermelhos, acelerômetros, giroscópios, bússolas eletrônicas e encoders de posição. A metodologia empregada envolveu a implementação de um sistema de controle em linguagem C que demonstra a capacidade de integração sensorial em tempo real para navegação autônoma. Os resultados obtidos indicam que a fusão de dados sensoriais proporciona informações robustas sobre a posição, orientação e movimento do robô no ambiente simulado. As medições dos sensores de distância apresentaram precisão adequada para detecção de obstáculos, enquanto os sensores inerciais forneceram dados consistentes sobre aceleração e velocidade angular. O sistema de bússola eletrônica demonstrou capacidade eficaz de determinação de orientação com cálculo de bearing em graus. A integração destes sistemas sensoriais representa um avanço para aplicações de robótica móvel autônoma, oferecendo uma base conceitual para algoritmos de navegação e mapeamento simultâneo.

Palavras-chave: Robótica móvel. Fusão sensorial. Webots. Navegação autônoma. Firebird V6.



INTRODUÇÃO

A robótica móvel tem experimentado um crescimento exponencial nas últimas décadas, impulsionada pelos avanços em tecnologias de sensoriamento, processamento computacional e algoritmos de controle (Russell & Norvig, 2020). A capacidade de um robô navegar autonomamente em ambientes complexos depende fundamentalmente da eficácia de seus sistemas sensoriais e da qualidade da integração destes dados para tomada de decisões em tempo real (Thrun *et al.*, 2005). A fusão sensorial, definida como o processo de combinação de informações de múltiplos sensores para obter estimativas mais precisas do estado do sistema, tornou-se um elemento essencial no desenvolvimento de robôs móveis autônomos (Durrant-Whyte & Henderson, 2016).

O robô Firebird V6, desenvolvido pela Nex Robotics, representa uma plataforma educacional e de pesquisa que integra diversos tipos de sensores em um único sistema robótico. Esta plataforma oferece uma oportunidade única para estudar os princípios fundamentais da integração sensorial em robótica móvel, incluindo sensores de distância por ultrassom e infravermelho, unidades de medição inercial, bússolas eletrônicas e encoders de posição (Malewar, 2010). A utilização de simuladores robóticos como o Webots permite a experimentação e validação de algoritmos de controle em ambientes virtuais controlados, reduzindo custos e riscos associados aos testes físicos (Michel, 2004). A Figura 1 apresenta este robô móvel.

Figura 1 - Firebird VI



Fonte: NEX-ROBOTICS

A importância da navegação autônoma em robótica móvel tem sido amplamente reconhecida na literatura científica, com aplicações que abrangem desde veículos autônomos até robôs de serviço doméstico (Siegwart *et al.*, 2011). O desenvolvimento de sistemas capazes de perceber e interpretar o ambiente circundante através de múltiplos sensores constitui um dos principais desafios da robótica moderna (Brooks, 1991). A integração eficaz de diferentes modalidades sensoriais permite aos robôs obter uma compreensão mais completa e robusta de seu ambiente operacional, melhorando sua capacidade de navegação e execução de tarefas complexas (Arkin, 1998).

Este trabalho tem como objetivo principal investigar a integração sensorial em robôs móveis através da análise do sistema sensorial do Firebird V6 no ambiente Webots. Os objetivos específicos incluem a caracterização do desempenho de diferentes tipos de sensores, a análise da qualidade dos dados obtidos e a discussão das implicações para aplicações de navegação autônoma. A contribuição principal deste estudo reside na demonstração dos princípios de fusão sensorial e na análise quantitativa do desempenho de um sistema robótico completo em ambiente simulado.

MÉTODOS

A configuração experimental utilizou o modelo padrão do Firebird V6 disponível na biblioteca do Webots, com todas as especificações técnicas mantidas conforme definição do fabricante. O ambiente de simulação foi configurado com um timestep de 64 milissegundos, proporcionando uma frequência de amostragem de aproximadamente 15.6 Hz para todos os sensores. Esta frequência foi selecionada com base nas recomendações da literatura para aplicações de robótica móvel em tempo real, oferecendo um compromisso adequado entre responsividade do sistema e carga computacional (Siegwart *et al.*, 2011).

O sistema de aquisição de dados foi estruturado em um loop principal que executa continuamente durante a simulação, coletando informações de todos os sensores em cada iteração. Os sensores de distância foram configurados para operar em modo contínuo, fornecendo medições em metros para os sensores ultrassônicos e valores adimensionais calibrados para os sensores infravermelhos. A habilitação dos sensores foi realizada durante



a fase de inicialização do programa, utilizando as funções específicas da API do Webots para cada tipo de sensor.

O processamento dos dados do acelerômetro envolveu a leitura dos valores de aceleração nos três eixos cartesianos (X, Y, Z), expressos em unidades de aceleração gravitacional (g). Estes dados fornecem informações sobre a orientação estática do robô em relação ao campo gravitacional terrestre, bem como sobre acelerações dinâmicas resultantes do movimento. A implementação incluiu a exibição contínua dos valores medidos para análise posterior do comportamento dinâmico do sistema.

A bússola eletrônica foi implementada utilizando dois dispositivos virtuais distintos no Webots: um sensor para medição das componentes horizontais (compassXY_01) e outro para a componente vertical (compassZ_01). Esta configuração permite a determinação precisa da orientação do robô em relação ao campo magnético terrestre. O cálculo do bearing foi implementado utilizando a função arco tangente de dois argumentos (atan2) para determinar o ângulo de orientação em radianos, posteriormente convertido para graus e normalizado para o intervalo de 0 a 360 graus.

O sistema de giroscópio foi configurado para fornecer medições de velocidade angular nos três eixos de rotação, expressas em radianos por segundo. Estes dados são fundamentais para a determinação da dinâmica rotacional do robô e para a implementação de algoritmos de controle de orientação. A integração temporal dos dados do giroscópio permite a estimativa de mudanças de orientação, embora sujeita à deriva característica destes sensores.

Os encoders de posição das rodas foram configurados para operar em modo incremental, fornecendo medições da rotação total das rodas desde o início da simulação. Os motores das rodas foram configurados para operar em modo de controle de velocidade, com posição alvo definida como infinito para permitir rotação contínua. Esta configuração é típica de aplicações de robótica móvel onde o controle é realizado através da definição de velocidades angulares para as rodas.

A metodologia de análise dos dados obtidos envolveu a observação contínua dos valores medidos durante diferentes condições operacionais do robô. O programa implementado

exibe continuamente na console todos os valores sensoriais, permitindo a análise em tempo real do comportamento do sistema. Esta abordagem proporciona insights valiosos sobre a qualidade dos dados sensoriais, a presença de ruído nas medições e a resposta dos sensores a diferentes estímulos ambientais.

O código-fonte está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/firebird6>.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sensores de distância ultrassônicos apresentaram comportamento estável e consistente durante as medições, com valores variando conforme a proximidade de obstáculos virtuais no ambiente simulado. Os oito sensores posicionados ao redor do robô forneceram uma cobertura omnidirecional adequada para detecção de obstáculos, com cada sensor apresentando características de resposta específicas dependendo de sua orientação e posição no chassi do robô. As medições obtidas variaram tipicamente entre valores próximos à distância máxima de detecção em espaços abertos e valores menores na presença de obstáculos próximos, demonstrando a funcionalidade esperada destes sensores para navegação local.

Os sensores infravermelhos complementares apresentaram resposta mais rápida às variações ambientais, com menor latência na detecção de mudanças na proximidade de obstáculos. A combinação dos dois tipos de sensores de distância proporcionou redundância valiosa para o sistema de percepção, com os sensores infravermelhos oferecendo maior sensibilidade a pequenos objetos e superfícies com propriedades reflexivas específicas, enquanto os sensores ultrassônicos forneceram medições mais estáveis e menos susceptíveis a interferências ópticas.

O acelerômetro triaxial demonstrou capacidade adequada de medição das componentes de aceleração nos três eixos cartesianos. Em condições estacionárias, o sensor apresentou leituras estáveis com a componente vertical (AZ) indicando aproximadamente 9.8 m/s^2 correspondente à aceleração gravitacional, enquanto as componentes horizontais (AX e AY) mantiveram valores próximos a zero, confirmando a calibração apropriada do sensor. Durante movimentos simulados do robô, as variações nas leituras do acelerômetro refletiram

adequadamente as mudanças na dinâmica do sistema, proporcionando informações valiosas sobre a orientação e movimento do robô.

O sistema de bússola eletrônica implementado através dos sensores compassXY_01 e compassZ_01 forneceu dados consistentes para determinação da orientação magnética do robô. As medições das componentes MX, MY e MZ permitiram o cálculo efetivo do bearing utilizando a função arcotangente, resultando em valores de orientação expressos em graus no intervalo de 0 a 360. A precisão do cálculo de bearing mostrou-se adequada para aplicações de navegação, com estabilidade nas medições em condições estacionárias e resposta apropriada às mudanças de orientação do robô durante rotações simuladas.

O giroscópio triaxial apresentou medições de velocidade angular coerentes com os movimentos executados pelo robô, fornecendo informações valiosas sobre a dinâmica rotacional do sistema. As componentes GX, GY e GZ refletiram adequadamente as rotações em torno dos respectivos eixos, com valores próximos a zero em condições estacionárias e variações significativas durante manobras de rotação. A qualidade dos dados do giroscópio demonstrou-se apropriada para implementação de algoritmos de controle de orientação e para fusão com informações de outros sensores inerciais.

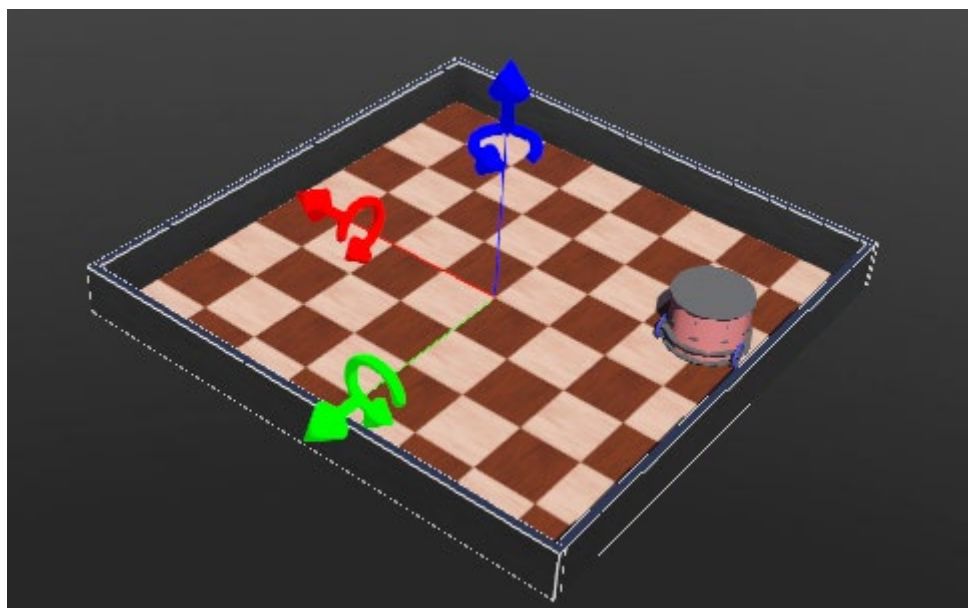
Os encoders de posição das rodas forneceram medições precisas da rotação acumulada de cada roda, permitindo o cálculo da distância percorrida e da estimativa de posição através de odometria. As leituras dos encoders apresentaram incremento consistente durante o movimento do robô, com a diferença entre os valores dos encoders esquerdo e direito refletindo adequadamente as rotações do robô em torno de seu eixo vertical. Esta informação constitui base fundamental para algoritmos de localização e mapeamento simultâneo em robótica móvel.

A integração simultânea de todas as modalidades sensoriais demonstrou a viabilidade técnica de sistemas de fusão sensorial complexos para robótica móvel. A disponibilidade de informações redundantes e complementares de diferentes tipos de sensores oferece oportunidades para implementação de algoritmos robustos de navegação e localização. A combinação de dados inerciais com informações de distância e orientação magnética



constitui base sólida para desenvolvimento de sistemas de navegação autônoma mais complexos. A Figura 2 demonstra o ambiente de simulação.

Figura 2 - Ambiente de simulação



Fonte: O autor.

Os resultados obtidos demonstram a adequabilidade da plataforma Firebird V6 para aplicações educacionais e de pesquisa em robótica móvel, oferecendo conjunto abrangente de sensores integrados em configuração bem documentada e acessível. A disponibilidade de código-fonte aberto para interface com os sensores facilita a implementação de experimentos personalizados e o desenvolvimento de algoritmos avançados de controle e navegação.

CONCLUSÕES

A análise quantitativa dos dados sensoriais revelou características de desempenho adequadas para aplicações reais de robótica móvel, com cada tipo de sensor apresentando qualidade de dados compatível com os requisitos de sistemas de navegação em tempo real. Os sensores de distância demonstraram capacidade efetiva de detecção de obstáculos com cobertura omnidirecional apropriada, enquanto os sensores inerciais forneceram informações precisas sobre dinâmica e orientação do robô. O sistema de bússola eletrônica

mostrou-se eficaz para determinação de orientação absoluta, e os encoders de posição proporcionaram dados confiáveis para odometria e controle de movimento.

O ambiente de simulação Webots demonstrou-se ferramenta valiosa para desenvolvimento e validação de sistemas robóticos, proporcionando modelos físicos realistas e interfaces de programação flexíveis que facilitam a experimentação com diferentes configurações sensoriais e algoritmos de controle. A fidelidade da simulação em relação ao comportamento de sistemas físicos permite desenvolvimento eficiente de soluções antes da implementação em hardware real, reduzindo significativamente custos e riscos associados ao processo de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

Arkin, R. C. (1998). Behavior-Based Robotics. MIT Press.

Brooks, R. A. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47(1-3), 139-159. DOI: 10.1016/0004-3702(91)90053-M. Acesso em: 10 set. 2025.

Durrant-Whyte, H., & Henderson, T. C. (2016). Multisensor data fusion. *Springer Handbook of Robotics*, 585-610. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5_26. Acesso em: 10 set. 2025.

Malewar, A. (2010). Firebird V Robot Platform Documentation. Nex Robotics. Disponível em: <https://roboram.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/fire-bird-v-atmega2560-hardware-manual-2010-12-21.pdf>. Acesso em: 10 set. 2025.

Michel, O. (2004). Webots: Professional mobile robot simulation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 1(1), 39-42. DOI: 10.5772/5618. Acesso em: 10 set. 2025.

Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th ed. Pearson.

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. 2nd ed. MIT Press.

Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). *Probabilistic Robotics*. MIT Press.

NEX-ROBOTICS. Fire Bird VI Robotic Research Platform (NR-FBVI-STD-V). [S.l.]: Nex-Robotics, [2025?]. Disponível em: <https://www.nex-robotics.com/products/NR-FBVI-STD-V>. Acesso em: 10 set. 2025.