



SISTEMA DE EVASÃO DE OBSTÁCULOS COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NA ROBÓTICA MÓVEL

Lucas Mantuan Ayres – lucmantuan@gmail.com

Leonardo Gonçalves Batista – leonardo-baptista@live.com

Joabe Ruella da Silva – joaberuella@gmail.com

Marco Antonio de Souza Leite Cuadros – marcoantonio@ifes.edu.br

Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Serra

Rodovia ES 010, Km 6,5 - Manguinhos

29173-087 – Serra – Espírito Santo

Resumo: *A robótica móvel educacional tem-se implantado como uma ferramenta no ensino e desenvolvimento científico, devido à elaboração de kits educacionais que auxiliam na instrução. Um dos bloqueios do ensino da robótica se remete a conhecimentos teóricos avançados que dificultam o acesso de estudantes ao trabalho com robôs móveis. Em detrimento disso, como forma de facilitar o aprendizado, este artigo apresenta um conceito avançado de evasão de obstáculos de forma acessível à alunos da engenharia, explorando-o como uma ferramenta aplicável na área de robótica móvel. O método VFH, foi programado em software LabVIEW®, que dispõe de um ambiente de simulação para o robô DaNI 2.0. Ao final deste trabalho são exibidos resultados sobre a implementação do VFH na simulação e suas vantagens em relação a outros métodos de evasão de obstáculos.*

Palavras-chave: *Robótica Móvel, Robótica educacional, Evasão de obstáculos, Método VFH.*

1. INTRODUÇÃO

A robótica móvel tem como propósito desenvolver agentes autônomos autossuficientes para realização de funções com aplicação em linhas de produção industriais, tarefas no fundo do mar, em proximidades de incêndios, em terrenos minados ou em áreas com contaminação radioativa (PEDROSA, 2001).

Em um sistema autônomo, a navegação é essencialmente relacionada com a tomada de decisão e execução utilizada pelo sistema para alcançar seus propósitos (SIEGHART & NOURBAKHS, 2011). A capacidade de navegar é essencial para robôs móveis, principalmente quando há tarefas a serem cumpridas no ambiente de trabalho. O desafio da navegação envolve a evasão de obstáculos em ambientes não estruturados, sendo necessário incorporar estratégias para contornar possíveis obstruções e garantir a integridade do robô.

Um dos métodos mais eficazes para desvio de obstáculos é o Histograma de Campo Vetorial (VFH), sendo esse um modelo atualizado continuamente com dados dos sensores a bordo do robô. O algoritmo VFH é computacionalmente eficiente, muito robusto e insensível a leituras errôneas dos sensores, e permite movimento contínuo e rápido do robô móvel sem parar a frente de obstáculos.

Visto isso, o artigo apresenta a simulação do método VFH em uma plataforma robótica educacional. O objetivo não é retratar as equações matemáticas que compõem a estratégia do algoritmo, mas averiguar seu desempenho e aplicabilidade para o ensino da robótica móvel,



como forma de agregar aos estudantes conceitos mais elaborados de maneira acessível no âmbito da engenharia.

Este artigo está organizado em 6 seções: na seção 2 é apresentado o ambiente de simulação com modelo do robô móvel. Na seção 3 é descrito os principais métodos de evasão de obstáculos aplicados a robótica móvel. Em seguida, na seção 4 é retratado o fluxo de dados do algoritmo VFH aplicado neste trabalho. Nas seções 5 e 6, são apresentados respectivamente, os resultados obtidos com implementação do método e considerações finais.

2. AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

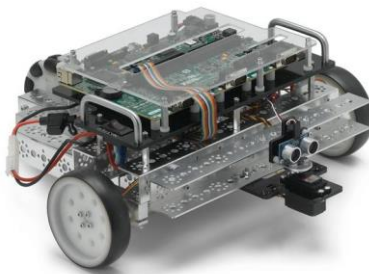
2.1. LabVIEW® e Simulação

O LabVIEW® é um software de engenharia da National Instruments, que dispõe de uma linguagem de programação gráfica, com aplicações que envolvem testes, medições e controle de sistemas.

Pesquisadores, educadores e engenheiros utilizam o software como ferramenta para aplicação em robótica educacional e veículos autônomos. Sua linguagem simplifica programações complexas, facilitando a elaboração de algoritmos inteligentes.

O módulo LabVIEW *Robotics* oferece simulação 3D com modelo da plataforma móvel *DaNI 2.0*, apresentado na “Figura 1”, que possui sensor ultrassônico, além de motores e *encoders* nas duas rodas. Esse recurso para iniciantes na robótica é ideal para ensino de conceitos introdutórios.

Figura 1: Plataforma robótica DaNI 2.0



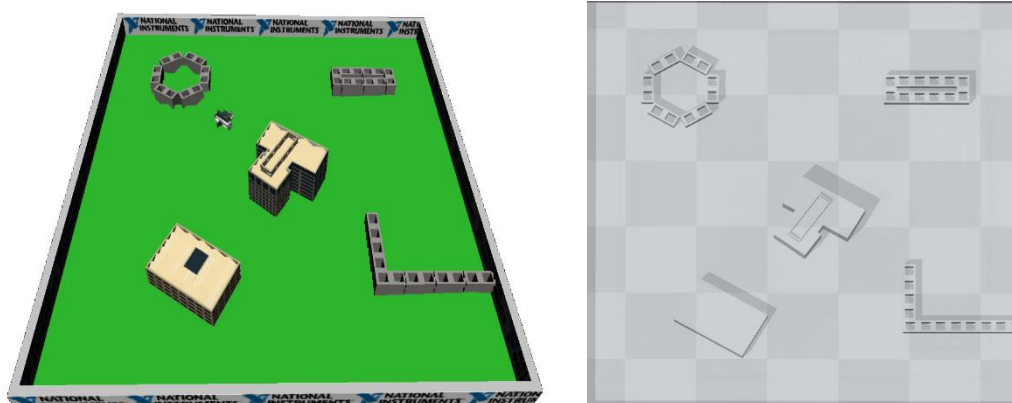
Visto as possibilidades do software, seu sistema permitiu a simulação do algoritmo VFH baseado no feedback do sensor ultrassônico.

2.2. Ambiente de Simulação

O ambiente de simulação utilizado pertence à biblioteca do módulo LabVIEW *Robotics*. Em seu interior há obstáculos físicos estacionários com diferentes disposições e formatos. A “Figura 2” indica o ambiente simulado em 3D, cuja dimensões internas são de 6,19 m x 6,19m.



Figura 2: Área de trabalho do robô móvel



3. SISTEMAS DE EVASÃO DE OBSTÁCULOS

Ao navegar em um ambiente desconhecido, sobre o qual não há um modelo prescrito do mundo, um robô móvel deve ser capaz de evitar obstáculos até alcançar seu alvo original. Desta forma, convém adotar, em muitas aplicações da robótica móvel, um método de evasão de obstáculos eficiente e suficiente à aplicação desejada. Algumas das abordagens comumente empregadas são descritas abaixo.

3.1. Método de Detecção de Borda (*Edge-Detection Methods*):

Com medidas realizadas por um sensor sonar, o algoritmo proposto por (KUC & BARSHAN, 1989) detecta a posição das arestas verticais dos obstáculos, e em seguida orienta o robô em torno das bordas identificadas. Verifica-se em (BORENSTEIN & KOREN, 1988) a aplicação deste método com sensores ultrassônicos. Uma desvantagem do método de detecção de borda é que, independente do sensor adotado, os dados são colhidos, quando o robô para em frente ao obstáculo.

3.2. Grade de Certeza (*Certainty Grid*):

Para esse sistema, o espaço de navegação do robô é representado por uma matriz bidimensional, de elementos quadrados. Cada índice, ou célula, da matriz contém um valor de certeza (CV) que indica o grau de confiança da existência de um obstáculo que ocupa sua área. Esse método, desenvolvido pela *University Carnegie-Mellon* (CMU) (Elfes, 1987), atualiza os CVs por meio de uma função de probabilidade que considera as características do sensor empregado.

3.3. Método de Campos Potenciais (*Potential Field Methods*):

Nessa abordagem, sugerida por (KHATIB, 1986) o robô é considerado uma partícula sujeita a um campo potencial artificial. São geradas funções potenciais que atraem o robô ao destino e o repele dos obstáculos. Ao somar as forças de atração e repulsão, calcula-se um vetor de força resultante P instantâneo. Desta forma, o algoritmo é executado a cada nova posição do robô, onde para cada ponto no espaço pode ser definido um vetor que conduz o robô para o

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





local de menor potencial, ou seja, o objetivo a ser alcançado. Ressalta-se que o campo virtual, deve ser planejado de forma a ter apenas um único mínimo global (objetivo), sem mínimos locais.

3.4. Campos de Força Virtual (*Virtual Force Field – VFF*):

Esse método de evasão de obstáculos (BORENSTEIN & KOREN, 1989) permite o movimento rápido, contínuo e suave do robô em ambientes inexplorados, sem a necessidade de o robô precisar parar em frente a um obstáculo para detectá-lo. Essa abordagem, combina conceitos de grades de ocupação e campos potenciais. Nela, um histograma cartesiano bidimensional representa a distribuição dos obstáculos no ambiente, e de forma similar ao método Grade de Certeza, cada célula contém um valor de certeza que indica a existência de um obstáculo no local. A medida que o robô se movimenta, uma janela de dimensão quadrada acompanha-o, de forma que as células que a compõem em determinado instante, exercem força repulsiva em relação ao robô. Desta forma, em cada iteração, as forças repulsivas são totalizadas e simultaneamente, uma força de atração virtual em direção ao destino é aplicada ao robô. A soma das forças de repulsão e reação, geram a força resultante P instantânea, em direção ao objetivo. A grande vantagem do algoritmo VFF é sua rápida computação, o que permite que os dados do sensor influenciem o controle imediato da direção.

Em uma avaliação criteriosa constatou-se que os métodos citados acima apresentam desvantagens em suas configurações, verificados na “Tabela 1”.

Tabela 1: Desvantagem de Métodos de Evasão de Obstáculos

| | |
|---------------------|--|
| DESVANTAGENS | DETECCÃO DE BORDA |
| | Leitura do sensor com robô estacionário |
| | Sensibilidade à precisão do sensor |
| | Ruídos ultrassônicos de fontes externas |
| | GRADE DE CERTEZA |
| | Leitura do sensor com robô estacionário |
| | Elevado custo computacional |
| | CAMPO POTENCIAL |
| | Comportamento cíclicos devido a presença de mínimos locais |
| | Movimento oscilatório e instável entre dois obstáculos |
| | CAMPOS DE FORÇA VIRTUAL - VFF |
| | Instabilidade entre obstáculos próximos |
| | Movimento oscilatório e instável entre dois obstáculos |

Uma das vantagens de projetos voltados para extensão e desenvolvimento científico está correlacionado com o fato da análise crítica de resultados. Visto isso, foi necessário averiguar um método mais eficiente, capaz de tornar o sistema de evasão de obstáculos mais robusto.

A partir disso, foram realizadas pesquisas que indicaram o método VFH como o mais competente para desvio de obstáculos, pois remedia as deficiências verificadas no algoritmo VFF, até então o mais eficaz.

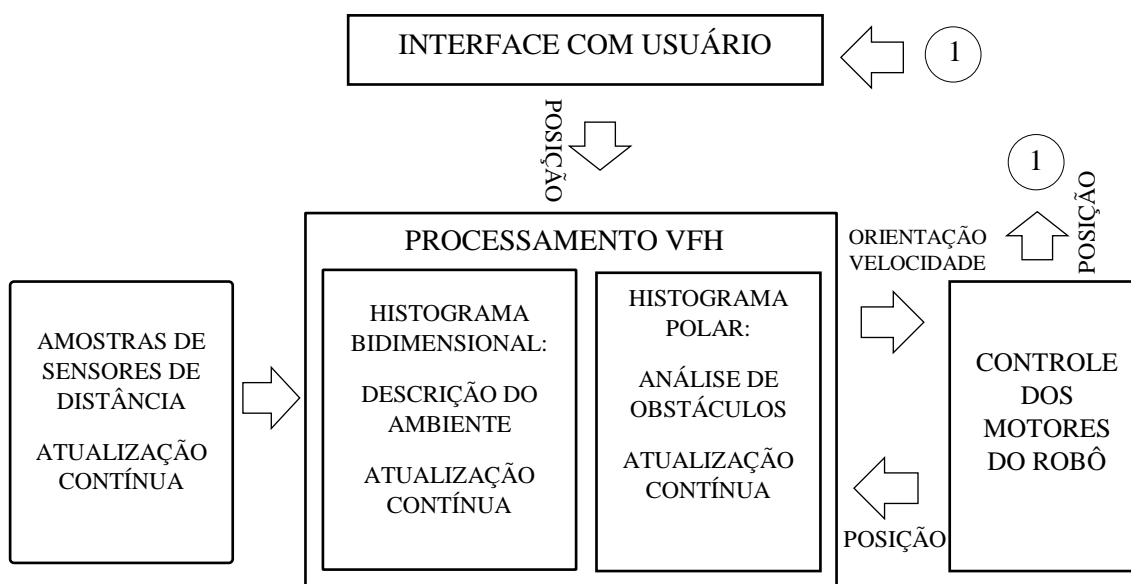


4. HISTOGRAMA DE CAMPOS VETORIAIS (VFH)

O Histograma de Campos Vetoriais (VFH) é uma técnica formulada por (BORENSTEIN & KOREN, 1991) e aprimorada em (ULRICH & BORENSTEIN, 1998) e (ULRICH & BORENSTEIN, 2000) que estabelece comandos de direção para dinâmica do robô. O método utiliza três níveis de representação dos dados amostrados pelos sensores: No nível mais alto, é realizada a descrição do ambiente do robô através de um histograma. No nível intermediário, um histograma polar indica as regiões em torno do robô com maior densidade de obstáculos. No nível mais baixo, tem-se a saída do algoritmo, ou seja, os valores de referência para os controladores de velocidade e orientação do veículo.

A “Figura 3” reforça como é caracterizado o fluxo de dados do algoritmo VFH.

Figura 3 - Fluxo de dados do algoritmo VFH



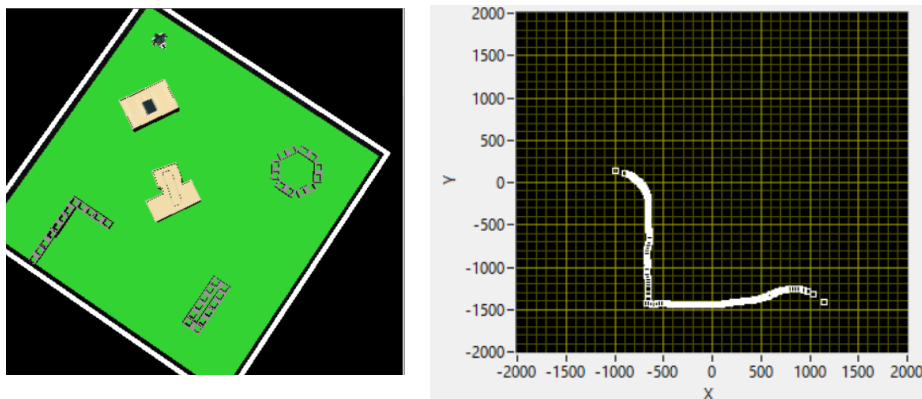
As subseções seguintes descrevem com mais detalhes os três níveis de representação dos dados.

4.1 Histograma Cartesiano

Nesse nível há a descrição detalhada do ambiente do robô através de um histograma cartesiano bidimensional que é continuamente atualizado em tempo real com os dados amostrados pelos sensores de distância. Como no conceito de grade de certeza elaborado pela CMU, cada célula no histograma mantém um valor de certeza (CV) que representa a confiança da existência de um obstáculo. Na “Figura 4” é apresentado o ambiente de simulação do algoritmo no qual o modelo do robô móvel (DaNI 2.0) está inserido. Ao lado direito da figura, é retratado o histograma cartesiano gerado pelo algoritmo VFH, correspondente a posição momentânea do robô.



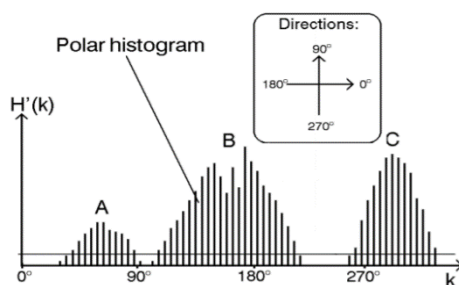
Figura 4: Ambiente de simulação 3D à esquerda e Histograma Cartesiano à direita



4.2 Histograma Polar

A fase de filtragem de dados do histograma cartesiano para o histograma polar unidimensional retrata a intensidade de obstáculos em regiões ao redor do robô. Assim como no método VFF, a medida que o robô navega, uma janela de dimensão quadrada acompanha-o, a chamada região ativa. O conteúdo de cada célula nessa região é tratado como vetor obstáculo, cuja direções e magnitudes são obtidas após aplicações de equações matemáticas. A densidade de obstáculos polares é dada pelo somatório das magnitudes de cada célula. A “Figura 5” mostra o trabalho realizado em (BORENSTEIN & KOREN, 1991) que apresenta a distribuição de bloqueios em torno do agente autônomo. Nela, verifica-se que para intensidades elevadas, o histograma indica que uma obstrução está muito próxima do robô, ou pode tratar-se de um obstáculo extenso.

Figura 5: Histograma Polar (BORENSTEIN & KOREN, 1991)



4.3 Controle de orientação e velocidade

O processamento do algoritmo VFH, fornece em sua saída a orientação e velocidade instantâneas requeridas para a navegação do robô. Como observa-se na “Figura 5” um histograma polar apresenta picos e vales que, respectivamente, indicam alta e baixa intensidade de obstáculos. Visto isso, a orientação do robô é computada selecionando o vale candidato que mais se aproxima do objetivo final da navegação.

A velocidade máxima de navegação do robô é definida previamente à execução do algoritmo. O VFH procura manter a velocidade do robô uniforme, a menos que seja necessário reduzi-la, devido a constantes amostragens dos sensores.



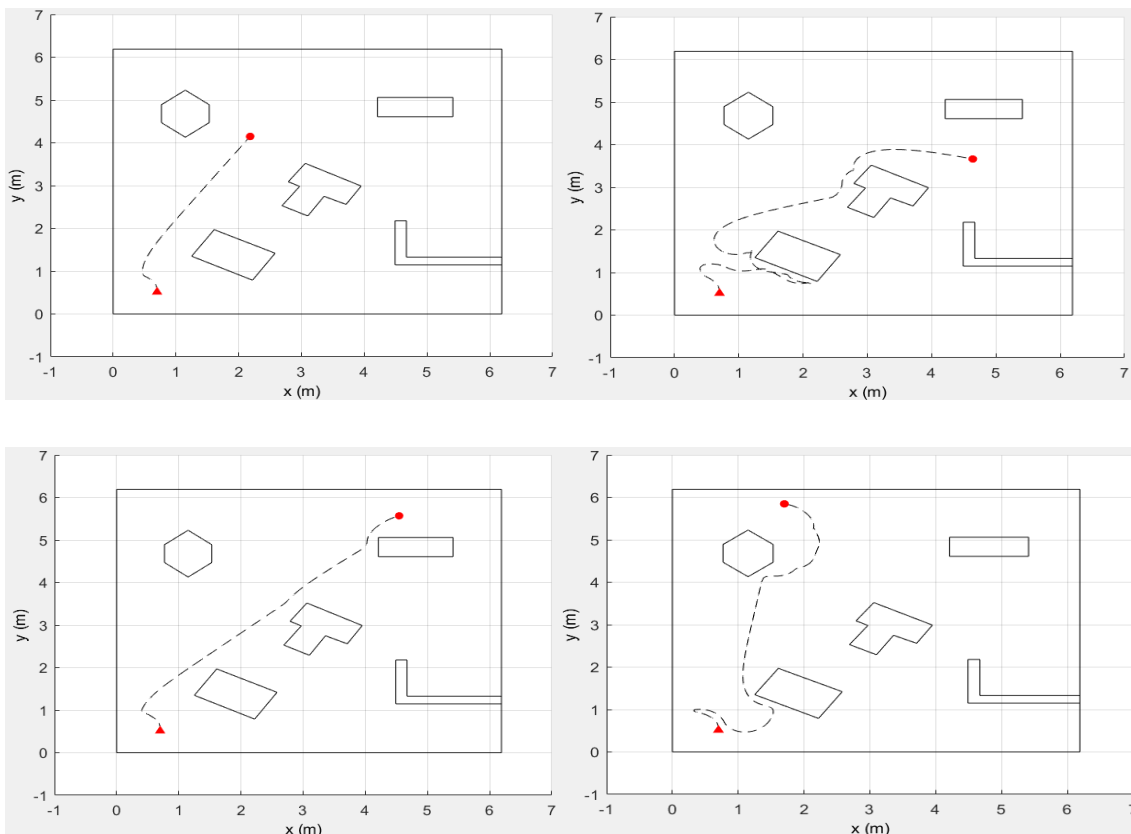
Em casos que há detecção de obstáculos próximos ao robô, é provável a necessidade de mudança de orientação e velocidade, de forma a permitir que a direção do robô seja alterada.

5. RESULTADOS

Após a implementação do algoritmo, foi averiguado o desempenho do método no ambiente de simulação proposto. Resultados satisfatórios para diversos pontos de destino foram constatados, de modo que o robô alcançou o objetivo definido. A “Figura 6” demonstra a trajetória percorrida para quatro pontos distintos, cujo destinos são representados pelo marcador circular.

O método se mostrou eficaz para evasão de obstáculos, de forma que permitiu movimento contínuo do robô móvel e manteve a navegação estável. O robô móvel controlado pelo VFH, comparado aos métodos apresentados, é mais vantajoso, pois atravessa regiões com densidade grande de obstáculos em altas velocidades médias e é capaz de passar através das aberturas ou corredores estreitos sem apresentar oscilações, além de ser insensível a erros de leitura dos sensores de distância.

Figura 6: Trajetórias Percorridas pelo robô



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior contribuição deste trabalho caracterizou-se em apresentar a estratégia de um método avançado de evasão de obstáculos de forma tangível para alunos em atual formação na



engenharia, além de introduzir ferramentas úteis que permitem o ensino e aplicação da robótica móvel e disciplinas afins da graduação.

O método abordado demonstrou êxito para distintas trajetórias, em relação ao mesmo ponto de partida, desviando o robô de obstáculos em um ambiente simulado.

Visto a eficiência do método VFH como sistema para evasão de obstáculos, sua aplicação na robótica educacional é expressiva no campo de competições de robótica, cujo eventos integram conhecimento teórico e prático, o que é possibilitado devido a criação de modelos educacionais, como robô *DaNI 2.0*, e torna mais amplo o acesso a robótica móvel no âmbito da engenharia.

Agradecimentos

À SETEC/MEC, à FAPES - Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo pela concessão das bolsas de pesquisa que em muito auxiliou na realização deste projeto. Ao Instituto Federal do Espírito Santo – IFES Campus Serra, por toda a estrutura oferecida. A toda equipe do grupo de pesquisa GAIIn – Grupo de Automação Industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORENSTEIN, Johann; KOREN, Yoram. Obstacle avoidance with ultrasonic sensors. **IEEE Journal on Robotics and Automation**, v. 4, n. 2, p. 213-218, 1988.

BORENSTEIN, Johann; KOREN, Yoram. Real-time obstacle avoidance for fast mobile robots. **IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics**, v. 19, n. 5, p. 1179-1187, 1989.

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

ELFES, Alberto. Sonar-based real-world mapping and navigation. **IEEE Journal on Robotics and Automation**, v. 3, n. 3, p. 249-265, 1987.

KHATIB, Oussama. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. **The international journal of robotics research**, v. 5, n. 1, p. 90-98, 1986.

KUC, Roman; BARSHAN, Billur. Navigating vehicles through an unstructured environment with sonar. In: **Robotics and Automation, 1989. Proceedings., 1989 IEEE International Conference on**. IEEE, 1989. p. 1422-1426.

PEDROSA, Diogo Pinheiro Fernandes. **Sistema de navegação para robôs móveis autônomos**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SIEGWART, Roland; NOURBAKHSI, Illah Reza; SCARAMUZZA, Davide. **Introduction to autonomous mobile robots**. MIT press, 2011.



ULRICH, Iwan; BORENSTEIN, Johann. VFH/sup*: local obstacle avoidance with look-ahead verification. In: **Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on.** IEEE, 2000. p. 2505-2511.

ULRICH, Iwan; BORENSTEIN, Johann. VFH+: Reliable obstacle avoidance for fast mobile robots. In: **Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on.** IEEE, 1998. p. 1572-1577.

OBSTACLE AVOIDANCE SYSTEM APPLIED TO MOBILE EDUCATIONAL ROBOTICS

Abstract: *Mobile educational robotics has been implemented as a tool in scientific teaching and development, due to the elaboration of educational kits that aid in education. One of the loopholes in robotics teaching refers to advanced theoretical knowledge that makes it difficult for students to access mobile robots. To the detriment of this, as a way of facilitating learning, this paper presents an advanced obstacle avoidance concept accessible to engineering students, exploring it as an applicable tool in the field of mobile robotics. The VFH method was programmed in LabVIEW® software, which provides a simulation environment for the DaNI 2.0 robot. At the end of this article results are presented on the implementation of VFH in the simulation and its advantage over other methods of avoiding obstacles.*

Key-words: *Mobile Robotics, Educational robotics, Obstacle avoidance, VFH method.*