MANNA JAEGER: COORDENAÇÃO AUTÔNOMA PARA MAPEAMENTO E PERSEGUIÇÃO DE ALVOS MÓVEIS EM TEMPO REAL

João Leonardo Bissoli Silva (Manna Academy), João Vitor Durso Ferraz (Coorientador), Linnyer Beatrys Ruiz Aylon (Orientadora). E-mail: lbruiz@uem.br
Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Robótica / Mecatrônica.

Palavras-chave: Robótica; Simulação; SLAM.

RESUMO

O Manna Jaeger é um sistema de coordenação autônoma para robôs móveis que integra mapeamento, navegação e perseguição de alvos móveis em ambiente simulado. Desenvolvido em ROS 2 e Gazebo, o sistema utiliza LiDAR e odometria no *slam_toolbox* para construir mapas 2D, detecta fronteiras entre regiões conhecidas e desconhecidas e seleciona novos objetivos por uma heurística gulosa baseada em distância e tamanho da fronteira. A navegação é executada pelo Nav2, enquanto uma máquina de estados coordena exploração, atualização de metas e desvio de obstáculos. No modo de perseguição, a posição do alvo é atualizada no referencial do mapa, permitindo o replanejamento dinâmico da rota. Nos testes, três pontos iniciais no mapa menor produziram tempos aproximados de 16, 7 e 10 minutos, enquanto o cenário residencial exigiu aproximadamente 6 horas de exploração. Os resultados demonstram a integração funcional entre mapeamento, planejamento e perseguição e evidenciam que ambientes de maior escala demandam mais tempo de exploração.

INTRODUÇÃO

Robôs móveis autônomos dependem da integração entre percepção, localização, mapeamento e planejamento de trajetórias para operar em ambientes desconhecidos ou dinâmicos. Nesse contexto, o Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) permite estimar o estado do robô ao mesmo tempo em que constrói uma representação do ambiente, constituindo uma base para aplicações de navegação autônoma (CADENA et al., 2016). Em sistemas baseados em LiDAR, a combinação entre varreduras do sensor e odometria é amplamente empregada para localização e construção de mapas bidimensionais (CRUZ JÚNIOR, 2021).

Quando o ambiente ainda não foi mapeado, uma das estratégias clássicas de exploração é a exploração baseada em fronteiras, que direciona o robô para regiões situadas entre espaços conhecidos e desconhecidos (YAMAUCHI, 1997). Gomes Santos (2016) investigou a geração de alvos de exploração por técnicas de otimização e metaheurísticas; no presente trabalho, adota-se uma seleção gulosa de fronteiras para simplificar a escolha do próximo objetivo e favorecer sua execução durante a navegação.

A implementação utiliza ferramentas consolidadas do ecossistema ROS 2. O *slam_toolbox* oferece mapeamento e localização 2D, inclusive em modo assíncrono

(MACENSKI; JAMBRECIC, 2021), enquanto o Navigation2 (Nav2) integra planejamento, controle e reação a obstáculos em uma arquitetura voltada à navegação autônoma (MACENSKI et al., 2020).
A contribuição do Manna Jaeger está na coordenação dessas etapas em um único sistema, capaz de explorar e mapear o ambiente e, posteriormente, utilizar o mapa produzido para perseguir um alvo móvel cuja posição é atualizada durante a execução. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar o Manna Jaeger, um sistema de coordenação autônoma que integra SLAM, exploração por fronteiras, planejamento de rotas, desvio de obstáculos e perseguição de alvos móveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema foi desenvolvido e avaliado no simulador Gazebo utilizando ROS 2. O LiDAR e a odometria do robô alimentam o *slam_toolbox*, responsável pela geração do mapa 2D em formato *occupancy grid*. A exploração autônoma identifica, por busca em largura, conjuntos de células livres adjacentes a regiões ainda desconhecidas. Para cada fronteira, uma heurística gulosa pondera seu tamanho e a distância em relação ao robô, selecionando o próximo objetivo de exploração.
Uma máquina de estados coordena o ciclo de localização, detecção de fronteiras, seleção de objetivo, navegação e verificação de cobertura. O objetivo escolhido é enviado ao Nav2 por meio da ação *NavigateToPose*. O planejador global calcula uma rota sobre o *costmap*, priorizando regiões livres e de menor custo, enquanto o controlador local converte o caminho em comandos de velocidade linear e angular e reage a obstáculos detectados durante o deslocamento.
No modo de perseguição, a posição do alvo é continuamente atualizada e convertida para o referencial do mapa. O sistema atualiza a meta de navegação quando o alvo se move ou quando alterações no *costmap* tornam a rota anterior inadequada, acionando novo planejamento quando necessário. A contribuição central do Manna Jaeger está, portanto, na coordenação entre mapeamento, exploração, navegação e perseguição de alvos em um único sistema, utilizando a representação construída pelo SLAM como base para as decisões posteriores de navegação.
A avaliação considerou dois ambientes disponíveis no Gazebo. Para o mapeamento, foi utilizada a razão entre o número de células conhecidas e o total de células do *occupancy grid* como medida de cobertura. A análise concentrou-se nos tempos de exploração, na cobertura obtida e no comportamento operacional do sistema durante o replanejamento. Como não foram coletadas métricas de uso de CPU e memória, não foi realizada uma caracterização formal do custo ou da complexidade computacional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No mapa A, de menor extensão, foram avaliados três pontos de partida. Os tempos aproximados para a rotina de exploração foram de 16 minutos em P0, 7 minutos em P1 e 10 minutos em P2. A execução iniciada em P0 atingiu 74,4% de cobertura. O menor tempo observado em P1 pode estar relacionado à posição inicial mais aberta,

que permite ao LiDAR observar uma parcela maior do ambiente nas primeiras varreduras e pode reduzir o número de fronteiras sucessivas necessárias para expandir o mapa.

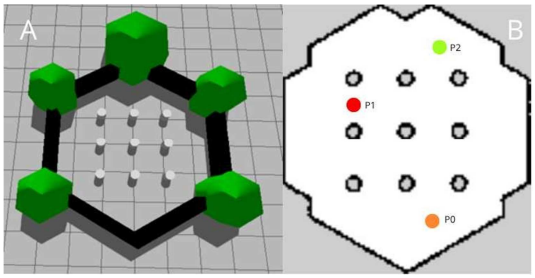


Figura 1 – Vista superior do mapa A e respectivo mapa virtual. Fonte: autoria própria.

No mapa B, que representa uma residência com múltiplos cômodos, a exploração exigiu aproximadamente 6 horas. O aumento do tempo está relacionado ao maior espaço de busca, à presença de corredores e divisões internas e ao alcance limitado do LiDAR. Esse comportamento evidencia maior demanda de exploração em ambientes mais extensos, nos quais aumentam a quantidade de células avaliadas, o número de fronteiras e as decisões de navegação.

.



Figura 2 – Vista superior do ambiente residencial utilizado na avaliação. Fonte: autoria própria.

Nos testes do modo de perseguição, realizados no mapa A, o sistema manteve a atualização da posição do alvo e converteu essas alterações em novas metas de navegação. O Nav2 recalculou rotas considerando as regiões de custo e os obstáculos presentes no mapa, enquanto o controlador local realizou os ajustes de movimento. Os testes confirmaram o funcionamento da cadeia de coordenação entre atualização do alvo, planejamento global, controle local e desvio de obstáculos durante a execução.

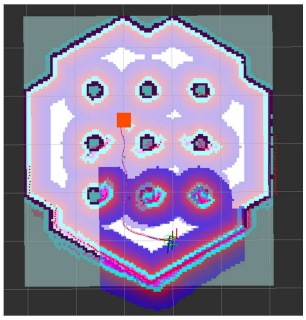


Figura 3 – Costmap utilizado no planejamento de rota e posição do alvo. Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

O Manna Jaeger demonstrou a integração funcional de mapeamento por SLAM, exploração baseada em fronteiras, navegação com Nav2 e perseguição de alvos móveis em um único sistema. O principal resultado do trabalho está na coordenação desses componentes: o robô constrói o mapa, seleciona autonomamente regiões ainda não exploradas e utiliza a representação obtida para atualizar e perseguir um alvo durante a execução. Nos cenários avaliados, o sistema executou de forma autônoma as rotinas propostas, enquanto o ambiente residencial apresentou tempo de exploração substancialmente maior que o mapa A. Como continuidade, pretende-se realizar perfilamento de CPU e memória, otimizar a detecção de fronteiras e avaliar quantitativamente o tempo de replanejamento e a resposta à movimentação do alvo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Manna Team, à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – Brasil, pelo apoio.

REFERÊNCIAS

CADENA, C. et al. Past, present, and future of simultaneous localization and mapping: toward the robust-perception age. IEEE Transactions on Robotics, v. 32, n. 6, p. 1309-1332, 2016. DOI: 10.1109/TRO.2016.2624754.

CRUZ JÚNIOR, G. P. da. Localização e mapeamento para robôs móveis em ambientes confinados baseado em fusão de LiDAR com odometrias de rodas e sensor inercial. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

GOMES SANTOS, R. Metaheurísticas para geração de alvos para robôs exploratórios autônomos. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

MACENSKI, S.; JAMBRECIC, I. SLAM Toolbox: SLAM for the dynamic world. Journal of Open Source Software, v. 6, n. 61, p. 2783, 2021. DOI: 10.21105/joss.02783.

MACENSKI, S.; MARTÍN, F.; WHITE, R.; CLAVERO, J. G. The Marathon 2: a navigation system. In: IEEE/RSJ INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT ROBOTS AND SYSTEMS (IROS), 2020. Proceedings [...]. IEEE, 2020. p. 2718-2725. DOI: 10.1109/IROS45743.2020.9341207.

YAMAUCHI, B. A frontier-based approach for autonomous exploration. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE IN ROBOTICS AND AUTOMATION (CIRA), 1997. Proceedings [...]. IEEE, 1997. p. 146-151. DOI: 10.1109/CIRA.1997.613851.