

Technical Report

Robust Path-planning with Potential Fields, Roadmaps, and Rapidly Exploring Random Trees

Alysson Ribeiro da Silva, Luiz Chaimowicz
 Computer Science Graduate Program
 Federal University of Minas Gerais
 Belo Horizonte, Brazil

Abstract—O planejamento e a navegação são essenciais para garantir que um robô móvel seja capaz de executar tarefas em um ambiente conhecido ou desconhecido. O objetivo desta proposta é explorar três algoritmos essenciais para navegação e planejamento de robôs móveis, os Campos Potenciais, Roadmaps, e Rapidly-exploring Random Trees (RRT). Em particular, os campos potenciais demonstram comportamento que tende a ficar estagnado atrás de barreiras muito largas. Já com relação às técnicas deliberativas, foi verificado que as RRTs geram caminhos mais orgânicos do que os Roadmaps, possivelmente por trabalharem em um espaço contínuo.

Index Terms—Multi-robot, Exploration, Mixed Strategy, Game Theory, Correlated Equilibrium

1 INTRODUCTION

O planejamento e a navegação são essenciais para garantir que um robô móvel seja capaz de executar tarefas em um ambiente conhecido ou desconhecido [1–5]. O grande problema quando deseja-se navegar ou planejar está relacionado ao fato de que o robô pode ficar prese em mínimos locais, caso a técnica utilizada seja reativa, ou pode gerar um plano que não seja eficiente ou que não atenda todas as restrições. Com isso em mente, o objetivo desta proposta é explorar três algoritmos essenciais para navegação e planejamento de robôs móveis, os Campos Potenciais, Roadmaps, e Rapidly-exploring Random Trees (RRT).

Para avaliar o desempenho das propostas foram realizados dois experimentos principais. O primeiro experimento avalia a capacidade dos campos potenciais em guiar o agente por um ambiente que contém obstáculos de grande e pequeno porte. Por outro lado, o segundo experimento avalia o comportamento da navegação utilizando Roadmaps e RRTs. O comportamento das RRTs e Roadmaps é verificado em dois robôs, o Pioneer3dx(não-holonômico) e o Robotino (holonômico). Os resultados apontam a eficiência das técnicas deliberativas, porém também explicita os defeitos dos campos potenciais enquanto técnica reativa.

Ao fim deste documento são apresentadas instrução para execução da simulação utilizando o código fonte disponibilizado em conjunto ao CoppeliaSim.

2 METHOD

Nesta Seção é apresentada uma visão geral sobre a arquitetura e comunicação entre elementos principais da proposta, sendo eles os Campos Potenciais, Roadmaps, e RRTs. Para cada método foram criados objetos que são utilizados para

delegar a responsabilidade da execução dos algoritmos. A Figura 1 ilustra a arquitetura,

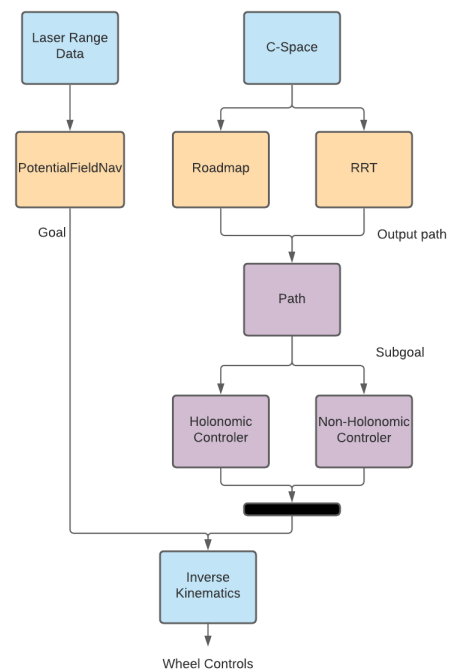


Fig. 1. Objetos criados para representar o sistema implementado.

onde a navegação através dos campos potenciais ocorre quando o robô percebe o ambiente de forma reativa e calcula as forças de repulsão e atração, através do objeto **PotentialFieldNav**, que são enviadas diretamente para a cinemática inversa para se obter os controles. Diferentemente, o planejamento através da utilização dos Roadmaps

e RRT é feito com com utilização do c-space e dos objetos, Roadmap e RRT, respectivamente.

Ambos os algoritmos, Roadmaps e RRT, geram um caminho final de vértices, onde cada vértice contém coordenadas no mundo. Cada ponto do caminho gerado é utilizado como um subgoal para os objetos, **Holonomic Controler** e **Non-Holonomic controler**. Ambos são responsáveis por selecionar o subgoal necessário para garantir a navegação. Ao fim do processo, um subgoal é enviado ao **Inverse Kinematics** para obtenção dos controles finais.

A utilização do c-space foi essencial para garantir o funcionamento adequado dos Roadmaps e das RRT, como exemplificado pela Figura 2, uma vez que o mesmo permite extrapolar a geometria do robô com o objetivo de se evitar colisões.

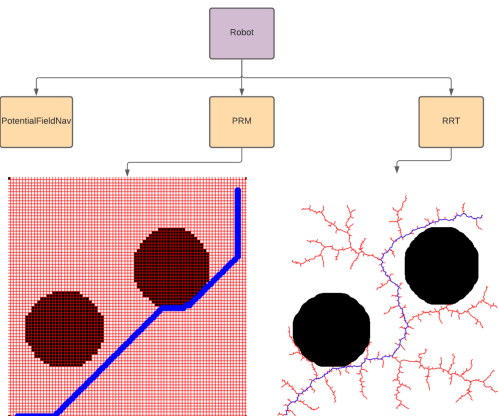


Fig. 2. Exemplo de artefatos gerados pelo sistema através da interação com o c-space.

2.1 Controladores

Foram criados dois controladores, um para robôs holonômicos e outro para robôs não-holonômicos. O objetivo do controlador é selecionar um subgoal pertencente a um caminho e decidir qual a configuração que deve ser tomada para minimizar o erro de posicionamento. Existem dois comportamentos para cada um dos controladores. O primeiro comportamento visa fazer com que o robô se mova ao subgoal com variação de velocidade gradativa. Já o segundo comportamento faz com que o robô se mova com velocidade constante entre os subgoals. Com o intuito de proporcionar melhor deslocamento do robô, o primeiro comportamento é utilizado apenas no primeiro subgoal e o segundo comportamento é utilizado apenas no último.

3 TESTES

Dois experimentos foram conduzidos para avaliar a viabilidade das propostas. O primeiro experimento visa avaliar a navegação Efetuada através dos campos potenciais e o segundo visa avaliar as demais técnicas. Dois mapas foram utilizados para conduzir os experimento e ambos são ilustrados na Figura 3. O mapa 1 foi utilizado para avaliar os Campos Potenciais e o mapa 2 foi utilizado para avaliar o **Roadmap** e a **RRT**.

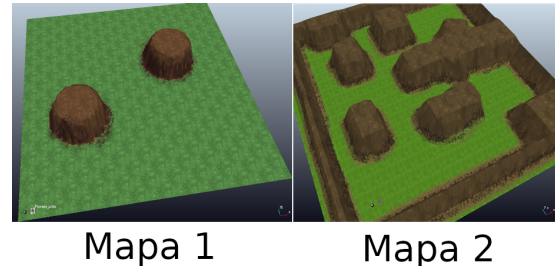


Fig. 3. Mapas utilizados para avaliação do desempenho da proposta.

O resultado é apresentado com ilustrações do caminho efetuado pelo robô, assim como o caminho gerado no caso do Roadmap e da RRT. Ambos os experimentos são apresentados em detalhes nas Seções 3.2 e 3.3.

3.1 Configuração Experimental

Para efetuar os testes foram utilizados dois robôs. O primeiro robô é um Pioneer3dx equipado com um sensor laser Hokuyo URG 04LX. O segundo robô é um robô holonômico chamado Robotino. Ambos foram simulados no CoppeliaSim no Linux Ubuntu 20.04. Para navegação do pioneer, foi utilizado o controlador proposto por De Luca e Oriolo [6]. Já o controle do Robotino é feito de forma traduzir os vetores que representam o erro com relação ao robô e ao subgoal em controles que são diretamente enviados aos atuadores. É importante notar que para a construção das RRTs, foi utilizado um epsilon fixo. Todos os caminhos gerados pelas técnicas deliberativas são computados antes de executar a navegação.

3.2 Campos Potenciais

Para avaliar os campos potenciais utilizando o robô Pioneer, três pares de pontos inicial e final foram escolhidos. Todos as configurações são apresentadas na Tabela 1.

TABLE 1
Pontos iniciais e finais para testes utilizando a navegação por Campos Potenciais.

Configuração	Início	Fim
1	x=8, y=3	x=15, y=31
2	x=2, y=2	x=38, y=38
3	x=23, y=7	x=12, y=30

É importante notar que o mapa utilizado para teste é consideravelmente maior que o robô, o que inclui o tamanho dos obstáculos. Com isso em mente, para avaliar o comportamento da navegação através dos campos potenciais em condições mais normais, foram colocadas várias caixas de tamanho pequeno no mapa, como ilustrado pela Figura 4, ao executar o teste da configuração 3.

A Figura 5 mostra as trajetórias feitas pelo robô Pioneer para cada uma das configurações.

Ao navegar através dos campos potenciais o robô encontrou muita dificuldade em ambientes com obstáculos largos. Em especial, quando o mesmo necessita desviar de obstáculos muito largos o robô efetua trajetórias ineficazes. Esse comportamento é visto nitidamente através de perturbações na trajetória do teste da configuração 1. Diferentemente,

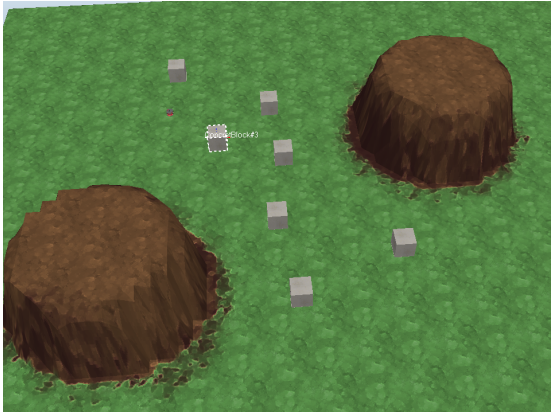


Fig. 4. Mapa com obstáculos mais condizentes com a escala do robô para efetuar os testes utilizando a configuração 3.

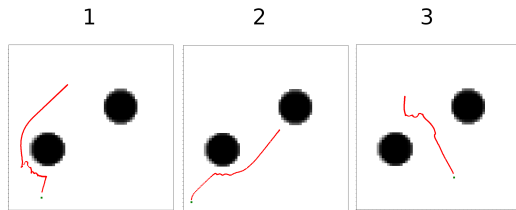


Fig. 5. Caminhos percorridos pelo robô Pioneer para todas as configurações de teste utilizando campos potenciais.

quando o objetivo não está diretamente atrás de uma barreira muito grande, a navegação é efetuada de forma satisfatória, como visto na trajetória do teste da configuração 2. Por fim, ao lidar em um ambiente com obstáculos menores, como ilustrado na trajetória do teste da configuração 3, o algoritmo não tende a ficar estagnado mínimos locais.

3.3 Roadmap e RRT

A avaliação da navegação utilizando Roadmap e RRT é feita no mapa 2 com a utilização do Pioneer e também do Robotino. Assim como nos testes utilizando os Campos Potenciais, para avaliar o Roadmap e RRT foram utilizados três pares de pontos iniciais como descritos pela Tabela 2. Para geração da RRT, foram utilizadas 2000 iterações em conjunto a um deslocamento fixo de $\epsilon = 0.5$.

É importante notar que as RRTs são computadas em domínio contínuo através do c -space e não dependem da discretização dos Roadmaps.

TABLE 2
Pontos iniciais e finais para testes utilizando a navegação por Roadmaps e RRTs.

Configuração	Início	Fim
1	$x=7, y=6$	$x=34, y=34$
2	$x=7, y=6$	$x=7, y=21$
3	$x=18, y=6$	$x=30, y=30$

3.3.1 Mapas Computados

Instâncias de mapas gerados pelos algoritmos para cada configuração de testes da Tabela 2 são ilustradas na Figura 6.

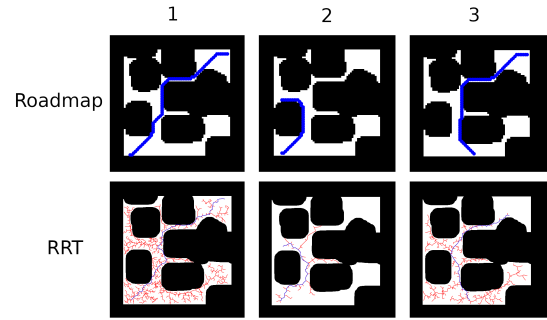


Fig. 6. Caminhos planejados com Roadmaps e RRT para cada configuração de teste.

É possível observar que os algoritmos que baseiam-se em busca de menor caminho em um grafo obtêm caminhos mais eficientes e diretos. Em contrapartida, os caminhos encontrados pelas RRTs demonstram uma estrutura mais orgânica e caótica. Para todas as configurações, os algoritmos conseguiram encontrar caminhos válidos através do processamento com auxílio do c -space.

3.3.2 Trajetória dos Robôs no Simulador

A performance dos robôs no simulador, utilizando Roadmaps é apresentada na Figura 7. O robô não-holonômico demonstra comportamento mais imprevisível, enquanto o robô holonômico demonstra seguir os caminhos com maior precisão. Para todos os testes, ambos os robôs, pioneer e robotino, conseguiram alcançar os objetivos através dos caminhos gerados utilizando PRM.

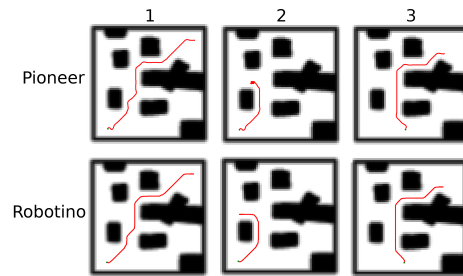


Fig. 7. Caminhos percorridos pelo Pioneer (não-holonômico) e Robotino (holonômico) utilizando Roadmaps em cada uma das três configurações.

Já o comportamento das trajetórias executadas pelos robôs ao seguir os caminhos gerados pelas RRTs (Rapidly-exploring Random Trees) é ilustrado na Figura 8. Ambos os robôs conseguiram navegar através dos caminhos gerados. Não foram observados distúrbios significativos para o robô não-holonômico. Diferentemente das trajetórias dos robôs que operavam utilizando os Roadmaps, as trajetórias das RRTs são mais ineficientes.

3.4 Conclusion

Nesta proposta foram avaliados os Campos Potenciais, Roadmaps, e Rapidly-exploring Random Trees, para

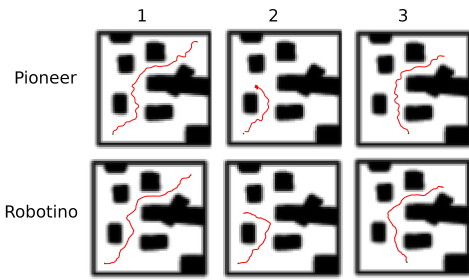


Fig. 8. Caminhos percorridos pelo Pioneer (não-holonômico) e Robotino (holonômico) utilizando Rapidly-exploring Random Trees em cada uma das três configurações.

navegação e planejamento de caminhos, respectivamente. O comportamento dos campos potenciais foi testado em um robô não-holonômico (Pioneer3dx) e o comportamento das demais técnicas foi avaliado em ambos, robô holonômico (robotino) e não-holonômico (Pioneer3dx). Em particular, os campos potenciais demonstram comportamento que tende a ficar estagnado atrás de barreiras muito largas. Porém, em ambientes mais esparsos, a mesma se mostrou eficaz e foi capaz de guiar o robô. Já com relação às técnicas deliberativas, foi verificado que as RRTs geram caminhos mais orgânicos do que os Roadmaps, possivelmente por trabalharem em um espaço contínuo. Não foram averiguados distúrbios significativos nas trajetórias efetuadas e os robôs conseguiram navegar até os objetivos para todas as configurações de teste.

REFERENCES

- [1] R. Mendonça, M. M. Marques, F. Marques, A. Lourenço, E. Pinto, P. Santana, F. Coito, V. Lobo, and J. Barata, "A cooperative multi-robot team for the surveillance of shipwreck survivors at sea," in *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*, 2016, pp. 1–6.
- [2] F. Matsuno and S. Tadokoro, "Rescue robots and systems in japan," in *2004 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2004, pp. 12–20.
- [3] H. Yoshitake, R. Kamoshida, and Y. Nagashima, "New automated guided vehicle system using real-time holonic scheduling for warehouse picking," *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 4, no. 2, pp. 1045–1052, 2019.
- [4] E. Bischoff, F. Meyer, J. Inga, and S. Hohmann, "Multi-robot task allocation and scheduling considering cooperative tasks and precedence constraints," 2020.
- [5] K. Petersen, R. Nagpal, and J. Werfel, "Termes: An autonomous robotic system for three-dimensional collective construction," 06 2011.
- [6] A. De Luca and G. Oriolo, "Local incremental planning for non-holonomic mobile robots," 06 1994, pp. 104 – 110 vol.1.