

PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO (PGED)

Planejamento de trajetória em tempo real de múltiplos robôs em ambiente semi-estruturado

Johnathan Fercher da Rosa, Mestrando

Paulo Fernando Ferreira Rosa
(Orientador)

Instituto Militar de Engenharia - IME
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Defesa

28/01/2015



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Introdução

Planejamento de trajetória faz parte de qualquer sistema robótico onde exista a necessidade de movimento, como:

- veículos terrestres
- veículos aéreos
- veículos aquáticos
- ferramenta de um braço robótico



Objetivo

Criar um algoritmo para um conjunto de robôs autônomos terrestres com poses iniciais e finais predefinidas, de modo a viabilizar uma trajetória livre de obstáculos em um ambiente semi-estruturado e executável em tempo real.



Motivação

Múltiplos robôs

Pesquisas com múltiplos robôs vêm se tornando cada vez mais constantes, pois em diversas aplicações a utilização de múltiplos robôs é vantajosa ou necessária.



Motivação

Em (Rodrigues, 2013)[1], uma equipe de robôs consegue executar tarefas que somente um robô não conseguiria, além do sistema tornar-se mais tolerante a falhas.

Em (Neto, 2012)[2], a utilização de dois veículos com a plataforma FastSLAM, faz com que a tarefa de mapeamento se torne mais eficiente.



Motivação

Tempo real

O problema de planejamento é apenas uma das ações que um robô deve executar para atuar em um ambiente, por isso um algoritmo que seja executado em tempo real é muitas vezes necessário ou vantajoso.



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura**
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Trabalhos Relacionados I

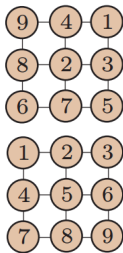
Trabalhos Relacionados

- ❶ *Planning Optimal Paths for Multiple Robots on Graphs* (Yu and LaValle, 2013)[3]
- ❷ *Path Planning for Multiple Robots: An Alternative Duality Approach* (Motee et al, 2010) [4]
- ❸ *Path-Guided Artificial Potential Fields with Stochastic Reachable Sets for Motion Planning in Highly Dynamic Environments* (Chiang et al, 2015) [5]
- ❹ *Sistemas Autônomos e Inteligentes para Robôs Cooperativos no Ambiente Small Size League* (Rodrigues, 2013) [1]
- ❺ *Centralized Decoupled Path Planning Algorithm for Multiple Robots Using the Temporary Goal Configurations* (Oh et al, 2011) [6].
- ❻ *Dynamic Path Planning for Coordinated Motion of Multiple Mobile Robots* (Langerwisch et al, 2011) [7].



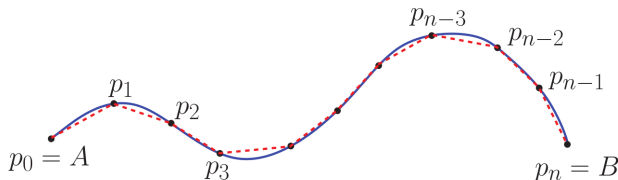
Planning Optimal Paths for Multiple Robots on Graphs (Yu and LaValle, 2013) [3].

- Não considera a existência de obstáculos fixos e móveis.



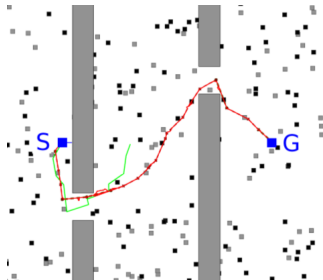
Path Planning for Multiple Robots: An Alternative Duality Approach (Motee et al, 2010) [4].

- Uma abordagem que considera o problema de MPP como um problema de otimização, ao qual o problema passa a ser encontrar uma curva suave que conecte os pontos iniciais e finais de cada robô.



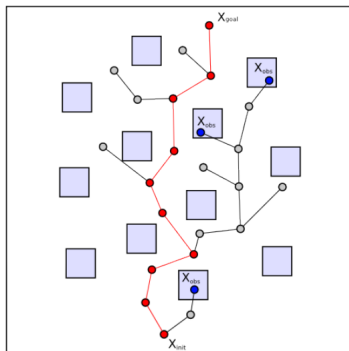
Path-Guided Artificial Potential Fields with Stochastic Reachable Sets for Motion Planning in Highly Dynamic Environments (Chiang et al, 2015) [5].

- Não considera o planejamento de trajetória de múltiplos robôs.



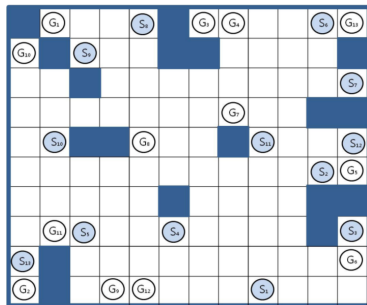
Sistemas Autônomos e Inteligentes para Robôs Cooperativos no Ambiente Small Size League (Rodrigues, 2013) [1].

- Uma abordagem que une a técnica de planejamento de trajetória RRT com os aspectos cinemáticos e dinâmicos para múltiplos robôs



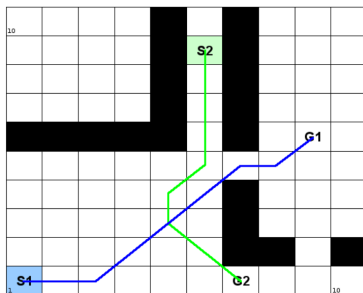
Centralized Decoupled Path Planning Algorithm for Multiple Robots Using the Temporary Goal Configurations (Oh et al, 2011) [6].

- Apresenta maior tempo de execução para chegar a uma determinada meta.



Dynamic Path Planning for Coordinated Motion of Multiple Mobile Robots (Langerwisch et al, 2011) [7].

- Uma abordagem que utiliza uma adaptação do algoritmo A^* para planejar trajetórias e replanejar utilizando informações anteriores, com isso o custo computacional é minimizado e é evitado colisões.



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema**
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Questões sobre a movimentação

- O problema da movimentação na robótica é complexo, pois sofre influência de diversas variáveis, como pode ser visto em (Latombe, 2012) [8], por isso simplifica-se o problema.
- As propriedades dinâmicas são ignoradas, a movimentação é considerada como sem contato e o robô é considerado um corpo rígido único.



Definição do problema básico

- Seja α um robô movendo-se em um espaço euclidiano W , chamado espaço de trabalho, representado por \mathbb{R}^n , com $n = 2$ ou 3 . Seja B o conjunto de obstáculos fíxos, onde $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q\}$. Assumindo que a forma de α e B são conhecidas, suas localizações e orientações em W também, e por fim que não existem limites quanto a movimentação de α .



Definição do problema básico

O problema pode ser definido como:

- Dado uma posição e orientação inicial p_i e final p_f de α (ambas em W), crie um caminho t que é definido por uma sequência contínua de pontos e orientações que partem de p_i para p_f e evitem contato com B .



Definição do problema com obstáculos móveis

- Em (Latombe, 2012) [8], para tratar o planejamento em um ambiente que possua obstáculos móveis, abre-se a configuração de espaço do robô no tempo e se busca encontrar um caminho que não entre em contato com nenhum obstáculo.



Definição do problema de múltiplos robôs

- O problema de planejamento de trajetória de múltiplos robôs não pode ser tratado como o problema básico descrito anteriormente, devido as diversas simplificações do modelo.
- MPP é tido como um problema *NP-Hard* [9].



Definição do problema de múltiplos robôs

- Planejamento centralizado é considerar um conjunto de robôs como diversos corpos rígidos que fazem parte de um único robô
 $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$.
- Planejamento desacoplado é planejar o movimento de cada robô desconsiderando as interações com os outros, passando a considerar esse problema como uma segunda fase.



Definição do problema a ser tratado

- O problema a ser tratado lida com o planejamento de trajetória de múltiplos robôs, o planejamento deve encontrar trajetórias livres de obstáculos estáticos e móveis e ser executável em tempo real.



Sumário

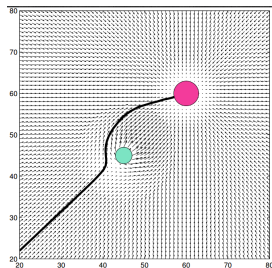
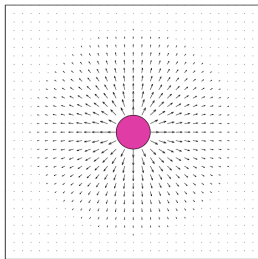
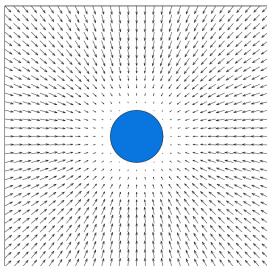
- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução**
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



O planejamento será em duas fases, na primeira será realizado um planejamento *Offline* considerando o desvio de obstáculos fixos.



Na segunda fase será realizado uma correção em tempo de execução utilizando a técnica de campos potenciais artificiais, afim de evitar colisões com obstáculos fixos, móveis e eventualmente robôs do conjunto.



A divisão do processo de planejamento obteve sucesso em *Path-Guided Artificial Potential Fields with Stochastic Reachable Sets for Motion Planning in Highly Dynamic Environments* (Chiang et al, 2015) [5],

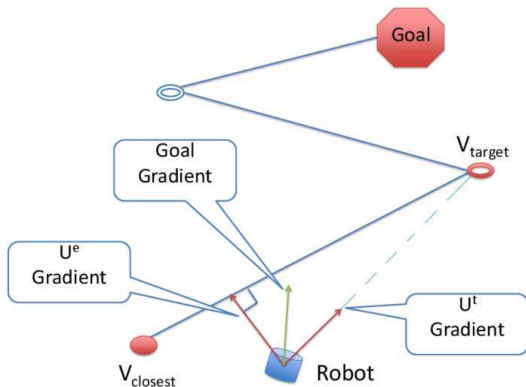


Figura: Planejamento de Trajetória.



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia**
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Metodologia

Testar algoritmos

- ❶ *Planning Optimal Paths for Multiple Robots on Graphs* (Yu and LaValle, 2013) [3]
- ❷ *Path Planning for Multiple Robots: An Alternative Duality Approach* (Motee et al, 2010) [4]
- ❸ *Path-Guided Artificial Potential Fields with Stochastic Reachable Sets for Motion Planning in Highly Dynamic Environments* (Chiang et al, 2015) [5]
- ❹ *Sistemas Autônomos e Inteligentes para Robôs Cooperativos no Ambiente Small Size League* (Rodrigues, 2013) [1]
- ❺ *Centralized Decoupled Path Planning Algorithm for Multiple Robots Using the Temporary Goal Configurations* (Oh et al, 2011) [6].
- ❻ *Dynamic Path Planning for Coordinated Motion of Multiple Mobile Robots* (Langerwisch et al, 2011) [7].

Dados a serem obtidos

- Quantidade mínima, máxima e média de uso de memória
- Percentual mínimo, máximo e médio de uso do processador
- Tempo total de locomoção entre todos os robôs
- Distancia total percorrida por todos os robôs
- Quantidade de colisões



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta**
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



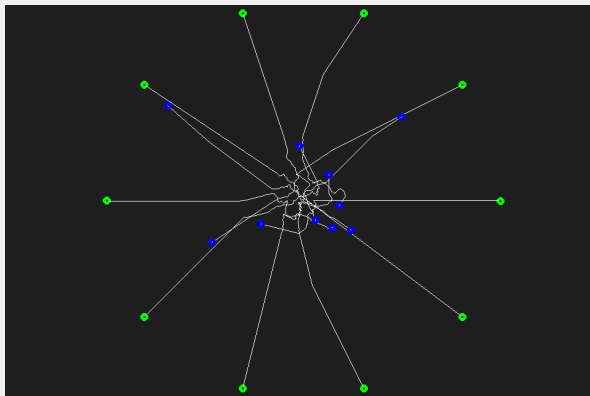
Recursos Disponíveis

- Plataforma de testes de MPP
- Seis robôs com Movimentação Omnidirecional
- Simulador grSim
- Software de controle compatível com grSim e os robôs
- Notebook Dell Core I7, 8GB, 1TB
- Servidor Xeon Quad-Core 3GHz, 16GB, 2TB, Placa Video 2GB;
- Sistema Operacional Linux
- Linguagem de Programação C++



Plataforma de teste de MPP

Plataforma de testes simples



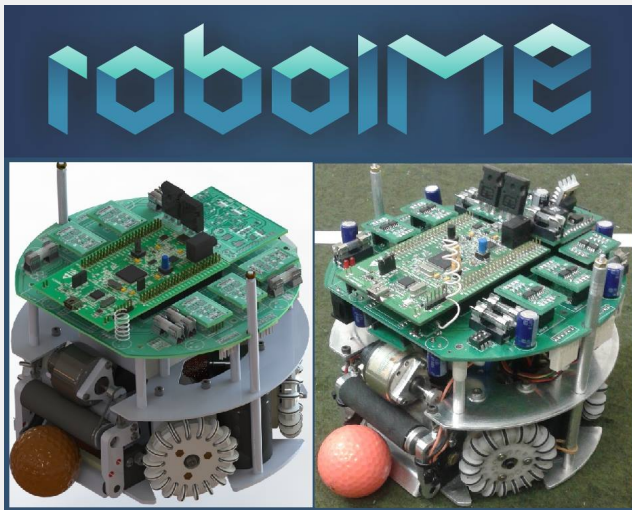
Presente na plataforma

- Quantidade de robôs variável
- Robôs não possuem limitações quanto a movimentação.
- Posições iniciais e finais aleatórias
- Posições iniciais e finais específicas
- Obstáculos fixos com formatos diferentes



Plataforma

Plataforma Robótica Omnidirecional



Simulador

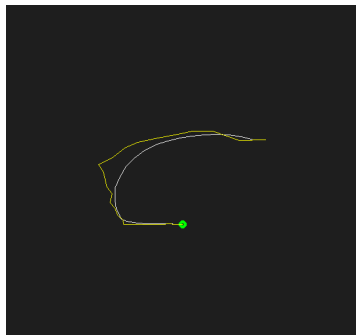
Simulador grSim



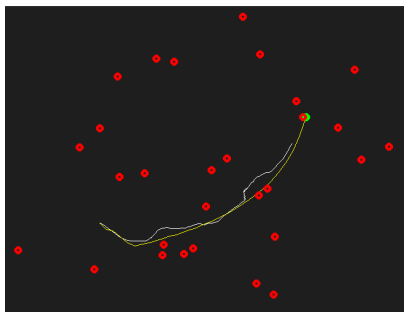
O simulador grSim aproximasse da plataforma física presente no laboratório, pois foi criado com esse propósito.



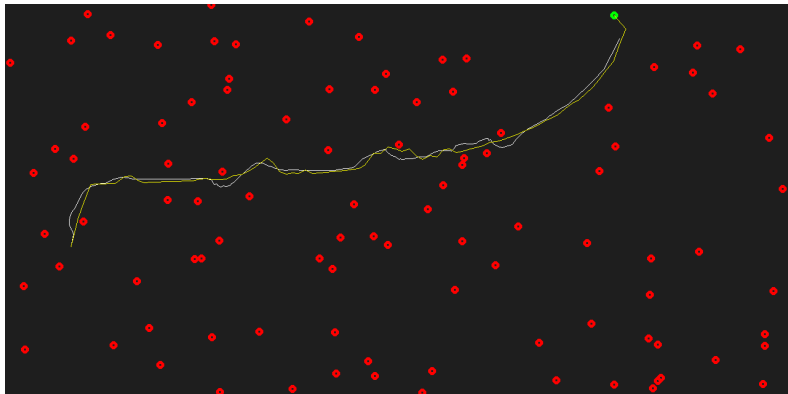
A trajetória em amarelo é criada a partir de um algoritmo de planejamento *Offline* e a trajetória em branco é criada em tempo de execução utilizando campos potenciais.



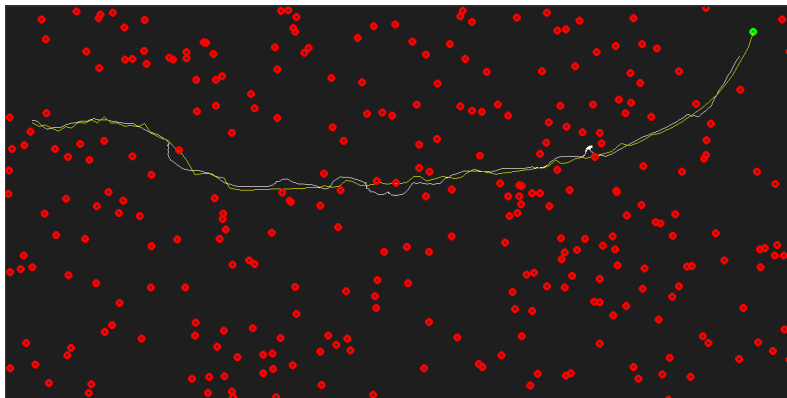
Teste simples de movimentação com 30 obstáculos, o planejamento foi executado em 18 milissegundos.



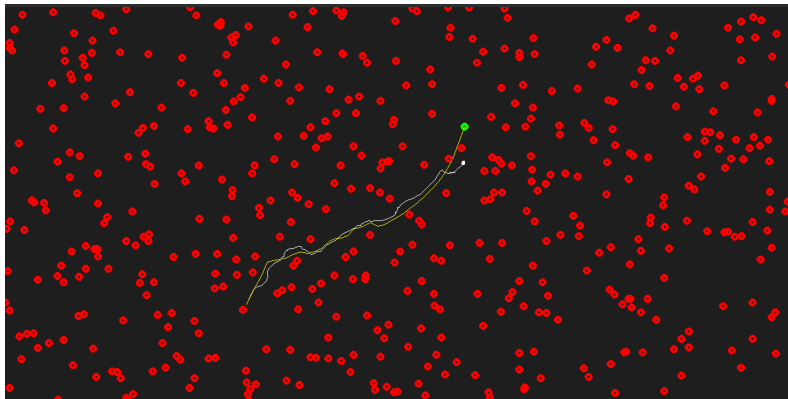
Teste simples de movimentação com 100 obstáculos, o planejamento foi executado em 22 milissegundos.



Teste simples de movimentação com 300 obstáculos, o planejamento foi executado em 35 milissegundos.



Teste simples de movimentação com 500 obstáculos, o planejamento foi executado em 57 milissegundos, porém, o robô ficou preso em um mínimo local.



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação**
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão



Validação

Plataforma de Testes Simples

O algoritmo criado será comparado com os algoritmos do estado da arte. Verificando o tempo de planejamento, distância percorrida e colisões.

Ambiente Real

O algoritmo será implementado na plataforma SSL, afim de valida-lo em um ambiente real.



Estudo de caso

Small Size League



Estudo de caso

Sensoriamento

- Visão Computacional (SSL-Vision)

Planejamento

- Estratégia de Jogo (Inteligência Artificial e Computacional)
- Planejamento de trajetória

Atuação

- Robô aplica uma certa quantidade de força aos atuadores para realizar uma tarefa.



Estudo de caso

- Como pode ser visto em (Behnke et al, 2006)[10] um ambiente de competição pode ser utilizado para o desenvolvimento e avaliação de diversas teorias, metodologias, arquiteturas e desempenhos

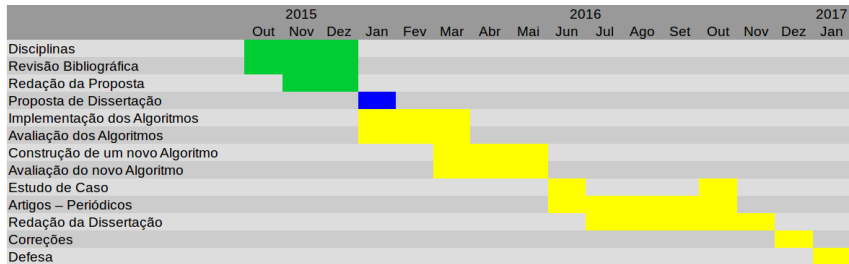


Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma**
- 10 Conclusão



Cronograma



Realizado



Em andamento



Programado



Atrasado



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da Literatura
- 3 Formulação do Problema
- 4 Proposta de Solução
- 5 Metodologia
- 6 Viabilidade da Proposta
- 7 Experimentos Preliminares
- 8 Validação
- 9 Cronograma
- 10 Conclusão**



Conclusão

- O problema de planejamento de trajetória de múltiplos robôs possui complicações que faz com que o mesmo seja intratável em grande dimensões, um planejamento executável em tempo real em diversos casos é necessário ou vantajoso, por isso qualquer algoritmo que resolva ou mitigue o problema tratado é uma contribuição para área.

Agradecimentos a Demanda Social/CAPES.



Referências I



Stefano H Rodrigues.

Sistemas autônomos e inteligentes para robôs cooperativos no ambiente small size league.

Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia, 2013.



Adão M Neto.

Mapeamento de ambiente interno semi-estruturado com múltiplos veículos utilizando sensor visual embarcado.

Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia, 2012.



Jingjin Yu and Steven M LaValle.

Planning optimal paths for multiple robots on graphs.

In *Robotics and Automation (ICRA)*, 2013 *IEEE International Conference on*, pages 3612–3617. IEEE, 2013.



Referências II

 Nader Motee, Ali Jadbabaie, and George Pappas.

Path planning for multiple robots: An alternative duality approach.

In *American Control Conference (ACC), 2010*, pages 1611–1616. IEEE, 2010.

 Hao-Tien Chiang, Nick Malone, Kendra Lesser, Meeko Oishi, and Lydia Tapia.

Path-guided artificial potential fields with stochastic reachable sets for motion planning in highly dynamic environments.

In *Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on*, pages 2347–2354. IEEE, 2015.

 Jun-Han Oh, Joo-Ho Park, and Jong-Tae Lim.

Centralized decoupled path planning algorithm for multiple robots using the temporary goal configurations.

In *Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM), 2011 Third International Conference on*, pages 206–209. IEEE, 2011.



Referências III



Marco Langerwisch and Bernardo Wagner.

Dynamic path planning for coordinated motion of multiple mobile robots.

In Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2011 14th International IEEE Conference on, pages 1989–1994. IEEE, 2011.



Jean-Claude Latombe.

Robot motion planning, volume 124.

Springer Science & Business Media, 2012.



Thomas H Cormen.

Introduction to algorithms.

MIT press, 2009.



Sven Behnke.

Robot competitions-ideal benchmarks for robotics research.

In Proc. of IROS-2006 Workshop on Benchmarks in Robotics Research, 2006.



PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO (PGED)

Planejamento de trajetória em tempo real de múltiplos robôs em ambiente semi-estruturado

Johnathan Fercher da Rosa, Mestrando
johnathanfercher22@gmail.com

Paulo Fernando Ferreira Rosa
rpaulo@ime.eb.br

