

Navegação Local do ATLASCAR2 para Condução Autónoma e Assistência ao Condutor

Ricardo Luís Fernandes Silva ¹

Orientador: Professor Doutor Vítor Santos

Coorientador: Professor Doutor Paulo Dias

¹ricardolfsilva@ua.pt

Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Aveiro

26 de julho de 2018



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Navegação Local do ATLASCAR2 para Condução Autónoma e Assistência ao Condutor

Ricardo Luís Fernandes Silva ¹

Orientador: Professor Doutor Vítor Santos
Coorientador: Professor Doutor Paulo Dias

¹ricardolfsilva@ua.pt
Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade de Aveiro

26 de julho de 2018

1. Capa e apresentação.

Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



Sumário

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros

1. Conteúdo da apresentação.

Introdução

1 Introdução

- Assistência à condução / Condução autónoma
- Enquadramento e motivação
- Objetivos

2 Revisão da literatura

3 Infraestrutura experimental

4 Solução de navegação local

5 Ambiente de simulação

6 Resultados

7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└─ Introdução

└─ Introdução

1. Conteúdo da introdução.

Introdução

■ Introdução

- Assistência à condução / Condução autónoma
- Enquadramento e motivação
- Objetivos

■ Revisão da literatura

■ Infraestrutura experimental

■ Solução de navegação local

■ Ambiente de simulação

■ Resultados

■ Conclusões e trabalhos futuros

Assistência à condução / Condução autónoma

- Segundo a Organização Mundial de Saúde, em 2013 ocorreram cerca de 1,25 milhões de mortes nas estradas.
- A indústria automóvel introduziu Sistemas Avançados de Assistência à Condução (ADAS) para aumentar a segurança.
- Os sistemas ADAS evoluíram para sistemas mais complexos com a finalidade da Condução Autónoma (AD).



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Introdução

Assistência à condução / Condução autónoma

Assistência à condução / Condução autónoma

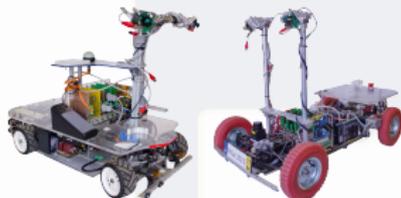
- Segundo a Organização Mundial de Saúde, em 2013 ocorreram cerca de 1,25 milhões de mortes nas estradas.
- A indústria automóvel introduziu Sistemas Avançados de Assistência à Condução (ADAS) para aumentar a segurança.
- Os sistemas ADAS evoluíram para sistemas mais complexos com a finalidade da Condução Autónoma (AD).



1. Uma das principais causas de evolução nos automóveis é a segurança.
2. Sistemas de apoio à condução como o ABS, ESC, travagem automática e assistente de faixa de rodagem.
3. Projetos de condução autónoma como da Google com 5 milhões de km percorridos, Uber, Tesla e Vislab.

O projeto ATLAS

- O projeto ATLAS foi criado no Lab. de Automação e Robótica (LAR), para o estudo de sensores e sistemas avançados de condução.
- As primeiras experiências ocorreram em modelos à escala.
- Recentemente, foram instrumentados dois automóveis reais, o ATLASCAR1 e o ATLASCAR2 (plataforma atual).



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Introdução

Enquadramento e motivação

O projeto ATLAS

O projeto ATLAS

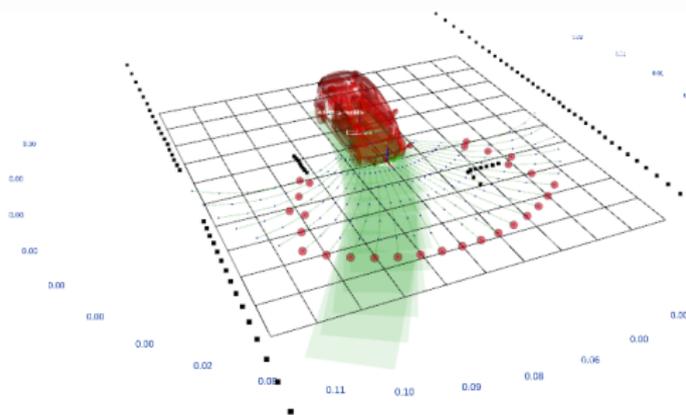
- O projeto ATLAS foi criado no Lab. de Automação e Robótica (LAR), para o estudo de sensores e sistemas avançados de condução.
- As primeiras experiências ocorreram em modelos à escala.
- Recentemente, foram instrumentados dois automóveis reais, o ATLASCAR1 e o ATLASCAR2 (plataforma atual).



1. O projeto ATLAS foi criado no LAR e surgiu primeiro para teste de sensores e sistemas de condução.
2. Depois passou para os modelos à escala, Alas2000 e AtlasMV para competições de condução autónoma no festival nacional de robótica com 6 primeiros lugares.
3. Plataforma ATLASCAR1, Ford Escort com reconstrução do ambiente, estacionamento automático e seguimento de pedestres.
4. Plataforma ATLASCAR2, Mitsubishi i-MiEV com LIDARs, inclinometria e GPS/GNSS.

Enquadramento

- A proliferação de tecnologias como o LIDAR e o GPS expandiu a investigação da AD a institutos e universidades.
- A capacidade da recolha de dados reais, por parte do ATLASCAR2, permite a que a UA também explore esta área.
- Esta dissertação surge para desenvolver um módulo de navegação local para assistência ao condutor na tomada de decisão imediata.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

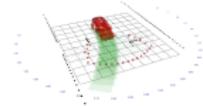
Introdução

Enquadramento e motivação

Enquadramento

Enquadramento

- A proliferação de tecnologias como o LIDAR e o GPS expandiu a investigação da AD a institutos e universidades.
- A capacidade da recolha de dados reais, por parte do ATLASCAR2, permite a que a UA também explore esta área.
- Esta dissertação surge para desenvolver um módulo de navegação local para assistência ao condutor na tomada de decisão imediata.



1. Como a tecnologia ficou mais barata e acessível a todos a condução autónoma saiu dos produtores automóveis.
2. Projetos passados e plataformas existentes permitem a investigação na universidade.
3. Esta dissertação é para desenvolver um módulo navegação local para assistência ao condutor na direção a seguir de acordo com os dados recebidos.
4. Só assistência ao condutor devido à falta de atuação no ATLASCAR2.

Objetivos

- Identificação e seleção das estruturas de dados mais adequadas aos algoritmos de navegação local.
- Identificação e seleção dos algoritmos de navegação local mais adequados aos ambientes esperados para o ATLASCAR2.
- Implementação e teste do algoritmo selecionado para fazer a navegação local.
- Desenvolvimento de uma aplicação de monitorização do algoritmo de navegação local.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Introdução

Objetivos

Objetivos

- Identificação e seleção das estruturas de dados mais adequadas aos algoritmos de navegação local.
- Identificação e seleção dos algoritmos de navegação local mais adequados aos ambientes esperados para o ATLASCAR2.
- Implementação e teste do algoritmo selecionado para fazer a navegação local.
- Desenvolvimento de uma aplicação de monitorização do algoritmo de navegação local.

1. Identificação das representações do espaço livre como polígonos, grelhas e simples obstáculos.
2. Pesquisa e estudo de algoritmo de navegação local aplicados não só à condução autónoma.
3. Implementação do algoritmo escolhido e da representação do espaço livre à arquitetura já existente.
4. Desenvolvimento de uma aplicação para que o condutor/utilizador possa ver o que o algoritmo indica.

Revisão da literatura

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura**
 - Planeamento em AD
 - Algoritmos
- 3 Infraestrutura experimental

- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado
└ Revisão da literatura

└ Revisão da literatura

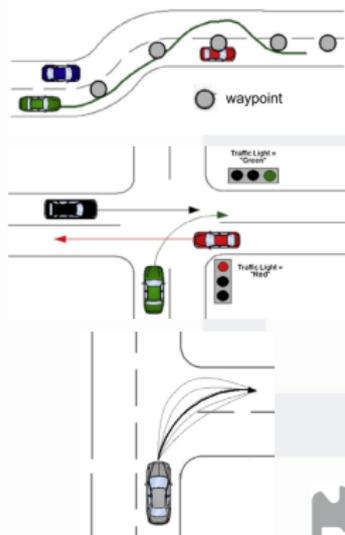
1. Conteúdo da revisão da literatura.

Revisão da literatura

- Introdução
- Revisão da literatura**
 - Planeamento em AD
 - Algoritmos
- Infraestrutura experimental
- Solução de navegação local
- Ambiente de simulação
- Resultados
- Conclusões e trabalhos futuros

Tipos de planeamento

- O planeamento em AD pode ser dividido em dois superiores: o planeamento local e o planeamento global (rotas).
- Por sua vez o planeamento local é responsável por 3 atividades bem distintas:
 - Planeamento do caminho;
 - Planeamento de manobras;
 - Planeamento da trajetória.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Revisão da literatura

- └ Planeamento em AD

- └ Tipos de planeamento

Tipos de planeamento

- O planeamento em AD pode ser dividido em dois superiores: o planeamento local e o planeamento global (rotas).
- Por sua vez o planeamento local é responsável por 3 atividades bem distintas:
 - Planeamento do caminho;
 - Planeamento de manobras;
 - Planeamento da trajetória.



1. Planeamento dividido em dois níveis: local e global.
2. Planeamento global é responsável pela rota entre o ponto inicial e final baseado apenas em mapas digitais das estradas.
3. Planeamento local dividido em três: caminhos, manobras e trajetória.
4. Planeamento de caminhos para unir os way points considerando os obstáculos visíveis.
5. Planeamento de manobras para situações mais complexas como cruzamentos, ultrapassagens e parques de estacionamento.

Planeamento da trajetória

“Trajectory planning is concerned with the real-time planning of the actual vehicle’s transition from one feasible state to the next, satisfying the vehicle’s kinematic limits based on vehicle dynamics and constrained by the navigation comfort, lane boundaries and traffic rules, while avoiding, at the same time, obstacles including other road users as well as ground roughness and ditches.”¹

¹Christos Katrakazas et al. “Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions”. Em: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 60 (2015), pp. 416–442. DOI: 10.1016/j.trc.2015.09.011.



Dissertação de mestrado

Revisão da literatura

Planeamento em AD

Planeamento da trajetória

2018-07-26

“Trajectory planning is concerned with the real-time planning of the actual vehicle’s transition from one feasible state to the next, satisfying the vehicle’s kinematic limits based on vehicle dynamics and constrained by the navigation comfort, lane boundaries and traffic rules, while avoiding, at the same time, obstacles including other road users as well as ground roughness and ditches.”¹

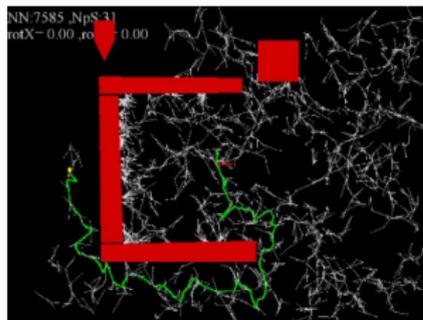
¹Christos Katrakazas et al. “Real-time motion planning methods for autonomous on-road driving: State-of-the-art and future research directions”. Em: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 60 (2015), pp. 416–442. DOI: 10.1016/j.trc.2015.09.011.

1. O planeamento da trajetória é o ponto central desta dissertação.
2. O planeamento da trajetória (também conhecido como geração de trajetória) está preocupado com o planeamento em tempo real da transição do veículo do estado atual para o seguinte, satisfazendo os limites cinemáticos do veículo com base na dinâmica do mesmo e restringido pelo conforto da navegação, evitando ao mesmo tempo obstáculos, incluindo outros utentes da estrada, bem como rugosidade e valas no solo.

Algoritmos de planeamento de trajetória

- Os algoritmos de planeamento de trajetória calculam a trajetória ótima entre a posição atual e o objetivo.

- | | |
|-----------------------|-------|
| ■ Campos de potencial | ■ VFH |
| ■ A* | ■ PRM |
| ■ JPS | ■ RRT |



- ✓ Trajetória ótima de acordo com os parâmetros do algoritmo e o espaço de planeamento.
- × Execução mais demorada, principalmente quando aplicados em grelhas.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- Revisão da literatura

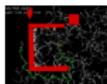
- Algoritmos

- Algoritmos de planeamento de trajetória

Algoritmos de planeamento de trajetória

- Os algoritmos de planeamento de trajetória calculam a trajetória ótima entre a posição atual e o objetivo.

- | | |
|-----------------------|-------|
| ■ Campos de potencial | ■ VFH |
| ■ A* | ■ PRM |
| ■ JPS | ■ RRT |

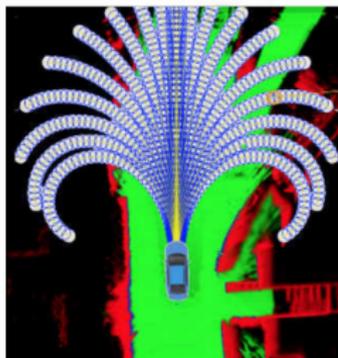


- ✓ Trajetória ótima de acordo com os parâmetros do algoritmo e o espaço de planeamento.
- × Execução mais demorada, principalmente quando aplicados em grelhas.

- São algoritmos que determinam a trajetória ótima entre dois pontos e a maioria utiliza um mapa mais global e executa a trajetória até ao fim.
- Campos de potencial: semelhante a potencial elétrico com campos repulsores (positivos), e atratores (negativos).
- A*: procura em grelhas com estimativa do custo total da célula ao ponto final e inicial.
- JPS: mesmo que A* mas saltos maiores.
- VFH: discretização do espaço em histograma e seleção da direção.
- PRM: traçado de pontos aleatórios e escolha do melhor caminho.
- RRT: trajetórias entre estados e seleção do próximo estado.
- Trajetoória ótima de acordo com os parâmetros do algoritmo e o espaço de planeamento.
- Execução mais demorada, principalmente quando aplicados em grelhas.

Algoritmos de planeamento por hipóteses

- Os algoritmos de planeamento por hipóteses são algoritmos de avaliação e seleção de trajetórias hipotéticas, dentro de um conjunto discreto.
 - Grelhas evidenciais;
 - Abordagem por múltiplas hipóteses.



- ✓ Planeamento mais rápido e reativo.
- × Não determinam a trajetória ótima.

2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Revisão da literatura

- └ Algoritmos

- └ Algoritmos de planeamento por hipóteses

- Os algoritmos de planeamento por hipóteses são algoritmos de avaliação e seleção de trajetórias hipotéticas, dentro de um conjunto discreto.

- Grelhas evidenciais;
- Abordagem por múltiplas hipóteses.



- ✓ Planeamento mais rápido e reativo.
- × Não determinam a trajetória ótima.

1. Algoritmos que não são bem de planeamento mas sim de seleção de hipotéticas trajetórias que não são executadas.
2. Grelhas evidenciais: trajetórias em clotóide em cima de grelhas de ocupação.
3. Abordagem por múltiplas hipóteses: trajetórias em arco avaliadas de acordo com a proximidade a obstáculos e ao ponto atrator.
4. Planeamento mais rápido e reativo.
5. Não determinam a trajetória ótima.

Infraestrutura experimental

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental**
 - Hardware
 - Software

- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado
└─ Infraestrutura experimental

└─ Infraestrutura experimental

1. Conteúdo da infraestrutura experimental.

Infraestrutura experimental

- Introdução
- Revisão da literatura
- Infraestrutura experimental**
 - Hardware
 - Software
- Solução de navegação local
- Ambiente de simulação
- Resultados
- Conclusões e trabalhos futuros

Plataforma ATLASCAR2

- Baseada num automóvel elétrico, um *Mitsubishi i-MiEV*.
- Possui instalados sensores LIDAR, de localização (GNSS), e visão. Existe ainda um servidor para processamento de dados e uma UPS.
- Nesta dissertação foram utilizados, diretamente, os sensores LIDAR.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└─ Infraestrutura experimental

└─ Hardware

└─ Plataforma ATLASCAR2

Plataforma ATLASCAR2

- Baseada num automóvel elétrico, um Mitsubishi i-MiEV.
- Possui instalados sensores LIDAR, de localização (GNSS), e visão. Existe ainda um servidor para processamento de dados e uma UPS.
- Nesta dissertação foram utilizados, diretamente, os sensores LIDAR.



1. O ATLASCAR2 é um automóvel elétrico com 49 kW de potência e baterias com 16kWh para 100 km.
2. Possui 4 sensores Sencick para medir a distância ao solo com compõem o módulo de inclinometria.
3. Uma câmara RGB Point Grey.
4. Uma unidade de GNSS Novatel com fusão de dados GPS com unidade inercial.
5. Um LIDAR 3D de 4 feixes para deteção de obstáculos e reconstrução da estrada.
6. Dois LIDARs 2D para deteção de obstáculos.

LIDARs

- Detecção de obstáculos através de laser pulsado.

- *Sick LMS151*

- 1 feixe planar com abertura de 270°;
- Detecção de obstáculos desde 0,5 m até 50 m.



- *Sick LD-MRS400001*

- 4 feixes planares distados de 0,8° e com abertura de 85°;
- Detecção de obstáculos desde 0,5 m até 300 m.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Infraestrutura experimental

- └ Hardware

- └ LIDARs

LIDARs

- Detecção de obstáculos através de laser pulsado.

- Sick LMS151
 - 1 feixe planar com abertura de 270°;
 - Detecção de obstáculos desde 0,5 m até 50 m.
- Sick LD-MRS400001
 - 4 feixes planares distados de 0,8° e com abertura de 85°;
 - Detecção de obstáculos desde 0,5 m até 300 m.



1. Tecnologia de deteção de obstáculos através da medição do tempo de reflexão de luz laser pulsada.
2. O LMS151 tem frequência de 25 Hz e resolução de 0,25°. Deteta quase todos os objetos. Erro sistemático de mM 30 mm e estatístico de 12 mm. Comunicação Ethernet por TCP/IP.
3. O LDMRS tem frequência de 25 Hz e resolução de 0,25°. Deteta quase todos os objetos. Erro sistemático de mM 300 mm e estatístico de 100 mm. Comunicação Ethernet por TCP/IP.
4. O erro sistemático depende da forma como o sensor é construído e da temperatura. Minimizado com com a colocação de um objeto a distância fixa.
5. O erro estatístico é o erro entre medições estáticas do mesmo objeto. Minimizado com a média das medições.

ROS e Gazebo

- A arquitetura de *software* da plataforma ATLASCAR2 é baseada na *framework* ROS.

■ ROS

- Desenvolvimento de software para robôs;
- Arquitetura modular;
- *Open Source* com grande comunidade ativa;
- Possibilidade de programação em várias linguagens.



■ Gazebo

- Simulação de robôs com sensores incorporados em múltiplos ambientes;
- Integração com ROS.



GAZEBO



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└─ Infraestrutura experimental

└─ Software

└─ ROS e Gazebo

ROS e Gazebo

■ A arquitetura de software da plataforma ATLASCAR2 é baseada na *framework* ROS.

■ ROS

- Desenvolvimento de software para robôs;
- Arquitetura modular;
- *Open Source* com grande comunidade ativa;
- Possibilidade de programação em várias linguagens.

ROS

■ Gazebo

- Simulação de robôs com sensores incorporados em múltiplos ambientes;
- Integração com ROS.

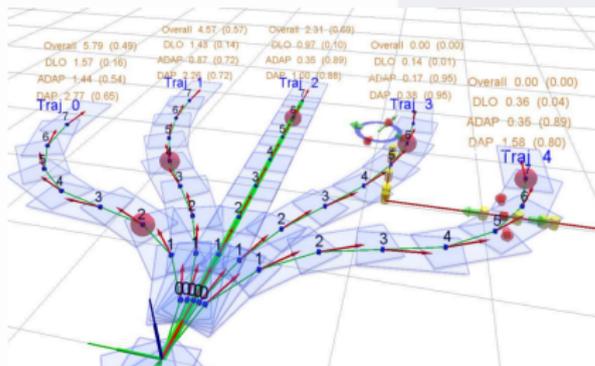
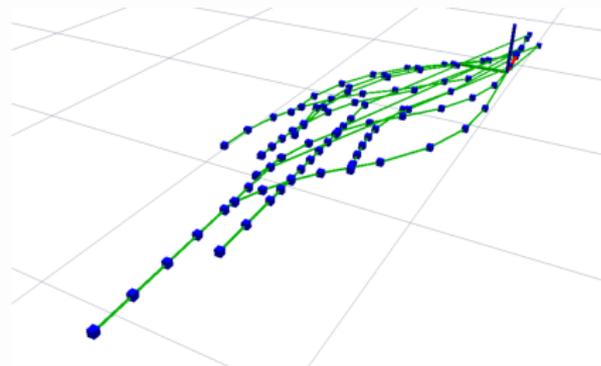


GAZEBO

1. Toda infraestrutura de software do ATLASCAR2 é desenvolvida em ROS.
2. O ROS é uma *framework* modular, open source e com programação em C++, Python e LISP.
3. A comunidade ativa do ROS permite a resolução de vários problemas.
4. Foram utilizadas ferramentas do ROS como o Rviz para a visualização de dados a 3D e o Rosbag para armazenar dados.
5. Gazebo permite simulações muito complexas em todos os tipos de ambiente com interações de vários tipos entre os elementos.
6. Possui ainda a vantagem de estar totalmente integrado com o ROS.

Trajectory planner package

- Aplica o algoritmo de planeamento por múltiplas hipóteses com trajetórias dedicadas à manobra de estacionamento.
- Existe ainda um simulador para obstáculos virtuais que permite a deteção de colisões.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

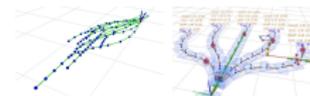
└ Infraestrutura experimental

└ Software

└ Trajectory planner package

Trajectory planner package

- Aplica o algoritmo de planeamento por múltiplas hipóteses com trajetórias dedicadas à manobra de estacionamento.
- Existe ainda um simulador para obstáculos virtuais que permite a deteção de colisões.

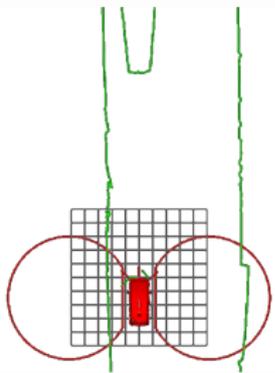


1. Package ROS reutilizado do LAR toolkit que aplica o algoritmo de planeamento por múltiplas hipóteses à execução da manobra de estacionamento dos robôs ATLAS à escala.
2. Possui ainda um espécie de simulador com obstáculos virtuais representados por linhas e um ponto atrator dados por marcadores visuais do Rviz.

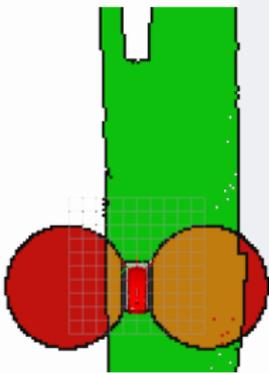
Free space detection package

- Pacote ROS responsável pela fusão dos dados dos 3 LIDARs numa nuvem de pontos única.
- Permite ainda a representação do espaço livre para navegação de duas formas distintas:

- Polígono de espaço livre;



- Grelha de ocupação.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└─ Infraestrutura experimental

└─ Software

└─ Free space detection package

Free space detection package

- Pacote ROS responsável pela fusão dos dados dos 3 LIDARs numa nuvem de pontos única.
- Permite ainda a representação do espaço livre para navegação de duas formas distintas:

■ Polígono de espaço livre;

■ Grelha de ocupação.



1. Desenvolvido em dissertações anteriores para fundir os dados dos 3 sensores LIDAR a bordo do ATLASCAR2.
2. Neste caso apenas se utilizam os dois feixes superiores do LIDAR 3D porque os outros batem no chão.
3. O espaço livre navegável em torno do ATLASCAR2 pode ser representado por um polígono de espaço livre ou por uma grelha de ocupação.

Solução de navegação local

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local**
 - Solução implementada
 - Geração de trajetórias

- Detecção de colisões
- Definição do ponto atrator
- Pontuação das trajetórias

- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado
└ Solução de navegação local

└ Solução de navegação local

1. Conteúdo da solução de navegação.

Solução de navegação local

- Introdução
- Revisão da literatura
- Infraestrutura experimental
- Solução de navegação local**
 - Solução implementada
 - Geração de trajetórias
- Detecção de colisões
- Definição do ponto atrator
- Pontuação das trajetórias
- Ambiente de simulação
- Resultados
- Conclusões e trabalhos futuros

Algoritmo selecionado

■ RRT e suas variantes:

- ✓ Consideração das restrições não holonômicas do veículo e rápida exploração do espaço de planeamento.
- × Forte dependência da heurística de marcação aleatória dos pontos candidatos.

■ A* híbrido:

- ✓ Trajetórias executáveis por veículos não holonômicos e natureza ótima da trajetória traçada.
- × Planeamento em grelhas com forte dependência da discretização do espaço de planeamento.

■ Planeamento por múltiplas hipóteses:

- × Não executa o planeamento completo da trajetória.
- ✓ Capacidade de operação em tempo real.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└─ Solução de navegação local

└─ Solução implementada

└─ Algoritmo selecionado

Algoritmo selecionado

- RRT e suas variantes:
 - ✓ Consideração das restrições não holonômicas do veículo e rápida exploração do espaço de planeamento.
 - × Forte dependência da heurística de marcação aleatória dos pontos candidatos.
- A* híbrido:
 - ✓ Trajetórias executáveis por veículos não holonômicos e natureza ótima da trajetória traçada.
 - × Planeamento em grelhas com forte dependência da discretização do espaço de planeamento.
- Planeamento por múltiplas hipóteses:
 - × Não executa o planeamento completo da trajetória.
 - ✓ Capacidade de operação em tempo real.

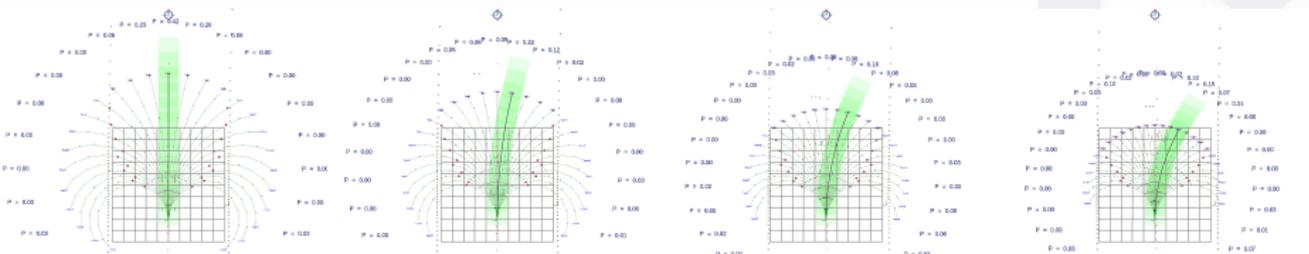
1. RRT e suas variantes têm a vantagem de considerar as restrições não holonômicas do veículo e da rápida exploração do espaço de planeamento. No entanto, a forte dependência da heurística de marcação aleatória dos pontos candidatos e da métrica para determinar o próximo estado condicionam a sua aplicação.
2. A* híbrido já considera trajetórias executáveis por veículos não holonômicos e estas trajetórias apresentam uma natureza ótima de acordo com a parametrização do algoritmo. No entanto, o planeamento em grelhas é muito demorado e com forte dependência da discretização do espaço de planeamento.
3. Planeamento por múltiplas hipóteses nem deve ser considerado para planeamento a baixas velocidades pois não executa o planeamento completo da trajetória. No entanto, a sua eficiência computacional permite a operação em tempo real.

Trajetoárias

- A geração das trajetórias hipotéticas, em arco, é realizada de acordo com a velocidade de veículo, que varia linearmente com a direção.
- O comprimento mínimo das trajetórias é de 4,5 m para garantir a ausência de colisões e permitir inversão de marcha.

$$\begin{bmatrix} \Pi_x \\ \Pi_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D}{\tan(\alpha)} \cdot \sin\left(\frac{A \cdot \tan(\alpha)}{D}\right) \\ \frac{D}{\tan(\alpha)} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{A \cdot \tan(\alpha)}{D}\right)\right) \end{bmatrix}$$

$$D = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g}$$



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Solução de navegação local
 - └ Geração de trajetórias
 - └ Trajetórias

Trajetoárias

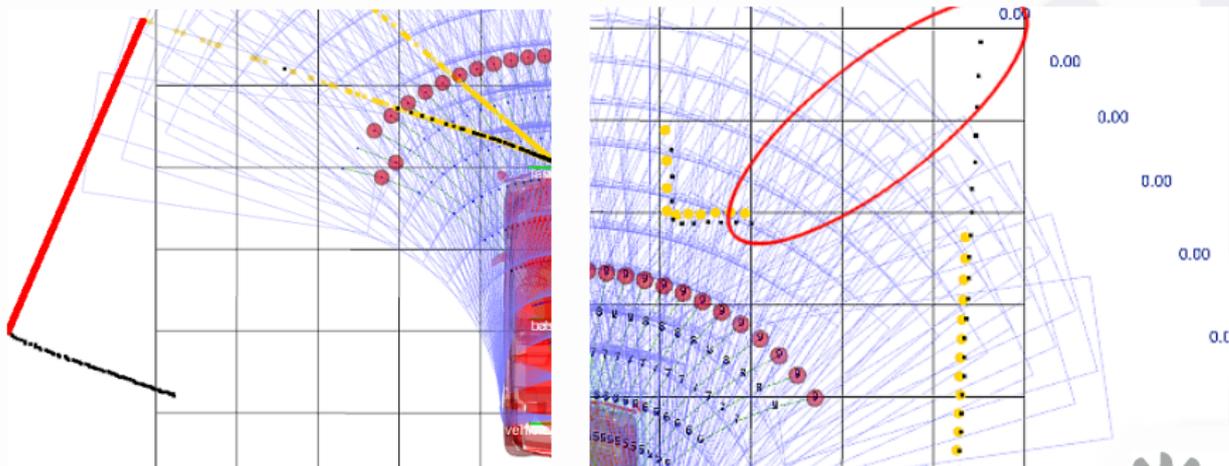
- A geração das trajetórias hipotéticas, em arco, é realizada de acordo com a velocidade de veículo, que varia linearmente com a direção.
- O comprimento mínimo das trajetórias é de 4,5 m para garantir a ausência de colisões e permitir inversão de marcha.

$$\begin{bmatrix} \Pi_x \\ \Pi_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D}{\tan(\alpha)} \cdot \sin\left(\frac{A \cdot \tan(\alpha)}{D}\right) \\ \frac{D}{\tan(\alpha)} \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{A \cdot \tan(\alpha)}{D}\right)\right) \end{bmatrix} \quad D = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g}$$

1. As trajetórias são arcos de circunferência com centro no meio do eixo traseiro do carro. A posição do carro é calculada de acordo com o comprimento do arco, D, o entre-eixo, A, e o ângulo da direção, alpha.
2. Os arcos são divididos em segmentos para facilitar o cálculo das colisões.
3. As trajetórias passaram de estáticas a dinâmicas com o comprimento a depender da velocidade de circulação. O coeficiente de atrito utilizado foi 0,4.
4. Numa fase mais avançada a velocidade do veículo foi alterada de acordo com o ângulo de direção escolhido. Esta relação é linear entre dois valores pré-definidos.
5. O comprimento mínimo das trajetórias teve que ser limitado para evitar situações de colisão quando surgem obstáculos repentinos. Foi limitado a 4,5 m para garantir a possibilidade de inversão de marcha.

Colisões

- Inicialmente as colisões eram detetadas por interseções de linhas.
- De forma a eliminar o problema da criação de barreiras virtuais passaram a ser determinadas por inclusões poligonais, com recurso ao *winding number*.



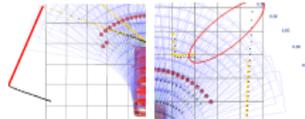
2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Solução de navegação local
 - └ Deteção de colisões
 - └ Colisões

Colisões

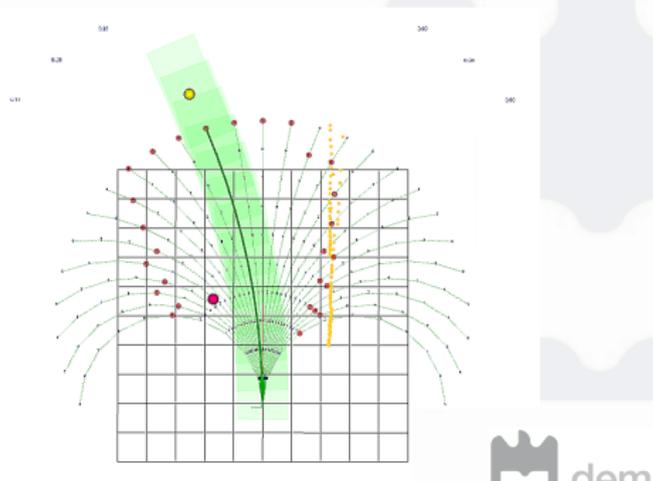
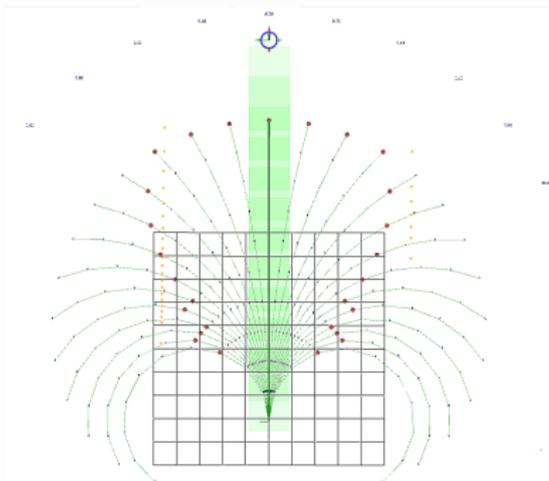
- Inicialmente as colisões eram detetadas por interseções de linhas.
- De forma a eliminar o problema da criação de barreiras virtuais passaram a ser determinadas por inclusões poligonais, com recurso ao winding number.



1. As colisões eram inicialmente detetadas através da interseção das linhas do polígono de espaço livre com as linhas do retângulo representativo do carro.
2. Como o polígono contém todos os obstáculos sem distinção entre os obstáculos existe uma linha que criava uma barreira fictícia.
3. Para resolver este problema as colisões passaram a ser detetadas através de inclusões de pontos da nuvem dentro dos retângulos representativos do carro.
4. Para saber se um ponto está dentro do retângulo recorre-se ao winding number. Se o ponto estiver à esquerda do vetor (sentido anti-horário), que une um lado do retângulo soma 1 se estiver à direita soma -1. Se o winding number for 0 o ponto está fora.

Ponto atrator

- O planeamento necessita de um objetivo, neste caso o ponto atrator.
- Em simulação, o ponto atrator é definido pela posição de um marcador em Rviz.
- Em ambiente real, o ponto atrator depende dos *way points* seguinte e anterior.



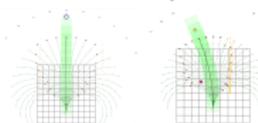
2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Solução de navegação local
 - └ Definição do ponto atrator
 - └ Ponto atrator

Ponto atrator

- O planeamento necessita de um objetivo, neste caso o ponto atrator
- Em simulação, o ponto atrator é definido pela posição de um marcador em Rviz
- Em ambiente real, o ponto atrator depende dos way points seguinte e anterior.



1. Para o bom funcionamento do algoritmo de planeamento tem que existir um ponto de convergência.
2. Durante as simulações foi utilizado um marcador visual em Rviz com 3 graus de liberdade e cuja posição determina a posição do ponto atrator.
3. Em navegação em ambiente real o ponto atrator é virtualmente colocado numa linha que une os dois way points mais próximos do carro. A distância do ponto atrator virtual é dada pelo raio da circunferência de centro no eixo traseiro que interceta a reta dos way points. isto permite que o ponto atrator esteja sempre dentro do intervalo de normalização da distância DAP.

Parâmetros da trajetória

- Depois de detetadas as colisões e identificado o ponto atrator, cada trajetória é avaliada individualmente de acordo com os parâmetros:
 - FS — espaço livre;
 - CL — linha central;
 - DAP_{norm} — distância normalizada ao ponto atrator;
 - $ADAP_{norm}$ — distância normalizada angular ao ponto atrator;
 - DLO_{norm} — distância normalizada mínima aos obstáculos;
 - $m_{1,2,3}$ — pesos dos parâmetros de distância.

$$P_{traj} = (m_1 \cdot DAP_{norm} + m_2 \cdot ADAP_{norm} + m_3 \cdot DLO_{norm}) \cdot CL \cdot FS$$

- É selecionada a trajetória que apresentar maior pontuação.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Solução de navegação local

- └ Pontuação das trajetórias

- └ Parâmetros da trajetória

Parâmetros da trajetória

- Depois de detetadas as colisões e identificado o ponto atrator, cada trajetória é avaliada individualmente de acordo com os parâmetros:
 - FS — espaço livre;
 - CL — linha central;
 - DAP_{norm} — distância normalizada ao ponto atrator;
 - $ADAP_{norm}$ — distância normalizada angular ao ponto atrator;
 - DLO_{norm} — distância normalizada mínima aos obstáculos;
 - $m_{1,2,3}$ — pesos dos parâmetros de distância.

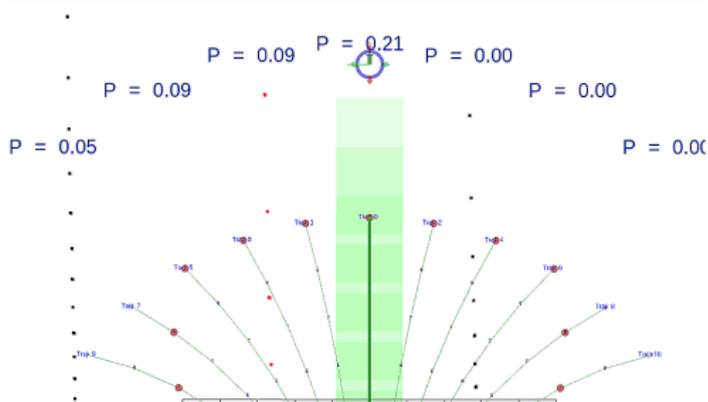
$$P_{traj} = (m_1 \cdot DAP_{norm} + m_2 \cdot ADAP_{norm} + m_3 \cdot DLO_{norm}) \cdot CL \cdot FS$$

- É selecionada a trajetória que apresentar maior pontuação.

1. Para se escolher entre o leque de trajetórias geradas é preciso pontua-las de acordo com a equação.
2. O parâmetro FS representa o espaço livre, isto é, se a trajetória colide ou não.
3. O parâmetro CL representa a linha central em simulação, isto é, se a trajetória a interceta ou não.
4. O parâmetro DAP representa a distância linear normalizada do nodo da trajetória mais próximo do ponto atrator.
5. O parâmetro $ADAP$ representa a distância angular normalizada do nodo da trajetória mais próximo do ponto atrator.
6. O parâmetro DLO representa a distância linear normalizada do obstáculo mais próximo a qualquer retângulo representativo do carro.
7. Os coeficientes $m_{1,2,3}$ são os pesos que se pretende atribuir às distâncias calculadas.
8. A trajetória que tiver maior pontuação é a escolhida.

FS e CL

- O parâmetro FS é um parâmetro exclusivo, ou seja, elimina as trajetórias que incluem pontos da nuvem de obstáculos.
 - $FS = 1$ se não existe colisão ou $FS = 0$ se existe colisão.
- O parâmetro CL deve ser pesado consoante o tipo de linha que a trajetória hipotética intersecta.
 - $CL = 1$ quando não existe interseção ou $CL = \in [0; 1[$ quando existe interseção.



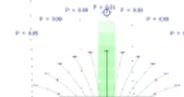
Dissertação de mestrado

2018-07-26

- └ Solução de navegação local
 - └ Pontuação das trajetórias
 - └ FS e CL

FS e CL

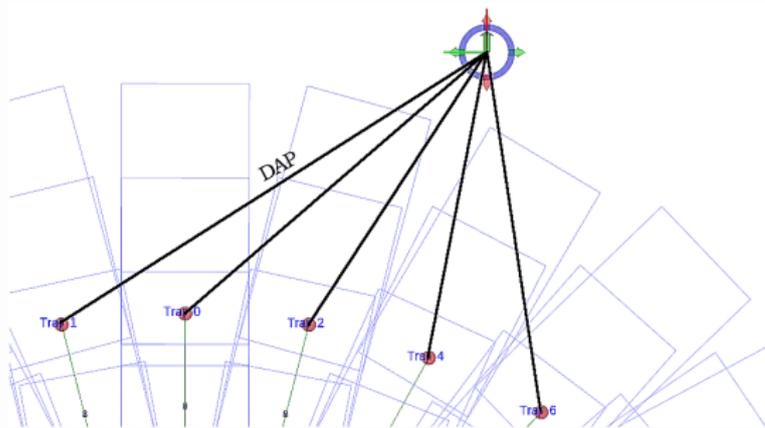
- O parâmetro FS é um parâmetro exclusivo, ou seja, elimina as trajetórias que incluem pontos da nuvem de obstáculos.
 - $FS = 1$ se não existe colisão ou $FS = 0$ se existe colisão.
- O parâmetro CL deve ser pesado consoante o tipo de linha que a trajetória hipotética intersecta.
 - $CL = 1$ quando não existe interseção ou $CL = \in [0; 1[$ quando existe interseção.



1. Os dois parâmetros FS e CL são parâmetros de afetação global.
2. O parâmetro FS é um parâmetro exclusivo. Ao ser igualado a 0 quando uma trajetória inclui um ponto da nuvem de obstáculos exclui automaticamente essa trajetória da lista de escolhas. Caso contrário o parâmetro é sempre 1.
3. O parâmetro CL representa a influência da linha central quando uma trajetória a intersecta. O seu valor pode ser atribuído consoante o tipo de linha e o grau de perigosidade em a transpor. Apenas as trajetórias da esquerda podem ser afetadas de forma a permitir que o carro retorne à sua faixa.

DAP, ADAP e DLO

- DAP representa a distância linear do ponto mais próximo da trajetória ao ponto atrator.
- ADAP representa a distância angular entre ponto mais próximo da trajetória e o ponto atrator.
- DLO dá a distância linear do obstáculo mais próximo a qualquer ponto da trajetória.



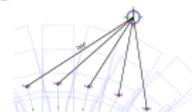
2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Solução de navegação local
 - └ Pontuação das trajetórias
 - └ DAP, ADAP e DLO

DAP, ADAP e DLO

- DAP representa a distância linear do ponto mais próximo da trajetória ao ponto atrator.
- ADAP representa a distância angular entre ponto mais próximo da trajetória e o ponto atrator.
- DLO dá a distância linear do obstáculo mais próximo a qualquer ponto da trajetória.



1. DAP representa a distância linear do ponto mais próximo da trajetória ao ponto atrator. Este valor é normalizado com uma constante que corresponde à distância de influência do ponto atrator. O valor final varia sempre entre 0 e 1 pois o depois da divisão pelo parâmetro de normalização este valor é subtraído à unidade.
2. ADAP representa a distância angular entre ponto mais próximo da trajetória e o ponto atrator. A normalização é realizada pelo parâmetro π que é divide o valor nominal. O valor também é subtraído à unidade.
3. DLO dá a distância linear do obstáculo mais próximo a qualquer ponto da trajetória. A normalização é realizada com o valor esperado a que os obstáculos se encontram. Este valor pode ser superior a 1 dependendo da distância mínima dos obstáculos.

Ambiente de simulação

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação**
 - Definição dos elementos
 - Simulações realizadas
 - Parâmetro de avaliação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Ambiente de simulação

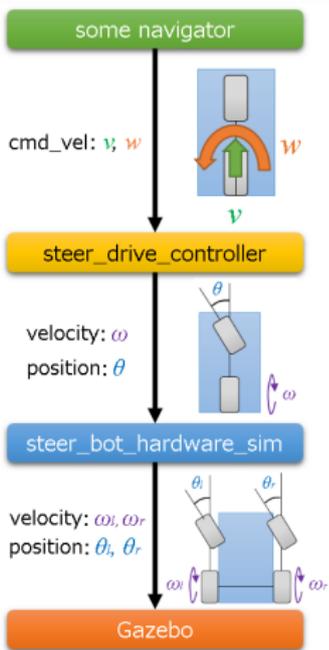
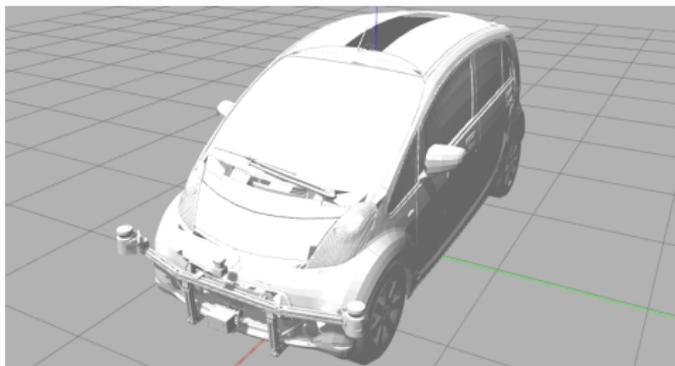
- └ Ambiente de simulação

1. Conteúdo do ambiente de simulação.

- Introdução
- Revisão da literatura
- Infraestrutura experimental
- Solução de navegação local
- Ambiente de simulação**
 - Definição dos elementos
 - Simulações realizadas
 - Parâmetro de avaliação
- Resultados
- Conclusões e trabalhos futuros

Definição do modelo

- Adaptação do robô com cinemática de *Ackermann*, *CIR-KIT-Unit03*, ao modelo do ATLASCAR2.
- A velocidade e direção dadas pelo algoritmo são publicadas no tópico *cmd_vel*.
- A velocidade linear e direção são transformadas em velocidade de rotação e ângulos de direção.

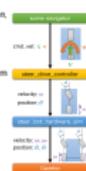


2018-07-26

Dissertação de mestrado

- Ambiente de simulação
 - Definição dos elementos
 - Definição do modelo

- Adaptação do robô com cinemática de Ackermann, CIR-KIT-Unit03, ao modelo do ATLASCAR2.
- A velocidade e direção dadas pelo algoritmo são publicadas no tópico *cmd_vel*.
- A velocidade linear e direção são transformadas em velocidade de rotação e ângulos de direção.



- Devido à inexistência de um controlador interno do Gazebo para modelos com direção do tipo Ackermann foi utilizado um robô da ROS Wiki, o *cir-kit_unit03*. Foi necessária a adaptação das dimensões do robô ao ATLASCAR2 bem como as propriedades visuais.
- A velocidade e direção determinadas pelo algoritmo de planeamento são publicadas no tópico *cmd_vel* do tipo *geometry_msgs::Twist*.
- Estes valores de velocidade e direção são convertidos em valores de rotação e ângulo de direção de um veículo simples de 2 rodas. Depois o modelo passa para um modelo mais complexo com velocidade de rotação distinta nas rodas traseiras e direção diferente nas rodas dianteiras.

Definição de sensores

- Para a simulação dos sensores LIDAR foi utilizado o *plugin gazebo_ros_head_hokuyo_controller*.
- Foi utilizado um sensor na posição central com grande abertura de feixe e características semelhantes aos LIDARs 2D.

```

<gazebo reference="front_bottom_lrf">
  <sensor type="ray" name="front_bottom_lrf_hokuyo_sensor">
    <update_rate>40</update_rate>
    <ray>
      <scan>
        <horizontal>
          <resolution>0.25</resolution>
        </horizontal>
      </scan>
      <range>
        <max>50.0</max>
      </range>
      <plugin name="gazebo_ros_head_hokuyo_controller" filename="
        libgazebo_ros_laser.so">
      </plugin>
    </sensor>
  </gazebo>

```



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Ambiente de simulação
 - └ Definição dos elementos
 - └ Definição de sensores

Definição de sensores

- Para a simulação dos sensores LIDAR foi utilizado o plugin *gazebo_ros_head_hokuyo_controller*.
- Foi utilizado um sensor na posição central com grande abertura de feixe e características semelhantes aos LIDARs 2D.

```

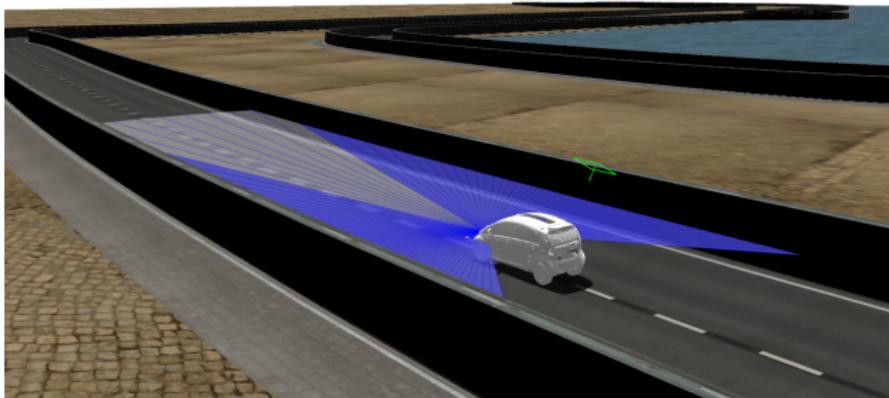
<gazebo reference="front_bottom_lrf">
  <sensor type="ray" name="front_bottom_lrf_hokuyo_sensor">
    <update_rate>40</update_rate>
    <ray>
      <scan>
        <horizontal>
          <resolution>0.25</resolution>
        </horizontal>
      </scan>
      <range>
        <max>50.0</max>
      </range>
      <plugin name="gazebo_ros_head_hokuyo_controller" filename="
        libgazebo_ros_laser.so">
      </plugin>
    </sensor>
  </gazebo>

```

1. O Gazebo permite a incorporação de vários tipos de sensores. Neste caso foi escolhido um sensor laser 2D semelhante aos instalados.
2. Para simular o sensor foi utilizado o plugin *gazebo_ros_head_hokuyo_controller* que permite a configuração de parâmetros como o alcance, a abertura do feixe, a resolução, introdução de ruído, entre outros.
3. Como é possível definir uma abertura mais ampla e identificar quais os objetos com propriedades de colisão foi colocado um só sensor ao centro para evitar a fusão de dados.
4. O scan laser foi depois convertido para uma point cloud para se realizar a integração direta com o package de planeamento

Simulações

- O ambiente de simulação utilizado assenta numa pista de Fórmula 1, cujos limites são definidos por muros verticais.
- As simulações realizadas podem ser enquadradas em dois tipos:
 - Simulações simples;
 - Simulações considerando a linha central.



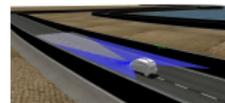
2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └ Ambiente de simulação
 - └ Simulações realizadas
 - └ Simulações

Simulações

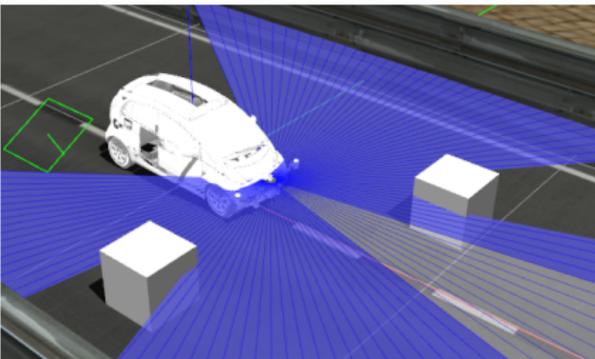
- O ambiente de simulação utilizado assenta numa pista de Fórmula 1, cujos limites são definidos por muros verticais.
- As simulações realizadas podem ser enquadradas em dois tipos:
 - Simulações simples;
 - Simulações considerando a linha central.



1. Para a realização das simulações teve que ser escolhido um ambiente fechado, semelhante a uma estrada mas limitado por barreiras físicas para deteção através dos LIDARs.
2. Foi então escolhido o modelo de um circuito de fórmula 1 que fosse traçado em estrada, neste caso o circuito do Mónaco.
3. As simulações podem ser divididas em dois grandes grupos: as que consideram a linha central e as que não consideram a linha central.
4. Nas simulações sem considerar a linha o guiamento é feito apenas através dos muros laterais detetados pelos dados laser.
5. Quando se adiciona a informação das linhas o planamento também considera a linha central da pista como uma nuvem de pontos que é adicionada de forma distinta ao algoritmo.

Avaliação do algoritmo

- A avaliação do planeamento é realizada através da medição da distância mínima a que o modelo se encontra dos obstáculos.
- Esta informação é publicada no tópico *min_dist_to_obstacles* para poder ser analisada e comparada.



```
(...)
// avaliação da simulação
if (n==0 && trajectory->score.EVAL>DLOprev)
{
    trajectory->score.EVAL = DLOprev;
}
(...)
```



2018-07-26

Dissertação de mestrado

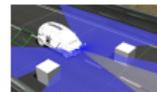
- └ Ambiente de simulação

- └ Parâmetro de avaliação

- └ Avaliação do algoritmo

Avaliação do algoritmo

- A avaliação do planeamento é realizada através da medição da distância mínima a que o modelo se encontra dos obstáculos.
- Esta informação é publicada no tópico *min_dist_to_obstacles* para poder ser analisada e comparada.



```
(...)
// avaliação da simulação
if (n==0 && trajectory->score.EVAL>DLOprev)
{
    trajectory->score.EVAL = DLOprev;
}
(...)
```

1. Para a realização de simulações comparativas é necessário avaliar o planeamento, mas como as trajetórias escolhidas não são executadas na totalidade é difícil avaliar a qualidade do planeamento.
2. Como priorização da segurança, a forma de avaliação encontrada calcula a distância da posição atual do modelo ao obstáculo mais próximo.
3. Esta distância é calculada de forma idêntica à DLO e é publicada no tópico *min_dist_to_obstacles* para poder ser armazenada em bags e analisada posteriormente.

Resultados

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados**
 - Simulações simples
 - Simulações com linhas
 - Testes reais
- 7 Conclusões e trabalhos futuros



2018-07-26

Dissertação de mestrado

└ Resultados

└ Resultados

1. Conteúdo dos resultados.

Resultados

■ Introdução

■ Revisão da literatura

■ Infraestrutura experimental

■ Solução de navegação local

■ Ambiente de simulação

■ **Resultados**

■ Simulações simples

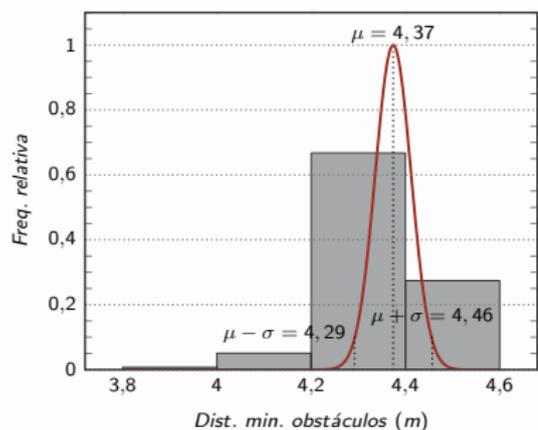
■ Simulações com linhas

■ Testes reais

■ Conclusões e trabalhos futuros

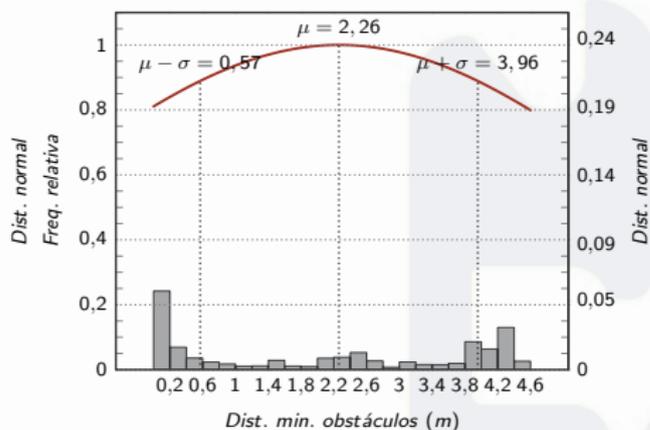
Testes padrão

- Simulações realizadas considerando apenas dados de obstáculos físicos, $v = 5$ m/s e $l = 3,24$ m.
- A distância de referência é 4,45 m.



{DAP = 0,1; ADAP = 0; DLO = 0,9}

- Mínimo = 3,83 m.



{DAP = 0,9; ADAP = 0; DLO = 0,1}

- Mínimo = 0,01 m.



2018-07-26

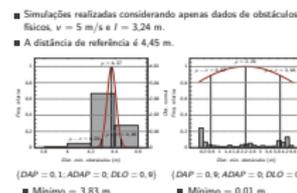
Dissertação de mestrado

Resultados

Simulações simples

Testes padrão

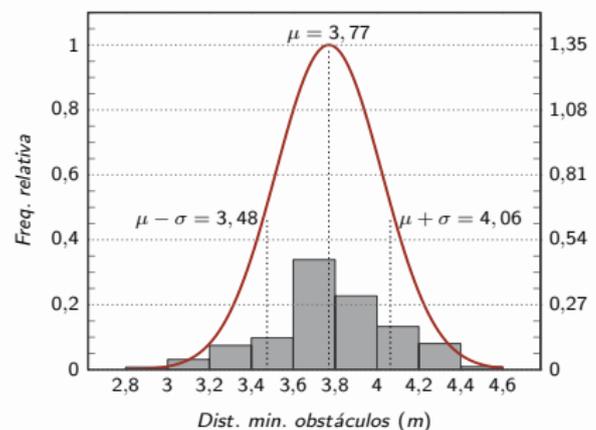
Testes padrão



1. As primeiras simulações foram realizadas com trajetórias estáticas e apenas considerando os muros laterais da pista. Foi utilizada uma velocidade de 5m/s o que equivale a um comprimento de 3,24m.
2. Neste caso o valor ótimo da distância mínima é de 4,45m que corresponde ao modelo situado no centro na pista.
3. Como se pode verificar quanto maior é o peso dado à distância mínima aos obstáculos melhor é o planeamento em termos de segurança. Para valores de DAP=0,1 e DLO=0,9 a média é de 4,37 e o modelo nunca se aproxima mais que 3,83m das paredes.
4. Quando se aumenta o peso do ponto atrator o planeamento deixa de ser realizado com segurança chegando o modelo a estar a 1cm de colidir.

Trajelórias de comprimento aumentado

- Simulações realizadas considerando apenas dados de obstáculos físicos, $v = 5 \text{ m/s}$ e $l = 12,96 \text{ m}$, calculado para uma velocidade de 10 m/s .



	Teste padrão	Trajelória aumentada
μ (m)	4,37	3,77
σ (m)	0,08	0,30
Mínimo (m)	3,83	2,81

{ $DAP = 0,1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0,9$ }

- Mínimo = 2,81 m.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

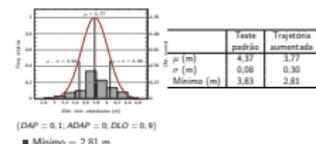
Resultados

Simulações simples

Trajelórias de comprimento aumentado

Trajelórias de comprimento aumentado

■ Simulações realizadas considerando apenas dados de obstáculos físicos, $v = 5 \text{ m/s}$ e $l = 12,96 \text{ m}$, calculado para uma velocidade de 10 m/s .



	Teste padrão	Trajelória aumentada
μ (m)	4,37	3,77
σ (m)	0,08	0,30
Mínimo (m)	3,83	2,81

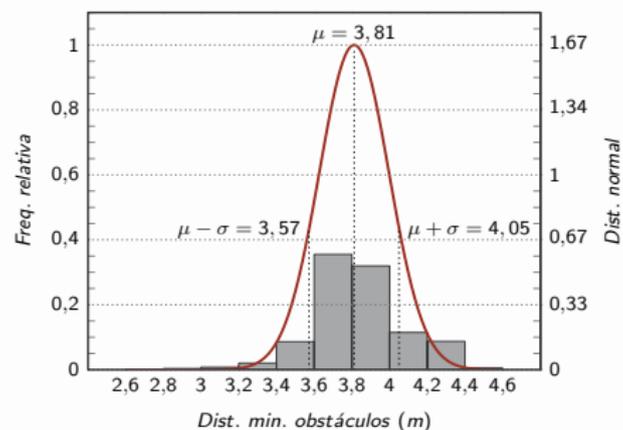
{ $DAP = 0,1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0,9$ }

■ Mínimo = 2,81 m.

1. Para tentar perceber a influência do comprimento das trajetórias planeadas na qualidade do planeamento, o seu comprimento foi aumentado.
2. Seguindo a equação do comprimento das trajetórias em função da velocidade, foi mantida uma velocidade na mesma de 5 m/s mas o planeamento foi realizado com se o veículo se deslocasse ao dobro da velocidade, 10 m/s .
3. Os resultados para estas simulações foram menos positivos que para as simulações anteriores, diminuindo a média da distância mínima em quase 14% e retirando um metro ao mínimo registado durante as simulações.
4. Como as trajetórias são mais compridas existe um pré-planeamento antes de entrar na curva os pontos finais estão mais afastados, conduzindo a esta diminuição do desempenho.

Trajétórias de comprimento variável

- Simulações realizadas considerando apenas dados de obstáculos físicos e trajetórias de comprimento variável, $v = 1$ a 10 m/s e $l = 4,5$ a $12,96$ m.



{ $DAP = 0,1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0,9$ }

- Mínimo = $2,74$ m.

2018-07-26

Dissertação de mestrado

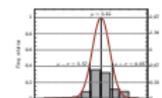
Resultados

Simulações simples

Trajétórias de comprimento variável

Trajétórias de comprimento variável

■ Simulações realizadas considerando apenas dados de obstáculos físicos e trajetórias de comprimento variável, $v = 1$ a 10 m/s e $l = 4,5$ a $12,96$ m.



($DAP = 0,1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0,9$)

■ Mínimo = $2,74$ m.

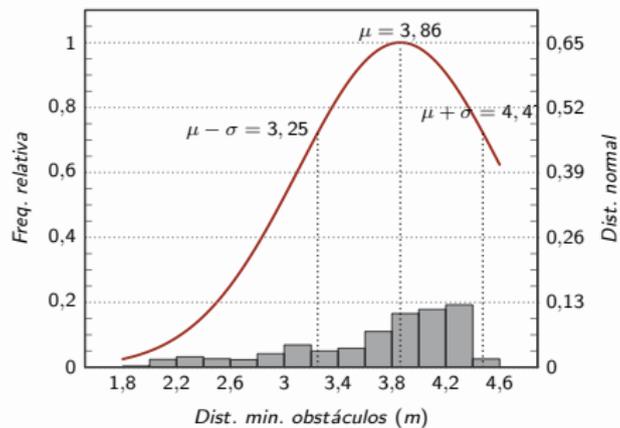
1. Depois de implementada a variação do comprimento das trajetórias com a velocidade e a variação desta com o ângulo de direção escolhido pelo algoritmo foram realizados novos testes para velocidades variáveis entre 1 e 10 m/s.
2. Apesar de não se poder comparar analiticamente os resultados destas simulações com as anteriores devido à velocidade variável podemos ver que o perfil da distância mínima é semelhante. O planeamento com este tipo de trajetórias fica um pouco à quem do esperado pois sempre que a velocidade diminui dos $5,89$ m/s estamos a planear numa situação de trajetórias aumentadas.
3. Para tentar melhorar o desempenho do algoritmo sem aumentar o número de trajetórias e tentar reduzir alguma instabilidade do mesmo foi criado um filtro de média para a direção que melhorou os resultados obtidos em cerca de $2,2\%$ na média e um afastamento global superior de quase 30 cm.



dem

Simulações considerando a linha central

- Simulações realizadas considerando dados de obstáculos físicos e da linha central ($CL = 0,2$), com trajetórias de comprimento variável.
- A distância máxima de referência é 3,57 m.



{ $DAP = 0, 1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0, 9$ }

- $\text{Tempo}(d_{min} < 3,57) = 87,7\%$.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

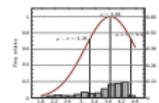
Resultados

Simulações com linhas

Simulações considerando a linha central

Simulações considerando a linha central

- Simulações realizadas considerando dados de obstáculos físicos e da linha central ($CL = 0,2$), com trajetórias de comprimento variável.
- A distância máxima de referência é 3,57 m.



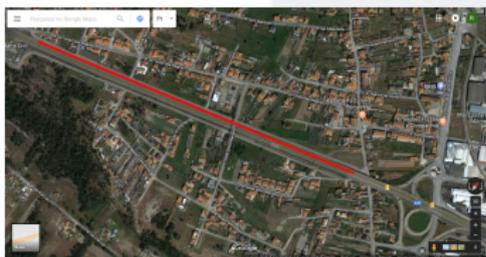
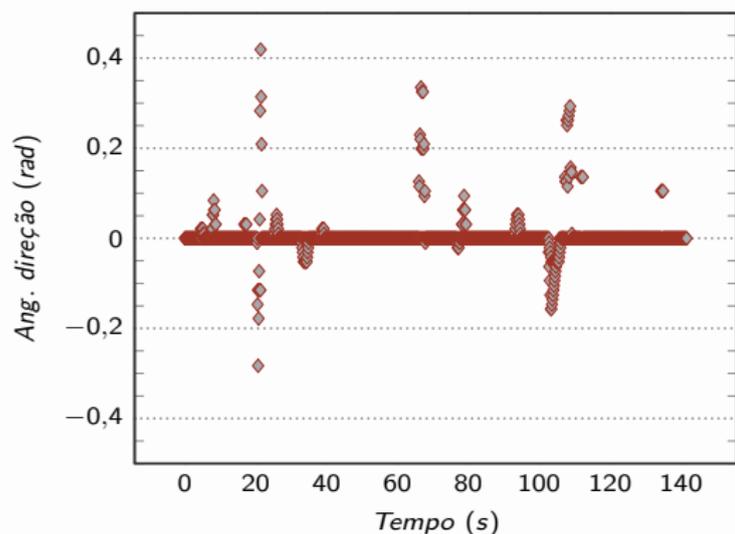
{ $DAP = 0, 1$; $ADAP = 0$; $DLO = 0, 9$ }

- $\text{Tempo}(d_{min} < 3,57) = 87,7\%$.

1. Numa fase mais avançada foi incorporada a informação da linha central no algoritmo tentando assim com que o modelo simulado circulasse sempre à direita da mesma. Para este teste foi considerado um fator multiplicativo das trajetórias que pisam a linha central de 0,2.
2. Considera-se que o modelo está à direita da linha central sempre que a distância à parede lateral for inferior a 3,57m e durante os quase 15min de simulação o modelo mantêve-se a esta distância cerca da 87,7% do tempo.
3. Mais uma vez foi aplicado o filtro e os resultados voltaram a ser positivos com um aumento deste tempo em cerca de 1,5%.

Avaliação em autoestrada

- Depois de realizada a integração com outros *packages*, responsáveis pelo planeamento global, foram realizados testes reais.
- Os resultados destes testes ficaram condicionados pela falta de informação das linhas da estrada e da centralina do carro.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

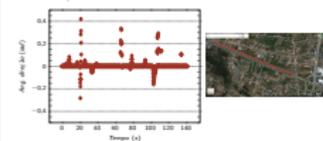
Resultados

Testes reais

Avaliação em autoestrada

Avaliação em autoestrada

- Depois de realizada a integração com outros *packages*, responsáveis pelo planeamento global, foram realizados testes reais.
- Os resultados destes testes ficaram condicionados pela falta de informação das linhas da estrada e da centralina do carro.



1. Numa fase final foi realizada a integração com os *packages* ROS responsáveis pela navegação global e pelo planeamento de rotas.
2. Devido à ausência de dados da direção e velocidade do carro foram escolhidos testes onde se tentou manter a posição das rodas alinhada a 0 graus.
3. Quando se aproxima um carro pela esquerda o algoritmo tenta virar à direita, onde se encontra mais espaço livre. A falta da informação das linhas é notada aqui.
4. Numa fase posterior da ultrapassagem, quando o automóvel que ultrapassa se encosta à direita intersesta as trajetórias centrais do algoritmo fazendo com que este se desvie para a esquerda.



Avaliação em autoestrada

2018-07-26

Dissertação de mestrado

└ Resultados

└└ Testes reais

└└└ Avaliação em autoestrada

1. Video de navegação em autoestrada.



Conclusões e trabalhos futuros

- 1 Introdução
- 2 Revisão da literatura
- 3 Infraestrutura experimental
- 4 Solução de navegação local
- 5 Ambiente de simulação
- 6 Resultados
- 7 Conclusões e trabalhos futuros**
 - **Conclusões**



2018-07-26

Dissertação de mestrado
└─ Conclusões e trabalhos futuros

└─ Conclusões e trabalhos futuros

1. Conteúdo das conclusões e trabalhos futuros.

- Introdução
- Ambiente de simulação
- Revisão da literatura
- Resultados
- Infraestrutura experimental
- Conclusões e trabalhos futuros
 - **Conclusões**
- Solução de navegação local

Resumo

- Pesquisa e seleção fundamentada de um algoritmo de navegação local e das estruturas de dados necessárias à sua operação:
 - ✓ Identificação e seleção das estruturas de dados;
 - ✓ Identificação e seleção dos algoritmos de navegação local.
- Integração do algoritmo de planeamento por múltiplas hipóteses na estrutura de *software* existente no ATLASCAR:
 - ✓ Implementação do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Monitorização do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Resolução das limitações encontradas na geração de trajetórias e deteção de colisões.
- Desenvolvimento de simulador no modelo do ATLASCAR2 em Gazebo e aplicações reais:
 - ✓ Teste do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Integração com *software* de navegação global.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões

Resumo

Resumo

- Pesquisa e seleção fundamentada de um algoritmo de navegação local e das estruturas de dados necessárias à sua operação:
 - ✓ Identificação e seleção das estruturas de dados;
 - ✓ Identificação e seleção dos algoritmos de navegação local.
- Integração do algoritmo de planeamento por múltiplas hipóteses na estrutura de *software* existente no ATLASCAR:
 - ✓ Implementação do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Monitorização do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Resolução das limitações encontradas na geração de trajetórias e deteção de colisões.
- Desenvolvimento de simulador no modelo do ATLASCAR2 em Gazebo e aplicações reais:
 - ✓ Teste do algoritmo de navegação local;
 - ✓ Integração com *software* de navegação global.

1. A revisão da literatura realizada permitiu identificar quais os algoritmos de navegação local existentes, quais as suas vantagens e desvantagens e quais os mais utilizados em aplicações de condução autónoma. Em conjunto com os algoritmos foram também analisadas as possibilidades da representação dos dados dos LIDARs. Com esta pesquisa cumpriram-se os objetivos de identificação e seleção dos algoritmos e estruturas de dados.
2. Depois da escolha do algoritmo de navegação local passou-se à fase de implementação onde foi preciso colocar em funcionamento os pacotes de *software* responsáveis pela deteção do espaço livre e pela implementação do algoritmo. Aqui surgiram dificuldades no que diz respeito à geração de trajetórias e deteção de colisões que foram ultrapassados. Os objetivos de implementação e monitorização do algoritmo foram concluídos nesta fase.
3. Para testar o algoritmo numa fase inicial foi desenvolvido um simulador do modelo cinemático do ATLASCAR2 em Gazebo e numa fase final foram realizados testes reais. Aqui cumpriu-se a parte de teste do algoritmo e integração com a navegação global.

Conclusões

- O peso dos parâmetros de pontuação das trajetórias influencia a qualidade do planeamento. Quanto maior o parâmetro DLO mais seguro este se torna.
- Valores extremos do comprimento das hipotéticas trajetórias influenciam negativamente a qualidade do planeamento.
- A utilização de trajetórias de comprimento variável não se revelou tão benéfica quanto o esperado devido dispersão das mesmas com a velocidade.
- A realização de testes reais demonstrou a falta de informação complementar ao algoritmo e a necessidade da alteração da avaliação das trajetórias consoante o ambiente de planeamento.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões

Conclusões

Conclusões

- O peso dos parâmetros de pontuação das trajetórias influencia a qualidade do planeamento. Quanto maior o parâmetro DLO mais seguro este se torna.
- Valores extremos do comprimento das hipotéticas trajetórias influenciam negativamente a qualidade do planeamento.
- A utilização de trajetórias de comprimento variável não se revelou tão benéfica quanto o esperado devido dispersão das mesmas com a velocidade.
- A realização de testes reais demonstrou a falta de informação complementar ao algoritmo e a necessidade da alteração da avaliação das trajetórias consoante o ambiente de planeamento.

1. Dos testes em simulador pode-se concluir que quanto maior for o peso atribuído ao parâmetro DLO mais segura é a navegação.
2. Quando se realizaram simulações com comprimentos de trajetória elevados o planeamento piorou provando assim que o comprimento do planeamento influencia a qualidade do mesmo.
3. A utilização de trajetórias dinâmicas não se revelou tão benéfica quanto o esperado devido ao afastamento das trajetórias para velocidades superiores. O que pode ser resolvido com a densificação das trajetórias na zona central para velocidades superiores ou com a introdução de um controlador de direção como demonstrado.
4. Nos testes reais ficou presente a falta de informação complementar ao algoritmo, principalmente as linhas da estrada. Também ficou a ideia que os pesos dos parâmetros de avaliação das trajetórias devem ser alterados consoante as condições do planeamento.

Trabalhos futuros

- Avaliação do algoritmo em ambiente real:
 - Acesso a dados da centralina via OBD-II;
 - Atuação e controlo no ATLASCAR2.
- Detecção dos limites visuais da estrada e identificação segmentação de objetos.
- Teste de outros algoritmos em manobras específicas como ultrapassagens e cruzamentos com ou sem sinalização luminosa.



2018-07-26

Dissertação de mestrado

- └─ Conclusões e trabalhos futuros
 - └─ Trabalhos futuros
 - └─ Trabalhos futuros

1. Na impossibilidade de replicar a complexidade do ambiente real em simulações devem ser criadas condições para o teste o algoritmo em ambiente real. Esses testes podem ser feitos comparado os dados do algoritmo com a condução realizada por um condutor ou atuando diretamente no carro permitindo que este seja controlado pelo algoritmo.
2. De forma a complementar a informação dada ao algoritmo devem ser detetados os limites visuais da estrada e ainda a identificação de objetos como peões ou sinais de trânsito.
3. Devido à diversidade de situações de planeamento devem ser avaliados outros algoritmo de planeamento para situações de manobras complexas como ultrapassagens ou cruzamentos com ou sem sinalização luminosa.

- Avaliação do algoritmo em ambiente real:
 - Acesso a dados da centralina via OBD-II
 - Atuação e controlo no ATLASCAR2.
- Detecção dos limites visuais da estrada e identificação segmentação de objetos.
- Teste de outros algoritmos em manobras específicas como ultrapassagens e cruzamentos com ou sem sinalização luminosa.



Navegação Local do ATLASCAR2 para Condução Autónoma e Assistência ao Condutor

Obrigado

Ricardo Silva

Aveiro, 26 de julho de 2018

1. Final.