Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Planeamento de Trajetórias

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1°/4° – 2° semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes

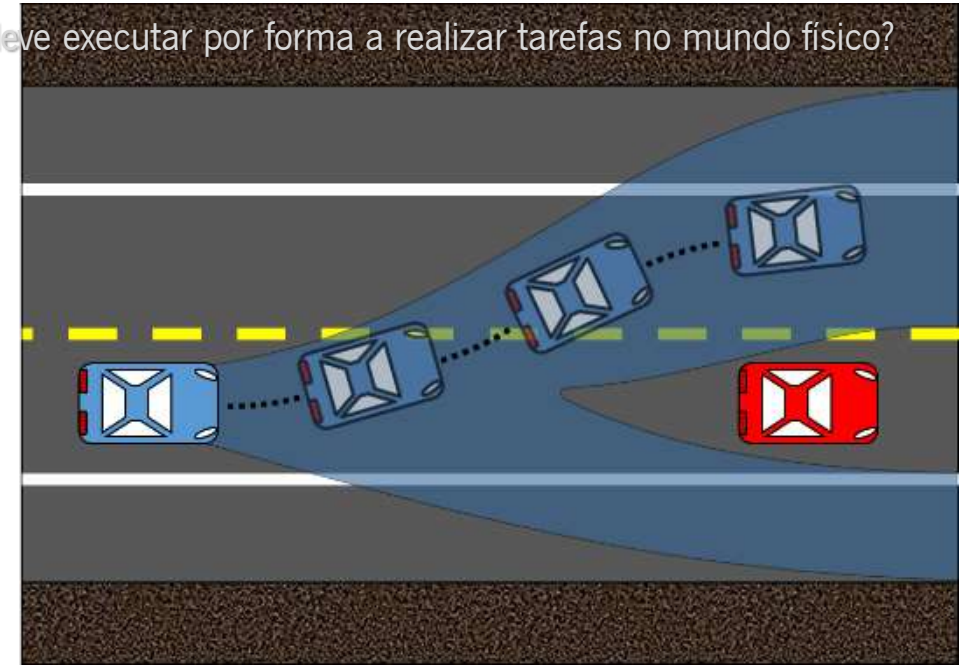
ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Introdução

- *How can a robot decide what motions to perform in order to achieve tasks in the **physical world**?*

Jean-Paul Laumond, "Robot Motion Planning and Control", Springer, 1998

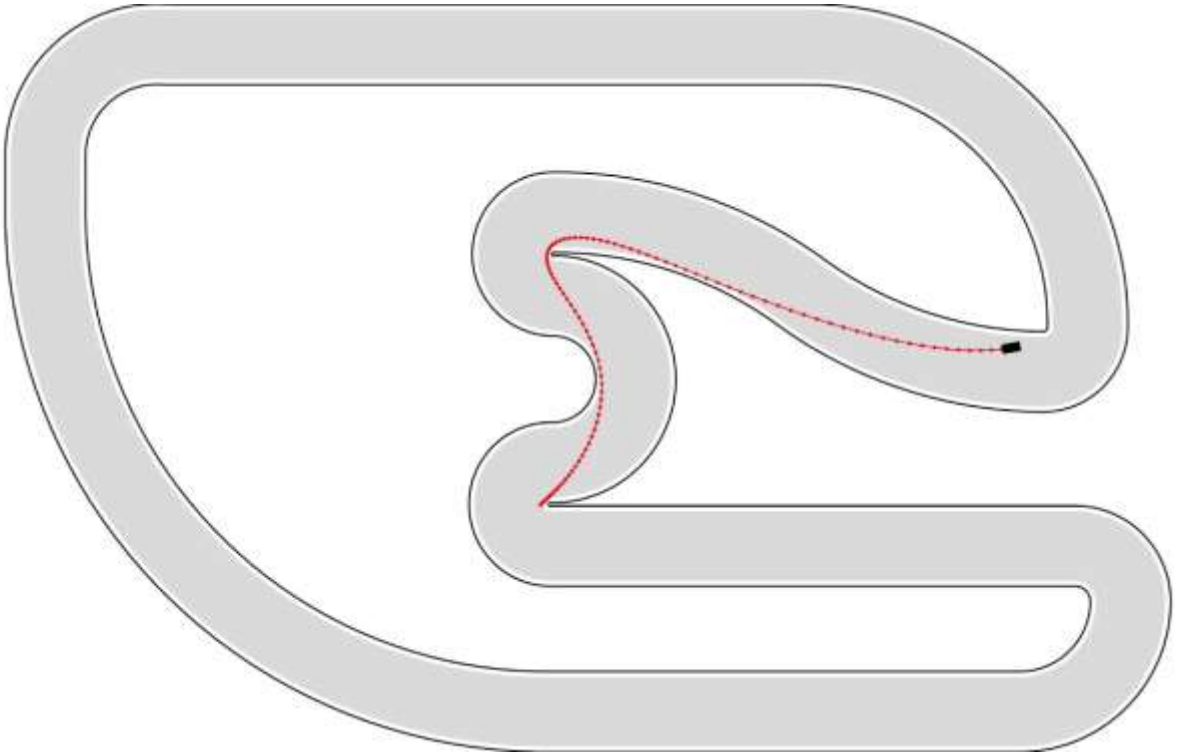
- Como definir os movimentos que um robô deve executar por forma a realizar tarefas no mundo físico?



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

O que é Planeamento?

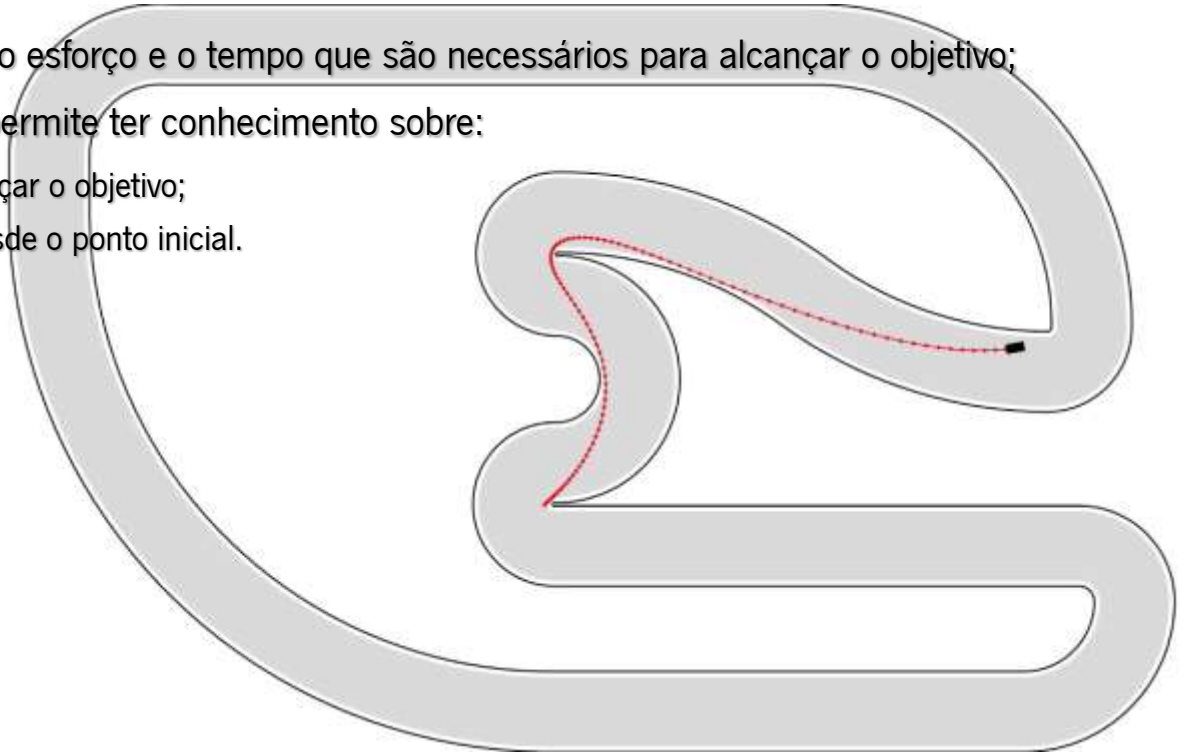
- **Planeamento** é a preparação de um conjunto de passos de execução ou de ações que permitam atingir um determinado objetivo.



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Por quê fazer Planeamento?

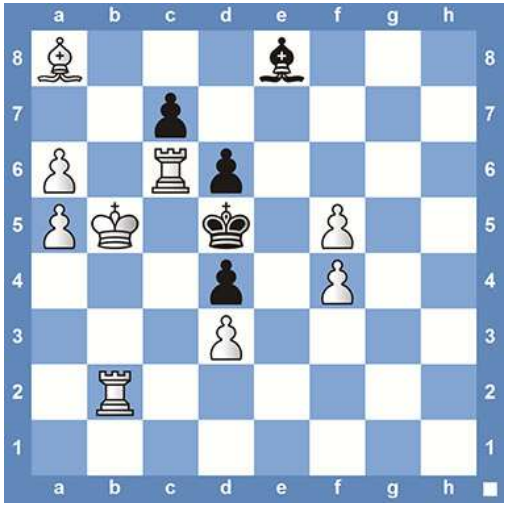
- **Planeamento** é a preparação de um conjunto de passos de execução ou de ações que permitam atingir um determinado objetivo;
- Um plano permite reduzir o esforço e o tempo que são necessários para alcançar o objetivo;
- A execução de um plano permite ter conhecimento sobre:
  - quanto falta para alcançar o objetivo;
  - quanto se executou desde o ponto inicial.



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Quando fazer Planeamento?

- O planeamento **é importante** quando os passos necessários à resolução do problema não podem ser desfeitos ou ignorados (exemplo: jogo de xadrez);



- Quando a execução de ações é reversível (exemplo: puzzles ou demonstração de teoremas), o planeamento **perde** alguma **importância**.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

O que é Planeamento?

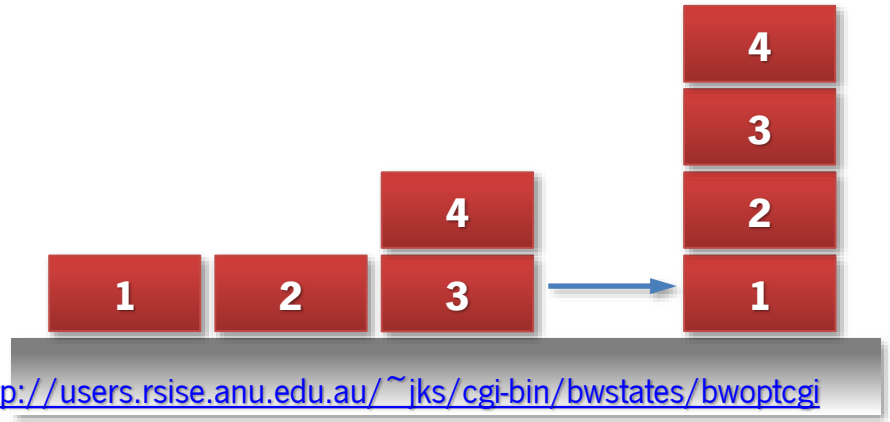
- Em **Teoria do Controlo**, o **Planeamento** está (mais) diretamente relacionado com o **Controlo** físico do sistema, em termos:
  - da dinâmica dos corpos;
  - das forças a empregar;
  - da estabilidade dos corpos;
  - do cálculo das condições ótimas;
  - etc.

- O **Planeamento** é um estudo realizado em espaços contínuos (não-finitos, não-discretos).

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

O que é Planeamento?

- Em **Inteligência Artificial**, o **Planeamento** está relacionado com a procura de uma sequência de operações (lógicas) ou **ações que transformam um** determinado **estado inicial num** desejado **estado final**;
- O problema canónico de planeamento em IA é o ***Blocks World***, que consiste em determinar os passos a executar para deslocar um conjunto de blocos numa mesa, de um estado inicial até um estado final;



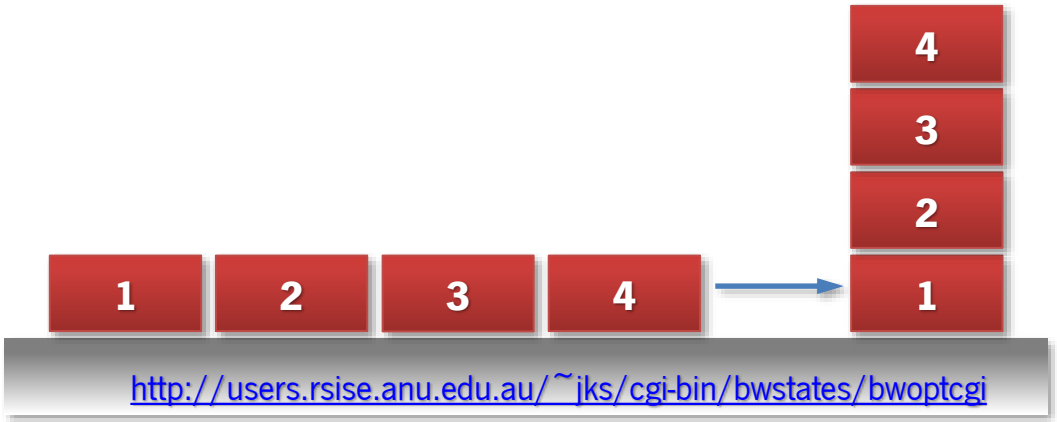
http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwoptcgi

http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwcgi

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Problema: *Blocks World*

- O problema é composto por um conjunto de blocos (caixas), inicialmente dispostos numa superfície (mesa);
- O objetivo é construir uma torre (ou mais) de blocos;
- Consideram-se as restrições:
  - só é possível mover um bloco de cada vez;
  - só é possível mover um bloco que esteja livre (sem nenhum outro bloco em cima);
- Não existem restrições físicas!



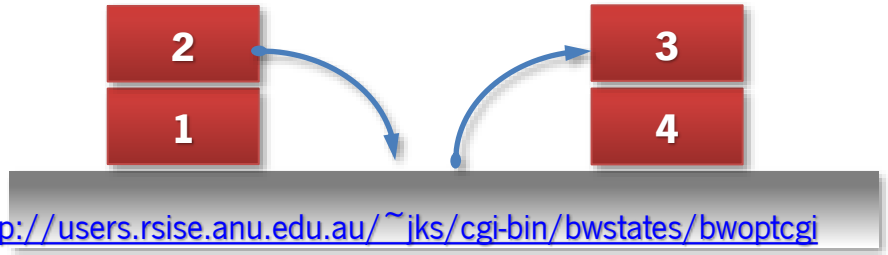
http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwoptcgi

http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwcgi

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Problema: *Blocks World*

- O problema é composto por um conjunto de blocos (caixas), inicialmente dispostos numa superfície (mesa);
- O objetivo é construir uma torre (ou mais) de blocos;
- Executam-se as ações:
  - colocar um bloco em cima de outro;
  - colocar um bloco na mesa.
- Estas ações não consideram restrições físicas dos blocos ou do ambiente.



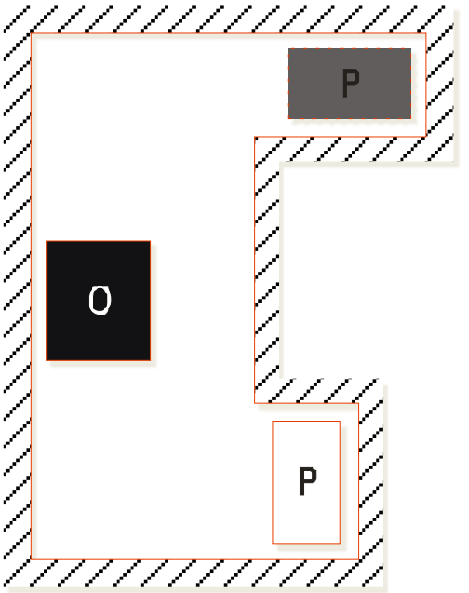
http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwoptcgi

http://users.rsise.anu.edu.au/~jks/cgi-bin/bwstates/bwcgi

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

O que é Planeamento?

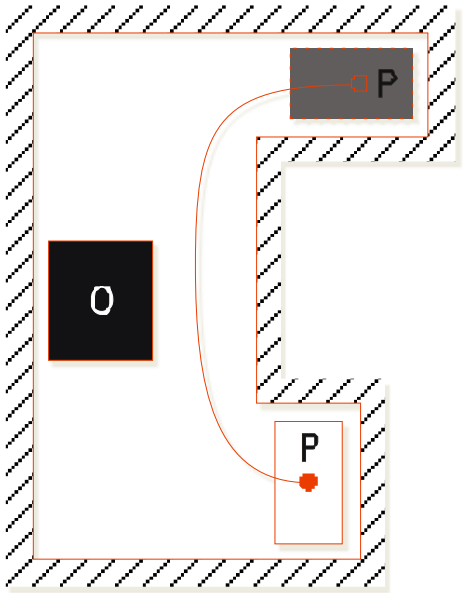
- Em **Sistemas Autónomos/Robótica**, o planeamento é entendido como sinónimo de **Planeamento de Trajetórias**;
- O exemplo canónico no Planeamento de Trajetórias, é o ***Piano Mover*** :
  - Como deslocar um piano dentro de um apartamento, desde um ponto inicial até um ponto final, através de corredores com obstáculos?



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Problema: *Piano Mover*

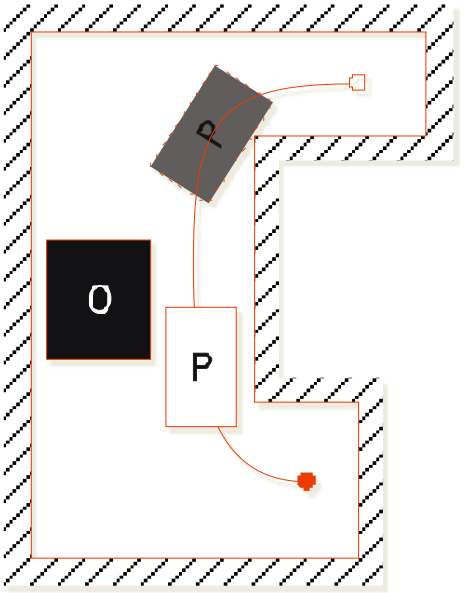
- A resolução do problema do ***Piano Mover*** passa por considerar duas situações importantes:
  - Como **planear uma boa trajetória** (por exemplo, a mais curta), que transporte o robô desde a origem até ao destino;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Problema: *Piano Mover*

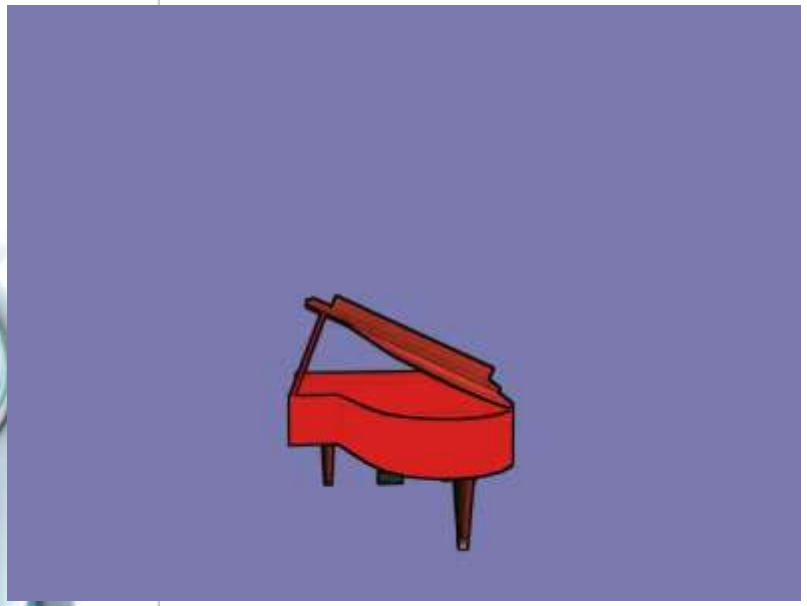
- A resolução do problema do ***Piano Mover*** passa por considerar duas situações importantes:
  - Como **planear uma boa trajetória** (por exemplo, a mais curta), que transporte o robô desde a origem até ao destino;
  - Como **controlar o robô** no seu caminho até ao destino, durante o trajeto planeado.

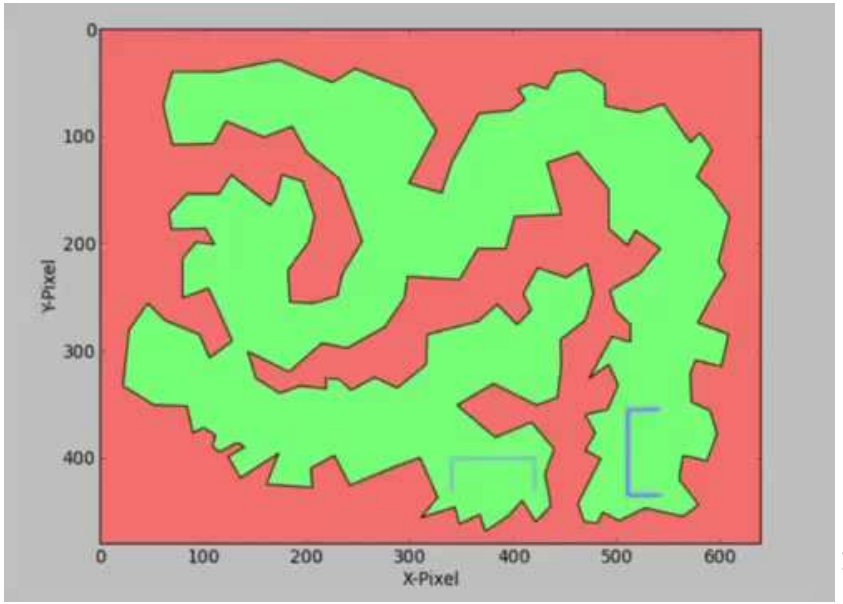


ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Problema: *Piano Mover*

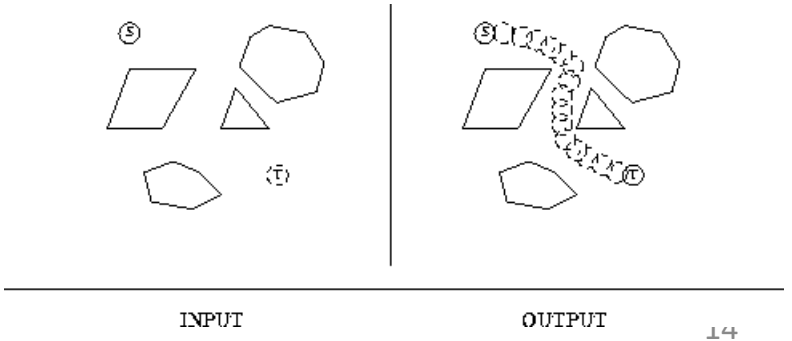
- A resolução do problema do ***Piano Mover*** passa por considerar duas situações importantes:
  - Como **planear uma boa trajetória** (por exemplo, a mais curta), que transporte o robô desde a origem até ao destino;
  - Como **controlar o robô** no seu caminho até ao destino, durante o trajeto planeado.





ISLab
Synthetic Intelligence Lab

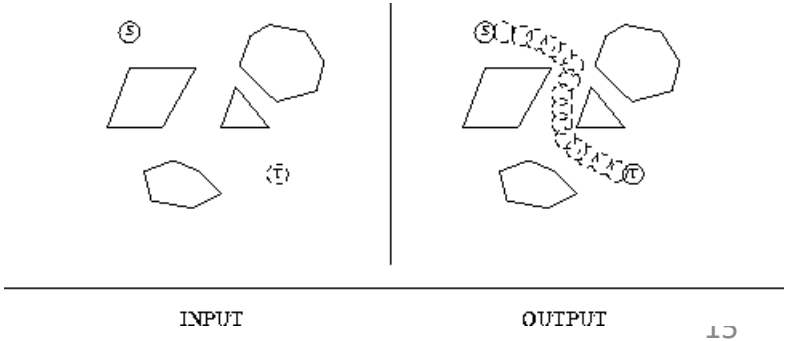
- Existe uma grande complexidade em problemas de Planeamento de Trajetórias, considerando diversos fatores:
  - É possível simplificar a forma do robô?
  - O robô é um ponto?
  - Qual a liberdade de movimentos do robô?
  - Os movimentos são limitados (translação, rotação)?
  - Os obstáculos são conhecidos antecipadamente?



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

ROBOCODE

- Existe uma grande complexidade em problemas de Planeamento de Trajetórias, considerando diversos fatores
  - É possível simplificar a forma do robô? NÃO
  - O robô é um ponto? NÃO
  - Qual a liberdade de movimentos do robô? ?
  - Os movimentos são limitados (translação, rotação)?
  - Os obstáculos são conhecidos antecipadamente? SIM ou NÃO?

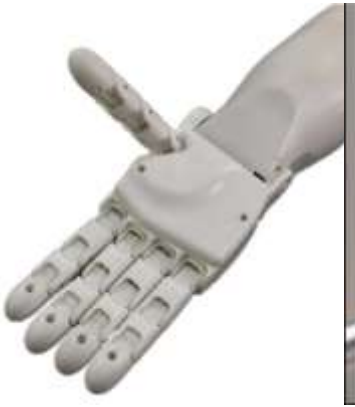


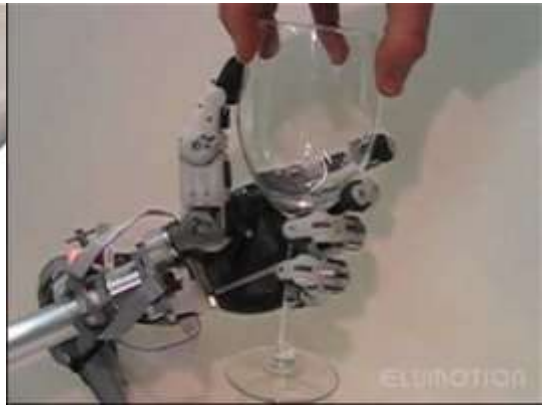
ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Definições

- A **Configuração** de um robô é definida por um determinado conjunto de variáveis:
  - em robôs móveis, as variáveis são, tipicamente, a posição e a orientação;

  - em robôs articulados, as variáveis são definidas pela posição das diversas juntas/articulações que o compõem (as juntas definem os graus de liberdade do robô);





ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Definições

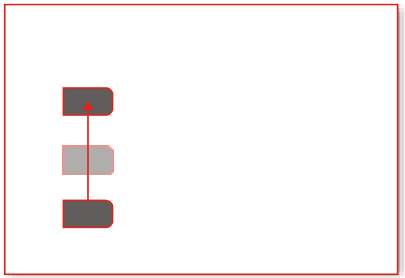
- **Graus de liberdade** (*Degrees of freedom* - **DOF**):
  - Para um robô fixo no ambiente, o número de **DOF** é dado pela quantidade de juntas;

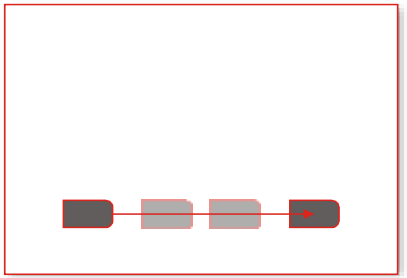
Definições

- **Graus de liberdade** (*Degrees of freedom* - **DOF**):
  - Para um robô fixo no ambiente, o número de **DOF** é dado pela quantidade de juntas;

Definições

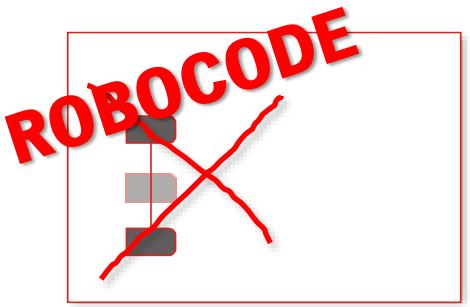
- **Graus de liberdade** (*Degrees of freedom* - **DOF**):
  - Para um robô fixo no ambiente, o número de **DOF** é dado pela quantidade de juntas;
  - Para um robô móvel, o número de **DOF** depende da sua capacidade de locomoção:

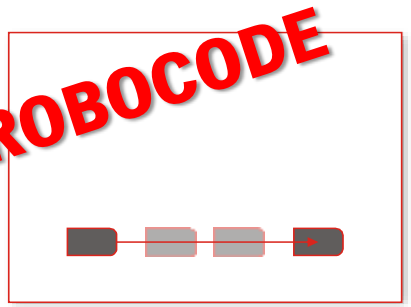


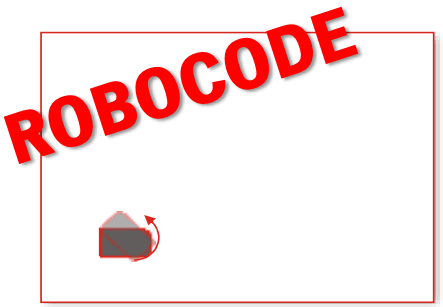


Definições

- **Graus de liberdade** (*Degrees of freedom* - **DOF**):
  - Para um robô fixo no ambiente, o número de **DOF** é dado pela quantidade de juntas;
  - Para um robô móvel, o número de **DOF** depende da sua capacidade de locomoção:







ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Definições

- O **Espaço de Configurações** (*Configuration Space*) é o conjunto de todas as configurações admissíveis (possíveis) de um robô;
- O **Espaço de Configurações** define, também, todas as possibilidades de movimentos contínuos de um robô;
- A **Trajetória** de um robô é um caminho no **Espaço de Configurações**;
- Para robôs móveis (rígidos, sem articulações), existe uma transformação aplicável ao robô e aos objetos que convertem o robô em 1 ponto:
  - *C-Space Transform*.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

C-Space Transform

- Esta transformação permite planear trajetórias para pontos, em vez de para polígonos (ou poliedros).
- Até onde posso deslocar **um robô**, na vizinhança de **um objeto**:

- Até onde posso deslocar **um ponto**, na vizinhança de **um objeto expandido**:

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Definições

- A **Trajetória** de um robô é um caminho no **Espaço de Configurações**:
  - Esse caminho deve existir no subespaço de configurações no qual **não existe** qualquer possibilidade de o robô chocar com os obstáculos;
  - Este subespaço de configurações designa-se **Espaço Livre**;
  - O **Planeamento de Trajetórias** deve encontrar o melhor caminho neste **Espaço Livre** de configurações.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Como fazer Planeamento?

- Construção de Rotas;
- Desvio de Obstáculos;
- Arquiteturas de Navegação.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas

- A Construção de Rotas é importante para que um robô (sistema autónomo) possa mover-se ou realizar uma determinada tarefa **da forma mais eficaz e no menor período de tempo**, com o objetivo de o tornar mais produtivo e fiável;
- Existem vários métodos para Construção de Rotas:
  - *Road Map*;
  - Decomposição Celular;
  - Navegação por Marcos de Influência.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

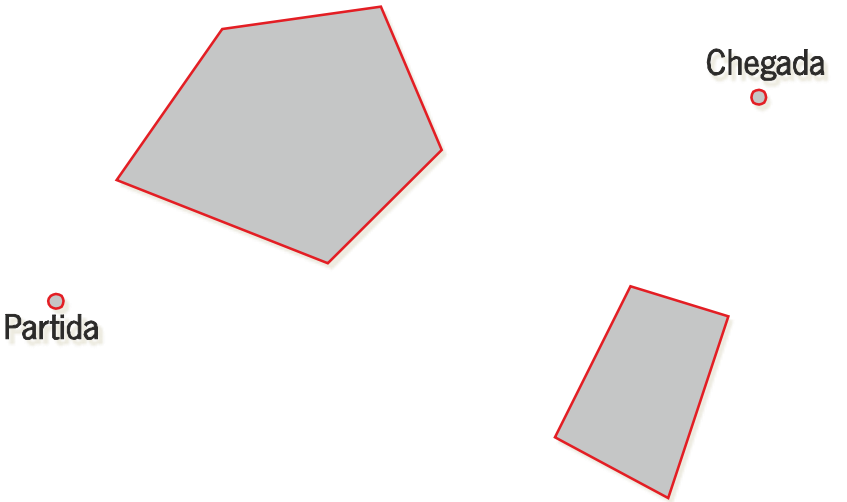
Construção de Rotas: *Road Map*

- Captura o **espaço livre** em torno do robô através de um traçado de linhas e curvas (rede);
- Esta rede é formada por segmentos, de modo a determinar a melhor rota para mover o robô desde a partida até à chegada;
- São dois os métodos mais comuns:
  - Grafos de Visibilidade;
  - Diagramas de *Voronoi*.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

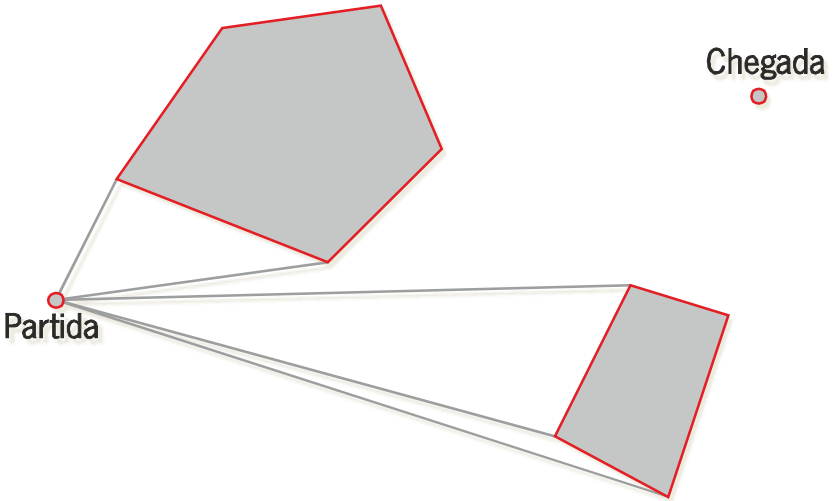
- Partindo de uma situação caracterizada por um ponto de partida, um ponto de chegada e uma descrição dos obstáculos;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

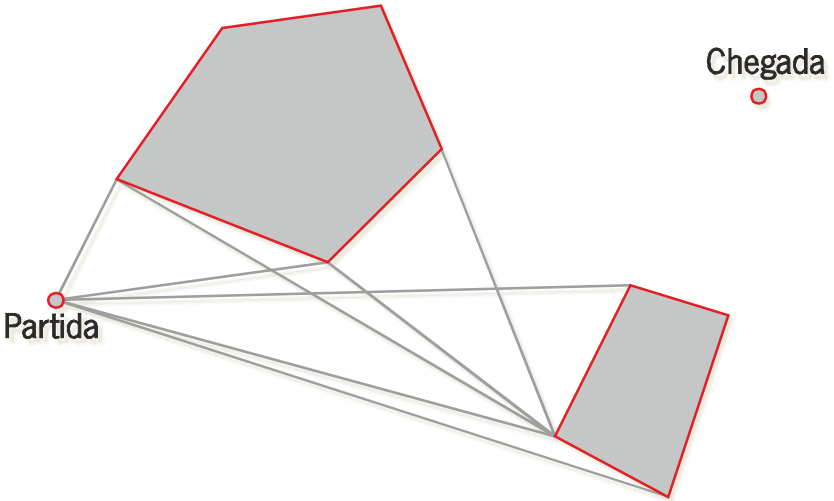
- ...
- Este método começa por determinar segmentos de reta entre a partida, a chegada e todos os **vértices visíveis** de todos os obstáculos;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

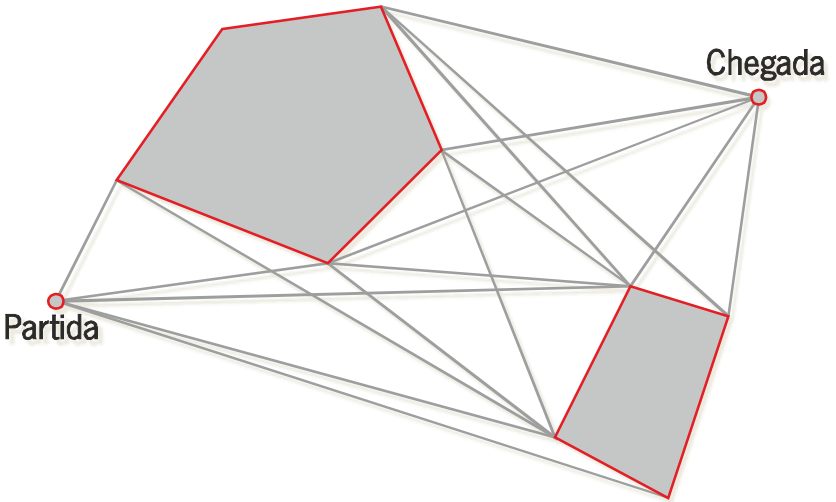
- ...
- Este método começa por determinar segmentos de reta entre a partida, a chegada e todos os **vértices visíveis** de todos os obstáculos;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

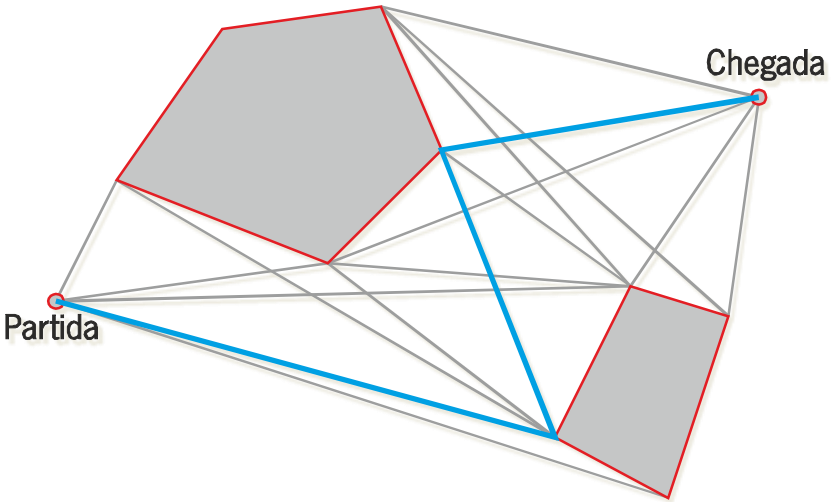
- ...
- Este método começa por determinar segmentos de reta entre a partida, a chegada e todos os **vértices visíveis** de todos os obstáculos;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

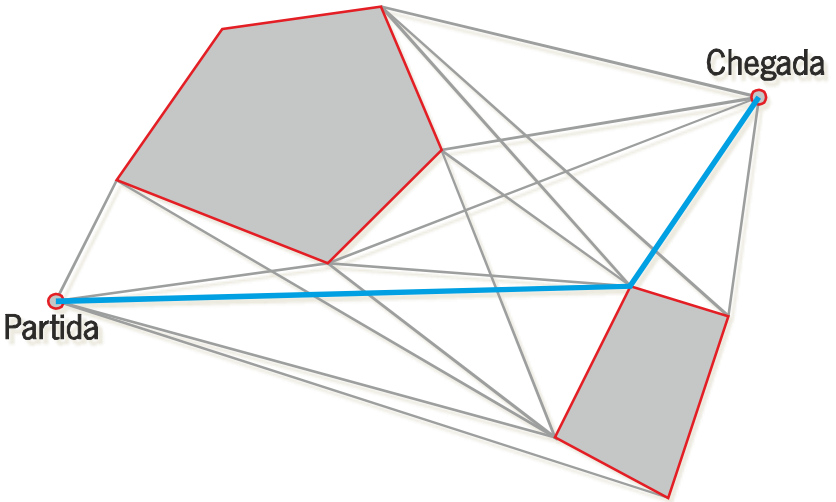
- ...
- ...
- De seguida, utiliza estes segmentos para calcular a melhor rota entre a partida e a chegada;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

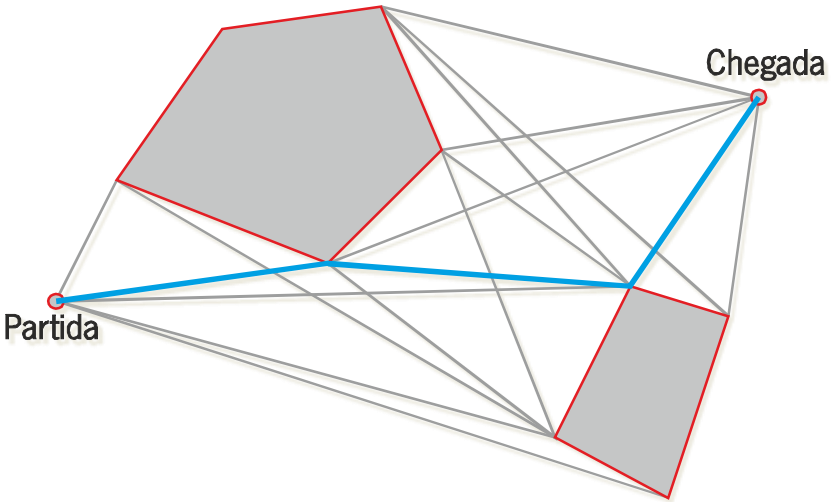
- ...
- ...
- De seguida, utiliza estes segmentos para calcular a melhor rota entre a partida e a chegada;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

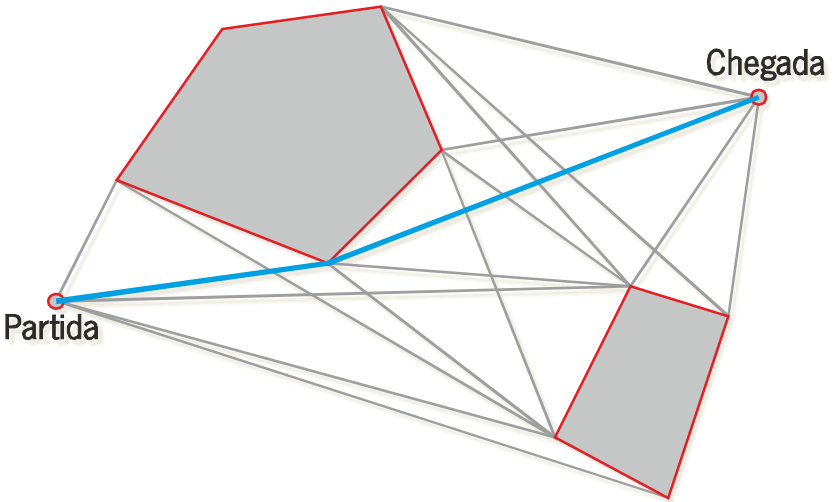
- ...
- ...
- De seguida, utiliza estes segmentos para calcular a melhor rota entre a partida e a chegada;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

- ...
- ...
- De seguida, utiliza estes segmentos para calcular a melhor rota entre a partida e a chegada;

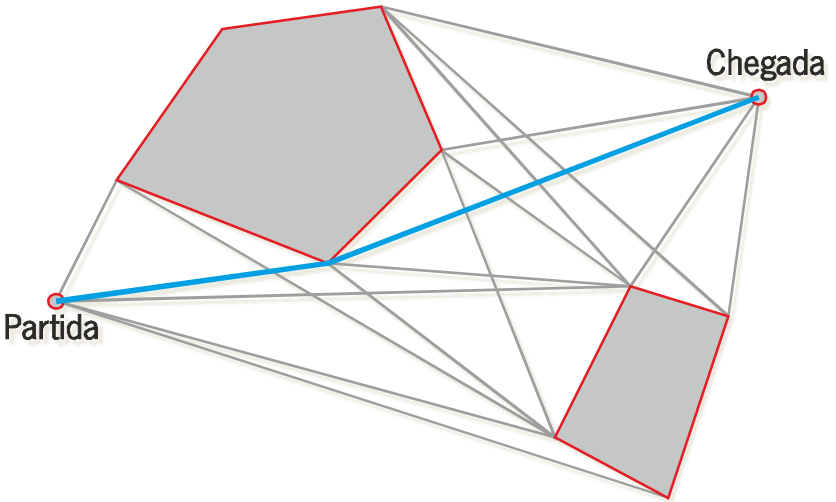


ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

- Este método encontra o caminho mais curto;
- O caminho é calculado através de tangentes aos obstáculos;

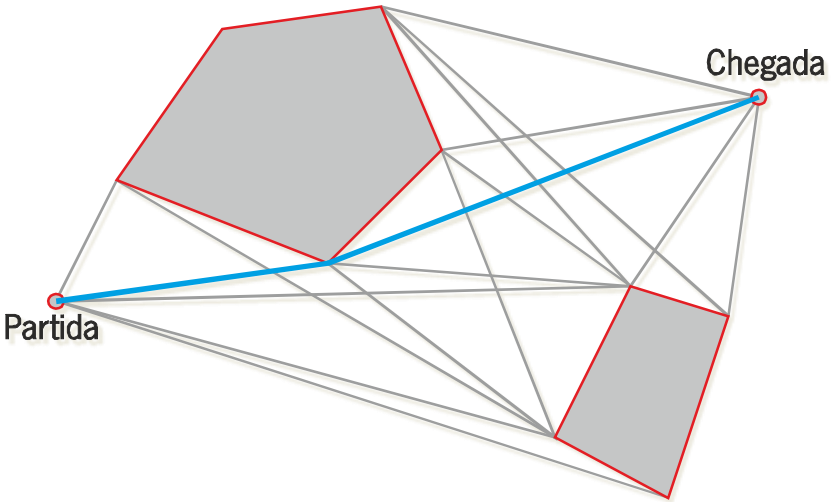
MAS...



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Grafos de Visibilidade

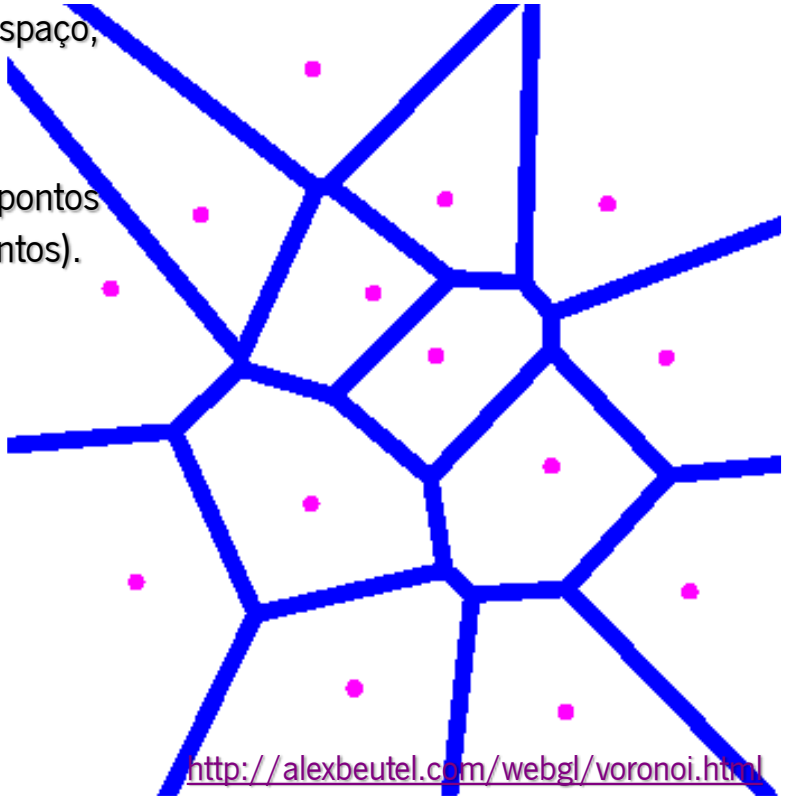
- Este método encontra o caminho mais curto;
- O caminho é calculado através de tangentes aos obstáculos;
- Um pequeno erro de controlo ou de modelação dos obstáculos é um problema (grave?!);
- Este método não considera as dimensões do robô, o que significa que a rota calculada não evita colisões com os obstáculos.



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Diagramas de *Voronoi*

- Um Diagrama de *Voronoi* consiste numa decomposição do espaço, calculada através das distâncias entre si de um conjunto pré-definido de obstáculos (ou de pontos);
- Um Diagrama de *Voronoi* descreve as áreas formadas pelos pontos que estão mais próximos de um dado conjunto de locais (pontos).

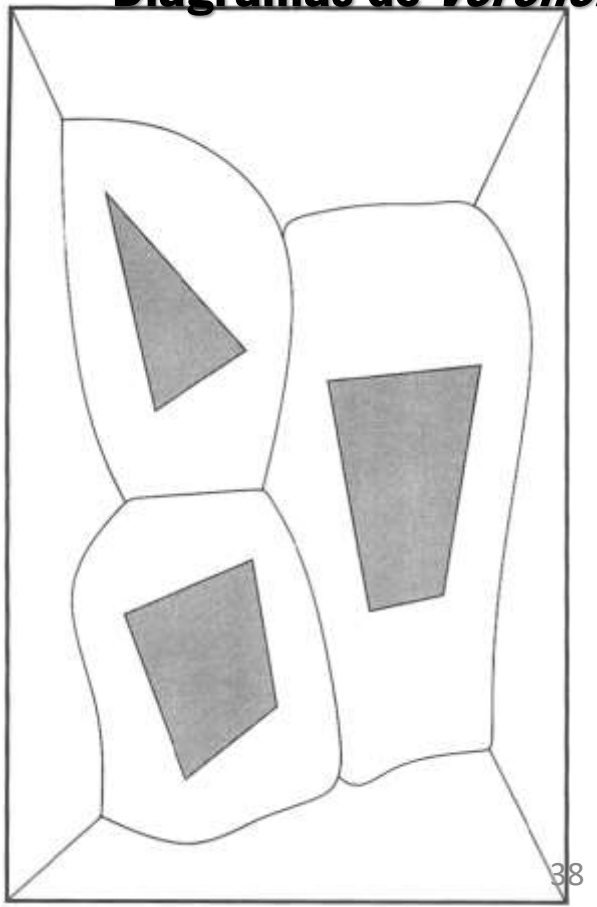


http://alexbeutel.com/webgl/voronoi.html

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: *Road Map*
Diagramas de *Voronoi*

- Método semelhante ao método baseado no cálculo de Grafos de Visibilidade;
- Tende a maximizar a distância entre os obstáculos presentes no espaço;
- Por um lado, a rota traçada para o caminho a percorrer pelo robô é mais longo;
- Por outro lado, reduz a possibilidade de colisão com os obstáculos, uma vez que maximiza a distância entre eles.



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas

- A Construção de Rotas é importante para que um robô (sistema autónomo) possa mover-se ou realizar uma determinada tarefa **da forma mais eficaz e no menor período de tempo**, com o objetivo de o tornar mais produtivo e fiável;
- Existem vários métodos para Construção de Rotas:
  - *Road Map*;
  - Decomposição Celular;
  - Navegação por Marcos de Influência.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular

- A ideia chave subjacente a este método de construção de rotas é a de que é possível determinar áreas geométricas, **células**, de forma que umas representam **áreas livres** e outras representam **áreas ocupadas** (obstáculos);
- O espaço contínuo é dividido num número finito de células, por forma a possibilitar uma pesquisa discreta de soluções;
- A construção da rota é determinada pelo cálculo da ligação entre células adjacentes;

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

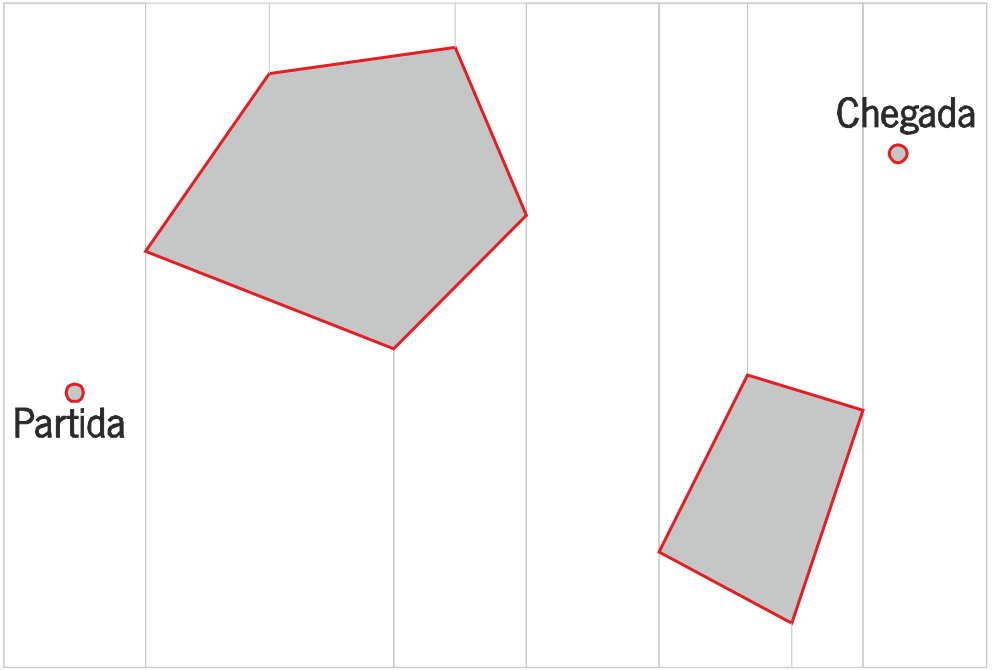
Construção de Rotas: Decomposição celular

- Decomposição Celular:
  - Dividir o espaço em regiões simples;
  - Construir um grafo de adjacências;
  - Procurar um caminho entre as células de partida e de chegada;
  - Construir a rota pela ligação entre as células do caminho encontrado.
- Existem dois tipos de métodos para decompor um espaço num conjunto de células:
  - Decomposição Celular Exata;
  - Decomposição Celular Aproximada.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Exata

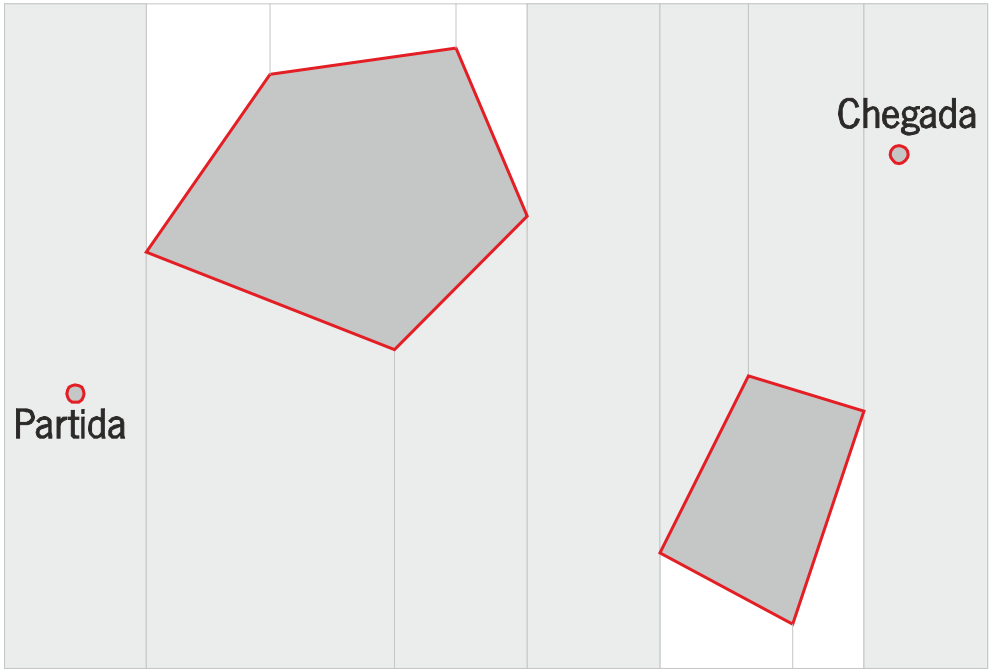
- Dividir o espaço em regiões simples;
- Construir um grafo de adjacências;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Exata

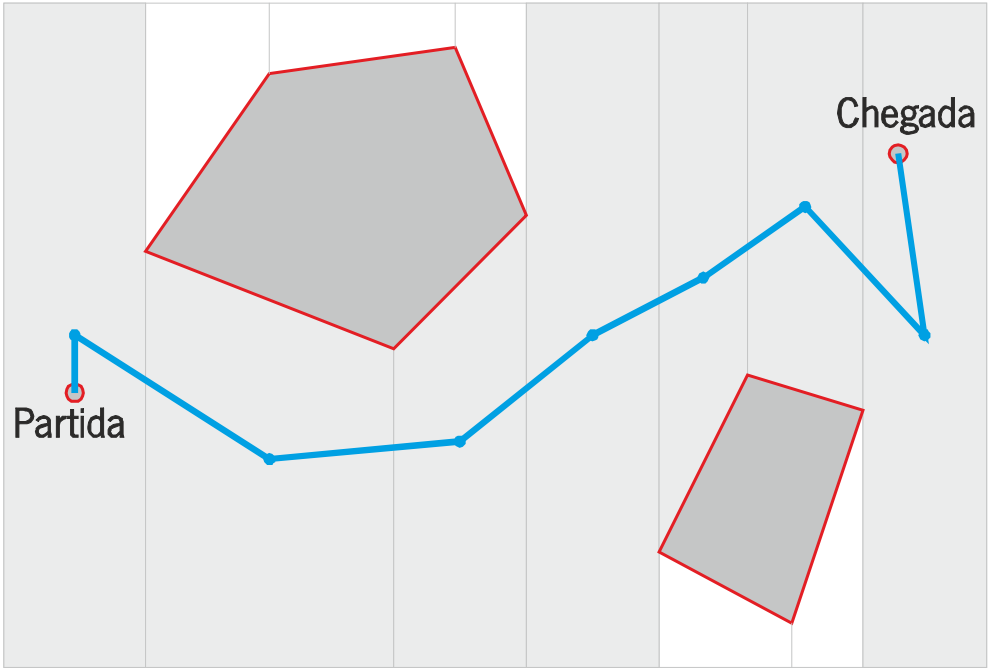
- Dividir o espaço em regiões simples;
- Construir um grafo de adjacências;
- Procurar um caminho entre as células de partida e de chegada;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Exata

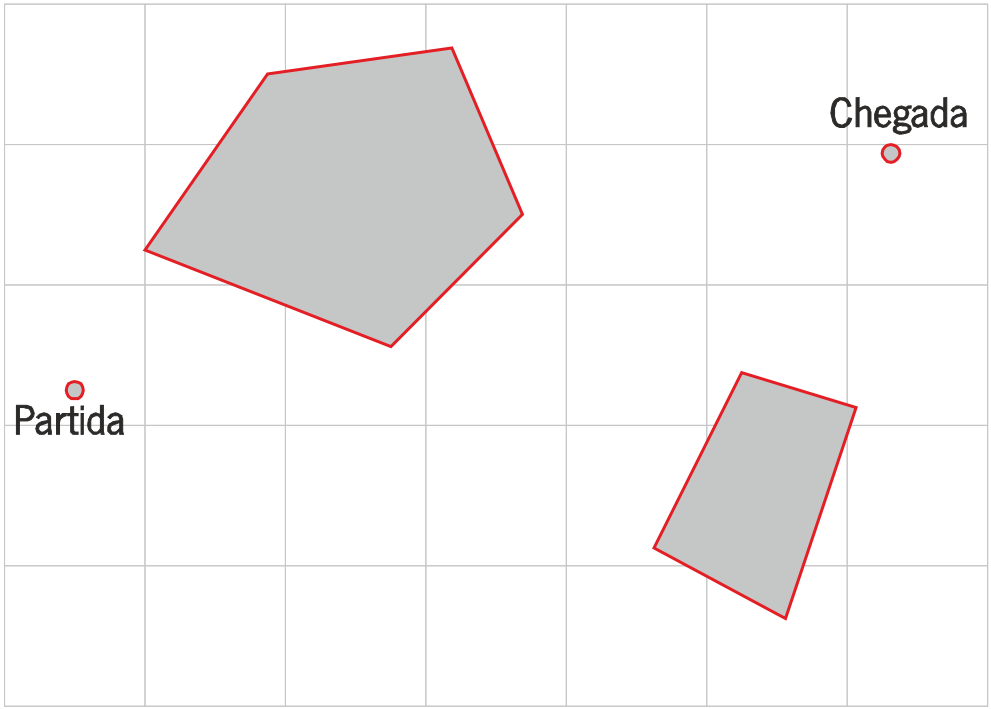
- Dividir o espaço em regiões simples;
- Construir um grafo de adjacências;
- Procurar um caminho entre as células de partida e de chegada;
- Construir a rota pela ligação entre as células do caminho encontrado.



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Aproximada

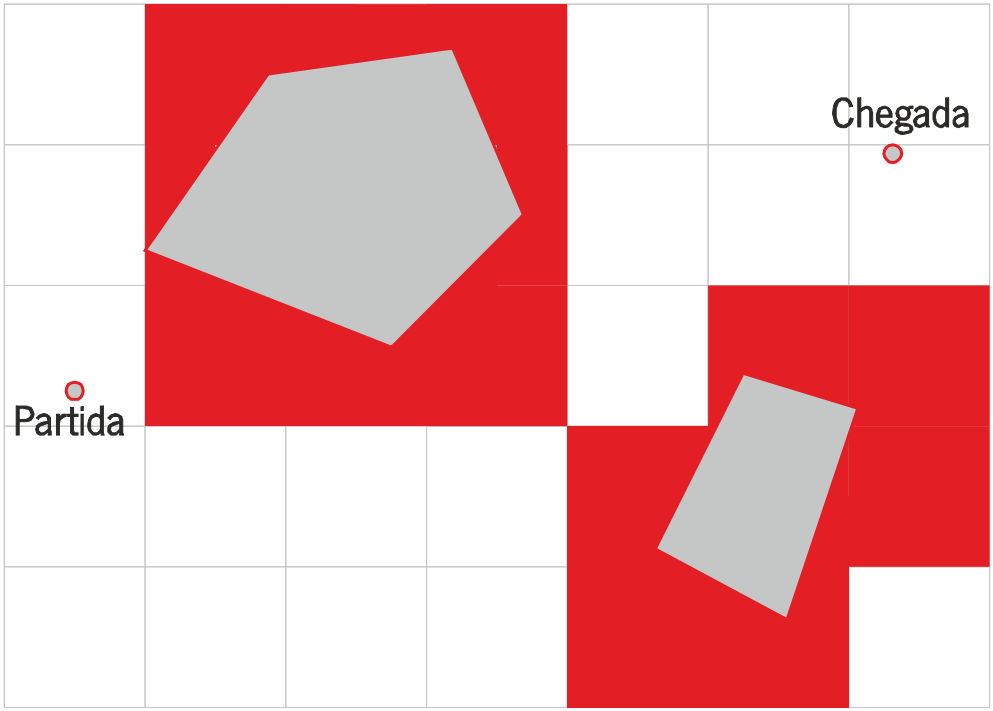
- Definir uma grelha sobre o espaço de configuração;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Aproximada

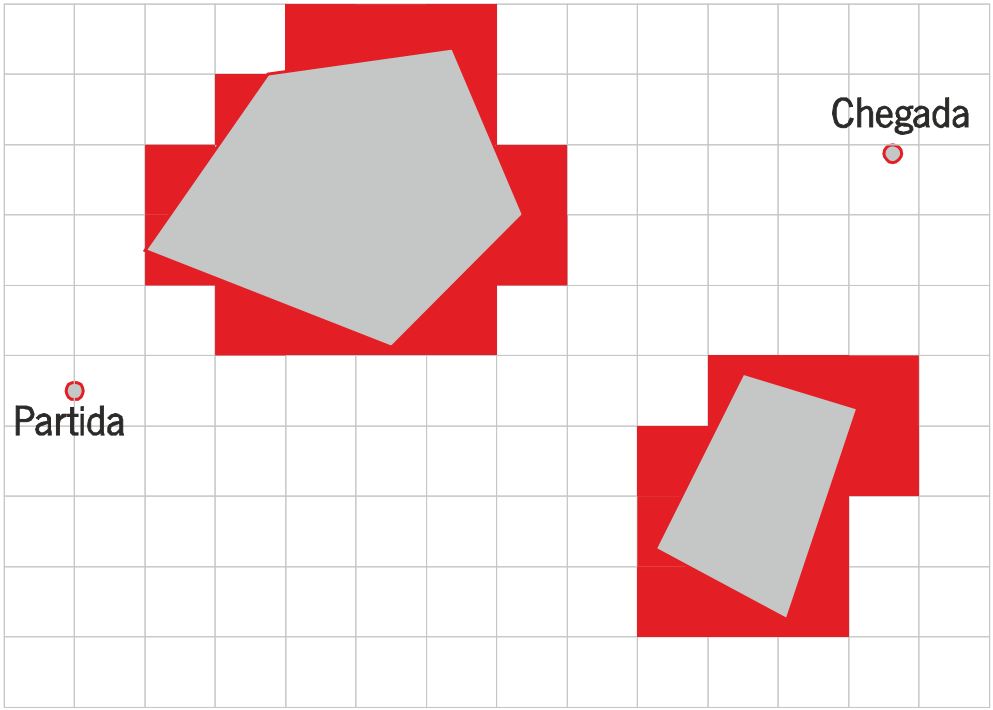
- Definir uma grelha sobre o espaço de configuração;
- Calcular o caminho mais curto entre a partida e a chegada através destas células, evitando qualquer das células ocupadas;



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Aproximada

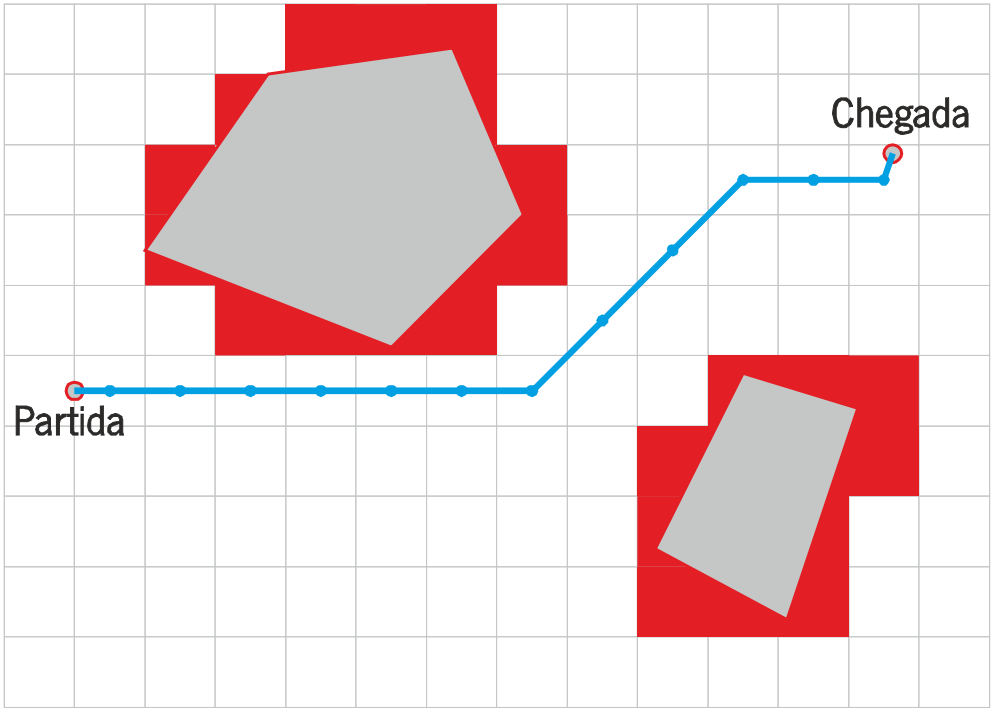
- Definir uma grelha sobre o espaço de configuração;
- Calcular o caminho mais curto entre a partida e a chegada através destas células, evitando qualquer das células ocupadas;
- Se não for possível calcular qualquer caminho, aumentar o detalhe da grelha e... continuar!



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Decomposição celular Aproximada

- Definir uma grelha sobre o espaço de configuração;
- Calcular o caminho mais curto entre a partida e a chegada através destas células, evitando qualquer das células ocupadas;
- Se não for possível calcular qualquer caminho, aumentar o detalhe da grelha e... continuar!



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas

- A Construção de Rotas é importante para que um robô (sistema autónomo) possa mover-se ou realizar uma determinada tarefa **da forma mais eficaz e no menor período de tempo**, com o objetivo de o tornar mais produtivo e fiável;
- Existem vários métodos para Construção de Rotas:
  - *Road Map*;
  - Decomposição Celular;
  - Navegação por Marcos de Influência.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Construção de Rotas: Navegação por marcos de influência

- Definem-se funções que:
  - assumem valores grandes (crescentes) à medida que o robô se aproxima de um objeto/obstáculo; (ou em torno da origem)
  - assumem valores pequenos (decrescentes) à medida que o robô se aproxima do objetivo/destino;

para uma função objetivo que minimiza o custo do trajeto.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Como fazer Planeamento?

- Construção de Rotas:
  - *Road Map*:
    - Grafos de Visibilidade;
    - Diagramas de *Voronoi*;
  - Decomposição Celular:
    - Exata;
    - Aproximada;
  - Navegação por Marcos de Influência (ou campos gravitacionais);
- Desvio de Obstáculos;
- Arquiteturas de Navegação.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos

- O Desvio de Obstáculos é a capacidade de um robô (sistema autónomo) mudar de trajetória durante o movimento, de acordo com a informação recolhida através dos sensores;
- Os algoritmos de desvio de obstáculos mais conhecidos são:
  - *Bug Algorithm*;
  - Técnica da Bolha (*Bubble Band*).

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

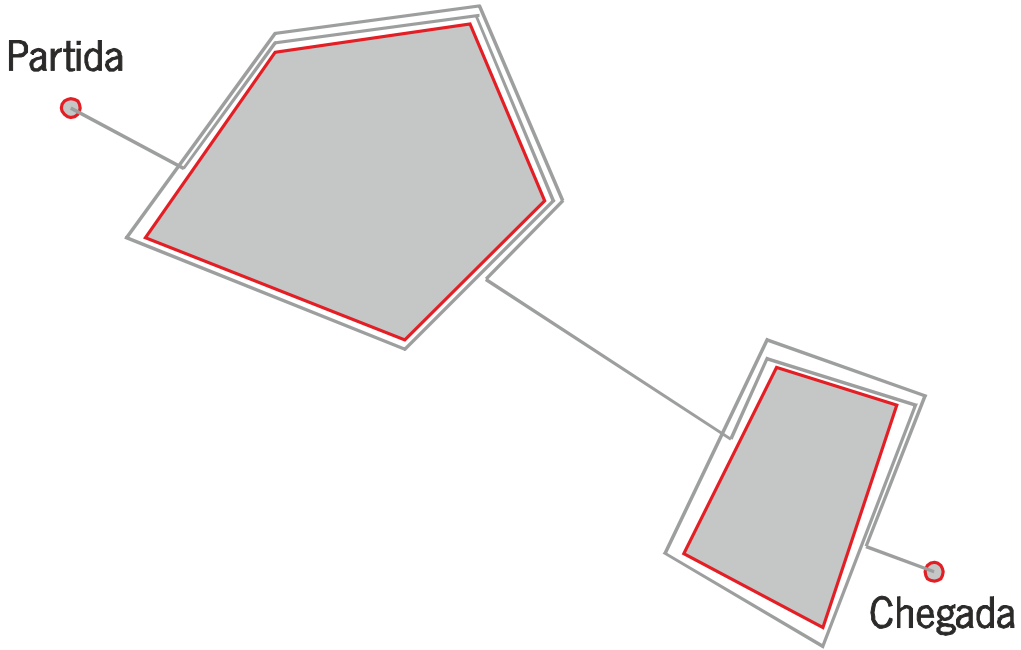
Desvio de obstáculos: *Bug Algorithm*

- O *Bug Algorithm* implementa a estratégia mais simples para evitar obstáculos;
- A ideia básica é a de contornar cada obstáculo que se encontra na rota entre a partida e a chegada, por forma a "circum-navegar" todos os objetos no caminho do robô;

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos: *Bug Algorithm* - v.1

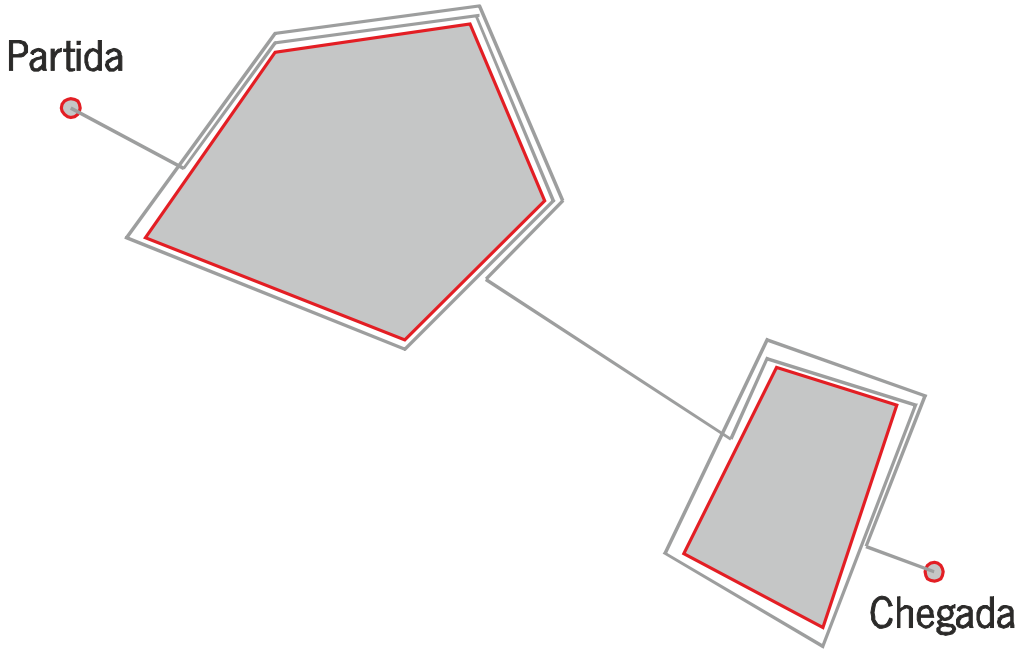
- O robô contorna, por completo, cada obstáculo;
- Seguidamente, circula o obstáculo por forma a chegar ao ponto do contorno que está mais próximo da chegada;
- Parte deste último ponto em direção ao ponto de chegada.

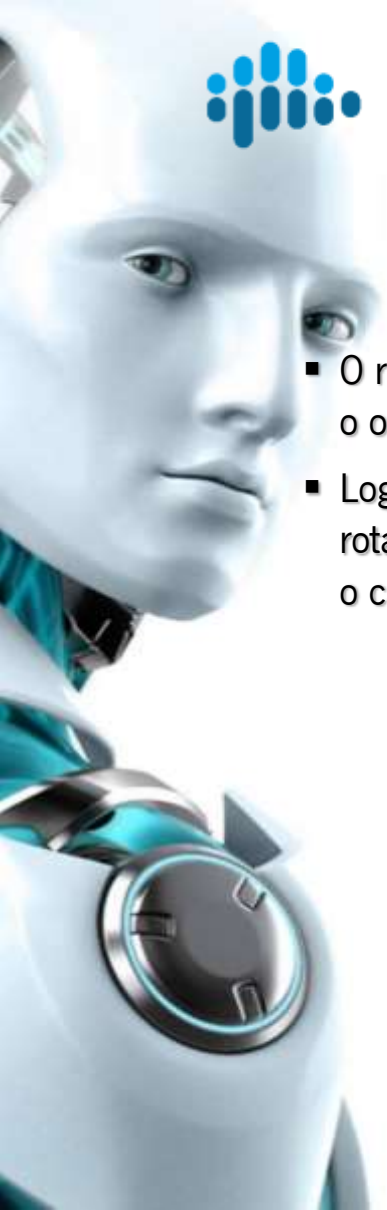


ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos: *Bug Algorithm* - v.1

- O robô contorna, por completo, cada obstáculo;
- Seguidamente, circula o obstáculo por forma a chegar ao ponto do contorno que está mais próximo da chegada;
- Parte deste último ponto em direção ao ponto de chegada.
- Qual é o problema desta abordagem? ?

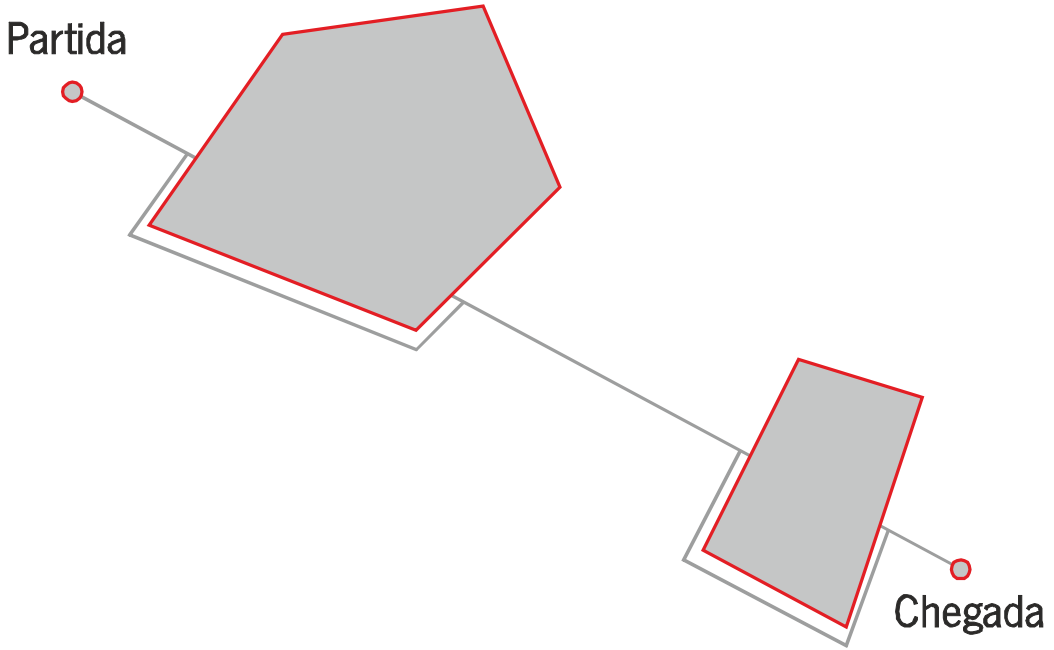




ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos: *Bug Algorithm* - v.2

- O robô começa por contornar o obstáculo;
- Logo que encontra um ponto da rota inicialmente traçada, retoma o caminho projetado.

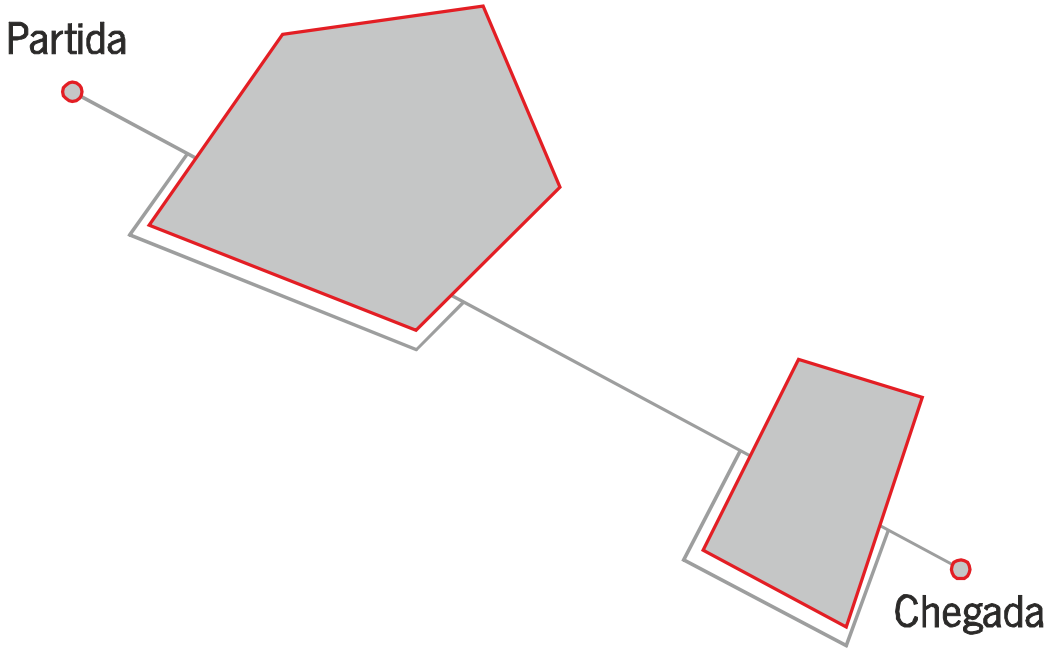


ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos: *Bug Algorithm* - v.2

- O robô começa por contornar o obstáculo;
- Logo que encontra um ponto da rota inicialmente traçada, retoma o caminho projetado.

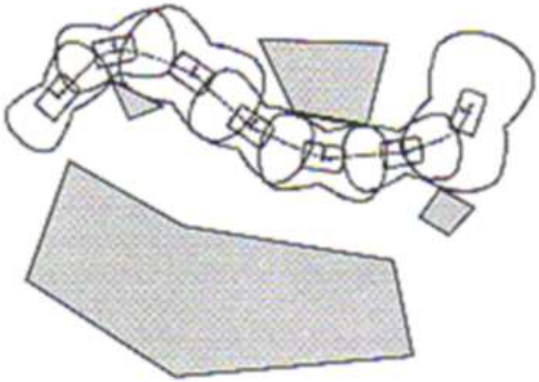
- Qual é o problema desta abordagem? ?



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Desvio de obstáculos: *Bubble Band*

- Define-se uma “bolha” em torno do robô como sendo o máximo espaço livre que deve existir para uma dada configuração do robô, de modo a que não exista qualquer possibilidade de colisão quando se movimenta em qualquer direção;
- A rota é determinada garantindo que a “bolha” percorre a rota sem tocar em qualquer obstáculo;
- Utilizado quando um robô não pode ser considerado sem dimensão (ponto).



A typical bubble band (Courtesy of Raja Chatila

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Como fazer Planeamento?

- Construção de Rotas;
- Desvio de Obstáculos:
  - *Bug Algorithm* ;
  - Técnica da Bolha (*Bubble Band*).
- Arquiteturas de Navegação.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação

- Tendo planeado a **trajetória** e selecionado o método para o **desvio de obstáculos**, como combinar estes dois sistemas num sistema autónomo, capaz de **navegar num ambiente** real (ou virtual)?
- Algumas arquiteturas de navegação são:
  - Planeamento *offline*;
  - Planeamento episódico;
  - Planeamento e execução integrados.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento *offline*

- O **Planeamento da Navegação Offline** significa que não existe integração entre o planeamento da trajetória e a sua execução por parte do sistema autónomo;
-
-
-

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento *offline*

- O **Planeamento da Navegação Offline** significa que não existe integração entre o planeamento da trajetória e a sua execução por parte do sistema autónomo;
- Requer uma representação interna da trajetória e do mundo para a navegação desde a partida até à chegada;
- Não se pode deslocar para um ambiente desconhecido, sem necessidade de reprogramação do sistema de navegação;
- Utilizado na indústria;
- Utilizado em viagens espaciais!
  (devido ao atraso nas comunicações, entre 3 e 22 minutos.)

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento *offline*

ROBOCODE

- O **Planeamento da Navegação Offline** significa que não existe integração entre o planeamento da trajetória e a sua execução por parte do sistema autónomo;
- Requer uma representação interna da trajetória e do mundo para a navegação desde a partida até à chegada;
- Não se pode deslocar para um ambiente desconhecido, sem necessidade de reprogramação do sistema de navegação;
- Utilizado na indústria;
- Utilizado em viagens espaciais!
  (devido ao atraso nas comunicações, entre 3 e 22 minutos.)

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento episódico

- O **Planeamento episódico** é um dos métodos de navegação de robôs mais comum;
- Contém um plano de navegação gerado *offline* e armazenado internamente, mas tem capacidade de recalcular a rota;
-
-

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento episódico

- O **Planeamento episódico** é um dos métodos de navegação de robôs mais comum;
- Contém um plano de navegação gerado *offline* e armazenado internamente, mas tem capacidade de recalcular a rota;
- Existência suficiente de dados recolhidos do ambiente, para recalcular a rota;
- Recalcular frequentemente a rota pode ser um problema:
  - Consumo de recursos;
  - Comunicação entre sistemas;
  - Principalmente, quanto maior for o peso de uma arquitetura deliberativa para a resolução deste problema.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

ROBOCODE

Arquiteturas de Navegação: Planeamento episódico

Planeamento episódico é um dos métodos de navegação de robôs mais comum;

- Contém um plano de navegação gerado *offline* e armazenado internamente, mas tem capacidade de recalcular a rota;
- Existência suficiente de dados recolhidos do ambiente para recalcular a rota;
- Recalcular frequentemente a rota pode ser um problema:
  - Consumo de recursos;
  - Comunicação entre sistemas;
  - Principalmente, quanto maior for o peso de uma arquitetura deliberativa para a resolução deste problema.

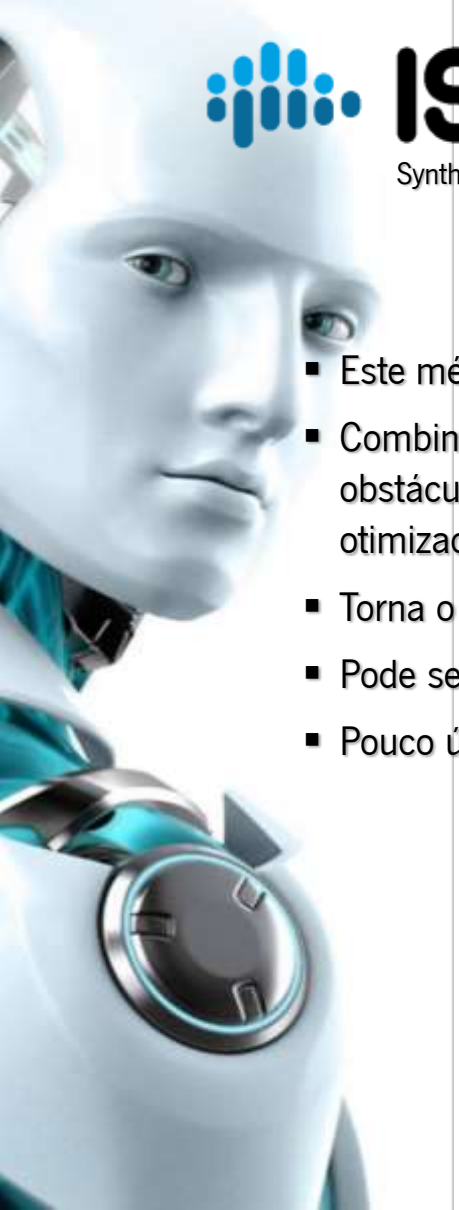
Walls

Corners

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento e execução integrados

- Este método resulta de uma combinação dos dois anteriores;
- Combina rotas pré-determinadas com informação local do ambiente, por forma a que, quando detete obstáculos inesperados, em vez de recalcular uma rota, seleciona uma rota previamente calculada e otimizada;
-
-
-



ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Arquiteturas de Navegação: Planeamento e execução integrados

- Este método resulta de uma combinação dos dois anteriores;
- Combina rotas pré-determinadas com informação local do ambiente, por forma a que, quando detete obstáculos inesperados, em vez de recalcular uma rota, seleciona uma rota previamente calculada e otimizada;
- Torna o processamento mais rápido e fiável;
- Pode ser computacionalmente exigente;
- Pouco útil em ambientes muito complexos.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Como fazer Planeamento?

- Construção de Rotas;
- Desvio de Obstáculos;
- Arquiteturas de Navegação:
  - Planeamento *offline* ;
  - Planeamento episódico;
  - Planeamento e execução integrados.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

RoboCode
Programação de Robôs

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1°/4° – 2° semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
  - Programação de robôs;
  - robot, advanced robot, teamrobot, droid;
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
  - Programação de tanques/robôs individuais;
  - Programação de equipas de robôs;
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
  - Desafio 1: desenvolver um odómetro (medir a distância percorrida):
    - Medir a distância percorrida em cada episódio (*round*) de uma batalha (*battle*);
    - Calcular o acumulado das distâncias de todos os episódios;
    - Neste desafio, não há necessidade de combate;
- Como?

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
  - Desafio 1: desenvolver um odómetro (medir a distância percorrida);
  - Desafio 2: trajetória de circum-navegação de 3 obstáculos;
    - Obstáculos identificados como «rockquad»;
    - Início em 30x30;
    - Circular no sentido dos ponteiros do relógio;
    - Circular por fora da área demarcada pelos 3 obstáculos.
- Como?

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Programação RoboCode

- Que fazer?
- Que tanques construir?
- Que comportamentos desenvolver?
- Como?
  - Estratégias de controlo;
  - Arquiteturas de controlo;
  - Traçado de rotas/trajetórias.

ISLab
Synthetic Intelligence Lab

Bibliografia

- Jean-Claude Latombe, “Robot Motion Planning”, Kluwer, 1991.
- Choset, Lynch, Hutchinson, Kantor, Burgard, Thrun, “Principles of Robot Motion”, 2005.
- Siegwart and Nourbakhsh, “Autonomous Mobile Robots”, The MIT Press, 2004.
- Ronald Arkin, “Behavior Based Robotics”, The MIT Press, 1998.
- Steven LaValle, “Planning Algorithms”, Cambridge University Press, 2006.

Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Departamento de Informática

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1°/4° – 2° semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes