Introdução à Robótica

Robótica Móvel – Planejamento e Navegação

Prof. Douglas G. Macharet
douglas.macharet@dcc.ufmg.br

UFMG Universidade Federal de Minas Gerais

VERLab Visão e Robótica — DCC Departamento de Ciência da Computação

Campos Potenciais

- Planejamento e navegação
  - Uma das abordagens mais utilizadas
- Proposta por Oussama Khatib (80's)
  - Planejamento de caminhos para manipuladores
- Abordagem reativa
  - Também pode ocorrer um pré-planejamento

Campos Potenciais

- Influência de um campo vetorial artificial
  - Induzido pelo alvo e pelos obstáculos
- Modelado por uma função de potencial $U(q)$
- Analogia com a física
  - Campos magnéticos
  - Campos gravitacionais

Campos Potenciais

- Campo vetorial
  - Robô e Obstáculos
    - Cargas de mesmo sinal (repulsão)
  - Robô e Goal
    - Cargas de sinais opostos (atração)
- Movimento em direção ao goal com desvio
  - O que significa o goal no campo de potencial?

Campos Potenciais

- Robô segue em direção ao valor mínimo
  - A ação de controle é proporcional ao negativo do gradiente da função de potencial
- Gradiente
  - Derivada da função potencial
  - Vetor força (direção e magnitude)

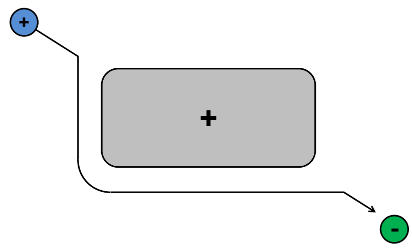
Campos Potenciais

- Gradiente de f em três dimensões

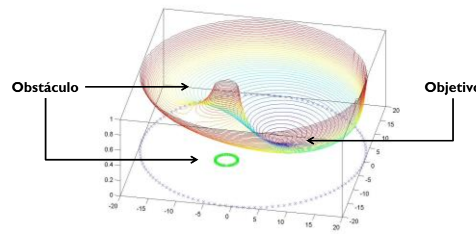
$$\nabla f = \frac{\partial f}{\partial x}\boldsymbol{i} + \frac{\partial f}{\partial y}\boldsymbol{j} + \frac{\partial f}{\partial z}\boldsymbol{k}$$

- Direção de crescimento da derivada
  - O mínimo da função (goal) pode ser encontrado se o gradiente negativo for seguido

Campos Potenciais



Campos Potenciais



Campos Potenciais

Função Potencial

- Potencial formado por duas componentes

$$U(q) = U_{att}(q) + U_{rep}(q)$$

- Força Artificial

$$\begin{aligned} F(q) &= -\nabla U(q) \\ &= -\nabla U_{att}(q) - \nabla U_{rep}(q) = \begin{bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} & \frac{\partial U}{\partial y} \end{bmatrix}^T \\ &= F_{att}(q) - F_{rep}(q) \end{aligned}$$

Campos Potenciais

Função Potencial (atração)

- Potencial dado por uma função parabólica

$$U_{att}(q) = \frac{1}{2} k_{att} \cdot \rho_{goal}^2(q)$$

- onde
  - k_{att}: fator escalar (ganho)
  - $\rho_{goal}(q)$: distância euclidiana ($||q - q_{goal}||$)

Campos Potenciais

Função Potencial (atração)

- Força de atração (derivada do potencial)

$$\begin{aligned} F_{att}(q) &= -\nabla U_{att}(q) \\ &= -k_{att} \cdot \rho_{goal}(\mathrm{q}) \nabla \rho_{goal}(q) \\ &= -k_{att} \cdot (q - q_{goal}) \end{aligned}$$

- Converge linearmente para 0 (no goal)

Campos Potenciais

Função Potencial (repulsão)

- Barreira ao redor dos obstáculos

$$U_{rep}(q) = \begin{cases} \frac{1}{2} k_{rep} \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{, se } \rho(q) \le \rho_0 \\ 0 & \text{, se } \rho(q) > \rho_0 \end{cases}$$

- onde
  - k_{rep}: fator escalar (ganho)
  - $\rho(q)$: distância para o obstáculo
  - ρ_0: distância mínima de influência

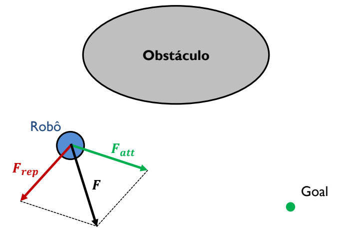
Campos Potenciais
Função Potencial (repulsão)

- Força de repulsão (derivada do potencial)

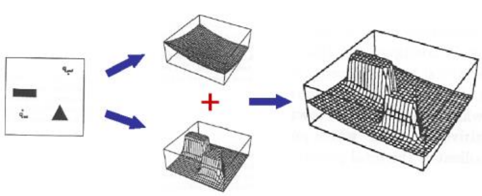
$$F_{rep}(q) = -\nabla U_{rep}(q)$$
$$= \begin{cases} k_{rep}\left(\dfrac{1}{\rho(q)} - \dfrac{1}{\rho_0}\right)\dfrac{1}{\rho^2(q)}\dfrac{q - q_{obs}}{\rho(q)} & \text{, se } \rho(q) \le \rho_0 \\ 0 & \text{, se } \rho(q) > \rho_0 \end{cases}$$

- Características
  - Mais forte de acordo com a proximidade
  - Sem influência a partir de um certo limite

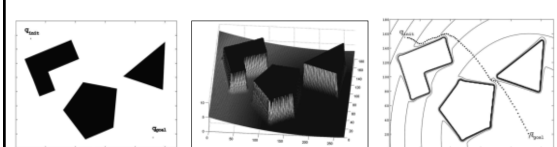
Campos Potenciais
Função Potencial



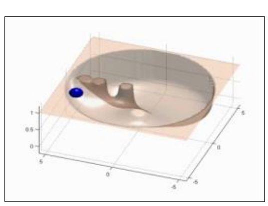
Campos Potenciais
Função Potencial



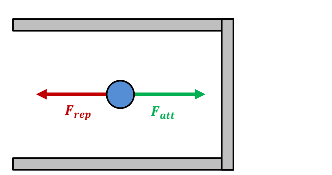
Campos Potenciais
Função Potencial



Campos Potenciais
Exemplo



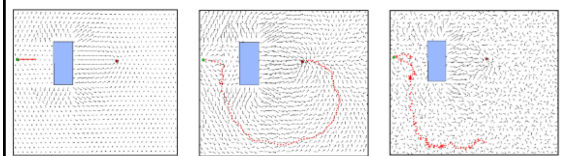
Campos Potenciais
Problema



Campos Potenciais
Problema

- Mínimo local
  - Somatório das forças é nulo em um ponto
- Possíveis soluções
  - Aplicar forças aleatórias
  - Utilizar funções de navegação
    - Funções potenciais sem mínimo local
  - Cooperação

Campos Potenciais
Problema



without noise, no path | **with** noise, path found | **too much** noise, no path found

Campos Potenciais
Considerações finais

- Trabalha em espaço contínuo
  - Não é necessária a decomposição do espaço de configurações em células
- A geração de trajetórias é implícita
  - Planejamento e controle simultâneos
- Podem ser calculados durante a execução
  - Posição dos obstáculos não conhecida *a priori*

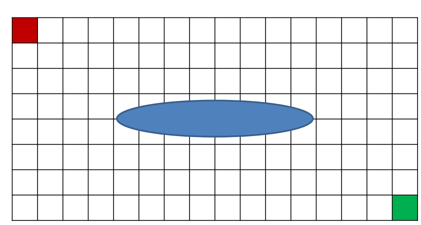
Wavefront Planner

- Evita o problema dos mínimos locais
- Assume uma discretização do espaço
  - Requer um conhecimento prévio do ambiente
- Valores no grid pela distância do goal
  - Função potencial com mínimo no goal
  - Descida do gradiente leva ao menor caminho

Wavefront Planner

- Funcionamento
  - Marcar o goal com valor inicial 0
  - Marcar as células dos obstáculos com valor ∞
  - Incrementar em uma unidade células vizinhas
    - Repetir a operação até cobrir todo o grid
    - Valor vizinho = Valor atual + 1
    - Conectividade 8 vs. Conectivade 4
- Descida do gradiente encontra o caminho

Wavefront Planner



Wavefront Planner

				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
															0

Wavefront Planner

				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
														1	1
														1	0

Wavefront Planner

				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
													2	2	2
													2	1	1
													2	1	0

Wavefront Planner

				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞				
				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	3	3	3
												3	2	2	2
												3	2	1	1
												3	2	1	0

Wavefront Planner

				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	4	4	4
				∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	3	3	3
											4	3	2	2	2
											4	3	2	1	1
											4	3	2	1	0

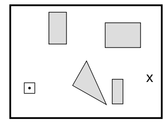
Wavefront Planner

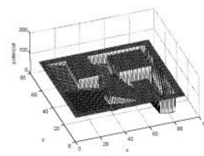
16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	7	7	7	7	7	7
15	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	6	6	6	6	6
15	14	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	5	5	5	5
15	14	13	13	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4	4	4	4
15	14	13	12	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	3	3	3
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	1
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0

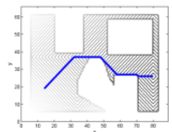
Wavefront Planner

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7	7	7	7	7	7
15	[illegible]	14	13	12	11	10	9	8	7	[illegible]	6	6	6	6	6
15	[illegible]	14	13	12	11	10	9	8	7	6	[illegible]	5	5	5	5
15	14	[illegible]	13	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	[illegible]	4	4	4
15	14	13	[illegible]	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3	[illegible]	3	3
15	14	13	12	[illegible]	10	9	8	7	6	5	4	3	2	[illegible]	2
15	14	13	12	11	[illegible]	9	8	7	6	5	4	3	2	1	[illegible]
15	14	13	12	11	10	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0

Wavefront Planner







Considerações finais

- Campos potenciais
  - Não é completo
    - Problema dos mínimos locais
  - Espaços de configurações contínuos
- Wavefront planner
  - Completo
  - Espaços de configurações discretizados

Considerações finais