

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MÍNIAS GERAIS

Introdução à Robótica

Robótica Móvel – Locomoção

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

DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÉNCIA DA COMPUTAÇÃO

VIRLab

Introdução

- Um robô móvel necessita de mecanismos que o permitam navegar pelo ambiente
- Projetados de acordo com o ambiente
 - Aéreo
 - Terrestre
 - Aquático
 - Espacial

Introdução à Robótica - Locomoção

2

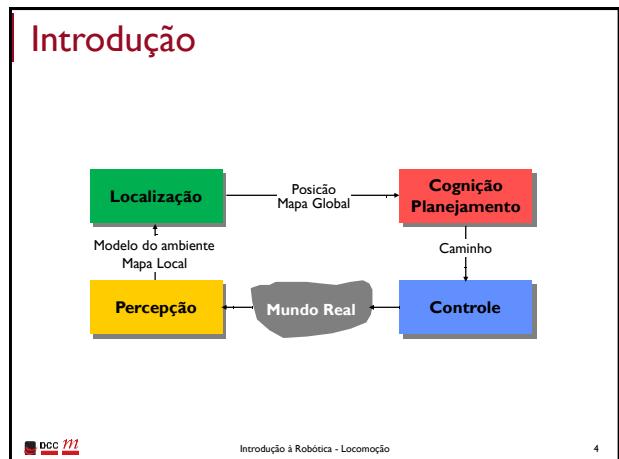
DCC

Introdução à Robótica - Locomoção

3

Introdução

- Navegação
 - Tarefa de mais alto nível
 - Planejamento (Decisões)
- Necessário perceber e entender o mundo
 - Sensores
- Diferentes etapas (subtarefas) envolvidas



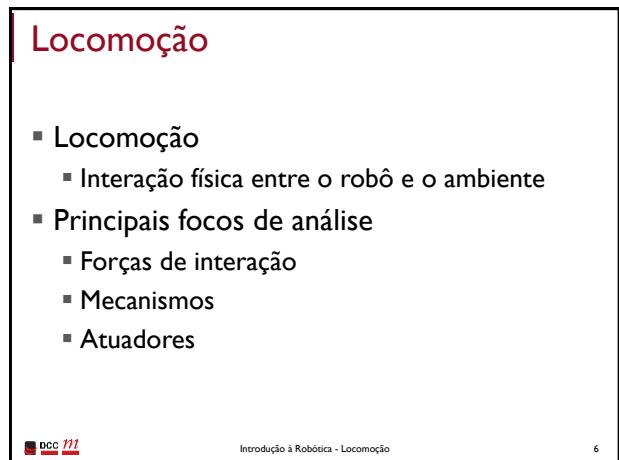
DCC

Introdução à Robótica - Locomoção

5

Introdução

- Na disciplina veremos um nível mais baixo
 - Mecanismos de locomoção
 - Métodos básicos de controle
 - Sensores simples



Locomoção

- Diferentes formas de se movimentar
 - Aspecto importante ao se projetar o robô
- Exemplos
 - Andar, Correr, Pular, Voar, ...
- Inspiração principalmente na natureza



Locomoção

Natureza

| Type of motion | Resistance to motion | Basic kinematics of motion |
|-------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Flow in a Channel | Hydrodynamic forces | Eddies |
| Crawl | Friction forces | Longitudinal vibration |
| Sliding | Friction forces | Transverse vibration |
| Running | Loss of kinetic energy | Periodic bouncing on a spring |
| Walking | Loss of kinetic energy | Rolling of a polygon (see figure 2.2) |



Locomoção

Natureza

- Conceitos da natureza são difíceis de imitar
- Quais os principais mecanismos utilizados?
 - Rodas e Esteiras
 - Por quê?



Locomoção

Natureza

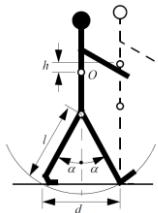
- Rolar é o método mais eficiente
 - Não encontrado na natureza. Quem inventou?!
- O movimento realizado por um bípede ao caminhar é semelhante à um rolamento



Locomoção

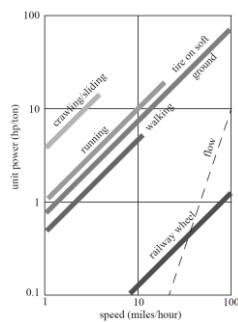
Mecanismo bípedo de caminhar

- Rolamento de um polígono com um comprimento lateral igual ao comprimento do passo
- Quanto menor o passo fica, mais o polígono tende a um círculo
- Possui vantagens
 - Transposição de obstáculos



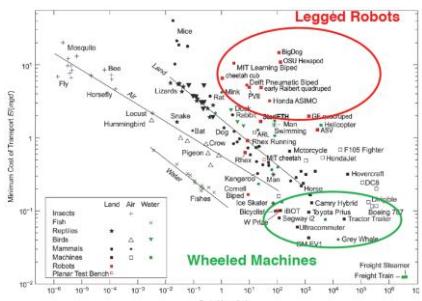
Locomoção

Selecionando um mecanismo (eficiência)



Locomoção

Selecionando um mecanismo (eficiência)



Locomoção

Selecionando um mecanismo (eficiência)

- A escolha de um mecanismo depende
 - Características do terreno
 - Complexidade e peso do robô
 - Velocidade de operação desejada
 - Limitações no gasto energético

Locomoção

Estabilidade

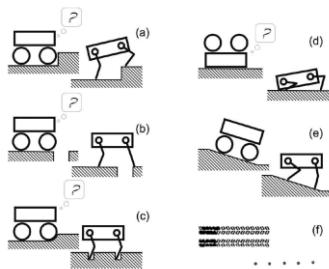
- Número de pontos de contato
- Centro de gravidade
- Estabilização (estática/dinâmica)

Características de contato

- Ponto ou área de contato
- Ângulo de contato

Locomoção

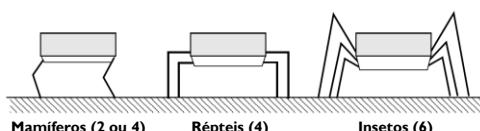
Robôs com Pernas vs. Robôs com Rodas



Locomoção

Robôs com Pernas

- Número de pernas → Complexidade
 - Quanto menor mais difícil é o equilíbrio
 - Quanto maior mais difícil é o controle
 - Estabilidade estática demanda três pernas



Locomoção

Robôs com Pernas

- Ao caminhar as pernas perdem o contato
 - Como fica a estabilidade?
- Caminhada estática
 - Pelo menos 4 (ou 6) pernas são necessárias
 - Por que?
- Andar é um problema difícil
 - Por isso levamos quase um ano aprendendo!

Locomoção

Robôs com Pernas



Caminhada estática



Caminhada dinâmica

- Estável sem se movimentar
- Lento e ineficiente
- Seguro

- Em constante movimento
- Rápido e eficiente
- Atuação constante

Locomoção

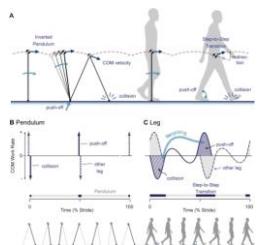
Robôs com Pernas



Locomoção

Robôs com Pernas

- Caminhar humano: Pêndulo invertido



Locomoção

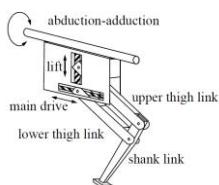
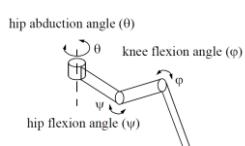
Robôs com Pernas – Movimentando uma perna

- São necessários pelo menos 2 DoF
 - Movimentos de levantar e girar
- Junta tornozelo (4 DoF)
 - Pode melhorar o caminhar
 - Maior complexidade do projeto e locomoção
- Na maioria dos casos são utilizados 3 DoF

Locomoção

Robôs com Pernas – Movimentando uma perna

- Exemplos de pernas com 3 DoF



Locomoção

Robôs com Pernas – Marcha

- Em sistemas com várias pernas, é necessário haver algum tipo de movimento coordenado
- A marcha (*gait*) é descrita pela sequência de eventos de erguer/descer cada perna
- Para um robô com k pernas, existem $N = (2k - 1)!$
- possíveis sequências distintas de eventos

Locomoção

Robôs com Pernas – Marcha

- Para um robô bípede ($k = 2$)

$$N = (2k - 1)! = 3! = 3 \cdot 2 \cdot 1 = 6$$

- Possíveis eventos

- Erguer PD, Erguer PE, Descer PD, Descer PE
- Erguer PD e PE, Descer PD e PE

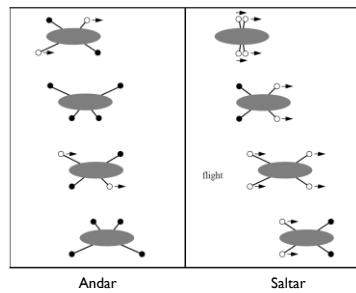
- Para um robô hexapoda ($k = 6$)

$$N = 11! = 39.916.800$$



Locomoção

Robôs com Pernas – Marcha



Locomoção

Robôs com Rodas

- Idealmente, realiza um deslocamento de $2\pi r$ por rotação, onde r é o raio da roda
- Dificuldades se o terreno apresentar irregularidades maiores que o raio da roda
- Problemas também em terrenos “macios”
 - Areia, lama, ...



Locomoção

Robôs com Rodas

- Apropriada para a maioria das aplicações
 - Estabilidade
 - Manobrabilidade
 - Controlabilidade
- O tipo da roda irá depender da aplicação
 - Existem diferentes tipos?!



Locomoção

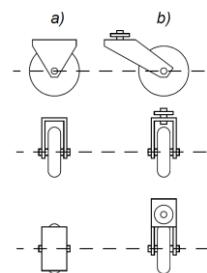
Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas

- Padrão
 - 2 DoF
 - Rotação em torno do eixo da roda (motor) e do ponto de contato
- Castor
 - 3 DoF
 - Rotação em torno do eixo da roda, do ponto de contato e do eixo castor



Locomoção

Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



Locomoção

Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



DCC M

Introdução à Robótica - Locomoção

31

Locomoção

Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas

- Mecanum/Sueca (omnidirecional)
 - 3 DoF
 - Rotação em torno do eixo da roda, dos rolamentos e do ponto de contato
- Esférica
 - Alto grau de mobilidade
 - Difícil de ser executada na prática

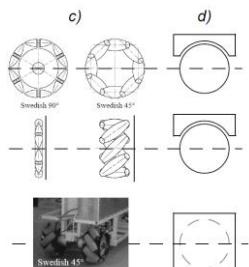
DCC M

Introdução à Robótica - Locomoção

32

Locomoção

Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas



DCC M

Introdução à Robótica - Locomoção

33

Locomoção

Robôs com Rodas – Tipos básicos de rodas

Airtrax

Omni-Directional Technology
Changing the way vehicles move



DCC M

Introdução à Robótica - Locomoção

34

Locomoção

Robôs com Rodas – Projeto

- Três rodas são suficientes para estabilidade
 - CoG no triângulo dos pontos de contato
- Ao utilizar mais do que três rodas
 - Estabilidade é melhorada
 - Suspensão flexível é recomendada
- Rodas maiores → Obstáculos maiores
 - É necessário um torque maior

DCC M

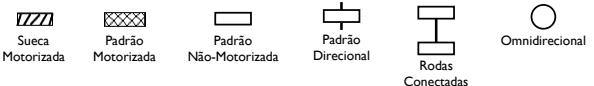
Introdução à Robótica - Locomoção

35

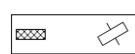
Locomoção

Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

▪ Legenda



▪ 2 Rodas



DCC M

Introdução à Robótica - Locomoção

36

Locomoção

Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

■ 2 Rodas



DCC 111

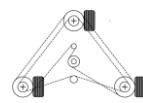
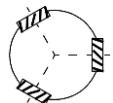
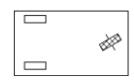
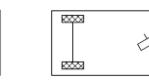
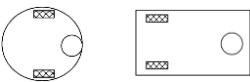
Introdução à Robótica - Locomoção

37

Locomoção

Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

■ 3 Rodas



DCC 111

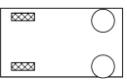
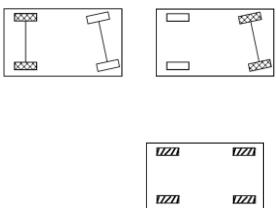
Introdução à Robótica - Locomoção

38

Locomoção

Robôs com Rodas – Arranjo das rodas

■ 4 Rodas



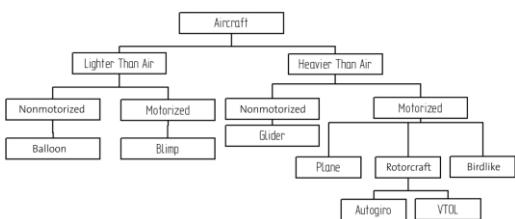
DCC 111

Introdução à Robótica - Locomoção

39

Locomoção

Robôs Aéreos



DCC 111

Introdução à Robótica - Locomoção

40

Locomoção

Robôs com Asas

■ Asa fixa

- Baixa manobrabilidade
- Bons para longas distâncias



DCC 111

Introdução à Robótica - Locomoção

41

Locomoção

Robôs com Asas

■ Asa rotativa

- Alta manobrabilidade
- Baixa autonomia de voo



DCC 111

Introdução à Robótica - Locomoção

42

Locomoção

Outros tipos de mecanismos de locomoção



Locomoção

Outros tipos de mecanismos de locomoção

HyTAQ: Hybrid Terrestrial and Aerial Quadrotor

Arash Kalantari Matthew Spenko
The Robotics Laboratory
Illinois Institute of Technology
Chicago, IL