

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Sensorização: Percepção e Interpretação

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º Semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes

- An intelligent robot is a machine able to **extract information from its environment** and use **knowledge about its world** to move safely in a meaningful and purposive manner.

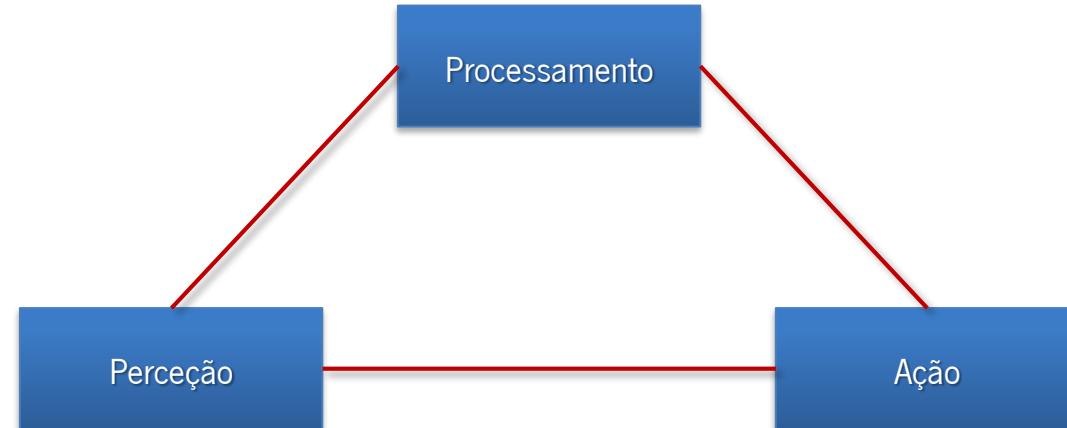
Ronald Arkin

- Um robô inteligente é uma máquina com capacidade para **extrair informação do ambiente** e utilizar **conhecimento sobre o mundo** para se deslocar em segurança de modo significativo e objetivo.



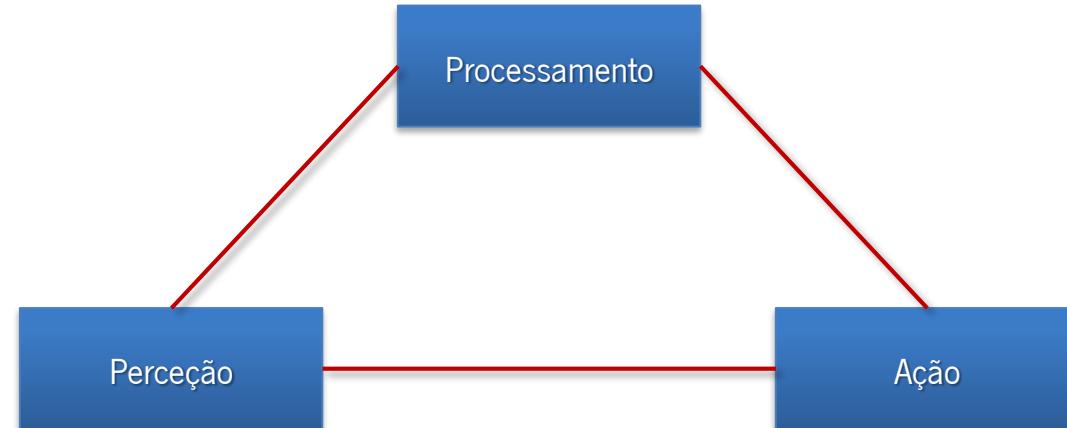
Arquitetura de Controlo

- O controlo de um sistema autónomo envolve um ciclo de três etapas:
 - Percepção;
 - Processamento;
 - Ação.



Sensores, Processadores, Atuadores

- Os sensores recolhem informação do **ambiente**;
- Os processadores tratam a informação recolhida, utilizando-a para construir **planos de atuação**;
- Os atuadores **transformam** os planos de atuação em ações sobre o ambiente.



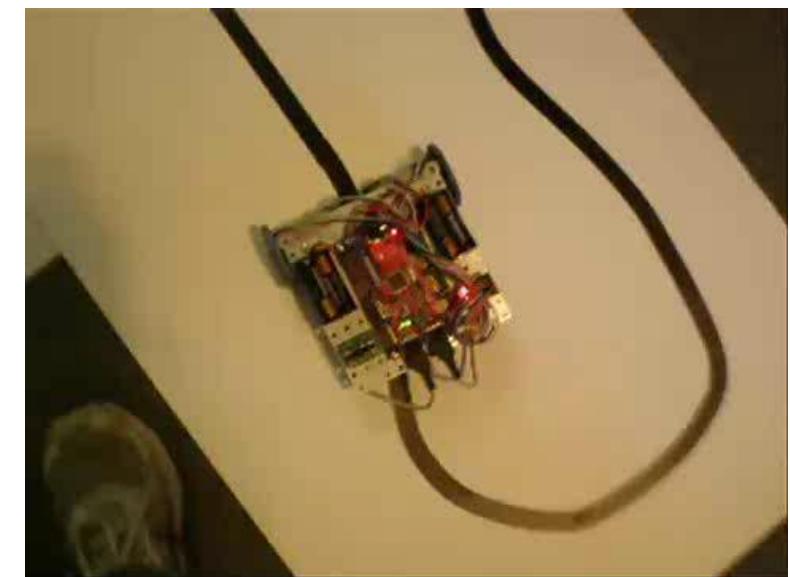
Perceção e Interpretação

- A capacidade de um robô para interpretar a informação presente no ambiente é crucial para alcançar os objetivos com sucesso;

Robot Marathon Race

Singapore Robotic Games '09
Singapore, January 2009

www.SOCIETYOFROBOTS.COM



Perceção e Interpretação

- A capacidade de um robô para interpretar a informação presente no ambiente é crucial para alcançar os objetivos com sucesso;
- O “mundo real” é frequentemente dinâmico e hostil:
 - O conhecimento do mundo é parcial;
 - Coisas mudam de lugar;
 - Informação *a priori* pode ser:
 - Incorreta;
 - Imprecisa;
 - Obsoleta.



Perceção: Paradigma Comportamental

- Perceção e Ação devem estar **fortemente** relacionadas:

“Perception without the context of action is meaningless”

“Behavior-Based Robotics”, Ronald C. Arkin

- As necessidades de **atuação** “dão” contexto para a **perceção**;
- A **perceção** é simplificada por restrições de **atuação**
(o conhecimento “aconselha” sobre o local do mundo onde podem aparecer “coisas”!);
- Em ambos os casos, **ação** e **perceção** são inseparáveis.

Perceção: Paradigma Comportamental

- *Action-Oriented Perception*

“Behavior-Based Robotics”, Ronald C. Arkin

- Perceção Baseada nas Ações:

- O processamento de percepções de um robô (sensores) deve ser dirigido a suprir as necessidades dos motores (atuadores).

Perceção: Paradigma Comportamental

- *Expectation-Based Perception*

“Behavior-Based Robotics”, Ronald C. Arkin

- Perceção Baseada na Expectativa:

- O conhecimento sobre o mundo (capacidade sensorial) pode condicionar a interpretação sobre a composição do mundo.

Perceção: Paradigma Comportamental

- *Active Perception*

“Behavior-Based Robotics”, Ronald C. Arkin

- Perceção Ativa:

- O robô pode usar os motores (atuadores) para melhorar o processamento de percepções (informação sensorial), posicionando-se (ou aos sensores) do modo mais adequado.

O Problema do Posicionamento

- O problema típico de navegação de robôs:

“Mobile robot localization by tracking geometric beacons”,

Leonard & Durrant-Whyte

- ...descreve-se em três questões:

- *Where am I?*
 - *Where am I going?*
 - *How should I get there?*

- Onde estou?
 - Para onde vou?
 - Como chegar lá?

- A primeira questão está diretamente relacionada com a capacidade de sensorização para posicionamento no ambiente.

Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Relativo:
 - Odometria;
 - Navegação inercial.
- Métodos de Posicionamento Absoluto:
 - Avisos ativos;
 - Reconhecimento de marcos artificiais;
 - Reconhecimento de marcos naturais;
 - Reconhecimento de modelo.

Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Relativo:
 - Odometria:
 - Usa *encoders* para medir a rotação das rodas e/ou a orientação;
 - Tem a vantagem de fornecer sempre uma estimativa da posição;
 - Tem a desvantagem de que os erros crescem sempre e sem limite.
 - Navegação inercial.

Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Relativo:

- Odometria:

- Usa *encoders* para medir a rotação das rodas e/ou a orientação;
 - Tem a vantagem de fornecer sempre uma estimativa da posição;
 - Tem a desvantagem de que os erros crescem sempre e sem limite.

- Navegação inercial:

- Usa giroscópios e acelerômetros para medir rotação e aceleração;
 - Esta informação é integrada com o tempo;
 - Tem a vantagem de fornecer estimativas sobre o posicionamento;
 - Tem a desvantagem de o erro crescer ao longo do tempo, devido à integração dos dados.

Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Relativo:
 - Odometria;
 - Navegação inercial.
- Métodos de Posicionamento Absoluto:
 - Avisos ativos;
 - Reconhecimento de marcos artificiais;
 - Reconhecimento de marcos naturais;
 - Reconhecimento de modelo.



Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Absoluto:

- Avisos ativos:
 - Calcula uma posição absoluta por medição de três ou mais feixes ativos;
 - Os feixes podem ser luminosos, rádio, etc., mas têm de estar colocados em pontos conhecidos do ambiente.
- Reconhecimento de marcos artificiais;
- Reconhecimento de marcos naturais;
- Reconhecimento de modelo.

MicroMouse Competition

Singapore Robotic Games '09
Singapore, January 2009

www.SOCIETYOFRobots.COM



Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Absoluto:

- Avisos ativos;
- Reconhecimento de marcos artificiais:
 - Colocam-se marcos de identificação no ambiente (três ou mais);
 - Tem a vantagem de permitir construir os marcos para serem facilmente identificáveis;
 - Podem ser obtidas outras informações (distância ou velocidade).
- Reconhecimento de marcos naturais;
- Reconhecimento de modelo.



Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Absoluto:

- Avisos ativos;
- Reconhecimento de marcos artificiais;
- Reconhecimento de marcos naturais:
 - Os marcos são pontos identificativos próprios do ambiente;
 - Tem a vantagem de não necessitar de preparação inicial;
 - Tem a desvantagem de ser necessário conhecer (bem) o ambiente *a priori*.
- Reconhecimento de modelo.

Métodos de Posicionamento

- Métodos de Posicionamento Absoluto:

- Avisos ativos;
- Reconhecimento de marcos artificiais;
- Reconhecimento de marcos naturais;
- Reconhecimento de modelo:
 - Compara-se informação recolhida através dos sensores com um mapa do ambiente;
 - Quando características do mapa e do ambiente coincidem (são reconhecidas), o posicionamento é possível;
 - Os mapas podem ser geométricos ou topológicos.

- 
- Um **BOM** sensor deve obedecer às seguintes condições:
 - Deve ser **sensível** à propriedade a medir;
 - Deve ser **insensível** a qualquer outra propriedade;
 - **Não** deve **influenciar** a propriedade medida.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Perceptual;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo:
 - noção do espaço navegável e da sua estrutura (topologia e/ou obstáculos);
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Percetual;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto:
 - categorias ou instâncias de “coisas” que povoam o espaço;
 - Conhecimento Perceptual;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Percetual:
 - informação sobre como o ambiente é sentido em diversas circunstâncias;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Perceptual;
 - Conhecimento Comportamental:
 - noção sobre o modo de (re)agir em diferentes situações;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Perceptual;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio:
 - capacidades intrínsecas do dispositivo (velocidade, bateria, sensores, ...);
 - Conhecimento Intencional.

Conhecimento: Caracterização

- A ação de um sistema autónomo dependerá dos vários tipos de conhecimento de que disponha ou que seja capaz de adquirir:
 - Conhecimento Espacial do Mundo;
 - Conhecimento Objeto;
 - Conhecimento Perceptual;
 - Conhecimento Comportamental;
 - Conhecimento Próprio;
 - Conhecimento Intencional:
 - informação acerca do objetivo a alcançar (planeamento).

Conhecimento: Duração

- 
- A **Duração** é outro modo de caracterizar o conhecimento;
 - Identificado pela resposta dada à questão:
“Durante quanto tempo o conhecimento terá utilidade?”
 - Conhecimento Transitório;
 - Conhecimento Persistente.

Conhecimento: Duração

- Conhecimento Transitório:

- o robô adquire conhecimento transitório dinamicamente, no decurso do desenvolvimento da tarefa;
- desenvolve modelos do meio envolvente, construídos através da informação recolhida por sensores;
- o conhecimento transitório é “esquecido” ou “retratado” à medida que o robô vai ultrapassando os locais de onde esse conhecimento foi recolhido;
- *Short-Term Memory (STM)*.

- Conhecimento Persistente.

Conhecimento: Duração

- 
- Conhecimento Transitório (*Short-Term Memory - STM*):
 - Reduz a necessidade de obtenção/atualização frequente de dados dos sensores;
 - Proporciona informação “recente” para guiar o robô em tempo-real;
 - Particularmente útil:
 - em situações de desvio de obstáculos;
 - para evitar a retenção, em memória, de conhecimento que já não tem utilidade;
 - quando a representação permite “alimentar” diretamente os atuadores.
 - Conhecimento Persistente.

Conhecimento: Duração

- 
- Conhecimento Transitório (*Short-Term Memory* - STM);
 - Conhecimento Persistente:
 - caracterizado por conhecimento *a priori* sobre o meio envolvente;
 - considerado (relativamente) estático durante o desenvolvimento da tarefa;
 - descreve os objetos, os obstáculos e o próprio meio envolvente (espaço livre de navegação);
 - adota a representação do conhecimento próprio (modelo do próprio robô);
 - *Long-Term Memory* (LTM).

Conhecimento: Duração

- 
- Conhecimento Transitório (*Short-Term Memory* - STM);
 - Conhecimento Persistente (*Long-Term Memory* - LTM):
 - Permite a construção de mapas do ambiente;
 - A origem dos dados utilizados permite classificar em dois tipos:
 - tendo origem nos sensores do próprio robô, à medida que navega no ambiente;
 - tendo origem em fonte externa, por conveniência de programação ou por necessidade de alcançar maiores amplitudes (p. ex., criação de modelos).

Conhecimento: Duração

- Conhecimento Transitório

Conhecimento Persistente

Puramente
Reativo

Perceção do
Ambiente

Mapeamento
a Priori

Instantâneo

*Short-Term
Memory*

*Long-Term
Memory*

Horizonte Temporal

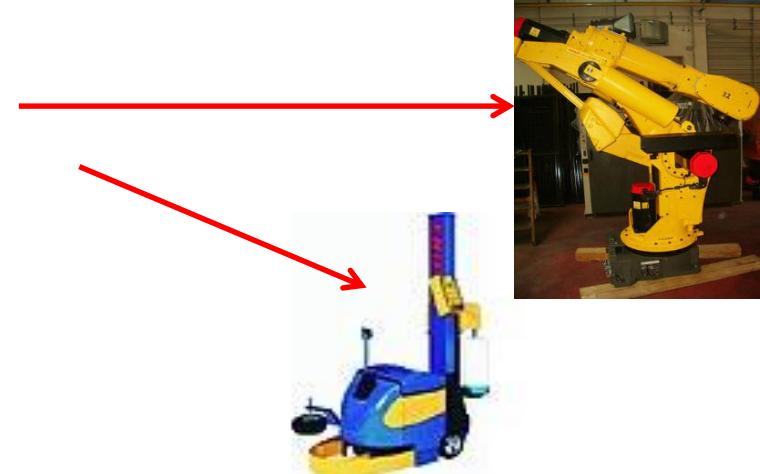
Classificação de Robôs

- 
- Os Robôs (autómatos, sistemas autónomos) podem classificar-se a partir de diversos critérios:
 - Funcionalidade;
 - Mobilidade;
 - Autonomia;
 - **Perceção;**
 - Controlo;
 - Comunicação;
 - Robustez;
 - Inteligência.

Classificação de Robôs Funcionalidade

- A **Funcionalidade** caracteriza o tipo de aplicações em que se emprega o dispositivo:

- Autómatos (eletromecânicos, movimentos pré-definidos, fixo);
- Manipuladores:
 - Braços de base fixa (robôs industriais);
 - Braços de base móvel (gruas robotizadas);
- Robôs móveis:
 - Terrestres:
 - indoor;
 - outdoor ;
 - Aquáticos:
 - superfície;
 - submarinos;
 - Aéreos.



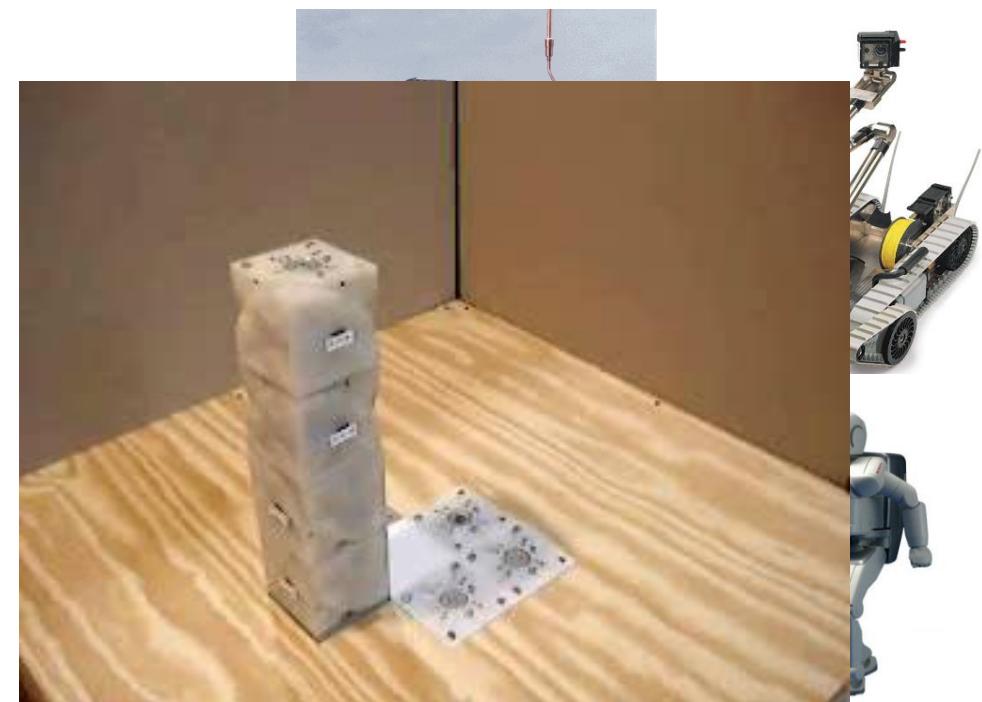
Classificação de Robôs Mobilidade

- A **Mobilidade** é caracterizada pelos mecanismos utilizados para realizar o deslocamento do dispositivo:
 - Deslocamento com rodas;
 - Deslocamento com lagartas;
 - Deslocamento por propulsão (áereos, aquáticos);
 - Deslocamento com pernas (bípedes, animats);
 - Outros!



Classificação de Robôs Mobilidade

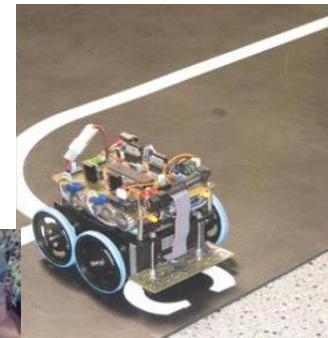
- A **Mobilidade** é caracterizada pelos mecanismos utilizados para realizar o deslocamento do dispositivo:
 - Deslocamento com rodas;
 - Deslocamento com lagartas;
 - Deslocamento por propulsão (aéreos, aquáticos);
 - Deslocamento com pernas (bípedes, animats);
 - Outros!





- A **Autonomia** caracteriza a liberdade que o dispositivo incorpora de decidir com independência, sem operador:
 - Teleoperação:
 - toda a ação é controlada remotamente;
 - Guiados:
 - dependem de informações externas;
 - Semiautónomos:
 - operados remotamente, com alguma autonomia;
 - Autónomos:
 - operam de modo independente, sem intervenção humana.

Classificação de Robôs Autonomia



Classificação de Robôs Outras!

- **Perceção:**

- capacidade para perceber o ambiente (**sensores de contacto, visão, ...;**)

- Controlo:

- transformação de percepções em ações a desempenhar;

- Comunicação:

- capacidade de comunicação do dispositivo com operador humano ou com outros sistemas autónomos;

- Robustez/Adaptação:

- capacidade para lidar com situações diversificadas;
 - capacidade para responder em cenários “novos”;

- Inteligência:

- capacidade de execução de tarefas complexas;
 - capacidade de adaptação de ações à execução de tarefas “novas”.

- 
- Embora também presente noutros tipos de robôs, é **nos robôs móveis** que a capacidade de **perceção ganha maior importância**;
 - Principalmente em entidades móveis, porque mais sensíveis a maior quantidade de variáveis, a **execução de uma ação não garante o seu correto desempenho**;
 - A utilização de sensores é **essencial** para:
 - **perceber** o meio envolvente;
 - **controlar** o correto desempenho das ações.

Perceção Classes de Sensores

- Sensores de Reconhecimento de Rotas:
 - Eletromagnéticos (reconhecimento de campos magnéticos);
 - Laser (identificação de zonas refletoras de luz);
 - Visão computacional (verificação de traçados);
- Sensores de Reconhecimento de Objetos;
- Sensores de Navegação.

Perceção Classes de Sensores

- Sensores de Reconhecimento de Rotas;
- Sensores de Reconhecimento de Objetos:
 - Ultrassónicos;
 - Radares;
 - Visão estereoscópica;
- Sensores de Navegação.



Perceção Classes de Sensores

- Sensores de Reconhecimento de Rotas;
- Sensores de Reconhecimento de Objetos;
- Sensores de Navegação:
 - Bússolas (desvios de direção);
 - GPS (localização georreferenciada);
 - Giroscópios (estabilização);
 - Acelerómetros e velocímetros.

Perceção Tipos de Sensores

- *Encoder*;
- Infravermelhos;
- Laser;
- Ultrassom;
- Toque;
- Bússola;
- Posicionamento (GPS);
- Visão;
- Outros.

Perceção Tipos de Sensores

- *Encoder:*

- mede a rotação das rodas;
(odometria – medição de deslocamento)
- permite calcular uma **estimativa** do deslocamento percorrido;
- a acumulação de erros degrada a qualidade da informação;
- a sensorização deve ser complementada por outros sensores;
- com esforço computacional reduzido, permite alta taxa de amostragem;
- sujeito a dois tipos de erros:
 - erros sistemáticos:
 - imprecisões no modelo (raio nominal diferente do real);
 - na mecânica (rodas desalinhadas);
 - na amostragem (resolução finita);
 - erros não-sistemáticos:
 - irregularidades no piso (lixo, pó);
 - deslizamento das rodas (curvas, atrito).

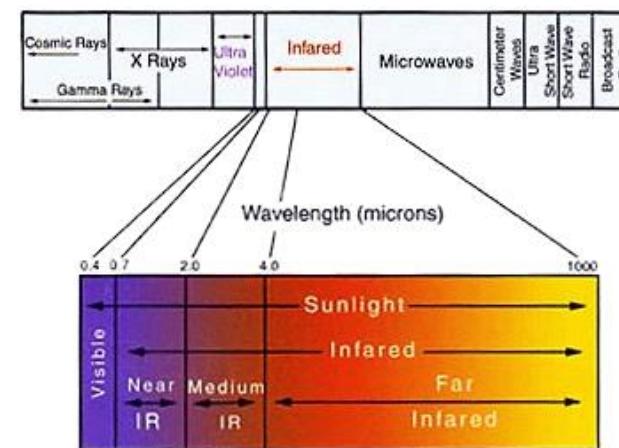




Perceção Tipos de Sensores

- Infravermelhos:

- mede a distância a objetos, através do retorno da reflexão da luz;
- dispositivos passivos (não emitem energia, apenas captam a energia emitida pelos corpos);
- campo de “visão” relativamente curto;
- todos os objetos emitem *black-body radiation* ;
- o corpo humano emite radiação num comprimento de onda cerca de 10 µm (micrometros).



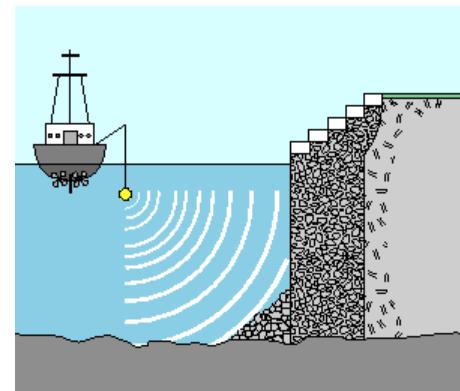
Perceção Tipos de Sensores

- Laser:
 - mede a distância a objetos, através do retorno da reflexão da luz;
 - alta precisão (mas com erros a longas distâncias);
 - dispendiosos;
 - dispositivo ativo (emite radiação eletromagnética);
 - a emissão de diversos feixes permite a identificação de formas;
 - as características da reflexão permitem caracterizar a superfície refletora.



Perceção Tipos de Sensores

- Ultrassom (SONAR – **SOund NaviGation And Ranging**):
 - mede a distância a objetos, através da reflexão do som;
 - dispositivo ativo (emite ondas sonoras de alta-frequência);
 - a distância é calculada com base no tempo que demora a reflexão do som;
 - capta informação do meio envolvente a 3 dimensões;
 - grande sensibilidade a perturbações e a ruído ambiente;
 - não apresenta capacidade para identificar tipos de objetos;



Perceção Tipos de Sensores

- Toque:

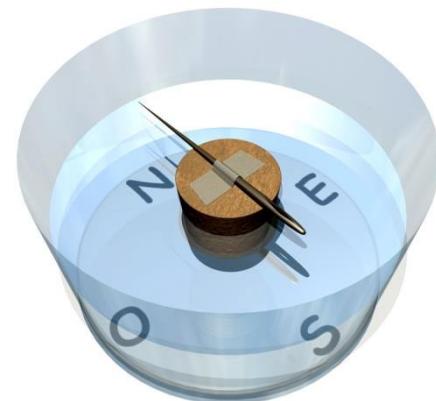
- identifica a ocorrência de uma colisão, através de um ponto de pressão;
- capta pouca informação;
- dispositivo de medida da resistência ao toque:
 - é ativado pelo contacto entre dois pontos (elétrodos);
- dispositivo de medida da capacidade do toque;
 - é ativado pelo toque sobre um *capacitor* (condensador);
 - a capacidade é uma característica do corpo humano.



Perceção Tipos de Sensores

- Bússola:

- identifica a orientação do dispositivo, relativamente ao campo magnético da Terra (medição de posição relativa);
- suscetível a influências de outros campos magnéticos (ímanes, fontes magnéticas, ferros);



Perceção Tipos de Sensores

- Posicionamento (GPS – *Global Positioning System*):
 - medida de posicionamento geográfico absoluto;
 - identifica a posição do dispositivo no globo terrestre, de forma absoluta, recorrendo à rede de satélites GPS;
 - fraca adequação para utilização *indoor*;
 - nível de precisão variável;
 - Galileo é o sistema de navegação por satélite da UE;
(GNSS – *Global Navigation Satellite System*)
 - Glonass é o sistema de posicionamento desenvolvido pela Rússia.





Perceção Tipos de Sensores

- Visão:

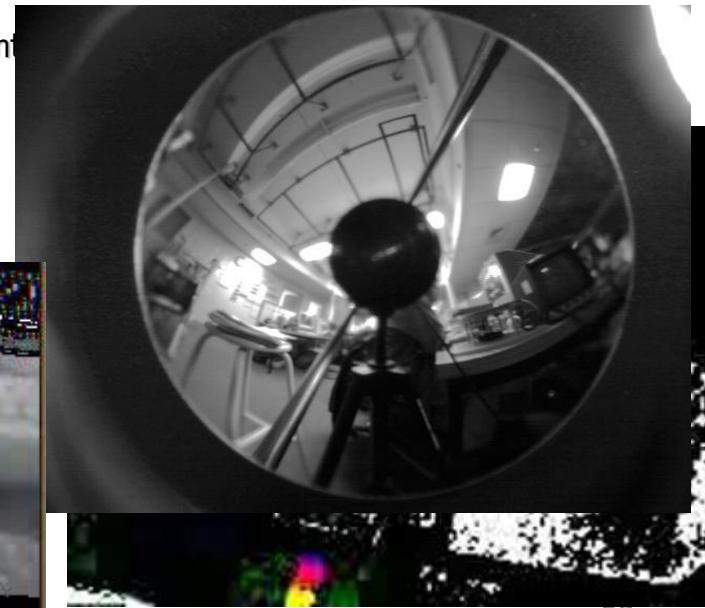
- o mais abrangente, quer em termos de funcionalidades, quer em termos de dispositivos, quer, mesmo, em termos de aplicações;
- visão monocular, estéreo ou omnidirecional;
- permitem a aplicação de diversas técnicas de cálculo de posicionamento, deteção de obstáculos, estimativa de deslocamento, etc.;
- geram grande quantidade de informação.



Perceção Tipos de Sensores

- Visão:

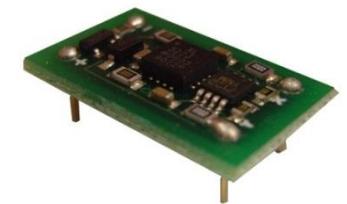
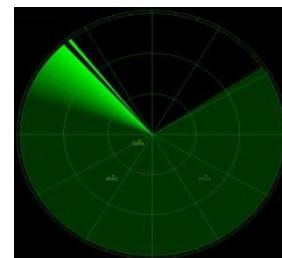
- o mais abrangente, quer em termos de funcionalidades, quer em termos de dispositivos, quer, mesmo, em termos de aplicações;
- visão monocular, estéreo ou omnidirecional;
- permitem a aplicação de diversas técnicas de cálculo de posicionamento deslocamento, etc.;
- geram grande quantidade de informação.





Perceção Tipos de Sensores

- Outros:
 - Acelerómetros;
 - Sensores de inclinação;
 - Giroscópios;
 - Radares;
 - ...



Perceção Fusão Sensorial

- Fusão Sensorial:
 - integração da informação proveniente de diversos sensores.
- Porquê?
-



Perceção Fusão Sensorial

- Fusão Sensorial:
 - integração da informação proveniente de diversos sensores.
- Porque um homem com um relógio sabe que horas são;
-



Perceção Fusão Sensorial

- Fusão Sensorial:
 - integração da informação proveniente de diversos sensores.
- Porque um homem com um relógio sabe que horas são;
- Mas um homem com dois relógios, não tem bem a certeza!



Perceção Fusão Sensorial

- Aumenta o conhecimento:

- possibilita a extração de conhecimento a partir de dois ou mais sensores (ouvir um carro aumenta a probabilidade de se conseguir ver um carro);
 - permite que informação de uns sensores seja utilizada para minimizar erros nos dados recolhidos de outros.



Perceção Fusão Sensorial

- 
- Aumenta o conhecimento;
 - Aumenta a incerteza:
 - conflitos e inconsistências entre os dados recolhidos impedem uma correta noção do ambiente;
 - sensores idênticos percepcionam o ambiente de forma distinta por erros de calibração;
 - os dados recolhidos podem chegar em momentos desfasados.

Perceção Fusão Sensorial

- Algoritmos de Fusão Sensorial:
 - Kalman Filter;
 - Bayesian Networks;
 - Dempster-Shafer.



- Algoritmos de Fusão Sensorial:

- Kalman Filter:
 - processo recursivo para calcular uma estimativa (ótima) para o estado de um sistema dinâmico, tendo em consideração um conjunto de dados incompletos e com ruído;
 - p. ex., estimar a posição e velocidade de um dispositivo, recorrendo uma série de observações visuais sobre o seu posicionamento;
- Bayesian Networks;
- Dempster-Shafer.

- Algoritmos de Fusão Sensorial:

- Kalman Filter;
- Bayesian Networks:
 - uma rede de Bayes é um modelo gráfico de probabilidades, que representa um conjunto de variáveis e as suas independências probabilísticas;
- Dempster-Shafer.

- Algoritmos de Fusão Sensorial:

- Kalman Filter;
- Bayesian Networks;
- Dempster-Shafer:
 - é uma teoria matemática, baseada na avaliação de funções de crença e de plausibilidade sobre evidências, usada para combinar porções distintas de informação para calcular a probabilidade de ocorrência de um evento;
 - probabilidade de uma evidência (atirar uma moeda e sair cara/coroa), e a crença nessa probabilidade.

Bibliografia

- Ronald Arkin, “Behavior Based Robotics”, The MIT Press, 1998.
- Farlei Heinen, “Sistema de Controle Híbrido para Robôs Móveis Autónomos”, UNISINOS, 2002.
- J. Borenstein, H.R. Everett, L. Feng, “Where am I?” – Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning”, University of Michigan, 1996.
- Leonard, Durrant-Whyte, “Robot localization using vision and odometry”, University of Oxford, 1991.

Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Departamento de Informática

Sistemas Autónomos

Perfil Sistemas Inteligentes @ MEI/MiEI 1º/4º – 2º Semestre

Cesar Analide, Bruno Fernandes