

Sistemas Robóticos

Sensores

Prof. Carlos Carreto

Curso de Engenharia Informática
Ano lectivo 2004/2005
Escola Superior de Tecnologia e Gestão da Guarda

Sumário

- ◇ Tarefas do robô
- ◇ Transdutores, sensores e actuadores
- ◇ Percepção
- ◇ Categorias de sensores
- ◇ Exemplos de sensores típicos
- ◇ Fusão sensorial

Transdutores, sensores e actuadores

Tarefas de um robô:

1. Obter representações do seu estado global
 - O estado interno dos seus sistemas
 - Conhecimento sobre o ambiente envolvente
2. Elaborar decisões sobre a actuação a fazer em função do seu estado global e do programa de controlo.
3. Actuar sobre o sistema
 - Activar actuadores em conformidade com determinadas leis de controlo ou de comportamento dos actuadores

Transdutores, sensores e actuadores

Transdutores

Transdutor é todo o dispositivo que transforma uma forma de energia noutra forma de energia, isto é, converte um sinal de entrada, num sinal de saída de outro tipo.

Os transdutores podem ser de dois tipos, sensores e actuadores.

Transdutores, sensores e actuadores

Sensores

Sensor é qualquer dispositivo que permite ao robô **aperceber-se do meio ambiente** que o rodeia e do seu **estado de funcionamento**.

Genericamente **convertem sinais captados no meio ambiente, em sinais eléctricos** que são enviados para o sistema de controlo do robô para serem processados.

Os robôs usam os sensores para **aquisição de dados** e **para auto-controlo**.

Os sensores podem ser classificados em duas categorias: **sensores passivos** e **sensores activos**. Os sensores activos também chamados de *transceivers*, são sensores que baseiam o seu funcionamento na **emissão e recepção de sinais** modulados de medida (Ex.: sonar, IV, laser).

Transdutores, sensores e actuadores

Actuadores

Actuador é qualquer **dispositivo eléctrico, mecânico, pneumático ou hidráulico**, com a **função de alterar e/ou manter a posição de um elemento do robô** que executa determinada acção (por exemplo os eixos das rodas).

Os actuadores **respondem a sinais** enviados pelo sistema de controlo do robô.

Os actuadores são usados pelo robô para a **geração de acção**, nomeadamente o movimento de elementos.

Transdutores, sensores e actuadores

Percepção

A percepção consiste na **extração de propriedades** a partir da aplicação de métodos matemáticos ou outros, sobre as informações vindas do(s) sensor(es) para **obter uma conclusão, avaliação de estado, ou caracterizar uma propriedade do ambiente ou do sistema**.

Categorias de sensores

Os sensores usados em robótica são **peças chave nos actuais tópicos de investigação**: construção de mapas, localização, planeamento de trajectórias, detecção de obstáculos, etc.

Esses sensores podem ser divididos nas seguintes **categorias**:

- Sensores de posicionamento e distância
- Sensores de detecção de movimento
- Sensores de visão
- Sensores de inspiração biológica
- Sensores de ambiente

Categorias de sensores

Sensores de posicionamento e medição de distâncias

São usados para determinar a posição de robôs móveis no meio ambiente em que se encontram; sensores de distância (sonar, IV, laser), bússola digital, GPS, etc.

Sensores de detecção de movimento

Detectam tipos de movimento como translação e rotação (encoders), velocidade rotacional e longitudinal (velocímetros), aceleração (acelerómetros), etc.

Sensores de visão

Usados para a vigilância do ambiente onde se encontra o robô. Detectam tipos de movimento como translação e rotação (encoders), velocidade rotacional e longitudinal (velocímetros), aceleração (acelerómetros), etc.

Sensores de inspiração biológica

Simulam os sentidos dos órgãos sensoriais biológicos: olfacto (nariz electrónico), tacto (sensores tácteis, pele artificial), audição (analisador de som) e visão (visão robótica).

Sensores de ambiente

São usados para explorar o ambiente onde se encontra o robô e detectar fenómenos físicos tais como temperatura, pressão do ar, radiação, humidade, campos magnéticos, etc.

Sensores de posicionamento

Bússola digital

Permite determinar a orientação absoluta em relação ao campo magnético terrestre.

Características

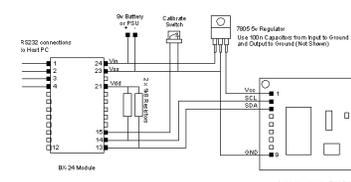
Voltage - 5v only required
Current - 20mA Typ.
Resolution - 0.1 Degree
Accuracy - 3- 4 degrees approx. after calibration
Output 1 - Timing Pulse 1mS to 37mS in 0.1mS increments
Output 2 - I2C Interface, 0-255 and 0-3599 SCL speed up to 1MHzSmall
Size - 32mm x 35mm

CMPS03 Magnetic Compass

http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Compass_CMPS032004.htm



Ligação ao BasicX-24



Exemplo de programação para BasicX-24

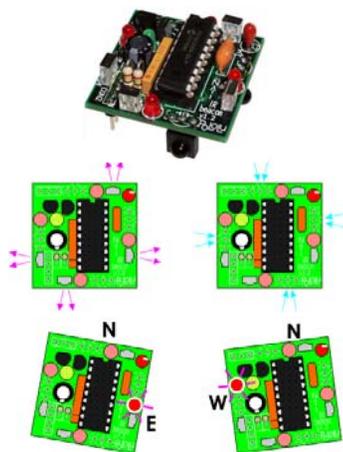
Ver exemplo em: <http://www.robot-electronics.co.uk/html/cmssbx24.shtml> com interface I2C.

Sensores de posicionamento

IR Beacon

<http://www.pololu.com/products/pololu/0001/>

Estes sensores quando usados aos pares permitem determinar a orientação de um deles em relação ao outro. Cada dispositivo tem 4 emissores e 4 receptores de IV estrategicamente posicionados de modo a definirem 4 direcções (N, S, E, W). Os dispositivos estão constantemente a alternar o seu funcionamento entre emissão e recepção do sinal de IV. Assim, quando um dispositivo muda a sua orientação em relação ao outro, o sensor que estava na direcção do outro dispositivo, deixa de receber o sinal de IV e o sensor que fica na direcção do outro dispositivo passa a receber o sinal. A orientação de um dispositivo em relação ao outro é assim determinada pelo sensor que estiver a receber o sinal em dado momento.



Sensores de medição de distâncias

Princípios mais comuns de medição

Tempo de voo: conhecida a velocidade de propagação de um feixe emitido pelo sensor e medido o tempo que o eco deste leva a retornar ao sensor depois de embater num objecto, a distância do sensor ao objecto pode ser determinada pela expressão:

$$d = \frac{1}{2} v \times \Delta t$$

Triangulação: Conhecido o ângulo que um feixe emitido pelo sensor faz com o eco deste que retorna ao sensor depois de embater num objecto, a distância do sensor ao objecto pode ser determinada pela expressão:

$$d = \tan \theta \times A$$

Sendo A a distância entre o emissor e o receptor do feixe.

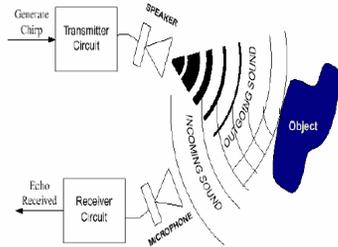
Exemplos de tecnologias para medir distâncias:

- Infravermelhos
- Sonar (ultra-som)
- Laser
- Radar

Sensores de medição de distâncias

Medição de distâncias com sonar

Medem a distância usando o princípio do tempo de vôo. Um circuito transmissor emite sinais acústicos com uma **frequência típica de 50kHz (ultra-sons)**. Estes sinais ao chocarem com objectos **provocam ecos** que são captados por um circuito receptor. A distância a que se encontra o objecto **é proporcional ao tempo** que decorre entre a transmissão do sinal e a recepção do eco correspondente. Este tipo de sensor acústico **é mais preciso** do que o sensor de IV. Existem no mercado vários exemplares de diferentes marcas.



Sensores de medição de distâncias

Sonar

Vantagens

- Baixo custo
- Leves e pequenos
- Baixo consumo energético

Desvantagens

- Atenuação do sinal
- Reflexão especular do sinal
- *Cross talk*
- Limites mínimos e máximos na medição
- Efeito das condições atmosféricas
- Baixa velocidade do som

Sensores de medição de distâncias

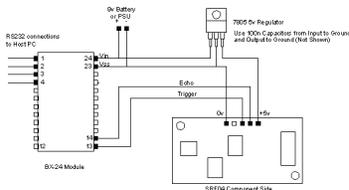
Sonar

Sonar SRF04

http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Ultrasonic_Ranger_SRF041999.htm



Ligação ao BasicX-24



Características

Voltage - 5v only required
Current - 30mA Typ, 50mA
Max. Frequency - 40KHz
Max Range - 3 m
Min Range - 3 cm
Sensitivity - Detect 3cm diameter broom handle at > 2 m
Input Trigger - 10uS Min. TTL level pulse
Echo Pulse - Positive TTL level signal, width proportional to range.
Small Size - 43mm x 20mm x 17mm height

Exemplo de programação para BasicX-24

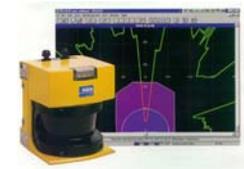
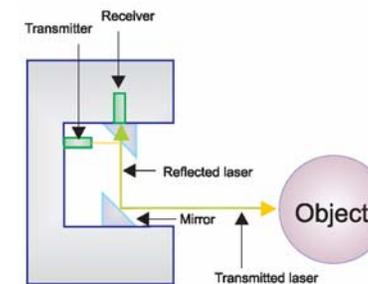
```
Sub Main()  
Const EchoPin As Byte = 14 ' Define porta a usar para eco  
Const TrigPin As Byte = 13 ' Define porta a usar para disparo  
Dim Range As Integer  
Call PutPin(EchoPin, bxInputTristate)  
Call PutPin(TrigPin, bxOutputLow)  
do  
Call PulseOut(TrigPin, 10, 1) ' Impulso de disparo de 10uS  
Range = PulseIn(EchoPin, 1) \ 54 ' 54 para Cm 137 para polgadas  
Debug.Print "Range is ", CStr(Range)  
Call Delay(0.1) ' Esperar 100mS antes do próximo ping (mínimo 10mS)  
loop  
End Sub
```

Sensores de medição de distâncias

Medição de distância com laser

Segue o mesmo princípio de funcionamento do sonar, mas usa um **feixe de luz laser** em vez de som ultra-sónico.

Tipicamente o feixe gira num plano horizontal permitindo obter uma fatia 2D do ambiente.



Sensores de medição de distâncias

Laser

Vantagens

- Velocidade superior (3x108 m/s)
- Grande precisão (10 mm)
- Resolução angular superior

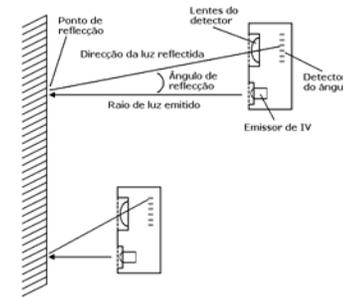
Desvantagens

- Limitado ao plano 2D
- Consumo de energia elevado
- Custo elevado
- Materiais indetectáveis

Sensores de medição de distâncias

Medição de distâncias com infravermelhos

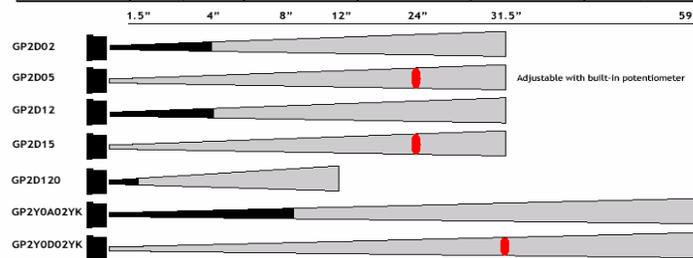
Medem a distância usando o princípio da **triangulação**. Um circuito transmissor emite um feixe de infravermelhos. Este feixe é reflectido por um objecto e um circuito receptor capta-o determinando o ângulo de reflexão. A distância a que se encontra o objecto **é proporcional a este ângulo de reflexão**. Existem no mercado vários exemplares de diferentes marcas.



Sensores de medição de distâncias

Sensores de IV Sharp GP2*

Ranger	Output	Minimum Distance	Maximum Distance	On Current	Off Current
GP2D02	Analog	10cm	80cm	-22mA	-3mA
GP2D05	Digital	-	fixed at 24cm	-10mA	-3mA
GP2D12	Analog	10cm	80cm	-33mA	always on
GP2D15	Digital	-	fixed at 24cm±3cm	-33mA	always on
GP2D120	Analog	4cm	30cm	-33mA	always on
GP2Y0A02YK	Analog	20cm	150cm	-33mA	always on
GP2Y0D02YK	Digital	-	fixed at 80cm	-33mA	always on



The end of the black notes the minimum detectable range. The end of the grey notes the maximum range. The red oval notes a fixed range. Objects closer than the noted minimum range will give incorrect readings. For more information please see the product page for each sensor, and checkout Demystifying the Sharp IR Detectors in our articles section.

© Acroname, Inc., 2002 www.acroname.com

Sensores de medição de distâncias

Infravermelhos

Vantagens

- Baixo custo
- Mais rápidos do que o sonar

Desvantagens

- Menos precisos que o sonar
- Materiais indetectáveis
- Gama de distâncias limitadas

Sensores de medição de distâncias

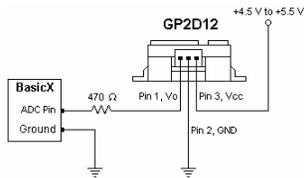
Infravermelhos

Sharp GP2D12

<http://www.acroname.com/robotics/parts/SharpGP2D12-15.pdf>



Ligação ao BasicX-24



Características

Voltage - 4.5v - 5.5v
Current - 50mA Typ. 33mA
Max Range - 80 cm
Min Range - 10 cm

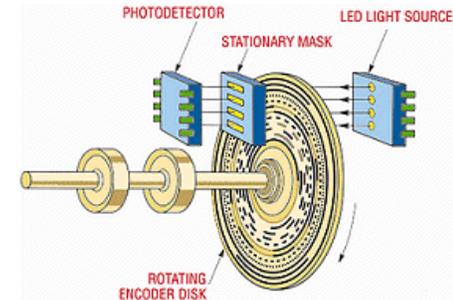
Exemplo de programação para BasicX-24

```
Const IRSensorPin As Byte = 13
'Connect the Sharp GP2D12 to Pin 8 on the Robodyssey Motherboard
Sub Main()
  Do
    DebugPrint "Value: ";CStr(GetADC(IRSensorPin))
    'The voltage measurements will be displayed on your computer screen
    'The larger the value, the closer the object
    Sleep(1.0)
  Loop
End Sub
```

Sensores de detecção de movimento

Codificador absoluto

Gera um **padrão linear de bits** representativo de uma **posição angular** de um eixo.



Sensores de detecção de movimento

Codificador incremental (encoder)

Gera um impulso por cada incremento de um certo valor conhecido no deslocamento angular de um eixo. Podem ser usados para **determinar a posição e/ou a velocidade de eixos**. Usados também para indicar o número total de voltas de eixos (odómetros). Podem ter resoluções muito altas, não necessitam de contacto mecânico, permitem repetir resultados e são fáceis de construir de forma caseira. São relativamente caros.



www.seattlerobotics.org/encoder/200109/dpa.html

Sensores de detecção de movimento

Sensores de velocidade

A velocidade medida é normalmente a **velocidade angular**, isto porque a maioria dos sistemas baseiam-se em elementos de rotação.

Taquímetro: dispositivo que gera uma **tenção eléctrica proporcional à velocidade de rotação**. Acopla-se ao veio em rotação (apropriado para grandes velocidades de rotação, i.e., dezenas de rotações por segundo).

Giroscópios - dispositivo que indica a **velocidade angular**; fica solidário com o sistema em rotação (apropriado para baixas velocidades angulares, i.e., menores que 100 °/s)

Há ainda os sistemas que, usando informação temporal de relógio, usam informação sensorial de posição e derivam a velocidade - caso dos codificadores incrementais.

Sensores de inspiração biológica

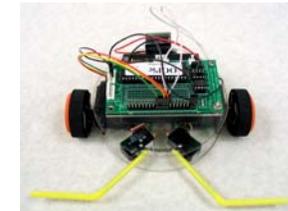
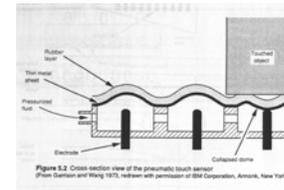
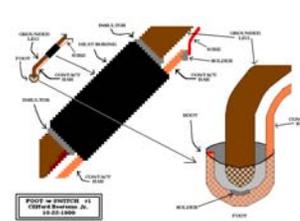
Sensores de contacto (*bumpers e whiskers*)

Os *bumpers* consistem normalmente numa série de inúmeros interruptores que se abrem ou fecham por contacto e estão recobertos de um material amortecedor. É muito fácil construir este tipo de sensores de uma forma caseira, onde o limite é a nossa imaginação. São **baratos, simples de usar e robustos**.

Os *whiskers* (bigodes de gato) são muitas vezes usados para navegação efectiva e são filamentos semi-rígidos que activam um contacto eléctrico quando tocam em algo.

Sensores de inspiração biológica

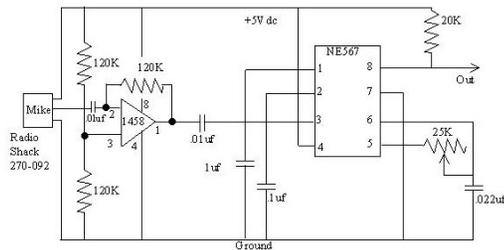
Sensores de contacto (*bumpers e whiskers*)



Sensores de inspiração biológica

Sensores de som

Descodificador de tom



http://members.cox.net/rbirac3/Snuffy/tone_detect.htm

Sensores de inspiração biológica

Sensores de cor

Sensor de cor TCS230



http://www.parallax.com/detail.asp?product_id=30054

Sensores de inspiração biológica

Sensor de visão robótica

CMUCam
<http://www-2.cs.cmu.edu/~cmucam/>

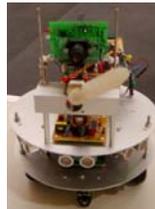


Características

A 17 frames por segundo, a CMUCam é capaz de:

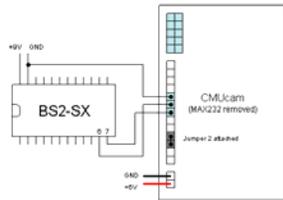
- Identificar a posição e tamanho de um objecto
- Medir o histograma RGB ou YUV de uma região da imagem;
- Identificar e seguir automaticamente o primeiro objecto visível
- Seguir automaticamente um objecto através de um servomotor ligado directamente
- Enviar a imagem capturada através da porta série
- Enviar um bitmap com a forma do objecto detectado, através da porta série.

Exemplo para localizar a chama da vela com a CMUCam



<http://www.acroname.com/robotics/info/examples/cmucam-1/cmucam-1.html>

Liaação ao Basic Stamp



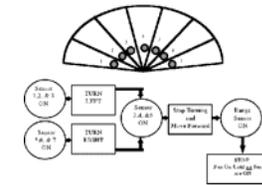
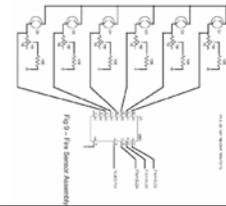
Sensores de ambiente

Sensor de radiação infravermelha

Na sua forma mais simples detectam a proximidade de um objecto através da radiação reflectiva. Podem usar triangulação para determinar a distância a que se encontra o objecto. São baratos e simples de usar. Alguns modelos usam modelação de frequência para se tornarem imunes a fontes de radiação infravermelha do meio ambiente.

Fototransistor como sensor da chama da vela

A chama da vela é uma fonte de radiação infravermelha



Sensores de ambiente

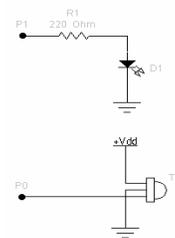
Sensor de radiação infravermelha

Modelação do sinal de infravermelhos

Normalmente a luz IV emitida pelo emissor é modelada a uma determinada frequência e o receptor apenas responde à luz recebida nessa mesma frequência.

O circuito ao lado pode ser construído com o emissor de IV D1 que emita luz com um comprimento de onda de 980nm, por exemplo. O receptor T1 deverá ter um filtro óptico que deixe passar luz apenas com esse mesmo comprimento de onda e terá também um filtro electrónico que permita apenas passar luz modelada a 38kHz. Por outras palavras, o receptor só responde a luz infravermelha que pisque 38.000 vezes por segundo.

Este método evita interferências provocadas por fontes externas de IV como o sol (0Hz) ou as luzes das casas (120 Hz).

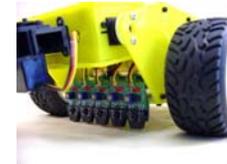
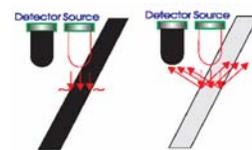
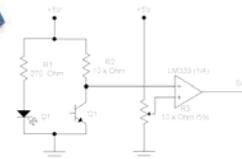


Sensores de ambiente

Sensor de radiação infravermelha

Sensor de linha branca

<http://www.lynmotion.com/Product.aspx?productID=58&categoryID=8>



Sensores de ambiente

Sensor de radiação ultravioleta

UV-Tron

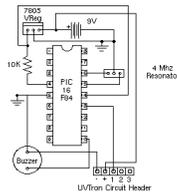
<http://www.acroname.com/robotics/parts/R67-UVTRON.html>



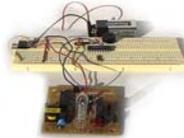
Características

Spectral Response - 185 to 260 nm
Recommended Operating Voltage - 3.25±25 Vdc
Peak Current - 30 mA
Operating Temperature - -20 to +60 °C
Sensitivity - Can detect a match lighting from 5 m in a sunny room

Ligação ao PIC16F84



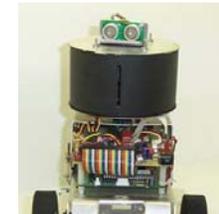
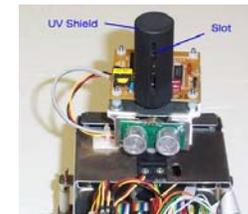
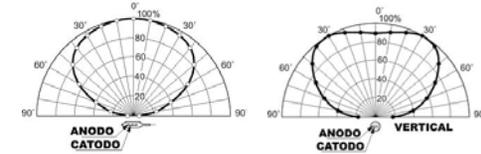
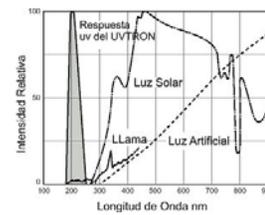
Exemplo para detecção da chama da vela com o UV-Tron e PIC16F84



<http://www.acroname.com/robotics/info/examples/uvtron-1/uvtron-1.html>

Sensores de ambiente

Sensor de radiação ultravioleta

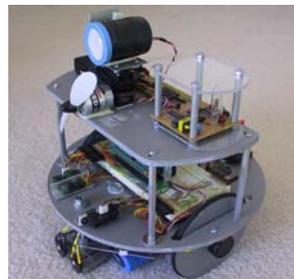


Sensores de ambiente

Sensor piroelectricico

Exemplo do uso do Eltek para localizar a chama da vela

São sensíveis ao calor em forma de radiação infravermelha. São úteis para detectar objectos emissores de calor. São baratos, simples de usar e robustos, mas normalmente é necessário haver movimento para detecção contínua.



<http://members.cox.net/rbirac3/Snuffy/eltek.htm>

Eltek 442-3 IR-EYE

<http://www.acroname.com/robotics/parts/R1-442-3.html>



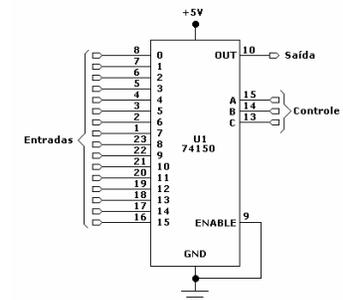
Pin	Description
1	V+
2	Output
3	2.5 V Ref
4	Ground (case)

Circuitos úteis

Multiplexer

Quando o número de entradas do controlador não chegar podemos usar um **multiplexer** como o 74150 para **conseguir mais entradas**.

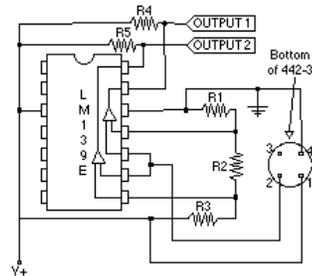
O 74150 permite obter **16 entradas** usando apenas **4 portas** do controlador.



Circuitos úteis

Window comparator

Circuito útil para interface com sensores de output analógico, quando não se dispõem de entradas analógicas no microcontrolador. O circuito activa saídas digitais que indicam ao microcontrolador quando a saída analógica do sensor é inferior ou superior a limites pré-definidos.



Component	Value	Description
R1	15K Ohm	Voltage Divider
R2	2.2K Ohm	Voltage Divider
R3	15K Ohm	Voltage Divider
R4, R5	10K Ohm	Pullups
LM139E		Low Voltage Quad Comparator

Fusão sensorial

Nos robôs com tarefas mais complexas, o uso individual e homogêneo de sensores pode não ser suficiente e ser:

- Impreciso
- Incompleto
- Erróneo

Na tentativa de resolver estes problemas, os robôs actuais estão muitas vezes equipados com vários sensores homo e heterogêneos. Estes sensores recolhem diferentes informações sensoriais sobre o ambiente envolvente e o estado interno do robô. A combinação dessas informações com o objectivo de resolver os problemas mencionados anteriormente designa-se por **fusão sensorial**.

Fusão sensorial

Vantagens da fusão sensorial

- Robustez
- Aumento da precisão
- Redução de ambiguidade
- Aumento da confiança

Desvantagens da fusão sensorial

- Complexidade e instabilidade
- Sinais heterogêneos
- Sincronização
- Ruído
- Poder computacional

Fusão sensorial

A fusão sensorial poderá ser feita a partir de

- Sensores diferentes
- Posições e tempos diferentes

A informação sensorial poderá ser:

- **Redundante** (obtida a partir da mesma posição)
- **Complementaria** (obtida de posições diferentes ou de sensores diferentes)
- **Incerta** (os dados têm uma resolução espacial e precisão limitadas)
- **Incompleta** (não chega a ser obtida)

Fusão sensorial

Tipos de fusão sensorial:

- **Complementária** (fusão de dados sensoriais incompletos para criar um modelo mais completo)
- **Competitiva** (fusão de dados incertos para diminuir a incerteza)
- **Cooperativa** (os dados de um sensor dependem dos dados de outro sensor)

Fusão sensorial

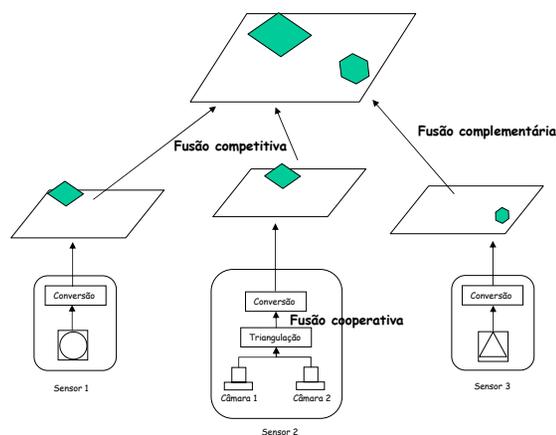
Procedimento

Os dados sensoriais são transformados para uma dada representação interna.

Essa representação interna é comum a todos os sensores.

A fusão sensorial é realizada nessa representação interna.

Fusão sensorial



Fusão sensorial

Métodos de fusão sensorial

São métodos matemáticos que tem em conta a incerteza da informação sensorial:

- Kalman filtering
- Métodos bayesianos
- Redes neurais

...