

Sensores e Atuadores (1)



4º Engenharia de Controle e Automação
FACIT / 2009

Prof. Maurílio J. Inácio



Sensores e Atuadores

- Introdução
 - Sensores
 - Fornecem parâmetros sobre o comportamento do manipulador, geralmente em termos de posição e velocidade dos links em função do tempo e do modo de interação entre o robô e o ambiente de operação.
 - Atuadores
 - Convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática, em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão, a potência mecânica gerada pelos atuadores é enviada aos links para que se movimentem.

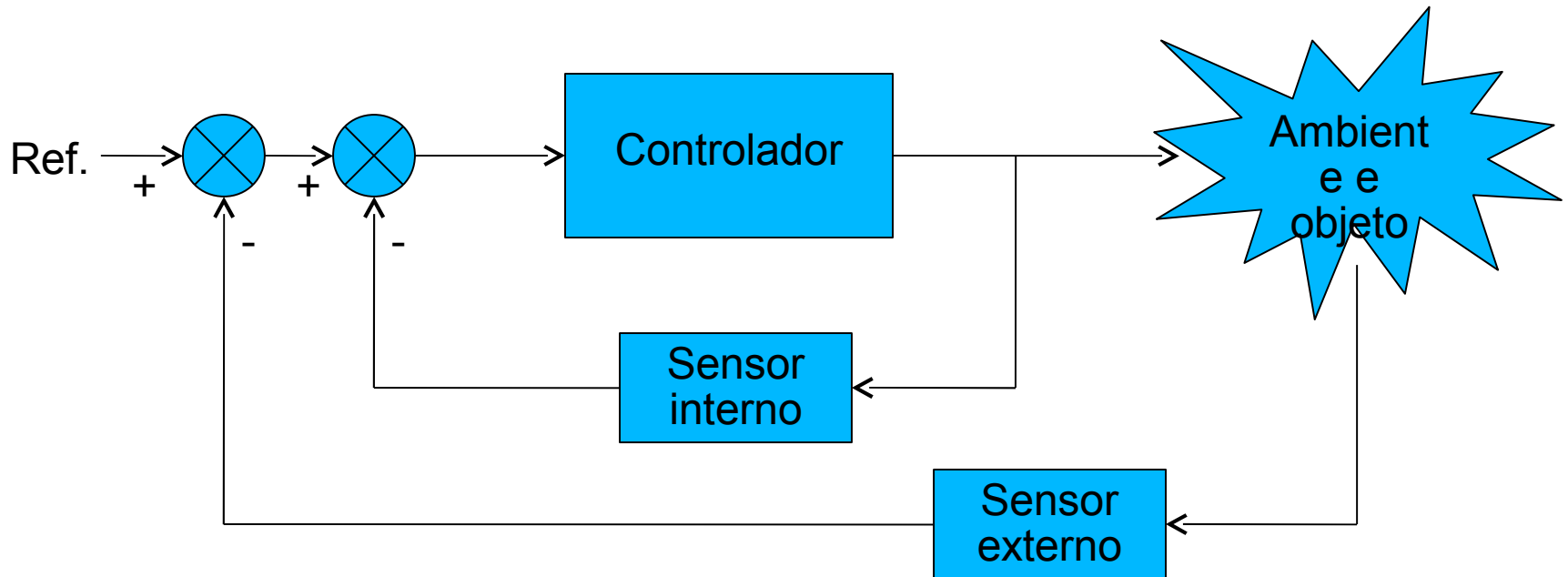


Sensores e Atuadores

- Sensores
 - Podem ser classificados em:
 - Sensores internos
 - Utilizados para determinar os parâmetros de movimento.
 - posição, velocidade, aceleração e força.
 - Sensores externos
 - Utilizados para o robô determinar parâmetros do ambiente que o cerca e do objeto a ser manipulado
 - distância, tato, visão.

Sensores e Atuadores

- Sensores
 - Malhas de controle interna e externa





Sensores e Atuadores

- Sensores internos
 - Características
 - Velocidade de resposta alta, da ordem de μs ou ms .
 - Normalmente, são acoplados aos eixos dos atuadores.
 - Permitem o controle em tempo real da posição e orientação do robô.
 - Principais tipos
 - Sensor de posição.
 - Sensor de velocidade.
 - Sensor de aceleração.
 - Sensor de força.



Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Diversos dispositivos pode ser utilizados para medição de posição.
 - A medição pode ser de posição linear ou de posição angular.
 - Tipos mais comuns
 - Potenciômetros
 - Réguas potenciométricas
 - *Encoders*



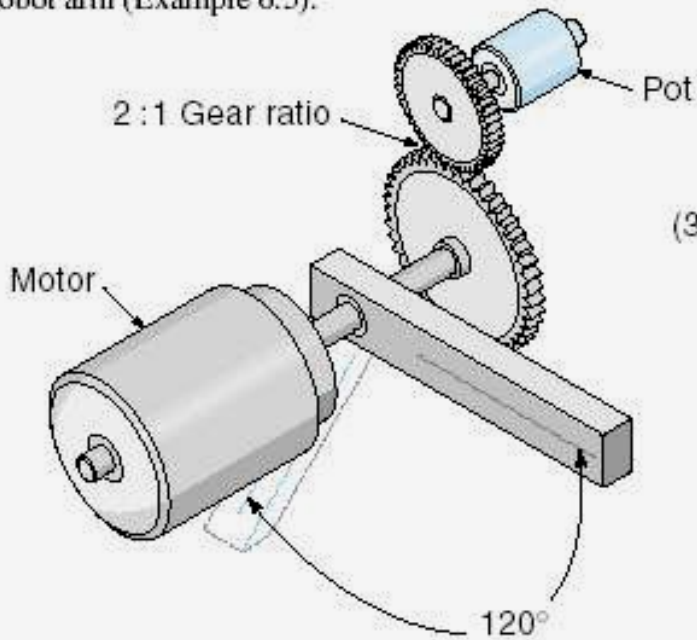
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Potenciômetro
 - São os dispositivos mais simples e mais baratos para medida de posição. Nos potenciômetros rotativos a resistência varia conforme a rotação do seu terminal central (cursor);
 - Possuem, em geral, baixa precisão e baixa resolução.
 - Para automação, existem potenciômetros especiais, com maior precisão, menor desgaste e dimensões adequadas.

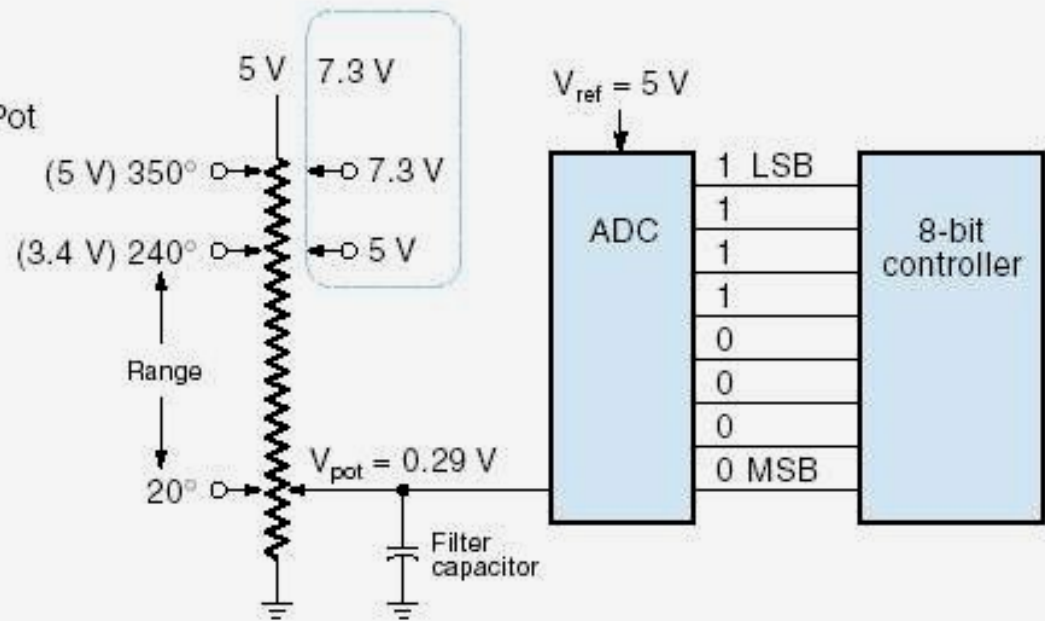
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Potenciômetro

Pot sensor position system for robot arm (Example 6.5).



(a) Hardware setup



(b) Sensor circuit

Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Potenciômetro



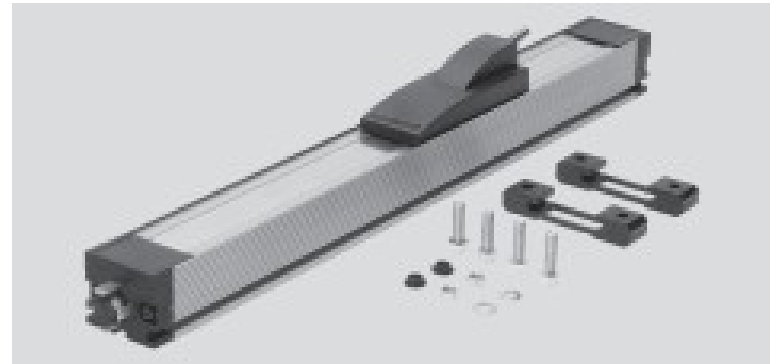


Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Régua potenciométrica
 - Trata-se de um potenciômetro linear que varia sua resistência de acordo com a posição do seu cursor.
 - Acoplado longitudinalmente num atuador tipo cilindro, a régua potenciométrica permite a leitura efetiva do posicionamento do atuador.
 - Existem modelos de régua potenciométrica digitais, que garantem maior precisão do que as analógicas.

Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - Réguas potenciométricas





Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoders*
 - É um dos dispositivos mais usados para medir posição angular.
 - Emprega recursos óticos para fornecer um valor proporcional ao ângulo de rotação do eixo do atuador.
 - Apesar de ser caro e frágil, possibilita alta resolução e alta repetibilidade nas medidas.
 - Tipos:
 - Absoluto
 - Incremental

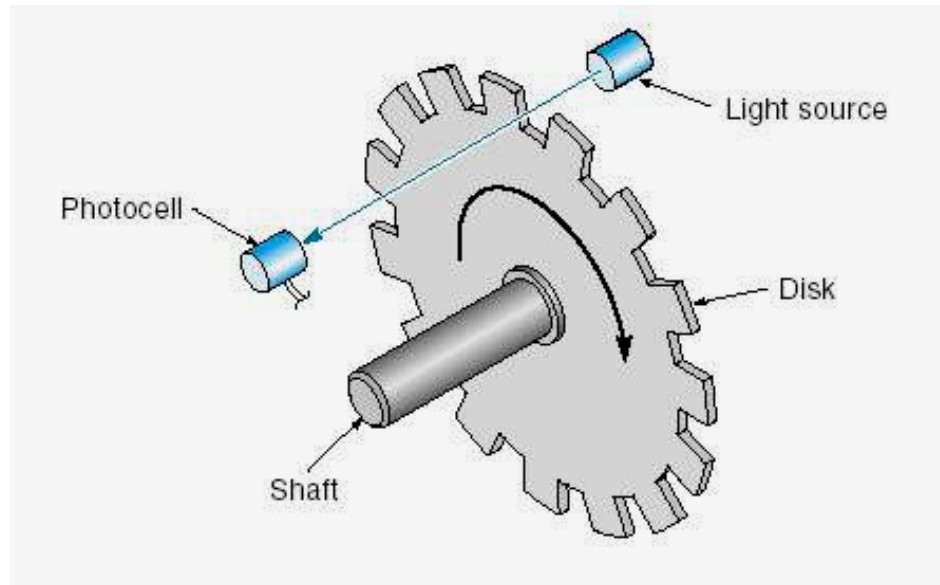


Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoders*
 - O princípio de funcionamento baseia-se na interrupção de um feixe luminoso que incide sobre um sensor ótico, por meio de um disco fixo ao eixo do atuador.
 - Produz uma saída digital, eliminando a necessidade de um conversor analógico digital.
 - Não possuem contatos mecânicos, o que elimina ruídos e aumenta a durabilidade do mecanismo.

Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoders*



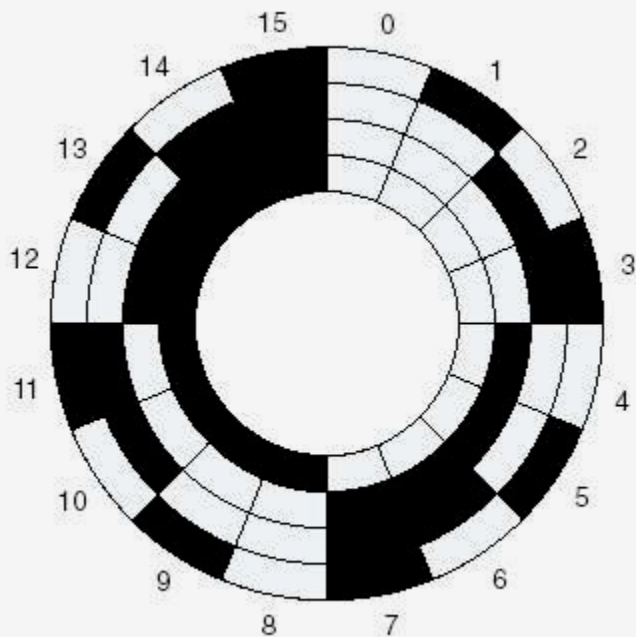


Sensores e Atuadores

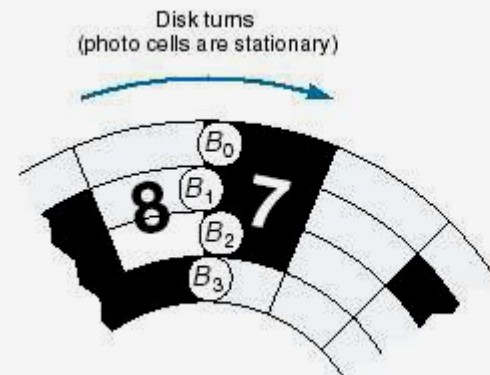
- Sensores de posição
 - *Encoder* absoluto
 - Possui como elemento básico disco de vidro estampado por um padrão de trilhas concêntricas.
 - Feixes de luz atravessam cada trilha para iluminar foto-sensores individuais.
 - Sempre fornece a posição absoluta.
 - Podem usar código binário ou código *gray*.
 - O mau alinhamento dos foto-sensores pode causar erros de leitura.

Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder absoluto*



(Note: Black areas cause a 1 output)



8	5	7	
0	1	1	B ₀
0	0	1	B ₁
0	1	1	B ₂
1	0	0	B ₃

↑
Erroneous state

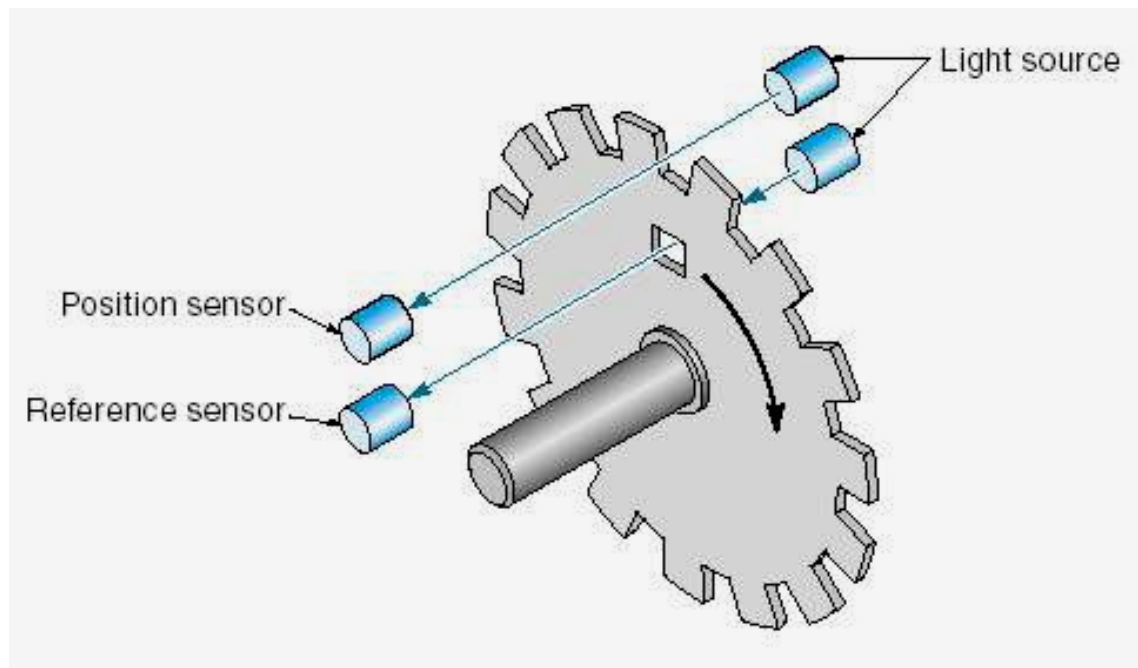


Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder* incremental
 - O *encoder* incremental possui um disco com apenas uma trilha com dentes igualmente espaçados.
 - A posição é determinada pela contagem do número de dentes que passam na frente de um foto-sensor, onde cada dente representa um ângulo conhecido.
 - O número de pulsos por volta do disco, ou seja para 360° de rotação do eixo do atuador, pode variar com o tipo de disco e com o tamanho dos foto-sensores utilizados. Na prática, podem ser encontrados *encoders* com até 2.000 pulsos por volta ou maiores.

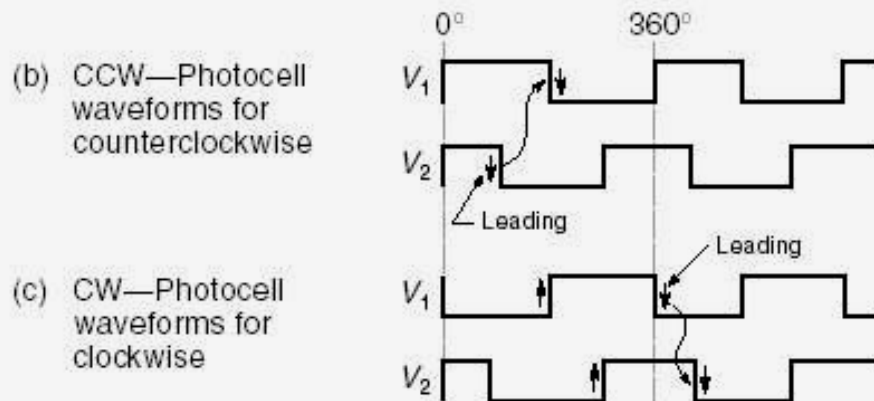
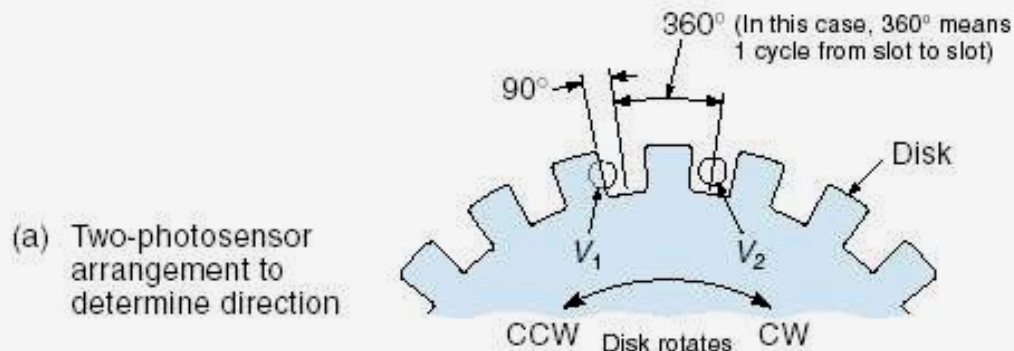
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder* incremental
 - Um foto-sensor apenas não permite determinar o sentido de rotação do disco. Um sistema com dois foto-sensores pode ser utilizado.



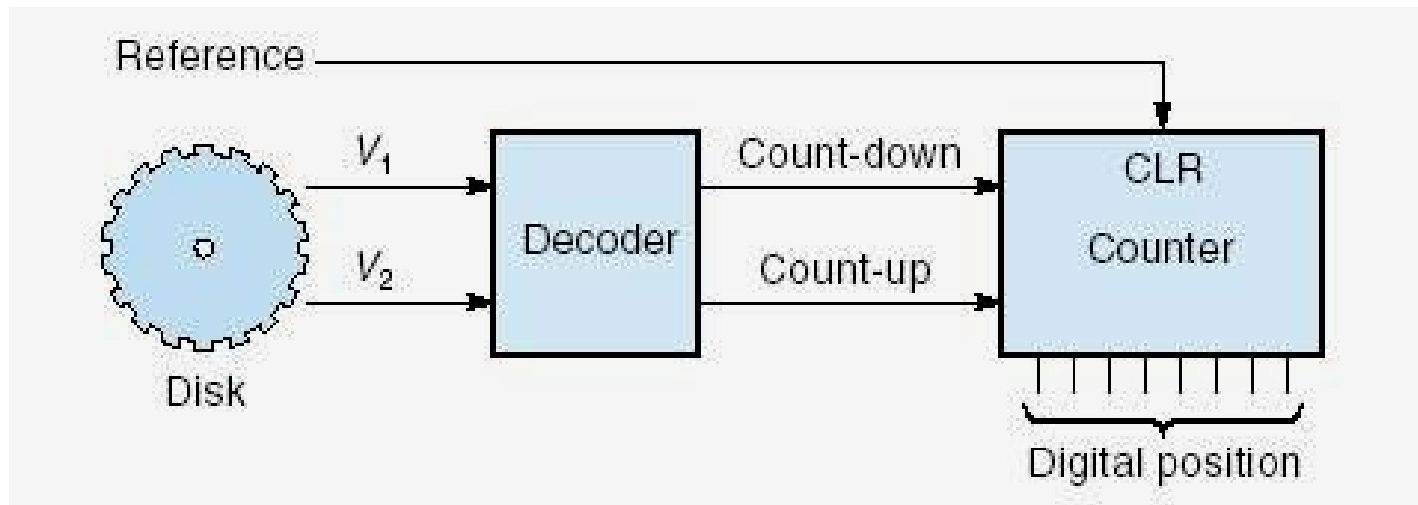
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoders* incremental



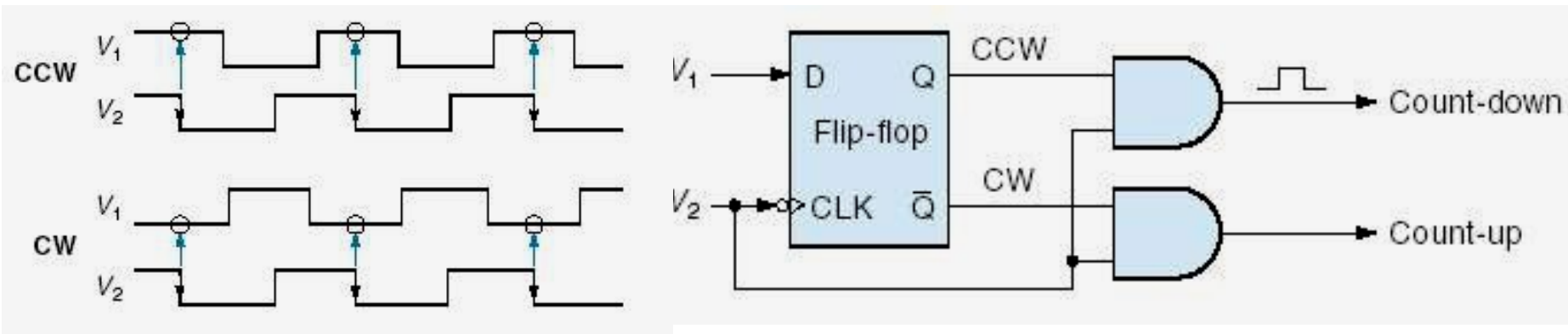
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder* incremental
 - O *encoder* incremental necessita um *hardware* composto por um decodificador e um contador.



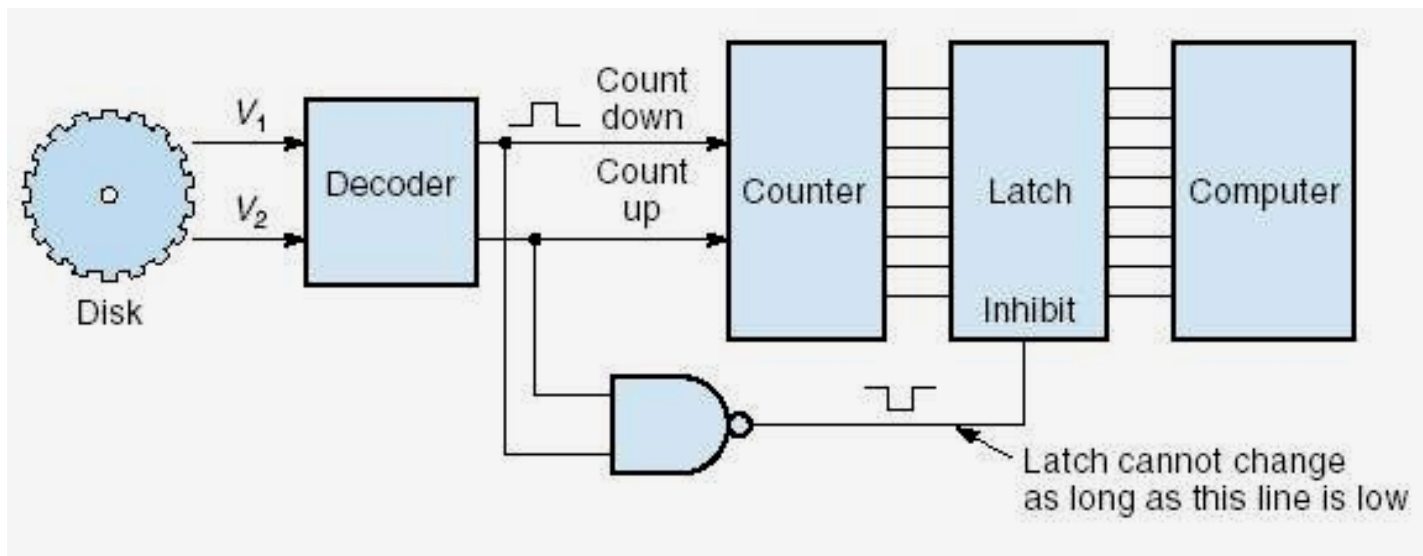
Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder* incremental
 - O decodificador mais simples pode ser montado utilizando-se um flip-flop tipo D e duas portas AND.



Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoder* incremental
 - Um *latch* deve ser usado para congelar a saída do contador e permitir a leitura do processador.



Sensores e Atuadores

- Sensores de posição
 - *Encoders*





Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade
 - A medida de velocidade, assim como a medida de posição, é normalmente feita no eixo do atuador.
 - A velocidade pode ser obtida a partir de amostras de posição obtidas a partir do sensor de posição.

$$V = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

- Onde:
 - x_1, x_2 = amostras consecutivas de posição.
 - t_1, t_2 = instantes de amostragem.

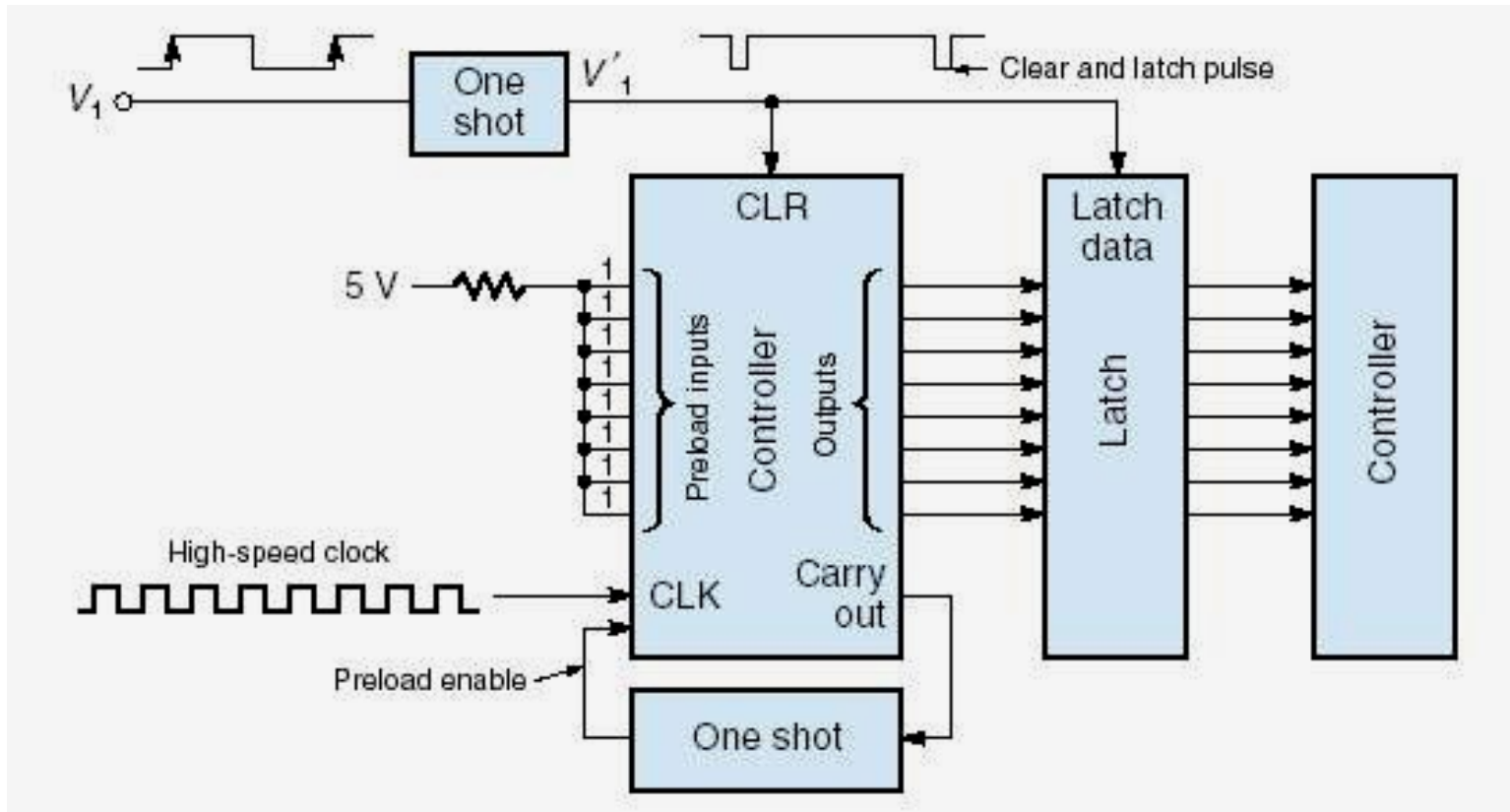


Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade
 - No caso de sensores óticos rotativos (como um encoder) pode-se determinar a velocidade a partir do conhecimento do tempo de cada pulso.
 - A idéia é contar os ciclos de um *clock* de alta frequência em relação à frequência do pulso.
 - O valor da contagem é proporcional ao inverso da velocidade.
 - Para velocidades muito baixas, o contador pode sofrer *overflow* e começar a contar a partir de 0 novamente.
 - A solução é empregar um circuito “*one-shot*” para indicar velocidade muito baixa para ser medida.

Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade



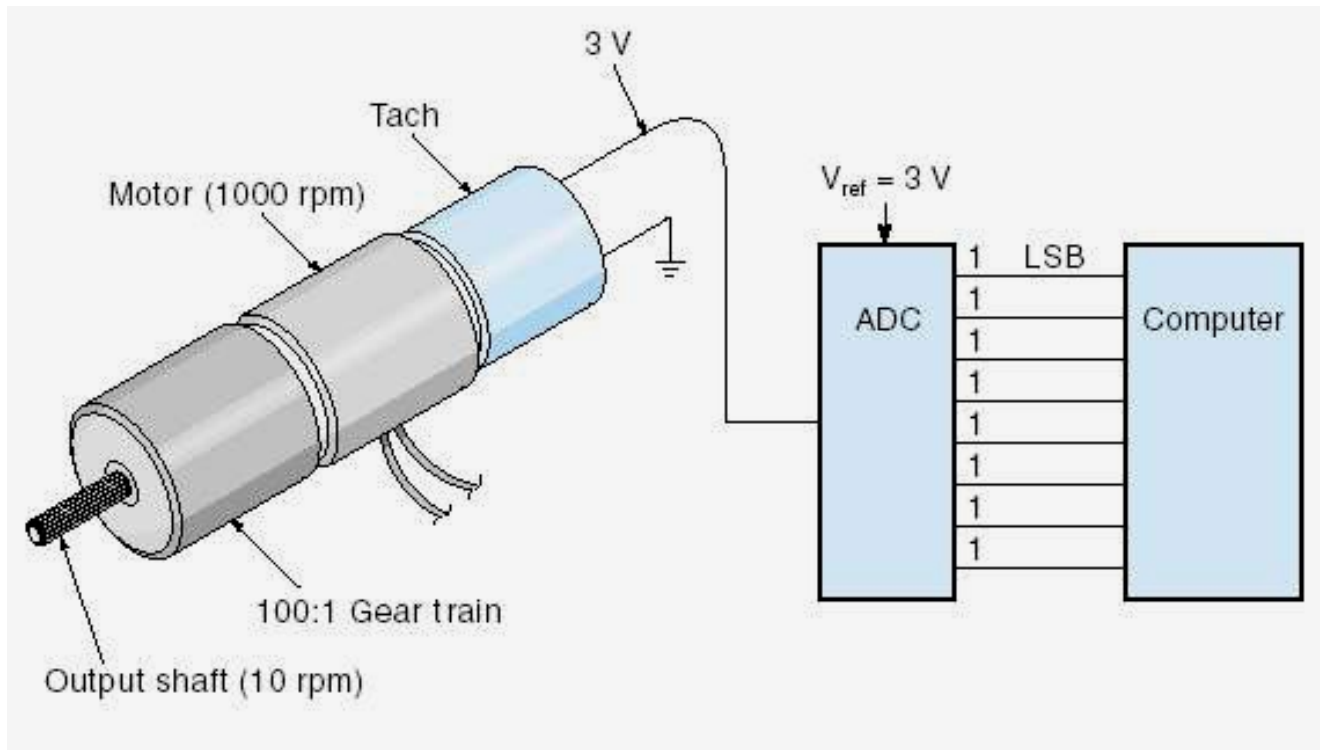


Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade
 - Tacogerador
 - É um sensor de velocidade analógico.
 - Um tacogerador é essencialmente um gerador CC que produz uma tensão de saída CC proporcional à velocidade do eixo.
 - A polaridade da saída é determinada pela direção de rotação.
 - O encapsulamento de tacogeradores típicos permite a montagem direta sobre um motor.
 - Tem a vantagem de ser um sensor robusto, mas produz muito ruído.

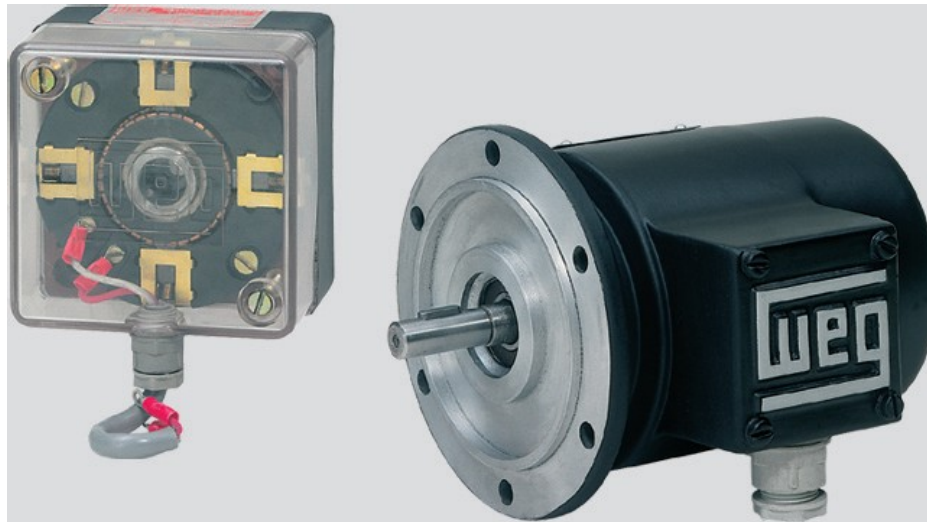
Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade
 - Tacogerador



Sensores e Atuadores

- Sensores de velocidade
 - Tacogerador





Sensores e Atuadores

- Sensores de aceleração
 - Atualmente existem muitos modelos de sensores de aceleração baseados em cerâmicas piezoelétricas, de alta precisão. Esses sensores produzem uma tensão proporcional à aceleração.
 - Apesar disso, a aceleração nem sempre é um parâmetro medido em robótica, mas calculado a partir da variação da velocidade num dado período de tempo.
 - Seguindo-se o mesmo método aplicado para o cálculo da velocidade a partir dos valores lidos do *encoder*, no mesmo instante de cálculo da velocidade, o valor da velocidade pode ser armazenado e, no próximo instante do cálculo da velocidade, a diferença do valor atual com o armazenado anteriormente resulta no valor da aceleração.

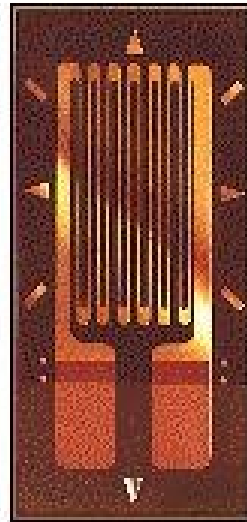


Sensores e Atuadores

- Sensores de força
 - Em robótica a medição de força somente é necessária nas situações em que se deseja controlar a força exercida pelo robô no objeto manipulador.
 - O método mais direto para medir forças é através da utilização de extensômetros.
 - O extensômetro elétrico ou *strain-gauge*, é na sua forma mais completa, um resistor elétrico composto de uma finíssima camada de material condutor, depositado sobre um composto isolante.

Sensores e Atuadores

- Sensores de força
 - Extensômetro



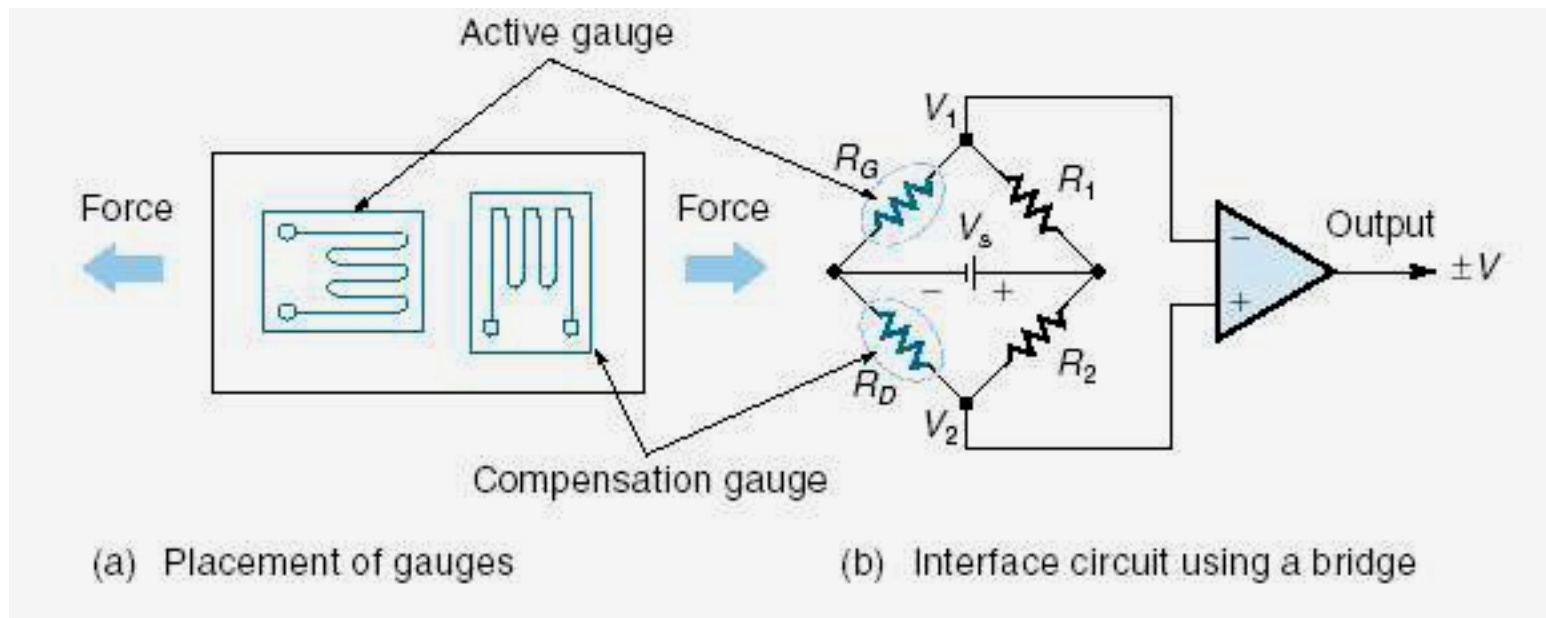


Sensores e Atuadores

- Sensores de força
 - Extensômetro
 - A variação de resistência no extensômetro é proporcional à deformação causada por uma força.
 - Como essa variação de resistência é normalmente pequena, para uma detecção mais confiável, utiliza-se uma ponte de *Wheatstone* em equilíbrio.
 - A ponte também permite cancelar variações devidas à temperatura pela conexão de um extensômetro de compensação como um dos resistores da ponte, que é fixado fisicamente próximo do extensômetro ativo para estar submetido à mesma temperatura. Entretanto, este é orientado perpendicularmente para que a força aplicada não varie sua resistência.

Sensores e Atuadores

- Sensores de força
 - Extensômetro





Sensores e Atuadores

- Sensores externos
 - Características
 - Velocidade de resposta baixa, da ordem de ms ou s.
 - Fornecem os mais variados tipos de informação para que o robô execute tarefas de alto grau de complexidade sem supervisão.
 - Permitem o robô criar mapas do ambiente, ou criar modelos bi e tridimensionais dos objetos
 - Principais tipos
 - Sensor de presença / distância.
 - Sensor de tato
 - Sensor de visão



Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - A detecção de presença e/ou distância de objetos próximos ou distantes pode ser feita por diversas técnicas, com diversas tecnologias.
 - A escolha depende de:
 - distância entre o sensor e o objeto.
 - forma do objeto.
 - velocidade de medição.

Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Tipos mais comuns de sensores de presença / distância em robótica

Sensor	Tecnologia	Faixa de detecção
Magnético	Efeito <i>Hall</i>	0,1mm a 3 mm
Ótico (baixa potência)	Infravermelho reflexivo	1 mm a 3 m
Ótico (alta potência)	Infravermelho ou <i>laser</i> reflexivo	3 m a 100 m
Ultra-som	Tempo de vôo	0,5 m a 10 m

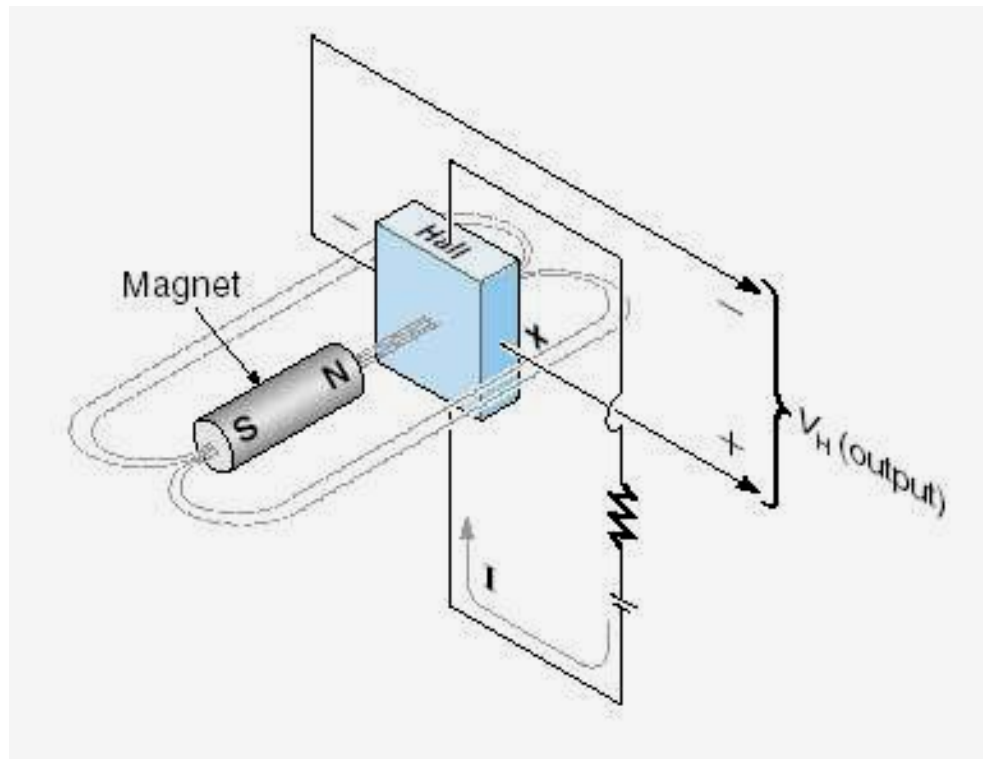


Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor magnético por efeito *Hall*
 - Efeito Hall: descoberto em 1879 por *E. H. Hall*, que verificou que uma diferença de potencial elétrico aparecia nas laterais de um condutor quando submetido a um campo magnético.
 - Este efeito ocorre devido a cargas elétricas tenderem a desviar-se de sua trajetória por causa da força de *Lorentz*, criando-se um acúmulo de cargas nas superfícies laterais do condutor e produzindo uma diferença de potencial.
 - Apesar do efeito *Hall* existir em qualquer material condutor, seu efeito é mais intenso em materiais semicondutores.

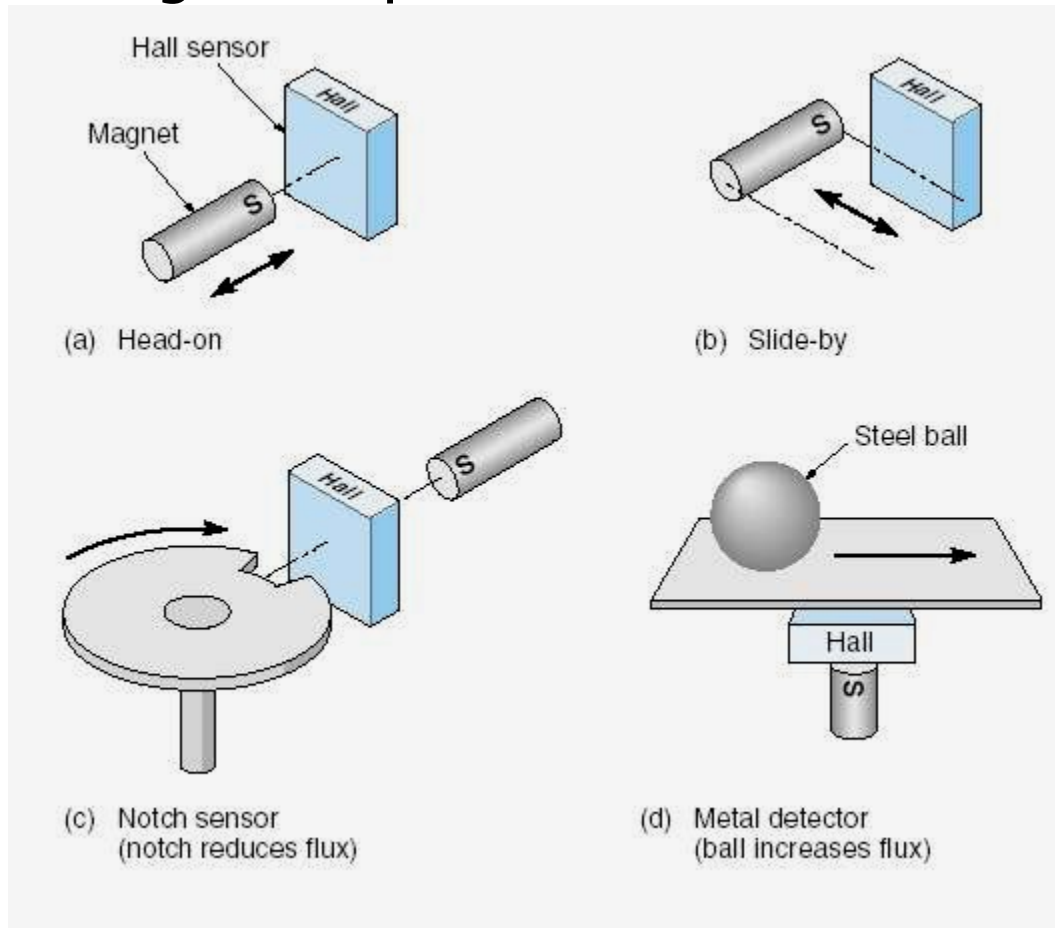
Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor magnético por efeito *Hall*



Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor magnético por efeito *Hall*



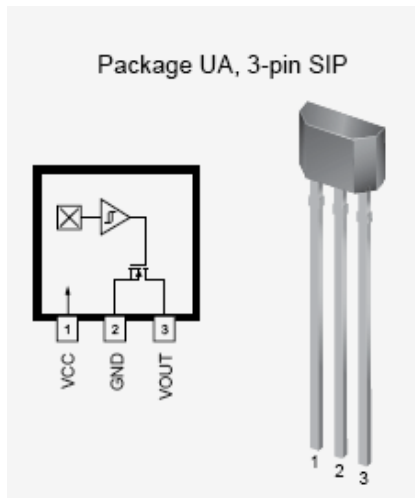


Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor magnético por efeito *Hall*
 - Possibilita a detecção somente de objetos ferrosos
 - A distância de detecção é muito pequena.
 - Utilizado em aplicações particulares, como por exemplo, detecção da presença de peças metálicas em correias transportadoras.
 - Produz um sinal digital.

Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor magnético por efeito *Hall*



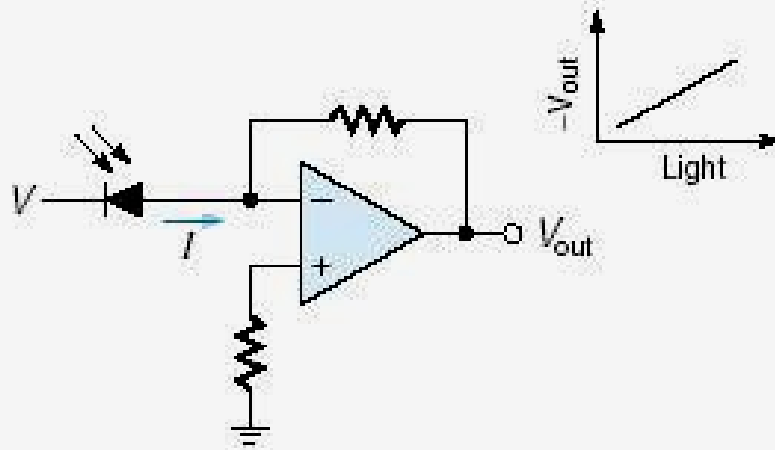


Sensores e Atuadores

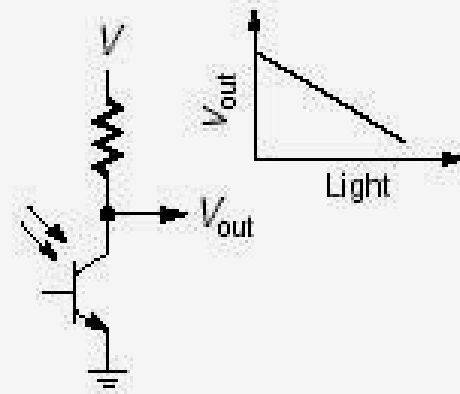
- Sensores de presença / distância
 - Sensor ótico
 - Para detecção de presença, sensores óticos infravermelho possuem um *led* infravermelho como emissor e um fotodiodo ou fototransistor infravermelho como detector.
 - A luz emitida pelo emissor é refletida em um objeto próximo e captada pelo receptor, que produz um sinal digital.
 - Como seu princípio baseia-se na reflexão de luz, a distancia de detecção pode variar de acordo com as características da superfície do objeto.

Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor óptico



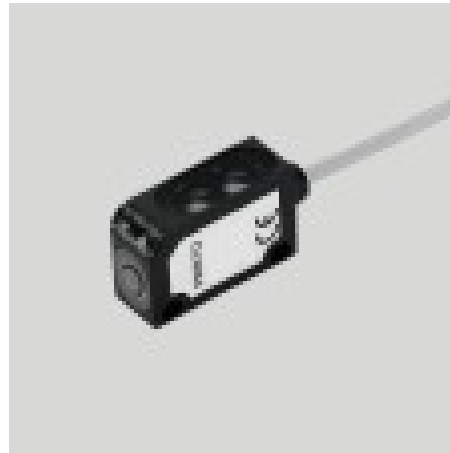
(b) Photodiode



(c) Phototransistor

Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor óptico



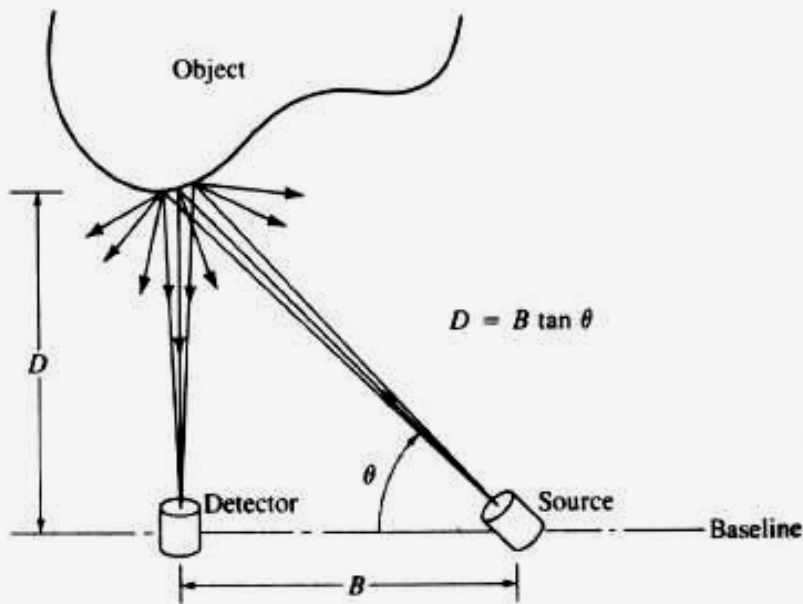


Sensores e Atuadores

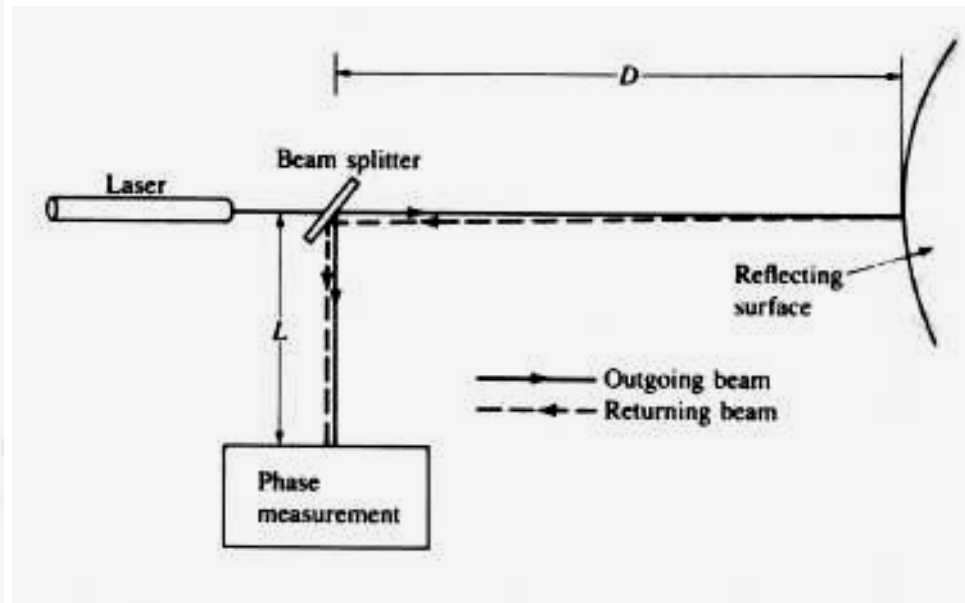
- Sensores de presença / distância
 - Sensor ótico
 - Sensores óticos para medição de distância podem empregar diversos métodos, tais como:
 - Triangularização da luz: a luz é enviada até o objeto por vários caminhos, o que permite a medição da distância por triangularização.
 - Diferença de fase: luz modulada é enviada até o objeto e a diferença de fase entre a luz emitida e a recebida fornece uma estimativa da distância.
 - Tempo de vôo: um pulso de luz de alta potência é emitido até o objeto e mede-se o tempo de retorno do pulso refletido, que é proporcional à distância.

Sensores e Atuadores

- Sensores de presença / distância
 - Sensor ótico



- Método de triangularização.



- Método de diferença de fase.

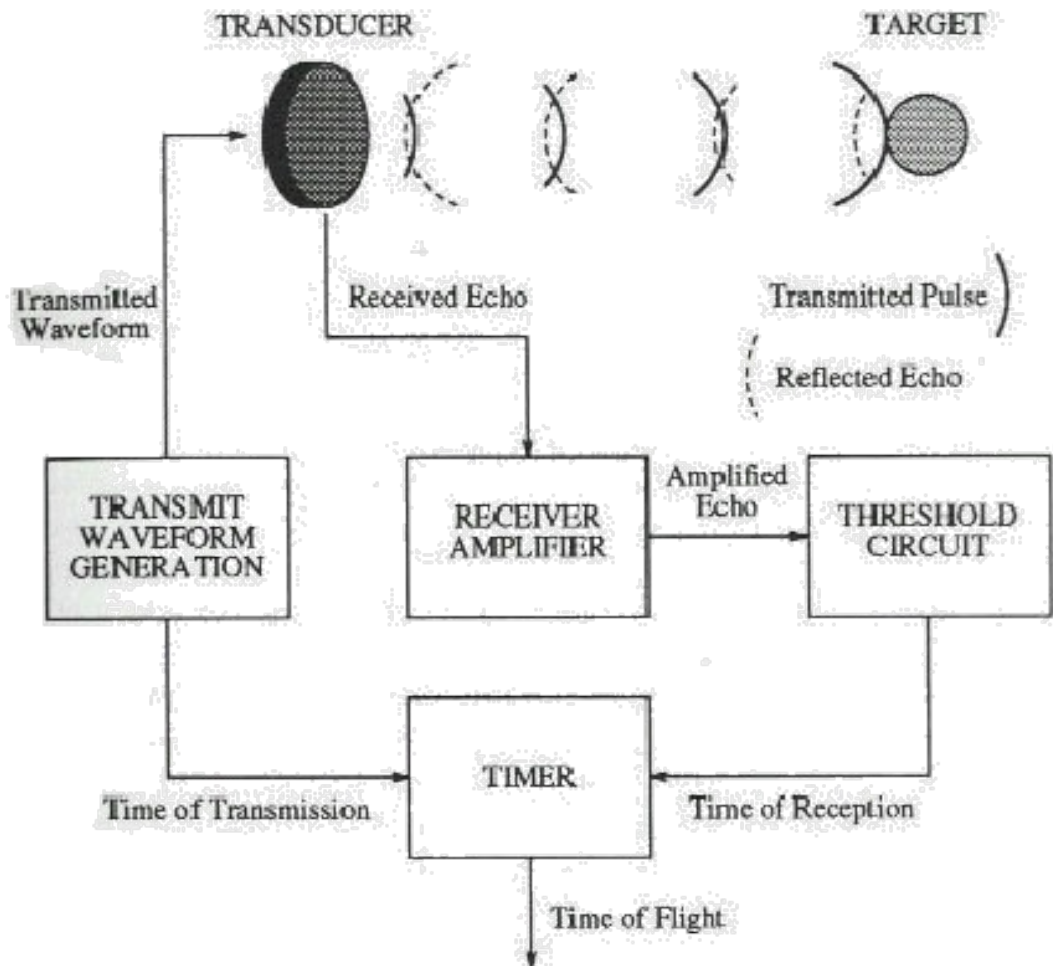


Sensores e Atuadores

- Sensores de ultra-som
 - A medição de distancia por ultra-som é obtida pelo método conhecido por tempo de vôo do eco, refletido num objeto, de um pulso de ultra-som emitido em sua direção.
 - Os sensores de ultra-som são construídos com diversas tecnologias e permitem medir distancias da ordem de alguns centímetros a vários metros.
 - Em aplicações de robótica, os sistemas de medição de distâncias com ultra-som mais comuns se baseiam em transdutores da *Polaroid*.

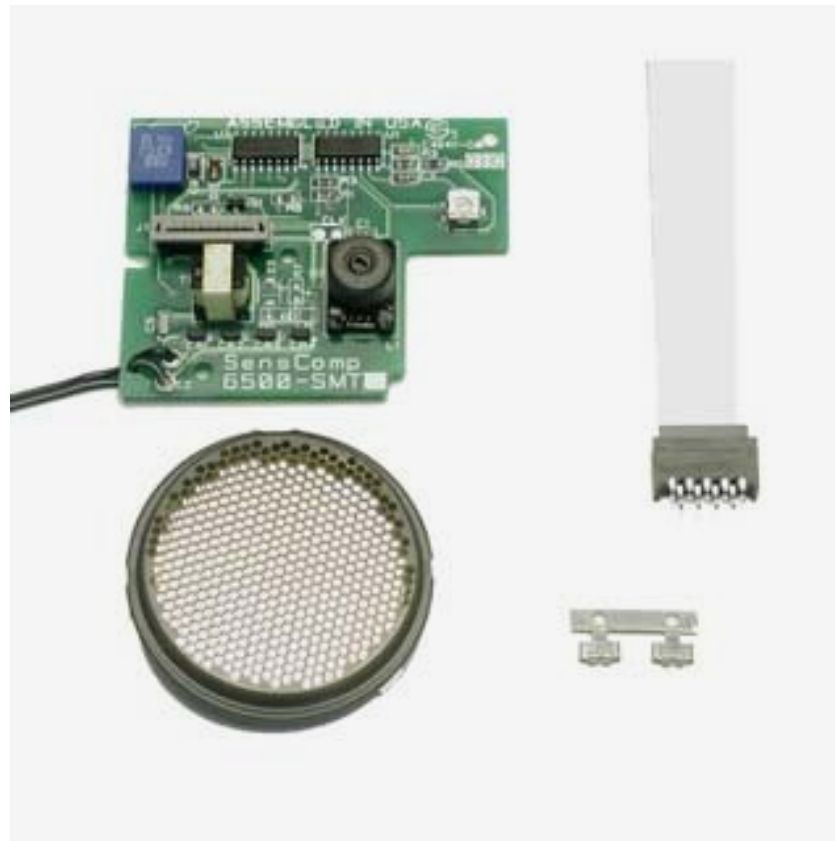
Sensores e Atuadores

- Sensores de ultra-som



Sensores e Atuadores

- Sensores de ultra-som



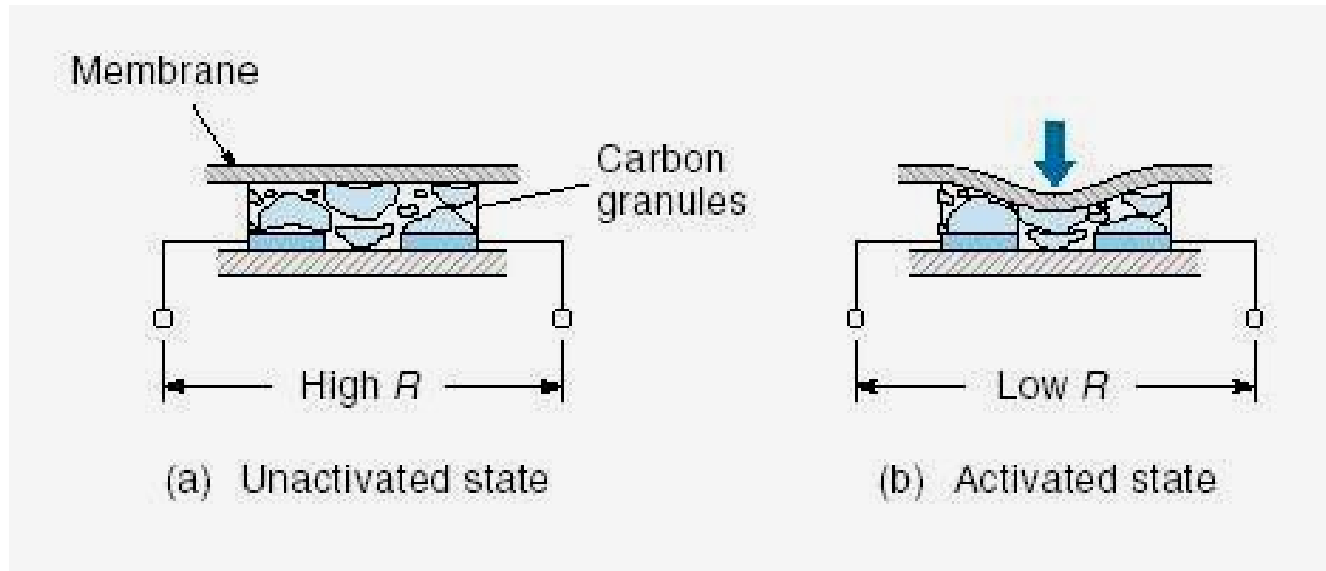


Sensores e Atuadores

- Sensores de tato
 - A detecção de contato com um objeto e o valor da pressão exercida sobre ele podem ser úteis na manipulação de produtos deformáveis e frágeis.
 - Diversas tecnologias estão disponíveis para implementação de sensores de tato, algumas são de fácil aplicação industrial, mas outras apenas a nível experimental.
 - Um modelo simples de sensor de contato pode ser feito utilizando-se borrachas condutoras adaptadas à garra do robô, de maneira que, ao tocar o objeto, a resistência da borracha diminua com o aumento da pressão.

Sensores e Atuadores

- Sensores de tato





Sensores e Atuadores

- Sistemas de visão
 - A visão é o sentido mais importante para interação de uma agente (humano ou robótico) com o mundo. A visão computacional descreve a determinação automática de estruturas e propriedades do ambiente tridimensional, a partir da única ou múltiplas imagens bidimensionais do ambiente.
 - As imagens podem ser monocromática ou coloridas, capturadas por uma única ou múltiplas câmeras, que podem ser estacionárias ou móveis.
 - A estrutura e as propriedades do ambiente podem ser geométricas (formas, dimensões, etc.) ou materiais (cores, textura, etc.).

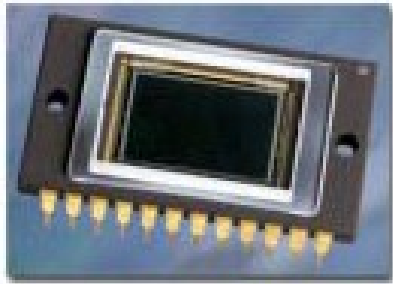


Sensores e Atuadores

- Sistemas de visão
 - A visão não é uma tarefa simples, uma vez que pelo processo de formação da imagem, uma grande variedade de superfícies, diferentes materiais e condições de iluminação, pode produzir imagens idênticas.
 - De certo modo, pode-se pensar em visão computacional como uma tentativa de se “desfazer” parcialmente o processo de formação da imagem.
 - O processo de tornar uma imagem passível de ser processada por um computador engloba várias etapas: captação, análise geométrica, análise radiométrica e sensoriamento.

Sensores e Atuadores

- Sistemas de visão



- Sensor CCD (*Charge Coupled Device*)



- Câmera CCD

Sensores e Atuadores

- Sistemas de visão

- Robô manipulador industrial com sistema de visão.

