

Aula 4 – Introdução à Robótica Móvel

Percepção - Sensores

Prof. Assoc. Marcelo Becker

SEM - EESC - USP

Laboratório de Robótica Móvel

LabRoM

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sumário da Aula

- **Introdução**
- Classificação dos Sensores
- Características dos Sensores
- Sensores Embarcados
- Visão Computacional
- Bibliografia Recomendada

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

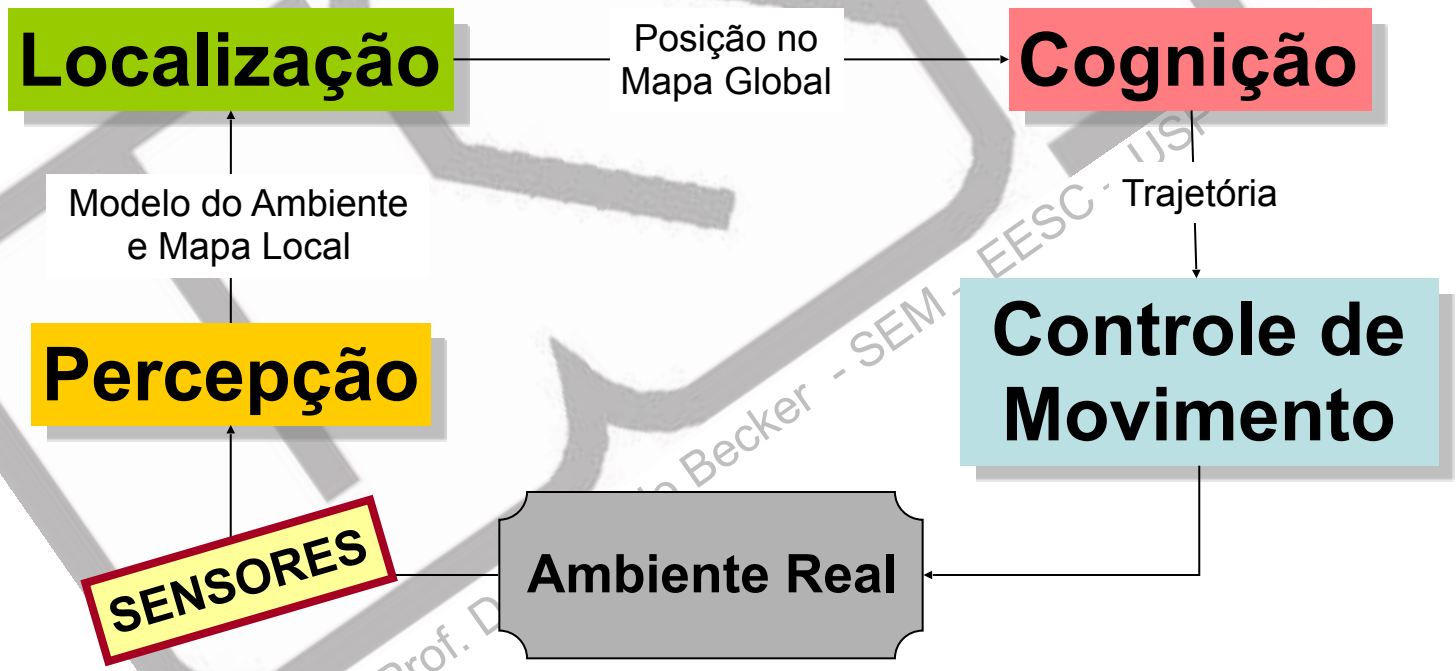
Introdução

- A Percepção é uma das tarefas mais importantes para qualquer tipo de robô
- Adquirir conhecimento sobre o ambiente envolve:
  - Obter dados (medidas) utilizando vários sensores
  - Extrair informação útil desses dados

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Introdução

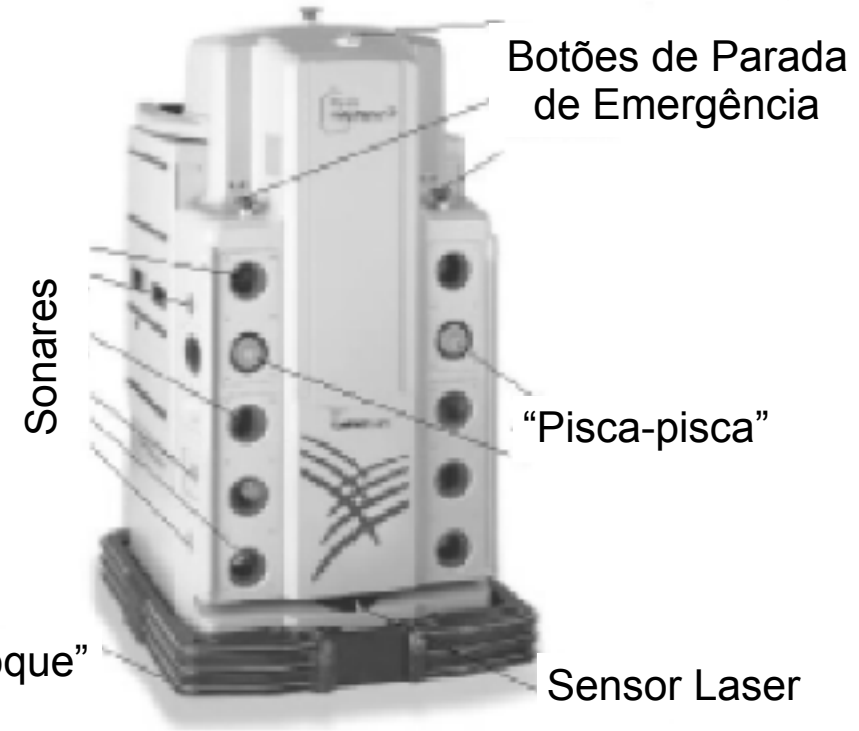
- Percepção lida diretamente com: Sensores, Incertezas e Informações.



Introdução

- Exemplos:
  - HelpMate, Transition Research Corp., USA

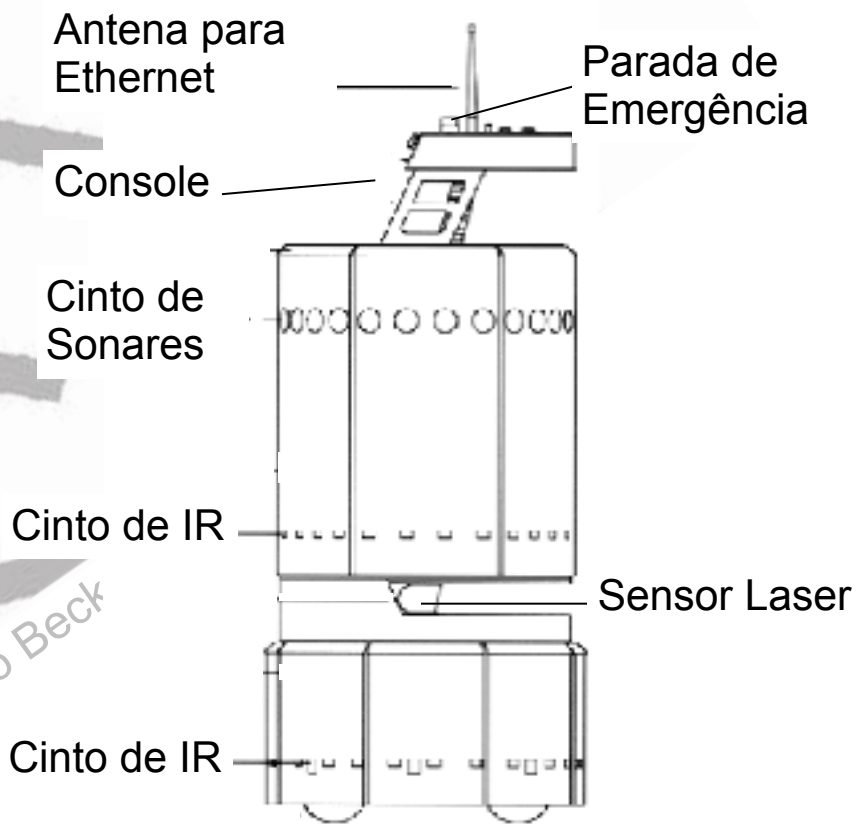




Introdução

- Exemplos:
  - B-21, USA

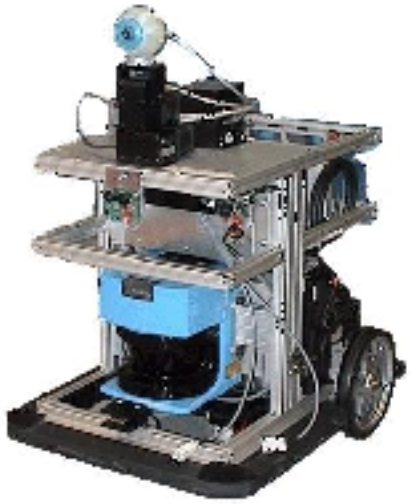


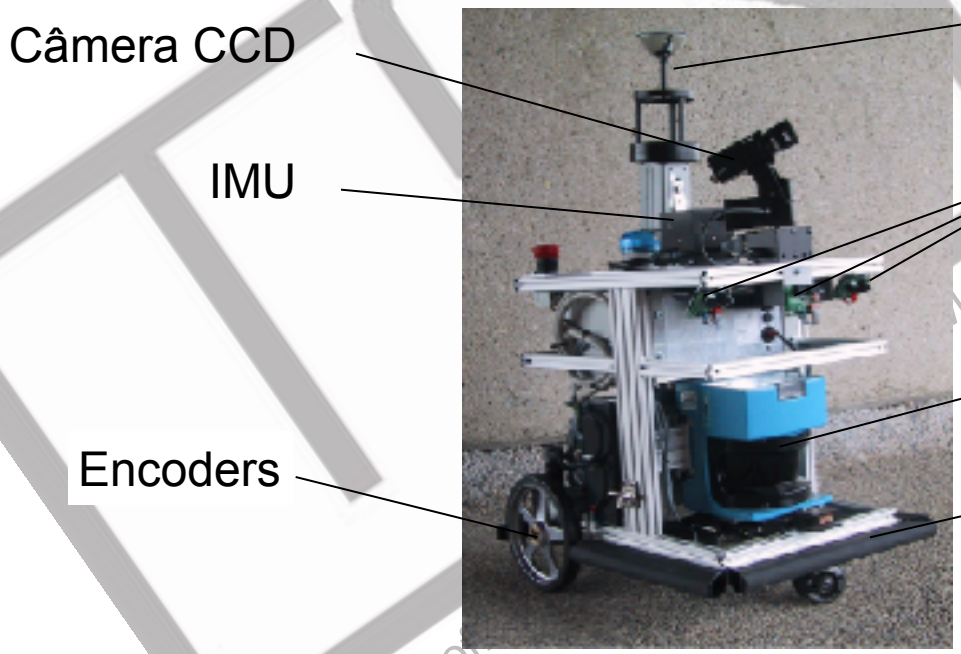


Prof. Marcelo Beck

Introdução

- Exemplos:
  - BibaBot, Bluebotics, Suíça





Prof. Dr. M. Becker – SEM – EESC – USP

Sumário da Aula

-
- **Classificação dos Sensores**
- Características dos Sensores
- Sensores Embarcados
- Visão Computacional
- Bibliografia Recomendada

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Quanto ao tipo de medida:
  - Proprioceptivos (*Proprioceptive*)
    - Medem valores internos ao robô
      - Velocidade do motor;
      - Carga nas rodas;
      - Ângulos de partes móveis;
      - Tensão na bateria, etc.
  - Exteroceptivos (*Exteroceptive*)
    - Medem valores externos (estímulos externos)
      - Medidas de distância a objetos;
      - Luminosidade;
      - Amplitude de som, etc.

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Quanto à emissão de Energia:
  - Passivos
    - A energia vem do próprio ambiente
      - Sensor de Temperatura;
      - Microfones;
      - Câmeras CCD ou CMOS, etc.
  - Ativos
    - Emitem energia para o ambiente e depois medem sua reação. Apresentam uma performance melhor, mas são influenciados pelo ambiente.
      - Sensor Ultra-som, Sensor Laser, etc.

Prof. Dr. Marcelo Becker SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Tipos de Sensores – 1/5

Classificação Geral (uso típico)	Tipo de Tecnologia	Pr	E	A	Pa
Sensores Tácteis (detecção de contato físico ou proximidade, chaves de segurança)	Chaves de Contato, pára-choques		X		X
	Barreiras Ópticas		X	X	
	Sensores de Proximidade Indutivos		X	X	
	Sensores de Proximidade Magnéticos		X	X	
	Sensores de Proximidade Capacitivos		X	X	

Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Tipos de Sensores – 2/5

Classificação Geral (uso típico)	Tipo de Tecnologia	Pr	E	A	Pa
Sensores de Roda ou Motor (detecção de Velocidade e Posição de Roda ou Motor)	Potenciômetro	X			X
	Synchros e *Resolvers*	X		X	
	Encoders Ópticos	X		X	
	Encoders Magnéticos	X		X	
	Encoders Indutivos	X		X	
	Encoders Capacitivos	X		X	

Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Tipos de Sensores – 3/5

Classificação Geral (uso típico)	Tipo de Tecnologia	Pr	E	A	Pa
Sensores de Direção (orientação do robô em relação a uma direção fixa)	Bússola		X		X
	Giroscópio	X			X
	Inclinômetro		X	X	X
Sensores baseados em um "Farol" (orientação do robô em relação a uma referência fixa)	GPS		X	X	
	"Farol" Ativo Óptico ou RF		X	X	
	"Farol" Ativo Ultra-sônico		X	X	
	"Faróis" Reflexivos		X	X	

Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Tipos de Sensores – 4/5

Classificação Geral (uso típico)	Tipo de Tecnologia	Pr	E	A	Pa
Sensores de Alcance Ativo (triangulação reflexiva, por tempo de vôo ou geométrica)	Sensores Reflexivos		X	X	
	Sensores Ultra-sônicos		X	X	
	Laser		X	X	
	Triangulação Óptica 1D		X	X	
	Luz Estruturada 2D		X	X	

Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Tipos de Sensores – 5/5

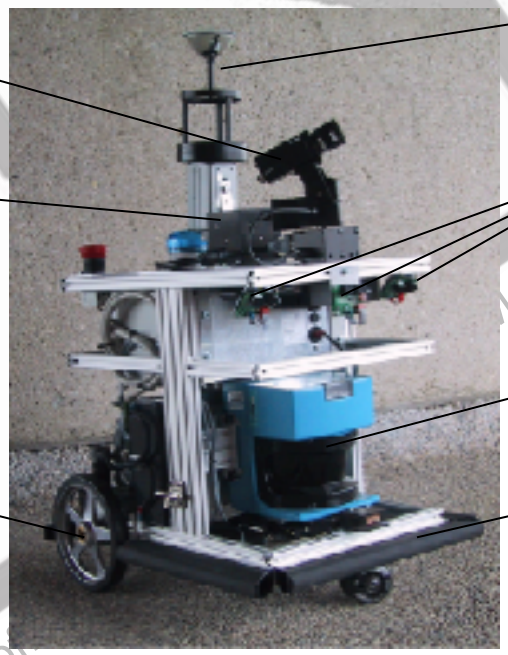
Classificação Geral (uso típico)	Tipo de Tecnologia	Pr	E	A	Pa
Sensores de Som ou Velocidade (velocidade relativa a objetos parados ou em movimento)	Radar Doppler		X	X	
	Som Doppler		X	X	
Sensores baseados em Visão (alcance de visão, reconhecimento de objetos, etc.)	Câmera CCD / CMOS		X		X

Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Classificação dos Sensores

- Exemplo:
  - BibaBot, Bluebotics, Suíça



Pr – Proprioceptivo; E – Exteroceptivo; A – Ativo; Pa - Passivo

Classificação dos Sensores

- Desempenho:
  - Varia com o tipo e a tecnologia empregada no sensor e com o ambiente onde o robô está inserido.
  - As tabelas anteriores foram arranjadas em ordem crescente de complexidade e decrescente em maturidade tecnológica.
  - Quantificação da acuidade dos sensores:
    - Características Básicas: laboratório.
    - Características "*in-situ*": ambiente.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

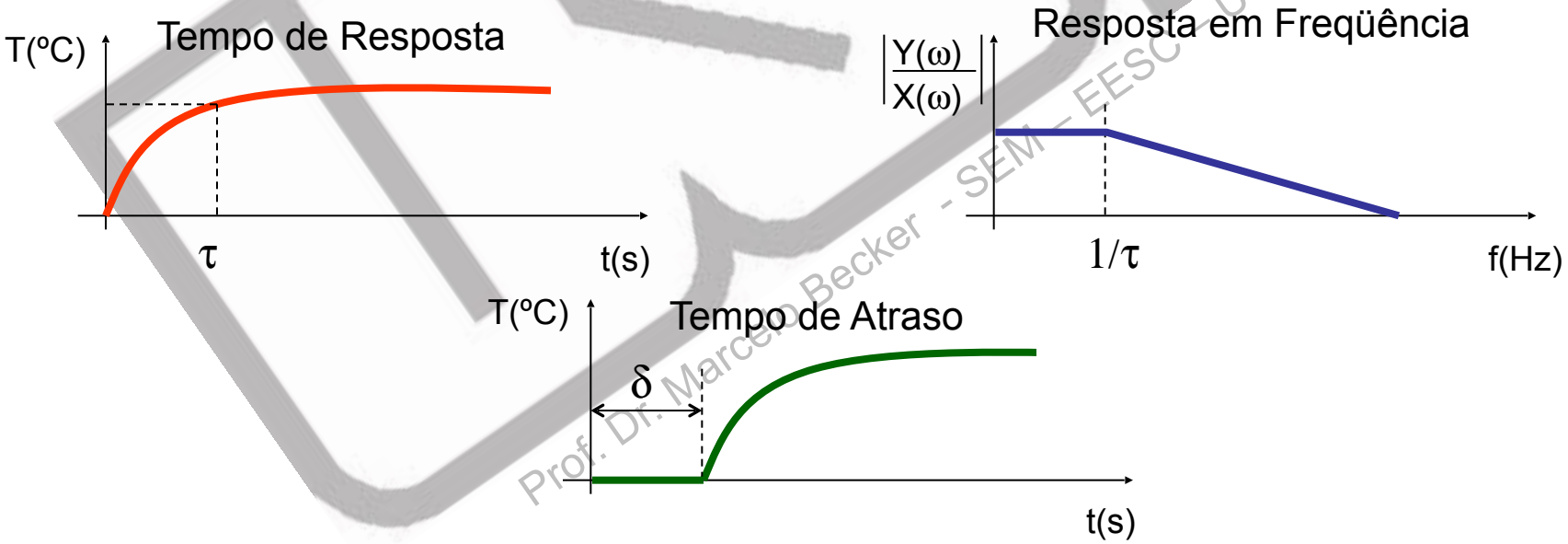
Sumário da Aula

-
-
- **Características dos Sensores**
- Sensores Embarcados
- Visão Computacional
- Bibliografia Recomendada

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC

Características dos Sensores

- Características Básicas
  - Podem ser quantificadas em taxas e medidas em laboratório
    - **Dinâmicas**: resposta em freqüência, tempo de atraso, etc.



Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Características dos Sensores

- Características Básicas

  - **Alcance Dinâmico** (*dynamic range*): mede o espalhamento entre os limites superior e inferior do sinal de entrada para os quais o sensor mantém o seu funcionamento normal. Pode ser expresso em dB (potências).
    - Exemplo 1: potência medida de 1mW a 20W:
      $R_d = 10.\log(R_{max}/R_{min}) = 10.\log(20/0{,}001) =$ **43dB**
    - Exemplo 2: tensão medida de 1mV a 20V:
      $R_d = 20.\log(R_{max}/R_{min}) = 20.\log(20/0{,}001) =$ **86dB**

Tensão tem seu quadrado proporcional à potência

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Características dos Sensores

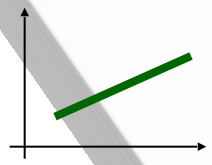
- Características Básicas
  - **Resolução**: menor valor de entrada que pode ser detectado pelo sensor. Em geral, o menor valor medido pelo sensor é a sua resolução (sensores analógicos). Em sensores digitais, é determinada pelo conversor A/D.
    - Exemplo: sensor linear (0~5V) com conversor de 8bits

      2^8-1 possíveis valores, ou seja: 5V/255 = **20mV**

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Características dos Sensores

- Características Básicas
  - **Linearidade**: medida do comportamento do sinal de saída do sensor com a variação do sinal de entrada. Uma resposta linear indica que:
    - 2 entradas x e y resultam em 2 saídas $f(x)$ e $f(y)$, onde:



$$f(ax + by) = a.f(x) + b.f(y)$$

    - Menos importante para sinais processador por computadores...

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

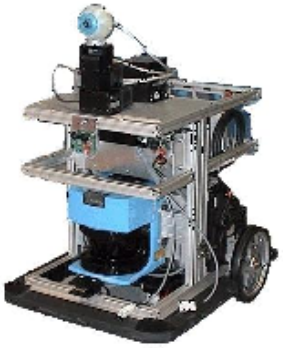
Características dos Sensores

- Características Básicas
  - **Largura de Banda**: é empregada para medir a velocidade com a qual o sensor pode fornecer um fluxo de leituras
    - Medida em Hz
    - Devido à natureza do seu movimento, robôs móveis geralmente têm sua velocidade limitada pela largura de banda de seus sensores de desvio de obstáculos...
    - O desenvolvimento de Sistemas de Visão com alta largura de banda têm sido almejado...

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Características dos Sensores

- Características "*In-Situ*"
  - Necessitam da compreensão do ambiente real.
  - Geralmente relacionadas a sensores sofisticados:
    - Sensores de alcance ativo: laser, ultra-som, etc
    - Sensores de interpretação visual: câmera CCD.



Prof. Dr. Mar
SEM – EESC – USP

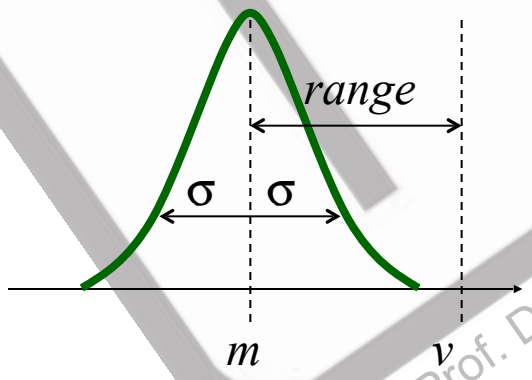
Características dos Sensores

- Características "*In-Situ*"
  - **Sensibilidade**: medida do grau com o qual uma mudança incremental no sinal de entrada altera o sinal de saída.
  - **Sensibilidade-cruzada**: sensibilidade a parâmetros diferentes daqueles que são medidos pelo sensor
    - Exemplo: bússola magnética é sensível à presença de materiais ferrosos
  - **Erro**: diferença entre o valor real e o mostrado pelo sensor

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Características dos Sensores

- Características *"In-Situ"*
  - **Acurácia/Exatidão**: grau de conformidade entre a medida do sensor e o valor real.
  - **Precisão**: reprodutibilidade dos resultados dos sensores.



$$Exatidão = 1 - \frac{|m - v|}{v} = 1 - \frac{erro}{v}$$

$$precisão = \frac{range}{\sigma}$$

m: valor medido e v: valor real

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Características dos Sensores

- Características "*In-Situ*"
  - **Erros Sistemáticos**: causados por fatores que podem ser modelados. São determinísticos, logo, previsíveis. Ex.: calibração incorreta.
  - **Erros Aleatórios**: não podem ser previstos, mas podem ser representados em termos probabilísticos. Ex.: ruído na câmera, instabilidade no sensor, etc.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Características dos Sensores

- Caracterização do Erro
  - Robôs móveis devem observar, analisar e interpretar o ambiente em que está.
  - Medidas em ambientes reais são dinâmicas e propensas a erros.
  - Exemplos:
    - Mudanças na iluminação;
    - Superfícies que absorvem som ou luz;
    - Sensibilidade cruzada do sensor à uma posição do robô, ou ao ambiente, etc.

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

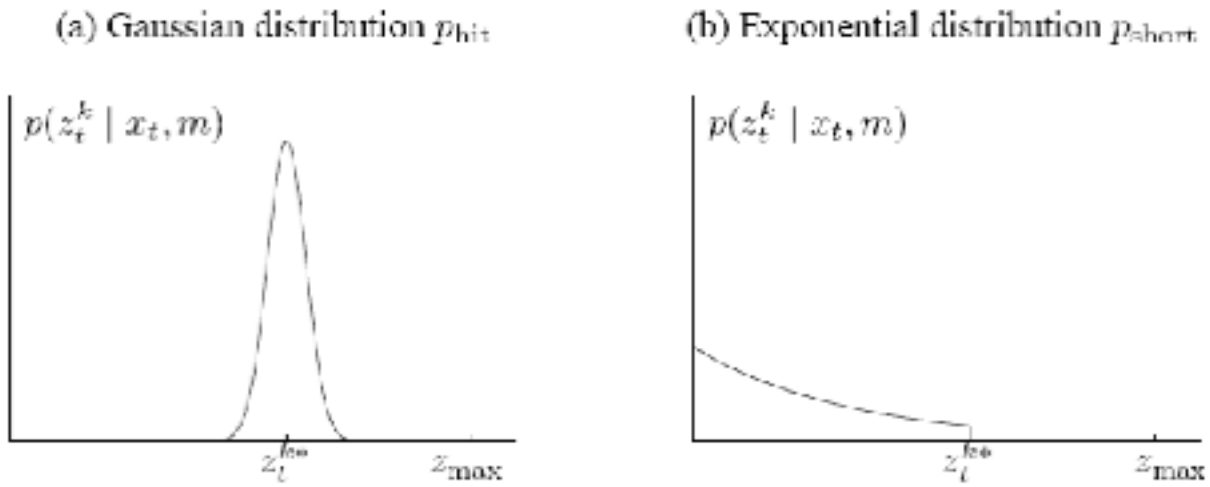
Características dos Sensores

- Modelagem dos Erros
  - Sensores modelados através de distribuições de probabilidade (erros aleatórios)
    - Em geral tem-se poucas informações sobre as fontes de erros aleatórios.
    - Assume-se que sejam simétricos e, até mesmo, gaussianos.
    - Nem sempre isso é verdade...
      - Exemplo: no sensor de ultra-som, os erros não são simétricos.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Características dos Sensores

- Modelagem dos Erros
  - Exemplo de Modelagem Probabilística



Prof. Dr. Marcel

Características dos Sensores

- Modelagem dos Erros
  - Exemplo de Modelagem Probabilística

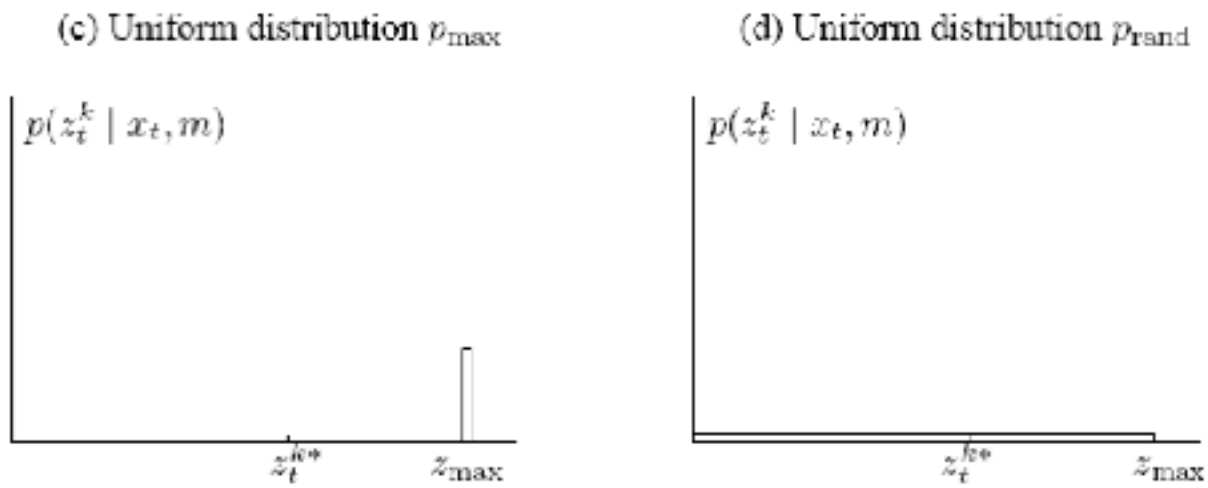


Figure 6.2 Components of the range finder sensor model. In each diagram the horizontal axis corresponds to the measurement z_t^k, the vertical to the likelihood.

Prof.

Sumário da Aula

-
-
-
- **Sensores Embarcados**
- Visão Computacional
- Bibliografia Recomendada

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Sensores Embarcados

- Listagem dos sensores mais utilizados:

- Chaves de contato – pára-choques
- Sensores de Proximidade Indutivos
- Sensores de Proximidade Capacitivos
- Sensores de Proximidade Magnéticos
- Potenciômetros
- *Synchros* e *Resolvers*
- Encoders Ópticos
- Encoders Magnéticos
- Encoders Indutivos
- Encoders Capacitivos
- Sensores Infravermelhos
- Acelerômetros
- Bússolas
- Giroscópios
- Inclinômetros
- GPS
- Farol Ativo Óptico ou RF
- Farol Ultra-sônico Ativo
- Faróis Reflexivos
- Sensores Ultra-Sônicos
- Laser
- Triangulação Óptica 1D
- Luz Estruturada 2D
- Radar Doppler
- Câmeras CCD/CMOS
- Microondas

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

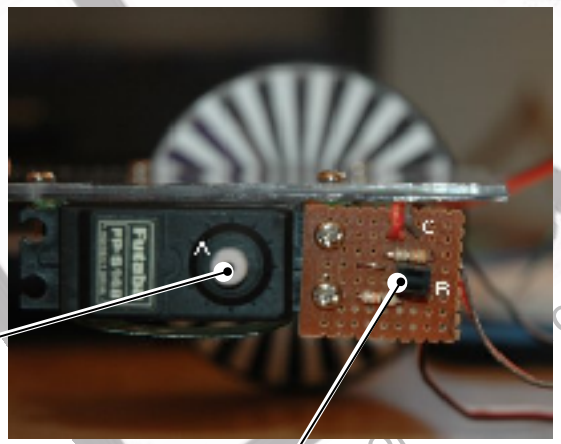
Sensores Embarcados

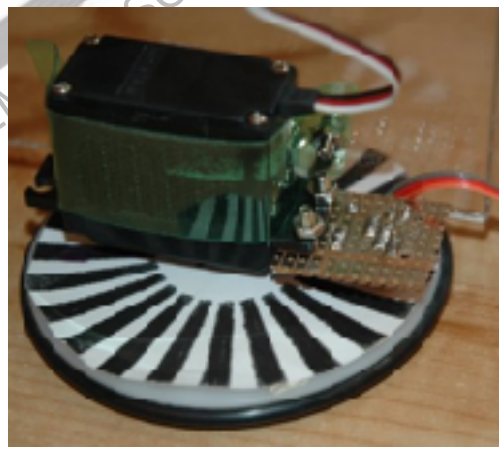
- Encoders
  - Medem a posição ou velocidade de rodas ou motores (acionamento ou esterçamento).
  - Os movimentos das rodas podem ser integrados para se obter uma estimativa da posição do robô (**odometria**).
  - Encoders ópticos são sensores proprioceptivos.
    - A estimativa de posição em relação a um sistema de referência fixo é possível apenas para pequenos movimentos.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Encoders
  - **Princípio de Funcionamento**: Feixe de luz direcionado a um fotodetector é periodicamente interrompido por um padrão opaco/transparente codificado em um disco rotativo acoplado ao eixo a ser medido.





Prof. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

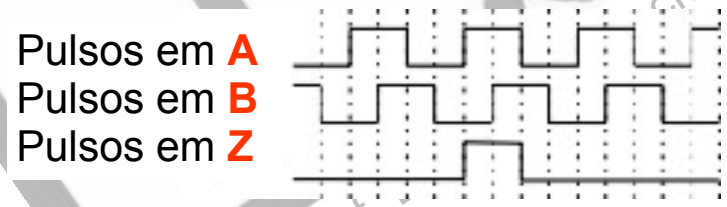
Sensores Embarcados

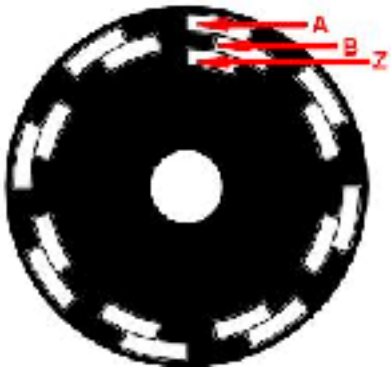
- Encoders
  - Especificações:
    - **Resolução**: medida em ciclos por revolução. Tipicamente podem variar de 64 a 2048, mas em robótica móvel ficam na faixa de 2000 (Em robôs industriais pode-se encontrar com mais de 10000).
    - **Largura de Banda**: fator crítico para que o encoder seja rápido o suficiente para contar na velocidade de rotação desejada.

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Encoders
  - Tipos: Incremental e Absoluto
  - **Incremental**: mede a velocidade rotacional e pode inferir a posição relativa à última posição medida. Baixo Custo.
    - Quadatura: Possuem duas fileiras de canais (A e B) defasadas a 90º.
    - Canal adicional Z utilizado para "zerar".



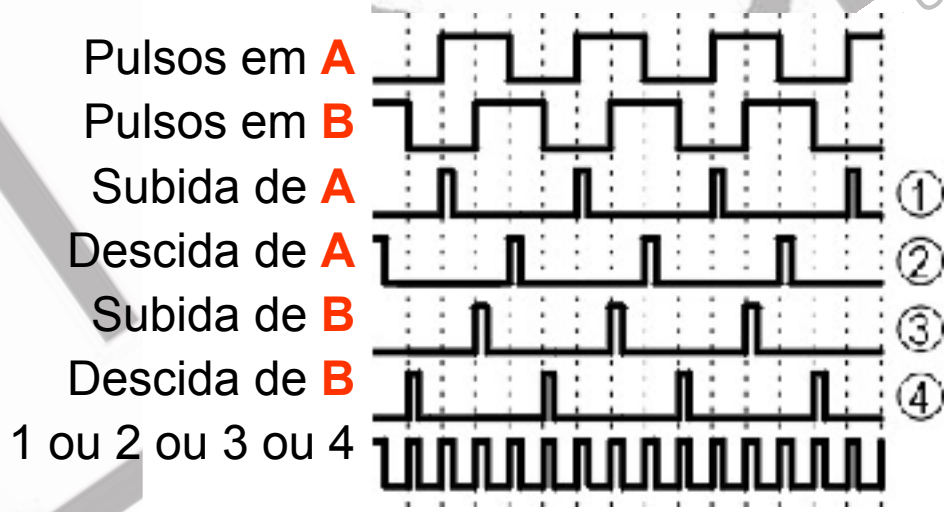


Prof. M. Becker - SEM - EESC - USP

Sensores Embarcados

- Encoders
  - **Incremental**
    - Pergunta: Quadratura?

      Aumenta a **resolução** do encoder e permite verificar o sentido de rotação

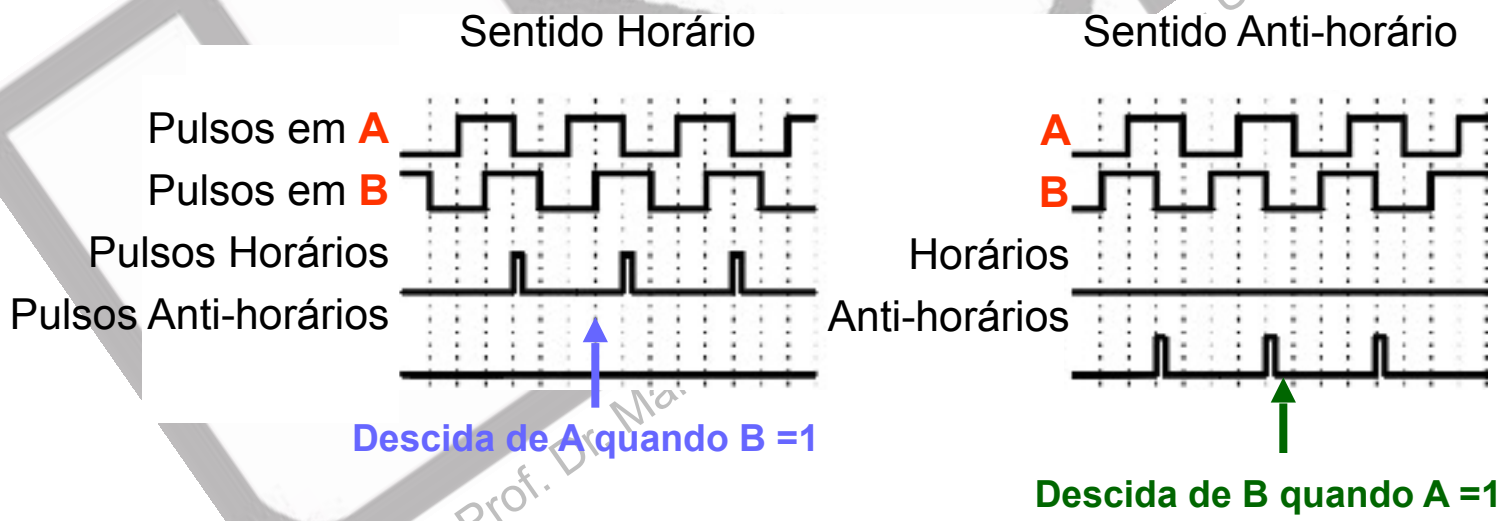


Resolução x 4

Sensores Embarcados

- Encoders
  - **Incremental**
    - Pergunta: Como saber o sentido de rotação?

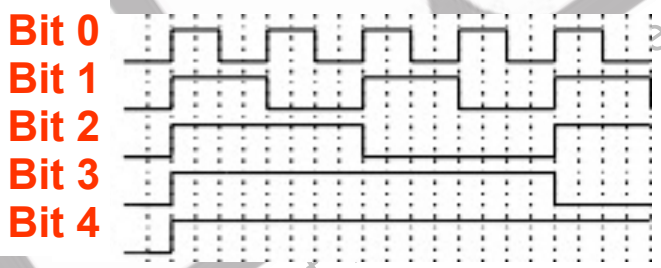
      Verifica-se a descida do pulso A quando o pulso B = 1 e vice-versa...

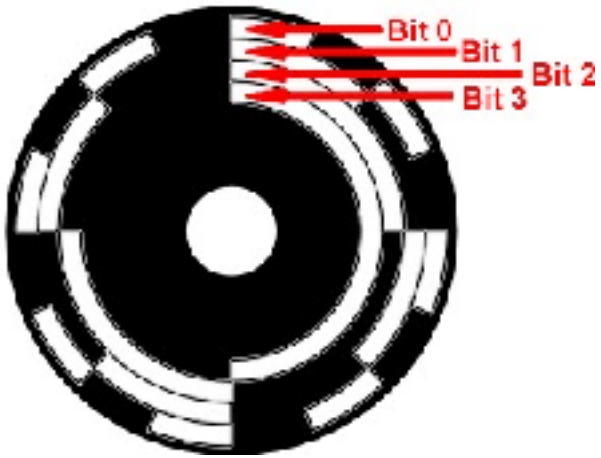


USP
Prof. Dr. Ma

Sensores Embarcados

- Encoders
  - **Absoluto**: Mede posição angular e infere velocidade. Ao invés fluxos de bits em série, provê uma palavra com padrão único para cada posição angular (bits em paralelo).
    - Mais caros e empregados quando a referência da posição é imprescindível.

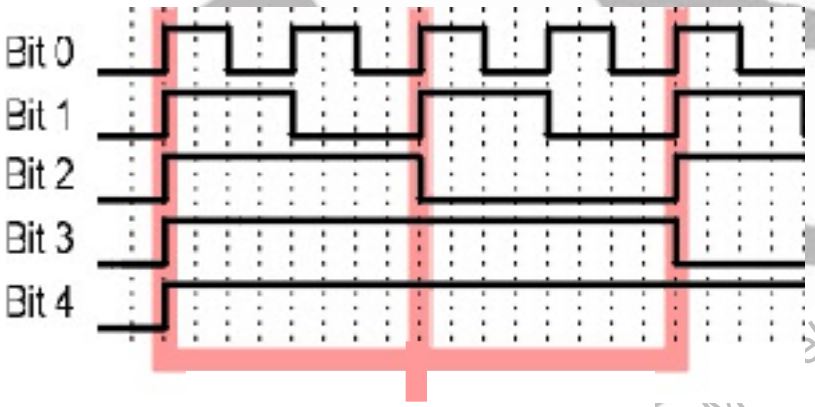




Sensores Embarcados

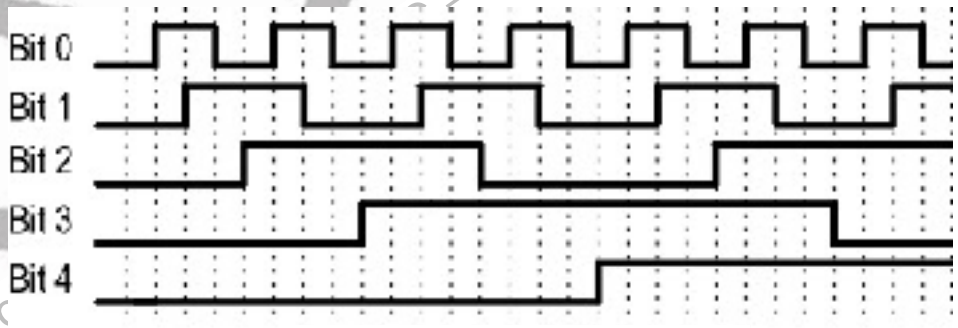
- Encoders
  - **Absoluto**
    - Pergunta: Saída Binária ou Saída em *Gray Code*?

Saída Binária



Chaveamentos Múltiplos!!

Saída em *Gray Code*



Pequenas diferenças nos ganhos entre os canais podem gerar erros

Sensores Embarcados

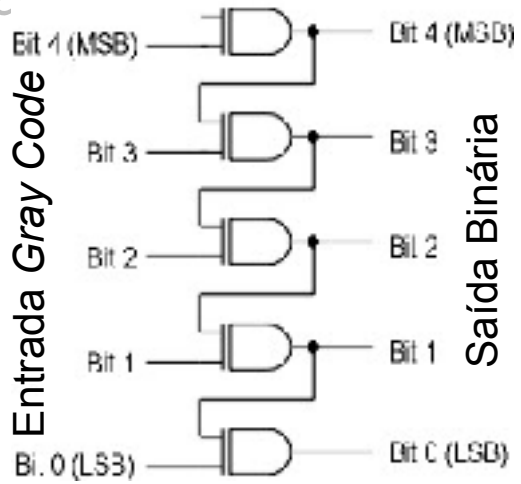
- Encoders
  - **Absoluto**
    - Pergunta: Como obter a Saída em *Gray Code*? Adicionando um circuito com portas XOR



16Bits - Absoluto

Valor Binário	Valor Alterado	Gray Code
A	B	A xor B
0000	0000	0000
0001	0000	0001
0010	0001	0011
0011	0001	0010
0100	0010	0110
0101	0010	0111

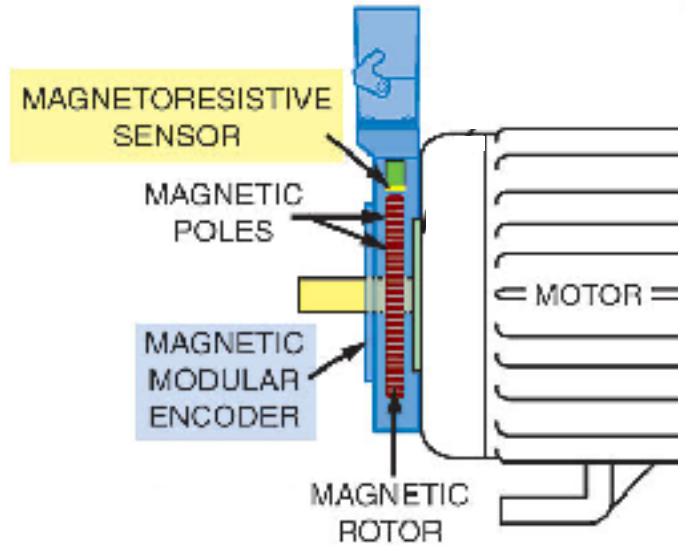
Portas XOR



Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC

Sensores Embarcados

- Encoders
  - **Outros tipos de Encoders**
    - Encoder capacitivo
    - Encoder Indutivo
    - Encoder Magnético

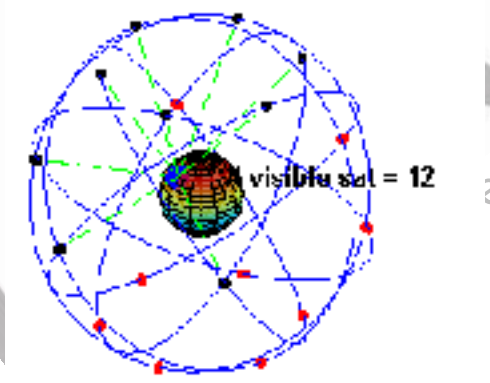


✓ Variação quanto à tecnologia empregada para captar a informação.

Prof. Dr. Marcelo Bec

Sensores Embarcados

- GPS *(Global Positioning System)*
  - Conjunto de satélites (24) localizados em planos inclinados com relação ao plano do equador.
    - Cada satélite transmite continuamente dados que indicam sua localização e o tempo (relógios atômicos).
    - Quando um receptor de GPS lê a transmissão de dois ou mais satélites, a diferença do tempo (ns) informa ao receptor sua distância relativa a cada satélite.



- Órbita de 12h a 20,19Km
- 4 satélites em cada um dos 6 planos inclinados a 55º

elo Becker - SEM_EESC_USP

Sensores Embarcados



- GPS *(Global Positioning System)*
  - Tecnologia mais difundida para navegação baseada em referência.
  - Inicialmente desenvolvida para uso militar.
  - Resolução na cobertura não é homogênea (nos pólos ela é menor).
  - 4 satélites são necessários para identificar a posição (o 4º faz a correção do tempo pois o receptor não tem um relógio de precisão).
  - São exteroreceptivos e passivos.
  - Largura de Banda: 200 ou 300ms → 5Hz (*update*)
    - Robôs velozes não podem empregar apenas GPS...

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Sensores de Distância (*Range Sensors*)
  - Medem grandes distâncias.
    - Fornecem informações chave para os procedimentos de localização e modelagem do ambiente.
  - Exemplos:
    - Sensor ultra-sônico
    - Sensor Laser
  - Empregam a velocidade de propagação no meio para obter a medida de distância
    - Velocidade de propagação da onda no meio:

$$d = c.t$$

d: distância percorrida, c: velocidade, e t: tempo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Sensores Embarcados

- Sensores de Distância (*Range Sensors*)
  - Comparação entre as velocidades de propagação:
    - Som: 0.3m/ms
    - Luz: 0.3m/ns

    } Um milhão de vezes mais rápida!!
  - Exemplo: a distância de 3m
    - Representa 10ms em um sistema com ultra-som
    - Apenas 10ns para um laser

Observa-se que sistemas laser são caros e delicados!!

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Sensores de Distância (*Range Sensors*)
  - A qualidade desses sensores depende de:
    - Incertezas com relação ao tempo exato de chegada do sinal refletido;
    - Laser: inexatidão na medida do tempo de propagação;
    - US: cone de dispersão do feixe transmitido;
    - Interação com o alvo (superfície refletiva, absorção, etc.);
    - Variação da velocidade de propagação;
    - Velocidade do robô e do alvo.

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

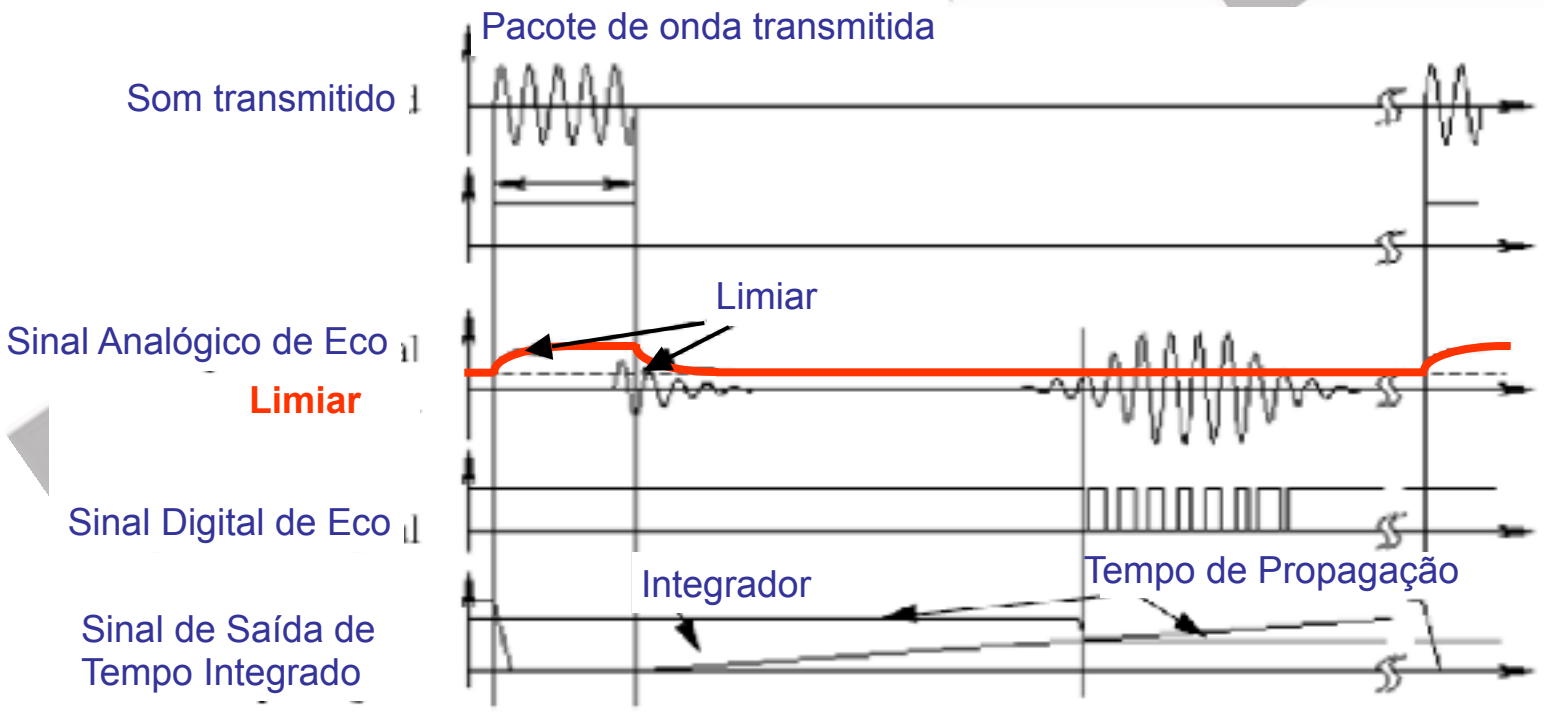
Sensores Embarcados

- Ultra-som (US)
  - Uma série de pulsos sonoros é emitida (pacote de onda).
  - Um integrador inicia uma contagem incremental para medir o tempo entre a transmissão do som e a detecção de um eco.
    - Um limiar é empregado para classificar um som recebido como um eco válido. Esse valor decresce com o tempo, visto que a amplitude esperada do eco também decresce...
    - Na transmissão e logo a seguir, o limiar é alto para evitar uma classificação errônea...

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Sensores Embarcados

- Ultra-som (US)



Sinais de um Sensor Ultra-sônico

Prof.

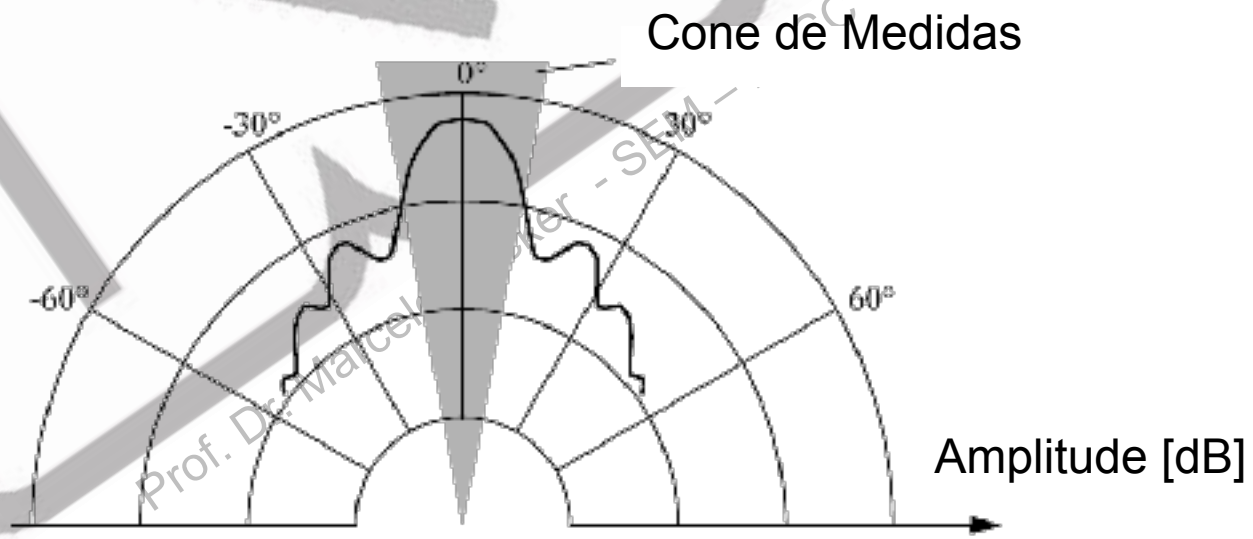
Sensores Embarcados

- Ultra-som (US)
  - Características:
    - Sensor de distância (“tempo de vôo”) com emissão de som;
    - Onda de som gerada por um piezo-transdutor;
    - Tempo morto: o transdutor emite o som alguns ms depois da transmissão inicial e não observa respostas nesse tempo;
    - Freqüência Típica: 40 a 180kHz (audição humana: 20Hz~20kHz);
    - Baixas freqüências correspondem a maiores distâncias (apresentam maiores tempos de pós-transmissão e maiores valores para tempo morto)

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Ultra-som (US)
  - Características:
    - Som propaga-se na forma de um cone, com ângulos de abertura de 20 a 40º.
    - Não se obtém a distância de pontos de dados, mas de regiões (segmentos de arcos de circunferências).

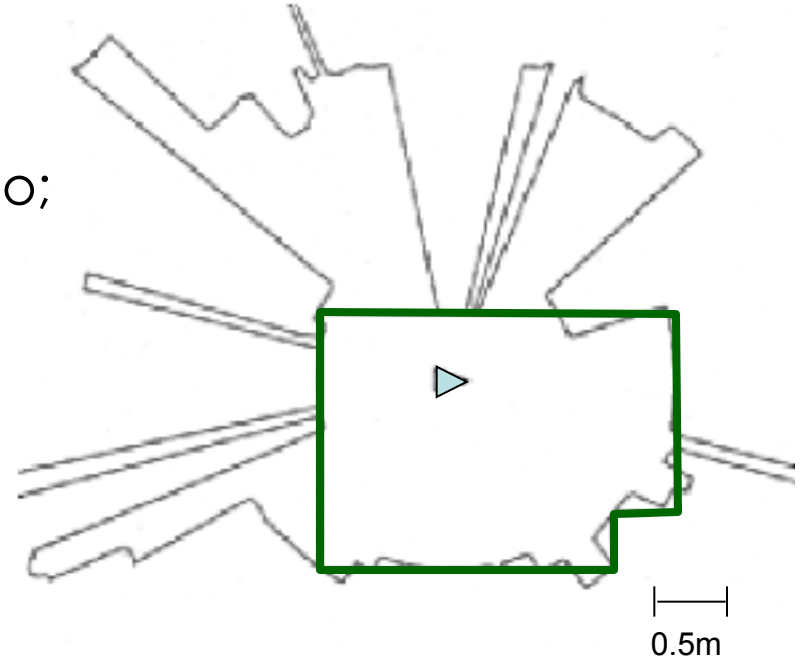


Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Ultra-som
  - Características:
    - Alcance típico: 12cm a 5m.
    - Precisão típica: ~98%.
    - Resolução típica: 2cm.
  - Problemas:
    - Sensível ao ângulo de reflexão;
    - Sensível às propriedades acústicas do material;
    - Sensor de resposta lenta.





Prof. Dr. Marcelo Becker

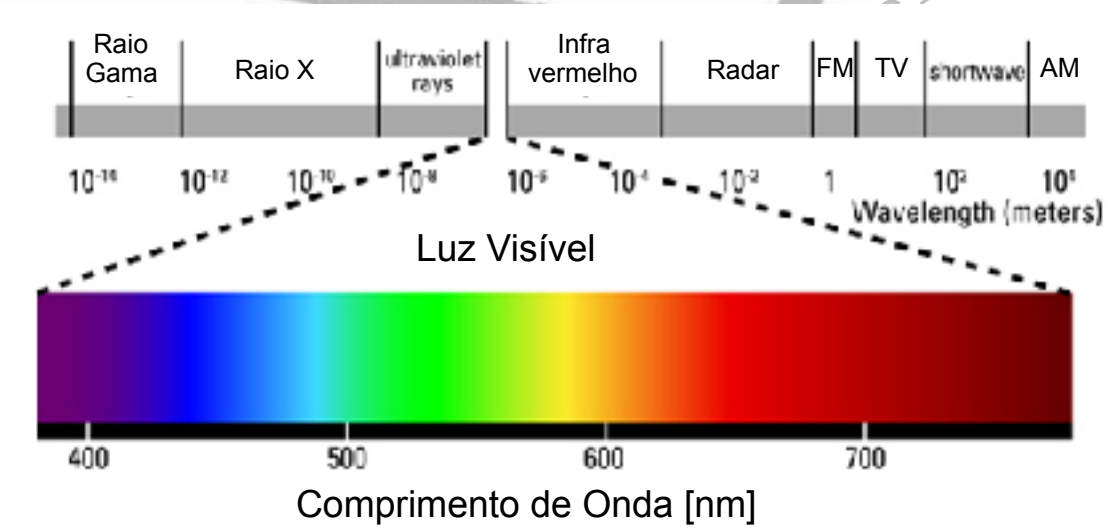
Sensores Embarcados

- Laser
  - Produzem uma estimativa da distância baseada no tempo necessário para a luz (no espectro infravermelho) atingir o alvo e retornar.
  - Sensor baseado em "tempo de vôo" com emissão eletromagnética.
  - Para superfícies com rugosidade maior que o comprimento de onda da luz incidente, ocorre reflexão difusa.
    - Luz é refletida quase isotropicamente – de forma paralela à transmitida...

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Sensores Embarcados

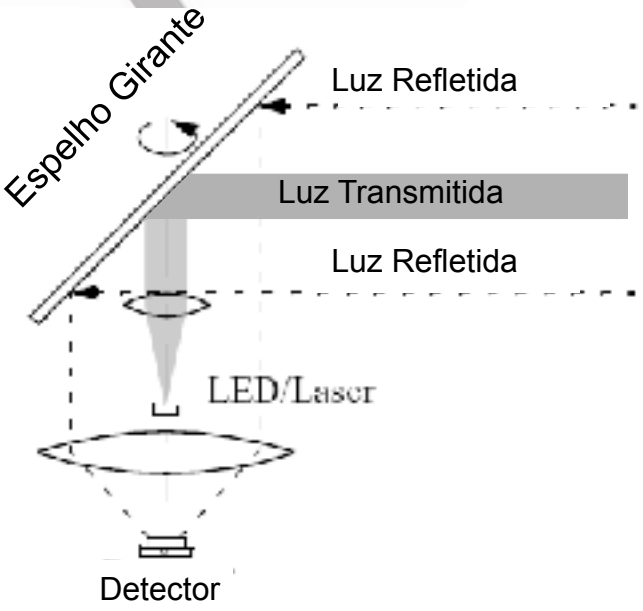
- Laser
  - O comprimento de onda da luz infravermelha é da ordem de 824nm.
  - Apenas superfícies extremamente polidas não apresentam reflexão difusa.



© M. Becker 2017

Sensores Embarcados

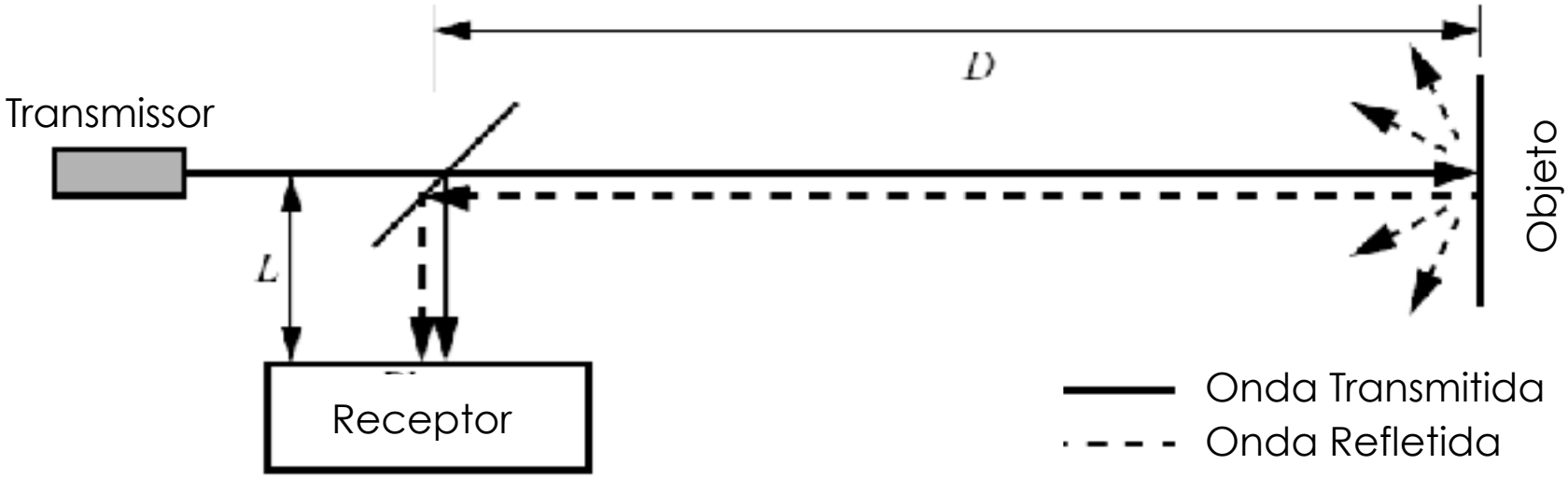
- Laser
  - Exemplo: radar óptico
    - Mecanismo mecânico com espelho girante que direciona o feixe de luz em um plano (scanner 2D) ou tridimensionalmente (scanner 3D).
    - Transmissor que ilumina um alvo com um canhão de luz e um detector coaxial.



Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM

Sensores Embarcados

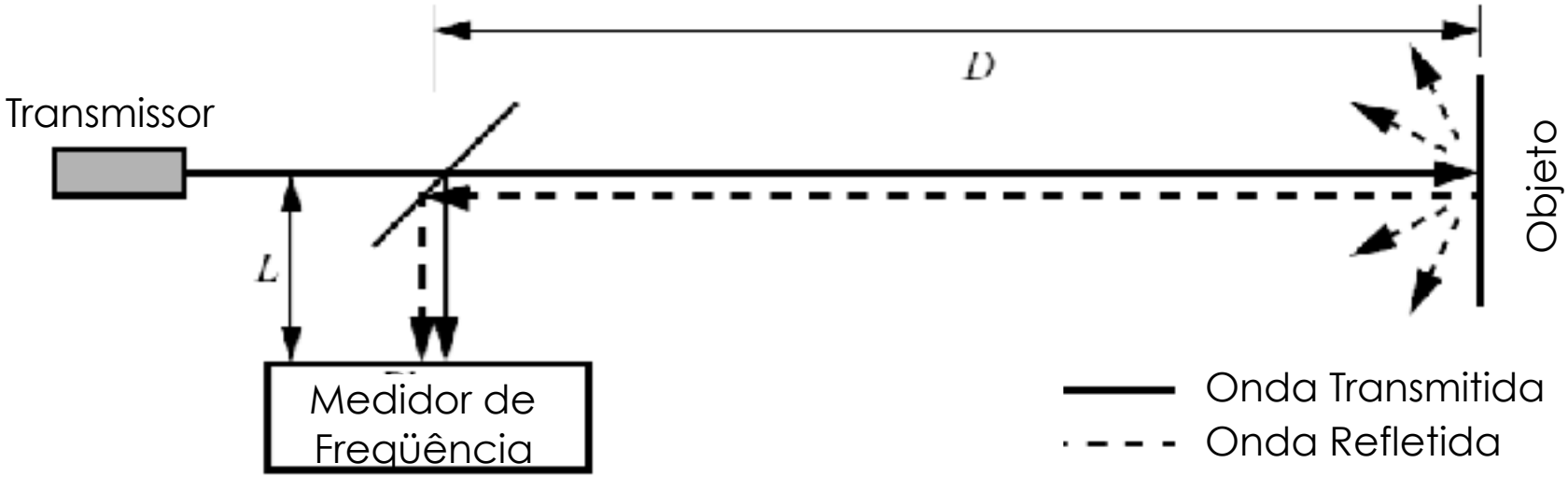
- Laser
  - Métodos Empregados:
    - Emprega-se um laser pulsante e mede-se o tempo (eletrônica tem que ser capaz de fazer isso em ps - custos↑)



© M. Becker 2017

Sensores Embarcados

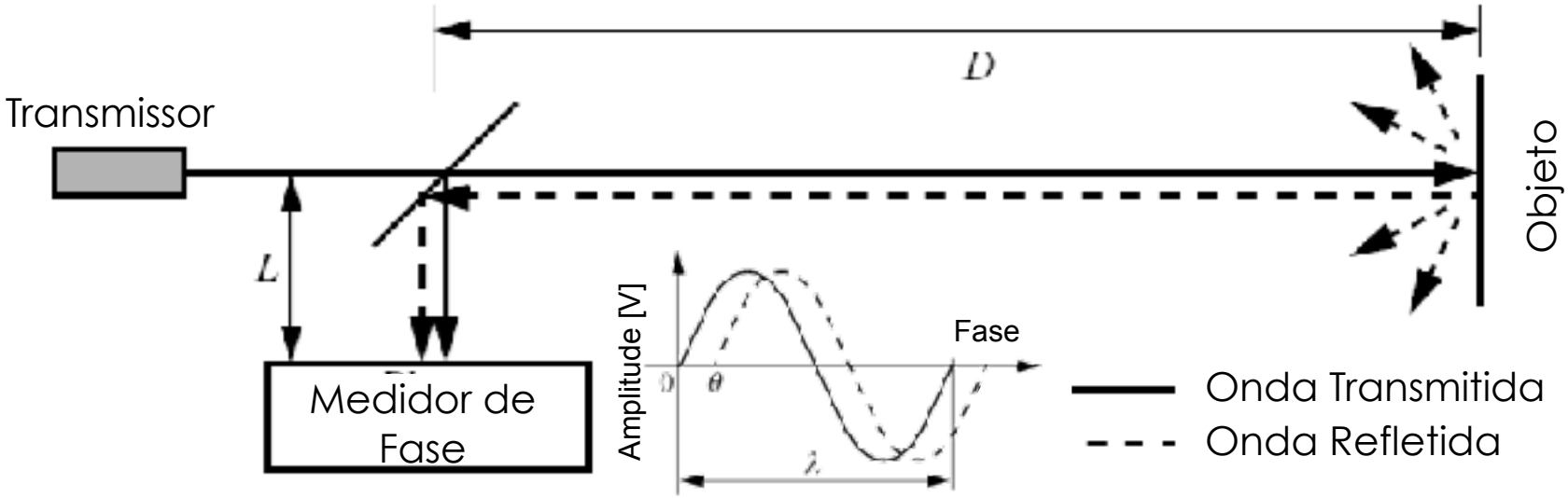
- Laser
  - Métodos Empregados:
    - Emprega-se um laser contínuo e mede-se a freqüência entre a onda modulada emitida e a onda refletida



© M. Becker 2017

Sensores Embarcados

- Laser
  - Métodos Empregados:
    - Emprega-se um laser contínuo e mede-se o deslocamento de fase da luz refletida (mais usual)

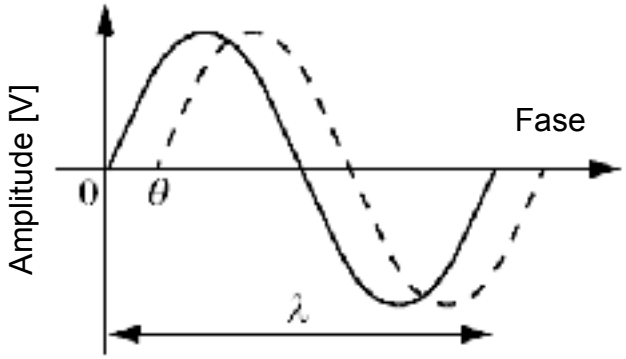


Sensores Embarcados

- Laser
  - Medidor de Fase

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad D' = L + 2D = L + \frac{\theta}{2\pi}\lambda$$

Onde: c: velocidade da luz; f: freqüência modulada; D': distância percorrida pela luz emitida e θ: ângulo de fase.



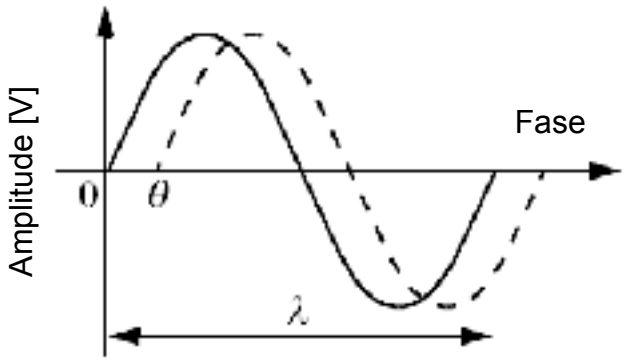
— Onda Transmitida
- - - Onda Refletida

SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Laser
  - Medidor de Fase
    - Para f = 5MHz, tem-se λ = 60m (sensor AT&T)
    - A distância D:

$$D = \frac{\theta}{4\pi}\lambda$$



— Onda Transmitida
- - - Onda Refletida

Sensores Embarcados

- Laser
  - Principais fontes de erro:
    - Precisão do medidor, rugosidade na superfície dos objetos (reflexão), velocidade dos objetos, inclinações e alinhamentos dos objetos, etc.

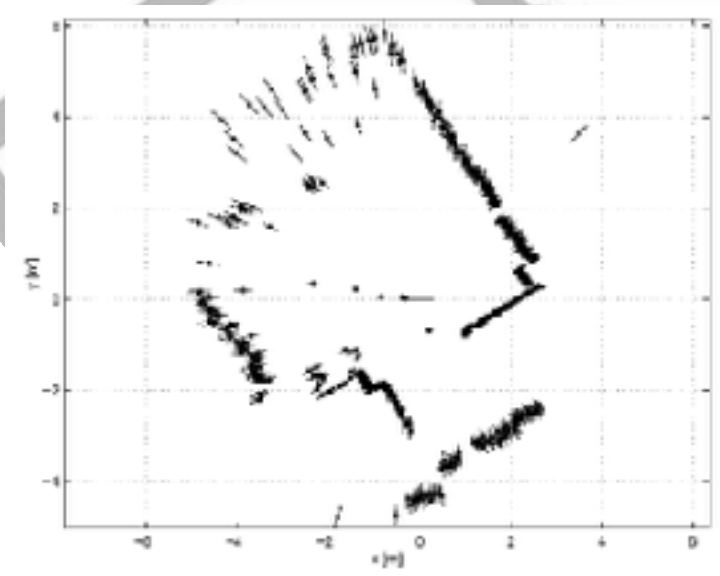


Imagem típica de um scanner laser 2D com espelho rotativo. O comprimento das linhas nos pontos representa a incerteza de medida

M. Becker - SEM - EESC – USP

Sensores Embarcados

- Laser
  - Ambigüidades em medições:
    - O sensor apresenta a mesma saída para entradas diferentes, devido à não linearidade da medida de fase;
    - Objetos negros distantes não produzem boas estimativas;
    - Objetos brilhantes próximos são bem detectados.
  - Características:
    - Resolução angular: da ordem de 0,5°;
    - Resolução em profundidade: ±5cm
    - Alcance: tipicamente de 5cm a >20m (dependendo da luminosidade do objeto);
    - Não detecta objetos extremamente polidos ou transparentes.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Diversos fabricantes...









Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Velodyne HDL-64 E



http://velodynelidar.com/hdl-64e.html

- 64 Feixes
- Range de 120m
- 2,2 milhões de pontos / segundo
- 360º Horizontal FOV
- 26,9º Vertical FOV
- 0,08º resolução angular (azimuth)
- Acurácia de < 2cm
- Resolução vertical aproximadamente de 0,4º

https://www.youtube.com/watch?v=P99eKc2uNJU

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Velodyne HDL-32 E



http://velodynelidar.com/hdl-32e.html

- 32 Feixes
- Range de 80 a 100m
- 700.000 pontos / segundo
- 360º Horizontal FOV
- +10º a -30º Vertical FOV
- 0,1º a 0,4º resolução angular (azimuth)
- Acurácia de ±2cm
- Rotação: 5Hz a 20Hz

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Velodyne HDL-32 E

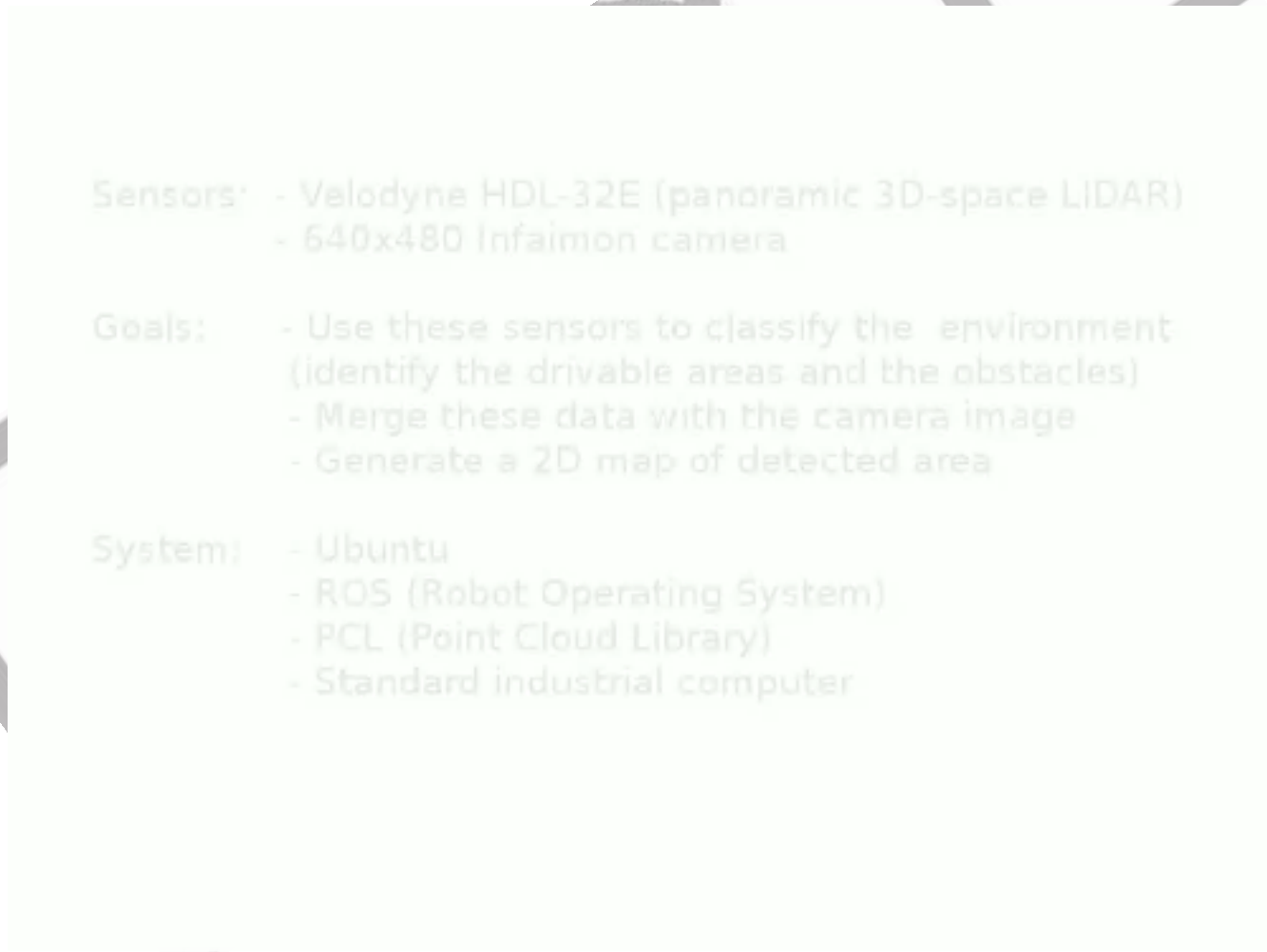




Prof.

Sensores Embarcados

Velodyne HDL-32 E no Projeto SENA



© M. Becker 2017

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Velodyne VLP-16



http://velodynelidar.com/vlp-16.html

- 16 Feixes
- Range de 100m
- 300.000 pontos / segundo
- 360º Horizontal FOV
- ±15º Vertical FOV
- 0,1º a 0,4º resolução angular (azimuth)
- Acurácia de ±3cm
- Rotação: 5Hz a 20Hz

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Hokuyo UTM-30LX



- 1 Feixe
- Range de 30m
- 270º Horizontal FOV
- 0,25º resolução angular
- Acurácia de ±30mm (de 0,1 a 10m)
- 25 msec/scan

https://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/utm_30lx.html

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC – USP

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Hokuyo UTM-30LX





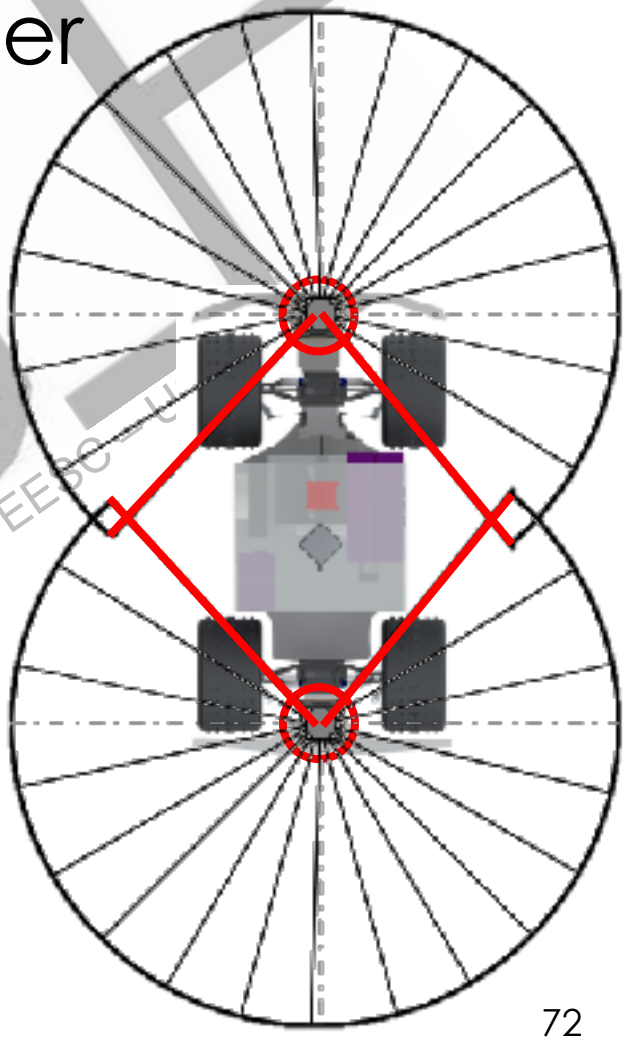
hElvis

Prof. Dr.

Sensores Embarcados

- Exemplos de Sensores Laser
  - Hokuyo UTM-30LX

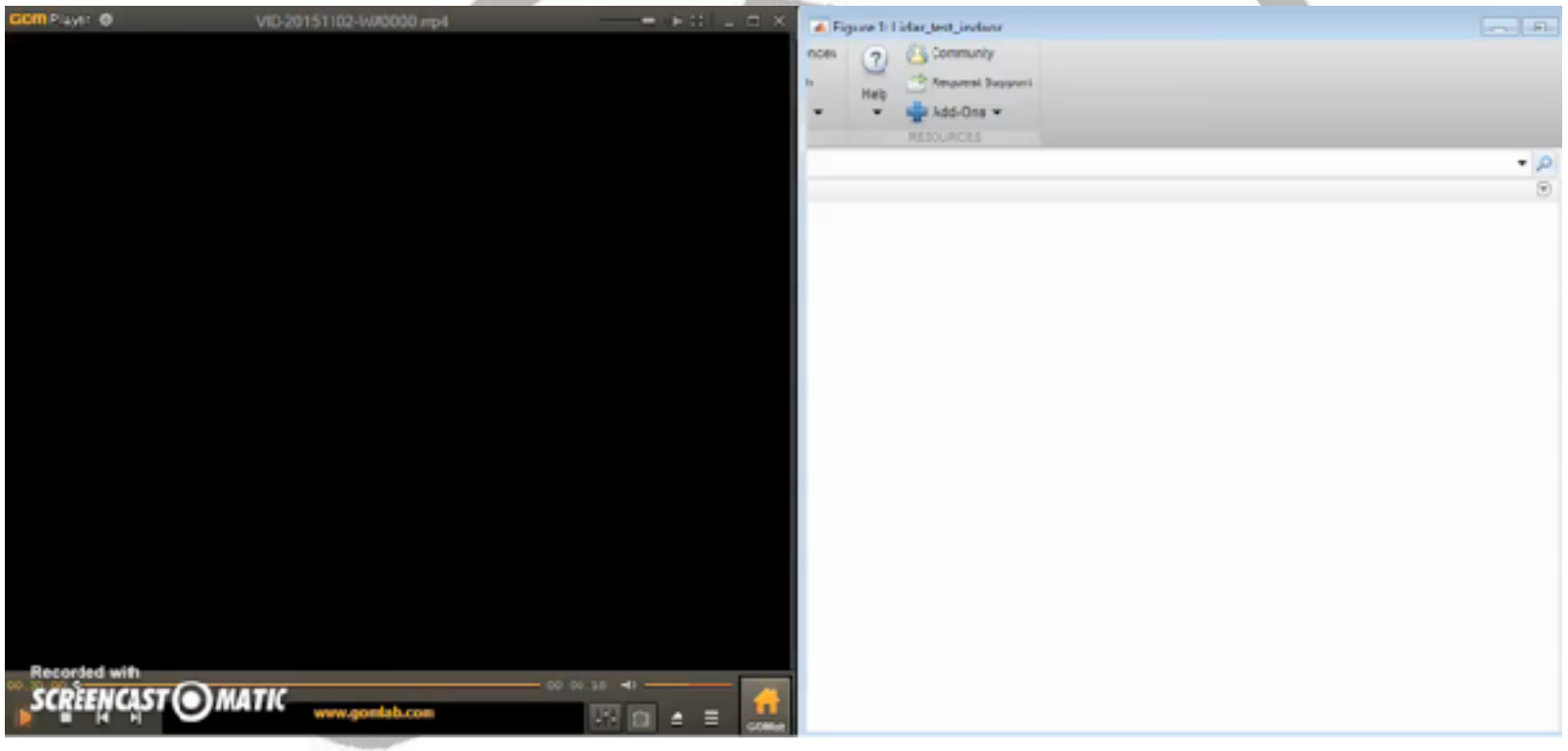




Prof. Dr. Mar

Sensores Embarcados

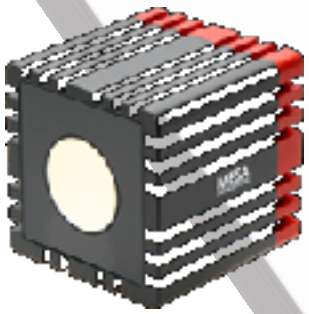
- Exemplos de Sensores Laser
  - Hokuyo UTM-30LX



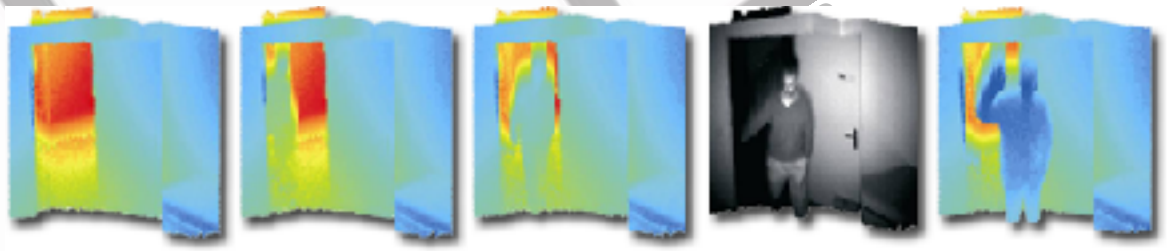
Sensores Embarcados

- "Swiss Camera" – SR4000





MESA IMAGING



Prof. Dr. Marcelo Becker - S

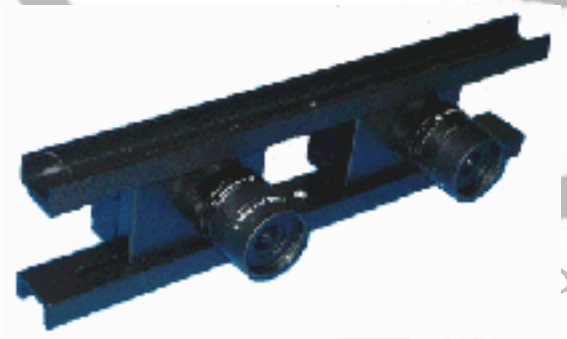
Sumário da Aula

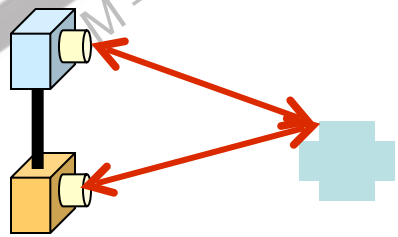
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- **Visão Computacional**
- Bibliografia Recomendada

Prof. Dr. Marc[illegible] - SEM. – EESC – USP

Visão Computacional

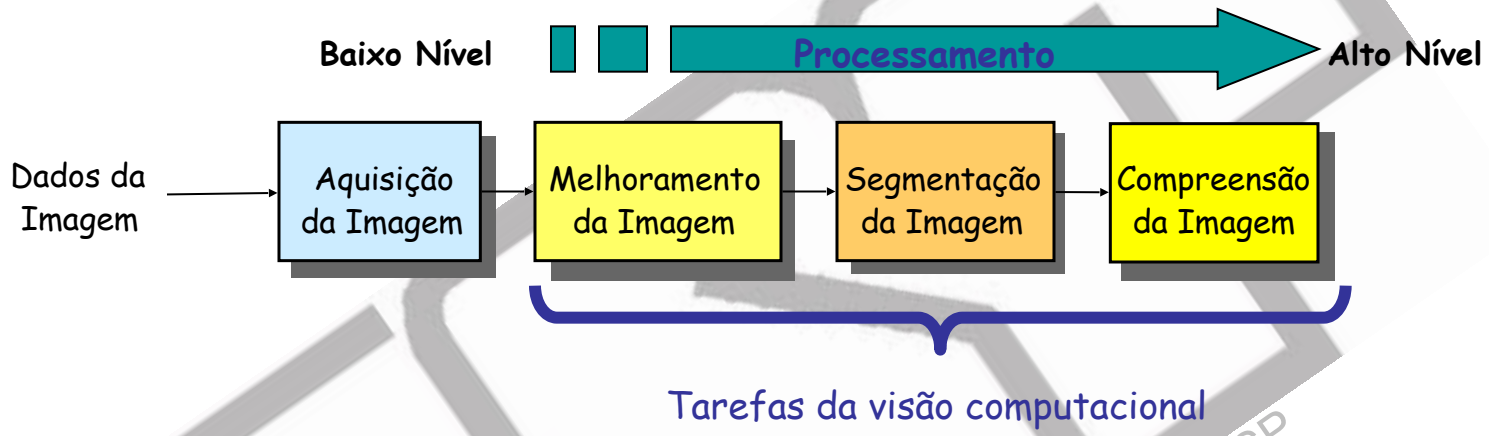
- Visão Computacional (de máquina) dá ao robô a capacidade de observar o ambiente de trabalho e extrair dados dele
  - Visão "Stereo" fornece a noção de perspectiva (triangulação)





Prof. Dr. Marcelo Becker SEM – EESC – USP

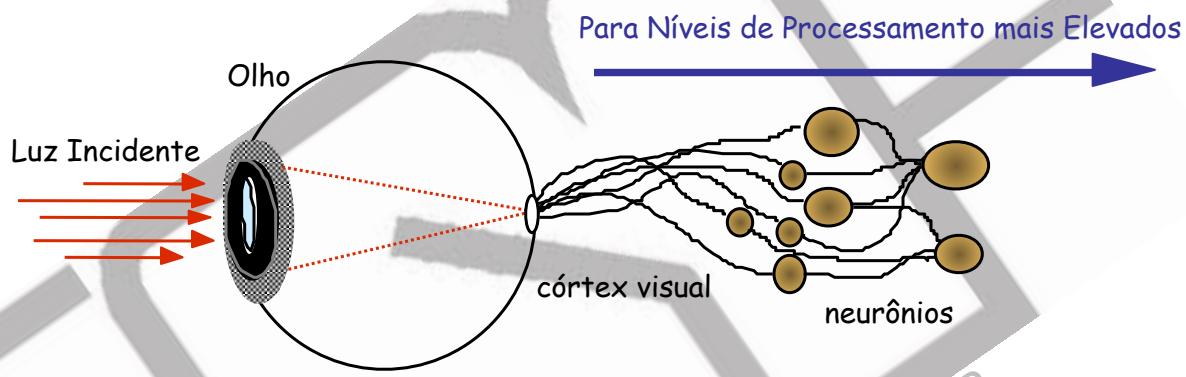
Visão Computacional



- Visão Computacional já é empregada em aplicações robóticas e não robóticas
- Inclui um grande número de diferentes técnicas no campo da engenharia ótica, processamento de vídeo, processamento digital de imagens, reconhecimento de padrões, inteligência artificial e computação gráfica
- O processo básico baseia-se no modelo da visão humana e interação olho-cérebro (*mammalian visual process*)

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

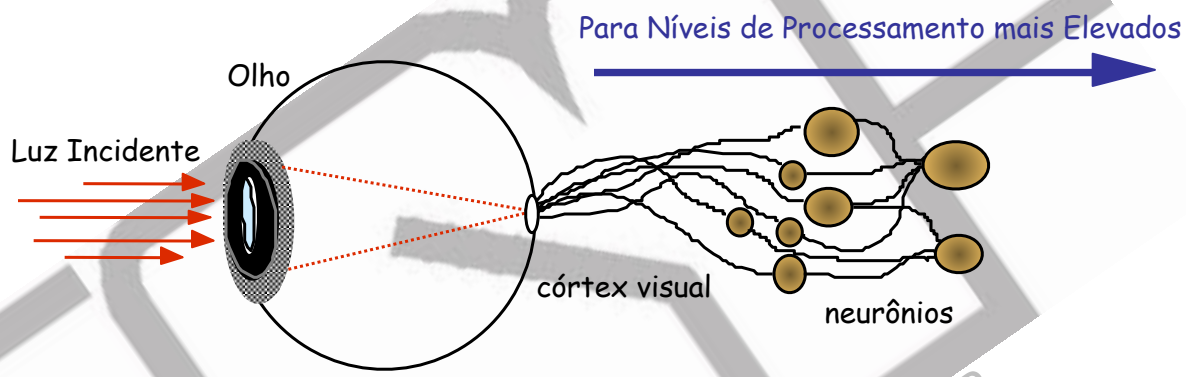
Visão Humana



- A Luz incide na parte receptiva da retina
- Ela é então convertida em sinais elétricos que são enviados através do córtex visual até o cérebro
- Há evidências que sugerem que os dados visuais são comprimidos pelos neurônios no córtex antes de serem processados pois existem muito menos dendritos (conexões) na parte inicial do córtex visual do que nos elementos receptivos da retina

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Visão Humana



- Seres Humanos têm dois olhos, o que lhes proporciona a habilidade de perceber a profundidade de imagens, como descrito inicialmente por Descartes no Século XVII

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Visão Computacional

- Visão é processo de converter informações sensoriais em conhecimento de formas identidades ou configuração de objetos
- Dados anteriores e suas interpretações podem afetar enormemente o processamento dos dados

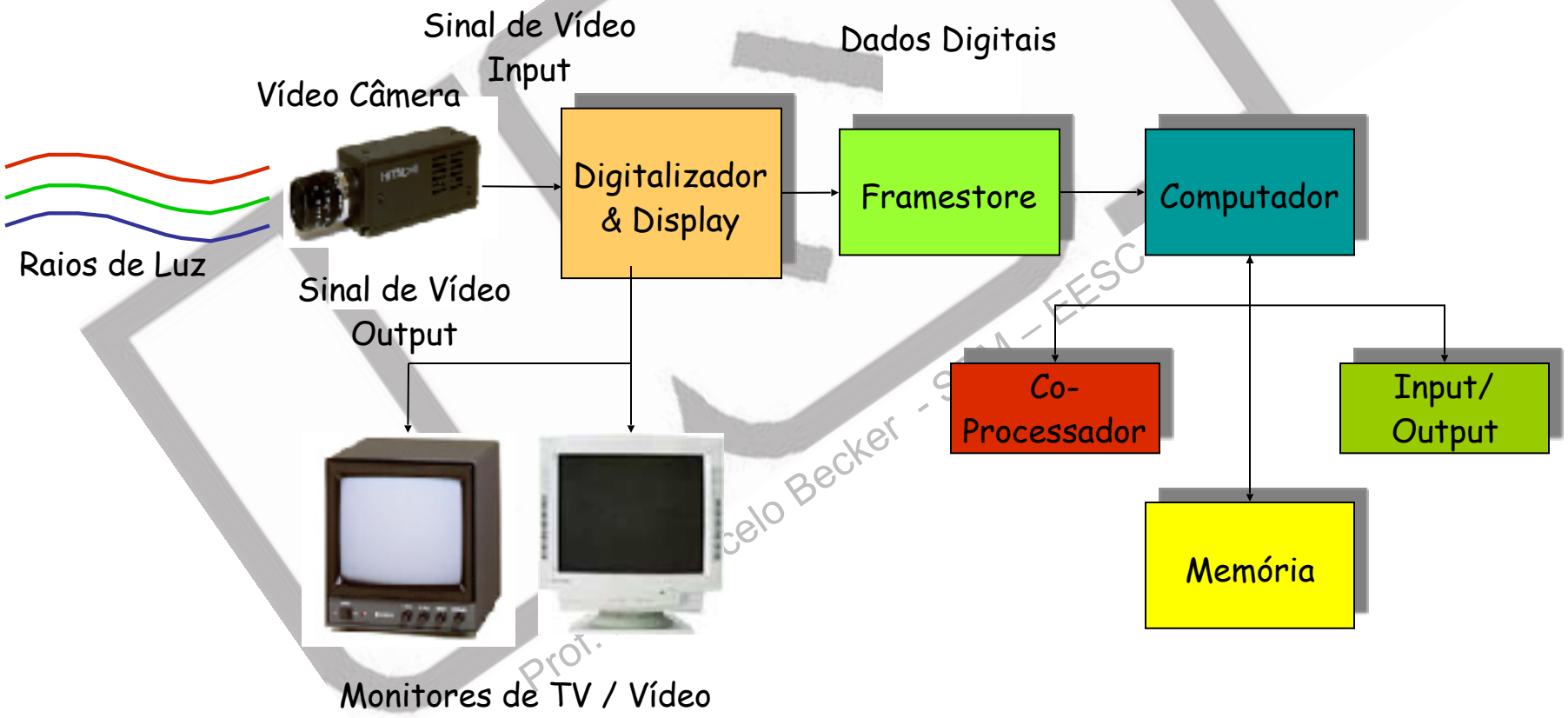
Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Visão Computacional

- "Ver" significa gravar o padrão de luz recebido do ambiente. Isso é:
  - Selecionar o tipo de iluminação
  - Projetar ou Focar a luz na superfície a ser estudada
  - Converter a energia luminosa em química ou elétrica
- Informações dos sensores não são apenas ON ou OFF, as incluem o "quanto"...

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Visão Computacional



Prof. Marcelo Becker - SEM – EESC

Visão Computacional
Iluminação

- Boa iluminação é essencial para a aplicação de Visão Computacional
- Imagens de pouca qualidade dificilmente podem ser corrigidas em estágios posteriores de processamento de imagens
- O controle de iluminação garante o acesso a dados consistentes a serem analisados.

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC_USP

Visão Computacional
Iluminação

- Há vários métodos de iluminação:
  - Iluminação Frontal ("*frontal lighting*") é usada para determinar as características da superfície do objeto,
  - Iluminação tipo "*back-lighting*" é usada para análise de contorno,
  - Iluminação Estruturada ("*structured lighting*") é empregada para extrair geometria 3D de objetos,
  - Iluminação tipo estroboscópica ("*strobe lighting*") pode ser empregada para congelar cenas (p.e.: objetos em uma esteira transportadora).

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Visão Computacional

Tipos de Câmeras CCD



Típica Câmera



Single Board Câmera



Remote Head Câmera

- Sistemas CCD antigos eram grandes, pesados, anti-econômicos (↑$, energia, etc.)
- A miniaturalização resultou inicialmente em "*head 'lipstick' sized cameras*"
- Tecnologias atuais incluem mini-placas com câmeras

Prof. Dr. Marcelo Becker – SEM – EESC – USP

Visão Computacional

Exemplo de Pré-processamento - Inversão



Imagem Real

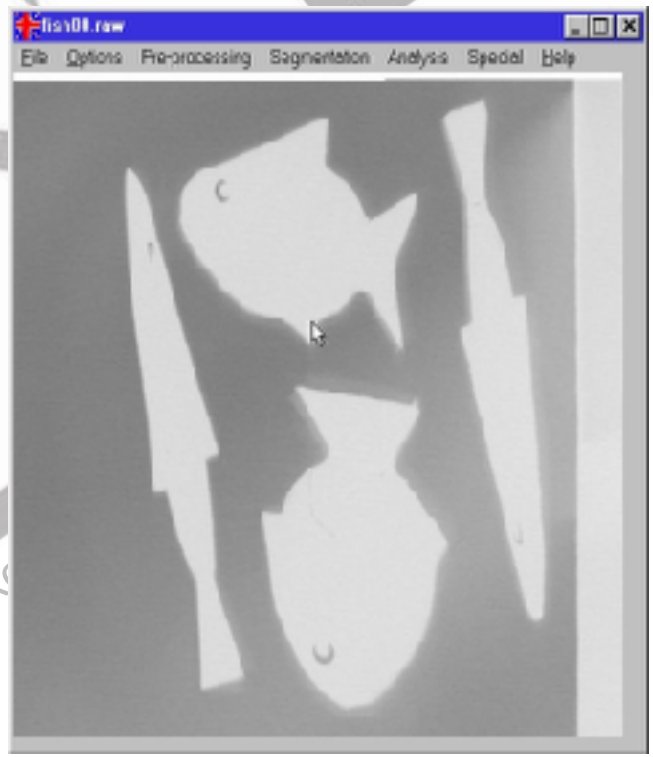


Imagem Invertida

Visão Computacional

Exemplo de Segmentação - Thresholding



Threshold muito baixo (128)

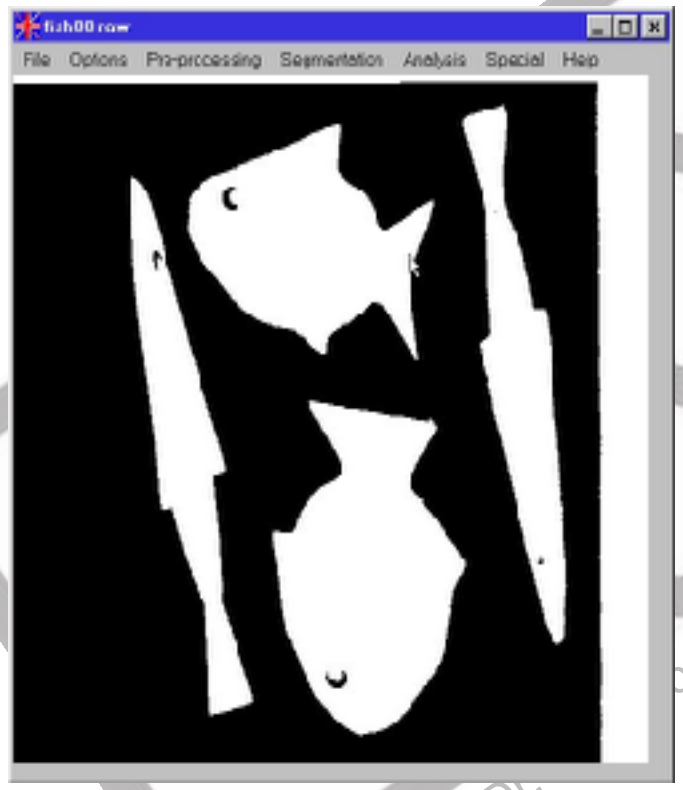


Threshold muito alto (220)

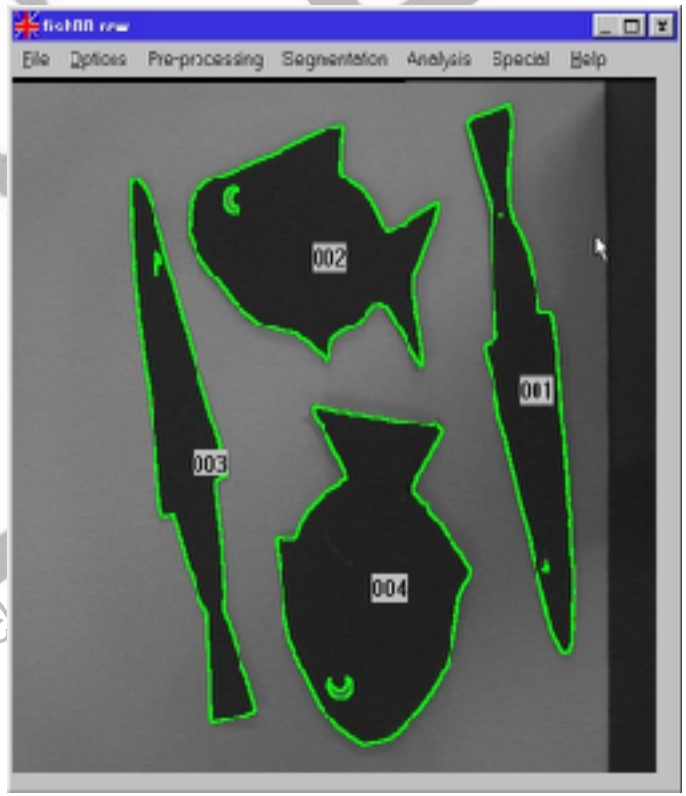
Becker
Prof. Dr. M

Visão Computacional

Exemplo de Análise da Imagem - Detecção



Threshold de 180



Objetos detectados

Visão Computacional

Exemplo de Detecção de Bordas

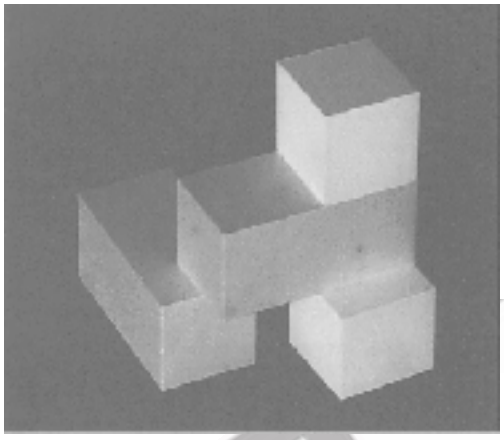
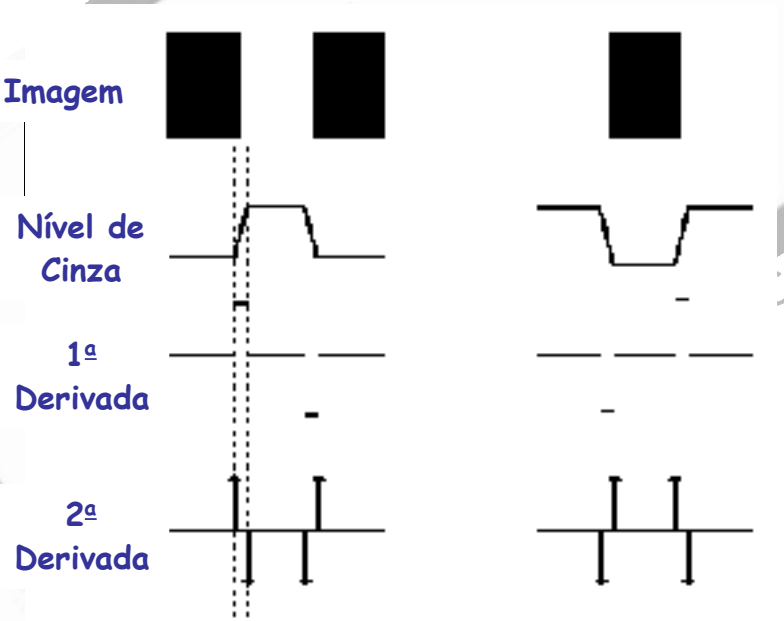


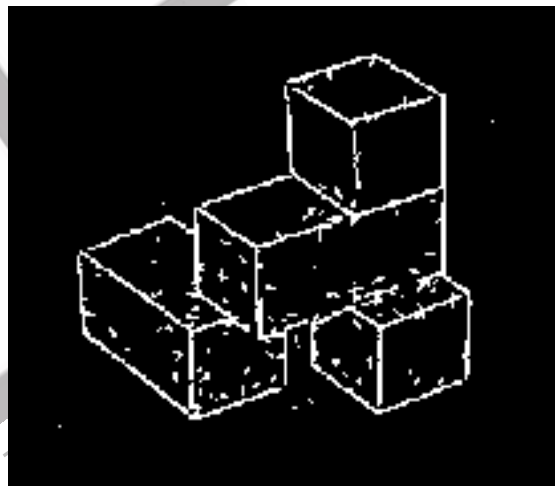
Imagem Real



Imagem Binarizada



Aplicação da Derivada 2ª



Bordas da Imagem

Prof. Dr. Má

Visão Computacional
Exemplo de Aplicações em Robótica

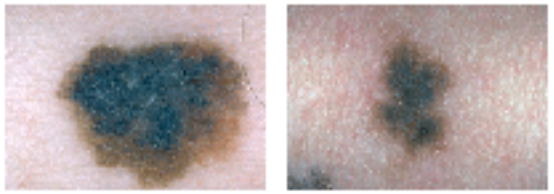
- Operações de "*pick and place*"
- Localização de Peças
- Reconhecimento de Peças
- Inspeção de Peças

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP

Visão Computacional
Exemplo de Aplicações (Gerais)



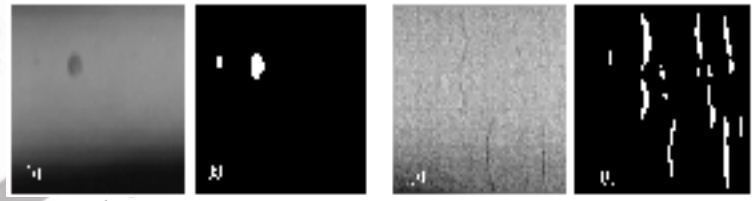
Reconhecimento de Gestos



Classificação de Lesões de Pele



Reconhecimento de Faces



Detecção de defeitos em peças

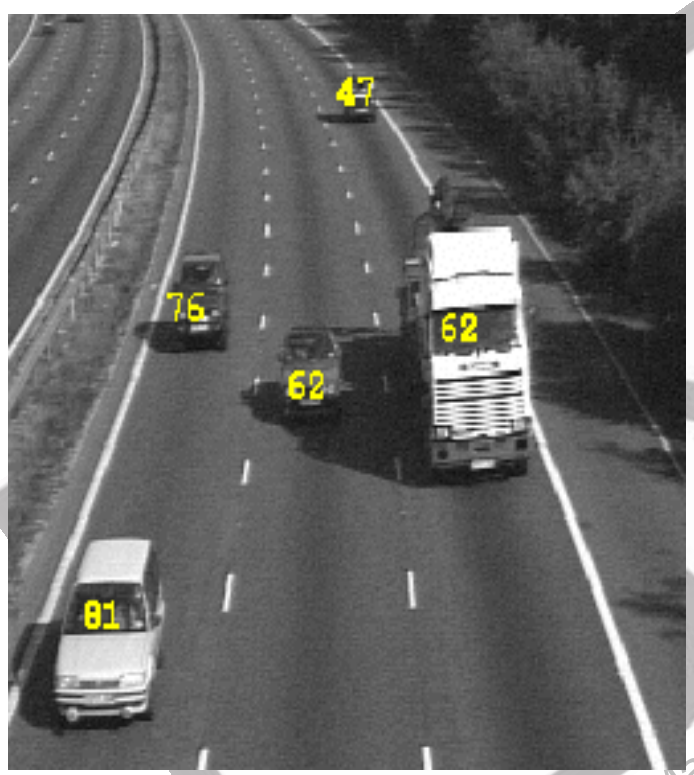


Reconhecimento de escrita manual

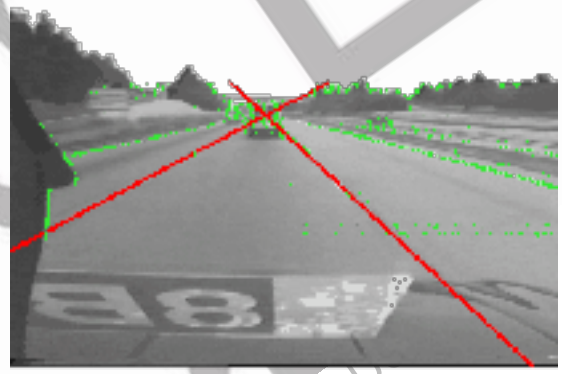
Prof. Dr. Marcelo Becker - USP

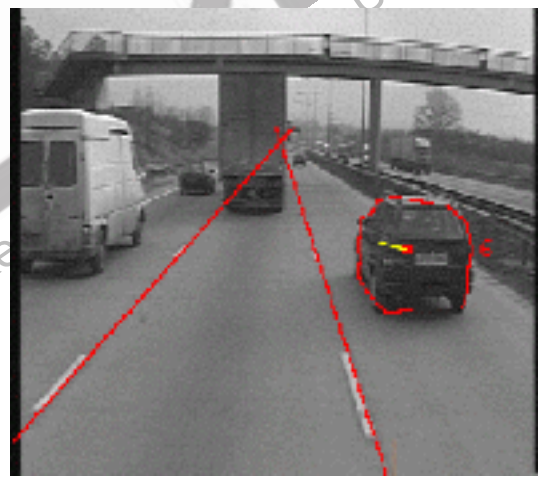
Visão Computacional

Exemplo de Aplicações (Gerais)



Controle de Tráfego e Velocidades



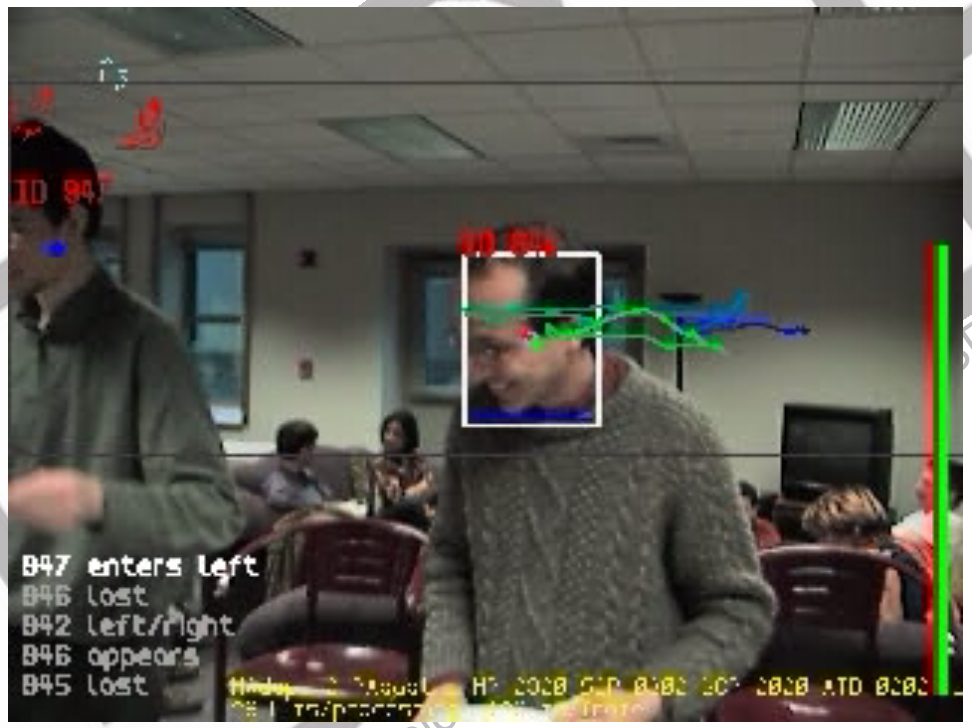


Detecção de linhas e veículos

Prof. Dr. Marcelo Becker

Visão Computacional

Exemplo de Aplicações (Gerais)



Acompanhamento de Pessoas

Prof. Dr. Marcelo

Visão Computacional
Tópicos Avançados

- Visão Colorida
- Visão 3-D
- Análise de Cenas Dinâmicas
- Análise de Cenas Complexas
- Análise robusta de quaisquer Cenas!
- Análise robusta de Cenas coloridas, 3D, em situações dinâmicas!

+ Complexo

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC – USP

Sumário da Aula

- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- [illegible]
- **Bibliografia Recomendada**

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM. – EESC – USP

Bibliografia Recomendada

- **Siegwart, R.** and **Nourbakhsh, I.R.**, 2004, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, 1st Edition, MIT Press, ISBN 0-262-19502-X
- http://www.mobilerobots.org
- **Sandin, P. E.**, 2003, *Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-141200-X
- **Fu K.S., Gonzalez, R.C., and Lee, C.S.G.**, 1987, *Robotics – Control, Sensing, Vision, and Intelligence*, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100421-1
- http:// www.swissranger.ch
- http:// www.automotsys.com.au/encodersmc.html

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM – EESC - USP