



Computação Embarcada

Projeto e Implementação de Veículos Autônomos Inteligentes

Grupo de Pesquisas em Veículos Autônomos - GPVA
<http://www.eletrica.unisinos.br/~autonom>

Dr. Christian R. Kelber

- Eng. Elétrica

Dr. Cláudio R. Jung

- <http://inf.unisinos.br/~crjung>

- **Computação Aplicada / PIPCA**

MSc. Farlei Heinen

- **Eng. da Computação (coord.)**

Dr. Fernando S. Osório

- **Computação Aplicada - PIPCA**



Veículos Autônomos Inteligentes

- Introdução
- Robótica: Autômatos, Robôs Móveis e Robôs Autônomos
- Veículos Inteligentes
- Controle Inteligente de Veículos Autônomos
- Visão Computacional
 - ⇒ Detecção de Saída de Pista
 - ⇒ Detecção de Obstáculos
 - ⇒ Detecção e Reconhecimento de Sinais de Trânsito
 - ⇒ *Navegação Visual* (Controle e Navegação por Imagens)
- Aplicações Práticas



Visão Computacional Aplicada a Veículos Autônomos e Sistemas de Apoio ao Motorista

- Conceito básico: usar visão de máquina (câmera ótica e/ou outros sensores) para obter informações, processá-las e interpretá-las.
- Aplicação em veículos inteligentes: explorar o ambiente ao redor, permitindo navegação autônoma ou auxiliando o condutor.
- Requisito fundamental: rodar em tempo real em sistemas embarcados.

Questões:

- ⇒ Tipo de câmera (monocromática ou colorida, outros sensores)
- ⇒ Número de câmeras (visão mono, estéreo, omnidirecional)
- ⇒ Posição espacial das câmeras

Tradeoff – quantidade de informações x custo computacional



Visão mono



Visão estéreo



Visão omnidirecional



Sistemas de Apoio ao Motorista usando Visão Computacional

- Dado: mais de 50,000 mortos em acidentes de trânsito no Brasil em 2004. Mais de 1 milhão de mortos no mundo todo.
- Principais causas: sonolência, imprudência, má conservação de veículos e estradas
- Possível solução: sistemas de apoio ao motorista e/ou navegação autônoma



Alguns sistemas de apoio ao motorista que podem ser implementados via visão computacional

- Alerta de saída de pista
- Detecção de obstáculos
- Auxílio à ultrapassagem
- Detecção e reconhecimento de sinais de trânsito
- Auxílio a estacionamento
- outros

Detecção de saída de pista

Objetivo: detectar se o veículo apresenta tendência para sair da pista, alertando o condutor

Passo inicial: detectar as fronteiras da pista

Complicadores:

- ⇒ Sombras
- ⇒ Falhas na pintura
- ⇒ Oclusões
- ⇒ Condições climáticas (chuva, neblina, etc.)

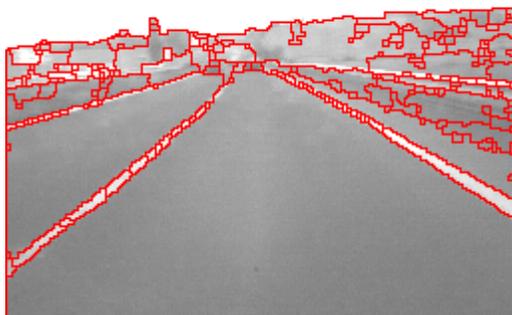




Algumas abordagens utilizadas:

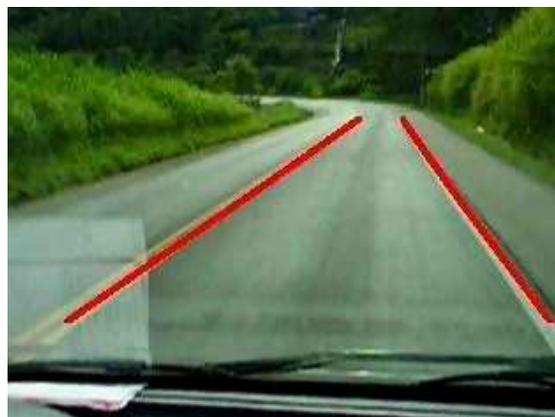
- ⇒ Segmentação por watersheds
- ⇒ *Birds-eye view* (cálculo de perspectiva inversa)
- ⇒ Modelos geométricos deformáveis (lineares, parabólicos, splines, etc.)
- ⇒ Transformada Hough
- ⇒ Outros

Tradeoff: flexibilidade x robustez



Projeto PROMETHEUS: Aplicação de filtro temporal para remover ruído e conectar linhas pontilhadas, e segmentação da pista por watersheds. (Beucher & Bilodeau, IV94)

<http://cmm.ensmp.fr/~beucher/promvid.html>



Detecção das bordas da pista através de um modelo linear-parabólico (linear no near-field e quadrático no far field). Acompanhamento via ajuste por mínimos quadrados nas bordas em uma região de busca. (Jung & Kelber, SIBGRAPI 04).

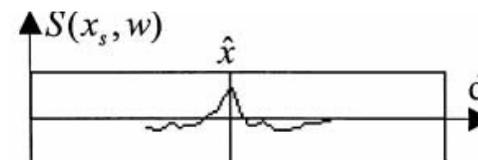


Após a detecção das bordas da pista, deve-se definir uma métrica de afastamento do centro (ou proximidade da borda)

Algumas abordagens:

- ⇒ Cálculo do TLC (*Time for Lane Crossing*)
- ⇒ Orientação local das bordas da pista
- ⇒ Cálculo do desvio do eixo central (*lateral offset*)

Tradeoff: coordenadas de imagem x coordenadas de mundo



Uso de uma EDF (*Edge Distribution Function*) para estimar a orientação local das bordas da pista. Alerta de saída de pista quando uma medida de simetria do EDF excede um certo limiar. (Lee, CVIU 02)

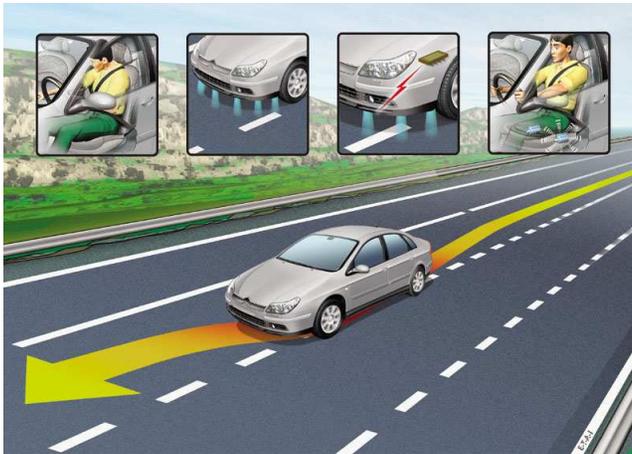


Usando o a parte linear do modelo linear-parabólico, calcula-se a orientação de ambas bordas da pista. Computa-se uma medida de simetria, e um alarme é emitido se o afastamento excede um certo limiar. (Jung & Kelber, IV 04).



Usando o a parte linear do modelo linear-parabólico, uma medida do afastamento lateral do centro da pista é obtido, e alarme é emitido se o afastamento excede um certo limiar. (Jung & Kelber, ITS 05).

Alguns Sistemas comerciais de LDW (*Lane Departure Warning*):



Citröen: sensores infra-vermelho na parte inferior do pára-choque detectam a pintura branca na estrada. O assento do condutor vibra se é detectada saída de pista.

<http://www.citroen.com/CWW/en-US/TECHNOLOGIES/SECURITY/AFIL/>



Iteris: sistema de saída de pista baseado em visão. O autofalante emite um som no respectivo lado se é detectada saída de pista.

http://www.iteris.com/av/na_commercial.html



Detecção de Obstáculos

Objetivo: detectar (e reconhecer, se possível) objetos que possam colidir com o veículo

Algumas abordagens:

- ⇒ **Análise de imagens estáticas:** processamento rápido, e independem do movimento do veículo; entretanto, não exploram a continuidade temporal no movimento do obstáculo.
- ⇒ **Fluxo óptico:** detecção de obstáculos genéricos e o cálculo de velocidades relativas; entretanto, têm custo computacional alto e sensibilidade a movimentos do veículo e calibragem de câmera.
- ⇒ **Visão estéreo:** noção de profundidade, permitindo análise 3D; entretanto, têm custo computacional complexo, e são sensíveis a parâmetros de câmera.
- ⇒ **Reconhecimento de objetos por forma:** detecções mais robustas, com poucos falsos positivos; entretanto, podem apresentar falsos negativos;
- ⇒ **Outros sensores:** radar e laser auxiliam na detecção, mas a fusão de sensores requer o registro das imagens



Técnicas normalmente customizadas para:

1) Detecção de outros veículos



Projeto ARGO, sistema GOLD: visão estéreo para detecção das bordas da pista e detecção de obstáculos (Bertozzi & Broggi, TIP 98)

<http://millemiglia.ce.unipr.it/ARGO/english/index.html>



Projeto SAVVA: modelo geométrico deformável para veículos, ajustados via algoritmos genéticos. Funciona em conjunto com detector das bordas da pista (Collado et al, IV 2004)

http://www.uc3m.es/uc3m/dpto/IN/dpin04/ISL/IVVI_eng.html

2) Deteção de pedestres



SISTEMA CHAMFER: modelo de objeto deformável e flexível, adaptado para detecção de pedestres com um prévio treinamento. Ajuste hierárquico garante um rápido processamento.

http://www.gavrila.net/Computer_Vision/Research/Chamfer_System/chamfer_system.html



SISTEMA PROTECTOR: usa visão estéreo para detectar objetos, modelo deformável para achar pedestres, validação por redes neurais e informações de textura, acompanhamento e estimativa de colisão. (Gavrila et. al, IV 2004)

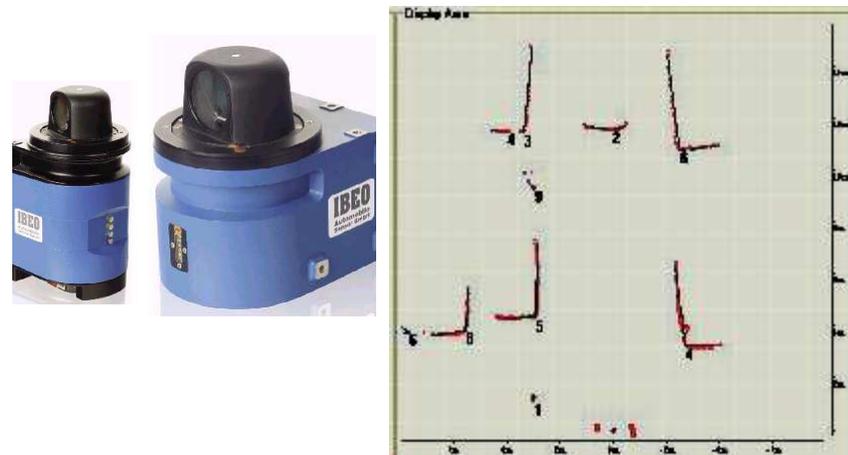
http://www.gavrila.net/Computer_Vision/Research/Chamfer_System/chamfer_system.html

Outros sensores normalmente usados para detecção de objetos:

Radar



Laser-Scanner





Sistemas de detecção de obstáculos desenvolvidos por empresas:



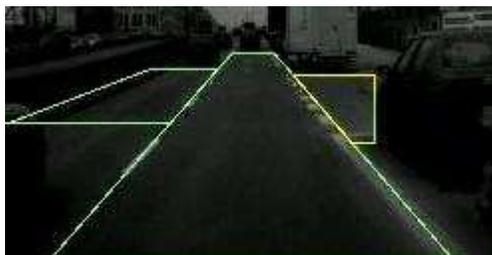
Iteris: sistema integrado de detecção das bordas da pista e detecção de obstáculos, com estimativas de distâncias em coordenadas de mundo.



Outras aplicações da detecção de obstáculos em sistemas de apoio ao motorista:



Auxílio na ultrapassagem usando radar



Detecção de espaços livres na faixas vizinhas
(Universidade de Bochum, Alemanha, em parceria com empresas da indústria automobilística)

<http://www.neuroinformatik.ruhr-uni-bochum.de/thbio/group/vision/driver/index.html>



Sistema de monitoramento combinado de pista e do condutor (Australian National University)

http://users.rsise.anu.edu.au/~rsl/rsl_demos.html



Detecção e Reconhecimento de Sinais de Trânsito

Objetivos:

- ⇒ Detecção: identificar um sinal de trânsito em uma imagem ou seqüência de vídeo
- ⇒ Reconhecimento: classificar o sinal de trânsito detectado a partir de uma base de imagens conhecida.

Características fortemente exploradas:

- ⇒ Geometria
- ⇒ Cor
- ⇒ Posição na imagem (em conjunto com detecção das bordas da pista)

Particularidades e Problemas

- ⇒ Como explorar a informação de cor ? Diversos espaços de cores utilizados (RGB, HSV, outros)
- ⇒ Informação cromática prejudicada em trajetos noturnos.
- ⇒ Como tratar oclusão das placas ?
- ⇒ Embora a geometria das placas seja conhecida no mundo real, a imagem projetada depende do ângulo de visão
- ⇒ Detecção da pista e de placas de trânsito integradas: menor espaço de busca, mas custo da detecção da pista
- ⇒ Em geral, cores e geometria de cada tipo de placa podem variar de país para país



Oclusão parcial



Rotação



Perspectiva

Exemplos de Sinais de Trânsito Brasileiros



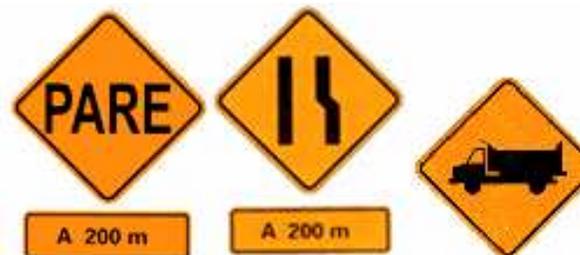
Advertência



Indicação



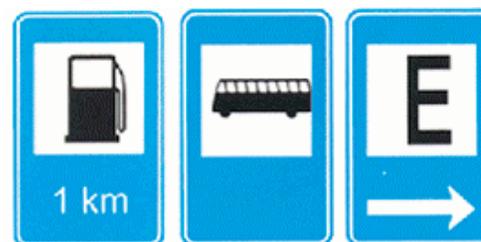
Educativas



Obras



Regulamentação



Serviços Auxiliares



Detecção de placas de trânsito em imagens monocromáticas É baseada em forma, detecta polígonos regulares (e.g. triângulos, quadrados e octógonos). Usa uma técnica de votação similar à Transformada Hough genérica, mas com potencial para tempo-real. (Loy & Barnes, IROS 2004).



Projeto SAVVA: limiarização de cores no espaço HSV, seguido de algoritmos genéticos para segmentação. Para o reconhecimento, são usadas redes neurais. (Escalera et. Al., IMAVIS 2003)



Sistema de detecção de sinais de trânsito baseado em forma. Usa imagens monocromáticas, explora a transformada distância e roda em tempo-real. (Gavrila, DAGM 1999)



Ambiente Virtual Para Testes



Aglaia: ambiente virtual, permitindo o cálculo preciso de distâncias, orientações e curvatura em coordenadas de mundo.

http://www.aglaia-gmbh.de/english/rooms/picroom_prototypen_testumgebung.html



Visão Computacional e Navegação Autônoma

Objetivo: Navegação de veículos sem supervisão humana.

Aplicações:

- ⇒ Otimização de sistemas de transporte
- ⇒ Realização de tarefas de risco (remoção de minas terrestres)
- ⇒ Exploração espacial
- ⇒ Tarefas domésticas (aspirador de pó inteligente, etc.)



Aspirador de pó Roomba



Spirit, NASA



Detecção de obstáculos baseada em
visão computacional (Australian National
University)

http://users.rsise.anu.edu.au/~rsl/rsl_demos.html



Navegação visual: robô móvel, câmera
embarcada e iPAQ. Baseado em *template
matching* (Israel Institute of Technology)

<http://visl.technion.ac.il/projects/2004w19/>

Robô autônomo ASIMO (Honda)



Perseguição de objetos
em movimento



Reconhecimento de
postura



Reconhecimento de
face



Detecção de
obstáculos

<http://world.honda.com/HDTV/ASIMO/index.html>

DARPA Grand Challenge

Desafio proposto pela DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), no qual veículos não-tripulados deveriam percorrer uma certa distância sem interferência externa. A navegação deve ser baseada em sensores, e os veículos devem ser capazes de superar obstáculos naturais e artificiais em um tempo estipulado.

2004: prêmio de U\$ 1.000.000,00 - sem vencedor

2005: prêmio de U\$ 2.000.000,00 - competição em outubro



<http://www.darpa.mil/grandchallenge/index.html>

Sistemas de Visão Embarcados



Sistema de visão da CMU (Carnegie-Melon University). Fortemente baseado em detecção de cores

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



Módulo de visão embarcada (color) do Khepera. Calcula médias e limiares.

<http://www.k-team.com/robots/khepera/k6300.html>



Alguns Periódicos e Conferências

- IEEE Transactions on Image Processing (TIP)
- IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI)
- IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems (TITS)
- Autonomous Robots (AR)
- Real-Time Imaging (RTI)
- Image and Vision Computing (IMAVIS)
- Pattern Recognition (PR)
- Pattern Recognition Letters (PRL)
- IEEE Symposium on Intelligent Vehicles (IV)
- IEEE Symposium on Intelligent Transportation Systems (ITS)
- Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)
- International Conference on Computer Vision (ICCV)
- International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)
- International Conference on Robotics and Automation (ICRA)
- IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent System (CIS)
- Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens (SIBGRAPI)