

NAVEGAÇÃO DE VEÍCULOS DE CARGA AUTÔNOMOS UTILIZANDO VISÃO COMPUTACIONAL COM ALGORITMO DE SEGMENTAÇÃO POR CORES

Farlei Heinen

farlei@exatas.unisinos.br
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Christian R. Kelber

kelber@eletrica.unisinos.br
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Cláudio R. Jung

crjung@exatas.unisinos.br
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Fernando Santos Osório

osorio@exatas.unisinos.br
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Abstract

In a dynamically changed environment, where the interaction between the vehicles occur in a real time basis, the use of computer vision with color based region segmentation techniques leads to appropriate results. The objective of the present vision system is to enable an autonomous vehicle to follow a leader vehicle by determining the distance and the relative position between both. The system uses, besides the onboard computer, a video camera (or webcam) and color rectangular marks placed on the vehicle to be followed.

Resumo

Em um ambiente dinâmico, onde a interação com outros veículos acontece em tempo real, a utilização de técnicas de visão computacional com segmentação de regiões por cores possibilita um desempenho adequado. O objetivo do presente sistema de visão é permitir que um veículo seja capaz de, autonomamente, seguir outro veículo a sua frente, determinando a distância e a orientação relativa entre ambos os veículos. O sistema utiliza, além do computador de bordo, uma câmera de vídeo e marcações retangulares coloridas instaladas na traseira do veículo a ser seguido.

Palavras Chave: Visão Computacional, Veículos Autônomos, Controle Aplicado

1. INTRODUÇÃO

A automatização de sistemas de transporte de peças entre linhas de produção e depósitos pode ser realizada com AGVs (*Autonomous Guiding Vehicles*), que utilizam, por exemplo, sensores eletromagnéticos rastreadores de cabo-guia, como visto nos veículos das Figura 1a e 1b. Independente da estrutura mecânica empregada no veículo, seja ela do tipo *Ackermann* simplificada, como visto na Figura 1a, ou com tração diferencial, visto na Figura 1b, este tipo de solução, embora robusta, apresenta, por princípio, certas restrições quanto a sua flexibilidade, uma vez que, para alterar-se os caminhos a serem percorridos, todo um novo investimento de marcação de pista deve ser realizado.

Uma alternativa viável seria a utilização de veículos de uso misto, que tanto podem ser guiados por uma pessoa, como também podem trafegar de forma autônoma, seguindo o veículo da frente. Tem-se, desta forma, uma estrutura com veículos independentes, que podem vir a formar um comboio, sendo apenas o primeiro dirigido por uma pessoa.

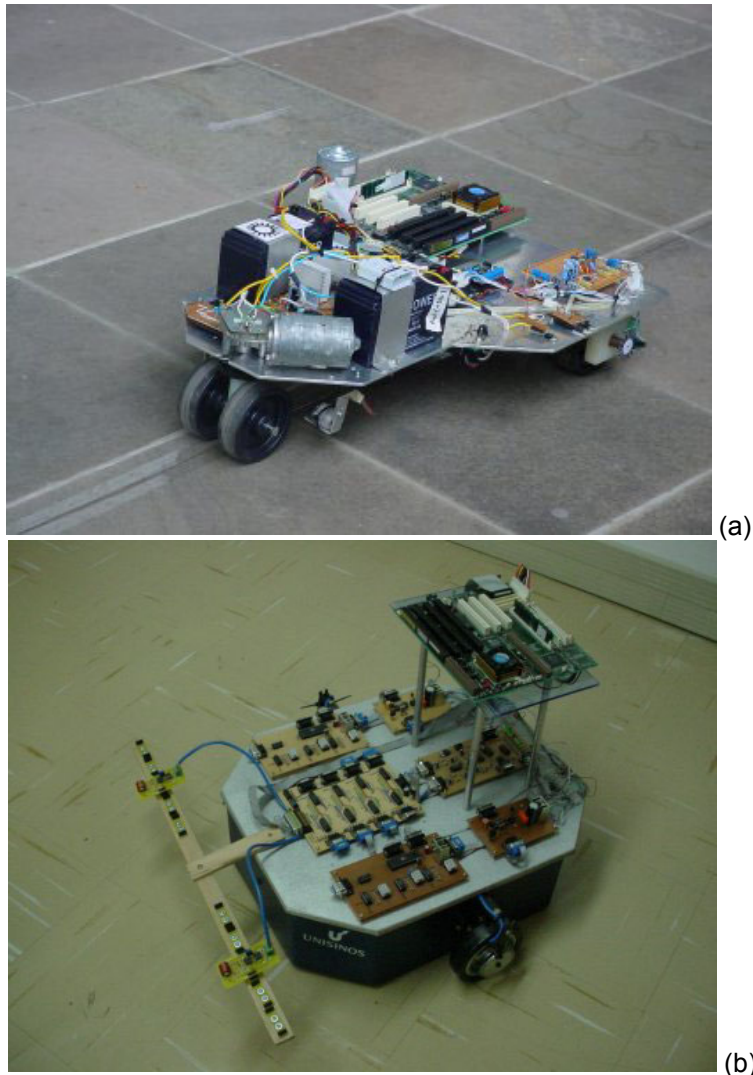


Figura 1 – Veículos Auto-Guiados (AGVs) com (a) estrutura de *Ackermann* e (b) atuador diferencial

2. INSTRUMENTAÇÃO BASEADA EM VISÃO COMPUTACIONAL

A utilização da visão computacional como técnica de instrumentação em aplicações embarcadas vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas. Graças ao desenvolvimento de novos tipos de câmera e de processadores digitais de sinais específicos para tratamento e processamento de imagens [1], aplicações para o apoio ao motorista [2], tais como detecção de borda e alerta de saída de pista (*Lane Detection & Lane Departure Warning*) [3], apresentado na Figura 2a detecção de obstáculos, mais especificamente de pedestres [4][5], identificação de placas de trânsito, bem como sistemas de navegação autônoma [7][8] encontram-se em fase avançada de desenvolvimento, ou em fase final de confecção de produto [5].

Em linhas de produção ou em aplicações de robótica móvel, por outro lado, sistemas de visão computacional podem ser utilizados para a detecção e o reconhecimento de objetos [9][10], exemplificado na identificação de peças de jogo na Figura 2b.

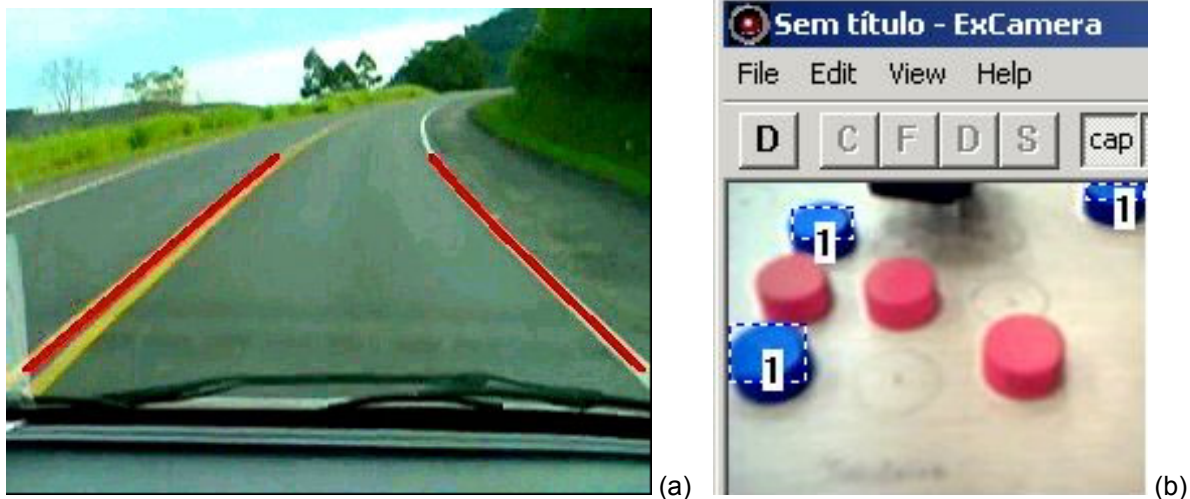


Figura 2 – Aplicações baseadas em visão computacional: (a) Detecção de pista, (b) Identificação de objetos

Dentre as diferentes técnicas de processamento de imagens destaca-se a utilização de técnicas de visão computacional com segmentação de regiões por cores.

3. DETECÇÃO DAS MARCAÇÕES E PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Em Processamento de Imagens, segmentar consiste em identificar e extrair estruturas homogêneas presentes em uma cena, sendo a eficiência deste processo diretamente relacionada ao desempenho final da análise automática de imagens. Não é possível uma teoria completa sobre segmentação de imagens.

A grande maioria das técnicas disponíveis são “ad hoc” e diferem entre si nas propriedades que enfatizam, como contornos e regiões fechadas [15]. A dificuldade normalmente encontrada está no fato de não haver conhecimento a priori do número e tipo de estruturas presentes na imagem. Estas são identificadas a partir de características como forma, geometria, topologia, textura, cor ou brilho, sendo escolhidas aquelas que possibilitam melhor distinção.

O atributo cor possui um grande poder discriminatório, sendo por isso freqüentemente utilizado na identificação de estruturas ou objetos. Em diversas aplicações o homem faz uso da informação cor. Isto se deve ao aumento da capacidade de discernimento visual, quando a cor está presente.

Um sistema de visão computacional foi desenvolvido para possibilitar que, utilizando uma vídeo câmera ou webcam, seja possível identificar uma marcação colorida em um veículo. A detecção da marcação possibilita que um determinado veículo possa seguir outro veículo a sua frente.

A marcação consiste em um retângulo branco, com 3 quadrados de cores diferentes dispostos horizontalmente. A distância entre os quadrados é a mesma.

A marcação possui 3 cores diferentes para que seja possível diferenciá-la de outros objetos coloridos que possam existir no ambiente. Não é somente a cor que determinam a marcação, e sim a posição relativas entre elas.

3.1 Calibração das cores

Um processo de calibração de cor é necessário para adaptar o processo de segmentação às cores selecionadas para a marcação, e para a iluminação no ambiente de atuação dos veículos. Um software foi desenvolvido especialmente para a calibração das cores.

No software são selecionadas as imagens mais representativas obtidas no ambiente de atuação, e então o usuário deve indicar a cor selecionada nas marcações. O software de calibração cria

automaticamente um intervalo que inclua aquela determinada componente dentro de um espaço de cores equalizado.

Desta forma é possível escolher as cores que mais facilmente se adaptam ao ambiente de operação dos veículos. O sistema de segmentação irá identificar somente as cores calibradas.

3.2 Pré-processamento

Como é necessário destacar as diferenças entre as componentes do espaço de cores RGB, antes da imagem capturada ser processada pelo sistema de segmentação é realizado uma etapa de pré-processamento que ressalta a componente (vermelho, verde ou azul) que mais se destaca em cada pixel da imagem. Este pré-processamento é executado intensificando em um determinado grau a componente mais significativa - a componente de maior valor.

3.3 Segmentação

A segmentação das cores foi implementada com o algoritmo proposto em [14], chamado CMVision. Este algoritmo permite que, em tempo real, seja possível identificar até 32 cores diferentes.

A segmentação de imagens coloridas através do processo de classificação de cores é um processo que segmenta as imagens se baseado nos atributos de cor dos pixels. O problema a ser tratado diz respeito à obtenção de uma classificação de cores tão próxima à humana quanto possível. Em outros termos, busca-se uma classificação robusta à variação de grandezas como a iluminação ou brilho da cor, além de ser tolerante a erros no processo de amostragem.

O algoritmo CMVision utiliza um processo de segmentação de imagens (blob coloring) baseado em cores, capaz de rastrear múltiplos objetos de diversas cores. Por utilizar o espaço de cores YUV, ao invés do RGB, o sistema se mostrou menos suscetível às variações na iluminação, já que uma dimensão deste espaço, o eixo Y, representa a luminância da imagem, permitindo a escolha de limiares menos dependentes da iluminação do ambiente.

O objetivo do sistema de segmentação é agrupar determinados pixels da imagem, criando regiões que correspondem à determinada cor informada anteriormente ao sistema.

O sistema classifica as regiões de acordo com a sua cor e a sua área.

3.4 Validando os segmentos

Mesmo com o sistema calibrado e com os intervalos de cores setados adequadamente, o sistema de segmentação detecta outras regiões de cor que não fazem parte da marcação do veículo a ser seguido. Como a marcação é composta de 3 cores diferentes, somente são considerados os segmentos que estiverem dispostos na mesma seqüência que a marcação, ou seja: região azul na esquerda, região vermelha no centro, e região verde à direita. Todos alinhados horizontalmente.

Também são descartadas as regiões que não estiverem dentro de um intervalo mínimo e máximo de área, assim como regiões que não forem quadradas desrespeitando uma relação de aspecto de até 25%.

Quando uma região da marcação não pode ser detectada por algum motivo (iluminação inadequada, especular ofuscante, etc.) a sua posição é estimada interpolando a posição desta mesma região determinada em um instante de tempo anterior. Desta forma é garantida uma robustez mínima do sistema, fazendo com que ele possa detectar a marcação mesmo quando o veículo esta em um ambiente com níveis de iluminação inadequados.

3.5 Determinando os “set points”

Uma vez determinadas as 3 regiões que compõem a marcação, é possível determinar os “set points” para o controlador do veículo.

Os “set points” consistem em: distância relativa entre os veículos(DIST); orientação relativa entre os veículos(DIR).

A distância entre os veículos é calculada de acordo com a média das áreas das 3 regiões de cor da marcação do veículo (se faz necessário um processo de calibração da distância dos veículos em relação as áreas das regiões das marcações).

A orientação relativa entre os veículos é determinada de acordo com a distância da região central da marcação (região vermelha) e o centro da imagem capturada. Se esta distância for próxima de zero os veículos estão alinhados, se possuir um valor positivo estão deslocados a esquerda, e negativo estão deslocados a direita.

Com essas informações o controlador é capaz de operar o veículo, mantendo uma distância constante e seguindo o veículo a frente.

A figura 3 mostra os “set points” determinados para diferentes situações:

(a) – o veículo esta a uma distância de 5.4 unidades (relativa a calibração), e a sua orientação relativa é para a esquerda (o que faz com que o veículo seguidor vire a direita);

(b) – o veículo esta a uma distância de 5.2 unidades (relativa a calibração), e a sua orientação relativa é para a direita (o que faz com que o veículo seguidor vire a esquerda);

(c) – o veículo esta a uma distância de 5.4 unidades (relativa a calibração), e a sua orientação relativa é para a esquerda (o que faz com que o veículo seguidor vire a direita).

3.6 Calibração de posição

É necessário calibrar a distância relativa dos veículos. Isto é feito interativamente no setup do segmentador. Os veículos devem ser posicionados, e uma vez que a marcação seja detectada, a distância entre os veículos deve ser informada pelo usuário.

Executado este processo, o sistema é capaz de determinar a distância automaticamente de forma autônoma.

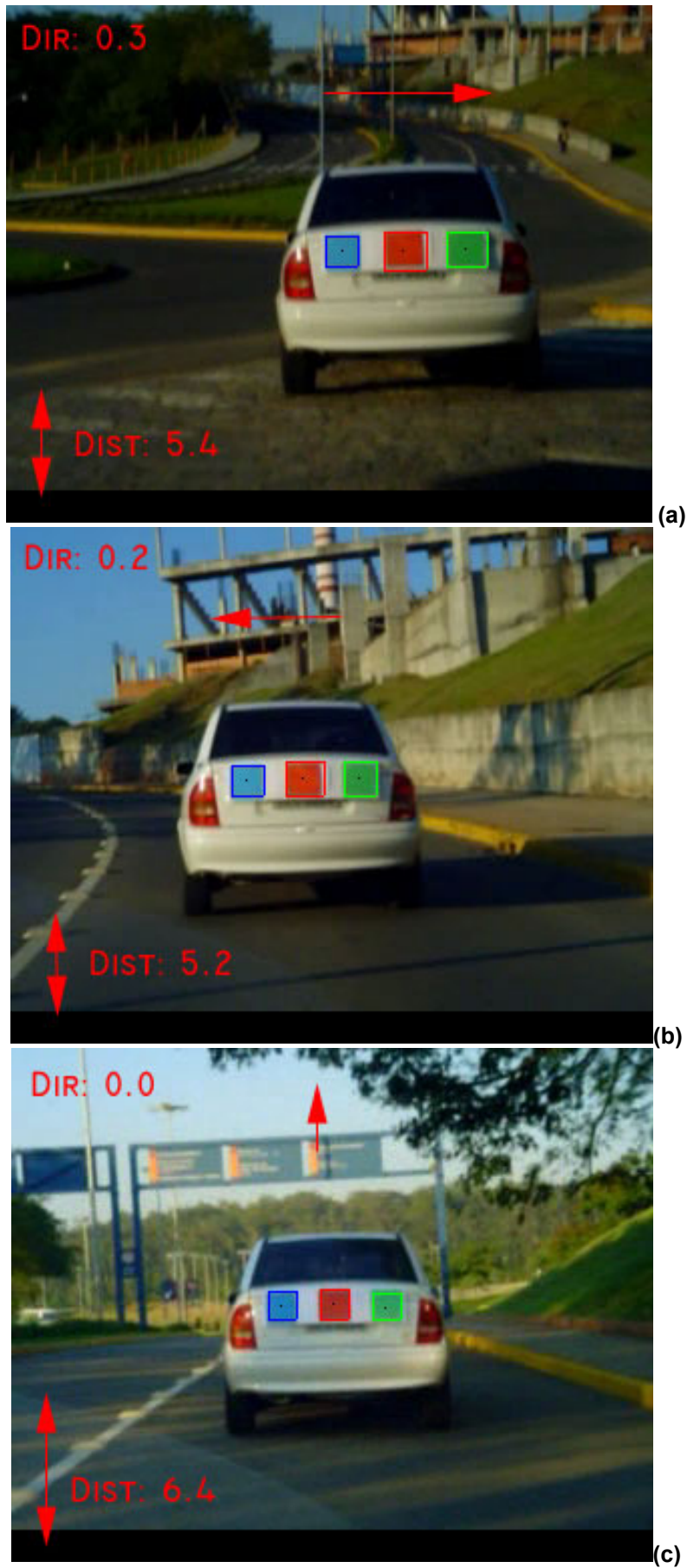


Figura 3 – Detecção das marcações e processamento das informações em três diferentes instantes

4. CONTROLE DO VEÍCULO

O controle do veículo deve ser separado, primeiramente, em duas partes, sendo a primeira responsável pelo controle de velocidade e a segunda pelo controle de desvio lateral. Para garantir uma distância constante entre dois veículos uma estrutura de controle em cascata com o controlador de velocidade faz-se necessária.

4.1 Controle de velocidade

O controle de velocidade, para veículos dotados de motor à combustão e freio, baseia-se na estrutura do sistema *ACC Stop & Go (Adaptive Cruise Control)* desenvolvido e apresentado em [11]. Este subsistema, visto na Figura 4, é dividido em dois ramos, uma para acelerar e outro para freiar o veículo. Cada ramo possui determinadas peculiaridades, que foram integradas ao modelo matemático do veículo.

A planta do ramo de aceleração é composta pelo sistema de injeção, pelo motor à combustão interna acoplado à embreagem e a dinâmica longitudinal do veículo. O sistema de injeção pode ser representado por um elemento de segunda ordem, enquanto que o motor e a embreagem são representados, respectivamente, por um elemento proporcional com retardo temporal (PT1) e um elemento não-linear do tipo zona-morta. Embora o motor também possua uma curva característica não-linear, apenas para efeito de projeto de controladores a simplificação aqui apresentada pode ser adotada. A dinâmica longitudinal do veículo também pode ser simplificada por um elemento PT1. De forma a aumentar a dinâmica do sistema de controle, um ramo extra contendo a curva característica do motor pode ser adicionado numa estrutura de *feed-forward*, que, por sua vez, também serve para aliviar o trabalho do controlador da malha fechada garantindo, assim, uma resposta mais rápida do sistema como um todo.

A planta do ramo de frenagem é composta por um atuador eletro-mecânico com controle indireto de torque, os componentes mecânicos do sistema de freios e a curva característica de freiagem do veículo.

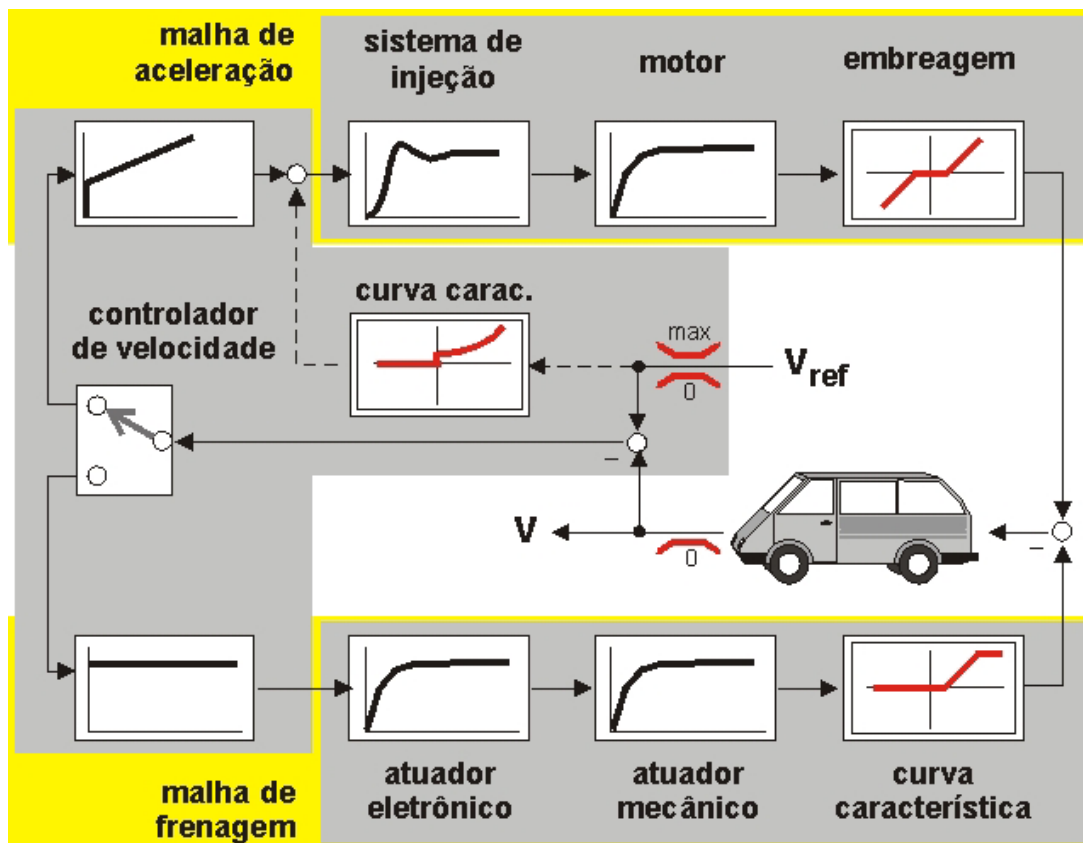


Figura 4 – Estrutura do controle de velocidade do veículo

A função do controlador de velocidade está em acelerar, desacelerar e freiar o veículo, chaveando automaticamente entre as malhas de controle. De forma a garantir que um ramo não interfira nos controladores do outro, um algoritmo específico faz-se necessário para executar esse chaveamento.

Para veículos equipados com motor elétrico o controle de velocidade é extremamente mais simples, uma vez que a planta não necessita ser dividida em dois ramos, que devem ser operados de forma paralela. Neste caso basta a realização de um simples controle de velocidade do motor elétrico.

4.2 Controle da distância entre veículos

De forma a garantir uma distância constante entre os veículos faz-se necessária a utilização de um controlador extra, colocado em cascata com o controlador de velocidade.

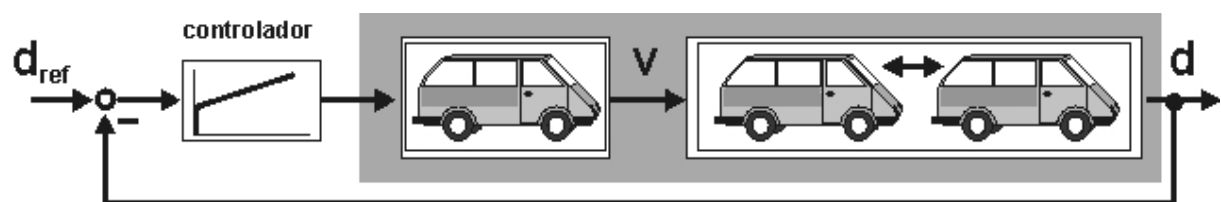


Figura 5 – Controlador de distância entre veículos

A distância entre os veículo é obtida a partir da detecção das marcações contidas no carro da frente, conforme descrito anteriormente, e esta informação de distância é, então, enviada ao controlador. Este, por sua vez, envia ao controlador de velocidade a informação de acréscimo ou decréscimo de seu valor de referência.

4.3 Controle lateral

O modelo matemático utilizado para o desenvolvimento do controlador de movimento lateral do veículo baseia-se no “modelo bicicleta” [11]. Este modelo é válido para acelerações laterais de até 4m/s^2 , de forma que as simplificações e linearizações realizadas no modelo não diminuem a eficácia do projeto do controlador para as aplicações aqui propostas. As principais variáveis envolvidas são o raio de curvatura da pista χ , o ângulo da direção, a velocidade do veículo v , a posição angular do veículo em relação à pista κ e o afastamento da parte central da pista α , apresentadas no diagrama de blocos da Figura 6.

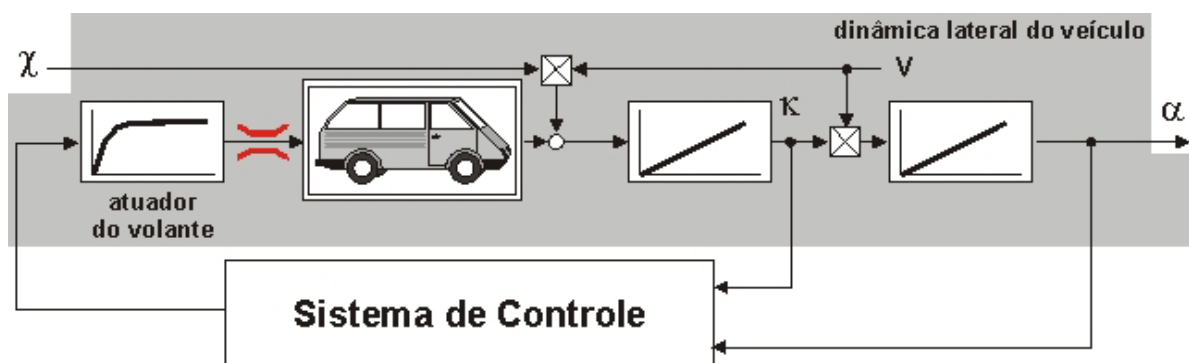


Figura 6 – Estrutura do controle lateral do veículo

Dentre as diferentes estruturas de controladores empregadas para o controle lateral do veículo destacam-se soluções envolvendo controladores clássicos da família PID, bem como estruturas de controle em cascata ou controle não-linear [12]. Tendo em vista a influência do valor da velocidade no modelo matemático do veículo, faz-se necessária, para situações onde a velocidade varia muito, a utilização de controladores adaptativos ou outras técnicas de controle moderno. Da mesma forma,

sistemas baseados em inteligência artificial também podem ser utilizados para garantir melhores condições de funcionamento e desempenho do veículo [13].

5. CONCLUSÕES

O sistema de visão computacional baseado em segmentação de regiões por cores mostra-se bem eficaz na detecção de marcações implementadas no veículo posterior. De forma a minimizar os efeitos de variação de luminosidade e de falha de detecção devido à existência de outros objetos coloridos na imagem, marcações de cores distintas, situadas numa determinada configuração, devem ser utilizadas. Uma vez detectados os pontos centrais das marcações, pode-se processar as informações de distância e afastamento lateral em relação ao veículo posterior. Estes valores são enviados aos sistemas de controle do veículo.

O sistema de controle é composto por controladores distintos para os movimentos longitudinal e lateral. O controle da distância entre os veículos é realizado numa estrutura em cascata com o controlador de velocidade. O controlador de afastamento lateral, dependendo da variação de velocidade do veículo, deverá ser desenvolvido com técnicas de controle adaptativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Elouardi, A., Bouaziz, S., Dupret, A., Klein, J. O., Reynaud, R., "On Chip Vision System Architecture using a CMOS Retina", 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Parma, Itália, 14-17 Jun. 2004.
- [2] Kelber, C.R., Osório, F.S., Jung, C.R., Heinen, F., Dreger, R.S., Gules, R., Mello Jr., C.D., Silveira, M.A., Schumacher, W.; "Tecnologias para Automação Veicular - Soluções em Mecatrônica e Sistemas de Apoio ao Motorista"; Engenharia - Estudos Tecnológicos; ISSN 1517-3615, Vol. XXIII, No. 24, pp.37-47, 2002 (2003).
- [3] Jung, C.R., Kelber, C.R.; "A Lane Departure Warning System based on a Linear-Parabolic Lane Model"; 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Parma, Itália, 14-17 Jun. 2004.
- [4] Shashua, A., Gdalyahu, Y., Hayun, H.; "Pedestrian Detection for Driving Assistance Systems: Single-Frame Classification and System Level Performance", 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Parma, Itália, 14-17 Jun. 2004.
- [5] Gavrilla, D. M., Giebel, J., Munder, S.; "Vision-Based Pedestrian Detection: The PROTECTOR System", 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Parma, Itália, 14-17 Jun. 2004.
- [6] Alves, F.O.; "Reconhecimento Inteligente de Sinais de Trânsito Brasileiros"; Trabalho de Conclusão (Graduação em Informática); UNISINOS, São Leopoldo, Brasil, Jun. 2004. Orientador: Osório, F.S.
- [7] I. Söhnitz; "Querregelung eines autonomen Strassenfahrzeugs"; Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8, Nr. 882, 2001.
- [8] Righes, E.M.; "Processamento de Imagens para Navegação de Robôs Autônomos"; Trabalho de Conclusão (Graduação em Informática); UNISINOS, São Leopoldo, Brasil, Jun. 2004. Orientador: Osório, F.S.
- [9] Bender, T.C., Osório, F.S.; "Reconhecimento e Recuperação de Imagens Utilizando Redes Neurais Artificiais do Tipo MLP"; IV ENIA - XXIII Congresso da SBC, Campinas/SP. Ago. 2003.
- [10] Moschetta, E., Osório, F. S., Cavalheiro, G.; "Reconhecedor de Imagens Concorrente"; Revista Scientia, Editora Unisinos - São Leopoldo, v. 12, n. 2, p. 11-25, 2003
- [11] Kelber, C.R., Webber, D., Gomes, G.K., Lohmann, M.A., Rodrigues, M.S., Ledur, D.; "Active Steering Unit with integrated ACC for X-by-Wire vehicles using a joystick as H.M.I."; 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Parma, Itália, 14-17 Jun. 2004.
- [12] Kelber, C.R., Dreger, R.S., Schirmbeck, J., Borges, D.A.; "Non-Linear Steering Control Strategy for an Optical Stripe Tracker"; IEEE / AMC'02 - 7th International Workshop on Advanced Motion Control; Maribor, Slovenia, 3-5 July 2002.
- [13] Heinen, F., Osório, F.S.; "HyCAR - A Robust Hybrid Control Architecture for Autonomous Robots"; HIS 2002 - Hybrid Intelligent Systems; Santiago, Chile, 2002.
- [14] J. Bruce, T. Balch, and M. Veloso. Fast and inexpensive color image segmentation for interactive robots. In Proceedings of IROS-2000, 2000.
- [15] HARALICK, R.M., Shapiro, L.G., 1992. Computer and robot vision. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. USA.

Dados dos Autores

Farlei Heinen
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Curso de Eng. da Computação
Av. Unisinos 950
93022-000 São Leopoldo - RS
Tel: (51) 590 3333 r. 1655
E-mail: farlei@exatas.unisinos.br

Christian R. Kelber
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Curso de Eng. Elétrica
Av. Unisinos 950
93022-000 São Leopoldo - RS
Tel: (51) 590 3333 r. 1782
E-mail: kelber@eletrica.unisinos.br

Cláudio R. Jung
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Curso de Eng. da Computação
Av. Unisinos 950
93022-000 São Leopoldo - RS
Tel: (51) 590 3333 r. 1655
E-mail: crjung@exatas.unisinos.br

Fernando Santos Osório
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada
Av. Unisinos 950
93022-000 São Leopoldo - RS
Tel: (51) 590 3333 r. 1629
E-mail: osorio@exatas.unisinos.br