

Detecção de faixa de rodagem em rodovia utilizando visão computacional

Tércio A. dos Santos Filho¹, Núbia Rosa da Silva¹, Sérgio F. da Silva¹,
Antonio Carlos de Oliveira Júnior^{2,3}, Roger Jhonson A. Mesquita¹,
Marcos Aurélio Batista¹

¹Departamento de Ciência da Computação - Instituto de Biotecnologia
Universidade Federal de Catalão - UFCat
Catalão - GO - Brasil

²Instituto de Informática
Universidade Federal de Goiás (UFG)
antonio@inf.ufg.br

³Fraunhofer AICOS Portugal
antonio.junior@fraunhofer.pt

tercioas@ufg.br, nubiasrosa@gmail.com, sergio.f.silva@gmail.com

rogermesquitaa@hotmail.com, marcos.frc@gmail.com

Abstract. *In this project aims to develop a system capable of identifying highway lanes using computational vision with image processing techniques such as Canny filter and Hough transform. An approach is used for the detection of bending lanes by slicing the image to allow the application of the Hough Transform algorithm to straight lines. The curvature of the lane is then approximated through a B-spline interpolation which uses as end points of the lines detected by the Hough transform in each slice. The developed methodology detected roadway strips in different situations, however, the results of the tests performed were strongly influenced by the state of conservation of the runway.*

Resumo. *Neste projeto tem como objetivo desenvolver um sistema capaz de identificar faixas de rodagem em rodovia utilizando visão computacional com técnicas de processamento de imagens tais como filtro de Canny e transformada de Hough. É usada uma abordagem para detecção das faixas de rodagem em curva, fatiando a imagem para possibilitar a aplicação do algoritmo de Transformada de Hough para linhas retas. Em seguida a curvatura da faixa de rodagem é aproximada através de uma interpolação B-spline que usa como entrada pontos extremos das retas detectadas pela transformada de Hough em cada fatia. A Metodologia desenvolvida detectou faixas de rodagem em rodovia em diferentes situações, porém, os resultados dos testes realizados se mostraram bastante influenciados pelo estado de conservação da pista.*

1. Introdução

Atualmente, no Brasil e no mundo a frota de veículos vem crescendo e aumentando o número de acidentes e congestionamentos nas vias de trânsito. Um exemplo é São Paulo - SP, a maior cidade do Brasil, com aproximadamente 12.106.920 habitantes de acordo

com o IBGE (*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*) [IBGE 2018] e com frota de aproximadamente 18.058.529 veículos registrada pelo DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) [Denatran 2018]. Com isso, se tem uma taxa de 0,4 veículos por habitante.

Devido a esse crescimento, juntamente com a combinação de diversos fatores como: bebida alcoólica, situações meteorológicas adversas e as distrações de motoristas, o índice de fatalidade no trânsito vem aumentando. Segundo o departamento de Polícia Rodoviária Federal (PRF) [PRF 2018], no ano de 2017 nas rodovias federais do Brasil foram registrados 89.318 acidentes graves, resultando na morte de 6.244 pessoas e deixando 83.978 feridos no trânsito. Entretanto, para diminuir a quantidade de acidentes de trânsito são utilizados de meios tecnológicos para auxiliar o condutor, como por exemplo: monitoramento da pressão dos pneus, câmbio automático, controle de velocidade, acionamento de faróis de forma automática, entre outras características. Avisos automáticos de pedestre na via, sinal vermelho ou possível colisão são projetos em andamento que tornam o trânsito mais seguro e diminui a quantidade de acidentes. Um exemplo de auxílio de condutores são as faixas de rodagem nas rodovias.

As faixas de rodagem nas rodovias são indispensáveis e grandes aliadas no controle das rodovias. O objetivo das faixas é definir algumas regras de trânsito, como por exemplo, a direção da rodovia e permissão de ultrapassagem.

Neste trabalho apresenta-se um algoritmo para identificação identificar faixas de rodagem em rodovia utilizando visão computacional com técnicas de processamento de imagens, tais como: filtro de Canny e transformada de Hough. Além do algoritmo utilizado, apresentam-se também exemplos práticos realizados, resultados obtidos e análise baseada nos resultados.

1.1. Motivação

Um sistema eficaz e de baixo custo pode se tornar uma alternativa importante para a indústria e a população de baixa renda. Veículos antigos e modelos mais baratos, podem ser adaptados a sistemas de identificação de faixa e desta forma diminuir a quantidade de acidentes significativamente.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia utilizando técnicas de processamento de imagem com o intuito de identificar as faixas de rodagem em rodovia. Nesta metodologia foi utilizado técnicas tradicionais de processamento de imagens e visão computacional tais como filtro de Canny transformada de Hough, B-Spline. A metodologia desenvolvida neste trabalho busca atender alguns requisitos para a detecção de faixa de rodagem:

- A detecção de faixas não deve ser afetada por sombras, decorrentes de árvores, edifícios, pontos de iluminação, etc.
- Deve ser capaz de operar em ambientes com diferentes níveis de luminosidade.
- Não deve-se assumir que as estradas são sempre retas, e lidar com curvas na estrada.
- Demandar um custo computacional baixo.

2. Fundamentação teórica relacionada a visão computacional

De acordo com [Trucco and Verri 1998] visão computacional é definida como: “um conjunto de técnicas computacionais que visam estimar ou explicitar as propriedades geométricas e dinâmicas do mundo 3D a partir de imagens digitais”. A área de visão computacional trata-se da obtenção, processamento e análise de imagens digitais ou *frames* de vídeo de cenários reais registrados com uma câmera, a fim de gerar conhecimento para apoiar na tomada de decisão [Shapiro and Stockman 2000]. A visão computacional é uma área de pesquisa que visa desenvolver técnicas e algoritmos que possa se aproximar da capacidade de visão humana. Como descrito a visão computacional procura emular a visão humana, portanto possui como entrada uma imagem, e como saída a interpretação da imagem como um todo, ou parcialmente.

2.1. Algoritmo de Canny

De acordo com [Do Vale and DAL POZ 2002], John F.Canny em 1986, desenvolveu um processo de detecção de bordas a partir de critérios de quantificação de desempenho de operadores de bordas conhecidos como os critérios de detecção e de localização. Estes critérios de desempenho ainda estão sujeitos ao critério de resposta múltipla, que corresponde ao fato de que deve haver, na saída do operador, uma única resposta para uma única borda. Para que os critérios sejam aproximadamente atendidos, Canny aproxima o operador ótimo, obtido a partir dos critérios de desempenho, pela primeira derivada da função Gaussiana [Jesus and Costa Jr 2015]. Em complemento, foi proposto um processo conhecido como supressão não máxima (supressão de valores de pixels que não forem máximos locais na direção transversal à borda), que causaria um afinamento da borda, atendendo à injunção de resposta múltipla, e uma limiarização adaptativa com “complementação de bordas”, para eliminar a fragmentação dos contornos das bordas [Rong 2014].

2.2. Transformada de Hough

A Transformada de Hough utiliza grupos de pixels que juntos formam elementos geométricos, partindo geralmente de uma imagem resultante de um detector de borda aplicado em uma imagem em nível de cinza como visto na detecaoborda. O algoritmo é utilizado para encontrar formas geométricas, como linhas e círculos em imagens binárias, mesmo em situações de ruído ou de retas incompletas. Para detecção de linhas, é adotada a Fórmula 1:

$$p = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (1)$$

de forma que os parâmetros p e θ são obtidos a partir de uma linha imaginária que é desenhada da origem até a reta que é descrita, de forma perpendicular. Os parâmetros p e θ representam, respectivamente, o tamanho da reta imaginária e o ângulo que esta reta forma com o eixo x .

A Transformada de Hough utiliza uma matriz de contagem de duas dimensões, onde a primeira corresponde ao valor de p e a segunda ao valor de θ . A partir disso, para cada ponto não-nulo da imagem, é feita uma análise do ponto e da vizinhança, e a célula correspondente aos valores encontrados é incrementada. Os pontos com maior número de votos (ou seja, maior número de ocorrências na matriz de contagem) têm maior probabilidade de corresponder a uma reta verdadeira [Shapiro and Stockman 2000].

2.3. Spline

A terminologia *spline* é designado na matemática para definir curvas especiais formadas por segmentos de polinômios [Barbarini 2007]. A *spline* é uma técnica de aproximação que consiste em se dividir o intervalo de interesse em vários subintervalos e interpolar, da forma mais suave possível. Por definição, Seja uma subdivisão do intervalo $[a,b]$. Uma função spline de grau p com nós nos pontos $(x_i, f_i)(i = 0, m)$ é uma função $sp(x)$ com as propriedades:

1. Em cada subintervalo $[x_i, x_{i+1}] (i=0, m-1)$, $sp(x)$ é um polinômio de grau p .
2. $sp(x)$ é contínuo em $[a,b]$ e tem derivada contínua em $[a,b]$ até ordem p .

Formadas por diferentes polinômios de grau menor ou igual a m , definidos para cada intervalo entre os pontos de interpolação de modo que em cada ponto de interpolação o *spline* é contínuo [Praciano Pereira 2007], assim como todas as derivadas até ordem $m - 1$ visto na Figura 1.

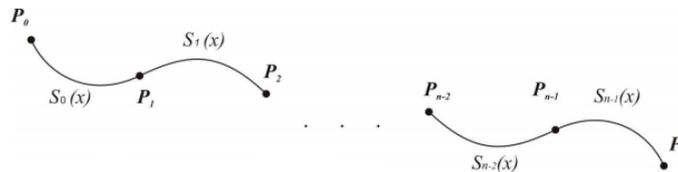


Figura 1. Interpolação spline.

Logo, matematicamente um *spline* é definido como uma curva que passa por dois pontos ou mais pontos de controle chamados de nós [Pereira et al. 2014]. Na spline é estabelecida a condição de continuidade, a cada dois segmentos consecutivos da curva, as derivadas de ordem P do final de um segmento e do início do segmento são iguais.

2.4. Algoritmo B-spline

De acordo com [De Boor et al. 1978, Rogers 2000], a B-spline é uma variação da *spline* com diferença de que na implementação do controle local da curva alguns pontos de controle modificam a curva somente na região dos pontos mais próximos em função da ordem de continuidade.

Uma *B-spline* usa-se como função de base um vetor de nós e um conjunto de pontos de controle. A função de base é denotada por $N_{i,p}(u)$, que representa a i -ésima função de base B-spline de grau p (ordem $p + 1$) [Piegl and Tiller 2012]. Existem $n + 1$ pontos de controle, as funções de base N_i , são da ordem p , p deve ser pelo menos 2 (linear) e não pode ser maior que $n + 1$ (número de pontos de controle). O ponto importante aqui é que o fim da curva, por conseguinte, não é dependente do número de pontos de controle.

A exemplificação da utilização do algoritmo B-spline pode ser vista na Figura 2

3. Metodologia para detecção de faixa de rodagem

3.1. Aquisição de imagens

Para trabalhar na automação de uma dada tarefa via análise de imagens, é preciso padronizar a forma de aquisição de imagens. Neste trabalho, foi criada uma base de imagens

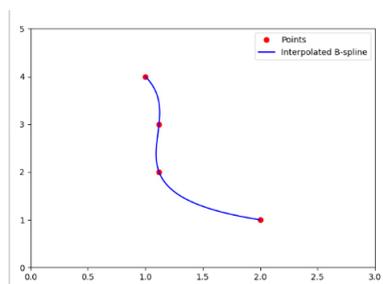


Figura 2. Interpolação B-spline.

própria, obtida através de uma câmera digital acoplada na parte superior de um veículo na região sobre a parte central do para-brisa, como mostrado na Figura 3. As imagens coletadas tem resolução de 1366 x 768 e foram adquiridas em um ângulo de aproximadamente 30° graus em relação à base do veículo.



Figura 3. Câmera acoplada no veículo para aquisição de imagem.

3.2. Pré-processamento

As imagens obtidas tem uma visão ampla da rodovia e da paisagem à sua volta. Devido a amplitude de visão da câmera utilizada definiu-se empiricamente uma pré-processamento de recorte, que elimina a parte que contém o capô do veículo e a região paisagem mais distante do veículo. O objetivo do recorte é diminuir as regiões desnecessárias, o que diminui o custo computacional de processamento da imagem, e a ocorrência de falsos positivos na detecção pelo fato principalmente da paisagem mais distante normalmente conter textura que leva a detecção de falsas bordas e linhas. Na Figura 4 apresenta-se a parte de interesse da imagem, onde é feito o recorte, definindo a região de interesse como todos os pixels de índice de 418 e 668 na coordenada correspondente as linhas da imagem.



Figura 4. Região de interesse.

Adicionalmente ao recorte, as imagens foram convertidas para níveis de cinza uma vez que o algoritmo aplicado para detecção de bordas não leva em conta informações de

cor. Além disso, a conversão para níveis de cinza mantém o contraste entre as faixas de rodagem e o asfalto, o que pode ser verificado pela Figura 5.



Figura 5. Conversão em tons de cinza.

3.3. Detecção de bordas

Variações abruptas de níveis de cinza em imagens constituem o que são denominadas bordas. Bordas normalmente estão presentes nos limites entre objetos distintos. Conforme esta ideia, pode-se aplicar um algoritmo de detecção de bordas sobre a imagem em tons de cinza com o intuito de detectar as bordas das faixas de rodagem.

Aplicado o algoritmo de Canny sobre a região de interesse em tons de cinza, obtém-se as bordas de grande parte dos objetos na imagem, alguns até desnecessários. Porém, como esperado as bordas das faixas de rodagem são capturadas como pode ser visto na Figura 6.



Figura 6. Detecção de Borda na região de interesse.

3.4. Detecção de retas por segmento de imagem

Aplicamos a transformada de Hough sobre a imagem gerada após a detecção de borda realizada pelo algoritmo de Canny. Na Figura 8 apresenta-se um resultado de detecção de linhas retas obtido para uma imagem em que a faixa de rodagem é reta. Nota-se, que além das faixas de rodagem foram detectadas retas que correspondem a falsos positivos, entre elas na região de textura da vegetação ao redor da pista. Observado que o ângulo das faixas de rodagem tem um padrão foi aplicado um filtro na variação de ângulo das retas candidatas. Assim, considera-se como retas candidatas no algoritmo de transformada de Hough apenas as retas com os ângulos permitidos α, β, γ e δ , ilustrado na Figura 7. Com este filtro obtém-se o resultado mostrado na Figura 9.

Contudo, foi notado que este método não consegue detectar linhas curvas acentuadas, como pode ser notado no resultado da Figura 9, e produz erros consideráveis até mesmo da detecção de curvas suaves.

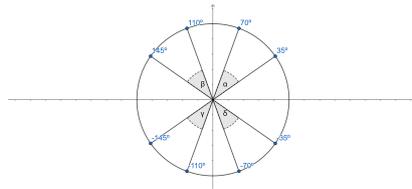


Figura 7. Ilustração do filtro de ângulo.



Figura 8. Detecção de retas com Transformada de Hough.



Figura 9. Detecção de retas com Transformada de Hough.

Dado o fato da transformada de Hough para linhas retas falharem na detecção de faixas de pista com curva, partir para a aplicação da transformada de Hough por segmentos da imagem. Assim, a imagem filtrada é dividida em segmentos e linhas retas são detectadas por segmento. Nota-se que uma curva pode ser aproximada por segmentos de linhas retas, no qual é explorada nesta etapa. Posteriormente, são armazenados os extremos superior e inferior de cada reta encontrada. A Figura 10 ilustra-se as retas detectadas por segmentos da imagem (de cor vermelha), e os pontos extremos de cada reta (de cor preta).

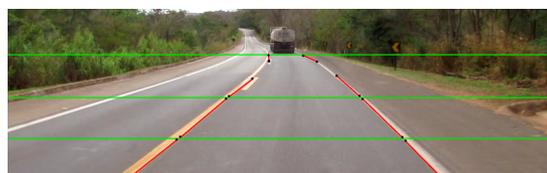


Figura 10. Extremos das retas encontradas.

Com os pontos extremos de cada linha reta da fatia armazenados, é feito a verificação sobre qual é o extremo que está no ponto mais alto e baixo da fatia, os pontos em vermelho representam os extremos da fatia. Após este processo ser feito em todas as fatias, como resultado final deste procedimento é obtido os pontos de referência das retas na imagem de região de interesse, visto na Figura 11, onde os pontos em vermelho representam os pontos referentes aos extremos das retas encontradas em cada fatia.



Figura 11. Pontos de referência de cada reta encontrada na região de interesse.

3.5. Interpolação dos pontos dados pelos extremos dos segmentos

A interpolação B-spline implementa um controle local da curva modificando a curva somente na região dos pontos próximos em função da ordem de continuidade. Utilizando um vetor de coordenadas para gerar a interpolação. O resultado da aplicação do algoritmo de B-spline pode ser visto na Figura 12. Com isso, é feita a melhor identificação da faixa de rodagem.

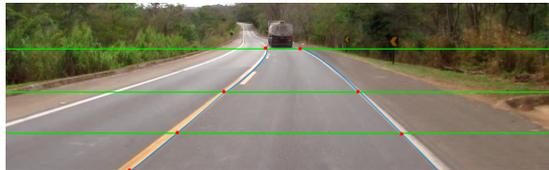


Figura 12. Aplicação de algoritmo B-Spline.

3.6. Desafios e soluções adotadas

Em imagens onde se há baixa resolução ou imagens onde a faixa de rodagem perde o foco de acordo com a distância, o algoritmo de detecção de borda não consegue identificar as bordas dos objetos que aparecem na imagem, Figura 13. Com isso, a transformada de Hough não identifica as retas nas linhas encontradas pelo detector de borda, causando problemas no resultado final da detecção de faixa.

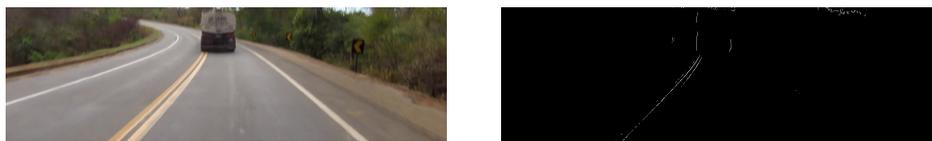


Figura 13. Detector de borda em imagem com desfoque.

Esta metodologia foi desenvolvida para detectar apenas duas faixas de rodagem sendo elas direita e esquerda do veículo, portanto, encontra-se um problema quanto a pontos específicos nas vias onde existem faixas dupla e tracejada como visto na Figura 14. Há uma leve deformação na plotagem da interpolação gerada pelo B-spline, mas ainda dentro da região da faixa de rodagem como visto na Figura 14.

4. Análise de resultados

Para realizar a análise do algoritmo desenvolvido neste projeto, foram executados 10 testes de cada das seguintes situações: rodovia com faixa de rodagem em reta com má qualidade, rodovia em curva com faixa de rodagem em boa qualidade e rodovia em curva com faixa de rodagem em má qualidade. Em todos os testes feitos foram guardados em



Figura 14. Problema com detecção de faixa duplicada e tracejada.

arquivos as respectivas coordenadas de pontos que compõem as faixas de rodagem encontradas.

Como base de referência, a partir da imagem de região de interesse, são geradas manualmente imagens *ground-truth* que são imagens binárias (preto e branco). Essas imagens são geradas para cada faixa de rodagem (direita e esquerda) em cada teste executado.

Tendo então as coordenadas dos pontos dos testes em arquivos e as imagens *ground-truth*, é elaborado uma medida do deslocamento médio em relação aos pixels das coordenadas das faixas de rodagem encontradas pelo algoritmo desenvolvido neste projeto com as demarcações das faixas encontradas no *ground-truth*.

Para que um resultado seja considerado aceitável deve-se ter uma taxa de deslocamento médio mínima possível. Visto que, essa taxa de deslocamento médio representa o deslocamento dos pixels da reta que representa a faixa de rodagem real e a encontrada pelo algoritmo desenvolvido. O deslocamento médio deve ser menor que 60 pixels para que seja considerado dentro da faixa de aceitação de detecção de faixa de rodagem, observa-se que a imagem para a análise tem 1366 pixels e desta forma, essa faixa de deslocamento é pequena.

Conclusão

No geral os resultados dos testes realizados pelo algoritmo de análise mostram uma taxa média de 22,19 de deslocamento em relação as faixas encontradas pelo algoritmo desenvolvido neste projeto e as faixas de rodagem reais da rodovia, levado em conta a alta influência sofrida pelo estado de conservação da pista e qualidade da imagem.

O algoritmo desenvolvido neste projeto é capaz de detectar faixas de rodagem em rodovias em situações de retas e curvas leves afetadas por interferências externas como sombras decorrentes de árvores, pontos de iluminação, etc. Porém, o resultado é altamente influenciado pelo estado de conservação da pista. Em situações onde o estado de conservação da rodovia é considerado bom, o algoritmo desenvolvido consegue detectar as faixas de rodagem em rodovias. Devido as faixas da direita da rodovia serem sempre faixas únicas, o algoritmo desenvolvido tem obtido resultados melhores do que com faixas da esquerda onde se encontram faixas duplas e faixas duplas tracejadas, mas as faixas demarcadas pelo algoritmo ainda se encontram dentro da região da faixa de rodagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento da chamada Universal 01/2016, N° do Processo: 431552/2016-9.

Referências

- Barbarini, L. H. M. (2007). *Síntese de cascos de embarcações através de métodos de otimização aplicados a curvas B-Spline*. PhD thesis, Universidade de São Paulo.
- De Boor, C., De Boor, C., Mathématicien, E.-U., De Boor, C., and De Boor, C. (1978). *A practical guide to splines*, volume 27. Springer-Verlag New York.
- Denatran (2018). Frota de veículos.
- Do Vale, G. M. and DAL POZ, A. P. (2002). Processo de detecção de bordas de canny. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 8(2).
- IBGE (2018). N. inria person database.
- Jesus, E. O. and Costa Jr, R. (2015). A utilização de filtros gaussianos na análise de imagens digitais. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 3(1).
- Pereira, L. R. et al. (2014). Ajuste de curva b-spline fechada com peso.
- Piegl, L. and Tiller, W. (2012). *The NURBS book*. Springer Science & Business Media.
- Praciano Pereira, T. (2007). Splines por convolução. *Préprints da Sobral Matemática* <http://www.sobralmatematica.org/preprints>, 10:2007.
- PRF (2018). Acidentes.
- Rogers, D. F. (2000). *An introduction to NURBS: with historical perspective*. Elsevier.
- Rong, Weibin e Li, Z. e. Z. W. e. S. F. (2014). Um algoritmo de detecção de borda canny aprimorado. pages 577–582.
- Shapiro, L. and Stockman, G. (2000). Computer vision google scholar.
- Trucco, E. and Verri, A. (1998). *Introductory techniques for 3-D computer vision*, volume 201. Prentice Hall Englewood Cliffs.