

USO DE OCLUSÕES PARA RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE VEÍCULOS EM ÁREAS URBANAS

The use of shadows to identify automatically vehicles in urban areas

DANIEL RODRIGUES DOS SANTOS
QUINTINO DALMOLIN
MARCOS AURÉLIO BASSO
HIDEO ARAKI

Universidade Federal do Paraná
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
Centro Politécnico
CEP 81531-990 Curitiba/PR, Brasil
{danielsantos;qdalmolin;araki;marcos}@ufpr.br

RESUMO

Neste trabalho propõe-se uma metodologia para reconhecimento automático de veículos presentes em imagens aéreas digitais, em áreas urbanas. Os veículos são identificados com o uso de um modelo matemático implícito proposto e os atributos de cor das oclusões (sombras), projetadas pelos veículos presentes nas rodovias e ruas dos centros urbanos. Uma imagem de intensidade laser da região teste é utilizada com o intuito de restringir o processamento aos locais onde é possível a identificação dos veículos, ou seja, rodovias, ruas e estacionamentos. A detecção das oclusões, projetadas pelos veículos, possibilita a rotulação e identificação dos veículos. O objetivo deste trabalho é propor um modelo matemático implícito para o reconhecimento automático de veículos presentes em imagens aéreas digitais em áreas urbanas, bem como apresentar uma nova abordagem na detecção de veículos utilizando as oclusões projetadas na rodovia. Os resultados encontrados apresentam a aplicabilidade da metodologia proposta, além de apontar seu potencial e eficiência no processo de reconhecimento automático de veículos.

Palavras chaves: Veículos; Reconhecimento Automático; Imagem de Intensidade Laser; Modelo Implícito; Processamento Digital de Imagens.

ABSTRACT

In this paper we proposed an automatic methodology to identify vehicles presents in aerial digital images. The vehicles are identified by using color

attributes and a new proposed implicit model. The developed mathematical model, searches for pixels showing the lowest digital numbers intensity, such as that describes which are associated with the shadows of cast by vehicles. In the proposed methodology, shadows are used as heuristic information, to help identifying vehicles present on aerial image. A laser intensity image of region is used to reduce the searching space to the local roads, optimizing the required computing time in this way. This approach allows the identification and the labeling of the vehicles. The goal in this work is to identify automatically vehicles present in aerial image by using the shadows cast on them. The experiments have shown that the proposed model yielded accurate results, proving to be capable of performing with reasonable accuracy the automatic detection of vehicles in digital image data.

Key words: Vehicles; Automatic Recognition; Laser Intensity Image; Implicit Model; Digital Image Processing.

1. INTRODUÇÃO

Com a finalidade de garantir melhor qualidade de vida, auxiliar no controle de acidentes e possibilitar planejamento urbano adequado e eficiente é necessário obter informações sobre o fluxo de veículos transeuntes nas áreas urbanas das grandes cidades, pois atualmente a circulação viária terrestre tem contribuído significativamente com o caos urbano por gerar poluição, exigir gastos públicos para tratamento de rodagem viária e viabilização das condições de tráfego, bem como para combate à poluição.

Nas Ciências Geodésicas, a detecção de informações sobre os objetos presentes sobre as rodovias (veículos), auxilia a extração automática desses objetos para o desenvolvimento de Sistemas de Informações Geográficas, atualização cartográfica, mapeamento com eficiência e autonomia entre outras aplicações que podem ser encontradas em Zhang et al. (2003), Burlina et al. (1997), Handmann et al. (1999), Kate et al. (2004), Broggi et al. (2004) e Betke et al. (2004).

Na literatura encontram-se diversas metodologias para detecção automática e semi-automática de veículos, baseadas no uso de atributos de cor, tamanho e altura dos objetos mencionados. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para reconhecimento automático de veículos presentes em imagens aéreas digitais em áreas urbanas, integrando dados adquiridos por diferentes sensores CCD (câmara não métrica de pequeno formato) e de varredura laser. A proposta deste trabalho apresenta um novo modelo matemático implícito baseado nos atributos de cor dos pixels, para detectar oclusões (sombras) projetadas pelos veículos. A partir de cada valor determinado pelo modelo matemático o algoritmo verifica se o valor calculado encontra-se entre um limiar pré-estabelecido.

Com a finalidade de restringir o processamento aos locais de rodovias, ruas ou estacionamentos e diminuir o número de falsas detecções, os pontos ENH no espaço-objeto, provenientes do arquivo bruto do sistema de varredura laser que correspondem ao objeto rodovia (de acordo com a imagem de intensidade laser), são projetados para o espaço-imagem com a adição dos erros sistemáticos.

O uso de oclusões, o modelo matemático proposto e a integração de dados de diferentes sensores aplicados no reconhecimento automático de veículos são as principais contribuições da proposta metodológica em relação aos trabalhos que serão relatados na seção 2.

Para os experimentos foram utilizadas imagens aéreas digitais coloridas tomadas com uma câmara não métrica de pequeno formato (Sony DSC-F717), gentilmente cedida pela empresa de Aerolevantamentos AGRITEC/S.A. e uma imagem de intensidade laser, cedida pelo LACTEC. Este artigo está organizado da seguinte forma: seção 2 apresenta uma breve revisão de literatura que aponta os trabalhos referentes ao tema proposto. A seção 3 apresenta a metodologia proposta, a seção 4 mostra e discute os resultados obtidos e a seção 5 apresenta as conclusões e perspectivas futuras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A detecção de veículos tem sido tema de relevância científica na comunidade fotogramétrica, pois os veículos são objetos que se apresentam como informações cartográficas próprias para auxiliar a eficiência de algoritmos implementados para as diversas aplicações citadas na seção anterior. Neste item serão revisados alguns trabalhos dos referentes ao objeto de estudo.

Pantavungkour e Shibasaki (2003) propuseram uma metodologia para detecção automática de rodovias e veículos baseado no método de crescimento de regiões e descritor de formas, com o uso de imagens aéreas adquiridas com um sensor tri-linear. O método proposto aplica morfologia matemática para reduzir os ruídos na imagem e os objetos presentes na rodovia são selecionados como candidatos a veículos. Posteriormente, é comparado com um modelo explícito pré-definido. Uma desvantagem deste método é que todos os objetos com tamanho similar aos veículos são detectados de forma a onerar o processamento dos dados, além de aumentar a porcentagem de detecção de falsos candidatos.

Zhao e Nevatia (2003) aplicam testes de psicologia da forma para simular características humanas na detecção de veículos em imagens aéreas. A partir das peculiaridades do funcionamento da percepção humana é construído o modelo tridimensional do veículo, bem como das projeções de sombra, com uso de informações a priori da posição solar no momento da tomada das imagens aéreas. As informações obtidas são combinadas por meio de um

modelo *Bayesiano* implícito. Uma desvantagem do método é o tempo de processamento do algoritmo de extração de bordas, pois as mesmas são extraídas em toda a extensão da imagem, para serem utilizadas à priori na classificação automática dos veículos.

Em Hinz et al. (2005) a detecção dos veículos é realizada com o uso de um modelo explícito tridimensional de veículos. O modelo explícito descreve as características geométricas e radiométricas dos veículos baseada na construção de um modelo tridimensional (*frame*). No processo de detecção, o modelo tridimensional se adapta automaticamente em função dos atributos relacionados à cor e direção do veículo. A vantagem do método é a irrelevância do uso de informações adicionais, tal como, uma base cartográfica para orientação do algoritmo. E como desvantagem o algoritmo limita a sua robustez ao uso de apenas uma imagem, não permitindo a reconstrução tridimensional do veículo detectado.

Leitloff et al. (2005) implementaram um método de detecção de veículos em imagens aéreas de alta resolução baseado no método do gradiente para detecção de bordas de veículos. Nesta abordagem os eixos das rodovias são extraídos como hipóteses lineares para reduzir o espaço de busca de veículos na imagem, bem como feições lineares que representam alguns atributos do veículo. Uma desvantagem deste método é o fato do modelo explícito utilizado para detectar os veículos é exequível apenas para imagens de alta resolução, além de ser necessário o uso de uma base cartográfica com informações do eixo das rodovias.

Santos et al (2006) apresentaram uma metodologia para detectar automaticamente veículos em movimento presentes em imagens digitais com alta resolução em áreas urbanas com uso de imagem de intensidade laser e anaglifo. O método apresentou eficiência na detecção de veículos com coloração clara, porém veículos com coloração escura não são detectados pelo algoritmo. O uso da imagem anaglifo apresentou uma característica relevante no processo de identificação de veículos em movimento.

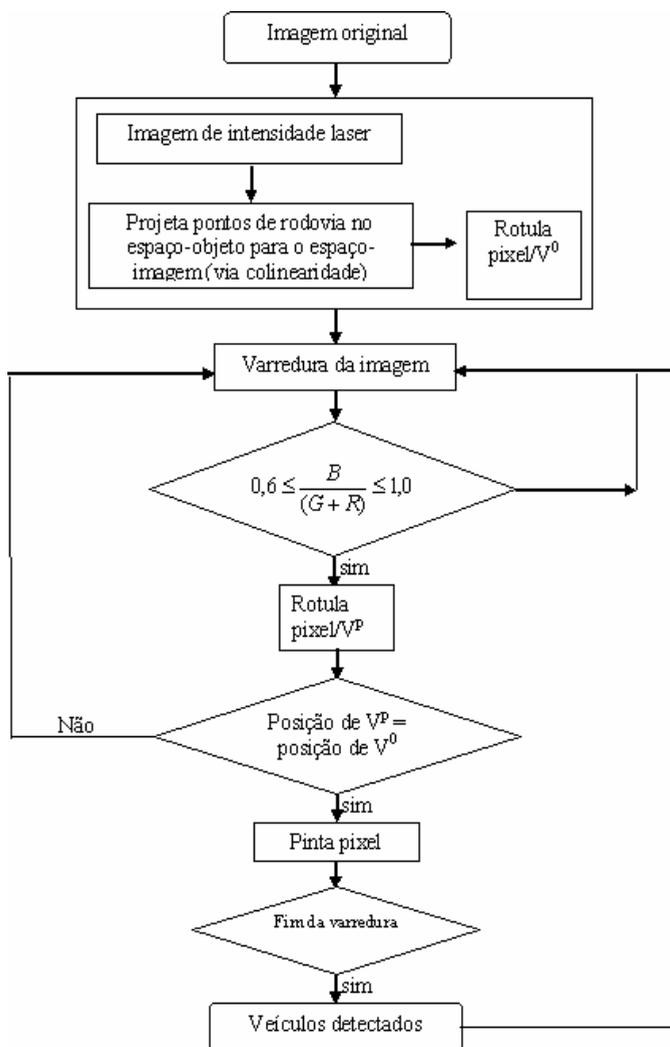
Na seção 3 será apresentada a metodologia proposta para identificar automaticamente os veículos presentes em imagens aéreas urbanas.

3. METODOLOGIA

O método desenvolvido foi implementado em linguagem C++ Builder 5.0 da Borland e a Figura 1 apresenta o fluxograma da metodologia empregada.

O fluxograma na Figura 1 apresenta uma seqüência de etapas que devem ser realizadas para o reconhecimento automático dos veículos baseado no uso de oclusões projetadas nas rodovias.

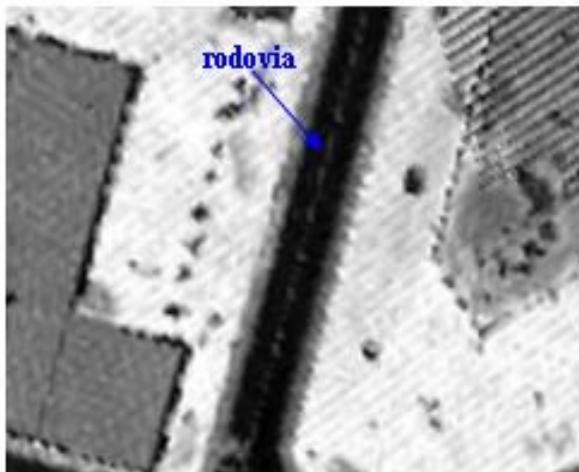
Figura 1 – Fluxograma da metodologia proposta.



A primeira etapa da metodologia tem como finalidade restringir o processamento aos locais de rodovia, ou seja, reduzir o espaço de busca do algoritmo. Por exemplo, na Figura 2 o objeto rodovia aparece com um contraste claramente diferenciado de suas adjacências na imagem de

intensidade laser, com uma resposta espectral (faixa do infravermelho próximo) com um valor do pulso de retorno inferior a 30 de intensidade.

Figura 2 – Rodovia na imagem de intensidade laser.



A partir das informações das coordenadas ENH do arquivo bruto, fornecido pelo sistema de varredura laser (maiores informações ver SANTOS, 2005), os pontos no espaço-objeto são projetados para o espaço-imagem via equação de colinearidade direta (LUGNANI, 1986). Neste caso, o que se tem são coordenadas fotogramétricas isentas de erros e para que as mesmas sejam transformadas para a sua posição exata no sistema de coordenadas da imagem digital (Coluna e Linha) é necessário que sejam adicionados os erros sistemáticos.

Sendo assim, cada ponto projetado do espaço-objeto para o espaço-imagem (com valores referentes ao objeto rodovia, Fig. 2) será rotulado por V^0 . Para verificar a pertinência dos pontos pertencentes a rodovia é necessário considerar seu valor de intensidade gravado no arquivo bruto, com suas correspondentes coordenadas tridimensionais (ENH), referentes ao sistema de projeção cartográfica e coordenadas considerados no trabalho. A Figura 3 apresenta os pontos (em azul) que pertencem ao objeto rodovia (imagem de intensidade laser), projetados para o espaço-imagem (imagem colorida original).

Com a finalidade de detectar automaticamente as oclusões projetadas pelos veículos presentes em rodovias propõe-se, neste trabalho, um modelo matemático implícito baseado na combinação não linear das componentes RGB de cada pixel analisado na imagem colorida original.

Figura 3 – Pontos projetados (em azul) do espaço-objeto para o espaço-imagem.



Esses pixels são analisados apenas sobre os locais de rodovia, em função da redução do espaço de busca definido pelos pontos no espaço-objeto projetados para o espaço-imagem. Sendo assim, o novo valor digital de cada pixel é calculado pela equação proposta, a saber:

$$dv = \frac{B}{(G + R)} \quad (1)$$

onde,

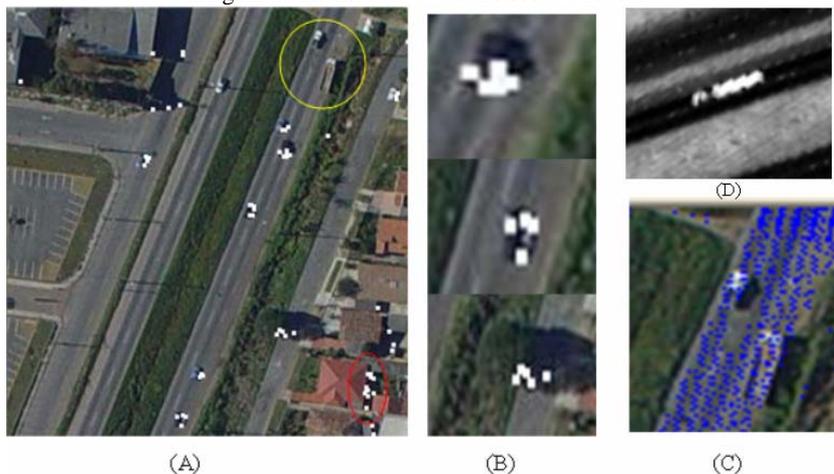
dv : valor digital do pixel calculado.

O algoritmo implementado varre a imagem (colorida original) da esquerda para a direita e de cima para baixo, ao longo das Linhas e Colunas, com a finalidade de analisar cada pixel na imagem original, processando apenas os locais de rodovias. Nos casos em que o pixel analisado possui $0.6 \leq dv \leq 1.0$ é atribuído ao mesmo o rótulo V^1 , indicando que o pixel pertence ao objeto sombra (occlusão). Caso contrário, o pixel permanece com seu valor digital (RGB) inalterado e não é rotulado. Ao final da varredura o algoritmo finaliza o processamento com as informações das oclusões projetadas pelos veículos na imagem original, sendo os mesmos reconhecidos automaticamente sobre a região do espaço de busca do algoritmo. A seguir serão apresentados os experimentos e análise dos resultados obtidos com o uso das imagens digitais adquiridas com uma câmara não métrica de pequeno formato.

4. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A metodologia proposta foi aplicada em imagens digitais de alta resolução espacial com dimensão do pixel no terreno de 40 cm. As imagens de alta resolução espacial utilizadas foram obtidas com uma câmara digital não métrica de pequeno formato Sony DSC-717, gentilmente cedida pela empresa AGRITEC/S.A. A metodologia proposta foi aplicada e os resultados obtidos são mostrados na Figura 4.

Figura 4 – (A) Oclusões detectadas;(B) Veículos de coloração escura detectados;(C) Problemas na projeção dos pontos do espaço-objeto para o espaço-imagem;(D) imagem de intensidade e veículo sobre a rodovia.



A partir da Figura 4 percebe-se visualmente que:

- Por meio de contagem manual, entre os 11 veículos presentes na porção da imagem recortada e apresentada na Figura 4A, 8 foram reconhecidos com sucesso pelo algoritmo;
- No caso dos veículos que não foram reconhecidos automaticamente (veículos marcados em círculo amarelo no canto superior direito da Fig. 4A), pode-se elucidar o problema analisando visualmente a Figura 4C;
- De acordo com a Figura 4C, a oclusão projetada pelo veículo maior (objeto enquadrado na parte inferior), está projetada sobre o acostamento da rodovia (com vegetação ao lado). Neste caso, os valores de intensidade desses objetos, varridos pelo sistema de varredura laser, não correspondem à resposta espectral dos objetos rodovia, projetados para a imagem

original. Sendo assim, não é possível detectar a sombra do veículo e conseqüentemente o algoritmo não é eficiente;

- Para esclarecer a falha no reconhecimento automático do veículo localizado na parte superior da Figura 4C é apresentada a Figura 4D, no qual percebe-se visualmente que um veículo de grande porte, varrido pelo sistema de varredura laser, apresenta seus valores de intensidade superiores ao valor de intensidade correspondente ao objeto rodovia na imagem laser. Neste caso, esses valores não são projetados do espaço-objeto para o espaço-imagem e não ocorre sobreposição de informações entre os pontos projetados e os pixels na imagem original (Fig. 4C);
- Na Figura 4A (canto inferior direito), percebe-se que ocorreram falsas detecções, pois foram reconhecidas oclusões projetadas por edificação próxima aos limites da rodovia. O fato pode ser explicado devido à aquisição dos valores de intensidade de resposta espectral do pulso laser, cuja intensidade depende da resposta da interação do pulso com os objetos presentes na superfície física da Terra;
- O caso apresentado anteriormente pode ser explicado pois, ao lado da edificação existe um objeto de cor escura não identificável, cujo valor de intensidade do pulso refletido é próximo ao valor de intensidade da rodovia na imagem de intensidade laser, pois além da presença do objeto mencionado ocorreu a projeção de sombra da edificação, fazendo com que a superfície correspondente responda à um valor de intensidade mais baixo;
- Ao observar a Figura 4B, verifica-se que os veículos de cor escura foram reconhecidos com sucesso utilizando o modelo matemático implícito proposto, melhorando a eficiência do algoritmo para os casos em que se apresentava ineficiência na metodologia descrita por Santos et al. (2006);
- Para este experimento a metodologia apresentou um potencial de eficiência de 80% com o uso do modelo implícito desenvolvido, pois dos 11 veículos presentes na imagem 8 foram detectados automaticamente.

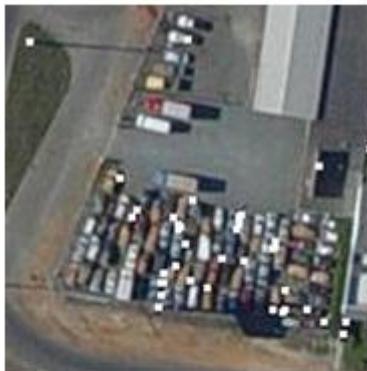
A Figura 5 apresenta os resultados obtidos com a metodologia aplicada com a finalidade de verificar sua potencialidade no reconhecimento de veículos em estacionamentos.

Uma análise visual permite concluir que:

- Devido à posição solar, no momento da tomada das imagens, e a forte aglutinação de veículos estacionados, alguns veículos

não projetaram sombras no terreno e o algoritmo não é eficiente para reconhecer os veículos que não projetam sombra;

Figura 5 – (A) (B) Detecção de oclusões projetadas por veículos em estacionamento.



(A)



(B)

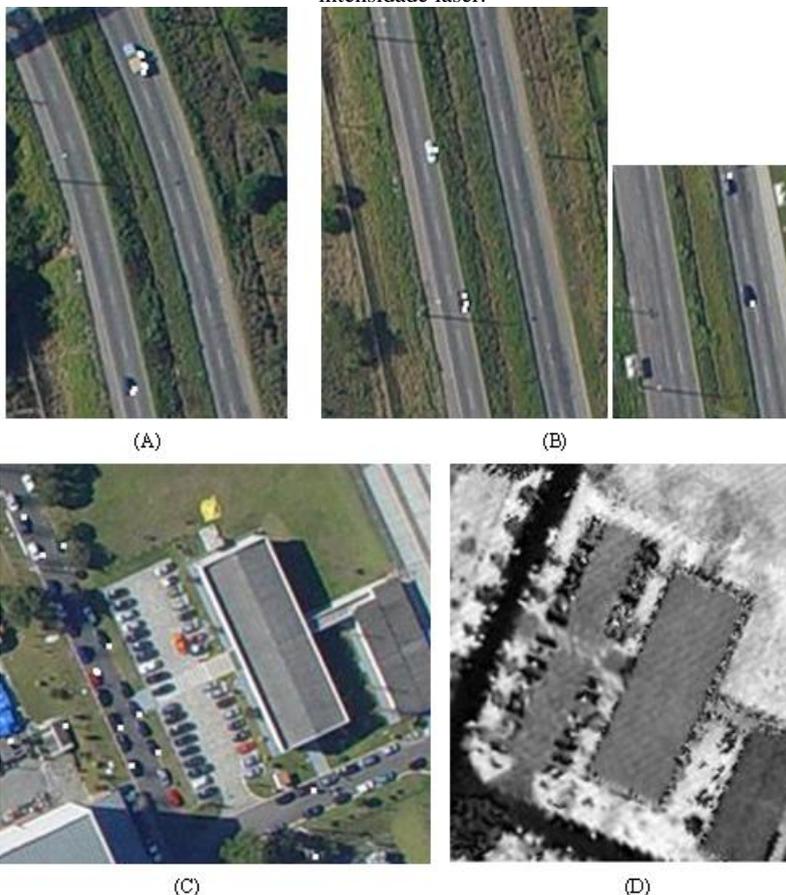
- A Figura 5B mostra as sombras de veículos estacionados, porém neste caso existe uma distinção mais clara dos veículos que foram identificados pelo algoritmo; e
- De acordo com a análise dos resultados discutidos, para este experimento, a eficiência da metodologia proposta depende da posição solar no momento da tomada das imagens, pois é necessária a projeção de oclusões derivadas dos objetos de interesse.

A Figura 6 apresenta os demais experimentos realizados com uso das imagens de alta resolução.

Ao visualizar a Figura 6 verifica-se que:

- De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 6A e 6B, todas as oclusões projetadas pelos veículos presentes na rodovia foram detectadas com sucesso e conseqüentemente todos os veículos foram automaticamente reconhecidos;

Figura 6 – (A,B,C)Veículos reconhecidos automaticamente; (D) Imagem de intensidade laser.



- Tanto na Figura 6A quanto na Figura 6B são apresentados exemplos de veículos de cor escura que foram detectados com eficiência pelo algoritmo;
- Na Figura 6C, dos 16 veículos estacionados (contagem manual), 14 foram identificados com sucesso. Os casos de falha na detecção é explicada devido a projeção de sombras dos veículos no canteiro lateral do pavimento;

- O uso da imagem de intensidade laser integrada com imagem digital adquirida com câmaras de pequeno formato apresenta grande potencial no reconhecimento automático de veículos presentes em rodovias;
- Ainda na Figura 6C são identificadas falsas detecções provenientes da projeção de sombra de vegetação sobre a rodovia; e
- No contexto geral, o modelo matemático implícito proposto é simples, porém eficiente na detecção de oclusões projetadas pelos veículos presentes em rodovia.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A principal característica da metodologia proposta é reconhecer automaticamente veículos presentes em rodovias em áreas urbanas, a partir das oclusões projetadas pelos objetos de interesse. Neste contexto, o trabalho apresentado mostrou sua potencialidade e eficiência baseada nos resultados obtidos e analisados. A metodologia proposta apresenta vantagens e desvantagens em relação aos trabalhos relatados na seção 2. As vantagens apresentadas são as que seguem:

- a metodologia proposta poderá contribuir efetivamente em várias aplicações, tais como as citadas no item 1 deste trabalho;
- o modelo matemático proposto apresenta característica inédita e um novo foco sobre o problema de reconhecimento de veículos em áreas urbanas;
- o modelo implícito desenvolvido é simples e baseado em atributos de cores a partir de uma combinação não linear dos mesmos;
- a metodologia integra informações derivadas de sensores CCD e de varredura laser;
- falsas detecções são atenuadas com o uso da imagem de intensidade laser e por muitas vezes totalmente eliminadas do processamento;
- o uso dos valores de intensidade e as coordenadas tridimensionais, derivados do sistema de varredura laser restringem drasticamente o espaço de busca do algoritmo;
- apresenta potencial como informação a priori no reconhecimento automático de estacionamentos; e
- reconhece automaticamente veículos de qualquer tipo de cor, forma e tamanho.

As desvantagens do método proposto são:

- existe correlação na detecção de oclusões de objetos que não são de interesse neste trabalho, tal como, as sombras projetadas nas rodovias por vegetação e edificações;
- a eficiência do método depende da posição solar no momento da tomada das imagens, para que sejam projetadas as sombras;
- o método não é eficiente nos casos em que a posição da sombra projetada pelo veículo (imagem colorida) coincide com a posição de um veículo “varrido” pelo sistema de varredura laser (espaço-objeto), pois não existe correspondência entre os rótulos V^0 e V^P .

Portanto, os experimentos realizados mostraram que, o método é eficiente e promissor no reconhecimento de veículos presentes em rodovias. Como trabalhos futuros pretende-se implementar algoritmos para detecção de bordas para auxiliar o reconhecimento dos veículos, combinar os modelos matemáticos que estão sendo desenvolvidos, bem como realizar experimentos mais sofisticados para comprovar a eficiência e robustez do método, principalmente no que tange sua aplicação para auxiliar a reconstrução automática de veículos mais complexos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de externar seus agradecimentos à empresa de Aerolevantamentos AGRITEC/S.A. por disponibilizar as imagens aéreas digitais e ao LACTEC por disponibilizar a imagem de intensidade laser.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETKE M., HARITAOGLU E., DAVIS L., Real-time multiple vehicle detection and tracking from a moving vehicle, *Machine vision and Applications*, pp. 69-83, 2004.
- BROGGI A., CERRI P., ANTONELLO P., Multi-resolution vehicle detection using artificial vision, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 310-314, 2004.
- BURLINA P., CHELLAPPA R., LIN C., A spectral attentional mechanism tuned to object configurations, *IEEE Transactions on Image Processing* 6, pp. 1117-1128, 1997.
- HANDMANN U., KALINKE T., TZOMAKAS C., WERNER M., GOERICK C., VON SEELEN W., An imagem processing system for driver assistance, *Image and Vision Computing* 18, pp. 367-376, 1999.
- KATE T. K., LEEWEN M. B., MORO-ELLENBERGER S. E., DRIESSEN, B. J. F., VERSLUIS, A. H. G., GROEN, F. C. A., Mid-range and distant vehicle detection with a mobile camera, *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 72-77, 2004.

- LEITLOFF J., HINZ S., STILLA U., Vehicle queue detection in satellite images of urban areas, *3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas*, Volume XXXVI, Part 8/W27, Tempe, AZ, USA, March 14-16, 2005.
- LUGNANI, J. B., *Introdução à Fototriangulação*, Impresso na Imprensa Universitária da UFPR, Curitiba, 1987.
- MIKHAIL E. M., BETHEL J. S., MCGLONE J. C., *Introduction to modern photogrammetry*, Inc. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- PANTAVUNGKOUR S., SHIBASAKI R., Feature object detection on the urban road surface by the application of three line scanner imagery, *The 23th Asian Conference on Remote Sensing, Kathmandu, Nepal*, November 2003.
- SANTOS, D. R., DALMOLIN, Q., ARAKI, H., Detecção automática de veículos com uso de imagens de intensidade laser e analgifo, *Revista Brasileira de Cartografia*, on-line, v. 58, n° 3, p. 307-320, 2006.
- SANTOS, D. R. *Automação da resseção espacial de imagens com uso de hipóteses de rodovias como apoio de campo derivadas do sistema de varredura laser*. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- ZHANG, C., CHEN S., SHYU, M. PEETA, S., Adaptive background learning for vehicle detection and spatio-temporal tracking, *Information, communication and signal processing, Fourth international conference*, pp. 1-5, 2003.
- ZHAO, T., NEVATIA R., Car Detection in Low Resolution Aerial Images, *Image and Vision Computing Journal*, vol.21, no.8, August, pp. 693-703, 2003.

(Recebido em agosto/07. Aceito em março/08)