

Restauração de Imagens e detecção automática de características aplicados à Navegação Aérea Autônoma

Ana Paula Abrantes de Castro^{1,2}
José Demisio Simões da Silva²
Felipe Leonardo Lobo Medeiros^{1,2}
Elcio Hideiti Shiguemori¹

¹ Instituto de Estudos Avançados – IEAv/CTA
Caixa Postal 6044 – 12228-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
{anapaula, felipe, elcio}@ieav.cta.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
{apaula, demisio}@lac.inpe.br

Abstract. This work has as objective the comparison of different techniques for image restoration. These techniques are used as pre-processing for feature detection techniques applied to the problem of automatic image-based position estimation for UAV's (Unmanned Aerial Vehicles). This image-based position estimation consists in a matching problem among images captured by different sensors. The matching is made with features obtained through the images captured by a camera coupled to a helicopter and georeference images of the navigation environment, that are stored in the own vehicle. Such georeference images are aerial photographs and images generated by the satellite Ikonos. In this work, the analyzed techniques for image restoration are: the Inverse Filter; the Wiener Filter in the frequency domain; the Wiener Filter in the space domain; the Regularization Filter; the Lucy-Richardson Filter; the Blind Deconvolution Filter; and the Median Filter. And the feature detection is accomplished by the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm. Through analyses of the results, the importance of the pre-processing by image restoration is verified, mainly, when images of different sensors are used. Besides, it is verified that the combination of the image restoration with the SIFT algorithm decreases the impact of rotation, translation and scale variations in the problem of image matching.

Keywords: image processing, autonomous navigation, UAV, processamento de imagens, navegação autônoma, VANT.

1. Introdução

Durante os últimos anos pôde-se observar um contínuo aumento do emprego de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT), com expectativas crescentes de aplicações civis e militares, tais como operações de vigilância, reconhecimento, monitoramento ambiental e agrícola, aerolevanteamento, transporte de carga, etc. O VANT se destaca, especialmente, em missões nas quais a presença de um piloto a bordo pode ser um fator limitante. Um dos atuais desafios é dotar um VANT da capacidade de navegação autônoma com a menor dependência possível de sistemas de navegação por satélite (Global Navigation Satellite System) (MARTINS et al., 2006; LUDINGTON; JOHNSON; VACHTSEVANOS, 2006). Uma possível alternativa é a utilização de um sistema de navegação com estimação automática da posição do VANT baseada em imagens da superfície sobrevoada.

O projeto PITER (Processamento de Imagens em Tempo Real), em desenvolvimento no IEAv (Instituto de Estudos Avançados), tem por objetivo demonstrar o conceito de navegação autônoma por imagens para VANT's. Neste projeto, imagens da região sobrevoada são captadas, processadas e comparadas em tempo real com um conjunto de imagens georreferenciadas, visando a estimação da posição do VANT. Após a estimação, o sistema

inercial do VANT é corrigido e a posição estimada é enviada para o sistema de navegação autônoma do VANT, permitindo que o mesmo navegue pela rota planejada de forma eficiente e segura.

Numa das estratégias abordadas no projeto, é realizada a busca automática por pontos correspondentes entre imagens que contém uma mesma cena obtida por sensores diferentes. No entanto, além de variações de escala, rotação e translação que os algoritmos de reconhecimento de padrões devem considerar, há grandes variações na qualidade e na forma de obtenção destas imagens. Como pode ser observado em (SHIGUEMORI; MONTEIRO; MARTINS, 2007; MONTEIRO et al., 2006; GOLTZ; SHIGUEMORI, 2008), é essencial a realização de um pré-processamento das imagens antes de aplicar os algoritmos de detecção automática de características.

Existem inúmeras técnicas de restauração na literatura (GONZALEZ; C.WOODS, 1992; GONZALEZ; C.WOODS; EDDINS, 2004), no entanto, deve-se ressaltar que no projeto PITER é desejado um sistema com baixo custo computacional para o sistema embarcado, uma vez que há restrições quanto à carga útil do VANT, além de um balanceamento entre eficiência e processamento em tempo-real, que a aplicação de navegação aérea autônoma requer. Para isto, foram comparadas diferentes técnicas de restauração com o intuito de escolher as mais adequadas ao projeto.

Uma vez que a imagem é restaurada, qualquer algoritmo de detecção automática de características pode ser utilizado. Neste trabalho foi empregado o algoritmo SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), muito utilizado na literatura por ser invariante à escala, rotação e translação (LOWE, 2004), a fim de se avaliar o impacto do pré-processamento das imagens. As técnicas de restauração foram aplicadas em imagens aéreas capturadas por uma câmera acoplada a um helicóptero, videografia na cidade de São José dos Campos realizada pelo projeto PITER em 2005, imagens do satélite IKONOS e fotos aéreas georreferenciadas.

Na segunda seção deste trabalho, são apresentados a motivação e os requisitos necessários para a navegação aérea por imagens. Na terceira seção, são discutidas algumas técnicas de restauração de imagens utilizadas como pré-processamento para a detecção de características em imagens obtidas por diferentes sensores. Na quarta seção, é apresentado o algoritmo SIFT, que é utilizado para a detecção de características. Nas duas últimas seções, são apresentadas análises dos resultados obtidos e as conclusões.

2. Navegação Aérea por Imagens

Há várias pesquisas que abordam o problema da navegação autônoma baseada em visão computacional para robôs aéreos, terrestres e náuticos (KUNDUR; RAVIV, 1998; AZINHEIRA et al., 2002). Nos sistemas de navegação baseada em visão para VANT's, algumas considerações tornam-se necessárias. O sistema de visão captura uma grande quantidade de dados que têm de ser processados em tempo-real para que informações relevantes possam ser extraídas das imagens e realimentem os sistemas de controle e navegação. Esta informação é fundamental para o cumprimento de forma segura e eficiente da missão do VANT. Sistemas de reconhecimento de marcos para VANTs têm restrições com relação à velocidade de processamento, carga útil e variações nas imagens devido a fatores como ações do homem e mudanças de ambiente como iluminação do Sol.

Os sistemas de posicionamento da maioria dos VANT's são baseados na integração entre sensores inerciais e o Global Positioning System (GPS), no entanto, estes sistemas podem apresentar falhas e sofrer interferência externa. No projeto PITER, pesquisa-se um sistema de navegação autônoma baseado em visão computacional.

O sistema de visão computacional consiste em capturar imagens do solo e compará-las, em tempo real, com um mosaico de imagens georeferenciadas, com o objetivo de estimar a

posição do veículo. As imagens capturadas são processadas e passam por um subsistema de reconhecimento de padrões para que a posição do VANT seja estimada. O sistema inercial do VANT é então corrigido com a posição estimada.

O sistema deve ser capaz de reconhecer pontos de controle no solo, em imagens de satélite georreferenciadas, a partir de imagens capturadas em vôo sobre a mesma região. Uma vez reconhecidas as feições, as suas coordenadas geográficas são inseridas no “sensor inercial” para a correção do mesmo, permitindo a realização precisa da navegação. Este trabalho apresenta um sistema de processamento de imagens para pré-processá-las e melhorar a qualidade com a finalidade de facilitar os sistemas de reconhecimento automático de características.

3. Restauração de Imagens

Esta pesquisa tem o objetivo de comparar técnicas de restauração de imagens para uso em conjunto com o algoritmo de extração automática de características. Diferentes técnicas de restauração de imagens foram testadas com o intuito de melhorar o desempenho do algoritmo de detecção e de descrição de características através do uso do algoritmo SIFT, variando-se alguns parâmetros. As técnicas de restauração de imagens utilizadas foram (GONZALEZ; C.WOODS, 1992; GONZALEZ; C.WOODS; EDDINS, 2004):

- Filtro Inverso;
- Filtro de Wiener no domínio da frequência;
- Filtro de Wiener no domínio espacial;
- Filtro Regularização (Constrained Least Squares Filtering);
- Filtro Lucy-Richardson;
- Filtro Blind Deconvolution; e
- Filtro da Mediana.

O principal objetivo é a remoção ou redução de degradações das imagens geradas no processo de aquisição (JAIN, 1989; GONZALEZ; C.WOODS, 1992; GONZALEZ; C.WOODS; EDDINS, 2004). As principais fontes de degradações incluem ruído no sensor, perda de foco, movimento relativo da câmera, turbulência atmosférica, entre outras. Em geral, técnicas de restauração consideram o modelo de degradação e usam um processo inverso para obter a imagem original (BERTERO; BOCCACCI, 1998).

4. Detecção de Características

Neste trabalho, o impacto da aplicação dos diferentes métodos de restauração de imagens é medida pelo número de correspondências corretas classificadas pelo algoritmo de detecção de pontos característicos, o SIFT. O algoritmo foi desenvolvido na década de 90 (LOWE, 2004) e cria descritores de pontos-chave de uma imagem, que são invariantes a mudanças de escala, rotação, translação e luminosidade, o que é desejado na aplicação por serem utilizadas imagens capturadas durante o vôo. O algoritmo tem 4 etapas principais: detecção de extremos, localização de pontos-chave, definição de orientação e descrição dos pontos-chave. Para cada imagem é encontrado um conjunto de descritores e utilizado um algoritmo para encontrar os pontos correspondentes entre os dois conjuntos de descritores das imagens. O melhor candidato para correlacionar cada ponto-chave é encontrado pela identificação de seu vizinho mais próximo, através da menor distância euclidiana entre os descritores dos pontos. Entretanto, muitos pontos de uma imagem não têm correspondentes na outra imagem. Para eliminar essas falsas correspondências, utiliza-se um método que compara a menor distância com a segunda menor distância. Mais detalhes são encontrados em (LOWE, 2004).

5. Experimentos

No trabalho, foram feitos dois experimentos simulando o vôo do VANT sobre a cidade de São José dos Campos: no primeiro considerando-se fotos aéreas georreferenciadas como informações embarcadas; e no segundo uma imagem do satélite Ikonos georreferenciada também de São José dos Campos. Foram considerados marcos relevantes como, por exemplo, campos de futebol; rodovias e passarela. Um exemplo das imagens utilizadas é apresentado na Figura 1. A imagem 1-a) representa a imagem capturada durante o vôo do VANT, a imagem georreferenciada 1-b) a informação embarcada para o primeiro vôo e a imagem georreferenciada 1-c) representa a região da imagem Ikonos sobrevoada pelo VANT. As restaurações foram realizadas utilizando a biblioteca de Processamento Digital de Imagens do MatLab.

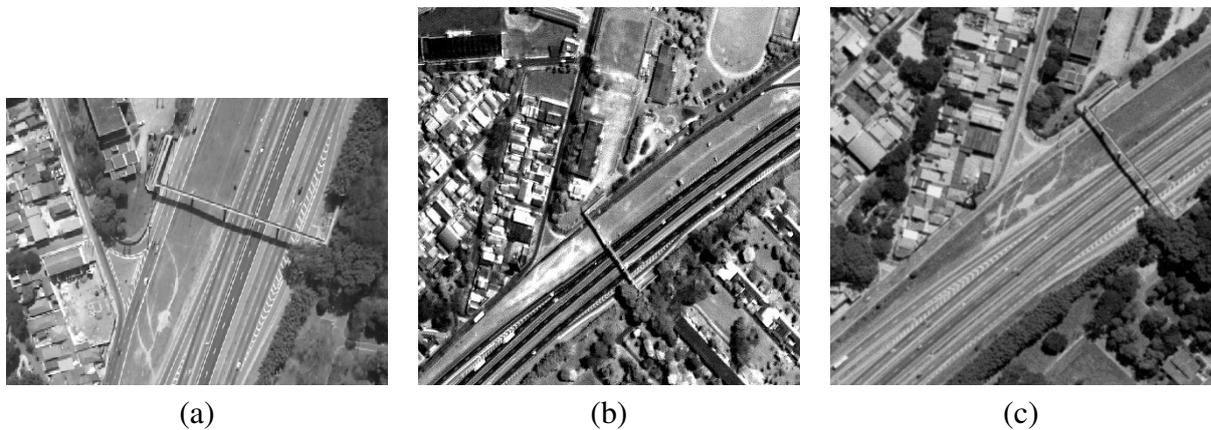


Figura 1: Exemplos de imagens utilizadas nos experimentos.

A seguir são apresentados os resultados obtidos com os diferentes algoritmos de restauração nos dois vôos considerados.

5.1. Resultado para imagens videografia x foto aérea

Para este experimento, as imagens da foto aérea foram restauradas pelos métodos citados na seção 3, enquanto as imagens da videografia não foram restauradas. Na Tabela 1 apresenta-se o número de correspondências apresentadas pelo SIFT, bem como a porcentagem de acerto, após as imagens serem pré-processadas pelos métodos de restauração. Ressalta-se que os dados apresentados correspondem ao número médio obtido após a aplicação em 3 diferentes imagens, contendo campo de futebol e rodovia, campo de futebol municipal e passarela da rodovia Dutra da cidade de São José dos Campos - SP.

Tabela 1: Comparações dos resultados das restaurações

Método	Pontos correspondentes	% de acerto
<i>Sem restauração</i>	6.67	88.89
Inverso	6.67	100.00
Richardson-Lucy	6.67	95.83
Regularização	6.67	100.00
Wiener domínio espacial	6.33	96.30
Wiener domínio frequência	6.67	100.00
Blind Deconvolution	7.00	93.33
Mediana	5.33	100.00

Na navegação aérea por imagens é desejado o maior número de acertos com o menor custo computacional possível, uma vez que o sistema embarcado no VANT deverá reconhecer automaticamente a região sobrevoada, mas tem carga útil limitada resultando em sistema de hardware embarcado reduzido. Pode-se observar que os métodos Inverso, regularização, Wiener no domínio da frequência e mediana aumentam a porcentagem de acerto do detector de características SIFT, quando comparado com o resultado obtido com as imagens sem restauração. Na Tabela 1 os resultados do filtro inverso são destacados por apresentarem baixo custo computacional, quando comparado com os demais métodos que aumentaram a eficiência do sistema. Um exemplo do resultado obtido com o sistema é apresentado na Figura 2. As linhas mostram os pontos correspondentes do par de imagens videografia e foto aérea, respectivamente.



Figura 2: Pontos característicos obtidos após a restauração da imagem aérea.

5.2. Resultado para imagens videografia x Ikonos

Os resultados da simulação do segundo vôo são apresentados na Tabela 2. Assim como no vôo um, são apresentados os resultados dos diferentes métodos de restauração de imagens após a extração de características do algoritmo SIFT e a média dos resultados obtidos em diferentes imagens contendo campo de futebol e rodovia, campo de futebol municipal e passarela da rodovia Dutra da cidade de São José dos Campos - SP.

Tabela 2: Comparações dos resultados das restaurações

Método	Pontos correspondentes	% de acerto
<i>Sem restauração</i>	3.00	11.11
Inverso	3.33	23.33
Richardson-Lucy	2.67	4.76
Regularização	2.33	44.44
Wiener domínio espacial	2.67	5.55
Wiener domínio frequência	3.67	22.22
Blind Deconvolution	5.00	7.69
Mediana	4.33	25.00

Observa-se que o pré-processamento das imagens através dos algoritmos de restauração melhoram o desempenho do algoritmo SIFT quando comparado com os resultados obtidos com a imagem sem restauração. No entanto, os resultados obtidos utilizando-se imagens do satélite Ikonos e imagens da videografia não são tão bons quanto aos obtidos no vôo um, que atingiram até 100% de acerto em 6,67 pontos. A eficiência menor da metodologia no vôo 2 deve-se principalmente pela utilização de imagens com grandes diferenças na qualidade, como pode ser observado na Figura 3. A linha mostra um ponto correspondente das duas imagens videografia e Ikonos, respectivamente (a) e (b).



Figura 3: Pontos característicos obtidos após a restauração da imagem Ikonos.

6. Conclusões

No trabalho foi apresentada uma comparação de métodos de restauração de imagens para melhorar a qualidade das imagens a serem utilizadas pelos algoritmos extração automática de características em imagens de navegação autônoma de Veículos Aéreos Não-Tripulados. Através de análises dos resultados, verifica-se a importância deste pré-processamento quando são utilizadas imagens de diferentes sensores. Além disto, verifica-se que a combinação da restauração de imagens com algoritmos de extração de características, como o algoritmo SIFT, diminui o impacto de algumas das variações presentes nas imagens da aplicação como: rotação, translação e escala. As atuais diretrizes do projeto visam o aperfeiçoamento do sistema, para realizar: a navegação aérea autônoma tridimensional de forma eficiente (considerando aspectos de representação tridimensional do ambiente, capacidade de planejamento de trajetórias e a restrição de carga útil do VANT), o processamento e o reconhecimento das imagens em tempo real, enfrentando variações de iluminação, chuva, entre outras.

Referências

AZINHEIRA, J. R. et al. Visual servo control for the hovering of all outdoor roboticairship. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. [S.l.: s.n.], 2002. p. 2787–2792.

BERTERO, M.; BOCCACCI, P. *Introdution to Inverse Problems in Imaging*. Bristol: [s.n.], 1998.

- GOLTZ, G.; SHIGUEMORI, E. Aplicação do algoritmo sift em imagens de navegação autônoma. In: *Workshop Anual de Pesquisa e Desenvolvimento do IEAv*. São José dos Campos: IEAv, 2008. p. 35.
- GONZALEZ, R. C.; C.WOODS, R. *Digital Image Processing*. New York: Addison-Wesley Publishing, 1992. 793 p.
- GONZALEZ, R. C.; C.WOODS, R.; EDDINS, S. L. *Digital Image Processing using MATLAB*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004. 624 p.
- JAIN, A. K. *Fundamentals of digital image processing*. New Jersey: Prentice hall, 1989. 569 p.
- KUNDUR, S.; RAVIV, D. A vision-based pragmatic strategy for autonomous navigation. *Pattern Recognition*, n. 31, p. 1221–1239, 1998.
- LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, v. 60, p. 91–110, 2004.
- LUDINGTON, B.; JOHNSON, E. E.; VACHTSEVANOS, G. Augmenting uav autonomy: Vision-based navigation and target tracking for unmanned aerial vehicles. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, p. 63–71, 2006.
- MARTINS, M. et al. Navegação aérea autônoma por imagens. In: IEAV, 6., 2006, São José dos Campos. *VI WAI Workshop Anual de Pesquisa e Desenvolvimento do Instituto de Estudos Avançados*. São José dos Campos: IEAv, 2006.
- MONTEIRO, M. et al. Ikonos and video image registration using gradient correlation, mutual information and combined mutual and gradient information. In: *SIBGRAPI - Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica, Processamento de Imagens e Visão Computacional*. [S.l.]: , 2006.
- SHIGUEMORI, E.; MONTEIRO, M.; MARTINS, M. Landmarks recognition for autonomous aerial navigation by neural networks and gabor transform. In: *IS&T/SPIE 19th Annual Symposium Electronic Imaging Science and Technology*. [S.l.]: Image Processing: Algorithms and Systems V, 2007. p. 6497.