

Avaliação do Erro de Estimação da Posição de um VANT através da Correlação entre Imagens Aéreas e de Satélite

Gustavo Augusto Mascarenhas Goltz, Elcio Hideiti Shiguemori e Haroldo Fraga de Campos Velho

IEAV – Instituto de Estudos Avançados – São José dos Campos, Brasil
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – São José dos Campos, Brasil

Resumo — Neste trabalho aplicou-se a correlação no domínio espacial entre imagens aéreas e de satélite com o objetivo de estimar a posição geográfica de um veículo aéreo não tripulado (VANT) durante seu voo, através de imagens capturadas do terreno sobrevoado correlacionadas com uma imagem de satélite georeferenciada da mesma região. Para possibilitar a correlação, a imagem aérea deve ser corrigida em escala e rotação, que são grandezas estimadas pelo altímetro e pela bússola do VANT, respectivamente. Inserindo-se erro nestas grandezas, avaliou-se o erro gerado pela correlação na estimação da posição geográfica do VANT.

Palavras-chave — Inteligência de máquinas e robótica, correlação, navegação aérea autônoma por imagens.

I. INTRODUÇÃO

A aplicação de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) intensificou-se nos últimos tempos, devido ao baixo custo operacional e de fabricação comparados às aeronaves convencionais, ausência de tripulação, entre outros fatores. São empregados em sensoriamento remoto (com sensores óticos ou SAR embarcados) para monitoramento de cidades, atividades humanas ou áreas de risco, como o levantamento aéreo de zonas de conflito ou de catástrofes naturais. VANTs rádio-controlados possuem limitação do alcance da antena, bem como possível interferência na comunicação com a base de controle. Interferências no sinal também podem ocorrer com VANTs que utilizam sinal GPS (*Global Positioning System*) aliado ao INS (*Inertial Navigation System*) para navegação. Um exemplo deste tipo de sistema de navegação em VANTs pode ser visto em [1]. Um possível bloqueio do sinal GPS também se torna uma limitação ao seu uso. Uma alternativa para estes problemas é a navegação aérea baseada na captura em tempo real de informações sobre o terreno sobrevoado, como o mapa digital de elevação do terreno [2] ou seu imageamento, extraindo das imagens a informação de textura [3] ou bordas [4]. Técnicas de visão computacional também auxiliam a navegação do VANT com o reconhecimento de objetos do terreno, como é feito em [5] com visão estéreo, e em [6] com a aplicação de correspondência entre imagens. A posição geográfica de um VANT pode ser estimada pelo casamento das imagens do

terreno sobrevoado, capturadas em tempo real, com imagens de satélite georeferenciadas embarcadas no VANT, da mesma região sobrevoada.

Existe um alto custo computacional de se encontrar uma pequena região sobrevoada em uma imagem de satélite contendo toda a região do plano de voo. Este custo pode ser reduzido concentrando-se a busca da região sobrevoada em torno de um ponto estimado pelo sensor inercial do VANT, o qual é corrigido pelo próprio casamento entre as imagens periodicamente.

II. FATORES QUE DIFICULTAM O CASAMENTO ENTRE AS IMAGENS

Fatores como, escala, rotação, diferença de luminosidade e diferença na resposta espectral da cena capturada entre os dois sistemas (câmera de imageamento do VANT e sistema de imageamento do satélite) fazem com que uma mesma cena seja representada de forma diferente na imagem capturada em tempo real pelo VANT e na imagem de satélite utilizada.

Um dos fatores comuns é que ambas as imagens foram capturadas em visada nadir, eliminando efeitos de perspectiva. A rotação pode ser corrigida através da informação da bússola do VANT. A diferença de escala entre as imagens pode ser estimada pela informação do altímetro do VANT. Detalhes do terreno em ambas as imagens podem ser eliminados ao aplicar nestas imagens um filtro passa-baixas. Isso faz com que sejam mantidos nas imagens apenas os objetos e feições do terreno mais relevantes. Fatores ligados às diferenças de luminosidade e de resposta espectral são eliminados utilizando-se somente as bordas extraídas das imagens.

III. OBTENÇÃO DO CASAMENTO ENTRE AS IMAGENS AÉREAS E DE SATÉLITE

Inicialmente a imagem capturada em tempo real pelo VANT é corrigida em escala e rotação, em relação à região da imagem de satélite embarcada. Esta região é delimitada em torno do ponto onde o sensor inercial estima ser a posição geográfica do VANT. Um filtro da mediana com uma máscara de convolução 3x3 é aplicado nas duas imagens, com o intuito de eliminar pequenos detalhes nas imagens. Em seguida as bordas são extraídas. Neste trabalho utilizou-se o operador Sobel para este fim. Com as bordas das duas

G. A. M. Goltz, gustavo.goltz@ieav.cta.br, E. H. Shiguemori, elcio@ieav.cta.br, H. F. Campos Velho, haroldo@lac.inpe.br
Este trabalho foi financiado pelo COMAER, através do Projeto PITER, No. V01050303 e CNPq.

imagens, o casamento é feito com o cálculo da correlação [7] no domínio espacial, dada por (1).

$$c(s,t) = \sum_x \sum_y f(x,y)w(x-s,y-t). \quad (1)$$

Sendo $c(s,t)$ a correlação c de índices s,t , com $s = 0,1,\dots,M-1$ e $t = 0,1,\dots,N-1$, sendo M e N as dimensões da matriz f que contém as bordas da imagem de satélite, e a matriz w , com dimensões $J \times K$, com $J \leq M$ e $K \leq N$, contendo as bordas da imagem aérea. Dada a maior correlação c encontrada entre as matrizes f e w , o ponto na imagem de satélite f que coincide com o ponto central da imagem aérea w corresponde-se à localização do VANT no momento em que este sobrevoou tal região imageada. Conhecendo-se este ponto, suas coordenadas corrigem o sensor inercial e o processo de casamento entre as imagens recomeça. O diagrama da Fig. (1) resume o processo de casamento descrito. Para acelerar o cálculo da correlação, a imagem aérea também tem sua área reduzida em torno do seu ponto central, após as correções de escala e rotação.

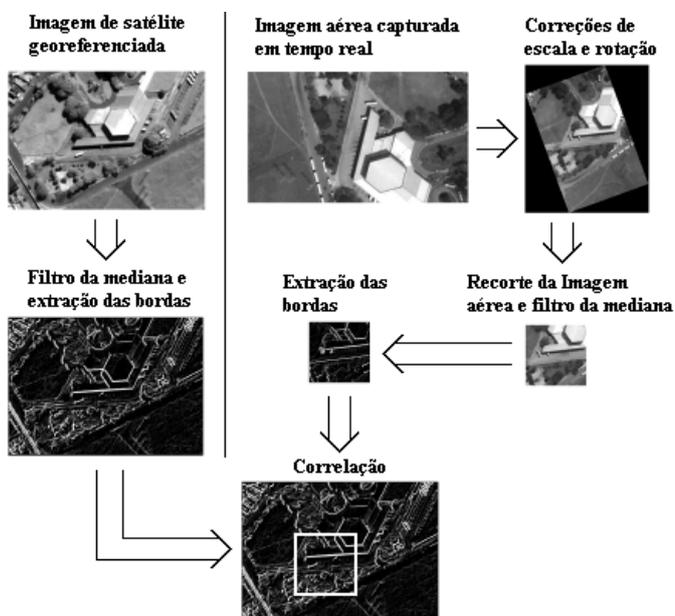


Fig. 1. Passos do processo de casamento

IV. MATERIAIS UTILIZADOS E METODOLOGIA

Para simular as imagens capturadas em tempo real por um VANT, foram utilizadas imagens de uma videografia aérea realizada a uma altitude constante. A imagem de satélite utilizada possui alta resolução espacial de 0,6m a fim de facilitar o casamento com a imagem aérea. O cálculo da correlação foi realizado em 10 pares de imagens (uma imagem aérea e uma de satélite) que simulam 10 regiões diferentes sobrevoadas por um VANT, sendo que cada imagem de satélite contém a região da imagem aérea correspondente. As dimensões das imagens utilizadas no cálculo da correlação foram: para a imagem de satélite 480x340 pixels e para a imagem aérea 191x191 pixels. A imagem aérea tem dimensões ímpares para que haja um pixel central. O ponto na imagem de satélite que coincide com este pixel central é a posição geográfica do VANT calculada. Para cada par de imagens foi estimado visualmente o ponto central

que coincide a imagem aérea na imagem de satélite, representando o ponto geográfico onde o VANT se encontra naquele momento. Este ponto assumiu-se como verdade para o cálculo do erro. A escala e rotação necessárias para corrigir a imagem aérea em relação à de satélite também foram estimadas visualmente. Atribuindo-se erros de +5% e +10% nos valores de escala e rotação estimados, avaliou-se a robustez do método para a estimação da localização do VANT. Os resultados obtidos encontram-se a seguir.

V. RESULTADOS

As seguintes situações com ocorrência de erro na escala e rotação foram estabelecidas:

- escala com 0% de erro e rotação com 0% de erro
- escala com 0% de erro e rotação com +5% de erro
- escala com 0% de erro e rotação com +10% de erro
- escala com +5% de erro e rotação com 0% de erro
- escala com +5% de erro e rotação com +5% de erro
- escala com +5% de erro e rotação com +10% de erro
- escala com +10% de erro e rotação com 0% de erro
- escala com +10% de erro e rotação com +5% de erro
- escala com +10% de erro e rotação com +10% de erro

A correlação foi calculada entre os 10 pares de imagens, para cada situação acima. O erro médio, em metros, foi calculado para cada situação de erro estabelecida e pode ser visualizado na Tabela 1. O erro em metros foi obtido pela distância euclidiana entre o ponto estimado pela correlação e ponto considerado como verdade, multiplicando esta distância em pixels por 0,6, que se corresponde à resolução espacial em metros de cada pixel.

TABELA I ERRO MÉDIO EM METROS PARA CADA SITUAÇÃO DEFINIDA DE ERROS DE ESCALA E ROTAÇÃO

		Rotação				
		Erro	0%	+5%	-5%	+10%
Escala	0%	7,6989	9,1608	18,4222	21,2832	16,0304
	+5%	12,4812	22,7366	21,3409	20,9797	10,7101
	-5%	11,3895	12,9900	10,9151	16,8556	21,2181
	+10%	28,9259	26,5358	20,8082	29,4021	26,9408
	-10%	28,8270	29,0777	28,0519	29,4349	29,4623

O maior erro registrado nos testes foi de 116,5175 m, ocorrido em um par de imagens com erros de escala e de rotação de -10%. Um erro igual a zero foi obtido, em relação ao ponto estimado, com um par de imagens com erro de escala com +5% e com a rotação correta.

Um teste aplicando erros de +15% de escala e rotação atingiu um erro médio de 49,3319 m, com o maior erro amostral de 95,1582 m, e ao inserir um erro de +20% na escala e na rotação, o erro médio passou para 52,3564 m, com o maior erro amostral de 116,8399 m. O par de imagens que apresentou erro máximo de estimação da posição do VANT, em cada situação de erro de escala e rotação estabelecida, não foi o mesmo.

Levando-se em consideração as dimensões das imagens aéreas e de satélite utilizadas nos testes, o maior erro possível de ocorrer para a estimação da posição do VANT é de 197,4985 m.

VI. DISCUSSÃO, CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Na Tabela (1) observa-se que, no geral, o erro possui uma taxa de aumento maior ao se percorrer esta tabela no mesmo sentido do aumento do erro de escala, do que no sentido do aumento do erro de rotação, com isso conclui-se que o método estudado é mais sensível a erros de escala do que de rotação.

O método possui relativa robustez a erros de escala e rotação devido à forma com que são extraídas as bordas pelo método de Sobel, o qual produz bordas largas e com diferentes níveis de cinza, aonde os pixels gradualmente vão diminuindo de intensidade ao se afastarem do ponto onde o gradiente de borda é máximo. Em testes preliminares, onde se utilizou o operador Canny ao invés do Sobel, constatou-se um aumento considerável do erro de estimação da posição do VANT, devido ao operador Canny gerar bordas mais precisas, dificultando o processo de casamento entre as imagens.

Ao se mudar os erros de escala e rotação de 0% e +10%, respectivamente, para +5% (ou -5%) e +10%, respectivamente, nota-se uma diminuição do erro de estimação da posição do VANT. Isso também ocorre em outros casos da Tabela (1), onde o erro de estimação da posição do VANT melhorou ao aumentar o erro de escala e/ou rotação. Estes fatos podem estar ligados ao erro presente na estimação visual dos pontos corretos de localização do VANT, como também na estimação visual de escala e rotação consideradas como corretas. Uma forma de evitar erros na estimação de escala, rotação e posição real do VANT é utilizar imagens aéreas georeferenciadas para a validação do método abordado. Outra possível forma de eliminar o erro de estimação visual da posição do VANT é utilizar um simulador de voo com a informação do sinal GPS para validar o método. Isso será futuramente realizado.

Este trabalho limitou-se a avaliar o erro de estimação da posição do VANT com o uso da correlação entre as imagens, não demonstrando uma forma de eliminar “falsos positivos”, ou seja, correlações erradas consideradas como corretas. Uma forma de eliminar estas correlações pode ser feita de semelhante forma à utilizada em [4], onde um histórico do desvio-padrão entre a posição estimada pelo sensor inercial e pelo sistema de imageamento é guardado, para um dado intervalo de tempo. Caso o sistema de imageamento estime uma posição do VANT que produza um desvio-padrão maior que o desvio-padrão médio (levando-se em conta um limiar), esta posição é rejeitada.

O cálculo da correlação no domínio da frequência [7] é uma alternativa caso haja interesse em aumentar a velocidade de computação do casamento entre as imagens aéreas e de satélite.

REFERÊNCIAS

- [1] Yoo, C.-S.; Ahn, I.-K. Low cost GPS/INS sensor fusion system for UAV navigation. 22nd Digital Avionics Systems Conference IEEE, v. 2, n. 8A, p. 1-9, 2003.
- [2] Jun Zhang and Weisong Liu. Vision-Based UAV Navigation using 3D GIS data. Proc. SPIE 5022, 910 (2003), DOI:10.1117/12.476705
- [3] Shiguemori, E. H. ; Monteiro, Marcus Vinícius T. ; Martins, Maurício Pozzobon . Landmarks recognition for autonomous aerial navigation by neural networks and Gabor transform. In: IS&T/SPIE 19th Annual Symposium Electronic Imaging Science and Technology, 2007, San Jose, CA, USA. Image Processing: Algorithms and Systems V, 2007. v. 6497.
- [4] Conte, G. and Doherty, P. An Integrated UAV Navigation System Based on Aerial Image Matching. Aerospace Conference, 2008 IEEE.
- [5] Lee, S.; Yoon, S.; Kim, H. J.; Kim, Y. Wireless stereo vision system development for rotary-wing UAV guidance and control. 3rd International Conference on Sensing Technology, p. 168-173, 2008.
- [6] Nemra, A.; Aouf, N. Robust feature extraction and correspondence for UAV map building. Mediterranean Conference on Control and Automation, IEEE Computer Society, Los Alamitos, EUA, v. 0, p. 922-927, 2009.
- [7] Gonzalez, R. C. and Woods, R. E. (2000). Processamento de Imagens Digitais. São Paulo, 1 edição.