

Correção geométrica de imagem Quickbird para áreas urbanas utilizando modelos geométricos generalizados e dados de laser scanning

Suelen Cristina Movio Huinca
Hideo Araki
Anna Carolina Cavalheiro

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Curitiba, Pr, Brasil

{ suelenuinca, haraki, annacarolina }@ufpr.br

Abstract. This paper describes the orthoimage generation from Quickbird images using Digital Surface Model obtained from laser scanning data. Geometric processing with projective transformation, rational function model using 1, 2 and 3 degree polynomials are compared. It is proposed one method for minimize the sensor off-nadir acquisition effect in the Quickbird orthoimage generation for urban areas.

Palavras-chave: Imagem de alta resolução, ortorretificação, laser scanning, modelo digital de superfície, correção geométrica.

1. Introdução

Imagens de alta resolução espacial como as obtidas pelo satélite Quickbird apresentam um efeito de perspectiva devido à visada do sensor estar inclinada em relação a vertical, sendo este problema, em áreas urbanas densas, agravado pela existência de sombras projetadas pelos edifícios. As imagens com a correção geométrica básica apresentam erro residual muito superior à dimensão do pixel projetado no terreno, e o modelo de polinômios racionais juntamente com modelos digitais de elevação (representando a superfície topográfica) tem sido amplamente utilizado para a ortorretificação. Por outro lado, as coordenadas tridimensionais obtidas pelos sensores laser scanning possibilitam a geração de um modelo com grande rapidez, denominado Modelo Digital de Superfície (MDS), o qual representa as feições existentes sobre a superfície topográfica, como as edificações e árvores..

O presente artigo apresenta o resultado de alguns testes referentes à modelagem geométrica mediante a utilização de polinômios racionais e da transformação projetiva, e o pós-processamento visando a geração de uma ortoimagem Quickbird. Este artigo está organizado em cinco seções. Na seção 2 é apresentada uma descrição dos sensores Quickbird e laser scanning, bem como seus problemas. Na seção 3 são apresentados os testes referentes à modelagem geométrica; na seção 4 são descritas a metodologia para a compatibilização geométrica da imagem Quickbird com o MDS e o procedimento do pós-processamento para retirar o efeito residual ainda existente na imagem corrigida devido à oclusão. E, finalmente, na seção 5, são apresentadas conclusões e considerações finais.

2. Imagem Quickbird e Imagem Laser Scanning

2.1. Imagem Quickbird

As imagens adquiridas por sensores orbitais de alta resolução espacial são consideradas como uma boa alternativa para mapeamento de áreas urbanas. Tais imagens consistem de bandas multiespectrais, de menor resolução espacial, e pancromática, de maior resolução espacial. A

resolução espacial das imagens Quickbird é de 70 cm no modo pancromático, e de 2,5 m no modo multiespectral.

Os sensores orbitais de alta resolução como o Quickbird e o Ikonos são direcionáveis para diminuir o intervalo de tempo de imageamento consecutivo de um mesmo local da superfície terrestre. Assim, as imagens em geral apresentam um efeito de perspectiva pelo fato da visada estar inclinada, não nadiral. A **Figura 1** ilustra a diferença entre uma imagem adquirida com visada vertical (nadiral) e uma imagem com visada inclinada.

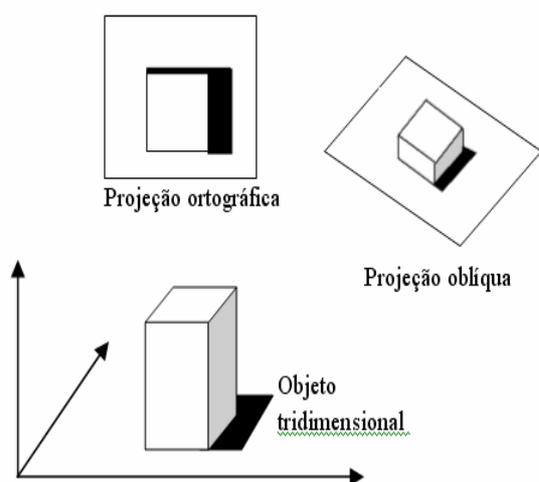


Figura 1 Diferença no imageamento em função do direcionamento do sensor



Figura 2 Composição RGB da imagem híbrida QuickBird com resolução espacial de 70 cm

Imagens híbridas obtidas pelo processo de fusão combinam a resolução espacial mais refinada da banda pancromática com a informação espectral das bandas multiespectrais. Para a imagem utilizada neste estudo, correspondente à área do Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, o método de substituição da componente principal (Schneider et al, 2003) foi utilizado para efetuar a fusão das bandas multiespectrais da imagem Quickbird com a banda pancromática, gerando bandas híbridas com resolução espacial de 70 cm. A figura 2 mostra, a composição colorida das bandas híbridas 3, 2 e 1 em RGB.

2. 1.1. Problemas encontrados nas Imagens Quickbird

Como se pode perceber na **Figura 2**, a imagem Quickbird apresenta um efeito de perspectiva causado pela geometria da aquisição da imagem. Este efeito é maior para edificações mais altas, e deve ser corrigido para gerar uma ortoimagem, ou seja uma imagem em projeção ortogonal. A ortoimagem pode ser utilizada para fins de visualização tridimensional ou para fins de mapeamento.

2. 2. Imagem Laser Scanning

A tecnologia laser scanning foi desenvolvida acompanhando a melhoria da qualidade do posicionamento GPS e da capacidade de medida de altitude com unidade de medida inercial, e permite uma rápida aquisição de modelos digitais de superfície (MDS). O sistema de varredura ótico-mecânico emite pulsos laser e registra o retorno após reflexão pelos materiais presentes na superfície terrestre. A **Figura 3** mostra o padrão de medidas do laser scanning. A distância é dada pela medida do tempo que a emissão laser necessita para percorrer a dupla

distância da aeronave à superfície. A direção do feixe é calculada combinando o ângulo de sistema de varredura com a orientação da aeronave, proporcionada pela unidade de medida inercial. A posição da aeronave e, portanto a origem do feixe laser é conhecida usando GPS; assim, as coordenadas de pontos medidos podem ser calculadas em um sistema terrestre de referência (Baltsavias, 1999).

A partir das coordenadas tridimensionais correspondentes ao último pulso, adquiridas pelo sensor ALTM2050, foi gerado o modelo digital de superfície com a resolução espacial de 70 cm mostrado na **Figura 4**. O MDS corresponde ao Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. A **Figura 5** mostra com mais detalhes uma parte da imagem mostrada na **Figura 4**.

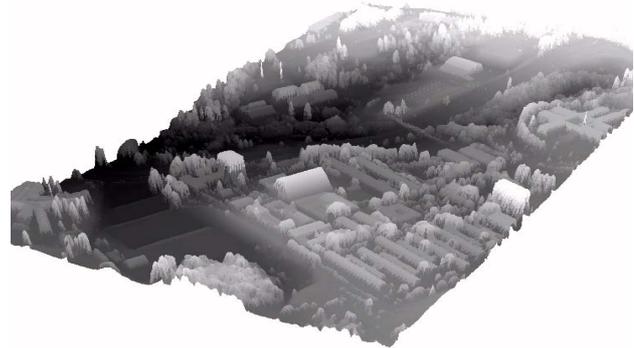


Figura 3 Padrão de varredura laser scanning. **Figura 4** Modelo Digital de Superfície da área de estudo.

2. 2.1. Problemas encontrados na Imagem Laser Scanning

Embora a informação altimétrica esteja presente, a diferenciação entre os tipos de feições não é adequada a partir da imagem laser scanning. Em áreas urbanas, muitas feições não podem ser discriminadas a partir do modelo digital de superfície, como é o caso de árvores e edificações que tenham alturas semelhantes. Também a densidade de pontos amostrados, o espaçamento da grade regular e o método de interpolação utilizado para gerar a imagem afetam a possibilidade de discriminar as bordas das feições. Assim, um dos problemas encontrados para a utilização de uma imagem gerada a partir dos dados de laser scanning é a identificação com clareza dos contornos de edificações.

2. 3. Utilização de MDS para a geração de ortoimagem Quickbird

Além do refinamento da correção geométrica básica, também o efeito de perspectiva causada pela geometria da aquisição da imagem Quickbird deve ser tratado para que se tenha a representação correta dos objetos existentes sobre a superfície do terreno. Então, é necessário efetuar a correção geométrica da imagem QuickBird considerando a informação altimétrica presente no MDS, e o posterior refinamento da imagem corrigida de modo a retirar os erros residuais. Os passos para a correção da imagem foram implementados no ambiente Matlab e são descritas nas seções 3 e 4.

3. Modelos de correção geométrica para imagens de alta resolução espacial

Modelos geométricos são necessários para estabelecer a relação funcional entre espaços imagem e objeto. Os modelos podem ser físicos ou generalizados (Tao e Hu, 2001). Nos modelos físicos, cada parâmetro tem um significado físico e tem relação com a posição e a orientação do sensor com relação a um sistema de coordenadas do espaço-objeto. Nos

modelos generalizados, a transformação entre os espaços imagem e objeto é representada como uma função geral como, por exemplo, um polinômio. Em geral, por não precisarem de conhecimento da geometria do sensor, os modelos generalizados podem ser aplicados a diferentes tipos de sensores.

Nos modelos generalizados, o processamento geométrico possui dois passos: a transformação espacial que especifica matematicamente a relação entre a imagem de entrada e a imagem de saída, e a interpolação de valores de cinza para construir a imagem de saída. Os parâmetros da transformação geométrica são calculados utilizando-se o método dos mínimos quadrados (MMQ) para um conjunto de pontos conhecidos nos dois espaços, imagem e terreno, denominados de pontos de controle. Para uma avaliação isenta da qualidade dos parâmetros determinados e da transformação espacial utilizada, deve-se dispor de um segundo conjunto de pontos também conhecidos nos dois espaços, denominados pontos de verificação.

Para as imagens de alta resolução, a transformação geométrica deve levar em conta a variação do relevo. Um modelo polinomial que incorpora o relevo foi proposto por Palà e Pons (1995) para a correção geométrica de imagens SPOT. Com a disponibilidade de imagens de alta resolução espacial, o modelo de polinômios racionais (ou razões polinomiais) está sendo amplamente utilizado para a correção geométrica. Tao e Hu (2001) consideram que os polinômios racionais são essencialmente uma forma genérica de polinômios, e apresentam a descrição das soluções direta e iterativa dos polinômios racionais pelo MMQ.

A resolução dos polinômios racionais utilizados nos testes descritos a seguir foi efetuada pela solução direta, sendo consideradas como observações (ou medições) apenas as coordenadas de imagem; assim, o método adotado para o ajustamento pelo MMQ foi o paramétrico. A imagem Quickbird com o nível básico de correção geométrica, como a utilizada neste trabalho, apresenta precisão métrica horizontal de 23m.

O modelo de polinômios racionais é utilizado para modelar a superfície topográfica (representada pelo modelo digital de elevação) na correção geométrica de imagens de alta resolução espacial. Neste estudo, serão testados diferentes graus de polinômios na modelagem da superfície com as edificações (MDS) obtida dos dados adquiridos pelo laser scanning. Os modelos comparados neste artigo são os polinômios racionais (polinômio de primeiro grau, polinômio de segundo grau e polinômio de terceiro grau) e a transformação projetiva.

A equação geral para os polinômios racionais é:

$$\begin{aligned} L_n &= P_1(X_N, Y_N, Z_N) / P_2(X_N, Y_N, Z_N) \\ C_n &= P_3(X_N, Y_N, Z_N) / P_4(X_N, Y_N, Z_N) \end{aligned} \quad (1)$$

L_n e C_n são, respectivamente, as coordenadas de imagem linha e coluna normalizados correspondentes a um ponto objeto cujas coordenadas normalizadas são X_n , Y_n , e Z_n . Para o caso de 3º grau, os polinômios são expressos como:

$$\begin{aligned} P_1 &= (1 \ Z \ Y \ X \ \dots \ Y^3 \ X^3)^* (a_0 \ a_1 \ \dots \ a_{19})^T \\ P_2 &= (1 \ Z \ Y \ X \ \dots \ Y^3 \ X^3)^* (1 \ b_1 \ \dots \ b_{19})^T \\ P_3 &= (1 \ Z \ Y \ X \ \dots \ Y^3 \ X^3)^* (c_0 \ c_1 \ \dots \ c_{19})^T \\ P_4 &= (1 \ Z \ Y \ X \ \dots \ Y^3 \ X^3)^* (1 \ d_1 \ \dots \ d_{19})^T \end{aligned} \quad (2)$$

Os termos a_i e b_i são os parâmetros a serem determinados.

A transformação projetiva permite relacionar coordenadas tridimensionais de objetos e sua representação bidimensional. A relação entre as coordenadas das duas imagens, laser scanning (E, N, H) e QuickBird (E', N'), pode ser descrita geometricamente por uma transformação projetiva que, na forma matricial para coordenadas homogêneas, tem a forma:

$$\begin{pmatrix} E' \\ N' \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E \\ N \\ H \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Os termos a_{ij} são os parâmetros da transformação projetiva.

Para a determinação dos parâmetros das transformações descritas acima foram coletadas na imagem Quickbird e no MDS as coordenadas de pontos situados em topo e base de edificações, bem distribuídos na imagem. Após a depuração para a eliminação de erros introduzidos no processo de medição, os pontos foram separados em dois conjuntos, o primeiro contendo 37 pontos para serem utilizados na determinação dos parâmetros, e o segundo conjunto contendo 24 pontos para verificação. O número de parâmetros para cada transformação está apresentado na **Tabela 1**. A **Tabela 1** também apresenta o erro médio quadrático obtido para os pontos de controle e de verificação, bem como os erros máximo e mínimo.

Tabela 1 Erro médio quadrático para pontos de controle e para pontos de verificação.

	Transformação Projetiva	Polinômio de 1º grau	Polinômio de 2º grau	Polinômio de 3º grau
Parâmetros	16	14	38	74
Resíduos para pontos de controle				
Média	2,2812	2,1684	1,4176	0,1284
Mínimo	0,2860	0,1626	0,2752	0,0088
Máximo	5,9358	5,3727	3,9559	0,3348
Resíduos para pontos de verificação				
Média	2,7026	3,1004	4,9670	3,8389
Mínimo	0,8726	0,9717	0,6618	0,3404
Máximo	7,1187	8,7868	11,2807	21,3227

Analisando os resíduos para os pontos de controle e para os pontos de verificação constata-se que aumentando o grau do polinômio houve diminuição dos resíduos para os pontos de controle, mas um aumento dos resíduos para os pontos de verificação. O resíduo máximo encontrado para pontos de verificação também aumentou, e ocorreu para pontos diferentes mostrando não ser sistemático. Estes resultados indicam que está havendo uma adaptação melhor para o conjunto de pontos de controle, mas pior para pontos que não participam deste conjunto. Na imagem corrigida, verificou-se que os polinômios de segundo e terceiro graus não conseguiram modelar adequadamente a variação de elevação devido a algumas árvores isoladas que chegam a ter mais de 40 metros de altura, gerando distorções nestas regiões. Deve-se observar que os pontos de controle foram situados em edificações existentes no campus, sendo que elas têm altura inferior a 40 metros. Locais do terreno mais baixos do que os pontos de controle também apresentaram distorções, mostrando a sensibilidade do modelo à variação em altitude dos pontos de controle.

O polinômio de primeiro grau apresentou menor variação de resíduos para os pontos de verificação do que os polinômios de grau mais elevado, embora os resíduos para pontos de controle sejam maiores. Já a transformação projetiva apresentou o melhor relação entre resíduos para os pontos de controle e de verificação. Na imagem gerada mediante a utilização destes dois últimos modelos, percebe-se boa aproximação do topo das edificações em relação à sua base.

4. Compatibilização geométrica da imagem Quickbird com o Modelo Digital de Superfície

A imagem QuickBird deve ter sua geometria modificada para gerar uma ortoimagem. O processamento geométrico possui dois passos: a transformação espacial que especifica matematicamente a relação entre a imagem de entrada e a imagem de saída, e a interpolação de valores de cinza para construir a imagem de saída.

Uma vez que a transformação projetiva gerou os menores resíduos para os pontos de verificação, foi a utilizada para a geração da ortoimagem, sendo efetuada uma interpolação bilinear para a determinação do valor dos pixels para cada banda Quickbird. Conforme a **Figura 6**, na ortoimagem há coincidência da base com o topo das edificações, porém, acontece um efeito que aparenta um arraste do topo das edificações devido à tomada da imagem inclinada. Este deslocamento aparente precisa ser tratado.

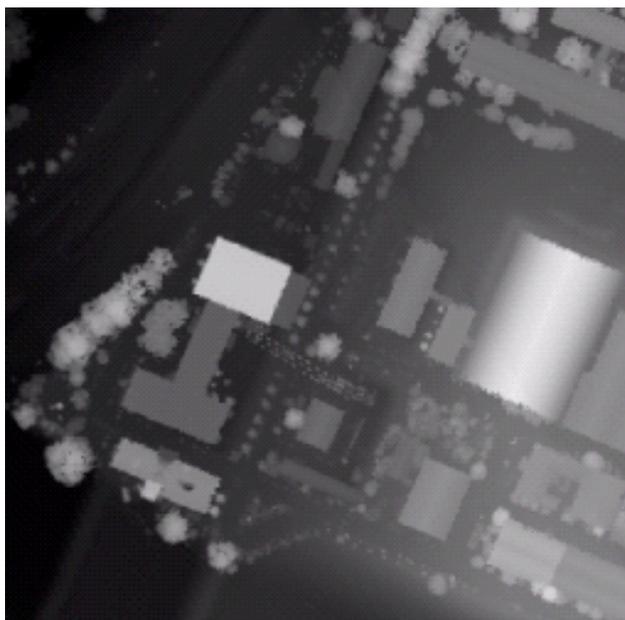


Figura 5 Ampliação de uma parte da Figura 4.



Figura 6 Imagem resultante da aplicação da transformação projetiva.

A partir da imagem corrigida, pode-se determinar o azimute do sensor e sua elevação. A elevação do sensor foi calculada a partir da medida do deslocamento do topo na imagem e da altura das edificações no MDS, e o azimute a partir da direção do deslocamento do topo. Dispondo do azimute e do ângulo de elevação do sensor, pode-se percorrer o MDS projetando para cada edificação a "sombra" em função da sua altura. Considerou-se que as regiões da imagem correspondentes à "sombra" podem ter valor de cinza igual a zero, pois correspondem a regiões onde a informação sobre o tipo de cobertura do solo não foi adquirida pelo sensor. A **Figura 7** mostra a imagem resultante do cálculo da "sombra" para as

edificações, a qual foi aplicada como máscara sobre a imagem mostrada na **Figura 6**. A **Figura 8** mostra a ortoimagem final.

4. Conclusão e Considerações

A transformação projetiva é uma transformação simples que necessita de poucos parâmetros. Na comparação efetuada para uma área pequena com variação em altitude de cerca de 75 metros, a transformação projetiva se mostrou mais eficaz do que os polinômios racionais de segundo e terceiro grau. O variação da altura das edificações foi modelada melhor com a transformação projetiva e com o polinômio racional de primeiro grau do que com polinômios de graus superiores.

Deve-se observar que nas áreas onde o valor de cinza foi tornado zero devido à oclusão, o sensor sequer chegou a adquirir informações sobre o tipo de cobertura. Assim, quando se deseja segmentar ou classificar a ortoimagem, deve-se utilizar informação adicional como, por exemplo, a intensidade do retorno do feixe laser, fotografias aéreas ou a base cartográfica existente

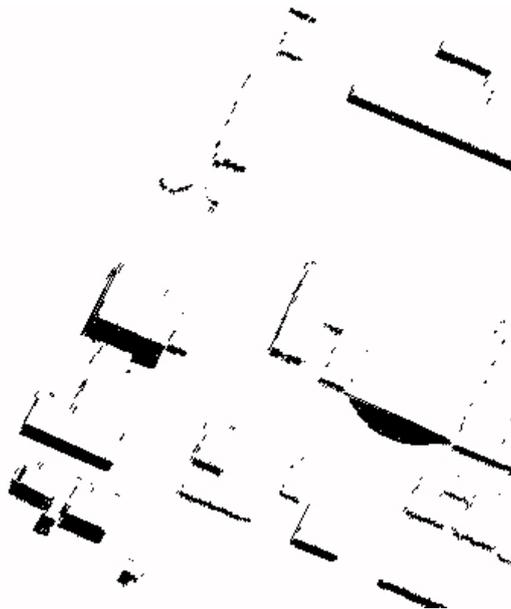


Figura 7 Máscara gerada para corrigir o efeito residual devido à visada inclinada.



Figura 8 Ortoimagem final.

Agradecimentos

Os autores apresentam agradecimento ao LACTEC pelos dados laser scanning, e à CETILGEO pela disponibilização da imagem QuickBird.

Referências

- BALTSAVIAS, E.P. Airborne laser scanning: basic relations and formulas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol. 54, pp 199-214, 1999.
- PÁLA, C. Vicenç.; PONS, Xavier. Incorporation of Relief in polynomial-based geometric corrections. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.61, n.7, pp 935-944, 1995.
- SCHNEIDER, M.J.; BELLON, O.R.P.; ARAKI, H. Experimentos em fusão de imagens de alta resolução. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v.9, n.1, pp 75-88, 2003.
- TAO, C.Vicent.; Hu, Yong. A comprehensive study of the Rational function model for photogrammetric processing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.67, n.12, pp 1347-1357, 2001.