

RECONSTRUÇÃO DE CONTORNOS E CUMEEIRAS DE TELHADOS DE EDIFÍCIOS A PARTIR DE IMAGENS AÉREAS DE ALTA-RESOLUÇÃO E POLIEDROS REPRESENTATIVOS DE EDIFÍCIOS EXTRAÍDOS DE DADOS LASER

VANESSA JORDÃO MARCATO, ALUIR PORFÍRIO DAL POZ

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
vanessamarcato@yahoo.com.br, aluir@fct.unesp.br

ABSTRACT

This paper proposes improvements in a previous methodology for the geometric refinement of building roof contours extracted from laser data using high-resolution aerial images and Markov Random Field (MRF) models. One of the improvements is to include in the energy function associated with the MRF a restriction called corner constraint. This restriction considers that the intersection of two adjacent lines, corresponding to the contour sides, should be close to a corner at 90°. The corners are extracted from an image through an appropriate image processing algorithm. Other improvement in the energy function is based on the fact that the lines representing roof contours are approximately parallel or orthogonal. This restriction was called rectangularity constraint. Other modification in the original methodology refers to the energy function optimization algorithm. The original methodology used the brute force optimization algorithm. It is proposed to use a genetic algorithm in order to solve this problem.

Key words: Markov Random Field, laser data, aerial images, building extraction.

1 INTRODUÇÃO

A extração de edifícios é alvo de pesquisa em Fotogrametria desde a década de 1980. As metodologias desenvolvidas no decorrer desse tempo podem ser classificadas de três maneiras de acordo com o tipo de dados de entrada, que são: dados fotogramétricos, laser e híbridos (fotogramétricos/laser).

As pesquisas com dados híbridos procuram tirar vantagem da sinergia entre os dados de imagem e os dados laser, uma vez que os dados laser são melhores em obter alturas de edifícios e planos, e cumeeira de edifícios. E os dados de imagem proporcionam melhores resultados quando se trata da extração de contornos de edifícios.

Dessa forma, esse trabalho apresenta uma proposta de melhoria na metodologia de refinamento de contornos de telhados de edifícios, previamente extraídos de dados

laser, com o uso de imagens de alta-resolução, que foi proposta por Dal Poz (2009).

2 METODOLOGIAS PREEXISTENTES

2.1 Metodologia para o refinamento de contornos de telhados previamente extraídos de dados laser

As feições retas extraídas com a detecção de retas na imagem que estão no entorno dos contornos de telhado projetado, são usadas para construir um modelo MRF expressando formas específicas de contornos de telhados de edifícios, com referência nos polígonos obtidos da projeção de contornos 3D de telhados. A função de energia é definida de forma que cada reta é associada com uma variável randômica (x_i), que assume valores binários de acordo com a regra especificada na expressão 1 (DAL POZ et al., 2009).

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se a } i\text{-ésima feição reta} \\ & \text{pertencer a um contorno de telhado} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

Essa regra (Expressão 1) dá origem a um vetor aleatório n-dimensional, em que n é o número de retas. Esse vetor randômico é a incógnita a ser determinada no processo de otimização.

A função de energia $U(x)$ é formulada com base em três termos de energia. O primeiro termo $U_1(x)$ tem por finalidade favorecer retas longas com referência a reta projetada mais próxima (DAL POZ et al., 2009).

$$U_1(x) = \sum_{i=1}^n x_i \frac{L_{F_i}^L}{L_{F_i}} \quad (2)$$

em que, $L_{F_i}^L$ é o comprimento da reta projetada mais próxima da i-ésima reta extraída da imagem (F_i); L_{F_i} é o comprimento da i-ésima reta extraída da imagem (F_i).

O segundo termo da função de energia é chamado termo de proximidade e objetiva favorecer as retas mais próximas do contorno de telhado projetado.

$$U_2(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_i \cdot x_j \cdot P(i, j) \quad (3)$$

em que,

$$P(i, j) = \frac{1}{2}(d_i^1 + d_i^2 + d_j^1 + d_j^2) \quad (4)$$

onde, d_i^1 e d_i^2 são as distâncias entre pontos extremos da reta F_i e a reta projetada mais próxima de F_i ; e d_j^1 e d_j^2 são as distâncias entre pontos extremos da reta F_j e a reta projetada mais próxima de F_j (DAL POZ et al., 2009).

O terceiro termo chama-se termo de orientação e tem por finalidade favorecer retas com orientações similares aos lados de contorno de telhado projetados.

$$U_3(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_i \cdot x_j \cdot s\theta(i, j) \quad (5)$$

onde,

$$s\theta = \frac{2}{1 + \exp[-\beta \cdot (\theta - \theta_0)^2]} - 1 \quad (6)$$

em que, $\theta = \theta_i + \theta_j$, θ_i é o ângulo entre a reta F_i e a reta projetada mais próxima dela; θ_j é o ângulo entre a reta F_j e a reta projetada mais próxima dela, β é uma constante positiva; θ_0 é o valor ótimo (0° ou 180°) do parâmetro θ .

Por fim, a equação de energia é formulada como,

$$U(x) = \alpha_1 U_1(x) + \alpha_2 U_2(x) + \alpha_3 U_3(x) \quad (7)$$

em que, α_1 , α_2 e α_3 são constantes positivas e a soma delas é igual a 1.

A configuração ótima (x_{opt}) é obtida por meio da minimização da função de energia, ou seja, $x_{opt} = \arg \min(U(x))$.

2.2 Metodologia para extração automática de contornos e cumeeiras de edifícios

Essa metodologia consiste da seleção automática do tipo mais apropriado de operador de borda ou linha face ao conteúdo local da imagem. Isso porque normalmente um telhado de edifício apresenta o tipo de descontinuidade bordas degrau em seus lados de contorno e linhas em suas cumeeiras. Os operadores utilizados foram o detector de bordas de Canny e o detector de linhas de Steger. Mais detalhes podem ser observados em Marcato (2010). Essa metodologia entra como um pré-processamento, de forma a extrair as retas do edifício necessárias para a metodologia preexistente (DAL POZ et al., 2009).

3 MÉTODO

3.1 Aperfeiçoamento da função de energia

A injunção de retangularidade entra como o quarto termo na equação de energia. Como os contornos de telhados são compostos por retas adjacentes aproximadamente ortogonais ou paralelas, esse termo pode ser expresso como,

$$U_4(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_i \cdot x_j \cdot |\sen(2\alpha_{ij})| \quad (9)$$

em que, α_{ij} é o ângulo entre as retas F_i e F_j .

A injunção de quina deve beneficiar pares de retas que se interceptam mais proximamente de quinas em 90° . Esse princípio pode ser matematicamente representado na forma,

$$U_5(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j \in N_i} x_i \cdot x_j \cdot D_{ij} \cdot \sen(\lambda_{ij}) \quad (10)$$

em que, D_{ij} é a distância entre o ponto de intersecção entre as retas F_i e F_j e a quina (q_{ij}) mais próxima detectada na imagem e λ_{ij} é o ângulo entre as bordas incidentes na quina q_{ij} .

Por fim, a equação de energia é formulada como,

$$U(x) = \alpha_1 U_1(x) + \alpha_2 U_2(x) + \alpha_3 U_3(x) + \alpha_4 U_4(x) + \alpha_5 U_5(x) \quad (11)$$

em que, α_1 , α_2 , α_3 , α_4 e α_5 são constantes positivas e a soma delas é igual a 1.

3.2 Integração da estrutura de cumeeira

Para integrar a estrutura de cumeeira no problema de otimização, deve-se considerar que: 1) são conhecidas a priori quais são as retas candidatas a representar lados de contornos e cumeeiras; e 2) o quarto e o quinto termo de energia devem ser considerados apenas para retas candidatas a representar lados de contornos de telhados.

3.3 Otimização da função de energia usando Algoritmo Genético

Na Seção 2.1 foi mostrado que o vetor incógnito a ser determinado no processo de otimização é randômico e binário. Assim, o problema já encontra-se concebido de forma a facilitar o uso do algoritmo AG para otimizar a função de energia.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa está em fase de implementação das injunções de retangularidade e de quina. Espera-se que os resultados obtidos com esses aperfeiçoamentos propostos possam superar os resultados obtidos com a metodologia original.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento dessa pesquisa através de uma bolsa de mestrado (Processo nº 2011/03899-9).

REFERÊNCIAS

DAL POZ, A. P et al. Uso de dados fotogramétricos no refinamento geométrico de contornos de telhados de edifícios extraídos de dados laser. *Boletim de Ciências Geodésicas*, V. 15, p. 594-614, 2009.

MARCATO, V. J. *Seleção automática dos métodos de Canny e Steger para a detecção acurada e confiável de linhas e bordas associadas com contornos e cumeeiras de edifícios*. Presidente Prudente, 2010. Relatório de iniciação científica (FAPESP), Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.