

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE DADOS LASER SCANNING PARA O SISTEMA TOPOSYS

Marcio A. R. Schmidt¹
Prof. Dr. Centeno, J. A.²
Dipl.-Ing. Steinle, E.³

- 1 Universidade Federal do Paraná - marsgerman@hotmail.com
- 2 Universidade Federal do Paraná - centeno@geoc.ufpr.br
- 3 Universität Karlsruhe (TH - IPF) - steinle@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

RESUMO

O objetivo da gerência de desastres é minimizar os seus efeitos através do uso eficaz de recursos disponíveis. Isto envolve organização das atividades de equipes do salvamento e fornecimento de base de informação para os responsáveis. Para o estabelecimento de estratégias de atuação é necessária a aquisição rápida da informação bem como atualizações freqüentes destes dados, pois a situação depois que um desastre acontece deve ser conhecida com clareza para se tomar as medidas apropriadas.

O IPF como membro do *Collaborative Research Center 461 (CRC461)*, uma organização de cientistas alemães e romenos, em caráter multidisciplinar, para estudo e previsão de terremotos na região de Bucareste, vem desenvolvendo ferramentas e métodos para obtenção dessas informações e tornar possíveis esses objetivos. Nesse contexto este trabalho se encaixa servindo como ferramenta para a produção de dados laser scanning simulados que servirão de base para outros programas utilizados no IPF para detecção, interpretação e previsão de avarias em edificações quando se deseja fazer um estudo das dimensões dos danos após um desastre ou mesmo em caráter preventivo através da comparação desses dados simulados com um banco de dados existente.

Palavras-chave: Laser scanner, simulação, sistema TopoSys

ABSTRACT

The objective of the management of disasters is to minimize its effect through the efficient use of available resources. This involves organization of the activities of teams of the rescue and supply of base of information for the responsible ones. For the establishment of performance strategies the fast acquisition of the information as well as frequent updates of these data is necessary, therefore the

situation later that a disaster happens must be known with clarity to be overcome the appropriate measures.

The IPF as member of the Collaborative Research Center 461 (CRC461), an organization of scientists German and Rumanians, in character multidisciplines, for study and forecast of earthquakes in the region of Bucharest, comes developing tools and methods for attainment of these information and to become possible these objectives

In this context this work if it incases serving as tool for the production of simulated data laser scanning that they will serve of base for other programs used in the IPF for detention, interpretation and forecast of you damage in constructions when a same disaster or in preventive character through the comparison of these simulated giving with a bank of giving existing is desired to after make a study of the dimensions of the damages.

Keywords: Laser scanner, simulation, TopoSys

1. INTRODUÇÃO

Para a execução da análise proposta foi criado um programa para execução dos cálculos. A informação resultante dessa análise é uma grade regular em formato raster de pontos interpolados a partir de dados simulados pelo próprio programa correspondentes as informações primeiros pulsos (fp) e últimos pulsos (lp), baseado em modelos vetoriais resultantes de dados laser obtidos de levantamentos executados previamente.

A resolução matemática adotada leva em consideração a possibilidade de se interpretar o comportamento do laser como uma linha no espaço sem sofrer distorções na trajetória ou dispersões significativas. Isso permite a aplicação de conceitos matemáticos simples como a intersecção reta e planos para determinação dos centros geométricos dos *footprints* e posterior cálculo das coordenadas de *first pulse* e *last pulse*.

2. REVISÃO TEÓRICA:

O sistema de escaneamento a laser embarcado (ALS), é um sistema de modelagem de superfície que tem como principio a emissão e recepção de feixes de raios laser da plataforma até a superfície da terra e transformar o intervalo de tempo envolvido em distância. O tempo gasto para o feixe sair do receptor e refletir no solo é medido e, baseada na velocidade da luz teórica, pode ser determinada a distancia do sensor até o solo (Centeno J. S.et al. 2000).

Os sistemas laser são compostos de três partes sendo um sistema de medição laser que emite e recebe os sinais laser, um sistema de varredura optomecânico que redireciona os raios em direção a superfície e uma unidade de registro que guarda os

tempos de emissão e reflexão. O laser percorre a superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos feixes emitidos, sendo registrado também o respectivo ângulo de inclinação de cada feixe em relação a vertical do lugar. A varredura é feita no sentido transversal à direção de vô com um ângulo de abertura especificada pelo operador. Este ângulo de abertura permite a determinação da largura da faixa enquanto o movimento da aeronave permite a cobertura na direção de vô. As pulsações óticas refletidas no solo são coletadas pelo receptor e convertidas de sinal ótico para eletrônico. Quando o feixe atinge uma superfície, parte é refletida de volta ao sensor e parte é refletida em outras direções. Na parte que é refletida de volta ao sensor, os raios chegam ao sensor em tempos diferentes devido a inclinações do terreno. Acrescentando-se a isso a dispersão padrão do feixe de lasers que, a uma altura de vô de aproximadamente 800m, um *footprint* de aproximadamente 1m² é gerado.

O laser tem uma boa definição na coordenada Z, em torno de 0,15m para o sistema Toposys II, e uma definição um pouco inferior nas coordenadas planimétricas. Por esta razão atualmente se atribui às coordenadas X e Y do sinal refletido um ponto de coordenadas no centro teórico, mesmo sabendo-se que as coordenadas estão em qualquer lugar dentro da elipse que o sinal faz sobre o plano. A coordenada Z é atribuída o valor da altura da primeira reflexão, nas imagens *first pulse*, e da última reflexão nas imagens *last pulse*. (Löhr U., Eibert M. 1999)

O sistema Toposys II é um sensor de fibras óticas alocados em linha no plano focal das lentes receptoras e, por meio de dois espelhos rotativos sincronizados, cada fibra é escaneada seqüencialmente. Isso possibilita alcançar altas taxas de medições, até 630Hz (Baltasvias, E.P.1999). Esse principio de operação é conhecido como padrão push-broom. Além disso, o pequeno ângulo do FOV (*Field Of View*) evita o efeito de sombreamento nas bordas da faixa.

3. MATERIAIS:

Esta imagem é uma montagem composta por quatro bandas espectrais. A área é um recorte da imagem compreendendo o campus da universidade de Karlsruhe, sendo representada apenas uma edificação. A tabela abaixo mostra os dados técnicos da imagem:

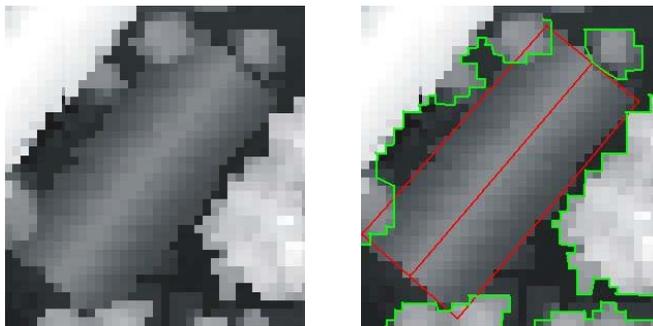
TABELA 1: Dados da imagem utilizada.

Dados da imagem laser	
Tamanho:	1 1 45 45
Pixeltype:	PIXEL16
Upper Left Point (Gauss-Krüeger):	3452000.0 5430000.0
Canal 1	first pulse 1997

Canal 2	first pulse 2002
Canal 3	last pulse 1998
Canal 4	last pulse 2002

Na figura 1 são mostradas a imagem original e também uma representação vetorial da edificação (em vermelho) e dos elementos a tridimensionais a serem retirados, tais como árvores (em verde).

FIGURA 1: Imagem laser original First Pulse 97/2000 e esquema interpretado.



4. METODOLOGIA

4.1 EXECUÇÃO DO VÔO SIMULADO:

As larguras das faixas de vôo são calculadas através da fórmula citada por Baltasvias, E.P., 1999. Essa fórmula considera a altura de vôo e o ângulo de abertura do sensor.

$$SW = 2h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

onde: h - altura de vôo;

θ - ângulo de abertura do sensor (FOV).

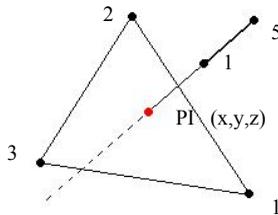
A partir do ponto mínimo (Xmin e Ymin) definido pelo usuário para a área de vôo, são calculadas as posições iniciais da aeronave para cada faixa e o comprimento da faixa. Para o deslocamento da aeronave, kappa (κ) foi tomado como a direção de vôo e os ângulos φ e ω variáveis, no entanto menores que $\pm 3^\circ$, o que mantém a condição de verticalidade. A atitude da aeronave é simulada com base em funções randômicas de φ e ω limitadas nesse intervalo. Também o acréscimo de um valor que simula o comportamento do vento durante o deslocamento da aeronave foi implementado. Isso desloca o centro do sensor tridimensionalmente. O objetivo

dessas duas implementações é criar uma distribuição irregular de pontos principalmente nas bordas das faixas.

4.2 INTERSEÇÃO:

Os pontos de interseção entre os sinais laser e os planos do modelo são calculados através da fórmula de interseção reta-plano (Eq. 2). A resolução das equações paramétricas para cada sensor em relação a cada plano do modelo permite calcular as coordenadas dos pontos de interseção, na figura abaixo PI.

FIGURA 2: Representação da interseção raio - plano no espaço.



$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

Primeiramente é montada a equação paramétrica da reta no espaço entre a posição do avião e as coordenadas do sensor no plano de referência. Então é calculado o parâmetro de variação da reta avião-sensor que seja possível de encontrar uma interseção com o plano que contenha os pontos do modelo.

Como o plano é infinito por definição, foi necessário testar se o ponto se encontrava entre os pontos do triângulo formado pelos pontos da face tridimensional fornecida pelo modelo. Para isso foi usado um teste chamado de *Point in Polygon Test*. A seguir o próximo plano é avaliado e assim sucessivamente até que todos os planos tenham sido testados. O plano que tiver melhor resultado servirá de base para o cálculo das coordenadas *first pulse* (FP) e *last pulse* (LP).

4.4 CÁLCULO DE DAS COORDENADAS FIRST PULSE E LAST PULSE:

A partir do ponto de interseção de coordenadas X, Y e Z conhecidas, Baltasvias, E.P. 1999 propõe que se pode calcular o diâmetro da elipse baseando-se

na inclinação do plano e o ângulo instantâneo de escaneamento através da fórmula, abaixo:

$$A_L = \frac{2 \left[\cos(e) + \sin(e) \cdot \tan\left(e + \frac{\gamma}{2}\right) \right] \cdot h \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{\cos\left(\theta_{inst} - \frac{\gamma}{2}\right)} \quad (3)$$

onde: A_L = diâmetro do footprint;

$e = \theta_{inst} + i$, sendo i o ângulo de inclinação local do plano;

θ_{inst} = ângulo do elemento do sensor com a vertical do lugar;

h = altura de vôo – altura de refletância do sinal;

γ = abertura do elemento do sensor (1 mrad);

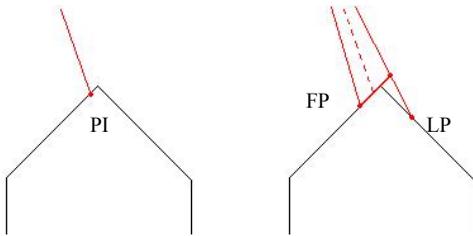
As determinações dos pontos distantes do centro da elipse são feitas adicionando-se metade do valor do eixo maior da elipse para as coordenadas first pulse e subtraído esse valor para as coordenadas last pulse corrigidos da orientação do plano. Esse procedimento foi desenvolvido de tal forma a possibilitar que os eixos da elipse do footprint fossem colocados paralelos as linhas do plano.

Tendo sido calculadas as coordenadas planimétricas dos pontos de primeira e última reflexão, foi usada a equação implícita do plano para se obter as alturas dos pontos. Essa equação indica que um ponto é pertencente a um plano definido por três pontos não colineares, se as coordenadas desse ponto satisfizerem a condição de determinante igual a zero (<http://mathworld.wolfram.com>).

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

Em caso afirmativo suas coordenadas são escritas no arquivo de saída. Em caso negativo, as coordenadas desse ponto são substituídas como sendo as coordenadas do sensor na equação da linha avião-sensor. O processo é repetido sem haver novo cálculo de *first ou last pulse*.

FIGURA 3: Definição first pulse e last pulse



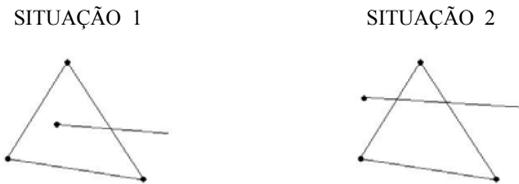
FP PI

4.5 POINT IN POLYGON TEST:

Este teste avalia se um ponto está dentro de um polígono através da contagem do número de interseções entre uma linha e os lados do polígono. A linha é criada entre o ponto a ser testado e um ponto no infinito e entre os vértices do polígono.

No caso de haver apenas uma interseção o ponto pertence ao plano e está dentro do triângulo. Para duas interseções é preciso avaliar se o ponto se encontra sobre uma das linhas do lado do triângulo, caso contrário o ponto de interseção não está entre os três pontos do plano do modelo.

FIGURA 4 : Representação do teste Point in Polygon test.



A condição de teste é que, se utilizamos os pontos extremos da reta para sua formulação, logo os parâmetros de variação devem estar entre 0 e 1. Se os parâmetros estiverem nesse limite, é necessário testar se o ponto está sobre a reta do lado avaliado do triângulo através da equação implícita da reta.

4.6 CLASSIFICAÇÃO E CONVERSÃO EM IMAGEM:

Tendo sido calculados os dados em coordenadas X,Y e Z para os dados *first* e *last pulse*, foi criada uma grade com 0,5m de espaçamento na área que compreende os pontos (*bounding box*). Dentro dos pixels é avaliada a existência ou não de pontos simulados. Se não houver valores, o pixel é mantido vazio. Se houver mais de um valor, o maior valor dos pontos simulados presentes é usado para as imagens *first pulse* e o menor é usado para imagens *last pulse*. Como resultado é criado um raster irregular. Após a criação desse raster, uma máscara de 25 elementos percorre

toda área da imagem avaliando os valores. Essa máscara considera pesos para a distância dos pixels em relação ao pixel central e usa o critério de mediana dos valores para o pixel central. Assim os oitos pixels vizinhos ao central recebem peso dois o que, nesse caso, significa ter o valor considerado duas vezes se houver valores. Os pixels externos recebem peso unitário, ou seja, eles são considerados uma única vez. No caso da mediana ser par é considerada a média aritmética dos valores imediatamente anterior e posterior a posição da mediana.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados aqui apresentados foram executados utilizando-se o modelo CAD em arquivo DXF proveniente de dados laser scanning *first pulse* 1997. Os parâmetros fornecidos ao sistema foram:

TABELA 2 : Coordenadas da área de teste.

Parâmetros de Teste (coordenadas Gaus-Krüger em m)	
Xmin	56800
Ymin	30300
Xmax	57400
Ymax	30800
Direção de voo (κ)	0° (Azimute 90°)
Velocidade da aeronave	80 m/s
Angulo de abertura do sensor	14,4°
Abertura do elemento do sensor	1mrad
Altura de voo	850 m

Os resultados foram convertidos em imagens e comparados com as imagens originais de *first pulse* e *last pulse* em três épocas diferentes 1997, 1998 e 2002.

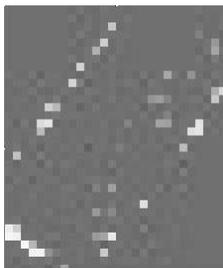
5.1. RESULTADOS PARA *FIRST PULSE* (FP) 1997:

IMAGEM ORIGINAL –
SIMULADA



Média: 8,10 cm

IMAGEM DIFERENÇAS



Desvio Padrão: 50,75 cm

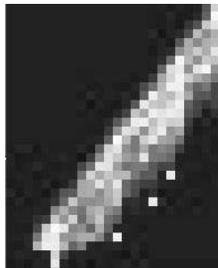
5.2. RESULTADOS PARA *LAST PULSE* (LP) 1998:

IMAGEM ORIGINAL –
SIMULADA



Média: 6,13 cm

IMAGEM DIFERENÇAS



Desvio Padrão: 18,81 cm

6. ANÁLISES:

O modelo CAD usado para simulação foi criado sobre os dados laser *first pulse* de 1997. Nessas imagens pode-se perceber que as diferenças maiores aparecem justamente próximas às linhas de quebra do telhado. Isso se deve porque próximo às bordas dos objetos, pode ocorrer indeterminações do valor da altura em relação ao centro do sinal devido ao ângulo de observação. O ângulo de observação é um fator importante, pois em alguns casos, pode haver apenas uma reflexão sobre o modelo enquanto a outra pode estar fora do modelo

O modelo é uma simplificação da realidade obtida a partir dos dados do modelo de elevação do laser. Neste processo algumas simplificações foram introduzidas para representar a forma do objeto. Entre elas, as bordas dos prédios são aproximadas por segmentos retos, algo que não é verificado nos dados laser, pois são representados por pixels. Os telhados por sua vez são representados por planos, e estes planos aproximados definidos matematicamente têm diferenças em relação aos dados do laser que são valores discretos. Então, existe diferença entre o modelo e os dados originais, e esta diferença mesmo pequena, esta presente nos dados simulados, pois estes são gerados a partir do modelo CAD.

Outros testes devem ser executados com outros parâmetros e outros modelos de edificações. Também a comparação dos resultados com as informações dos modelos de elevações referentes à época correta e um estudo mais aprofundado do comportamento dos dados próximos a linhas de quebra para se identificar se essas diferenças são criadas durante o processo de extração do modelo são necessários. As maiores diferenças ocorrem nas bordas. Isso já era esperado, pois mesmo o sistema real tem dificuldade na definição desses pontos.

7. BIBLIOGRAFIA

BÄHR, H.-P.; CENTENO, J.; COELHO, A.; HANSEN, W.; KIEMA, J.; LOHR, U.; STEINLE, E.; VÖGTLE, T.; 2001, **Aerolevantamento Com Laserscanning: Resultados Da Cooperação Toposys E Universidade De Karlsruhe/Alemanha**. XX Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001.

BALTSAVIAS, E.P. 1999. **Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 :199–214

BALTSAVIAS, E.P. 1999, **Airborne Laser Scanning: Existing Systems And Firms and Other Resources**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 164–198

CENTENO J. S., STEINLE E., VÖGTLE T., 2000, **Análise De Modelos Numéricos de Elevação Derivados De Laser Scanner Para O Monitoramento Urbano**. COBRAC 2000 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis.

CROMBAGHS, M.; BRÜGELMANN, R.; DE MIN, E., 2000, **On the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33 Part 3B: 678-684.

LÖHR U., EIBERT M., 1999 , **The Toposys Laser Scanner-System**. <http://www.ifp.uni.stuttgart.de/publications/phowo/lohr.pdf>

MAAS, H. G. 2002, **Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airbone Laserscanner Data**. Photogrammetric & Remote Sensing Vol. 68, N° 9, September 2002, 933-940

STEINLE E., KIEMA J., LEEBMANN J, BÄHR H.P, **Laserscanning For Analysis Of Damages Caused By Earthquake Hazards**. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing (IPF), University of Karlsruhe(TH)

STEINLE E. & VÖGTLE T., 2000, **Automated Extraction And Reconstruction Of Buildings in Laserscanning Data For Disaster Management**. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany.

STEINLE E., VÖGTLE T. **Effects Of Different Laser Scanning Modes On The Results Of Building Recognition And Reconstruction**. University of Karlsruhe (TH), Germany. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing

SCHENK, T, 2001, **Modeling And Recovering Systematic Errors In Airborne Laser Scanners**

<http://mathworld.wolfram.com>

TOPOSYS GmbH. Disponível em <http://toposys.com> . Acessado em 21/12/2002