

Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos

3D Laser Scanning Technology: characteristics, processes and point cloud tools

Natalie Johanna Groetelaars

LCAD, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Brasil
natgroet@ufba.br

Arivaldo Leão de Amorim

LCAD, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Brasil
alamorim@ufba.br

Abstract: *This paper presents techniques and tools to manipulate point cloud from terrestrial laser scanner. Firstly, architectural survey phases are presented, since planning and capturing point cloud of existing buildings, until processing and obtaining several products from point cloud data. Secondly, we cite and classify in four categories some point cloud software, used in laser scan survey and processing phases: (1) scan; (2) visualization; (3) processing; (4) quality inspection.*

Palabras clave: 3D laser scanning technology; point cloud tools; geometrical modeling; architectural survey; computational tools.

Introdução

3D *Laser Scanning* é uma tecnologia que permite a obtenção de nuvens de pontos a partir da varredura das superfícies dos objetos por feixes de raios laser, empregando aparatos específicos, permitindo a captura automática de grande quantidade de dados em curto espaço de tempo. Dependendo do equipamento, da distância e das características do levantamento, pode ser usado com versatilidade na captura da geometria de diversos tipos de objetos, de pequenas ou grandes dimensões (elementos decorativos, edificações, centros urbanos), simples ou extremamente complexos, e, com precisão podendo chegar ao submilímetro.

O modelo geométrico tipo “nuvem de pontos” é a representação mais básica obtida diretamente pelo *scanner* 3D. Cada ponto, que forma a nuvem de pontos, é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, e z) e um ou mais atributos associados ao mesmo. A nuvem de pontos pode corresponder:

- às componentes RGB, obtidas a partir da reamostragem da nuvem de pontos sobre a foto correspondente,
- ou, à outros atributos, como a distância do ponto a um dado referencial, a refletância do material, a temperatura, ou outras propriedades de interesse, sendo mostradas em “falsa cor”.

Este recurso pode ser usado para muitas finalidades, como medição, visualização tridimensional, “renderização”, animação, mas principalmente para criação de modelos geométricos básicos a serem retrabalhados em ferramentas CAD, e mais recentemente em ferramentas BIM. A maioria das aplicações requer a conversão do

modelo básico de “nuvem de pontos” em modelos mais complexos como de superfície ou de sólido, que podem ser paramétricos ou não.

As etapas geralmente realizadas para um levantamento com a tecnologia 3D *Laser Scanning* são:

- a. Planejamento
- b. Aquisição dos dados
 - Varredura a laser dos objetos e dos alvos
 - Levantamento dos pontos de controle
- c. Pré-processamento
 - Registro das cenas
 - Otimização da nuvem de pontos (como filtragem e simplificação da nuvem de pontos)
- d. Processamento
 - Segmentação
 - Modelagem (extração de feições 2D e 3D)
 - Otimização do modelo
 - Edição do modelo
- e. Análise da precisão do modelo gerado
- f. Exportação dos produtos

Planejamento e aquisição de dados

Na etapa de planejamento, são definidos a finalidade do levantamento, a área, os objetos a serem capturados, bem como o nível de detalhamento requerido. Isto influenciará na localização das estações, na densidade das nuvens de pontos e no posicionamento dos alvos. Recomenda-se nesta fase, a tomada fotográfica da área para permitir a identificação das limitações espaciais dos objetos a serem levantados, e de problemas passíveis de ocorrer, como: es-

paços muito movimentados, áreas de acesso restrito, objetos com superfícies especulares – vidros, superfícies polidas, ou superfícies com baixa refletividade (GSA, 2009). Na etapa de aquisição de dados, é feita a varredura a laser do objeto a partir de várias estações, para obtenção de diversas cenas, que visam levantar todos os objetos de interesse, reduzindo ao máximo as zonas de sombras (oclusões). Durante o escaneamento, geralmente são usadas diferentes densidades, que variam de acordo com a forma do objeto ou a finalidade do levantamento. Nessa fase, também é realizado o levantamento dos pontos de controle (geralmente com estações totais), que podem ser feições naturais do objeto, ou alvos aplicados sobre a superfície do mesmo, que tem como objetivos: o registro das cenas, a associação da nuvem de pontos para um sistema de coordenadas (arbitrário ou geodésico), e o controle da precisão dos resultados.

Pré-processamento

A fase do pré-processamento consiste no tratamento da nuvem de pontos para o processamento propriamente dito. Inclui geralmente o registro (ou alinhamento) das cenas e as operações para otimização da nuvem de pontos (Zhiqiang et al., 2009).

O registro consiste em posicionar as várias cenas com suas coordenadas locais, em um único arquivo com o mesmo referencial. Isto pode ser realizado a partir do: posicionamento do *scanner* sobre um ponto de coordenadas conhecidas (ponto de controle); alvos (artefatos específicos ou características físicas do objeto); a partir da associação de duas ou mais nuvens de pontos (com área de sobreposição de pelo menos 30%), ou de um trecho da nuvem de pontos de uma cena com uma superfície gerada de outra cena, correspondente à área selecionada (Genechten, 2008).

Após o registro, é comum a realização de operações para otimização da nuvem de pontos, visando diminuir significativamente a quantidade de pontos e o tamanho do arquivo. Essas operações incluem:

- *filragem* – permite apagar pontos indesejados, como ruídos, obstáculos e objetos fora da área de interesse;
- *reamostragem* – permite eliminar informações sobrepostas e redundantes.

Segundo Genechten (2008), a técnica mais adequada de remoção de pontos é através de uma *reamostragem “inteligente”* (realizada por algoritmos do tipo “*curvature point sampling*”), que permite manter pontos que repre-

sentam regiões mais complexas e com curvaturas reversas, removendo pontos em áreas mais planas e homogêneas. Dessa forma é possível a redução significativa da quantidade de pontos do arquivo original, sem a perda das características dos objetos.

Processamento

A fase de processamento geralmente contempla as seguintes operações: segmentação, modelagem, otimização e edição do modelo, e a exportação dos produtos em diversos formatos.

O processo de segmentação tem como objetivo agrupar regiões ou objetos similares, como por exemplo: paredes, esquadrias, cobertura. Isto é possível a partir critérios de agregação, como a definição de limites por alterações nas cores, mudanças de planos, de inclinações ou de material. A segmentação pode ser realizada através de processos interativos de seleção de trechos das nuvens de pontos, em programas mais simples, ou através de processos automatizados, em programas mais avançados, como o Edgewise e o Geomagic, que fazem a classificação a partir de nuvens de pontos ou malhas poligonais (respectivamente) para a criação de outros produtos.

A modelagem inclui o processo de obtenção de desenhos e de outros tipos de modelos geométricos, que pode ser realizada através de processos interativos, semi-automáticos e automáticos.

No caso da obtenção de desenhos pelo processo interativo, é necessário o traçado manual das feições com linhas, arcos ou polilinhas. Isto requer que o operador tenha conhecimento da edificação e tenha à disposição material fotográfico para auxiliar na interpretação de trechos com menor resolução (Genechten, 2008). O processo utilizado para obtenção de plantas, cortes e elevações geralmente é realizado a partir do traçado sobre uma faixa de nuvem de pontos selecionada e projetada no plano desejado (que corresponde ao plano de corte e ao que é visível após o mesmo). No processo semi-automático, é necessário selecionar uma pequena faixa da nuvem de pontos, sobre a qual serão traçadas linhas que melhor se ajustem aos pontos. Nos processos automatizados, o programa realiza a detecção automática dos contornos dos objetos. Bons resultados podem ser obtidos quando a nuvem de pontos é suficientemente densa e quando a geometria é mais regular (Dutescu, 2006), o que é mais comum em plantas industriais e peças mecânicas, conforme a Fig. 1.

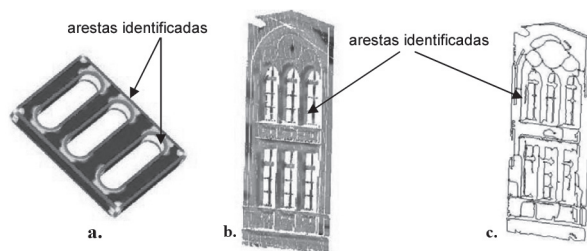


Fig. 1 - (a) Detecção de feições em uma peça mecânica (contornos precisos); (b) Nuvem de pontos de um elemento arquitetônico; (c) Detecção das feições de detalhe arquitetônico (erros de classificação em forma complexa). Fonte: Adaptado de Dutescu, 2006.

A outra forma de se obter desenhos de modo automático e indireto, é a partir do modelo geométrico, selecionando-se as posições do plano de corte para criação das seções. Em se tratando da obtenção de modelos geométricos por processos interativos, geralmente estes são gerados em ferramentas CAD/BIM, onde a modelagem é feita tomando a nuvem de pontos (importada) como referência para o ajuste das formas, dimensões e posições dos objetos.

A modelagem por processos semi-automáticos, é o tipo mais comum, realizada em programas para processamento de nuvens de pontos, a partir da seleção (feita pelo usuário) de um trecho da nuvem de pontos e posterior associação a um tipo de modelo, como primitivas tridimensionais (como planos, esferas, cilindros) ou malhas triangulares irregulares. A Fig.2 ilustra resultados de ajuste de uma esfera em duas situações distintas de seleção de um trecho da nuvem de pontos, sendo correta a segunda, devido a um recorte mais abrangente da nuvem de pontos.

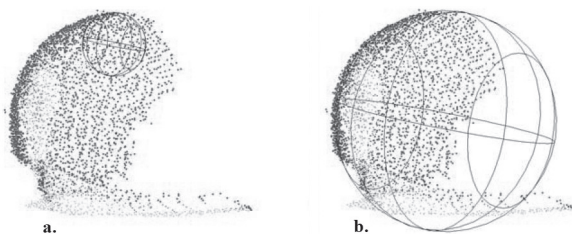


Fig. 2 - Ajuste da primitiva geométrica “esfera” sobre a nuvem de pontos selecionada: (a) falsa identificação; (b) correta identificação da esfera. Fonte: Dutescu, 2006.

Alguns programas apresentam algoritmos para transformação da malha poligonal em modelo de superfícies do tipo NURBS (*Non Uniform Rational Basis Spline*) ou em algum tipo de modelo paramétrico. Outros permitem a modelagem a partir da extrusão ou revolução de seções

extraídas da nuvem de pontos.

Apesar dos métodos semi-automáticos e automáticos permitirem agilizar bastante o trabalho de modelagem, é necessária a supervisão humana, para analisar e corrigir os resultados inconsistentes.

Após a etapa de modelagem, geralmente realiza-se procedimentos de otimização e edição dos modelos preliminares. Pode-se citar três exemplos de otimização do modelo:

- remoção de ruídos e sobreposições de dados;
- decimação da malha triangular - redução do número de triângulos, visando diminuir o tamanho do arquivo, e ao mesmo tempo permitindo preservar o nível de detalhe mínimo requerido pela aplicação;
- transformação da malha triangular em superfície do tipo NURBS (disponível em algumas ferramentas) – permitindo gerar representações robustas e flexíveis de formas geométricas complexas, através de pequena quantidade de dados.

Com relação às operações de modificação da malha, podemos citar as mais comuns: preenchimento de vazios, suavização de curvas, operações que permitem aparar, estender ou ajustar a malha para pontos desejados. Além disso, é possível a utilização de operações booleanas (união, interseção e subtração) para modelos sólidos.

Análise da precisão e exportação dos produtos

Após a fase de processamento é possível sobrepor a nuvem de pontos ao modelo geométrico gerado para verificação automática de sua precisão, a partir do uso de diferentes cores que indicam os desvios da modelagem.

Finalmente, são exportados os produtos para programas CAD e BIM, ferramentas para animação, *rendering*, simulação, realidade virtual, prototipagem rápida, dentre outros, conforme a aplicação prevista.

Ferramentas para manipulação de nuvens de pontos

São requeridas diversas ferramentas nas várias etapas do trabalho com a tecnologia 3D *Laser Scanning*, desde a captura até a visualização e o processamento das nuvens de pontos.

A escolha do *software* é baseada em vários fatores, incluindo o tipo e o objetivo do levantamento, a quantidade de dados, os tipos produtos requeridos, os recursos financeiros disponíveis, o conhecimento e a habilidade do operador.

Os programas podem ser classificados em quatro grandes grupos. Muitos fabricantes disponibilizam diferentes módulos para cada grupo de operações descritas abaixo (apesar de existirem vários casos de sobreposições de tarefas em um mesmo *software*):

- escaneamento;
- visualização;
- processamento;
- análise de precisão.

Os programas do grupo de escaneamento, como Cyclone-SCAN e Rapidform XOS/Scan, são usados nas fases iniciais de levantamento, permitindo armazenar e visualizar as nuvens capturadas pelo *scanner*, registrar as cenas e georreferenciar as nuvens de pontos. Alguns deles permitem realizar operações básicas de modelagem.

Dentre os programas para visualização de nuvens de pontos, podemos citar: PolyWorks/IMView, Geomagic Review, Cyclone TruView, Cyclone Viewer, Rapidform Explorer, Point Tools View Pro, Meshlab, sendo os três últimos os mais robustos, visto que permitem a importação de diversos tipos de arquivos e a realização de medições básicas (Payne, 2010). A maioria dos “visualizadores” são disponibilizados gratuitamente pelos fabricantes. Dentre os “não gratuitos”, destaca-se o Point Tools View Pro, que permite gerar ortofotos de alta resolução, criar animações e visualizar modelos geométricos 2D e 3D, além da nuvem de pontos.

Dentre as ferramentas para processamento de nuvem de pontos, podemos citar: Cyclone-MODEL, Easypoint, PointCloud, LupoScan, Pointtools, Polyworks, Meshlab, Rapidform XOR/Redesign, Geomagic Studio, Edgewise, SilverLining, 3Dreshape. Esses programas geralmente permitem a realização das seguintes operações:

- importação de diversos tipos de arquivos (provenientes de diferentes *scanners*);
- filtragem da nuvem de pontos;
- medição de distâncias, cálculo de áreas e volumes;
- criação de malhas poligonais tridimensionais;
- extração automática de seções a partir da malha poligonal tridimensional ou da nuvem de pontos;
- edição do modelo e preenchimento automático de vazios;
- modelagem semi-automática, para associação de primitivas tridimensionais;
- exportação dos modelos para diversos formatos, como STL, OBJ, VRML1, VRML2, DXF, 3DS;
- verificação da qualidade do produto gerado.

As ferramentas mais sofisticadas permitem automatizar diversas tarefas, como a realização da segmentação e extração automática de nuvens de pontos (Edgewise), para obtenção de feições 2D (linhas, arcos) e 3D (primitivas como planos, cilindros, cones), além de permitir gerar superfícies do tipo NURBS e modelos paramétricos (Geomagic Studio e Rapidform XOR/Redesign). Há outros programas que permitem o mapeamento de imagens de alta-resolução sobre o modelo gerado, para criação de modelos fotorrealísticos e ortofotos (LupoScan e JRC 3D Reconstructor), inclusive planificações de imagens nos formatos cilíndrico, esférico e cônico.

Os programas para análise da precisão, como o Geomagic Quality e Rapidform XOV/Verifier, realizam a comparação do modelo gerado com a nuvem de pontos, a partir do uso de cores no modelo e legendas para demonstrar as diferenças de dimensões entre os dois modelos (desvios na modelagem), além de permitir a criação automática de relatórios de precisão.

Conclusões

Pode-se perceber que há uma busca crescente por ferramentas que permitam automatizar as diversas operações que envolvem o trabalho com as “nuvens de pontos”, como a filtragem, a segmentação e a modelagem, para obtenção de uma gama maior de produtos como ortofotos, superfícies NURBS, modelos paramétricos, em arquivos significativamente menores, e com o mesmo rigor de precisão. Além desses produtos, há uma demanda crescente por modelos BIM de edificações existentes, para serem usados como base para intervenções, readaptações e busca por soluções mais sustentáveis.

Dois acontecimentos neste último ano devem levar a uma melhora significativa do processo de criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos, tornando-o mais rápido e evitando o procedimento tradicional de modelagem intermediária para importação em ferramenta BIM. A versão 12 do Revit (da Autodesk), ferramenta BIM bastante difundida, permite a importação direta da nuvem de pontos. Além disso, foi lançado no final do ano passado o *software* Scan to BIM da IMAGINiT, que apresenta algumas ferramentas para agilizar a modelagem, como as operações de reconhecimento de alguns elementos construtivos sobre a nuvem de pontos. A integração entre as tecnologias 3D *laser scanning* e BIM é uma tendência promissora, que deve crescer significativamente nos próximos anos, na medida em que devem ser aprimorados os processos de representação e manipulação das informações das edificações existentes.

As informações ficam armazenadas de forma mais consistente, integrada, permitindo a realização de uma série de estudos e simulações da edificação ao longo de seu ciclo de vida.

Referências

- Dutescu, E. 2006. Digital 3D Documentation of Cultural Heritage Sites Based on Terrestrial Laser Scanning. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universität der Bundeswehr München.
- Genechten, B. 2008. *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning: Training material based on practical applications*. Recuperado em março de 2011, de <https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/201130>
- GSA - General Services Administration. 2009. *GSA Building Information Modeling Guide Series: 03 – GSA BIM Guide for 3D Imaging*. Recuperado em abril de 2010, de http://www.gsa.gov/graphics/pbs/GSA_BIM_Guide_Series_03.pdf
- Payne, A. 2010. *Laser Scanning for Archaeology: A Guide to Good Practice*. Recuperado em abril de 2011, de http://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_Toc
- Zhiqiang, et al. 2009. *Detail-preservation 3-D modelling for elaborate Buddha sculpture*. Proceedings of the 22nd CIPA Symposium, Kyoto, Japan.