



CIÊNCIA E TECNOLOGIA:  
IMPLICAÇÕES NO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

# FEPEG

F Ó R U M  
ENSINO • PESQUISA • EXTENSÃO • GESTÃO

REALIZAÇÃO:



APOIO:



ISSN: 1806-549X

## PROPOSTA DE UM DESCRITOR LOCAL BASEADO EM IMAGENS DE PROFUNDIDADE PARA O REGISTRO DE NUVENS DE PONTOS

**Autores:** MATHEUS SILVEIRA BORGES, ANTÔNIO WILSON VIEIRA

### Introdução

A modelagem computacional de objetos tridimensionais se desenvolveu consideravelmente nos últimos anos, possibilitando desde a criação de personagens e cenas para o segmento de entretenimento até a materialização de objetos físicos por meio de impressoras 3D. Neste sentido, um crescente conjunto de modelos, especialmente para impressão 3D, foi produzido a partir da digitalização de objetos reais.

No entanto, como relatado por Vieira (2007), esse procedimento é normalmente feito por varreduras individuais executadas por sensores posicionados em diferentes pontos de vista do objeto, conferindo a cada modelo parcial gerado um sistema de coordenadas distinto. Assim, como apresenta Silva (2015), é necessário submeter todas as varreduras a um processo de registro e alinhamento que uniformize seus sistemas de coordenadas e resulte em um modelo unificado.

Como as várias nuvens de pontos parciais apresentam regiões de sobreposição pequenas entre si, além de uma considerável quantidade de erros e ruídos, como apresentado por Lei, Jiang e Quan (2017), métodos de alinhamento global não são eficientes. Segundo Silva (2015) e Vieira (2007), é necessário, portanto, a utilização de descritores de características locais que possibilite a determinação de pontos correspondentes para obtenção de uma transformação geométrica de rotação e translação que descreva as nuvens de pontos digitalizadas em um mesmo sistema de coordenadas.

Para tal, diversos descritores são propostos na literatura. Entretanto, a maioria dessas abordagens necessita de informações como a relação de vizinhanças entre os pontos, dados RGB e normais dos vértices. Esse conjunto de necessidades inviabilizam diversas aplicações, como leituras em tempo real dentro de locais com pouca iluminação. No sentido de contribuir na direção da solução desse problema, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um descritor local baseado em imagens de profundidade que necessita apenas das coordenadas da nuvem de pontos como entrada.

### Material e métodos

#### A. Construção de vizinhança local

A presente abordagem requer para seu funcionamento apenas uma lista de coordenadas tridimensionais dos pontos pertencentes ao par de capturas parciais de um modelo. Portanto, como no descritor apresentado por Lei, Jiang e Quan (2017), nenhuma outra informação, como relações de vizinhança e normais precisam ser conhecidas.

Por isso, é necessário determinar uma relação de vizinhança entre os pontos e, a partir dessa relação, obter os parâmetros necessários para a construção do descritor. Neste sentido, foi empregada a estratégia de particionamento espacial *KD-Tree*, pelo qual foi possível selecionar para um determinado ponto  $P$ , o conjunto de pontos vizinhos a menos de um raio  $r$ . Sobre essa vizinhança, é executada a Decomposição em Valores Singulares, obtendo os autovalores e autovetores, essenciais ao funcionamento da proposta.

#### B. Seleção de pontos de interesse

Como afirma Vieira (2007), a criação do descritor para todos os pontos de um modelo não constitui uma estratégia interessante, visto que aumentaria de forma proibitiva o seu tempo de processamento e diminuiria sua precisão por conta das regiões que possuem características ambíguas.

Assim, foi necessário que regiões de pouco interesse fossem descartadas. Em específico, regiões planas não são interessantes por serem sujeitas a ambiguidades que diminuem a precisão dos resultados. Neste sentido, foi desenvolvido um filtro de curvatura baseado nos autovalores obtidos na vizinhança local que possibilitou a filtragem de regiões planas, ou de baixa curvatura. A curvatura de uma superfície foi estimada com a seguinte equação:

$$k = \frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$



CIÊNCIA E TECNOLOGIA:  
IMPLICAÇÕES NO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

# FEPEG

F Ó R U M  
ENSINO • PESQUISA • EXTENSÃO • GESTÃO

REALIZAÇÃO:



APOIO:



ISSN: 1806-549X

onde  $k$  é a curvatura calculada e  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$  são os autovalores associados à matriz de covariância dos pontos da vizinhança local. Assim, foi possível armazenar para a construção das imagens de profundidade apenas os pontos pertencentes às superfícies com curvaturas maiores que um limiar  $l$ , ou seja, regiões onde  $k > l$ .

### C. Construção das Imagens de Profundidade

Para cada ponto  $P$  armazenado, é estimado por meio dos seus autovetores  $v_1$ ,  $v_2$  e  $v_3$  um sistema de referência local, centrado no próprio ponto, como ilustra a Fig. 1 (a). Enquanto que  $v_1$  e  $v_2$  determinam um plano tangente à superfície,  $v_3$  pode ser considerado como o vetor normal a essa superfície.

Ao fim, por meio da projeção ortogonal do conjunto de pontos no plano tangente à superfície, é produzida a imagem de profundidade, como ilustra a Fig. 1 (b). Não obstante, alguns pixels da imagem gerada podem não ser preenchidos. Isso ocorre quando na nuvem de pontos não existe um ponto a ser projetado, indicando por exemplo, uma região de oclusão durante a leitura pelo sensor. Portanto, essa situação diminui a precisão do descritor.

Assim, foi aplicado um filtro da mediana nas imagens geradas, permitindo que um pixel vazio recebesse a mediana dos pixels vizinhos. Desse modo, foi possível a construção de imagens suavizadas que representaram a superfície local em torno de um ponto  $P$ .

### D. Invariância à sensibilidade dos autovetores

A construção das imagens de profundidade também é sensível à posição do sistema de referências local, que por sua vez, é sensível aos ruídos presentes nas nuvens de pontos. Assim, é possível que para pontos correspondentes sejam geradas imagens semelhantes, porém rotacionadas ou invertidas. Assim, o presente descritor foi construído utilizando-se de histogramas de frequências dos pixels, garantindo a invariância à rotação das imagens de profundidade. Além disso, para cada ponto, são armazenados dois histogramas, expressando os sentidos opostos que a normal pode assumir. No momento de comparar os descritores, os dois sentidos serão comparados, sendo que apenas o mais similar será armazenado. Essas estratégias garantiram a invariância à sensibilidade dos autovetores.

### E. Validação

O descritor proposto necessita apenas de uma lista de coordenadas como entrada. Recentemente, Lei, Jiang e Quan (2017), apresentou uma proposta similar. Neste sentido, foram executados experimentos para comparação das precisões e tempos de processamento destes descritores.

Na comparação de precisão, foi utilizada a metodologia de aferição das variáveis *1-precision* e *recall* dos descritores utilizando a curva de ROC (*Receiver Operating Characteristics*), onde os verdadeiros positivos (TP), os falsos positivos (FP) e os falsos negativos (FN) são relacionados nas seguintes equações:

$$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad 1 - \text{Precision} = \frac{FP}{TP + FP}$$

## Resultados e discussão

### A. Alinhamento de Nuvem de Pontos

Para validar o descritor proposto, utilizou-se como benchmark modelos de bases de dados públicas que representam capturas parciais de um mesmo modelo 3D. Estes modelos, ilustrados na Fig. 2 (a), são disponibilizados no repositório *Stanford 3D Scanning Repository*.

Como ilustrado pela Fig. 2 (b), pontos correspondentes entre o par de nuvem de pontos foram encontrados pelo descritor proposto. Na Fig. 2 (c), é apresentado o resultado final após o alinhamento.

### B. Comparação

Também foram executados diversos experimentos comparando os resultados de precisão do descritor proposto por Lei, Jiang e Quan (2017) e a presente abordagem. Nos resultados, ilustrados na Fig. 3 (a), ficou comprovado a eficácia do descritor apresentado já que este apresentou, para os modelos experimentados, uma maior precisão. É válido ressaltar que um descritor apresenta eficiência proporcional à área sob a curva de ROC.



CIÊNCIA E TECNOLOGIA:  
IMPLICAÇÕES NO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

# FEPEG

F Ó R U M  
ENSINO • PESQUISA • EXTENSÃO • GESTÃO

REALIZAÇÃO:



APOIO:



ISSN: 1806-549X

Também foram executados experimentos comparando o tempo de processamento dos descritores para um mesmo conjunto de pontos e parâmetros. Nestes, ficou evidente que o descritor proposto possui um menor tempo de processamento, apresentando-se 23% mais rápido para os mesmos 100 pontos de interesse e suas vizinhanças selecionadas com uma esfera de seleção com raio de 25% do *bounding box*.

## Conclusão

Neste trabalho, foi apresentada uma proposta de um descritor para o registro de nuvem de pontos baseado em imagens de profundidade locais. Para seu funcionamento, este descritor requer como entrada de dados apenas as coordenadas dos pontos, não necessitando, portanto, que a nuvem de pontos esteja organizada como uma malha estruturada, que apresente dados RGB ou as normais dos vértices.

Na comparação feita entre a abordagem proposta e um descritor semelhante presente na literatura, obteve-se resultados com maior precisão, ou seja, maior área sob a curva de ROC, como ilustra a Fig. 3 (a) e em um menor tempo de processamento (na ordem de até 23% para as mesmas condições de experimento aqui apresentadas), como ilustra a Fig. 3 (b). Assim, conclui-se que este presente trabalho apresentou um descritor com satisfatória precisão e custo computacional, tornando-se possíveis aplicações em diversas áreas da ciência.

Não obstante, espera-se em futuros estágios desta pesquisa, experimentos que validem a proposta para nuvens de pontos oriundas de sensores RGB-D de baixo custo, como o Microsoft Kinect.

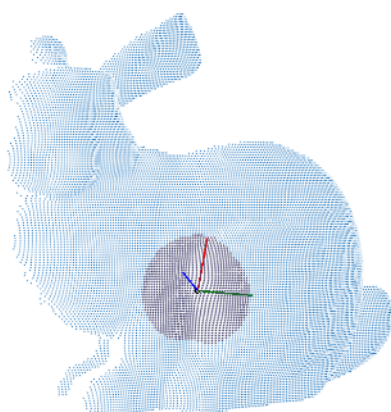
## Referências bibliográficas

LEI, Huan; JIANG, Guang; QUAN, Long. Fast descriptors and correspondence propagation for robust global point cloud registration. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 26, n. 8, p. 3614-3623, 2017.

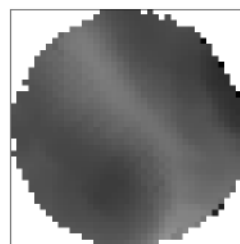
SILVA, Bruno Marques Ferreira da. **Registro global de nuvens de pontos RGB-D em tempo real usando fluxo óptico e marcadores**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.

UEDA, Edson Kenji et al. **Reconstrução a partir de múltiplos registros de nuvem de pontos RGB-D**. In: Congresso Brasileiro de Automática-CBA, 20. SBA, 2014.

VIEIRA, Thales Miranda de Almeida. **Registro Automático de Superfícies Usando Spin-Image**. 2007. Dissertação (Mestrado em Matemática). Universidade Federal de Alagoas. Maceió.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Representação do sistema de referência local no modelo Bunny e (b) imagem de Profundidade gerada.



# FEPEG

F Ó R U M  
ENSINO • PESQUISA • EXTENSÃO • GESTÃO

CIÊNCIA E TECNOLOGIA:  
IMPLICAÇÕES NO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

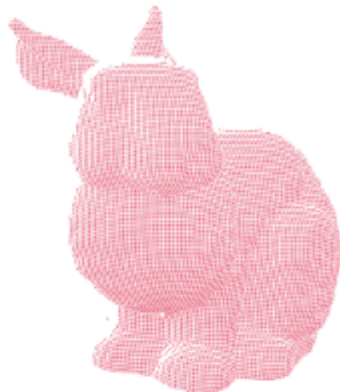
REALIZAÇÃO:



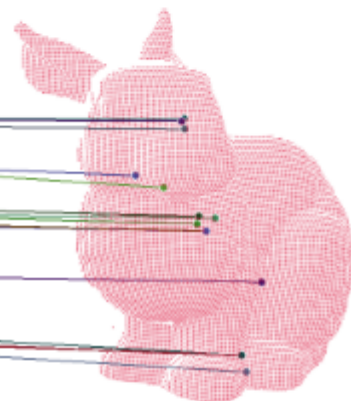
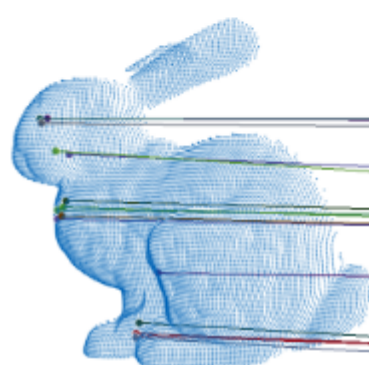
APOIO:



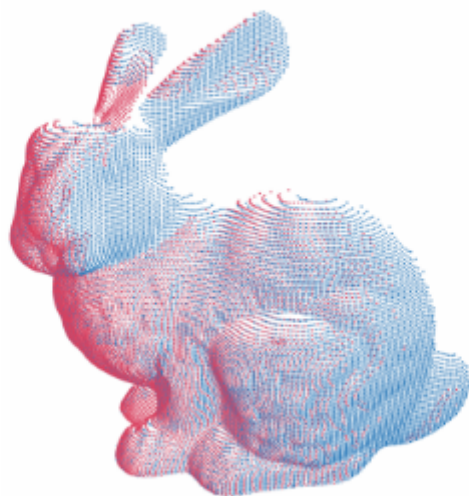
ISSN: 1806-549X



a)



b)



c)



CIÊNCIA E TECNOLOGIA:  
IMPLICAÇÕES NO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO

# FEPEG

F Ó R U M  
ENSINO • PESQUISA • EXTENSÃO • GESTÃO

REALIZAÇÃO:



APOIO:



ISSN: 1806-549X

Figura 2. (a) Capturas parciais de diferentes pontos de vista de um mesmo modelo, (b) pontos correspondentes encontrados pelo descritor proposto e (c) resultado final do alinhamento.

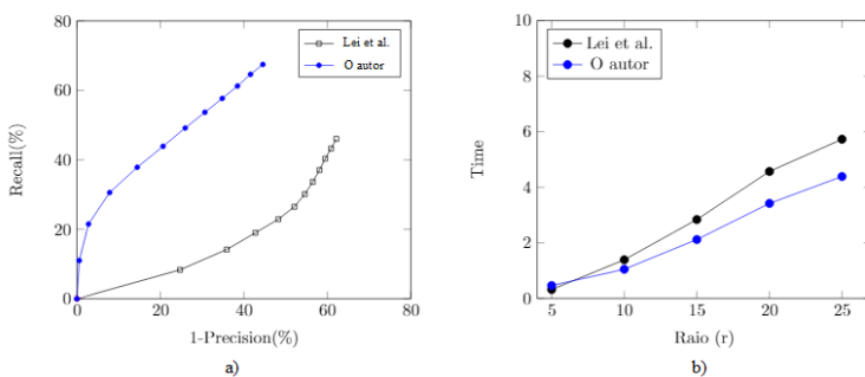


Figura 3. Curvas de ROC (a) e de tempo (b) comparativas entre os descritores de Lei, Jiang e Quan (2017) e o apresentado pelo autor.