

Metodologia para Reconstrução da Geometria da Mama usando Sensores de Profundidade

Franciéric Alves de Araújo¹, Manuel Gonçalves da Silva Neto¹,
Tércio de Andrade Oliveira¹, Aura Conci²

¹Instituto Federal do Piauí (IFPI)

²Instituto de Computação – Universidade Federal Fluminense (UFF)

{eric,manuel,tercio}@ifpi.edu.br, aconci@ic.uff.br

Abstract. *The 3D reconstruction, combined with thermography, is a means of validating or assist the diagnosis, making it more precise. In this article a method is proposed for the reconstruction of 3D geometry of the breast aiming computer simulations, as well as assist in planning surgery. The approach presented in this paper consists of three stages: calibration of two Kinects; registration of point clouds acquired; reconstruction of the surface of the virtual object. At the Validations the mean differences among the surfaces areas are 3.55%, 0.93 in the Dice similarity coefficient, in average, and we achieve mean differences among the distances between nipple are 3.51%.*

Resumo. *A reconstrução 3D, aliada à termografia, é um meio de validar, ou ajudar o diagnóstico, tornando-o mais preciso. Neste artigo é proposta uma metodologia para reconstrução da geometria 3D da mama visando a realização de simulações computacionais, assim como auxiliar no planejamento de cirurgias. A abordagem consiste em três etapas: calibração de dois Kinects; registro das nuvens de pontos adquiridas; reconstrução da superfície do objeto virtual. Nas validações a média da diferença entre as áreas de superfície foi de 3,55%, 0,93 de Coeficiente de similaridade Dice, na média, e a média da diferença das distâncias entre os mamilos foi de 3,51%.*

1. Introdução

A reconstrução de modelos 3D tem por objetivo prover informações tridimensionais de objetos reais. As informações geradas podem ser do volume como um todo ou somente da superfície. Oliveira et al [65] fizeram uma revisão dos tipos de equipamentos utilizados na reconstrução tridimensional da mama para avaliação da geometria em cirurgias, onde é possível verificar que a maioria dos trabalhos apresentados utiliza, como equipamento, o escâner laser 3D, uma tecnologia de alto custo. O trabalho aqui apresentado considera soluções de baixo custo e que obtenham ao final um modelo tridimensional de qualidade próxima aos escâner a laser. Os trabalhos apresentados na literatura [Tomikawa et al. 2010][Bezerra et al. 2013][Liu et al. 2010][Kantartzis et al. 2013], confirmam esta necessidade. A metodologia de reconstrução teria sua aplicabilidade em simulações de procedimentos cirúrgicos, simulações numéricas e no auxílio de tomografia por impedância elétrica.

Este trabalho apresenta uma metodologia para aquisição do modelo tridimensional da mama utilizando sensores de profundidade(Kinect), que seja adaptada aos protocolos

de captura das imagens termográficas específicos. O Kinect originalmente lançado como acessório do console Xbox 360, foi adotado pela comunidade científica como um "escâner 3D" de baixo custo, possuindo uma boa relação custo-benefício, a sua simplicidade relativa do hardware reflete diretamente em seu custo.

Este artigo está organizado da seguinte forma: A seção II apresenta conceitos importantes, a seção III apresenta a metodologia proposta, a seção IV apresenta a validação da metodologia e os resultados obtidos e a seção V apresenta as conclusões.

2. Conceitos Importantes

Nesta seção são apresentados alguns conceitos necessários para o entendimento deste artigo. Primeiramente são abordados conceitos relacionados à modelagem 3D, registro e reconstrução, detalhando os procedimentos e técnicas necessárias para a construção de um modelo tridimensional.

Sensores de profundidade são câmeras capazes de capturar imagens com informações referentes à distância dos elementos da imagem em relação ao ponto de captura da imagem [Langmann et al. 2012]. O Kinect é um exemplo de dispositivo que possibilita a reconstrução a partir de imagens de profundidade. O sensor Kinect é um equipamento que mede a distância entre o sensor e os elementos de uma cena utilizando um emissor infravermelho - IR (infravermelho) próximo a uma câmera capaz de captar esta luz infravermelha. Além desses componentes, o Kinect ainda possui uma câmera RGB e um motor de inclinação que auxilia a leitura vertical da cena. A Figura abaixo exibe a estrutura do Kinect.



Figura 1. Estrutura do Kinect

Uma forma de representar o ambiente utilizando a informação proveniente do Kinect é através de uma nuvem de pontos 3D. A Equação 1 é usada para recuperar a coordenada 3D do mundo (X_m, Y_m, Z_m) a partir das coordenadas em *pixel* (ud e vd) dos pontos da imagem de profundidade [Joubert and Brink 2011].

$$\begin{aligned} Z_m &= depth(ud, vd) \\ X_m &= (ud - u_0) * Z_m / \alpha_x \\ Y_m &= (vd - v_0) * Z_m / \alpha_y \end{aligned} \quad (1)$$

onde α_x , α_y , u_0 e v_0 são os parâmetros intrínsecos da câmera de profundidade. E $depth(ud, vd)$ é o valor da profundidade na coordenada (ud, vd) .

Denomina-se registro de imagens o processo de encontrar o alinhamento para mapear os pontos da imagem de um objeto com os pontos correspondentes em outra imagem. Essa técnica permite o mapeamento e transformação de duas imagens distintas para um único sistema de coordenadas. A relação entre dois sistemas de coordenadas fica determinada, recuperando-se as transformações espaciais que efetuam o mapeamento dos pontos entre eles [Albuquerque and Motta 2006].

Dentre os vários algoritmos para realizar o procedimento de registro de imagens, podemos citar o Iterative Closest Point - ICP, que se tornou popular devido ser simples para a resolução do registro 3D. O algoritmo ICP é um método numérico que delimita e refina iterativamente uma transformação inicial. Tal iteração consiste em um processo de otimização de funções que objetivam maior similaridade entre as duas ou mais imagens. Diante dessa função, os parâmetros de movimento rígido são estimados e aplicados a uma das imagens para aproximá-las [Besl and McKay 1992]. Uma premissa para que esse algoritmo iterativo convirja é que haja interseção entre as superfícies dos modelos geométricos.

As imagens de profundidade guardam implicitamente a estrutura ou forma 3D de um objeto. O principal objetivo da reconstrução de superfície é estimar uma réplica da forma do objeto real a partir dos dados.

O algoritmo para reconstrução de superfície de Poisson [Kazhdan et al. 2006] produz malhas triangulares a partir de vértices obtidos por interpolação, permitindo produzir superfícies contínuas, e suavizadas, com aspecto visual mais agradável. Aspecto, este, que motiva a adoção deste método para a representação do modelo tridimensional da mama.

[Kazhdan et al. 2006] apresentam uma abordagem para reconstrução de superfícies a partir de nuvem de pontos através da solução da equação de Poisson [Pérez et al. 2003]:

$$\nabla^2 \varphi = \phi \quad (2)$$

onde, ∇^2 é o operador laplaciano, e φ e ϕ são funções reais [Pérez et al. 2003].

O operador Laplaciano no espaço Euclidiano n-dimensional é definido como o divergente do gradiente e pode ser representado das seguintes maneiras:

$$\nabla^2 \varphi = \nabla \cdot (\nabla \varphi) = \text{div}(\text{grad} \varphi) \quad (3)$$

Assim a Equação 2 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\nabla \cdot (\nabla \varphi) = \phi \quad (4)$$

Das diversas maneiras existentes para calcular a distância entre duas superfícies, uma das mais adotadas é a distância de Hausdorff (d_H) [Aspert et al. 2002][Cignoni et al. 1998][Klein et al. 1996]. A distância de Hausdorff atribui para dois conjuntos uma medida da distância entre eles. Assim, a distância entre os dois conjuntos pode ser obtida. A distância entre um ponto a e uma superfície B é dada pela Equação 5 [Cignoni et al. 1998]:

$$d(a, B) = \min_{b \in B} d(a, b) \quad (5)$$

onde $d()$ é a distância Euclidiana no espaço R^3 . Então, a distância entre as superfícies A e B é definida pela Equação 6[Cignoni et al. 1998]:

$$d(A, B) = \max_{a \in A} d(a, B) \quad (6)$$

A definição acima não assegura simetria entre A e B , isto é a $d(A, B)$ pode ser diferente da $d(B, A)$. Logo, a distância de Hausdorff(d_H) é definida considerando o máximo entre $d(A, B)$ e $d(B, A)$ [Jankowski and Stanberry 2012]. Usando as Equações 5 e 6, a distância de Hausdorff é definida pela Equação 7:

$$d_H(A, B) = \max[d(A, B), d(B, A)] \quad (7)$$

Existem dois diferentes Índices normalmente utilizados para medir a similaridade geral entre quaisquer dois conjuntos: o Índice de Jaccard e o Coeficiente de Dice. Essas medidas volumétricas são muito utilizadas na literatura para medir o desempenho da segmentação de malhas fechadas[Galdames et al. 2012].

O Coeficiente de Dice é a medida estatística utilizada para comparar a semelhança de duas amostras[Dice 1945]. O Coeficiente de Dice mantém a sensibilidade em conjuntos de dados heterogêneos e dá menos peso a dados discrepantes[McCune et al. 2002].

O Índice de Jaccard, também conhecido como o Coeficiente de Similaridade de Jaccard, é uma medida estatística utilizada para comparar a similaridade de conjunto de amostras finitas; é definido como o tamanho da interseção dividido pelo tamanho da união dos conjuntos de amostras(Equação 8)[Jaccard 1912]:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (8)$$

onde:

$$0 \leq J(A, B) \leq 1 \quad (9)$$

Tal como o Índice de Similaridade de Jaccard, o Coeficiente de Dice também mede a similaridade de conjuntos. Neste caso, a medida é dada pela Equação 10[Dice 1945]:

$$QS = \frac{2|A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (10)$$

O valor 0 indica que não há similaridade, e quanto mais próximo de 1 maior é a similaridade entre os conjuntos.

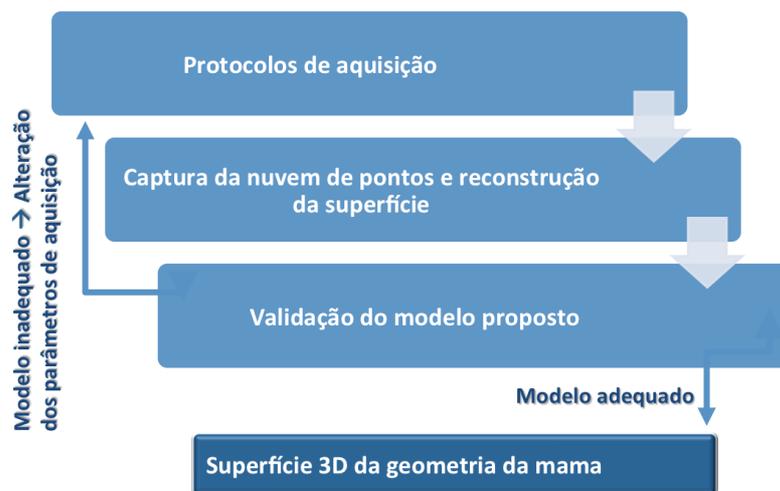


Figura 2. Etapas da metodologia

3. Metodologia

Esta seção apresenta uma metodologia para reconstrução de superfícies 3D da mama, utilizando dois (2) sensores de profundidade, calibrados, de maneira que estes sejam compatíveis com protocolo de captura de imagens térmicas. As etapas da metodologia são mostradas a figura a seguir:

Alguns fatores devem ser considerados na aquisição das imagens térmicas: preparação da voluntária. É importante a utilização de protocolos de aquisição adequados e comprovadamente eficientes no caso de uso das imagens para propósito de exame de auxílio ao diagnóstico. [Borchardt et al. 2013] fazem uma revisão dos protocolos de aquisição para imagens térmicas.

[Silva et al. 2014] apresentam um novo protocolo de aquisição e justificam sua utilização. A metodologia aqui proposta, utiliza tal protocolo. Neste protocolo a aquisição é realizada por meio de uma câmera térmica fixada a um tripé posicionado em marcações que estabelecem uma separação entre a câmera e a voluntária de 0,8 m a 1,2 m, dependendo do tamanho da paciente e da necessidade de uma melhor captura das regiões de interesse (mama e axila). A forma de aquisição dessas imagens pode ser dividida em dois protocolos em relação a temperatura do corpo da paciente durante o exame: estático e dinâmico. Em ambos, a voluntária fica despida da cintura para cima.

No protocolo estático, a voluntária permanece por 10 (dez) minutos sentada com os braços apoiados no suporte da cadeira, afim de atingir o equilíbrio térmico. Depois disso, ela se coloca em frente a câmera, com os braços posicionados atrás da cabeça, e uma sequência de 5 (cinco) imagens são capturadas na posição frontal e nos ângulos de 45° e 90° graus para ambos os lados.

O protocolo dinâmico de aquisição é realizado logo após o estático. Nele, a voluntária retorna à posição frontal, com os braços atrás da cabeça e um ventilador ligado é direcionado à região central do tórax até esta atingir a temperatura de 30,5° C ou após o período de cinco minutos (o que for atingido primeiro). O ventilador é desligado e uma sequência de vinte imagens frontais são capturadas durante 5(cinco) minutos, em intervalos de 15 segundos. Finalmente, duas imagens num ângulo de 90° (noventa graus) são

capturadas: uma da mama direita e outra da mama esquerda. As imagens adquiridas por esse protocolo são armazenadas em um banco de dados e podem ser acessadas por meio de uma plataforma online, que armazena e gerencia imagens mastológicas, onde são disponibilizados termogramas, mamografias, ressonância magnética e imagens de ultrassom [Silva et al. 2014].

Neste artigo foi desenvolvida e testada uma metodologia de reconstrução 3D da mama adequada ao protocolo de captura das imagens térmicas. A execução dessa metodologia foi auxiliada pela utilização de algumas bibliotecas conforme segue: Calibrar, no contexto desse trabalho, significa fazer com que os sensores de profundidade tenham um sistema de coordenadas único. No processo de aquisição das imagens para calibração dos sensores foram utilizadas as bibliotecas Nestk, OpenCV, Point Cloud Library - PCL e a Eigen. A Nestk é parte do projeto Rgbdemo.

A biblioteca PCL foi empregada no registro das superfícies adquiridas no escâner e no Kinect, utilizando o algoritmo Iterative Closest Point - ICP. Esse registro possibilita a comparação entre a superfície reconstruída pela metodologia e a adquirida por escâner laser com o uso da ferramenta Metro. A ferramenta Metro foi desenvolvida para avaliar a diferença entre duas malhas triangulares. Ela adota uma abordagem aproximada baseada em amostragem da superfície e cálculo da distância entre os pontos das superfícies a serem comparadas [Cignoni et al. 1998], no caso as superfícies geradas com o Kinect e as geradas com o escâner laser. Na literatura vários trabalhos adotam essa ferramenta para comparação de superfícies [Arikan et al. 2013][Lavoué and Corsini 2010][Tan et al. 2013][Tseng and Lin 2013].

O passo primordial é realizar a calibração dos sensores, um aspecto importante da calibração é estimar os parâmetros intrínsecos (coordenadas do ponto central e distância focal) e extrínsecos da câmera (rotação e translação). Esse procedimento é essencial para a reconstrução tridimensional utilizando dois (2) Kinects. A forma mais utilizada para calibrar várias câmeras para um único sistema de coordenadas é processando as imagens capturadas de um tabuleiro de xadrez.

O processo adotado neste trabalho para calibrar os sensores pode ser dividido em 3 (três) etapas: (i) Delimitação do intervalo de distâncias, (ii) Calibração dos Kinets, (iii) Refinamento do processo de calibração.

Foi definido um filtro de profundidade de 0,6 m a 1,6 metros garantindo que somente o que estiver no intervalo será capturado pelos sensores, evitando a necessidade de um pós processamento para remoção de regiões indesejadas.

[Kramer et al. 2012] sugerem que sejam capturadas 30 imagens do tabuleiro, porém, neste trabalho, foram realizados testes cujos resultados mostraram uma calibração eficiente com 20 (vinte) capturas, em diferentes posições. Foi gerado um arquivo do tipo YAML contendo os parâmetros intrínsecos e extrínsecos.

Como forma de garantir a reprodutibilidade da metodologia criada, desenvolveu-se então um aparato específico para fixação dos sensores em distâncias pré-determinadas. Com essa distância pré-determinada garantida pelo aparato, foi possível gerar uma única vez o arquivo com os parâmetros de calibração dos sensores e sempre que foi necessário, reutilizá-lo.

O processo de captura com os sensores gerou um conjunto de pontos (nuvem de pontos) que descrevem a forma 3D das voluntárias, com a resolução de 640X480, que é a padrão do Kinect. A região de interesse foi delimitada através de processo manual.

Posteriormente é calculada a normal à superfície da mama em cada ponto do conjunto. Essa etapa é fundamental na classificação de um ponto qualquer quanto à sua localização em relação à superfície que se deseja reconstruir. Essa normal é considerada no sentido do interior do modelo e serve de etapa preparatória para a reconstrução da superfície de Poisson.

O método de Poisson tem como objetivo reconstruir uma superfície triangular fechada e adota uma solução que considera todos os passos de uma só vez. A figura a seguir apresenta o esquema para aquisição e a superfície gerada após a reconstrução utilizado o método.

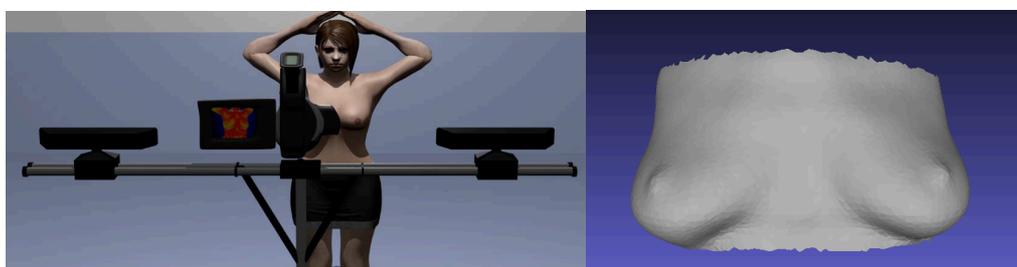


Figura 3. Esquema para aquisição de dados e Superfície obtida

4. Validação e Resultados

Para fins de comparação, da superfície gerada nesta metodologia, foram adquiridas as formas 3D das voluntárias utilizando o escâner laser do INT, que serão adotadas como o "padrão ouro" desta pesquisa. foram efetuadas as capturas dos modelos 3D de cinco voluntárias e de dois fantasmas utilizando o escâner laser do Laboratório de Ergonomia da Divisão de Desenho Industrial do INT. O escâner laser utilizado é de corpo inteiro, modelo WBX da fabricante Cyberware.

A tabela a seguir mostra um resumo dos resultados obtidos:

É possível se verificar que os piores resultados ocorreram com a voluntária 4, exceto na distância de Hausdorff, onde o fantoma 1 apresentou o pior resultado. A distância de Hausdorff é sensível a valores discrepantes e a análise da média dos erros médios foi necessária. E, nesse caso a voluntária 4 apresentou os piores valores.

No tocante aos melhores resultados nas validações, estes foram obtidos pelas voluntárias 1, 2 e 3. Neste sentido é possível inferir que a metodologia desenvolvida apresenta ótimos resultados para mamas médias, pois 3(voluntárias 1, 2 e 3) das 4 voluntárias estão entre os melhores resultados. Apenas a voluntária 5 não apresentou um melhor resultado em algum dos métodos de validação.

A validação utilizando o erro médio apresentou uma média de 4,13 mm, com um desvio padrão de 1,20 mm (valor considerado baixo e satisfatório).

Com a validação via área da superfície foi obtida uma média de 3,55% de diferença, com um desvio padrão de 1,94%, entre as superfícies geradas com o Kinect

Tabela 1. Resumo dos resultados obtidos.

Tipo de validação		Melhor caso	Valor do melhor caso	Pior caso	Valor do pior caso	Média	Desvio padrão
Distância entre os pontos das superfícies	Distância de Hausdorff	Voluntária 2	15,81 mm	Fantoma 1	24,27 mm	20,73 mm	2,15 mm
	Média dos Erros médios	Voluntária 2	2,97 mm	Voluntária 4	5,77 mm	4,13 mm	1,20 mm
Área da Superfície		Voluntária 3	0,12 %	Voluntária 4	9,09 %	3,55%	1,94%
Distância entre mamilos	Kinect X Real	Voluntária 3	5,13%	Voluntária 4	9,51%	6,77%	1,37%
	Kinect X Laser	Voluntária 2	2,32%	Voluntária 4	5,72%	3,51%	1,15%
Coeficiente de DICE		Voluntárias 1 e 3	0,95	Voluntária 4	0,91	0,93	0,0149
Índice de Jaccard		Voluntárias 1 e 3	0,91	Voluntária 4	0,83	0,87	0,0258

e com o escâner laser, uma diferença considerada pequena e satisfatória. A validação comparando as distâncias entre os mamilos mostrou que a média da diferença entre as superfícies geradas com o Kinect e as voluntárias reais é de 6,77%, com um desvio padrão de 1,37%. Já a média da diferença entre as superfícies geradas com o Kinect e as que foram geradas a partir de um escâner laser é de 3,51%, com um desvio padrão de 1,15%. Essas diferenças foram consideradas pequenas e satisfatórias.

A média obtida na validação com o Coeficiente de Dice foi de 0,93, o que demonstra um alto grau de similaridade entre as superfícies comparadas, com um desvio padrão de 0,0149. O Índice de Jaccard comprova o alto grau de similaridade apresentada com o Coeficiente de Dice, pois a média dos índices foi de 0,87, com um desvio padrão de 0,0258.

Todos os métodos de validação apontam que a metodologia desenvolvida neste trabalho gera uma superfície 3D da mama próxima da forma real, podendo ser comparada com uma superfície tridimensional gerada a partir de um escâner laser de alto custo.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou uma metodologia para reconstrução tridimensional da mama, com o uso do Kinect, ocorreu através de uma metodologia computacional de aquisição adaptada ao protocolo de captura de imagens térmicas. Contribuiu-se, dessa forma, com a elaboração de uma metodologia que é composta por uma sequência de atividades que resultam no modelo 3D computacional, gerado a partir de sensores de profundidade de baixo custo.

A análise resultante desses testes foi considerada com baixa taxa de erros, onde a diferença entre o modelo 3D gerado pela metodologia e demais modelos foi em média inferior a 6,8%, além de uma distância média de 4,13mm, em comparação com um escâner

laser. Dessa forma, foi possível mostrar que o modelo 3D desenvolvido é próximo às características geométricas reais das voluntárias.

Este trabalho deixa algumas perguntas em aberto, sendo passíveis de melhorias em pesquisas futuras, seguem alguns itens que podem servir diretamente como tema para outras pesquisas:

- Detecção e extração automática da região de interesse (mama) nos modelos tridimensionais.
- Reconstrução do modelo 3D da mama utilizando o sensor de profundidade Kinect 2.0 como forma de comparar com os resultados aqui obtidos.
- Reconstrução da superfície adotando outros métodos de geração da superfície usando nuvens de pontos além de Poisson para fins de comparação.

Acredita-se que a metodologia aqui proposta seja a principal contribuição deste artigo, apesar de existirem outras metodologias de reconstrução tridimensional da mama na literatura, a metodologia proposta neste artigo reúne característica como: Baixo custo, rapidez para geração do modelo 3D e adaptação ao protocolo de aquisição de imagens térmicas. Estes são seus principais diferenciais em relação a outros trabalhos.

Referências

- Albuquerque, L. A. and Motta, J. M. S. T. (2006). Implementation of 3D shape reconstruction from range images for object digital modeling. *ABCM Symposium Series in Mechatronics.*, 2:81–88.
- Arikan, M., Schwärzler, M., Flöry, S., Wimmer, M., and Maierhofer, S. (2013). O-snap: Optimization-based snapping for modeling architecture. *ACM Transactions on Graphics*, 32(1):6:1–6:15.
- Aspert, N., Santa-Cruz, D., and Ebrahimi, T. (2002). Mesh: Measuring errors between surfaces using the hausdorff distance. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, volume I, pages 705 – 708.
- Besl, P. J. and McKay, N. D. (1992). A method for registration of 3-D shapes. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 14(2):239–256.
- Bezerra, L. A., Oliveira, M. M., Rolim, T. L., Conci, A., Santos, F. G. S., Lyra, P. R. M., and Lima, R. C. F. (2013). Estimation of breast tumor thermal properties using infrared images. *Signal Processing*, 93(10):2851–2863.
- Borchardt, T. B., Conci, A., Lima, R. C. F., Resmini, R., and Sánchez, Á. (2013). Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey. *Signal Processing*, 93(10):2785–2803.
- Cignoni, P., Rocchini, C., and Scopigno, R. (1998). Metro: Measuring error on simplified surfaces. *Comput. Graph. Forum*, 17(2):167–174.
- Dice, L. R. (1945). Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, 26(3):297–302.
- Galdames, F., Jaillet, F., and Prez, C. A. (2012). An Accurate Skull Stripping Method Based on Simplex Meshes and Histogram Analysis for Magnetic Resonance Images. *Journal of Neuroscience Methods*, 206(2):103–119.

- Jaccard, P. (1912). The distribution of the flora in the alpine zone. *New Phytologist*, 11(2):37–50. [published online: 2006].
- Jankowski, H. and Stanberry, L. (2012). Confidence regions for means of random sets using oriented distance functions. *Scandinavian Journal of Statistics*, 39(2):340–357.
- Joubert, P. and Brink, W. (2011). Scene reconstruction from uncontrolled motion using a low cost 3D sensor. *Proceedings of the Twenty-Second Annual Symposium of the Pattern Recognition Association of South Africa*, pages 13–18.
- Kantartzis, P., Abdi, M., and Liatsis, P. (2013). Stimulation and measurement patterns versus prior information for fast 3D EIT: A breast screening case study. *Signal Processing*, 93(10):2838–2850.
- Kazhdan, M., Bolitho, M., and Hoppe, H. (2006). Poisson surface reconstruction. In *Proceedings of the Fourth Eurographics Symposium on Geometry Processing, SGP '06*, pages 61–70, Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland. Eurographics Association.
- Klein, R., Liebich, G., and Straer, W. (1996). Mesh reduction with error control. In *Visualization 96. ACM*, pages 311–318.
- Kramer, J., Burrus, N., C., D. H., Echter, F., and Parker, M. (2012). *Hacking the Kinect*. Apress, Berkely, CA, USA, 1st edition.
- Langmann, B., Hartmann, K., and Loffeld, O. (2012). Depth camera technology comparison and performance evaluation. In *ICPRAM*, pages 438–444. SciTePress.
- Lavoué, G. and Corsini, M. (2010). A comparison of perceptually-based metrics for objective evaluation of geometry processing . *IEEE Transactions on Multimedia*, 12(7):636–649.
- Liu, C., Luan, J., Mu, L., and Ji, K. (2010). The role of three-dimensional scanning technique in evaluation of breast asymmetry in breast augmentation: a 100-case study. *Plast Reconstr Surg*, 126(6):2125–32.
- McCune, B., Grace, L., and Urban, D. (2002). *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR.
- Pérez, P., Gangnet, M., and Blake, A. (2003). Poisson image editing. *ACM Trans. Graph.*, 22(3):313–318.
- Silva, L. F., Saade, D. C. M., Sequeiros-Olivera, G. O., Silva, A. C., Paiva, A. C., Bravo, R. S., and Conci, A. (2014). A new database for breast research with infrared image. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 4(1):92–100.
- Tan, M.-L., Su, Y., Lim, C.-W., Selvaraj, S. K., Zhong, L., and Tan, R.-S. (2013). A geometrical approach for automatic shape restoration of the left ventricle. *PLoS ONE*, 8(7):e68615.
- Tomikawa, M., Hong, J., Shiotani, S., Tokunaga, E., Konishi, K., Ieiri, S., Tanoue, K., Akahoshi, T., Maehara, Y., and Hashizume, M. (2010). Real-time 3-dimensional virtual reality navigation system with open mri for breast-conserving surgery. *J Am Coll Surg*, 210(6):927–33.
- Tseng, J.-L. and Lin, Y.-H. (2013). 3D surface simplification based on extended shape operator. *WSEAS Transactions on Computers*, 12(8):320–330.