

UM NOVO ALGORITMO PARA A CONSTRUÇÃO DE IMAGENS PANORÂMICAS USANDO OS ALGORITMOS SIFT E RANSAC

FRANCISCO ASSIS DA SILVA¹
ALAN KAZUO HIRAGA²
ALMIR OLIVETTE ARTERO³
MARIA STELA VELUDO DE PAIVA¹
RICARDO LUÍS BARBOSA⁴

¹Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (USP), São Carlos/SP

²Departamento de Computação – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP

³Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Presidente Prudente/SP

⁴Campus de Sorocaba – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba/SP

chico@unoeste.br, alanhiraga@hotmail.com, almir@fct.unesp.br, mstela@sc.usp.br, ricardo@cartovias.com.br

RESUMO - Este artigo apresenta um novo algoritmo para a construção de imagens panorâmicas (incluindo panoramas em 360), que tem como principal característica evitar a distorção que ocorre pela junção de várias imagens sucessivas. Foram utilizados os algoritmos SIFT e RANSAC para encontrar áreas de sobreposição entre os pares de imagens, bem como um algoritmo de Blend para suavizar as junções. O algoritmo proposto não causa distorções durante a junção das imagens, assim, uma correção posterior não é necessária, o que contribui para um melhor desempenho. Os resultados dos experimentos usando softwares comerciais e também o algoritmo proposto foram comparados através de uma análise quantitativa, utilizando medidas numéricas calculadas sobre uma imagem panorâmica, gerada a partir de uma sequência de vinte imagens de uma região mapeada e georreferenciada pelo Google Earth.

Palavras chave: Imagens Panorâmicas, Retificação de Imagens, Ajuste de Imagens, SIFT, RANSAC.

ABSTRACT - In this paper we presented a new algorithm for the construction of panoramic images (including 360 panoramas), which has as main characteristic to avoid the distortion that occurs by joining of several successive images in a sequence. We used the SIFT and RANSAC algorithms to find overlap areas between pairs of images, as well as a Blend algorithm for smoothing the joints. The proposed algorithm doesn't cause distortions during the image joining, thus, the subsequent correction is not necessary, contributing to a better performance. The results of experiments using commercial software and also the proposed algorithm were compared through a quantitative analysis using numeric measures calculated on a panoramic image, generated from an image sequence of a mapped and georeferenced region by Google Earth.

Key words: Panoramic Images, Image Rectification, Image Adjustment, SIFT, RANSAC.

1 INTRODUÇÃO

As imagens panorâmicas têm sido construídas a partir de uma sequência de imagens, a fim de se obter uma imagem com uma resolução horizontal/vertical muito maior do que uma imagem individual, o que torna possível fotografar uma grande área. Elas têm sido amplamente utilizadas porque a visualização de uma única imagem panorâmica é muito mais agradável do que visualizar as diversas imagens separadamente. As imagens panorâmicas podem ser obtidas usando lentes especiais, como olho de peixe (HILL, 2007), que acoplada a uma câmara fotográfica comum, torna possível capturar imagens do ambiente com um escopo maior. Embora a técnica tenha ganhado maior popularidade com o avanço da tecnologia da fotografia digital, as imagens panorâmicas têm sido obtidas desde 1839 (NEWHALL, 1964), quando várias fotografias foram capturadas usando

filme fotográfico e, depois de serem reveladas em papel, foram cortadas e coladas. Com a popularização das câmaras digitais, equipadas com processadores cada vez mais poderosos, a construção de imagens panorâmicas tem se tornado uma tarefa muito simples, consistindo basicamente em pressionar e segurar o botão da câmara, enquanto se move a mesma para capturar as imagens. Atualmente, a construção de imagens panorâmicas usa apenas software, muitas vezes incorporados na própria câmara. Quando a primeira imagem da sequência é conectada com a última, se obtém uma imagem panorâmica 360 (NAYAR; KARMARKAR, 2000) (BAKSTEIN; PAJDLA, 2001), sendo a sua principal função oferecer uma boa imersão no ambiente retratado, pois usando softwares de visualização é possível ter a sensação de se mover dentro do ambiente. Empresas como a *Google*, com seu programa *Street View* e *Microsoft*, com seu programa *Streetside*, tem usado estes

recurso para retratar ruas e rodovias, permitindo aos usuários uma sensação semelhante a que teriam se estivessem caminhando por elas.

A maior dificuldade para a construção de imagens panorâmicas se deve as alterações espaciais (translação escala e rotação) que ocorrem quando as imagens são capturadas, e também radiométricas (brilho e cor).

Durante o processo de juntar as imagens, elas precisam passar por muitos ajustes, para que possam se encaixar adequadamente. No entanto, este passo de ajustamento cria uma distorção, que é acumulada ao longo do processo (Figura 2), necessitando de um reparo posterior (BROWN; LOWE, 2007). Assim, neste trabalho é proposto um novo algoritmo para a construção de imagens panorâmicas, que evita tais distorções, dispensando o passo adicional para a sua correção. As demais seções deste artigo estão organizadas da seguinte forma: Na Seção 2 é apresentado o problema inerente a junção de imagens e as distorções causadas pelo uso das técnicas conhecidas. Esta seção também apresenta os algoritmos SIFT (LOWE, 1999) (LOWE, 2004), RANSAC (FISCHLER; BOLLES, 1981) e Blend (UYTTENDAELE et al., 2001) (LEVIN et al., 2006), usados na abordagem proposta neste trabalho. Na Seção 3 é apresentada uma nova proposta para a construção de imagens panorâmicas, que reduz as etapas do processo; A Seção 4 compara os resultados obtidos usando dois programas comerciais e o algoritmo proposto, sendo os resultados avaliados através de uma análise quantitativa, utilizando imagens aéreas, cujas coordenadas são conhecidas. Finalmente, na Seção 5 são apresentadas as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

A junção de imagens não é uma tarefa simples, porque durante a captura das imagens, surgem problemas espaciais, devido ao movimento da câmara (translação, rotação e escala), além das diferenças radiométrica (cor e brilho). As alterações espaciais são resolvidas mais facilmente, se as imagens passarem por um processo de retificação (WOLF et al., 2000), descrito na Seção 2.1. Além disso, é necessário localizar os pontos homólogos entre as imagens a serem unidas. Essa tarefa é realizada através da identificação de áreas comuns em ambas as imagens. Neste trabalho, isto é feito usando os algoritmos SIFT (LOWE, 1999) (LOWE, 2004) e RANSAC (FISCHLER; BOLLES, 1981) descritos na Seção 2.2. Finalmente, para resolver os problemas radiométricos foi usado o algoritmo Blend Feathering (LEVIN et al., 2006) (UYTTENDAELE et al., 2001), apresentado na Seção 2.3.

2.1 Retificação de Imagens

A Retificação de imagem (ROY et al, 1997) (POLLEFEYS et al., 1999) (ORAM, 2001) é uma etapa muito usada para gerar imagens panorâmicas, pois simplifica a tarefa de união das imagens. Em (POLLEFEYS et al., 1999) duas maneiras de retificação

de imagem são discutidas (planar e cilíndrica) para determinar como um par de imagens a ser retificado deve passar por uma re-projeção. A geometria epipolar (HARTLEY; ZISSERMAN, 2003) é usada para simplificar o procesamento durante a localização dos pontos homólogos pois com ela, a busca não precisa ser feita por toda a imagem, restringindo-se apenas à linha epipolar (POLLEFEYS et al., 1999) (ROY et al., 1997).

2.2 Retificação Planar e Cilíndrica

Usando o conceito de geometria epipolar, a retificação deve ajustar as imagens planares na linha de base antes de uní-las, o que assegura que as linhas relacionadas terão a mesma altura. Observando-se que, se o epipolo da imagem é muito próximo da imagem, a imagem retificada ficará deformada. Quando o epipolo está localizado dentro da imagem, a imagem será esticada até ao infinito (ROY et al., 1997).

No caso de uma retificação cilíndrica ou projeção cilíndrica, o epipolo nunca está localizado dentro da imagem, pois cada pixel da imagem é projetado sobre um cilindro de raio z (ROY et al., 1997). Isto é feito considerando o plano da imagem em um espaço tridimensional e o cilindro é posicionado tangenciando o plano de imagem, sobre a origem dos eixos, conforme Figura 1.

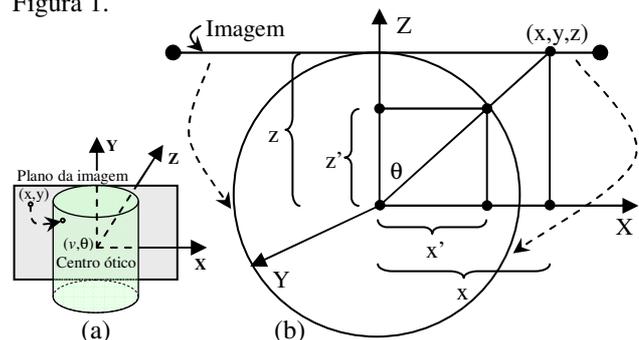


Figura 1 – a) Projeção da imagem no cilindro; b) Vista superior do cilindro.

A projeção considera o centro da imagem com coordenadas (0,0), no ponto principal do plano da imagem, e cada ponto da imagem terá um sistema de coordenadas global dado como (x,y,z) . Esta posição projetada no cilindro terá as coordenadas (v,θ) , onde v é a altura do ponto de interseção entre o cilindro e a linha reta que liga a origem ao ponto (x,y,z) . O θ ângulo, entre o eixo e esta linha reta (SZELISKI; SHUM, 1997) é obtido com a Equação 1.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) \quad (1)$$

e v é calculado usando a Equação 2.

$$v = \frac{y.z.\sin(\theta)}{x} \quad (2)$$

2.2 Identificação de Pontos Homólogos

Para unir duas imagens é preciso identificar a região de sobreposição entre elas, o que é feito encontrando pontos comuns entre elas. A realização desta tarefa de modo totalmente automático é uma tarefa complexa, que tem gerado uma série de pesquisas (BASRI; JACOBS, 1997) (FRIEDMAN et al., 1977). A dificuldade inicial é encontrar pontos chave na primeira imagem, que podem ser localizados na segunda imagem. Uma abordagem possível (DAKUN et al., 2010) (LUKASHEVICH et al., 2011) (FANG et al., 2010) e também utilizada neste trabalho, aplica o algoritmo SIFT para encontrar pontos de interesse nas duas imagens e, em seguida, usa o algoritmo RANSAC (FISCHLER; BOLLES, 1981) para eliminar pontos incompatíveis.

2.2.1 Algoritmo SIFT

Este algoritmo consiste em um método muito eficiente para identificar e descrever pontos chave sobre uma imagem, o que é feito através da realização de um mapeamento com diferentes visões de um objeto ou cena, resultando em um vetor com 128 valores, descrevendo cada ponto chave da imagem (LOWE, 1999) (LOWE, 2004), além de outras informações, como posicionamento, direção do gradiente e escala.

2.2.2 Algoritmo RANSAC

O algoritmo RANSAC (*RANdom Sample Consensus*) proposto por Fischler e Bolles (1981) foi proposto para eliminar os pontos chave com falsas correspondências entre os conjuntos de pontos chave de duas imagens a serem unidas, e também para calcular a matriz homográfica, que contém os parâmetros rotação, translação e escala, necessários para juntar duas imagens. O RANSAC tem sido amplamente usado para o apoio ao reconhecimento de objetos (OKABE; SATO, 2003).

2.3 Junção de Imagens

Na construção de uma imagem panorâmica, os erros causados pela sucessiva união de imagens são propagados ao mesmo tempo que a matriz fundamental é aplicada a cada junção, gerando uma distorção final muito forte, como ilustra a Figura 2.



Figura 2 – Imagem panorâmica sem ajuste (BROWN; LOWE, 2007).

Nesta figura fica claro que o erro foi propagado pelas junções das imagens, transformando o horizonte numa linha sinusoidal. Brown e Lowe (2007) sugerem

que este erro deve ser corrigido utilizando um algoritmo de ajuste chamado "*Bundle Adjustment*" (BROWN; LOWE, 2007), a fim de se gerar uma imagem panorâmica em que o horizonte volte a se tornar uma linha horizontal. O resultado de tal correção é mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Imagem panorâmica após ajuste (BROWN; LOWE, 2007).

No caso de imagens panorâmicas 360, este ajustamento é ainda mais necessário porque a primeira e a última imagem da sequência precisam ser unidas.

2.3.1 Blend

Na construção de imagens panorâmicas, as regiões unidas entre duas imagens podem apresentar uma diferença na iluminação da cena, gerando uma imagem panorâmica com um aspecto de corte nas junções. O objetivo de um algoritmo de "*Blending*" é disfarçar esta diferença.

O algoritmo *Blend Feathering* (UYTTENDAELE et al., 2001) (LEVIN et al., 2006), foi adotado neste trabalho porque gera bons resultados, apesar de sua simplicidade. Trata-se de uma técnica amplamente usada em Computação Gráfica, para suavizar bordas de imagens, podendo ser usado para disfarçar as diferenças radiométricas nas regiões de sobreposição entre as imagens unidas, o que é feito por uma mistura de cor dos pixels correspondentes nas duas imagens I_1 e I_2 , conforme a Equação 3.

$$I_f(i, j) = (1 - w).I_1(i, j) + w.I_2(i, j) \quad (3)$$

3 ALGORITMO STITCHINGPHM

A fim de evitar a distorção discutida na Seção 2.3 (Figura 2) e, conseqüentemente, para eliminar a correção posterior (Figura 3), o algoritmo *StitchingPHm* (*Stitching with Partial Homographic matrix*), proposto neste trabalho sugere aplicar os valores da matriz homográfica proporcionalmente à proximidade dos locais de junção nas imagens, de modo a evitar a propagação de erros na sequência de imagens unidas. Este algoritmo também se mostrou adequado para a construção de imagens panorâmicas 360, onde o problema torna-se ainda mais crítico, pois a primeira e a última imagem da sequência também precisam ser unidas.

No algoritmo *StitchingPHm*, dadas duas imagens $I_1(x,y)$ e $I_2(x,y)$, a serem unidas, os valores da matriz homográfica (gerada pelo RANSAC – Equação 4) são aplicados proporcionalmente em I_2 , apenas na região de sobreposição com I_1 . Inicialmente, é aplicado 100% dos valores da matriz homográfica nos pontos de junção, reduzindo o seu efeito gradualmente até atingir 0%. Desta forma, os parâmetros de rotação e escala são reduzidos a

zero, deixando apenas os parâmetros de translação em x e y .

$$H = \begin{pmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & h_{1,3} \\ h_{2,1} & h_{2,2} & h_{2,3} \\ h_{3,1} & h_{3,2} & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Os elementos de uma matriz aditiva F , usada para controlar a aplicação da matriz homográfica H em I_2 são obtidos utilizando a Equação 5.

$$f_{i,j} = \frac{\lambda - h_{i,j}}{jw + 0.2w} \quad (5)$$

onde: $\lambda=1$ se $i=j$ e $\lambda=0$ se $i \neq j$; jw é a largura da região de sobreposição e w é a largura da imagem.

As cores de pixel da imagem resultante $I_r(x_r, y_r)$ são obtidas a partir das cores da imagem de pixel $I_2(x, y)$, onde as coordenadas x_r e y_r são obtidos com a Equação 6.

$$(x_r, y_r, 1) = (x, y, 1) \cdot \begin{pmatrix} f_{1,1} \cdot x + h_{1,1} & f_{1,2} \cdot x + h_{1,2} & h_{1,3} \\ f_{2,1} \cdot x + h_{2,1} & f_{2,2} \cdot x + h_{2,2} & h_{2,3} \\ f_{3,1} \cdot x + h_{3,1} & f_{3,2} \cdot x + h_{3,2} & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Os pontos com coordenadas não obtidas com esta transformação são coloridos posteriormente, usando uma interpolação bilinear.



Figura 4 – Região usada no experimento.

Para calcular os ângulos entre esses pontos (Figura 5 (a)), deve-se notar que, dados dois vetores u, v , o ângulo entre eles é dado pela Equação 7.

$$\theta = \arccos\left(\frac{u \cdot v}{\|u\| \cdot \|v\|}\right) \quad (7)$$

Para se obter uma comparação precisa, deve-se observar também a direção, no sentido horário (+) e anti-horário (-), na determinação dos ângulos $\angle BAC$, como ilustrado na Figura 5 (b). A distância d entre os pontos $P(x,y)$ e $Q(x,y)$ é calculada pela Equação 8.

$$d = \sqrt{(P_x - Q_x)^2 + (P_y - Q_y)^2} \quad (8)$$

Considerando que as distâncias entre esses pontos no *Google Earth* são medidas em metros, e as distâncias entre esses pontos nas imagens (*StitchingPHm*, *AutoStitch* e *PTGui*) são medidas em pixels, neste experimento os resultados são comparados usando as relações entre os segmentos de retas que conectam esses pontos (Tabela 1).

4 EXPERIMENTOS

Esta seção compara os resultados obtidos usando os softwares comerciais *AutoStitch* (<http://www.cs.bath.ac.uk/brown/autostitch/autostitch.html>) e *PTGui* (<http://www.ptgui.com>) e o algoritmo *StitchingPHm*. Isto é feito através de uma análise quantitativa que usa imagens georreferenciadas para fazer algumas medições. O algoritmo *StitchingPHm* foi implementado na linguagem C, usando a biblioteca *OpenCV* (BRADSKY et al., 2008), e pode ser baixado do site <http://fipp.unoeste.br/~chico/StitchingPHm.html>.

O algoritmo *StitchingPHm* e os softwares *AutoStitch* e *PTGui* foram aplicados em uma sequência de vinte imagens obtidas na região de Santa Rita do Sapucaí (Brasil), como ilustrado na Figura 4. Nessa região, foram demarcadas as coordenadas geográficas através do *Google Earth* e, em seguida foram analisados os ângulos e as relações entre os comprimentos dos segmentos de retas formados pelos três pontos A, B e C .

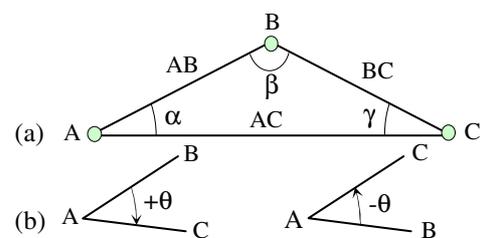


Figura 5 – a) Segmentos de reta AB, BC e AC e os ângulos $\angle BAC$ (α), $\angle ABC$ (β) e $\angle ACB$ (γ) a partir dos pontos A, B e C ; b) Ângulos formados considerando a direção.

A região selecionada, mostrada na Figura 6 (a) está localizada entre os pontos com coordenadas (latitude e longitude): $A = -22.269857, -45.771812$; $B = -22.252159, -45.733189$ e $C = -22.239154, -45.691300$.

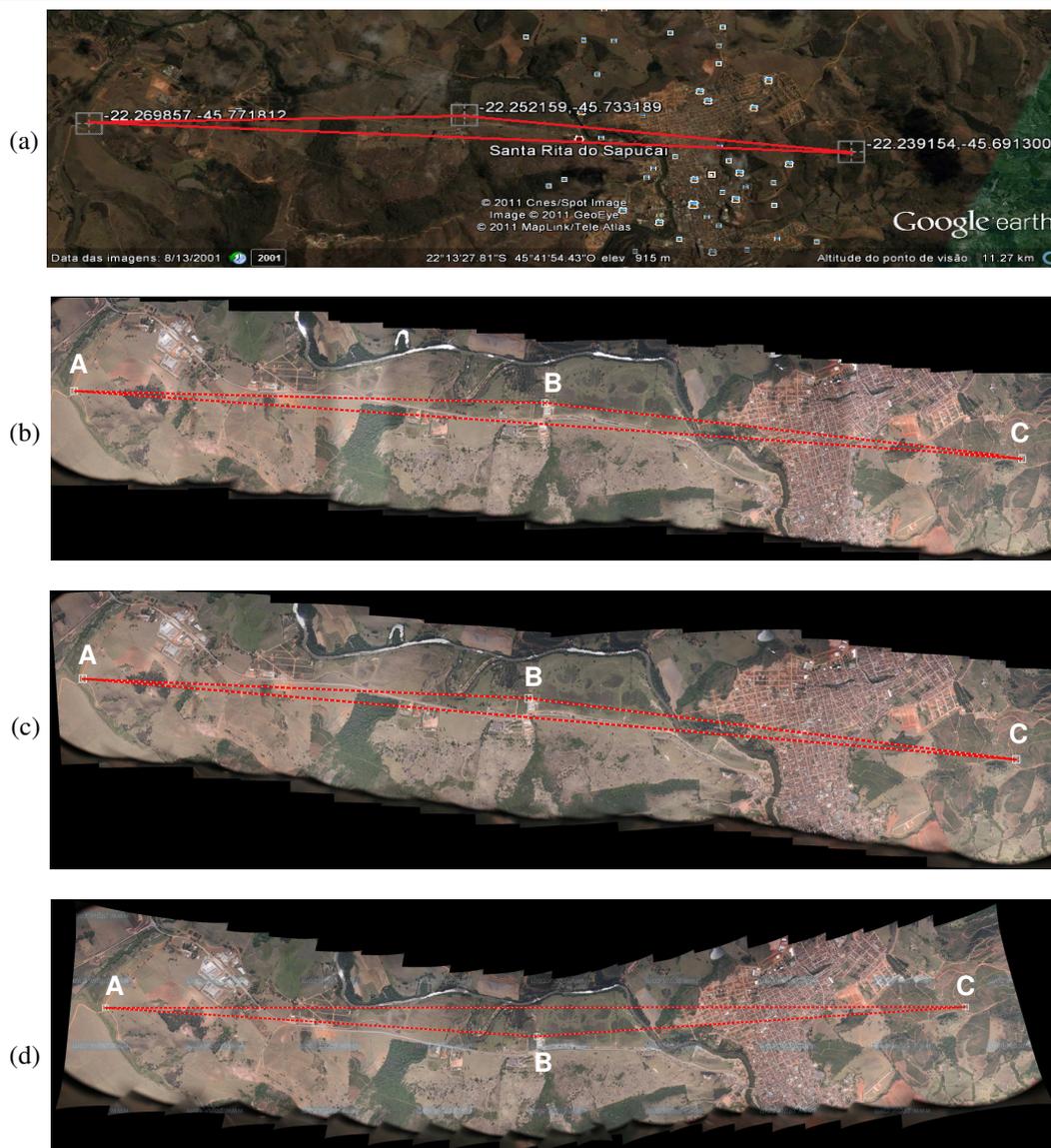


Figura 6 – a) Região selecionada; Imagens panorâmicas usando: b) StitchingPHm; c) AutoStitch; d) PTGui.

As informações medidas nessas imagens panorâmicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de distâncias na região no *Google Earth* [G] (coordenadas georreferenciadas) e as proporções de pixel obtidos usando: *StitchingPHm* [S], *AutoStitch* [A] e *PTGui* [P].

	Ângulos			Medidas - p (pixels) - m (metros)			Relações		
	α	β	γ	AB	AC	BC	AB/BC	AB/AC	BC/AC
G	3,941	-172,218	3,841	4435,748m	8965,388m	4550,349m	0,975	0,495	0,508
S	+2,630	-174,793	2,577	2010,647p	4058,303p	4058,303p	0,980	0,495	0,506
A	+2,436	-175,353	2,212	1754,734p	3683,925p	1932,215p	0,908	0,476	0,524
P	-3,824	+172,326	-3,850	2166,790p	4309,000p	2151,891p	1,007	0,503	0,499

Os erros observados em comparação com os valores obtidos a partir do *Google Earth* são apresentados na Tabela 2, onde é possível notar que, neste caso, os erros obtidos com o *StitchingPHm* são os menores (negrito) para os três ângulos e também para as três relações.

Tabela 2 – Erros entre os resultados do *Google Earth* com *StitchingPHm* [S], *AutoStitch* [A] e *PTGui* [P].

	Ângulos em graus			Relações		
	α	β	γ	AB/BC	AB/AC	BC/AC
S	1,311	2,575	1,264	0,005	0,000	0,002
A	1,505	3,135	1,629	0,067	0,019	0,016
P	7,765	344,544	7,691	0,032	0,008	0,009

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

As imagens panorâmicas tem se tornado muito populares com o desenvolvimento da indústria eletrônica, que tem incorporado este recurso nas câmaras fotográficas, o que tem motivado uma constante busca por algoritmos cada vez mais eficazes para viabilizar a sua aplicação em dispositivos com um hardware mais modesto. O método tradicional para a construção de imagens panorâmicas aplicando a matriz homográfica em toda a imagem produz uma grande deformação, requerendo um passo adicional de ajustamento, que a solução proposta neste trabalho elimina completamente, o que deve contribuir para um aumento no desempenho destes dispositivos.

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia utilizada neste trabalho também foi satisfatória para a junção de imagens panorâmicas 360.

REFERÊNCIAS

- BAKSTEIN, H.; PAJDLA, T. 3D reconstruction from 360 x 360 mosaics, **Proceedings of the CVPR'01 conference**, v. 2, p. 72–77, Loas Alamitos, CA, 2001.
- BASRI R.; JACOBS, D. W. Recognition using region correspondences, **International Journal of Computer Vision**, v. 25, n. 2, p. 145–166, 1997.
- BRADSKY, G. R.; PISAREVSKY V.; BOUGUET, J. **Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library**, Springer, 2008.
- BROWN M.; LOWE D. G. Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features, **International Journal of Computer Vision**, v. 74, n. 1, p. 59–73, 2007.
- DAKUN, Z.; ZHAOXIN, L.; GUIYUAN, J. A feature-based algorithm for image mosaics with moving objects, **IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS)**, p. 26–29, 2010.
- FANG, X.; LUO, B.; ZHAO, H.; TANG, J.; ZHAI, S. New multi-resolution image stitching with local and global alignment, **IET Computer Vision**, v. 4, n. 4, p. 231–246, 2010.
- FISCHLER, M.A.; BOLLES, R.C.; Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography, **Comm. of the ACM**, v. 24, p. 381–395, 1981.
- FRIEDMAN, J. H.; BENTLEY, J. L.; FINKEL, R. A. An algorithm for finding best matches in logarithmic expected time, **ACM Transactions on Mathematical Software**, v. 3, n. 3, p. 209–226, 1977.
- HARTLEY R.; ZISSERMAN, A. **Multiple View Geometry in Computer Vision**, University Press, Cambridge, 2nd ed. 2003.
- HILL, R.; A lens for whole sky photographs, **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 2007.
- LEVIN, A.; ZOMET, A.; PELEG, S.; WEISS, Y., Seamless Image Stitching in the Gradient Domain, **Proc. 9th European Conference on Computer Vision**, Austria, 2006.
- LOWE, D. G.; Object recognition from local scale-invariant features, **International Conference on Computer Vision**, Greece, p. 1150–1157, 1999.
- LOWE, D. G.; Distinctive image features from scale-invariant keypoints, **International Journal of Computer Vision**, v. 60, n. 2, p. 91–110, 2004.
- LUKASHEVICH, P. V.; ZALESKY, B. A.; ABLAMEYKO S. V., Medical Image Registration Based on SURF Detector, **Pattern Recognition and Image Analysis**, v. 21, n. 3, p. 519–521, 2011.
- NAYAR S. K.; KARMARKAR A., 360 x 360 mosaics. **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'00)**, Hilton Head, South Carolina, v. 2, p. 388–395, 2000.
- NEWHALL, B.; **The History of Photography, from 1839 to the Present Day**, Museum of Modern Art, New York, 1964.
- OKABE T.; SATO Y., Object recognition based on photometric alignment using RANSAC, **Proceedings of Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, p. 221–228, 2003.
- Oram D.; Rectification for any epipolar geometry, **British Machine Vision Conference**, p. 653–662, 2001.
- Pollefeys M.; Koch R.; Van-Gool L. A simple and efficient rectification method for general motion, **Proc. Seventh IEEE Intern. Conf. on Computer Vision**, v. 1, p. 496–501, 1999.
- ROY S.; MEUNIER J.; COX I. Cylindrical rectification to minimize epipolar distortion, **Proceedings of the Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition**, p. 393–399, 1997.
- SZELISKI R.; SHUM H.-Y., Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps. **Proc. 24th Int. Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques**, ACM, p. 251–258, 1997.
- Uyttendaele M.; Eden A.; Szeliski R.; Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics. **Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001)**, 2001.
- WOLF P.; DEWITT B.; WILKINSON B.; **Elements of Photogrammetry, with Application in GIS**. McGraw Hill, 2000.