

Referências Bibliográficas

- [1] ANDTOM DRUMMOND, E. E. **Monocular slam as a graph of coalesced observations**. In: IEEE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, p. 1–8, October 2007.
- [2] AZUMA, R. T. **A survey of augmented reality**. Presence, 6:355–385, 1997.
- [3] BAUER, J.; SÜNDERHAUF, N. ; PROTZEL, P. **Comparing several implementations of two recently published feature detectors**.
- [4] BAY, H.; ESS, A.; TUYTELAARS, T. ; GOOL, L. V. **Speeded-up robust features (surf)**. Computer Vision and Image Understanding, 110(3):346 – 359, 2008. Similarity Matching in Computer Vision and Multimedia.
- [5] BAY, H.; FASEL, B. ; GOOL, L. V. **Interactive museum guide: Fast and robust recognition of museum objects**. In: PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE VISION, May 2006.
- [6] BAY, H.; TUYTELAARS, T. ; GOOL, L. V. **Surf: Speeded up robust features**. In: IN ECCV, p. 404–417, 2006.
- [7] BOUGUET, J. Y. **Camera calibration toolbox for matlab**, 2008.
- [8] BRADSKI, G. **The OpenCV Library**. Dr. Dobb's Journal of Software Tools, 2000.
- [9] BRUNS, E.; BROMBACH, B.; ZEIDLER, T. ; BIMBER, O. **Enabling mobile phones to support large-scale museum guidance**. IEEE MultiMedia, 14(2):16–25, 2007.
- [10] CASTLE, R.; KLEIN, G. ; MURRAY, D. W. **Video-rate localization in multiple maps for wearable augmented reality**. In: ISWC '08: PROCEEDINGS OF THE 2008 12TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEARABLE COMPUTERS, p. 15–22, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.

- [11] CASTLE, R. O.; GAWLEY, D. J.; KLEIN, G. ; MURRAY, D. W. **Towards simultaneous recognition, localization and mapping for hand-held and wearable cameras.** In: PROC. INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION, ROME, ITALY, APRIL 10-14, 2007, p. 4102–4107, 2007.
- [12] CASTLE, R. O.; GAWLEY, D. J.; KLEIN, G. ; MURRAY, D. W. **Video-rate recognition and localization for wearable cameras.** In: PROC 18TH BRITISH MACHINE VISION CONFERENCE, WARWICK, SEPT 11-13, 2007, p. 1100–1109, 2007.
- [13] CLEMENTE, L. A.; DAVISON, A. J.; REID, I. D.; NEIRA, J. ; TARDÓS, J. D. **Mapping large loops with a single hand-held camera.** In: Burgard, W.; Brock, O. ; Stachniss, C., editors, PROCEEDINGS OF ROBOTICS: SCIENCE AND SYSTEMS, Atlanta, GA, USA, June 2007. The MIT Press.
- [14] DAVISON, A. J. **Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera.** In: ICCV '03: PROCEEDINGS OF THE NINTH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, volume 2, p. 1403–1410, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [15] EADE, E.; DRUMMOND, T. **Unified loop closing and recovery for real time monocular slam.** In: 19TH BRITISH CONFERENCE ON MACHINE VISION, BMVC' 08, p. 1–4, september 2008.
- [16] EVANS, C. **Notes on the opensurf library.** Technical Report CSTR-09-001, University of Bristol, January 2009.
- [17] FIALA, M. **Artag, a fiducial marker system using digital techniques.** In: CVPR '05: PROCEEDINGS OF THE 2005 IEEE COMPUTER SOCIETY CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR'05) - VOLUME 2, volume 2, p. 590–596, Washington, DC, USA, 2005. IEEE Computer Society.
- [18] FÖCKLER, P.; ZEIDLER, T.; BROMBACH, B.; BRUNS, E. ; BIMBER, O. **Phoneguide: museum guidance supported by on-device object recognition on mobile phones.** In: MUM '05: PROCEEDINGS OF THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE AND UBIQUITOUS MULTIMEDIA, p. 3–10, New York, NY, USA, 2005. ACM.

- [19] G., S.; D., W.; G., R.; E., T.; M., W.; D., S. ; B., H. W. **Global pose estimation using multi-sensor fusion for outdoor augmented reality.** In: ISMAR '09: PROCEEDINGS OF THE 2009 8TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 153–162, Washington, DC, USA, October 2009. IEEE Computer Society.
- [20] HARTLEY, R. I.; ZISSERMAN, A. **Multiple View Geometry in Computer Vision.** Cambridge University Press, New York, NY, USA, second edition, 2004.
- [21] JUAN, L.; GWON, O. **A comparison of sift, pca-sift and surf.** volume 3, p. 143–152, 2009.
- [22] KATO, H.; BILLINGHURST, M. **Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system.** In: IWAR '99: PROCEEDINGS OF THE 2ND IEEE AND ACM INTERNATIONAL WORKSHOP ON AUGMENTED REALITY, p. 85, Washington, DC, USA, 1999. IEEE Computer Society.
- [23] KLEIN, G. Tese de Doutorado, University of Cambridge, Cambridge, UK, 2006.
- [24] KLEIN, G.; MURRAY, D. **Parallel tracking and mapping for small ar workspaces.** In: MIXED AND AUGMENTED REALITY, 2007. ISMAR 2007. 6TH IEEE AND ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON, p. 225–234, June 2008.
- [25] LIEBERKNECHT, S.; BENHIMANE, S.; MEIER, P. ; NAVAB, N. **A dataset and evaluation methodology for template-based tracking algorithms.** In: ISMAR '09: PROCEEDINGS OF THE 2009 8TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 145–151, Washington, DC, USA, 2009. IEEE Computer Society.
- [26] LOWE, D. G. **Distinctive image features from scale-invariant keypoints,** volume 60, p. 91–110. Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA, 2004.
- [27] MIYASHITA, T.; MEIER, P. G.; TACHIKAWA, T.; ORLIC, S.; EBLE, T.; SCHOLZ, V.; GAPEL, A.; GERL, O.; ARNAUDOV, S. ; LIEBERKNECHT, S. **An augmented reality museum guide.** In: ISMAR, p. 103–106, 2008.

- [28] MOURIKIS, A. I.; ROUMELIOTIS, S. I. **Predicting the accuracy of Cooperative Simultaneous Localization and Mapping (C-SLAM)**. International Journal of Robotics Research, 25(12):1273–1286, December 2006.
- [29] REIF, R.; GÜNTHER, W. A.; SCHWERDTFEGGER, B. ; KLINKER, G. **Pick-by-vision comes on age: evaluation of an augmented reality supported picking system in a real storage environment**. In: AFRIGRAPH '09: PROCEEDINGS OF THE 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER GRAPHICS, VIRTUAL REALITY, VISUALISATION AND INTERACTION IN AFRICA, p. 23–31, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [30] SCHALL, G.; MENDEZ, E. ; SCHMALSTIEG, D. **Virtual redlining for civil engineering in real environments**. In: ISMAR '08: PROCEEDINGS OF THE 7TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 95–98, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.
- [31] SCHMALSTIEG, D.; FUHRMANN, A.; HESINA, G.; SZALAVÁRI, Z.; ENCARNÇÃO, L. M.; GERVAUTZ, M. ; PURGATHOFER, W. **The studierstube augmented reality project**, february 2002.
- [32] SCHWERDTFEGGER, B.; ; KLINKER, G. **Supporting order picking with augmented reality**. In: ISMAR '08: PROCEEDINGS OF THE 7TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 91–94, Washington, DC, USA, September 2008. IEEE Computer Society.
- [33] SHI, J.; TOMASI, C. **Good features to track**. In: IN: PROCEEDINGS OF IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION, p. 593–600, 1994.
- [34] TOMASI, C.; KANADE, T. **Detection and tracking of point features**. Tech. rep., Carnegie Mellon University, April 1991.
- [35] TUMLER, J.; DOIL, F.; MECKE, R.; PAUL, G.; SCHENK, M.; PFISTER, E. A.; HUCKAUF, A.; BOCKELMANN, I. ; ROGGENTIN, A. **Mobile augmented reality in industrial applications: Approaches for solution of user-related issues**. In: ISMAR '08: PROCEEDINGS OF THE 7TH IEEE/ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, p. 87–90, Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.

- [36] VIOLA, P.; JONES, M. **Rapid object detection using a boosted cascade of simple features**. Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society Conference on, 1:511, 2001.
- [37] WAGNER, D.; DIETER, S. **Artoolkitplus for pose tracking on mobile devices**. In: COMPUTER VISION WINTER WORKSHOP 2007, p. 139–146, February 2007.
- [38] WAGNER, D.; SCHMALSTIEG, D. **First steps towards handheld augmented reality**. In: ISWC '03: PROCEEDINGS OF THE 7TH IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WEARABLE COMPUTERS, p. 127, Washington, DC, USA, 2003. IEEE Computer Society.
- [39] WILLIAMS, B.; CUMMINS, M.; NEIRA, J.; NEWMAN, P.; REID, I. ; TARDÓS, J. **A comparison of loop closing techniques in monocular slam**. Robot. Auton. Syst., 57(12):1188–1197, 2009.
- [40] ZHANG, Z. **A flexible new technique for camera calibration**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330–1334, 2000.

A Videos

Como o resultado dessa dissertação são videos, ela será acompanhada de um DVD com os videos citados. Como interpretar os videos está explicado na figura A.1

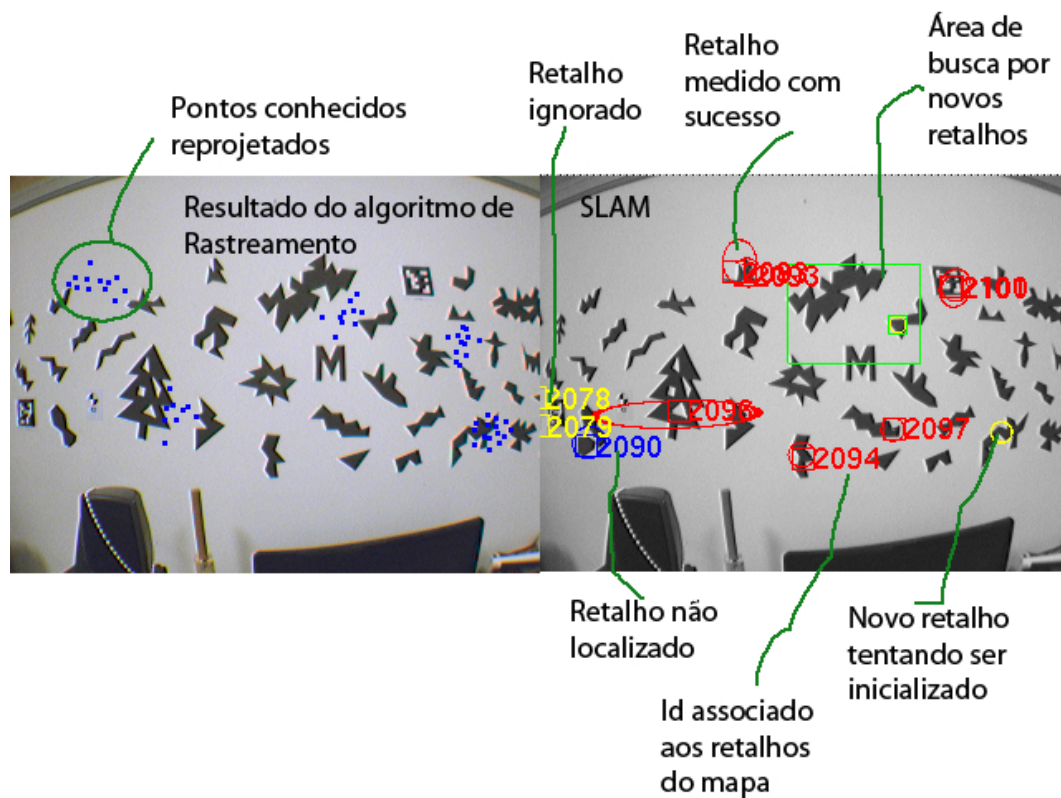


Figura A.1: Imagem que explica como interpretar os vídeos

Os vídeos usados nessa dissertação são:

- *ex1_parede_grande.avi* - resultado referenciado na seção 4.4
- *ex2_parede_pequena.avi* - resultado referenciado na seção 4.5
- *ex3_init_naturais.avi* - resultado referenciado na seção 4.6

B

Estimação dos parâmetros extrínsecos a partir da Homografia e dos parâmetros intrínsecos

A homografia calculada pelo algoritmo Direct Linear Transformation (DLT) [20] é uma transformação invertível que relaciona o plano da imagem com a sua projeção no espaço 3D. Assim, se conhecermos a transformação invertível que relaciona a posição da câmera com o plano da imagem, então será possível relacionar a posição da câmera com o espaço 3D. Essa é a ideia de como calcular a posição da câmera a partir da homografia. A transformação que relaciona o plano da imagem com a posição da câmera é a matriz de parâmetros intrínsecos, que vamos considerar como dado de entrada junto com a homografia. Sendo assim os parâmetros extrínsecos podem ser calculados da forma abaixo:

Dados de entrada:

-matriz dos parâmetros intrínsecos

$$A = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

onde (u_0, v_0) é o centro da imagem, α e β o fator de escala nos eixos u e v da imagem e por fim γ é o parâmetro que descreve a assimetria entre os dois eixos.

-Homografia

$$H = \begin{bmatrix} | & | & | \\ h_1 & h_2 & h_3 \\ | & | & | \end{bmatrix},$$

com $\mathbf{m} = H\mathbf{m}'$ onde $\mathbf{m} = (u, v, 1)$ é um ponto do plano na imagem e $\mathbf{m}' = (X, Y, 1)$ um ponto no modelo. h_1 , h_2 e h_3 são os vetores coluna da homografia. Zhang considera que a coordenada Z do modelo é sempre zero, por isso a homografia é sempre 3×3 .

Dados de Saída:

-Rotação R

$$R = \begin{bmatrix} | & | & | \\ r_1 & r_2 & r_3 \\ | & | & | \end{bmatrix}$$

-Translação t

$$t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

Cálculo:

O cálculo pode ser feito pelas seguintes equações:

$$\lambda_{r_1} = \frac{1}{\|A^{-1}h_1\|} \quad (\text{B-1})$$

$$\lambda_{r_2} = \frac{1}{\|A^{-1}h_2\|} \quad (\text{B-2})$$

$$\lambda_{r_3} = \frac{\lambda_{r_1} + \lambda_{r_2}}{2} \quad (\text{B-3})$$

$$r_1 = \lambda_{r_1} A^{-1} h_1 \quad (\text{B-4})$$

$$r_2 = \lambda_{r_2} A^{-1} h_2 \quad (\text{B-5})$$

$$r_3 = r_1 \times r_2 \quad (\text{B-6})$$

$$t = \lambda_{r_3} A^{-1} h_3 \quad (\text{B-7})$$

C

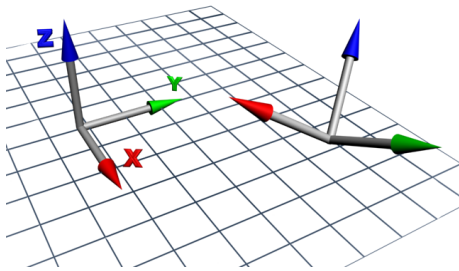
Cálculo da Transformação de Corpo Rígido

Esse apêndice descreve como calcular a matriz de transformação de um sistema de coordenada em $\mathbb{R}^3$ A para um outro sistema em $\mathbb{R}^3$ B . A figura C.1(a) exemplifica os dois sistemas, o sistema A sobre a grade e o sistema de base B em uma outra posição. Cada sistema de coordenadas pode ser entendido como um espaço vetorial e a transformação entre eles como uma mudança de base vetorial. Sendo assim, tendo dois vetores na base A que sejam colineares com dois eixos da base B e o ponto na base A que representa a origem da base B podemos calcular a transformação. Esse ponto vamos chamar de $\mathbf{p}_{B0}^A$. Como essa transformação é uma mudança de sistema de coordenada ela é uma transformação de corpo rígido, ou seja, é composta por uma rotação em $\mathbb{R}^3$ R e uma translação t . A matriz de transformação que leva da base A para a base B tem dimensão 4x4 e é descrita por:

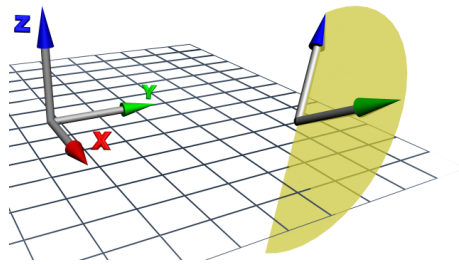
$$Q^{BA} = T(t)\dot{R} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \quad (C-1)$$

$$\mathbf{p}^B = Q^{BA}\mathbf{p}^A, \quad (C-2)$$

onde $T(w)$ é a matriz 4x4 que descreve a translação w e $\dot{R}$ é a matriz de rotação aumentada para o espaço homogêneo.



C.1(a): O sistema de coordenada A sobre a grade e B flutuando



C.1(b): Em amarelo o plano YZ da base B

A transformação que leva o centro do sistema de coordenada de A para B deveria ser simples dado que temos a posição de um em relação ao outro,

mas a translação t não é possível de ser calculada diretamente, visto que, se t não tiver norma nula, então a rotação R acontecerá fora da origem de B . Por consequência, a transformação que movimenta o centro do sistema de coordenada é uma composição da rotação R e t . Como não conhecemos R , ainda, fica impossível de calcular t . No entanto, se reformularmos o cálculo de Q^{BA} de forma que uma outra translação t' aconteça antes da rotação, como descrito na equação C-3, o cálculo se simplifica, posto que a rotação acontecerá com os centros das bases A e B sobrepostos. Nesses termos, a translação que leva o centro de A para o centro de B é $t' = -\mathbf{p}_{B0}^A$.

$$Q^{BA} = \dot{R} T(t') = \begin{bmatrix} R & 0 \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & t' \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{C-3})$$

Para calcular a rotação R , basta calcular os três vetores unitários que formam a sua base. Dois deles são dados de entrada, e como os eixos são ortogonais entre si, o terceiro pode ser calculado pelo produto vetorial dos outros dois. Vamos assumir que os vetores dados sejam um colinear a Z , que vamos chamar de v_z , e um outro vetor sobre o plano YZ na base B com a coordenada Y positiva não nula, que vamos chamar de v_{yz} . Esse subespaço vetorial está representado na figura C.1(b) em amarelo. Vamos assumir que esses sistemas de coordenadas seguem a regra da mão direita. Sendo assim o cálculo de R é dado por:

$$\vec{v}_z = \frac{v_z}{\text{norma}(v_z)} \quad (\text{C-4})$$

$$\vec{v}_{yz} = \frac{v_{yz}}{\text{norma}(v_{yz})} \quad (\text{C-5})$$

$$\vec{v}_x = \vec{v}_{yz} \times \vec{v}_z \quad (\text{C-6})$$

$$\vec{v}_y = \vec{v}_z \times \vec{v}_x \quad (\text{C-7})$$

$$R = \begin{bmatrix} - & \vec{v}_x & - \\ - & \vec{v}_y & - \\ - & \vec{v}_z & - \end{bmatrix} \quad (\text{C-8})$$