Reconstrução 3D por Máxima Verosimilhança a partir de Uma ou Mais Imagens, com Restrições Geométricas

Etienne Grossmann

Resumo alargado

Considera-se o problema da reconstrução tridimensional obtida a partir de uma ou mais imagens, quando as projecções perspectivas dos pontos 3D de interesse são conhecidas, e também algumas propriedades geométricas, tal como planaridade, colinearidade, simetria, ângulos entre direcções etc. O tipo de informação utilizada é ilustrado na Figura 1 (esquerda). Embora simples, este exemplo contém todos os tipos de informação utilizados. À direita é mostrada a reconstrução da cena, aproximada por um objecto poliédrico. Pela natura da informação usada, a técnica de reconstrução desenvolvida nesta tese aplica-se sobretudo a ambientes e objectos artificiais.

O método tem várias fases que descrevemos brevemente. Num primeiro tempo, são estimadas a orientação da cámera relativamente às direcções "X" , "Y" , "Z", "U", "V" (podem existir mais ou menos direcções), que, porque elas têm um papel importante na reconstrução, vão ser chamadas "direcções dominantes". De maneira simplificada, as direcções estão estimadas a partir de intersecções na imagem de linhas 2D que são as projecções de linhas 3D paralelas (Fig. 2). Estas intersecções, chamadas "pontes de fuga" são depois utilizadas para estimar a calibração da cámera, de uma maneira semelhante à de [2].

Uma vez as direcções dominantes estimadas, mostra-se que a informação geométrica (planaridade, simetria etc) pode ser exprimida como um sistema de equações lineares que restringe as coordenadas dos pontos 3D que se pretende reconstruir. No que segue, vão ser consideradas configurações de pontos 3D que pertencem ao subspaço linear (de $\mathbb{R}^{3N}$, se N for o número de pontos reconstruídos) das soluções deste sistema de equações, e que por isso verifiquem as restrições geométricas especificadas pelo utilizador.

A seguir, são utilizadas as observações 2D. Como cada uma, no modelo de projecção perspectiva, restringe o ponto 3D correspondente a ficar numa linha 3D, cada observação 2D fornece duas equações lineares que restringem as coordenadas do ponto 3D correspondente. Se as observações e a informação geométricas forem suficiente, é possível obter a reconstrução como a solução simultânea aos dois sistemas de equações lineares que acabamos de descrever. Porque existem erros na localização das observações, a solução e procurada no

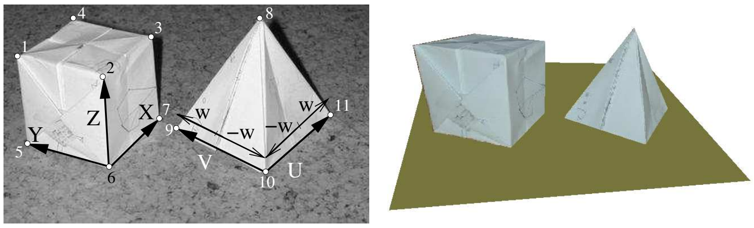

Figure 1: **Esquerda:** Este exemplo ilustra o tipo de informação utilizada pelo método de reconstrução. Consiste de 2D pontos, numerados “1” a “10” na figura e de informação sobre a geometria da cena, indicada pelo utilizador. Na cena acima, nota-se que os pontos $\{1, ..., 4\}$ pertencem a um plano horizontal, assim como os pontos $\{5, ..., 7, 8, ..., 11\}$. Na mesma maneira, os pontos $\{1, 2, 5, 6\}$ pertencem a um plano ortogonal ao eixo “X” , e os pontos $\{2, 3, 6, 7\}$, $\{9, 10\}$ e $\{10, 11\}$ pertencem a planos ortogonais aos eixos “Y” , “U” e “V” respectivamente. Também nota-se que o ponto 8 fica a meio-caminho entre os pontos 9 e 10 (resp. 10 e 11), ao longo da direcção “V” (resp. “U”). Da mesma maneira, a distância entre os pontos 5 e 6, ao longo do eixo “Y” e igual à distancia entre os pontos 7 e 6 (resp. 2 e 6) ao longo do eixo “X” (resp. “Z”). Finalmente, sabe-se que os eixos “X” , “Y” e “Z” formam um triedro ortogonal, assim como os eixos “X” , “Y” e “Z”. **Direita:** Reconstrução obtida a partir desta informação.

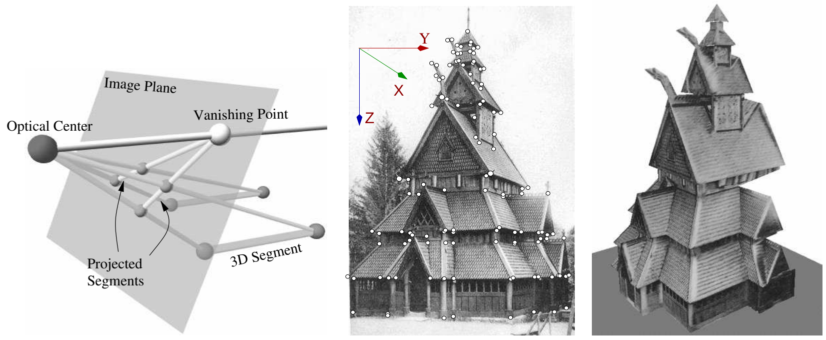

Figure 2: **Esquerda:** O ponto de fuga de uma direcção 3D pode ser identificado com as coordenadas desta direcção no referencial da cámera.
Centro: Uma imagem com pontos 2D localizados. **Direita:** A reconstrução obtida a partir desta imagem, dos pontos 2D e de informação geométrica dada pelo utilizador.

sentido dos mínimos quadrados totais (total least squares), dentre o espaço das configurações de pontos 3D que verifiquem todas as restrições geométricas.

Neste método “algébrico” de reconstrução, dois pontos devem ser notados. Primeiro, a solução só é definida de maneira única se bastante informação geométrica for disponível. Se este não for o caso, pode existir um espaço linear de soluções, e é necessário detectar estes casos. Propõe-se na tese um critério baseado nas propriedades dos sistemas lineares considerados, que é necessário e suficiente para a definição duma única reconstrução e que é insensível ao erro nas observações.

O segundo ponto importante é que o método resultante não é optimal, se assumimos que os erros nas observações é gaussiano.

Baseando-se nesta hipótese, que é verificada experimentalmente, é implementado o estimador de máximo verosimilhança. Por isto, parametrizam-se os pontos 3D sujeitos às restrições geométricas por uma função diferenciável, o que permite transformar o problema de reconstrução num problema de optimização não linear sem restrições. O algoritmo de estimação assim obtido sendo um processo iterativo, é utilizada a reconstrução obtida precedentemente para a sua inicialização. Uma propriedade importante do estimador de máximo verosimilhança assim obtido é que a sua precisão pode ser aproximadamente determinada [5]. Na secção experimental da tese são avaliados os métodos de reconstrução "algébrico" e de máximo verosimilhança usando dados sintéticos e reais.

Em respeito a outros métodos de reconstrução baseados em restrições geométricas [7, 1, 3, 8], o método proposto tem a vantagem de poder utilizar informação geométrica de um tipo mais geral, e de poder utilizar igualmente uma ou mais imagens. Além disso, a precisão com que a reconstrução é obtida é aproximadamente conhecida. Respeito aos métodos baseados em modelos parametrizados [6, 4, 9], o método proposto tem a vantagem de não necessitar que a cena reconstruída seja composta de formas pré-definidas. Por isso, uma possível aplicação do método de parametrização de pontos 3D sujeitos a restrições geométricas é a sua utilização, independentemente do método de reconstrução presentado, num sistema de reconstrução [9] que integra vários modelos de representação de objectos 3D.

References

[1] D. Bondyfalat and S. Bougnoux. Imposing euclidean constraint during self-calibration processes. In *Proc. SMILE Workshop*, pages 224–235, Freiburg, Germany, 1998.

[2] B. Caprile and V. Torre. Using vanishing points for camera calibration. *IJCV*, 4:127–140, 1990.

[3] A. Criminisi. *Accurate visual metrology from single and multiple uncalibrated images.* PhD thesis, University of Oxford, 1999.

[4] Paul E. Debevec. *Modeling and Rendering Architecture from Photographs.* PhD thesis, University of California at Berkeley, Computer Science Division, Berkeley CA, 1996.

[5] R.M. Haralick. Propagating covariance in computer vision. In *Proc. Workshop on Performance Characteristics of Vision Algorithms*, pages 1–12, Cambridge, 1996.

[6] David G. Lowe. Fitting parameterized three-dimensional models to images. *IEEE Trans. PAMI*, 14(5):441–450, May 1991.

[7] Heung-Yeung Shum, Mei Han, and Richard Szeliski. Interactive construction of 3D models from panoramic mosaics. In *CVPR*, pages 427–433, 1998.

[8] P.F. Sturm and S.J. Maybank. A method for interactive 3D reconstruction of piecewise planar objects from single views. In *Proc. BMVC*, pages 265–274, 1999.

[9] F.A. van den Heuvel. Trends in cad-based photogrammetric measurement. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33(5/2):852–863, 2000.