

근심 추정 기반의 내부 카메라 파라미터 보정

이동훈^o 김복동 정순기

경북대학교 컴퓨터공학과

{dhlee^o, comthief}@vr.knu.ac.kr, skjung@knu.ac.kr

Intrinsic Camera Calibration Based on Radical Center Estimation

Dong Hoon Lee^o, Bok Dong Kim, Soon Ki Jung

Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요약

본 논문에서는 두 개의 직교하는 소실점(Orthogonal Vanishing Points)을 이용하여 카메라의 내부 파라미터를 추정하기 위한 방법을 제안한다. 카메라 보정(camera calibration)은 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 얻기 위한 중요한 단계이다. 기존의 소실점을 이용한 대부분의 방법들은 세 개의 직교하는 소실점을 사용하여 파라미터를 추정하지만, 실제 영상에서는 세 개의 직교 소실점을 포함하는 영상을 획득하는 것은 어려운 문제이다. 따라서 본 논문에서는 2개의 직교 소실점을 사용하여 카메라 내부 보정을 위한 기하학적이고 직관적인 새로운 방법을 제안한다. 주점(principal point)과 초점거리(focal length)는 Thales의 이론을 기초한 기하학적 제약사항으로부터 다중 반구(multiple hemispheres)들의 관계로부터 유도된다.

영상열과 실제 영상열을 이용한 실험결과를 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

1. 서론

카메라 보정은 3차원 모델 구축, 증강 현실과 같은 다양한 응용프로그램에서 중요한 단계로서 사용된다. 카메라의 내부 파라미터를 구하는 전통적인 보정 방법[1, 2, 3]은 투영된 영상으로부터 보정객체를 통한 알려진 3차원의 정보를 사용한다. 또 다른 방법으로서 알려진 3차원의 정보를 이용하지 않고 영상 간의 대응관계만을 이용한 셀프 보정 기법이 있다[4, 5, 6]. 이 경우 높은 계산비용과 비수렴의 가능성을 지닌 비선형 방정식을 풀어야 하는 문제점이 있다.

영상 상의 직교하는 소실점들의 정보는 카메라 보정을 위한 유용한 정보로서 많이 사용된다[7, 8]. 그러나 소실점을 사용하는 대부분의 기존 접근법은 세 개의 직교 소실점을 사용하여 파라미터를 추정한다. 실제 영상에서 세 개의 직교하는 소실점을 포함하는 영상을 찾기는 어려운 문제이다. 하지만 대부분의 경우에서 수직과 수평 소실점은 그림 1과 같이 획득할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 오직 두 개의 직교 소실점을 사용하여 내부 파라미터를 추정하는 방법을 제안한다.

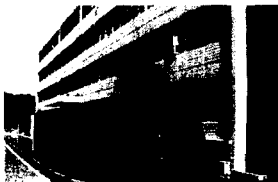


그림 1. 두 개의 직교소실점만을 포함하는 영상.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영상들에서 얻을 수 있는 일반적인 기하학적 관계로부터 제약사항을 설명하고, 3장에서는 카메라 내부 파라미터들의 추정에 관해 기술한다. 4장에서는 제시한 방법을 사용하여 가상

2. 기하학적 구조

본 장에서는 두 개의 직교소실점을 이용하여 내부 파라미터를 추출하기 위한 새로운 알고리즘을 제시한다. 본 연구에서 사용한 카메라 모델은 핀홀 카메라 모델이며, 내부 파라미터의 요소 중 경사(skew)요소가 없고, 픽셀의 종횡비(aspect ratio)는 1이라고 가정하였다. 이러한 가정 하에 추출해야 할 파라미터는 초점거리와 주점으로 나눌 수 있다. Guillou[1]는 두 개의 직교소실점과 초점거리 사이의 기하학적 관계를 그림 2와 같이 표현하였다.

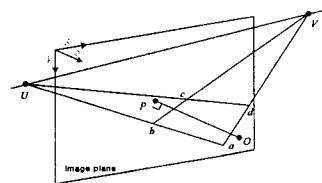


그림 2. 두 직교소실점과 초점거리 사이의 기하학적 관계.

여기에서 O 는 투영중심(center of projection), P 는 주점, $|OP|$ 는 초점거리를 의미한다. 3차원상의 사면체가 영상으로 투영되었을 때, 네 개의 꼭지점을 a, b, c, d 라 할 때 두 개의 직교소실점은 각각 $U = (\overline{ab}) \cap (\overline{cd})$, $V = (\overline{ad}) \cap (\overline{bc})$ 로 표현된다. 카메라의 좌표계를 영상의 왼쪽 상단으로 잡았을 경우, 두 개의 직교 소실점 U, V 는 각각 $(x_u, y_u, 0)$, $(x_v, y_v, 0)$ 로 표현되고, 이 때 투영 중심의 좌표는 (x_0, y_0, f) 이다.

정리 1. 두 개의 직교소실점 U, V 가 주어졌을 때, 투영 중심의 후보는 반구 $S(U, V)$ 로 정의된다. 이 때 구의 z 좌표값은 0보다 크고, 반구의 중심 C 와 반지름 r 은 식 (1), (2)와 같이 주어진다.

$$C = \left(\frac{x_u + x_v}{2}, \frac{y_u + y_v}{2}, 0 \right), \quad (1)$$

$$r = \frac{\sqrt{(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2}}{2}. \quad (2)$$

증명. 두 개의 소실점의 직교성으로부터, 투영중심 O 는 중심 C 를 가진 반원 상에 존재한다. Thales의 이론[9]은 쉽게 3차원으로 확장 가능하다. 따라서 투영중심의 후보는 반원에서 반구로 확장되고, 투영중심이 결정되면 그때의 z 성분이 초점거리가 된다. 두 개의 직교소실점 U, V 가 이루는 반구 $S(U, V)$ 의 기하학적 관계는 그림 3과 같다.

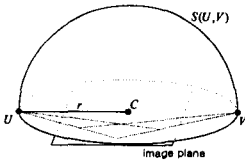


그림 3. 영상 평면과 반구 간의 기하학적 관계.

정리 2. 두 개의 직교소실점 (U_1, V_1) 와 (U_2, V_2) 가 주어졌을 때 투영 중심의 후보는 반원 $\Psi(U_1, V_1, U_2, V_2)$ 으로 정의된다.

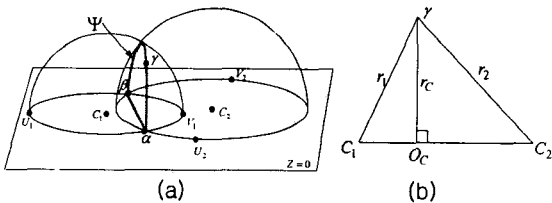


그림 4. 두 개의 반구가 이루는 교차 공간. (a) 두 개의 반구의 기하학적 관계. (b) 반구의 중심 C_1, C_2 와 임의의 교차점 Y 을 지나는 삼각형.

증명. 정리 1에 따라 두 개의 반구 $S(U_1, V_1), S(U_2, V_2)$ 는 두 개의 직교소실점 $(U_1, V_1), (U_2, V_2)$ 의 쌍으로 정의된다. 두 개의 반구의 교차는 투영중심의 후보 공간을 그림 4(a)와 같이 α, β 와 γ 를 통과하는 반원으로 줄인다. 그림 4(b)와 같이 γ 를 두 개의 반구를 지나는 임의의 교차점으로 정의하고, α, β, γ 를 지나는 삼각형이라 하자. 두 개의 반구의 모든 교차점은 주어진 중점 C_1, C_2 로부터 r_1 과 r_2 의 거리에 놓여져 있으므로 C_1, C_2, γ 를 지나는 모든 삼각형은 동일한 세 변과 세 각을 가지고 있다. 따라서 삼각형의 높이 r_c 와 O_c 는 모든 교차점에 대해 동일하다. 따라서 투영중심의 후보공간은 중심 O_c 와 반지름 r_c 를 지닌 반원 Ψ 을 이룬다.

반구의 중심과 반지름이 식 (1), (2)와 같이 주어졌을 때, 반구의 방정식은 식 (3)과 같다.

$$\left(x - \frac{x_u + x_v}{2} \right)^2 + \left(y - \frac{y_u + y_v}{2} \right)^2 + z^2 = \frac{(x_u - x_v)^2 + (y_u - y_v)^2}{4} \quad (3)$$

정리 3. 두 개의 직교소실점 U_1, V_1 과 U_2, V_2 가 주어졌을 때 주점의 후보는 반원 $\Psi(U_1, V_1, U_2, V_2)$ 을 영상 평면에 투영한 선분인 근선으로 표현된다.

증명. 주점의 후보는 반원 $\Psi(U_1, V_1, U_2, V_2)$ 을 영상 평면에 투영한 선분과 일치한다. 반원 $\Psi(U_1, V_1, U_2, V_2)$ 은 영상 평면에 직교하므로 선분의 후보는 그림 5와 같이 α, β 를 이은 직선과 동일하다. 통상적으로 이 직선을 근선(radical line)[10]이라 한다.

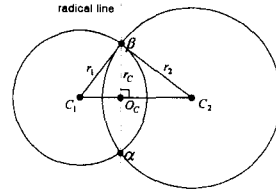


그림 5. 두 개의 원이 이루는 근선.

3. 카메라 내부 보정을 위한 근심 추정

정리 3에 따라 주점은 여러 개의 근선이 이루는 근심(radical center)으로 해석된다. 근심을 추출하기 위한 식은 식 (4)와 같고 두 개의 직교소실점의 쌍들로부터 주점을 계산할 수 있다.

$$(x_c^2 + y_c^2 - x_u^2 - y_u^2)x + (y_u^2 + y_v^2 - y_u^2 - y_v^2)y + x_u^2 x_u' + y_u^2 y_u' - x_v^2 x_v' - y_v^2 y_v' = 0. \quad (4)$$

식 (5)와 같이 반복적 최소 사승법(iterative least square)를 통해 여러 장의 영상에서 추출한 직교소실점의 쌍으로부터 잡음에 강인한 주점의 결과를 추출할 수 있다.

$$\min_{x,y} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{W_{ij} ((x_u^i + x_v^i - x_u^j - x_v^j)x + (y_u^i + y_v^i - y_u^j - y_v^j)y + x_u^i x_u^i + y_u^i y_u^i - x_v^i x_v^i - y_v^i y_v^i)}{(x_u^i x_u^i + y_u^i y_u^i - x_v^i x_v^i - y_v^i y_v^i)} \right\}. \quad (5)$$

이 때 W_{ij} 는 소실점 획득 시 존재하는 잡음에 대한 정도를 표현한 가중치를 의미한다. 일단 주점이 결정되면 식 (3)으로부터 얻어지는 z 성분이 초점거리가 된다.

4. 실험결과

본 논문에서 제안한 내부 파라미터 추출 기법은 세 개의 실제와 가상의 영상열을 이용하여 실험을 실시하였다. 가상 환경은 3D Studio Max를 사용하여 영상을 포착했으며 실제 환경은 SONY TRV310 디지털 캠코더를 이용하였다. 각각의 영상의 해상도는 384x288과 640x480이

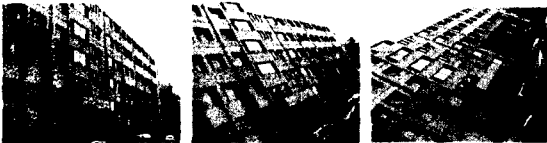
며, 실험에 사용한 영상열은 그림 6과 같다.



(a) 세 개의 직교소실점을 포함하는 가상 영상열.



(b) 세 개의 직교소실점을 포함하는 실제 영상열.



(c) 두 개의 직교소실점을 포함하는 실제 영상열.

그림 6. 입력 영상열.

표 1은 본 장에서 제안한 기법을 사용하였을 경우와 유사한 연구인 Caprile방법[11]을 사용하였을 경우의 결과를 비교한 결과이다. 실험 결과 본 장에서 제안한 방법은 영상에 존재하는 잡음에 강인한 안정적인 해를 제공함을 확인할 수 있다.

표 1. 추정 측정에 대한 비교.

	Caprile's method	Our method	Ground truth
Synthetic data Fig. 8(a), 384x288	(187.9, 139.6)	(191.2, 144.4)	(192, 144)
Real data Fig. 8(b), 640x480	(322.1, 234.9)	(320.4, 236.3)	n/a
Real data Fig. 8(c), 640x480	n/a	(321.0, 236.3)	n/a

제안된 방법의 정확성을 확인하기 위해 본 논문에서 제안한 카메라 내부 파라미터를 사용하여 영상 합성(image stitching)을 구현하였다. 그림 7은 영상 합성의 결과를 보여준다.



그림 7. 영상 모자이크 결과.

5. 결론

본 논문에서는 다중 반구들의 관계를 이용한 새로운 내부 카메라 보정 방법을 제안하였다. 두 개의 직교소실점의 관계를 Thales의 이론을 기반으로 표현하였으며, 반구들 사이의 근선들의 교차점인 근심이 주점이라는 것을 알 수 있었다. 실험 결과 두개의 직교소실점을 사용한 카메라 내부 보정은 세 개의 직교소실점을 사용한 결과와 유사한 매우 안정적인 보정 결과를 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-10741-0) 지원으로 수행되었음.

6. 참고문헌

[1] O. Faugeras, G. Toscani, "Camera Calibration for 3D Computer Vision", In Proceedings of International Workshop on Industrial Applications of Machine Vision and Machine Intelligence, 1987.

[2] R. M. Haralick, L. G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Vol. 2, Addison-Wesley, 1993.

[3] R. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology using Off-the-shell TV Cameras and Lenses", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. 3, 1987.

[4] R. Hartley, "Self-Calibration of stationary cameras", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 22, 1997.

[5] R. Hartley, A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, 2000.

[6] M. Pollefeys, R. Koch, L. Van Gool, "Self-calibration and metric reconstruction in spite of varying and unknown internal camera parameters", *International Conference on Computer Vision*, 1998.

[7] R. Cipolla, T. Drummond, D.P. Robertson, "Camera Calibration from Vanishing Points in Images of Architectural Scenes", In Proceedings of British Machine Vision Conference, Vol. 2, 1999.

[8] E. Guillou, D. Meneveau, E. Maisel, K. Bouatouch, "Using Vanishing Points for Camera Calibration and Coarse 3D Reconstruction from A Single Image", *The Visual Computer*, Vol. 16, 2000.

[9] E. W. Weisstein, "Thales Theorem from MathWorld", mathworld.wolfram.com, Wolfram Research, Inc., 1999.

[10] R. Dixon, "Mathographics". Dover Publications, 1991.

[11] B. Caprile, V. Torre, "Using Vanishing Points For Camera Calibration", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 2, 1990.