

단보논문

벡터내적 기반 카메라 자세 추정

진 재 춘[†]

선임 연구원, EARTHMINE INC.

Camera Rotation Calculation Based on Inner Product

Jaechoon Chon[†]

Senior Researcher, EARTHMINE INC.

Abstract : In order to improve a camera rotation calculation based on the bundle adjustment in Chon's camera motion (Chon and Shankar, 2007, 2008), this paper introduces a method calculating the camera rotation. It estimates a unit vector in the optical axis of a camera through the angles between the optical axis and vectors passing a camera position and ground control points (GCP). The camera position is estimated by using the inner product method proposed by Chon. The horizontal and vertical unit vectors of the camera are determined by using Yakimovsky and Cunningham's camera model (CAHV) (1978).

Key Words : Inner product, Camera rotation.

요약 : 본 저자가 제안한 카메라 외부표정에서 광속조정법에 기반한 카메라 자세계산 방법을 보완하기 위해 (전재춘과 Shankar, 2007,2008), 본 논문은 카메라 자세를 벡터내적으로 결정하는 방법을 소개한다. 카메라 위치를 기준으로 각 지상기준점의 방향벡터와 카메라 광축 단위벡터간의 사잇각을 통하여 이 단위벡터를 계산하는 것이다. 카메라 위치는 벡터내적에 의해 계산된다. 카메라의 수평/수직 단위벡터는 Yakimovsky 와 Cunningham(1978)의 카메라 모델(CAHV)을 이용 하였다.

1. 서론

카메라 외부표정을 추정하기 위해 사용되는 공선조건식(Collinear conditions)은 사진측량분야에서 기본적으로 사용되고 있으며, 최근 디지털 카메라의 일반화로 컴퓨터비전, 로봇비전, 컴퓨터그래픽스 등에 널리 사용되고 있다(Mikhail 외 2인, 2001). 공선조건식을 기반한 응용은 지상기준점에 기반한 절대표정, 위성영상 또는 항공영상으로부터 정사영상(ortho-image)을 만

들기 위한 DLT(Direct Linear Transform) (Ahn 외 2인, 2001), 두 영상의 상대표정(relative orientation)을 위한 광속조정법(bundle adjustment) (Mikhail 외 2인, 2001; Hartly and Zisserman, 2000), 연속된 3프레임 영상을 이용한 triple let 또는 factorization (전재춘과 서용철, 2004), 3차원 좌표가 없는 광류와 3차원 좌표가 주어진 물체가 촬영된 다수의 영상프레임의 외부표정 및 광류의 3차원 좌표를 계산하는 광속블락조정법(bundle block adjustment) (Mikhail 외 2인,

접수일(2008년 11월 1일), 수정일(1차 : 11월 20일), 게재확정일(2008년 12월 22일).

[†] 교신저자:전재춘(jaechoon@earthmine.com or jjc7151@hanmail.net)

2001), 광속블라조정법을 연속된 영상프레임에 응용한 SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) (Durrant-Whyte and Baily, 2006) 등이 있다. 공선 조건식에서 카메라의 이동과 회전은 비선형적인 관계로 독립적으로 분리할 수 없는 요소이다. 카메라의 속도와 각속도 개념을 도입한 Longuet-Higgins 방법도 카메라의 이동(속도)과 회전 성분(각속도)이 비선형적으로 연결되어 있다(Longuet-Higgins, 1984). 그의 카메라 모션과 관련된 계산법으로는 두 영상간의 에피폴라 라인(epipolar line)을 계산하기 위한 공면조건식(coplanar condition) (Mikhail 외 2인, 2001; Hartly and Zisserman, 2000), 평면 또는 곡면 왜핑(warping)에 사용되는 어파인 변환(affine transform)이 있다. 공선조건식 기반 절대표정을 계산시, 비선형 연립방정식 풀이가 필요하다. 이 연립방정식 풀이과정에서 외부표정 초기 입력값에 따라 수렴 또는 발산이 결정된다. 따라서, 초기값 설정이 중요하다.

본 저자는 벡터내적에 의해 카메라의 위치와 자세 성분이 독립적으로 분리 될 수 있음을 증명하였으며, 카메라 위치를 추정시, 지구 반지름 이상의 오차의 초기치를 입력하여도 강인하고 빠르게 추정하는 것을 증명 하였다(전재춘과 Sastry, 2008). 두 논문에서 카메라 자세를 광속조정법을 통하여 추정하였지만, 본 논문에서는 카메라 자세 추정없이 벡터내적으로 결정하는 방법을 간략하게 소개한다. 벡터내적에 의해 계산된 카메라 위치를 기준으로 각 지상기준점의 방향벡터와 카메라 광축 단위벡터간의 내적 계산을 통하여 결정하는 것이다. 카메라의 수평/수직 단위벡터는 Yakimovsky와 Cunningham의 카메라 모델(CAHV)을 이용 하였다(Yakimovsky와 Cunningham, 1978; Genney, 2006).

2. 벡터내적을 통한 카메라 위치

본 장에서는 벡터내적에 의해 카메라 위치추정 과정을 이해하기 위해 전재춘과 Shankar의 논문(2008)에서 서술된 벡터내적을 통한 카메라 자세추정 부분을 수정없이 소개한다. 그림 1(a)와 1(b)의 위치는 동일하고 자세가 다른 경우이다. 카메라 초점 $C = [X_C \ Y_C \ Z_C]^T$ 와 공간상의 점을 지나는 벡터들의 사잇각 θ 은 카메라 자

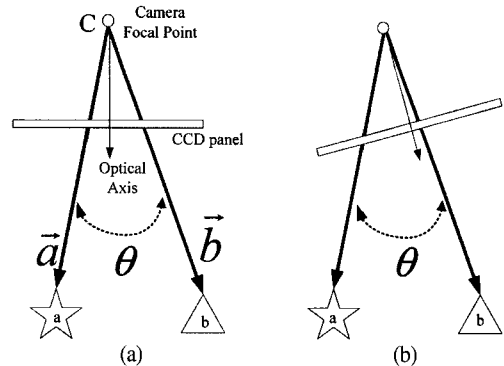


Fig. 1. The angle relationship between the camera rotation and vectors.

세와 관련 없이 일정 한 것을 나타내고 있다. 우리는 이 조건으로 카메라의 위치와 자세를 각각 분리하여 추정할 수 있다.

그림 1에서, 공간상의 점 $a = [X_a \ Y_a \ Z_a]^T$ 와 $b = [X_b \ Y_b \ Z_b]^T$ 를 기준으로 벡터 \vec{a} 와 \vec{b} 의 사잇각 θ 값이 고정 될때, 카메라 초점 C는 곡면상에 존재한다. 이 곡면은 다음식인 벡터내적으로 표현된다.

$$F = \vec{a} \cdot \vec{b} - |\vec{a}| |\vec{b}| \cos \theta \quad (1)$$

$$= (X_a - X_C \ Y_a - Y_C \ Z_a - Z_C) \cdot (X_b - X_C \ Y_b - Y_C \ Z_b - Z_C) - \sqrt{(X_a - X_C)^2 + (Y_a - Y_C)^2 + (Z_a - Z_C)^2} \sqrt{(X_b - X_C)^2 + (Y_b - Y_C)^2 + (Z_b - Z_C)^2} \cos \theta = 0$$

벡터의 사잇각 θ 는 공간상의 두점 a, b 와 일치하는 영상 두점 $I_a(u_a, v_a), I_b(u_b, v_b)$ 와 카메라 초점을 지나는 벡터 \vec{I}_a 와 \vec{I}_b 의 내적

$$\theta_{image} = \cos^{-1} \frac{\vec{I}_a \cdot \vec{I}_b}{|\vec{I}_a| |\vec{I}_b|} \quad (2)$$

를 이용하여 계산할 수 있다. 식(1)을 Taylor series로 선형화후, 카메라의 위치를 추정할 수있다(전재춘, Sastry, 2007, 2008).

3. 벡터 내적 통한 카메라 자세

카메라의 자세를 표현하는 회전행렬 $m = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$ 은 카메라 CCD 평면의 수평, 수직, 광축의 단위벡터 $[L \ H$

$\hat{V} \hat{A}$ 로 표현하고 있다(Yakimovsky와 Cunningham, 1978; Genney, 2006). 여기서, $\hat{H} = [m_{11} \ m_{12} \ m_{13}]$, $\hat{V} = [m_{21} \ m_{22} \ m_{23}]$, $\hat{A} = [m_{31} \ m_{32} \ m_{33}]$ 이다. 여기서, 회전행렬과 3개의 단위행렬 관계는 CCD평면과 \hat{A} 과 직교한다는 가정으로 한 것이다. 이 3개의 단위벡터의 계산을 통하여 카메라 자세를 결정지을 수 있다. 본 논문에서는 광축 단위벡터를 계산 후, 수평/수직축 단위벡터를 결정하는 방법을 소개한다. 광축 단위벡터 \hat{A} 는 내적벡터 식(1)과 같이 유사한 방법을 계산할 수 있다. 계산된 카메라 위치 C 와 공간상의 점 P 를 지나가는 벡터와 \hat{A} 간의 사잇각을 θ^A 는 식(2)를 통하여 계산할 수 있다. 내부표정과 영상화소를 통하여 계산된 θ^A 기반으로 우리는 벡터 내적식을 만들 수 있다.

$$(P - C) \cdot \hat{A} = |P - C| \cos \theta^A \quad (3)$$

식(3)을 최소자승법(classical least-square)방법을 통하여 추정없이, \hat{A} 를 계산할 수 있다.

$$\hat{A} = (J^T J)^{-1} J^T F \quad (4)$$

여기서, $J = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ X_i - X_C & Y_i - Y_C & Z_i - Z_C \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$, $F = \begin{bmatrix} \sqrt{(X_i - X_C)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(Y_i - Y_C)^2 + (Z_i - Z_C)^2 \cos \theta_i^A} \end{bmatrix}$, i 는 지상기준점 번호이다.

카메라 수평/수직축의 단위방향벡터는 Yakimovsky와 Cunningham의 카메라 모델(CAHV)을 이용하여 결정할 수 있다(Yakimovsky와 Cunningham, 1978; Genney, 2006). 벡터 $P-C$ 를 카메라 단위 자세벡터 $[\hat{H} \ \hat{V} \ \hat{A}]$ 에 투영하여 카메라 좌표계로 변환할 수 있다. 이때 투영은 벡터내적을 사용한다.

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = (P - C) \cdot \begin{bmatrix} \hat{H} \\ \hat{V} \\ \hat{A} \end{bmatrix} \quad (5)$$

식(5)를 영상 투영식에 적용하면 다음과 같다.

$$u = f \frac{(P - C) \cdot \hat{H}}{(P - C) \cdot \hat{A}} = f \frac{U}{W}, v = f \frac{(P - C) \cdot \hat{V}}{(P - C) \cdot \hat{A}} = f \frac{V}{W} \quad (6)$$

여기서, f 는 초점거리이다. \hat{H} 와 \hat{V} 의 계산은 식(6)으로부터 변환된 다음식을 식(4)와 같이 최소자승법을 통하여 결정할 수 있다.

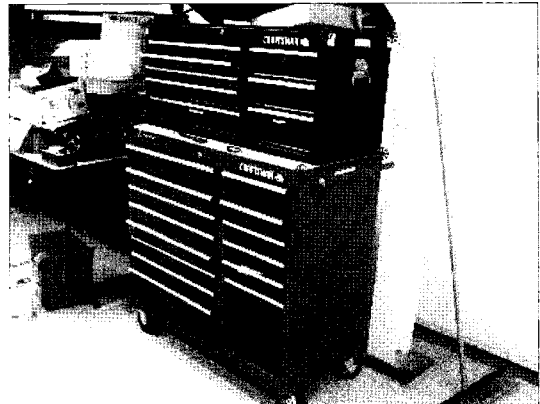
$$\frac{u}{f}(P - C) \cdot \hat{A} = (P - C) \cdot \hat{H}, \frac{v}{f}(P - C) \cdot \hat{A} = (P - C) \cdot \hat{V} \quad (7)$$

카메라 CCD 판의 수평/수직 화소 비율이 동일하다면, 를 계산후에 를 벡터외적으로 계산할 수 있다. 이와 반대로 를 계산후에 를 벡터내적으로 계산할 수 있다.

$$\hat{V} = \hat{A} \times \hat{H} \text{ or } \hat{H} = \hat{V} \times \hat{A} \quad (8)$$

4. 실험결과

본 논문에서 전재춘과 Shankar(2008)의 논문에서 사용된 2112×2816[pixel]인 근접촬영 영상과 768×1024[pixel]인 항공영상에 대하여 실험을 하였다. 그림 2와 같이 지상기준점과 영상데이터도 동일한 조건으로 실험 하였다.



(a) close-range image



(b) aerial image

Fig. 2. Experimental images for calculation of camera rotation. "o" is an image point.

Table 1. Experimental Result

| | 근접촬영 영상 | 항공촬영 영상 |
|--------------|------------------------|------------------------|
| \hat{H} | -0.4908 0.8756 0.0108 | -0.0050 1.0003 -0.0451 |
| \hat{V} | 0.2651 0.1616 -0.9478 | 0.5447 -0.0390 -0.8367 |
| \hat{A} | 0.8303 -0.4624 -0.3108 | -0.8380 -0.0287 0.5449 |
| 표준편차 [pixel] | 2.4852 | 2.5859 |

표 1은 취득된 지상기준점과 영상데이터에 대한 카메라 자세에 대한 결과이다. 카메라 제세를 뜻하는 각 축의 단위벡터의 크기가 1을 넘거나 작은 이유는 3차원 데이터 취득오차와 영상데이터 취득오차의 원인이다. 추가적으로 내부표정/카메라 렌즈왜곡 보정시 오차도 원인도 포함되어 있다. 두 영상에 대하여 표준편차는 3[pixel] 이내를 보이고 있다. 그림 2에서 “*”는 계산된 카메라 외부표정을 이용하여 지상 기준점을 영상으로 투영할 결과이다. 투영결과에서 보듯이 전재춘과 Shankar(2008)에서 사용한 광속조정법과 결과가 동일하다.

5. 결론

본 논문 카메라 자세를 벡터내적으로 결정하는 방법을 소개하였다. 벡터내적식에 의해 계산된 카메라 위치를 기준으로 각 지상기준점의 방향벡터와 카메라 광축 단위벡터간의 내적식을 통하여 광축 단위벡터를 계산하는 것이다.

광속조정법은 카메라 외부표정을 위해 널리 사용되고 있다. 광속조정법 사용시, 초기치를 설정해주어야 하는 단점이 있으며, 특히 카메라 자세의 초기치에 민감하다. 본 논문이 제안한 방법은 초기치 설정이 필요없고 식이 간단하여 사진측량/컴퓨터 비전 분야에 기여를 할 것으로 예상된다.

참고문헌

전재춘, S. Sastry, 2008. 벡터내적기반 카메라 외부파라메타, 응용: 절대표정, 제어로봇시스템학회지, 14(1): 70-74.

전재춘, S. Sastry, 2007. 벡터내적 기반 카메라 외부 파라메타 응용: 카메라와 레이저스캐너간의 캘리브레이션, 대한원격탐사학회지, 23(6): 553-558.

전재춘, 서용철, 2004. 3차원 다중 기선을 사용한 비데오 영상 모자이크 기술, 한국원격탐사학회지, 20(2): 125-137.

Ahn, C., S. Cho, and J. Chon, 2001. Orthorectification software applicable for IKONOS high resolution images : GeoPixel-Ortho, *IGARSS 2001*, 555 - 557.

Durrant-Whyte, H. and T. Baily, 2006. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Part I, *Robotics and Automation Magazine*, 99-108.

Hartly, R. I. and A. Zisserman, 2000. *Multiple view geometry*, Cambridge University Press, UK.

Gennery, Donald B., 2006. Generalized Camera Calibration Including Fish-Eye Lenses, *International Journal of Computer Vision*, 68(3): 239-266.

Longuet-Higgins, H. C., 1984. The visual ambiguity of a moving plane, *Proc. R. Soc. London B*: 223.

Mikhail, E. M., J. S. Bethel, and J. C. McGlone, 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. Hoboken, NJ: Wiley: 80-151.

Yakimovsky, Y. and Cunningham, R. T., 1978. A system for extracting three-dimensional measurements from a stereo pair of TV cameras. *Computer Graphics and Image Processing*, 7: 195-210.