

논문 2015-52-5-13

# 3차원 공간정보 생성을 위한 반자동 카메라 교정 방법

(Semi-Auto Camera Calibration Method for 3D Information Generation)

김 형 태\*, 백 준 기\*\*

(Hyungtae Kim and Joonki Paik<sup>Ⓢ</sup>)

## 요 약

본 논문에서는 사용자의 입력을 포함한 반자동 카메라 교정 방법을 제안한다. 제안된 방법은 사용자가 정의한 기준선을 소실점 추정을 위한 정보로 사용하는 동시에, 추정 과정에서 발생하는 아웃라이어 제거를 위한 추가 제약 조건으로 사용한다. 제안된 카메라 교정 방법은 대수적, 기하학적 방법을 모두 사용하여 기존 방법으로는 불가능한 조건에서 교정이 가능하도록 성능을 확장하였다. 교정 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 기존 자동 교정보다 교정 정확도가 높은 것을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, we propose the semi-auto camera calibration method including user input. The proposed method estimates the vanishing points using user defined reference lines and defines the constraint for reducing outlier in vanishing points estimation process. The proposed camera calibration method based on both algebraic and geometric method improves a calibration performance for difficult condition, which represents that existing method can't calibrate a image. Experimental results show that the proposed method calibration accuracy higher than existing method.

**Keywords :** 카메라 교정(camera calibration), 소실점 추정(vanishing points estimation)

## I. 서 론

실세계의 3차원 정보는 카메라, 캠코더와 같은 디지털 영상 획득 장치를 통하여 2차원 영상 데이터의 형태

로 변환된다. 3차원 공간정보가 2차원 평면에 투영되는 과정에서 크기, 모양, 회전과 같은 3차원 데이터가 손실되는 문제가 발생한다. 3차원 데이터 손실의 문제는 카메라간의 상대적인 위치와 객체 이동궤적 및 크기 정보를 사용해야 하는 지능형 감시 시스템에서 3차원 공간 정보를 생성하기 위한 기준 정보의 손실을 의미한다. 따라서 손실된 3차원 정보 추정을 위한 카메라 교정(calibration) 기술이 필요하다. 일반적으로 많이 사용되는 교정방법은 교정용 패턴을 사용하는 수동적인 방법이다<sup>[1]</sup>. 이 방법은 일반적으로 사각 교정 패턴을 사용하는데 쉬운 교정 방법으로 많이 사용된다. 이 밖에도 원형 패턴을 사용한 교정 방법이 제안 되었다<sup>[2]</sup>. 일반적인 교정 절차는 교정 패턴상의 점들의 로컬리제이션(localization)을 수행하고 카메라 변수에 대해서 계산하거나 또는 패턴의 기하학적 성질을 이용하여 카메라 파라미터를 추정하는 방법이 사용된다. 현재 가장 널리

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 (Dept. of Image Engineering, Graduate School of Advanced Image Science, Multimedia, and Film, Chung-Ang University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: paikj@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업[14-824-09-002, (2세부) 대규모 실시간 비디오 분석에 의한 전역적 다중 관심객체 추적 및 상황 예측 기술 개발], 산업통상자원부 기술혁신사업(SW융합형 부품 기술개발사업 스마트 현장관단형 영상/음향 보안감시 SoC 및 핵심부품 개발, 10047788)의 지원으로 수행되었습니다.

Received ; December 18, 2014 Revised ; March 27, 2015

Accepted ; April 22, 2015

사용되는 수동적인 방법은 여러 각도에서 촬영한 패턴 영상, 혹은 서로 다른 각도에서 동일한 지점을 촬영한 다수의 영상을 사용한다<sup>[1, 19-20]</sup>. 그러나 이 방법은 교정이 필요할 때마다 패턴영상을 촬영해야하기 때문에, 이미 설치된 감시카메라에는 적용이 불가능하다. 최근 감시카메라의 사용이 증가함에 따라 이 문제를 해결하기 위해 자동과 반자동 교정 방법을 위한 많은 연구가 수행되었다<sup>[3-6]</sup>. 자동 교정 기술은 영상에서 추출한 일반적인 정보를 사용하여 소실점을 추정하고 추정된 소실점을 사용하여 카메라 정보를 추정하는 방법이다. 그러나 영상에 원하는 패턴이 존재하지 않는 경우 소실점 추정 과정에서 잘못된 선들이 만드는 오류가 발생하고, 이 결과 소실점 추정 오류가 발생한다. 이 문제는 교정 데이터를 사용하여 객체 추적 및 크기 추정을 수행하는 지능형 감시시스템에서 잘못된 객체 추적 및 잘못된 크기 추정 문제를 야기 시킨다. 교정 데이터의 신뢰도와 정확도를 높이기 위해 두 개 이상의 영상정보를 사용하는 방법이 [7]에서 제안되었으나, 영상의 개수가 증가함에 따라 연산량도 같이 증가하는 문제와 현대의 카메라를 이용한 감시시스템에서는 활용이 불가능한 단점이 있다. 이 외에도 교정 신뢰도를 높이기 위해 강건한 소실점 추정을 위한 방법들이 제안되었다<sup>[8-11]</sup>. 그러나 이 소실점 추정 방법들도 영상 내 아웃라이어 성분이 지배적인 경우와 소실점 추정을 위한 선 성분이 부족한 경우에는 정확한 소실점을 추정할 수 없다는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 사용자가 정의한 기준선을 소실점 추정에 필요한 최소 선 성분으로 사용하고, 추정 과정에서 발생하는 아웃라이어 제거를 위한 제약 조건으로 사용하는 반자동 카메라 교정 방법을 제안한다.

제안하는 방법은 사용자에게 의해서 추출된 선들로부터 기준선을 정의하고, 이를 제약 조건으로 사용하여 추정 과정에서 발생하는 아웃라이어 성분을 제거한다. 아웃라이어가 제거된 소실점 추정을 통해서 계산된 소실점을 사용하여 카메라 파라미터를 추정을 수행한다. 카메라 교정 방법은 기하학적 방법과 대수적인 방법을 사용한다. 대수적 방법의 경우 매트릭스 연산을 통해 빠른 처리가 가능하다는 장점이 있지만 소실점의 개수가 부족하거나 매트릭스의 랭크가 3이하일 경우 교정이 불가능하기 때문에 이 경우 기하학적 방법을 이용하여 교정이 가능하도록 하였다. 제안하는 방법은 영상정보

가 부족하거나 텍스처 잡음이 많아 자동 교정이 어려운 경우에서도 강건한 교정을 수행할 수 있다.

제안하는 방법과 같은 카메라 교정방법은 소실점 기반 객체 크기 추정을 수행하기 위한 요소 기술로 활용할 수 있다<sup>[12]</sup>. 또한 다중 카메라 기반 전역적 감시 시스템에서 객체의 크기 추정을 통한 개별 취득 영상의 정규화에 적용할 수 있으며 비디오 요약을 위한 메타데이터 생성에도 적용이 가능하다.

본 논문은 II장에서 카메라 교정을 위한 이론적 배경을 설명하고 III장에서는 사용자가 정의한 기준선을 최소 선 성분 및 아웃라이어 제거를 위한 제약 사항으로 사용하는 방법을 설명한다. IV장에서는 추정된 소실점 기반 기하학적 교정 방법 및 대수학적 교정 방법을 설명하고 V장에서는 공인 데이터베이스를 사용한 실험 결과를 정리하고, VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 이론적 배경

카메라 교정은 카메라에 의해 3차원 공간좌표가 2차원 영상좌표로 변환되는 관계를 계산하고 계산된 관계로부터 카메라의 내·외부 파라미터를 찾는 과정을 말한다. 일반적으로 많이 사용하는 바늘구멍 사진기(pin-hole camera) 모델을 사용한 3차원 공간에서 2차원 영상으로의 변환 관계는 다음과 같이 표현된다.

$$S \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

여기서  $x, y$ 는 영상평면의 수평, 수직 좌표를,  $X, Y, Z$ 는 3차원 공간상의 좌표를 나타낸다.  $f_x, f_y$ 는  $x$ 축,  $y$ 축에 대한 초점거리(focal length),  $c_x, c_y$ 는 영상의 중심,  $S$ 는 스케일,  $\gamma$ 는 비대칭 계수,  $r_{ij}, i, j=1, 2, 3$ 은 회전정보,  $t_k, k=1, 2, 3$ 는 이동정보를 나타낸다. 식(1)의 우변의 가장 왼쪽의  $3 \times 3$ 행렬을 내부 파라미터라고 부르고, 가운데  $3 \times 4$ 행렬을 외부 파라미터라고 하는데, 이것은  $[R|T]$ 로 표시하기도 한다.

카메라 교정을 수행하기 위해서는 좌표계간의 관계 정리가 필요하다. 앞서 언급했던 것처럼 카메라 교정은 3차원 공간정보와 2차원 영상 사이의 변환관계를 구하는 것이다. 이 때문에 카메라 좌표계 상의 점을 기준으로 했을 때와 3차원 공간상의 특정 좌표를 기준으로 구

했을 때의 값이 달라지게 된다. 그림 1과 그림 2는 좌표 계간의 상호관계를 나타낸다. 본 논문에서는 카메라 좌표계를 기준으로 다른 좌표공간을 정의하였다.

3차원 공간상에 존재하는 평행한 직선은 이론적으로 직교 좌표계(euclidean coordinate) 상에서 하나 이상의 점에서 교차할 수 없다. 그러나 동차 좌표계(homogeneous coordinate)를 사용하면, 카메라에 의해 3차원 공간이 2차원 영상평면으로 원근 투영 변환되는 과정을 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 또한 무한대의 개념을 사용할 수 있게 되어서, 평행하던 선들이 무한대의 점에서 교차하게 된다. 이때 평행하던 선들이 교차하는 점을 소실점이라고 하는데, 이들은 각각 축에 대응되고 영상의 중심에서 소실점을 이은 선분은 서로 직교하는 성질을 가진다. 이 성질을 사용하면 원근 투영 변환에 의해 소실된 3차원 정보를 추정할 수 있다.

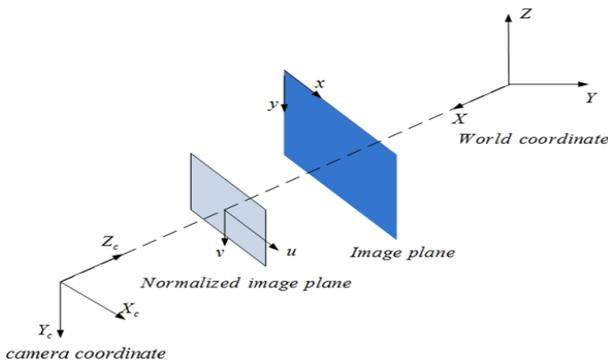


그림 1. 카메라 좌표계, 영상평면, 정규화된 영상평면, 실세계 좌표계 사이의 관계

Fig. 1. Relation between camera coordinate, image plane, normalized image plane and world coordinate.

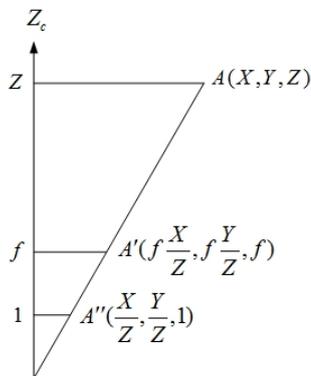


그림 2. 카메라 좌표계를 기준으로 정의한 좌표값 변화 관계

Fig. 2. Coordinate value transition based on camera coordinate.

영상 정보 기반의 카메라 자동 교정은 다음과 같이 단계적으로 수행된다. 우선 영상에서 선 성분을 추출하고, 세그멘테이션(segmentation)된 선 성분들 중 인라이어 성분을 사용하여 소실점을 추정한다. 소실점을 추정하는 데 널리 사용되는 RANSAC(random sample consensus) 알고리즘은 잡음에 취약하다는 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 사용되는 방법이 대수학적으로 에러를 최소화하는 방법과 기하학적 또는 통계적 최적화 방법이 사용된다<sup>[13]</sup>.

### III. 사용자에 의해 정의된 기준선을 사용한 소실점 추정

본 절에서는 강건한 소실점 추정을 위한 제약조건들과 소실점 추정에 필요한 선 성분이 없을 경우 사용자가 정의한 선 성분으로부터 소실점을 구하는 방법을 설명한다. 또한 소실점 추정 이후 과정인 카메라 교정과 연결된 제약 사항들을 정의한다.

#### 1. 소실점 추정을 위한 제약 조건

본 논문에서는 맨하탄 월드 가정(Manhattan World assumption)을 사용하여 기하학적 관계로부터 계산된 확률기반 소실점 추정을 수행한다<sup>[14]</sup>. 영상에서 추출된 선 성분들의 교차점을 영상의 중심을 기준으로 영상을 360°로 나누고 각 각도 상에 존재하는 선들의 교차점의 히스토그램을 구하고 정규화를 수행하였을 때 가장 높은 확률을 가지는 각도에서의 교차점을 사용하여 소실점을 추정한다<sup>[8, 10]</sup>.

세 개의 직교하는 소실점이 직교 좌표계 상에서  $V_i(x_i, y_i, f), i = 1, 2, 3$ 로 표현 되고 맨하탄 월드 가정에서는  $V_i(\rho_i, \theta_i), i = 1, 2, 3$ 으로 정의된다.  $\rho_i, \theta_i$ 는 각각 다음의 수식을 따라 정의된다.

$$\begin{aligned} \rho_i &= \sqrt{x_i^2 + y_i^2}, \\ \theta_i &= \arctan\left(\frac{y_i}{x_i}\right). \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 세 개의 소실점이 직교한다는 성질로부터 2개의 서로 다른 소실점의 내적은 0이 된다는 첫 번째 제약조건을 가진다. 그리고 이는 다음과 같이 수식으로 표기할 수 있다.

$$x_i x_j + y_i y_j + f^2 = 0, \quad (3)$$

여기서  $i, j = 1, 2, 3$ 이고  $i \neq j$ 이다.

수식 (3)을 극 좌표계(polar coordinate)로 변환하면 변환된 수식으로부터 각도에 대한 관계식과 제약 조건을 얻을 수 있게 된다. 수식 (3)의 극 좌표계 표현은 다음과 같다.

$$\rho_i \rho_j \cos(\theta_i - \theta_j) = -f^2, \quad (4)$$

여기서  $i, j = 1, 2, 3$ 이고  $i \neq j$ 이다.

수식 (4)에서 소실점의 각도가 고정되어 있다고 가정하면 중심으로부터 소실점까지의 거리  $\rho_i$ 를 계산할 수 있게 된다. 이는 두 번째 제약 조건이 되고 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \rho_i &= \eta_i f, i = 1, 2, 3, \\ \eta_1 &= \sqrt{-\frac{\cos(\theta_2 - \theta_3)}{\cos(\theta_1 - \theta_2)\cos(\theta_3 - \theta_1)}}, \\ \eta_2 &= \sqrt{-\frac{\cos(\theta_3 - \theta_1)}{\cos(\theta_1 - \theta_2)\cos(\theta_2 - \theta_3)}}, \\ \eta_3 &= \sqrt{-\frac{\cos(\theta_1 - \theta_2)}{\cos(\theta_2 - \theta_3)\cos(\theta_3 - \theta_1)}}. \end{aligned} \quad (5)$$

세 번째 제약 조건은 수식 (4)로부터 유도 된다. 영상의 중심으로부터 소실점까지의 거리를 나타내는  $\rho_i \rho_j$ 는 항상 0또는 양수 값을 가지게 된다. 또한 초점 거리의 제곱의 값은 항상 양의 값을 가지므로  $\cos(\theta_i - \theta_j)$ 의 값이 항상 음수 값을 가지기 위해서는 다음의 수식을 만족해야 한다.

$$|\theta_i - \theta_j| \geq \frac{\pi}{2}. \quad (6)$$

마지막으로 네 번째 제약 조건은 각도에 따라 구해진 교차점의 히스토그램을 강화하는 방법이다<sup>[8]</sup>. 이 방법은 기존의 맨하탄 월드 가정만을 사용했을 때 보다 아웃라이어에 강건한 소실점 추정을 위한 제약사항이 된다. 본 논문에서는 이 방법을 변형하여 기존 논문에서 직교 좌표계에서 히스토그램을 생성하던 것과 달리 극 좌표계에서 히스토그램을 구하고 강화하는 방법을 사용한다. 그리고 개선된 히스토그램은 다음과 같이 정의된다.

$$H_0 = \left\{ \frac{B_i}{D_i} \right\}, \quad (7)$$

여기서  $B_i$ 는 각도에 따른 히스토그램에서  $i$ 번째 bin의 값,  $D_i$ 는  $i$ 번째 bin에서 교차점들의 평균을 사용하여 구한 분산으로 재정의 한다.

## 2. 사용자 정의에 의한 추가 제약 조건 및 최소 선 성분의 생성

영상에서 추출된 선 성분이 부족하거나 교차점이 생기지 않는 경우, 사용자가 정의한 기준 좌표를 사용하여 소실점 추정에 필요한 선 성분을 정의하고, 이러한 선 성분을 사용하여 강건한 소실점 추정을 위한 추가 제약 사항을 만들 수 있다. 보다 구체적으로는 그림 3에서 보이는 것처럼 사용자가  $x, y$ 평면상에서 기하학적으로 사각형을 이루는 도형의 4 꼭지점을 선택한 후, 이 점들 사이의 관계를 이용해서 사각형의 중심을 추출하고, 중심점을 지나며 3차원 공간상에서 4 점들이 만드는 평행한 두 직선에 평행인 새로운 직선을 2차원 영상 공간에서 생성한다.

소실점 추정을 위해서 입력 영상에서 자동으로 추출된 선 성분을 사용하거나, 이것이 부족할 경우 사용자가 정의한 선들 중에서 3개의 선의 교점을 계산한다. 그림 4는 그림 3(b)에서 사용자가 정의한 선들을 사용하여 소실점을 계산한 결과를 보인다.

기준이 되는 좌표점을  $x, y$ 평면상에서 정의하는 이유는 정의된 정보를 사용하여  $x, y$ 축의 소실점과 두 소실점을 연결하여 얻은 소실선을 수평기준선으로 사용하기 위함이다<sup>[16]</sup>.

소실점이 서로 직교한다는 성질과 각 소실점에서 다른 두 소실점이 만드는 선에 직교하는 수선을 그렸을



그림 3. 사용자가 정의한 기준선.

- (a) 사용자에게 의해 정의된 기준 좌표,  
(b) 기준좌표로부터 만들어진 기준선

Fig. 3. Criteria lines defined by user.

- (a) criteria points,  
(b) criteria lines based on criteria points

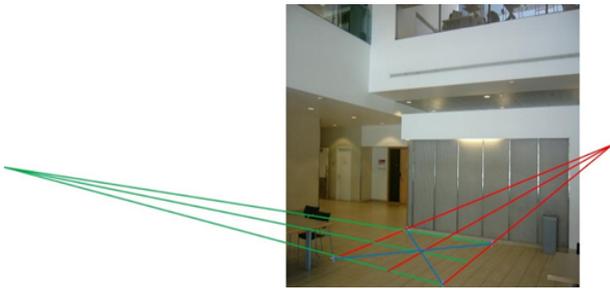


그림 4. 사용자가 정의한 선을 사용하여 구한 소실점  
Fig. 4. Vanishing points estimation using user defined lines.

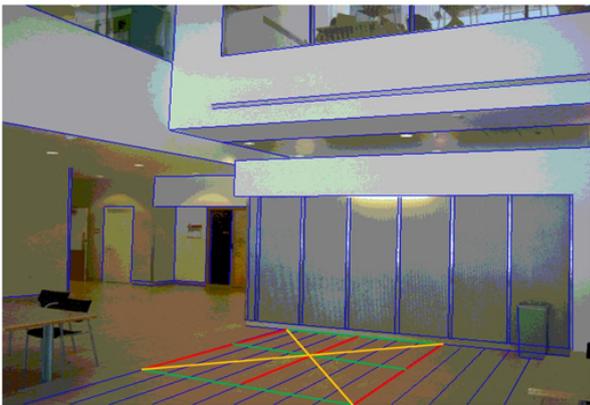


그림 5. 사용자가 정의한 선과 영상에서 추출한 선  
Fig. 5. User defined lines and extracted lines.

때 3개의 수선의 교점은 영상의 중심인 주점에서 만나게 된다. 이를 바탕으로 우리는 2개의 소실점만 구해졌을 경우 다른 하나의 소실점을 계산할 수 있게 된다. 또한 3차원 회전 정보를 계산할 때 일반적인 감시카메라 영상에서는  $z$ 축을 기준으로 한 회전이 많이 발생하기 때문에  $x, y$ 축에 해당하는 소실점 정보가 더 중요하다. 이러한 이유로  $x, y$ 평면상에서 기준점을 정의하는 것이 현실적으로 타당하다.

그림 5는 사용자가 정의한 선과 영상에서 추출된 선을 함께 보인다. 사용자가 정의한 선 성분을 제약조건으로 사용하기 위해서 영상에서 추출된 선과 사용자가 추출한 선의 교차점의 히스토그램을 극 좌표계에서 계산한 후, 히스토그램을 정규화하여 다섯 번째 제약조건을 다음과 같이 생성한다.

$$H_{\theta-u} = \left\{ \frac{B_{i-u}}{D_{i-u}} \right\}, \quad (8)$$

여기서  $B_{i-u}$ 는 사용자가 정의한 선과의 교차점을 각도

에 따른 히스토그램에서  $i$ 번째 bin의 값이고  $D_{i-u}$ 는  $i$ 번째 bin에서 사용자가 정의한 선과의 교차점들의 평균을 사용하여 구한 분산을 나타낸다. 그리고 앞의 제약조건을 사용한 소실점 계산은 식 (7)과 식 (8)의 정규화된 히스토그램의 각 bin의 값을 곱하여 높은 값이 나오는 각도의 소실점을 최종 소실점으로 판단한다.

#### IV. 기하학적 및 대수적 카메라 교정 방법

3개의 소실점이 추정되면, 대수적 관계를 사용하여 카메라 파라미터를 추정하여 교정을 수행할 수 있다. 그러나 추정된 소실점의 개수가 2개 이하이거나, 소실점으로부터 계산된 변환 행렬의 랭크가 3 미만일 경우에는 대수적인 카메라 교정이 불가능하다. 이러한 경우 3절에서 정의했던 기하학적 관계로부터 필요한 정보를 추정하는 방식으로 카메라 교정을 수행한다. 본 절에서는 대수적인 방법과 기하학적 방법을 혼합한 카메라 교정 방법을 제안한다.

본 논문에서는 내부 파라미터 중  $c_x, c_y$ 는 영상의 중심점과 같고  $f_x, f_y$ 는 동일한 초점 거리 값을 가지며,  $\Upsilon$ 는 0으로 가정한다. 추정된 3개의 소실점을  $V_i(x_i, y_i, f), i = 1, 2, 3$ ,이라 하면 초점거리는 식 (3)로부터 다음과 같이 계산된다.

$$f = \sqrt{-(x_i x_j + y_i y_j)}. \quad (9)$$

그러나 식 (9)에서 보이듯이 제곱근 안에 있는 값에 음수 부호가 존재하기 때문에  $x_i x_j + y_i y_j$ 의 값이 양수가 되면 초점거리는 허수 값을 가지게 된다. 따라서 이에 대한 해결 방법이 필요하다.  $x_i x_j + y_i y_j$ 의 값이 양수가 되는 경우 기하학적 관계로부터 초점거리를 계산한다. 그림6은 영상과 소실점, 초점거리 사이의 관계로부터 초점거리를 추정하는데 필요한 관계를 보인다. 소실점  $V_1$ 과  $V_2$ 를 연결한 소실선은 영상의 중심을 지나 는 직선과 수직이다. 또한 영상 평면은 카메라 좌표계의 광축에 수직이고 2개의 소실점과  $O$ 가 이루는 선들은 서로 수직이다. 이 관계로부터 우리는 초점거리에 해당하는  $\overrightarrow{OC}$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다<sup>[15]</sup>.

$$f = \overrightarrow{OC} = \sqrt{V_1 P^* P V_2} \quad (10)$$

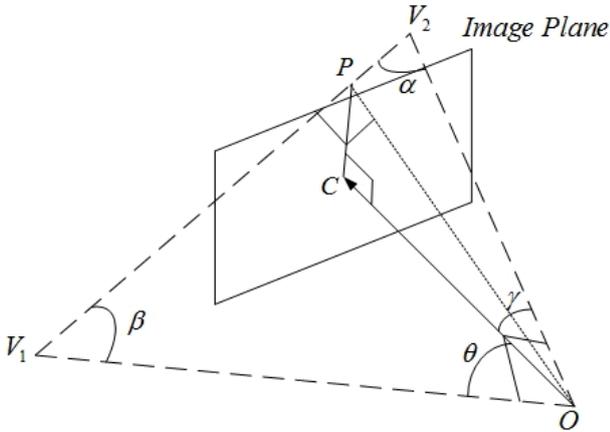


그림 6. 기하학적 관계를 이용한 초점거리 추정  
Fig. 6. Focal length estimation based on the geometric relation.

소실점과 내부 파라미터 사이의 관계를 사용해서 외부 파라미터인 회전변환 매트릭스를 다음과 같이 계산한다<sup>[17]</sup>.

$$R = \begin{bmatrix} \frac{S_1(x_1 - c_x)}{f} & \frac{S_2(x_2 - c_x)}{f} & \frac{S_3(x_3 - c_x)}{f} \\ \frac{S_1(y_1 - c_y)}{f} & \frac{S_2(y_2 - c_y)}{f} & \frac{S_3(y_3 - c_y)}{f} \\ \frac{f}{S_1} & \frac{f}{S_2} & \frac{f}{S_3} \end{bmatrix}, \tag{11}$$

여기서  $S = \{S_1, S_2, S_3\}$ 이다.

식 (11), 앞에서 구한 초점거리, 그리고 내부 파라미터를 연립하여 전개하면 다음의 수식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 \\ y_1^2 & y_2^2 & y_3^2 \\ x_1y_1 & x_2y_2 & x_3y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1^2 \\ S_2^2 \\ S_3^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_x \\ c_y \\ f^2 + c_x^2 \\ f^2 + c_y^2 \\ c_x c_y \end{bmatrix}, \tag{12}$$

여기서 소실점이 2개 이하인 경우에는 계산을 위한 자유도를 만족시키지 못해서, 스케일 값 S를 구할 수 없고, 결과적으로 회전 값의 계산이 불가능하다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 제안하는 알고리즘은 사용자 정의에 의해서 2개의 소실점을 구한 후, 기하학적 관계를 활용하여 3번째 소실점을 계산 할 수 있다<sup>[17]</sup>.

2개의 소실점으로부터 3번째 소실점을 추정하는 방법은 중심의 성질을 이용하는 것으로 [17]에 설명되어 있기 때문에 본 논문에서는 다루지 않는다. 그러나 식

(12)로부터 스케일 값을 구하는 것은 매우 복잡하고 또한 매트릭스의 랭크가 3이 되지 않을 경우 특이값 분해 (singular value decomposition)를 사용할 수 없게 된다. 따라서 직접적인 매트릭스 연산 대신 기하학적 관계로부터 스케일 값을 구하는 방법 설명한다.

3개의 소실점을 꼭지점으로 하는 삼각형을 가정하면 이 삼각형의 중심은 영상의 중심이 된다. 또한 영상의 중심과 서로 다른 2개의 소실점이 만드는 삼각형의 면적은 각각의 스케일 값이 된다<sup>[18]</sup>. 그리고 헤론의 공식을 사용하여 삼각형의 면적을 구하면 삼각비의 관계로부터 스케일 값을 구할 수 있다. 계산된 스케일 값을 식 (11)에 대입 하면 카메라의 회전 변환 값을 추정할 수 있다.

### V. 실험 결과

본 논문에서는 실험 결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해 공인 데이터베이스인 YorkUrbanDB와 EurasianCite Base를 사용하였다. 공인 데이터베이스에서 제공되는 영상을 사용하여 계산한 초점거리와 소실점 비교하여 제안하는 방법과 Li에 의해 제안된 방법의 비교를 통한 성능을 평가하였다<sup>[8]</sup>. Li의 방법은 영상의 중심을 지나 는 대각선을 지름으로 하는 외접원을 생성하여 외접원을 기준으로 내부와 외부에서 영상에서 추출한 선들의 교차점을 구한다. 그리고 소실점이 존재할 수 있는 위치의 기하학적 관계 5가지를 가지고 최종 소실점 추정을 수행한다.

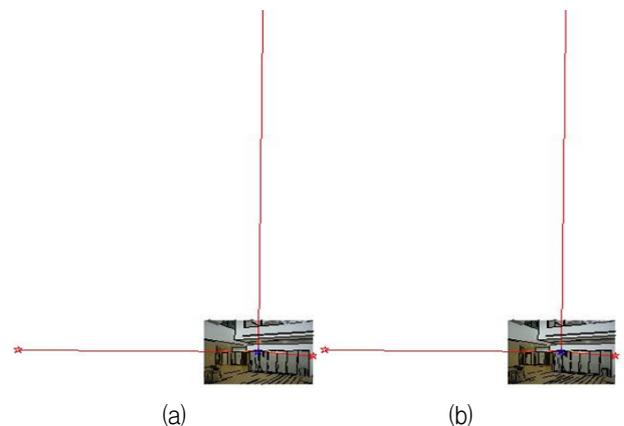


그림 7. 소실점 추정 결과.  
(a) 기존 방법 (b) 제안하는 방법

Fig. 7. Focal length estimation result.  
(a) existing method, (b) the proposed method

위의 실험에는 YorkUrbanDB를 사용하여 소실점을 추정된 결과 영상이다. 기존 방법에 비하여 제안하는 방법을 사용하였을 때  $x, y$  평면에 해당하는 선 성분이 더 많이 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 좀 더 정확한 비교를 위하여 아래 표에서 추정된 소실점과 초점거리를 비교하였다. YorkUrbanDB에서 제공된 초점거리 값은 674.91 이다.

공용 데이터베이스에서 외부파라미터를 제공하지 않기 때문에 본 논문에서는 내부 파라미터인 초점 거리와 카메라의 회전 방향을 비교하였다. 표 1의 결과에서 초점거리를 비교해 보면 기존 방법은 29.00 의 오차를 가진다. 그러나 제안하는 방법은 16.69 의 오차를 가지는 것으로 오차 값이 줄어든 것을 확인할 수 있다. Pan의 결과를 비교해보면 기존의 방법과 6.84° 차이가 난다. 그리고 tilt의 값을 보면 7.6°의 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 각도의 차이가 나타났지만 카메라의 회전 방향은 서로 동일한 방향이 추정되었음을 확인할 수

표 1. 제안하는 방법과 기존방법의 교정 결과 비교  
Table 1. Comparison of calibration result between the proposed and the conventional method.

	기존 방법	제안하는 방법
x 소실점	(-15580.6, 143.4, 1)	(-15580.6, 143.4, 1)
y 소실점	(31.3, 321.8, 1)	(27.9, 327.0, 1)
z 소실점	(-13.5, -1353.4, 1)	(-13.9, -1397.7, 1)
초점거리	645.09	657.40
pan	-167.15°	-173.99°
tilt	5.71°	13.31°

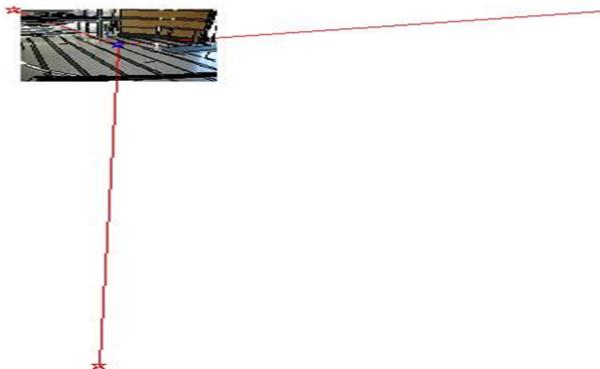


그림 8. 기존 방법에서 소실점 추정이 불가능한 영상에서의 소실점 추정

Fig. 8. Vanishing points estimation results with challenge image.

표 2. 제안하는 방법과 기존방법의 공인 데이터베이스에 대한 교정률 비교

Table 2. Comparison of calibration rate between the proposed and the conventional method about public database.

	기존 방법	제안하는 방법
YorkUrbanDB	56%	60%
EurasianCiteBase	66%	74%

있다.

그림 8은 기존방법에서는 소실점 추정이 불가능한 영상에서 제안하는 방법을 사용하여 소실점을 추정된 결과 영상을 보여준다. 이때 추정된 소실점을 사용하여 계산한 초점거리 값은 643.08로 유사한 초점거리 값을 추정할 수 있었다.

표 2의 실험은 2개의 공인 데이터베이스에서 각각 100장의 영상에 대해 기존의 방법과 제안하는 방법으로 교정을 수행했을 때 소실점 및 초점거리 추정이 가능한 영상의 퍼센테이지를 비교하였다. 제안하는 방법이 기존 방법에 비해 높은 교정 성능을 보여줄 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 사용자 정의 기반의 기준선을 사용한 소실점 추정 및 반자동(semi-automatic) 카메라 교정 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 기존의 방법으로 소실점 추정이 불가능한 영상에서 사용자가 정의한 가이드라인을 제약 조건으로 사용하여 아웃라이어의 영향을 제한하였기 때문에 나뭇가지, 깃발 등과 같은 불규칙한 배경 클러터(clutter)들이 많은 영상에서도 강건한 소실점 추정이 가능하다. 또한 추정된 소실점으로부터 변환 관계를 추정하는데 어려움이 있는 상황에서도 대수적 방법과 기하학적 방법을 혼합하여 카메라 파라미터 추정이 가능하도록 하였다. 제안하는 방법은 공인 데이터베이스를 사용한 실험을 통해 강건하고 정확한 카메라 교정 결과를 보였다. 또한 기존의 선성분만을 사용한 기존방법과 비교하여 높은 정확도를 보이는 것을 증명하였다. 제안하는 방법은 이미 설치되어있는 감시 카메라의 교정, 3차원 공간정보를 사용한 증강현실 등의 방법에 적용할 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, November 2000.
- [2] Q. Chen, H. Wu, and T. Wada, "Camera calibration with two arbitrary coplanar circles," *European Conf. Computer Vision*. pp. 521-532, 2004.
- [3] R. Orghidan, J. Salvi, M. Gordan, C. Florea, and J. Batlle, "Structured light self-calibration with vanishing points," *Machine Vision and Applications*. vol. 25, no. 2, pp. 489-500, February 2014.
- [4] S. Alvarez, D.F. Llorca, and M.A. Sotelo, "Hierarchical camera auto-calibration for traffic surveillance systems," *Expert Systems with Applications*. vol. 41, no. 4, pp. 1532-1542, March 2014.
- [5] S. Alvarez, D.F. Llorca, and M.A. Sotelo, "Camera auto-calibration using zooming and zebra-crossing for traffic monitoring applications," *IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems*. pp. 608-613, October 2013.
- [6] R. Feris, B. Siddiquie, Y. Zhai, J. Petterson, L. brown, and S. Pankanti, "attribute-based vehicle search in crowded surveillance videos," *Int. Conf. Multimedia Retrieval* no. 18, 2011.
- [7] J. Chu, L. Wang, R. Feng, and G. Zhang, "Linear camera calibration and pose estimation from vanishing points," *Chinese Optics Letters*. vol. 10, no. B06, pp. 83-87, April 2012.
- [8] B. Li, K. Peng, X. Ying, and H. Zha, "Vanishing point detection using cascaded 1D hough transform from single images," *Pattern Recognition Letters*. vol. 33, no. 1, pp. 1-8, January 2012.
- [9] M. Niteo, and L. Salgado, "Non-linear optimization for robust estimation of vanishing points," *IEEE Int. Conf. on Image Processing*. pp. 1885-1888, September 2010.
- [10] A. Almansa, A. Desolneux, and S. Vamech, "Vanishing point detection without any a priori information," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. vol. 25, no. 4, pp. 502-507, April 2003.
- [11] J. M. Coughlan, and A.L. Yuille, "Manhattan world: orientation and outlier detection by bayesian inference," *Neural Computation*, vol.15, no., 5, pp.1063-1088, May 2003.
- [12] I. Junejo, and H. Foroosh, "Robust auto-calibration from pedestrians," *IEEE Int. Conf. on Video and Signal Based Surveillance*, pp. 92-97, 2006.
- [13] R. Hartley, *Multiple view geometry in computer vision*, 2nded., Cambridge university press, 2003.
- [14] J.M. Coughlan, and A.L. Yuille, "Manhattan world: orientation and outlier detection by bayesian inference," *Neural Computation*, vol.15, no., 5, pp.1063-1088, 2003.
- [15] E. Guillou, D. Meneveaux, E. Maisel, and K. Bouatouch, 'Using vanishing points for camera calibration and coarse 3D reconstruction from a single image,' *The Visual Computer*, vol. 16, no. 7, pp.396-410, November 2000.
- [16] E. Tretiak, O. Barinova, P. Kohli, and V. Lempitsky, "Geometric image parsing in man-made environments," *Int. Journal of computer vision*, vol. 97, no. 3, pp.305-321, May 2012.
- [17] R. Orghidan, J. Salvi, M. Gordan, and B. Orza, "Camera calibration using two or three vanishing points," *IEEE Federated Conf. on Computer Science and Information Systems*, pp.123-130, September 2012.
- [18] R. Cipolla, T. Drummond, and D. Robertson, "Camera calibration from vanishing points in images of architectural scenes," *British Machine Vision Conf.* vol.99, pp.382-391, September 1999.
- [19] H. Jun, J. Park, and M. Go, "Camera calibration for 3D data acquisition," *Workshop on Image Processing and Image Understanding*, vol. 9, pp. 203-208, January 1997.
- [20] S. Kim, K. Kim, and W. Woo, "Multiple camera calibration for panoramic 3D virtual environment," *Journal of the IEEK*, vol. 41, no. 2, pp. 137-148, March 2004.

저 자 소 개



김 형 태(학생회원)  
2012년 수원대학교 전자공학과  
학사 졸업.  
2015년 현재 중앙대학교 첨단  
영상대학원 석사과정  
재학중.

<주관심분야 : 카메라 교정, 렌즈 왜곡 보정>



백 준 기(평생회원)-교신저자  
1984년 서울대학교 제어계측공학과  
학사 졸업.  
1987년 노스웨스턴대학교 전기 및  
컴퓨터 공학과 석사 졸업.  
1990년 노스웨스턴대학교 전기 및  
컴퓨터 공학과 박사 졸업.

2015년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원  
영상공학과 교수.

<주관심분야 : 영상복원, 신호처리, 반도체>