

# 직선 성분 분석을 통한 왜곡 이미지 보정기법

옥창석, 조환규

부산대학교 정보컴퓨터공학부

e-mail:csock@pusan.ac.kr, hgcho@pusan.ac.kr

## An Automated Camera Calibration Using Line Components in Images

Chang-Seok Ock, Hwan-Gue Cho

Dept of Computer Science & Engineering, Pusan National University

### 요 약

증강현실이 주목받고 있는 시점에서 현실세계를 3차원으로 가상현실화 하고자 하는 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 현실세계를 CCTV카메라에 담기 위해서는 넓은 시야각을 가진 렌즈가 필요한데, 대안으로써 보통 어안렌즈를 많이 사용한다. 어안렌즈는 시야각을 넓게 하여 정해진 범위 내에 많은 양의 데이터를 활용할 수 있기 때문에 CCTV를 이용한 감시 시스템에 사용된다. 그러나 어안렌즈는 직선성분을 왜곡하여 곡선성분으로 나타내는 경향이 발생하며, 심할 경우 대상을 식별하기가 힘들 수도 있다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 원 영상이 왜곡된 영상보다 직선성분이 많다는 것에 착안하여 Hough Transform에 의한 직선검출을 이용해 왜곡을 자동으로 보정하고, Calibration 파라미터를 산출하는 기법을 본 논문에서 제안하고, 실험을 통해 확인하였다.

### 1. 서론

최근 트렌드가 되고 있는 증강현실의 일환으로 현실세계를 3차원공간에 맵핑시켜 가상세계를 구축하는데 있어 현실세계의 실시간 영상정보가 필요하다. 이 경우 대부분 CCTV가 사용되는데 CCTV는 넓은 시야를 위해 어안렌즈 또는 광각렌즈를 사용한다. 하지만 대부분은 비용의 문제로 인해 비교적 저렴한 어안렌즈를 사용하고, 이로 인해 영상에 왜곡이 발생하게 된다.

어안렌즈는 물고기의 눈처럼 양쪽으로 퍼져 넓은 공간을 볼 수 있다는 것과 비슷하다고 하여 지어진 이름으로 일반 렌즈에 비해 화각이 넓고, 광각렌즈에 비해 저렴하다. 이런 특성 때문에 광범위한 영역의 영상을 얻기 위해 사용된다. 하지만 카메라에 촬영되는 대상이 렌즈에 가까울수록 커지고 왜곡되어 나타난다는 문제점이 있다.



(그림 1) 어안렌즈 영상

보통의 경우 왜곡의 대부분은 직선성분이 곡선성분으로 왜곡된다는 것으로 집약할 수 있다. 이 경우 넓은 화각을 가지는 어안렌즈의 특성상 과도한 원근감으로 인해 실

제 모델과는 다르게 직선성분이 휘어져 곡선으로 나타나게 된다.

일반적인 감시 시스템은 단지 관찰을 위해 사용하므로 왜곡이 큰 문제가 되지 않지만 이를 3차원공간에 맵핑시켜 가상세계를 구축하기 위해서는 왜곡보정을 통해 반듯한 영상으로 복원시켜야만 한다. 여기서 왜곡된 영상과 원래 모델의 가장 큰 차이점으로 볼 수 있는 것은 바로 직선성분의 개수이다. 원래 모델이 왜곡된 영상보다 직선성분을 많이 가지고 있다는 것을 기반으로 왜곡된 영상의 직선성분을 검출, 변형을 가하면서 가장 많은 수의 직선을 가진 영상이 나타날 때의 파라미터 값을 취하면 된다.

### 2. 관련연구

영상에서 직선을 검출하기 위해서는 Edge를 먼저 검출해야 한다. Edge란 영상에서의 특징이 되는 부분으로 밝기 또는 컬러 값이 급격히 변하는 지점을 뜻한다. Edge를 검출하는 방법은 LoG (Laplacian of Gaussian), Canny, Frei-Chen Masks가 있다. 본 논문에서는 Canny Edge Detector를 사용하여 Edge를 검출하였다.

왜곡을 보정하기에 앞서 입력된 영상의 직선성분을 검출하는 방법으로 Hough Transform을 사용한다. 영상에서의 직선성분은 Edge들의 집합으로 특정 규칙을 따라 배열되어 있는 Edge를 의미한다. 여기서 Hough Transform은 이러한 직선성분을 검출하는데 있어 다른 방법들보다 연산량이 적고 노이즈에 강하다는 점에 있어 효율적이기 때문에 본 논문에서 직선을 검출하기 위한 방법으로 사용하

였다. 왜곡을 보정하는 기법에 대한 연구 중 대표적이면서 많은 분야에서 인정을 받고 있는 연구로는 Tasi의 Coplanar Calibration[9]과 Zhang의 Camera Calibration[5]이 있다.

### 3. Calibration Method

#### 3.1 Camera Calibration

입력된 영상에서 실제 Calibration 파라미터 값을 찾아내기 위해 수행하는 것이 Camera Calibration이다.

이상적인 카메라 모델(Pinhole Camera Model)에서 3차원 공간의 점들은 2차원 공간의 영상평면에 투영되어 나타난다. 그 다음 2차원 영상평면에서 이미지를 표현하는 픽셀좌표계로의 변환을 통해 3차원 공간에서 픽셀좌표계로의 변환이 일어난다. 이를 정리하면 식(1), 식(2)와 같다.

$$s * m' = A [R|t] * M' \quad (1)$$

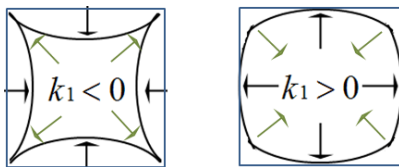
$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & c_x \\ 0 & a_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식(1)의  $A$ 는 Intrinsic 파라미터 행렬이며,  $[R|t]$ 는 Extrinsic 파라미터 행렬이다. 여기서  $R$ 은 Rotation 행렬이고  $t$ 는 Translation 벡터이다. 이  $[R|t]$  행렬을 통해 카메라 좌표계에서 다른 좌표계로의 변환이 가능하다.

식(2)에서  $[u \ v \ 1]^T$ 은 2차원 픽셀좌표계의 한 점이고,  $[X \ Y \ Z]^T$ 은 3차원좌표계의 한 점이다.  $(a_x, a_y)$ 는 focal length이고,  $(c_x, c_y)$ 는 principal point이다.

그 외에 Distortion Coefficients라고 불리는 왜곡파라미터가 있는데 이는 Radial distortion coefficients(RDC)라는 벡터  $(k_1, k_2, k_3)$ 와 Tangential distortion coefficients (TDC)라는 벡터  $(p_1, p_2)$ 로 구성된다.

본 논문에서는 RDC의 파라미터 중  $k_1$  값(Calibration 파라미터)을 변형시키면서 실험을 진행 하였고  $k_1$  값에 따른 영상의 변화는 (그림 2)와 같다.



(그림 2)  $k_1$  값에 따른 영상의 변화

$k_1$ 의 값이 0보다 작아지면 질수록 모서리 부근의 픽셀은 중앙으로 모여서 꼭짓점 부근 픽셀은 바깥쪽으로 밀리게 된다. 반대로  $k_1$ 의 값이 0보다 커지면 중앙의 픽셀은 모서리 방향으로 퍼지고 꼭짓점 부근의 픽셀은 중앙으로 모이게 된다.

#### 3.2 Canny Edge Detector

Canny Edge Detector는 총 4단계로 구성된다.

1) 가우시안필터  $g(x, y)$ 를 적용하여 영상의 노이즈를 제거한다.

$$g(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$$

2) Edge Mask를 이용하여 Gradient값과 방향을 찾는다.

$$\text{수직 Mask} : \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \text{수평 Mask} : \frac{1}{2} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

3) Nonmaxima suppression을 수행하여 Gradient값의 최대치만을 취한다.

4) Double Threshold로 두 Threshold 사이에 존재하는 Gradient값만 취한다.

위와 같은 4단계를 거치면서 조금 더 선명하고 정확하게 Edge를 검출할 수 있다.

#### 3.3 Hough Transform

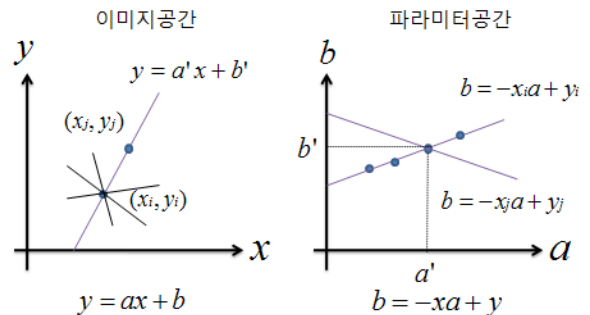
Canny Edge Detector에 의해 검출된 Edge들을 각 Edge를 한 점  $(a, b)$ 으로 하여  $x$ 와  $y$ 가 축이 되는 2차원 평면에 나타내면 식(3)으로 일반화 시킬 수 있다.

$$y = ax + b \quad (3)$$

이때의 변수는  $x$ 와  $y$ 로  $a$ 와  $b$ 가 상수가 된다. Hough Transform은 이를 역으로 생각하여  $a$ 와  $b$ 가 변수가 되고  $x$ 와  $y$ 가 상수가 되는 2차원 공간에 나타내면 식(4)가 된다.

$$b = -xa + y \quad (4)$$

이렇게 Hough Transform을 거치면  $xy$ 평면에서의 점이  $ab$ 평면에서의 직선으로 변하게 되고 이렇게 모든 Edge에 대해 변환을 거쳐  $ab$ 평면에서의 직선으로 나타내면 각 직선들 간의 교점이 생기는데 이 교점이 바로 해당 Edge들에 대한  $xy$ 평면에서의 직선이 되는 것이다. 실제 직선 검출에 사용하기 위해서는 Threshold를 두어  $ab$ 평면에서의 교점의 개수가 Threshold보다 큰 점들만 추출하여  $xy$ 평면의 직선으로 나타낸다.



(그림 3) Hough Transform

또한 좀 더 일반화 시켜 극좌표를 이용하여 직선의 방정식을 나타내면 식(5)와 같다.

$$\rho = r \cos \theta + c \sin \theta \quad (\rho \geq 0, -\frac{\pi}{2} \leq \theta < \pi) \quad (5)$$

극좌표를 이용한 직선의 방정식도  $\rho$ 와  $\theta$ 를 축으로 하는 평면으로 변환하는 Hough Transform을 적용시킬 수 있다.

### 3.4 왜곡 보정

왜곡된 영상을 보정하기 위해서는 영상의 Calibration 파라미터를 조절하여야 한다. 본 논문에서는 두 가지 방법을 제안하며 실제 실험에서는 간단한 Linear Calibration 방법을 이용하여 Calibration 파라미터 값( $k_1$ )을 조절하였다.

#### 1) Linear Calibration

Linear Calibration은 Calibration 파라미터 값을 선형적으로 증가시키면서 영상의 직선성분이 가장 많이 나타나는 값을 찾아내는 방식으로 가장 간단한 방식이다. 이 방식의 장점은 간단하여 구현하기 쉽다는 것이고, 단점은 성능을 보장 하지 못한다는 것이다.

#### 2) Adaptive Binary Calibration

Calibration 파라미터 값으로 초기 값과 중간 값, 한계 값 이 세 단계의 값을 대입하여 가장 직선성분이 많이 검출되는 값부터 시작하여 이진탐색을 하는 방식이다. 예를 들어 중간 값의 직선성분이 가장 많을 경우 중간 값을 기준으로 두 번째로 직선성분이 많은 쪽으로 이진탐색을 하는 것이다.

## 4. 성능측정

### 4.1 보정 전 영상

보정을 하기 전에 취득한 영상은 (그림 4)와 같이 원래 직선이었던 벽이 곡선으로 나타나 있는 영상이다.



(그림 4) 보정 전 영상  
검출된 직선 개수 : 3개

보정 전에는 넓은 화각을 갖는 어안렌즈의 특성으로 인해 중심부분에서부터 외곽방향으로 원형의 왜곡이 발생한 것을 볼 수 있다.

### 4.2 보정 후 영상

보정을 한 후의 영상은 (그림 5)와 같다.



(그림 5) 보정 후 영상  
검출된 직선 개수 : 7개  
Calibration 파라미터 값  $k_1 = -0.344$

보정 전과 비교하여 볼 때 곡선이었던 벽이 곧은 직선으로 나타난 것을 볼 수 있다. 이때의  $k_1$ 의 값은  $-0.344$ 로 산출되었고 곡선성분이 많이 줄어들었으며 직선성분은 늘어났다는 것을 알 수 있다.

### 4.3 보정 전과 보정 후의 비교

차 영상을 이용하여 보정 전, 후의 영상을 나타내보면 (그림 6)과 같다.











(그림 6) 보정된 부분 영상

(그림 6)은 보정 후 영상에서 보정 전 영상을 뺀 영상으로 여기서 나타난 부분이 보정에 의해 원래 영상에서 바뀐 부분이다.

본 논문에서는 어안렌즈의 넓은 화각으로 인해 생기는 영상의 왜곡을 보정하는 방법으로 직선성분을 검출하여 비교하는 방법을 사용하였다. 이와 같은 방법으로 다수의 이미지에 대해 Linear Calibration을 이용하여 실험 해본 결과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 실험 결과

	보정 전	보정 후
cctv2.png		
	검출된 직선 수 : 11	검출된 직선 수 : 13 $k_1 = -0.502$
cctv3.png		
	검출된 직선 수 : 20	검출된 직선 수 : 29 $k_1 = -0.489$
cctv4.png		
	검출된 직선 수 : 2	검출된 직선 수 : 9 $k_1 = -0.446$
cctv5.png		
	검출된 직선 수 : 5	검출된 직선 수 : 7 $k_1 = -0.283$

### 5. 결론 및 추후 연구

본 실험에서는 Edge검출의 성능을 높이기 위해 Canny Edge Detector를 사용하였고, 직선검출의 성능을 높이기 위해 Hough Transform을 사용하여 자동화하였다.

이와 같은 환경에서 실험한 결과를 보면 보정 후의 직선개수가 보정 전의 직선개수보다 많다는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해 다수의 영상이 존재 할 경우 각 알고리즘 별 Threshold만 잡아준 후  $k_1$  값을 조절하며 직선을 검출하고 개수를 비교하여 자동으로 영상의 왜곡을 보정할 수 있다는 것을 확인 하였다.

또한 정확한 Calibration에 초점을 둔 실험이 아니라 Calibration의 자동화와 성능에 초점을 둔 실험이기 때문에 기존 보정기법들과의 비교를 수행하지 않았다.

그리고 실험중 발견한 문제점으로 보정 후의 영상 가장자리 부분에서 보정 전과 비교하여 손실이 발생한다는 것을 알았다. 이러한 손실의 원인은 원 영상의 Calibration 파라미터 값( $k_1$ )을 조절함에 따라 픽셀의 위치변경으로 인해 발생하는 것으로 이를 최소화할 수 있는 방법에 관한 연구[8]도 있다.

이러한 보정 후 손실 최소화와 자동화 알고리즘의 성능 향상을 통해 더욱 질 높은 보정이 가능하다면 영상처리와, 증강현실을 위한 3차원 가상세계 모델링과 같은 분야에 큰 도움이 될 것이라 생각한다.

### 참고문헌

[1] 강진아, 박재민, 김병국, "The Technical Development for the Fish-Eye Lens Distortion Correction," 한국지형공간정보학회 GIS 공동춘계학술대회 논문집 pp.133-138, 2007.

[2] 유원필, 정연구, "저가형 디지털 카메라 적용을 위한 기하학적 왜곡 및 광도 왜곡 보정 방법," 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, 제30권, 제1호(B), pp.205-207, 2003.

[3] S.E. Umbaugh, "Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing," CRC Press, 2005

[4] 송광열, 윤팔주, 이준용, "어안렌즈왜곡 및 원근왜곡의 보정," 한국정밀공학회지, 제23권, 제10호, pp.22-29, 2006.

[5] Zhengyou Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.11, pp.1330-1334, 2000.

[6] CYLOD, 2009, "OpenCV에서 카메라 캘리브레이션," 2011, <http://www.cylo.com/info/knowledge.php?mode=view&mid=19&mtarget1=mtitle&mtarget2=mdesc&mtarget3=mkeyword&mkeyword=&pg=0&mpn=30>

[7] Paulo Dias, 2003, "Tsai Camera Calibration," 2011, [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/DIAS1/](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/DIAS1/)

[8] 조영주, 김성희, 박지영, 손진우, 이종렬, 김명희, "비대칭 왜곡 어안렌즈를 위한 영상 손실 최소화 왜곡 보정 기법," 한국시물레이션학회, 한국시물레이션학회논문지, 제19권, 제1호, pp.23-31, 2010.

[9] Berthold K.P. Horn, "Tsai's camera calibration method revisited," 2000, [http://people.csail.mit.edu/bkph/articles/Tsai\\_Revisited.pdf](http://people.csail.mit.edu/bkph/articles/Tsai_Revisited.pdf)