

# FOV 모델과 2D 패턴을 이용한 왜곡 중심 추정 기법

## Distortion Center Estimation using FOV Model and 2D Pattern

서정구\*, 강의선\*\*  
(주)캐프\*, 숭실대학교\*\*

Jeong-Goo Seo(jg.seo@capco.co.kr)\*, Euseon Kang(kanges86@naver.com)\*\*

### 요약

본 논문은 넓은 시야각을 갖는 어안렌즈로 촬영 시, 발생하는 방사 왜곡을 보정하는데 있어 왜곡의 중심을 추정하는 방법을 제안한다. FOV 왜곡 보정 모델의 경우 렌즈의 왜곡중심을 별도로 추정하지 않기 때문에 영상의 중심점과 렌즈의 왜곡중심의 오차가 클수록 왜곡보정의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 이에 본 논문은 광각 렌즈에서 FOV 모델과 2D 패턴을 이용하여 렌즈의 왜곡중심 추정을 통해 보다 정밀한 왜곡 보정 방법을 제안한다. 이를 위해 FOV 모델로부터 발생하는 왜곡곡선을 직선과 비교하여 곡선과 직선의 차가 가장 적은 위치를 왜곡의 중심으로 설정한다. 이 방법을 통하여 렌즈와 센서 중심점의 오차에 의해 발생하는 왜곡 중심 추정의 정확도를 향상시킬 수 있었고 실험결과를 통하여 확인할 수 있었다.

■ 중심어 : | 왜곡 보정 | FOV 모델 | 왜곡 중심 | 왜곡 오차 |

### Abstract

This paper presents a simple method to estimate center of distortion and correct radial distortion from fish-eye lens. If the center of image is not locate that of lens in a straight line, the disadvantage of FOV model is low accurate because of correcting distortion without estimated centre of distortion. We propose a method accurately estimating Distortion center using FOV model and 2D pattern from wide angle lens. Our method determines the center of distortion in least error between straight lines and curves with FOV model. The results of experimental measurements on synthetic and real data are presented

■ keyword : | Distortion Calibration | FOV Model | Center of Distortion | Distortion Difference |

## I. 서론

자동차 사고율을 줄이기 위한 운전자 보조 시스템은 차량에 설치된 다양한 센서로부터 얻은 데이터를 분석하여 운전자에게 제공하는 기술이다. 이중 Around View Monitor(AVM) 시스템은 차량 주변에 설치된

3개 이상의 카메라 장치에서 수신된 데이터를 합성하여 운전자에게 주변 영상 정보를 제공하여 주차 및 주행 시 추돌 사고를 사전에 예방할 수 있도록 하는 시스템이다. 일반적으로 승용차의 경우에 4개의 카메라를 전방, 후방, 좌측, 우측에 광각 렌즈를 장착하여 주변의 최대 수평, 수직 영상을 입력받는다. 초점거리는 짧지만

\* This work was supported by the Technology Innovation Program (or Industrial Strategic technology development program, A004700049, Information Composition and Recognition System for surrounding image possible for top view and panorama view of resolving power less than 10cm) funded By the Ministry of Trade, industry & Energy(MI, Korea)

접수일자 : 2013년 06월 24일

수정일자 : 2013년 08월 06일

심사완료일 : 2013년 08월 19일

교신저자 : 강의선, e-mail : kanges86@naver.com

120° 이상의 넓은 각도의 촬영이 가능한 광각렌즈는 굴곡 렌즈의 영향으로 렌즈 중심을 기준으로 광선이 가까운 곳을 지나는 것보다 멀리 지나는 광선이 더 많이 휘는 방사 왜곡이 발생한다. 이는 자동차에 내장되는 블랙박스 기구나 혹은 AVM 시스템에서 사용하는 광각의 영상을 얻기 위한 카메라에 장착되는 어안렌즈에서 많이 발생하는 왜곡이며, 이러한 왜곡 현상은 수집된 영상의 중앙보다는 영상의 가장자리로 갈수록 더 심하게 나타난다. 이러한 어안렌즈에서 발생하는 왜곡을 보정하기 위한 방법으로 왜곡 함수를 다항식 형태로 근사화 하는 방법과 렌즈의 비선형 왜곡특성에 기반으로 하는 기하학적 모델인 FOV(Field of View) 모델을 이용하는 방법이 사용된다. 다항식 왜곡 모델은 다항식 차수에 따라 계산 복잡도가 증가하고 어안렌즈의 화각이 클수록 적용하기 어려운 면이 있으며, FOV 모델은 어안렌즈가 비선형 왜곡을 기반으로 설계되었기 때문에 다항식 왜곡모델에 비해 효율적이나 왜곡 중심 설정에 오류가 있을 경우 추가적인 왜곡이 발생하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서의 190도 이상의 초광시야 각을 갖는 카메라 영상 신호에 발생하는 정밀 왜곡을 보정하기 위해서 중심이 되는 왜곡 중심을 추정하는 방법을 소개한다. 왜곡을 보정하기 위해 FOV 왜곡 모델과 격자무늬 2D 평면을 이용하여 왜곡이 최소화되는 왜곡 중심점을 찾는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 왜곡 보정과 관련된 기존 연구들을 기술하고, 3장에서는 제안하는 2D 평면을 이용한 왜곡중심 추정 방법을 기술하며, 4장에서는 실험 환경과 결과 그리고 5장에서는 결론을 기술한다.

## II. 관련연구

카메라로부터 입력받은 3차원공간의 영상을 컴퓨터가 처리 가능한 2차원 평면 영상으로 변환하기 위해서는 복잡한 연산이 필요하다. 이런 계산 복잡도를 줄이기 위해 핀홀(Pin Hole) 카메라 모델을 이용한다. 카메라로부터 영상의 중심점을 설정하기 위해 사용된 핀홀 카메라는 작은 구멍으로 받은 광축을 중심으로 2차원

평면상에 픽셀단위로 변환한다. 3차원 공간좌표를 2차원 영상좌표로 변환하기 위해서는 카메라의 설치 높이, 방향등과 같은 외부 파라미터와 카메라의 초점거리, 중심점등의 내부 파라미터가 필요하다. 내부 파라미터에서 초점거리는 초점과 이미지센서[CCD(Charge Coupled Device), CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)]와의 거리를 의미하는 것으로써 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$x_{screen} = f_x \left( \frac{X}{Z} \right) + C_x \quad y_{screen} = f_y \left( \frac{Y}{Z} \right) + C_y \quad (1)$$

$x_{screen}$  와  $y_{screen}$  은 2차원 평면상의 좌표이며  $f$  는 초점과 영상평면의 거리,  $Z$  는 물체와 초점까지의 거리,  $C$  는 투영 평면에서 좌표 중심의 이동 변위를 나타낸다. (1)식을 이용하여 영상이 2차원평면상에 보이는 위치를 구할 수 있다. 하지만 핀홀 카메라는 적은 양의 빛만 핀 홀을 통과하기 때문에 영상을 생성하기에는 많은 시간이 필요하다. 많은 영역의 빛을 모으기 위해 굴절렌즈를 사용하며 굴절된 빛들을 모아 영상을 인식하게 된다. 모여진 영상들을 2차원 평면에 투영하면 렌즈의 성질에 의해 영상 왜곡이 발생하는 문제점이 있다. 렌즈의 왜곡은 중심에서 멀어질수록 생성되는 방사 왜곡(radial distortion)과 타원형 형태로 왜곡 분포가 생성되는 접선왜곡(Tangential distortion)으로 나뉜다.

차량에 부착되는 렌즈는 어안렌즈로써 방사왜곡을 갖는다. 방사왜곡을 해결하기 위한 방법으로는 왜곡의 중심점과 왜곡 파라미터와 내부 파라미터를 이용하는 방법, 방사왜곡에 의해 직선이 왜곡된 곡선을 직선으로 옮기기 위해 다항식을 반복적으로 수행하는 방법, 영상정보만을 이용하는 방법이 있다. Heikkila[1]는 미리 알고 있는 체스판 모양의 영상을 이용하여 왜곡의 중심과 왜곡, 내부 파라미터를 찾는 방법으로써 카메라 캘리브레이션 과정과 왜곡 보정을 통합하여 내부와 왜곡 파라미터를 찾는 방법을 소개하였다. 이 방법은 왜곡이 심할 경우 효율적이지만 너무 심한 경우에는 반복수행 복잡도가 높아지는 단점이 있다. 김원식 외 2인[2]는 비대칭적 왜곡에서 180°의 전체 영상을 패턴으로 덮

기 위하여 직교하는 세 개의 평면 패턴을 소개하였다. 그리고 왜곡된 곡선들의 교차점들이 한 점으로 만나는 소실점을 찾아낸 후 왜곡의 중심점을 정의하고 왜곡 복원을 수행하였다. 이 방법은 리그의 특수한 구조에 의해 왜곡 모델과 파라미터에 의존하지 않기 때문에 다양한 렌즈에 적용 가능한 장점이 있지만 방사 비대칭 왜곡이 있는 경우에는 적합하지 않다. 조영국[3]은 왜곡 곡선을 직선으로 복원하기 위하여 구면의 중심, 왜곡된 한 점의 위치 그리고 보정된 위치 값을 이용하여 정의된 중심 반지름을 설정한 후 영상의 모든 위치에서의 새로운 반지름을 구한 뒤, FOV 모델에 적용하였다. 이 방법은 곡선을 직선으로 변경하기 위한 낮은 차수의 다항식을 사용함으로써 실시간 처리가 가능하지만 정밀도는 기존 방법에 비해 낮은 단점이 있다. Devernay와 Faugeras[4]는 선의 곡률을 최소화하기 위해 핀홀 카메라 모델의 특성을 이용하여 왜곡 전 직선이라 생각되는 왜곡 파라미터를 찾아내어 접선왜곡 보정 방법에 적용하였다. Thorsten[5]은 영상정보를 이용하여 왜곡된 곡선을 직선으로 보정하기 위해 2차원 영상에서 가장 긴 곡선들을 추출 및 제거한 후 나머지 곡선들에 대해 보정을 수행하였다. 하지만 곡선 검출 시 속도가 느리고 곡선 제거를 위해 고정된 하나의 임계값만을 이용하여 정확하게 제거가 되지 않는 장점이 있다 이를 위해 김병광 외 3[6]은 Hough 변환을 통하여 빠르게 선을 검출하고 제거하는 방법을 제시하였다.

비선형 렌즈 왜곡 특성에 기반으로 하는 FOV모델은 영상의 중심과 렌즈 왜곡 중심이 일치한다는 가정 하에서 왜곡을 보정한다. 하지만, 특수한 기능을 가진 렌즈와 여러 겹의 렌즈를 사용하는 카메라의 경우 제조 과정에서 중심점에 대한 오차가 발생하여 2차원 평면상에 투영이 되면서 미세한 중심 오차가 발생한다. 그러므로 왜곡 보정이 제대로 이루어지지 않을 뿐만 아니라 보정 후 추가적인 왜곡 영상을 얻게 된다. 이를 위해 Wang[8]은 계산 복잡도를 줄이기 위하여 영상 평면에서 3개의 직선을 선택하여 중심을 추정한 후 왜곡을 보정하는 방법을 소개하였다. 송문규 외 2인[9]은 투영된 2차원 영상으로부터 곡선을 추출하고 왜곡되지 않는 직선으로 변화시켜 추출된 곡선의 중심이 변화되는 방

향을 이용하여 왜곡의 중심을 추정한다. 하지만 검출된 선의 양과 왜곡 중심 부근의 선의 존재에 따라 정확도가 달라진다.

본 논문은 방사 왜곡을 보정하기 위하여 FOV모델과 2D 패턴을 이용하여 렌즈의 왜곡중심을 추정을 통해 보다 정밀한 왜곡 보정 방법에 대해 소개한다.

### III. FOV 모델과 2D 패턴을 이용한 왜곡중심 추정 방법

#### 1. 왜곡 중심 추정을 고려한 왜곡 보정 방법

왜곡중심을 고려하여 왜곡을 보정하는 순서는 [그림 1]과 같다. 본 논문에서는 어안렌즈로부터 입력된 영상의 왜곡을 빠르게 보정하기 위해 가장 먼저 2차원 평면인 체스패턴의 영상을 사용하였다. 왜곡된 체스패턴을 이용하여 FOV 모델을 적용하여 왜곡 계수를 추정한다. 추정된 왜곡 계수와 왜곡된 곡선 성분을 이용하여 왜곡의 중심점인 COD(Center of Distortion)을 찾는다. 왜곡 중심( $C_x, C_y$ )을 기준으로 FOV 모델을 이용하여 왜곡된 위치와 2차원 평면상의 위치의 관계에 대한 LUT(Lookup Table)을 구성한다. 오프라인에서 구성된 LUT를 이용하여 실제 영상에 적용하여 왜곡을 보정한다.

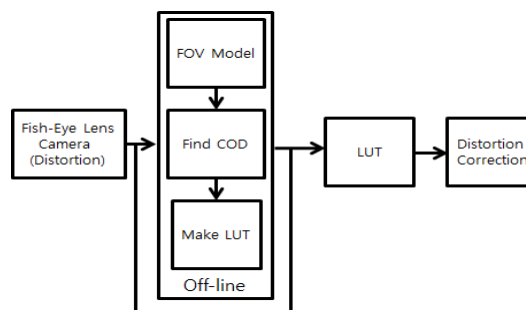


그림 1. 2D 평면 패턴을 왜곡 보정 알고리즘

#### 2. FOV(Field Of View) 왜곡 모델

FOV 렌즈를 통하여 카메라가 이미지를 담을 수 있는 각도로써 어안렌즈의 광학적 모델을 기초로 하고 있다.

FOV 모델[3][4]은 영상 이미지가 어안렌즈를 통하여 들어오면 렌즈에 투영되어 방사왜곡이 발생되므로 왜곡이 발생하는 좌표를 통하여 평면상에 위치하는 영상 위치 값을 계산하는 모델이다. 다음 그림은 FOV 모델을 보여주고 있다.

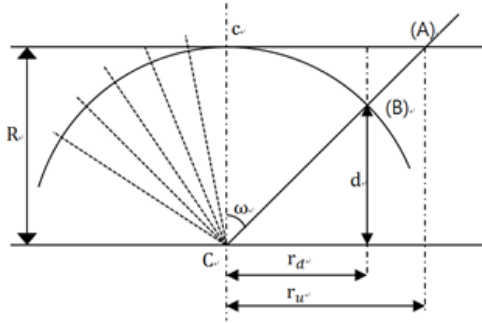


그림 2. FOV 모델

$r_u$ 는 구의 중심에서 평면 이미지의 한 점까지의 거리이고,  $r_d$ 는 구면상에 투영되는 왜곡된 위치까지의 거리이다. FOV 모델은 광학적 모델을 기초로 하므로 각도  $\omega$ 에 대해서 삼각 방정식에 의해 유도된다. 점(A)가 구 위의 평면으로 투영이 되는 방사왜곡으로 인해 (B)의 위치로 오게 되며, 어안렌즈를 통해 들어오게 되면 영상센서 상으로 투영이 되어 방사왜곡이 발생한다. FOV 모델은 왜곡 함수와 그의 역함수를 이용하여  $r_d$ 와  $r_u$ 를 구할 수 있다.

$$r_d = \frac{1}{2\omega} \arctan(2r_u \tan \omega) \quad (2)$$

$$r_u = \frac{\tan(r_d \tan \omega)}{2 \tan \omega} \quad (3)$$

위 식을 반지름 R로 변환하면

$$r_u = \frac{R \times r_d}{\sqrt{R^2 - r_d^2}} \quad (4)$$

로 정리할 수 있다.

### 3. FOV 모델의 왜곡 계수 추정

카메라 모델의 원리에 따르면[7] 왜곡이 없는 경우 3차원 세계에서의 직선은 카메라 모델에 의해 투영된 후에도 직선이어야 한다. 이는 실제의 직선 성분과 투영된 직선의 차가 크면 클수록 왜곡이 많다는 것이고, 적으면 적을수록 왜곡이 없음을 의미한다. 카메라의 왜곡 정도를 갖는 FOV 모델의 왜곡 계수( $\omega$ )에 의해서 왜곡의 정도를 확인 할 수 있다.  $q_{wi}$ 는 점  $p_i$ 가 FOV 모델의 왜곡 계수  $\omega$ 에 의해 왜곡 복원된 점이다. 왜곡 매개 변수 추정 논문[10]은 왜곡 계수에 대해서  $D^{-1}(\omega, p_i)$  함수의 관계에 대해서 표현하였고, 이를  $p_1$ 에서  $p_n$ 까지 알고리즘 적용 시에 거리의 최소의 자승의 선형 방정식을 구할 수 있다.

왜곡 계수( $\omega$ )에 대해서 오차 함수  $E_{ij}(\omega)$ 가 최소화 되는  $i, j$ 의 함수의 방정식을 구하면 왜곡 계수( $\omega$ )를 추정 할 수 있다. 카메라 왜곡중심에 대한 왜곡 보정 계수를 이용해서 보정을 할 수 있다.

$$q_{wi} = [x_{wi} \ y_{wi}]^T = D^{-1}(\omega, p_i) \quad (5)$$

$$\arg \min(\omega) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij}(\omega) \quad (6)$$

$$\arg \min(\omega) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij}(\omega) \quad (7)$$

표 1. 어라운드뷰 카메라 왜곡 중심 추정 결과 측정

	$Cod_x$	$Cod_y$
CAM #1	10	-9
CAM #2	10	0
CAM #3	4	3
CAM #4	-4	7

왜곡 계수 추정 방법을 이용하여 체스 판 패턴을 촬영 후, 왜곡 계수만으로 왜곡 보정이 빠르게 동작 되지만, 체스 판의 행, 열에 선분에 미세한 오차가 발생하는 것을 실험을 통해서 확인 할 수 있다. 초광각 카메라의 경우 렌즈의 nonlinear 특성과 영상의 주변부로 갈수록

캘리브레이션 오차가 커지기 때문에 FOV 모델을 이용한 왜곡 보정이 적합하다.

#### 4. 2D 패턴을 이용한 왜곡 중심 추정 방법

2D 패턴을 이용한 왜곡 중심 추정 방법은 FOV 모델의 왜곡 계수( $\omega$ )를 이용한 왜곡 보정 방법의 한계를 극복하기 위해서 제안한 방법이다. 본 논문은 왜곡 중심을 추정하기 위해 체스 패턴을 촬영한 후, 왜곡 보정이 된 영상 데이터에서 실제 직선과 투영 후 직선 간에 거리의 차의 값을 이용하여 왜곡 오차 값을 이용하여 왜곡 중심을 추정하였다.

왜곡 중심을 추정하기 위하여 가장 먼저 2D 패턴에 FOV 모델의 왜곡 계수를 이용하여 왜곡을 보정하였다. 그리고 FOV 모델 적용 시 설정된 왜곡 중심 주변의 일정 범위를 왜곡 중심 검출 윈도우로 설정한다.

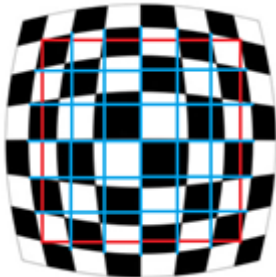


그림 3. 왜곡 중심 검출 윈도우와 직선 성분의 예

다음 단계로 왜곡 중심 검출 윈도우에 대해 Harris Cornet Detor[11]를 사용하여 검출된 코너 점을 이어 직선을 생성한다. [그림 3]는 왜곡 중심이 예상되는 검출 윈도우와 왜곡 오차를 계산하기 위한 직선을 나타낸 것이다. 직선의 교차점을 갖는 체스 패턴에서 각각의 코너 점인  $M \times N$ 개의 교차점을 찾고, 중요 점인 외각 교점을 이용하여 최 외곽의 점을 중심으로 수직으로  $M$ 개의 직선과 수평으로  $N$ 개의 직선을 생성하여 중앙에 비치되는 교차점의 유무를 검색하여 직선 내에 존재 유무를 평가한다. 수직, 수평의 왜곡이 적다는 것은 왜곡 중심이라는 것이고 직선에 가깝다는 것을 의미한다. 따라서 직선과 왜곡의 오차를 계산하여 왜곡 중심을 추정한다.

다. 이를 위해 행과 열 방향으로 각각 더하고, 왜곡 중심인  $c_x, c_y$ 에 대해서 최소한의 거리를 갖는 직선의 방정식을 구하면, 왜곡 중심을 추정 할 수 있다. 따라서 직선  $L_{i,c_x,c_y}$ 에 대해서 에러 점을 갖는 왜곡  $p_{ij,c_x,c_y}$  점에 대해서 거리를 계산한다.

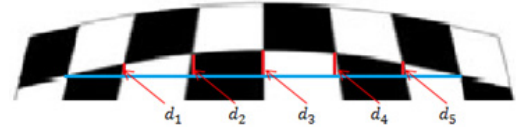


그림 4. 왜곡 오차

[그림 4]은 왜곡과 직선에 대한 오차를 나타낸 그림으로써 2D 체스 패턴에서 파란색 직선라인과 왜곡 패턴사이의 거리를  $d_n$ 으로 표현한 것이다. 그림에서 검출된 점들은 왜곡 정도를 확인하기 위해서 수직과 수평방향에 대해서 왜곡이 없는 직선에 대해 각 교차점과 직선과의 길이를 구하고 이를 내부 점들의 거리의 합 ( $d_1 + \dots + d_n$ )을 이용해서 왜곡 오차를 계산한다.

3차원의 실제 직선 성분과 투영된 선 성분의 거리의 차에 대한 제곱의 합이 최소가 되는 값을 찾는 것이다. 거리 계산을 위한 함수를 이용하여 행( $n$ )과 열( $m$ )의 직선 성분에 대해서 최소가 되는 거리를 계산하여 왜곡 중심( $c_x, c_y$ )을 추정한다.

$$E_{ij}(c_x, c_y) = \|L_{i,c_x,c_y} - p_{ij,c_x,c_y}\|^2 \quad (8)$$

$$E_{ji}(c_x, c_y) = \|L_{j,c_x,c_y} - p_{ji,c_x,c_y}\|^2$$

$$\arg \min(c_x, c_y) \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij}(c_x, c_y) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n E_{ji}(c_x, c_y) \right) \quad (9)$$

2D 패턴을 이용한 왜곡 중심 추정 방법은 최소한의 왜곡 거리를 갖는 점을 찾음으로써 정교한 왜곡 보정을 진행한다. 이렇게 함에 따라서 FOV 왜곡 보정 모델에 2D 패턴을 이용한 왜곡 거리 최소 추정 방법을 적용하여 정교한 왜곡 보정을 할 수 있다. 추정된 왜곡 중심을 이용하여 왜곡된 위치에 대한 2차원 평면상의 위치에

대해 LUT(Lookup Table)을 구성하여 실제 영상에 적용한다.

#### IV. 실험 및 평가

왜곡 보정 알고리즘을 확인하기 위해서 다음과 같이 왜곡 보정 시험 장치를 개발하였다. 시험을 위한 하드웨어 구성은 노트북, USB 카메라, 광각 렌즈, 체스 패턴 등으로 실험 환경이 구성된다. 각 구성요소에 대해서 살펴보면 다음과 같다. i7 노트북으로 4GB 램, 윈도우7 OS, Visual Studio 2010, OpenCV 2.4.4, 환경에서 개발했다. 프로그램에서 1/4 CCD를 이용한 USB 카메라를 접속하여 720P 영상을 취득하여 왜곡보정을 한다. 카메라의 렌즈는 광각으로 1/4 카메라 렌즈, Optical FOV Horizontal 195°, Vertical 159°, Distortion Less than 2%의 SPEC 제품을 사용한다. 2D 패턴인 체스 판은 블랙/화이트로 구성되며, 가로 11개, 세로 6개로 구성되어 있으며, 이미지 파일을 구성하는 하나의 사각형은  $163_{pixel} \times 163_{pixel}$  이지만, 실제 길이는 45mm 인 정사각형으로 체크 패턴을 이용하여 실험에 사용한다.

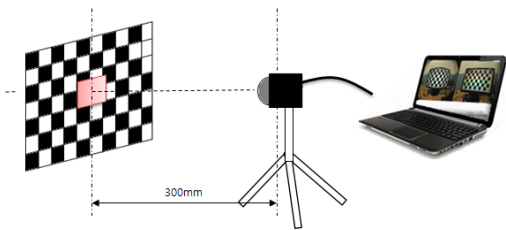


그림 5. 광각 렌즈 카메라를 이용한 왜곡 보정 실험 환경

[그림 5]에서 보이는 것과 같이 광각 렌즈를 장착한 카메라의 왜곡 보정 실험을 진행하고자 2D 체스 판을 중앙에 배치하였으며 실시간으로 카메라 영상을 PC에서 재생하고, 제안하는 알고리즘이 실시간 처리되도록 실험 환경을 구축한다.

FOV 모델에서 정확한 왜곡 중심( $C$ )을 설정한 후 왜곡을 보정하면 [그림 6]과 같이 모든 직선들이 거의 완벽하게 복원되는 것을 확인할 수 있다. 이는 왜곡 보정

과정에서 반복적으로 왜곡 중심을 설정한 결과이다.



그림 6. FOV 모델을 이용한 왜곡 보정



그림 7. 왜곡중심 오차 시 결과 화면 (X축: -30pixel, Y축: +30pixel)

하지만 렌즈 왜곡 중심으로부터 오차를 갖는 영상의 중심점을 왜곡 중심이라 가정하고 왜곡보정을 수행했을 경우에는 [그림 7]과 같이 추가적인 왜곡이 발생하였다. 왜곡 중심을 분석한 결과 동일 영상에 대해 X축으로 -30pixel, Y축으로 30pixel 정도의 미세한 오차를 부여했을 때, 특정 방향성을 갖는 미세한 곡선으로 표현되는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 왜곡 중심의 오차에 비례하여 왜곡이 더 심해진다는 것을 의미한다. 그 이유는 여러 겹의 렌즈를 사용하는 카메라의 경우 제조 과정에서 광축에 대한 중심점의 불일치로 2차원 평면상에 투영 시 미세한 중심 오차가 발생한다. 따라서 왜곡중심을 별도로 추정하지 않는 FOV 모델을 적용할 경우 영상의 중심점과 렌즈의 왜곡중심의 오차가 클수록 왜곡보정의 정확도가 떨어지는 문제점이 있다. 왜곡 보정의 대표적인 방법인 Zhang 알고리즘[13]에 의한 측정 각도에 대한 오차에 대한 실험을 [표 2]의 4차 측정치와 같이 존재 한다. 또한 렌즈의 중심이 이미지의 X축으로 오른쪽 Y축으로 위쪽으로 편향되는 현상이 확인 되었다.

표 2. Zhang 알고리즘을 이용한 왜곡 중심 추정 결과

	Cx	Cy
1차 측정	10.06	-18.25
2차 측정	9.54	2.423
3차 측정	28.12	-11.1
4차 측정	12.05	-12.63

이에 본 논문FOV 모델에서 왜곡중심을 추정하지 않아서 발생하는 직선이 곡선으로 표현되고, 한쪽의 편향되어서 표현되는 문제를 왜곡중심 정밀 보정을 통해서 해결하였다. [그림 8]과 [그림 9]는 FOV 모델에서 왜곡 중심을 수직과 수평방향에 대해 추정한 후 보정한 결과이다.



(a) 수직 방향에 대한 왜곡 중심 추정



(b) 수평 방향에 대한 왜곡 중심 추정

그림 8. FOV 모델을 이용한 수직, 수평 방향에 대한 왜곡 중심 추정

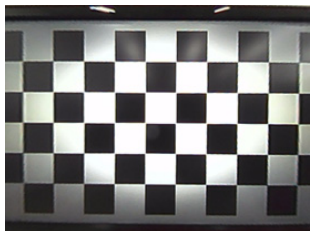


그림 9. 왜곡 중심 추정 방식을 이용하여 보정된 결과

표 3. 제안한 왜곡 추정 방법 결과

	$C_x$	$C_y$
1차 측정	10	-11

편향된 왜곡 중심에 의해서 잘못 왜곡 되는 경우에는 [그림 8]에서 표현되는 것과 같이 수직 방향으로 보정되지만, 수평으로 보정되지 않는 현상, 수평으로는 보정되지만, 수직으로는 보정되지 현상을 볼 수 있다. 이러한 현상은 왜곡 보정을 위한 왜곡 중심축이 잘못 지정되어 발생하는 것으로 이러한 오류를 최소화하기 위해서 체스판 패턴과 같은 2D 패턴을 이용한 왜곡 중심 추정 방법을 이용하여 왜곡의 정교한 중심축을 찾을 수 있었다. 이는 카메라 내장 시, 혹은 실험 구성 시에 발생하는 기구적인 오류에 의해서 발생하는 왜곡 보정 오류를 최소화 할 수 있다.

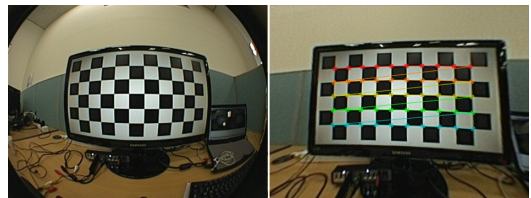
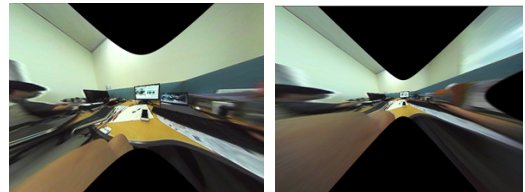


그림 10. 2D 평면 패턴을 이용한 왜곡 중심 보정 결과



(a) 왜곡 된 영상

(b) 왜곡된 보정 결과



(c) 왜곡된 보정 결과

(d) 왜곡된 보정 결과

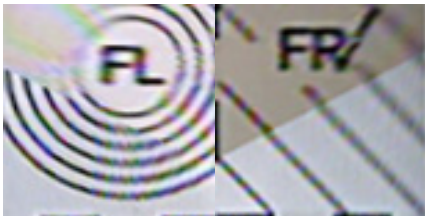
그림 11. 실제 영상을 이용한 실험 결과

[그림 11]은 190도 광각 카메라의 영상 데이터를 받아 실시간으로 왜곡을 보정한 결과이다. [그림 11](b)에

서 보면 왜곡된 모니터의 수직, 수평에 대해서 왜곡 보정된 것으로 볼 수 있다. (d)는 원본 영상을 왜곡 보정했을 때의 결과 영상이고, 이를 확대하면 (c), (b)와 같은 영상으로 확대 된다. 광각 렌즈에 의해서 취득된 영상을 왜곡 보정하면, 무한대 크기의 영상으로 변환되며, 모니터링 및 합성 등으로 이용할 때는 적당한 배율로 클리핑하여 사용한다.



(a) 왜곡 중심 추정 값 적용 전, 영상 합성



(b) 왜곡 중심 추정 값 적용 후, 영상 합성

그림 12. 왜곡 중심 추정 전, 후 영상 합성 비교

[그림 12]에서와 같이 왜곡 중심 적용 전후 영상 정합 경계면에서 유의미한 차이가 보인다. 왜곡 중심 추정은 단일 카메라의 품질보다는 여러 개의 카메라 입력을 합성하는 경우에 합성 품질에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

## V. 결과

영상처리 기술이 자동차에 적용되는 경우가 증가되고 있으며, 블랙박스 시스템, 어라운드뷰 모니터링 시스템 등, 사고 발생 시 정보 기록 및 안전 운행 보조 역할의 임베디드 시스템이 많이 사용되고 있다. 카메라의 렌즈는 190도 이상의 각도의 영상을 VGA, HD, Full HD 급으로 기록하고자 있으며, 적은 해상도에 많은 영

상을 담기 위해서 광 시야각 렌즈를 사용한다. 이렇게 취득된 영상을 영상처리 혹은 영상 인식하거나 사용자에게 모니터링을 위해서는 왜곡 보정이 필수적으로 사용된다.

본 논문은 카메라 모델의 왜곡 보정 방법으로써 왜곡 중심 보정 방법을 FOV 모델을 이용하여 최적화시키고 2D 패턴을 이용하여 왜곡 중심을 찾고, 보정하는 방법을 제시하였다. 제안하는 방법에 의해서 수직, 수평에 대해서 완벽한 왜곡 보정이 이루어지며, 실상의 영상의 크기 및 왜곡이 제거된 영상을 취득 하여 영상처리 하거나, 인식, 혹은 사용자 모니터링용으로 사용할 수 있게 되었다. 특히 어라운드뷰에서 미세한 왜곡 발생으로 인하여 다채널 영상의 합성에서 발생하는 합성 오차를 최소화 할 수 있게 될 것이다.

## 참고 문헌

- [1] J. Heikkila, "Geometric camera calibration using circular control points," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.19, pp.1066-1077, 2000(10).
- [2] 김원식, 백영기, 이경무, "직교하는 세 개의 평면 패턴을 이용한 광각 렌즈의 방사 왜곡 보정 기법", 제19회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵 발표 논문집, pp.560-565, 2007.
- [3] 조영국, 차량용 전방위 카메라 모듈 시스템을 위한 어안렌즈의 왜곡 보정, 동국대학교 석사학위논문, 2010.
- [4] F. Devernay and O. Faugeras, "Straight lines have to be straight-automatic calibration and removal of distortion from scenes of structured environments," Mach. Vision and Appl, Vol.13, No.1, pp.14-24, 2001(8).
- [5] T. Thorste and B. Hellward, "Automatic line-based estimation of radial lens distortion," Integrated Computer-Aided Engineering, Vol.12, No.2, pp.177-190, 2005.



- [6] 김병광, 정순욱, 송문규, 송우진, “영상 정보만을 이용한 방사 렌즈 왜곡 보정”, 제23회 신호처리 합동 학술대회 논문집, pp.423-426, 2010(10).
- [7] S. Shah and J. Aggarwal, “Intrinsic parameter calibration procedure for a (higher distortion) fisheye lens camera with distortion model and accuracy estimation,” *Pattern Recognition*, Vol.29, No.11, pp.1775-1788, 1996.
- [8] A. Wang, T. Qiu, and L. Shao, “A Simple Method of Radial Distortion Correction with Centre of Distortion Estimation,” *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.35, No.3, pp.165-172, 2009(11).
- [9] 송문규, 김병광, 송우진, “방사형 렌즈 왜곡의 중심 추정 기법”, 제23회 신호처리 합동 학술대회 논문집, pp.289-292, 2010(10).
- [10] T. Chao, *Wide-scoped Top-view Monitoring and Image-based Parking Guiding*, Master's Thesis, 2009.
- [11] C. Harris and M. J. Stephens, “A combined corner and edge detector,” In *Alvey Vision Conference*, pp.147-152, 1988.
- [12] 이승우, 송영준, 김남, “3차원 입체영상에서 양선형 보간법을 이용한 키스톤 왜곡 보정”, 한국콘텐츠학회 2006 추계 종합학술대회 논문집, 제4권, 제2호, pp.524-527, 2006.
- [13] Z. Zhang, “A flexible new technique for camera calibration,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.22, No.11, pp.1330-1334, 2000.

## 저자 소개

## 서정구(Jeong-Goo Seo)

정회원



- 1997년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
- 2000년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학석사)
- 2013년 1월 ~ 현재 : (주)케프 책임연구원

<관심분야> : 영상처리, 임베디드 시스템, 지능형 자동차

## 강의선(Euiseon Kang)

정회원



- 2002년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과(석사)
- 2007년 2월 : 숭실대학교 미디어학과(박사)
- 2007년 ~ 현재 : 숭실대학교 베어드학부 교수

<관심분야> : 멀티미디어, 영상처리, 지능형 자동차