

## 비대칭 왜곡 어안렌즈를 위한 영상 손실 최소화 왜곡 보정 기법

조영주<sup>1</sup> · 김성희<sup>1</sup> · 박지영<sup>1</sup> · 손진우<sup>2</sup> · 이중렬<sup>2</sup> · 김명희<sup>1†</sup>

### Image Data Loss Minimized Geometric Correction for Asymmetric Distortion Fish-eye Lens

Young Ju Cho · Sung Hee Kim · Ji Young Park · Jin Woo Son · Joong Ryoul Lee · Myoung Hee Kim

#### ABSTRACT

Due to the fact that fisheye lens can provide super wide angles with the minimum number of cameras, field-of-view over 180 degrees, many vehicles are attempting to mount the camera system. Not only use the camera as a viewing system, but also as a camera sensor, camera calibration should be preceded, and geometrical correction on the radial distortion is needed to provide the images for the driver's assistance. In this thesis, we introduce a geometric correction technique to minimize the loss of the image data from a vehicle fish-eye lens having a field of view over 180°, and a asymmetric distortion. Geometric correction is a process in which a camera model with a distortion model is established, and then a corrected view is generated after camera parameters are calculated through a calibration process. First, the FOV model to imitate a asymmetric distortion configuration is used as the distortion model. Then, we need to unify the axis ratio because a horizontal view of the vehicle fish-eye lens is asymmetrically wide for the driver, and estimate the parameters by applying a non-linear optimization algorithm. Finally, we create a corrected view by a backward mapping, and provide a function to optimize the ratio for the horizontal and vertical axes. This minimizes image data loss and improves the visual perception when the input image is undistorted through a perspective projection.

**Key words** : Vehicle fish-eye lens, Asymmetric distortion, Geometric correction

#### 요약

180도 이상의 영역을 획득하는 어안렌즈(fisheye lens)는 최소의 카메라로 최대 시야각을 확보할 수 있는 장점으로 인해 차량 장착 시도가 늘고 있다. 이와 같이 어안렌즈를 통해 시야를 확보하고, 영상센서로 사용하기 위해서는 캘리브레이션 작업이 선행되어야 하며, 운전자에게 현실감 있는 영상을 제공하기 위해서는 이를 이용하여 방사왜곡(radial distortion)에 따른 기하학적인 왜곡 보정이 필요하다. 본 논문에서는 비대칭 왜곡을 가진 180도 이상 화각의 차량용 대각선 어안렌즈를 위해 영상 손실을 최소화하는 왜곡 보정 기법을 제안한다. 왜곡 보정은 왜곡 모델이 포함된 카메라 모델을 설정하고 캘리브레이션 과정을 통해 카메라 파라미터를 구한 후 왜곡이 보정된 뷰를 생성하는 과정으로 이루어진다. 먼저 왜곡모델로서 비선형의 왜곡 형상을 모방한 FOV(Field of View)모델을 사용한다. 또한 비대칭 왜곡렌즈의 경우 운전자의 좌우 시야각 확보에 중점을 두어 수직 화각보다 수평 화각이 크게 설계되었기 때문에 영상의 장축, 단축의 비율을 일치시킨 후 비선형 최적화 알고리즘을 사용하여 카메라 파라미터를 추정한다. 최종적으로 왜곡이 보정된 뷰 생성 시 역방향 사상과 함께 수평, 수직 방향에 대한 왜곡 보정 정도를 제어 가능하도록 함으로써 화각이 180도 이상인 영상에 대해서 핀홀 카메라 모델을 적용하여 2차원 평면으로 영상을 보정하는 경우 발생하는 영상 손실을 최소화하고 시각적 인지도를 높일 수 있도록 하였다.

**주요어** : 차량용 어안렌즈, 비대칭 왜곡, 왜곡 보정

\* 이 연구는 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업 및 지식경제부 및 문화체육관광부의 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2008-F-033-02, e-Entertainment를 위한 실시간 물리 시물레이션 기술 개발)

2009년 6월 30일 접수, 2009년 12월 7일 채택

<sup>1)</sup> 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과

<sup>2)</sup> 현대·기아자동차 연구개발 총괄본부 ASV 개발팀

주 저 자 : 조영주

교신저자 : 김명희

E-mail: mhkim@ewha.ac.kr

## 1. 서 론

자동차 보유량의 급격한 증가와 여성운전자 확대, 운전자의 고령화에 따라 운전자 계층이 다양해짐으로써 다양한 기술 융합을 통하여 안정성 및 편의성을 획기적으로 향상시킬 고안전 지능형 자동차 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 카메라 비전 기술은 지능형 자동차 기술 중에, 사고 위험성을 미리 감지하여 운전자에게 정보를 제공하는 예방 안전 기술에 널리 이용될 수 있다. 대표적으로 자동차 후방 카메라는 운전자가 전방을 향해 운전하고 있을 때 후방 영상 및 사각지대 영상을 제공함으로써 써 주차 시 안전성을 높여주고 있다. 하지만 광각렌즈를 사용하는 후방 카메라는 좁은 화각으로 인해 운전자에게 제한된 영역만을 제공하기 때문에 더 넓은 영역의 정보를 제공할 수 있는 영상 시스템에 대한 필요성이 커지고 있다.

운전자 시야 확보를 위해 차량에 장착되는 카메라에 어안렌즈를 적용하게 되면 최소의 카메라 수로 최대의 시야각을 확보할 수 있기 때문에 최근 180도 이상의 초광각 카메라의 차량 도입이 시도되고 있다. 이와 같이 어안렌즈를 통해 시야를 확보하고, 영상 센서로 사용하기 위해서는 캘리브레이션 작업이 선행되어야 하며, 운전자에게 현실감 있는 영상을 제공하기 위해서는 이를 이용하여 방사왜곡(radial distortion)에 따른 기하학적인 왜곡 보정이 필요하다. 그러나 기존의 방식은 고가의 세팅이나 장비를 필요로 하거나<sup>[1,2]</sup>, 특수한 카메라에 대해서만 적용 가능한 카메라 모델 및 캘리브레이션 알고리즘을 제안하여 범용적으로 적용하지 못하는 경우가 많다.

본 논문에서는 기존 방식과 달리 비대칭 왜곡을 가진 차량용 대각선 어안렌즈 왜곡 보정을 위한 범용 카메라 캘리브레이션 방법과 영상 손실을 최소화 하는 왜곡 보정 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 왜곡 보정 방법 관련 연구를 기술하고, 3장에서는 비대칭 왜곡 보정을 위한 카메라 캘리브레이션 방법을 기술하며, 4장에서는 왜곡 보정 뷰 생성 방법을 기술하며, 5장에서는 실험 결과, 6장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 비측량적 왜곡 보정

3차원 공간에 대한 사전 정보 없이 영상의 정보를 이용하여 왜곡 보정을 하는 비측량적 접근 방법을 사용한 왜

곡 보정은 직선이 직선으로 보아야한다는 목적함수를 계산하기 위한 다항식을 정의하고 다항식의 왜곡 계수를 반복적으로 계산하여 왜곡을 보정하는 방법으로 정밀함에 있어서는 우수하지만 복잡하고 계산 량이 많다.

Brown<sup>[3]</sup>은 공간상의 평면 위에 직선이 그려진 장면을 원근 투영하면 그대로 직선인 영상이 나와야 된다는 사실을 이용하여 보정을 하였지만 영상의 노이즈 문제를 해결하지 못했다. Kang<sup>[4]</sup>은 단일 영상을 통해 공간에서 평행인 직선으로 이루어진 방사왜곡 스네이크(radial distortion snakes)를 이용하여 파라미터를 예측하였지만 지정 영역의 왜곡만을 지역적으로 보정하는 단점이 있다. Shin<sup>[5]</sup>은 앞서 언급한 다항식이 아닌 기하학 접근을 하였다. 어안렌즈를 변형 타원체로 모델링하여, 평면으로 투영된 영상에서 공간상의 직선이 가장 직선으로 보이도록 하는 변형 타원체의 파라미터를 구했다. 이런 경우, 왜곡 보정 영상은 구할 수 있지만 실제 3차원과 2차원 영상 평면 좌표간의 변환 관계를 구할 수 없어 2차원 영상의 특정한 점이 실제 어떤 광선을 통해 들어왔는지 계산할 수 없다는 한계를 지니고 있다.

### 2.2 측량적 왜곡 보정

측량적 접근 기법은 3차원 공간의 정보를 사전에 파악할 수 있는 캘리브레이션 패턴에 대한 영상을 획득하여, 영상 내의 특이점(feature point)들을 인식해내고 이들 사이의 대응관계로부터 왜곡을 보정한다. 이 방법은 앞선 비측량적 접근 방법보다 정확하지만 대응점들을 찾는 작업은 획득 영상의 정확도와 밀접하여 노이즈에 매우 민감하다<sup>[6]</sup>.

외부 파라미터, 내부 파라미터를 2단계로 계산하는 프레임워크를 소개한 Tsai<sup>[7]</sup>의 카메라 모델은 사각 패턴을 이용하여 원근 투영과 1차 방사 렌즈 왜곡의 핀홀 모델에 기반을 두었고, Zhang<sup>[8]</sup> 알고리즘은 여러 장의 영상을 취득하는 방식으로 3차원 카메라 캘리브레이션에 많이 사용된다. Abidi<sup>[9]</sup>의 방법은 측량적인 접근으로 측정 판을 이용하여 직교 좌표계의 x, y 축에서 서로 다른 2차 곡면(quadric)표면을 알아낸 후, 평면으로의 투영 연산을 통해 영상을 보정했다.

### 2.3 어안렌즈 카메라 캘리브레이션

Shah and Aggarwal<sup>[10]</sup>은 캘리브레이션 패턴 특징점의 3차원 위치를 이용하여 캘리브레이션을 수행하여 초점거리, 픽셀 사이즈, 방사 및 접선방향 왜곡을 추정하였다. 광학 중심이 레이저빔에 의해 결정되고 5차 다항식 모델을

사용해 방사 및 접선방향 왜곡을 보정했다. 캘리브레이션은 라그랑제 함수 최소화에 기초를 두었다. Beauchemin et al.<sup>[11]</sup>과 Bakstein and Pajdla<sup>[12]</sup>는 이미 알고 있는 격자무늬 패턴을 사용해서 어안렌즈 캘리브레이션을 수행했는데 4개 매개변수 비 다항식(non polynomial)모델로 장면에서 센서까지의 비선형 투영을 계산했다. Swaminathan and Nayer<sup>[13]</sup>와 Brauer-Burchardt and Voss<sup>[14]</sup> 어안렌즈로 찍은 이미지의 비선형 렌즈 왜곡을 연직선(plumb line) 방법을 사용하여 제거했다. Xiong and Turkowski<sup>[15]</sup>는 4개의 이미지를 어안렌즈 카메라를 회전시켜 얻은 상관관계로 연관시켜 캘리브레이션 하였다.

이러한 방법들은 획득 영상이 원형으로 출력되는 원상 어안렌즈를 대상으로 한 방법으로 영상의 외곽선이 나타나지 않는 대각선 어안렌즈에는 적합하지 않다.

### 2.4 초광각 카메라 캘리브레이션

초광각 카메라의 경우, Micusik<sup>[16]</sup>은 실린더 모형 장치로 카메라 특성을 일차적으로 파악하고, 카메라를 고정한 후 캘리브레이션 패턴이 회전 가능한 3차원 캘리브레이션 장치를 제작하여 캘리브레이션을 수행하였다. Heikkila<sup>[17]</sup>은 화각이 넓은 렌즈에 적합하도록 3m 크기의 캘리브레이션 패턴을 제작하였다. 앞선 방법들은 특수한 카메라에 대해서만 적용 가능한 카메라 모델 및 캘리브레이션 알고리즘을 지니고 있다.

다음으로, 캘리브레이션 패턴이나, 특별한 장치 없이 카메라 특성을 파악하는 셀프 캘리브레이션에 대한 연구도 많이 이루어졌다. 이는, 3차원 공간에 대한 사전 정보 없이 영상 시퀀스(sequence)에 대한 특징점 정합 결과를 이용하여 카메라의 파라미터를 계산하는 기법이다<sup>[18,19]</sup>. 이는 넓은 패턴 없이, 실제 공간의 직선 및 다양한 특징점을 활용한다는 측면에서는 효율적이나 셀프 캘리브레이션 자체의 불안정과 내부 변수 수정 과정에서 발생하는 오차 성분에 민감하다.

## 3. 비대칭 왜곡 보정을 위한 캘리브레이션

### 3.1 비선형 최적화 기반 카메라 파라미터 계산

비대칭 왜곡렌즈의 경우 수직 화각보다 수평 화각이 크게 설계되었기 때문에 영상의 캘리브레이션 단계 전에 영상 장축, 단축 비율을 일치시켜야한다. 본 논문의 렌즈는 대각선 어안렌즈로 영상의 외곽선이 나타나지 않기에 타원체 적합화(ellipse-fitting) 알고리즘을 사용하여 스케일링 인자  $Spre_x$ 를 계산하고, 이를 특징점 좌표 변

환에 적용하여 비율을 일치시킨다.

그림 1과 같이 패턴의 양 끝 부분에 최소 5개의 정점을 찍어 타원을 구할 수 있으며, 이를 이용하여 식 (1)과 같이 장축과 단축 길이의 비율로  $Spre_x$ 를 구하여 특징점 좌표에 곱한다.

$$Spre_x = \frac{E_y}{E_x} \tag{1}$$

카메라 캘리브레이션 단계에서는 패턴을 촬영한 카메라 영상에서 추출한  $n_i$ 개의 특징점을 이용하여 식 (2)를 최소화함으로써 각 카메라 파라미터에 대한 최적값을 추정한다.

$$E = \sum_{i=1}^N \left\| n_i - \hat{n}(R, T, f, K, \omega) \right\|^2 \tag{2}$$

$\hat{n}(R, T, f, K, \omega)$ 은 왜곡되지 않은 점을 외부 파라미터  $R$ 과  $T$ , 내부 파라미터  $f, K, \omega$ 를 사용하여 왜곡시킨 점이다. 본 논문에서는 비선형 최적화를 위해 Levenberg-Marquardt 알고리즘<sup>[14]</sup>을 사용하였다.

실세계 좌표계  $Xw$ 와 카메라 좌표계  $Xc$  사이의 변환은 외부파라미터  $R$ 과  $T$ 를 사용하여 식 (3)으로 나타낸다.  $R$ 은 3×3 회전행렬이고,  $T$ 는 3×1 이동행렬이다.

$$\begin{bmatrix} Xc \\ Yc \\ Zc \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0^r & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xw \\ Yw \\ Zw \\ 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

카메라 좌표계  $Xc$ 에서 2차원 영상으로 투영 될 때, 이 둘 사이의 관계는 점 사영(point projection)에 기반한 핀홀(pin-hole) 카메라 모델로 가정한다. 이때, 다양한 사영 기법 중 원근 사영(perspective projection)에 따라 원거리

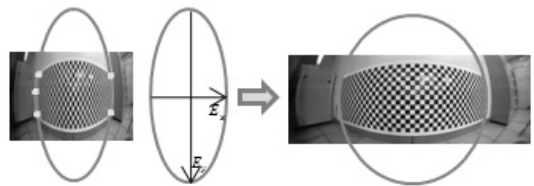


그림 1. 대각선 어안렌즈 스케일링 인자 계산

물체는 작게, 근거리 물체는 크게 표현된다.

내부 파라미터  $f$ 는 그림 2와 같이 사영 중심과 영상 평면 사이의 거리로 아래 식 (4)에서 3차원의 한 점  $P=(X_c, Y_c, Z_c)$ 를 영상 평면의 점  $P'=(x, y)$ 로 변환하는데 사용된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

최종적으로 입력영상은 디지털로 저장되기 때문에 CCD, CMOS와 같은 센서의 특성에 영향을 받는다. 따라서 저장되는 픽셀이 정사각형이 아닌 경우에 영상의 두 좌표축의 크기에 대한 스케일링 인자(*scaling factor*)  $K$ 를 고려해야한다<sup>[15]</sup>. 카메라 영상 좌표계와 실영상 좌표계간의 변환에서 센서에 따른 변형은 내부 파라미터  $K$ 를 고려하여 이를 주점의 좌표와 곱한다.

$$K = \begin{bmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)의  $s_x$ 와  $s_y$ 는 이미지 평면의 x축과 y축에 대한 스케일링 정도를 나타낸다.

다음으로 고려할 부분은 왜곡에 따른 영상의 변형이다. 어안렌즈는 비선형의 왜곡을 기반으로 설계되었기 때문에 이상적인 어안렌즈에 대응되는 화각  $\omega$ 를 하나의 왜곡 상수로 갖는 FOV(Field of View)모델<sup>[16]</sup>을 사용하여 영상을 왜곡 시킨다.

FOV 모델은 그림 3과 같이 영상의 중심 점 C(*principle point*)에서 영상 평면상의 한 점  $m$ 사이의 거리는 대응되는 3차원 상의 한 점  $M$ 과 광축( $Cz$ )이 이루는 각도에 비

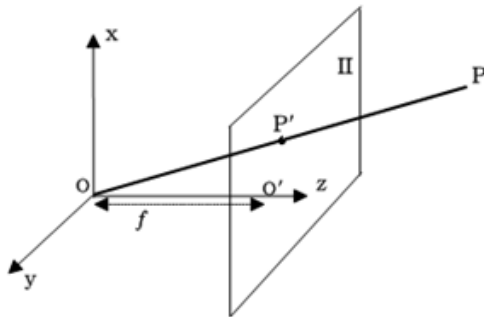


그림 2. 원근 사영에 의한 피사체와 영상 평면 사이의 관계

례한다고 가정한다.

FOV 모델의 왜곡 함수는 식 (6)과 같이 정의한다.

$$r_d = \frac{1}{\omega} \arctan(2r_u \tan \frac{\omega}{2}) \quad (6)$$

렌즈의 왜곡이 없는 경우, 영상 중심에서 해당 픽셀까지의 거리  $r_u$ 는 식 (6)에 의해 왜곡되어 왜곡된 거리  $r_d$ 가 된다. 이때 왜곡 화각  $\omega$ 는 카메라 내부 파라미터가 된다.

### 3.2 캘리브레이션 이원화

내부 파라미터는 카메라의 고유 속성으로 값이 고정적이며 외부 파라미터는 카메라의 위치 및 각도에 따라 값이 변하게 된다.

일원화 캘리브레이션은 내부, 외부 파라미터를 동시에 구하는 방법으로 카메라의 위치 및 각도를 변경하는 경우 모든 파라미터가 재계산된다.

본 논문에서는 비선형 최적화 알고리즘을 사용하여 미지수로 둔 모든 파라미터 값을 한 번에 구하기 때문에 일원화 캘리브레이션 방법을 사용하는 경우 카메라 위치 및 각도 변경 시 불필요하게 내부 파라미터까지 계속적으로 구하게 된다.

캘리브레이션 과정을 그림 4와 같이 이원화하여 수행하게 되면 한 번의 캘리브레이션 과정을 통해 내부 파라미터를 얻고 이를 입력 값으로 사용하여 카메라의 위치 및 각도가 변경 될 때마다 외부 파라미터 값만 구하므로 불필요한 내부 파라미터 계산을 피하고 미지수가 외부 파라미터만으로 줄어들기 때문에 연산 속도가 개선된다.

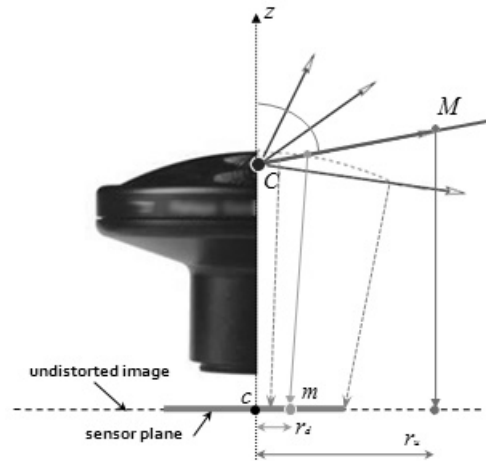
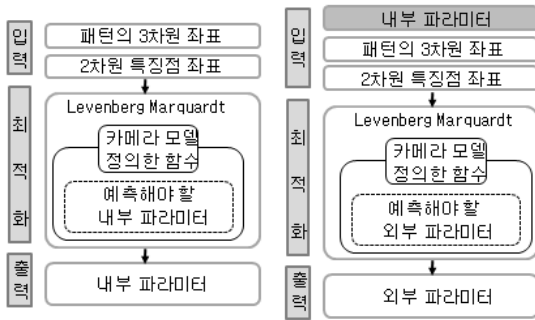
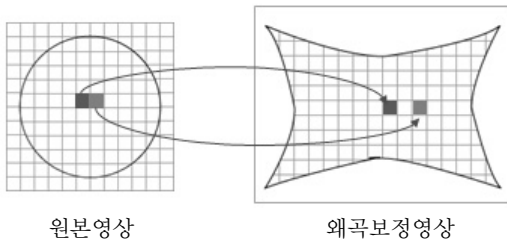


그림 3. FOV 왜곡 모델



(a) 내부 파라미터 추출 (b) 외부 파라미터 추출

그림 4. 캘리브레이션 이원화 방법



원본영상 왜곡보정영상

그림 5. 전방향 사상

## 4. 왜곡 보정 뷰 생성

### 4.1 역방향 사상 방법을 통한 왜곡 보정 모델

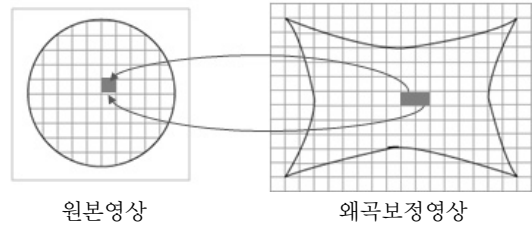
전방향 사상은 어떤 사상 함수에 있어 입력 픽셀이 출력 픽셀로 이동하는 것을 일컫는다. 왜곡영상에서 보정영상을 얻을 수 있는 함수를 구한 후, 직접 왜곡 영상에 적용시켜서 사상을 하는 방법이다.

그림 5와 같이 이 방법은 왜곡 영상 좌표에 식 (6)의 역함수  $R^{-1}$ (식 (7))을 적용하여 보정될 영상의 좌표를 계산한 후, 이 좌표에 왜곡영상의 픽셀을 할당한다.

$$r_u = \frac{\tan(r_d \omega)}{2 \tan \frac{\omega}{2}} \quad (7)$$

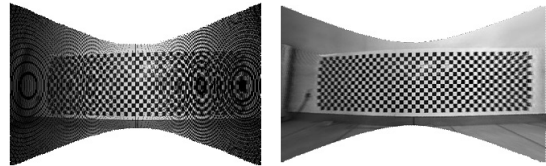
이러한 방법을 사용하면 보정영상에서 공백픽셀이 발생하여 추가적인 보간법이 요구된다. 공백 문제를 해결하기 위해서 보간법을 수행하게 되면 실시간으로 보정 영상을 제공하기 힘들다.

이를 해결하는 방법으로 역방향 사상을 사용한다. 역방향 사상은 그림 6과 같이 미리 보정된 영상을 가정하고, 이 영상의 점들이 카메라 모델에 의해 왜곡 영상의 어느



원본영상 왜곡보정영상

그림 6. 역방향 사상



(a) 전방향 사상 (b) 역방향 사상

그림 7. 전방향 사상 및 역방향 사상

픽셀에 사상되었는지 추정하는 방법이다.

보정영상의 좌표  $M_u = (X_u, Y_u)$ 에 왜곡함수 식 (8)을 적용하여 왜곡영상 좌표  $M_d = (X_d, Y_d)$ 으로부터 해당 픽셀의 값을 취한다.

$$x_d = x_u + w_i x_u \sum_{l=1}^{\infty} w_l R_l^i \quad (8)$$

영상 중심에서 해당 픽셀까지의 거리가 왜곡 정도를 결정짓기 때문에, 결과영상의 크기를 조절하기 위해서는 정규화 과정이 필요하다. 입력영상의 해상도가  $m \times n$  이라면 왜곡영상의 중심에서 해당 픽셀까지의 거리  $r_d$  를  $\sqrt{m^2 + n^2}$  로 나눈다. 왜곡 보정 영상의 모든 픽셀 왜곡은 정규화되어, 다양한 해상도에 따른 왜곡보정 영상을 구할 수 있다. 그림 7은 전방향 사상과 역방향 사상 방법을 사용하여 얻은 왜곡보정 영상을 보여준다.

### 4.2 영상 손실이 최소화된 뷰 생성

화각이 180도 이상인 영상에 대해서 핀홀 카메라 모델을 적용하여 2차원 평면에 영상을 보정하는 경우, 외곡으로 갈수록  $r_d$ 에 영향을 많이 받아 역방향 사상으로 가져올 수 있는 정보가 적어 해상도가 낮아지며, 퍼짐 현상 등으로 인해 오히려 인지하기 어려운 결과영상을 출력할 수 있다. 따라서 최대 시야각의 영상손실 없이 운전자가 인지할 수 있는 영상을 제공하기 위해 차량용 카메라의 특

성을 고려한 뷰 생성 방법이 추가로 요구된다.

왜곡보정 후 영상의 크기가  $(U_x, U_y)$  라면 식 (9)와 같이 왜곡보정 좌표의 위치에 따른 비율  $U_{ratio}$  을 계산하여 보정을 한다. 이미지 중심에서 가까우면 왜곡 보정 비율을 크게 하고, 외곽으로 갈수록 보정 비율을 적게한다.

$$U_{ratio} = \frac{\sqrt{X_u^2 + Y_u^2}}{\sqrt{(U_x/2)^2 + (U_y/2)^2}} \quad (9)$$

보정영상의 좌표  $M_u = (X_u, Y_u)$ 에서 역방향 사상을 계산할 때, 식(10)의 왜곡보정 비율  $(x_{ratio}, y_{ratio})$ 을 조절하기 위해 왜곡상수  $r_x, r_y$ 를 사용자가 입력한다.

$$\begin{aligned} x_{ratio} &= 1 + r_x \times (U_{ratio}^2 + U_{ratio}^4) \\ y_{ratio} &= 1 + r_y \times (U_{ratio}^2 + U_{ratio}^4) \end{aligned} \quad (10)$$

앞에서 구한 왜곡보정 비율을 식(11)과 같이 적용하여 왜곡비율이 반영 된 보정영상을 얻는다.

$$X_d = X_u \frac{r_d}{r_u} \times ratio_x, Y_d = Y_u \frac{r_d}{r_u} \times ratio_y \quad (11)$$

### 5. 실험결과

카메라 모델 검증을 위해 Intel(R) Core(TM)2 [2.66GHz CPU, 3.00GB Memory, Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 2] 플랫폼 상에서 MATLAB을 사용하여 GUI로 동작하도록 카메라 캘리브레이션 툴을 구현하였다.

왜곡의 정확도는  $r_d$  와  $r_u$  를 카메라 파라미터를 이용하여 왜곡시킨  $r_d'$  에 대한 RMSE(Root Mean Square Error) 를 통해 구하였고 식 (12)와 같이 정의된다.

$$X_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_d^i - r_d'^i)^2} \quad (12)$$

$X_{RMSE}$  값이 작을수록 카메라 모델 파라미터가 정확하게 최적화되어, 왜곡보정 결과 정확도가 높아진다.

그림 8은 190°화각의 비대칭 왜곡을 가진 차량용 어안 렌즈 영상을 캘리브레이션을 수행하여 얻은 왜곡 보정 영상으로  $X_{RMSE}$  는 1.05 픽셀이다.

또한 범용 카메라 모델 및 캘리브레이션의 적합성 검증을 위하여 그림 9, 그림 10과 같이 180° 와 110° 화각의 비대칭 왜곡을 가진 어안렌즈 영상을 캘리브레이션을



(a) 원 영상

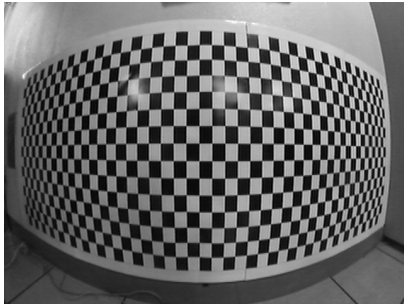


(b) 비율 없이 왜곡 보정

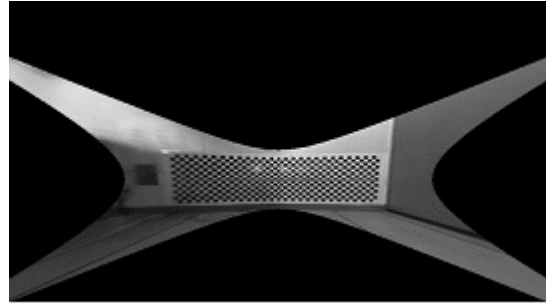


(c) 왜곡비율을 반영한 왜곡 보정  
(가로:98%, 세로:93%)

그림 8. 정지 장애물 영상 왜곡 보정 결과

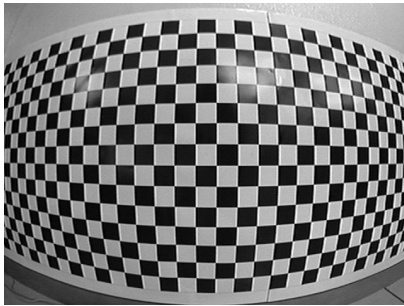


(a) 원 영상

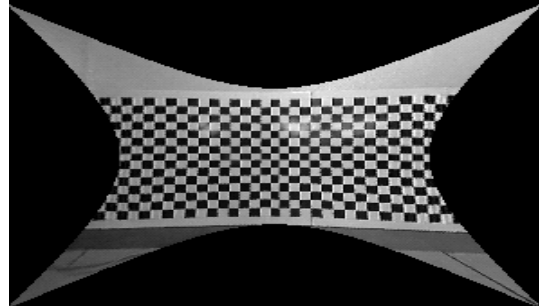


(b) 왜곡 보정 영상

그림 9. 180° 어안렌즈 영상 왜곡 보정 결과



(a) 원 영상



(b) 왜곡 보정 영상

그림 10. 110° 어안렌즈 영상 왜곡 보정 결과

수행하여 왜곡 보정하였다.

그 결과 180° 화각의 어안렌즈의 경우  $X_{RMSE}$  는 0.89 픽셀이며 110° 화각의 어안렌즈의 경우  $X_{RMSE}$  는 0.48 픽셀이다.

## 6. 결 론

본 논문은 비대칭 왜곡을 가진 차량용 대각선 어안렌즈를 위한 기하 왜곡보정과 뷰 생성 기법을 제안하였다. 또한, 고가의 장비나 세팅이 필요하거나, 특수한 카메라에만 적용 가능한 기존의 방식과 달리 다양한 어안렌즈에 적용 가능한 범용 카메라 모델 및 캘리브레이션 방법을 제시하였다.

이를 통해 영상 센서로 초광각 카메라 렌즈를 사용하여 영상분석 기술 적용을 통해 차량 외부 자동 모니터링 및 시각적 정보 시스템 개발 등 다양한 어플리케이션에 활용도를 높일 수 있다. 또한, 단일 카메라를 사용하더라도 사람의 시각 인지도를 높여줄 수 있도록 보정 모델을 설계하여 운전자에게 나은 주행 환경을 제공할 수 있다는 의의를 가진다. 다른 응용으로는 실사 기반 주행 시뮬레이터 개발에 사용할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. D. Scaramuzza and A. Martinelli, "A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion," IEEE International Conference on Computer Vision Systems, 2006.
2. Besma Roui-Abidi and Chris Broaddus and Vitaliy Orekhov and Mongi Abidi, "A Generalized Full Scale Camera Calibration Method with Optimized Complexity," Proc. Fourth IEEE International Conference Multi-Conference on Systems, 2007.
3. D.C. Brown, "Close range camera calibration," Photogrammetric Engineering and Remote sensing, vol. 37, pp. 885-566, 1971.
4. S.B. Kang, "Semi-automatic methods for recovering radial distortion parameters from a single image," Technical Reports Series CRL 97/3, pp. 21, 1997.
5. 신주홍, 남동환, 권기준, 정순기, "Ellipsoid를 이용한 어안렌즈의 Non-metric 접근 왜곡 보정 기법," HCI 2005, vol. 14, pp.83-89, 2005.
6. C. Mei and P. Rives, "Single view point omnidirectional camera calibration from planar grids," Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 3945-

- 3950, 2007.
7. R.Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses," IEEE Journal of Robotics Autom, vol. RA-3, pp. 323-344, 1986.
  8. Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, pp. 1330-1334, 2000.
  9. M.A. Abidi and R.O. Eason, "Camera calibration in robot vision," Proc, 4th Scandinavian Conference on Image Analysis, pp. 471-478, 1985.
  10. S. Shah and J.K. Aggarwal, "Intrinsic parameter calibration procedure for a (high distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation," Pattern Recognition, vol. 29, pp. 1775-1788, 1996.
  11. S.S. Beauchemin, R. Bajcsy and G. Givaty, "A unified procedure for calibrating intrinsic parameters of fish-eye lenses," Proc, of the Conference on Vision Interface, pp. 272-279, 1999.
  12. H. Bakstein and T. Pajdla, "Panoramic mosaicing with a 180° field of view lens," Proc, of the IEEE Workshop on Omnidirectional Vision, pp. 60-67, 2002.
  13. R. Swaminathan and S.K. Nayar, "Non-metric calibration of wide-angle lenses and polycameras," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, pp. 1172-1178, 2000.
  14. C. Bräuer-Burchardt and K. Voss, "A new algorithm to correct fish-eye- and strong wide-angle-lens-distortion from single images," Proc, of the Conference on Image Processing, pp. 225-228, 2001.
  15. Y. Xiong and K. Turkowski, "Creating image-based VR using a self-calibrating fisheye lens," Proc, of the Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 237-243, 1997.
  16. B. Micusik, T. Pajdla, "Autocalibration and 3D reconstruction with non-central catadioptric cameras," IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.
  17. J. Heikkila, "Geometric camera calibration using circular control points," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, pp. 1066-1077, 2000.
  18. J. P. Barreto and K. Anilidis, "Fundamental matrix for cameras with radial distortion," International Conference On Computer Vision, pp. 625-632, 2005.
  19. H. Longuet-Higgins, "Acomputer algorithm for reconstructing a scene from two projections," Nature, vol. 293, pp. 133-135, 1981.
  20. Philip E. Gill and Walter Murray, "Algorithms for the solution of the nonlinear least-squares problem," SIAM Journal on Numerical Analysis, vol. 15, pp. 977-992, 1978.
  21. R. Unnikrishnan and M. Hebert, Fast extrinsic of a laser rangefinder to a camera, Technical Report Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2005.
  22. F. Devernay and O. Faugeras, "Straight lines have to be straight," Machine Vision and Applications, vol. 13, pp. 14-24, 2001.



**조영주** (gguya\_85@ewhain.net)

2008 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사  
2008~현재 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

관심분야 : 가상현실, 영상처리, 컴퓨터 비전 등



**김성희** (sung\_hee@ewhain.net)

2007 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 학사  
2008 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사

관심분야 : 가상현실, 그래픽스, 컴퓨터 비전 등





**박 지 영** (lemie@ewhain.net)

2002년 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 졸업 (학사)  
2004년 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 (공학석사)  
2004년~현재 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정

관심분야 : 혼합가상현실, 컴퓨터 그래픽스 등



**손 진 우** (jinwson@hyundai.com)

1997 부산대학교 제어기계공학과 학사  
1999 부산대학교 지능기계공학과 석사  
~현재 현대자동차 ASV개발팀

관심분야 : 영상분할, 시뮬레이션 등



**이 중 렬** (ryoulee@hyundai-motor.com)

2001 명지대학교 전기전자공학과  
2005 아주대학교 교통공학과  
2001~현재 현대.기아자동차

관련분야 : 영상왜곡, 영상인식



**김 명 희** (mhkim@ewha.ac.kr)

1979 서울대학교 계산통계학과 석사  
1986 독일 괴팅겐대학교 전자계산학과 박사  
1987~현재 이화여자대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

관심분야 : 의료분자영상처리, 시뮬레이션, 혼합가상현실, 컴퓨터 그래픽스 등