
차량용 어안렌즈영상의 기하학적 왜곡 보정

Geometric Correction of Vehicle Fish-eye Lens Images

김성희, Sung-Hee Kim*, 조영주, Young-ju Cho**, 손진우, Son Jin Woo***,

이중렬, Lee Joong Ryoul****, 김명희, Myoung-Hee Kim*****

요약 180° 이상의 영역을 획득하는 어안렌즈(fish-eye lens)는 최소의 카메라로 최대 시야각을 확보할 수 있는 장점으로 인해 차량 장착 시도가 늘고 있다. 운전자에게 현실감 있는 영상을 제공하고 센서로 이용하기 위해서는 캘리브레이션을 통해 방사왜곡(radial distortion)에 따른 기하학적인 왜곡 보정이 필요하다. 그런데 차량용 어안렌즈의 경우, 대각선 어안렌즈로 일반 원상 어안렌즈로 촬영한 등근 화상의 바깥둘레에 내접하는 부분을 잘라낸 직사각형 영상과 같으며, 수직, 수평 화각에 따라 왜곡이 비대칭구조로 설계되었다. 본 논문에서는, 영상의 특징점(feature points)을 이용하여 차량용 어안렌즈에 적합한 카메라 모델 및 캘리브레이션 기법을 소개한다. 캘리브레이션한 결과, 제안한 방법은 화각이 다른 차량용 어안렌즈에도 적용 가능하다.

Abstract Due to the fact that fish-eye 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. Camera calibration should be preceded, and geometrical correction on the radial distortion is needed to provide the images for the driver's assistance. However, vehicle fish-eye cameras have diagonal output images rather than circular images and have asymmetric distortion beyond the horizontal angle. In this paper, we introduce a camera model and metric calibration method for vehicle cameras which uses feature points of the image. And undistort the input image through a perspective projection, where straight lines should appear straight. The method fitted vehicle fish-eye lens with different field of views.

핵심어: *radial distortion, distortion correction, fisheye lens*

*주저자 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 e-mail: sung_hee@ewhain.net

**공동저자 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 e-mail: gguya_85@ewhain.net

***공동저자 : 현대·기아자동차 연구개발총괄본부 ASV 개발팀 e-mail: jinwson@hyundai-motor.com

****공동저자 : 현대·기아자동차 연구개발총괄본부 ASV 개발팀 e-mail: ryulee@hyundai-motor.com

*****교신저자 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 e-mail: mhkim@ewha.ac.kr

1. 서론

자동차 보유량의 급격한 증가와 여성운전자 확대, 운전자의 고령화에 따라 운전자 계층이 다양해짐으로써

다양한 기술 융합을 통하여 안정성 및 편의성을 획기적으로 향상시킬 안전 지능형 자동차 연구가 활발해지고 있다. 특히 카메라 비전 기술은 지능형 자동차 기술 중에, 사고 위험성을 미리 감지하여 운전자에게 정보를 제공하는 예방 안전 기술(Preventive Safety)에 널리 이용될 수 있다. 대표적으로 후방 카메라는 운전자가 전방을 향해 운전하고 있을 때 후방 영상 및 사각지대 영상을 제공함으로써 주차시 안전성을 높여주고 있다. 하지만, 광각렌즈(wide-angle lens)를 사용하는 후방 카메라는 주차시 보조수단으로 제한된 영역을 제공함에 따라, 더 넓은 영역의 정보를 제공할 수 있는 영상 시스템에 대한 필요성이 커지고 있다.

어안렌즈는 넓은 화각으로 인해 동일 위치에서 단일 카메라로 많은 정보를 제공할 수 있어 차량에 적합하다. 하지만 렌즈의 화각이 클수록 직선이 둥글게 변형되는 비선형 방사왜곡(radial distortion)이 커진다. 이는 주위 상황을 빠르고 정확하게 인지해야 하는 운전자에게 오히려 현실감을 저해함으로써 또 다른 위험을 초래할 수 있다. 따라서, 넓은 영역의 영상을 효과적으로 제공하기 위해서는 왜곡 보정이 필요하다. 왜곡 보정은 측량적(metric), 비측량적(non-metric)인 접근으로 나눌 수 있는데, 측량적인 방법으로 계산하기 위해 카메라 특성을 파악하는 캘리브레이션(calibration) 작업을 수행한다. 카메라 캘리브레이션은 실제계에 존재하는 3 차원 정보와 2 차원 영상 정보를 이용하여, 3 차원 실세계좌표(world coordinate)와 화면에 의해 보이는 2 차원 영상좌표(image coordinate)의 관계 및 렌즈 왜곡이 반영된 카메라 모델의 특성을 결정짓는 파라미터를 구하는 작업이다.

하지만 일반적으로 쓰이는 원상 어안렌즈와 달리 차량용 어안렌즈는 사용 목적에 최적화되어 제작된다. 정확한 카메라 렌즈 모델 예측 및 어플리케이션에 맞는 왜곡 보정을 하기 위해서는 특성을 고려해야 한다. 일반적인 원상 어안렌즈는, 영상 중심으로부터 주변의 모든 형상이 둥글게 획득되어 원형 영상으로 출력된다. 중심의 피사체로부터 주변부로 갈수록 촬영 대상이 대칭적으로 압축되는 왜곡을 지닌다. 기존 어안렌즈 캘리브레이션 논문들에서 제안된 카메라 모델은 이런 원상 어안렌즈에 적합하게 설계되었다[1,2,3]. 하지만, 차량용 어안렌즈는 운전자에게 좌우 시야각 확보가 중요함에 따라, 수직화각보다 수평 화각이 크게 설계되었다. 따라서 중심축으로부터 수평, 수직에 대하여 비대칭 왜곡이 발생한다. 이런 점을 고려하여, 차량에 적합한 카메라 모델 및 캘리브레이션 기법을 소개한다.

2. 왜곡 보정 방법

이번 장에서는 렌즈 왜곡 모델 및 차량용 카메라의 특성을 고려하여, 캘리브레이션에 사용된 패턴과

캘리브레이션 과정 중에 스케일 인자(scale factor) 계산 방법과 이원화 기법에 대해 설명한다.

2.1 렌즈 왜곡 모델

어안렌즈는 비선형의 왜곡을 기반으로 설계되었기 때문에 비선형의 왜곡현상을 기하학적으로 모방한 FOV 모델을 적용한다[4]. FOV 모델은 어안렌즈가 디자인되는 방법에 기초를 두고 있다. 그림 1 과 같이 영상의 중심점 C (principal point)에서 영상평면상의 한 점 m 사이의 거리는 대응되는 3 차원상의 한 점 M 과 광축(cy)이 이루는 각도에 비례한다고 가정한다. 따라서 각도의 정밀도는 반지름을 따른 영상의 정밀도에 비례한다.

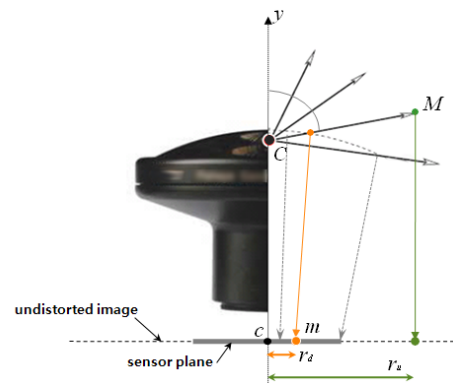


그림 1. FOV 왜곡 모델

FOV 모델은 이상적인 어안렌즈에 대응되는 화각 ω 를 하나의 왜곡 상수로 갖는다. 어안렌즈의 광학적인 성질이 FOV 모델에 기반하여 설계되었는지는 알 수 없으므로, ω 는 실제 카메라의 화각과 동일하지 않을 수 있다. FOV 모델의 왜곡 함수는 식 (1)과 같이 정의한다.

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

2.2 캘리브레이션 기법

2.2.1 캘리브레이션 패턴

캘리브레이션에 가장 널리 이용되는 격자 무늬 평면 패턴은 두 가지 문제점을 지니고 있다. 먼저, 격자 패턴의 경우 사각형 꼭지점이 인접하고 있어, 그림 2 와 같이 외곽으로 갈수록 낮은 해상도로 인해 특징점 추출의 정확도가 떨어진다. 그림의 실선 사각형과 같이 떨어져 있거나, 점선 사각형과 같이 겹쳐 있는 것처럼 나타나 오차가 생길 확률이 커진다.

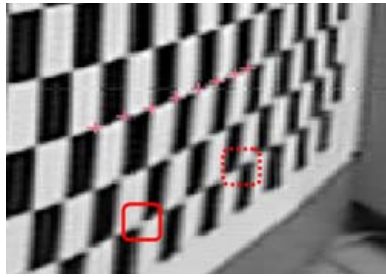


그림 2. 격자 무늬 패턴의 문제점

다음으로, 평면 패턴의 경우 어안렌즈의 넓은 화각으로 인해 그림 3 과 같이 영상의 전 영역에 걸쳐서 특징점을 추출할 수 없다는 문제가 있으며, 패턴의 크기가 크다는 점으로 패턴 촬영시 장소의 제약을 받는다. 그림 3 의 오른쪽 영상에서 볼 수 있듯이, 왜곡 보정 후에도 아래 위가 둥근 결과를 볼 수 있다.

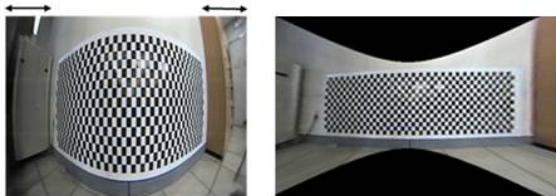
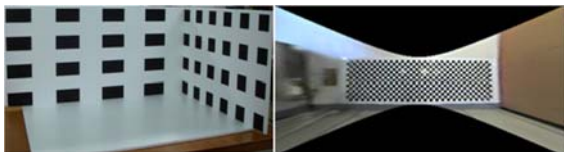


그림 3. 평면 패턴의 문제점 및 왜곡 보정 영상

이와 같이 평면 패턴의 한계점을 보완하기 위해 박스 형태에서 분을 뜬 ‘ㄱ’ 자형 패턴을 제작하여 실험하였다. 제안하는 ‘ㄱ’ 자형 패턴은 차량용 실험 카메라에 최적화되어, 영상의 수평 방향으로 압축되는 특징을 반영하여 그림 4 와 같이 정면 방향은 가로 길이를 12cm 로 하여 세로 길이의 2 배인 직사각형을 이용하며, 오른쪽 평면은 6cm 정사각형으로 제작하였다. 기존 어안렌즈의 패턴은 큰 크기로 인해 장소의 제약을 받는 점을 고려하여, 패턴의 크기를 줄이고 카메라의 4 사분면에 ‘ㄱ’ 자형 패턴이 위치하도록 하여 특징점을 추출하였다.

그림 4. ‘ㄱ’ 자형 패턴 및, 왜곡 보정 영상

그림 4 의 오른쪽 그림에서는, 제안하는 패턴으로 촬영한 영상을 이용하여 캘리브레이션한 결과가 기존의 방법보다 개선된 것을 볼 수 있다. 그림 3 의 오른쪽 영상과



비교하면, 왜곡 보정 결과 후 직선으로 펴진 정확도가 높아진 것을 육안으로 확인할 수 있다.

2.2.2 대각선 어안렌즈스케일 인자 (Scale factor) 예측

차량용 카메라는 우리가 일반적으로 사용하는 어안렌즈와 다른 출력 결과를 준다. 그림 3 의 왼쪽 영상에서 볼 수 있듯이, 차량용 어안렌즈의 경우 대각선 어안렌즈로 그림 5 의 왼쪽 그림에서 보이는 원상 어안렌즈로 촬영한 둥근 화상의 바깥둘레에 내접하는 부분을 잘라낸 영상과 같다. 화면에 불필요한 공백이 없어 한정된 크기의 모니터를 가지는 차량에 적합하다.

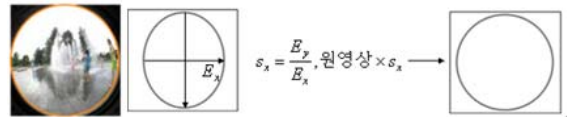
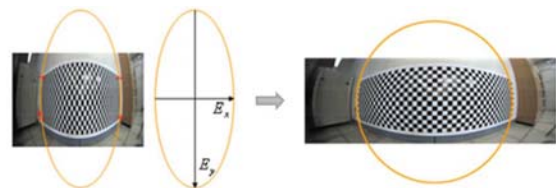


그림 5. 원상 어안렌즈 스케일 인자 계산

원상 어안렌즈의 경우, 센서의 x 축, y 축에 대한 스케일링 비율인 스케일 인자를 그림 5 와 같이 영상의 외곽선을 이용한다. 하지만 대각선 어안렌즈의 경우, 원상 어안렌즈와 달리 외곽선이 영상에 나타나지 않기 때문에 S_x 를 구할 추가적인 방법이 필요하며 ellipse-fitting 알고리즘으로 가능하다. 그림 6 과 같이, 최소 5 개의 정점으로 ellipse 를 구할 수 있으며, 이를 이용하여 장축과 단축의 비율로 S_x 를 구할 수 있다. 하지만, 영상의 테두리가 아닌 영상 내부에 위치한 타원을 측정하기



때문에 추후에 추가적인 최적화 연산을 한다. 식 (2)과 같이 구하는 것을 전처리 단계(pre-calibration)의 scaling factor 이며 S_{pre_x} 라고 지칭하겠다.

그림 6. Ellipse-fitting 을 이용한 스케일 인자 계산

$$s_{pre_x} = \frac{E_y}{E_x}, \text{원영상} \times s_{pre_x} \quad (2)$$

2.2.3 이원화 기법

파라미터를 예측하는 방법으로는 추출한 특징점 N 개를 이용한다. 각 점들을 이용하여 비선형 최적화를 통해서 아래 식을 최소화하는 값을 구한다. 외부 파라미터에 해당하는 R_i, T_i , 2 장에서 언급한 내부 파라미터 및 초점 거리 f 의 파라미터들은, 식 (3)을 최소화하기 위한 값을 구하는 비선형 회귀 분석법 중에서 널리 알려진 Levenberg-Marquardt 방법을 통해 구한다.

$$E = \sum_{i=1}^N \left\| n_i - \hat{n}(R_i, T_i, f, s_x, \omega) \right\|^2 \quad (3)$$

$\hat{n}(R_i, T_i, f, s_x, \omega)$ 은 점 n_i 를 각 파라미터에 대해 재투사(reprojection)한 점이다.

그런데, 비선형 최적화를 통해 파라미터를 계산하는 경우, 2 차원 영상에서 추출한 특징점 입력값에 영향을 받는다. 차량 장착과 같이 카메라의 위치 및 각도를 변경하는 경우 특징점 입력 값이 변하게 되고 내부, 외부 파라미터 결과 값에 차이가 있을 수 있다. 내부 파라미터는 카메라의 고유 속성으로 값이 정해져 있어 한번 구하면 변하지 않으므로 내부 및 외부 파라미터를 이원화하여 구하는 것이 필요하다.



그림 7. 이원화 단계

내부 파라미터는 카메라와 패턴이 평행하게 위치되는 경우 가장 정확하게 계산된다. 그러므로 카메라와 패턴이 평행하게 위치하는 이미지에서 특징점을 추출하여 내부 파라미터를 얻는다. 이렇게 계산된 내부 파라미터를 그림 7 과 같이 3 차원, 2 차원 특징점과 같이 입력하여 최적화 계산할 때 외부 파라미터만을 미지수로 예측하게 된다. 이렇게 파라미터를 이원화 하여 구하면 미리 구한 내부 파라미터를 사용하여 카메라의 위치 및 각도가 변경 될 때마다 같이 변하는 외부 파라미터 값을 구할 수 있고, 외부 파라미터를 구하기 위한 최적화 계산시 미지수가 외부 파라미터로 줄어들어 좀 더 빠른 연산이 가능하다.

3. 실험 결과

실험한 카메라는 차량용 카메라 190°, 180°, 110° 카메라로 그림 8 에 순서대로 원영상 및 왜곡 보정 결과 영상을 볼 수 있다. 카메라 영상의 해상도는 640x480 으로, 특징점은 각각 27 개, 24 개, 16 개로 실험하였다. 공간상의 평면 위의 직선들이 왜곡 보정 후에 직선에 가깝게 보인다면 잘 된 보정이라고 가정했다. 표 1 은 각 특징점에 대해 계산한 평균 자승 오차 결과 값이다.

카메라 화각	오차
190°	1.05
180°	0.89
110°	0.48

표 1. 카메라별 평균 자승 오차 값

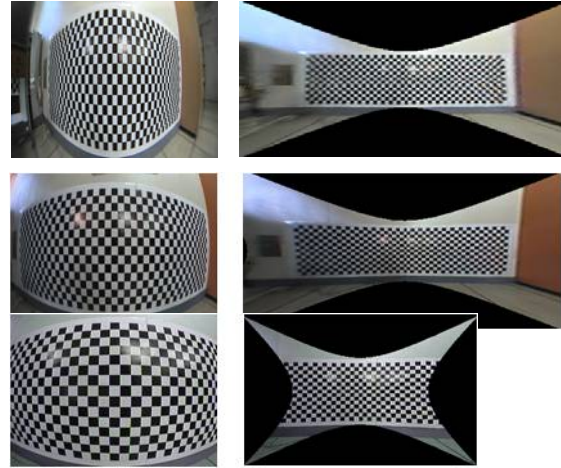


그림 8. 차량용 카메라별 왜곡 보정 영상

각 영상은 그림 4 의 패턴을 촬영하여 파라미터를 추출하였으며, 보정 정도를 육안으로 보기 쉽도록 그림 8 과 같이 평면 격자 무늬 패턴 영상을 보정하였다. 본 논문에서 제시하는 캘리브레이션 기법이 다양한 화각의 차량용 카메라에 적용되는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 차량용 어안렌즈로부터 입력된 왜곡영상을 기하학적으로 보정할 수 있는 방법을 제안하였다. 일반 어안렌즈와 다른 직사각형 출력 영상과 수평, 수직 화각이 비대칭인 차량용 카메라에 적합한 캘리브레이션 기법을 통해서 왜곡 보정을 하였다. 또한 다른 화각을 지닌 광각 카메라에도 적용 가능하다. 향후에는, 왜곡보정 영상을 2 차원 평면에 투사하지 않고, 영상 손실을 최소화하기 위해 새로운 뷰 생성 및 실린더 형과 반구형의 곡면과 같이 어안렌즈에 최적화된 3 차원 투사면을 새로 정의하여 영상 손실을 줄일 수 있도록 한다.

참고문헌

- [1] S. Shah, J. Aggarwal, "Intrinsic parameter calibration procedure for a (higher distortion) fish-eye lens camera with distortion model and accuracy estimation", *Pattern Recognition*, 29(11): 1775-1788, 1996.
- [2] D. Scaramuzza, A. Martinelli, and R. Siegwart, "A flexible technique for accurate omnidirectional camera calibration and structure from motion", in *IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS 2006)*, 2006.
- [3] S. Nayer, "Nonmetric Calibration of Wide-Angle Lenses and Polycameras", *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.22, no.10, 1172-1178
- [4] F. Devernay, O. Faugeras, "Straight lines have to be straight", *Machine Vision and Applications*, Vol 13, 14-24, 2001.
- [5] 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* 3(4):323-344.
- [6] Z. Zhang, "A Flexible new technique for camera calibration", *TPAMI*, 22(11):1330-1334, 2000.
- [7] R. Hartley, A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision*, Cambridge University Press, 2000.
- [8] J. Heikkilä, "Geometric camera calibration using circular control points", *PAMI*, 22(10):1066-1077, 2000.