어안렌즈 왜곡보정에 관한 연구

The Technical Development for the Fish-Eye Lens Distortion Correction

강진아*, 박재민**, 김병국***
Jin-A Kang*, Jae-Min Park**, Byung-Guk Kim
인하대학교 지리정보공학과
j6328928*@hotmail.com, jaemini.park**@gmail.com, byungkim***@inha.ac.kr

요 약

본 논문에서는 어안렌즈 및 왜곡경향을 조사하고, 기존 보정기법을 토대로 어안렌즈에 적합한 사진측량학적 기법을 이용한 보정기법을 채용하였다. 이를 이용하여 어안렌즈를 보정하여 왜곡계수를 산출하여, 관측한 영상점을 왜곡이 보정된 영상점으로 위치 보정하는 기술을 개발하였다. 본 논문에서 적용된 보정 기술은 컴퓨터비젼분야, 제어계측분야에서 광범위하게 사용되고 있는 어안렌즈의 왜곡보정을 실시하여 영상을 보정하는데 목적이 있다. 이렇게 보정된 어안렌즈 영상은 실내 위치추적 및 모니터링 분야에 사용되고 있는 어안렌즈영상에 정확도 향상에 기여할 수 있으리라 예상된다. 또 본 논문에서는 렌즈 보정기술의 효율성을 높이기 위해서 단영상 왜곡보정 프로그램 및 다수 영상 왜곡 보정 프로그램을 구현하였다. 단영상 프로그램은 로봇의 대략 생산체제를 위해 구현하였으며, 다수영상 프로그램은 사용자 입장에서 구현하였다.

1. 서론

로봇의 자기 위치인식을 위한 기술로서는, 위치 참조의 대상물(기준점)에 부착한 태그(tag: 마이크로 칩을 내장한 태그), 즉 RFID(Radio Frequency Identification)에 저장된 데이터를 무선으로 자동 인식하는 무선인식기술과 CCD(Charge-Coupled Device)를 사용하여 기준점을 촬영한 영상을 이용하는 시각인식기술이 있다. 본 연구에서는 렌즈를 사용하는 시각인식기술에 국한하여 고찰하였는데, 시각인식에 의한 자기 위치 결정을 위해서는 렌즈 화각(시야각: Angular Field of View)이 커야 하고, 영상의 위치 품질이 좋아야 한다. 화각이 큰 렌즈, 즉 어안렌즈(어안렌즈)에서는 영상의 위치 왜곡을 피할 수 없고, 이에 따른 렌즈 왜곡의 보정이 가장 중요한 문제가 된다.

2. 어안렌즈

2.1. 어안렌즈 특성

어안렌즈의 특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 일반 렌즈보다 초점거리가 짧다.
2. 일반 렌즈의 화각이 45° 전후인데 비해 어안렌즈는 화각이 60°이상이다.
3. 일반 렌즈에 비해 넓은 범위가 촬영된다.
4. 촬영 대상이 렌즈에 가까울수록 크게

과장 된다.
5. 광범위하게 촬영되고 배경은 작게 찍히므로 원근감이 강조된다.

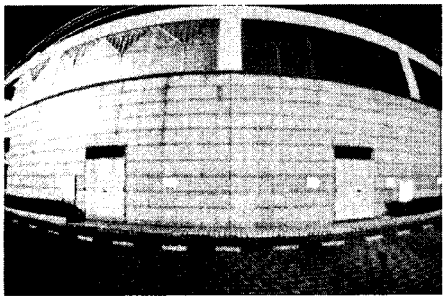


그림 1 어안렌즈 영상

2.2. 광각 렌즈 왜곡 경향

(1) 방사왜곡(R.D, Radio Distortion)

방사왜곡은 영상에서의 점 위치를 정상적인 위치에 맺히게 하지 못하고 렌즈 중심에서 방사방향으로 정상위치의 안쪽 또는 바깥쪽으로 맺히게 한다.

양(+)의 방사 왜곡은 Pincushion distortion<그림2-12a> 이라 일컬어지며 이것은 바깥쪽 점들을 펼치는데, 동일 크기의 격자를 촬영하였을 때 바깥쪽 격자의 크기가 커진다. 음(-)의 방사 왜곡은 Barrel distortion<그림2-12b> 이라 일컬어지며 가운데 격자의 크기가 가장 크게 나타난다. 어안렌즈의 일반적인 왜곡 성향은 이 Barrel distortion이다. 이 방사왜곡은 렌즈 중심을 중심으로 대칭되게 발생한다.

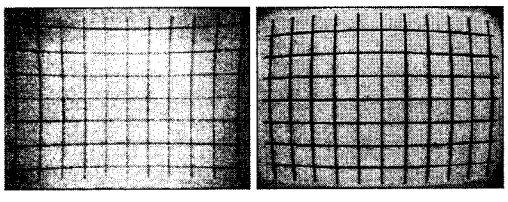


그림 2 방사왜곡

(2) 접선왜곡(D.D Dencentering Distortion)

렌즈 조합의 불완전에 의해 발생하는 왜곡으로서, 방사왜곡을 제거한 후에도 남게 되는 왜곡을 말한다. 비대칭방사왜곡과 접선왜곡이 합성된 왜곡이다. 중심에 대칭되지 않게 발생 한다

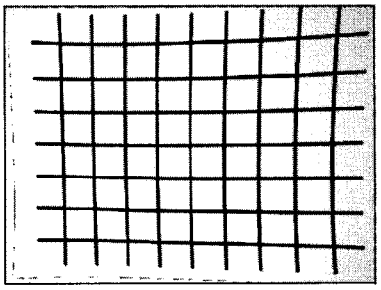


그림 3 접선왜곡

(3) 비중심 왜곡

렌즈 조합의 불완전에 의해 발생하는 왜곡으로서, 방사왜곡을 제거한 후에도 남게 되는 왜곡을 말한다. 비대칭방사왜곡과 접선왜곡이 합성된 왜곡이다. 중심에 대칭되지 않게 발생 한다

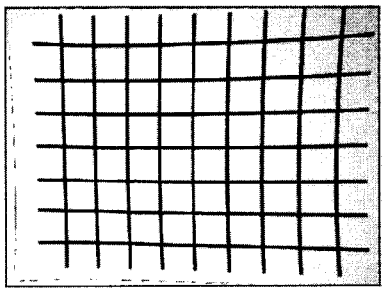


그림 4 비중심왜곡

3. 왜곡보정 모델

3.1. 사진주점 offset 도입

사진에서의 모든 기하학적 해석은 사진주점(PP: Principal Point)를 기준으로 한다. 그러나 실제 사진좌표를 관측할 때에는 그림 1에서 보인 바와 같이 사진지표(Fiducials)를 잇는 교차점(IPP: Indicated Principal Point)이 좌표계의 원점이 된다.

이 IPP와 PP는 위치가 서로 다른데, IPP를 기준으로 한 PP의 위치를 사진주점 offset이라고 하고, (x_p, y_p)로 표현한다.

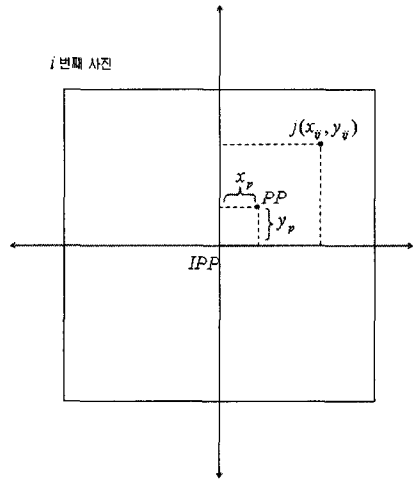


그림 5 사진주점 offset

관측된 사진좌표가 IPP를 기준으로 관측되었다면, 위의 식(4)은 다음 식(5)와 같이 표현되어야 한다. 식(5) 이후 식의 표현에서는 사진은 모두 i번째인 것으로 간주하고(렌즈 캘리브레이션을 위해서는 하나의 영상 - 하나의 렌즈 위치와 자세 - 만 연관이 되어 있으므로) 사진 상에 나타난 j번째 점만을 표시하였다.

$$x_j - x_p = -f_x \frac{r}{q} \quad \text{식(1)}$$

$$y_j - y_p = -f_y \frac{s}{q}$$

3.2. 방사왜곡량 도입

렌즈 왜곡 중에서 방사왜곡은 상의 위치가 주점으로부터 방사방향을 따라 왜곡되어 나타나는 것을 말한다.

방사왜곡량을 고려하여 식(1)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$x_j - x_p - x_{R.D} = -f_x \frac{r}{q}$$

여기서,

$$x_{R.D} = x_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8)$$

r_j: 사진주점(PP)으로부터 점j까지의 방사거리

$$r_j = \sqrt{(x_j - x_p)^2 + (y_j - y_p)^2}$$

위의 식을 모두 정리하면,

$$x_j - x_p - x_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) = -f_x \frac{r}{q} \quad \text{식(2)}$$

y 좌표에 대해서도 마찬가지로,

$$y_j - y_p - y_{R.D} = -f_y \frac{s}{q}$$

여기서,

$$y_{R.D} = y_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8)$$

$$y_j - y_p - y_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) = -f_y \frac{s}{q} \quad \text{식(3)}$$

3.3. 비중심왜곡량 도입

렌즈 중심을 기준으로 동일한 거리상에 동일하지 않게 발생하는 다양한 왜곡이 있는데 이것을 비중심왜곡이라고 한다.

식(2)와 식(3)에 비중심왜곡량을 고려하면 식(4), 식(5)와 같다.

$$x_j - x_p - x_{R.D} - x_{D.D} = -f_x \frac{r}{q}$$

$$x_{D.D} = (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[p_1(r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j]$$

$$x_j - x_p - x_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) - (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[p_1(r_j^2 + 2x_j^2) + 2p_2 x_j y_j] = -f_x \frac{r}{q} \quad \text{식(4)}$$

$$y_j - y_p - y_{R.D} - y_{D.D} = -f_y \frac{s}{q}$$

$$y_{D.D} = (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[2p_1 x_j y_j + p_2(r_j^2 + 2y_j^2)]$$

$$y_j - y_p - y_j(k_o + k_1 r_j^2 + k_2 r_j^4 + k_3 r_j^6 + k_4 r_j^8) - (1 + p_3 r_j^2 + p_4 r_j^4)[2p_1 x_j y_j + p_2(r_j^2 + 2y_j^2)] = -f_y \frac{s}{q} \quad \text{식 (5)}$$

4. 프로그램 구현

4.1. 단영상을 이용한 보정

<그림 5-1>은 Single-Photo 프로그램에서 사용한 실험용 타겟(타겟 Array)이다. 전체 크기가 150mm × 150mm 인 정사각형의 종이에30mm × 30mm 크기로 격자를 구성하여 25등분하고 총 36개의 점을 관측할 수 있도록 제작하였다. 실험을 위하여 워드프로세서(아래 한글)을 이용하여 타겟을 출력하여 사용하였다. 이 때 타겟 자동 추출을 위하여 타겟 색상은 검은색, 선의 굵기는 0.01mm로 하였다. 어안렌즈을 사용하여 타겟 전체를 영상이 들어오도록 촬영하고, 격자 25점을 포함한 영상을 획득한다.

Single-Photo의 경우, 내부점, 외부점을 모두 사용하기 때문에 가로, 세로의 격자의 개수가 같은 타겟을 사용한다.

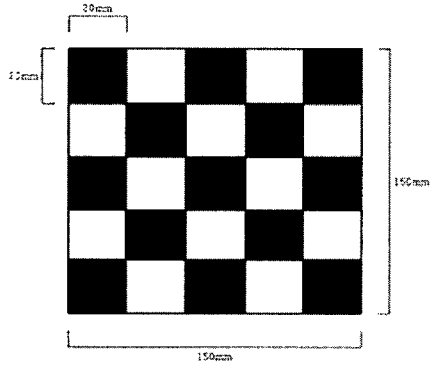


그림 6 종이 타겟

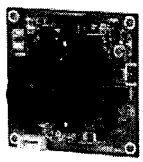
4.2. 영상 획득

(1) 어안렌즈

광각 렌즈는 VISIONHITECH의 38x38mmV M38C-B36를 사용하였다. 다음 표1은 VM 38C-B36의 사양과 외관이다.

표 1 어안렌즈 사양

초점거리	2.95mm
화각	120도
CCD Size	4.8 × 3.6mm
Pixel Size	9.0 × 7.0 μm
무게	30 g

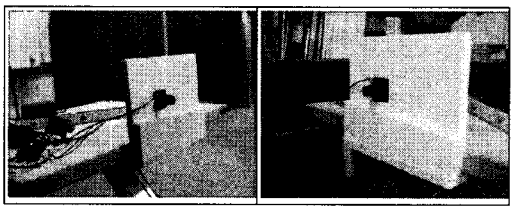


(2) 카메라 설치

보드 카메라는 우드보드에 고정시켜 수평을 맞춘 평판에 설치하였다.

우드보드를 2중으로 유격 없이 고정하여 실험 중 흔들림이 없도록 하였다.

표 2 카메라 설치

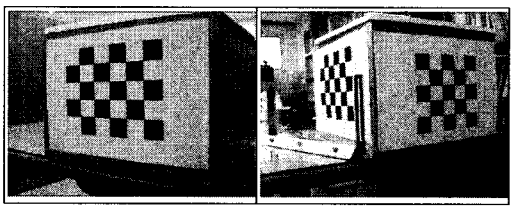


(3) 타겟 설치

타겟은 프린트하여 직육면체의 나무상자에 부착하였다.

기울어짐이 없도록 자를 이용하여 탁자 바닥면과 타겟의 높이차를 일정하게 통일하였다.

표 3 타겟 설치



(4) 타겟 촬영

실험은 설치된 평판과 탁자의 거리를 유지하면서 다음 표 4와 같이 촬영을 실시하였다. 이때 타겟을 촬영할 때 충분한 조명을 얻기 위해서 스탠드를 이용하였다.

표 4 타겟 촬영

5. 다수영상을 이용한 왜곡 보정

5.1. 영상 획득

아래 그림7은 9가지 위치에서 최소 3가지 위치에서 영상을 취득하여, 영상을 보정하는 것을 다수영상왜곡보정이라 한다. 단영상 왜곡보정에 비해 사용하기 쉽고, 촬영이 보다 쉽다. 영상촬영위치만 다를 뿐, 영상획득 방법은 동일하다. 영상 획득 후, 프로그램을 구현하였다.

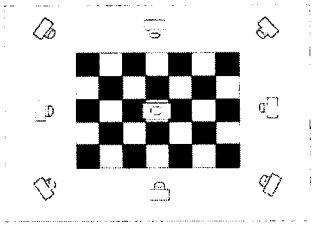


그림 7 촬영 위치

6. 프로그램 비교

6.1. 모양에 대한 비교

어안렌즈에 찍힌 영상을 두 프로그램으로 왜곡보정하고, 이를 디지털 카메라에 찍힌 영상을 비교하여 RMSE를 비교한다. 실험 방법은 아래와 같다.

1. 보드 카메라와 디지털 카메라을 사용하여 동일 타겟에 대한 영상을 촬영한다.
2. 보드 카메라로 촬영된 영상을 왜곡보정한다.
3. 보정 영상과 디지털 카메라 영상에서 격자점을 추출한다.
4. 보정 영상에서 X방향, Z방향 격자 사이의 거리를 구한다.
5. 보정 영상의 격자 거리에 스케일 벡터를 곱한다.
6. 디지털 카메라 영상 격자 거리와 비교한다.

6.2. RMSE 구하기

보정된 영상에서 X, Y방향에 대하여 격자점 사이거리를 구하고, 거리에 스케일벡터를 곱하여 RMSE를 구하면, 아래 표 5와 같다. 단 영상을 사용한 보정 프로그램의 정확도가 높은 것을 볼 수 있다. 영상촬영 시, 촬영 위치와 방향등이 RMSE에 미치기 때문이라 볼 수 있다.

표 5 RMSE 비교

	단영상사용	다수영상사용
X방향 RMSE	2.72	3.26
Y방향 RMSE	1.64	4.02
Total RMSE	3.18	5.17

6.3. 위치에 대한 비교

카메라 검정 요소 중 주점의 위치는 렌즈의 중심을 통과한 광선이 CCD 칩과 만나는 위치를 의미하는 것으로 영상좌표 취득 시 중심이 된다. 이를 cx, cy라 지칭한다. 렌즈 왜곡계수는 렌즈의 중심으로부터 방사방향으로 피사체의 위치가 왜곡되어 나타나는 정도를 수치로 나타낸 것이다. cx, cy는 렌즈 왜곡보정에 사용된다.

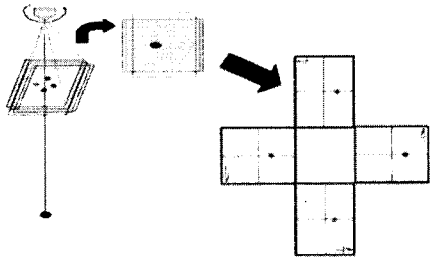


그림 8 cx, cy 검정 원리

6.4. 타겟점에 대한 좌표추출 및 계산

cx, cy를 추출하기 위해 각 영상의 타겟에 번호를 그림 9와 같이 부여하였다. 부여한 번호에 대한 좌표는 표 6과 같다.

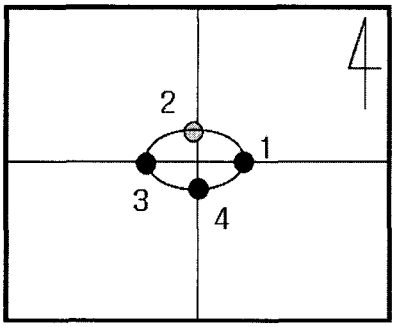


그림 9 타겟점 부여

표 6 타겟점 위치

	X	Y
1	176	123
2	198	108
3	203	132
4	174	136

추출된 포인트를 통하여 점1과 점3을 연결한 직선과 점2와 점3을 연결한 직선의 교차점을 구하면 X=190.627, Y=110.8의 좌표를 얻을 수 있다. 이 좌표가 우리가 얻고자하는 cx, cy가 된다.

6.5. cx, cy 비교

왜곡보정 프로그램 cx, cy와 실험에 의해 얻어진 cx, cy 비교는 표 7과 같다. 영상촬영 상황이 단영상 프로그램이 낫기 때문에 단영상의 프로그램의 cx, cy가 좀더 정확한 결과를 얻을 수 있다.

표 7 cx, cy 측정

	cx	cy
단영상 프로그램	181	122
다수영상 프로그램	193.521	116.333
실험 1	183.111	125.37

7. 결론 및 제언

본 연구에서는 사진측량학적 관점에서 로봇비젼에서의 어안렌즈 왜곡 보정 모델에 관해 접근하였다. 왜곡 요소에 대한 이론적인 체계적인 모델과 체계를 재정립하고 단일/다중 영상 기반 왜곡 요소 보정기법을 검증할 수 있는 프로그램을 구현하였다. 또한 렌즈보정과정을 간소화 할 수 있는 방안을 제시하고, 내장된 형태의 보정모듈을 구현하였다.

저가의 어안렌즈만으로도 일반적인 로봇비젼 및 컴퓨터비젼에서 이용되는 알고리즘을 실시간 적용할 수 있는 영상수준까지 복원할 수 있음을 확인하였다. 향후 보다 다양한 촬영조건, 모델 및 로봇비젼 알고리즘을 수용할 수 있는 보정모델 및 레퍼런스 확보 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

8. 참고문헌

Manual of Photogrammetry, 4th Edition, (C.C. Slama, editor), American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, 1980, pp. 261-264.

신주홍, 남동환, 권기준, 정준기(2004), Ellisoid를 이용한 어안 렌즈의 Non-metric 접근, BK21 지원 논문, 경북대학교 컴퓨터공학과.

한성현, 이만형, 왕한홍, 장영희(1997), 기하학적 왜곡을 고려한 카메라의 모델링 및 보정기법 개발, 제어자동화시스템공학회, 경남대 기계설계학과.

정동훈(2004), 차량측량시스템을 위한 카메라 검교정 및 3차원 위치결정에 관한 연구, 박사학위논문, 인하대학교 대학원 지리정보공학전공.