

실사 가상환경 항해를 위해 Spheroid 를 이용한 어안렌즈의 왜곡보정

신주홍*, 남동환*, 권기준*, 정순기*

*경북대학교 컴퓨터공학과

{jhshin, dhnam, gjkwon}@vr.knu.ac.kr, skjung@knu.ac.kr

Using Spheroid Fish-eye Lens Distortion Correction for Image-based Virtual Environment Navigation

Ju-Hong Shin*, Dong-Hwan Nam*, Gi-Jun Kwon*, Soon Ki Jung*

*Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요 약

실제영상으로 가상환경을 구축해서 사용자가 가상환경을 돌아다님으로써 보다 큰 몰입감과 현실감을 제공하는 영상기반 가상현실 기술은 최근 들어 웹 기반 가상현실시스템을 구축하기 위해서 많이 사용된다. 이 기술은 가상환경 구축에 있어 항해를 쉽게 하기 위한 한 방법으로 넓은 시각 영역(field of view)을 얻을 수 있는 wide-angle 렌즈를 흔히 사용한다. 어안렌즈(fish-eye lens)는 전형적인 넓은 시각 영역을 가진 렌즈로서, 매우 큰 radial distortion 을 가진다. 왜곡을 없앤 영상을 얻기 위해 본 논문에서는 구면기하(spherical geometry) 및 사영기하(projective geometry)를 사용하여 어안영상을 보정하는 non-metric 기법을 제안한다. 제안한 이 방법은, 기존의 방법들 보다는 쉽고 빠른 속도로 왜곡을 보정할 수 있으므로 어안영상의 왜곡을 보정하는 하드웨어를 효율적으로 구현할 수 있다. 그리고 spheroid 를 이용해 좀 더 왜곡을 정확히 보정방법과 별도의 서보 모터 없이 pan/tilt 를 가능케 하는 시점이동에 따른 왜곡 보정 방법을 제시한다.

1. 서론

실사기반 가상환경 기술은 실제 영상으로 가상환경을 구축해서 사용자에게 몰입 가능한 가상 세계를 제공하는 것을 말한다. 가상환경 구축에 있어 가상환경을 돌아다닐 수 있는 항해(navigation)는 매우 중요하며 필수적이다. 항해를 하기 위해 360 장면을 모두 촬영하는데 다중 카메라와 영상 모자이크(mosaic) 기술을 이용하여 정합(stitching)한다. 그러나 정확한 카메라 보정(calibration)을 위한 카메라의 배치를 비롯해 영상 정합에 있어 알고리즘에 따른 수행 시간이 많이 걸리며, 시스템 제작에 있어서도 높은 비용을 요구하게 된다. 그래서 이러한 제약사항을 보완하는 방법으로 넓은 시야 각(field of view)을 얻을 수 있는 wide-angle 렌즈를 흔히 사용한다.

어안렌즈(fish-eye lens)는 전형적인 wide-angle 을 가진 렌즈로서, 매우 큰 radial distortion 을 가진다. 어안렌즈로 얻어진 어안영상으로부터 정상적인 뷰를 얻고

자 할 때, 이런 radial 왜곡은 심각한 문제가 된다[1]. 왜곡이 있는 어안영상으로부터 radial 왜곡함수와 왜곡을 없앤 영상을 얻기 위해 보통 두 가지 방법을 사용하는데, metric 접근과 non-metric 접근이다. 기존의 metric 접근 기법들은 특징점(feature points)들을 인식해 내고 이들 사이의 대응관계로 왜곡을 보정한다. 하지만, 대응점들을 찾는 작업은 영상의 noise 에 매우 민감하다. 최근에 여러 non-metric 접근 방법들이 연구되었다. 이 방법들은 다항식의 왜곡계수를 반복적으로 구해 왜곡을 보정함으로써 정밀함에 있어서는 우수하지만 복잡하고 계산량이 많아서 수행시간이 길다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 구면기하 및 사영기하를 사용한다. 구에서 평면으로 투영(projection) 연산만 수행하면 됨으로 어안영상을 기존의 방법들 보다 쉽고 빠르게 왜곡을 보정한다. 나아가 어안영상의 왜곡을 보정하는 하드웨어를 효율적으로 구현할 수 있고

Spheroid를 이용해 보다 효과적으로 왜곡을 보정한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 관련 연구에 대해 기술하고, 3 장에서 본 논문이 전제하고 있는 non-metric 보정 기법과, Spheroid를 이용해 좀 더 왜곡을 정확히 보정 방법을 설명한다. 4 장에서는 별도의 서보 모터 없이 pan/tilt 를 가능케 하는 시점 이동에 따른 왜곡 보정 방법을, 5 장에서는 실험결과를, 6 장에서는 결론과 향후 연구계획에 대해 소개 한다.

2. 관련연구

기존의 어안렌즈 보정 계수를 구한 연구들을 살펴 보면 다음과 같다.

Basu A 와 Licardie S[2]는 log 함수를 왜곡 보정의 모델로 삼았고, Christian B-Burchardt 와 Klauss Voss[3]는 한 장의 영상으로부터 자동적으로 렌즈 왜곡을 보정하는 방법을 연구하였다. 그는 광학 중심을 영상 중심으로 간주하고, 입력영상의 점들로 이루어진 삼각형의 면적을 0으로 하는 왜곡계수를 2 항까지 구했다.

Moumen Ahmed 와 Aly Farag[4]도 nonmetric 접근으로 렌즈왜곡을 보정하는 방법을 연구하였다. 그는 왜곡된 입력영상의 점들로 이루어진 piecewise line 들의 기울기 차를 최소가 되게 하는 왜곡계수를 구하였다.

Rahul Swaminathan 과 Shree K. Nayar[5]는 radial 왜곡과 tangential 왜곡 모두를 고려해서 곡선에서 직선으로 사상되는 관계로 왜곡 보정 방법들을 제시 하였다.

Faugeras[6]는 Edge 를 최상의 세그먼트로 변형시켜서 왜곡계수를 구했는데, 이런 기존의 방법들은 non-metric 이라고는 하지만 계산이 복잡하거나 noise 에 민감할 수 있다.

3. 왜곡 보정 방법

공간상의 한 직선을 단위 구(unit sphere)상에 사영하면 대원(great circle)으로 되고, 이를 다시 구 위의 한 평면에 정사영(orthographic project)하면 타원으로 나타난다. 이는 RP3 공간상의 직선을 S2 상의 원으로 옮긴 후 이를 RP2 상의 타원으로 옮긴 것에 해당한다. 따라서 만일 구 영상을 얻을 수 있는 렌즈로 공간상의 직선들을 찍으면 얻은 구 영상 내의 곡선들은 타원을 형성할 것이다. 이런 타원들의 중심은 곧 광학 중심(optical center)이 되고 그 장축의 반경은 초점거리(focal length)가 된다. 광학 중심과 초점거리를 구한 다음 어안렌즈가 반구와 거의 같다고 보고 반구에서 반구 위에 놓여있는 평면으로 투영(projection) 연산을 수행해서 영상을 보정한다.

광학 중심과 초점거리를 구하기 위한 실험은 어안렌즈를 부착한 CCD 카메라와 직선이 그어진 캘리브레이션 패턴으로 실행 하였으며 렌즈의 aspect ratio 는 무시 하였다. 실험 순서는 먼저 캘리브레이션 패턴을 이용하여 광학 중심을 구한 후 이를 이용하여 초점 거리를 구한다.

3.1 광학 중심 구하기

만일 왜곡이 없는 카메라로 공간상의 직선을 찍으

면 직선으로 영상에 나타날 것이다. 또 렌즈의 광학 중심을 지나는 선은 영상에 직선으로 나타난다. 이 두 사실을 이용하기 위해, 움직이는 패턴의 영상을 얻은 후 영상 내의 곡선들을 직선으로 fitting 한 후 이 직선들의 교점을 구한다. 그 교점이 렌즈의 광학 중심이다.

3.2 초점거리 구하기

구 영상을 얻을 수 있는 렌즈로 공간상의 직선들을 찍으면 얻은 구 영상 내의 곡선들은 타원을 형성할 것이다. 이런 타원들의 장축의 반경은 초점거리가 된다. 초점거리를 얻기 위해 앞에서 얻은 곡선들을 타원에 fitting 시킨다. 그러면 이들 타원은 광학중심에서 만나고 장축의 반이 렌즈의 초점 거리이다.

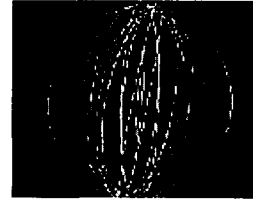


그림 1. 예지 검출한 영상을 타원 fitting 시킨 결과

3.3 왜곡 보정

본 논문의 제안한 모델에서 다음과 같이 평면으로 투영 연산을 하는 함수를 사용해 영상을 보정한다.

$$(x_d, y_d) = (x_u * \frac{F}{L}, y_u * \frac{F}{L})$$

여기서 (x_u, y_u) 는 구하려고 하는 왜곡이 보정된 점이며, (x_d, y_d) 는 영상에서 주어지는 왜곡이 있는 점이고, F 는 초점거리, L 은 길이(norm)로 즉, $\sqrt{x_u^2 + y_u^2 + F^2}$ 이다.

그림 2 는 왜곡이 보정된 점의 좌표 값 계산하는 함수를 나타내고 있다.

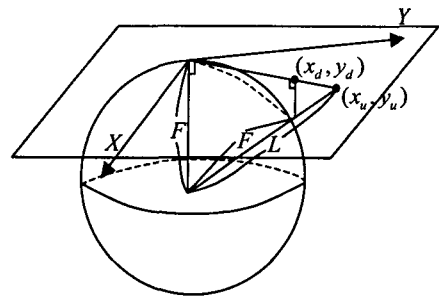


그림 2. 왜곡이 보정된 점의 좌표 값 계산

그림 3 은 원 영상과 왜곡이 보정된 영상 결과이다.



그림 3. 원 영상(좌)과 왜곡이 보정된 영상(우) 있다.

우리는 좀 더 왜곡을 정확히 보정하기 위해 구를 Spheroid 로 대체해서 다음과 같이 평면으로 투영 연산을 하는 함수를 사용해 영상을 보정했다.

$$(x_u, y_u) = \left(x_u * \frac{\alpha * F}{\sqrt{(\alpha * F)^2 + (x_u^2 + y_u^2)}}, y_u * \frac{\alpha * F}{\sqrt{(\alpha * F)^2 + (x_u^2 + y_u^2)}} \right)$$

여기서 (x_u, y_u) 는 구하려고 하는 왜곡이 보정된 점이며, (x_d, y_d) 는 영상에서 주어지는 왜곡이 있는 점이고, F 는 초점거리, α 는 그림 4에 나타내듯이 초점거리만을 조절해주는 값이며, 입력영상의 왜곡된 긴 선들을 Edge 검출해서 위의 식으로 보정 시 가장 직선답게 하는 계수 값이다.

그림 4는 왜곡이 보정된 점의 좌표 값 계산하는 함수를 나타내고 있다.

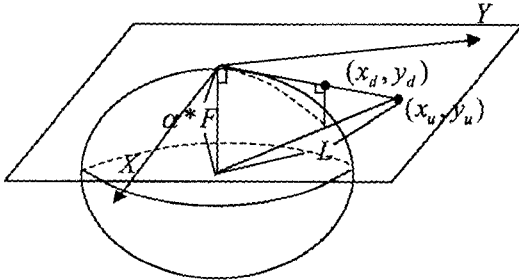


그림 4. 왜곡이 보정된 점의 좌표 값 계산

4. 시점이동에 따른 왜곡 보정

시점이동에 따른 왜곡 보정을 하기 위해서 그림 5 처럼 새로운 뷰에 대한 좌표계 (x', y', z') 로 좌표교환이 이루어진 후 평면으로의 투영연산을 통해 왜곡 보정을 한다.

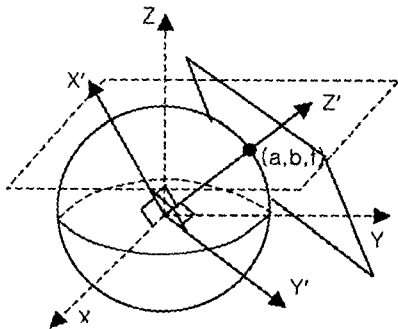


그림 5. 새로운 뷰에 대한 좌표계 교환

그림 5에서처럼 뷰 포인트의 좌표 값이 (a, b, f) 라던 직교 좌표계의 기저(basis) 관례로부터 다음과 같이 새로운 직교 좌표축 X', Y', Z' 의 기저벡터를 얻을 수

$$\vec{z}' = \frac{1}{\sqrt{f^2 + a^2 + b^2}} \begin{pmatrix} a \\ b \\ f \end{pmatrix}, \quad \vec{x}' = \frac{1}{\sqrt{f^2 + a^2}} \begin{pmatrix} f \\ 0 \\ -a \end{pmatrix}, \quad \vec{y}' = \frac{\vec{z}' \times \vec{x}'}{|\vec{z}' \times \vec{x}'|}$$

그러면 입력영상에서 X, Y, Z 좌표계 상의 한 점 (x_d, y_d, f) 는 X', Y', Z' 좌표계 상의 한 점 $(x'_d, y'_d, f') = (x'_d * \vec{x}', y'_d * \vec{y}', f' * \vec{z}')$ 으로 나타난다. 이 점은 다음 식에 의해 평면으로 투영연산을 수행해서 영상을 보정한다.

$$(x_d, y_d) = (x'_u * \frac{F}{L}, y'_u * \frac{F}{L})$$

여기서 (x_u, y_u) 는 구하려고 하는 왜곡이 보정된 점이며, (x_d, y_d) 는 영상에서 주어지는 왜곡이 있는 점이고, F 는 초점거리, L 은 길이(norm)로 즉, $\sqrt{x_u^2 + y_u^2 + F^2}$ 이다.

그림 6은 원 영상과 결과 영상이다.

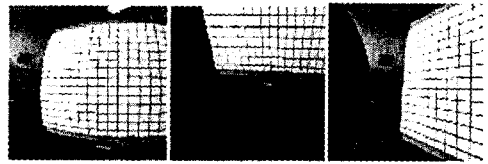


그림 6. 원 영상(좌)과 시점 이동에 따른 왜곡 보정영상(중, 우)

5. 실험결과

실험에서 우리는 Nayar model[5]과 우리가 제안한 보정 방법의 결과를 비교 한다. 표 1은 각 모델들의 왜곡 보정이 잘 되었는지를 알아보기 위해 입력영상의 Edge를 추출해서 직선다운 정도를 나타내고 있다. Error가 작을수록 보정이 잘 된 값이다. 제안한 구형 모델을 Spheroid로 바꾸었을 때, Error 값이 좀 더 떨어졌음이 확인이 되었다.

표 1. 제안한 방법과 Nayer 모델과의 비교 실험

	Error	비교
Sphrical	0.66276	$\alpha=0.98$
Spheroid	0.61342	
Nayer	0.63417	$c3=3e-006, c5=1e-010$ $p1=-1e-005, p2=-1e-005$

그림 7 은 우리가 제한한 모델과 Nayer 모델과의 결과 영상이다.

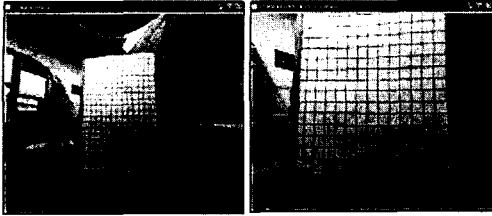


그림 7. Spheroid Model 과 Nayer Model 결과 영상

위 실험결과를 통해 영상의 질적인 측면에서 다른 방법과 비교 시 비슷한 결과를 얻고 있지만, 우리가 제시한 방법은 쉽고, 실시간에서 빠른 처리를 가능하도록 한다.

6. 결론

본 논문은 비계량적 접근으로 어안렌즈의 왜곡을 보정하는 방법을 제안하였다. 어안렌즈를 통한 영상을 구형 영상(spherical image)로 간주하고 간단한 기하학을 이용하여 왜곡을 보정하였다. 그리고 구형 영상을 spheroid 로 두고 왜곡을 보다 정확히 보정했고 또한 시점이동에 따른 새로운 뷰에서의 왜곡이 보정된 영상을 얻었다.

본 논문이 제안하는 방법은 비기계적 pan/tilt 카메라 시스템에 사용될 수 있으며, 가상환경의 항해 등에 효과적으로 사용될 수 있다.

향후과제로는 thin prism 과 Decentering 왜곡을 보정해서 영상의 질적인 면을 향상시키도록 하고 있다.

감사의 글 이 논문은 2004 년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

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

[2] Basu A, Licardie S (1995) Alternative models for fish-eye lenses. Pattern Recognition Letters 16: 433-441.

[3] Christian Bruer-Burchardt, Klaus Voss: Automatic Lens Distortion Calibration Using Single Views. DAGM-Symposium 2000: 187-194

[4] M. T. Ahmed and A. A. Farag, "Non-metric Calibration of Camera Lens Distortion,"IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'2001), Greece, Vol. II, pp. 157-160, October 2001.

[5] Shree K. Nayar, Senior Member (2000) Nonmetric Calibration of Wide-Angle Lenses and Polycameras IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 10, 1172-1178.

[6] Frdric Devernay, Olivier Faugeras (2001) Straight lines have to be straight. Machine Vision and Applications 13: 14-24.