

기하학적 렌즈 왜곡을 보정하기 위한 대응점 찾기

Estimating the Pixel-correspondence to Correct Geometrical Lens Distortion

이 학 무, 황 경 태, 강 문 기

연세대학교 공과대학 전기·컴퓨터 공학과

Hak Moo Lee, Kyeongtae Hwang, and Moon Gi Kang

Dept. of Electrical and Computer Engineering, Yonsei University

요 약

렌즈를 통하여 촬영하는 모든 영상은 근본적으로 렌즈에 의한 기하학적인 왜곡이 발생하게 된다. 특히 방송영상에 있어서 더 넓은 영역을 촬영하기 위하여 어안렌즈를 사용하게 되면 왜곡은 더욱 심각해진다. 이러한 기하학적인 렌즈 왜곡은 반지름 r 에 대한 다항식으로 모델링될 수 있고 여기서 각 항의 계수를 구함으로써 왜곡은 보정될 수 있다. 각 항의 계수는 Block-Matching Algorithm(BMA)을 이용한 대응 화소 검출을 통해서 얻어 질 수 있는 데 기존의 BMA는 사각형의 정해진 크기의 탐색 영역(search region)을 가지게 되므로 렌즈왜곡과 같은 특수한 상황에서는 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 렌즈 왜곡에 적응적인 탐색 영역(search region)을 갖는 새로운 BMA를 제안한다. 이는 렌즈 왜곡의 특성을 분석하여 렌즈 왜곡이 많이 일어나는 부분만을 특별히 정해서 대응 화소를 찾으므로 찾는 속도는 현저히 증가하고 성능은 기존의 BMA와 같은 성능을 보인다. 이러한 알고리즘은 하드웨어 구현에도 많은 도움이 될 것이다.

I. 서론

내시경 영상등에서 나타나는 기하학적인 렌즈의 왜곡을 대응점을 추정하여 얻은 왜곡 파라미터를 구함으로써 보정할 수 있다. 대응점을 추정하는 방법은 BMA를 많이 사용한다. 일반적인 BMA는 그 탐색 영역이 사각형 모양의 탐색영역을 가진다. 또한, 탐색 영역의 크기도 어느 곳에서나 일정한 크기를 가진다. 이와 같은 기존의 BMA는 본 논문에서 언급하고자 하는 특정한 분야에서는 비효율적이

다. 따라서 렌즈 왜곡의 특성을 분석하여 그 특성에 적합한 탐색 영역을 가짐으로 효율을 높일 수 있다. 렌즈의 왜곡은 방사 방향으로 발생하고 크기도 반지름에 비례 하므로 탐색영역은 이러한 특징을 반영하여 최적화 된 영역을 가짐으로 그 효율성은 높이며 성능은 유지할 수 있을 것이다. 또한 그 계산 시간도 줄일 수 있고 하드웨어로 구현 했을 때 더 간단한 회로로 구현이 가능할 것이다.

II. 본론

1. 렌즈 왜곡의 모델

렌즈 왜곡에 대한 많은 기존의 연구들을 조사해보면 렌즈왜곡은 두 종류의 왜곡으로 구성되어 있다[1]-[4]. 첫번째 종류의 왜곡은 렌즈의 불완전한 모양으로 인하여 발생하는 것으로, 방사상의 방향으로 위치에 오차가 생기는 것이고, 두번째 종류의 왜곡은 렌즈가 정확한 위치에 있지 않거나 카메라의 위치등에 의해서 발생하게 되는 것으로 방사상의 방향으로의 왜곡도 발생 시키고 접선 방향으로의 왜곡도 발생 시킨다(그림 1).

방사상으로 일어나는 왜곡은 두가지 종류의 렌즈왜곡 모두에 존재 하는데, 이는 렌즈의 종류나 다른 요인에 의해서 픽셀이 원래 있어야 되는 위치에서 안쪽으로 또는 바깥쪽으로 움직이는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 방사 방향으로의 왜곡은 다음과 같은 식으로 모델링 될 수 있다.

$$\delta_r(r) = k_2 r^2 + k_3 r^3 + \dots + k_p r^p, \quad (1)$$

여기서 δ_r 는 방사 방향으로의 움직임(왜곡의 정도)을 나타내고, r 는 렌즈의 중앙(principal point)에서부

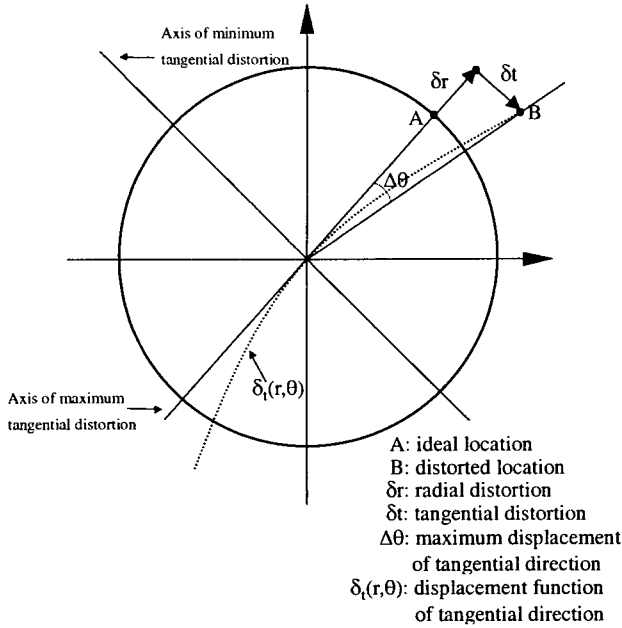


그림 1. 방사 방향과 접선 방향 왜곡

터의 원래 영상에서의 거리를 나타낸다. $k_2 \sim k_p$ 방사 방향의 왜곡 파라미터이다. 위의 모델링 식을 보면 왜곡의 크기는 원래 영상의 반지름의 고차 다항식에 비례하는 것을 알 수 있다. 또한, 방사 방향의 왜곡만을 고려 한다면 대응점은 반드시 방사선 위에 존재 할 것이다. 다시 말하면 방사 방향으로의 왜곡만을 고려 한다면 렌즈의 왜곡은 렌즈의 중심에 가까운 점은 방사 방향으로 적은 크기의 왜곡을 가지게 되고, 렌즈 중심에서 먼 점은 방사 방향으로 큰 왜곡을 가지게 된다. 접선 방향으로 일어나는 왜곡은 두번째 종류의 왜곡에만 존재하는데, 이는 주어진 영상의 원래 픽셀에서 접선 방향으로의 이동이다. 이를 식으로 모델링 하면 다음과 같다.

$$\delta_t(r, \theta) = (l_1 r^2 + l_2 r^4 + \dots) \cos(\theta - \theta_0), \quad (2)$$

δ_t 는 접선 방향으로의 움직임을 나타내고, l_1, l_2, l_3, \dots 들은 접선 방향으로의 왜곡의 파라미터를 나타내고, θ_0 의 크기는 y 축의 양의 방향과 접선방향으로 최대의 왜곡이 일어나는 기준축 사이 각도이다. 이는 그림 1에 나타나 있다. 위 식에서 보면 접선 방향의 각도에 대한 삼각함수의 곱에 비례하는 것을 알 수 있다. 이는 접선 방향의 왜곡은 최소 접선 방향 왜곡 축에 가까운 점은 적은 왜곡이 발생하고, 최대 접선 방향 왜곡 축에 가까운 점은 큰 왜곡이 발생

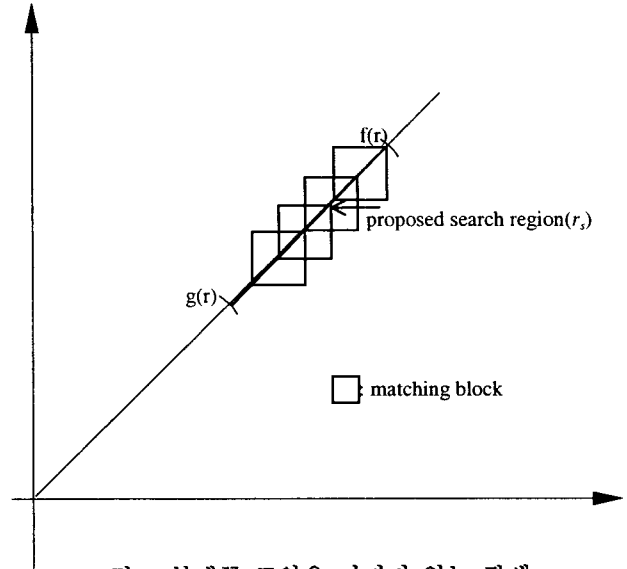


그림 2. 부채꼴 모양을 가지지 않는 탐색

한다는 것을 알 수 있다. 또한, 반지름의 고차 다항식에 의해서 렌즈의 중심과 가까운 곳에서는 작은 왜곡이 발생하고 중심과 먼 곳에서는 큰 왜곡이 발생하는 것을 알 수 있다.

2. 부채꼴 모양의 탐색영역을 가지지 않는 BMA

위에서 언급된 방사 방향의 왜곡과 접선 방향의 왜곡 중에서 방사 방향의 왜곡이 더 많은 영향을 미친다. 따라서 두 가지 왜곡 중 많은 영향을 미치는 방사 방향의 왜곡만을 고려한 BMA를 먼저 제안하고 일반적인 부채꼴 모양의 탐색 영역을 가지는 BMA에 대해서 제안하도록 하겠다. 앞장에서 살펴본 바에 의하면 방사 방향으로의 왜곡은 그 반지름의 고차 다항식으로 나타낼 수 있음을 알 수 있다. 즉 중심에 가까운 점은 적은 왜곡을 가지고 중심에서 먼 점은 큰 왜곡을 가짐을 알 수 있다. 이는 중심에 가까운 영역에서는 작은 탐색 영역을 가져도 그 효율은 떨어지지 않을 것을 예상할 수 있다. 또한 접선 방향의 왜곡을 고려하지 않으면 왜곡은 방사 방향으로만 일어나게 된다. 그러므로 탐색은 방사선을 따르는, 반지름에 비례하는 길이의 선만을 탐색하면 됨을 알 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$g(r) \leq r_i \leq f(r), \quad (3)$$

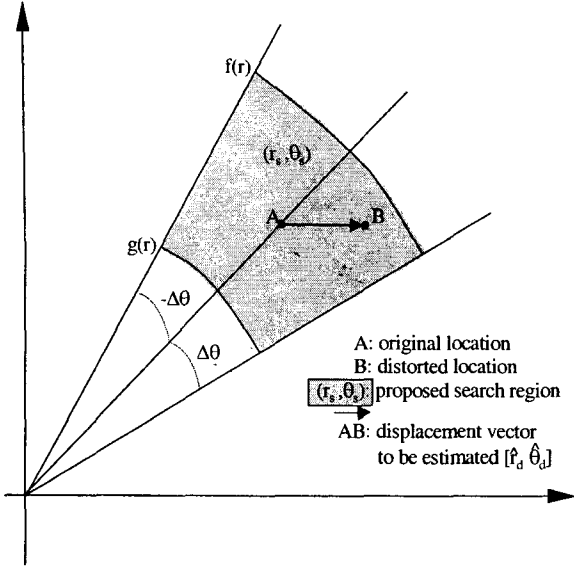


그림 3. 부채꼴 모양을 가지는 탐색

$f(r)$ 과 $g(r)$ 는 방사 방향으로의 최대거리와 최소거리를 나타낸다. 이는 그림 2 에 잘 나타나 있다. 이러한 탐색은 방사 방향으로의 왜곡만을 가지고 있는 경우에는 그 성능의 저하 없이 속도를 많이 높일 수 있다.

3. 부채꼴 모양의 탐색영역을 가지는 BMA

앞에서 살펴본 부채꼴 모양의 탐색 영역을 가지지 않는 BMA 의 확장으로 부채꼴 모양의 탐색영역을 가지는 BMA 를 제안하려 한다. 이는 앞에서 제안한 방법과는 다르게 두 가지 렌즈 왜곡을 모두 고려한 모델이다. 따라서 위에서 제안한 반지름 영역에 접선방향의 왜곡을 고려한 각도 성분이 추가되어 다음과 같은 극 좌표계에서의 영역을 제안할 수 있다.

$$g(r) \leq r_s \leq f(r) \quad (4)$$

$$-\Delta\theta \leq \theta_s \leq \Delta\theta, \quad (5)$$

r_s 는 방사 방향으로의 탐색 영역을 나타내고, θ_s 접선방향으로의 탐색 영역을 나타낸다. $f(r)$ 과 $g(r)$ 는 방사 방향으로의 최대거리와 최소거리를 나타낸다. $\Delta\theta$ 는 식(2)에 의해서 결정될 수 있는 최대 접선 방향 왜곡을 나타낸다. 이를 그림 3 에 나타내었다. 이와 같이 탐색 영역의 크기를 렌즈 왜곡에 기반하여 반지름에 관한 함수로 나타냄으로 제안한 부채꼴

모양의 탐색 영역은 기존의 BMA 의 탐색 영역보다 그 크기가 작음을 알 수 있다. 특히 중심에 가까운 영역에서는 탐색 영역의 크기가 기존의 영역보다 많이 작음을 알 수 있다. 그림 3 에서 보여준 것과 같은 부채꼴 모양의 탐색영역에서 MMSE(Minimum Mean Square Error)를 이용하여 위치의 이동을 구할 수 있다. 이는 다음식에 나타내었다.

$$MSE(r_d, \theta_d) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_B [I(r, \theta) - I'(s, \phi)]^2 \quad (6)$$

$$[\hat{r}_d \hat{\theta}_d]^T = \arg \min_{(r_d, \theta_d)} MSE(r_d, \theta_d), \quad (7)$$

B 는 $N_1 \times N_2$ 의 크기를 가지는 블록의 크기이고 $I(r, \theta)$, $I'(s, \phi)$ 는 각각 왜곡이 없는 영상의 좌표와 왜곡이 생긴 영상의 좌표에서의 픽셀 값을 나타내고, $[\hat{r}_d \hat{\theta}_d]^T$ 는 두 영상의 계산된 원래 영상에서 왜곡된 영상으로의 이동을 나타낸다. 이와 같이 계산된 원래영상에서 왜곡된 영상으로의 움직임을 이용하여 왜곡 파라미터를 구할 수 있고, 왜곡 파라미터를 이용하여 렌즈의 왜곡을 보정할 수 있다.

III 실험결과

본 논문에서 제안한 부채꼴 모양의 탐색 영역을 가지지 않는 방사방향 탐색을 하는 BMA 와 이의 일반 형태인 부채꼴 모양의 탐색 영역을 가지는 BMA 를 기존의 대응점을 찾는데 많이 사용되어온 사각형 탐색 영역을 가지는 BMA 또는 PEL-RECURSIVE 방법과 그 성능과 효율성이라는 두 가지 측면에서 비교해 보도록 하겠다. 본 논문의 실험을 위해서 256x256 크기의 영상을 사용하였고 16x16 크기의 블록을 사용하였으며 기존의 BMA 에 대해서는 $-17 < x < 17, -17 < y < 17$ 의 탐색 영역을 이용하였다. 이의 실험 결과는 표 1 에 잘 나타내었다. 표 1 를 보면 본 논문에서 제안한 방법이 기존의 방법에 비해서 성능은 그대로 유지 하면서 속도가 2 배 이상 빠른 것을 알 수 있다. 첫번째 제안한 방법은 이 실험에서는 그 성능이 두번째 제안한 방법에 비해 많이 떨어지지 않지만 어느 특별한 경우에 접선 방향의 왜곡이 심하게 있는 경우에는 그 성능이 많

	Precision	Time(/CBM)
Conventional block matching(CBM)	94%	100 %
Pel-recursive	93%	82.3 %
Radial search with fan-shaped search region	96%	55.8 %
Radial search only along the radial direction	95.5%	32.4 %

표 1. 기존의 탐색 방법과 비교

이 떨어질 것이다. 하지만 일반적인 렌즈의 왜곡은 방사 방향의 왜곡이 렌즈 왜곡의 대부분을 차지하게 되므로 그 성능에서는 별로 차이가 없이 속도를 많이 높일 수 있다. 다음으로 그림 4, 그림 5는 이러한 방법으로 구한 대응점을 이용하여 왜곡 파라미터를 구한 후, 렌즈의 왜곡을 보정하는 실험에 대한 영상이다. 그림 4는 렌즈의 왜곡이 있는 영상이고, 그림 5는 각각 그림 4로부터 보정한 영상과 원래 영상과 보정한 영상의 차이를 나타내는 것이다.

IV 결론

본 논문에서는 기존의 BMA에 비하여 더 효율적이 탐색 영역을 가지는 부채꼴 모양의 탐색 영역을 가지는 BMA를 제안 하였다. 이러한 BMA는 기하학적인 왜곡, 특히 렌즈 왜곡의 보정을 위한 대응점을 찾기 위해서 사용되는데, 이는 각각의 기하학적인 왜곡들의 특징을 분석하여 특별한 모양의 탐색 영역을 갖는 BMA를 만들 수 있다. 렌즈의 왜곡과 같은 것은 특히 하드웨어로 구현되어 카메라등에 이용되어야 하므로 그 속도가 매우 중요하다. 따라서, 이러한 방법을 통한 새로운 BMA는 성능의 저하 없이 연산속도를 많이 높일 수 있으므로 매우 유용할 것이다.

참고문헌

- [1] W.Faig "Calibration of close-range photogrammetric systems: Mathematical formulation." " Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol 41.no.12 pp 1479-1486,December 1975
- [2] Hideki Haneishi, Yutaka Yagihashi, and Yochi



그림 4. 왜곡된 영상

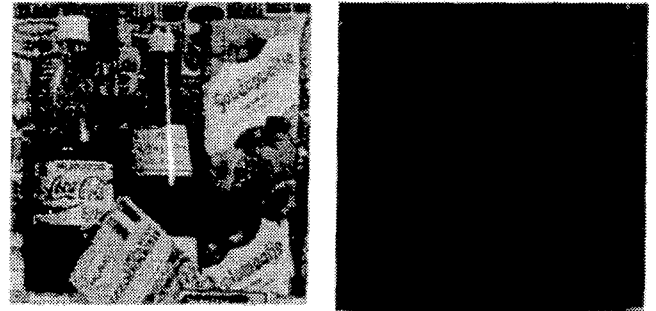


그림 5. 보정한 영상과 원래 영상과의 차 영상

Miyake "A New Method for Distortion Correction of Electronic Endoscope Images" IEEE Transactions On Medical Imaging vol.14 no.3 september.1995

- [3] Juyang Weng, Paul Cohen, and Marc Herniou " Camera Calibration with Distortion Models and Accuracy Evaluation" IEEE Transactions On Pattern Analysis and Machine Intelligence vol. 14 no.10.october 1992
- [4] G. P. Stein "Lens Distortion Calibration Using Point Correspondences" MIT Artificial Intelligence Lab. Cambridge, 1997.