

논문 2014-51-10-19

자기 예제 참조기반 단계적 어안렌즈 영상보정을 통한 주변부 열화 제거

(Non-Dyadic Lens Distortion Correction and Image Enhancement Based
on Local Self-Similarity)

박진호*, 김동균*, 김대희*, 김철현**, 백준기***

(Jinho Park, Donggyun Kim, Daehee Kim, Chulhyun Kim, and Joonki Paik[Ⓢ])

요약

본 논문에서는 어안렌즈의 방사형 왜곡을 보정하면서 생기는 계단 현상과 흐려짐 현상을 제거하기 위해서 자기 예제 참조기반 단계적 어안 렌즈 영상의 기하학적 보정과 복원 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 포물선 방정식을 적용해서 어안 렌즈 영상을 단계적으로 보정하고, 보정된 결과 영상에 자기 예제 참조 방법을 적용하여 계단 현상(jagging artifact)과 흐려짐 현상(blur artifact) 등의 부작용을 제거한다. 제안된 방법은 어안 렌즈 영상의 기하학적 보정과 주변부 열화 개선이 필요한 자동차의 전후방 카메라, 비디오 감시 시스템 등에 적용하여 손실율이 적은 영상 획득을 가능하게 한다.

Abstract

In this paper, we present a non-dyadic lens distortion correction model and image restoration method based on local self-similarity to remove jagging and blurring artifacts in the peripheral region of the geometrically corrected image. The proposed method can be applied in various application areas including vehicle real-view cameras, visual surveillance systems, and medical imaging systems.

Keywords : 왜곡 보정, 어안렌즈, 단계적 영상 보정, 지역적 자기 유사도

* 학생회원, *** 평생회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과
(Dept. of Image Engineering, Graduate School of Advanced Image Science, Multimedia, and Film, Chung-Ang University)

** 학생회원, 나사렛대학교 방송미디어학과
(Dep. of Media and Broadcast Korea Nazarene University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: paikj@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 산업통상자원부 기술혁신사업(SW융합형 부품 기술개발사업 스마트 현장판단형 영상/음향 보안감시 SoC 및 핵심부품 개발, 10047788), 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업 [14-824-09-002, (2세부) 대규모 실시간 비디오 분석에 의한 전역적 다중 관심객체 추적 및 상황 예측 기술 개발]과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 ICT연구센터 지원사업(NIPA-2014- H0301-14-1044)의 지원으로 수행되었습니다.

접수일자: 2014년07월04일, 수정일자: 2014년08월21일, 게재확정: 2014년09월30일

I. 서론

최근 넓은 화각(Field of view)을 갖는 어안 렌즈는 일반 렌즈보다 넓은 시야를 포함하는 영상을 획득을 가능하게 하는 장점 때문에 감시시스템, 의료영상기기, 자동차 후방 카메라 등 다양한 디지털 영상 장치에서 사용되고 있다.

하지만 어안렌즈를 통하여 획득된 영상은 영상의 중심부로부터 멀어질수록 심각한 방사형 왜곡을 가지게 된다. 핀홀(pinhole) 카메라 모델에서 기하학적 방사형 왜곡은 영상의 이상적인 위치에 멧히게 되는 화소(pixel)를 방사 방향으로 이동시킨다^[1]. 이와 같은 어안 렌즈 효과는 획득된 영상의 중심에서 많은 정보를 포함하는 고해상도 영상을 획득할 수 있는 반면, 주변부에서는 비선형적으로 해상도 저하 현상이 발생하기 때문에 영상의 전체적인 품질을 저하시킨다.

방사형 왜곡 문제를 해결하기 위해 다양한 왜곡 보정 방법들이 연구되어 왔다. Brown은 홀수차 다항식을 사용하여 방사형 왜곡을 설명하였고^[2], Tsai는 이 홀수차 다항식을 사용하여 3차원 공간에서 영상 보정 방법을 제안하였다^[3]. Zhang은 다양한 거리 및 방향에서 촬영된 평면 패턴을 사용하여 보정 방법을 제시하였다^[4]. Hughes는 왜곡 영상에서 소실점(vanishing point)를 추출하여 보정하는 방법을 제안하였다^[5]. 그러나 기존 방법들은 선형 보간 방법을 사용하기 때문에 영상의 중심으로부터 멀어질수록 방사형 방향을 따라서 앨리어싱(aliasing) 현상이 증가하게 된다.

Kim은 앨리어싱을 없애기 위해 영상의 중심으로부터의 거리에 따른 적응적 가우시안 보간 커널을 사용한 후 왜곡 영상과 보정된 영상간의 자기 예제 참조(self-example)을 적용하였다^[6]. 이 방법은 기존의 방법들보다 영상의 주변부에서 보다 선명하고 앨리어싱을 감소시키는 반면, 주변부에서 왜곡된 영상과 보정된 영상간의 유사도(similarity)가 낮아 부적합한 예제 패치가 선택되어 영상 개선 성능의 한계를 갖는다. 여기에서 사용된 지역적 유사도기반 자기 예제 참조 방법^[7]은 기본적으로 충분히 작은 축소 비율로 영상을 축소했을 때 원본영상의 모든 패치들은 축소된 영상 내에서 대응되는 좌표 주변에서 비슷한 패치를 찾을 수 있다는 가정에서 출발한다.

본 논문에서 제안하는 방법은 자기 예제 참조 방법을

어안렌즈 영상 보정에 적용한다. 유사도(similarity)가 높은 영상을 획득하기 위해 영상 보정 과정을 여러 단계로 나누어 되풀이하여 기하학적 보정을 수행하고, 자기 예제 참조 방법을 사용하여 계단 현상과 흐려짐 현상을 제거한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 방법에서 사용되는 기존의 어안렌즈 보정을 위한 수학적 모델을 설명하고, III장에서는 제안하는 자기 예제 패치 기반 단계적 어안렌즈 영상 보정 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 실험결과를 제시하고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 배경이론

어안렌즈는 일반렌즈보다 넓은 화각을 가지고 있기 때문에 넓은 시야각을 확보할 수 있고, 영상 중심부에서는 고해상도 영상을 획득할 수 있다. 이러한 어안렌즈의 장점 때문에 기상관측 시스템, 감시 시스템, 차량용 전후방 카메라 등 다양한 분야에서 이용되고 있다.

하지만 어안렌즈를 이용하여 영상을 취득할 경우 영상의 중심을 기준으로 기하학적 방사형 왜곡이 발생한다. 따라서 기하학적 방사형 왜곡을 보정하기 위해서는 보정 작업이 필요하다. 본 논문에서 사용되는 보정은 정사영 함수(orthographic projection function)를 기반으로 한다.

1. 정사영 함수

그림 1은 어안 렌즈 모델에 사용되는 가장 기본적인 정사영 모델을 나타낸다^[8]. 그림 1과 같이 영상 위의 점 p 와 영상의 중심 c 사이의 거리 r_d 는 3차원 공간상의

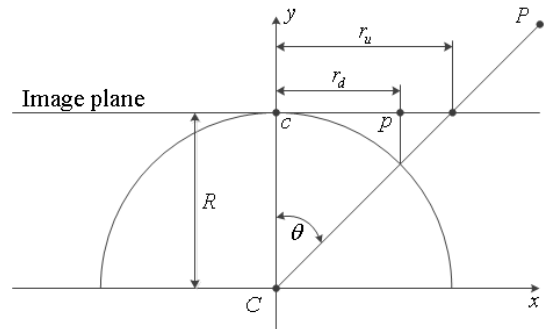


그림 1. 어안 렌즈의 정사영 모델
Fig. 1. Orthographic projection model for a fisheye lens.

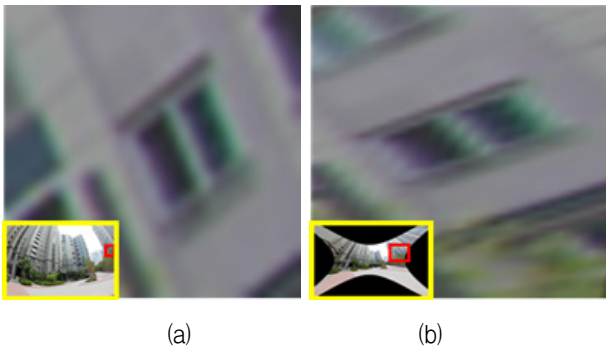


그림 2. 정사영 모델 기반 어안렌즈 보정:
(a) 원본 영상, (b) 기하학적 보정 결과 영상
Fig. 2. Fish eye lens correction based on the orthographic projection model: (a) input image and (b) the geometrically corrected image.

점 P 와 광축(Optical axis)이 이루는 각도 θ 에 의해서 결정된다.

정사영 모델에서 왜곡함수는 다음과 같이 정의된다.

$$r_d = R \sin(\theta) \quad (1)$$

여기서 R 은 원점(principal point) C 에서 영상 평면(image plane)까지의 거리를 나타내고, r_d 는 광축 y 에서 왜곡된 영상의 점 p 까지의 거리를 나타낸다.

그림 2는 정사영 모델을 기반으로 양선형 보간법(binilinear Interpolation)을 이용하여 어안 렌즈 영상을 보정한 결과이다. 그림 2(a)는 화각이 180도인 어안렌즈를 이용하여 촬영된 영상의 일부분을 확대한 영상이고, 그림 2(b)는 정사영 모델을 이용하여 기하학적 보정을 수행한 결과 영상이다. 기하학적 보정된 영상의 창틀 부분에서 계단현상 나타나는 문제점을 확인 할 수 있다.

III. 예제 패치 기반 단계적 영상 보정

어안 렌즈를 사용하여 영상을 촬영할 때 기하학적으로 방사형 왜곡이 발생한다. 이러한 왜곡을 양입방 보간법(bicubic interpolation)이나 양선형 보간법 같은 일반적인 보간 방법으로 보정하면 그림 2와 같이 흐려짐 현상과 계단 현상이 발생한다. 현실적으로 기하학적 왜곡을 보정하기 위한 최적의 보간 방법을 찾는 것은 매우 어렵다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 단계적 영상 보정 방법을 제안하고, 지역적 자기 유사도



그림 3. 제안하는 방법의 흐름도
Fig. 3. Block diagram of the proposed method.

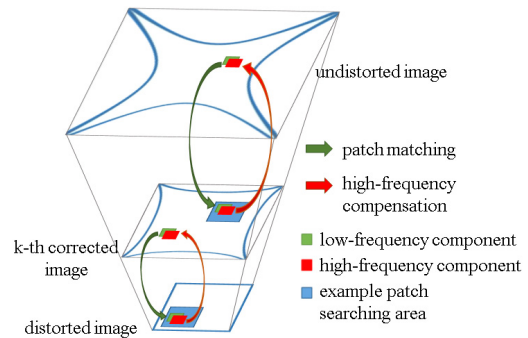


그림 4. 제안하는 패치 탐색 방법의 개념도
Fig. 4. The proposed method for searching the optimal patch.

(local self-similarity)에 기반한 자기 예제 참조 방법을 적용하여 보정된 영상을 추가적으로 개선한다. 그림 3은 제안하는 방법의 흐름도 이다.

그림 3. 에서 g 는 어안 렌즈를 통해 획득된 영상을 나타낸다. \hat{g}^k 는 k 단계에서 제안하는 단계적 어안렌즈 보정 모델을 이용하여 k 번째 보정된 영상을 나타내며, \hat{f}^k 는 자기 예제 참조 방법을 사용해서 개선된 영상을 나타낸다. m 은 최종 영상 f 를 얻기까지의 총 보정 단계 횟수를 나타낸다.

그림 4는 제안하는 패치 탐색 방법의 개념도이다. k 번째 단계와 k 이전의 단계 $k-1$ 번째 단계에서 보정된 영상을 차례대로 \hat{g}^k 와 \hat{g}^{k-1} 라고하면, \hat{g}^k 의 각 패치에 대한 유사도가 높은 패치를 \hat{g}^{k-1} 에서 대응되는 좌표 주변에서 찾아서 고주파 성분을 보상하여 개선된 영상 \hat{f}^k 를 만든다. 최종 보정 영상 f 를 얻을 때까지 동일한 과정을 반복한다.

1. 단계적 영상 보정

지역적 유사도 기반 자기 예제 참조 방법은 작은 확대 비율에서 좋은 성능을 보이기 때문에^[7] 여러 단계에 나누어 보정을 수행하면 보다 유사한 패치를 탐색할 수 있다. 제안하는 방법은 포물선 방정식에 기반한 단계적 영상 보정을 수행한다.

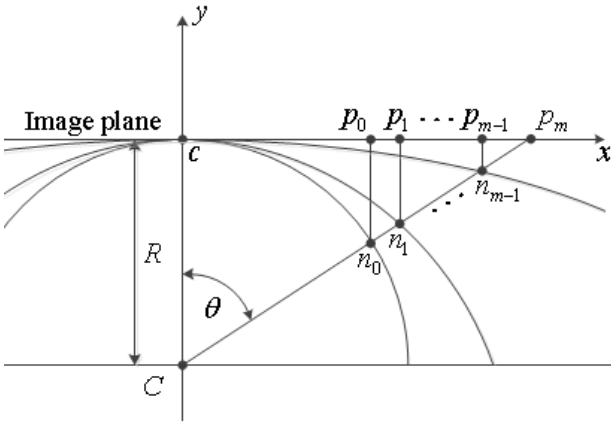


그림 5. 단계적 어안렌즈 보정 모델
Fig. 5. Non-dyadic lens distortion correction model.

모든 단계에서 점 $p_k, k = 0, 1, 2, \dots, m$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$p_k = (R \sin(\theta) \times s^k, 0), \quad s = 1.25, \quad (2)$$

여기서 s 는 확대 비율을 나타내며, 높은 지역적 유사도를 확보하기 위해서 단계적 영상 간의 확대비율을 1.25 이하로 한다^[7].

원점(principal point) C 와 점 p_m 를 잇는 직선 위의 점 n_k 를 다음과 같이 구한다.

$$n_k = \left(R \sin(\theta) \times s^k, \frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} (R \sin(\theta) \times s^k) - R \right) \quad (3)$$

마지막으로 점 n_k 를 지나는 포물선의 방정식을 구해서 제안된 단계적 어안 렌즈 보정 모델을 얻는다. 점 n_k 를 지나는 포물선 방정식의 초점 F_k 는 다음과 같이 정의된다.

$$F_k = \frac{(R \sin(\theta) \times s^k)^2}{4 \left(\frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} (R \sin(\theta) \times s^k) - R \right)}. \quad (4)$$

2. 이중 트리 복소수 웨이블릿 변환 기반 고주파 성분 추출

k 번째 단계에서 보정된 영상의 고주파 성분을 보상하기 위해서 해당 영상의 고주파 성분을 추출한다. 이를 위해서 이중트리 복소수 웨이블릿 변환(dual-tree complex wavelet transform: DT-CWT)^[9]을 이용하는

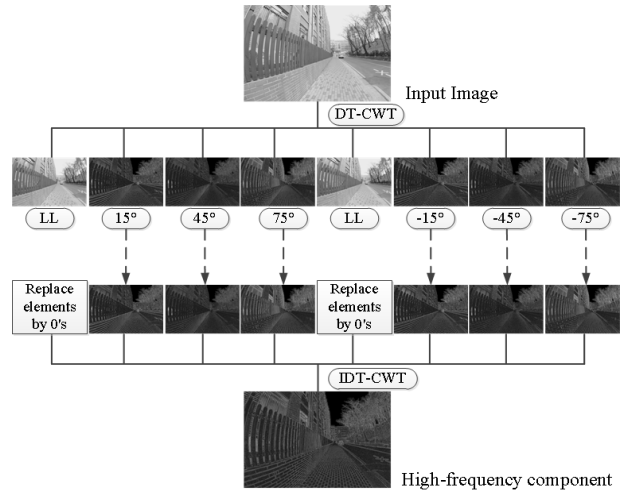


그림 6. DT-CWT를 이용한 고주파 성분 추출
Fig. 6. High-frequency components in six directions generated by DT-CWT.

방법을 제안한다.

일반적인 이산 웨이블릿 변환 (discrete wavelet transform; DWT)은 영상을 저주파 대역과 수평, 수직 및 대각 방향의 고주파 성분으로 분해하기 때문에, 다양한 사선 방향의 에지들을 표현할 때 불연속 혹은 단절 현상이 발생한다. 이와는 달리 DT-CWT는 입력영상을 두 개의 저주파 부대역(LL subband)들과 여섯 가지 방향성(15°, -15°, 45°, -45°, 75°, -75°)을 갖는 고주파 부대역들로 분해하기 때문에^[9] DWT보다 세밀한 방향의 에지를 표현할 수 있다. 본 논문에서는 그림 6과 같이, DT-CWT를 사용해서 분할된 8개의 부대역들 중에서 두 개의 LL 부대역을 0으로 만든 후 역변환을 수행해서 입력 영상의 다양한 방향의 고주파 성분을 추출한다.

3. 자기 예제 참조 기반 영상 개선

k 번째 단계에 보정된 영상이 가지고 있는 계단 현상과 흐려짐 현상을 없애기 위해서 본 논문에서는 그림 5에서 설명한 바와 같이 $k-1$ 단계 보정 영상의 고주파 성분을 패치 단위로 보상한다.

k 단계 보정 영상의 중심좌표가 (x_D, y_D) 인 패치와 $k-1$ 단계 보정 영상의 대응되는 좌표 (x'_D, y'_D) 주변의 예제 패치를 다음의 식과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \hat{g}_{p(x_D, y_D)}^k(a, b) &= \hat{g}^k(x_D + a, y_D + b), \\ \hat{g}_{p(x'_D + i, y'_D + j)}^{k-1}(a, b) &= \\ &\hat{g}^{k-1}(x'_D + a + i, y'_D + b + j), \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $-\frac{B}{2} \leq a, b \leq \frac{B}{2}$ 를 만족하고, B 는 패치의 크기, (i, j) 는 이동 벡터, 그리고 아래 첨자 P 는 패치를 나타낸다. 최적의 이동 벡터 (i_O, j_O) 는 벡터 차분의 절대값(sum of absolute differences: SAD)이 최소값을 갖는 패치에 의해서 결정된다.

$$\begin{aligned} (i_O, j_O) &= \\ &\operatorname{argmin}_{(i, j)} \sum_a \sum_b \left| \widehat{g}_{LP(x_D, y_D)}^k(a, b) - \widehat{g}_{LP(x'_D + i, y'_D + j)}^{k-1}(a, b) \right|, \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 \hat{g}_{LP}^k 와 \hat{g}_{LP}^{k-1} 은 \hat{g}_P^k 와 \hat{g}_P^{k-1} 의 저주파 성분으로써 그림 6의 LL부대역 영상의 패치에 해당한다.

유사도가 가장 높은 패치 $\widehat{g}_{LP(x'_D + i_O, y'_D + j_O)}^{k-1}(a, b)$ 가 선택되면, 이 패치의 고주파 성분을 $\widehat{g}_{P(x_D, y_D)}^k(a, b)$ 에 보상해준다. 최종 적으로 k 단계의 개선된 영상 $\hat{f}(x_D, y_D)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \hat{f}(x_D + a, y_D + b) &= \hat{g}^k(x_D + a, y_D + b) \\ &+ \widehat{g}_{HP(x'_D + i_O, y'_D + j_O)}^{k-1} \times \frac{1}{B^2} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\widehat{g}_{HP(x'_D + i_O, y'_D + j_O)}^{k-1}$ 은 $\widehat{g}_{P(x'_D + i_O, y'_D + j_O)}^{k-1}(a, b)$ 의 고주파 성분을 나타내고, $\frac{1}{B^2}$ 은 겹치는 패치들을 정규화 시키기 위한 항이다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 사용된 실험 영상을 촬영하기 위해서 화각이 180°인 Tokina AT-X 107 DX Fish Eye 10 - 17mm F3.5-4.5 어안 렌즈를 사용하였다.

본 절에서는 제안하는 자기 예제 패치 기반 단계적 어안 렌즈 보정 방법을 이용하여 어안렌즈 왜곡을 보정하는 방법에 대한 실험 결과를 보인다. 그리고 기존의 정사영 모델을 이용하여 보정한 결과와 비교함으로써

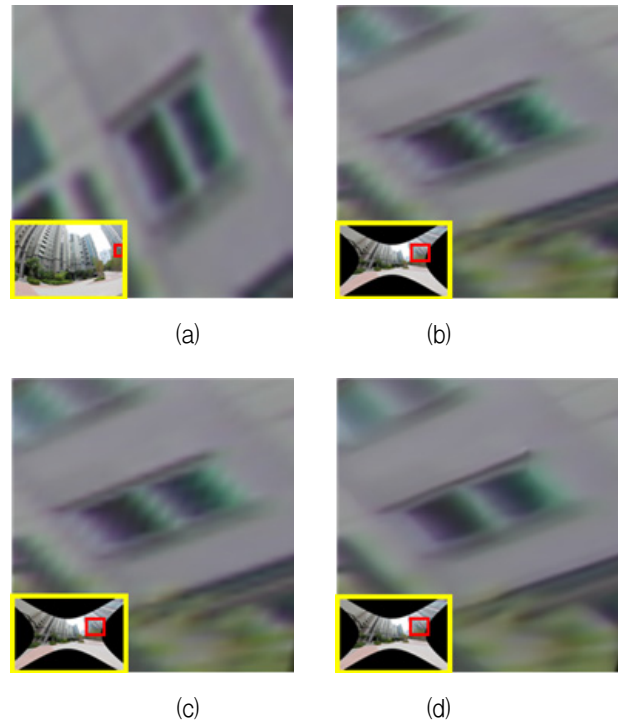


그림 7. 어안렌즈 영상 보정 결과: (a)원본 영상, (b) 정사영 모델 기반 영상 보정 결과, (c) 결과 (b)에 자기 예제 참조 방법을 적용한 결과 영상, (d) 제안하는 방법

Fig. 7. Fisheye lens image correction results: (a) original image, (b) corrected result based on the orthographic projection model, (c) enhanced result based on self-examples with (b), and (d) result of the proposed method.

제안하는 방법의 우수성을 검증한다. 또한, 단계적 어안 렌즈 보정 방법을 적용 했을 때와 적용하지 않았을 때의 결과 영상을 비교함으로써, 단계적 어안렌즈 보정 방법의 필요성을 검증한다.

그림 7(d)는 단계적 어안렌즈 영상 보정 모델을 적용함으로써 \hat{g}^k 와 \hat{g}^{k-1} , $k = 1, 2, \dots, n$, 영상에서 유사도가 높은 패치를 찾을 확률이 증가한다. 즉, 단계적으로 유사도가 높은 패치의 고주파 성분을 보상함으로써 주변부에 생기는 계단현상과 흐려짐 현상이 없는 고품질의 영상을 만들 수 있다. 이는 자기 예제 참조 방법은 단계적 어안렌즈 영상 보정 모델을 적용하였을 때 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 어안렌즈의 보정 과정에서 기하학적

방사형 왜곡에 의한 계단 및 흐려짐 현상을 제거하기 위해 자기 예제 참조 기반 영상 보정 방법을 제안하였으며, 추가적인 개선을 위해서 포물선 방정식을 적용한 단계적 어안 렌즈 영상 보정 방법을 제안하였다. 단계적 보정은 비교하는 영상 사이에서 보다 유사도가 높은 예제 패치를 찾아 고주파 성분의 보상을 가능하게하였다. 실험에 의해서 제안하는 방법이 어안렌즈 보정 과정에서 생기는 계단 및 흐려짐 현상을 효과적으로 제거할 수 있음을 증명한 동시에, 제안된 단계적 어안렌즈 영상 보정 모델의 타당성을 검증하였다.

결과적으로 제안된 방법을 이용하여 감시시스템, 차량용 전후방 카메라 또는 의료 영상 기기 등 어안렌즈를 활용하는 분야에 적용하여 보다 품질이 좋은 영상을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] C. Hughes, P. Denny, E. Jones and M. Glavin, "Accuracy of fish-eye lens models," *Applied Optics*, vol. 49, no. 17, pp. 3338-3347, 10 June 2010.
- [2] D. Brown, "Decentering Distortion of Lenses," *Photometric Engineering*, vol. 32, no. 3, pp. 444 - 462, 1996
- [3] R. Tsai, "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3-D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses," *IEEE Journal of Robotics and Automation*, vol. 3, no. 4, pp. 323 - 344, August 1987.
- [4] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 11, pp.1330-1334, November 2000.
- [5] C. Hughes, R. McFeely, P. Denny, M. Glavin, and E. Jones, "Equidistant fish-eye perspective with application in distortion centre estimation," *Image and Vision Computing*, vol. 28, no. 3, pp. 538-551, March 2010.
- [6] D. Kim, J. Park, and J. Paik, "Lens Distortion Correction and Enhancement Based on Local Self-similarity for High-quality Consumer Imaging Systems," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 60, no. 1, pp. 18-22, February 2014.
- [7] G. Freedman and R. Fattal, "Image and Video Upscaling from Local Self-examples," *ACM Trans. Graphics*, vol. 30, no. 2, pp. 12.1-12.11, April 2011.
- [8] K. Miyamoto, "Fish Eye Lens," *Journal of the Optical Society of America*, vol. 54, Issue 8, pp. 1060 - 1061, 1964.
- [9] N. Kingsbury, "Complex Wavelets for Shift Invariant Analysis and Filtering of Signals," *Applied and Computational Harmonic*, vol. 10, no. 3, pp. 234-253, May 2001.

— 저 자 소 개 —

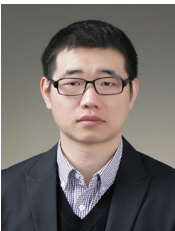


박진호(학생회원)
2013년 수원대학교 전자공학과 학사 졸업.
2014년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 석사과정 재학중.
<주관심분야 : 영상처리, 초해상도 영상 개선>



김동균(학생회원)
2007년 중앙대학교 전자전기공학부 학사 졸업.
2009년 중앙대학교 첨단영상대학원 석사 졸업.
2014년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사과정 재학중.

<주관심분야 : 영상 복원, 렌즈 왜곡 보정, 초해상도 영상 개선>



김대희(학생회원)
2005년 강남대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업.
2008년 중앙대학교 첨단영상대학원 석사 졸업.
2013년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사 졸업.

<주관심분야 : 객체 분할, 객체 추적, 광학 시물레이션, 렌즈 왜곡 보정>



김철현(학생회원)
2007년 중앙대학교 첨단영상대학원 석사 졸업.
2011년 중앙대학교 첨단영상대학원 박사 졸업.
2014년 현재 나사렛대학교 방송미디어학과 조교수.

<주관심분야 : 입체영상, 디지털시네마>



백준기(평생회원)-교신저자
1984년 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업.
1987년 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 석사 졸업.
1990년 노스웨스턴대학교 전기 및 컴퓨터 공학과 박사 졸업.

2014년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 교수.

<주관심분야 : 영상복원, 신호처리, 반도체>