

집적 영상에서 빠르고 정확한 렌즈 배열 격자 검출 방법

정현아 · 유훈*

A fast and accurate method of extracting lens array lattice in integral imaging

Hyeon-Ah Jeong · Hoon Yoo*

Department of Media Software, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

요 약

본 논문에서는 적절한 패턴의 입력 영상과 고속 중간 값 필터를 이용하여 집적 영상에서 빠르고 정확한 렌즈 배열의 격자 검출 방법을 제안한다. 렌즈 배열의 격자를 검출하기 위해서 수직, 수평 방향의 에지 영상이 필요하다. 이를 위해, 이전의 잘 알려진 격자 검출 방법은 1차원 중간 값 필터를 사용한다. 하지만 이 방법은 속도가 느리고 중간 값 필터 크기를 결정하는데 어려움이 발생한다. 이를 극복하기 위해, 본 논문에서는 binary counting 방법으로 중간 값을 구함으로써 속도를 개선하고자 한다. 또, 에지를 잘 검출할 수 있는 캘리브레이션 패턴 영상을 제안하여 정확도를 향상 시킨다. 실험을 통해 제안하는 방법이 기존의 방법보다 집적 영상에서 렌즈 배열의 격자를 검출할 때 우수하게 적용될 수 있음을 보여주었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a fast and accurate method of extracting lens array lattice in integral imaging by using an appropriate calibration pattern image and fast median filtering. In order to extract the lattice of a lens array, vertical and horizontal edge images are required. To extract edge images, the well-known previous method used separable median filters. However, this method is slow and difficult to determine the median filter size. In order to overcome this problem, we try to improve speed by calculating median value through binary counting method. In addition, we propose a calibration pattern image that detects edges well and improves the accuracy. Experimental results indicate that the proposed method is superior to the existing method in extracting the lattice of a lens array in integral imaging.

키워드 : 격자 검출 방법, 렌즈 배열, 집적 영상, 요소 영상

Key word : Lattice extraction method, Lens array, Integral imaging, Elemental image

Received 06 April 2017, Revised 13 April 2017, Accepted 14 April 2017

* Corresponding Author Hoon Yoo(E-mail:hunie@smu.ac.kr, Tel:+82-2-2287-5494)

Department of Media Software, Sangmyung University, Seoul 03016, Korea

Open Access <https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.9.1711>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

집적 영상(Integral Imaging)기술은 3D 영상을 픽업하고 디스플레이하는 기술 중의 하나로, G. Lippmann에 의해 처음 제안되었다[1]. 두 눈의 시차를 활용한 스테레오스코피(Stereoscopy)는 구조가 간단하지만 시각적인 피로감이 있다는 단점을 가진다. 또, 궁극적인 방식으로 알려진 홀로그래피(Holography) 방식은 광원의 간섭을 이용하여 복잡하고 컬러 구현이 어렵다는 제약이 있다[2]. 하지만, 집적 영상 방식은 컬러 구현이 가능하고 3D 영상을 다양한 시점으로 정교하게 제공하기 때문에, 최근 다양한 연구에서 사용되고 있다[3]. 집적 영상의 픽업 기술에는 렌즈 배열, 카메라 배열, 카메라 무빙을 이용한 방식이 있다. 카메라 배열에 의한 방식은 비용이 많이 요구되고, 카메라 무빙에 의한 방식은 움직이는 물체를 찍는 데에 어려움이 발생하게 된다. 따라서 집적 영상의 픽업 기술로 렌즈 배열에 의한 방식이 많이 사용된다[4-7].

렌즈 배열을 통해 얻은 영상은 여러 개의 요소 영상들로 구성되고 요소 영상들의 경계선은 2D 격자 구조를 형성한다. 렌즈 배열의 피치와 CCD 피치 사이의 비가 정수 값이 아니기 때문에, 집적 영상 압축 시 뿐만 아니라 각 요소 영상을 개별적으로 처리할 때 요소 영상 크기의 변형이 발생한다는 문제가 발생한다. 이로 인해 발생하는 격자를 벗어난 선을 찾기 위해 정확한 격자 선 구조 검출 방법이 필요하며, 이에 대한 여러 방법이 논의되고 있다[8-10].

기존에 제안된 방법에 따르면, 기울기가 보정된 이진 집적 영상에 1차원 중간 값 필터를 적용하여 각각 수직, 수평 방향의 두 개의 에지 영상을 얻고, 이 영상의 투영 프로파일을 통해 격자선의 위치와 요소 영상의 크기를 검출한다[8]. 이 방법은 잡음, 렌즈 배열의 결함 등 물리적인 문제가 존재하여도 효과적으로 격자를 검출하지만, 1차원 중간 값 필터링이 전체 소요 시간에 약 50% 정도를 차지하며, 적절한 마스크 크기를 설정하는 데에 어려움이 발생한다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 렌즈 배열의 격자 선의 정확한 위치를 찾기 위한 적절한 패턴의 입력 영상을 제안하고, 또 수직, 수평 방향 각각의 에지를 빠르게 얻기 위해 입력 영상이 이진 에지 영상이라는 특징을 활용한 binary counting 방법을 제안한다. 이 방법은 정확하게 격자 선

의 위치를 찾고 마스크 크기에 관계없이 빠르게 격자 구조를 검출할 때 효과적으로 사용된다. 입력 영상에 따른 결과를 확인하고, 제안된 방법이 마스크 크기에 따라 정확도와 속도가 향상 되었는지 검증하기 위해 실험을 수행하고 결과 영상을 제공한다.

II. 기존 방법

전체 격자 검출 과정은 그림 1과 같다. 격자 선의 위치를 찾기 위해, 기울기가 보정된 집적 영상에 캐니 에지 검출[11]과 1차원 중간 값 필터를 적용하여 수직, 수평 방향의 이진 에지 영상을 얻고, 이에 대한 결과는 그림 3이다. 생성된 에지 영상으로 각각 방향의 투영 프로파일을 구한다[12]. 투영 프로파일 최댓값의 20%를 임계값으로 사용하여 각 방향의 후보 격자 선 위치 집합인 $\{lv\} = \langle lv1, lv2, \dots, lvN \rangle$ 와 $\{lh\} = \langle lh1, lh2, \dots, lhN \rangle$ 을 구한다. 임계값에 따른 수직 방향 투영 프로파일은 그림 2에 보이는 것과 같다.

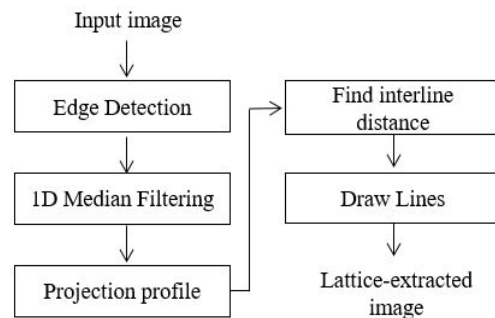


Fig. 1 Existing lattice detection

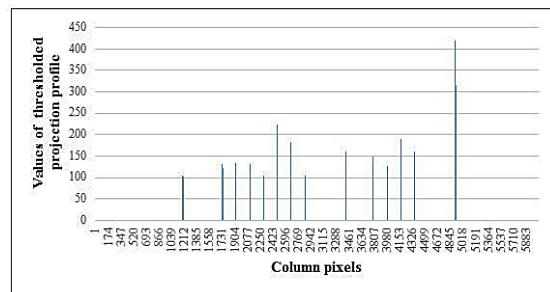


Fig. 2 Vertical projection profile in existing method

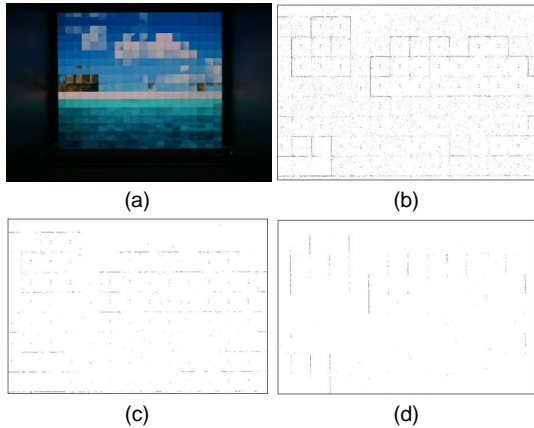


Fig. 3 (a) Input image (b) edge image (c) after horizontal median filtering (d) after vertical median filtering

앞의 과정을 통해 구한 후보 격자 선 위치 집합인 $\{lv\}$ 와 $\{lh\}$ 을 이용하여 예상되는 격자 선 사이의 거리를 구할 수 있고, 이는 곧 요소영상의 예상 크기이다. 격자 선 사이의 거리 집합 $\{dj\}$ 는 식(1)과 같이 계산된다.

$$d_j = l_{j+1} - l_j \quad (1)$$

오류를 줄이기 위해 각각 수직, 수평 방향의 $\{dj\}$ 로 하나의 조인트 히스토그램을 생성하고, 이는 하나 또는 두 개의 피크를 가진다. 피크가 하나일 경우, 격자 선 사이의 거리인 d_j 의 신뢰구간은 $[dj-0.5, dj+0.5]$ 로 나타내고, 피크가 d_j 와 d_{j+1} 두 개일 경우, $[dj, dj+1]$ 로 나타낸다. 이와 같은 과정을 통해 얻어진 조인트 히스토그램은 그림 4와 같고, 피크가 여러 개를 가지는 오류가 발생함을 볼 수 있다. 따라서 정확한 요소 영상의 크기를 구하기 어렵고, 이에 따른 결과 영상인 그림 5를 보면 격자 선을 잘 검출하지 못하였음을 확인할 수 있다.

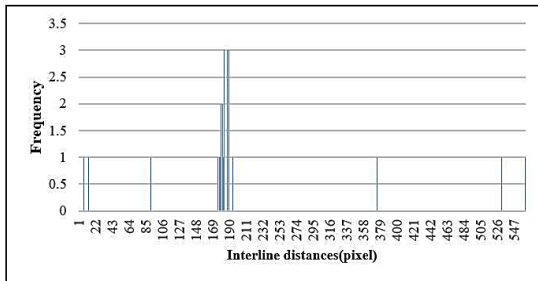


Fig. 4 Joint histogram of interline distances in existing method

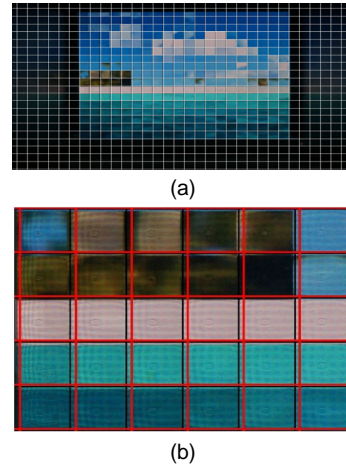


Fig. 5 (a) Resulting image in existing method (b) zoomed resulting image

기존에 제안된 격자 검출 방법 시 사용되는 1차원 중간 값 필터링 방법은 다음과 같다. 입력 에지 영상에서 픽셀을 이동하면서 설정한 크기의 마스크 영역의 값을 받아온다. 마스크 영역의 값을 정렬하여 중간 값을 구하고, 영역 중간 위치의 값을 구한 중간 값으로 대체한다. 이와 같은 과정을 수직, 수평 방향으로 각각 적용하여 각 방향의 에지 영상을 얻을 수 있다. 이에 대한 결과 영상은 그림 3(c)와 그림 3(d)에 보이는 것과 같다.

III. 제안하는 방법

제안하는 격자 검출 방법의 전반적인 과정은 기존의 방법과 동일하다. 먼저 집적 영상에 캐니 에지 검출과 1차원 중간 값 필터를 적용한다. 격자 선의 정확한 위치를 찾기 위해 영상의 에지를 잘 검출할 필요가 있다. 따라서 수직, 수평 각 방향의 에지를 잘 찾을 수 있는 패턴의 캘리브레이션 영상이 필요하고, 이는 그림 6과 같은 대각선 패턴이 적절하다. 그림 2와 같이 일반적인 영상을 사용했을 때 에지를 잘 찾지 못하였고, 이는 그림 3의 투영 프로파일을 통해 더 정확히 확인할 수 있다. 이에 따라, 정확한 격자 선의 위치와 요소 영상의 크기를 구할 수 없어 그림 5와 같이 오류가 발생하게 된다. 이에 반해 제안하는 입력 영상은 수직, 수평 각 방향의 에지를 잘 찾았고, 이는 그림 7의 투영 프로파일과 그림 8의 에지 영상으로 확인할 수 있다.

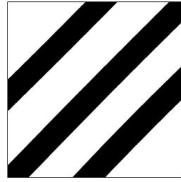


Fig. 6 Proposed calibration pattern image

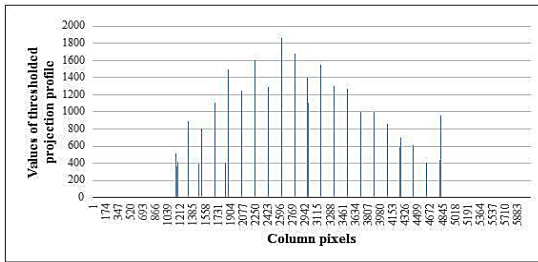


Fig. 7 Vertical projection profile in proposed method

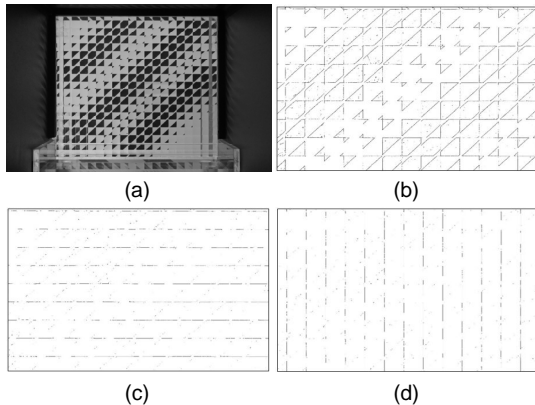


Fig. 8 (a) Input image (b) edge image (c) after horizontal median filtering (d) after vertical median filtering

수직, 수평 방향의 에지 영상을 얻기 위해서 1차원 중간 값 필터링 과정을 수행한다. 기존 1차원 중간 값 필터링 방법은 영상 크기에 따라 마스크 영역 값을 받아와 정렬해야 하므로, 시간이 많이 소요되며 마스크 크기를 설정하는 데에 어려움이 있다. 하지만, 1차원 중간 값 필터의 입력 영상은 이진 에지 영상이고 중간 값이 될 수 있는 값은 0 또는 1 이다. 이러한 특징을 활용하여, 본 논문에서는 정렬을 하지 않고 빠르게 중간 값을 구하는 binary counting 방법을 제안한다.

제안하는 방법의 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 설정한 1차원 마스크 크기만큼의 값을 받아온 후, 1의 개수

를 카운트한다. 중간 값 M_n 의 값은 0 또는 1이기 때문에, 식 (2)에 따라 1의 개수가 마스크 크기인 $size$ 의 절반보다 크면 1, 그렇지 않으면 0으로 중간 값이 결정된다. 식 (2)에서 n 은 마스크 영역의 첫 번째 픽셀의 index이고, mid 는 $mid = size \times 0.5$ 로 정의된다.

$$M_n = \begin{cases} 1 & \text{if } Count > mid \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

기존 방법의 속도를 개선하기 위해 마스크를 이동할 때마다 마스크 영역에 해당하는 값을 받아오지 않고 계산한다.

$$Count = Count + in_n - out_{n+size-1} \quad (3)$$

식(3)에서 $Count$ 는 마스크 영역 내에서 값이 1인 픽셀의 개수이다. 제안하는 방법은 $Count$ 에 영역으로 들어오는 픽셀의 값인 in_n 을 더하고, 빠져나가는 픽셀의 값인 $out_{n+size-1}$ 을 빼는 방식을 사용한다. 마스크가 이동할 때 들어오고 나가는 픽셀의 값만 계산하기 때문에, 영상의 크기만큼 이동하며 마스크 영역의 값을 읽어오는 과정이 불필요하다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 마스크 크기의 상관없이 일정한 속도의 결과를 얻을 수 있다. 이에 따른 에지 영상은 그림 8(c), 그림 8(d)와 같다.

기존의 방법과 동일하게, 중간 값 필터로 얻은 에지 영상의 투영 프로파일을 생성한다. 이를 통하여, 후보 격자선의 위치 $\{lv\}$ 와 $\{lh\}$ 를 찾고, 식 (1)을 통해 구한 $\{d\}$ 로 그림 9와 같이 조인트 히스토그램을 생성한다. 히스토그램은 하나 또는 두 개의 피크가 발생하고, 이 값이 요소 영상의 크기이다. 제안하는 격자 검출 방법을 통한 결과 영상은 그림 10과 같고 격자 구조를 잘 검출하였음을 확인할 수 있다.

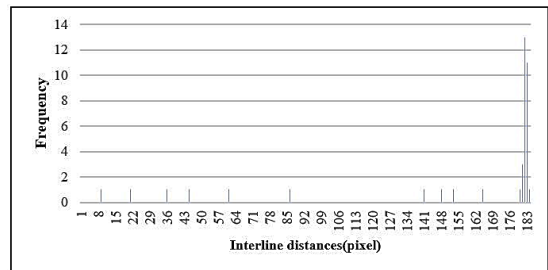


Fig. 9 Joint histogram of interline distances in proposed method

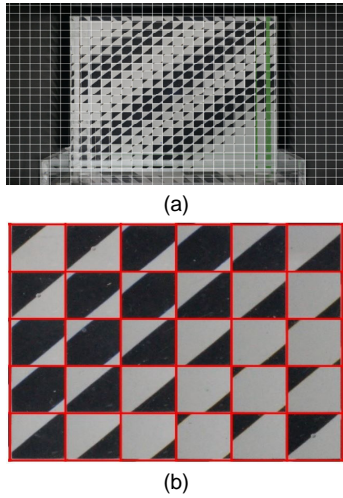


Fig. 10 (a) Resulting image in proposed method (b) zoomed resulting image

IV. 실험 결과

기존 1차원 중간 값 필터를 사용한 격자 검출과 제안하는 binary counting 방법을 사용한 격자 검출을 비교하기 위해 실험을 수행하였으며, 각각 과정마다 걸린 시간을 측정하여 전체 시간에 따른 비율을 비교해 보았다.

Table. 1 Results in terms of median filtering speed

	Time(ms)		Percentage(%)	
	Existing method	Proposed method	Existing method	Proposed method
3	614.6	422.8	38.6618	30.9584
5	710.4	426.3	43.0284	30.9676
7	833.4	420.9	46.3308	31.0787
9	1066.7	426.3	52.8881	31.1736
11	1351.2	425.3	59.0353	31.1461

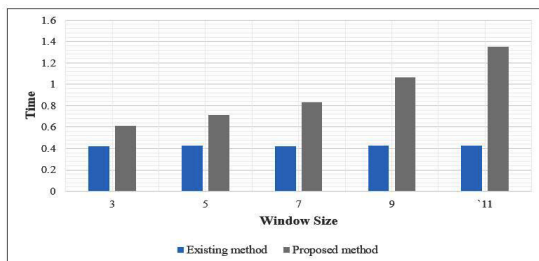


Fig. 11 Graph in terms of median filtering speed

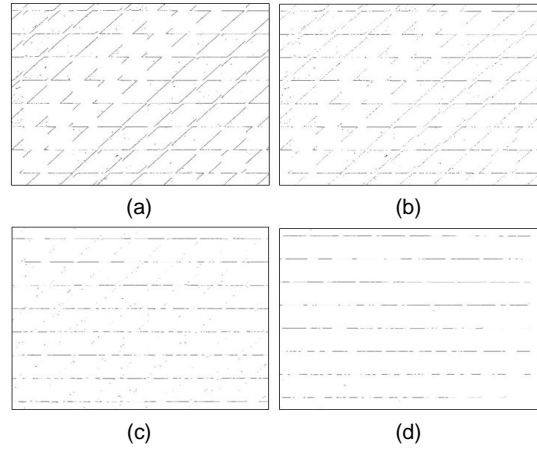


Fig. 12 Edge images after vertical binary counting of window size (a) 3 (b) 5 (c) 7 (d) 11

각각의 방법을 10번 실험하여 걸린 시간의 평균값을 구하였고, 그 결과는 표 1에 보이는 것과 같다. 표 1을 보면 마스크 크기에 따른 걸린 시간과 전체 걸린 시간에서 1차원 중간 값 필터링 시 걸리는 시간의 비율을 알 수 있다. 정렬에 의한 기존 방법은 전체 격자 검출 소요 시간에 약 40~60% 소요된다. 또 마스크 크기가 커질수록 더 많은 시간이 소요되기 때문에, 정확하고 빠르게 결과를 얻기 위해 적당한 마스크 크기를 설정하는데 어려움이 발생하게 된다. 하지만, 제안하는 방법인 binary counting은 전체 시간에 약 30% 소요되므로 속도가 더 빠르고 기존 방법과 달리 마스크 크기와 관계없이 일정한 시간이 걸린다는 것을 알 수 있다. 그림 11은 기존 방법과 제안하는 방법을 비교하는 그래프이다.

그림 12 과 같이, 마스크 크기가 작으면 원하는 수직 또는 수평 방향의 에지 영상을 얻을 수 없다. 그림 12 (a)에서 그림 12(d)로 갈수록 즉, 마스크 크기를 크게 설정할수록 더 정확한 결과의 에지 영상을 얻을 수 있음을 확인 할 수 있다. 기존의 방법을 사용하면 마스크 크기가 커질수록 많은 시간이 걸리기 때문에, 빠르고 정확한 격자 검출을 위해 적당한 마스크 크기를 설정해야 하는 과정이 필요하다. 하지만, 제안하는 방법을 사용하면 마스크 크기에 관계없이 동일한 시간이 걸리기 때문에, 그림 12(d)와 같은 정확한 결과 영상을 빠르게 얻을 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는, 집적 영상의 구조를 정확하게 검출하기 위해 수직, 수평 방향의 에지를 잘 검출할 수 있는 대각선 패턴의 입력 영상을 제안한다. 또한 1차원 중간 값 필터링 시간을 단축시키기 위해 입력 영상이 이진 영상이라는 특징을 활용한 새로운 방법을 제시한다. 영상의 마스크 영역의 값 중 0 또는 1의 값을 카운트하여 중간 값을 찾고, 마스크를 이동하면서 영역에서 들어오거나, 벗어나는 픽셀의 값만 확인하는 binary counting 방법을 적용하여 속도를 향상시킨다. 제안하는 방법이 정확도가 높고, 마스크 크기에 상관없이 동일하게 속도가 빠르다는 것을 입증하기 위해 실험을 진행하였으며, 제안하는 방법을 사용하였을 때, 약 15%의 시간을 단축시켰다는 것을 확인했다. 따라서 제안하는 방식을 집적 영상에서 렌즈 배열의 격자 검출에 적용할 경우 기존의 방법보다 더 빠르고 정확하게 결과를 얻을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by a 2016 Research Grant from Sangmyung University.

REFERENCES

- [1] G. Lippmann, "La Photographie Intégrale," *Comptes-Rendus, Académie des Sciences*, vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [2] J. Geng, "Three-dimensional display technologies," *Advances in optics and photonics*, vol. 5, no. 4, pp. 456-535, Dec. 2013.
- [3] S. G. Park, J. Yeom, Y. Jeong, N. Chen, J. Y. Hong, and B. Lee, "Recent issues on integral imaging and its applications," *Journal of Information Display*, vol. 15, no. 1, pp. 37-46, Dec. 2013.
- [4] X. Xiao, B. Javidi, M. Martinez-Corral, and A. Stern, "Advances in three-dimensional integral imaging: sensing, display, and applications [Invited]," *Applied optics*, vol. 52, no. 4, pp. 546-560, Feb. 2013.
- [5] H. Yoo, "Axially moving a lenslet array for high-resolution 3D images in computational integral imaging," *OSA Optics Express*, vol. 21, no. 7, pp. 8876-8887, 3 Apr. 2013.
- [6] H. Yoo, "Depth extraction for 3D objects via windowing technique in computational integral imaging with a lenslet array," *Elsevier Optics and Lasers in Engineering*, vol. 51, no. 7, pp. 912-915, Jul. 2013 (online 13 Mar. 2013).
- [7] Y. Lee and H. Yoo, "Three-dimensional visualization of objects in scattering medium using integral imaging and spectral analysis," *Elsevier Optics and Lasers in Engineering*, vol. 77, no. 2, pp. 31-38, Feb. 2016.
- [8] N. P. Sgouros, S. S. Athineos, M. S. Sangriotis, P. G. Papageorgas, and N. G. Theofanous, "Accurate lattice extraction in integral images," *OSA Optics Express*, vol. 14, no. 22, pp. 10403-10409, Oct. 2006.
- [9] B. A. Canada, G. K. Thomas, K. C. Wang and Y. Liu, "Automatic Lattice Detection in Near-Regular Histology Array Images," *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 1452-1455, 2008.
- [10] K. Hong, J. Hong, J. H. Jung, J. H. Park, and B. Lee, "Rectification of elemental image set and extraction of lens lattice by projective image transformation in integral imaging," *OSA Optics Express*, vol. 18, no.11, pp. 12002-12016, May. 2010.
- [11] J. Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *Proceedings of IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, no. 6, pp. 679-698, 1986.
- [12] Y. Zheng, H. Li, and D. Doermann, "A parallel-line detection algorithm based on HMM decoding," *Proceedings of IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 27, no. 5, pp. 777-792, 2005.



정현아(HyeonAh Jeong)

2014~현재 : 상명대학교 미디어소프트웨어학과 학석사과정
※관심분야 : 영상처리, 집적 영상



유 훈(Hoon Yoo)

1990~1997 : 한양대학교 전자통신공학과 공학사
1997~1999 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학석사
1999~2003 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사
2003~2005 : 삼성전자 무선사업부 책임연구원
2005~2008 : 동서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
2008~2012 : 상명대학교 디지털미디어학부 조교수
2012. 09~현재 : 상명대학교 미디어소프트웨어학과 부교수
1997.2.26. : 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상
2003~2005 : 삼성전자 위성DMB 폰, 지상파DMB 폰 개발 및 양산
※주요관심분야 : 영상처리, 3차원 집적 영상 처리