

Volumetric 집적영상에서 분산 추정을 이용한 심하게 은폐된 물체의 향상된 복원

황용석[†] · 김은수

광운대학교 전자공학과

☎ 139-701 서울특별시 노원구 월계동 447-1

(2008년 11월 12일 받음, 2008년 12월 17일 수정본 받음, 2008년 12월 19일 게재 확정)

본 논문에서는 컴퓨터 집적영상(integral imaging(II))에서 분산 추정을 이용하여 심하게 은폐된 물체의 복원 시 은폐물(occluding object)의 블러링 효과를 제거하는 방법을 제안하였다. 하나의 요소영상(elemental image) 군으로부터 은폐 효과를 제거하여 복원된 영상의 선명도를 향상시키는 정보를 추출하는 방법을 분석하였다. 이를 실행하기 위해 픽업되는 요소영상들이 높은 해상도, 낮은 초점오차(focus error), 큰 깊이감을 가질 필요가 있다. 요소 영상을 픽업할 때 디지털 컴퓨터를 이용한 synthetic aperture integral imaging(SAII)이 채택되었다. 컴퓨터(Computational) II에서는 복원 면의 위치에 따라 복원되는 영상의 초점이 맺히는 영역이 달라진다. 심하게 은폐된 물체 영상의 복원은 은폐 물체의 블러링(blurring) 효과가 복원 면에 전체적으로 크게 나타나기 때문에 선명한 복원을 할 수가 없다. 이러한 은폐물의 블러링 효과가 제거된 복원 영상을 얻기 위해 분산 추정이라는 통계적인 방법이 채택되었다.

주제어: Three-dimensional image processing, Three-dimensional image acquisition, Geometrical optics, Pattern recognition and feature extraction

I. 서 론

집적영상(Integral imaging(II))은 오토스테레오스코픽(auto-stereoscopic) 3-D 이미징 기술이다. 이것은 Lippmann에 의해 처음으로 제안되었다. II는 특수한 안경을 쓰지 않고도 입체 영상을 나타낼 수 있는 아주 유용한 방법 중 하나이다. II의 원리는 렌즈 어레이를 통해 물체의 요소영상들이 그 뒤에 영상면에 기록된다. 이때 각각의 기초 영상들은 렌즈 어레이의 각각 단위 렌즈들에 의해 얻어진다. 영상면의 기초 영상들은 다시 동일한 렌즈 어레이를 통해 렌즈 어레이 앞 또는 뒤쪽에 집적된 물체의 영상이 재현된다. 최근 요소영상의 영상면 기록은 고해상도를 가진 CCD(charge-coupled device)같은 수광 소자를 사용하며, 3-D 물체들의 복원 할 때 요소영상들은 백 라이트 조명을 통해 비춰지는 디스플레이 패널에 기록된다. 그리고 고해상도 CCD 센서에 기록된 요소영상들은 광학적 복원을 통한 3-D TV에 응용될 수 있고, 디지털 3-D 이미지 프로세싱 기술을 통해 컴퓨터 3-D 복원 및 3-D 물체 인식에 응용될 수 있다.^[1-16] 이들 II 응용 중에 컴퓨터 복원은 volumetric II 복원, perspective 이미지 재생, 은폐된 물체 복원 그리고 컴퓨터 복원 이미지들을 이용한 3-D correlation 같은 3-D 물체의 재생과 3-D 인식에 집중 연구되어 왔다.^[6,8,15] 그러나 3-D 물체의 복원과 인식은 여전히 주목할 만한 연구 과제이다. 그 이유는 완벽한 3-D입체 정보의 복원과 많은 장애가 있는 가운데 실제 상황에서 인식 기술은 아직 한계점을 가지고 있기 때문이며, 다양하게 한계점을 해결하는 기술들이 개발되고 있기 때문이다. 대체로 컴퓨터 3-D복원은 광학

적인 3-D 물체 복원에 비해 복원 거리에 따라 해상도 저하가 일어나지 않는 장점이 있다.^[3,16] 그러나 마이크로 렌즈 어레이를 통해 한 CCD 센서 면에 많은 요소영상들이 기록될 경우 고해상도를 가진 CCD 센서이라도 각 요소영상의 해상도가 떨어질 수 밖에 없다. 그리고 고해상도의 컴퓨터 복원을 실현하기 힘들어 진다.^[5,13-14] 이러한 요소영상들은 이웃하는 요소영상들 사이의 간섭, 초점오차(focus error), 비네팅(vignette), 그리고 작은 깊이감 같은 추가적인 약점을 가지고 있다. 이러한 결점을 해결하기 위해 non-stationary micro-optics, time multiplexing 그리고 spatial ray sampling 같은 다양한 방법들이 제안되었다.^[9-12] Volumetric II 복원은 컴퓨터 이미지 프로세싱을 통해 3-D 물체들을 재생하는 기술이다. 이것은 복원 물체의 초점이 맺혀지는 영역들이 복원 면의 거리의 변화에 따라 달라지는 특징을 가지고 있다. 카메라 렌즈의 깊이감이 작은 경우 초점 면으로부터 먼 영역일 수록 크게 흐려지므로 부분적으로 은폐된 물체에 초점을 맞출 경우 은폐물을 블러하게 만들어 은폐되지 않은 물체처럼 보일 수 있다. volumetric II에서 다른 perspective를 가진 다수의 이미지들을 이용하여 정해진 공식을 따라 중첩을 시키면 이러한 복원된 결과를 볼 수 있다. 그러나 은폐된 물체가 심하게 가리워져 있으면 은폐물의 블러링 현상을 무시할 수 없게 된다. 이런 경우 물체의 선명한 복원과 복원된 물체의 인식에 상당한 어려움을 불러 일으킨다. 본 논문에서는 심하게 은폐된 물체의 은폐물의 블러링 효과를 제거하여 선명한 복원하는 방법을 제시했다. 다수 이미지들의 공식에 따른 중첩에서 각 픽셀 별 중첩을 분산 추정하여 선명한 복원을 제시하였다.

[†]E-mail: thestone@kw.ac.kr

II. 컴퓨터 volumetric II 복원의 원리

그림 1은 i 번째 요소영상들에 따른 측면에서 본 복원 면의 (x, z) 좌표계를 설명하고 있다. 1번째 요소영상은 맨 아래쪽 요소영상으로 결정되었다. 컴퓨터 복원에서는 렌즈 어레이 대신에 가상 핀홀 어레이(array)가 사용되었고, g 는 요소영상과 가상 핀홀 사이의 간격이다. z 는 가상 핀홀 어레이로부터 복원 이미지면까지 거리이다. 가상 핀홀 어레이는 $z=0$ 에 위치로 정했다. w_x, w_y 들은 각각 x, y 방향으로의 요소영상 I_{ij} 의 크기이다. 복원 과정에서 요소영상들은 배율 인자 M 에 따라 확대되어 중첩된다. 복원 이미지 면에서 각각 역으로 전파된 요소영상은 다음과 같이 표현된다.

$$E_{ij}(x, y, z) = \frac{I_{ij} \left(w_x i - \frac{(x - w_x i)}{M}, w_y j - \frac{(y - w_y j)}{M} \right)}{\left[z^2 + \left[(x - w_x i)^2 + (y - w_y j)^2 \right] \left(\frac{1}{M} \right)^2 \right]^{1/2} g^2},$$

for $\begin{cases} w_x (i - M/2) \leq x \leq w_x (i + M/2) \\ w_y (j - M/2) \leq y \leq w_y (j + M/2) \end{cases}$ (1)

여기서 I_{ij} 는 i 번째 가로(row)와 j 번째 세로(column) 요소영상이다. $E_{ij}(x, y, z)$ 는 좌표 (x, y, z) 에 I_{ij} 의 사상된 이미지다. 사상된 이미지의 세기(intensity)는 $z=g$ 에서 세기를 1로 기준으로 두고 거리에 따른 비율로 나타내었다.^[20] $z=g$ 에서 요소영상 I_{ij} 중심의 세기는 좌표 (x, y, z) 에서 $E_{ij}(x, y, z)$ 의 것과 같다고 가정한다. 방정식 (1)의 분모는 요소영상 I_{ij} 의 각 픽셀로부터 복원 면 z 에 대응점까지 거리의 제곱을 g^2 으로 나눈 값이다. (x, y, z) 에서 복원된 3-D 이미지는 사상된 모든 요소영상들의 선형 중첩으로서 다음과 같이 표현된다.

$$E(x, y, z) = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} E_{ij}(x, y, z), \quad (2)$$

여기서 m 과 n 은 각각 x 와 y 방향으로 요소영상의 개수이다.

III. 은폐된 물체의 향상된 복원의 원리

초점 면으로부터 먼 영역일수록 크게 흐려지므로 부분적으로 은폐된 물체에 초점을 맞출 경우 은폐물을 불러하게 만들어 은폐되지 않은 물체처럼 보일 수 있다. volumetric II에서 다른 perspective를 가진 다수의 이미지 들을 이용하여 정해진 공식을 따라 중첩을 시키면 이러한 복원된 결과를 볼 수 있다. 그러나 은폐된 물체가 심하게 가려워져 있으면 은폐물의 블러링 현상을 무시할 수 없게 된다. 이렇게 심하게 은폐된 물체의 은폐물의 블러링 효과가 나타날 때 다수 이미지들의 위의 복원 공식에 따라 은폐된 물체가 복원되는 거리 z 에서 복원한 이미지의 각 픽셀에서 중첩되는 특성을 분석해보았다. 그림 2는 은폐된 물체가 복원되는 거리 z 에서 복원하는 이미지의 중첩되는 상황을 설명하고 있다.

m, n 은 각각 x 방향으로 요소영상의 개수, y 방향으로 요소영상의 개수이다. p, q 는 각각 x 방향으로 요소영상의 픽셀을 나타내는 변수, y 방향으로 요소영상의 픽셀을 나타내는 변수이다. p, q 의 최대크기는 각각 w_x, w_y 이다. 복원 과정에서 거리 z 에서 복원 면의 한 픽셀에 대해 각 요소영상의 픽셀의 중첩을 표현을 하면 다음과 같다.

$$R_{u,v}(p, q, z) = \sum_{i=1}^u \sum_{j=1}^v I_{ij} \left(p - \frac{w_x(m-i)}{M}, q - \frac{w_y(n-j)}{M} \right),$$

if $\frac{w_x}{M}(u-1) < p < \frac{w_x}{M}u, \frac{w_y}{M}(v-1) < q < \frac{w_y}{M}v$

$u = 1, 2, \dots, m, v = 1, 2, \dots, n$ (3)

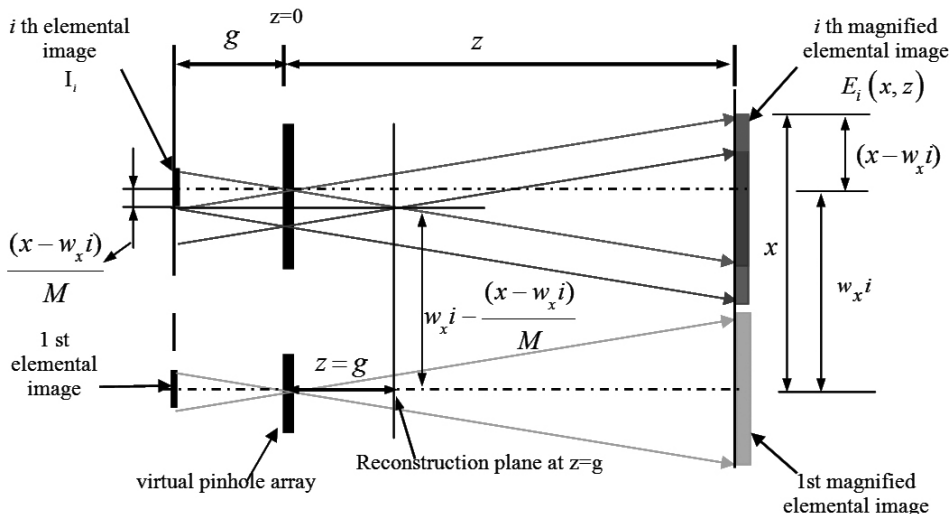


그림 1. 가상 핀홀 어레이를 가진 컴퓨터 II의 형태.

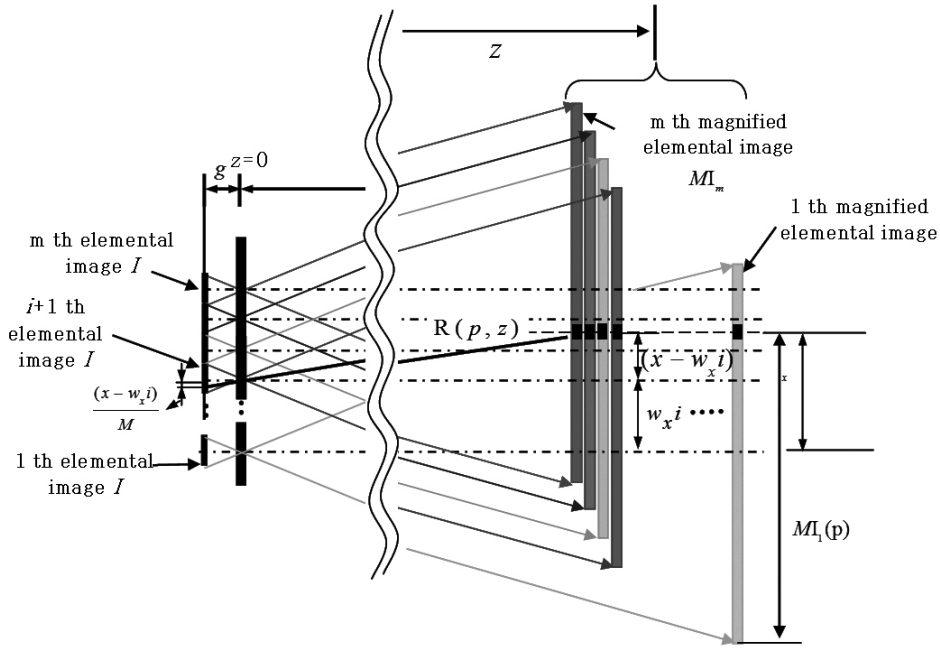


그림 2. 거리 z 에서 복원하는 이미지의 중첩되는 상황.

여기서 u, v 는 각각 x 와 y 방향으로 중첩되는 요소영상의 개수이다. $p=x/M, q=y/M$ 이다. 복원되는 이미지의 가장자리로 갈수록 요소영상의 중첩되는 개수는 위의 공식에 따라 작아지게 된다. 심하게 은폐된 물체가 복원되는 특정한 거리 z 에서 R 의 중첩되는 픽셀들 값의 분포를 살펴보면 은폐된 물체의 픽셀들은 거의 같은 값을 가지고 나머지 픽셀 값들은 블러링을 일으키는 주된 요소로서 은폐물의 서로 다른 픽셀 값들의 조합이다. 전체 픽셀들을 집합으로 나타내면 다음과 같다.

$$U_{u \times v} = \{I_{ij}(p - \frac{w_x(m-i)}{M}, q - \frac{w_y(n-j)}{M})\}$$

$$i=1,2,\dots,u, j=1,2,\dots,v \text{ if } \frac{w_x}{M}(u-1) < p < \frac{w_x}{M}u,$$

$$\frac{w_y}{M}(v-1) < q < \frac{w_y}{M}v \text{ for } u=1,2,\dots,m, v=1,2,\dots,n \quad (4)$$

$U_{u \times v}$ 는 I_{ij} 로 부터 위의 공식대로 위치한 픽셀들을 추출한 개수가 $u \times v$ 개로 구성된 집합이다. R 의 요소인 I_{ij} 들의 전체 분산 추정을 해보면 다음과 같다.

$$V_{u \times v} = Var(U_{u \times v}) \quad (5)$$

$u \times v$ 가 클수록 분산 추정이 더욱 용이하게 된다. 은폐된 물체가 복원되는 거리 z 에서 은폐물과 은폐된 물체의 색 정보가 같다고 가정하면 어떤 계산 형태든지 구분할 수 없다. 따라서 다음과 같이 가정한다. 첫째 은폐물과 은폐된 물체의 색정보가 다르고 은폐물의 분산 범위에서 은폐된 물체의 평균값이 상당히 벗어나 있다고 가정한다. 둘째 은폐된 물체가

심하게 은폐되어 그 정보가 은폐물의 정보의 량과 비교해 아주 적다고 가정한다. 중첩된 픽셀들의 전체 평균은 은폐물의 평균과 비슷하게 된다. 그러나 은폐된 물체의 정보는 은폐물의 평균 색 정보와 어느 정도 차이가 있다. 분산 값은 전체 평균 값에서 각 픽셀 값들의 차의 제곱의 평균이다. 이때 은폐물들의 각 픽셀 값과 전체 평균 값의 차는 은폐된 물체의 각 픽셀 값과 전체 평균 값의 차에 비해 적다. 그래서 제안된 방법으로 픽셀 중첩들의 분산을 취하면 전체평균 값과 은폐된 물체의 값들의 차가 크게 나타남으로 은폐물들의 블러한 값들은 거의 소거되고 은폐된 물체의 정보가 두드러지게 나타난다. 즉 은폐된 물체의 향상된 복원은 픽셀 중첩에 대한 분산 값들을 취하면서 volumetric 복원을 실시한 결과이다.

IV. 실험과 결과

실험 구성은 그림 3과 같다. CCD 카메라를 x-y 이동 스테이지(translation stage)에 고정시키고, 은폐물과 은폐된 물체를 앞에 두고 가로와 세로로 일정한 간격으로 움직이면서 요소영상을 촬영하였다. 실험에 사용된 CCD 카메라 종류는 sigma SD9 Nikon이며, 각 요소영상의 해상도는 2268×1512 픽셀이다. CCD의 크기는 약 13.8×20.7 mm이며 은폐물 중심과 카메라 렌즈 중심 사이의 거리는 약 190 mm이다. 은폐물 중심과 은폐된 물체 사이의 거리는 약 100 mm 이다. 카메라의 유효초점거리는 약 20 mm. 요소영상의 개수는 19 Row × 24 Column이다. 은폐된 물체의 높이와 길이는 각각 약 50 mm와 80 mm이다. CCD 중심간의 이동 거리는 2 mm이다. 최대한 점 광원들(point sources)과 픽셀들의 일대일 대응을 맞추기 위해 카메라의 깊이값은 가장 크게 조정되었다. 적절

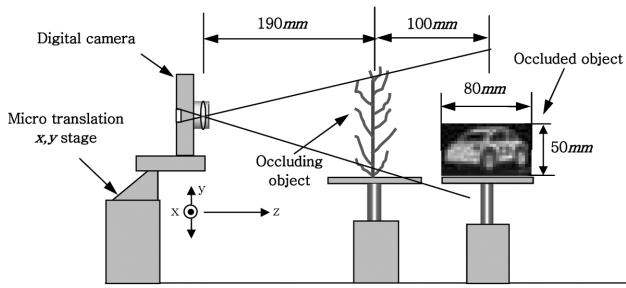
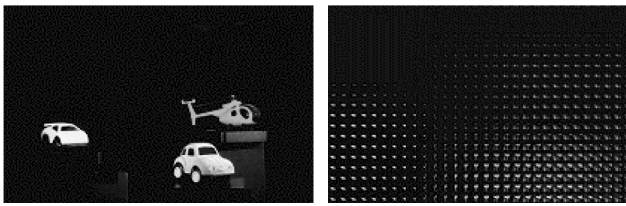
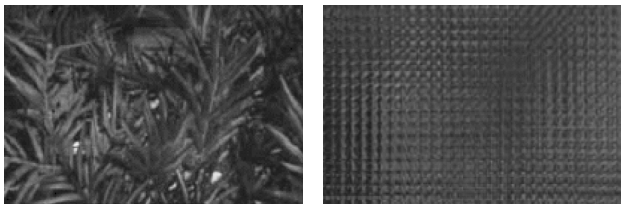


그림 3. SAIL 시스템의 pick up 실험구조.



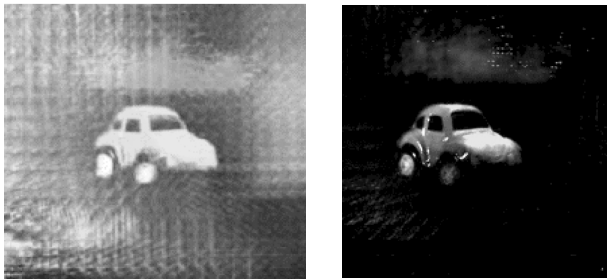
(a) (b)

그림 4. (a) 은폐되지 않은 하나의 요소영상 (b) 은폐되지 않은 요소영상 어레이.



(a) (b)

그림 5. (a) 심하게 은폐된 하나의 요소영상 (b) 심하게 은폐된 요소영상 어레이.



(a) (b)

그림 6. (a) 분산 추정 없이 심하게 은폐된 물체의 복원 (b) 분산 추정된 심하게 은폐된 물체의 복원.

한 밝기와 물체의 세기 분포가 유니폼(uniform)하게 하기 위해 물체의 왼쪽과 오른쪽 양쪽에서 백색광이 설치되어 사용되었다. 그림 4는 은폐되지 않은 물체의 요소영상 어레이와 이미지를 보여주고 있다. 그림 5는 은폐된 요소영상 어레이와 그 중 한 개의 요소영상을 보여주고 있다. 그림 4와 비교하여 볼 때 그림 5는 심하게 은폐되어 어떤 물체인지 인식하기 힘든 상황임을 알 수 있다. 그림 6은 분산 추정을 하지 않은 심하게 은폐된 물체의 복원과 분산 추정을 한 은폐된 물

체의 복원을 보여주고 있다. 초록색 자동차 뒤에 블러링된 붉은색 물체는 뒤에 있는 헬리콥터이다. 분산 추정을 한 복원의 결과를 볼 때 은폐물의 블러링 효과가 거의 사라진 것을 볼 수 있다. 이것은 초록색 자동차의 복원 면에서 은폐물의 픽셀들의 평균값과 자동차의 픽셀들의 평균 값이 차이가 나 전체 픽셀들의 분산 추정 값이 커지고 은폐물의 픽셀 평균 값이 전체 픽셀 평균값과 비슷하게 되어 결과적으로 초록색 자동차의 정보가 두드러지게 나타나고 은폐물은 제거되는 효과가 나타나게 된다.

예를 들어 은폐된 물체가 복원되는 거리 z 에서 심하게 은폐된 물체의 복원된 한 픽셀 값을 분석해 보면 평균 값은 1로 기준으로 했을 때 0.3이고, 은폐물의 각 픽셀 값과의 차이는 0.1이하이나 은폐된 물체와의 각 픽셀 값과의 차이는 0.4 이상 차이가 나는데 은폐된 물체의 정보가 있는 거의 모든 픽셀에서 그 분산 값은 은폐물을 제거하고 은폐된 물체의 정보가 두드러지게 나타나는 결과를 나타내게 되었다.

일정하게 은폐물로부터 향상된 은폐된 물체의 복원 결과를 얻기 위한 실험 조건을 고찰 해보면 물체의 크기는 요소영상 안에 그 정보가 다 포함되어야 하고, 은폐물과 은폐되는 물체의 사이 거리는 Z 방향으로 복원할 때 해상도 차이가 명확히 나야 한다. 카메라와 물체와의 거리는 카메라 렌즈가 은폐물과 은폐된 물체를 선명하게 촬영할 수 있는 범위 내에 있어야 한다. 단, 은폐물과 은폐된 물체의 색 정보가 같고 평균치가 같은 경우는 어떤 경우에서든지 물체를 구별할 수가 없다.

IV. 결 론

본 논문에서는 심하게 은폐된 물체의 은폐물의 블러링 효과를 제거하여 선명한 복원하는 방법을 제시했다. 복원 면에서 중첩되는 픽셀들의 특성을 살펴보고 다수 이미지들의 공식에 따른 중첩에서 각 픽셀 별 중첩을 분산 추정하여 선명한 복원을 제시하였다. 이것은 심하게 은폐된 물체의 인식에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0018).

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국 학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-214-M01-2005-000-10228-0).

참고문헌

[1] G. Lippmann, "La photographie intergrale," *C. R. Acad. Sci.*, vol. 146, pp. 446-451, 1908.
 [2] H. E. Ives, "Optical properties of a Lippmann lenticuled

- sheet,” *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 21, pp. 171-176, 1931.
- [3] C. B. Burckhardt, “Optimum parameters and resolution limitation of integral photography,” *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 58, pp. 71-76, 1968.
- [4] F. Okano, J. Arai, H. Hoshino, and I. Yuyama, “Three-dimensional video system based on integral photography,” *Opt. Eng.*, vol. 38, no. 6, pp. 1072-1077, 1999.
- [5] H. Arimoto and B. Javidi, “Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction,” *Opt. Lett.*, vol. 26, no. 3, pp. 157-159, 2001.
- [6] O. Matoba, E. Tajahuerce, and B. Javidi, “Real-time three-dimensional object recognition with multiple perspectives imaging,” *Appl. Opt.*, vol. 40, no. 20, pp. 3318-3325, 2001.
- [7] T. Hamaguchi, T. Fujii, and T. Honda, “Real-time view interpolation system for super multi-view 3D display: Processing implementation and evaluation,” in *Stereoscopic Display and Virtual Reality Systems IX*, S. A. Benton and M. T. Bolas, eds., Proc. SPIE 4660, pp. 105-115, 2002.
- [8] Y. Frauel and B. Javidi, “Digital three-dimensional image correlation by use of computer-reconstructed integral imaging,” *Appl. Opt.*, vol. 41, no. 26, pp. 5488-5496, 2002.
- [9] J.-S. Jang and B. Javidi, “Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics,” *Opt. Lett.*, vol. 27, no. 5, pp. 324-326, 2002.
- [10] J.-S. Jang and B. Javidi, “Three-dimensional synthetic aperture integral imaging,” *Opt. Lett.*, vol. 27, no. 13, pp. 1144-1146, 2003.
- [11] J.-S. Jang and B. Javidi, “Large depth-of-focus time-multiplexed three-dimensional integral imaging using lenslets with non-uniform focal lengths and aperture sizes,” *Opt. Lett.*, vol. 28, no. 20, pp. 1924-1926, 2003.
- [12] J.-S. Jang and B. Javidi, “Spatiotemporally multiplexed integral imaging projector for large-scale high resolution three dimensional display,” *Opt. Exp.*, vol. 12, no. 4, pp. 557-563, 2004.
- [13] S. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, “Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging,” *Opt. Exp.*, vol. 12, no. 3, pp. 483-491, 2004.
- [14] S. Hong and B. Javidi, “Three-dimensional visualization of partially occluded objects using integral imaging,” *IEEE/OSA J. Disp. Tech.*, vol. 1, no. 2, pp. 354-359, 2005.
- [15] B. Javidi, R. Ponce-Díaz, and S. Hong, “Three-dimensional recognition of occluded objects by using computational integral imaging,” *Opt. Lett.*, vol. 31, no. 8, pp. 1106-1108, 2006.
- [16] Y. S. Hwang, S. Hong, and B. Javidi, “Free view 3D visualization of occluded objects by using computational synthetic aperture integral imaging,” *IEEE/OSA J. Disp. Tech.*, vol. 3, no. 1, pp. 64-70, 2007.

Enhanced Reconstruction of Heavy Occluded Objects Using Estimation of Variance in Volumetric Integral Imaging (VII)

Yong Seok Hwang[†] and Eun Soo Kim

Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, 447-1 Wolgye-Dong, Nowon-Gu, Seoul 139-701, Korea

[†]E-mail: thestone@kw.ac.kr

(Received November 12, 2008; Revised manuscript December 17, 2008; Accepted December 19, 2008)

Enhanced reconstruction of heavy occluded objects was represented using estimation of variance in computational integral imaging. The system is analyzed to extract information of enhanced reconstruction from an elemental images set. To obtain elemental images with enhanced resolution, low focus error, and large depth of focus, synthetic aperture integral imaging (SAII) utilizing a digital camera has been adopted. The focused areas of the reconstructed image are varied with the distance of the reconstruction plane. When an occluded object is occluded heavily, an occluded object can not be reconstructed by removing the occluding object. To obtain reconstruction of the occluded object by remedying the effect of heavy occlusion, the statistical technique has been adopted.

OCIS codes: (080.0080) Geometrical optics; (100.6890) Three-dimensional image processing; (100.5010) Pattern recognition and feature extraction; (110.6880) Three-dimensional image acquisition.