
제한된 리소스에서 3D 집적 영상 시스템의 분석 기법

신동학*, 홍석민*, 이병국*

*동서대학교 엠비언트인텔리전스연구소

Analysis of 3D integral imaging systems under fixed resource constraints

Donghak Shin*, Seok-Min Hong*, Byung-Gook Lee*

*Institute of Ambient Intelligence, Dongseo University

E-mail : shindh2@gmail.com

요 약

집적 영상 (integral imaging) 기술은 렌즈배열을 이용하여 3D 영상을 공간상에 표시할 수 있어서 차세대 유망 3D 디스플레이 기술 중에 하나이다. 집적 영상 시스템의 성능은 디스플레이 장치, 렌즈 배열, 이미징 광학 장비 등에 매우 의존적이다. 본 논문에서는 제한된 리소스에서 집적 영상 시스템의 해상도 분석을 수행하는 해석 방법을 제안한다. 제안하는 방법을 통하여 해상도 측면에서 최적화된 집적 영상 시스템 설계를 수행할 수 있다. 제안하는 방법의 유용함을 위하여 Monte Carlo 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

Integral imaging is considered as a next-generation 3D display which can display 3d imaging in space using lens array. The performance of integral imaging systems depends on several factors including display panel, lens array, imaging devices and so on. In this paper, we develop a unifying framework to evaluate the resolution of integral imaging systems under fixed resource constraints. The proposed framework enables one to optimize the system performance. To show the feasibility of the proposed method, we carry out Monte Carlo simulations based on this framework and present the results.

키워드

Integral imaging, resource constraint, 3D resolution, lens array

1. 서 론

집적 영상 (integral imaging) 기술은 렌즈어레이를 이용하여 3D 영상을 공간에 디스플레이할 수 있어서 차세대 3D 디스플레이 기술로 고려되고 있다 [1-3]. 집적 영상 시스템은 간단한 구조를 가지며, 픽업 센서(디스플레이 패넌)와 렌즈 배열로 구성이 된다. 그러나 픽업 센서와 렌즈 배열의 다양한 변수들을 가진다. 예를 들면, 센서에서는 픽셀크기, 전체 픽셀 수 등 있고, 렌즈 배열에서

는 기초렌즈의 직경과 초점거리, 전체 기초렌즈의 개수 등의 변수가 존재한다 [4-7].

본 논문에서는 이러한 다양한 시스템 변수에 대해서 고정된 리소스(resource)하에서 시스템의 성능을 분석하는 방법을 제안한다. 두 개의 점광원을 이용하여 3D 해상도를 계산하는 방법을 소개하고, 이를 통하여 집적 영상 시스템을 분석하고 그 결과를 보고한다.

II. 집적 영상 시스템의 해상도 분석

그림 1의 대표적인 집적 영상 시스템의 구조를 보여준다. 집적 영상 시스템은 최소 2개 이상의 렌즈로 구성될 수 있다. 그림 1(a)는 렌즈 개수 (N)가 2인 경우의 시스템을 보여준다 이것은 기존의 스테레오 방식과 유사하다 이에 반해서 그림 1(b)는 렌즈 개수가 충분히 큰 경우의 예를 보여준다. 전형적인 집적 영상 시스템 구조이다 본 논문에서 고려하는 집적 영상 시스템은 N이 2에서 $N \gg 2$ 까까지 변화하는 다양한 시스템을 포함한다. 공정한 시스템 비교를 위하여 모든 비교 동일한 리소스를 고려하며 픽업 센서의 크기 센서의 픽셀크기, 기초 렌즈의 직경 및 초점거리 등을 고려한다.

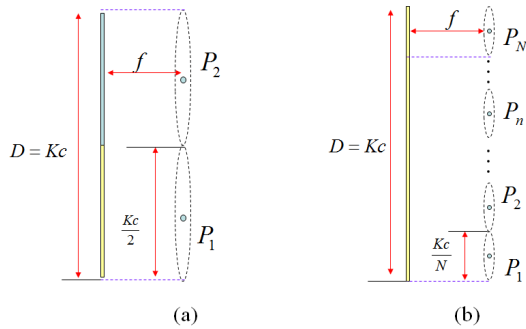


그림 1. 렌즈 개수에 따른 3D 집적 영상 시스템의 예 (a) 2개의 렌즈 배열 (b) N개의 렌즈배열

본 논문에서의 집적 영상 시스템의 성능을 비교 분석하기 위해서 깊이 해상도 분석을 수행한다. 이를 위하여 2개의 점광원(point sources)을 공간에 배치시키고, 이를 두 점광원의 해상도 분해 조건을 사용하여 깊이 해상도를 계산한다 [7]. 즉, 두 점광원의 분해 조건은 두 점광원의 point spread function (PSF)이 하나의 센서에서 두 이웃하는 센서 픽셀 간에 독립적으로 분리가 될 때로 정의한다. 주어진 집적 영상 시스템에 대해서 깊이 해상도를 계산하는 과정은 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)는 두 개의 렌즈를 사용하는 경우의 집적 영상 시스템이다 여기에서 두 점광원이 z축을 따라서 공간적으로 놓인다 먼저 첫 번째 점광원을 고려하고 이 점광원이 두 개의 렌즈를 통해서 센서에 기록이 된다 만약 (x_1, z_1) 에 위치한 점광원이 P_i 의 위치에 있는 렌즈를 통하여 s_i 번째 카메라에 기록이 된다고 가정하면 s_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$s_1^i = \left\lceil \frac{u_1^i}{c} \right\rceil = \left\lceil \frac{f}{cz_1} (P_i - x_1) \right\rceil \quad (1)$$

여기서 f 는 렌즈의 초점 거리이고, c 는 센서의 픽셀크기이고, $\lceil \cdot \rceil$ 는 rounding 연산이다. 이제

두 번째 점광원의 위치를 고려한다 두 번째 점광원은 첫 번째 점광원 근처에 위치한다 만약 두 번째 점광원이 첫 번째 점광원과 너무 가까이 위치한다면, 동일한 센서의 픽셀로 기록이 되기 때문에 서로 분해할 수 없다. 반면에 너무 멀면 비록 두 점광원이 서로 다른 픽셀에 기록이 될 수 있지만 해상도가 낮아진다. 따라서 두 점광원을 분해할 수 있는 최소 거리가 존재하게 되며 이 거리를 본 논문에서는 깊이 해상도로 정의한다 두 번째 점광원이 첫 번째 점광원과 겹쳐지게 되는 영역을 수학적으로 계산하면 다음과 같이 얻어진다.

$$z^{i-} \leq z_2 \leq z^{i+} \quad (2)$$

$$z^{i\pm} = \frac{f(P_i - x_1)}{c(s_1^i \mp 1/2) \mp \delta/2} \quad (3)$$

여기서 δ 는 PSF의 폭이며 $1.22\lambda f/(Kc/N)$ 이다. 이 겹쳐지는 영역은 모든 렌즈에 대해서 존재하게 되며, 깊이 해상도는 적어도 하나 이상의 센서에서 이들을 구분할 수 있을 때 얻어진다 즉, 그림 3에서와 같이 N개의 렌즈에 대해서 계산되는 겹쳐진 영역들의 공통 영역을 계산함으로써 최종 깊이 해상도가 얻어진다. 따라서 계산되는 깊이 해상도는 다음과 같다.

$$\Delta z = \min(z^{i+}) - \max(z^{i-}) \quad (4)$$

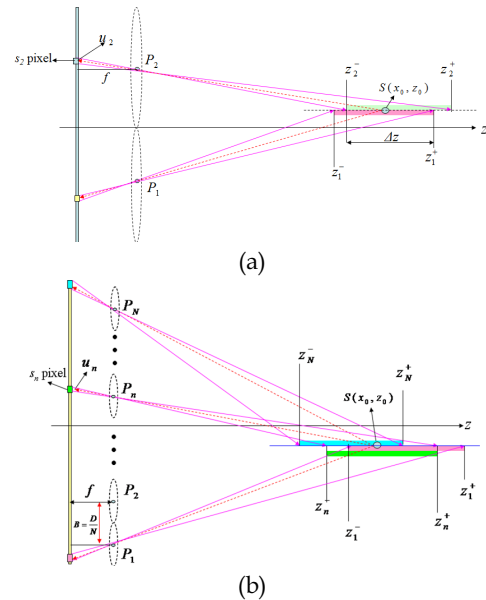


그림 2. 깊이 해상도의 계산을 위한 광선 분석(a) 렌즈 개수가 2개일때 (b) 렌즈 개수가 N개일때.

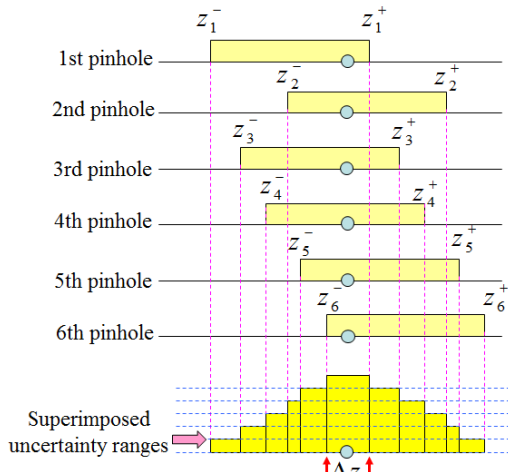


그림 3. 깊이 해상도의 계산의 예

III. 컴퓨터 모의 실험

제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해 통계적으로 깊이 해상도를 계산하는 Monte Carlo 모의 실험을 수행하였다. 그림 2의 실험 구조를 구성하고, 첫 번째 점광원을 공간에 임의로 배치하였다 그리고 두 번째 점광원을 랜덤하게 이동하면서 깊이 해상도를 계산하였다. 실험 조건은 다음과 같다. 센서의 픽셀 수는 $K=5000$ 개이고, 센서의 픽셀크기는 $c=5 \mu\text{m}$ 이고 전체 parallax는 1 m로 고정하였다. 그리고 렌즈의 개수 N 은 2에서 10까지 변화를 시키면서, 초점거리 f 를 또한 변화시켰다. 두 점광원에 대해서 총 82,000번의 반복 실험을 수행하고 이에 대한 평균값을 계산하였다

실험 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 결과로부터 3D 집적 영상의 깊이 해상도는 N 이 증가할수록 향상됨을 확인하였고, f 가 길수록 좋아짐을 알 수 있다. 그러나 f 가 길어지면 집적 영상 시스템의 시야각이 좁아지게 때문에 무작정 길게 할 수는 없다.

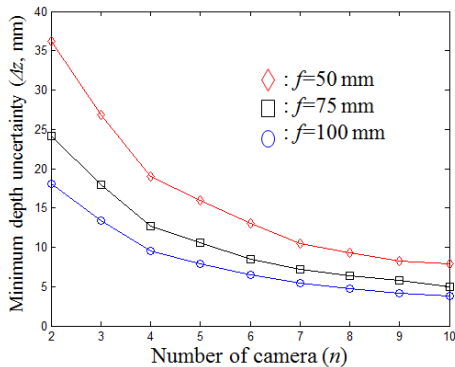


그림 4. 제안하는 깊이 반전 방법

IV. 결 론

결론적으로 본 논문에서는 제한된 리소스에서 집적 영상 시스템의 해상도 분석을 수행하는 해석 방법을 제안하였고 이를 이용하여 깊이 해상도를 계산하는 방법을 설명하였다 그리고 컴퓨터 모의 실험을 통하여 집적 영상 시스템을 분석한 결과를 보고하였다. 제안하는 방법을 통하여 해상도 측면에서 최적화된 집적 영상 시스템 설계를 수행할 수 있을 것으로 기대한다

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10041682, 집적영상(IP) 깊이 표현 범위를 개선한 고선명 3D 영상 처리 기술]

참고문헌

- [1] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," J. Phys. vol. 7, pp. 821-825 (1908).
- [2] F. Okano, J. Arai, K. Mitani, M. Okui, "Real-time integral imaging based on extremely high resolution video system," Proc. IEEE, vol. 94, pp. 490-501 (2006).
- [3] R. Martinez-Cuenca, G. Saavedra, M. Martinez-Corral, and B. Javidi, "Progress in 3-D multiperspective display by integral imaging," Proc. IEEE, vol. 97, pp. 1067-1077 (2009).
- [4] C. B. Burckhardt, "Optimum parameters and resolution limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Amer., vol. 58, pp. 71-76 (1968).
- [5] S. Manolache, A. Aggoun, M. McCormick, N. Davies, and S. Y. Kung, "Analytical model of a three-dimensional integral image recording system that uses circular- and hexagonal-based spherical surface microlenses," J. Opt. Soc. Amer. A., vol. 18, pp. 1814-1821 (2001).
- [6] H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama, "Analysis of resolution limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Amer. A, vol. 15, pp. 2059-2065 (1998).
- [7] D. Shin, M. Daneshpanah, and B. Javidi, "Generalization of three-dimensional N-ocular imaging systems under fixed resource constraints," Opt. Lett. vol. 37, pp. 19-21 (2012)