
원형매핑 모델과 보간법을 복합 사용하는 컴퓨터 집적 영상 복원 기술에서 3D 영상의 해상도 개선

신동학* · 유훈**

Enhancement of 3D image resolution in computational integral imaging reconstruction by a combination of a round mapping model and interpolation methods

Dong-Hak Shin* · Hoon Yoo**

요 약

본 논문에서는 컴퓨터 집적 영상 복원(CIIR) 기법 기반의 3D 패턴 인식 응용을 위해서 평면 3D 복원 영상의 해상도를 향상시키는 새로운 방식을 제안한다. 제안하는 방식에서는 CIIR에서 각각의 요소 영상에 대해서 원형 매핑 모델과 보간법을 복합 사용하여 확대 중첩을 통해 향상된 3D 영상을 복원한다. 제안하는 방식에 대해서 정확한 CIIR 방식의 객관적인 해석을 위해서 Gaussian 영상을 이용한 테스트 모델을 설명하고 제안하는 방식에 대해서 성능평가를 수행한다. 그리고 3차원 물체에 대한 컴퓨터 복원 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel method to improve the visual quality of reconstructed images for 3D pattern recognition based on the computational integral imaging reconstruction (CIIR). The proposed CIIR method provides improved 3D reconstructed images by superimposing magnified elemental images by a combination of a round mapping model and image interpolation algorithms. To objectively evaluate the proposed method, we introduce an experimental framework for a computational pickup process and a CIIR process using a Gaussian function and evaluate the proposed method. We also carry out experiments on 3D objects and present their results.

키워드

3D display, Integral imaging, Lens array, Computational reconstruction

I. 서 론

3D 디스플레이 기술 중에 하나인 집적 영상 (Integral imaging) 방식은 백색광을 이용하여 3D 물체를 저장하고 복원할 수 있는 기술로서 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안된 이후로 많은 연구가 수행되어 왔다 [1-4]. 집적 영상 방식은 오토스테레오스코피(Autostereoscopy)

방식으로서 스테레오스코피 방식에서 나타나는 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시점과 수평, 수직시차를 모두 제공할 수 있는 장점을 가지지만, 복원 영상의 질이 떨어지고 해상도가 낮고 시야각이 제한되는 점 등의 단점도 있다. 따라서 최근 이 집적 영상 기술에서 광학적 집적 영상 재생 방식의 단점을 극복하기 위해서 컴퓨터를 이용한 집적 영상 재생 방식(CIIR : Computational

* 동서대학교 영상콘텐츠학과

** 상명대학교 디지털미디어학부 (교신저자)

Integral Imaging Reconstruction)이 활발하게 연구되고 있다 [5-12].

CIIR 방법은 크게 그림 1과 같은 두 종류의 컴퓨터 재생 방법으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 2001년 Arimoto와 Javidi는 관찰자를 기준으로 3D 영상을 복원하는 CIIR 방법을 제안하였다 [5]. 그 기본적인 개념은 그림 1(a)과 같다. 이 방식에서 관찰자는 렌즈 배열을 통과하여 각 렌즈별로 하나의 요소영상 픽셀을 관찰하게 된다. 따라서 관찰자가 직접 보게 되는 3D 영상의 해상도는 렌즈 배열의 렌즈 개수와 동일하며 매우 낮다. 하지만 관찰자는 다양한 각도 재생되는 3D 영상을 관찰할 수 있다. 이와는 달리 2004년에 평면기반의 CIIR 방식이 제안되었다 [6]. 이 평면기반 CIIR 방식은 3D 영상을 일정한 거리에 놓인 출력 평면(output plane)에서 재생하는 방식이다. 이 경우 재생되는 3D 영상은 영상 재생의 평면의 위치에 따라 달라진다. 이러한 평면기반 CIIR 방식의 특성을 잘 이용한 광학적 3D 물체 인식과 3D 상관계에 대한 연구가 최근 활발히 연구되고 있다 [10,11].

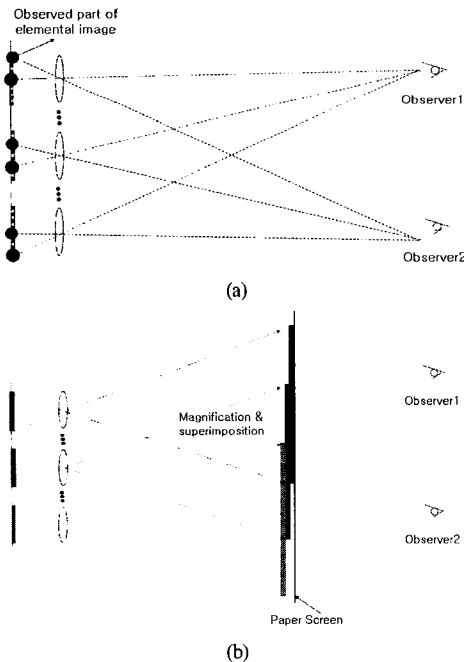


그림 1. CIIR 방식의 종류
 (a) 관측자형 CIIR (b) 평면기반 CIIR.
 Fig. 1. Types of CIIR
 (a) View-based CIIR (b) Plane-based CIIR

평면기반 CIIR 기술을 사용하는 3D 패턴 인식 방법에서는 CIIR 기술에서 얻어지는 평면 3D 복원 영상들의 상호상관(Cross-correlation) 기반으로 이루어진다. 그러나 이 방법의 3D 패턴 인식 성능은 CIIR 기술에서 얻어지는 평면 영상의 해상도에 의존적이다. 따라서 이러한 평면 3D 영상의 해상도를 향상시킬 필요가 있다.

우리는 이전의 연구에서 원형 매핑 모델을 CIIR 기술에 적용하여 해상도를 개선하는 기법을 보고하였다 [8]. 이 기법은 요소 영상이 확대 중첩될 경우에 사각형 구조의 요소영상을 특정 원형안의 요소 영상만을 사용하는 방식이다. 따라서 사각형 구조의 요소영상의 사용할 때 발생하는 주기적인 영상 잡음을 제거 할 수 있었다. 하지만, 이 방식에서도 여전히 확대 중첩되는 요소 영상의 해상도는 매우 낮다.

본 논문에서는 CIIR 기반의 3D 패턴 인식 응용을 위해서 평면 3D 복원 영상의 해상도를 향상하는 새로운 방식을 제안한다. 제안하는 방식에서는 원형 매핑 모델의 CIIR에서 각각의 요소 영상에 대해서 기존의 영상처리 기법에서 많이 사용되는 보간법(interpolation algorithm)을 이용하여 확대 중첩하여 평면 3D 영상을 복원한다. 즉 원형 매핑 모델과 보간법을 결합 사용하여 요소 영상에 적용함으로써 해상도를 증가시키고, 이들을 확대 중첩시킴으로써 평면 3D 영상을 얻는다. 또한 보다 정확한 CIIR 방식의 해석의 객관적인 성능 평가를 위해서 Gaussian 영상을 이용한 CIIR 테스트 모델을 설명하고, 시뮬레이션 실험을 하였다. 제안하는 실험을 통하여 기존의 CIIR 방법에서 문제점 및 개선 방법을 제시한다. 마지막으로 제안하는 보간법을 이용하는 CIIR 방식의 유용함을 보이기 위해서 광학적 픽업 및 3D 영상의 재생 실험을 수행하여 그 결과를 나타낸다.

II. 제안하는 CIIR 방식

2.1 기존의 CIIR 방식

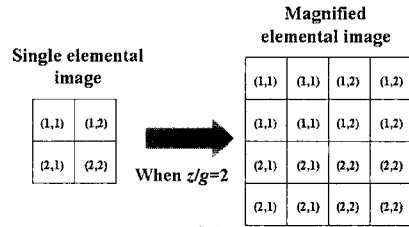
그림 2는 핀홀 배열을 사용하는 기존의 CIIR 방식이다. 그림 2(a)에서 보이는 것처럼 3D 물체는 렌즈 배열을 통하여 요소 영상으로 기록된다. 다음은 컴퓨터 재생 단계로써 기록된 요소영상은 컴퓨터에 의해 디지털적으로 복원된다. 이때 각각의 요소 영상은 대응하는 핀홀을 통해서 출력 평면에 역으로 확대되어 매핑된다. 이때 확

대 배율 M 은 z/g 이다. 여기서 z 는 출력평면과 핀홀 배열 사이의 거리이고, g 는 핀홀 배열과 요소 영상 사이의 거리이다. 모든 요소 영상이 확대 배율로 확대되고 서로 서로 중첩이 되면 최종적인 3D 영상이 복원된다. 이 과정을 z 를 달리하면서 3D 물체의 공간 영상을 얻을 수 있다.

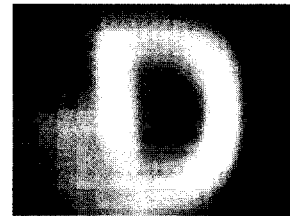
기존의 CIIR 방법에서는 요소 영상의 확대는 그림 3(a)와 같이 단순히 복사하듯이 확대가 된다. 여기서 2×2 픽셀의 요소 영상을 가정하고 $M=2$ 라고 하면 각 픽셀이 2배씩 복사되어 확대된다. 이러한 영상 확대 방식을 2차원 영상처리에서는 0차 보간법이라고 한다 [12].

3D 물체는 그림 2(a)에서 보여지듯이 픽업과정에서 사격구조의 렌즈 배열을 기록되기 때문에 CIIR 방식으로 3D 영상이 복원하게 되면 그림 3(b)에 보여지는 영상처럼 영상의 불균일 현상이 나타나게 된다. 이러한 불균일 현상은 복원 영상에서 잡음 역할을 하기 때문에 복원 영상의 질을 저하하게 한다. 이 잡음의 원인 사각구조의 요소 영상의 단순 확대 매핑 (0차 보간법) 때문이다.

하나의 요소 영상은 핀홀 배열을 통과한 이후로 원형 형태로 매핑이 되는 방식이다. 이 방식은 그림 2(b)에서 보여지듯이 원형 매핑으로 구성되어 사각형 형태의 요소 영상에서 보여지는 주기적인 요소 영상의 중첩에 의한 영상 잡음을 제거할 수 있는 특징을 가진다.



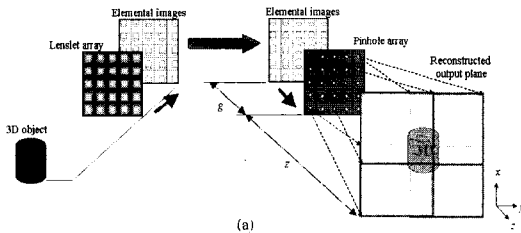
(a)



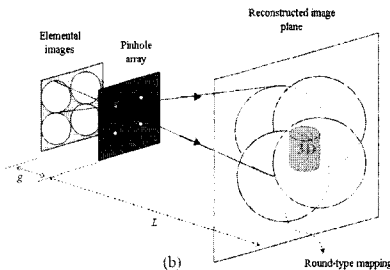
(b)

그림 3. (a) CIIR의 확대 원리
(b) 복원 영상에서 잡음의 예

Fig. 3. (a) Principle of magnification in CIIR
(b) Examples of artifact noise in the reconstructed image



(a)



(b)

그림 2. (a) 기존의 CIIR 방법의 원리
(b) 원형 매핑 모델의 CIIR

Fig. 2. (a) Principle of conventional plane-based CIIR
(b) CIIR based on a round mapping model

한편 기존의 평면기반 CIIR 방식의 해상도 개선을 위해서 원형 매핑을 사용하는 방식을 제안되었는데 이 방식은 그림 2(b)에 나타내었다. 여기서서는 그림 2(a)와 달리

2.2 제안하는 CIIR 방법

그림 4는 제안하는 CIIR 방식의 블록 다이어그램을 보여준다. 제안하는 방식에서는 기존의 방법에서 단순 확대 매핑 방식 대신에 원형 매핑 모델과 새로운 보간법을 결합 사용한다. 즉 각각의 요소 영상은 먼저 원형 매핑 모델에 기초하여 원형 모양으로 추출이 되고, 확대 과정에서 새로운 보간법을 사용하여 확대한 후 출력 평면에서 3D 영상으로 중첩되어 재생된다. 보간법은 2차원 영상처리에서 영상의 해상도 개선을 위해서 다양하게 연구되어 왔다. 기본적인 원리는 두 이웃하는 픽셀 사이의 새로운 값의 픽셀을 삽입한다. 이때 삽입되는 픽셀의 세기 값은 이웃하는 픽셀들의 정보를 이용하여 추가한다. 제안하는 방식에서는 다양한 방법을 적용할 수 있다. 예를 들면 선형 보간법과 cubic convolution 보간법(CCI)을 사용할 수 있다.

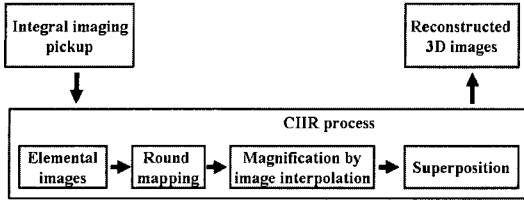


그림 4. 제안하는 CIIR 방식의 블록 다이어그램
Fig. 4. Block diagram of the proposed CIIR method

III. CIIR의 객관적 평가 방법

먼저 제안하는 CIIR 방식에 대한 성능을 보다 정확하게 해석하기 위해서 객관적인 성능 평가를 위한 Gaussian 영상을 이용한 CIIR 테스트 모델을 설명하고, 실험하였다. 2D 영상처리에서 Gaussian 영상은 영상의 해상도를 분석하는 표준 영상으로 많이 사용되고 있다. 제안하는 실험을 통하여 기존의 CIIR 방법에서 문제점 및 개선 방법을 제시한다.

그림 5는 본 논문에서 CIIR의 객관적인 분석을 위한 Gaussian 영상을 이용한 테스트 모델을 나타낸다. 먼저 Gaussian 영상을 핀홀 배열로부터 임의의 거리 z 에 위치시키고 요소영상을 제작한다. 제작된 요소 영상을 이용하여 CIIR 방식으로 z 거리에서 평면 영상을 재생한다. 이때 재생된 평면 영상과 원래의 Gaussian 영상을 이용하여 최대신호대 잡음 비율 (PSNR : Peak Signal to Noise Ratio)을 계산하였다. PSNR 계산 결과가 높으면 높을수록 재생된 영상의 질이 원 영상과 더 유사함을 뜻한다. PSNR을 계산하기 위해서, 우선 평균 제곱 오차 (MSE : Mean-Square Error)를 구해야한다. MSE는 두 영상 사이에서 대응되는 각 픽셀의 차를 제곱하여 모두 합한 결과를 영상의 픽셀 수로 나눈 값이다. MSE를 구하는 공식은 다음 식 (1)과 같다.

$$MSE = \frac{\sum_{X,Y} [I_1(x,y) - I_2(x,y)]^2}{XY} \quad (1)$$

여기서 I_1 은 원영상을 나타내며, I_2 는 복원 영상을 나타낸다. 식 (1)에서, X 와 Y 는 입력 영상에서 행과 열의 전체 수를 각각 의미한다. 계산된 MSE 값을 이용하여 두 영상 사이의 PSNR은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

여기서 식 (2)에서, R 은 원 영상 데이터의 최대값을 나타낸다.

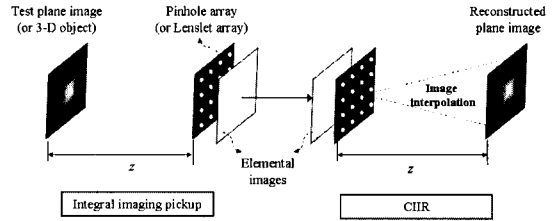


그림 5. CIIR 성능 평가를 위한 테스트 모델
Fig. 5. Test model for evaluation of CIIR performance

그림 6은 거리 (z/g)에 따른 PSNR 값들의 변화를 보여준다. 실험에 사용한 렌즈릿의 개수는 34×25 개이며, 하나의 렌즈릿의 크기는 1.08 mm 이며, 초점거리는 3 mm 로 하였다. 그리고 하나의 요소 영상은 30×30 개의 픽셀을 가진다. 그림 6의 결과로부터는 ‘o’마크로 표시된 기존의 CIIR 방식에서 특정한 주기로 매우 낮은 PSNR 값들이 존재함을 확인할 수 있었다. 그 주기는 하나의 요소 영상의 픽셀 수 ($p=30$)의 $p/2$ 의 배수로 크게 나타났다. PSNR의 변화에 의한 영상의 예를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 $p/2$ 주기인 $z/g=15$ 경우에 기존의 CIIR 방식 ((0차 보간법)에서는 불규칙적인 사각형 형태로 복원이 됨을 알 수 있고 이에 반해 그림 7(b)는 CCI 보간법을 적용하였을 때에는 Gaussian 영상에 가깝게 복원됨을 알 수 있다.

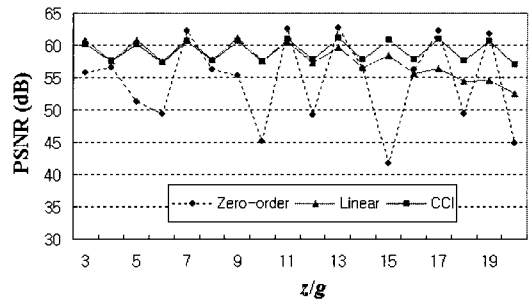


그림 6. z 에 따른 PSNR 결과
Fig. 6. PSNR results according to the distance z

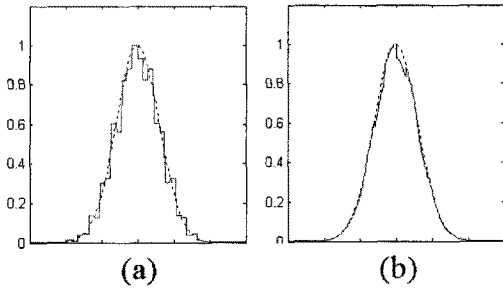


그림 7. $z/g=15$ 일때의 복원 영상의 예
(a) 기존의 방법 (b) 제안하는 방법

Fig. 7. Examples of reconstructed images when $z/g=15$
(a) Conventional method (b) Proposed method.

본 논문에서 사용하는 보간법을 이용한 CIIR 방식을 사용하게 될 경우에 PSNR의 변화를 크게 줄일 수 있음을 그림 6과 7에서 확인할 수 있다. 결론적으로 CCI를 사용할 경우에 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

IV. 실험 및 결과

제안하는 원형매핑 모델과 보간법을 복합 사용하는 CIIR 방식의 유용함을 보이기 위해서 3D 물체의 복원 실험을 수행하였다. 실험 구조는 그림 8과 같다. 실제 3D 물체는 3개의 글자 패턴 'D', 'S'와 'U'를 사용하였다. 이 패턴들은 $z=12, 30, 48$ mm에 각각 위치시켰다. 그리고 34×25 렌즈를 가지는 렌즈 배열을 $z=0$ mm에 위치시켜 요소 영상을 기록하였다. 이때 각 렌즈의 크기는 1.08 mm이고, 각 요소 영상의 픽셀 수는 30×30 이다. 기록된 요소 영상은 그림 8(b)에 나타내었으며 총 픽셀 수는 1020×750 이다.

이 요소 영상을 이용하여 그림 2의 CIIR 복원 기법을 이용하여 3D 영상을 복원하였다. 3개의 글자 패턴에 대해서 각각 12, 30, 48mm에서 재생을 시킨 후 원영상과 PSNR를 계산하여 비교하였다. 실험 결과를 표 1에 정리하였다. 여기서 제안하는 방법에서는 CCI를 사용하였다. 표 1에서는 기존의 방법, 원형 매핑 모델만을 사용하는 방법 그리고 본 논문에서 제안하는 방법에 대한 실험 결과를 나타내었다. 실험 결과에서 보여지듯이 모든 영상에 대해서 기존의 방법이 가장 좋지 않은 결과를 얻었으며, 이것은 기존의 방법에 많은 주기적인 영상 잡음이 존재하기 때문이다. 이에 반해 원형매핑 모델을 사용하

는 경우 이러한 주기적인 영상 잡음을 제거하기 때문에 약간 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 제안하는 방법은 주기적인 영상 잡음 제거와 보간법을 이용한 요소 영상의 해상도 증가를 통하여 가장 우수한 결과를 얻었으며, 평균적으로 약 1.8 dB 이상의 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

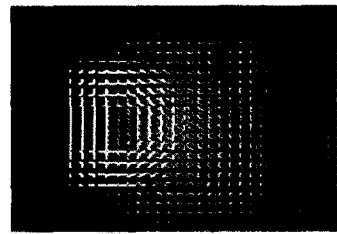
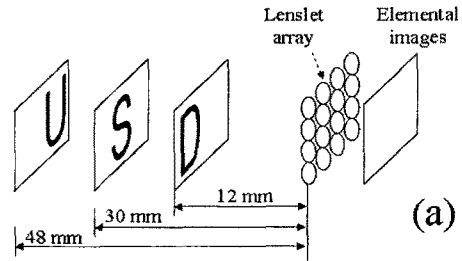


그림 8. (a) 실험 구조 (b) 기록된 요소 영상

Fig. 8. (a) Experimental Structure
(b) Recorded elemental images

표 1. PSNR 측정 결과
Table 1. RSNR results

	'D' image	'S' image	'U' image
Conventional method	15.84	15.73	14.85
Round mapping model	16.37	16.40	15.18
Proposed method	17.55	17.56	16.43

다음으로 재생된 3D 영상의 질을 확인하기 위해서 기존의 방법과 제안하는 방법에 대해서 $z=30$ mm에서 컴퓨터적으로 재생된 'S' 글자 영상을 그림 9(a)와 (b)에 나타내었다. MSE의 결과 값과는 달리 복원 영상에서 보여지듯이 실험에 사용한 영상이 이진인 단순한 구조의 글자 패턴에서는 크게 영상의 개선을 확인하기가 힘들었다. 따라서 자세한 영상 분석을 위해서 글자 영상 'S' 대신에

자동차 영상을 이용하는 실험을 반복하고 그 실험 결과를 그림 9(c)와 (d)에 나타내었다.

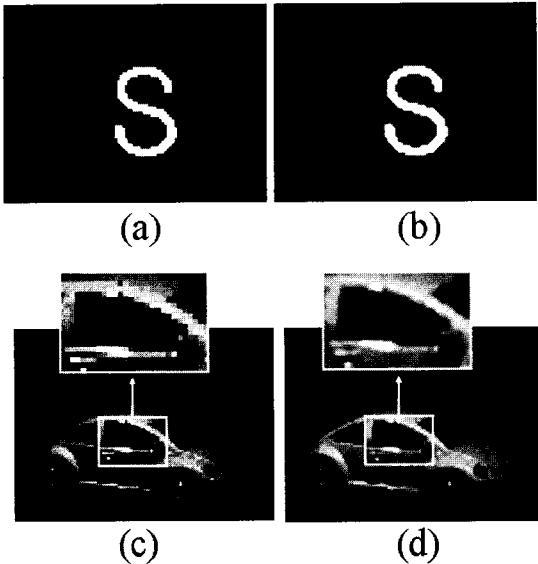


그림 9. 'S' 글자 영상의 복원 영상에 대한 (a) 기존의 방법 (b) 제안하는 방법과 자동차 영상의 복원 영상에 대한 (c) 기존의 방법 (d) 제안하는 방법
 Fig. 9 Reconstructed images for 'S' character pattern (a) Conventional method (b) Proposed method and reconstructed images for 'car' image (c) Conventional method (d) Proposed method

그림 9에서 좀 더 정확한 영상을 보이기 위해서 일부 영상을 확대하였다. 자동차 영상의 실험결과에서는 기존의 방법보다 제안하는 방법이 훨씬 더 부드러워짐을 알 수 있다. 이러한 영상의 해상도 개선은 3D 영상 인식 기법에서 인식 성능을 향상시킬 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 CIIR 방식에서 3D 복원 영상의 해상도를 향상하는 새로운 방식을 제안하였다. 제안하는 방식에서는 CIIR에서 각각의 요소 영상에 대해서 원형 매핑 모델과 기존의 영상처리 기법에서 많이 사용되는 보간법을 결합 사용하여 향상된 해상도의 평면 3D 영상을 복원한다. 그리고 정확한 CIIR 방식의 해석을 위해서 객관적인 성능 평가를 위한 Gaussian 영상을 이용한 CIIR 테

스트 모델로 실험하여 제안하는 방법의 유용함을 보였다. 마지막으로 3D 물체의 재생 실험을 수행하여 향상된 실험 결과를 보고하였다. 제안하는 방식을 이용할 경우 향상된 3D 패턴인식이 가능할 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] G. Lippmann, "La photographie integrale," C.R. Acad. Sci. Vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [2] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Three-dimensional video system based on integral photography," Opt. Eng. Vol. 38, pp. 1072-1077, 1999.
- [3] B. Lee, S. Y. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display by use of integral photography with dynamically variable image planes," Opt. Lett. Vol. 26, pp. 1481-1482, 2001.
- [4] J. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," Opt. Lett. Vol. 27, pp. 324-326, 2002.
- [5] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett. Vol. 26, pp. 157-159, 2001.
- [6] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," Opt. Express, Vol. 12, pp. 483-491, 2004.
- [7] D.-H. Shin, M. Cho, K.-C. Park and E.-S. Kim, "Computational technique of volumetric object reconstruction in integral imaging by use of real and virtual image fields," ETRI Journal, Vol. 27, pp. 708-712, 2005.
- [8] 신동학, 김남우, 이준재, 김은수 "원형 매핑 모델에 기초한 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방식," 한국해양정보통신학회 논문지, 제11권 5호, pp. 991-996, 2007.
- [9] D.-H. Shin, E.-S. Kim and B. Lee, "Computational reconstruction technique of three-dimensional object in integral imaging using a lenslet array," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, pp. 8016-8018, 2005.

- [10] B. Javidi, R. Ponce-Diaz, and S.-H. Hong, "Three-dimensional recognition of occluded objects by using computational integral imaging," *Opt. Lett.* Vol. 31, pp. 1106-1108, 2006.
- [11] S.-H. Hong and B. Javidi, "Distortion-tolerant 3D recognition of occluded objects using computational integral imaging," *Opt. Express* Vol. 14, pp. 12085-12095, 2006.
- [11] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced three-dimensional image correlator using computationally reconstructed integral images," *Opt. Commun.* Vol. 26, pp. 72-79, 2007.
- [12] D.-H. Shin and H. Yoo, "Image quality enhancement in 3D computational integral imaging by use of interpolation methods," *Opt. Express* Vol. 15, pp. 12039-12049, 2007.

저자 소개

신동학(Dong-Hak Shin)



1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 공학사
1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사
2001년 10월-2004년 8월 일본 도요하시 기술대학 연구원
2005년 3월-2006년 8월 광주대학교 3DRC 연구교수
2006년 9월-현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수
※관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리

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
2005년 3월~2008년 8월: 동서대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
2008년 9월~현재: 상명대학교 소프트웨어대학 디지털미디어학부 조교수
1997. 2. 26: 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상
2003~2005: 삼성전자 위성 DMB 폰과 지상파 DMB 폰 개발 및 양산
※주요관심분야: 영상처리 및 압축, 3차원 영상 처리, 집적 영상 처리