

초해상도 영상복원을 이용한 집적영상의 해상도 향상

준회원 홍기훈*, 정회원 박재형**, 이병호*

Resolution enhanced integral imaging using super-resolution image reconstruction algorithm

Keehoon Hong* Associate Member, Jae-Hyeung Park**, ByoungHo Lee* Regular Members

요약

본 논문은 집적영상의 요소영상을 초해상도 영상복원에 이용하여 집적영상의 해상도를 향상시키는 방법을 제안한다. 집적영상에서 전체 요소영상의 인접한 단일 요소영상들 사이에는 대상물체의 동일한 부분의 상을 포함하는 공통부분이 존재한다. 이러한 공통부분들을 초해상도 영상복원의 저해상도 영상으로 이용하게 되면 CCD(Charge Coupled Device) 등의 영상취득 장치의 제한된 해상도로 인한 집적영상의 낮은 해상도 문제를 보완할 수 있게 된다. 전체 요소영상과 제안된 방법을 이용하여 해상도를 향상시킨 전체 요소영상을 비교하여 제안된 방법의 타당성을 증명하였다.

Key Words : 3D Display, Integral Imaging, Resolution, Super-Resolution, Interpolation

ABSTRACT

We proposed a new method to improve the resolution of elemental image set in the integral imaging system using super-resolution image reconstruction method. Adjacent elemental images have same image region which is projected from the common area of object. These projected images in the elemental image can be used for low resolution images of super-resolution method. Two methods for resolution improvement of elemental image set using super-resolution method are proposed. One is super-resolution among the elemental image sets and the other is among the elemental images. Simulation results are compared with resolution improved elemental image set using interpolated method.

1. 서론

1.1 집적영상

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다. 최근 3차원 디스플레이에 관한 연구는 크게 안경식 양안시차방식(stereoscopic)과 무안경식 양안시차방식(autostereoscopic) 두 가지로 진행되고 있다. 편광안

경, 셔터글래스(shutter glass) 등의 특별한 보조장치를 이용해 관찰자가 입체 영상을 관찰할 수 있도록 하는 안경식 양안시차 방식과 달리 무안경식 양안시차 방식은 시차 장벽(parallax barrier), 렌티큘러 렌즈(lenticular lens), 렌즈 어레이(lens array) 등의 광학 소자를 2차원 디스플레이 장치 전면부에 위치시켜 관찰자가 보조 기구의 착용 없이 입체감을 느낄 수 있도록 한다¹⁾.

집적영상법(integral imaging)은 위에서 설명한 무안경식 양안시차 방식의 3차원 디스플레이 방식 중

※ 본 연구는 BK21 프로그램(서울대학교 정보기술사업단)의 지원을 받았습니다.

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 광공학 연구실(byoungHo@snu.ac.kr), ** 충북대학교 3차원 정보 처리 연구실(jh.park@cbnu.ac.kr)
논문번호 : #KICS2009-07-325, 접수일자 : 2009년 10월 17일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 15일

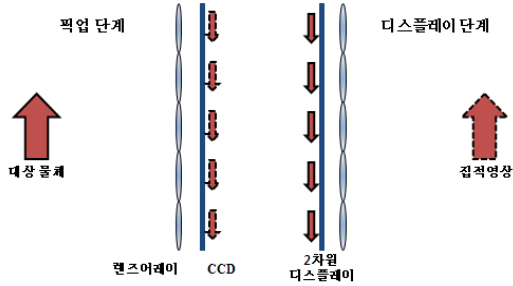


그림 1. 집적영상 시스템의 개념도

한 종류로 본래 집적사진법(integral photography)이라는 이름으로 1908년 Lippmann에 의해서 처음으로 제안된 방식이다^[2]. 처음 제안될 당시에는 기록, 표시 매체로 사진 건판을 사용하였지만 최근 급격히 발전하고 있는 평판 디스플레이 장치와 CCD를 이용하여 사진 건판으로 표현할 수 없는 동적 영상의 기록과 재생이 가능한 시스템으로 발전하였다^[3].

그림 1은 일반적으로 집적영상 시스템의 개념도이다. 그림 1에서와 같이 집적영상 시스템은 물체의 3차원 정보를 획득하는 픽업 단계와 픽업 단계에서 얻어진 정보를 다시 3차원 영상으로 재현하는 디스플레이 단계로 나누어진다. 픽업 단계에서는 3차원 정보를 얻고자 하는 물체를 렌즈의 2차원 배열인 렌즈 어레이를 이용하여 촬영함으로써, 렌즈 어레이를 통해 형성된 2차원 배열된 물체의 상들을 CCD 등의 픽업장치를 이용해 저장한다. 픽업 단계에서 얻어진 영상을 전체 요소영상(elemental image)이라고 하며, 각 렌즈에서 물체를 바라본 단일 요소영상이 기록되게 된다. 디스플레이 단계에서는 이렇게 얻어진 전체 요소영상 앞에 픽업 단계에서와 동일한 렌즈 어레이를 위치시킨 후 전체 요소영상 뒤에서 산란광을 비추어 준다. 전체 요소영상 상의 단일 요소영상들은 렌즈 어레이를 통해 원래 물체가 있던 위치에 집적되게 되어 픽업단계에서 이용한 물체와 동일한 모습의 3차원 영상으로 재현되게 된다. 이러한 집적영상의 장점으로는 편광 안경이나 셔터 글래스 같은 특별한 보조 장치 없이 3차원 영상을 관찰 할 수 있다는 점과 수평 시차만을 제공하는 시차 장벽 방식, 렌터클러 방식 등과 다르게 수평 시차뿐 아니라 수직 시차까지 제공하며, 제한된 시야 범위 안에서 연속적인 시차를 제공한다는 점 등을 들 수 있다. 그러나 집적영상 방식은 온전한 3차원 영상을 관찰 가능한 시야 범위, 즉 시야각이 작고 재생된 3차원 영상의 해상도가 낮은 단점을 가지고 있다.

1.2 초해상도 영상복원

영상과 관련된 많은 응용 분야에서는 높은 해상도의 영상을 요구한다. 고해상도 영상을 얻기 위해 높은 해상도를 가지는 영상 획득 장치를 이용하는 방법이 있지만 CCD등의 영상 획득 장치에서 단위 면적당 화소를 늘리기 위해서는 높은 비용의 문제가 생기게 된다. 높은 해상도의 영상 획득 장치를 얻기 위한 비용문제 외에도 물리적 제한으로 인해 기술적으로 생산 가능한 영상 획득 장치의 해상도에는 제한이 생기게 된다. 이러한 제한들로 인해 고해상도의 영상을 얻을 수 없는 경우 물리적 방법이 아닌 신호 처리 기법을 통해 다수의 저해상도 영상을 이용하여 고해상도 영상을 복원하는 방법인 초해상도 영상복원(super resolution reconstruction) 기법이 관련 분야에서 활발하게 연구되고 있다. 다수의 부화소(sub pixel) 단위의 차이를 가지는 저해상도 영상들 사이에서 정합정보(registration information)를 얻을 수 있다. 초해상도 영상복원은 이러한 정합정보를 이용하여 단순 보간법을 이용하여 향상시킬 수 있는 해상도보다 높은 해상도를 가지는 초해상도 영상으로 재구성하는 영상처리 방법이다. 이는 저해상도 영상과 고해상도 영상 사이의 관계를 주파수 영역에서 분석한 Tasi에 의해 처음 제안되었으며, convex projection 방법을 이용한 연구 등이 발표된 바 있다^{[4][5]}.

본 연구에서는 집적영상의 단점 중 하나인 재생된 3차원 영상의 낮은 해상도 문제를 해결하기 위하여 디스플레이 단계의 전체 요소영상에 초해상도 영상복원 방법을 적용하여 집적된 영상의 해상도를 향상시키는 방법을 제안한다. 다양한 방법의 초해상도 영상복원 방법 중 MAP(maximum a posterior) 예측 방법을 이용하여 정합정보와 고해상도 영상을 동시에 추정 가능한 방법을 사용하였다^[6].

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 집적영상에서 재생된 3차원 영상이 낮은 해상도를 가지는 이유에 대해 설명하며, 3장에서는 이러한 낮은 해상도 문제를 해결하기 위한 초해상도 영상복원 방법을 집적영상의 전체 요소영상에 적용하는 방법에 대해 다룬다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 초해상도 영상복원 방법을 이용하여 해상도를 향상시킨 전체 요소영상 결과를 제시, 기존 방법과 단순 보간법을 이용한 결과와 비교하며 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 집적영상에서의 해상도 문제

집적영상에서의 해상도 문제의 발생 원인은 크게 두 가지로 설명할 수 있다. 렌즈 어레이의 렌즈 크기에 의해 결정되는 재생 공간상에서의 표본추출비율(sampling rate)에 의한 원인과, 픽업 과정에서 사용되는 CCD 등의 픽업장치와 디스플레이 단계에서 사용되는 2차원 디스플레이의 해상도 제한에서 생기는 원인이다^{[7],[8]}.

2.1 재생공간 상의 표본추출비율에 의한 원인

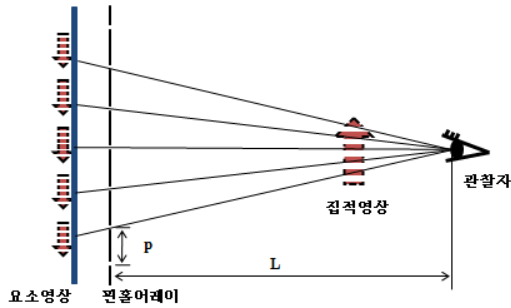


그림 2. 표본 추출 비율에 의한 해상도 저하

그림 2는 렌즈 어레이의 렌즈 크기에 의해 결정되는 표본추출비율이 집적된 3차원 영상의 해상도에 미치는 영향을 설명하기 위한 개념도이다. 전체 요소영상의 각 단일 요소영상에서 한 개씩 표본추출이 되는 모습을 보이기 위해 렌즈 어레이 대신에 핀홀 어레이(pinhole array)로 표현하였다. 집적영상 시스템의 디스플레이 단계에서 전체 요소영상은 렌즈 어레이의 각 렌즈들에 의해 샘플링 되게 되는데 이때 Nyquist의 표본화 이론(sampling theorem)에 의해 집적된 3차원 영상의 최대 해상도 β_{nyq} (cycles per radian)는 아래의 식 1과 같이 제한되게 된다.

$$\beta_{nyq} = \frac{L}{2p} \quad (1)$$

위의 식에서 L 은 관찰자와 렌즈 어레이 사이의 거리이며, p 은 렌즈 어레이의 렌즈크기이다. 재생공간에서 표본추출비율의 이유로 저하된 집적영상의 해상도를 증가시키기 위한 연구로 동적 렌즈 어레이(또는 핀홀 어레이)를 사용하는 방법, 렌즈 어레이 앞에 프리즘 층(prism sheet)을 놓고 회전시키는 방법 등이 제안되었다^{[9],[10]}.

2.2 영상 획득장치, 디스플레이의 제한된 해상도에 의한 원인

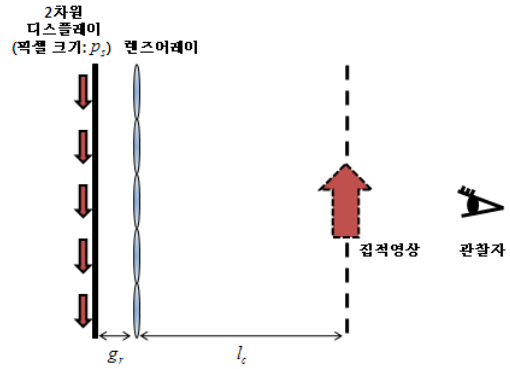


그림 3. 집적영상 시스템의 디스플레이 단계

그림 3에서 집적된 3차원 영상의 해상도가 디스플레이의 단계에서 사용되는 2차원 디스플레이의 해상도에 의해서도 결정되게 되는 원인을 설명하기 위한 집적영상 시스템의 디스플레이 단계를 보여주고 있다.

위의 그림에서 p_s 는 디스플레이의 픽셀 크기, g_r 은 렌즈 어레이와 디스플레이 패널 사이의 거리, l_c 는 전체 요소영상이 집적되어 표현되는 중심 깊이 평면을 의미한다. 위의 디스플레이 단계는 렌즈 공식에 의해 아래의 식 2로 표현 가능하며 렌즈 어레이와 디스플레이 패널 사이의 거리는 아래의 식 3과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{g_r} + \frac{1}{l_c} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

$$g_r = \frac{l_c f}{(l_c - f)} \quad (3)$$

디스플레이의 해상도는 단위 길이 당 픽셀의 개수로 생각할 수 있으며, 집적영상의 해상도는 마찬가지로 전체 요소영상이 집적되는 면인 중심 깊이 평면에서의 단위 길이당 표현되는 픽셀 수로 정의할 수 있다. 위의 해상도 정의에 따라 디스플레이 패널의 해상도 R_{disp} 는 아래의 식 4로 표현 가능하다.

$$R_{disp} = \frac{1}{p_s} \quad (4)$$

디스플레이 패널의 픽셀은 M_r 의 배율을 갖는

렌즈 어레이의 각 렌즈에 의해 집적될 때 확대되어 픽셀 간 거리가 늘어나게 된다. 따라서 집적영상에서의 픽셀 크기는 아래의 식 5와 같이 표현 가능하다.

$$p_{s,r} = |M_r|p_s = \frac{l_c}{g_r}p_s \quad (5)$$

식 3과 식 5에 의해 식 6과 같이 집적영상의 픽셀 크기를 최종적으로 정의할 수 있다.

$$p_{s,r} = \frac{l_c - f}{f}p_s \quad (6)$$

최종적으로 집적된 3차원 영상의 해상도 R_r 은 아래의 식 7로 표현할 수 있다.

$$R_r = \frac{1}{p_{s,r}} = \frac{f}{(l_c - f)p_s} = \frac{fR_{disp}}{l_c - f} \quad (7)$$

식 7에서 보이듯 집적된 3차원 영상의 해상도는 l_c 에 반비례 한다. 즉, 집적영상 시스템에서 3차원 영상이 렌즈 어레이에서 멀리 형성되었을 때 해상도가 저하된다. 또한 위의 식에서 집적된 3차원 영상의 해상도 R_r 은 2차원 디스플레이의 해상도 R_{disp} 에 비례함을 알 수 있다. 식 7에서 정의된 집적영상의 해상도에서 알 수 있듯 2차원 디스플레이의 해상도는 집적영상의 해상도에 직접적인 영향을 준다. 따라서 고해상도의 집적영상을 구현하기 위해서는 고해상도의 디스플레이 패널을 요구하게 되지만 기술적인 어려움으로 인해 2차원 디스플레이의 해상도는 제한되게 된다. 이러한 2차원 디스플레이의 제한된 해상도로 인한 집적영상 시스템의 낮은 해상도 문제를 해결하기 위해 여러 대의 프로젝터를 이용한 방법, 보간법을 사용하여 해상도를 향상시킨 전체 요소영상을 이용하는 방법 등의 연구들이 제안되었다^{[11][12]}.

III. 집적영상의 요소영상을 이용한 초해상도 영상복원

앞의 2장에서는 집적영상의 전체 요소영상이 낮은 해상도를 갖게 되는 두 가지 이유에 대해 설명하였다. 설명한 두 가지 원인 중 2차원 디스플레이의 제한된 해상도에 의한 집적영상의 낮은 해상도를 해결하기 위해 전체 요소영상에 초해상도 영상복원 방법

을 적용하였다. 초해상도 영상복원을 적용하기 위해 필요한 부화소의 차이를 가지는 다수의 저해상도 영상으로 집적영상의 전체 요소영상들을 이용한 방법과 전체 요소영상의 단일 요소영상 사이의 공통영역을 이용한 방법 두 가지를 제안한다.

3.1 전체 요소영상 간의 초해상도 영상복원

집적영상의 낮은 해상도 문제를 해결하기 위한 첫 번째 방법으로 다수의 전체 요소영상을 초해상도 영상복원에 이용하는 방법을 제안한다. 집적영상 시스템을 이용하여 촬영한 동영상의 연속된 프레임들, 또는 하나의 대상물체에 대한 집적영상을 얻을 때 렌즈 어레이 또는 CCD를 움직여 가며 다수의 전체 요소영상을 얻는 방법을 이용하여 부화소의 이동변위를 가지는 전체 요소영상들을 얻을 수 있다.

하나의 단일 요소영상이 9개의 화소를 가진다고 가정했을 때의 전체 요소영상들이 보여주는 부화소 단위의 이동변위의 예를 그림 4에서 보여주고 있다. 아래의 그림에서 실선으로 표시된 격자는 CCD의 화소, 점선으로 표시된 격자는 렌즈 어레이이다. 위의 그림은 집적영상 시스템의 픽업 단계에서 렌즈 어레이가 CCD 화소보다 작은 크기로 움직인 모습들로 이 경우에 저장된 전체 요소영상들 사이에는 한 화소보다 작은 단위의 이동변위를 가지게 된다. 이러한 다수의 부화소 단위의 이동변위를 가지는 전체 요소영상들을 초해상도 영상복원의 저해상도 영상으로 이용해 해상도가 향상된 전체 요소영상을 얻을 수 있다. 이러한 전체 요소영상 간의 초해상도 영상복원 방법을 이용한 집적영상 시스템의 해상도 향상 방법은 다수의 전체 요소영상을 필요로 해 많은 양의 정보를 요구한다는 문제점을 가지기도 한다.

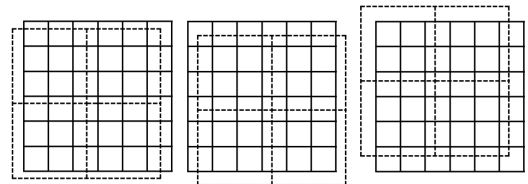


그림 4. 부화소 단위의 이동변위를 가지는 전체 요소영상

3.2 단일 요소영상 간의 초해상도 영상복원

초해상도 영상복원에 필요한 부화소 차이의 저해상도 영상을 집적영상 시스템에서 얻기 위해 제안하는 두 번째 방법은 전체 요소영상의 각 단일 요소영상 사이에 생기는 공통영역을 저해상도 영상들로 사용하는 방법이다. 전체 요소영상의 각 단일 요소영상

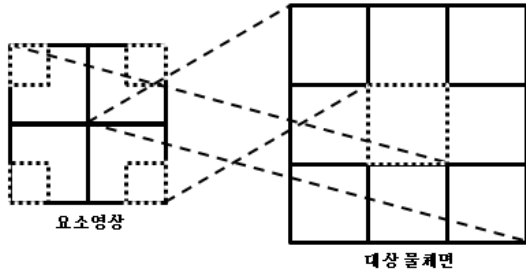


그림 5. 요소영상에서 대상물체의 공통부분

들은 렌즈 어레이의 각 렌즈들의 배율에 따라 물체의 해당 영역의 모습이 2차원으로 투사된 영상으로 생각할 수 있다.

이러한 전체 요소영상의 인접한 렌즈에 해당하는 단일 요소영상들 사이에는 그림 5에서처럼 대상 물체의 공통된 영역이 투사되는 부분이 존재하게 된다. 이 그림에서 점선으로 표시되어 있는 대상 물체의 가운데 부분의 모습이 렌즈 어레이를 거쳐 4개의 인접한 단일 요소영상에 투사되는 모습을 보여주고 있다. 이러한 인접한 단일 요소영상들 위의 점선으로 표시된 영역은 대상 물체의 공통부분이 렌즈의 배율에 의해 축소된 같은 영상을 가지게 된다. 이 부분들은 대상 물체의 공통 부분이 투사되어 있기는 하지만 렌즈 어레이의 다른 위치에 있는 렌즈들에 의해, 각기 다른 위치의 CCD에 의해 얻어진 영상이기 때문에 정확소 단위로 정합된 영상이 아닌 부화소 단위로 정합이 어긋난 영상이라고 생각할 수 있다. 따라서 이와 같이 대상 물체의 공통부분이 투사된 인접한 단일 요소영상들의 영역들은 부화소 차이를 가지는 영상으로 이러한 영역을 찾을 수 있다면, 이를 이용하여 초해상도 영상복원을 진행할 수 있다.

렌즈 어레이의 배율과 렌즈 어레이와 CCD 사이의 거리가 고정되어 있다고 가정 했을 때, 대상 물체의 공통영역이 투사된 단일 요소영상의 영역의 개수는 대상 물체와 렌즈 어레이 사이의 거리에 의해 아래의 식 8과 같이 정해진다.

$$\frac{g}{k}(2k^2 - 3k + 2) < d \quad (8)$$

위의 식에서 g 는 렌즈 어레이와 영상취득 면 사이의 거리, d 는 렌즈 어레이와 물체 사이의 깊이를 의미한다. 위의 식을 만족하는 가장 큰 k^2 의 값이 초해상도 영상복원에 사용 가능한 영상의 최대 개수이다.

위와 같이 초해상도 영상복원에 사용 가능한 단일 요소영상의 개수를 구하기 위해서는 대상 물체가 렌즈 어레이로부터 떨어져 있는 깊이 d 를 알아야 한다. 이러한 대상 물체의 깊이 정보는 전체 요소영상에서 인접한 단일 요소영상 대응점들 사이의 시차를 이용하여 알아낼 수 있다^[13]. 초해상도 영상복원 방법은 사용하는 저해상도 영상의 수에 의해 증가시킬 수 있는 해상도의 정도가 결정된다^[14]. 집적영상 시스템에서 인접한 단일 요소영상 간의 초해상도 영상복원을 적용할 때, 전체 요소영상 바깥쪽의 단일 요소영상들에서는 초해상도 영상복원에서 저해상도 영상으로 사용 가능한 대상물체의 공통부분이 투사된 단일 요소영상의 영역 수가 전체 요소영상의 인접한 단일 요소영상에 비해 부족하게 된다. 따라서 단일 요소영상들을 이용하여 초해상도 영상복원을 진행할 경우 해상도가 향상된 결과 전체 요소영상에서 바깥쪽 부분은 인접한 것에 비해 해상도가 향상되는 정도가 적다는 문제점을 가지기도 한다.

IV. 실험 결과

집적영상 시스템의 전체 요소영상 해상도를 초해상도 영상복원을 통해 향상시키는 제안된 두 가지 방법을 확인하기 위하여 아래와 같은 방법으로 실험을 진행하였다. 3장에서 설명한 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원, 단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원 두 가지 방법에는 동일한 집적영상 픽업 환경에서 얻은 전체 요소영상을 이용하였다.

픽업에서는 렌즈 간 거리가 1 mm인 가로방향 15개, 세로방향 15개의 렌즈 어레이를 사용하였으며, 핀홀 어레이와 CCD 사이의 거리는 3 mm, 12 mm의 크기를 가지는 사각형의 대상물체가 렌즈 어레이로부터 6 mm 떨어진 곳에 위치한다고 가정하

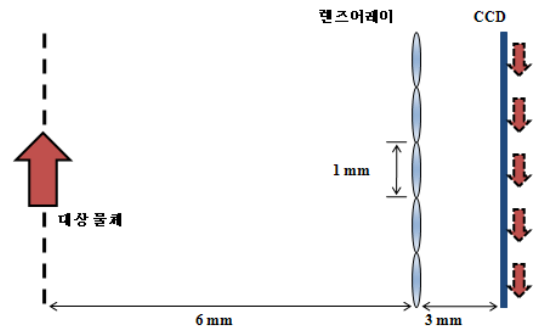


그림 6. 픽업 환경과 사용된 대상물체

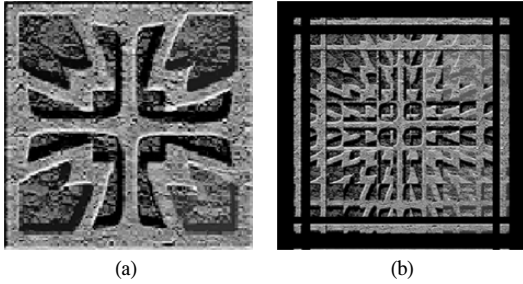


그림 7. 사용된 대상물체와 얻어진 요소영상
(a) 대상물체
(b) 요소영상

고 컴퓨터를 이용해 전체 요소영상을 얻었다. 그림 6은 집적영상 시스템에서 전체 요소영상을 얻기 위한 픽업 환경을 보여주고 있다.

위의 픽업 환경에서 그림 7(a)의 평면인 대상물체를 사용하였으며, 얻어진 전체 요소영상은 그림 7(b)와 같다. 전체 요소영상의 크기는 540×540 픽셀, 각 단일 요소영상의 크기는 36×36 픽셀이다.

4.1 전체 요소영상 간의 초해상도 영상복원

전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에 이용하기 위해서는 부화소 단위의 이동변위를 가지는 저해상도 전체 요소영상이 필요하다. 부화소 단위의 이동변위를 가지는 전체 요소영상들을 얻기 위하여 그림 7(b)의 전체 요소영상을 가로 방향으로 1픽셀 움직인 전체 요소영상, 가로, 세로 방향으로 1픽셀씩 움직인 전체 요소영상, 그리고 세로방향으로 1픽셀 움직인 전체 요소영상의 해상도를 각각 가로, 세로 방향으로 1/2씩 줄여주었다. 그림 7(b)의 전체 요소영상과 원래 전체 요소영상을 가로, 세로 방향으로 해상도를 1/2씩 줄여준 전체 요소영상 사이에는 각각 (0.5, 0), (0.5, 0.5), (0, 0.5)의 부화소 단위의 이동변위를 가지게 된다.

그림 8은 위의 방법으로 얻은 저해상도 전체 요소영상들의 (7, 7) 위치에 있는 단일 요소영상들이다. 원래 단일 요소영상에 비해 해상도가 가로, 세로방향으로 2배씩 감소한 18×18 픽셀의 크기를 가진다. 이렇게 만든 4개의 저해상도 전체 요소영상을 초해상도 영상복원의 저해상도 영상들로 이용하여

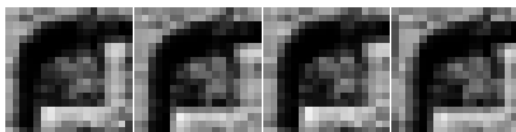


그림 8. 부화소 단위의 이동변위를 가지는 단일 요소영상들

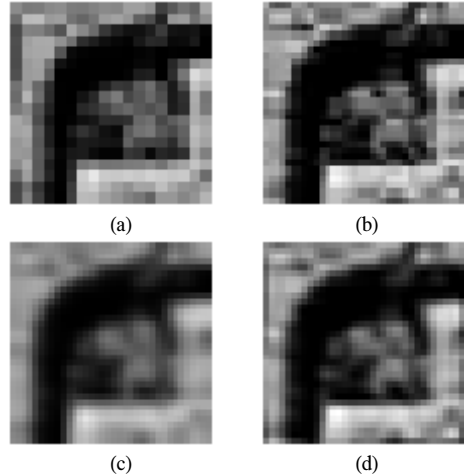


그림 9. 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원
(a) 실험에 사용된 단일 요소영상
(b) 해상도 낮추기 전의 단일 요소영상
(c) 이중선형 보간법을 이용한 단일 요소영상
(d) 제안된 방법을 이용한 단일 요소영상

540×540 픽셀 크기의 해상도를 가지는 전체 요소영상으로 만드는 초해상도 영상복원을 진행하였다.

전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원의 결과를 그림 9에서 보여준다. 그림 9(a)의 해상도 저하시키기 전 전체 요소영상, 그림 9(b)의 실험에서 사용된 해상도를 낮춘 전체 요소영상, 그림 9(c)의 이중선형 보간법(bilinear interpolation)을 이용하여 해상도를 향상시킨 전체 요소영상, 그리고 그림 9(d)의 제안된 방법을 적용하여 해상도를 향상시킨 전체 요소영상의 (7, 7) 위치의 단일 요소영상들을 비교하였다.

4.2 단일 요소영상 간의 초해상도 영상복원

단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에 사용한 전체 요소영상은 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에서 사용된 전체 요소영상과 동일하다. 대상물체의 공통부분이 투사되는 단일 요소영상의 수는 3장에서 설명된 것처럼 대상물체가 위치하는 깊이에 따라 결정된다. 실험에 사용된 평면 물체는 6 mm 깊이에 위치하고 있으며, 이는 전체 요소영상 단일 요소영상간의 시차를 이용하여 구하였다^[4]. 식 8에 의해 진행된 실험에서 초해상도 영상복원에 사용 가능한 영상의 수는 4개임을 알 수 있다.

그림 10은 실험에 사용된 전체 요소영상의 6~8 행, 6~8열 위치의 단일 요소영상들로 대상 물체의 공통부분이 인접한 단일 요소영상들에 투사된 모습을 보여주고 있다. (7, 7) 위치의 단일 요소영상을

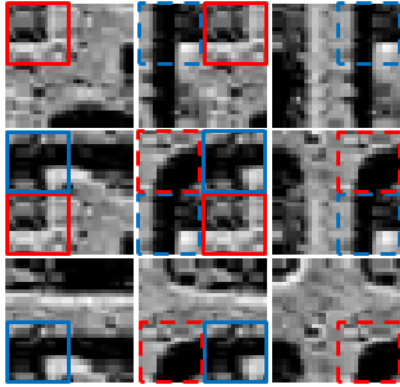


그림 10. 대상 단일 요소영상과 인접한 단일 요소영상들 사이의 공통영역

4개의 영역으로 나누어 각각 다른 시각형으로 표시하였다. 이러한 각각의 단일 요소영상 영역과 동일한 대상 물체의 공통 부분이 투사되어 있는 인접한 3개의 단일 요소영상 영역들을 같은 시각형으로 표시하였다. 작은 색의 시각형 안의 영상은 대상 물체의 공통부분이 투사되어 있는 것으로 서로 부화소차를 가지는 영상들이다. 이러한 단일 요소영상을 이용하여 가로, 세로 방향으로 2배씩 해상도를 향상 시키는 초해상도 영상복원을 진행하였다.

그림 11(a)는 4개의 영역으로 나누어진 전체 요소영상 (7, 7) 위치의 단일 요소영상에 초해상도 영상복원을 적용하기 위해 사용된 영상들이며 그림 11(b)는 이 영상들을 이용한 초해상도 영상복원을 통해 해상도를 향상 시킨 영상들이다. 제안된 방법을 이용하여 해상도를 향상시킨 영역 영상들을 다시 하나로 합치게 되면 원하는 위치의 초해상도 영상복원이 적용된 단일 요소영상을 구할 수 있다.

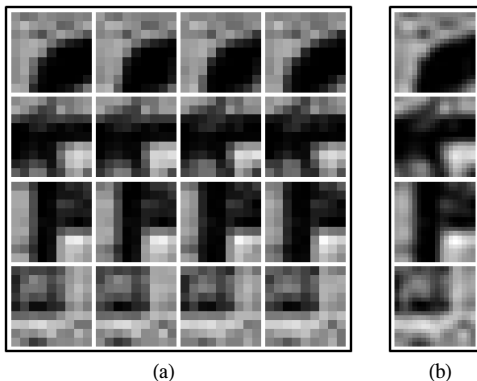


그림 11. 단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에 이용된 영상들과 결과
(a) 인접한 단일 요소영상들의 공통영역
(b) 공통영역 사이의 초해상도 영상복원 결과

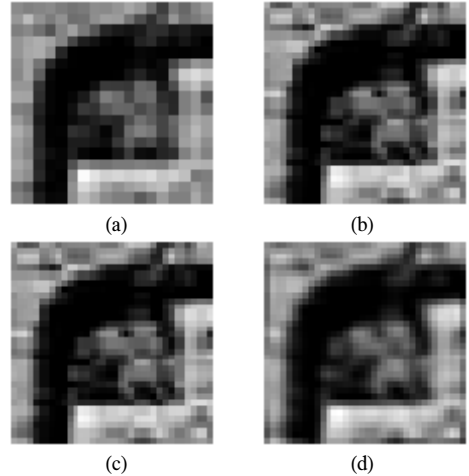


그림 12. 단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원
(a) 실험에 사용된 단일 요소영상
(b) 해상도 낮추기 전의 단일 요소영상
(c) 이중선형 보간법을 이용한 단일 요소영상
(d) 제안된 방법을 이용한 단일 요소영상

단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원 결과는 그림 12와 같다. 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원의 실험결과와 동일하게 해상도 낮추기 전의 원래 단일 요소영상, 실험에 사용된 해상도를 낮춘 단일 요소영상, 보간법을 이용하여 해상도를 향상시킨 단일 요소영상, 제안된 방법을 이용하여 해상도를 향상시킨 단일 요소영상을 비교하였다. 앞에서 제안한 두 가지 방법의 결과를 확인하기 위해 그림 9와 그림 12에 있는 이중선형 보간법을 이용하여 해상도를 향상시킨 단일 요소영상과 제안된 방법으로 해상도를 향상시킨 단일 요소영상을 평균 제곱근 오차(\sqrt{MSE} , Root Mean Square Error), 최대 신호 대 잡음비($PSNR$, Peak Signal to Noise Ratio)를 통하여 비교하여 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보듯이 이중선형 보간법을 이용한 경우와 비교하였을 때, 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에 의해서는 평균 제곱근 오차가 6.07 적고, 최대 신호 대 잡음비가 2.82 높음을 알 수 있으며, 전체 요소영상 사이의 초해상도 영상복원에 의

표 1. 제안된 방법의 결과 비교

	이중선형 보간 방법		제안된 방법	
	전체 요소영상	단일 요소영상	전체 요소영상	단일 요소영상
\sqrt{MSE}	21.92	21.70	15.85	19.70
$PSNR$	21.31 dB	21.40 dB	24.13 dB	22.24 dB

해서는 평균 제곱근 오차가 2적고, 최대 신호 대 잡음비가 0.84 높다. 이와 같은 결과를 통해 제안된 방법이 보간법을 이용하여 해상도를 향상시키는 방법보다 성능이 좋음을 알 수 있다.

다수의 전체 요소영상을 이용하는 방법은 초해상도 영상복원에 사용되는 저해상도 영상의 부화소 단위 이동변위가 하나의 전체 요소영상 안에서는 동일하게 분포한다. 이렇듯 균일하게 분포하는 부화소 단위의 이동변위를 초해상도 영상복원에 사용하기 때문에 단일 요소영상을 이용하여 초해상도 영상복원을 하는 경우보다 해상도를 향상시킨 후의 결과인 전체 요소영상 상에서 해상도 향상 정도가 고르게 나타나게 되는 장점을 가진다. 하지만 하나의 전체 요소영상만을 가지고는 초해상도 영상복원을 적용할 수 없다는 단점이 있다. 이와 반대로 단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원 방법은 다수의 전체 요소영상을 필요로 하는 전체 요소영상을 이용한 초해상도 영상복원 방법과 다르게 한 장의 전체 요소영상만으로도 초해상도 영상복원을 적용할 수 있다는 장점을 지닌다. 하지만 단일 요소영상 사이의 초해상도 영상복원 방법은 각기 다른 위치의 렌즈를 통과한 대상 물체 공통부분의 투사영상이 다른 위치의 CCD에 의해 얻어지면서 생기는 부화소 차이를 이용하기 때문에, 하나의 단일 요소영상 상에서도 공통영역 사이에서 불 균일한 부화소 단위의 이동변위를 가지게 된다. 이러한 불균일한 부화소 단위의 이동변위를 가지는 저해상도 영상들을 이용하여 초해상도 영상복원을 진행하기 때문에 전체 요소영상을 이용하여 초해상도 영상복원을 하는 방법보다 결과 영상 안에서 향상되는 해상도의 정도가 고르지 못하다는 단점을 가진다.

V. 결 론

본 논문에서는 집적영상 시스템에서 사용되는 2차원 디스플레이 패널의 해상도 제한에 의해 발생하는 집적영상의 낮은 해상도 문제를 해결하기 위해 초해상도 영상복원 방법을 적용하는 방법을 제안하였다. 초해상도 영상복원을 집적영상에 적용하기 위하여 전체 요소영상들 사이에서 초해상도 영상복원을 진행하는 방법과 전체 요소영상의 단일 요소영상들 사이에서 초해상도 영상복원을 진행하는 2가지 방법을 제안하였다. 이와 같은 2가지 방법에 대해 동일한 전체 요소영상을 이용하여 해상도를 향상시키는 실험을 진행하였으며, 제안된 방법을 적

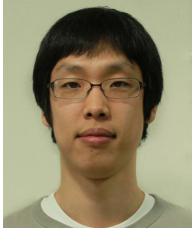
용하기 전과 후의 영상을 이중선형 보간법을 이용하여 해상도를 향상시킨 영상과 비교하였다. 본 연구는 낮은 해상도를 가지는 집적영상 시스템의 문제점을 시스템의 보완, 수정 없이 해결 가능한 방법을 제시한다.

참 고 문 헌

- [1] T. Okoshi, "Three-Dimensional Displays," *Proceedings of the IEEE*, 68, 548-564, 1980.
- [2] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus*, 146, 446-451, 1908.
- [3] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," *Appl. Opt.*, 36, 1598-1603, 1997.
- [4] R. Tsai and T. Huang, "Multiple frame image restoration and registration," *Advances in Computer Vision and Image Processing*, 1, 317-339, 1984.
- [5] H. Stark and P. Oskoui, "High-resolution image recovery from image-plane arrays, using convex projections," *J. Opt. Soc. Am. A*, 6, 1715-1726, 1989.
- [6] R.C. Hardie, K.J. Barnard, and E.E. Armstrong, "Joint MAP registration and high-resolution image estimation using a sequence of undersampled images," *IEEE Trans. Image Process.*, 6, 1621-1633, 1997.
- [7] H. Hoshino, F. Okano, H. Isono, and I. Yuyama, "Analysis of resolution limitation of integral photography," *J. Opt. Soc. Am. A*, 15, 2059-2065, 1998.
- [8] J.-H. Park, S.-W. Min, S. Jung, and B. Lee, "Analysis of viewing parameters for two display methods based on integral photography," *Appl. Opt.*, 40, 5217-5232, 2001.
- [9] Y. Kim, J. Kim, J.-M. Kang, J.-H. Jung, H. Choi, and B. Lee, "Point light source integral imaging with improved resolution and viewing angle by the use of electrically movable pinhole array," *Opt. Express*, 15, 18253-18267, 2007.
- [10] H. Liao, T. Dohi, and M. Iwahara, "Improved viewing resolution of integral videography by use of rotated prism sheets," *Opt. Express*, 15, 4814-4822, 2007.

- [11] H. Liao, M. Iwahara, N. Hata and T. Dohi
"High-quality integral videography using a multiprojector," *Opt. Express*, 12, 1067, 2004.
- [12] D.-H. Shin and H. Yoo, "Image quality enhancement in 3D computational integral imaging by use of interpolation methods," *Opt. Express*, 15, 12039-12049, 2007.
- [13] J.-H. Park, S. Jung, H. Choi, Y. Kim, and B. Lee, "Depth extraction by use of a rectangular lens array and one-dimensional elemental image modification," *Appl. Opt.*, 43, 4882-4895, 2004.
- [14] S. Baker and T. Kanade, "Limits on super-resolution and how to break them," *IEEE Pattern Anal. Machine Intell.*, 24, 9, 1167-1183, 2002.

홍 기 훈 (Keehoon Hong) 준회원



2008년 2월 연세대학교 전기전자공학부 졸업
2008년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 석사과정
<관심분야> 3차원 디스플레이, 광정보처리

박 재 형 (Jae-Hyeung Park) 정회원



2000년 2월 서울대학교 전기공학부 졸업
2002년 2월 서울대학교 전기공학부 석사
2005년 8월 서울대학교 전기공학부 박사
2005년 9월~2007년 8월 삼성전자 책임연구원
2007년 10월~2009년 9월 충북대학교 전임강사
2009년 10월~현재 충북대학교 조교수
<관심분야> 3차원 디스플레이, 광정보처리

이 병 호 (ByoungHo Lee) 정회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학 학과 졸업
1989년 2월 서울대학교 전자공학 학과 석사
1993년 2월 Univ. of California at Berkeley EE. Ph. D.
1994년 7월 Univ. of California at Berkeley Dept. EECS Post-doc
1994년 9월~1996년 8월 서울대학교 전임강사
1996년 9월~현재 서울대학교 교수
<관심분야> Plasmonics, 나노광학, 3차원디스플레이