

히스토그램 조작에 의한 디지털 홀로그램 영상의 화질개선

*홍기성, **최현준, *서영호, *김동욱

*광운대학교, **안양대학교

*kisung@kw.ac.kr

Image Enhancement based on Modified Histogram of Digital Hologram

*Hong Ki Sung, **Choi Hyun Jun, *Seo Young Ho and *Kim Dong Wook

*Kwangwoon University, **Anyang University

요약

본 논문에서는 다시점 카메라를 기반으로 홀로그램 영상을 재생하는 기술을 제안한다. 본 논문에서는 다시점 카메라를 이용해 획득한 발레영상을 사용하여 깊이정보에서 관심객체만을 추출하였다. 추출한 관심객체의 홀로그램 복원화질을 향상시키기 위해 본 논문에서 제안한 함수를 적용하였다. 필터링된 관심객체의 깊이정보와 CGH(Computer-Generated Hologram) 기법을 이용하여 디지털 홀로그램을 생성하였다. 이 디지털 홀로그램을 PC 시뮬레이션을 통해 홀로그램 영상으로 복원한 후 제안한 기법의 적용결과를 주관적인 화질평가를 통해 검증하였다.

1. 서론

가장 이상적인 3차원 영상 디스플레이 기술인 홀로그래피는 1948년 Gabor에 의해 최초로 제안된 이래 많은 연구자들의 관심을 끌어들였다. 최근 3차원 영상 디스플레이에 대한 일반인들의 관심이 높아지면서 완전한 입체시를 제공할 수 있는 홀로그램에 대한 관심 역시 증가하고 있다. 특히 디지털 홀로그래피 기술은 차세대 입체방송의 핵심기술로 주목 받고 있다. 디지털 홀로그램은 스테레오스코픽 디스플레이 방식에서 이용하고 있는 양안시차나 폭주를 이용하는 방식과는 전혀 다른 디스플레이 방식이다. 마치 거기에 공간적으로 상이 실존하고 있는 것처럼 필요한 광학적 정보가 모두 재생된다[1].

디지털 홀로그램은 광학장비 대신 전자장비들을 이용하여 실사 혹은 가상의 객체로부터 디지털 데이터 형태의 홀로그램을 획득한 후 이를 SLM(Spatial Light Modulator)와 같은 고성능 디스플레이 장치를 이용해 홀로그램 복원영상을 재생하는 기술이다. 이때 디지털 홀로그램은 실사 객체에 레이저광을 조사(illumination)하여 획득하는 방식과 PC를 이용해 수학적으로 모델링된 수식을 계산하여 생성하는 CGH(Computer Generation Hologram) 기법이 있다. CGH는 컴퓨터를 이용하여 컴퓨터그래픽이나 가상정보물체로부터 파면을 계산하고 그 간섭패턴을 이용하여 출력하는 홀로그램을 말한다. 본 논문에서는 CGH 기법을 이용하여 디지털 홀로그램을 생성하였다.

3차원 객체를 이용해 깊이정보를 추출한 후 CGH 기법으로 디지털 홀로그램을 생성한 후 홀로그램 영상으로 복원하는 기술은 발표되고 있다. 기존의 홀로그램 디스플레이는 CGH를 생성하기 위하여 컴퓨터그래픽에 의해 만들어진 3차원 모델을 주로 이용하였다. 이와 같이 3차원 모델을 이용하는 대표적인 이유는 3차원 모델로부터 CGH를 생성하기 위한 정보를 쉽게 얻을 수 있다는 이점이 있기 때문이다. 최근

에 실사에 대한 디지털 3차원 정보를 얻을 수 있는 다양한 방법들이 개발되고 있다[2][3].

본 논문에서 제안한 다시점 카메라 기반의 영상을 사용하여 홀로그램 영상의 생성과 복원기술 역시 이전의 연구들과 처리 순서는 일치한다. 하지만 본 논문에서는 홀로그램 복원영상의 화질개선을 위한 깊이정보 변형 함수를 개발하여 주관적인 복원화질을 향상시켰다.

2. 디지털 홀로그램

디지털 홀로그램은 광학장비 대신 전자장비들을 이용하는 방식으로, 홀로그래피의 간섭무늬를 CCD(Charge Coupled Device) 카메라에 기록하고 비디오 신호로 전송하여 수신단에 SLM에 표시된 간섭무늬에 레이저광을 조사함으로써 영상을 재생하는 기법이다. 그림 1에서 디지털 홀로그램의 시스템 구성을 보이고 있다. 디지털 홀로그램은 기존의 광학 홀로그램에 의한 기법과 동일하게 레이저광을 집광 렌즈(condensing lens)로 평행광(collimated wave)을 만들고, 빔 분리기 (beam splitter)로 참조파(reference wave)와 객체파(object wave)로 나눈다. 객체파는 객체에 조사된 다음 참 조파와 직접 CCD에 조사되어 간섭무늬를 형성한다. 간섭무늬 정보를 SLM에 인가하고 여기에 평행광을 조사하면 1차 회절광(1st diffraction beam)이 발생 하여 실사영상을(real image) 재생할 수 있다[4].

홀로그램은 그림 1과 같은 광학 시스템을 이용하여도 취득할 수 있지만 이러한 광학 시스템 자체를 수학적으로 모델링한 연산에 의해서 취득할 수도 있다. 이러한 수학적 연산을 통해 얻어진 홀로그램을 CGH라고 한다. 여러 종류의 CGH가 있지만 본 논문에서는 "Phase" 방식의 계산 방법을 사용한다. 그림 1(a)에서는 객체에서 CCD로 입사되는 파에서 위상 성분만을 이용하여 홀로그램을 생성하는 것이고, 그

림(b)은 생성된 디지털 홀로그램을 사용하여 SLM에 표시된 간섭무늬에 레이저광을 조사하여 영상을 재생하는 것이다.

디지털 홀로그램은 파면의 간격이 시간과 공간에 걸쳐 일정하게 유지되는 가 간섭성 광이 어떤 형태를 가진 물체에 부딪쳐 반사될 때 그 반사된 광의 파면은 물체에의 형상에 따라 변화하게 된다. 그러므로 물체의 형상에 관한 좌표의 정보가 있으면, 형상에 따라 변화하는 파면의 위상변화는 기하광학적인 광선추적에 의해 계산되어진다. 기하광학적인 광선추적은 계산하고자 하는 물체의 표면을 3차원 좌표 내에 나열된 점들로 표시하고, 각 점에서부터 홀로그램 판상의 각 점까지의 거리를 계산한다. 호이겐스 원리에 따라 물체 표면의 한 점에서 고유 위상을 가진 광파가 나온다고 가정할 수 있으므로 홀로그램 상의 한 점에 입사하는 물체로부터의 광파는 물체의 전 표면에서 오게 되므로 먼저 계산한 물체의 각 점에서 이 점까지의 거리를 각 광파의 위상으로 변환 하여 각 점으로 부터의 광파를 합치면 홀로그램의 한 점에서 물체광파 계산된다. 기준파의 경우는 평면 기준파가 홀로그램에 수직방향에 있어서는 수직으로 입사하고, 수평방향은 어떤 각을 가지고 입사한다고 가정하면 기준파는 수평방향으로만 위치별로 위상차를 가지게 된다. 홀로그램의 한 점에서 계산된 물체광파와 이 기준파를 합쳐서 빔의 강도를 구하고 시간 평균을 취하게 되면 이점에서의 상대적인 빔 강도가 구해지므로 판의 다른 점에서의 빔 강도를 구해지므로 판의 다른 점에서의 빔 강도를 구하여 같은 빔 강도를 가지는 점들을 연결하게 되면 간섭무늬가 얻어진다. 이렇게 얻어진 간섭무늬가 컴퓨터 홀로그램이다[5].

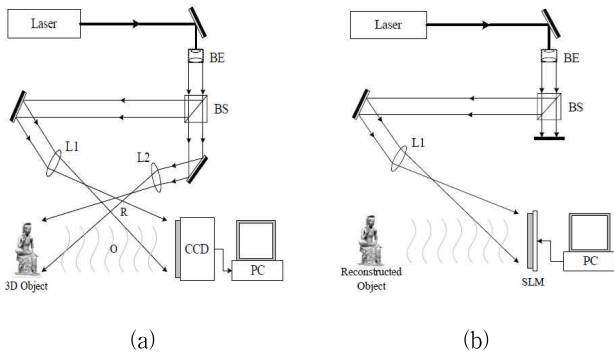


그림 1. (a) 디지털 홀로그램의 생성, (b) 디지털 홀로그램의 재생

3. 홀로그램 이미지의 조정 및 재생

가. 개요

그림 2는 다시점 카메라를 기반으로 깊이정보를 생성하고, Sobel 연산자를 사용하여 영상의 관심객체를 분할 후 히스토그램 조정 하여 디지털 홀로그램을 생성하고 이를 홀로그램 복원영상으로 재생하는 절차를 도식적으로 설명하고 있다. 본 논문에서는 깊이정보 추출 이후의 과정부터 다루고 있다. 추출된 깊이정보를 대상으로 관심객체만을 분리한 후 제안한 함수를 적용하여 히스토그램이 조정된 관심객체의 깊이정보를 얻는다. 이 데이터로 CGH 기법을 수행하여 디지털 홀로그램을 생성한 후 이를 홀로그램 영상으로 복원하였다. 실험에 사용한 깊이정보는 0~255값을 갖는다. 영상의 해상도는 1024×768크기의 해상도를 200×200으로 재조정하여 사용하였다.

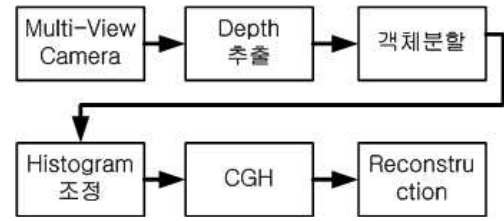


그림 2. 홀로그램 이미지의 재생과정순서

나. 관심객체의 분할

본 논문에서는 깊이정보에서 관심객체만을 분할하기 위해 테두리를 검출해 내는 기법인 에지 검출 기법을 사용하였다. 에지 검출이란 영상에서 배경과 물체, 물체와 물체의 경계는 각 객체간의 경계를 나타내는 중요한 특징으로 픽셀값의 불연속점을 의미한다. 검출된 에지는 물체의 위치, 모양, 크기, 표면의 무늬 등과 같은 다양한 정보를 포함하고 있으므로 영상에서 객체를 분리하는데 유용하게 사용될 수 있다. 본 논문에서는 에지 검출을 위해 Sobel, Robert, Laplacian 알고리즘을 적용해본 결과 Sobel 연산자를 이용한 경우 깊이정보의 윤곽선 정보가 비교적 균일한 결과를 보여 Sobel 연산자를 사용하여 관심객체를 분할하였다[6].

Sobel 연산자를 사용한 기법은 미분연산을 기반으로 하는 대표적인 에지 검출 연산기법으로서 수평방향 마스크 M_x , 수직방향의 마스크 M_y 라고 할 때 에지연산자 마스크는 그림 3(a), (b)로 표현한다. 그림 3(a), (b)의 각 마스크 내부의 계수의 합이 0이 되는 것을 확인할 수 있다. 만약 마스크 내부의 계수 합이 0이 되지 않으면 일정한 밝기를 가지고 있는 영상과 결합하여 0이 아닌 값이 출력된다. 이러한 0이 아닌 출력 값에 의해서 에지 검출의 오류가 발생할 수 있다. 그림 3(c)는 영상에서의 임의의 점 (x, y) 을 중심으로 형성된 3×3 마스크이다. 형성된 3×3 마스크에 대하여 아래의 식 (2), (3)를 통해서 얻어진 값으로부터의 에지의 크기와 에지의 방향 연산결과를 사용하여 관심객체의 분할을 하였다. 그림 4(a)는 다시점 카메라를 기반으로 깊이정보를 추출한 영상이다. 그림 4(b)는 Sobel 연산자를 사용하여 윤곽선 추출 결과이다. 그림 4(c)는 Sobel 연산자정보를 이용하여 다시점 영상의 깊이 정보에서 관심객체만을 분할한 결과이다. Sobel 연산자의 수식은 아래의 수식과 같다.

$$\begin{aligned} G_x(x, y) &= (f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)) \\ &\quad - (f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)) \\ G_y(x, y) &= (f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)) \\ &\quad - (f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)) \end{aligned} \quad (1)$$

$$E_m(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (2)$$

$$D(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \quad (3)$$

여기서 $G_x(x, y)$ 는 수평방향의 마스크의 연산결과, $G_y(x, y)$ 는 수직방향의 마스크의 연산결과, $E_m(x, y)$ 은 (x, y) 픽셀의 에지의 크기, $D(x, y)$ 은 (x, y) 픽셀의 에지의 방향이다.

-1	-2	-1	-1	0	1	(x-1,y-1)	(x-1,y)	(x-1,y+1)
0	0	0	-2	0	2	(x,y-1)	(x,y)	(x,y+1)
1	2	1	-1	0	1	(x+1,y-1)	(x+1,y)	(x+1,y+1)

(a) (b) (c)

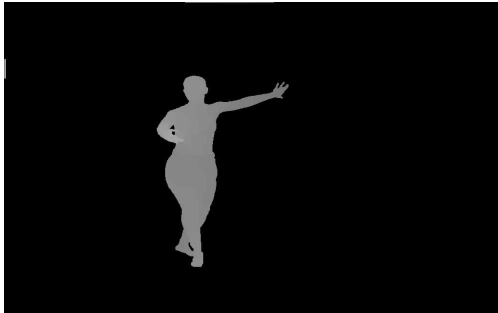
그림 3. (a) 수평방향 마스크 M_x , (b) 수직방향의 마스크 M_y , (c) (x,y) 점을 중심으로 형성된 3x3 마스크



(a)



(b)



(c)

그림 4. (a)다시점 카메라로 부터 깊이정보를 추출한 영상, (b) Sobel 연산의 결과, (c) Sobel 연산자정보를 이용하여 다시점 영상의 깊이정보에서 관심객체만의 분할한 결과

다. 히스토그램 조정

본 연구팀의 다양한 실험결과 시각적으로 우수한 관찰특성을 보이는 깊이정보의 화소 분포는 깊이 값의 차가 100을 넘지 않고 0~100 정도의 범위에서 균일하게 분포하는 경우임을 확인하였다. 이런 특성을 이용해 대상 깊이정보가 한정된 범위 내에 겹쳐있을 경우 이를 확장과 이동으로 홀로그래밍영상의 복원화질을 개선하는 함수를 제안한다. 이 함수는 식 (4)과 같다.

$$n[i] = \left(\sum [i] \times \frac{1}{N} \times I_{\max} \right) \pm I_{\text{distance}} \quad (4)$$

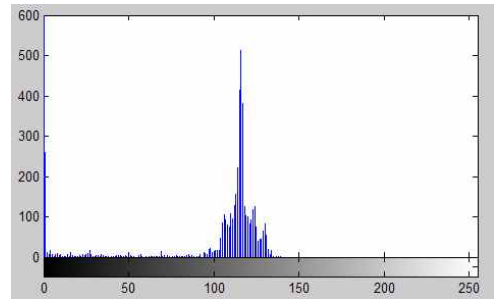
여기서 N 은 화소의 총 수, i 는 각 명암의 값, I 는 명도 값, n 은 정규화 된 값을 나타낸다.

그림 5(a)는 다시점 카메라로부터 획득한 관심객체의 깊이정보이고, 그림 5(b)는 다시점 카메라로부터 획득한 관심객체의 깊이정보에 식 (4)의 수식에 적용결과를 보이고 있다. 그림 5(c)는 그림 5(a)의 히스토그램, 그림 5(d)는 그림 5(b)의 히스토그램이다.

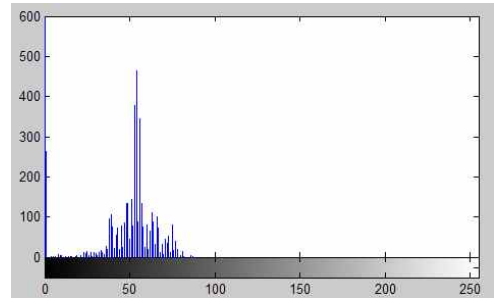


(a)

(b)



(c)



(d)

그림 5. (a) 원본 깊이정보, (b) 제안한 기법의 깊이정보, (c) 원본 깊이정보의 히스토그램, (d) 제안한 기법의 히스토그램

라. 디지털 홀로그래밍의 생성 및 복원

본 논문에서는 여러 가지 홀로그래밍 제작 방법 중에서 앞 절에서 식 (4)을 적용한 깊이정보를 식 (5)의 CGH 수식을 이용하여 디지털 홀로그래밍으로 변환된다. CGH기법은 광학 신호들을 근사화한 후 PC상에서 수학적인 연산으로 디지털 홀로그래밍을 얻을 수 있는 기법이다. CGH기법을 이용할 경우 실제 공간상의 객체 혹은 가상의 객체로부터 손쉽게 디지털 홀로그래밍을 얻을 수 있다. 식 (5)은 홀로그래밍의 생성원리를 수학적으로 모델링한 것으로 PC상에서 C언어를 이용해 구현하였다. 일반적인 CGH생성 수식은 식 (5)로 정의된다[7].

$$I_a = \sum_j^N A_j \cos \left(k \sqrt{(px_a - px_j)^2 + (px_a - px_j)^2 + z_j^2} \right) \quad (5)$$

여기서 α 와 j 는 홀로마크와 depth-map, k 는 참조파의 파수로 $2\pi/\lambda$ 로 정의되고, A_j 는 원본객체의 밝기 값, N 은 깊이정보 영상의 전체 화소 수, p 는 디스플레이 장치의 화소 크기, x_a 와 y_a 는 디지털 홀로그램의 좌표, x_j, y_j, z_j 는 깊이정보 영상의 좌표를 나타낸다.

그림 6에서는 홀로그램생성 영상과 복원영상을 나타내고 있다. 그림 6(a)은 식 (5)을 이용한 다시점 카메라를 기반의 깊이정보영상을 CGH기법을 사용하여 연산한 디지털 홀로그램생성 영상이고, 그림 6(b)은 다시점 카메라를 기반의 깊이정보영상을 제안한 함수를 적용한 디지털 홀로그램생성 영상이다. 그림 6(c)은 원본 관심객체의 깊이정보를 디지털 홀로그램으로 변환한 후 복원한 영상이고, 그림 6(d)은 제안한 함수를 적용한 복원한 결과이다. 그림 6(c), (d)의 확대영상에서 확인할 수 있듯이 제안한 함수를 적용한 홀로그램 복원영상이 더 뚜렷하게 복원되었다.

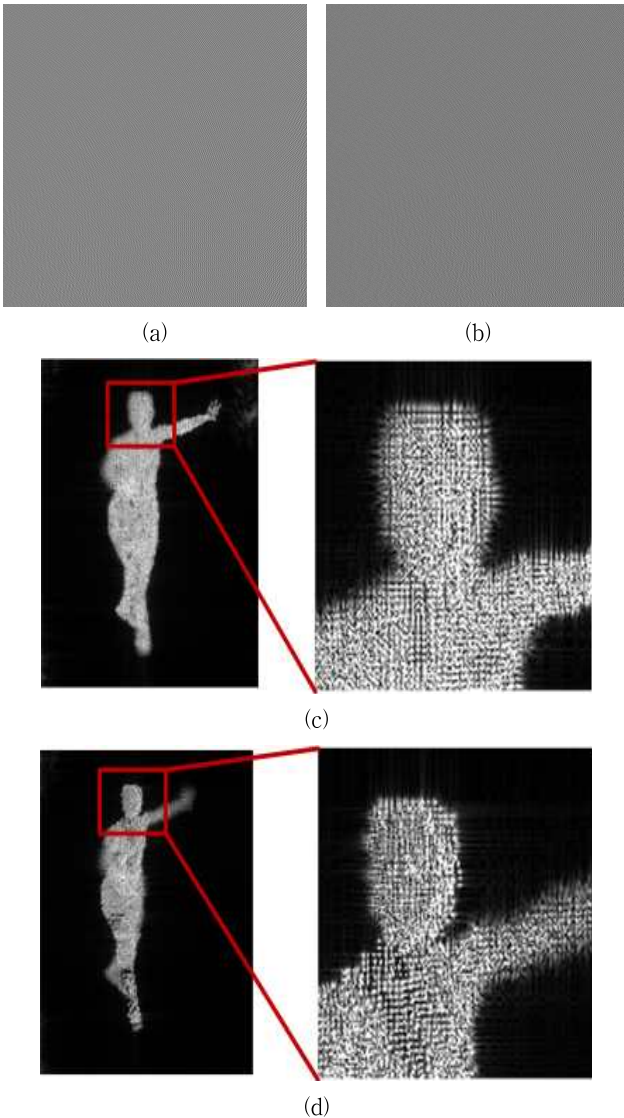


그림 6. (a) 다시점 카메라를 기반의 CGH영상, (b)제안한 기법의 CGH영상, (c) 다시점 카메라를 기반의 홀로그램 복원영상, (d) 제안한 기법의 복원영상

4. 결론

본 논문에서는 다시점 카메라를 기반으로 홀로그램 영상을 재생하는 기술을 제안하였다. 홀로그램 재생영상의 복원화질을 향상시키기

위해 관심객체의 깊이정보를 제안한 함수를 이용해 변형하였다. 변형된 깊이정보를 대상으로 CGH 기법을 이용해 디지털 홀로그램을 생성하여 홀로그램 영상으로 복원하였다. 제안한 함수를 이용해 깊이정보를 변형한 결과 홀로그램 재생영상의 복원화질이 향상된 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(NT080528) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] O. Schreer, P. Kauff and T. Sikora, "3D Video communication : Algorithms, concepts and realtime systems in human centred communication", John Wiley & Sons, September 23, 2005.
- [2] P. St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, J.Kollin, J. Underkoffler, and H. Yoshikawa "Realtime holographic display : Improvement using a multichannel acousto-optic modulator and holographic optical elements", SPIE Proc. vol. 1461, Practical Holography V, 1991.
- [3] P. Narayanan, P. Rander, and T. Kanade, "Constructing virtual worlds using dense stereo", Proc. International Conference on Computer Vision (ICCV), 1998.
- [4] 손정영, 홀로그래피의 원리와 응용, 봉명,2004.
- [5] 서영호, 최현준, 김동욱, "실시간 디지털 홀로그래피를 위한 고성능 CGH프로세서", 한국해양정보통신학회논문지, 제11권, 8호, pp.1424-1433, 2007.
- [6] J. Canny, "A computational approach to edge detection,"IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 6, pp. 679-698, 1986.
- [7] T. Shimobaba and T. Ito, "An efficient computational method suitable for hardware of computer-generated hologram with phase computation by addition," Computer Physics Communications, vol.138,no.1,pp.44-52,July2001.