

수직 리그를 이용한 임의시점 디지털 홀로그래픽 생성 시스템 구현

*구자명 *이윤희 *서영호 *김동욱

*광운대학교

*dwkin@kw.ac.kr

System Implementation for Generating Virtual View Digital Holographic using Vertical Rig

*Koo, Ja-Myung *Lee, Yoon-Hyuk *Seo, Young-Ho *Kim, Dong-Wook

*Kwangwoon Univ.

요약

본 논문에서는 3차원 입체 비디오처리 기술의 최종목표인 디지털 홀로그램을 생성하는데 필요한 객체의 좌표와 색상정보가 들어있는 같은 시점과 해상도인 RGB 영상과 깊이 영상을 획득하여 가상 시점의 디지털 홀로그램을 생성하는 시스템을 제안한다. 먼저, 가시광선과 적외선의 파장을 이용하여 파장에 따라 투과율이 달라지는 콜드 미러를 사용하여 각각의 시점이 같은 다시점 RGB와 깊이 영상을 얻는다. 카메라 시스템이 갖는 다양한 렌즈 왜곡을 없애기 위한 보정 과정을 거친 후에 해상도가 서로 틀린 RGB 영상과 깊이 영상의 해상도를 같게 조절한다. 그 다음, DIBR(Depth Image Based Rendering) 알고리즘을 이용하여 원하는 가상 시점의 깊이 정보와 RGB 영상을 생성한다. 그리고 깊이 정보를 이용하여 디지털 홀로그램으로 구현할 객체만을 추출한다. 마지막으로 컴퓨터 생성 홀로그램 (computer-generated hologram, CGH) 알고리즘을 이용하여 추출한 가상 시점의 객체를 디지털 홀로그램으로 변환한다.

1. 서론

3차원 입체 비디오 서비스는 2차원 비디오 서비스와는 다르게 영상에 나타나는 물체들의 입체감, 거리감 등을 제공하는 서비스로, 앞으로 차세대 정보통신 서비스의 중심이 될 것이라고 주목을 받고 있다. 현재, 시청자들이 3D 안경으로 영상을 즐길 때, 안경을 착용하는 불편함뿐만 아니라, 현기증, 피로감과 같은 문제점이 나타나고 있다[1]. 이를 해결하기 위해서 다시점(multi-view) 또는 극초다시점(ultra multi-view), 궁극적으로는 오토스테레오스코피(auto-stereoscopy) 기술이 개발되고 있다. 하지만 아직까지는 현재의 기술 수준으로는 무안경 방식이 더욱 큰 불편감을 주고 있으며, 과도한 전송 데이터 양 때문에 아직까지는 이른 것으로 판단이 되고 있다.

이렇게 3D 콘텐츠를 시청하는데 문제점들이 나타나면서 이를 동시에 해결할 수 있는 방법으로, 공간상에 3D영상을 맺혀 영상을 일반 사물처럼 보듯이 볼 수 있는 홀로그램에 대한 관심이 높아지고 있다. 홀로그램 비디오는 빛의 세기뿐만 아니라 위상정보까지 포함하여 원래의 3차원 입체상을 공간상에 정확히 재현할 수 있는 가장 이상적인 입체 시각 시스템이며, 결국에는 3차원 입체 비디오처리 기술의 최종 목표는 완전한 입체를 구현할 수 있는 홀로그램 서비스인 것이다. 홀로그래픽은 1948년 Gabor에 의해 최초로 제안된 이래 3차원 정보를 기록할 수 있다는 특징 때문에 많은 관심을 끌었다. 그리고 1966년 이후 많은 연구자들이 컴퓨터에 의한 홀로그램(computer-generated hologram, CGH)의 제작을 연구해 오고 있다[2]. 이런 디지털 홀로그램을 CGH로 생성하기 위해서는 대상 객체의 (x, y, z)좌표와 그 점(화

소)에서의 각 색상정보 (또는 luminance 정보)의 세기가 필요하다. 현실적으로는 위치정보와 빛의 세기 정보를 구분하여 획득할 수 없으며, 일반적으로 RGB영상에서 (x,y)좌표와 빛의 세기를 얻고, 깊이정보로부터 z좌표를 얻어 CGH를 구현하고 있다.

본 논문에서는 CGH를 구현하기 위해서는 정확히 시점이 일치하면서 해상도가 같은 RGB영상과 깊이 영상이 필요한데 그것을 얻기 위해서 빛의 파장에 따라 투과율이 달라지는 콜드 미러(cold mirror)를 이용하여 다시점의 Depth+RGB 영상을 얻고, 그것을 CGH로 구현하여 원하는 가상 시점 홀로그램 영상을 디스플레이할 수 있는 시스템을 제안하고자 한다.

2. 카메라 시스템

최근 깊이정보를 직접 획득할 수 있는 깊이카메라가 대중에게 널리 보급되었다. 깊이카메라는 크게 두 가지 정도로 분류되는데, 하나는 TOF(time-of-flight)방식이고, 또 하나는 구조광(structured light)을 이용한 스테레오 정합방식이다. 다음 그림 1에서 이 두 방식을 사용하는 대표적인 카메라들을 보이고 있다.

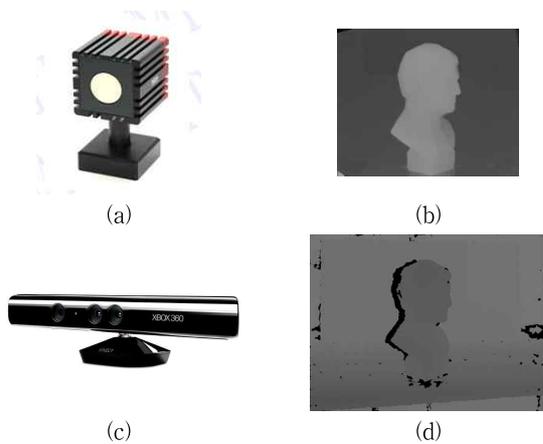


그림 1. 대표적인 깊이카메라: (a) SR4000, (b) SR4000 깊이영상, (c) Kinect, (d) Kinect 깊이영상

보는 것과 같이 스테레오 정합방식을 사용하는 kinect[3]는 상대적으로 높은 해상도를 갖고 있지만 화질이 나쁘다는 큰 단점을 갖고 있다. 반면, TOF방식을 사용하는 SR4000[4]는 정확성이 높고 양질의 깊이정보를 제공하지만 해상도가 낮은 단점이 있다. 이 논문에서는 CGH구현을 위해서 양질의 깊이정보를 필요하기 때문에 SR4000을 사용하였다.

앞서 말한 것처럼 CGH를 생성하기 위해서는 대상 객체의 (x, y, z)좌표와 그 점에서의 광강도 정보가 필요하다. 이를 위해서 RGB영상에서 (x,y)좌표와 빛의 세기를 얻고, 깊이정보로부터 z좌표를 얻어야 한다. 그러나 현존하는 기술로는 깊이영상과 RGB영상을 따로 얻는 경우가 대부분이다. 따라서 본 논문에서는 이를 해결하기 위해서 사용하는 카메라의 특성을 이용하여 시점이 일치하면서 해상도가 같은 영상을 획득할 수 있는 카메라 시스템에 대해 기술한다.

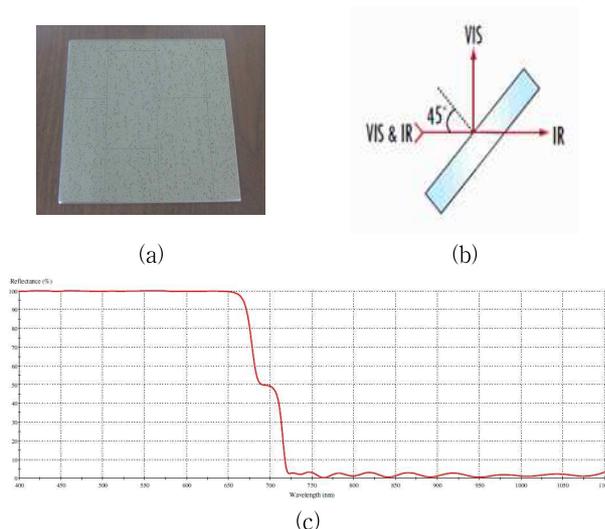


그림 2. 콜드 미러의 특성: (a) 콜드 미러, (b) 콜드 미러의 입사각, (c) 콜드 미러의 분광특성

양질의 깊이정보를 얻기 위해서 선택한 SR4000은 깊이정보를 얻

기 위해서 적외선 수신부 주변에 있는 적외선 발생기로 물체에 조사하여 물체에서 반사되어 돌아오고, RGB카메라는 일반적으로 가시광선으로 피사체를 찍기 때문에 두 카메라의 적외선과 가시광선의 좌장을 이용한다면 같은 시점의 광강도와 깊이 정보를 얻는 것이 가능하다. 그래서 우리는 빛에 좌장에 따라 투과율이 달라지는 콜드 미러를 제작하였다. 다음 그림 2(a)는 제작한 콜드 미러이다.

그림 2(b)에서 볼 수 있듯이 콜드 미러를 45도로 고정시킨 후, 카메라로 촬영하면 좌장에 따라 빛이 투과 또는 반사가 된다. 그래서 우리는 같은 시점에 Depth+RGB를 만들기 위해서 콜드 미러에 그림 2(c)처럼 분광특성을 부여하여 가시광선은 90도로 반사가 되지만 적외선은 투과하게 콜드 미러를 제작하였다.

다음 그림 3은 같은 시점에 대한 depth 영상과 RGB 영상을 다시 점으로 촬영 가능하도록 우리가 제작한 depth+RGB 다시점 수직 리그의 사진이다.



그림 3. 다시점 카메라 수직 리그

홀로그래프는 간섭현상을 일으키는 장치나 도구를 휴대하기 용이치 않으며, 사용하는데 매우 복잡하고 정교하기 때문에 CGH로 생성한 다음 디지털 홀로그래프로 사용한다[5]. 홀로그래프는 두 개의 광파(물체파와 기준파)를 간섭시켜서 만드는 프린지 패턴(fringe pattern)인데, CGH는 기준에 발표된 두 광파의 간섭(interference)현상을 수학적으로 모델링한 것으로, 식 (1)에 그 식을 나타내었으며, 홀로그래프나 물체평면의 크기($p_j x_j, p_j y_j$)에 비해 홀로그래프와 물체와의 거리($p_j z_j$)가 충분히 크면 식 (1)을 식 (2)으로 간략화 할 수 있다.

$$I_{\alpha j} = \sum_j A_j \cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(p_{\alpha} x_{\alpha} - p_j x_j)^2 + (p_{\alpha} y_{\alpha} - p_j y_j)^2 + (p_j z_j)^2} \right] \quad (1)$$

$$I_{\alpha j} \approx \sum_j A_j \cos \left[2\pi \left\{ \frac{p_j z_j}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda p_j z_j} [(p_{\alpha} x_{\alpha} - p_j x_j)^2 + (p_{\alpha} y_{\alpha} - p_j y_j)^2] \right\} \right] \quad (2)$$

여기서, $I_{\alpha j}$ 는 물체평면의 좌표 (x_j, y_j, z_j)의 광원(빛의 세기 A_j)이 홀로그래프 평면의 좌표 (x_{α}, y_{α})에 미치는 간섭영향을 나타내고, p_{α} 와 p_j 는 홀로그래프평면의 화소크기와 물체평면의 화소크기를 각

각 나타낸다. 간섭현상을 일으키는 두 광파는 동일한 것으로 간주하고 (분과하여 사용함), 그 파장은 λ 이다.

그림 4는 다시점 depth+RGB image를 얻기 위해서 우리가 제안한 시스템 구조이다.

CGH생성에 필요한 데이터를 얻기 위해서 먼저, 카메라로 통해 얻은 영상에 카메라 렌즈에 의해 생긴 왜곡이 존재하기 때문에 이를 해결하기 위해서 획득한 다시점 Depth+RGB 영상을 각각 왜곡 보정한다. 그 다음, 획득한 영상들의 해상도가 서로 틀리기 때문에 RGB 영상의 해상도를 깊이 영상에 맞게 조정한다. 만약 광각이 일치하지 않아 촬영한 피사체에 크기가 서로 틀린다면 RGB의 해상도를 깊이 영상의 광각에 맞게 조절한다. 그 다음 RGB 영상의 중심을 기준으로 깊이 영상의 해상도만큼 RGB 영상을 자른다. 하지만, 깊이 영상과 RGB 영상의 해상도가 일치해도 시점이 안 맞는 경우가 발생하기 때문에 RGB 영상에 중심 기준으로 자르는 위치를 x,y 방향으로 조절하여 깊이 영상과 동일한 시점이면서 깊이 영상의 해상도와 일치하는 RGB 영상을 얻을 수 있다.

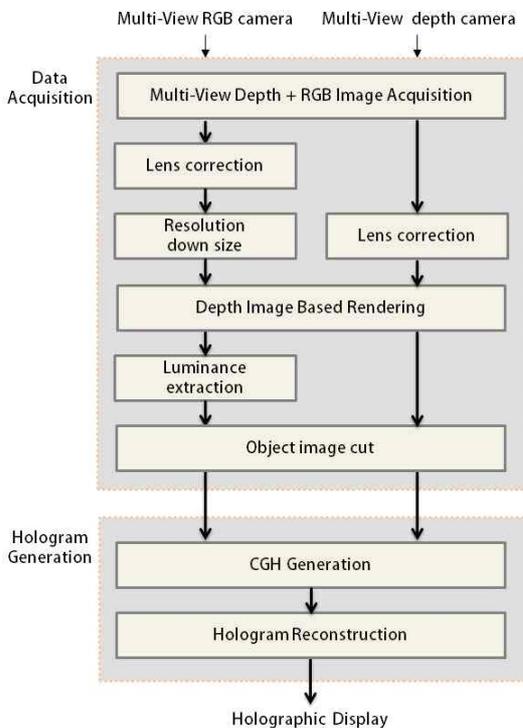


그림 4. 제안한 시스템의 구조

DIBR 알고리즘에 필요한 다시점의 RGB+Depth 영상을 획득한 후, 원하는 임의의 시점을 갖는 RGB영상과 깊이 영상을 생성한다. 그 다음 CGH 생성에 필요한 데이터인 광각도를 RGB 영상에서 추출한 후, 마지막으로 홀로그램으로 생성할 객체에 대한 데이터만을 얻기 위해서 깊이 영상의 Depth정보를 이용해서 객체가 아닌 부분들을 제외시킨다. 데이터 획득과정이 끝난 후, 얻은 데이터와 CGH 알고리즘을 이용하여 CGH를 생성한 후, 마지막으로 디지털 홀로그램을 영상으로 복원한다.

그림 5.은 가상 시점을 생성하는 방법의 전체 흐름도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 전처리(pre-processing) 과정, 초기 생

성(initial generation) 과정, 후처리(post-processing) 과정의 세 과정으로 이루어진다.

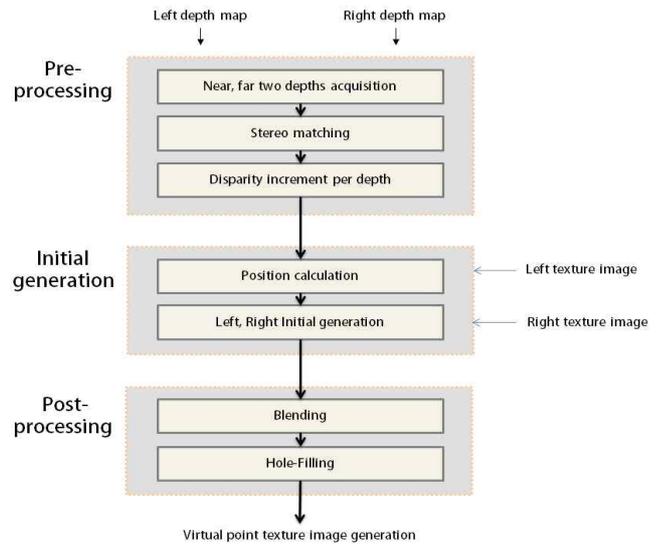


그림 5. 가상시점 생성 전체 알고리즘

전처리 과정은 깊이 값 1당 변화하는 변위증분값을 계산하는 것이다. $z_{T,near}$, $z_{T,far}$, 즉 두 개의 depth를 결정한 후, 두 개의 depth를 위주로 stereo matching을 수행하여 왼쪽 영상에서의 한 점과 오른쪽 영상에서의 한 점의 거리, 즉, 변위를 얻게 된다. 그렇게 얻은 변위값들 중에서도 선별을 하여 신뢰할 수 있는 두 개의 변위 값 d_{near} , d_{far} 을 얻게 된다. 이렇게 얻은 4개의 정보를 가지고 깊이 값 1당 변화하는 변위증분값을 계산하게 되는데 그 식은 다음 식 (3)에 서술하였다.

$$d_{incr} = \frac{d_{near} - d_{far}}{z_{T,near} - z_{T,far}} \quad (3)$$

그 다음, 초기 가상 시점 생성 과정에서는 모든 픽셀에 대하여 얻은 변위증분값을 가지고 원하는 가상 시점으로 이동하게 된다. 식 (4)(5)와 식 (6)(7)은 각각 왼쪽영상과 오른쪽 영상에서의 가상 시점 이동식을 나타낸다.

$$d_{i,left} = d_{near,L} + (z_{T,left} - z_{T,near}) \times d_{incr} \frac{h_{left}}{h} \quad (4)$$

$$x_{i,IVPD} = x_{i,left} - d_{i,left} \quad (5)$$

$$d_{i,right} = d_{near,L} + (z_{T,right} - z_{T,near}) \times d_{incr} \frac{h_{right}}{h} \quad (6)$$

$$x_{i,IVPD} = x_{i,right} + d_{i,right} \quad (7)$$

시점이동을 하면서 원본영상에서 보이지 않던 영역이 가상 시점으로 이동하면서 새로 생기게 되는데, 이러한 영역을 비폐색영역(disocclusion)이라고 한다. 이러한 영역들은 원본영상에서는 없는 데이터이기 때문에 이 영역을 채우는 것이 문제이다. 이런 부분을 해결하

기 위해서 원본 영상이 최소 2개 이상 필요한 것이다. 비폐색영역에 해당하는 정보를 다른 시점에서 찾아서 채우는 방법이 가능하기 때문이다. 그 이유는 오른쪽시점에서 왼쪽으로 이동한 영상은 비폐색영역이 객체의 왼쪽에 생기는데, 이 영역의 데이터를 왼쪽에서 오른쪽으로 이동한 영상에서 존재하는 데이터이므로, 비폐색영역은 다른 원본 영상에서의 데이터를 이용하여 채울 수가 있다[6].

하지만 blending후에도 hole들이 남게 되는데 이것은 원본 2개의 영상에 존재하지 않는 데이터가 있기 때문이다. 이러한 hole들은 depth 정보를 이용하여 없앨 수가 있다. 먼저 hole부분을 추출한 후, left, right 방향으로 깊이 존재하는 부분까지 search를 하여 찾은 두 개의 픽셀 값 중에서 depth가 가장 큰 값, 즉 가장 먼 영역에 속하는 부분의 texture pixel로 채우는 것이다. 이러한 방법을 이용하여 나머지 hole들을 없앨 수가 있다. 이렇게 최종적으로 임의의 시점을 생성 할 수 있다.

3. 실험 및 결과

그림 6는 수직리그를 사용한 카메라 시스템으로 획득한 다시점 영상들을 보이고 있다. (a), (b), (d)는 RGB 카메라를 통해 얻은 깊이 영상과 해상도와 시점이 일치한 다시점 RGB 영상이고, (e), (f), (h)는 깊이 카메라를 통해 얻은 다시점 깊이 영상이다. (c)는 생성한 RGB 영상이고 (g)는 생성한 깊이 영상이다.

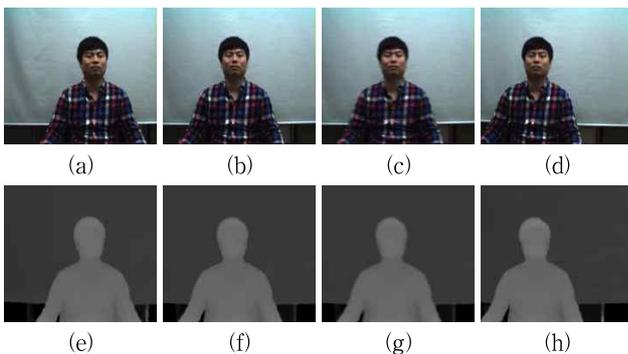


그림 6. 수직리그를 사용한 카메라 시스템으로 획득한 영상들: (a) 왼쪽 RGB 영상, (b) 가운데 RGB 영상, (c) 생성한 RGB 영상, (d) 오른쪽 RGB 영상, (e) 왼쪽 깊이 영상, (f) 가운데 깊이 영상, (g) 생성한 깊이 영상, (h) 오른쪽 깊이 영상

표 1는 객관적인 평가를 위한 PSNR과 제안한 방법이 얼마나 빠르게 가상 시점 영상을 생성하는 지를 1 frame 생성 시간을 나타내고 있다. 우리가 제안한 방법은 첫 frame에서만 깊이 당 변위증분을 구하여 그것을 다음 frame에 적용하기 때문에 생성 속도가 많이 떨어졌음을 알 수 있다.

표 1. Measurement

제안한 방법		VSRS 3.5 α	
PSNR (dB)	Execution time (ms)	PSNR (dB)	Execution time (ms)
29.63	10.15	30.53	103.025

4. 결론

본 논문에서는 홀로그램 화소들을 독립적으로 연산할 수 있는 CGH 알고리즘을 이용하여 CGH 생성에 필요한 같은 시점이면서 같은 해상도인 RGB + depth 영상을 다시점으로 얻고 원하는 가상시점 디지털 홀로그램을 생성할 수 있는 시스템을 구축하였다. 기존에는 CGH 생성에 필요한 luminance 성분을 얻기 위해서 RGB image와 depth image를 따로 얻는 경우가 대부분이었다. 이를 해결하기 위해서 가시광선과 적외선의 파장에 따라 투과율이 다른 cold mirror를 사용하여 같은 시점에 대한 고해상도 RGB 영상과 depth 영상을 획득하였다. 그 다음 진저리를 통해서 CGH 알고리즘에 필요한 정보를 얻은 후 마지막으로, 얻은 정보들과 CGH 알고리즘을 이용하여 CGH를 생성한 후, 가상 시점의 디지털 홀로그램 영상을 복원하였다. 현재 고화질의 홀로그램 생성이 가능하지만, 아직 성능이 실시간에 미치지 못하고 있다. 고속 알고리즘을 개발하여 시스템 속도를 실시간 동작 속도로 높이는 것이 필요하며, 이것이 본 연구팀의 향후 연구 분야이기도 하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 하드웨어 IP 개발]

참고문헌

- [1] T. Motoki, H. Isono, and I. Yuyama, "Present Status of Three-Dimensional Television Research," Proc. IEEE 83(7): 1009-1021(July 1995).
- [2] J. K. Chung and M. H. Tsai, Three-Dimensional Holographic Imaging, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [3] J. L. Wilson, Microsoft kinect for Xbox 360, PC Mag. Com, Nov. 10, 2010.
- [4] SR4000Data Sheet, <http://www.mesa-imaging.ch/prodview4k.php>, MESA Imaging, Oct. 2010.
- [5] Y.-H. Seo, H.-J. Choi, J.-S. Yoo, and D.-W. Kim, "A New Parallelizing Algorithm and Cell-based Hardware Architecture for High-speed Generation of Digital Hologram", Journal of Systems Architecture, Vol. 16. pp. 54-63, Jan. 2011.
- [6] Cheon Lee et al., "Boundary Noise Removal in Synthesized Intermediate Viewpoint Images for 3D Video." pp. 109-112, Nov. 2008