특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제18권 제2호, 2013년 3월 (JBE Vol. 18, No. 2, March 2013)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2013.18.2.149>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

실사 컬러 영상을 이용한 홀로그램 비디오 생성 시스템 구현

서 영 호^{a)}, 이 윤 혁^{a)}, 구 자 명^{a)}, 김 우 열^{a)}, 김 보 라^{a)}, 김 동 욱^{a)†}

A New System Implementation for Generating Holographic Video using Natural Color Scene

Youngho Seo^{a)}, Yoon-Hyuk Lee^{a)}, Ja-Myung Koo^{a)}, Woo-Youl Kim^{a)}, Bo-Ra Kim^{a)}, and
Dong-Wook Kim^{a)†}

요 약

본 논문에서는 실사 컬러 영상을 이용하여 디지털 컬러 홀로그램 비디오를 생성하는 시스템을 제안한다. 전체 시스템은 크게 영상의 획득을 위한 카메라 시스템과 각종 영상처리를 위한 소프트웨어로 구성된다. 카메라 시스템은 수직리그에 RGB 카메라와 깊이 카메라로 장착한 형태이고, 두 이중 영상 데이터의 시점을 일치시키기 위해서 파장에 따라 투과율이 다른 콜드 미러(cold mirror)를 이용하였다. 소프트웨어는 획득된 영상을 가공하고 서비스하기 위한 엔진들과 GPGPU(general-purpose computing on graphics processing unit)를 이용한 컴퓨터 생성 홀로그램(computer-generated hologram, CGH)으로 구성된다. 각 알고리즘들은 C/C++ 및 CUDA로 구현되었고, 각 엔진들은 LabView 환경에서 통합되었다. 제안한 시스템은 약 6K개의 광원에 대해서 초당 약 10프레임의 컬러 홀로그램을 생성할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a new system which can generate digital holograms for natural color scene. The system consists of both a camera system for capturing images and softwares(SWs) for various image processings. The camera system uses a vertical rig with a depth and a RGB camera and a cold mirror which has the different transmittance according to wavelength for obtaining images with the same view point. The S/W is composed by the engines for processing and servicing the captured images and computer-generated hologram (CGH) for generating digital holograms using general-purpose computing on graphics processing unit (GPGPU). Each algorithm was implemented using C/C++ and CUDA languages, and all engines were integrated in LabView environment. The proposed system can generate 10 digital holographic frames per second using about 6K light sources.

Keyword : digital hologram, video service, depth camera, RGB camera, cold mirror, vertical rig, computer-generated hologram

a) 광운대학교(Kwangwoon University)

† Corresponding Author : 김동욱 (Dong-Wook Kim)

E-mail: dwkim@kw.ac.kr

Tel: +82-2-940-5167

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0026245).

· Manuscript received December 31, 2012 Revised February 7, 2013 Accepted February 7, 2013

I. 서론

홀로그램은 빛의 세기뿐만 아니라 위상정보까지 기록할 수 있기 때문에 원래의 3차원 입체상을 공간에 자연스럽게 재현할 수 있는 가장 이상적인 영상 시스템 중의 하나이다^[1]. 최근 들어 3차원 입체 디스플레이 기술이 보편화되면서 디지털 홀로그램 비디오를 이용한 홀로그래픽 방송 및 TV에 대한 관심이 높아지고 있다. 지금까지 기초적인 수준이지만 홀로그래픽 TV에 대한 연구도 진행되어 왔었다^{[2][3]}. 홀로그래픽 TV에 대한 연구는 크게 디지털 홀로그램의 획득과 디스플레이로 구분된다. 여기에서는 디지털 홀로그램의 획득에 대한 논의에 집중한다. 디지털 홀로그램을 획득하는 것은 광학적으로 촬영하는 방법과 컴퓨터 생성 홀로그램을 이용하여 생성하는 방법 등이 있다.

하드웨어 시스템적인 측면에서 디지털 홀로그램 비디오를 생성하는 기법에 대한 여러 연구가 있어 왔다^[4-6]. 이러한 연구들은 디지털 홀로그램을 얼마나 빨리 생성하여 비디오 서비스를 제공할 수 있는냐에 달려 있다. 이와 같이 디지털 홀로그램을 고속으로 생성하여 실시간의 홀로그래픽 비디오를 제공하기 위한 다양한 연구가 진행되었다^{[7][8]}. 하드웨어를 이용하여 디지털 홀로그램을 고속으로 생성하는 연구들은 FPGA 기반의 방식^[9-11]과 GPU 기반의 방식^{[12][13]}으로 나누어진다. FPGA를 이용하면 GPU 방식에 비해서 높은 성능을 가질 수 있지만 구현과정이 매우 복잡하고 개발기간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 또한 한번 구현하면 구조를 변경하거나 성능을 개선하기 어렵다. GPU를 이용한 방식은 FPGA 기반의 방식에 비해서 구현이 비교적 쉽고 개발기간이 짧다는 장점이 있다. 최근에는 GPU를 이용하여 디지털 홀로그램을 생성하는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

디지털 홀로그램을 생성하는 방법과 이로부터 얻어진 홀로그램을 재생하는 방법은 너무나 다양하기 때문에 디지털 홀로그램 비디오를 위한 표준적인 시스템을 제안하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 RGB와 깊이 카메라를 이용하여 객체의 3차원 광원 정보를 획득하고 이를 이용하여 디지털 홀로그램을 생성하는 시스템을 제안하고자 한다. RGB와 깊이 카메라를 광축과 시점을 일치시켜서 수직으로

배치하고, 콜드 미러를 이용하여 가시광선 파장 영역의 RGB 정보와 적외선 파장 영역의 깊이 정보를 독립적으로 획득함으로써 동일한 시점의 RGB 영상과 깊이 영상을 얻는다. 획득된 영상들은 보정 및 전처리 영상처리 과정을 통해서 디지털 홀로그램을 생성하는데 적합한 형태로 가공된다. 획득된 광원 정보는 다수 개의 GPU를 이용하여 디지털 홀로그램으로 생성된다. 또한 시청자의 능동 및 수동적인 조건에 따라 중간 시점의 홀로그램을 생성할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 하고자하는 홀로그래픽 비디오 서비스에 대해 설명하고, 3장에서는 본 논문이 제안하는 광원 정보 획득이 가능한 카메라 시스템에 대해 자세히 설명하고, 4장에서는 제안하는 카메라 시스템에 사용된 홀로그램 생성에 대해 설명한다. 5장에서는 시스템을 구현하고, 실험을 수행하여 실험 결과 및 성능을 나타내고, 이를 토대로 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 홀로그래픽 비디오 서비스

본 장에서는 디지털 홀로그램을 이용하여 비디오 서비스 시나리오를 논의하고 이를 위한 시스템의 구조에 대해서 제안한다.

1. 서비스 시나리오

광학적으로 홀로그램을 획득하는 것이 가장 이상적인 방법이겠지만 시스템 구성과 촬영의 어려움 등으로 인해서 컴퓨터 생성 홀로그램 방식을 많이 사용하고 있다. 이러한 방식으로 홀로그램을 획득하기 위해서는 대상의 입체(깊이) 정보가 필요하다. 깊이 정보는 다양한 방식으로 획득이 가능한데 여기에서는 최근에 널리 사용되는 깊이 카메라를 이용한다. 또한 대상에 대한 밝기와 색차 정보를 얻기 위해서 RGB 카메라를 함께 사용한다. 이렇게 얻어진 광원에 대한 공간적인 정보는 컴퓨터 생성 홀로그램 과정을 통해서 홀로그램으로 변환된다. 홀로그램을 생성하는 것은 서

비스를 제공하는 송신측(TX)에서 수행할 수도 있고, 수신측(RX)에서 수행할 수도 있다. 이에 대해서는 많은 부가 설명과 논의가 필요한데 본 논문에서는 다루지 않겠다. 수신측에서 CGH를 수행할 경우에는 홀로그램이 아닌 광원 정보가 전송된다. 디지털 홀로그램은 홀로그래픽 디스플레이 장치를 통해서 재생이 가능하다. 이와 같은 과정을 그림 1에 나타냈다.

그림 1. 디지털 홀로그램을 이용한 비디오 서비스
Fig. 1. Video service using digital hologram

그림 1에서 보인 것과 같은 CGH 기반의 디지털 홀로그래픽 기술을 이용한 비디오 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 형태의 시스템이 존재할 수 있다^[14]. 이러한 시스템

중에서 그림 2는 RGB 카메라와 깊이 카메라를 이용하여 실사 홀로그램을 생성하고 재생하는 방식이다.

그림 2. 실사 영상을 이용한 홀로그램 서비스 시스템
Fig. 2. The holographic service system for natural picture

이 시스템은 CGH 과정을 송신부(Encoder)와 수신부(Decoder) 중에서 어디에서 수행하느냐에 따라서 구성을 달리 할 수 있다. CGH를 송신부에서 수행하는 경우에는 홀로그램 자체를 압축하고, 수신부에서 수행하는 경우에는 광원정보를 압축한다. 그림 2의 시스템은 제약된 촬영 환경 하에서는 우수한 홀로그램을 얻을 수 있으나 아직까지 깊이 카메라의 촬영 거리 및 적외선의 간섭/산란 등의 문제로 인해 높은 해상도와 화질을 갖는 깊이 정보를 얻는 것이 어렵다.

그림 3. 디지털 홀로그램 생성 시스템
Fig. 3. The generation system of digital hologram

2. 전체 시스템의 구조

제안한 디지털 홀로그램 생성과 복원 시스템의 구조를 그림 3과 그림 4에 각각 나타냈다. 그림에서 살펴보면 송신부에서 CGH 과정을 수행하도록 하였다. 그림 3의 생성 시스템은 수직 리그 방식의 카메라 시스템(Vertical Rig Camera System), 보정(Calibration and Rectification), 시점 합성(View Synthesis), 그리고 컴퓨터 생성 홀로그램 과정(Computer-Generated Hologram)으로 구성된다. 그림 4의 복원 시스템은 SLM(spatial light modulator)를 이용하여 디지털 홀로그램을 재생하거나 홀로그래픽 디스플레이가 없을 경우에 2D, 3D 스테레오, 혹은 다시점 영상으로 재생하는 역할을 수행한다.

그림 4. 디지털 홀로그램 복원 시스템
Fig. 4 The reconstruction system of digital hologram

III. 광원 정보 획득

1. 카메라 시스템

고품질의 홀로그램을 만들기 위해서는 대상에 대한 실제 거리 정보를 잘 표현하는 고화질의 깊이 정보와 빛의 세기 정보가 필요하다. 특히 깊이 정보의 질이 나쁠 경우에는 좋은 홀로그램이 생성되지 않는다. 따라서 고화질의 깊이 정보와 빛의 세기 정보를 획득하기 위한 카메라 장치가 필요하다. 이에 대한 해결 방법으로 깊이 카메라와 RGB 카메라를 수직리그에 장착한 카메라 시스템을 구현하였다. 깊이 카메라에 입력되는 파장은 적외선이고 RGB에 입력되는 파장은 가시광선이기 때문에 이 두 파장 대역을 분리하기 위해서 특수한 콜드 미러를 제작하였다. 그림 5에 카메라 시스템의 구조 및 동작을 나타내었다. 2쌍의 깊이 및 RGB 카메라를 사용하였고, 45도로 배치된 콜드 미러를 중심으로 위쪽과 아래쪽에 평행식으로 배치하였다. 이러한 구조로부터 깊이 영상과 RGB 영상은 동일한 광축과 시점을 갖는다.

거리 정보를 획득하는데 이용되는 깊이 카메라의 IR 파장은 약 850nm [Hz]대역이기 때문에 그림 6과 같은 특성의 반사율을 갖는 콜드 미러를 제작하였다. 콜드 미러의 필터링 동작은 완벽할 수 없고, 광파들은 완벽히 분리할 수 없다. 따라서 IR 혹은 RGB 중에서 어느 한쪽은 약간의 손실이 발생한다. 실험을 통해서 확인한 결과, IR 대역에 손실이 발생하면 거리를 측정하는데 오차가 발생하여 거리 정보에 왜곡이 발생하였다. 이러한 깊이 정보를 이용하면 고화질

그림 5. 카메라 시스템의 구조 및 동작 (a) 앞 (b) 옆, (c) 촬영한 사진

Fig. 5. The structure and operation of the camera system (a) the front, (b) the left, (c) the captured picture

의 CGH 결과를 얻을 수 없다. 그러나 가시광선 대역의 손실에 의해 발생하는 색감의 감소는 홀로그램을 생성하는데 큰 문제를 일으키지 않고, 여러 영상처리 방법을 통해서 충분히 상쇄시킬 수 있다.

그림 6. 콜드 미러의 반사율 특성
Fig. 6. The reflectance of the cold mirror

2. 보정

일반적으로 3D 영상 시스템에서 수직리그를 사용할 경우에 두 카메라 사이에 보정 과정이 필요하다. 이와 같은 보정 뿐만 아니라 그림 5의 카메라 시스템에서는 카메라의 종류가 다르기 때문에 발생하는 문제들에 대한 보정들도 필요하다. 이러한 문제들에는 아래와 같은 것들이 포함된다.

- 깊이 영상과 RGB 영상 사이의 렌즈 왜곡
- 깊이 영상과 RGB 영상의 해상도
- 깊이 영상과 RGB 영상의 크기
- 두 카메라 쌍 사이의 깊이 및 RGB 영상의 차이
- 두 카메라 쌍 사이의 기하학적 불일치

깊이와 RGB 카메라는 동일한 렌즈를 사용할 수 없기 때문에 두 카메라에서는 다른 렌즈 왜곡이 발생한다. 이를 해결하기 위해 가장 먼저 깊이 영상을 기준으로 하여 RGB 영상의 렌즈 왜곡을 수정한다. 두 카메라 쌍은 물리적으로 위치가 다르기 때문에 입력되는 광이 다를 수 있다. 또한 다른 변조 주파수를 사용하는 두 깊이 카메라 사이에 미세한 깊이 측정에 대한 오차가 발생할 수 있다. 따라서 깊이 영상과 RGB 영상에 대한 보상 과정을 개별적으로 수행한

다. 깊이와 RGB 카메라 내부의 CCD 센서의 크기 및 화소 크기가 다르기 때문에 깊이와 RGB 영상을 동일하게 잘라내기 위해서는 해상도의 조절이 필요하다. 이때 카메라를 설치할 때 발생하는 미세한 위치 및 각도의 왜곡을 동시에 보정한다. 보정된 두 쌍의 영상들 사이의 기하학적인 불일치를 조절한 후에 홀로그램으로 생성할 객체를 추출한다. 그림 7에 이러한 과정을 요약하였고, 보정된 결과 영상을 그림 8에 나타냈다. 그림 8에서 왼쪽은 확대한 깊이 영상이고, 오른쪽은 RGB 영상을 나타낸다.

그림 7. 입력 영상의 보정 및 전처리 과정
Fig. 7. The rectification and pre-processing steps for the input images

그림 8. 영상의 보정 (위쪽 : 왼쪽 시점, 아래쪽 : 오른쪽 시점) (a) 확대한 깊이 영상 (b) RGB 영상
Fig. 8. The rectification of the images (top : left viewpoint, bottom : right viewpoint) (a) the magnified depth images, (b) the RGB images

3. 중간시점 생성

레이저와 같은 광원을 사용하는 홀로그램 시야각이 좁다. 이러한 단점을 극복하기 위한 하나의 방법으로 다시점의 광원 정보를 생성하여 다시점의 홀로그램을 생성하는 방법을 사용한다. 시청자의 위치 혹은 요구에 따라서 시점을 결정한 후에 해당 시점에서의 광원 정보를 생성하고 이를 이용하여 홀로그램을 생성한다. 그림 9에는 왼쪽 및 오른쪽 정보를 이용해서 임의의 시점에 대한 깊이와 RGB 정보를 생성한 결과를 나타내고 있다.

그림 9. 중간시점 생성 결과 (a) 왼쪽 시점, (b) 오른쪽 시점, 및 (c) 생성된 시점의 영상

Fig. 9. IVR results (a) the left, (b) the right, and (c) the rendered view

IV. 홀로그램 생성

홀로그램은 물체파와 기준파를 간섭시켜서 만드는 광학적인 패턴인데, CGH는 위상은 다르면서 파장은 같은 두 광파의 간섭현상을 수학적으로 모델링한 것으로, 식 (1)에 나타내었다. 홀로그램이나 물체평면의 크기($p_j x_j, p_j y_j$)에 비해 홀로그램과 물체와의 거리($p_j z_j$)가 충분히 크면 식 (1)을 식 (2)로 간략화 할 수 있다. $I_{\alpha j}$ 는 물체평면의 좌표(x_j, y_j, z_j)의 광원(빛의 세기 A_j)이 홀로그램 평면의 좌표(x_α, y_α)에 미치는 간섭영향을 나타내고, p_α 와 p_j 는 홀로그램평면의 화소크기와 물체평면의 화소크기를 각각 나타낸다. 간섭현상을 일으키는 두 광파는 동일한 파장(λ)을 갖는다.

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

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

CGH를 이용하여 컬러 홀로그램을 생성한다면 식 (2)는 R, G, 및 B 성분에 대해서 세 번 수행해야 한다. R, G, 및 B 성분을 위한 홀로그램은 각각 다른 파장의 광원을 사용하기 때문에 동일한 연산으로 수행될 수 없다. 식 (2)에서 λ 에 다른 값이 사용되어 $I_{\alpha j, R}$, $I_{\alpha j, G}$, 및 $I_{\alpha j, B}$ 를 따로 구한다. 공간적인 위치는 동일하기 때문에 $(p_\alpha x_\alpha - p_j x_j)^2 + (p_\alpha y_\alpha - p_j y_j)^2$ 는 R, G, 및 B 성분이 모두 동일한 연산 결과를 사용한다.

$\frac{p_j z_j}{\lambda}$ 와 $\frac{1}{2\lambda p_j z_j}$ 의 연산 결과는 각 색차 성분 별로 각각 256개의 값을 가지기 때문에 매번 연산을 하는 것보다는 룩업테이블(look-up table, LUT)을 만들어서 사용하는 것이 좋다. 이와 같은 연산은 GPU 내부에서 수행되고, 그 동작을 그림 10에 도식적으로 나타냈다.

그림 10. GPU의 동작

Fig. 10. The operation of the GPU

식 (2)의 CGH는 속도를 위하여 4개의 GPU를 이용하여 구현하였다. 깊이와 RGB로 구성된 광원 정보 중에서 유효한 광원만 4개의 GPU에 나누어 입력한다. 입력된 광원을 이용하여 각 GPU는 중간 홀로그램을 연산한다. 그 결과는

CPU에서 합쳐진 후에 정규화 과정을 거쳐서 최종적인 홀로그램으로 생성된다. 다중 GPU를 이용하여 병렬적으로 CGH를 수행하는 과정을 그림 11에 나타냈다.

그림 11. 다중 GPU를 이용한 병렬처리 방식
Fig. 11. The parallel processing method using multiple GPUs

V. 실험 및 결과

구현한 카메라 시스템은 수직 리그에 두 쌍의 깊이 및 RGB 카메라를 장착한 후에 중간에 콜드 미러를 삽입하였다. 표 1과 표 2에 각 카메라에 대한 특성을 요약하였다.

표 1. 깊이 카메라의 특성
Table 1. The characteristics of the depth camera

Item	Specification
Resolution	176×144
Distance range	Max. 10m (using 5m)
Frame rate	Max.50 fps (using 30 fps)
Distance measurement	IR time of flight (ToF)
Interface	USB
Modulation frequency	30MHz
Wavelength	850nm

깊이 카메라의 출력 영상에 대한 해상도가 176×144이기 때문에 RGB 영상을 176×144의 크기로 조절한 후에 잘라내어서 사용한다.

표 2. RGB 카메라의 특성
Table 2. The characteristics of the RGB camera

Item	Specification
Resolution	Max.1,920×1,080
Color mode	RGB 24 bits
Frame rate	Max.31 fps
Interface	IEEE 1394b - 800 Mb/s

보정 및 중간 시점 생성의 단계에서 사용되는 알고리즘은 C/C++ 및 OpenCV로 구현하였고, CGH와 S/W 방식의 복원은 CUDA 언어로 구현하였다. 이러한 S/W 엔진들을 라이브러리화한 후에 LabView에서 함수로 인식하여 통합하였다. 홀로그램 영상을 복원하기 위해서는 광학장치를 이용하였고, 또한 테스트를 위해서 S/W 방식으로 복원하였다. 이를 위해 표 3과 같이 두 종류의 파라미터들을 이용하여 실험하였다. 첫 번째는 S/W 방식의 복원을 위한 것이고, 두 번째는 광학적인 복원을 위한 것이다.

표 3. 실험을 위한 파라미터
Table 3. The parameters for the experiment

Parameter		Specification
Optic	Distance	100cm
	Hologram Size	1,920×1,080
	Pixel Pitch (p)	8μm
	Wavelength (λ)	532nm (Green Laser)
S/W	Distance	100cm
	Hologram Size	1,024×1,024
	Pixel Pitch (p)	10.4μm
	Wavelength (λ)	633nm (Red Laser)

표 3의 특성을 갖는 공간 광 변조기(spatial light modulator, SLM)를 이용하여 생성한 홀로그램을 디스플레이한 결과 일부를 그림 12에 나타냈다. 사용된 광학 시스템은 참고문헌 [14]를 참고하기 바란다. 그림 12의 광학 촬영 결과에서는 포커싱과 디포커싱의 통해 홀로그램이 제공하는 자연스러운 입체감을 확인할 수 있다. 그림 12(b)와 (c)를 비교해 보면 손의 모양이 얼굴과 유사한 거리에서는 뚜렷한

데 얼굴 앞쪽의 거리, 즉 초점이 맞지 않는 거리에서는 흐릿해지는 것을 명확히 확인할 수 있다.

그림 12. 광학촬영 결과

Fig. 12. The captured images of the optical reconstruction

S/W적인 복원 방법은 홀로그램을 2차원 영상으로 취급하여 테스트하기 위한 것이다. 2차원으로 복원하는 것이라 미리 설정한 특정 거리에서만 복원이 가능하다. 이 경우에 복원될 거리를 지정해준 후 그 거리의 평면에 맺히는 2차원 영상을 얻는다. 이를 위해 식 (3)에 정의된 Fresnel 변환을 이용하였다^[15].

$$F(x, y) = \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} e^{\frac{i\pi}{\lambda z}(x^2 + y^2)} \iint f(\xi, \eta) e^{\frac{i\pi}{\lambda z}(\xi^2 + \eta^2)} e^{-\frac{i2\pi}{\lambda z}(\xi x + \eta y)} d\xi d\eta \quad (3)$$

여기서 $F(x, y)$ 와 $f(\xi, \eta)$ 는 각각 복원된 영상과 홀로그램 영상의 화소 값을 나타내며, $i = \sqrt{-1}$ 이다. z 는 복원 영상의 깊이 값을 나타내며, k 는 사용한 광파의 파수(wave number)를 나타낸다.

본 연구팀은 컬러 홀로그램을 디스플레이 할 수 있는 광학 장치가 없기 때문에 그림 12과 같이 하나의 레이저를 이용하여 광학적으로 복원하였다. 그러나 S/W적으로는 세 개의 레이저를 모두 사용할 수 있기 때문에 컬러 홀로그램의 복원이 가능하다. 그림 13에 동일한 객체 대한 S/W 복원 결과를 나타냈다.

디지털 홀로그램 비디오 서비스 시스템의 성능은 주로 CGH 과정의 수행 시간에 좌우된다. CGH 수행 시간은 광원의 개수에 따라서 변할 수 있다. 실사 영상으로부터 획득되는 광원의 개수가 시간에 따라서 계속적으로 변화하기 때문에 CGH 수행시간도 함께 변화한다. 구현한 시스템은

약 6K 개의 컬러 광원에 대해서 약 90에서 100ms의 수행시간이 소요된다. 즉, 초당 약 10 프레임의 HD급 컬러 디지털 홀로그램 서비스가 가능하다. CPU의 멀티 쓰레드를 사용하기 때문에 카메라 입력, 보정, 중간 시점 생성, 및 그 밖의 여러 신호처리 엔진들이 병렬적으로 수행한다고 해도 동작들 간의 순차적인 관계로 인해서 완벽한 병렬처리는 되기 어렵다. 따라서 약 95ms의 수행시간에는 이러한 동작들의 수행시간이 포함될 것으로 판단된다.

그림 13. S/W를 이용한 컬러 홀로그램 복원 결과

Fig. 13. The color hologram reconstruction result using S/W

VI. 결론

본 논문에서는 실사 영상을 이용하여 컬러 디지털 홀로그램을 생성하기 위한 시스템을 구현하였다. 구현한 시스템은 깊이 카메라와 RGB 카메라를 수직으로 배치하고, 영상 정보는 콜드 미러를 이용하여 분리하였다. 입력된 영상은 보정 및 중간시점 생성과정을 거친 후에 CGH 과정을 통해서 디지털 홀로그램으로 변환되었다. 전체 시스템은 약 6K의 광원에 대해서 약 90~100 프레임의 디지털 홀로그램을 생성할 수 있었다.

구현한 시스템은 차세대 디지털 홀로그램 방송 영상 시스템 등을 위한 것으로 추후에도 많은 개선과 연구를 수행하고자 한다. 이와 같은 시스템의 연구와 개발에 대한 국내 연구가 많지 않은 상황에서 차세대 영상 시대를 위해 여러 분야의 연구와 개발에 참고가 될 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] HILAIRE, PIERRE ST, "HOLOGRAPHIC VIDEO: The ultimate visual interface?", Optics and Photonics News, Vol. 8 Issue 8, pp.35- (1997)
- [2] Angel F Doval, A systematic approach to TV holography, Meas. Sci. Technol. 11, R1 - R36, (2000).
- [3] Lunazzi, José J; Magalhães, Daniel S F; Rivera, Noemi I R; Serra, Rolando L, "Holo-television system with a single plane," Optics Letters, Vol. 34 Issue 4, pp.533-535 (2009)
- [4] Quentmeyer, Tyeler; Plesniak, Wendy J; Bove Jr , V Michael, "Computing real-time holographic video content with off-the-shelf PC hardware," Frontiers in Optics (FiO) 2004
- [5] Y. Ichihashi, H. Nakayama, T. Ito, N. Masuda, T. Shimobaba, A. Shiraki, and T. Sugie, "HORN-6 special-purpose clustered computing system for electroholography", Optics Express, vol. 17, no. 16, pp. 13895-13903, Aug, 2009
- [6] Tsang, Wai Ming; Cheung, Wai Keung; Poon, Ting-Chung, "Real-time video holographic system based on range camera, sub-lines and integrated Fresnel lines," Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH) 2011
- [7] Tsang, Peter; Cheung, W -K; Poon, T -C; Zhou, C, "Holographic video at 40 frames per second for 4-million object points," Optics Express, Vol. 19 Issue 16, pp.15205-15211 (2011)
- [8] Liu, Yuanzhi; Pang, Xiaoning; Jiang, Shao-Ji; Dong, Jian-Wen; Wang, He-Zhou, "Real 3D Imaging/Video Based on Fraunhofer Computer-Generated Hologram," Frontiers in Optics (FiO) 2012
- [9] T. Ito, N. Masuda, K. Yoshimura, A. Shiraki, T. Shimobaba, and T. Sugie, "Special-Purpose computer HORN-5 for a real-time electroholography," Optics Express, Vol. 13, No. 6, March 2005.
- [10] Y.-H. Seo, H.-J. Choi, J.-S. Yoo, and D.-W. Kim, "An architecture of a high-speed digital hologram generator based on FPGA", Journal of Systems Architecture, Vol. 56. pp. 27-37, Dec. 2009.
- [11] 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.
- [12] Y. Pan, X. Xu, S. Solanki, X. Liang, R. Bin, A. Tanjung, C. Tan, and T.-C. Chong, "Fast CGH computation using S-LUT on GPU", Optics Express, vol. 17, No. 21, pp. 18543-18555, Oct. 2009.
- [13] T. Shimobaba, T. Ito, N. Masuda, Y. Ichihashi, and N. Takada, "Fast calculation of computer-generated-hologram on AMD HD5000 series GPU and OpenCL", Optics Express, vol. 18, no. 10, pp. 9955-9960, May. 2010.
- [14] Y.-H. Seo, Y.-H. Lee, J.-S. Yoo, and D.-W. Kim, "Scalable hologram video coding for adaptive transmitting service," Applied Optics, Vol. 52, No. 1, pp. A254-A268, Jan., 2013
- [15] U. Schnar and W. Jueptner, Digital Holohtaphy, Springer, Berlin, Germany, 2005.

저 자 소 개

서 영 호

- 1999년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 2001년 2월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학석사)
- 2004년 9월 : 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)
- 2003년 9월 ~ 2004년 6월 : 한국전기연구소 연구원
- 2005년 9월 ~ 2008년 2월 : 한성대학교 조교수
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 교양학부 부교수
- 주관심분야 : 실감미디어, 2D/3D 영상 신호처리, 디지털 홀로그래프

이 윤 혁

- 2012년 2월 : 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 일반대학원 석사과정
- 주관심분야 : 디지털 홀로그래프, SoC 설계

저 자 소 개

구 자 명

- 2012년 2월 : 안양대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 일반대학원 석사 과정
- 주관심분야 : 3D 영상처리, 디지털 홀로그램

김 우 열

- 2012년 2월 : 안양대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 일반대학원 석사과정
- 주관심분야 : 3D 영상처리, Tracking, Stereo Vision

김 보 라

- 2012년 2월 : 목포해양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 일반대학원 석사과정
- 주관심분야 : 2D/3D 영상처리, 디지털 홀로그램

김 동 욱

- 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1991년 9월 : Georgia 공과대학 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자재료공학과 교수
- 2000년 3월 ~ 2001년 12월 : 인티스닷컴(주)연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : (사)실감미디어 산업협회 이사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 실감미디어 연구소장
- 주관심분야 : 3D 영상처리, 디지털 홀로그램, 디지털 VLSI Testability, VLSI CAD, DSP 설계, Wireless Communication