

컴퓨터 홀로그램의 생성 및 복원

양윤모, 오병태
한국항공대학교

yym064@naver.com, byungoh@kau.ac.kr

Computer Generated Hologram : Recoding and Reconstruction

Yun-Mo Yang, Byung Tae Oh
Korea Aerospace University

요 약

최근 영화 <아바타>를 필두로 영화, 방송 등 영상매체에서 다양하게 3 차원 영상기술을 적용하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 여러 가지 3 차원 영상 기술 중에서 가장 현실감이 높은 기술인 홀로그래피 (Holography)기술에 대하여 다루고자 한다. 우선 간략하게 홀로그래피 기술에 대하여 소개하고 홀로그램(Hologram)의 기록 및 복원 원리와 컴퓨터를 이용하여 홀로그래피 이미지를 만드는 컴퓨터 홀로그램 (Computer-generated hologram)에 대하여 기술하였으며, 범용 컴퓨터와 GPU(Graphics processing units)통해 컴퓨터 홀로그램 패턴을 기록 및 복원하는 실험을 진행해 보고, 시간 복잡도를 측정, 비교해 본다.

1. 서론

2009 년 국내외에서 흥행 기록을 세운 최초 3D 영화 <아바타>를 필두로 많은 다양한 방면에서 3D 콘텐츠가 나오고 있는 추세이다. 최근에 나온 3D 콘텐츠에는 스테레오스코픽 (stereoscopic) 방식이 주로 사용되었는데, 이는 양쪽 눈의 시각 차이를 이용하여 양안 시차가 있는 한 쌍의 2D 영상을 시청자의 양쪽 눈에 각각 제시하여 3 차원적 입체감(깊이감)을 지각할 수 있게 해주는 입체 영상 구현 기술 방식이다. 하지만 이러한 방식은 스테레오스코픽 영상에 특화된 안경을 써야 한다는 점에서 사용방식의 번거로움과 더불어 시각피로, 두통, 멀미, 어지러움 등의 문제를 유발한다. 이에 차세대 실감 방송으로 이를 대체할 홀로그래피(Holography), 라이트 필드(Light Field), 다시점 영상(Multi view)방식 등이 떠오르고 있다.

홀로그래피란(Holography)란 홀로(Holos:전체)와 그래피(Graphein:기록하다)라는 그리스어를 합쳐 만들어진 용어이고 이러한 기록이 이루어지는 필름을 홀로그램(Hologram)이라고 한다. 기존의 사진이 빛의 에너지만을 필름에 저장하였다면, 홀로그래피방식은 빛의 간섭현상을 이용하여 물체로부터의 빛의 크기 및 위상 분포를 저장하는 방식이다. 따라서 홀로그래피 방식은 본래의 물체를 보는 것과 마찬가지로의 생생한 3차원 영상의 관측이 가능하다.

최근 들어 컴퓨터와 병렬연산(Parallel computing)기술의 발달로 기존의 광학테이블에서 이루어지던 홀로그래피의 기록과 복원 과정이 컴퓨터에서 가능해짐에 따라 디지털 홀로그래피의 연구가 많이 행해지고 있다. 본 논문에서는 이러한 컴퓨터 홀로그래피의 기록 및 복원의 기본원리에 대해 다루도록 한다.

2. 홀로그램 기록

홀로그램의 기록은 다음과 빛의 간섭현상을 이용하여 이루어진다. 그 과정은 그림 1 과 같다.

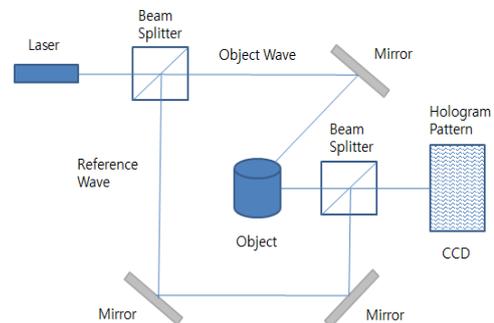


그림 1. 홀로그램 기록 과정

단색 광을 가진 레이저(Laser)를 분광기(Beam splitter)를 이용하여 2 개의 빛으로 나눈다. 이때 나뉜 빛 중 거울에 반사되어 CCD 필름 쪽 분광기에 그대로 들어가는 빛이 참조광(Reference wave)이고 물체에 반사되어 분광기 쪽으로 들어오는 빛이 주광(Object wave)이다. 주광과 참조광이 간섭현상을 일으키고 이것이 CCD 필름에 기록되는데, 이를 홀로그램 패턴(Hologram Pattern)이라고 한다. 패턴을 만드는 수식은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$H_i = \sum_j^N A_j \cos \left\{ \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(px_j - px_i)^2 + (py_j - py_i)^2 + z_j^2} \right\} \quad (1)$$

홀로그래프 패턴을 만들기 위해서는 많은 연산이 요구된다. 이를 빠르게 계산하기 위해 NVIDIA 사의 CUDA 라는 tool 를 사용하여 연산을 병렬화 시켜 연산 시간을 많이 단축할 수 있다.

3. 홀로그래피 복원

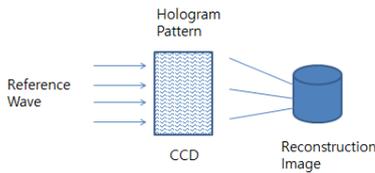


그림 3. 홀로그래피 복원 과정

홀로그래피의 복원 과정은 다음 그림 3과 같이 우선 홀로그래프 패턴에 참조광을 비추어 준다. 이때 빛이 렌즈를 통과하면서 굴절을 하듯 평면파(Plane wave)인 참조광이 CCD 필름에 새겨진 간섭무늬에 따라 굴절을 하면서 한 지점에 모아지게 되는데 이 지점에 복원된 이미지가 생기는 것이다. 위 과정은 아래 수식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \psi(x, y; z) &= R(x', y')H_i(x', y') * \text{SpatialFrequencyTransferFunction}(x, y; z) \\ &= \exp(-jk_0 z) \frac{jk_0}{2\pi z} \iint_{-\infty}^{\infty} R(x', y')H_i(x', y') \exp \left\{ \frac{jk_0}{2z} [(x-x')^2 + (y-y')^2] \right\} dx' dy' \end{aligned} \quad (2)$$

4. 실험

우선 홀로그래프 패턴을 빠르게 만들기 위해 CUDA 를 이용하였다. 보다 자세한 실험환경은 아래 표 1 및 2 와 같다.

표 1. 컴퓨터 환경

항목	세부사항
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-4770
GPU	NVIDIA GeForce 750ti
OS	MS windows 7
RAM	8.0GB

표 2. 홀로그래피 파라미터

파장	630nm
픽셀 크기	10.4 μm
복원 거리	1m

주어진 조건을 통해 아래 그림 2 와 같은 홀로그래프 패턴을 생성하였다.

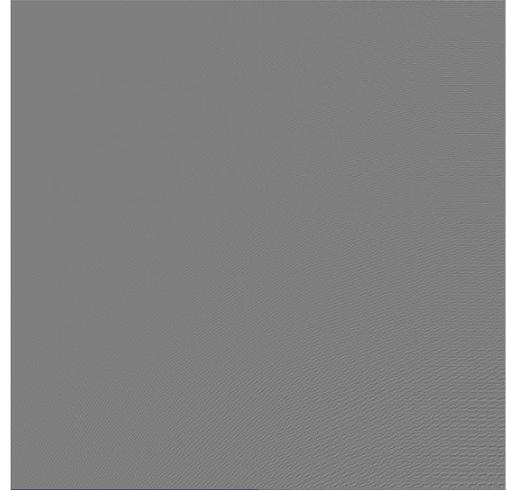


그림 2. 홀로그래프 패턴

위 과정을 통해 생성된 패턴은 수식 (2)를 통해 수식적으로 복원이 가능하다. 실제 복원한 결과 아래 그림 4 와 같은 결과를 얻게 되었다.

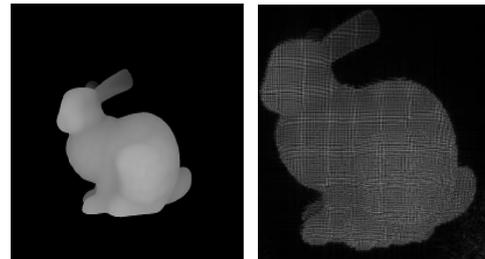


그림 4. 원본이미지(왼쪽) 와 복원된 홀로그래피 이미지(오른쪽)

최종적으로 CUDA 사용에 따른 복잡도 감소를 측정하기 위하여, 위 과정을 CPU 사용환경 시스템과 아래 표 3과 같이 비교해 보았다. 원본 이미지의 사이즈는 200x200 이고, 홀로그래피 이미지의 사이즈는 1024x1024 이다.

	소요 시간(sec)
CPU	4835.3370
GPU	2.1100

표 3. 소요 시간

5. 결론

본 논문에서는 홀로그래피의 기술의 기본이라고 할 수 있는 홀로그래프의 패턴을 만들고 이를 복원하여 이미지를 만드는 과정을 구현했다. 실험 결과 홀로그래피 기술을 통하여 홀로그래프 패턴을 만드는 과정에서 많은 연산으로 인한 시간 지연 문제와 복원된 이미지의 화질 문제 등 차후연구를 통하여 방송으로 쓰일 수 있게 개선해 나갈 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2013 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A1057779).

참고문헌

- [1] 송중석, 최지윤, 서영호, 박종일 “GPGPU 를 이용한 고속 디지털 홀로그램 생성 기법” 한국방송공학회, 한국방송공학회 학술발표대회 논문집 2010.11, 34-35

- [2] Ulf Schnars, Werner P O Juptner “Digital recording and numerical Reconstruction of holograms” IOP science published 7 August 2002

- [3] Ting-Chung Poon, Jung-Ping Liu “Introduction to Modern Digital Holography with Matlab” published 2014 CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS