

GPGPU를 이용한 고속 디지털 홀로그램 생성 기법

송중석* 최지윤* 서영호** 박종일*

*한양대학교 전자컴퓨터통신공학과, **광운대학교 전자재료공학과

sj0818@mr.hanyang.ac.kr*, jeromechoi@mr.hanyang.ac.kr*, yhseo@kw.ac.kr**, jipark@hanyang.ac.kr*

Fast Generating of Digital Hologram Using GPGPU

Joong-Seok Song*, Ji-Yoon Choi*, Young-Ho Seo**, Jong-Il Park*

*Dept. Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

**Dept. Electronics and Material Engineering, Kwangwoon University

요약

본 논문은 깊이영상(depth-map image)으로 만든 3차원 객체를 가지고, 디지털 홀로그램을 고속으로 생성하는 기법을 제안한다. 디지털 홀로그램을 생성하는 과정은 여러개의 독립적 처리로 병렬화 할 수 있는 구조이기 때문에 GPU에서 병렬처리함으로써 고속화 할 수 있다. 병렬처리를 이용한 고속화의 효율을 높이기 위해 최근 NVIDIA사에서 발표한 CUDA를 이용하였다. 디지털 홀로그램의 고속 재생을 위한 중간과정에서 GPU상의 고속 메모리의 사용을 극대화하고, 알고리즘 구현을 최적화함으로써 고속화 효율을 높일 수 있었다. 결과적으로 본 논문에서는 기존 CPU에서의 처리속도에 비해 약 64배 정도 속도를 개선할 수 있었다.

1. 서론

3차원의 객체를 입체감 있게 표현하는 방법은 스테레오 디스플레이, 홀로그램 등이 있으며, 각 분야에서 활발하게 연구개발이 진행되고 있다. 이 중에서 홀로그램은 육안으로 3차원의 객체를 관찰하기 때문에 다른 방법들보다 3차원 이미지를 디스플레이하는데 가장 좋은 방법이라고 할 수 있다. 이런 홀로그램 기술은 특별한 관찰 장비 없이 인간의 눈으로 관찰하는 것과 거의 근접한 깊이정보와 이미지를 제공한다. 그러나 레이저 빔의 간섭을 이용하여 홀로그램을 기록하므로 약간의 움직임에도 세기와 위상과 같은 정보들을 갖고 있는 간섭무늬가 없어질 수도 있기 때문에, 매우 안정된 광학계를 요구한다[1]. 따라서 이런 제약을 해결하기 위해서 수학적 연산으로 광학 신호들을 근사화한 후 PC상에서 간섭무늬(혹은 디지털 홀로그램)를 얻을 수 있는 CGH(Computer generated holography)가 사용되고 있다[2]. CGH를 사용하면 실제 공간에서의 3차원 객체로부터 쉽게 디지털 홀로그램을 추출해 낼 수 있다. 하지만 CGH를 통해 디지털 홀로그램을 계산하기 위해서는 방대한 양의 데이터를 연산해야하기 때문에 반복가산 기법 등을 이용해서, 연산의 횟수를 줄이는 방법[3] 등이 연구되어졌다.

본 논문은 디지털 홀로그램을 생성하는 연산과정이 중복된다는 점을 착안하여, 이를 프로그래밍 가능한 GPU를 사용하여 병렬처리를 통해 고속화 하는데 초점을 맞추었다.

본 논문은 2장에서는 홀로그래피 생성에 대해 설명하고, 3장에서는 병렬처리를 이용한 디지털 홀로그램 고속 생성 방안을 제시하고, 4장에서는 실험결과를 통하여 CPU대비 GPU소요시간을 분석하였으며, 5

장에서는 본 논문의 결론과 앞으로의 연구방향을 언급한다.

2. 홀로그래피 생성

그림 1은 홀로그래피 생성 개요도이다.

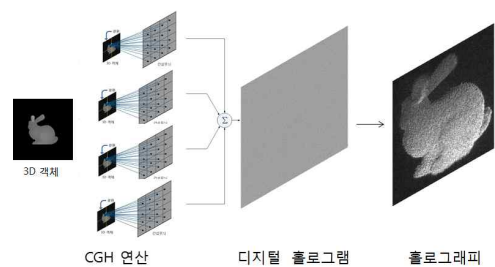


그림 1. 홀로그래피 생성 개요도.

홀로그래피의 간섭무늬에 레이저광을 조사함으로써 홀로그래피를 생성할 수 있다. 이때 필요한 간섭무늬를 생성하기 위해선 광학적인 시스템[4]을 사용해야 하는데, 이 대신 수학적 모델링에 의한 연산으로 그림 1과 같이 디지털 홀로그램을 얻어낼 수 있다. 본 논문에서 모델로 하는 홀로그램은 6982개의 광원을 갖고 있는 200×200 크기의 3D 객체의 모든 광원에 대해서 CGH 연산을 하여, 1024×1024 크기의 디지털 홀로그램을 생성한다. 이때 방대한 양의 데이터를 연산해야 하기 때문에 속도의 문제로 고속화 기법이 필요하다.

3. 디지털 홀로그램 고속 생성기법

디지털 홀로그램을 고속으로 생성하기 위해서는 CGH 연산부를 고속화 해야한다. 일반적인 CGH 생성식은 (1)과 같이 정의된다.

$$I_{\alpha} = \sum_j^N A_j \cos(k \sqrt{(px_{\alpha} - px_j)^2 + (py_{\alpha} - py_j)^2 + z_j^2}) \quad (1)$$

α 와 j 는 홀로그램과 3차원 객체, k 는 참조파의 파수(wave number)로 $2\pi/\lambda$ 로 정의되고, p 는 홀로그램의 화소 크기(pixel pitch), x_{α} 와 y_{α} 는 홀로그램 좌표, x_j, y_j , 및 z_j 는 3차원 객체의 좌표를 나타낸다. 본 논문에서는 테일러 전개에 의해 정리된 CGH 생성식[3]을 사용한다. 식은 (2)와 같이 정의된다.

$$I_{\alpha} = \sum_j^N A_j \cos(2\pi(\theta_z + \theta_H)) \quad (2)$$

$$(\theta_z = \frac{Z_j}{\lambda}, \theta_H = \frac{p^2}{2\lambda z_j}(x_{\alpha j}^2 + y_{\alpha j}^2))$$

이 식에서 $x_{\alpha j}$ 와 $y_{\alpha j}$ 는 $(x_{\alpha} - x_j)$ 와 $(y_{\alpha} - y_j)$ 를 의미한다.

CGH 고속화는 그림 1에서 보면 알 수 있듯이, 반복되는 연산과정이 있기 때문에 이 부분을 병렬처리 할 수 있도록 구조화를 한다. 그림 2는 CGH 생성을 병렬처리로 할 때의 구조를 나타낸다. 동일한 연산과정을 거치는 쓰레드가 각각 화소를 하나씩 맡아서 동시에 처리한다면, 일반 PC에서의 처리속도에 비해 월등한 속도의 개선을 이룰 수 있다.

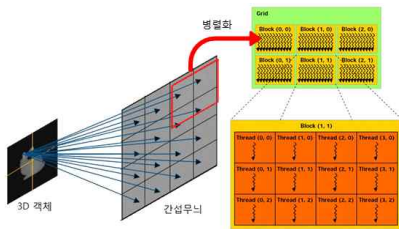


그림 2. 병렬처리를 이용한 CGH 고속화 개요도.

위의 개념을 토대로 GPU의 스트림 프로세서를 이용한 병렬처리를 통해 디지털 홀로그램의 고속 생성 실험을 하였고, 이를 위해 NVIDIA사에서 범용목적의 GPU연산을 위해 개발한 CUDA를 사용하였다.

4. 실험 및 구현 결과

CGH 생성 알고리즘은 [3]에서 제안한 일반적 CGH 생성 알고리즘을 이용하여 구현하였고, 샘플 3D 객체는 크기 200×200×8bit, 광원 6982개의 Stanford Bunny영상을 사용하였고, 생성되는 홀로그램 해상도는 1024×1024, Reference wave length(λ)는 633nm, Reconstruction distance는 100nm, Pixel pitch(p)는 10.4 μm ×10.4 μm 로 파라미터를 설정하였다. 실험환경은 표 1과 같다.

표 1. 실험환경.

항목	세부사항
CPU	Intel(R) Core Quad 2.4GHz
GPU	Nvidia Geforce 8800GTX
OS	MS window 7
RAM	4.0GB
Compiler	MS Visual C++

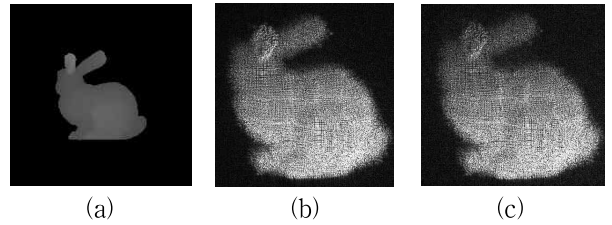


그림 3. (a) 3D 객체, (b) PC 시뮬레이션으로 복원한 영상(CPU), (c) PC 시뮬레이션으로 복원한 영상(GPU).

그림 3에서는 실험에 사용한 영상들의 예를 보이고 있다. 그림 3의 (a)는 3D 객체영상, (b)는 CPU기반으로 복원한 홀로그래피영상, (c)는 GPU기반으로 복원한 홀로그래피영상이다 그림 3.(a)를 가지고 CPU 환경과 GPU 환경에서 디지털 홀로그램 생성에 소요되는 시간을 비교해 보았다. 그 결과는 표 2와 같다.

표 2. 디지털 홀로그램 생성 소요시간.

항목	소요시간 [ms]
GPU	12,258
CPU	783,945
비율 (CPU vs GPU)	1 : 63.953

5. 결론

본 논문에서는 GPU를 기반으로 디지털 홀로그램을 고속으로 생성하는 기법에 대해 제안하였다.

제안한 기법은 디지털 홀로그램을 생성하는 CGH의 연산부를 병렬처리 구조로 변환하고, GPU의 스트림 프로세서를 이용해 디지털 홀로그램의 각 화소들을 쓰레드로 그룹을 만들어 그룹별로 동시에 CGH 연산을 수행하게 함으로써, 전체 연산시간을 줄일 수 있는 기법이다. 제안된 기법은 기존 CPU 기반에서의 연산속도와 비교한 결과 약 64배 정도의 연산속도 개선을 이룰 수 있었다. 앞으로 고속화 기법을 통하여 실시간 디지털 홀로그램 생성이 가능하도록 병렬처리 구조를 최적화 하고, 더 나아가 기존 CGH 연산 알고리즘의 개선에 대한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음.

참고 문헌

- [1] 류원현, 정만호 “3차원 좌표변환에 의한 입체 컴퓨터 형성 홀로그램에 관한연구”, 한국광학회지, 제17권 제6호, 2006, 12.
- [2] B. R. Brown and Adolf W. Lohmann, “Complex spatial filtering with binary masks,” Applied Optics, Vol.5, pp.967-969, June 1966.
- [3] 최현준, 서영호, 김동욱 “반복 가산 기법을 이용한 Fresnel 홀로그램의 고속 계산 알고리즘” 한국통신학회논문지 33(c5), 2008년
- [4] 손정영, 홀로그래피의 원리와 응용, 봉명, 2004.