

홀로그래픽 비디오를 위한 고속 컴퓨터-생성 홀로그램 기술

*최현준, **이윤희, **서영호, **김동욱

*안양대학교, **광운대학교

*hjchoi@anyang.ac.kr

Fast Computer-Generated Hologram Technique for Digital Holographic Video

*Hyun-Jun Choi, **Yoon-Hyuk Lee, **Young-Ho Seo, **Dong-Wook Kim

*Anyang University, **Kwangwoon University

요약

컴퓨터-생성 홀로그램(computer-generated hologram, CGH) 기법은 실사객체 혹은 가상의 객체로부터 계산에 의해 디지털 홀로그램을 생성해 낼 수 있다. 하지만 HD급 해상도의 디지털 홀로그램 한 프레임은 일반적인 PC를 이용해 계산하기 위해서는 약 10분 정도가 소요된다. 이는 실시간 홀로그래픽 비디오 서비스를 어렵게 하는 문제점 중에 하나이다. 본 논문에서는 CGH 기법의 과도한 연산량을 줄이기 위해 깊이정보(depth-map) 비디오 프레임간의 공간적인 중복성을 이용하는 방법을 제안한다. 이 방법은 인접한 깊이정보 프레임간의 차이를 구해 동일한 깊이값을 갖는 좌표들의 CGH 계산을 생략하는 것이다. 제안한 방법을 적용한 결과 연산속도가 52%정도 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

홀로그램은 입체영상 디스플레이에서부터 고밀도 메모리 기술, 빛을 이용한 고속 병렬연산에 이르기까지 다양한 응용분야로 확대되고 있다. 반도체 기술이 디지털 혁명의 모태가 된 것처럼 홀로그래피는 차세대 디스플레이분야의 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 보인다.

홀로그래피는 1940년대 초에 제안된 이후 3차원 정보를 기록할 수 있다는 특징 때문에 많은 연구자들의 관심을 끌어들였다. 하지만 아날로그 필름 형태로 저장 및 유통이 되던 기존의 홀로그래피는 대중화에 상당한 제약이 있었다. 이런 문제점은 홀로그램을 생성, 획득, 저장, 처리, 표현(디스플레이)하는 장치가 디지털화됨에 따라서 점차 해결되고 있는 상황이다[1].

본 논문에서는 광학계를 이용해 획득하던 홀로그램을 수학적 모델링 과정을 거쳐 컴퓨터에서의 연산으로 생성하는 CGH 기법을 다룬다. 특히 여러 장의 깊이정보 프레임을 대상으로 CGH 연산을 수행할 경우 급격히 증가하는 연산시간을 줄일 수 있는 방법을 제안한다.

제안한 방법은 시간축에서 인접한 깊이정보 프레임들간의 공간적인 중복성을 탐색하여 동일한 깊이값을 갖는 좌표들은 CGH 연산을 생략하고, 다른 깊이값을 갖는 좌표들에 대해서만 CGH 연산을 수행하는 것이다.

2. CGH 연산

본 절에서는 위상을 이용한 CGH 생성 방법에 대해서 설명한다. CGH 연산식은 식 (1)과 같이 정의된다. 이 식은 홀로그램의 위상(Θ)으로부터 홀로그램의 빛의 강도(I_a)를 얻는 방법이다. 여기서 N 은 3차

원 객체의 광원수를 뜻한다.

$$I_a = \sum_j^N A_j \cos(\theta_H + \Phi_a + \Phi_j) \quad (1)$$

$$R_{\alpha j} = \sqrt{(px_\alpha - px_j)^2 + (py_\alpha - py_j)^2 + z_j^2} \quad (2)$$

Θ 는 $KRaj$ 로 정의되고 이는 식 (2)와 같다. 여기서 k 는 참조파의 파수(wave number)로 $2\pi/\lambda$ 로 정의되고 λ 는 532nm의 값을 사용한다. x_a 와 y_a 는 홀로그램내의 위치를 뜻하고 x_j , y_j , 및 z_j 는 3차원 객체의 좌표를 나타낸다. 식 (2)는 Taylor 전개와 근사화 과정을 통해 식 (3)과 같이 좀 더 간략화 될 수 있다.

$$R_{\alpha j} \cong z_j + \frac{p^2}{2z_j} (x_{\alpha j}^2 + y_{\alpha j}^2) \quad (3)$$

CGH 연산은 식 (1), (2)를 이용해 수행되는데, 이때 $H \times V$ 크기의 3차원 객체(intensity, depth)에 대한 $M \times N$ 크기의 디지털 홀로그램을 만들기 위해서는 $M \times N \times H \times V$ 만큼의 기본 반복연산이 필요하다. 한 번의 반복연산에는 세부적으로 다수의 곱셈과 누적 덧셈 연산이 필요하다. 이러한 이유로 한 장의 홀로그램을 소프트웨어를 이용해서 생성하고자 할 경우에 최소 수 분 이상의 시간이 소요된다[3]. 그림 1에서는 한 장의 디지털 홀로그램을 생성하는 CGH 연산과정을 보이고 있다.

3. 제안한 방법

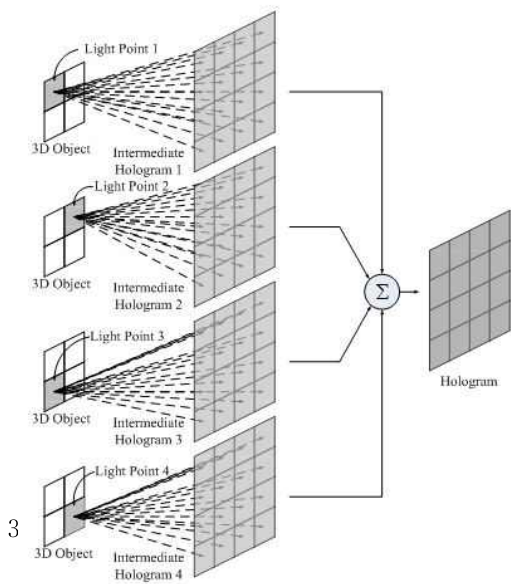


그림 1. CGH 연산과정

1. 깊이정보 프레임간의 공간적인 중복성

깊이정보 영상들의 집합인 깊이정보 비디오의 경우에도 일반적인 자연영상 비디오와 같이 시간축 상에서 공간적인 중복성을 찾을 수 있다면 이런 특성을 홀로그램 생성에 이용할 수 있을 것이다. 깊이정보 영상의 공간적인 중복성을 계산하기 위해 그림 2와 같은 깊이영상 비디오를 이용하였다. 그림 2의 상단에 있는 영상은 실험에 사용한 깊이 정보 영상의 일부 장면들의 예이고, 아래쪽에 있는 그래프는 깊이정보 프레임들 2,3,4,5개씩 하나의 그룹(Group of Depth, GoD)으로 만든 후 각 GoD 별로 프레임간의 유사성을 측정하였다. 실험결과를 그림 2에서 보이고 있다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이 GoD의 크기가 2일 경우 인접 프레임간의 유사성이 가장 높은 것을 확인할 수 있었다.

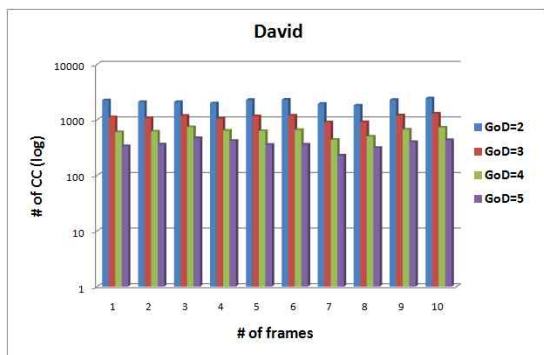
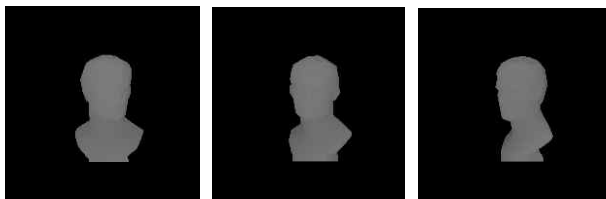


그림 2. 깊이정보 비디오의 프레임간 중복성 실험결과

3.2 Depth Different Temporal Filtering CGH (DDTF CGH)

3.1절에서 확인하였듯이 깊이정보 비디오도 일반적인 자연영상 비디오처럼 인접한 프레임들이 상당한 유사성을 가지고 있다. 본 논문에서는 이런 특성을 이용해 홀로그래픽 비디오 서비스를 위해 깊이정보 비디오를 대상으로 CGH 연산을 고속화하는 기법을 제안한다. 본 논문에서는 깊이정보 비디오 시퀀스를 GoD로 구분한 후 각 GoD내에서 깊이정보 프레임간의 유사도를 찾는다. 그림 3에서 GoD의 크기가 2인 경우의 예를 보이고 있다. 그림 3의 DDTF는 GoD내의 깊이정보 프레임간의 차이를 계산하여 동일한 깊이정보를 갖는 좌표(Common Coordinate, CC)와 다른 깊이정보 값을 갖는 좌표(Difference Coordinate, DC)를 구한다. 이렇게 구해진 좌표정보를 기반으로 CC의 경우 하나의 GoD내에서 한번만 CGH 계산이 되고, DC의 경우 각각 계산이 된다. 실제 연산량의 감소율은 GoD내의 CC의 정보량에 따라 달라진다. CC와 DC의 정보에 따라 개별적으로 계산된 중간 홀로그램 값들을 합쳐서 최종적으로 디지털 홀로그램을 구하게 된다.

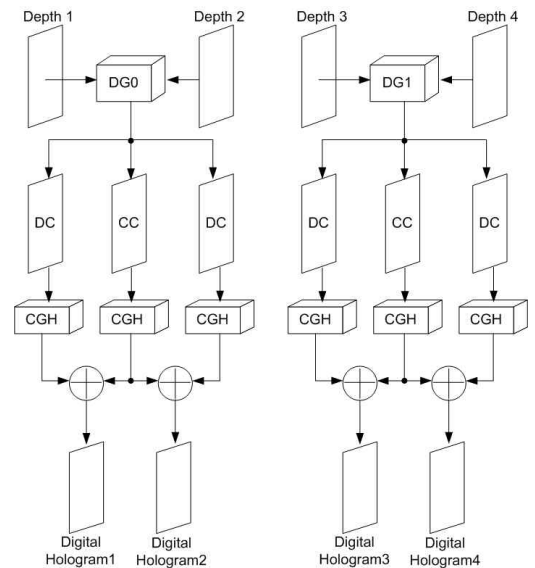


그림 3. DDTF CGH: GoD의 크기가 2인 경우의 예

4. 구현 및 실험결과

본 논문에서 제안한 DDTF CGH를 검증하기 위해 자체적으로 촬영한 176x144[pixel²] 다비드 깊이정보 영상을 이용하였다. 이 깊이 정보 영상은 다비드 상을 회전 리그에 올려놓고 360도 전 방향에서 1도씩 움직이면서 촬영한 것으로 총 프레임 수는 360장이다.

GoD의 크기를 2~5까지 바꿔가며 DDTF CGH를 수행할 때 소요되는 연산시간의 측정결과를 그림 4에서 보이고 있다. 비교대상이 되는 원래의 기법은 각각의 깊이정보 프레임들을 개별적으로 식 (1)과 (3)을 이용해 CGH 계산을 수행한 결과이다. GoD의 크기가 2인 경우 가장 좋은 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다. 그림 5에서는 제안한 알고리즘으로 디지털 홀로그램을 생성한 후 복원한 홀로그래픽 복원영상을 보이고 있다.

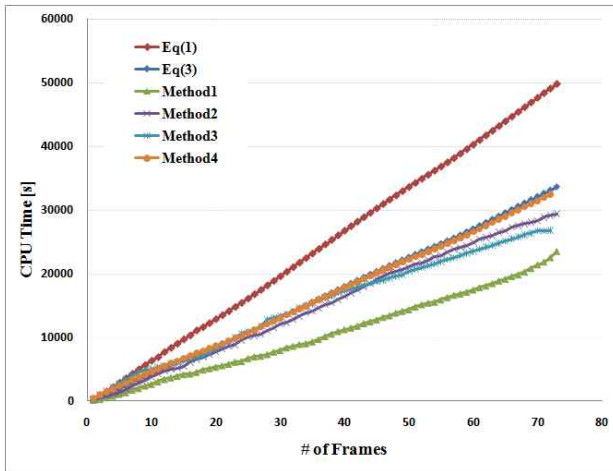


그림 4. 제안한 알고리즘을 적용한 결과

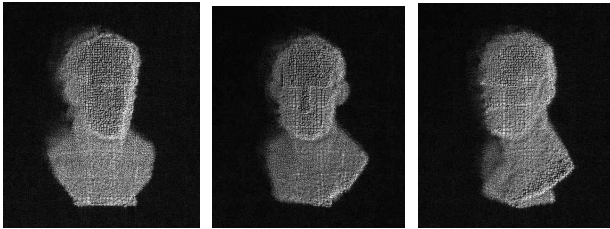


그림 5. 홀로그래픽 복원영상의 예

4. 결론

본 논문에서는 디지털 홀로그래픽 비디오 서비스를 위해 깊이정보 비디오 시퀀스로부터 디지털 홀로그램 비디오를 고속으로 생성해 낼 수 있는 DDTF CGH 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 적용한 결과 약 52.8%정도 연산시간이 빠리지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2010-0022080)

참고 문헌

- [1] B. R. Brown, A. W. Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks," *Appl. Opt.* 5, 967-969, 1966.
- [2] H. Yoshikawa, "Fast computation of Fresnel holograms employing difference," *Opt. Rev.* 8, 331-335, 2000.
- [3] T. Shimobaba, T. Ito, "An efficient computational method suitable for hardware of computer-generated hologram with phase computation by addition," *Comput. Phys. Commun.* 138, 44-52, 2001.