

# 전역좌표 가산방식의 고속 CGH 기법

\*최현준, \*\*서영호, \*유지상, \*최영근, \*김화성, \*김동욱  
\*광운대학교 전자정보공과대학  
\*\*한성대학교 정보통신공학과  
e-mail : hjchoi@kw.ac.kr

## High-speed CGH Method by Whole Coordinates Addition

\*Hyun-Jun Choi, \*\*Young-Ho Seo, \*Ji-Sang Yoo, Young-Geun Choi, Hwa-Sung Kim,  
and Dong-Wook Kim  
\*Kwangwoon University, \*\*Hansung University

### Abstract

This paper propose an efficient computational method for CGH suitable for hardware design. Proposed method can compute a phase on a digital hologram by addition. In future studies, we are planning to develop a dedicated H/W processor for real-time hologram display.

### I. 서론

가장 이상적인 3차원 영상 디스플레이 기법으로 주목받고 있는 홀로그래프(hologram)은 주로 미국, 유럽, 일본등에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히, 실시간으로 홀로그래프 영상을 재생하는 홀로그래픽 비디오는 차세대 3DTV를 위한 핵심기술이다.

컴퓨터 생성 홀로그래프(computer generated holograms, CGH)기법[1]은 물리적인 광학현상들을 근사화(approximation)하여 PC상에서 수학적인 계산과정을 통해 간섭패턴(interference pattern 혹은 디지털 홀로그래프)을 얻을 수 있는 기법이다. CGH기법을 이용할 경우 실제 공간상의 객체 혹은 가상의 객체로부터 손쉽게 간섭패턴을 얻을 수 있다. 하지만, CGH기법으로 간섭패턴을 계산하기 위해서는 상당한 연산량(약 1cm×1cm×1cm의 3차원 객체를 공간상에서 재생하기 위해서 PC상에서 CGH 수식을 계산할 경우 약 1,300초정도가 소요됨.)이 요구된다. 이를 개선하기 위해 일본의 chiba대학 연구진들은 간섭패턴

의 전 좌표에서 이루어지던 CGH연산을 x축의 첫 번째 좌표((0,0), (1,0), (2,0), (3,0) ..... (1,023,0))에서만 수행하고 나머지 좌표의 연산은 첫 번째 연산 결과에 미리 계산된 값을 가산함으로써 얻을 수 있는 기법을 제안하였다[2]. 이 방법의 경우 총 1,024번의 CGH연산이 필요하다. 하지만 본 연구팀이 유도한 수식의 경우 간섭패턴의 (0,0)좌표에서만 CGH연산을 수행하고 나머지 좌표에서는 (0,0)좌표에서 계산된 결과에 각 좌표에서 계산된 간단한 값들만을 가산함으로써 원하는 간섭패턴을 얻을 수 있다.

### II. CGH 연산을 위한 수식 유도

이번 장에서는 CGH 연산을 위해 사용되던 수식과 본 연구팀이 제안한 하드웨어 구현에 적합한 수식을 설명한다. CGH 연산을 위한 수식은 다음과 같다.

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

식 (1)에서  $I_{\alpha}$ 는 간섭패턴상의 좌표,  $A_j$ 는 3차원 객체의 intensity,  $k$ 는 wave number,  $p$ 는 간섭패턴의 pixel pitch,  $a$ 는 3차원 객체,  $j$ 는 간섭패턴을 의미한다. 식 (1)을 보면 예상할 수 있듯이 CGH 연산은 상당히 많은 연산시간과 자원을 소모한다. 예를 들어, 1,024×1,024[pixel<sup>2</sup>]의 간섭패턴을 생성하기 위해서는 식 (1)의 연산을 1,048,576번 수행해야한다. 이를 해결하기 위해

[2]에서 식 (1)의 제곱근 연산을 이항 전개식(binominal expansion)을 이용하여 정리(본 논문에서는 이 식을 “전연산”이라고 칭함.)하고 간섭패턴의 첫 번째 종축좌표들만을 정리된 식으로 계산하고 나머지 횡축좌표들은 첫 번째 종축 좌표에 미리 계산된 값을 가산하는 방식을 제안하였다. 정확한 알고리즘은 [2]를 참고하기 바란다. 위 논문에서 제안된 기법의 경우 전연산이 첫 번째 종축좌표에서 모두 연산되어야 한다.  $1,024 \times 1,024 [\text{pixel}^2]$ 의 경우 1,024번을 수행해야 된다는 의미이다.

본 연구팀이 정리한 수식을 살펴보면, 이항 전개식에 의해 정리된 수식,

$$I_a = \sum_j^N A_j \cos[k(z_j + \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + y_{aj}^2))] \\ = \sum_j^N A_j \cos[k(z_j + \theta)] \quad (2)$$

여기서,  $\theta$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\theta = \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + y_{aj}^2) \quad (3)$$

간섭패턴상의 한 점  $(x_a + a, y_a + b)$ 에서의 위상 값  $\theta$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$\theta(a, b) = \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj} + a)^2 + (y_{aj} + b)^2 \\ = \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + 2ax_{aj} + a^2 + y_{aj}^2 + 2by_{aj} + b^2) \\ = \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + y_{aj}^2) + \frac{p^2}{z_j}(ax_{aj} + by_{aj}) + \frac{p^2}{2z_j}(a^2 + b^2) \quad (4)$$

연산식을 다시 정리하면,

$$I_a = \sum_j^N A_j \cos[k(z_j + \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + y_{aj}^2) + \frac{p^2}{z_j}(ax_{aj} + by_{aj}) + \frac{p^2}{2z_j}(a^2 + b^2))] \quad (5)$$

정리된 식 (5)를 보면, cosine함수내의 첫 번째와 두 번째 항은 간섭패턴의 (0,0) 좌표를 계산할 때만 연산이 되고 나머지 전 좌표는 세 번째와 네 번째 항에 의해서만 연산된다.

정리하면, 본 연구팀이 제안한 기법은 전연산의 수를 1번으로 줄이고 나머지 전 좌표에서는 전연산 결과에 각 좌표에서 계산된 값들만을 가산함으로써 간섭패턴을 생성할 수 있다.

### III. 구현결과 및 결론

알고리즘의 성능평가는 10,000-포인트의 3차원 객체를 대상으로 CGH 계산을 수행하여  $1,024 \times 1,024 [\text{pixel}^2]$ (gray-level)의 간섭패턴을 생성할 경우 소요되는 CPU 시간을 측정하였다. 식 (1)로 계산하였을 경우 평균 1,300초, [xx]에서 제안한 수식으로 계산하였을 경우 평균 388초, 그리고 본 연구팀이 제안한 식 (5)로 연산하였을 경우 평균 380초의 연산시간이 소요되었다. 이는 식 (1)에 비해 약 3배정도의 연산속도가 향상되었고, [2]와 비교해서는 약 8초의 연산시간이 감소한 결과이다.

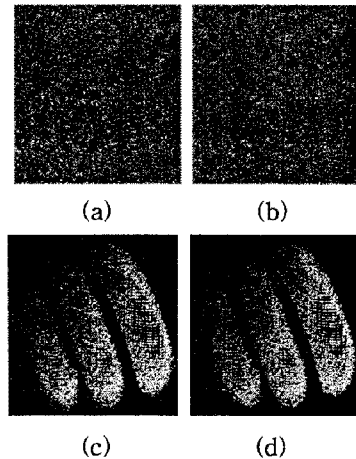


그림 1. 생성한 간섭패턴; (a) 식 (1), (b) 제안한 기법, 복원한 홀로그램 영상; (c) (a)의 복원영상, (d) (b)의 복원영상

### Acknowledgement

본 논문은 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금 및 보조금으로 수행한 최우수실험실지원사업의 연구결과입니다.

### 참고문헌

- [1] B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Computer-generated Binary Holograms," IBM Journal of research and Development, Vol. 13, No. 2, pp.160-168, March 1969.
- [2] 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.