

## 오목 렌즈 함수를 이용한 초고해상도 Computer Generated Hologram 생성 알고리즘

\*이승열 \*이창주 \*최우영 \*\*오관정 \*\*홍기훈 \*\*최기홍 \*\*전상훈 \*\*박중기

\*경북대학교 \*\*한국전자통신연구원

\*seunyeol@knu.ac.kr

## Extremely High-Definition Computer Generated Hologram Calculation Algorithm with Concave Lens Function

\*Lee, Seung-Yeol \*Lee, Chang-Joo \*Choi, Woo-Young \*\*Oh, Kwan-Jung

\*\*Hong, Kee-Hoon \*\*Choi, Kihong \*\*Cheon, Sang-Hoon \*\*Park, JoongKi

\*School of Electronics Engineering, College of IT engineering, Kyungpook National University

\*\*Electronics and Telecommunication Research Institute (ETRI)

## 요약

3D 디스플레이 산업에 있어서 홀로그램의 상용화는 여전히 많은 문제점을 가지고 있다. Computer Generated Hologram(CGH)은 홀로그램 분야 중에서도 3D 물체를 생성하는데 여러 가지 강점을 가지고 있지만 큰 해상도를 가진 CGH를 생성하는데 많은 연산시간이 걸려 상용화에 걸림돌이 되고 있다. 이 논문에서는 이를 해결하기 위하여 오목 렌즈 함수를 이용한 초 고해상도 CGH를 생성하는 알고리즘을 이용하여 초 고해상도 홀로그램을 생성하는 방법을 제안하였다. 초 고해상도 CGH를 생성하기 위하여 필요한 일반적인 방법으로 실제로 계산해야 될 CGH의 크기는 4 메가픽셀(2k X 2k) 수준의 저해상도로서, 저 사양의 컴퓨터로서도 충분히 빠르고 부담 없이 계산해낼 수 있는 사이즈이다. 생성된 CGH로 Array를 형성한 후, 해당 위치에 맞맞은 임의의 오목 렌즈 함수를 곱해줌으로서 임의의 크기 및 복원 거리를 가지는 초고해상도 CGH를 생성할 수 있음을 확인하였다.

## 1. 서론

컴퓨터 생성 홀로그래피(CGH)는 광파의 진행을 수치적으로 시뮬레이션하여 홀로그램 영상을 합성하는 연구 분야이다. CGH는 홀로그램 연구 분야 중에서도 아날로그 홀로그램으로는 기록하기 어려운 다양한 물체들을 재구성할 수 있으며, 특히 3D 물체를 생성하는 최종 기술이라고 언급되고 있다. 좋은 CGH는 일반적으로 3D 물체를 보기 위한 넓은 시야각과, CGH가 물체를 나타내기 위해 충분히 큰 공간 면적을 가지고 있는 두 가지 조건을 만족하여야 함이 알려져 있다[1]. 하지만 이 두 가지 조건을 모두 만족하는 CGH를 생성하는 데에는 매우 많은 수의 픽셀 수를 요구하며, 이는 많은 연산량을 요구하게 된다. 왜냐하면 넓은 시야각을 얻기 위해서는 작은 크기의 픽셀 크기를 요구하고, 동시에 큰 공간 면적은 많은 수의 픽셀을 요구하며, 좋은 시야각을 가지면서도 큰 공간 면적을 가지기 위해서는 매우 많은 수의 픽셀수가 필요해지며, 이것은 매우 많은 연산 시간을 초래하게 된다. 일반적으로는 이 두 가지 조건 중 한 가지를 희생한 CGH를 생성한다.

CGH를 생성하는데 드는 많은 연산량은 그동안 CGH가 산업화되는 데 큰 걸림돌로 작용해 왔다. 최근 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해서 각 조건들을 개선하는 연구가 진행되어 왔다. CGH 연산 시간을 줄이기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, 예를 들면 point spread function의 sparse approximations를 이용하거나[5], 파장 필드의 효율적인 수치 전파를 위한 알고리즘을 개선하거나[6], 포인트 대신 폴리곤

기반 연산방식을 이용하여 연산속도를 줄이거나[7]. GPU를 이용하여 계산 속도를 가속시키는 등[8], 다양한 방식들이 제안되어 왔다[9]. 하지만 10억 기가픽셀이 넘어가는 초 고해상도 CGH를 생성하기 위해서는 아무리 개선된 연산방식을 이용한다 하더라도 매우 높은 스펙의 연산장치가 요구되거나 정상적으로 작동되지 않는 문제는 여전히 홀로그램 상용화에 장애물로서 남아있다. 이러한 문제점을 회피하기 위하여 standard desktop machine에서도 초 고해상도 CGH를 생성하기 위한 방법들이 제안되었지만[10], 여전히 많은 메모리 사용량과 오랜 연산시간은 해결되어야 할 문제로 남아있다.

해당 논문에서는, standard desktop machine 에서도 초 고해상도 CGH를 생성할 수 있는 오목 렌즈 함수를 이용한 고해상도 CGH 생성 알고리즘을 설명하고자 한다. 제안하는 방법은 계산된 하나의 홀로그램을 재사용하여 배열을 생성하여 여러 뷰의 홀로그램을 만들어냄으로서 홀로그램 연산시간을 드라마틱하게 줄일 수 있다. 해당 방법은 integral imaging방식을 차용하여 고해상도 홀로그램 연산 방식에 접목하였다 [11].

## 2. 오목 렌즈 함수를 이용한 CGH 생성 알고리즘

제안하는 방법을 이용하기 위해서는 먼저 저해상도의 CGH를 일반적인 방식을 이용하여 생성하고, CGH의 크기 및 픽셀 피치의 크기는 임의의 초점 거리를 가진 상태에서 기록하고자 하는 물체의 특성을 모두

담을 수 있는 크기 및 픽셀 피치를 가지도록 한다. 이 때 주어진 공간의 크기가 픽셀 피치의 크기에 따라 가지는 시야각의 크기보다 커 기록되지 않은 빈 공간이 생기거나 시야각의 크기보다 작아 패턴 안에 정보가 충분히 기록되지 않는다면 제안하는 알고리즘을 사용하여 고해상도로 제작하였을 시 잔상이 생기거나 상이 온전하게 복원되지 않을 수 있다. 기록하는 CGH의 크기는 4메가픽셀(2k X 2k)수준으로도 충분하며, 그보다 큰 면적을 가진 CGH를 이용할 시 복원될 홀로그램의 선명도를 더 높일 수 있습니다.

생성된 CGH를 원하는 해상도의 크기만큼 복사하여 배열을 형성시켜준 후, 각 CGH 패턴에 다음과 같이 렌즈 함수를 곱해준다.

$$h' = he^{i\pi \left( \frac{(x - Nx \times px \times \frac{M_x}{2})^2 + (y - Ny \times py \times \frac{M_y}{2})^2}{\lambda f} \right)} \quad (1)$$

여기서  $h$ 는 CGH패턴이며  $Nx, Ny$ 는 각각  $x, y$ 방향의 픽셀 수이며,  $px, py$ 는 각각  $x, y$ 방향의 픽셀 크기이다. 그리고  $M_{i,j}$ 는 CGH의 해상도를 늘리고자 하는 확대 계수이며 그에 따라 배열된 CGH 패턴의 중심에 대한 위치에 따른 값을 가진다.  $\lambda$ 는 CGH를 기록하는데 이용한 파장의 길이이며  $f$ 는 오목 렌즈의 초점 거리이며 아래와 같은 일반적인 렌즈 함수 공식에 의하여 다음과 같이 결정한다.

$$f = \frac{z}{1 - M} \quad (2)$$

여기서  $z$ 는 CGH에 기록한 물체의 초점거리이다. 위와 같은 알고리즘을 나타낸 도식화가 그림 1에 표현되어 있다. 이렇게 생성되는 홀로그램 이미지의 크기는 기존에 기록한 이미지의 크기에 비해  $M$ 배 커지게 되기 때문에 처음 CGH에 기록하는 홀로그램 이미지의 크기를  $1/M$ 배의 크기로 기록하여야 한다.

그림 2는 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과이다. (a)는 17280 X 17280 사이즈의 CGH를 계산하기 위하여 2160 X 2160 사이즈의 CGH를 먼저 계산한 후 제안된 알고리즘을 이용하여 8배 확대시킨 CGH 패턴이다. (b)는 이것을 복원시킨 홀로그램 이미지 상이며, (c)는

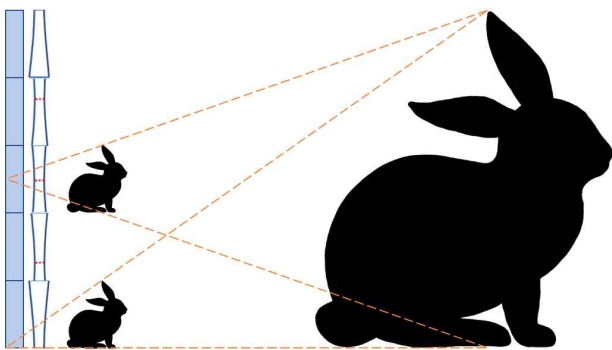


그림 1 오목 렌즈 함수를 이용한 CGH 생성 알고리즘

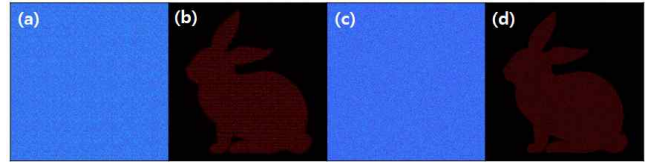


그림 2 제안된 알고리즘의 시뮬레이션 결과. (a) 2160 X 2160사이즈로 계산된 CGH를 제안된 알고리즘을 이용하여 8배 확대한 CGH (b) (a)의 복원 결과 (c) 17280 X 17280사이즈를 한번에 계산한 CGH (d) (c)의 복원 결과

17280 X 17280사이즈의 CGH를 한번에 계산한 CGH 결과이며 (d)는 (c)를 복원시킨 홀로그램 이미지이다.

### 3. 결론

오목 렌즈 함수를 이용한 초 고해상도 CGH를 생성하는 알고리즘을 이용하여 초 고해상도 홀로그램을 생성하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 4메가픽셀(2k X 2k)수준의 저해상도 CGH를 배열시킨 후 배열된 각 CGH의 위치에 맞는 오목 렌즈 함수를 곱해줌으로서 해상도 및 홀로그램 이미지의 크기를 확대시킨 CGH를 얻을 수 있는 방법으로서 standard desktop machine에서도 고해상도 홀로그램을 계산해낼 수 있으며 연산시간도 훨씬 단축할 수 있음을 확인하였다.

### Acknowledgement

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019-0-00001, 홀로그램 영상 서비스를 위한 Holo-TV 핵심 기술 개발)

### 5. 참고문헌

[1] K. Matsushima and S. Nakahara, "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method," Appl. Opt. 48(34), H54 - H63 (2009).  
 [5] D. Blinder, "Direct calculation of computer-generated holograms in sparse bases," Opt. Express 27(16), 23124 - 23137 (2019).  
 [6] Blinder, D.; Shimobaba, T. Efficient algorithms for the accurate propagation of extreme-resolution holograms. Opt. Express 2019, 27, 29905 - 29915. (2019).  
 [7] K. Matsushima, "Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture," Appl. Opt. 44, 4607 - 4614 (2005).  
 [8] J. Song, J. Park, H. Park, and J.-I. Park, "Real-time generation of high-definition resolution digital holograms by using multiple graphic processing units," Opt. Eng. 52(1), 015803 (2013).  
 [9] T. Shimobaba, T. Kakue, and T. Ito, "Review of fast algorithms and hardware implementations on computer holography," IEEE Trans. Industr. Inform. 12(4), 1611 - 1622 (2016).  
 [10] R. P. Muffoletto, J. M. Tyler, and J. E. Tohtline, "Shifted fresnel diffraction for computational holography," Opt. Express 15(9), 5631 - 5640. (2007).  
 [11] Ai, L.; Cao, H.; Sun, H.; Shi, X. Performance enhancement of integral imaging based Fresnel hologram capturing by the intermediate view reconstruction. Opt. Express 27, 31942 - 31955. (2019)