

삼각형 mesh 홀로그래픽 3차원 이미지의 해석적 확산표면 모델에 대한 실험적 고찰

Experimental investigation on analytic diffusive surface model of triangle mesh three-dimensional holographic images

이호원, 김휘, 이병호

서울대학교 전기·컴퓨터공학부

byounggho@snu.ac.kr

본 연구에서는 확산 표면 모델링을 이론적으로 고찰하고 삼각형 mesh 홀로그래픽 3차원 이미지⁽¹⁾ 생성 결과에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 연속깊이를 가지는 3차원 광분포의 생성에는 기존의 IFTA(iterative Fourier transform algorithm)와 같은 반복적 최적화 알고리즘이 쓰이기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 반복적 최적화 알고리즘을 사용하지 않고 표면효과를 이용하여 적절한 이미지를 얻어내는 확산 표면 모델링에 대하여 논하였다.

입자의 aperture를 통해 회절된 빛은 입사광의 관찰방향이 입사빔의 방향과 조금만 어긋나도 모서리 부분 성분이 지배적으로 관찰이 되며 Fourier transform을 이용해 생성된 홀로그램 패턴의 위상성분만을 이용해 재생할 경우 이런 현상은 더 뚜렷해진다. 이는 표면이 매끄러운 금속면에서 반사된 광과와 같은 빛의 성질로서, 그 해결을 위해서는 표면을 거칠게 만들어 다양한 방향에서 표면의 모습을 관찰하는 것이 가능해진다. 확산표면 모델링은 하나의 삼각형 mesh를 그림 1과 같이 얇은꼴의 작은 삼각형으로 나누어 각각에 random phase를 입혀 입사빔의 방향에서 조금씩 어긋나게 함으로써 표면을 거칠게 하는 효과를 나타내는 것을 말한다.

기준 평면에서의 광 분포에 대한 angular spectrum과 얇은 렌즈를 통과한 Fourier plane에서의 광분포는 식 (1)과 식 (2)의 관계에 따라 간단한 변수치환 관계임은 알 수 있다.

$$U(x, y, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(f_x, f_y; 0) \exp[j2\pi(f_x x + f_y y)] df_x df_y \quad (1)$$

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} U(x, y, 0) \exp[-j \frac{2\pi}{\lambda f} (xu + yv)] dx dy \quad (2)$$

따라서 식 (3)과 같이 확산 표면으로 모델링 된 삼각형 mesh의 angular spectrum을 모두 더함으로써 광과재생을 위한 전체 hologram pattern을 생성할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 A_k(\alpha', \beta') &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sum_g \Lambda_{k,e}(x' - x'_{k,g}, y' - y'_{k,g}) \exp(j\Gamma_{k,g}) \exp(j2\pi(\alpha'x' + \beta'y')) dx' dy' \\
 &= A_{e,k}(\alpha', \beta') \left[\sum_g \exp(j\Gamma_{k,g}) \exp(j2\pi(\alpha'x'_{k,g} + \beta'y'_{k,g})) \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

여기서 $\exp(j\Gamma_{k,g})$ 항이 각각의 뒀음꼴 삼각형에 입혀진 random phase 항이다. 뒀음꼴 삼각형으로 표현함으로써 각각의 위상항의 합을 전체 삼각형의 angular spectrum에 간단히 곱해주는 것으로 계산이 가능하다.

그림 2와 같이 3차원 광 분포를 확인하기 위해 두 개의 얼굴을 공간상으로 분리시켜 배치한 후, 제시한 방법으로 홀로그램을 생성, 재생하여 여러 개의 초점평면에서 관찰한 결과가 그림 3과 그림 4에 나타나 있다. 여기서 m은 mesh의 한 변의 분할 수로서 표면의 거친 정도를 나타낸다.

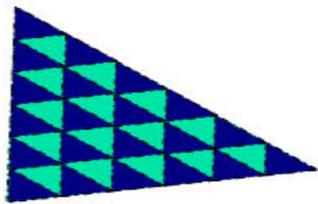


그림 1. 뒀음꼴 삼각형으로 분할된 하나의 mesh

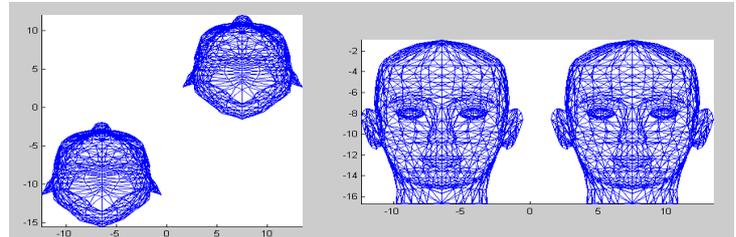


그림 2. 삼각형 mesh로 구성된 3차원 object

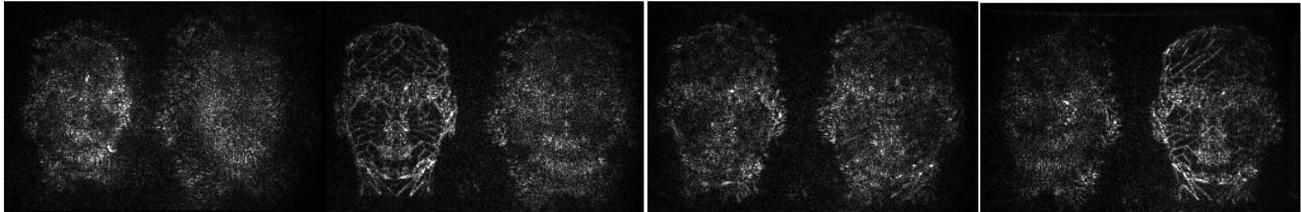


그림 3. m=1 확산 표면 모델링 적용 전 깊이에 따른 광분포

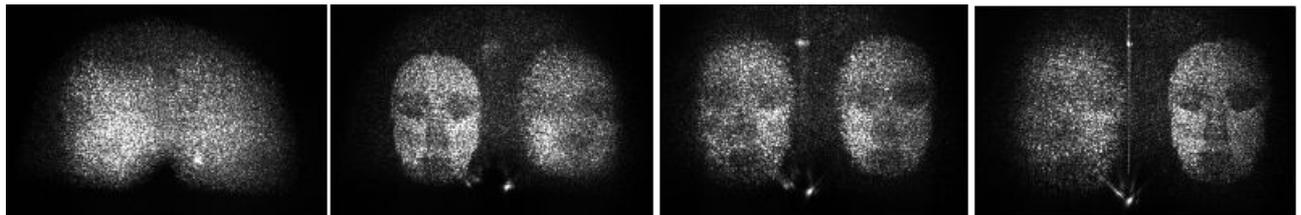


그림 4. m=10 확산 표면 모델링 적용 후 깊이에 따른 광분포

본 연구에서 제안한 해석적 확산 표면 모델링 기법을 적용해 수학적으로 적절히 거친 표면을 생성함으로써 최적화 알고리즘을 이용하지 않고 연속적인 깊이로 생성된 3차원 광 분포를 2차원 공간광변조기를 통해 빠른 시간에 효과적으로 재생할 수 있음을 확인할 수 있다.

1. H. Kim, S. Han, S. Kim, and B. Lee, "Recent holographic technologies for display, optical data storage and lithography, and related simulation issues," Organic Holographic Materials and Applications IV, SPIE Optics and Photonics, San Diego, CA, USA, Proc. SPIE, vol. 6335, pp. 63350K-1 - 63350K-10, Aug. (2006).