

360도 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 스페클 측정 방법 및 저감 기술 적용을 통한 홀로그램 영상 개선방안

*임용준, 김진웅

한국전자통신연구원 방송미디어연구소 미디어연구본부

*yongjun@etri.re.kr, jwkim@etri.re.kr

Methods for reducing and measuring speckles in a 360-degree table-top electronic holographic display

*Yongjun Lim, Jinwoong Kim

Media Research Division, Broadcasting and Media Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 홀로그램 영상 재현과정에서는 간섭 성 광원을 사용하는 것이 일반적이다. 간섭 성 광원의 높은 결맞음성으로 생겨나는 스페클 분포는 육안으로 쉽게 관찰 되는데, 이는 재현된 홀로그램 영상 품질 저하의 주요한 원인이 된다. 본 논문에서는 수평 360도 전 방향에서 입체영상의 관찰이 가능한 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서의 스페클 분포를 측정하며, 이를 정량적으로 평가하기 위한 측정 방법을 기술한다. 객관적인 스페클 정량 지표로서 스페클 대조비를 구하여 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서의 스페클 분포를 계측하고, 이를 저감하기 위한 방법을 제안한다.

1. 서론

일반적으로 레이저와 같은 간섭 성 광원은 디지털 홀로그램을 재생하는데 적용된다. 레이저의 높은 공간적인 결맞음성(spatial coherence)은 홀로그램 영상 재생에 필요한 빛의 위상 정보 구현에 필요한 요소이지만, 공간적인 결맞음성으로 인해서 밝고 어두운 작은 알갱이 형태의 스페클(speckle) 영상이 최종적으로 재현된 홀로그램 영상에서 관찰된다. 이로 인해서 홀로그램 영상의 이미지 품질을 저하하는 원인이 되고 있으며, 이를 해결하기 위한 많은 방법들이 연구되어 왔다[1,2].

본 논문에서는 공간적인 결맞음성(spatial coherency)에 의한 스페클을 측정하기 위한 조건을 도출하고 시야창 방식을 응용하는 디지털 홀로그래픽 테이블 탑 형 디스플레이 시스템의 스페클 측정을 실시한다. 그리고, 측정을 정량화하기 위한 기준으로서 스페클 대조(speckle contrast)값으로부터 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서 측정된 스페클을 정량화한다.

2. 스페클 세기(intensity)와 대조(contrast)

결맞음성 광원을 이용하는 디지털 홀로그래픽 디스플레이에서의 스페클 측정에 있어서는 스페클의 세기(또는 강도, intensity)를 측정하는 것이 필요하다. 빛의 진행

과정을 설명하는 호이겐스(Huygens) 원리에 따라서 산란을 유발하는 매개체로부터의 2 차 형성 파는 다음과 같이 기술 할 수 있다 [1].

$$\frac{E'_{0n}}{r_n} e^{i(kr_n + \phi_n)} \quad (1)$$

$$E(B) = \sum_n \frac{E_{0n}}{r_n} e^{i(kr_n + \phi_n)} \quad (2)$$

위의 수식 (1)과 (2)에서 r 은 파면의 산란을 유발하는 공간상의 평면으로부터 관측 지점까지의 거리이며 관측지점을 나타내는 지점(B)에서의 파동(wave field)은 $E(B)$ 로 정의하며 E_0 는 산란이 시작된 지점에서의 파동을 나타낸다. 즉, 관측 지점에서의 파동은 산란이 시작된 점에서 관측지점에 까지 도달하는 각 1 차 파동의 합으로 표현할 수 있다. 확률이론에서의 중앙 극한 정리(central limit theorem)를 고려하면 상기 수식(2)를 아래와 같이 재 기술 할 수 있다.

$$E_n(r_n) = \frac{1}{\sqrt{N}} |E_{0n}| e^{i\theta_n} \quad (3)$$

수학적인 통계 분포를 바탕으로 하여 관측지점에서의 세기(intensity)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_I(I) = \begin{cases} \frac{1}{2\sigma^2} e^{-\frac{I}{2\sigma^2}} & \text{for } I > 0, \text{ and } -\pi \leq \phi \leq \pi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

따라서, 통계적인 분포를 이용하여 스페클의 세기를 정량화할 수 있으며 수식(4)와 같이 수학적으로 표현할 수 있다. 수식(4)로부터 스페클 세기(intensity)분포는 지수적으로 감소하는 확률 분포를 따르는 것을 알 수 있다. 단, 본 연구에서는 2 차 이상의 고차 산란 및 결맞음성이 떨어지는 빛을 고려하는 통계적인 정량화를 통한 세기 측정 부분에 대해서는 논외로 한다. 스페클 대조(speckle contrast)를 표준편차(standard deviation, σ) 및 스페클의 세기의 평균 값(mean, $\langle I \rangle$)으로부터 다음과 같이 표현할 수 있다 [2,3].

$$C = \frac{\sigma_I}{\langle I \rangle} \quad (5)$$

위에서 기술한 스페클 대조(speckle contrast)값을 바탕으로 하여 360 도 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이의 스페클 분포를 정량화 한다.

3. 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 스페클 측정

컬러 홀로그램의 스페클을 측정하기 위해서는 컬러 홀로그램을 공간 상에 재현하도록 설정하고 재현된 영상의 광량 및 스페클 영상 분포를 측정한다. 시야창 홀로그램 방식을 적용하는 테이블 탑 디스플레이 시스템의 특성을 고려하여 홀로그램 재현에 있어서 최종적으로 형성되는 가상의 공간 광변조기 평면에 광원의 산란을 유발하여 스페클 분포를 표현할 수 있는 특정영역을 포함하는 테스트 패턴으로부터 스페클 분포를 측정한다.

그림 1 에는 360 도 컬러 디지털 홀로그래픽 디스플레이 시스템과 이를 측정하기 위한 장치인 CCD(charge coupled device)가 위치하는 개략도가 나타나 있다.

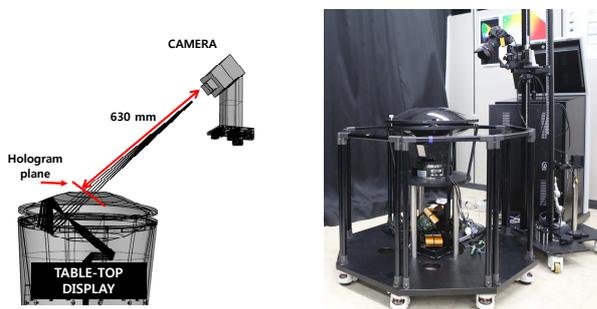


그림 1. 테이블탑 디스플레이 시스템의 스페클 측정 장치 개략도(좌) 및 360도 컬러 디지털홀로그래픽 디스플레이 시스템

그림 1 에는 테이블 탑 디스플레이 시스템에서의 스페클 측정을 위한 구성이 나타나 있다. 최종적인 홀로그램 평면(hologram plane)으로부터 진행하는 빛의 광축(optic axis)과 나란하게 CCD 카메라가 위치하며 각 광원의 색상에 따라 각각 스페클 분포의 세기 계측을 실시하고 최종적으로 수식 (5)에 나타나 있는 스페클 대조 값(speckle contrast

value)을 구한다.

광원은 COBOLT 사의 660 nm(적색광원의 파장), 532 nm(녹색광원의 파장), 473 nm(청색광원의 파장) 레이저를 사용하였으며, 최종 홀로그램 평면에서의 유효 픽셀 간격은 69.05 μm 이다. 스페클 측정 패턴에 대한 CGH(computer generated hologram)를 구하여, 각 색상의 광원에 대응되는 DMD(digital micro-mirror device)에 나타내고 최종적인 테스트 패턴에 대한 영상을 홀로그램 평면에 위치하도록 하여 스페클 대조 값을 계산한다. 그 결과는 그림 2 에 나타나 있다.

	청색(473 nm)	녹색(532 nm)	적색(660 nm)
CGH			
측정 결과			
스페클 대조값	65.23 %	61.23 %	63.52 %

그림 2. 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 각 광원별 스페클 측정 결과

그림 2 에는 그림 1 에 나타나 있는 컬러 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 각 색상에 따른 스페클 측정 결과가 나타나 있으며, 적색 63.52 %, 녹색 61.23%, 청색 65.23% 의 스페클 대조 값을 갖는 것을 확인 하였다.

4. 스페클 저감 기술 적용을 통한 스페클 분포 개선

최근 각 스펙트럼영역을 분할 및 중첩 연결하는 방법을 통하여 스페클을 저감할 수 있는 방법이 제안 되었으며, 시야창 방식의 홀로그램 생성에 있어서 스페클 저감 효과를 기대할 수 있게 되었다 [3]. 본 연구에서는 스페클 저감 기술을 360 도 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 적용하여 스페클 대조 값이 줄어들을 실험적으로 확인하였고 그 결과가 그림 3 에 나타나 있다.

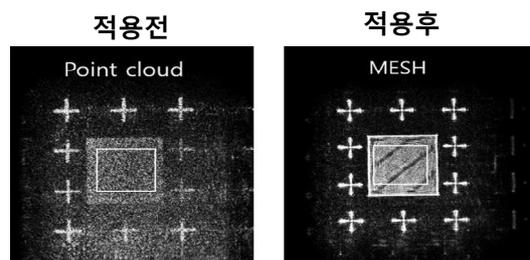


그림 3. 스페클 저감 기술 적용 전 후 확인 결과

5. 요약 및 향후 연구 진행 방향

본 연구에서는 시야창 방식의 360 도 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템에서의 스펙클 측정을 실시하여 스펙클 대조값으로부터 홀로그래픽 디스플레이 시스템의 스펙클 분포를 정량화 하였다. 또한, 스펙클 저감 기술의 적용을 통하여 스펙클 대조비 값이 개선될 수 있음을 확인 하였다. 향후 360 도 컬러 테이블 탑 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 대한 보다 더 다양한 관측점(또는 시점)에서의 각 광원에 따른 홀로그램 영상 측정을 반복하여 실시함으로써 객관적인 평가 방안 도출이 요구된다.

Acknowledgment

이 논문은 2018 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구임 (GK18D0100, 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발)

참고문헌

1. J. W. Goodman, *Speckle Phenomena in Optics: Theory and Applications*, Roberts and Company, (2007).
2. J. I. Trisnadi, *Proc. SPIE* 4657, 131–137 (2002).
3. S.-B. Ko, *Opt. Express* 25, 29788-29797 (2017).