

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0064478
(43) 공개일자 2020년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G03H 1/08 (2006.01) G03H 1/04 (2006.01)
G03H 1/26 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G03H 1/08 (2013.01)
G03H 1/268 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0150648
(22) 출원일자 2018년11월29일
심사청구일자 2018년11월29일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
박재형
경기도 군포시 금산로 91, 108동 1802호(산본동, 래미안 하이어스)
아스카리
인천광역시 미추홀구 한나루로477번길 75, 104호(용현동, 부평원룸)
(74) 대리인
양성보

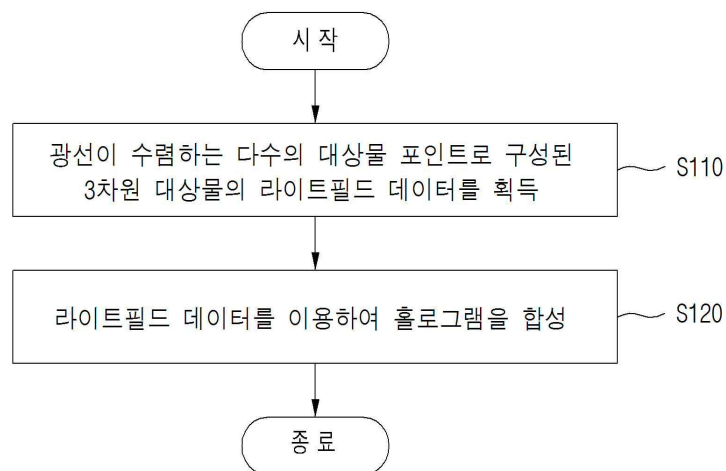
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 라이트필드의 비호겔방식 홀로그램 변환 방법 및 장치

(57) 요약

라이트필드의 비호겔방식 홀로그램 변환 방법 및 장치가 제시된다. 일 실시예에 따른 홀로그램 변환 방법은, 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 단계; 및 상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그램을 합성하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G03H 2001/0454 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711070421
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 대학ICT연구센터육성지원사업
연구과제명 홀로그램 융합기술 연구
기 여 율 1/2
주관기관 충북대학교 산학협력단
연구기간 2018.01.01 ~ 2018.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711073921
부처명 과학기술정보통신부
연구관리전문기관 정보통신기술진흥센터
연구사업명 범부처 Giga KOREA 사업
연구과제명 디지털 홀로그래픽 테이블탑형 단말 기술 개발
기 여 율 1/2
주관기관 한국전자통신연구원
연구기간 2018.03.01 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 단계; 및

상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래를 합성하는 단계를 포함하는, 홀로그래 변환 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래를 합성하는 단계는,

홀로그래 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그래를 구하는 것

을 특징으로 하는, 홀로그래 변환 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래를 합성하는 단계는,

최종 홀로그래는 상기 홀로그래 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)의 중첩이고, 상기 복소 가중치 분포를 조절하여 임의의 반송파를 가지는 상기 최종 홀로그래를 얻는 것

을 특징으로 하는, 홀로그래 변환 방법.

청구항 4

제2항에 있어서,

라이트필드에 포함된 깊이 정보를 이용하여 상기 대상물 포인트 각각으로 수렴하는 연속적인 파면(wave front)을 가지는 구형 반송파를 재구성하는 것

을 특징으로 하는, 홀로그래 변환 방법.

청구항 5

각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 라이트필드 데이터부; 및

상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래를 합성하는 홀로그래 합성부를 포함하고,

상기 홀로그래 합성부는,

홀로그래 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그래를 구하는 것

을 특징으로 하는, 홀로그래 변환 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 아래의 실시예들은 라이트필드(light field) 기반 컴퓨터 생성 홀로그램에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 라이트필드의 비호겔(non hogel)방식 홀로그램 변환 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 컴퓨터 생성 홀로그램(Computer Generated Hologram, CGH)은 홀로그래픽 3D(three-dimensional) 디스플레이(display), 홀로그래픽 프로젝터(holographic projector) 및 홀로그래픽 프린터(holographic printer) 등에 대한 콘텐츠(contents)를 생성하는 데 중요하다. 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기술에서, 대상물(object)의 3D 데이터는 다양한 형태로 표현되며 해당 복소 진폭이 합성된다.

[0003] 3D 데이터 표현의 한 형태는 라이트필드(light field)이다. 라이트필드 또는 광선 공간은 3D 대상물로부터 입사되는 광선의 공간-각도 분포이거나, 등가적으로 약간 다른 방향에서 관찰되는 3D 대상물에 대한 많은 수의 뷰(view)가 수집된 것이다. 라이트필드 기반 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기술은 렌더링 소프트웨어(rendering software)를 사용하는 컴퓨터 그래픽 객체 또는 라이트필드 카메라를 사용하는 실제 3D 장면에 대해 라이트필드 데이터를 쉽게 얻을 수 있다는 점에서 장점을 가진다. 보다 쉬운 교합(occlusion) 및 표면 각 반사율 처리는 라이트필드 기반 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기술의 또 다른 이점이다.

[0004] 대부분의 라이트필드 기반 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기법은 홀로그램 평면을 호겔(hogel)이라고 지칭되는 많은 겹쳐지지 않는 하위 영역으로 나눈다. 그런 다음, 각 호겔 내의 복소 진폭 분포가 계산되어 호겔 위치로부터 광선 또는 해당 뷰를 재구성한다.

[0005] 간단한 구현에서, 호겔 위치로부터의 뷰는 랜덤 위상 분포와 곱해지고, 푸리에 변환되어 대응하는 복소 진폭을 얻는다. 큰 깊이(depth)의 대상물에 대한 공간 해상도 손실을 감소시키기 위한 광선 샘플링 평면의 도입과 각 대상물의 깊이 분포를 고려하여 3D 대상물을 보다 사실적으로 표현하는 등 다양하고 정교한 기법들이 개발되었다. 그러나, 이러한 방법들은 여전히 호겔 기반의 구성에 의존하며, 따라서 이들은 대응하는 단점을 수반한다.

[0006] 이러한 호겔 기반 접근법들의 단점은 재구성의 공간 해상도와 각도 해상도를 교환한다는 것이다. 호겔 각각이 재구성의 3D 픽셀로서 기능하기 때문에, 더 나은 공간 해상도를 갖기 위해 더 작은 호겔 크기가 바람직하다. 이와 반대로, 재구성된 광선의 각도 해상도는 각각의 호겔 각각에 대한 홀로그램 샘플링 포인트의 수에 의해 결정된다. 따라서, 주어진 홀로그램 해상도 또는 홀로그램 평면의 샘플링 포인트의 총 수에 대해, 재구성의 공간 해상도와 각도 해상도 사이에 트레이드 오프(trade-off) 관계가 존재한다.

[0007] 호겔 기반 접근법의 또 다른 단점은 각 대상물 포인트에 대해 연속적인 파면을 재구성하는 것이 아니라, 다중 호겔로부터 수렴하는 이산 광선을 재구성한다는 것이다. 수렴하는 광선은 이상적인 구형파에 가깝기 때문에, 재구성은 대상물의 물리적으로 정확한 복소 필드에 해당하지 않는다. 또한, 서로 다른 호겔들로부터 재구성된 광선 사이의 위상 관계는 일반적으로 고려되지 않는다.

[0008] 호겔 기반 구성에 의존하지 않는 또 다른 유형의 라이트필드 기반 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기술들이 존재한다. 이 기술들은 각 대상물 포인트에 대해 연속 구형파를 재구성한다. 그러나, 이러한 기법들은 균일한 표면 위상 분포를 이용하여 3D 대상물을 재구성할 수 있기 때문에, 임의의 표면 위상 분포 또는 임의의 반송파를 사용하는 3D 대상물의 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 합성이 불가능하다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0009] (비특허문헌 0001) K. Gallo and G. Assanto, "All-optical diode based on second-harmonic generation in an asymmetric waveguide," J. Opt. Soc. Am. B 16(2), 267-269(1999).

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 실시예들은 라이트필드의 비호겔방식 홀로그램 변환 방법 및 장치에 관하여 기술하며, 보다 구체적으로 라이트

필드 데이터로부터 컴퓨터 생성 홀로그램을 합성하는 기술을 제공한다.

[0011] 실시예들은 호겔(hogel) 구성없이 홀로그램을 합성함으로써 각 대상물 포인트에 대해 연속적인 파면을 생성할 수 있는 라이트필드의 비호겔방식 홀로그램 변환 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 일 실시예에 따른 홀로그램 변환 방법은, 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 단계; 및 상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그램을 합성하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0013] 여기서, 상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그램을 합성하는 단계는, 홀로그램 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그램을 구할 수 있다.

[0014] 상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그램을 합성하는 단계는, 최종 홀로그램은 상기 홀로그램 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)의 중첩이고, 상기 복소 가중치 분포를 조절하여 임의의 반송파를 가지는 상기 최종 홀로그램을 얻을 수 있다.

[0015] 라이트필드에 포함된 깊이 정보를 이용하여 상기 대상물 포인트 각각으로 수렴하는 연속적인 파면(wave front)을 가지는 구형 반송파를 재구성할 수 있다.

[0016] 다른 실시예에 따른 홀로그램 변환 장치는, 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 라이트필드 데이터부; 및 상기 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그램을 합성하는 홀로그램 합성부를 포함하여 이루어질 수 있다. 여기서 상기 홀로그램 합성부는, 홀로그램 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 상기 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그램을 구할 수 있다.

발명의 효과

[0017] 실시예들에 따르면 각 대상물 포인트에 대해 연속적인 파면을 생성할 수 있다. 또한, 실시예들에 따르면 임의의 대상물 표면 위상 분포 또는 임의의 반송파를 처리할 수 있고, 다양한 종류의 반송파를 필요로 하는 다양한 응용 분야에서 활용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 일 실시예에 따른 홀로그램 변환 장치를 나타내는 블록도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 홀로그램 변환 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 홀로그램 합성에 사용된 정사영 뷰 이미지의 예를 나타낸다.

도 4는 일 실시예에 따른 합성된 홀로그램 및 재구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일 실시예에 따른 방법과 기존의 호겔 기반 방법의 재구성 해상도를 비교한 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 설명한다. 그러나, 기술되는 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명되는 실시예들에 의하여 한정되는 것은 아니다. 또한, 여러 실시예들은 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.

[0021] 아래의 실시예들은 새로운 라이트필드(light field) 기반 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH) 기술을 제안한다. 제안된 기술은 종래 기술과 같은 호겔(hogel) 기반 구성을 기반으로 하지 않는다. 이에 따라 공간 해상도 및 각도 해상도 사이의 트레이드 오프 관계를 가지지 않으므로, 실시예들은 각 대상물 포인트에 대해 연속적인 파면을 생성할 수 있다. 또한, 실시예들은 임의의 대상물 표면 위상 분포 또는 임의의 반송파를 처리할 수 있고, 다양한

종류의 반송파를 필요로 하는 다양한 응용 분야에서 활용될 수 있다.

[0022] 아래에서 제안된 방법의 원리가 라이트필드의 요구되는 샘플링 레이트에 대한 분석과 함께 설명된다. 수치 시뮬레이션과 광학 실험 결과가 제안된 방법의 검증을 위해 제시된다.

[0024] 도 1은 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 장치를 나타내는 블록도이다.

[0025] 도 1을 참조하면, 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 장치(100)는 라이트필드 데이터부(110) 및 홀로그래프 합성부(120)를 포함할 수 있다.

[0026] 라이트필드 데이터부(110)는 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터가 주어질 수 있다.

[0027] 홀로그래프 합성부(120)는 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래프를 합성할 수 있다. 여기서 홀로그래프 합성부(120)는 홀로그래프 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그래프를 구할 수 있다.

[0028] 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 장치(100)는 아래에서 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0030] 도 2는 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 방법을 나타내는 흐름도이다.

[0031] 도 2를 참조하면, 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 방법은, 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 방법은, 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터를 획득하는 단계(S110), 및 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래프를 합성하는 단계(S120)를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0032] 여기서, 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래프를 합성하는 단계(S110)는, 홀로그래프 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)과 복소 가중치 분포(complex weight distribution)를 적분하여 최종 홀로그래프를 구할 수 있다.

[0033] 실시예들은 라이트필드에 포함된 깊이 정보를 이용하여 대상물 포인트 각각으로 수렴하는 연속적인 파면(wave front)을 가지는 구형 반송파를 재구성할 수 있다.

[0034] 아래에서 하나의 예를 들어 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 방법을 설명한다.

[0036] 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 방법은 도 1에서 설명한 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 장치를 이용하여 보다 상세히 설명할 수 있다. 일 실시예에 따른 홀로그래프 변환 장치는 라이트필드 데이터부 및 홀로그래프 합성부를 포함할 수 있다.

[0037] 단계(S110)에서, 라이트필드 데이터부는 각각의 대상물 포인트에 광선이 수렴하는 다수의 대상물 포인트로 구성된 3차원 대상물의 라이트필드 데이터가 주어질 수 있다.

[0038] 홀로그래프 평면이라고 가정된 특정 평면의 라이트필드는 4차원 분포로 나타낼 수 있다. 쌍 공간적 위치(x, y)에서 홀로그래프 평면을 통과하는 광선의 실수 값 진폭을 공간 주파수 쌍(u, v)을 이용하여 라이트필드 데이터를 $L(x, y, u, v)$ 와 같이 나타낼 수 있다. 공간 주파수 쌍(u, v)은 광선이 $\sin \theta_x = \lambda u, \sin \theta_y = \lambda v$ 에 의해 x 축과 y 축으로 만드는 각도 쌍(θ_x, θ_y)과 관련되어 있으며, λ 는 파장이다. 각각의 대상물 포인트가 그 포인트에서 수렴하는 광선과 관련되어 있다는 것을 고려하면, 다수의 대상물 포인트로 구성된 3D 대상물에 해당하는 라이트필드는 다음 식과 같은 근축 근사법(under paraxial approximation)으로 주어질 수 있다.

[0039] [수학식 1]

$$L(x, y, u, v) = \sum_m a_m \delta \left(u + \frac{x - x_m}{\lambda z_m}, v + \frac{y - y_m}{\lambda z_m} \right)$$

[0040]

[0041] 여기서, 실수 진폭 a_m 를 가지는 m 번째 대상물 포인트는 (x_m, y_m, z_m) 에 위치한다.

[0042] 간략화를 위해 2차원 표현을 사용하는 제안된 방법의 원리가 후술되며, 이를 4차원으로의 확장은 간단하게 수행될 수 있다.

[0043] 단계(S120)에서, 홀로그래프 합성부는 라이트필드 데이터를 이용하여 홀로그래프를 합성할 수 있다. 여기서, 홀로그래프 합성부는 홀로그래프 평면에서 $x=x_c$ 로부터 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude) $H(x; x_c)$ 과 복소 가중치 분포(complex weight distribution) $W(x_c)$ 를 적분하여 최종 홀로그래프를 구할 수 있다. 또한, 홀로그래프 합성부는 최종 홀로그래프 $H(x)$ 은 홀로그래프 평면에서 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude) $H(x; x_c)$ 와 복소 가중치 분포(complex weight distribution) $W(x_c)$ 의 중첩이고, 복소 가중치 분포 $W(x_c)$ 를 조절하여 임의의 반송파를 가지는 최종 홀로그래프 $H(x)$ 을 얻을 수 있다. 아래에서 예를 들어 설명한다.

[0044] 3차원 대상물의 라이트필드 데이터 $L(x, u)$ 이 주어지면, 제안된 방법은 다음 식과 같이 홀로그래프 $H(x)$ 를 합성할 수 있다.

[0045] [수학식 2]

$$H(x) = \int H(x; x_c) W(x_c) dx_c$$

[0046]

[0047] 위 식에서, $H(x; x_c)$ 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

[0048] [수학식 3]

$$H(x; x_c) = \int L\left(\frac{x+x_c}{2}, u\right) \exp[j2\pi u(x-x_c)] du$$

[0049]

[0050] [수학식 2]에서, $W(x_c)$ 은 후술될 원하는 반송파와 관련되어 있는 복소 값 가중치(complex valued weight)이다.

[0051] [수학식 2]와 [수학식 3]에 의해 주어진 제안된 방법을 검증하기 위해, 다음 식과 같이 [수학식 1]을 [수학식 3]으로 치환할 수 있다.

[0052] [수학식 4]

$$\begin{aligned} H(x; x_c) &= \int \sum_m a_m \delta\left(u + \frac{\frac{x+x_c}{2} - x_m}{\lambda z_m}\right) \exp[j2\pi u(x-x_c)] du \\ &= \sum_m a_m \exp\left[-j \frac{\pi}{\lambda z_m} (x-x_m)^2\right] \exp\left[j \frac{\pi}{\lambda z_m} (x_c-x_m)^2\right] \end{aligned}$$

[0053]

[0054] [수학식 4]의 두 번째 행에서, 첫 번째 exp 항은 (x_m, z_m) 으로 수렴하는 구형파를 나타내며, 두 번째 exp 항은 홀로그래프 평면의 $x=x_c$ 에 위치하는 포인트 소스(광원)에 의해 조명될 때, 대상물 포인트 (x_m, z_m) 에서의 위상 값이다.

[0055] 따라서, [수학식 3]의 $H(x; x_c)$ 은 홀로그래프 평면에서 $x=x_c$ 로부터 나오는 구형 반송파에 의해 조명되는 3차원 대상물의 복소 진폭(complex amplitude)이다. [수학식 2]의 최종 홀로그래프 $H(x)$ 은 $H(x; x_c)$ 와 복소 가중치 분포(complex weight distribution) $W(x_c)$ 의 중첩이다. 따라서 [수학식 2]의 $W(x_c)$ 를 조절하여 임의의 반송파를 가지는 홀로그래프 $H(x)$ 을 얻는 것이 가능하다.

[0056] 실시예들에 따르면 이상 광선 세트를 재구성하는 종래의 호겔 기반 방법들과 달리, $H(x; x_c)$ 는 대상물 포인트 각각으로 수렴하는 연속적인 파면을 가지는 구형파를 재구성할 수 있다.

[0057] 또한, 실시예들은 라이트필드로부터 명시적인(explicit) 깊이 추출(depth extraction)을 요구하지 않는다. 라이트필드에 포함된 깊이 정보([수학식 1])는 제안된 방법([수학식 3])에 의해 활용되어 연속적인 파면을 가지는 복소 필드를 형성할 수 있다([수학식 4]). 따라서, 제안된 방법은 라이트필드 데이터로부터의 명시적인(explicit) 깊이 추출로부터 발생하는 에러와 무관하다.

[0059] 아래에서는 상술한 방법을 보다 효율적으로 계산하는 방법을 설명한다.

[0060] [수학식 2]와 [수학식 3]에 의해 주어지는 제안된 방법은 x_c 축과 u 축에 대해 $L(x, u)$ 의 2차원 적분(이중 적분)이 필요하다. y 축과 v 축을 포함하는 4D 경우, 많은 연산이 소요되는 4D 적분이 필요하다. 그러나 제안된 방법의 구현은 푸리에 변환을 사용하여 효율적인 계산을 달성하기 위해 수정될 수 있다.

[0061] 변수 x 와 x_c 를 t 와 τ 로 변환할 수 있다.

[0062] [수학식 5]

$$t = \frac{x + x_c}{2}, \tau = x - x_c \quad \text{or} \quad x = t + \frac{\tau}{2}, x_c = t - \frac{\tau}{2}$$

[0063]

[0064] [수학식 3]의 $H(x; x_c)$ 은 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

[0065] [수학식 6]

$$\begin{aligned} H(x; x_c) &= H\left(t + \frac{\tau}{2}; t - \frac{\tau}{2}\right) = \int L(t, u) \exp[j2\pi u \tau] du \\ &= \tilde{L}(t, \tau) = \tilde{L}\left(\frac{x + x_c}{2}, x - x_c\right) \end{aligned}$$

[0066]

[0067] 위 식에서, $\tilde{L}(t, \tau)$ 은 u 축에 대한 $L(t, u)$ 의 1차원 푸리에 변환이다. [수학식 2]의 마지막 홀로그램 $H(x)$ 은 다음 식과 같이 획득될 수 있다.

[0068] [수학식 7]

$$H(x) = \int \tilde{L}\left(\frac{x + x_c}{2}, x - x_c\right) W(x_c) dx_c$$

[0069]

[0070] $H(x)$ 은 대응하는 복소 가중치를 갖는 그리드 $t=(x+x_c)/2$, $\tau=x-x_c$ 에서 $\tilde{L}(t, \tau)$ 의 단순한 누적이다. $\tilde{L}(t, \tau)$ 가 1차원 고속 푸리에 변환 알고리즘을 이용하여 얻어질 수 있고 단일 번의 연산을 필요로 하므로, 연산의 전체 과정이 효율적으로 구현될 수 있다.

[0072] 샘플링 간격 Δx 와 샘플 수 N_x 를 가지는 마지막 홀로그램 $H(x)$ 를 얻어내기 위하여, 라이트필드 $L(t, u)$ 의 샘플링 간격 Δt 와 샘플 수 N_t 가 만족되어야 할 수 있다.

[0073] [수학식 8]

$$\Delta t = \Delta x, \quad N_t = N_x$$

[0074]

[0075] [수학식 7]에서 주어진 푸리에 변환 관계를 고려해보면, 라이트필드 $L(t, u)$ 의 각도 축 또는 공간 축을 따르는 샘플링 간격 Δu 와 샘플 수 N_u 곱은 다음 식과 같은 관계를 만족할 수 있다.

[0076] [수학식 9]

$$\Delta u N_u = \frac{1}{\Delta x} = \frac{\sin \theta_{full}}{\lambda}$$

[0077] 여기서, θ_{full} 는 홀로그램 재구성 또는 라이트필드의 전체 각도 범위이다.

[0079] 라이트필드의 샘플링 요구 사항은 대상물과의 관계에서도 찾을 수 있다. 공간 대역폭 B_x 및 깊이 z 의 평면 대상물에 대응하는 라이트필드 $L(t, u)$ 의 공간 대역폭 B_t 및 각도 대역폭 B_u 은 다음 식과 같이 주어질 수 있다.

[0080] [수학식 10]

$$B_t = B_x, \quad B_u = \lambda |z| B_x$$

[0082] [수학식 11]

$$\Delta t \leq \frac{1}{B_x}, \quad \Delta u \leq \frac{1}{\lambda |z| B_x}$$

[0084] [수학식 8], [수학식 9] 및 [수학식 11]에 따라, 라이트필드 $L(t, u)$ 의 각도 방향으로 요구되는 샘플 수 N_u 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

[0085] [수학식 12]

$$N_u \geq \lambda |z| B_x^2$$

[0087] 요약하면, 라이트필드 $L(t, u)$ 가 [수학식 11]과 [수학식 12]를 만족하는 경우, 제안된 방법에 의한 에일리어싱(aliasing) 없이 해당 대상물의 홀로그램 $H(x)$ 를 합성할 수 있다.

[0088] [수학식 11]과 [수학식 12]는 Δu 와 N_u 에 대한 각도 샘플링 요구 사항이 홀로그램 평면에서 대상물의 절대 깊이 $|z|$ 에 의존한다는 것을 나타낸다. 각도 샘플링 요구를 크게 증가시키지 않으면서 넓은 깊이 범위를 커버하기 위해, 제안된 방법을 사용하여 개별 대상물 주위의 복소 진폭을 합성한 다음, (종래의 호겔 기반 방법과 같이) 공통 홀로그램 평면에서 전파 및 집계하는 것이 가능하다.

[0089] 이상과 같이, 실시예들은 라이트필드 데이터로부터 컴퓨터 생성 홀로그램을 합성하는 새로운 방법을 제안할 수 있다. 라이트필드 또는 광선 공간(ray space)은 3차원 장면에서 나오는 광선의 공간-각도 분포이며, 이는 서로 다른 관찰 방향에서 많은 수의 뷰를 사용하여 표현될 수도 있다. 실시예들은 기존의 방법과 달리, 제안된 방법은 연속적인 파면(wave front)을 갖는 각 대상 포인트에 대해 수렴 구면파를 생성하는 호겔(hogel) 구성없이 홀로그램을 합성한다.

[0090] 따라서, 실시예들은 종래의 호겔 기반 접근법과 같은 각도 해상도로 공간 해상도를 교환하지 않는다. 또한, 실시예들은 임의의 위상 라이트필드뿐만 아니라 대응하는 반송파를 가지는 임의의 위상 분포에 대해서도 작용한다. 이에 따라 실시예들은 다양한 응용 분야에서 홀로 그래픽 콘텐츠를 합성하는 데 유용하다. 이러한 실시예들은 3차원 대상물의 성공적인 재구성을 보여주는 시뮬레이션 및 광학 실험에 의해 검증된다.

[0092] 도 3은 일 실시예에 따른 홀로그램 합성에 사용된 정사영 뷰 이미지의 예를 나타낸다.

[0093] 또한, 도 4는 일 실시예에 따른 합성된 홀로그램 및 재구성을 설명하기 위한 도면이다.

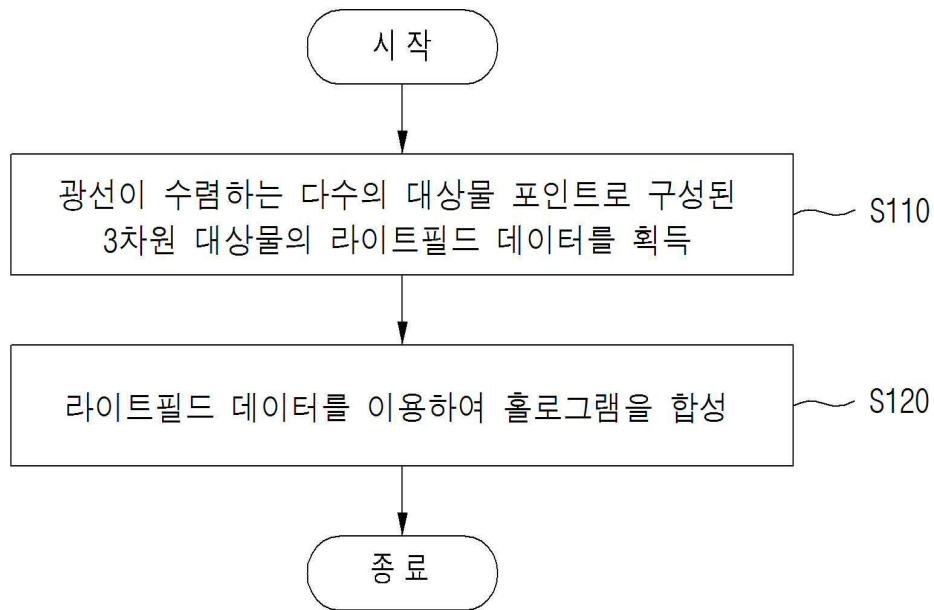
[0094] 도 4를 참조하면, 1열 및 2 열은 합성된 홀로그램의 진폭 및 위상을 나타내고, 3 열은 각도 스펙트럼, 즉 홀로그램의 푸리에 변환의 진폭을 나타낸다. 그리고 4 열 및 5 열은 $z = -3\text{mm}$ 및 2mm 에서의 수치 재구성을 나타낸다. 여기서, 각 행은 다른 반송파에 해당된다.

[0095] 도 5는 일 실시예에 따른 방법과 기존의 호겔 기반 방법의 재구성 해상도를 비교한 결과를 나타낸다.

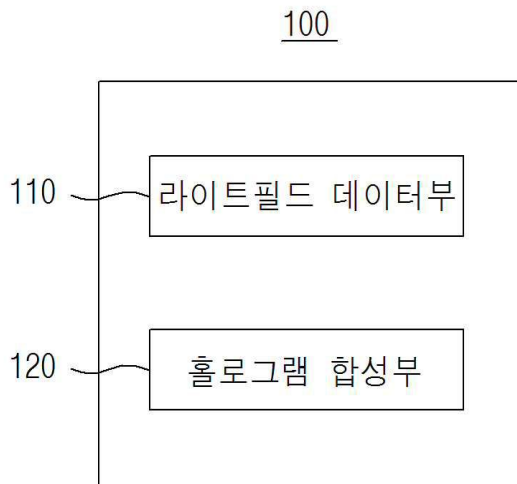
- [0096] 도 5를 참조하면, 두 경우 모두 10x10 정사영 뷰 이미지가 사용되며, 홀로그램의 해상도는 1000(H)x1060(V)이다. 대상물, 즉 해상도 타겟 패턴은 홀로그램 평면으로부터 1.9mm만큼 떨어져 있다.
- [0097] 도 5의 (a) 제안된 방법 및 (b) 종래의 호겔 기반 방법에 대한 홀로그램의 진폭 및 위상 및 $z = 1.9\text{mm}$ 에서의 수치 재구성을 나타낸다.
- [0099] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 컨트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPA(field programmable array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0100] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0101] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.
- [0102] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0103] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

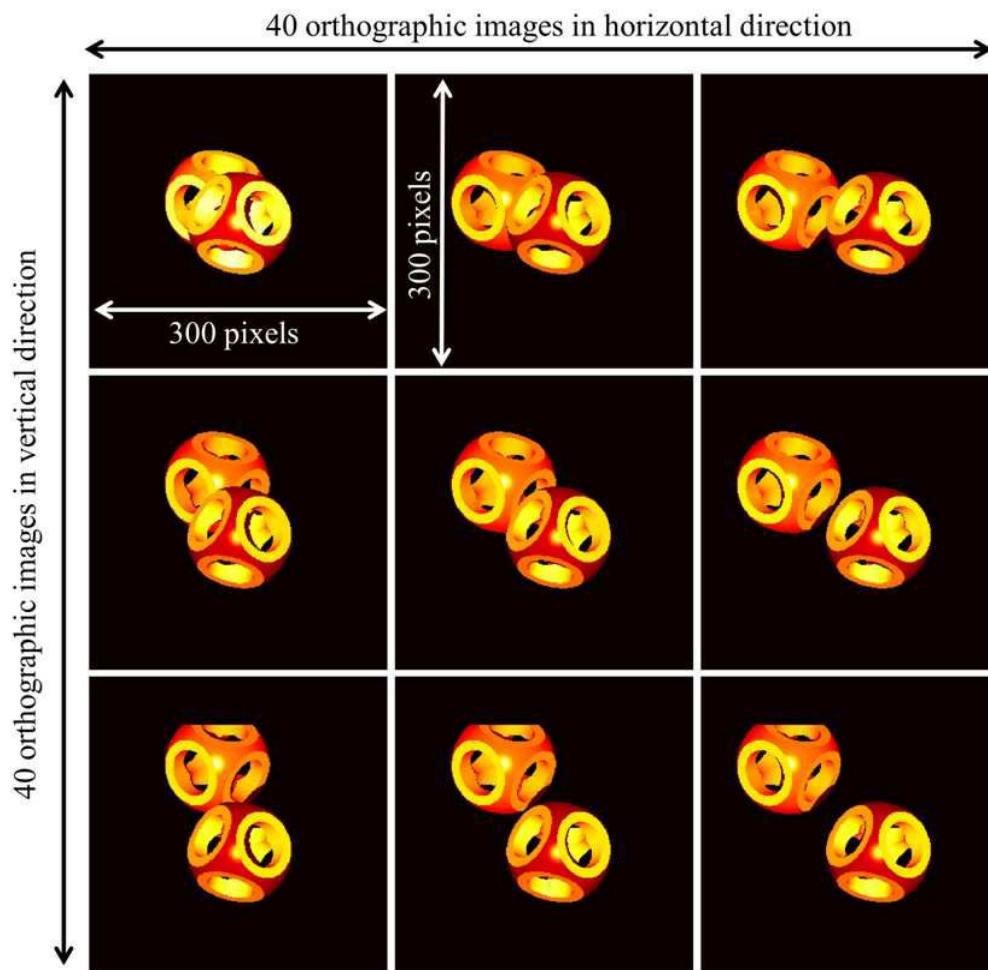
도면1



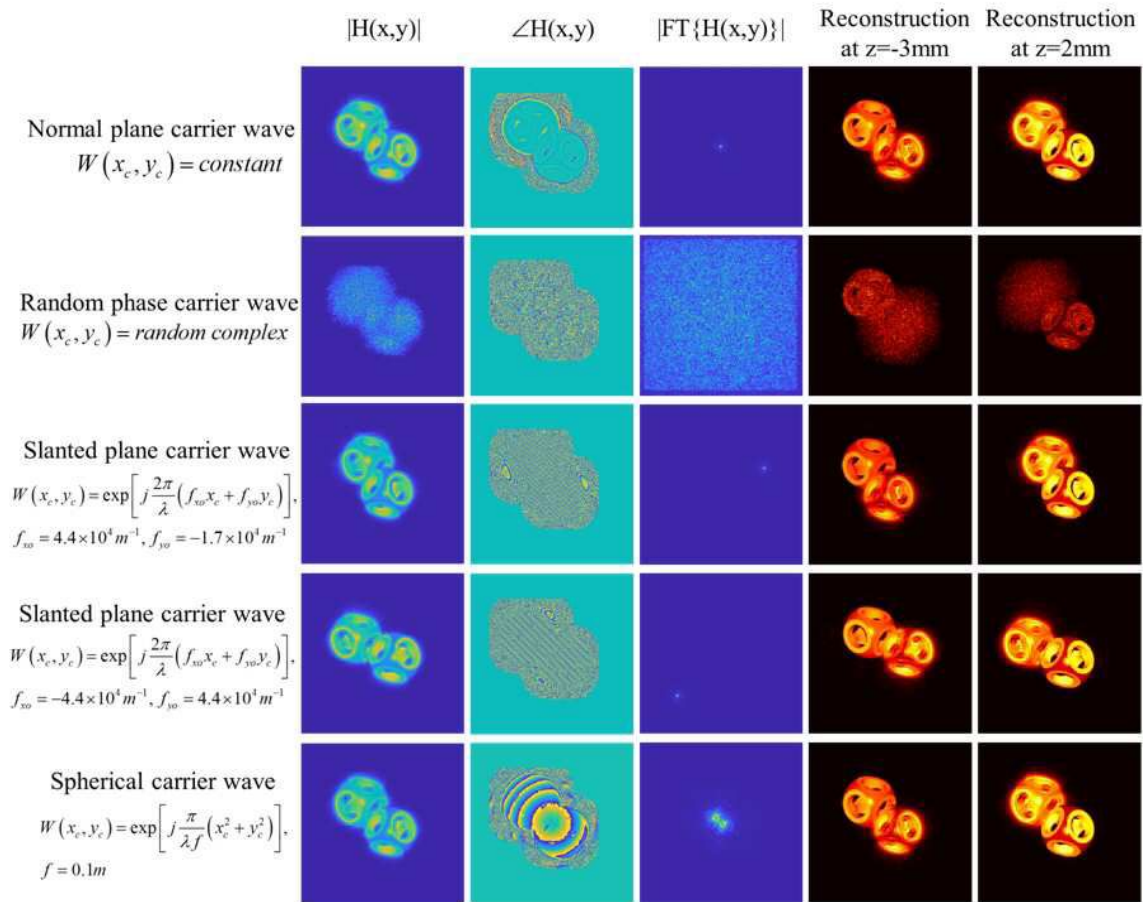
도면2



도면3



도면4



도면5

