



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년06월01일
(11) 등록번호 10-2539365
(24) 등록일자 2023년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/01 (2006.01) G02B 17/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 27/0172 (2013.01)
G02B 17/086 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-7027636
(22) 출원일자(국제) 2015년03월05일
심사청구일자 2020년03월02일
(85) 번역문제출일자 2016년10월05일
(65) 공개번호 10-2016-0134714
(43) 공개일자 2016년11월23일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/018951
(87) 국제공개번호 WO 2015/134740
국제공개일자 2015년09월11일
(30) 우선권주장
61/948,226 2014년03월05일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20120081800 A1*
KR1020130139280 A*
Douglas Lanman et al., "Near-Eye Light Field Displays", ACM, November 2013, Vol.32, No.6, 220:1~10*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
아리조나 보드 오브 리전츠 온 비헤프 오브 더 유니버시티 오브 아리조나
미국 애리조나 85701 투손 4층 6번 스트리트 220 더블유
유니버시티 오브 코네티컷
미국 코네티컷 06032 파밍턴 엠씨 6400 파밍턴 애비뉴 400 오피스 오브 더 바이스 프레지던트 포 리써치
(72) 발명자
후아 홍 닥터
미국 아리조나주 85721 투손 이스트 유니버시티 불러바드 1630 갈리지 오브 옵티컬 사이언스 자비디 바흐람 닥터
미국 코네티컷주 06269-4157 스토크스 유니트 4157 페어필드 로드 371 엘렉트리컬 앤 컴퓨터 엔지니어링 디파트먼트 유니버시티 오브 코네티컷
(74) 대리인
김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 20 항

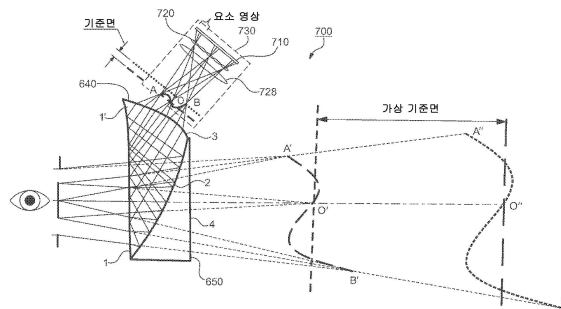
심사관 : 장혜정

(54) 발명의 명칭 가변 초점 및/또는 객체 인식 기능을 가진 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이

(57) 요약

3D 적분 영상 옵티クス를 포함하는 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이 및 방법을 제공한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G02B 2027/0127 (2013.01)

G02B 2027/0134 (2013.01)

G02B 2027/0185 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

3D 증강 현실 디스플레이에 있어서,

사용자에게 디스플레이하기 위해 가상 3D 영상을 제공하는 마이크로디스플레이와,

상기 마이크로디스플레이로부터 광학 복사선을 수신하고 가변 초점 디스플레이 옵틱스에 의해 변화가능한 위치에서 상기 수신된 복사선의 3D 부피를 갖는 3D 라이트필드(lightfield)를 생성하도록 구성된 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스와,

상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스와 광학적으로 통신하고 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스로부터 상기 3D 라이트필드의 부피를 수신하도록 구성되고, 확대된 3D 부피를 갖는 상기 3D 라이트필드의 확대된 가상 영상을 가상 기준면에서 생성하도록 구성되고, 상기 확대된 가상 영상의 상기 확대된 3D 부피를 상기 3D 증강 현실 디스플레이의 사출 동공(exit pupil)에 전달하도록 구성된 아이피스를 포함하는 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스는 액정 렌즈, 유체 렌즈, 멤브레인 미러 또는 복굴절 렌즈 중 하나 이상을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 3

제1항에 있어서, 장면으로부터 정보를 수신하도록 구성된 이미징 장치를 더 포함하는 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 4

3D 증강 현실 디스플레이에 있어서,

사용자에게 디스플레이하기 위해 가상 3D 영상을 제공하는 마이크로디스플레이와,

상기 마이크로디스플레이로부터 광학 복사선을 수신하고 상기 수신된 복사선의 3D 부피를 갖는 3D 라이트필드를 생성하도록 구성된 디스플레이 옵틱스와,

상기 디스플레이 옵틱스와 광학적으로 통신하고 상기 디스플레이 옵틱스로부터 상기 3D 라이트필드의 부피를 수신하도록 구성되고, 확대된 3D 부피를 갖는 상기 3D 라이트필드의 확대된 가상 영상을 가상 기준면에서 생성하도록 구성되고, 상기 확대된 가상 영상의 상기 확대된 3D 부피를 상기 3D 증강 현실 디스플레이의 사출 동공에 전달하도록 구성된 아이피스와,

장면으로부터 정보를 수신하도록 구성된 이미징 장치를 포함하는 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 5

제3항에 있어서, 상기 이미징 장치는 카메라를 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 6

제3항에 있어서, 상기 이미징 장치는 인테그럴 이미징 영상 포착 시스템을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 7

제3항에 있어서, 상기 이미징 장치는 축방향으로 분산된 이미징을 이용하는 3D 이미징 포착 시스템을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 8

제3항에 있어서, 상기 이미징 장치는 물체 인식을 수행하기 위해 상기 이미징 장치에 의해 수신된 정보를 분석하는 정보 포착 유닛을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 이미징 장치는 분석된 정보를 상기 마이크로디스플레이에 제공하기 위해 상기 마이크로디스플레이와 통신하도록 배치된 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 10

제3항에 있어서, 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스는 피사계 심도와 관련하여 향상된 성능을 제공하도록 구성되는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 11

제3항에 있어서, 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스는 인테그럴 이미징 옵틱스를 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 12

제3항에 있어서, 상기 아이피스는 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스로부터 3D 라이트필드를 수신하고 수신된 복사선을 상기 사출 동공에 반사하도록 구성된 선택된 표면을 포함하며, 상기 선택된 표면은 또한, 상기 마이크로디스플레이 이외의 소스로부터의 광학 복사선을 수신하고 그 광학 복사선을 상기 사출 동공에 송신하도록 구성되는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 13

제3항에 있어서, 상기 아이피스는 자유형식 프리즘 형상을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 14

제3항에 있어서, 상기 아이피스는 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스로부터 광학 복사선을 수신 및 굴절시키도록 구성된 제1 표면 및 상기 제1 표면으로부터 상기 굴절된 광학 복사선을 수신하도록 구성된 제2 표면을 포함하고, 상기 제2 표면은 상기 광학 복사선을 상기 아이피스의 제3 표면으로 반사하도록 구성되며, 상기 제3 표면은 상기 제2 표면으로부터 반사된 상기 광학 복사선을 상기 사출 동공으로 반사하도록 구성된 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 아이피스의 상기 제3 표면에 인접하게 배치된 보정기(corrector) 렌즈를 더 포함하는 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 16

제3항에 있어서, 상기 아이피스의 하나 이상의 표면은 회전적으로 비대칭인 표면을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 17

제3항에 있어서, 상기 아이피스는 썸기(wedge) 형상을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 18

제3항에 있어서, 상기 아이피스는 수학적

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j x^m y^n \quad j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

에 의해 표시되는 표면을 포함하고, 위 식에서, z는 로컬 x, y, z 좌표계의 z축을 따라 측정된 자유형식 표면의

새그(sag)이고, c는 정점 곡률(CUY)이고, r은 반경 거리이고, k는 원뿔 상수이고, C_j는 x^myⁿ에 대한 계수인 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 19

제3항에 있어서, 상기 가변 초점 디스플레이 옵틱스는 홀로그래픽 디스플레이, 다층 연산 라이트필드 디스플레이 및 체적 측정(volumetric) 디스플레이 중 하나 이상을 포함하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 20

제3항에 있어서, 상기 3D 라이트필드는 완전 시차를 제공하는 것인 3D 증강 현실 디스플레이.

청구항 21

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원

[0002] 이 출원은 2014년 3월 5일자 출원된 미국 가특허 출원 제61/948,226호의 우선권의 이익을 주장하며, 상기 가특허 출원은 인용에 의해 그 전체 내용이 본원에 통합된다.

[0003] 정부 허가권

[0004] 본 발명은 미국 국립 과학 재단(National Science Foundation)에 의해 수여된 허가 번호 제14-22653호 및 제 14-22179호 하에 정부 지원으로 이루어졌다. 정부는 본 발명에 대하여 임의의 권리를 갖는다.

[0005] 발명의 분야

[0006] 본 발명은 일반적으로 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이에 관한 것으로, 특히, 그러나 비배타적으로, 선택적 가변 초점 및/또는 물체 인식 기능이 있는 3D 집적 영상(InI) 옵틱스를 포함한 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이에 관한 것이다.

배경 기술

[0007] 사람의 실세계 뷰에 2D 또는 3D 디지털 정보를 오버레이할 수 있는 증강 현실(AR) 디스플레이는 우리가 디지털 정보를 인지하고 디지털 정보와 상호작용하는 방법을 재정의하기 위한 변환 기술로서 오랫동안 묘사되어 왔다. 비록 몇 가지 유형의 AR 디스플레이 장치가 개발되었지만, 원하는 형태의 AR 디스플레이는 경량의 광학적 시스템 머리 장착형 디스플레이(optical see-through head-mounted display, OST-HMD)이고, 이것은 물리적 세계의 직접적인 시계(direct view) 위에 디지털 정보의 광학적 중첩을 가능하게 하고 실세계에 대한 시스템 광경을 유지한다. 무선 네트워크의 급속히 증가된 대역폭, 전자 장치의 소형화 및 널리 유행하고 있는 클라우드 컴퓨팅에 의해, 현재 난제 중의 하나는 OST-HMD, 스마트폰 및 모바일 컴퓨팅을 한 쌍의 안경알의 부피 내에 통합한 눈에 거슬리지 않는 AR 디스플레이를 실현하는 것이다.

[0008] 이러한 AR 디스플레이는, 만일 이용 가능하다면, 많은 실용 분야를 혁명화할 잠재성이 있고, 의료, 국방 및 보안, 제조, 운송, 교육 및 오락 분야를 포함한 생활 구조에 파고들 것이다. 예를 들면, 의료 분야에 있어서, AR 기술은 의사가 수술을 하는 동안 환자의 복부에 중첩된 환자의 CT 영상을 볼 수 있고; 모바일 컴퓨팅 분야에서는 여행자가 길거리를 다니면서 그들의 시야 내의 식당을 검토할 수 있게 하며; 군사 훈련 분야에서는 전투원이 3D 가상물체를 실제 훈련 환경에 혼합시키는 환경에서 효과적으로 훈련할 수 있게 한다.

[0009] 전형적으로, AR 기술의 가장 중요한 장벽은 디스플레이에 의해 규정된다. 고성능이고 소형이며 가격이 저렴한 AR 디스플레이의 부족은 AR 기술에 의해 잠재적으로 제공되는 이익의 완전한 범위를 개발하는 능력을 제한한다. 최근에 상당한 연구 및 마켓 드라이브(market drive)는 주로 소형 및 경량 폼팩터를 달성하는데 초점을 맞추어서 OST-HMD 시스템의 성가신 헬멧형 폼팩터를 극복하는 쪽으로 이루어지고 있다. 몇 가지 광학적 기술이 개발되어 OST-HMD에 있어서 상당한 진보가 이루어졌다. 예를 들면, 잘 알려져 있는 구글 글래스®는 디지털 정보에 대한 장애물 없는 순간 접근의 이익을 제공하는 매우 작고 경량(약 36그램)인 단안용 OST-HMD이다. 비록 이것이

AR 디스플레이의 기대되고 고무적인 미래 전망을 나타내고 있지만, 구글 글래스®의 현재 버전은 FOV가 매우 좁고(대각선으로 약 15° FOV) 영상 해상도가 640x360 픽셀이다. 이것은 많은 응용에서 실세계 뷰를 효과적으로 증강하는 능력을 제한한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 이러한 기대에도 불구하고, 기존의 OST-HMD에서는 AR 디스플레이의 시각적 불편함과 같은 다수의 문제점이 남아 있다. 따라서, 저가, 고성능, 경량 및 진정한(true) 3D OST-HMD 시스템을 달성하면서 개선된 시각적 안락함을 제공하는 OST-HMD를 제공하는 것이 기술의 진보가 될 것이다.

과제의 해결 수단

[0011] 일 양태에 있어서, 본 발명은 사용자에게 디스플레이하기 위해 가상 3D 영상을 제공하는 마이크로디스플레이를 가진 3D 증강 현실 디스플레이를 제공할 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 광학적 접근법은 AR 디스플레이 시스템의 광학 경로를 마이크로-InI 서브시스템의 광학 경로와 독특하게 결합하여 3D 라이트필드(lightfield) 광원을 제공할 수 있다. 이 접근법은 조절-수렴(accommodation-convergence) 불일치 문제를 견딜 수 있는 AR 디스플레이를 달성할 잠재성을 제공한다. 자유형식(freeform) 광학 기술에 힘입어서, 이 접근법은 경량이면서 소형인 OST-HMD 솔루션을 또한 생성할 수 있다.

[0012] 이와 관련하여, 본 발명의 하나의 예시적인 구성에서는 디스플레이 옵틱스가 마이크로디스플레이로부터 광학 복사선을 수신하기 위해 제공되고, 3D 라이트필드, 즉 수신된 복사선으로부터 진정한 광학적으로 재구성된 3D 실물 또는 가상 물체를 생성하도록 구성될 수 있다(여기에서 사용하는 용어 "3D 라이트필드"는 3D 장면의 인지력을 생성하도록 3D 장면에 의해 방출되도록 나타나는 광선들의 집합을 포함한 3D 장면의 복사선장(radiation field)을 의미하는 것으로 정의된다). 디스플레이 옵틱스와 광학적으로 통신하는 아이피스(eyepiece)가 또한 포함될 수 있고, 아이피스는 디스플레이 옵틱스로부터 3D 라이트필드를 수신하고 수신된 복사선을 가상 디스플레이 경로를 제공하도록 시스템의 사출 동공에 전달하도록 구성된다. 아이피스는 디스플레이 옵틱스로부터 3D 라이트필드를 수신하고 수신된 복사선을 가상 디스플레이 경로를 제공하도록 시스템의 사출 동공에 반사하도록 구성된 선택된 표면을 포함할 수 있다. 선택된 표면은 마이크로디스플레이가 아닌 다른 소스로부터의 광학 복사선을 수신하고 그 광학 복사선을 시스템의 사출 동공에 전송하도록 또한 구성될 수 있다. 아이피스는 자유형식 프리즘 형상을 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 구성에 있어서, 디스플레이 옵틱스는 집적 영상 옵틱스(integral imaging optics)를 포함할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 전술한 요약 및 본 발명의 예시적인 실시형태에 관한 이하의 상세한 설명은 첨부 도면과 함께 읽을 때 더 잘 이해할 수 있을 것이다.

도 1a 내지 도 1c는 단안식 AR 디스플레이(도 1a); 양안식 디스플레이(도 1b); 및 실물 주시(도 1c)에서 조절-수렴 큐(cue)를 개략적으로 보인 도이다.

도 2는 극미 집적 영상(InI) 유닛, 시스템 옵틱스 및 아이피스를 포함한, 본 발명에 따른 예시적인 3D-OST-HMD 시스템의 개략적 블록도이다.

도 3은 본 발명의 장치 및 방법에서 사용하기 위한 3D 장면의 3D 라이트필드를 생성하는 극미 InI 유닛의 개략도이다.

도 4는 가상 라이트필드가 텔레센트릭인 경우에 3D 장면의 3D 라이트필드를 생성하는 본 발명에 따른 다른 예시적인 극미 InI(마이크로-InI) 유닛의 개략도이다.

도 5는 3D 장면의 가상 라이트필드를 생성하기 위해 종래의 아이피스 옵틱스와 마이크로-InI 유닛을 통합한, 본 발명에 따른 예시적인 머리 장착형 3D 집적 영상 디스플레이 시스템의 개략도이다.

도 6a 내지 도 6c는 자유형식 광학 기술을 이용하는 본 발명에 따른 3D 증강 현실 광학 시스템 HMD의 예시적인 설계를 개략적으로 보인 도로서, 도 6a는 3D 라이트필드 디스플레이의 예시적인 자유형식 아이피스를 보인 도이고, 도 6b는 시축 편차 및 수차를 보정하기 위한 예시적인 자유형식 보정기 렌즈를 보인 도이며, 도 6c는 통합

형 광학 레이아웃 및 광선 추적법을 보인 도이다.

도 6d는 가변 초점 요소를 포함한 본 발명에 따른 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD의 예시적인 설계를 보인 개략도이다.

도 6e는 3D 및/또는 2D 물체 인식을 포함한 본 발명에 따른 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD의 예시적인 설계를 보인 개략도이다.

도 7은 본 발명에 따른 예시적인 마이크로-InI 모듈 및 아이피스의 개략도이다.

도 8은 본 발명에 따른 마이크로디스플레이, 마이크로렌즈 어레이, 마이크로-InI에 의해 재구성된 3D 장면, 및 자유형식 아이피스의 예시적인 원형(prototype)을 보인 도이다.

도 9는 발명의 특수한 시연에서 사용되는 경험적 "3D" 영상을 보인 도이다.

도 10a 내지 도 10d는 카메라가 4m에서 집속된 경우(도 10a), 30cm에서 집속된 경우(도 10b), 사출 동공의 좌측으로 이동한 경우(도 10c), 및 사출 동공의 우측으로 이동한 경우(도 10d)에 도 8의 원형의 아이피스에 배치된 디지털 카메라에 의해 포착된 영상들을 보인 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] HMD의 현재 상업적 개발에도 불구하고, AR 디스플레이의 시각적 불편함을 최소화하는 난제를 다루는 데에는 매우 제한적인 노력만이 행하여지고 있고, 이것은 사용 기간 연장을 요구하는 응용에서 중요한 관심사이다. 시각적 불편함을 야기하는 핵심적인 요인들 중의 하나는 디스플레이된 디지털 정보와 실세계 장면 간의 조절-수렴 불일치이며, 이것은 대부분의 기존 AR 디스플레이에 고유한 기초적인 문제점이다. 조절 큐(accommodation cue)는 섬모체근이 수정체의 굴절력을 변화시켜서 장면의 응시 깊이(fixated depth)에 대한 흐림 정도를 최소화하는 눈의 초점 동작을 말한다. 눈의 조절 변화와 관련이 있는 것은 눈의 응시점으로부터 더 가깝거나 더 먼 지점까지의 거리에 따라 변하는 영상 흐림 효과라고 부르는 망막 영상 흐림 큐이다. 조절 및 망막 영상 흐림 효과는 함께 포커스 큐라고 알려져 있다. 수렴 큐는 근거리 또는 원거리에 있는 관심 있는 3D 물체와 교차하도록 시축(visual axes)을 안쪽으로 또는 바깥쪽으로 가져오는 눈의 회전 동작을 말한다.

[0015] 조절-수렴 부정합 문제는 대부분의 기존 AR 디스플레이에서의 영상 소스가 눈으로부터 고정된 거리에 위치한 2D 평표면이라는 사실로부터 유래한다. 따라서, 이 유형의 AR 디스플레이는 2D 영상 소스가 아닌 다른 거리에 위치한 실물 위에 겹쳐지는 디지털 정보의 정확한 포커스 큐를 연출하는 능력이 부족하다. 이것은 다음과 같은 3가지의 조절-수렴 충돌을 야기한다. (1) 2D 영상면과 실세계 장면 사이에 조절 큐의 부정합이 존재한다(도 1a). 눈은 증강된 정보를 보기 위해 2D 영상면에서 조절하도록 큐되는 한편 눈은 디지털 정보가 오버레이되는 실제 3D 물체의 깊이에서 조절 및 수렴하도록 동시에 큐된다. 디스플레이 평면과 실세계 물체 간의 거리 겹은 인간의 시각 체계(HVS)가 동시에 조절할 수 있는 범위를 쉽게 넘어설 수 있다. 단순한 예는 눈이 근거리(예를 들면, 계기판)로부터 원거리(예를 들면, 도로 표지)까지 걸치는 실세계 물체와 AR 디스플레이 사이에서 주의를 끊임없이 전환할 필요가 있는 경우에 보조를 가동하기 위해 AR 디스플레이를 사용하는 것이다. (2) 양안식 입체 디스플레이에 있어서, 양안 부등(disparity)이 있는 한 쌍의 입체 영상을 연출함으로써, 증강 정보가 2D 디스플레이 표면으로부터 상이한 거리에서 나타나도록 연출될 수 있다(도 1b). 증강 정보를 볼 때, 눈은 가상 디스플레이를 초점 내로 가져오기 위해 2D 디스플레이 표면에서 조절하도록 큐되지만, 이와 동시에 눈은 입체 쌍을 융합하도록 양안 부등에 의해 지시된 깊이에서 수렴하도록 강요된다. 자연의 장면을 볼 때(도 1c), 눈의 수렴 깊이는 조절 깊이와 일치하고 관심 있는 물체가 아닌 다른 깊이에 있는 물체들은 흐리게 보인다. (3) 입체 영상을 통해 연출된 합성 물체는, 사용자로부터의 연출 거리에 관계없이, 만일 뷰어가 영상면에 초점을 맞추면 모두가 초점 내에서 보이고, 만일 사용자가 영상면이 아닌 다른 거리에서 조절하면 모두 흐리게 보인다. 디스플레이된 장면의 망막 영상 흐림은 눈 응시점으로부터 시플레이트 장면 내의 다른 깊이에 있는 다른 지점까지의 거리에 따라 변하지 않는다. 요약하자면, 부정확한 포커스 큐는 왜곡된 깊이 인지력, 복시 비전, 시각적 불편함 및 피로감, 및 안구운동 반응의 저하와 같은 입체 디스플레이를 볼 때의 문제점들에 공헌할 수 있다.

[0016] 일 양태에 있어서, 본 발명은 3D 라이트필드 생성 기술과 자유형식 광학 기술을 결합함으로써 OST-HMD 설계에 대한 신규 접근법에 관한 것이다. 본 발명의 3D 라이트필드 생성 기술은 3D 장면에 의해 방출되도록 나타나는 광선의 집합을 생성하고 3D 장면의 인지력을 생성함으로써 3D 장면의 복사선장을 재구성한다. 따라서, 여기에서 사용하는 용어 "3D 라이트필드"는 3D 장면의 인지력을 생성하기 위해 3D 장면에 의해 방출되는 것으로 나타나는 광선들의 집합을 포함한 3D 장면의 복사선장을 의미하는 것으로 정의된다. 재구성된 3D 장면은 HMD 뷰잉 옵틱스

에 대한 3D 영상 소스를 생성하고, 이것은 전형적인 2D 디스플레이 표면을 3D 소스로 교체할 수 있게 하고, 그에 따라서 조절-수렴 불일치 문제를 잠재적으로 극복한다. 3D 라이트필드를 발생할 수 있는 임의의 광학 시스템이 본 발명의 장치 및 방법에서 사용될 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 하나의 예시적인 구성은 3D 장면의 인지력을 광학적으로 생성하기 위해 완전 시차(full-parallax) 3D 라이트필드를 생성하는 마이크로 집적 영상(마이크로-InI) 옵틱스를 사용한다. (당업자라면 집적 영상(InI)이 핀홀, 렌즈 또는 마이크로렌즈의 어레이를 활용하여 3D 장면의 라이트필드를 포착 또는 디스플레이하는 멀티뷰 이미징 및 디스플레이 기술임을 인식할 것이다. 디스플레이 기술의 경우에, 마이크로렌즈 어레이는, 디스플레이 장치와 함께, 3D 장면의 상이한 원근법의 정보를 각각 갖는 요소 영상(elemental image)의 집합을 제공한다. 마이크로렌즈 어레이는, 디스플레이 장치와 함께, 디스플레이 장치의 다른 픽셀들에 의해 방출된 광선 묶음을 연출하고, 다른 픽셀들로부터의 이러한 광선 묶음들은 교차하며, 광을 방출하고 3D 공간을 점유하도록 나타나는 3D 포인트의 인지력을 광학적으로 생성한다. 이 방법은 모든 방향에서 완전 시차 정보로 3D 장면의 진정한 3D 영상을 재구성할 수 있다.) 본 발명에서 사용할 수 있는 3D 라이트필드를 발생할 수 있는 다른 광학 시스템은, 비제한적인 예를 들자면, 홀로그래픽 디스플레이(M. Lucente의 "대화식 3차원 홀로그래픽 디스플레이: 깊이의 미래 참조", 컴퓨터 그래픽스, 31(2), 63-67페이지, 1887; P. A. Blanche 등의 "대면적 광굴절 폴리머를 이용한 홀로그래픽 3차원 텔레프렌스", 네이처, 468, 80-83, 2010년 11월), 다층 연산 라이트필드 디스플레이(G. Wetzstein 등의 "텐서 디스플레이: 지향성 백라이트를 가진 다층 디스플레이를 이용한 압축 라이트필드 합성", ACM 트랜잭션 온 그래픽스, 31(4), 2012), 및 체적형 디스플레이(Blundell, B. G 및 Schwarz, A. J.의 "체적형 디스플레이 시스템의 분류: 영상 공간의 특성 및 예측성" IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 8(1), 66-75페이지, 2002; J. Y. Son, W. H. Son, S. K. Kim, K. H. Lee, B. Javidi의 "실세계형 환경을 생성하는 3차원 이미징", Proceedings of IEEE Journal, 101권 제1호 190-205페이지, 2013년 1월)를 포함한다.

[0017] 마이크로-InI 시스템은 웨어러블 시스템에 적합한 매우 작은 폼팩터로 완전 시차 3D 물체 재구성 및 시각화를 달성하는 잠재성을 갖는다. 이것은 잘 억제된 시정 위치의 이익에 기인하여 종래의 무안경 입체 InI 디스플레이에서의 대부분의 한계를 극적으로 완화할 수 있고, 종래의 HMD 시스템에서의 조절-수렴 불일치 문제를 다루는데 효과적으로 활용될 수 있다. 마이크로-InI 유닛은 3D 장면의 다수의 기록된 원근 영상으로부터 전파된 광선 원뿔들의 교차를 통하여 축소형 3D 장면을 재구성할 수 있다. 자유형식 광학 기술의 장점을 취함으로써, 본 발명의 접근법은 조절-수렴 불일치 문제 및 시각적 피로감에 대하여 잠재적으로 덜 취약한 소형 경량의 고글형 AR 디스플레이를 만들 수 있다. 기존 AR 디스플레이의 조절-수렴 불일치 문제에 응답하여, 우리는 광학적으로 재구성된 3D 장면의 진정한 라이트필드를 연출하는 능력이 있고 그에 따라서 큰 깊이 범위에 걸쳐서 배치된 디지털 정보에 대한 정확한 포커스 큐를 가진 AR 디스플레이 기술을 개발하였다.

[0018] 조절-수렴 불일치 문제에 취약하지 않은 경량의 소형 OST-HMD 솔루션을 생성하는 난제는 2개의 긴요한 문제를 다루는 것이다. 첫번째 문제는 고정 거리 2D 평면에서보다 AR 디스플레이에서 눈 수렴 깊이와 상관되는 장면 집약 거리에 대하여 정확히 연출된 포커스 큐로 3D 장면을 디스플레이하는 능력을 제공하는 것이다. 두번째 문제는 한 쌍의 안경알만큼 강력한 폼팩터를 가진 아이피스의 광학적 설계를 생성하는 것이다.

[0019] 본 발명에 따른 3D OST-HMD 시스템의 블록도가 도 2에 도시되어 있다. 이 시스템은 3개의 기본 서브시스템, 즉 억제된 시역(viewing zone)으로부터 보여지는 3D 장면의 완전 시차 라이트필드를 재현하는 라이트필드 생성 모듈("3D 라이트필드 생성 모듈"); 재구성된 3D 라이트필드를 뷰어의 눈에 중계하는 아이피스; 및 실세계 장면의 눈에 거슬리지 않는 뷰를 광학적으로 가능하게 하는 시스루 시스템("시스루 옵틱스")을 포함한다.

[0020] 일 양태에 있어서, 본 발명은 완전 시차 3D 장면 광학적 시각화를 위한 3D 마이크로-InI 방법을 OST-HMD 뷰잉 옵틱스를 위한 자유형식 광학 기술과 통합하는 혁신적인 OST-HMD 시스템을 제공한다. 이 접근법은 완전 시차 라이트필드 연출 능력이 있는 소형의 3D InI 광학 시스루 HMD(InI-OST-HMD)의 개발을 가능하게 하고, 이것은 지속적인 조절-수렴 불일치 문제를 극복하고 사용자의 시각적 불편함 및 피로 경험을 실질적으로 감소시키는 것으로 예상된다.

[0021] 완전 시차 라이트필드 생성 방법. 조절-수렴 불일치 문제를 다루는 중요한 단계는 고정 거리 2D 표면에 디지털 정보를 연출하기보다는 뷰어까지의 거리에 상관없이 디지털 정보의 포커스 큐를 정확히 연출하는 능력을 제공하는 것이다. 다른 비입체 디스플레이 방법 중에서, 우리는 억제된 또는 억제되지 않은 시역으로부터 보여지는 3D 장면에 의해 방출되는 것으로 나타나는 3D 장면의 완전 시차 라이트필드의 재구성을 가능하게 하는 InI 방법을 사용하도록 선택한다. 다른 모든 기술들과 비교해서, InI 기술은 하드웨어 복잡성을 최소로 요구하고, 이 때문에 InI 기술을 OST-HMD 광학 시스템과 통합하여 웨어러블 트루 3D AR 디스플레이를 생성할 수 있다.

[0022] 도 3은 예시적인 마이크로-InI 유닛(300)을 개략적으로 보인 것이다. 3D 장면의 상이한 원근을 각각 표시하는 2D 요소 영상(301)의 집합이 고해상도 마이크로디스플레이(310)에서 디스플레이된다. 마이크로렌즈 어레이(MLA)(320)를 통해서, 각 요소 영상(301)은 공간적으로 비음집성인 물체처럼 동작하고, 요소 영상(301) 내의 픽셀들에 의해 방출된 원뿔형 광선 묶음들이 교차하여 3D 장면의 인지력을 완전하게 생성하며, 이때 물체들은 광을 방출하고 3D 공간을 점유하는 외관을 제공하도록 예를 들면 기준면에서 깊이 범위 Z_0 를 가진 표면 AOB를 따라 위치되도록 나타난다. 마이크로렌즈 어레이는 가상 또는 실제 3D 장면을 생성하도록 마이크로디스플레이(310)로부터 거리 "g"에 배치될 수 있다. 마이크로-InI 유닛(300)은 완전 시차 정보에 의해 3D 표면 형상의 광학적 재구성을 가능하게 한다. InI 기반 3D 디스플레이는 렌티큘러 시트가 뷰어의 위치에 따라서 장면의 적당한 별개의 좌측 눈 및 우측 눈 평면 뷰를 선택하는 공간 역다중화기로서 기능하는 멀티뷰 입체 시스템과는 기본적으로 다르게 동작한다는 점에 주목해야 한다. 이러한 멀티뷰 시스템은 전형적으로 수평 시차만을 가진 규정된 수의 양안식 뷰를 생성하고, 여전히 수렴-조절 충돌을 가질 수 있다.

[0023] 도 4는 표면 AOB에서 3D 장면의 텔레센트릭 3D 라이트필드를 생성하는 본 발명에 따른 마이크로-InI 유닛(400)의 대안적인 구성을 개략적으로 보인 것이다. 도 3의 구성과의 기본적인 차이는 마이크로렌즈 어레이(MLA)(420)의 개구들을 중계하고 텔레센트릭 3D 라이트필드를 생성하는데 도움을 주는 추가의 렌즈(렌즈(430) 및/또는 렌즈(440))를 사용하는 데에 있다. (R. Martinez-Cuenca, H. Navarro, G. Saavedra, B. Javidi 및 M. Martinez-Corral의 "다축 텔레센트릭 릴레이 시스템에 의한 향상된 시야각 집적 영상", Optics Express, 15권, 제24호 16255-16260페이지, 2007년 11월 21일) 렌즈(430)와 렌즈(440)는 동일한 초점 거리($f_1=f_2$)를 갖고, 렌즈(430)는 MLA(420)에 직접 부착되고 렌즈(440)는 초점 거리(f_1)만큼 떨어져서 배치된다. 마이크로디스플레이(410)와 MLA(420) 간의 갭은 MLA(420)의 초점 거리(f_0)와 동일하다. 이 대안적인 설계의 주요 장점은 재구성된 3D 장면에 대한 시야각의 잠재적 증가, 소형화, HMD 뷰잉 옵틱스와 통합의 용이성, 및 정확하게 쌍을 이룬 요소 영상(401) 및 마이크로렌즈(421)가 아닌 MLA(420)의 마이크로렌즈(421)에 의해 굴절된 광선에 의해 생성되는 플립 영상(flipped image)의 차단이다.

[0024] 비록 InI 방법이 유망하지만, 다음과 같은 3가지 주요 제한 때문에 아직 개선이 요구되고 있다: (1) 낮은 측방향 및 길이방향 해상도; (2) 좁은 피사계 심도(depth of field, DOF); 및 (3) 제한된 시야각. 이러한 제한은 마이크로렌즈의 제한된 영상 능력 및 유한 개구, 대형 디스플레이의 빈약한 공간 해상도, 및 넓은 시야각과 높은 공간 해상도 간의 트레이드오프 관계를 야기한다. 종래의 InI 시스템은 전형적으로 낮은 측방향 및 깊이 해상도 및 좁은 DOF를 산출한다. 그러나 이러한 제한은 본 발명의 웨어러블 InI-HMD 시스템에서 완화될 수 있다. 첫째로, 종래의 InI 디스플레이에서 사용된 큰 픽셀 디스플레이 장치(약 200-500 μ m 픽셀 크기)를 교체하여 공간 해상도에 있어서 적어도 50배 이득을 제공하도록 본 발명에서는 큰 픽셀 카운트 및 매우 미세한 픽셀(예를 들면, 약 5 μ m 픽셀 크기)을 가진 마이크로디스플레이를 사용할 수 있다(도 7). 둘째로, HMD 시스템의 특성 때문에, 시야가 잘 제한되고, 따라서 훨씬 더 적은 수의 요소 영상이 제한된 시야에 대하여 대형의 무안경 입체 디스플레이보다 완전 시차 라이트필드를 발생하기에 적절한 것이다. 셋째로, InI-HMD 시스템에서 40cm ~ 5m 깊이 범위에 걸치는 인지되는 3D 부피를 생성하기 위해, 마이크로-InI 유닛에 의해 재구성된 중간 3D 장면에 대하여 매우 좁은 깊이 범위(예를 들면, $Z_0 \sim 3.5$ mm)가 적당하고, 이것은 적어도 50cm 깊이 범위가 사용되는 것을 요구하는 종래의 독립형 InI 디스플레이 시스템에서보다 훨씬 더 알맞다(도 7). 마지막으로, 마이크로렌즈 및 HMD 뷰잉 옵틱스를 함께 최적화함으로써, 전체 InI-HMD 시스템의 깊이 해상도가 실질적으로 개선되고, 독립형 InI 시스템의 영상 한계를 극복한다.

[0025] 마이크로-InI 유닛에 의해 재구성된 축소형 3D 장면의 라이트필드는 보이기 위해 아이피스 옵틱스에 의해 눈으로 중계될 수 있다. 아이피스 옵틱스는 3D 라이트필드를 눈의 (사출) 동공에 효과적으로 결합할 뿐만 아니라 뷰어로부터 유한 거리에 있는 것으로 나타나는 가상 3D 디스플레이를 생성하도록 3D 장면을 확대할 수 있다.

[0026] 일 예로서, 도 5는 종래의 아이피스 옵틱스(540)와 마이크로-InI 유닛(530)의 통합을 개략적으로 보인 것이다. 마이크로-InI 유닛(530)은 도 3에 도시된 것과 유사한 방식으로 구성된 마이크로디스플레이(510) 및 마이크로렌즈 어레이(520)를 포함할 수 있다. 마이크로-InI 유닛(530)은 아이피스 옵틱스(540)의 후방 초점 부근에 위치된(도 5의 AOB에 위치된) 축소형 3D 장면을 재구성한다. 아이피스 옵틱스(540)를 통하여, 축소형 장면은 A'O'B'에서 확장형 3D 디스플레이로 확대될 수 있고, 이것은 그 다음에 아이피스 옵틱스(540)의 사출 동공에 의해 한정된 작은 구역으로부터 보여질 수 있다. 재구성된 장면의 3D 특성 때문에, 상이한 뷰잉 원근이 사출 동공 내의 상이한 위치에서 보여진다.

- [0027] HMD 설계의 상이한 방법들 중에서, 자유형식 광학 기술은 소형 HMD 시스템을 설계함에 있어서 큰 희망을 보여준다. 도 6A는 본 발명에 따른 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이(600)의 예시적인 구성을 보인 개략도이다. 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이(600)는 3D InI 유닛(630) 및 자유형식 아이피스(640)를 포함한다. 마이크로-InI 유닛(630)은 도 3에 도시된 것과 유사한 방식으로 구성된 마이크로디스플레이(610) 및 마이크로렌즈 어레이(620)를 포함할 수 있다. 이 구성(600)은 아이피스(640)로서 췌기형 자유형식 프리즘을 채용하고, 이를 통해 마이크로-InI 유닛(630)에 의해 재구성된 3D 장면이 확대되어 보여진다. 이러한 아이피스(640)는 회전적으로 비대칭 표면일 수 있는 3개의 자유형식 광학 표면(1, 2, 3)에 의해 형성된다. 사출 동공은 눈이 3D InI 유닛(630)의 기준면에 켈레(conjugate)되는 가상 기준면에 위치한 확대된 3D 장면을 보도록 위치되는 곳에 있다. 중간 장면에서 위치한 3D 포인트(예를 들면, A)로부터 방출된 광선은 기준면에 가장 가깝게 위치한 자유형식 아이피스(640)의 표면(3)에 의해 최초로 굴절된다. 이어서, 광선은 표면(1', 2)에 의해 2회 연속으로 반사되고, 마지막으로 표면(1)을 투과하여 시스템의 사출 동공에 도달한다. 물체의 상이한 뷰를 각각 나타내는 동일한 물체 포인트(object point)(예를 들면, 포인트 A로부터의 3개의 광선 각각)로부터의 복수의 광선 방향은 사출 동공의 상이한 위치에 부딪쳐서 눈 앞에서 가상 3D 포인트(예를 들면, A')를 재구성한다.
- [0028] 복수의 요소들을 요구하는 대신에, 광학 경로는 아이피스(640)의 3-표면 프리즘 구조 내에서 자연스럽게 접혀지고, 이것은 회전적으로 대칭인 요소들을 이용하는 설계와 비교할 때 옵틱스의 전체 부피 및 무게를 실질적으로 감소시키는데 도움을 준다.
- [0029] AR 시스템의 시스루 능력이 가능하도록, 아이피스(640)의 표면(2)은 빔 분할 미러로서 코팅될 수 있다. 시스루 능력이 개선된 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이(690)를 제공하기 위해 자유형식 보정기 렌즈(650)가 추가될 수 있다. 보정기 렌즈(650)는 실세계 장면에 대하여 자유형식 프리즘 아이피스(640)에 의해 도입되는 시축 편차 및 바람직하지 않은 수차를 보정하기 위해 아이피스(640)의 표면(2)에 부착될 수 있는 2개의 자유형식 표면을 포함할 수 있다. 3D InI 유닛(630)에 의해 발생된 가상 라이트필드로부터의 광선은 프리즘 아이피스(640)의 표면(2)에 의해 반사되고, 한편 실세계 장면으로부터의 광선은 자유형식 아이피스(640) 및 보정기 렌즈(650)를 투과한다(도 6c). 도 6c는 전체 웨어러블 3D 증강 현실 디스플레이(690)의 통합 및 광선추적을 개략적으로 보인 것이다. 자유형식 보정기 렌즈(650)의 앞면은 프리즘 아이피스(640)의 표면(2) 형상과 일치한다. 보정기 렌즈(650)의 뒷면(4)은 보정기 렌즈(650)가 프리즘 아이피스(640)와 결합될 때 실세계 장면으로부터의 광선에 도입되는 이동(shift) 및 왜곡을 최소화하도록 최적화될 수 있다. 추가되는 보정기 렌즈(650)는 전체 시스템(690)의 풋프린트 및 무게를 현저히 증가시킬 것으로 기대되지 않는다.
- [0030] 따라서, 본 발명의 장치에서, 자유형식 아이피스(640)는 2D 영상 표면보다는 3D 표면(AOB)의 라이트필드를 영상화할 수 있다. 이러한 InI-HMD 시스템(600, 690)에 있어서, 자유형식 아이피스(640)는 실물의 라이트필드에 광학적으로 켈레되는 위치에서 가상 3D 물체(A'O'B')의 라이트필드를 재구성할 수 있고, 한편 종래의 HMD 시스템에서는 아이피스가 2D 마이크로디스플레이 표면에 광학적으로 켈레되는 확대형 2D 가상 디스플레이를 생성한다.
- [0031] 다른 양태에 있어서, 본 발명은 가상 기준면의 위치가 조정될 수 있는 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD(700)를 제공할 수 있다(도 6d). 가상 기준면의 위치를 조정하는 능력은 뷰어에 의해 관측되는 실세계 장면 내의 물체의 위치에 관한 증강 현실 정보를 내포하는 가상 기준면의 위치를 선택함으로써 조절-수렴 불일치를 다루는 데에 특히 유용할 수 있다. 이와 관련하여, 도 6d는 마이크로-InI 모듈(730)의 광학 경로에 가변 초점 요소(728)를 통합한 본 발명에 따른 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD(700)의 대안적인 구성을 개략적으로 보인 것이다. 도 6c의 설계에 의한 것과 같이, HMD(700)는 도 6c에서 사용된 것과 동일할 수 있는 아이피스(640), 보정기 렌즈(650), 및 마이크로디스플레이(710)와 마이크로렌즈 어레이(720)를 구비한 마이크로-InI 유닛(730)을 포함할 수 있다.
- [0032] 가변 초점 요소(vari-focal element, VFE)(728)의 광출력은 요소에 전압을 인가함으로써 변할 수 있다. 사용 가능한 가변 초점 요소(728)의 예로는 액정 렌즈, 유체 렌즈, 멤브레인 미러 또는 복굴절 렌즈가 있다. 마이크로-InI 유닛(730)의 광출력을 동적으로 변경시키는 능력을 가짐으로써, 3D 재구성 장면의 기준면의 축방향 위치를 동적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 재구성된 장면의 시야각을 또한 동적으로 조정할 수 있다. 예를 들면, VFE(728)에 대한 전압을 변화시킴으로써 가상 기준면을 25cm만큼 가까운 거리에(예를 들면, 0"에) 또는 광학적 무한대만큼 먼 거리에(예를 들면, 0"에) 또는 기계적 변화를 가할 필요 없이 그 역으로 둘 수 있다. VFE(728)의 광출력을 변화시킴으로써 3D 장면을 재구성하는 광선 각도(ray angle)를 또한 동적으로 제어할 수 있고, 그에 따라서 시야각을 제어할 수 있다. VFE(728)를 통해 가능한 이 능력은 길이방향 해상도를 개선하고 피사계 심도를 연장하며 시야각을 증가시킬 수 있다. VFE(728)에 대한 광출력의 변화는 연출되는 3D 장면 깊이에 관한 지식, 또는 관심 있는 사용자 영역에 관한 지식에 의해 제어될 수 있다. 예를 들면, 뷰어와 관련한 재구성된 가

상 장면(예를 들면, A'O'B')의 절대 깊이 및 장면의 깊이 범위를 알면 시스템이 가상 기준면을 최적의 깊이방향 해상도 및 시야각으로 적절히 위치시킬 수 있다. 대안적으로, 눈 움직임 추적 장치를 통해 검출될 수 있는 뷰어의 관심 있는 영역은 그에 따라서 가상 기준면을 위치시키기 위해 동적으로 획득 및 활용될 수 있다. VFE(728)와 마이크로디스플레이(710)가 둘 다 고속(예를 들면, 인간 시각 체계의 임계 깜박임 빈도의 적어도 2배)으로 동작할 때, 상이한 깊이의 3D 장면은 연장된 깊이 부피를 커버하기 위해 이러한 깊이에 걸쳐 배치된 기준면과 함께 시간 순서적으로 연출될 수 있다. 시간 순서적으로 연출된 장면은 그 다음에 속도의 편의에 기인하여 연속적인 3D 부피로서 보여질 수 있다. 액정 렌즈(728)는 집적 영상 디스플레이의 피사체 심도를 변화시키기 위해 사용될 수 있다. 고속 변조용의 변형 가능한 미러 장치와 같은 다른 유형의 공간 광 변조기를 또한 사용할 수 있다.

[0033] 또 다른 양태에 있어서, 본 발명은 3차원(3D) 또는 2D 물체 인식 능력을 통합한 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD(800)를 제공할 수 있다(도 6e). 예를 들면, 도 6E는 3차원(3D) 또는 2D 물체 인식 능력을 증강 현실(AR)과 통합한 본 발명에 따른 3D 증강 현실 광학 시스루 HMD(800)의 대안적인 구성을 개략적으로 보인 것이다. 도 6c의 설계에 의한 것과 같이, HMD(800)는 도 6c에서 사용된 것과 동일할 수 있는 아이피스(640), 보정기 렌즈(650), 및 마이크로디스플레이(810)와 마이크로렌즈 어레이(820)를 구비한 마이크로-InI 유닛(830)을 포함할 수 있다. HMD(800)는 적어도 하나의 카메라(815)를 HMD(800)에 부착함으로써 집적 영상 광학 3D 디스플레이 방법과 2D/3D 물체 인식 능력을 결합할 수 있다(도 6e). 현재의 기술 상태는 1 제곱 밀리미터만큼 작은 경량의 메가 픽셀 카메라(소니 960H 마이크로 핀홀 코버트 카메라 #20-100)를 이용할 수 있다. 카메라(815)는 일반 비디오 카메라일 수 있지만, 더 중요하게, 카메라(815)는 실세계 장면(10)의 3D 라이트필드를 포착하기 위해 이미징 옵틱스에서 마이크로 렌즈렛 어레이를 사용하는 경우에 3D 집적 영상 이미지 포착 시스템일 수 있다. 이러한 카메라(815)에 의해 포착된 영상을 이용해서, 2D 영상 또는 3D 집적 영상 획득, 수치 시각화, 및 장면(10) 내 물체의 2D 또는 3D 물체 인식, 분할 및 국지화를 구현할 수 있다. 실제 장면(10)이 자유형식 옵틱스(640, 650)를 통하여 사용자에게 의해 직접 관측되지만, 포착 유닛(850)에 의해 가능한 물체 인식 능력은 검출된 물체 및 장면에 관한 정보, 그들의 설명, 그들의 위치, (집적 영상의 3D 이미징 속성)을 이용한 그들의 범위, 장면 내 다른 물체와의 그들의 관계 등의 지능적 추출을 가능하게 하고, 그러한 정보는 현실감 증대를 통해 뷰어에게 제시될 수 있다. 예를 들어서 만일 뷰어가 혼합된 장면 내에서 특정 물체를 찾고 있으면, 인식 능력은 이 물체를 검출하고 이 물체를 그 위치와 함께 AR을 이용하여 뷰어에게 제시할 수 있다. 포착 유닛(850)을 제공하기 위해 범용 컴퓨터에서 동작하는 각종의 아키텍처가 3D 물체 시각화를 위해(S. Hong, J. Jang, 및 B. Javidi의 "컴퓨터 집적 영상을 이용한 3차원 체적형 물체 재구성" 옵틱스 익스프레스의 저널, 미국 광학회의 온라인 저널, 제12권 제3호 483-491페이지, 2004년 2월 9일. R. Schulein, M. DaneshPanah 및 B. Javidi의 "축방향으로 분산된 감지 기능이 있는 3D 이미징" 옵틱스 레터스의 저널, 제34권 제13호 2012-2014페이지, 2009년 7월 1일) 또는 인식을 위해(S. Kishk 및 B. Javidi의 "시간 다중화 컴퓨터 집적 영상을 이용한 개선된 해상도 3D 물체 감지 및 인식", 옵틱스 익스프레스, 미국 광학회의 온라인 저널, 제11권 제26호 3528-3541페이지, 2003년 12월 29일. R. Schulein, C. Do 및 B. Javidi의 "신경망을 이용한 수중 물체의 왜곡-내성 3D 인식", 미국 광학회의 저널 A, 제27권 제3호 461-468페이지, 2010년 3월. C. Manh Do, R. Martinez-Cuenca 및 B. Javidi의 "독립 컴포넌트 분석을 이용한 집적 영상의 3차원 물체-왜곡-내성 인식", 미국 광학회의 저널 A, 제26권 제2호 245-251페이지 (2009년 2월 1일). S. Hong 및 B. Javidi의 "컴퓨터 집적 영상을 이용한 폐색 물체의 왜곡-내성 3D 인식", 옵틱스 익스프레스의 저널, 제14권 제25호 12085-12095페이지, 2006년 12월 11일) 사용될 수 있다. 각종의 알고리즘이 2D 또는 3D 물체 인식을 위해 사용될 수 있다(F. Sadjadi 및 B. Javidi의 "자동 목표 인식의 물리학", 스프링거-버랙, 뉴욕 2007. R. J. Schalkoff, 패턴 인식: 통계적, 구조적 및 신경 접근법(윌리, 1991). Christopher M. Bishop, 패턴 인식을 위한 신경망, Oxford University Press, Inc. 뉴욕, NY 1995. A. K. Jain, 디지털 영상 처리의 기초, 프렌티스 홀. M. Daneshpanah, B. Javidi 및 E. Watson의 "무작위 분산된 센서들을 이용한 3차원 집적 영상", 옵틱스 익스프레스의 저널, 제16권 제9호 6368-6377페이지, 2008년 4월 21일. R. Schulein, M. DaneshPanah 및 B. Javidi의 "축방향으로 분산된 감지 기능이 있는 3D 이미징" 옵틱스 레터스의 저널, 제34권 제13호 2012-2014페이지, 2009년 7월 1일). 뷰어가 움직일 때 단일 카메라(815)를 이용함으로써 3D 물체 인식 능력을 가질 수 있다. 즉, 뷰어가 물체 쪽으로 움직일 때 축방향으로 분산된 감지 기능을 이용함으로써 제로 시차를 가진 단일 카메라(815)를 이용하여 3D 물체 인식 능력을 가질 수 있다.

[0034] 실시예

[0035] 도 6c의 구성에 따른 InI OST-HMD의 개념 증명(proof-of-concept) 단안식 원형이 재고품 광학 컴포넌트를 이용하여 구현되었다(도 8). 3.3mm 초점 길이 및 0.985mm 피치의 마이크로렌즈 어레이(MLA)를 사용하였다. (이러한 유형의 마이크로렌즈는 디지털 옵틱스 코포레이션, SUSS 마이크로옵틱스 등으로부터 구매할 수 있다) 마이크로

디스플레이는 0.8" 유기 발광 디스플레이(OLED)이고, 이것은 픽셀 크기가 9.6 μ m인 1920x1200 컬러 픽셀을 제공한다(워싱턴 벨레뷰에 소재하는 이마진 코포레이션의 EMA-100820). 국제 특허 출원 제PCT/US2013/065422호에 개시된 유형의 시스루 보정기와 함께 자유형식 아이피스를 사용하였고, 상기 국제 출원의 전체 내용은 인용에 의해 본원에 통합된다. 아이피스(640) 및 보정기(650)의 사양은 아래의 표에서 제공된다. 아이피스는 40도의 시야 및 약 6.5mm의 아이박스(eyebow)를 제공하였다. 아이피스 설계의 엄격한 텔레센트릭시티(telecentricity)에 기인해서, 아이피스는 적절히 낮은 누화 및 좁은 시역을 가진 InI 세트업으로 적응되었다. 이러한 특수한 자유형식 아이피스 설계를 적용시키는 것은 본 발명으로 설명되는 광학적 방법을 구현하는 데는 필요 없다는 점에 주목하여야 한다. 대안적인 아이피스가 이 목적으로 설계 및 최적화될 수 있다.

[0036] 디스플레이 경로의 시스템 처방

[0037] 표 1에서, 표면 #2 - #4는 자유형식 아이피스(640)를 특정한다. 표 1의 표면 #2와 #4는 동일한 물리적 표면을 표시하고 도 6a-6c의 아이피스 표면 1에 대응한다. 표 1의 표면 #3은 아이피스 표면 2에 대응하고 표 1의 표면 #5는 도 6a-6c의 아이피스 표면 3에 대응한다.

표 1

아이피스의 표면 처방 - AR 디스플레이 경로

표면 번호	표면 유형	Y 반경	두께	재료	굴절 모드
1 (정지)	구	무한대	0.000		굴절
2	XY 폴리	-185.496	0.000	PMMA	굴절
3	XY 폴리	-67.446	0.000	PMMA	반사
4	XY 폴리	-185.496	0.000	PMMA	반사
5	XY 폴리	-830.046	0.000		굴절
6	구	무한대	0.000		굴절

[0038]

표 2

시스루 경로의 시스템 처방

표면 번호	표면 유형	Y 반경	X 반경	두께	재료	굴절 모드
1 (정지)	구	무한대	무한대	0.000		굴절
2	XY 폴리	-185.496	-185.496	0.000	PMMA	굴절
3	XY 폴리	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	굴절
4	XY 폴리	-67.446	-67.446	0.000	PMMA	굴절
5	XY 폴리	-87.790	-87.790	10.00		굴절
6	원통	무한대	-103.400	6.5	NBK7	굴절
7	구	무한대	무한대	0.000		굴절

[0039]

[0040] 광학적 시스루 경로의 시스템 처방

[0041] 표 2에서, 표면 #2와 #3은 디스플레이 경로에서와 동일하게 모델링된 아이피스 표면 1과 3이다. 표면 #4와 #5는 자유형식 보정기 렌즈(650)를 특정한다. 표면 #4는 표면 #3(아이피스 표면 2)의 정확한 복제물이다.

표 3

표 1의 표면 #2와 #4의 광학적 표면 처방

Y 반경	-1.854965E+02	X**2 * Y**5	-1.505674E-10
원뿔 상수	-2.497467E+01	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-4.419392E-11
Y	0.000000E+00	X**8	4.236650E-10
X**2	-2.331157E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	-1.079269E-10
Y**2	6.691726E-04	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-1.678245E-10
X**2 * Y	-1.066279E-04	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	2.198604E-12
Y**3	-2.956368E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-1.554280E-06	Y**8	-2.415118E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	1.107189E-06	X**8 * Y	4.113054E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	1.579876E-07	X**6 * Y**3	-1.805964E-12
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	1.789364E-07	X**4 * Y**5	9.480632E-13
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-2.609879E-07	X**2 * Y**7	2.891726E-13
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-6.129549E-10	Y**9	-2.962804E-14
X**6	-3.316779E-08	X**10	-6.030361E-13
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	9.498635E-09	X**8 * Y**2	-7.368710E-13
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	9.042084E-09	X**6 * Y**4	9.567750E-13
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-4.013470E-10	X**4 * Y**6	4.280494E-14
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	-8.112755E-10	X**2 * Y**8	-7.143578E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	1.251040E-09	Y**10	3.858414E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0042]

표 4

표 1의 표면 #1과 관련한, 표 1의 표면 #2와 #4의 디센터(decenter)

Y 디센터	Z 디센터	알파 기울기
6.775E+00	2.773E+01	7.711E+00

[0043]

표 5

표 1의 표면 #3의 광학적 표면 처방

Y 반경	-6.744597E+01	X**2 * Y**5	-3.464751E-11
원뿔 상수	-1.258507E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-8.246179E-12
Y	0.000000E+00	X**8	-2.087865E-11
X**2	-1.300207E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	2.845323E-11
Y**2	4.658585E-04	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-5.043398E-12
X**2 * Y	-1.758475E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	2.142939E-14
Y**3	-1.684923E-06	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-1.463720E-06	Y**8	1.607499E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	-1.108359E-06	X**8 * Y	-1.922597E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-1.098749E-07	X**6 * Y**3	1.100072E-13
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	-7.146353E-08	X**4 * Y**5	-4.806130E-14
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-1.150619E-08	X**2 * Y**7	-2.913177E-14
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	5.911371E-09	Y**9	9.703717E-14
X**6	-5.406591E-10	X**10	2.032150E-13
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	-1.767107E-09	X**8 * Y**2	-1.037107E-13
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	-7.415334E-10	X**6 * Y**4	3.602862E-14
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-5.442400E-10	X**4 * Y**6	-8.831469E-15
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	6.463414E-10	X**2 * Y**8	2.178095E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	1.421597E-10	Y**10	1.784074E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0044]

표 6

표 1의 표면 #1과 관련한 표 5의 표면 #3의 디센터

Y 디센터	Z 디센터	알파 기울기
1.329E+01	4.321E+01	-8.856E+00

[0045]

표 7

표 1의 표면 #5의 광학적 표면 처방

Y 반경	-8.300457E+02	X**2 * Y**5	4.051880E-08
원뿔 상수	-9.675799E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	-3.973293E-09
Y	0.000000E+00	X**8	-1.881791E-10
X**2	-1.798206E-04	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	5.519986E-09
Y**2	-2.606383E-03	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	3.822268E-09
X**2 * Y	-7.767146E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	-3.024448E-09
Y**3	-8.958581E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	1.978414E-05	Y**8	2.673713E-11
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	2.081156E-05	X**8 * Y	1.006915E-10
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-1.073001E-06	X**6 * Y**3	-2.945084E-10
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	2.585164E-07	X**4 * Y**5	5.958040E-10
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-2.752516E-06	X**2 * Y**7	-3.211903E-10
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-1.470053E-06	Y**9	2.296303E-11
X**6	-1.116386E-07	X**10	5.221834E-12
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	-3.501439E-07	X**8 * Y**2	1.135044E-11
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	1.324057E-07	X**6 * Y**4	-1.050621E-10
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-9.038017E-08	X**4 * Y**6	5.624902E-11
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	3.397174E-10	X**2 * Y**8	5.369592E-12
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	-1.873966E-08	Y**10	2.497657E-12
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0046]

표 8

표 1의 표면 #1과 관련한 표면 #5의 디센터

Y 디센터	Z 디센터	알파 기울기
.427E+01	3.347E+01	7.230E+01

[0047]

표 9

표 2의 표면 #5의 광학적 표면 처방

Y 반경	-8.779024E+01	X**2 * Y**5	-8.011955E-11
원뿔 상수	-7.055198E+00	X * Y**6	0.000000E+00
X	0.000000E+00	Y**7	3.606142E-11
Y	0.000000E+00	X**8	3.208020E-11
X**2	-3.191225E-03	X**7 * Y	0.000000E+00
X * Y	0.000000E+00	X**6 * Y**2	-2.180416E-11
Y**2	4.331992E-03	X**5 * Y**3	0.000000E+00
X**3	0.000000E+00	X**4 * Y**4	-3.616135E-11
X**2 * Y	-9.609025E-05	X**3 * Y**5	0.000000E+00
X Y**2	0.000000E+00	X**2 * Y**6	-5.893434E-12
Y**3	-2.432809E-05	X * Y**7	0.000000E+00
X**4	-2.955089E-06	Y**8	3.081069E-12
X**3 * Y	0.000000E+00	X**9	0.000000E+00
X**2 * Y**2	2.096887E-07	X**8 * Y	1.267096E-12
X * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**2	0.000000E+00
Y**4	-9.184356E-07	X**6 * Y**3	-1.848104E-12
X**5	0.000000E+00	X**5 * Y**4	0.000000E+00
X**4 * Y	3.707556E-08	X**4 * Y**5	5.208420E-14
X**3 * Y**2	0.000000E+00	X**3 * Y**6	0.000000E+00
X**2 * Y**3	-1.535357E-07	X**2 * Y**7	1.198597E-13
X * Y**4	0.000000E+00	X * Y**8	0.000000E+00
Y**5	-1.445904E-08	Y**9	-6.834914E-14
X**6	-4.440851E-09	X**10	-1.706677E-14
X**5 * Y	0.000000E+00	X**9 * Y	0.000000E+00
X**4 * Y**2	1.686424E-09	X**8 * Y**2	-1.614840E-14
X**3 * Y**3	0.000000E+00	X**7 * Y**3	0.000000E+00
X**2 * Y**4	6.770909E-09	X**6 * Y**4	8.739087E-14
X * Y**5	0.000000E+00	X**5 * Y**5	0.000000E+00
Y**6	-3.713094E-10	X**4 * Y**6	3.940903E-15
X**7	0.000000E+00	X**3 * Y**7	0.000000E+00
X**6 * Y	-1.316067E-10	X**2 * Y**8	5.435162E-15
X**5 * Y**2	0.000000E+00	X * Y**9	0.000000E+00
X**4 * Y**3	7.924387E-10	Y**10	-2.259169E-15
X**3 * Y**4	0.000000E+00	N-반경	1.000000E+00

[0048]

표 10

표 2의 표면 #1과 관련한 표면 #5의 디센터

Y 디센터	Z 디센터	알파 기울기
3.358E+00	4.900E+01	6.765E+00

[0049]

[0050] 시스템 처방표, 예를 들면 표 1 또는 표 2에서 사용되는 용어 "XY 폴리"는 하기 수학식으로 표시할 수 있는 표면을 말한다.

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j x^m y^n \quad j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

[0051]

- [0052] 위 식에서, z 는 로컬 x, y, z 좌표계의 z 축을 따라 측정된 자유형식 표면의 새그(sag)이고, c 는 정점 곡률(vertex curvature)(CUY)이고, r 은 반경 거리이고, k 는 원뿔 상수이고, C_j 는 xy^n 에 대한 계수이다.
- [0053] 설명의 목적으로, 숫자 "3"과 문자 "D"를 포함한 3D 장면을 시뮬레이트하였다. 시각적 공간에서 물체 "3"과 "D"는 각각 눈 위치로부터 약 4미터와 30cm 떨어져서 위치되었다. 포커싱의 효과를 명확히 설명하기 위해, 이러한 문자 물체들은 평이한 단색(solid color)을 이용하는 대신에 흑색선 조직(texture)으로 연출되었다. 3D 장면의 18x11 요소 영상의 어레이가 시뮬레이트되었고(도 9), 각각의 요소 영상은 102x102 컬러 픽셀로 구성되었다. 마이크로-InI 유닛에 의해 재구성된 3D 장면은 MLA로부터 약 10mm 떨어져 있고, 2개의 재구성된 목표(target)의 간격은 중간 재구성 공간에서 깊이가 약 3.5mm이었다.
- [0054] 도 10a 내지 도 10d는 눈 위치에 배치된 디지털 카메라로 포착된 영상들의 집합을 보인 것이다. 초점 및 시스루뷰의 효과를 설명하기 위해, 실세계 뷰에서 스넬렌(Snellien) 문자 차트와 인쇄된 흑백 격자 목표가 각각 뷰어로부터 약 4미터 및 30cm 떨어져서 배치되었고, 이것은 각각 물체 "3"과 "D"의 위치에 대응한다.
- [0055] 도 10a와 도 10b는 스넬렌 차트와 격자 목표 위에서 각각 카메라를 초점 맞춘 결과를 보인 것이다. 물체 "3"은 카메라가 멀리 있는 스넬렌 차트에 초점이 맞추어진 때 예리하게 초점이 맞는 것(sharp focus)으로 나타나고, 물체 "D"는 카메라가 가까운 격자 목표에 초점이 맞추어진 때 초점이 맞았다. 도 10c와 도 10d는 카메라 초점이 가까운 격자 목표에 설정되어 있는 동안 아이박스의 좌측에서 우측으로 카메라 위치를 이동시킨 결과를 보인 것이다. 예상한 바와 같이, 이들 2개의 뷰 사이에 약간의 원근 변화가 관측되었다. 비록 아티팩트가 명백히 보이고 추가의 개발이 필요하지만, 그 결과는 AR 디스플레이에 대한 제안된 방법이 큰 깊이 범위에서 정확한 초점 큐 및 진정한 3D 뷰잉을 생성할 수 있다는 것을 명확히 나타내었다.
- [0056] 여기에서 설명하고 청구되는 발명은, 여기에서 설명한 실시형태들이 발명의 몇 가지 양태들을 설명하는 것으로 의도되기 때문에, 그러한 특정 실시형태에 의해 그 범위가 제한되지 않는다. 임의의 등가적 실시형태가 발명의 범위 내에 있는 것으로 의도된다. 사실, 여기에서 도시하고 설명한 것 외에 발명의 각종 수정예가 당업자에게는 전술한 설명으로부터 명백할 것이다. 그러한 수정예도 또한 첨부된 특허 청구범위의 범위 내에 포함되는 것으로 의도된다.
- [0057] 다수의 특허 및 비특허 공개물을 이 명세서에서 인용하였고, 그러한 각 공개물은 인용에 의해 그 전체 내용이 본원에 통합된 것으로 한다.

[0058] 참조문헌

- [1] Yano, S., Emoto, M., Mitsuhashi, T., and Thwaites, H., "A study of visual fatigue and visual comfort for 3D HDTV/HDTV images," *Displays*, 23(4), pp. 191-201, 2002.
- [2] S.J. Watt, K. Akeley, M.O. Ernst, and M.S. Banks, "Focus Cues Affect Perceived Depth," *J. Vision*, 5(10), 834-862, (2005).
- [3] D.M. Hoffman, A.R. Girshick, K. Akeley, and M.S. Banks, "Vergence-Accommodation Conflicts Hinder Visual Performance and Cause Visual Fatigue," *J. Vision*, 8(3), 1-30, (2008).
- [4] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," *Journal of Physics (Paris)* 7, 821-825 (1908).
- [5] C. B. Burckhardt, "Optimum parameters and resolution limitation of integral photography," *J. Opt. Soc. Am.* 58, 71-76 (1968).
- [6] T. Okoshi, "Optimum design and depth resolution of lens-sheet and projection-type three-dimensional displays," *Appl. Opt.* 10, 2284-2291 (1971).
- [7] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai y I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," *Appl. Opt.* 36, 1598-1603 (1997).
- [8] J. Aran, "Depth-control method for integral imaging," *Optics Letters*, 33(3): 279-282, 2008.
- [9] H. Hua, "Sunglass-like displays become a reality with freeform optical technology," *SPIE Newsroom*, 2012.
- [10] H. Hua and C. Gao, A compact, eye-tracked optical see-through head-mounted display, *Proc. SPIE* 8288, p. 82881F, 2012.
- [11] H. Hua, X. Hu, and C. Gao, "A high-resolution optical see-through head-mounted display with eyetracking capability," *Optics Express*, November 2013.

[0059]

- [12] D. Cheng, Y.Wang, H. Hua, and M. M. Talha, Design of an optical see-through headmounted display with a low f-number and large field of view using a free-form prism, *App. Opt.* 48 (14), pp. 2655–2668, 2009.
- [13] D. Cheng, Y.Wang, H. Hua, and J. Sasian, Design of a wide-angle, lightweight headmounted display using free-form optics tiling, *Opt. Lett.* 36 (11), pp. 2098–2100, 2011.
- [14] A. Okuyama and S. Yamazaki, Optical system and image observing apparatus and image pickup apparatus using it, US Patent 5,706,136, 1998.
- [15] S. Yamazaki, K. Inoguchi, Y. Saito, H. Morishima, and N. Taniguchi, Thin widefield-of-view HMD with free-form-surface prism and applications, *Proc. SPIE* 3639, p. 453, 1999.
- [16] A. Jones, I. McDowall, Yamada H., M. Bolas, P. Debevec, Rendering for an Interactive 360° Light Field Display *ACM Transactions on Graphics (TOG) –Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007*, 26(3), 2007.
- [17] Tibor Balogh, “The HoloVizio System,” *Proceedings of SPIE*, VOI 6055, 2006.
- [18] Y. Takaki, Y. Urano, S. Kashiwada, H. Ando, and K. Nakamura, “Super multi-view windshield display for long-distance image information presentation,” *Opt. Express*, 19, 704-16, 2011.
- [19] Blundell, B. G., and Schwarz, A. J., “The classification of volumetric display systems: characteristics and predictability of the image space,” *IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics*, 8(1), pp. 66-75, 2002.
- [20] P. A. Blanche, et al, “Holographic three-dimensional telepresence using large-area photorefractive polymer”, *Nature*, 468, 80-83, Nov. 2010.
- [21] Rolland, J. P., Kureger, M., and Goon, A., “Multifocal planes head-mounted displays,” *Applied Optics*, 39(19), pp. 3209-14, 2000.
- [22] Akeley, K., Watt, S., Girshick, A., and Banks, M., “A stereo display prototype with multiple focal distances,” *Proc. of SIGGRAPH*, pp. 804-813, 2004.
- [23] Schowengerdt, B. T., and Seibel, E. J., “True 3-D scanned voxel displays using single or multiple light sources,” *Journal of SID*, 14(2), pp. 135-143, 2006.
- [24] S. Liu, H. Hua, D. Cheng, "A Novel Prototype for an Optical See-Through Head-Mounted Display with Addressable Focus Cues," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3), 381-393, (2010).
- [25] S. Liu and H. Hua, "A systematic method for designing depth-fused multi-focal plane three-dimensional displays," *Opt. Express*, 18, 11562-11573, (2010)
- [26] X. Hu and H. Hua, “Design and assessment of a depth-fused multi-focal-plane display prototype,” *Journal of Display Technology*, December 2013.

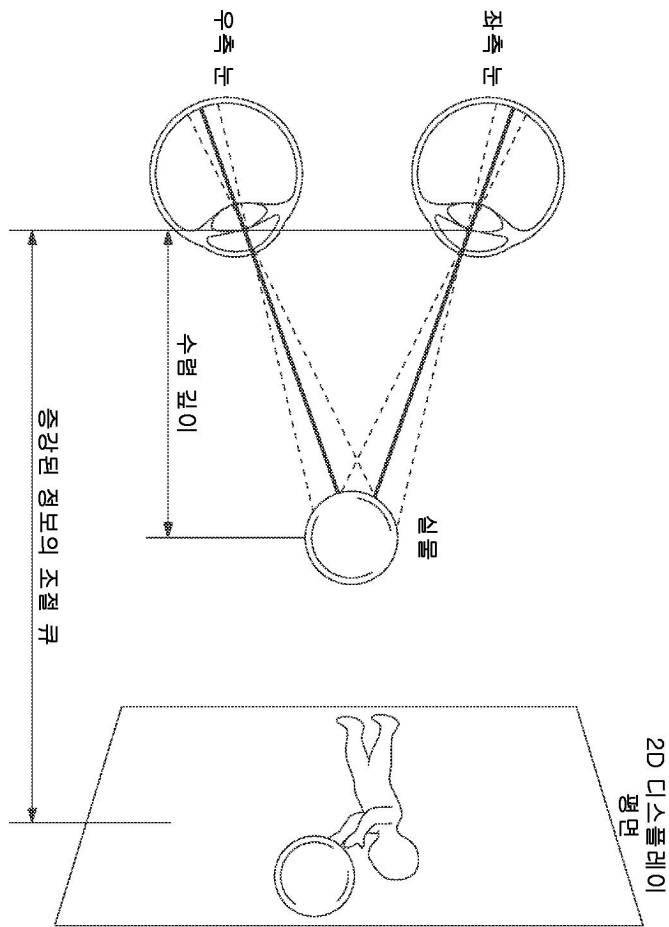
[0060]

- [27] Suyama, S., Ohtsuka, S., Takada, H., Uehira, K., and Sakai, S., "Apparent 3D image perceived from luminance-modulated two 2D images displayed at different depths," *Vision Research*, 44: 785-793, 2004.
- [28] J. Hong, S. Min, and B. Lee, "Integral floating display systems for augmented reality," *Applied Optics*, 51(18):4201-9, 2012.
- [29] A. Malmone, and H. Fuchs, "Computational augmented reality eyeglasses," *Proc. of ISMAR 2012*.
- [30] Rolland, J. P., and Hua, H., "Head-mounted display systems," in *Encyclopedia of Optical Engineering* (Editors: R. Barry Johnson and Ronald G. Driggers), New York, NY: Marcel Dekker, pp. 1-13, 2005.
- [31] H. Mukawa, K. Akutsu, I. Matsumura, S. Nakano, T. Yoshida, M. Kuwahara, and K. Aiki, "A full-color eyewear display using planar waveguides with reflection volume holograms," *J. Soc. Inf. Display* 19 (3), pp. 185-193, 2009.
- [32] <http://www.lumus-optical.com/>
- [33] <http://www.innovega-inc.com>
- [34] <http://www.epson.com/cgi-bin/Store/jsp/Moverio/Home.do>
- [35] <http://www.google.com/glass/start/>
- [36] M. Martínez-Corral, H. Navarro, R. Martínez-Cuenca, G. Saavedra, and B. Javidi, "Full parallax 3-D TV with programmable display parameters," *Opt. Phot. News* 22, 50-50 (2011).
- [37] J. S. Jang and B. Javidi, "Large depth-of-focus time-multiplexed three-dimensional integral imaging by use of lenslets with non-uniform focal lengths and aperture sizes," *Opt. Lett.* vol. 28, pp. 1924-1926 (2003).
- [38] Chih-Wei Chen, Myungjin Cho, Yi-Pai Huang, and Bahram Javidi, "Improved viewing zones for projection type integral imaging 3D display using adaptive liquid crystal prism array," *IEEE Journal of Display Technology*, 2014.
- [39] Xiao Xiao, Bahram Javidi, Manuel Martinez-Corral, and Adrian Stern, "Advances in Three-Dimensional Integral Imaging: Sensing, Display, and Applications," *Applied Optics*, 52(4):. 546-560, 2013.
- [40] J. S. Jang, F. Jin, and B. Javidi, "Three-dimensional integral imaging with large depth of focus by use of real and virtual image fields," *Opt. Lett.* 28:1421-23, 2003.
- [41] S. Bagheri and B. Javidi, "Extension of Depth of Field Using Amplitude and Phase Modulation of the Pupil Function," *Journal of Optics Letters*, vol. 33, no. 7, pp. 757-759, 1 April 2008.

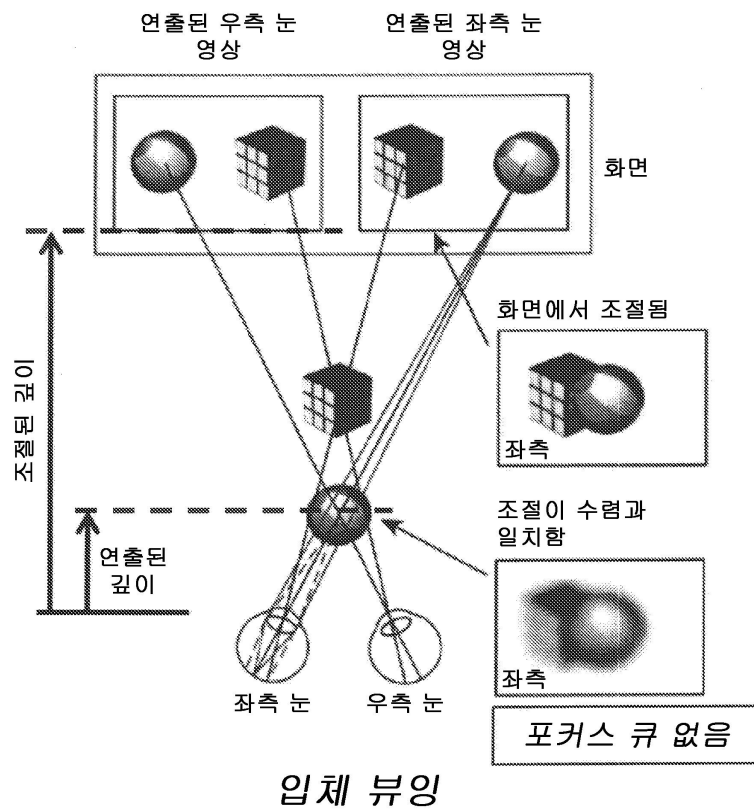
[0061]

도면

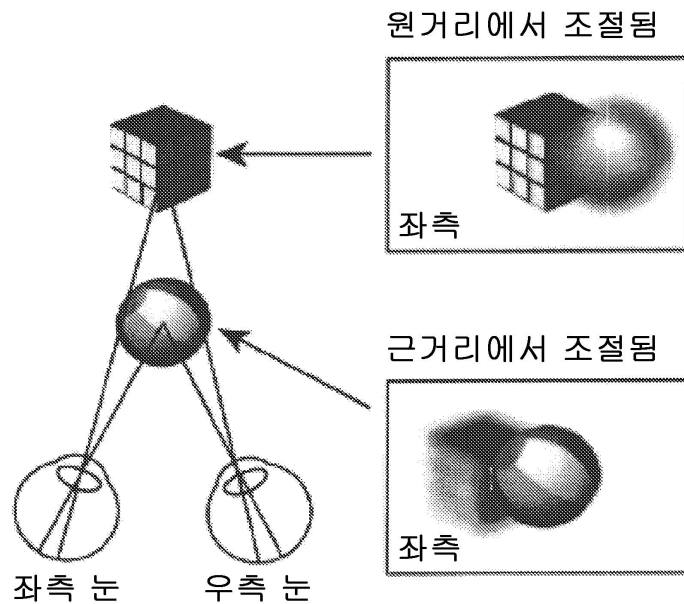
도면1a



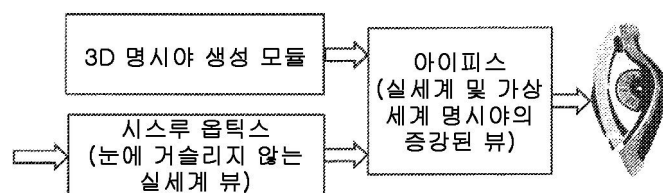
도면1b



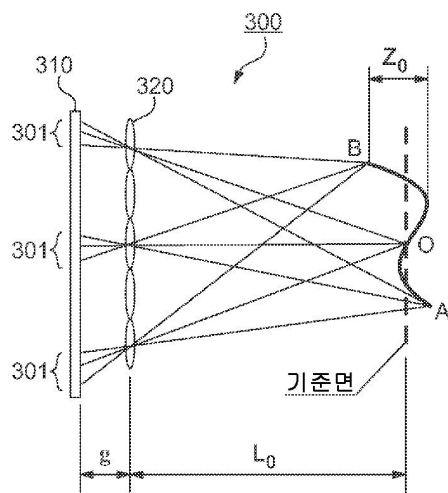
도면1c



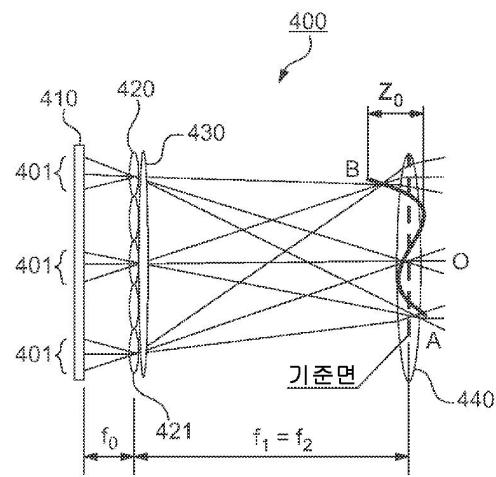
도면2



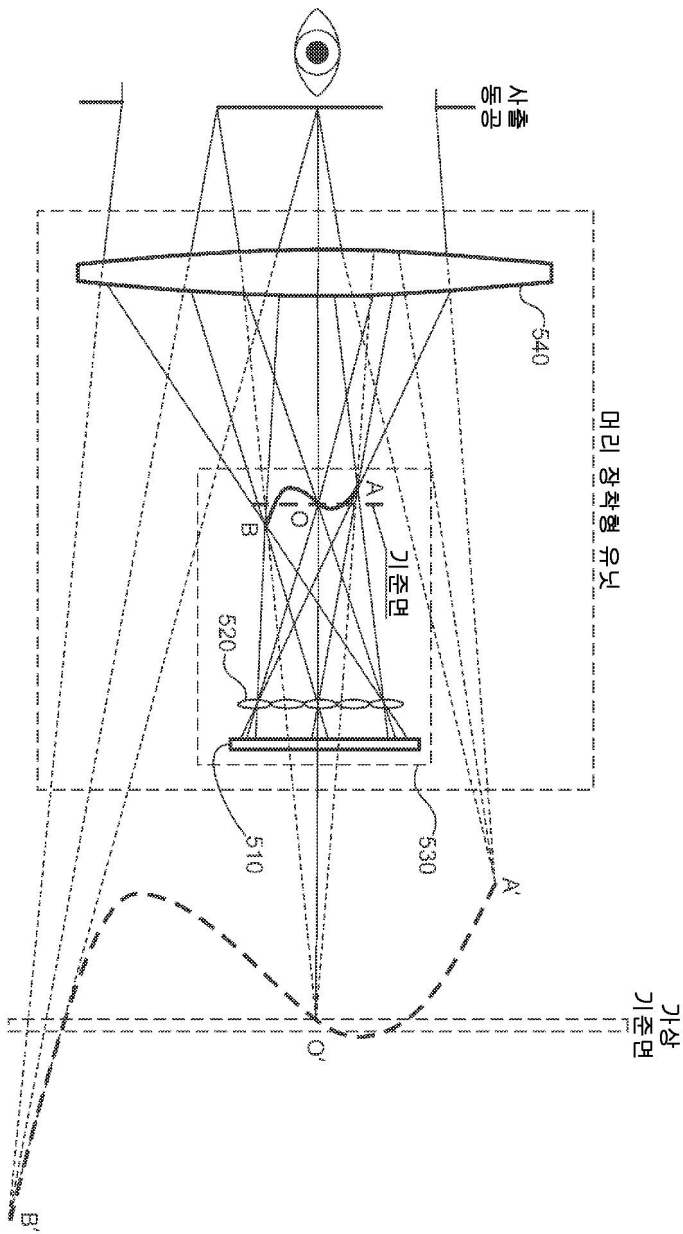
도면3



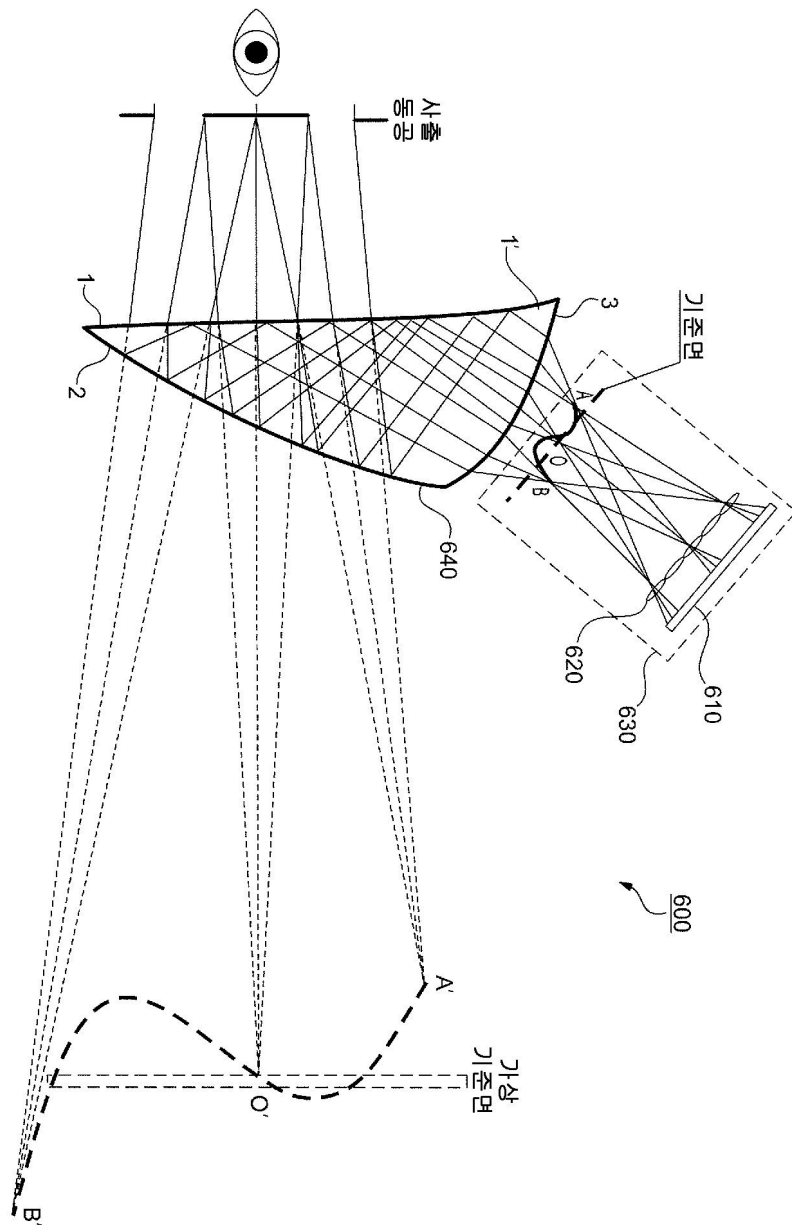
도면4



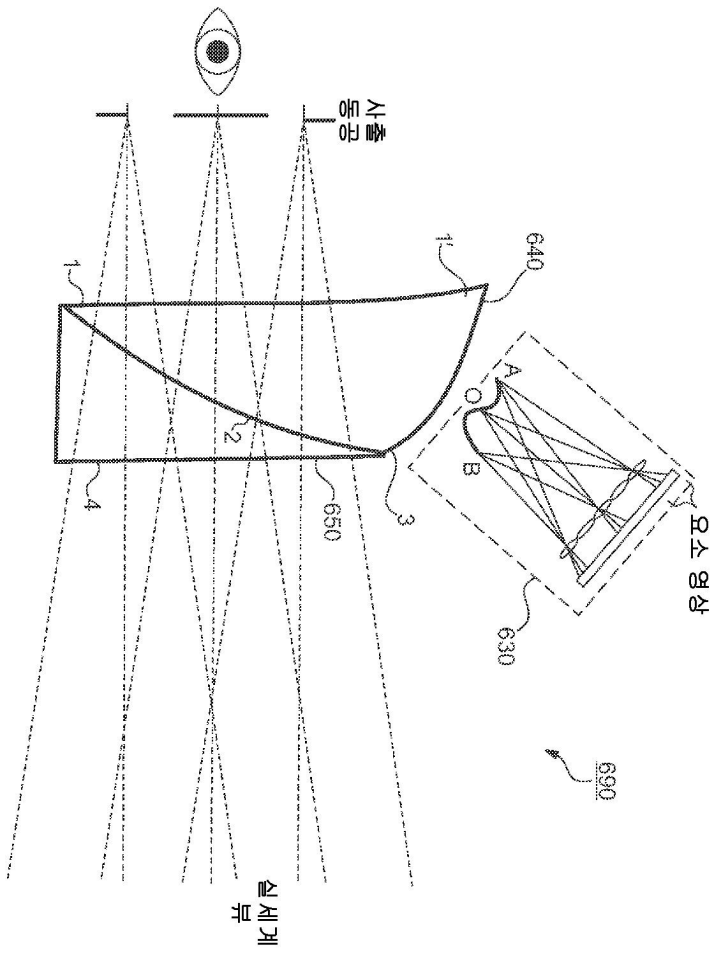
도면5



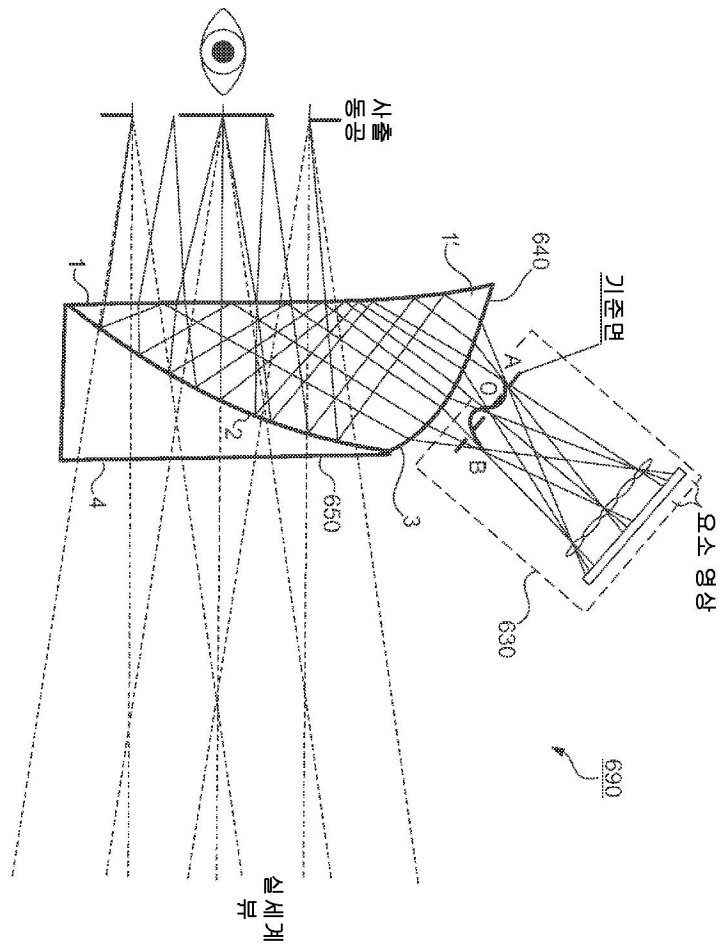
도면 6a



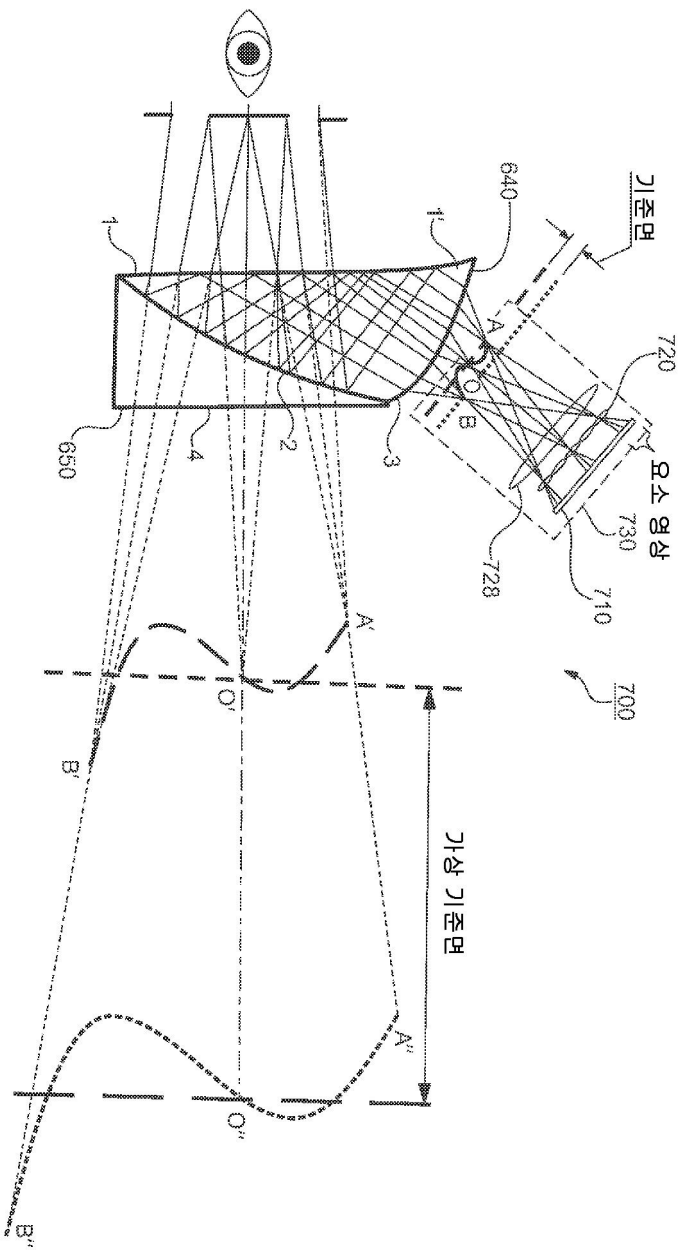
도면 6b



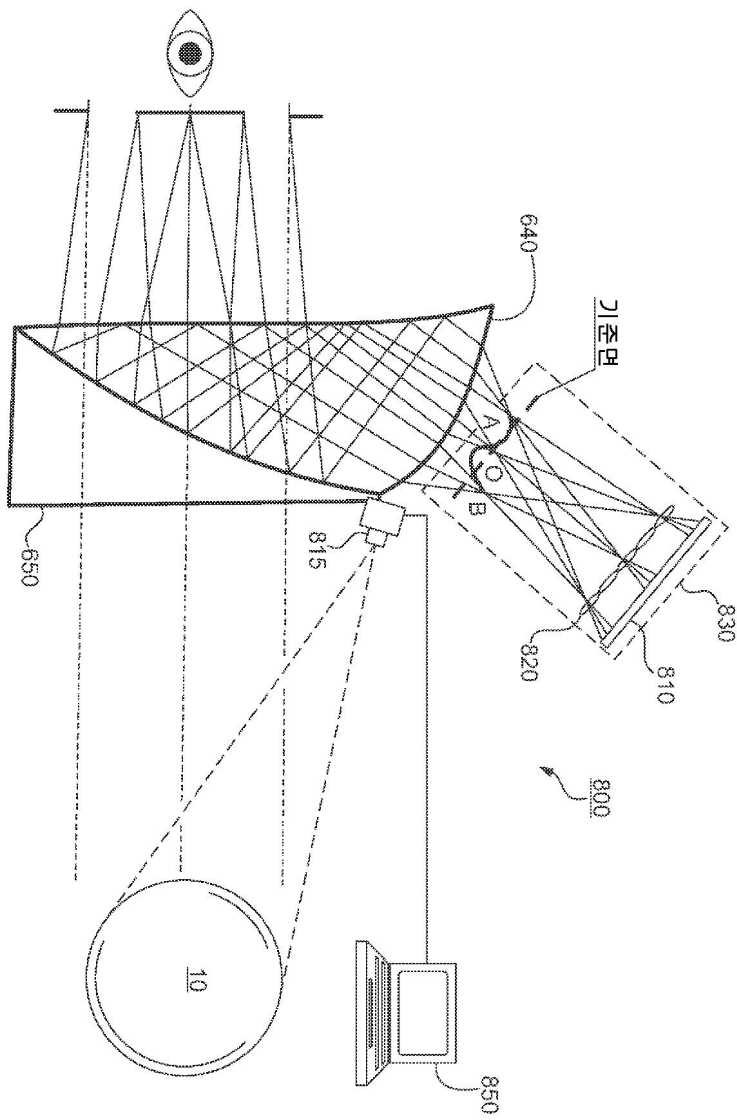
도면6c



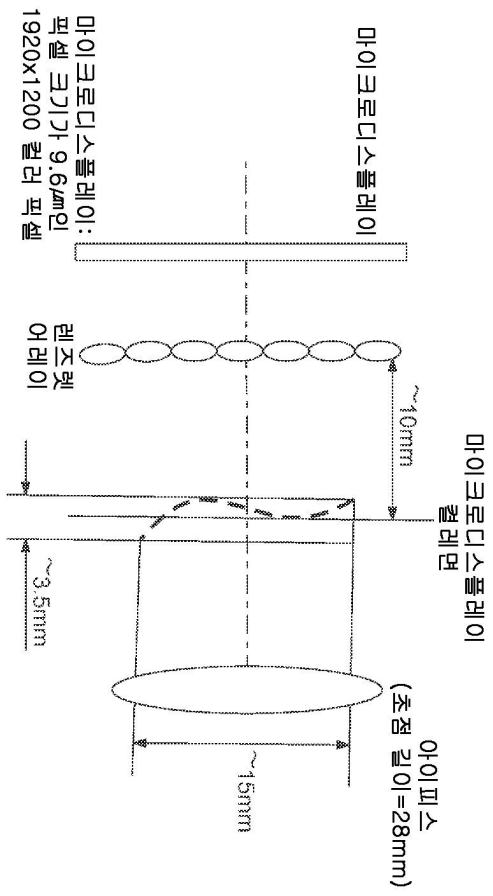
도면6d



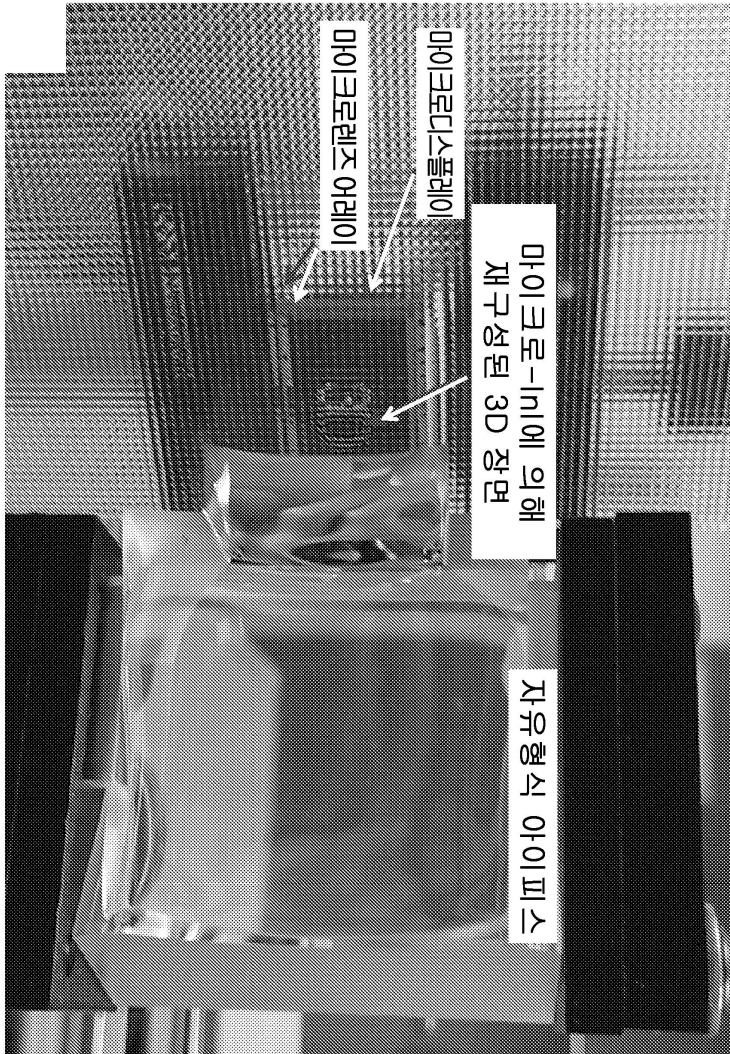
도면6e



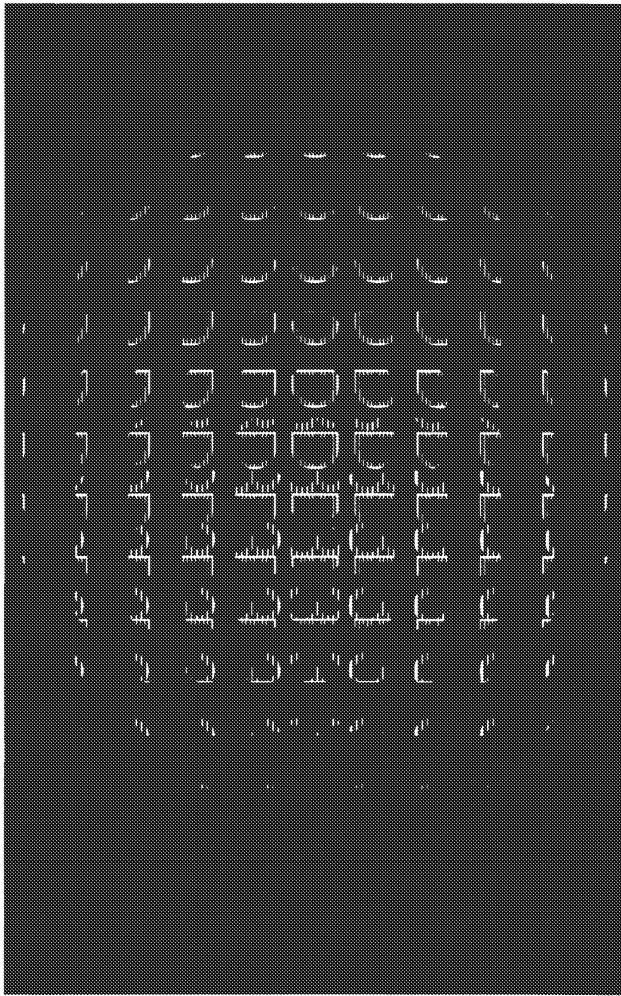
도면7



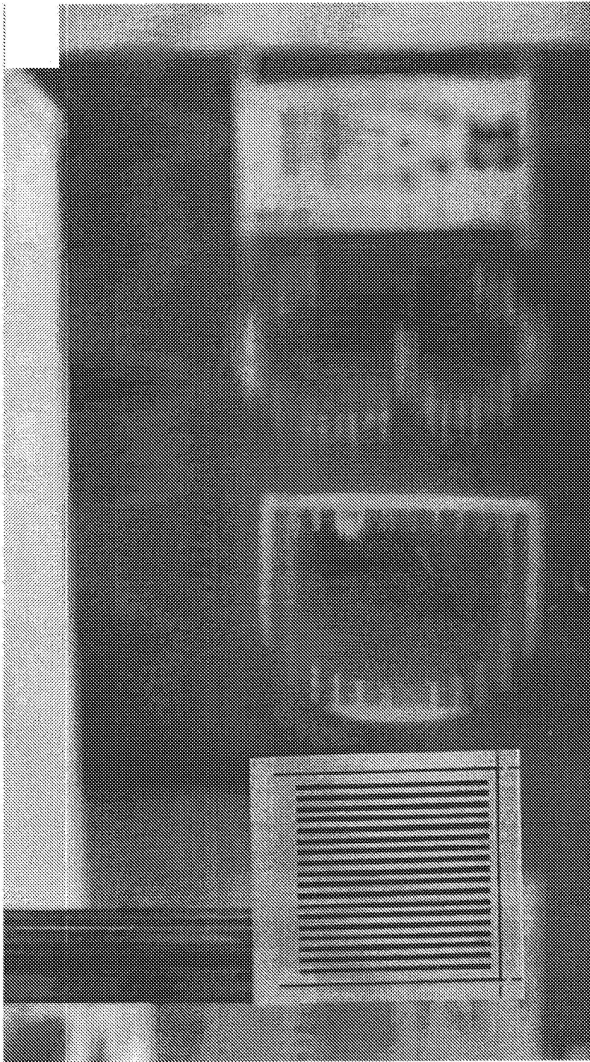
도면8



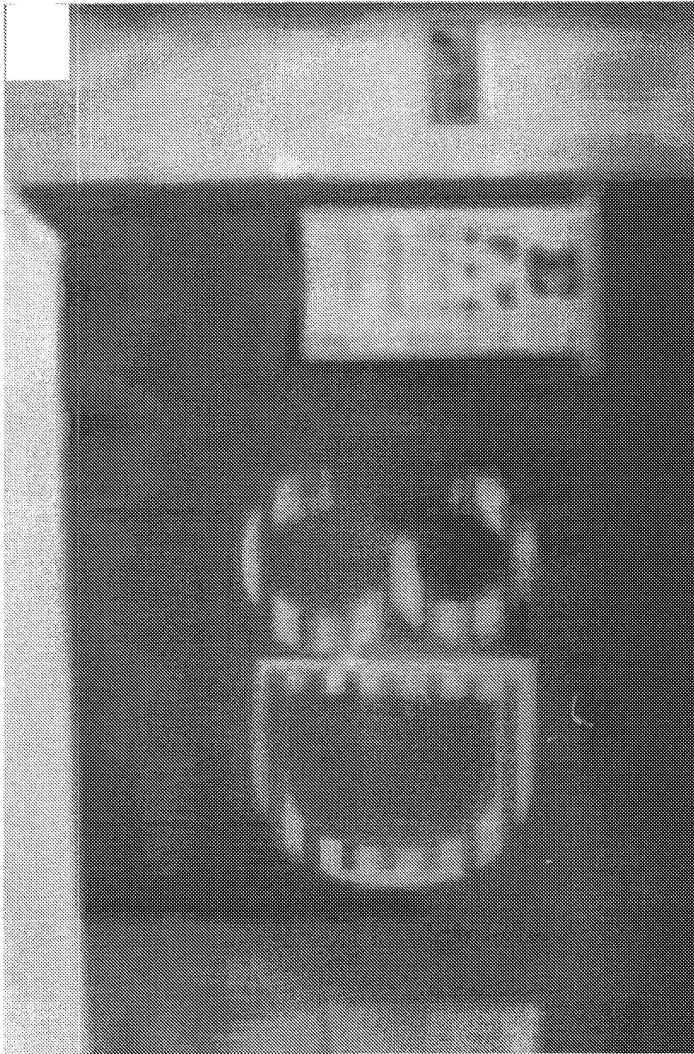
도면9



도면10b



도면10c



도면10d

