



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년10월29일
(11) 등록번호 10-1323279
(24) 등록일자 2013년10월23일

(51) 국제특허분류(Int. C1..)
G01J 9/00 (2006.01) *G01J 3/06* (2006.01)
A61B 3/12 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-7020303
(22) 출원일자(국제) 2006년12월21일
심사청구일자 2011년12월20일
(85) 번역문제출일자 2008년08월19일
(65) 공개번호 10-2008-0100433
(43) 공개일자 2008년11월18일
(86) 국제출원번호 PCT/US2006/049112
(87) 국제공개번호 WO 2007/087058
국제공개일자 2007년08월02일
(30) 우선권주장
11/335,980 2006년01월20일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
KR1020010062745 A

전체 청구항 수 : 총 36 항

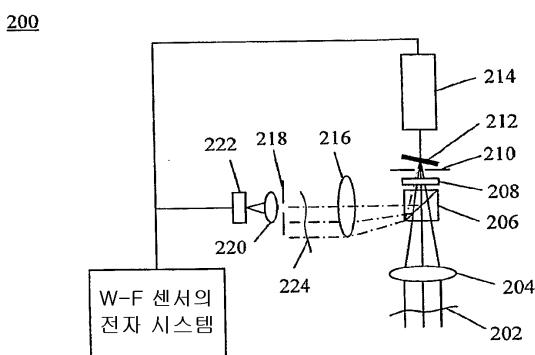
심사관 : 김상현

(54) 발명의 명칭 순차 파면 센서

(57) 요 약

순차 파면 센서는 광선 스캐닝 모듈(212), 부-파면 접속 렌즈(220), 하나 이상의 감광성 영역을 갖추고 있는 검출기(222) 및 부-파면으로부터 순차적으로 얻은 초점이 맞춰진 광점의 센트로이드들을 계산하여 입사 파면의 수차를 결정하는 프로세서를 포함한다. 순차 파면 검출 방법은, 복수의 부-파면을 부-파면 접속 렌즈와 하나 이상의 감광성을 영역을 갖추고 있는 검출기 위에 순차적으로 투영하는 단계와, 각 부-파면으로부터 접속된 광점의 센트로이드를 계산하는 단계와, 파면의 수차를 결정하기 위해 상기 센트로이드 정보를 처리하는 단계를 포함한다. 특히, 자동 초점 조절 및/또는 자동-수차-교정 방법은, 복수의 부-파면을 부-파면 접속 렌즈와 검출기에 파면의 환상 링 주위로 순차적으로 투영하는 단계와, 센트로이드의 자취를 계산하여 디포커스 및/또는 비점수차를 결정하기 위해 각 부-파면의 접속된 광점의 센트로이드를 계산하는 단계와, 파면 센서 전방에서 광학 영상 시스템의 초점 및/또는 비점수차를 조절해서 측정되는 디포커스 및/또는 비점수차가 최소로 되는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

웨이 수

미국 캘리포니아 94087 서니베일 사메드라 스트리
트 1567

웨이 수

미국 캘리포니아 94087 서니베일 사메드라 스트리
트 1567

특허청구의 범위

청구항 1

입사 파면을 제1 방향으로는 제1 변위만큼 그리고 제2 방향으로는 제2 변위만큼 순차적으로 시프트(shift)시키도록 구성된 파면 스캐닝 장치와;

상기 순차 스캐닝 장치에 의해 시프트된 입사 파면의 부분을 선택하도록 구성된 조리개(aperture)와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하도록 구성된 접속 요소와;

접속 요소에 의해 접속된 시프트된 입사 파면의 부분의 기준점으로부터의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 상기 위치 감지 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 2

제1항에 있어서, 파면 스캐닝 장치는 입사 파면을 가로 방향으로 순차적으로 시프트시키는 파면 스캐너를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 3

제2항에 있어서, 파면 스캐너는, 축을 구비하는 전기 모터와 상기 축 위에 설치된 경사 미러를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 모터는 스템퍼 모터이고, 상기 경사 미러는 고정된 각도로 상기 축의 단부에 설치되어서, 상기 축이 회전할 때에 입사 파면의 환상 링 주위의 복수 개의 부-파면이 선택되는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 5

제2항에 있어서, 파면 스캐너는, 축을 구비하는 전기 모터와 상기 축 위에 설치된 비대칭 다면체 드럼 미러를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 6

제1항에 있어서, 위치 감지 장치는 4개의 감광성 영역을 구비하는 4분할 검출기인 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 7

제2항에 있어서, 파면 스캐너는 MEMS-기반 스캐너를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 8

제2항에 있어서, 파면 스캐너는 투과형 광학 빔 스캐너를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 9

제1항에 있어서, 조리개는 선택된 입사 파면 부분의 크기를 조절하는 가변 조리개인 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 10

입사 파면의 수차를 검출하는 방법으로서,

입사 파면을 제1 방향으로는 제1 변위만큼 제2 방향으로는 제2 변위만큼 순차적으로 시프트시키는 단계와;

시프트된 입사 파면의 부분을 조리개로 선택하는 단계와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하는 단계와;

위치 감지 장치 위에 접속된 입사 파면의 부분의, 위치 감지 장치 위의 기준점으로부터의 2차원적 편향(deflection)을 결정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 입사 파면의 수차를 특성화하기 위해 복수의 2차원적 편향을 분석하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 위치 감지 장치는 기준점을 갖춘 4분할 검출기이고, 상기 편향 결정 단계는, 4분할 검출기 위에 접속된 입사 파면의 부분의 2차원적 편향 좌표를 계산하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 13

제12항에 있어서, 선택 단계는 입사 파면의 환상 링 주위에 위치하는 시프트된 입사 파면의 부분을 순차적으로 선택하는 단계를 추가로 포함하고, 분석 단계는 2차원적 편향의 분산(scattering)을 결정하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 14

제11항에 있어서, 선택 단계는 입사 파면의 환상 링 주위에 위치하는 시프트된 입사 파면의 부분을 순차적으로 선택하는 단계를 추가로 포함하고, 분석 단계는 수렴 파면과 발산 파면 사이의 입사 파면의 변화를 나타내는, 접속된 부분의 위치에서의 부호 변화를 검출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 15

제10항에 있어서, 파면을 발생시키는 광원을 펄싱(pulsing)시키거나 혹은 버스팅(bursting)시키는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 16

제11항에 있어서, 디스플레이 장치 위에 패턴을 형성하기 위해 2차원적 편향들을 디스플레이하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 17

제12항에 있어서, 위치 감지 장치는 기준점을 갖고 있는 4분할 검출기이고, 편향들을 디스플레이하는 단계는 계산된 좌표들을 기초로 하는 각각의 접속된 부분을 디스플레이하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 18

제14항에 있어서, 디스플레이 장치 위에 2차원적 편향들을 실시간으로 디스플레이하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 검출 방법.

청구항 19

입사 파면의 수차를 보상하는 방법으로서,

입사 파면을 제1 방향으로는 제1 변위만큼 제2 방향으로는 제2 변위만큼 순차적으로 시프트시키는 단계와;

시프트된 입사 파면의 부분을 조리개로 선택하는 단계와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하는 단계와;

입사 파면의 수차를 결정하기 위해, 위치 감지 장치 위에 접속된 시프트된 입사 파면의 접속된 부분의 위치 감지 장치 위의 기준점으로부터의 2차원적 편향을 측정하는 단계와;

시프트된 입사 파면의 접속된 부분의 2차원적 편향을 기초로 피드백 기준을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 입사 파면의 수차를 보상하기 위해, 피드백 기준을 이용하여 광학 파면 보상 장치를 제어하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 21

제19항에 있어서, 선택 단계는 입사 파면의 환상 링 주위의 시프트된 입사 파면의 복수의 부분을 순차적으로 선택하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 피드백 기준 형성 단계는 파면의 디포커스를 교정하는 기준으로서 편향의 분산을 최소화하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 23

제21항에 있어서, 피드백 기준 형성 단계는 파면 전방의 광학 시스템이 접속상태인 때를 나타내기 위한 기준으로서 접속된 부분의 편향의 부호 변화를 검출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 24

제21항에 있어서, 피드백 기준 형성 단계는 파면의 비점수차를 교정하는 피드백 기준으로서 원으로부터 편향-형성된 패턴의 편차를 검출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 25

제21항에 있어서, 피드백 기준 형성 단계는 파면의 비점수차 교정을 위한 피드백 기준으로서 편향-형성된 패턴의 비정상 회전을 검출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 26

제21항에 있어서, 피드백 기준 형성 단계는 비점수차를 교정하는 피드백 기준으로서 편향-형성된 패턴의 타원률을 검출하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 27

제21항에 있어서, 디스플레이 장치 위에 2차원적 편향들을 실시간으로 디스플레이하는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 입사 파면의 수차 보상 방법.

청구항 28

입사 파면을 제1 방향으로는 제1 변위만큼 제2 방향으로는 제2 변위만큼 순차적으로 시프트시키도록 구성된 파면 스캐닝 장치와;

순차 스캐닝 장치에 의해 시프트된 입사 파면의 부분을 선택하도록 구성된 조리개와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하도록 구성된 접속 요소와;

접속 요소에 의해 접속된 시프트된 입사 파면의 부분의 기준점으로부터의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 상기 위치 감지 장치와;

시프트된 입사 파면의 순차적으로 선택된 부분들의 검출 위치를 기초로 하여 피드백 신호를 생성하는 파면 수차 분석 장치와;

폐쇄 회로 제어 시스템 내에서 피드백 신호를 사용하여 보상을 행하는 파면 수차 보상용 파면 보상 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 보상 시스템.

청구항 29

제28항에 있어서, 파면 보상 장치는 파면 접속을 위해 축 방향으로 구동되는 광학 렌즈를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 보상 시스템.

청구항 30

제28항에 있어서, 파면 보상 장치는 회전 구동되는 비점수차 교정 요소를 포함하는 것을 특징으로 하는 파면 보상 시스템.

청구항 31

입사 파면을 순차적으로 시프트시켜 환상 링이 수집되도록 하도록 구성된 파면 스캐닝 장치와;

파면 스캐닝 장치에 의해 시프트된 입사 파면의 부분을 선택하도록 구성된 조리개와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하도록 구성된 접속 요소와;

접속 요소에 의해 접속된 시프트된 입사 파면의 부분의 기준점으로부터의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 상기 위치 감지 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 32

입사 파면을 제1 방향으로는 제1 변위만큼 그리고 제2 방향으로는 제2 변위만큼 순차적으로 시프트시키도록 구성된 파면 스캐닝 장치와;

파면 스캐닝 장치에 의해 시프트된 입사 파면의 부분을 선택하도록 구성되며, 민감도와 분해능이 제어될 수 있도록 그 크기가 변화하는 가변 조리개와;

상기 조리개에 의해 선택된 시프트된 입사 파면의 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하도록 구성된 접속 요소와;

접속 요소에 의해 접속된 시프트된 입사 파면의 부분의 기준점으로부터의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 상기 위치 감지 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 순차 파면 센서.

청구항 33

입사 스폰 영상의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 위치 감지 장치와;

파면의 일부를 통과시켜 스폰 영상을 위치 감지 장치 위에 투영시키도록 구성된 조리개와;

입사 파면의 임의의 부분을 순차적으로 안내하여 상기 조리개를 통과시키도록 구성된 스캐닝 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 34

제33항에 있어서, 스캐닝 장치는 임의의 반경 방향 및 방위각 방향으로 단계적으로 구동되는 반사 요소를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 35

제33항에 있어서, 스캐닝 장치는 임의의 반경 방향 및 방위각 방향으로 입사 파면을 연속적으로 시프트시키도록 구성된 반사 요소를 포함하는 것을 특징으로 하는 시스템.

청구항 36

조리개 평면을 따라 배치되어 있는 조리개와;

조리개 평면 위에 입사된 파면을 복제하도록 구성된 광학 시스템과;

상기 광학 시스템 내에 포함되어 있고, 입사 파면의 투영된 복제본의 임의의 부분이 조리개를 통과하도록 선택될 수 있게 입사 파면을 선택된 2차원적 가로 방향의 변위로 조리개 평면 위에 투영시키도록 구성된 파면 위치 설정 장치와;

조리개를 통과하도록 선택된 입사 파면의 투영된 복제 부분을 위치 감지 장치 위에 접속하도록 구성된 접속 요소와;

접속 요소에 의해 접속된 시프트된 입사 파면의 부분의 기준점으로부터의 2차원적 변위를 나타내도록 구성된 상기 위치 감지 장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 순차 파면 센서에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 파면 센서는 광선의 파면의 형상(shape)을 측정하는 데에 사용되는 장치이다(예를 들어, 미국 특허 제4,141,652호 참조). 대부분의 경우에, 파면 센서는 평면 파면과 같은 이상적인 파면 또는 기준 파면으로부터의 파면의 이탈을 측정한다. 파면 센서는 인간의 눈과 같은 각종 광학 영상 시스템의 저차 수차(low order aberration) 및 고차 수차를 측정하는 데에 사용된다(예를 들면, 제이. 리앙 등 저(1994) "Objective measurement of the wave aberration of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor," J. Opt. Soc. Am. A11, 1949-1957; 티. 데이브 (2004) "Wavefront aberrometry Part 1: Current theories and concepts" Optometry Today, 2004 Nov. 19, page 41~45 참조). 또한, 파면 센서는 왜곡된 파면을 측정하면서 예를 들면 변형 거울(deformable mirror)과 같은 광학 파면 보상 장치를 사용하여 실시간으로 보상하는 적응 광학에 사용될 수 있다. 그러한 보상의 결과로서 선명한 화상을 얻을 수 있다(예를 들어, 미국 특허 제5,777,719호 참조).

[0003] 현재, 인간의 눈의 수차를 측정하는 대부분의 파면 센서들은 측정된 파면이 동시에 병렬적으로 많은 부-파원(sub-wavefront)으로 분할되는 색-하트만 타입(Shack-Hartmann type)이다. 그러한 센서의 필수 구성요소는 광원 또는 입력 광학 빔, 작은 렌즈들 어레이(소형 렌즈 어레이(lenslet array)라고도 함) 및 카메라 또는 상기 소형 렌즈 어레이에 의해 형성된 스롯 영상의 위치(센트로이드(centroid)라고도 함) 및 패턴을 기록하는 수단을 포함한다.

[0004] 도 1은 눈 수차 측정에 사용되는 대표적인 종래 기술인 Shack-Kartmann 센서이다. 일반적으로 광원으로서 SLD(superluminescent diode)(102)가 사용되고, 광은 눈의 광학시스템(각막(104)과 수정체(106)를 포함하는)을 통해 망막(108) 위의 상대적으로 작은 영역으로 전달된다. 망막(108)에서 산란된 빛은 눈의 광학 결상 시스템(각막(104)과 수정체(106)를 포함하는)을 통해 이동하여 이탈된 파면(110)으로 동공(pupil)으로부터 나온다. 각막(104)과 망막(108) 외의 수정체(106)의 광학 계면에 의해 반사된 광으로부터의 간섭을 억제하기 위해, 상대적으로 좁은 입사 광선이 제1 방향으로 제1 편광판(polarizer)(112)에 의해 편광된다. 망막에 의해 산란된 빛은 편광을 소멸시키므로, 망막 산란된 빛은 일반적으로 제2 직교 분석기(orthogonal analyzer)(114)로 제2 직교 편광 방향에서 측정된다.

[0005] 예를 들어 한 세트의 렌즈로 구성된 중계 광학 시스템(relay optics system)(116)을 사용하여 이탈된 파면을 소형 렌즈 어레이(118) 위에 확대하거나 축소하거나 또는 단순히 전달할 수 있다. 만약 소형 렌즈 어레이(118)가 동공 공액 평면(pupil conjugate plane)(동공의 결상 평면) 내에 있다면, 소형 렌즈 평면의 파면은 눈의 동공의 파면 형상과 동일하거나 혹은 확대 또는 축소된 것일 수 있다. 그런 다음에, 소형렌즈 어레이(118)는 CCD 카메라(120) 위에 스롯 영상 어레이를 형성시킨다. 눈이 완벽한 광학 시스템이라면, 소형 렌즈 어레이 평면에서의 파면은 완전하게 평탄(flat)(점선 직선(122)으로 도시한 바와 같이)할 것이고, 균일하게 분포하는 스롯 영상 어레이가 상기 소형 렌즈 어레이의 초점 평면에 위치하고 있는 CCD 카메라(120)에 기록될 것이다.

[0006] 다른 한편으로, 눈이 완벽하지 않다면, 소형 렌즈 어레이의 파면(124)은 더 이상 완전하게 평탄한 형상이 아니라 불규칙한 곡형으로 될 것이다. 결과적으로, CCD 카메라(120) 위의 스롯 영상은 수차가 없는 경우에 해당하는 위치로부터 벗어나게 될 것이다. CCD 카메라(120) 위의 스롯 영상 위치의 데이터 처리를 통해 눈의 저차 수차 및 고차 수차를 측정할 수 있다(예를 들어, 제이. 리앙 등 저(1994) "Objective measurement of the wave aberration of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor," J. Opt. Soc. Am. A11, 1949-1957 참조).

[0007] 파면 센서가 광학 영상 시스템의 저차 수차 및 고차 수차 모두를 측정할 수는 있지만, 사람 눈과 같이 비-정적(non-static)인 영상 시스템의 경우에는, 단지 눈의 중앙부로부터 측정되는 구면원주(sphero-cylindrical) 에러

에 상당하는 저차 수차만이 비교적 일관적이라는 것이 알려져 있다(예를 들면, Ginis HS, et al. "Variability of wavefront aberration measurements in small pupil sizes using a clinical Shack-Hartmann aberrometer" BMC Ophthalmol. 2004 Feb 11;4:1.).

[0008] 실제로, 대부분의 안저(fundus) 영상 광학 시스템뿐만 아니고 대부분의 눈 수차 측정과 교정에 있어서, 측정되고 교정되어야 하는 광학 수차는 구면원주 에러이다(디포커스 및 비점수차(난시)라고도 함). 입력 파면의 환상 링 주위의 소량의 부-파면을 사용하여 이들 수차들이 측정될 수 있다는 것은 당업자에게 공지되어 있다. 그러한 경우에서, 판독된 CCD 검출기 어레이의 대부분은 폐기될 것이다. 비용을 절감하기 위해, 많은(일반적으로 8개 또는 16개) 4분할 검출기(quad-detector)들이 이탈된 파면의 환상 링 주위에 배치되어서 이들 부-파면들만을 측정할 수 있게 된다(예를 들면, 다른 모든 참고문헌과 함께 미국 특허 제4,141,652호 참조, 이를 특히 문헌의 전부는 본 명세서에 참고문헌으로 통합되어 있다).

[0009] 그러나, 이 장치에 있어서도, 전체적인 비용이 큰 면적의 CCD 카메라에 비해 저렴하기는 하지만, 여전히 복수의 4분할 검출기를 사용할 것이 요구되기 때문에, 하나의 4분할 검출기를 사용하는 것보다는 비용이 많이 들어간다. 또한, 하나의 4분할 검출기를 정렬하는 것보다는 여러 개의 4분할 검출기를 정렬하는 것이 매우 어렵다.

발명의 상세한 설명

[0010] 참고적으로 본 발명의 다양한 실시태양들을 상세하게 기재한다. 이들 실시태양들의 실시예가 첨부하는 도면에 기재되어 있다. 본 발명을 이들 실시태양들과 연계하여 설명하지만, 이것은 본 발명을 임의의 실시태양으로 한정하기 위한 것이 아님을 명심해야 한다. 반대로, 변형, 대안 실시예 및 균등물들이 첨부된 청구항에 규정하고 있는 본 발명의 사상 및 청구 범위 내에 포함될 수 있다. 아래의 기재에서, 다양한 실시예들을 더욱 자세하게 이해하도록 하기 위해 많은 특정한 상세 사항을 기재하고 있다. 그러나, 본 발명은 이들 특정 상세 사항의 일부 또는 전부가 없더라도 실시될 수 있다. 본 발명이 불필요하게 불명료해지는 것을 방지하기 위해, 공지되어 있는 공정들은 상세하게 기재하지 않았다.

[0011] 본 발명의 일 실시태양은, 광선 스캐닝 모듈, 부-파면 접속 렌즈, 하나 이상의 감광성 영역을 갖추고 있는 검출기 및 부-파면으로부터 순차적으로 얻은 접속된 광점의 센트로이드들을 계산하여 입사 파면의 수차를 결정하는 프로세서를 포함하는 순차 파면 센서이다. 본 발명의 본 실시태양에서, 부-파면 접속 렌즈와 검출기가 공간에 고정되고, 입사 빔은 광선 스캐닝 모듈에 의해 스캐닝되어 입사 빔으로부터의 파면의 다른 부분 또는 파면의 복제 파면을 부-파면 접속 렌즈 및 검출기에 투영한다. 프로세서는 x-y 평면 위에 센트로이드 트레이스 또는 패턴을 계산하는 데에 사용할 수 있는 컴퓨터 또는 프로그램 가능한 전자 보드일 수 있다.

[0012] 도 2는 순차 파면 센서(200)의 일 실시태양의 대표적인 개략 선도이다. 파면(202)을 갖는 선형 편광된 입사 광선이 제1 렌즈(204)에 의해 접속된다. 접속 빔은, 이를 통과한 편광 방향이 입사 빔의 편광 방향과 정렬이 되도록 배치되어 있는 편광 빔 스플리터(PBS: polarization beam splitter)(206)를 통과하여 이동한다. 그 결과, 선형 편광 수렴 빔은 PBS(206)를 통과한다. 사분파 판(quarter-wave plate)(208)이 진상축(進相軸)으로 지향된 상태로 PBS(206) 뒤에 위치해서 사분파 판(208)을 통과한 후에는 원형 편광 빔이 나온다. 핀홀(210)이 광선의 관련 파면으로부터 직접 입사되지 않는 빛을 배제할 목적으로 사분파 판(208) 뒤에 그리고 스캐닝 미러(212) 바로 앞에 위치한다.

[0013] 핀홀(210)을 통과한 후에, 입사 수렴 빔은 모터 축(214) 위에 장착되어 있는 경사진(tilted) 스캐닝 미러(212)의 반사면 위에 접속된다. 상기 미러에 의해 반사된 광선은 발산하는데, 그 빔 중앙 주 광선의 방향은 스캐닝 미러(212)의 경사각과 모터(214)의 회전 위치에 따라 변한다. 반사된 빔은 여전히 원형 편광되어 있지만, 원형 편광 회전 방향은 좌측에서 우측으로 또는 우측에서 좌측으로 변할 수 있다. 따라서, 반사 경로에서 두 번째로 사분파 판(208)을 통과한 경우, 빔은 다시 선형 편광되지만 그 편광 방향은 원 입사 빔의 방향에 대해 직각으로 회전한다. 따라서, 편광 빔 스플리터(206)에서, 반사된 빔은 도 2에서 점선 광선으로 도시한 바와 같이 대부분 좌측으로 반사된다.

[0014] 제2 렌즈(216)는 PBS(206)의 좌측 옆쪽에 위치해서 반사된 발산 빔을 시준(collimate)하고 원 입사 파면의 복제 파면을 생성한다. 스캐닝 미러가 경사져있기 때문에, 복제된 파면은 가로방향으로 시프트된다. 조리개(aperture)(218)가 제2 렌즈(216) 뒤에 그리고 부-파면 접속 렌즈(220)의 전방 우측에 위치해서 복제된 파면의 작은 부분을 선택한다. 부-파면 접속 렌즈(220)는, 순차적으로 선택된 부-파면들로부터 생성된 접속된 광점(light spot)의 센트로이드를 결정하는 데에 사용되는 위치 감지 장치(222) 위에 선택된 부-파면을 접속한다.

단계적으로 모터(214)를 회전시키고 스캐닝 미러(212)의 경사각을 변화시켜서, 복제된 파면의 임의의 부분이 선택되어서 순차적으로 조리개(218)를 통과하도록, 복제된 파면의 반경 방향 및 방위각 방향으로의 시프트량이 제어될 수 있다. 그 결과, 각 부-파면의 센트로이드가 병렬적인 방식이 아닌 순차적으로 얻어진다는 점을 제외하면, 표준 Hartmann-Shack 파면 센서의 경우에서 원 입사 빔의 파면 전부를 특성화할 수 있다.

[0015] 다른 실시태양에서는, 스캐닝 미러의 경사각이 고정되고 모터가 단단으로 연속적으로 회전한다. 그 결과, 파면의 환상 링 주위의 단지 선택된 수량의 부-파면이 선택되어 측정된다. 이러한 스캐닝 모드는 배경기술 부분에서 기술한 바와 같이, 구면원주 에러 또는 디포커스 및 오리지널 파면의 비점수차를 결정하는 데에 매우 유용하다. 도 3은, 원 파면의 환상 링(320) 주위의 조리개(310)에 의해 선택된 4 개의 부-파면(312, 314, 316, 318)에 대응하는 각 회전의 4 개의 대칭 정지 모터 위치에서의 복제된 파면(302, 304, 306 및 308)의 조리개(310)에 대한 반경 방향과 방위각 방향의 시프트를 도시하고 있다.

[0016] 본 발명의 청구범위를 일탈하지 않으면서도, 사용되는 요소에 대해 많은 변형이 이루어질 수 있음을 명심해야 한다. 예를 들어, 사분파 판은 비영차(non-zero order) 사분파 판일 수 있고, 이것은 반사 빔의 편광 방향을 각 방향으로 회전시킬 수 있는 패러데이 회전기(Faraday rotator)로 대체될 수도 있다. 한편, 입사 빔이 선형으로 편광될 필요는 없고, 빔 스플리터는 편광 빔 스플리터로 한정될 필요가 없다. 일반적인 광학 빔 스플리터가 사용될 수 있으며, 그런 경우에는 사분파 판 또는 패러데이 회전기는 사용되지 않을 수 있다. 검출기에 대한 광학 파워 효율이 저하되더라도, 검출기에 충분한 광학 파워가 전달되는 한은, 이것이 반드시 파면 센서의 성능에 영향을 미치는 것은 아니다.

[0017] 위치 감지 장치(PSD)는 다양한 크기의 광점의 센트로이드를 측정하는 데에 사용되는 센서이다. 상기 위치 감지 장치는 4분할 검출기, PSD 센서 또는 소 영역 2D 검출기 어레이와 같은 감광성 영역을 복수 개 구비하고 있는 검출기일 수 있지만, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 검출기들은 CCD 영역 검출기와 CMOS 영역 검출기를 포함한다. 렌즈(204, 216, 220)를 포함한 사용되는 렌즈들은 단일 렌즈(single lens)로 한정될 필요는 없고, 당업자에게 공지되어 있는 렌즈들을 조합한 렌즈일 수 있다. 만약 부-파면 접속 렌즈가 단일 소형 렌즈만큼 작은 경우에는, 부-파면 접속 렌즈의 전방에 있는 조리개는 제거될 수 있다. 그렇지 않은 경우, 조리개를 사용하는 것이 바람직하며, 조리개를 사용하는 목적은 조리개 후방에서 사용되는 부-파면 접속 렌즈의 크기가 상대적으로 큰 경우에 검출기 위에 접속할 파면의 소부분을 선택하기 위한 것이다. 조리개는 크기가 고정된 구성으로 반드시 한정될 필요는 없다. 가변 크기의 조리개를 사용하면, 동작 중에 민감도와 분해능을 선택할 수 있게 된다.

[0018] 또한, 부-파면 접속 렌즈는, 예를 들면 접속형 렌즈(graded index lens) 또는 접속 미러와 같은 접속 기능을 달성할 수 있는 임의의 광학 요소로 대체될 수 있다. 또한, 모터의 매회 회전할 때마다의 정지 횟수가 4회로 한정될 필요가 없으며, 임의의 횟수일 수 있다. 한편, 모터는 연속적으로 회전할 수 있고, 광원은 각기 다른 시간에 켜지도록 단-펄스(short-pulsed)식일 수 있다. 스캐닝 미러의 경사각은 실시간으로 동적으로 변하여 파면의 다른 환상 링 부가 선택될 수 있다. 실제로, 본 명세서에서 "경사 미러"라는 용어를 사용하고 있지만, 상기 용어는 경사각이 0인 미러, 다시 말하면, 입사 빔이 미러에 대해 수직이어서 원 파면의 중앙부가 검출기에 지향될 때에 반사 빔이 입사 빔에 대해 동축인 미러도 포함하는 것으로 이해해야 한다.

[0019] 모터 회전 및 스캐닝 미러 기울이기의 순서가 반대로 될 수 있거나 혹은 혼합될 수 있어서 부-파면의 선택이 소망하는 임의의 순서로 이루어질 수 있다. 게다가, 스캐닝 미러 및 모터는, 현재 시장에서 시판되고 있는 MEMS(micro-electrical-mechanical-system) 미러 또는 반사 광선의 방향을 변경시킬 수 있는 임의의 변형성 미러(deformable mirror)로 대체될 수 있지만, 이에 한정되는 것도 아니다. MEMS 미러 사용의 이점은, 움직여야 하는 미러의 무게가 작기 때문에 상대적으로 고주파 응답을 한다는 것으로, 그 결과, 고속 순차 파면 검출이 이루어질 수 있다. 또한, MEMS 미러의 경사각은 용이하게 제어될 수 있다.

[0020] 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서도, 시스템 구성에 대해서도 많은 변형이 이루어질 수 있음을 명심해야 한다. 예를 들면, 먼저 파면을 후방으로 반사시키고 나서 빔을 측면으로 편광시킬 절대적인 필요성은 없다.

[0021] 선택적으로, 스캐닝 미러는 각 반사면이 단계적으로 또는 연속적으로 회전하도록 소망하는 공간 방향으로 되어 있는 각 반사면을 갖추고 있는, 일반적이지는 않은 다면체 드럼 미러(multiple faceted drum mirror)(412)로 대체될 수 있고, 수령 입사 빔은 중앙의 주 광선이 콘 주위를 투사하면서 반사된다. 도 4는 반사 빔이 가로 방향 상향으로 시프트되는 구성(400)의 개략적인 단면을 도시하고 있다. 반사빔은 하향 시프트될 수도 있고, 좌측으로 또는 우측으로, 또는 임의 반경 방향 변위만큼 임의의 방위각 방향으로도 시프트될 수 있다는 점을 명심해야 한다. 이는 다면체 드럼(412)이 대칭 다각형이 아니기 때문이다. 각 반사면이 이동하여 입사 수령 빔을 반사할 때, 복제된 파면의 소망하는 부분이 검출기 위에 접속시키는 조리개에 의해 선택되도록 다른 공간상의 방향

으로 빔을 반사할 것이다.

- [0022] 또한, 핀홀은 입사 빔의 소망하는 방향 또는 위치에서 나오지 않는 광을 배제하기 위해 입사 광 경로를 따라 다면체 미러 전방에 배치될 수 있다. 전술한 모든 이점을 제공하는 다면체 미러 대신에 MEMS 미러를 사용해서도 이와 동일한 구성이 구현될 수 있음을 명심해야 한다. 또한, 다면체 드럼 미러는, 드럼이 다단으로 연속적으로 회전할 때에 파면의 환상 링 주위의 다수의 부-파면이 선택되어 검출기 위에 집속되도록 면 절단 각 배향 구성(a facet orientation arrangement)으로 될 수 있다.
- [0023] 다른 대안으로서, 상기 시스템은 반사 모드 대신에 완전한 투과 모드(transmissive mode)로 구성될 수도 있다. 도 5는 다면체 드럼 미러가 투과형 광학 빔 스캐너(512a, 512b)로 대체되어 있는 구성을 도시하고 있다. 현재 많은 투과형 광학 빔 스캐너가 시판되고 있으며, 그 예로는 음향-광학 변조기(acousto-optic modulator), 전기-광학 또는 자기-광학 빔 스캐너 및 도면에서 도면부호 512a로 표현되어 있는 액정 빔 스캐너를 포함한다. 그러한 경우, 특성화될 파면의 소망하는 다수 부분을 순차적으로 배향하기 위해서, 상기 빔 스캐너는, 투과형 스캐너의 윈도우부 위에 집속되거나 집속되지 않는 빔을 2차원적으로 스캐닝할 수 있어야 한다.
- [0024] 선택적으로, 상기 목적을 달성하기 위해 복수 쇄기부 디스크(multiple wedge section disk)(512b)가 사용될 수도 있다. 반사형의 경우의 다면체 드럼 미러에 대해 논의한 바와 같이, 하나의 웨지부가 집속되거나 집속되지 않은 빔을 편광시키도록 소정 위치에서 회전할 때 웨지각이 나오는 빔의 방향 및 그에 따른 조리개에 의해 선택되는 파면의 부분을 선택할 것이라는 점에서, 복수 쇄기부 디스크(512b)는 비-대칭 디스크이어야 한다. 소망하는 부-파면이 순차적으로 특성화되도록 하기 위해, 각각의 웨지부는 각기 다른 웨지각 방향을 가져야 한다. 투과형 스캐너의 윈도우가 작은 경우, 입사 빔은 투과형 스캐너의 위치에 집속될 필요가 있고, 그러한 경우에 제1 렌즈는 입사 광학 빔을 집속하여야 하고, 제2 렌즈는 투과된 빔을 시준하여 공간상에서 가로 방향으로 시프트되는 입사 파면의 복제 파면을 생성하게 된다.
- [0025] 본 발명의 다른 실시태양에서, 입사 빔 파면의 가로 방향으로 순차적으로 시프트시키는 개념이, 입사 빔이 집속되지 않고서 재시준(re-collimated)되는, 입사 빔의 직접적인 가로 방향 시프트를 포함하는 것으로 추가 확장된다. 대신에, 파면의 소망하는 부분이 조리개(618a, 618b)를 향해 시프트되도록 입사 빔이 가로 방향으로 시프트되게 조사된다. 이러한 구성의 이점은 필요한 광학 요소가 더 적어서 광 스캐닝 모듈이 더욱 간단해질 수 있다는 것이다. 도 6은, 각기 다른 소망 공간 배향을 갖는 다수의 평행 광학 블록(612a, 612b)이 빔을 가로 방향으로 시프트시키도록 광학 빔 경로로 순차적으로 스위치될 수 있는 실시예를 도시하고 있다.
- [0026] 선택적으로, 투과형 광학 빔 스캐너는 단계적으로 회전하여 광학 빔 경로를 인터셉터하여 빔을 순차적으로 가로 방향으로 시프트시킬 수 있는, 다면체 투과 다각형(multiple faceted transmissive polygon)일 수 있다. 또한, 광학 빔의 가로 방향 시프트는 반드시 기계적인 수단에 의해 이루어질 필요는 없다는 점을 명심해야 한다. 예를 들면, 빔을 가로 방향으로 시프트시키기 위해 액정 셀, 전기-광학 셀 및 자기-광학 셀이 사용될 수 있고, 그 경우에 셀의 유효 굴절률의 변경은 빔의 가로 방향 시프트 양을 효과적으로 변경시킬 수 있다. 반사 광학 빔 스캐너의 경우와 마찬가지로, 디포커스 및 비점수차 검출을 위해, 투과형 광학 빔 스캐너는 선택된 파면의 환상 링 주위의 다수의 부-파면을 검출기 위에 집속시킬 수 있다.
- [0027] 전술한 파면 센서는 많은 분야에 사용될 수 있다. 가장 중요한 활용 분야는 변형성 미러 어레이 같은 파면 보상 장치를 사용하여, 측정된 왜곡된 파면이 실시간으로 보상될 수 있는 적응 광학(adaptive optics) 분야이다. 이 경우에서, 빔 스캐닝 속도는 상대적으로 빨라야 하며, 이에 따라 MEMS 미러 및 전기-광학 또는 자기-광학 셀 같은 고속 빔 스캐너 또는 시프터가 사용되는 것이 바람직하다.
- [0028] 전술한 실시태양의 두 번째로 중요한 활용 분야는 자동 집속 및/또는 비점수차 교정 분야이다. 인간의 눈과 같은 영상 시스템의 디포커스 및 비점수차를 추론하기 위해서 환상 링 주위의 소량(예를 들어 8개)의 부-파면이 특성화될 필요가 있다는 사실로 인해, 광학 빔 스캐닝 모듈은 심한 고주파 응답을 할 필요는 없기 때문에, 도 4에 도시한 바와 같이, 스텝 모터 위에 장착된 경사 미러 같은 저가의 빔 스캐너로도 충분하다. 예를 들면, 전술한 파면 센서는, 미국 특허 제6361167호 및 미국 특허 제6685317호에 개시되어 있는 눈 영상 시스템의 디포커스 및/또는 비점수차 교정을 실시간으로 행하는 안저 카메라(fundus camera)에 사용될 수 있으며, 이때에 고 해상도의 안저 영상이 얻어질 수 있다.
- [0029] 전술한 파면 센서의 다른 특징은, 단지 디포커스 및/또는 비점수차의 특성화에만 적용될 경우에는 4분할 검출기면 충분하고, 그 출력을 처리해서 모니터 상에서 출력하여 실시간으로 나타낼 수 있는 순차적 트레이스 또는 패턴을 생성하여 비점수차 측정 아니라 광학 영상 시스템이 집속되어 있는지 아닌지, 초점이 어느 정도나 떨어

져 있는지, 디포커스가 수렴하는지 또는 발산하는지, 비점수차의 양을 알아낼 수 있다.

- [0030] 4 개의 감광성 영역(A, B, C 및 D)을 갖추고 있는 4분할 검출기(702)가 도 7에 도시되어 있다. 만약 부-파면이 4분할 검출기 전방에 있는 부-파면 접속 렌즈에 대해 직각으로 입사한다면, 4분할 검출기 위의 스포트 영상(704)은 중앙에 위치할 것이고, 4 개의 감광성 영역은 동일한 양의 광을 수용하여 각 영역은 동일한 강도의 신호를 생성하게 된다. 다른 한편, 부-파면이 수직 입사로부터 경사각(다시 말하면, 우상 방향을 지향)만큼 벗어나 있다면, 4분할 검출기 위의 스포트 영상은 중심으로부터 벗어나서 형성될 것이다(스포트 영상(706)으로 도시한 바와 같이 우상 사분면 쪽으로 이동). 중심($x=0, y=0$)로부터의 센트로이드의 일탈(x, y)는 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$x = \frac{(B+C)-(A+D)}{A+B+C+D} \quad (1)$$

$$y = \frac{(A+B)-(C+D)}{A+B+C+D}$$

[0032]

- [0033] 여기서, A, B, C 및 D는 4분할 검출기의 각각 대응하는 감광성 영역의 신호 강도를 나타내고, 분모($A+B+C+D$)는 광원 강도 변동 효과를 상쇄하도록 측정값을 표준화하는 데 사용된다.

- [0034] 광학 빔의 환상 링 주위의 많은 대칭 부-파면(예를 들어, 4, 8 또는 16)이 부-파면 접속 렌즈 및 4분할 검출기 위에 순차적으로 투영될 때(예를 들어, 시계 방향으로), 식(1)에서 (x, y)로 나타낸 센트로이드의 4분할 검출기의 중심으로부터의 이탈은 $x-y$ 평면 위에서 패턴을 그려 모니터에 출력될 수 있고, 또한 디지털화 처리되어서 디포커스 및 비점수차의 상태를 표현할 수도 있다.

- [0035] 도 8은 양호한 접속 상태, 디포커스 및 비점수차의 많은 대표적인 경우, 부-파면 접속 렌즈 후방의 4분할 검출기 상의 관련 스포트 영상 패턴 및 모니터에 출력된 때의 대응하는 센트로이드 위치의 순차적 이동을 나타내고 있다. 동일한 부-파면 접속 렌즈 및 4분할 검출기 위에 각기 다른 부-파면들을 갖고 투영되는 다수의 파면을 도시하는 대신, 다수의 부-파면이 동일한 환상 링 주위에 도시되고 이에 따라 다수의 4분할 검출기들이 동일한 환상 링 주위에 도시되어 파면의 각기 다른 부분이 접속 렌즈와 단일 4분할 검출기에 스캐닝되는 경우를 나타내는, 도 3에 도시한 바와 동등한 표현을 취했다.

- [0036] 상부 부-파면에서부터 파면 환상 링 주위를 스캔하기 시작해서, 화살표(809)로 표시한 바와 같이, 우측에 있는 제2 부-파면까지 시계 방향으로 이동하는 것을 상정한다. 도 8로부터 알 수 있는 바와 같이, 파면이 광학 시스템이 아무런 수차없이 양호하게 접속되어 있다는 것을 의미하는 평면파(801)일 때에, 모든 부-파면들(예를 들어, 802)이 4분할 검출기(804)의 중심에 스포트 영상(803)을 형성할 것이고, 그 결과, 모니터(806) 위의 센트로이드 자취(805)도 또한 $x-y$ 평면의 중심에 항상 위치할 것이다. 따라서, $x-y$ 평면에서의 모든 센트로이드 패턴 또는 자취가 양호한 접속 상태를 나타내는 데에 사용될 수 있다.

- [0037] 그러나, 좀 더 일반적인 경우에 있어서, 아래에서 간략하게 논의될 비점수차와 같이, 센트로이드를 $x-y$ 평면 중심으로부터 약간 이동하게 하는 입사 파면의 약간의 수차가 항상 있다. 이에 따라, 다른 수차가 존재하는 상태에서, $x-y$ 평면 중심에서부터의 센트로이드의 분산(scattering)을 최소화하는 것이 자동 접속 또는 접속 보조를 위한 기준으로서 사용될 수 있다. 그러한 경우에서, 센트로이드의 분산은 공동의 중심으로부터의 각 센트로이드의 절대 거리의 합으로 정의될 수 있고, 이 신호는 자동 접속용 폐쇄-회로 제어 시스템에서 피드백 신호로 사용될 수 있다.

- [0038] 도면부호(811)로 도시한 바와 같이 입사 파면이 발산(divergent)하는 경우, 각 부-파면(812)의 스포트 영상(813)의 중심은 4분할 검출기(814)의 중심으로부터 동일한 일탈 양만큼 파면 중심으로부터 반경 방향의 바깥쪽에 위치할 것이고, 그 결과, 모니터(816) 상의 자취(815)는 화살표(818)로 표시한 바와 같이 상부(817)에서 시작하는 시계방향 원이 될 것이다. 다른 한편으로, 도면부호(821)로 도시한 바와 같이 입사 파면이 수렴(convergent)하는 경우, 각 부-파면(822)의 스포트 영상(823)의 중심은 4분할 검출기(824)의 중심으로부터 동일한 일탈 양만큼 파면 중심에 대해서 반경 방향의 안쪽에 위치할 것이고, 그 결과, 모니터(826) 상의 센트로이드 자취(825)는 하부(827)에서 시작하는 원으로 될 것이고, 이는 여전히 화살표(828)로 표시한 바와 같이 시계방향이 될 것이다. 따라서, x -축 센트로이드 위치와 y -축 센트로이드 위치에 대해 부호 변화가 감지될 때, 이는 입사

파면이 발산 빔에서 수렴 빔으로 변화하는 것을 나타내고 또는 수렴 빔에서 발산으로 변화하는 것을 나타내는 것이다. 또한, 센트로이드 자취의 출발점은 입사 파면이 수렴인지 아니면 발산인지를 나타내는 기준으로도 사용될 수 있다.

[0039] 이러한 부호 변화 또는 출발점 변화 기준은 파면 센서 전방의 광학 시스템이 양호하게 접속되어 있는지 아닌지를 나타내는 피드백으로서 사용될 수 있다. 실제로는, 다른 많은 파면 수차들이 존재할 수 있고, 이에 따라 모든 센트로이드 위치에 대해서 부호 변화가 동시에 발생하지 않을 수 있다. 바람직한 실시예에서는, 미리 설정된 초점 조절 영역 내에서 모든 또는 대부분의 센트로이드 부호가 변하는 경우 그 파면은 양호하게 접속된 것으로 간주될 수 있도록, 파면 센서 전방에 있는 광학 시스템에서의 초점 조절의 임계량이 정해질 수 있다. 본 발명의 일 실시태양에서, 이러한 부호 변화를 자동 초점 조절 또는 초점 조절 보조용 기준으로 사용할 수 있고, 여기서 고속 모터에 의해 폐쇄-회로 제어 방식으로 축 방향으로 구동되는 가동 렌즈와 같은 고속 초점 조절 광학 요소 또는 모듈이 파면 센서 전방의 광학 시스템에 배치되어 부호가 변하는 시점에서 시스템을 잡그는 것에 의해 광학 시스템을 항상 접속된 상태로 유지한다. 선택적으로는, 동일한 목적으로, 액체 표면 장력 렌즈, 액정 렌즈 또는 음향-광학 렌즈와 같은 다른 유형의 초점 조절 렌즈가 사용될 수도 있다.

[0040] 발산 구면 입사 파면과 수렴 구면 입사 파면 둘 다의 경우에 있어서, x-y 평면 위에서의 순차 센트로이드 자취의 회전 방향은 입사 파면의 환상 링 주위의 부-파면의 스캐닝 방향과 동일하다. 본 발명의 상기 실시태양에서, 이러한 동일한 회전 방향을 정상(normal)으로 정의한다. 아래에서 간략하게 설명하는 바와 같이, 비점수차 입사 파면의 경우 x-y 평면 위에서의 순차 센트로이드 자취의 회전 방향은 입사 파면의 환상 링 주위의 부-파면의 스캐닝 방향과는 반대이고, 이러한 반대 회전 방향을 비정상(abnormal)으로 정의한다.

[0041] x-y 평면 위에서의 센트로이드 자취의 회전이 정상인 경우, 자취가 원형이라면, 원형 자취(815, 825)의 직경이 디포커스 정도를 나타내는 데에 사용될 수 있음은 명백하다. 실제로는 어떤 다른 수차들이 항상 존재하기 때문에 센트로이드 자취는 완전한 원이 아닐 수 있으며, 양호한 실시에서는 센트로이드 자취를 원으로 피팅해서 자취의 평균 직경 또는 반경을 구할 수 있다. 본 발명의 일 실시태양에서, 센트로이드 자취의 최소 평균 반경 또는 직경을 달성하는 기준을 접속을 보조하거나 혹은 자동 접속하는 데에 사용하고, 여기서 고속 모터에 의해 폐쇄-회로 제어 방식으로 축 방향으로 구동되는 가동 렌즈와 같은 고속 초점 조절 광학 요소 또는 모듈이 파면 센서 전방의 광학 시스템에 배치되어, 도 9에 도시한 바와 같이 광학 시스템이 항상 접속된 상태로 유지시킬 수 있다. 선택적으로는, 동일한 목적으로, 액체 표면 장력 렌즈, 액정 렌즈 또는 음향-광학 렌즈와 같은 초점 조절 렌즈가 사용될 수도 있다.

[0042] 도 8로부터 알 수 있는 바와 같이, 입사 파면이 비점수차인 경우, 입사 파면이 대략적으로(roughly) 접속되어 있을 수 있으며, 파면이 도면부호 831a로 도시한 바와 같이 수평방향으로는 발산, 도면부호 831b로 도시한 바와 같이 수직방향으로는 수렴일 수 있으며, 그 결과 수직방향 부-파면(833a)의 센트로이드 위치는 입사 파면 중심에 대해 반경 방향 바깥쪽에 위치할 수 있고, 수평방향 부-파면(833b)의 센트로이드 위치는 입사 파면 중심에 대해 반경 방향 안쪽에 위치할 수 있다. 결과적으로, 모니터(836) 위의 센트로이드 자취(835)는 상부(837)에서 출발하지만 화살표(838)로 나타내는 바와 같이 반시계 방향으로 이동해서 센트로이드 자취 회전은 이제 비정상으로 된다. 비점수차 파면이 대략적으로 접속되어 있다고 하는 것은, 비점수차 파면의 한 축을 따라서는 부-파면들이 발산하고, 비점수차 파면의 다른 축을 따라서는 부-파면들이 수렴하는 것을 의미한다는 것을 명심해야 한다. 본 발명의 일 실시태양에서, 센트로이드 자취의 이러한 비정상 회전 방향은, 1차적으로는 입사 파면이 비점수차이고 2차적으로는 비점수차 파면이 대략적으로 접속되어 있다는 것을 나타내는 데에 사용될 수 있다. 상기 비정상 센트로이드 자취의 진원(circularity)은 비점수차 입사 파면이 비교적 양호하게 접속되어 있는지 아닌지를 나타내는 데에도 사용될 수 있다.

[0043] 다른 한편, 입사 파면이 비점수차이지만 모든 부-파면들이 완전하게 수렴하거나 또는 완전하게 발산하는 경우, 센트로이드 자취의 회전은 디포커스된 파면의 발산 및 수렴에 대해 논의했던 바와 유사한 논의를 기초로 시계방향(다시 말하면, 정상)일 수 있지만, 비점수차의 경우에는, 하나의 비점수차 축을 따르는 부-파면들이 다른 축을 따르는 부-파면들보다 더 발산 또는 수렴할 수 있기 때문에, 모니터 상의 센트로이드의 자취는 원형이라기보다는 타원형이 된다. 좀 더 일반적인 비점수차 파면에 있어서, 센트로이드 자취는 타원형 또는 원형의 자취로 비정상 방향으로 회전하거나, 또는 센트로이드 자취는 정상 회전 방향으로 회전하지만 그 자취는 타원형일 것이다. 비점수차의 축을 나타내는 타원 축은 파면 중심에 대해 상대적으로 임의의 반경 방향에 있을 수 있다. 그러한 경우에, 환상 링 주위의 4개의 부-파면으로는 충분하지 않을 수 있고, 더 많은 부-파면들(4개 대신에 8개 또는 16개)이 부-파면 접속 렌즈 및 4분할 검출기 위에 투영되어 특정될 수 있다.

- [0044] 본 발명의 일 실시태양에서, 정상 센트로이드 자취의 타원율 또는 2개의 타원 축의 길이의 상대적 차이가 비점수차 정도를 나타내는 데에 사용될 수 있다. 본 발명의 다른 실시태양에서, 정상 타원형 센트로이드 자취의 축이 비점수차 축을 나타내는 데에 사용된다. 본 발명의 또 다른 실시태양에서, 파면 센서 모듈의 전방에 있는 광학 시스템의 비점수차를 교정하는 피드백 신호를 제공하는 데에 파면 센서가 사용될 수 있다. 그러한 경우, 센트로이드 자취의 회전 방향, 타원 축 및 타원율 모두는, 2개의 원통형 렌즈(1030, 1031)(도 10에 도시)를 조합한 성분으로서 비점수차 교정 요소를 회전시키는 것과 같이 작동시키는 폐쇄-회로 제어 시스템 내에서 피드백으로서 사용될 수 있다. 그러한 경우에, 센트로이드 자취 회전이 정상이라면, 센트로이드 자취의 타원율이 최소화될 수 있어서 자취가 최대한 원형으로 되어서 자동-비점수차-교정을 달성하게 된다. 다른 한편으로, 센트로이드 자취가 비정상이라면, 비점수차를 교정하는 우수한 기준은 우선 2개의 타원 자취 축 중에서 어느 한 축을 짧게하여 센트로이드 자취가 정상 회전하게 하고, 그리고 나서 동일한 축을 늘려서 센트로이드 자취가 원형이 되도록 한다. 그 결과로, 자동-비점수차-교정이 또한 달성될 수 있다.
- [0045] 본 발명의 다른 실시태양에서, 자동 초점 조절 동작 모드가 자동-비점수차-교정 동작 모드와 결합하여, 사람 눈과 같은 광학 영상 시스템의 디포커스와 비점수차 모두를 실시간으로 교정할 수 있다. 바람직한 실시는 비점수차 교정을 먼저 하고나서 디포커스 교정을 할 수 있다. 그러나, 이것이 상기 순서가 바뀔 수 없음을 의미하는 것은 아니며, 실제로, 일정한 기준에 달성될 때까지 상기 2개의 교정을 스위치하는 데에 반복적인 처리가 이루어질 수 있다. 본 출원명세서의 배경기술 부분에서 논의한 바와 같이, 디포커스와 비점수차는 광학 영상 시스템 품질에 실질적인 영향을 미칠 수 있는 2개의 주요 수차이다. 따라서, 전술한 파면 센서를 사용하여 이들 2개의 주요 수차들을 교정함으로써, 사람 눈의 안정 영상과 같은 고품질 영상이 얻어질 수 있다.
- [0046] 디포커스와 비점수차의 특성화와 교정에 대해 설명하기 위해, 4분할 검출기를 사용하여 공정의 원리를 설명하였지만, 센트로이드 위치 정보를 제공할 수 있는 한은 다른 유형의 검출기들도 사용될 수 있다. 전술한 바와 같이, 검출기는 영역 CCD 또는 영역 CMOS 검출기 어레이일 수 있다. 분명히, 이들 검출기들은 상술한 바와 같은 디포커스 및 비점수차를 특성화하고 교정하기 위해 4분할 검출기를 대신해 사용될 수 있다.
- [0047] 전술한 센서는 자동 접속 및 비점수차 교정용 안저 카메라의 고도 센서(advanced sensor)로 사용되는 외에 다른 많은 응용 분야에서도 사용될 수 있다. 예를 들면, 광학 정렬 툴에 사용될 수 있고, 새로운 자동-굴절렌즈(auto-refractor)의 기본이 되는 핵심 기술로도 사용될 수 있다. 상기 센서는 또한 어떠한 분야에서도 일반적인 접속 센서로 사용될 수 있다.
- [0048] 본 발명은, 부분적으로는 디지털 컴퓨터에 의해 실행되는 컴퓨터 가독 매체 상에 저장되는 프로그램 코드로 구현될 수도 있다. 컴퓨터 가독 매체는 자기 미디어, 광학 미디어, 전기-자기장 엔코딩 디지털 정보 등을 포함할 수 있다.
- [0049] 본 발명의 바람직한 실시태양들에 대한 기재는 설명을 목적으로 하는 것임을 이해해야 한다. 당업자라면 본 명세서에 기재된 것과 균등한 다른 실시태양을 인식할 수 있을 것이고, 균등물들은 첨부된 청구범위에 포함된다. 예를 들면, 단일 부-파면 접속 렌즈 및 단일 4분할 검출기가 사용되는 경우에 대해서 설명하였지만, 이것이 파면을 투영하여 파면을 다른 투영 위치로 투영하는 동일한 원리가 2개 또는 그 이상의 4분할 검출기 또는 다른 검출 모듈에 적용될 수 없다는 것을 의미하는 것은 아니다. 광 스캐닝 모듈은 입사 파면의 복수의 부분을 복수의 검출 모듈 위에 투영하여서, 일련의 부-파면 특성화를 완성하는 데에 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 예를 들면, 상기 원리는 소형렌즈들의 선형 어레이가 4분할 검출기의 선형 어레이와 평행하게 배치되어서, 4분할 검출기 및 소형렌즈들의 선형 어레이와 수직인 방향으로 파면을 스캐닝해서 입사 파면의 순차적 스캐닝이 달성될 수 있는 경우로 확장될 수 있다.

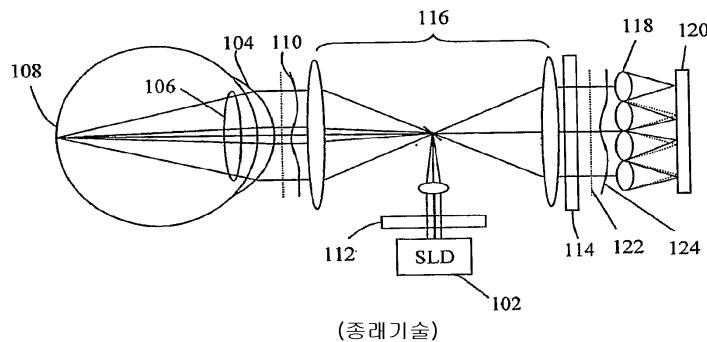
도면의 간단한 설명

- [0050] 도 1은 눈 수차 측정에 사용되는, 전형적인 종래의 Shack-Hartmann 센서를 도시하고 있다.
- [0051] 도 2는 순차 파면 센서의 일 실시예의 대표적인 개략 선도이다.
- [0052] 도 3은 원 파면의 환상 링 주위의 조리개(aperture)에 의해 선택되는 4개의 부 파면(sub waveform)에 해당하는, 4 개의 대칭 위치에 있는 복제된 파면의 반경 방향 및 방위각 방향으로의 상대적 이동을 도시한다.
- [0053] 도 4는 순차 파면 센서의 선택적인 실시예로서, 반사된 광선이 초기에 주사된 방향의 뒷 방향 대신에 스캐닝 미러에 의해 측방향으로 지향되는 실시예를 도시하고 있다.

- [0054] 도 5는 전달 광학 빔 스캐너가 사용되는, 순차 파면 센서의 다른 선택적인 실시예를 도시하고 있다.
- [0055] 도 6은 소망하는 공간상의 방향이 다른 복수 개의 평행 광학 블록이 순차적으로 광학 빔 경로를 스위칭하여 종 방향으로 빔을 변위시키는, 순차 파면 센서의 또 다른 선택적인 실시예를 도시하고 있다.
- [0056] 도 7은 4 개의 감광성 영역 A, B, C 및 D를 갖추고 있는 4분할 검출기와, 수직 입사하는 부-파면과 비-수직 입사하는 파면에 있어서, 4분할 검출기 위에 형성되는 스포트 영상을 도시하고 있다.
- [0057] 도 8은 양호한 접속 상태, 디포커스 및 비점수차의 많은 대표적인 경우, 부-파면 접속 렌즈 후방의 4분할 검출기 상의 관련 스포트 영상 패턴 및 모니터에 출력된 때의 대응하는 센트로이드 위치의 순차적 이동을 도시하고 있다.
- [0058] 도 9는 고속 초점 조절 광학 부재 또는 모듈이 고속 모터에 의해 폐쇄-회로 제어 방식으로 구동되어 광학 시스템을 접속된 상태로 유지하는 시스템을 도시하고 있다.
- [0059] 도 10은 2개의 원통형 렌즈를 회전시켜 비점수차를 조절 및 교정하기 위해 폐쇄-회로 제어 시스템 내에서 센트로이드 트레이스의 회전 조건이 피드백되어 사용되는 시스템을 도시하고 있다.

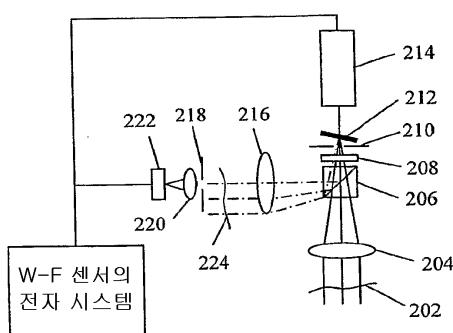
도면

도면1

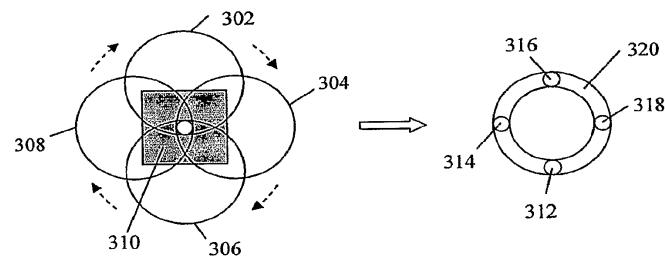


도면2

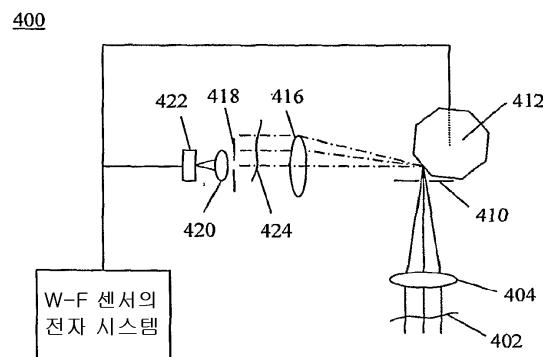
200



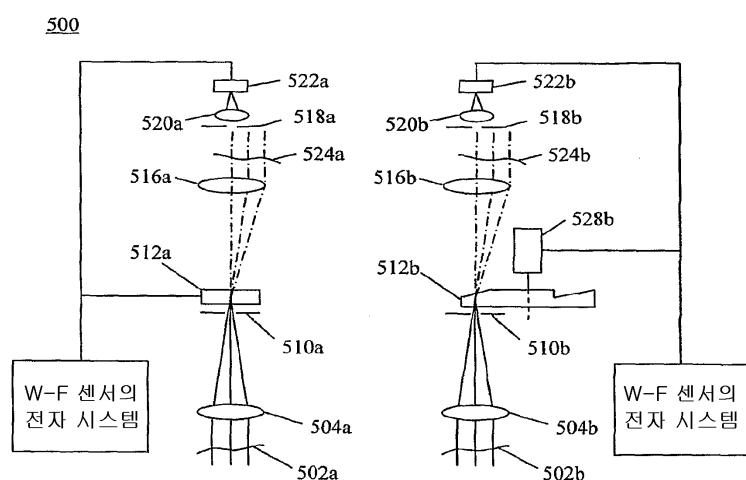
도면3



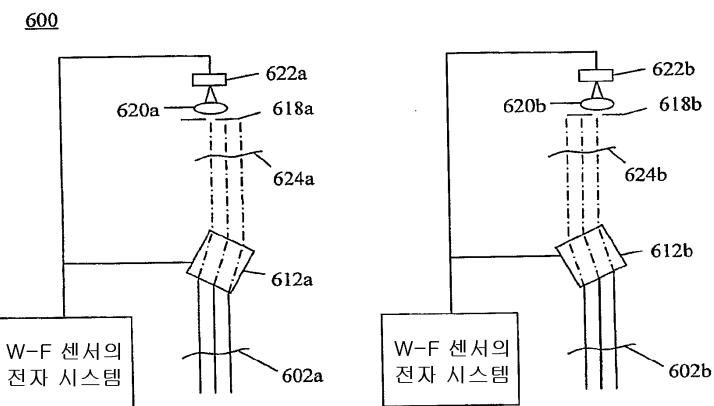
도면4



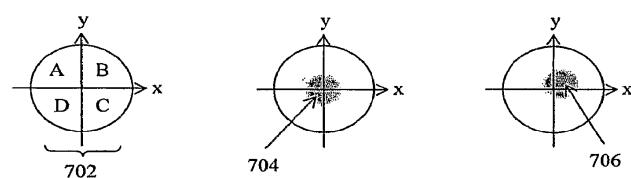
도면5



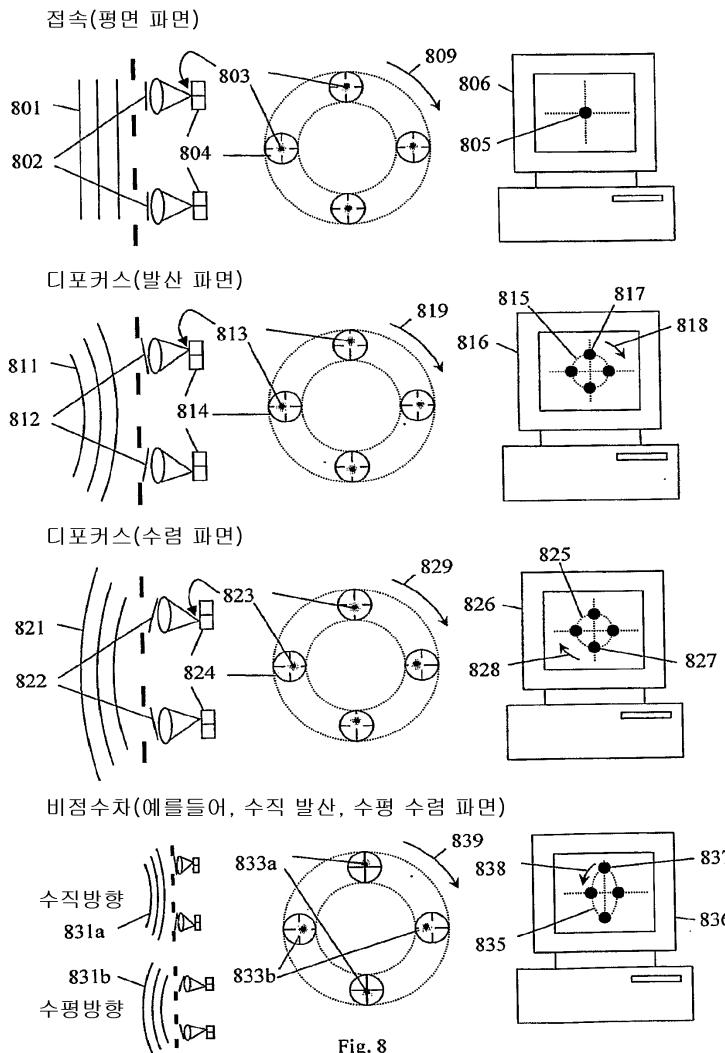
도면6



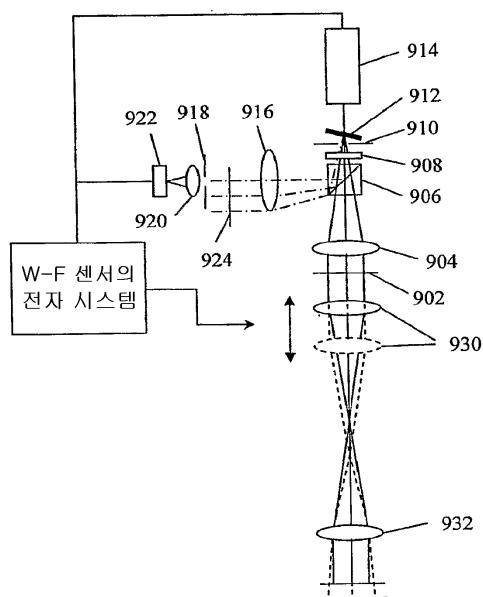
도면7



도면8



도면9

900

도면10

1000