



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월08일

(11) 등록번호 10-2430145

(24) 등록일자 2022년08월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09G 3/36 (2006.01) G02F 1/13363 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G09G 3/36 (2013.01)
G02F 1/13363 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0140499
(22) 출원일자 2018년11월15일
심사청구일자 2021년11월09일
(65) 공개번호 10-2019-0064443
(43) 공개일자 2019년06월10일
(30) 우선권주장
15/827,204 2017년11월30일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2010273039 A
JP2016109676 A
US20090213453 A1

(73) 특허권자
팔로 알토 리서치 센터 인코포레이티드
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 코요테 힐 로
드 3333
(72) 발명자
알렉스 헤기
미국 94110 캘리포니아 샌프란시스코 윈필드 에스
티 아파트 4 188
(74) 대리인
장훈

전체 청구항 수 : 총 20 항

심사관 : 김민수

(54) 발명의 명칭 상이한 두께의 액정 셀들을 이용한 액정 가변 지연자

(57) 요약

액정 가변 지연자는 각각 제 1 및 제 2 두께를 갖는 제 1 및 제 2 액정 셀을 가지며, 제 2 두께는 제 1 두께보다 작다. 피드백 센서는 액정 가변 지연자의 지연을 나타내는 피드백 신호를 제공한다. 제어기는 피드백 센서 및 제 1 및 제 2 액정 셀에 결합된다. 제어기는 타겟 지연 궤적 및 피드 포워드 제어 모델에 기초하여 제 1 신호를 제 1 액정 셀에 인가하도록 동작 가능하다. 제어기는 피드백 신호 및 타겟 지연 궤적에 기초하여 제 2 신호를 제 2 액정 셀에 인가한다.

명세서

청구범위

청구항 1

장치에 있어서,

액정 가변 지연자(retarder)로서,

제 1 두께를 갖는 제 1 액정 셀; 및

상기 제 1 두께보다 작은 제 2 두께를 갖는 제 2 액정 셀을 포함하는, 상기 액정 가변 지연자;

상기 액정 가변 지연자의 지연을 나타내는 피드백 신호를 제공하는 피드백 센서; 및

상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀 및 상기 피드백 센서에 결합된 제어기로서, 상기 제어기는:

타겟 지연 궤적(target retardance trajectory) 및 피드 포워드 제어 모델(feedforward control model)에 기초하여 상기 제 1 액정 셀에 제 1 신호를 인가하고;

상기 피드백 신호 및 상기 타겟 지연 궤적에 기초하여 상기 제 2 액정 셀에 제 2 신호를 인가하도록 동작가능한, 상기 제어기를 포함하는, 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 액정 가변 지연자에 열적으로 결합된 온도 센서를 더 포함하고, 상기 온도 센서로부터의 온도 신호가 상기 피드 포워드 제어 모델의 파라미터를 변경하기 위해 입력되는, 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 피드백 신호는 상기 피드 포워드 제어 모델의 파라미터를 조정하는데 사용되는, 장치.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 액정 가변 지연자의 개개의 입력측 및 출력측에, 제 1 편광자(polarizer) 및 제 2 편광자를 더 포함하고, 상기 제 1 편광자 및 상기 제 2 편광자는 상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀의 정렬 방향에 명목상 45도 각도에서 편광 축을 갖도록 배향되고, 상기 제 1 편광자 및 상기 제 2 편광자는 서로 수직 또는 평행한, 장치.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 피드백 센서는 광 검출기와 상기 제 1 편광자 및 상기 제 2 편광자와 상기 액정 가변 지연자를 통과하여 광 검출기를 조사(illuminate)하는 단색 광원을 포함하고, 상기 광 검출기는 그에 응답하여 전기 출력을 생성하는, 장치.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 제어기는 상기 전기 출력을 상기 액정 가변 지연자의 지연을 나타내는 상기 피드백 신호로 변환하도록 추가로 동작 가능한, 장치.

청구항 7

제 4 항에 있어서, 상기 제 1 신호 및 제 2 신호는 상기 액정 가변 지연자의 시변 광 경로 딜레이(time-varying optical path delay)가 광 경로 딜레이의 함수로서 변화하는 인터페로그램(interferogram)을 생성하게 하는, 장치.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

제 2 편광자로부터 방출된 광의 공간 의존성 세기 패턴을 기록하도록 결합된 이미지 센서를 더 포함하고; 및

상기 제어기는 상기 이미지 센서에 결합되어,

상기 액정 가변 지연자의 지연을 변화시키고,

상기 액정 가변 지연자의 지연의 변화로 광의 공간 의존성 세기 패턴의 이미지 센서의 기록을 동기화하도록 구성된, 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서, 액정 파장판(waveplate)을 더 포함하고, 상기 액정 파장판은 상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀 중 적어도 하나에 대한 잔류 지연을 정정하는, 장치.

청구항 10

제 1 항에 있어서, 상기 제어기에 결합된 액정 파장판을 더 포함하고, 상기 제어기는 최소 지연을 갖는 제 1 상태와 최대 지연을 갖는 제 2 상태 사이에서 상기 액정 파장판을 스위칭하도록 동작 가능한, 장치.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 피드백 센서는 적어도 상기 제 1 액정 셀의 커패시턴스(capacitance)를 검출하는 회로를 포함하는, 장치.

청구항 12

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀 중 적어도 하나는 이중 네마틱 셀(double-nematic cell)을 포함하는, 장치.

청구항 13

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀 중 적어도 하나는 파이-셀(pi-cell) 또는 OCB(optically-compensated bend) 셀을 포함하는, 장치.

청구항 14

제 1 항에 있어서, 상기 제 1 액정 셀은 상기 제 2 액정 셀의 응답 시간의 적어도 25 배의 응답 시간을 갖는, 장치.

청구항 15

장치에 있어서,

제 1 최대 지연을 갖는 액정 가변 지연자;

상기 제 1 최대 지연보다 작은 제 2 최대 지연을 갖는 액정 파장판으로서, 상기 액정 파장판은 상기 액정 가변 지연자에 대해 상기 액정의 파장판이 제 1 상태에서, 상기 액정 가변 지연자의 지연에 반대하는 최소 지연을 갖도록 배향되는 상기 액정 파장판;

상기 액정 파장판에 결합된 제어기로서, 상기 제어기는 상기 액정 파장판을 상기 제 1 상태에서 제 2 상태로 스위칭하도록 동작 가능하고, 상기 액정 파장판은 상기 제 2 상태에서 상기 제 2 최대 지연을 갖는, 상기 제어기; 및

상기 액정 가변 지연자의 개별 입력측 및 출력측에, 제 1 편광자 및 제 2 편광자를 포함하고,

상기 제 1 편광자 및 상기 제 2 편광자, 상기 액정 가변 지연자, 및 상기 액정 파장판은 편광 간섭계(polarization interferometer)를 형성하고, 상기 액정 파장판의 상기 제 1 상태 및 상기 제 2 상태는 상기 편광 간섭계의 출력이 제로 광 경로 딜레이에 대해 명목상(nominally) 일 측면(one-sided) 또는 상기 제로 광 경로 딜레이에 대해 명목상 대칭이 되게 하는, 장치.

청구항 16

삭제

청구항 17

제 15 항에 있어서, 상기 액정 가변 지연자는 제 1 두께를 갖는 제 1 액정 셀 및 상기 제 1 두께보다 작은 제 2 두께를 갖는 제 2 액정 셀을 포함하고, 피드백 신호는 상기 액정 가변 지연자의 지연 에러를 최소화하는 방식으로 상기 제 2 액정 셀에 인가되는 입력을 조정하는데 사용되는, 장치.

청구항 18

제 17 항에 있어서, 피드 포워드 모델은 상기 제 1 액정 셀에 인가되는 제어 입력을 조정하기 위해 사용되는, 장치.

청구항 19

방법에 있어서,

액정 가변 지연자의 온도를 나타내는 온도 신호를 수신하는 단계로서, 상기 액정 가변 지연자는 제 1 두께를 갖는 제 1 액정 셀 및 상기 제 1 두께 보다 작은 제 2 두께를 갖는 제 2 액정 셀을 포함하는, 상기 수신하는 단계,

타겟 지연 레도 및 상기 액정 가변 지연자의 피드 포워드 제어 모델의 출력에 기초하여 상기 제 1 액정 셀에 제 1 신호를 인가하는 단계로서, 상기 피드 포워드 제어 모델의 파라미터는 상기 온도 신호에 기초하여 수정되는, 상기 인가하는 단계;

상기 액정 가변 지연자로부터 지연 피드백 신호를 수신하는 단계; 및

상기 지연 피드백 신호에 응답하여 상기 제 2 액정 셀에 인가된 제 2 신호를 변화시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

광 센서로 상기 액정 가변 지연자를 통과하여 투과된 단색 광에 응답하여 상기 광 센서의 전기 출력을 결정하는 단계; 및

상기 전기 출력에 기초하여 상기 지연 피드백 신호를 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

청구항 21

제 19 항에 있어서,

상기 제 1 액정 셀 및 상기 제 2 액정 셀 중 적어도 하나의 커패시턴스를 결정하는 단계; 및

상기 커패시턴스에 기초하여 상기 지연 피드백 신호를 결정하는 단계를 더 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 상이한 두께의 액정 층을 이용한 액정 가변 지연자(retarder)에 관한 것이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0002] 일 실시예에서, 액정 가변 지연자는 각각 제 1 및 제 2 두께를 갖는 제 1 및 제 2 액정 셀을 가지며, 상기 제

2 두께는 상기 제 1 두께보다 작다. 피드백 센서는 액정 가변 지연자의 지연 (retardance)을 나타내는 피드백 신호를 제공한다. 제어기는 피드백 센서 및 제 1 및 제 2 액정 셀에 결합된다. 제어기는 타겟 지연 궤적 및 피드 포워드 제어 모델에 기초하여 제 1 신호를 제 1 액정 셀에 인가하도록 동작 가능하다. 제어기는 피드백 신호 및 타겟 지연 궤적에 기초하여 제 2 신호를 제 2 액정 셀에 인가한다.

[0003] 다른 실시예에서, 액정 가변 지연자 제 1 최대 지연을 갖고, 액정 파장판은 제 1 최대 지연보다 작은 제 2 최대 지연을 갖는다. 액정 파장판은 액정 가변 지연자에 관련하여 배향되어서, 제 1 상태에서 액정 파장판은 액정 가변 지연자의 지연(retardance)에 반대하는 최소 지연을 갖는다. 상기 액정 파장판에 결합된 제어기는 상기 액정 파장판을 상기 제 1 상태에서부터 제 2 상태로 스위칭하도록 동작 가능하다. 제 2 상태에서, 액정 파장판은 제 2 최대 지연을 갖는다.

[0004] 다른 실시예에서, 방법은 액정 가변 지연자 온도를 표시하는 온도 신호를 수신하는 단계를 포함한다. 액정 가변 지연자는 제 1 두께를 갖는 제 1 액정 셀을 가지며 제 1 두께보다 작은 제 2 두께를 갖는 제 2 액정 셀을 갖는다. 타겟 지연 입력 궤적 및 상기 액정 가변 지연자의 피드 포워드 제어 모델의 출력에 기초하여 제 1 신호가 제 1 액정 셀에 인가된다. 피드 포워드 제어 모델의 파라미터는 온도 신호에 따라 수정된다. 지연 가변 피드백 신호는 액정 가변 지연자로부터 수신되고, 제 2 액정 셀에 인가된 제 2 신호는 지연 피드백 신호에 응답하여 변화된다.

[0005] 이들 및 다른 특징들 및 다양한 실시예에서들의 측면은 이하의 상세한 논의와 첨부 도면에 비추어 이해될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0006] 논의는 이하의 도면들을 참조하여 이루어지고, 동일한 도면 번호는 다수의 도면들에서 유사한/동일한 컴포넌트를 식별하는데 이용될 수 있다. 도면은 반드시 축척이 맞게 도시된 것은 아니다

도면들 1a, 1b 및 1c는 예시적인 실시예에 따른 액정 가변 지연자의 도면이다.

도 2는 예시적인 실시예에 따른 장치의 블록도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 지연 제어 장치의 블록도이다.

도 4a 및 도 4b는 다른 실시예에 따른 장치의 블록도이다.

도 5 및 도 6은 예시적인 실시예에 따른 방법의 흐름도이다. 및

도 7은 다른 실시예에 따른 장치의 블록도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 본 개시는 광 감지에 사용되는 액정 디바이스들에 관한 것이다. 일반적으로, 액정 (LC : liquid crystal) 재료는 전기장 또는 자기장과 같은 외부 자극을 인가함으로써 선택 가능하게 변경될 수 있는 일부 결정 성질 (예를 들어, LC 분자의 국소적인 평균 배열을 나타내는 LC 조준기와 같은 내부 구조의 배향)을 갖는 액체이다. LC 조준기의 배향에서의 화는 예를 들어 LC 복굴절의 광축을 바꾸는 것과 같은 LC 재료의 광학 특성을 변경한다. 액정의 선택 가능한 배향은 광범위한 응용 (예를 들어, 전자 디스플레이)을 가지지만, 본 개시는 가변 광학 지연자 또는 LC 가변 지연자 (LCVR)로서 알려진 부류의 디바이스들에 관한 것이다.

[0008] LCVR 은 액정을 통과하여 이동하는 직교하는 편광들 사이에서 가변 광 경로 딜레이(delay) 또는 가변 지연을 생성한다. LCVR 내의 하나 이상의 액정 셀은 전기적으로 동조 가능한(tunable) 복굴절 엘리먼트로서 기능한다. 액정 셀의 전극의 양단의 전압을 변화시킴으로써, 셀 분자는 그들의 배향을 변화시키고, 입사 편광 방향의 제 1 광선과 직교 편광의 제 2 광선 사이의 가변적 인 광학 경로 딜레이를 생성하는 것이 가능하다. 이 경로 딜레이는 제 1 광선과 제 2 광선 사이의 파장 의존 위상 시프트(shift)를 유발한다.

[0009] LCVR 은 전기적으로 제어 가능한 광 경로 딜레이를 생성하기 때문에 때때로 간섭계, 특히 편광 간섭계 내에서 사용된다. 편광 간섭계(polarization interferometer)는 편광 엘리먼트를 복굴절 엘리먼트와 결합하여 인터페로그램(interferogram)을 생성하는 복굴절 엘리먼트에 의해 유도된 광 경로 딜레이가 공간적으로 및/또는 시간적으로 변하는 공통 경로 간섭계 (간섭계의 암(arm)들이 동일한 기하학적 경로를 따른다는 것을 의미함)이다.

[0010] LCVR로 편광 간섭계를 만들기 위해서 LCVR은 명목상(nominally) 평행 또는 수직 편광 축을 갖는 제 1 편광자와

제 2 편광자 사이에 배치된다. LCVR의 지상 축(slow axis) (가변 광 경로 딜레이를 갖는 편광 축)은 제 1 편광기의 편광 방향에 대해 명목상 45도 배향된다. 입사광은 제 1 편광자에 의해 입사 편광 방향으로 편광된다. LCVR의 지상 축이 이 입사 편광 방향에 대해 45도이기 때문에, 편광된 입사광은 LCVR의 지상 축에 평행하게 편광된 광의 부분 및 이 축에 수직으로 편광된 광의 부분으로 설명될 수 있다.

[0011] 광이 LCVR를 통과할 때 그것은 제 1 및 제 2 편광 사이의 파장 의존성 상대적인 위상 쉬프트를 획득하여 그에 의해 편광 상태에 파장 의존 변화로 이어진다. 제 1 편광자에 대해 평행 또는 수직으로 배향된 제 2 편광자 또는 분석기는 LCVR의 지상 축에 평행한 편광된 부분을 수직 편광된 광의 부분과 간섭시키고, 출력에서 파장-의존 편광 상태를 변화시킨다 LCVR을 광 검출기 또는 초점 평면 어레이에 의해 감지될 수 있는 파장-의존 세기 패턴으로 변환시킨다. LCVR의 지연을 변화시키면서 동시에 이 세기를 감지함으로써 입사광의 분광 특성을 확인하는데 사용할 수 있는 입사광의 인터페로그램을 측정하는 것이 가능하다.

[0012] LCVR에 기반한 편광 간섭계는 많은 용도를 가질 수 있다. 예를 들어, 이런 디바이스는 입사광의 분광 정보를 비-분광 분해 검출기로 쉽게 측정되는 세기 패턴으로 인코딩하는 그것의 능력 때문에 초분광 이미징 분야에 사용될 수 있다. 초분광 이미징은 조밀하게(densely) 샘플링된 이미지를 포함할 수 있는 초분광 데이터 세트 또는 데이터 큐브를 획득하기 위한 방법 및 디바이스를 의미하며 미세하게 분해된 분광 정보가 각각의 픽셀에 제공된다.

[0013] 편광 간섭계에 의해 제공된 파장 의존 세기 패턴은 대략 입사광의 분광의 코사인 변화에 대응한다. LCVR의 지연의 함수로서 편광 간섭계의 출력에서 공간 의존적 세기 패턴을 기록함으로써, LCVR을 통해 이미징된 장면의 모든 지점들에 의해 생성된 인터페로그램들은 동시에 샘플링 될 수 있다. 이로부터 초분광 데이터 큐브는 기록된 공간-중속 인터페로그램에 지연 축을 따라서 역 코사인 변환 또는 푸리에 변환과 같은 변환을 적용함으로써 명목상 복구될 수 있다.

[0014] 초분광 데이터 큐브를 정확하게 계산하기 위해서, 상기의 변환을 적용하는데 사용된 처리 장치는 각각의 개별 인터페로그램 샘플에 대해 클리어 개구를 통해 LCVR의 지연 상태를 정확한 지식을 가지고 있어야 한다. 또한, 초분광 (hyperspectral) 데이터 큐브를 가장 정확하게 계산하기 위해, 제로 지연 (zero retardance)에서 및/또는 그 이상 및/또는 그 이하의 지연을 측정하는 것이 바람직하다.

[0015] 보상되지 않은 LCVR은 전형적으로 최저 지연 상태에서도 약간의 잔류 지연을 가지고 있다. 즉, LCVR은 제로 지연의 상태에 도달하거나 제로 지연의 상태를 통과하지 않고 최소 지연으로부터 최대 지연으로 스캔할 수 있다. 일부 LCVR은 LCVR의 지상 축과 수직으로 정렬된 지상 축을 갖는 파장판을 추가함으로써 보상될 수 있지만, 이러한 파장판의 지연 보상은 온도 및/또는 파장의 함수에 따라 달라질 수 있으므로 이상적으로는 초분광 이미징 애플리케이션에 적합하지 않다. 본 출원에 설명된 실시예에서, LCVR은 지연의 정확한 제어를 가능하게 하는 피쳐(feature)를 포함하고, 또한 제로 지연 (zero retardance) 위, 거기에서 또는 그 아래에서 지연을 액세스하는 것을 가능하게 한다.

[0016] 도 1a에서 참조하면, 블록도는 예시적인 실시예에 따른 LCVR (100)을 도시한다. LCVR (100)은 기관 (104) 및 LC 층 (106)을 갖는 제 1 LC 셀 (102)을 포함한다. 기관 (104)은 LC 층 (106)을 제어하기 위한 전극 및 정렬 층을 갖는다. LCVR (100)은 인접 전극들 및 정렬 층들을 포함하는 기관들 (112 및 114) 사이에 배치된 LC 층 (110)을 갖는 제 2 LC 셀 (108)을 포함한다. 기관 (112)은 양쪽 층들 (106, 110)을 제어하는 전극들 및 정렬 층을 갖는 양쪽 셀 (102, 108)의 부분으로 간주될 수 있다는 것에 유의한다. 하나 또는 양쪽의 LC 셀 (102, 108)는, 시야각(viewing angle)을 증가시킬 파이-셀(pi-cell) 및/또는 OCB(optically-compensated bend) 셀을 포함할 수 있다. 아래에서 상세하게 논의되는 이유들 때문에, LC 셀 (102)은 LC 셀 (108)보다 실질적으로 두껍다는 것에 유의해야 한다.

[0017] 일부 실시예에서, LCVR은 도 1b 및 도 1c의 도면에 도시된 바와 같이 이중 네마틱(double-nematic) 액정 셀을 이용할 수 있다. LCVR (120)은 기관 (124, 125) 및 LC 층 (126, 127)을 갖는 제 1 LC 셀 (122)을 포함한다. 기관 (124, 125)은 LC 층 (126, 127)을 제어하기 위한 전극 및 정렬 층을 갖는다. LCVR (120)은 기관 (129-131) 및 LC 층 (132, 133)을 갖는 제 2 LC 셀 (128)을 포함한다. 기관 (125, 129 및 130)은 각각 인접한 LC 층을 개별적으로 제어하는 전극 및 정렬 층을 가질 수 있다. 도 1a에 도시된 예제들과 같이, 제 1 셀 (122)은 제 2 셀 (128)보다 더 두껍다 (따라서 더 큰 최대 지연을 갖는다).

[0018] 셀 (122와 128)은 이중 네마틱 LC 셀이며, 이는 적층된 서브 셀의 중간 기관(들)에 대해 미러링된 LC 정렬을 갖는 두개의 서브 셀을 갖는 LC 셀들이다. 도 1c에 도시된 바와 같이, LC 셀의 러빙 방향(rubbing direction)은

각각의 기관 (124, 125, 129-131) 상에 화살표로 표시되고 각각의 기관의 어느 한 측면상의 액정 층의 분자들이 배향되는 선호되는 방향이다. 따라서, 각 기관 (124, 125, 129-131)상의 화살표 방향으로 편광된 광 (이상 광선 (ray) 또는 e-광선(e-ray))은 직교하여 편광 광(통상 광선 또는 o-(o-ray))에 대해 지연될 것이다. 따라서, LC 셀 (122, 128)에 있어서, 층 (126, 132)의 지연의 1 차 각도 의존도는 층 (127, 133)의 지연의 1 차 각도 의존도에 의해 각각 무효화된다.

[0019] 전술한 바와 같이, LCVR은 초분광 이미징 응용에 사용되는 편광 간섭계에 사용될 수 있다. 초분광 이미징 디바이스 (200)의 예가 도 2의 블록도에 도시되어 있다. 디바이스 (200)는 입사 편광 방향에 입사광 (212)을 LCVR (206)의 지상 측에 대해 명목상으로 45도만큼 편광시키는 제 1 편광자 (202)를 갖는 편광 간섭계 (201)를 포함한다. LCVR (206)은 도 1a-1c와 관련하여 설명된 임의의 실시예에 따라 구성될 수 있고, 적어도 제 1의 두꺼운 액정 셀 (206a) 및 제 2의 얇은 액정 셀 (206b)을 포함한다. 셀 (206a-b)은 임의의 순서로 배열될 수 있으며, 즉, 얇은 셀 (206b)은 두꺼운 셀 (206a)에 대해 왼쪽에 배치될 수 있다는 것에 유의한다.

[0020] LCVR (206) 내의 액정 셀은 전기적으로 동조 가능한 복굴절 엘리먼트로서 기능한다. 액정 셀 (206a-b) 양단의 전압을 변화시킴으로써, 액정 분자들은 그것들의 배향을 변화시킨다. 이 배향의 변화는 입사광 (212)의 e-광선과 o-광선 사이의 가변 광 경로 딜레이를 생성하는 것을 가능하게 한다. 이 경로 딜레이는 두 개의 광선들 사이에서 파장 의존적 위상 시프트를 유발하고, 이에 의해 전체 편광 상태에서 파장 의존 변화를 유도한다.

[0021] 제 1 편광자 (202)에 대해 평행 또는 수직으로 배향된 제 2 편광자 (208) 또는 분석기는 e- 광선 및 o- 광선을 간섭 시킴으로써 이 파장-의존 편광 상태를 파장-의존 세기 패턴으로 변화시킨다. (경로 딜레이(path delay)의 함수로서) 세기 패턴은 예를 들어 마이켈슨 (Michelson) 간섭계에 의해 생성된 인터페로그래프와 동일하다. 따라서, 세기 패턴은 경로 딜레이의 함수로서 입사광의 분광의 코사인 변환에 대응한다.

[0022] 초분광 이미징 디바이스는 편광 간섭계 (201)의 입력 측 (201A)에 입사광 (212)을 집속시키는 렌즈 (210), 편광 간섭계 (201)의 출력 단부 (201B)로부터 방출하는 세기 패턴을 수신하도록 하기 위한 이미지 센서 (214) (예를 들어, 초점상의 평면 배열) 및, 제어기 (216)를 포함한다. 제어기 (216)는 셀 전극 양단에 인가된 전압을 변화시킴으로써 제 1 및 제 2 LC 셀 (206a-b) 내의 LC 분자들의 배향을 변화시킬 수 있는 디지털 및 아날로그 회로를 포함할 수 있다. LCVR (206)이 도 1b-c에 도시된 바와 같이, 이중 네마틱 셀을 사용하면, 추가적인 전압이 서브-셀들 사이의 전극들에 인가될 수 있고, 따라서 제어기 (216)는 도 2에 도시된 것 보다 더 많은 신호 라인들을 사용할 수 있다는 것에 유의한다.

[0023] 제어기 (216)에 의해 변경되는 LVCR (206)상의 전압 (214)으로 이미지 센서를 통한 일련의 이미지를 기록함으로써, 이미지의 모든 지점들에서의 인터페로그래프가 동시에 샘플링될 수 있으며, 초분광 데이터 큐브는 공간적으로 변하는 인터페로그래프의 광 경로 딜레이에 대한 역 코사인 변환에 의해 복원될 수 있다. LVCR을 사용하는 초분광 이미징 디바이스의 추가 세부 사항은 미국 특허 출원 제 2016/0123811 에서 찾을 수 있다.

[0024] 초분광 이미징에 사용되는 LCVR 은 고 지연 및 따라서 좁은 분광 분해능을 달성하기 위해 상대적으로 두꺼운 LC 층을 사용한다. 주어진 LC 셀 (예를 들어, 이중 네마틱 LC 셀) 내에서 둘 이상의 LC 층이 사용되는 경우, LC 층들은 제어 구조를 단순화하기 위해 예를 들어, 층들이 동일한 파형으로 구동될 수 있기 위해 두께가 동일할 수 있다. 이들 셀들의 두께가 두껍다는 것은 시상수(time constant)가 길다는 것을 의미하므로 피드 포워드(feedforward) 제어의 일부 형태는 LCVR의 전체 상태를 제어하고 피드백 제어만으로 너무 느릴 때 LCVR의 특성에 영향을 미치는 조건들을 보상하는데 사용될 수 있다 예를 들어, LCVR의 지연은 온도에 의존하므로, LCVR (206)에 열적으로 결합된 온도 센서 (218)는 특정 지연 상태를 달성하기 위해 제어기 (216)를 통해 LVCR에 인가된 전압에 대한 보상 값을 계산하는데 사용될 수 있다. 그러나, LCVR (206)에 인가 될 때 시간의 함수로서 원하는 지연 궤적을 생성하는 피드 포워드 제어 출력의 편차(deviation) 때문에, 지연 (retardance) 에러라고 불리는 이 원하는 지연 궤적으로부터의 편차가 있을 수 있다.

[0025] 제어 이론의 기술 분야에 공지된 제어의 두 종류는 피드 포워드 제어(feedforward control) 및 피드백 제어(feedback control)이다. 피드 포워드 제어는 특정 출력 궤적에 영향을 미치기 위해 시스템 및 그것의 동적 특성에 대한 지식을 사용한다. 알려진 열 교환이 큰 열 질량(thermal mass)을 갖는 온도 제어 시스템으로 도입되는 경우와 같은 동적 특성과 연관된 긴 시상수를 갖는 애플리케이션에서 전형적으로 사용된다. 이런 상황에서의 시상수는 너무 길어서 피드백 제어만으로는 효과적이지 않을 수 있다. 피드백 제어는 원하는 궤적으로부터 시스템 출력 궤적의 편차/에러를 측정하고 편차를 정정하기 위해 시스템 입력에 음의 피드백을 인가한다. 피드백 제어는 제어 루프의 시상수가 관심있는 타임스케일(timescale)에 비해 짧을 때 잘 작동한다.

- [0026] 다양한 응용 분야에 대해 고 지연 LCVR에 사용되는 두꺼운 LC 셀 층의 경우, 제어 루프 시상수가 다양한 응용 분야에 대한 관심의 타임 스케일에 비해 너무 길 수 있기 때문에 피드백 제어는 덜 효과적일 수 있다. 시상수를 줄이기 위해 액정 층 두께를 줄일 수는 있지만 LCVR의 전체 지연 스트로크(retardance stroke)가 감소한다. 따라서 동일한 지연을 달성하기 위해 더 많은 LC 층이 추가되어야 할 필요가 있어 시스템 복잡도가 증가한다. 본 출원에 설명된 실시예들은 LCVR을 피드 포워드 제어만으로 제어되는 하나 이상의 층들과 주로 피드백 제어에 의해 제어되는 하나 이상의 다른 층들로 분리함으로써 이러한 한계를 극복할 수 있다.
- [0027] 이의 예제가 도 2에 도시되고, 여기서 제 1 액정 층 (206a)은 제 2 액정 층 (206b)에 비해 상대적으로 두껍다. 더 두꺼운 셀 (206a)은 피드 포워드 제어에 의해 제어되고, 더 얇은 셀 (206b)은 피드백 제어에 의해 제어된다. 피드백 제어 셀 (206b)은 더 두꺼운 피드 포워드 셀 (206a)에만 피드백 제어를 적용함으로써, 충분히 빨리 교정될 수 없는 전체 지연의 에러를 신속하게 교정하는데 사용될 수 있다. 일반적으로, 지연 에러 또는 원하는 지연 궤적으로부터의 편차가 LCVR의 전체 지연 스트로크에 비해 작은 경우이어서, 더 얇은 셀 (206b)은 이러한 에러를 수용 할 만큼 충분히 두꺼울 필요가 있지만 그러나 또한 지연 에러의 짧은 시상수 변동에 신속하게 반응할 수 있다.
- [0028] 예를 들어, 초분광 이미징 애플리케이션에 사용되는 단층 LC 셀에 대한 전형적인 LC 층 두께는 50 마이크로미터일 수 있다. 액정 셀 응답 시간은 두께의 제곱으로 스케일링되기 때문에, 5 마이크로미터의 얇은 셀은 두께가 두꺼운 셀에 비해 응답 시간 100 배 작지만 (즉, 1/100), 그러나 명목상 10 % 지연 에러까지 보상할 수 있을 것이다. 더 얇은 셀 (206b)의 응답 시간이 훨씬 짧기 때문에, 지연 에러가 발생하는 것보다 훨씬 빠른 속도로 지연 궤적을 교정하는데 사용될 수 있다. 이것은 지연 에러가 더 두꺼운 셀 (206a)의 응답 시간에 의해 제한되는 속도에서만 발생하고 이상적인 피드 포워드 신호의 계산 착오에 응답하여 발생하기 때문이다. 실제적인 응용을 위해, 더 두꺼운 셀은 더 얇은 셀보다 적어도 5 배 더 두꺼울 수 있어서 더 얇은 셀은 더 두꺼운 셀의 적어도 25 배의 응답 시간을 갖는다.
- [0029] 지연 피드백 신호를 제공하기 위해, 단색 광원 (예를 들어, 레이저 다이오드 (220))이 이미지 센서 (214)의 일부 (예를 들어, 하나 이상의 픽셀) 및/또는 다른 광 센서(222) 예컨대, 편광 간섭계 (201)를 통한 포토 다이오드를 조사하기 위해 사용될 수 있다. 이미지 센서 (214) 및/또는 광 센서 (222)는 편광 간섭계 (201)의 출력단 (201b)으로부터 방출된 광의 검출된 세기에 기초하여 변화하는 전기 출력을 제공한다. 제어기 (216)는 그런 다음 편광 간섭계 (201)를 통과한 광의 현재 및 이전 검출된 세기에 기초하여 LCVR (206)의 전체적인 지연 상태를 계산한다. 제어기 (216)는 피드백으로서 LCVR 상태에 관한 이 정보를 사용하여 LCVR (206) 내의 셀들 중 하나, 예를 들어 보다 얇은 LC 셀 (206b)에 인가하기 위한 다음 전압을 계산한다. 또한, 정보를 사용하여 피드 포워드 제어기에 대한 그것의 제어 알고리즘을 업데이트하여 그것의 지연이 특정 궤적을 따르는 다음에 LCVR (206a)에 대한 보다 정확한 모델을 제공할 수 있다. 이 방식에서 특정 지연 궤적을 유발하기 위한 전압 파형으로부터의 편차가 반복적으로 정정되고 한편 전압 파형이 이상적인 값으로 수렴되고 순시 지연 에러를 정정하기 위해 피드백 제어기에 대한 의존성이 없다.
- [0030] 도 3에서, 제어 다이어그램은 일 실시예에 따른 피드백 및 피드 포워드 배열을 도시한다. 피드백 제어기 (300)는 제 2의 상대적으로 더 얇은 LC 층 (206b)을 둘러싸는 전극들에 출력 신호 (305)를 인가한다. 피드백 제어기 (300)는 시간의 함수로서 바람직한 지연 궤도 또는 원하는 지연 궤적의 특정 시간의 특정 지연을 입력 (302)에 이용한다. 입력 (302)은 도 3의 한 위치에서 예컨대, 피드백 제어기 (300)에 대한 입력에서 순간 지연 및 도 3의 다른 위치 예컨대, 피드 포워드 제어기(306)의 입력에서의 지연 궤적 (retardance trajectory)을 나타낼 수 있다. 피드백 신호 (304)는 예를 들어 레이저 다이오드 (220) 또는 다른 광원 (예를 들어, 발광 다이오드)에 의해 조사되는 편광 간섭계 (201)의 응답에 기초하여 이미지 센서 (214) 또는 광 검출기 (222)로부터 획득된다. 전형적으로, 이 피드백 신호 (304)는 공지된 파장의 단색 소스의 인터페로그램이다.
- [0031] 피드백 신호(304)는 지연 신호(308)를 획득하기 위해 지연 추출기(retardance extractor) (311)를 통해 처리된다. 지연 에러 신호 (321)는 합산 블록 (320)에 의해 획득되며, LC 층 (206b)에 인가된 출력 신호 (305)를 조정하기 위해 제어기 (300)에 의해 사용된다. 피드백 신호 (304)는 대신에 또는 부가적으로 경로 (323)로 표시된 LC 층 (206a, 206b)의 커패시턴스 측정치로부터 도출될 수 있다. 또한, 경로 (325 및 327)로 표시된, 지연 신호 (308) 및/또는 입력 (302)은 피드백 제어기 (300)에 직접 발송될 수 있다. 이들 신호들 둘 모두에 의존하는 제어기 (300)에서 더 복잡한 동작들이 있을 수 있다.
- [0032] 피드 포워드 제어기 (306)는 적어도 제 2 상대적으로 더 두꺼운 LC 층 (206a)를 둘러싸는 전극에 출력 신호 (312)를 인가한다. 피드 포워드 제어기 (306)는 시간의 함수로서 LCVR (206)의 지연을 제어하기 위해 출력 신호

(312)를 조정하기 위해 입력 (302)을 이용하며, 출력 신호 (312)는 LC 층 (206a)의 피드 포워드 동적 제어 모델 (312)에 기초하여 조정되고 예컨대 상이한 온도 및/또는 지연 스캔 시간을 수용하기 위해 출력 신호(312)를 조정하는 것이다. 전술한 바와 같이, 예를 들어, 지연 신호 에러 신호 (321)의 평균 절대 값이 주어진 임계 값 이상인 경우, 피드 포워드 제어기 (306)의 동작 지점을 정의하는 파라미터가 조정될 수 있다. 피드 포워드 제어기 (306)는 지연 경로 추출기 (311)로부터 지연 신호 (308)를 직접 획득하고 처리할 수 있거나 경로 (307)로 표시된 피드백 제어기 (300)를 통해 에러 신호(321)로부터 도출된 일부 다른 메트릭 또는 에러 신호(321)를 수신할 수 있다. 피드 포워드 제어기 (306)의 출력 신호 (312)는 적어도 온도 센서 (218)로부터 수신된 신호 (310)에 기초하여 변경될 수 있다. 피드백 제어기 (300)의 출력 신호는 또한 경로 (309)로 표시된 감지된 온도에 의존할 수 있다.

[0033] 함께, 피드백 및 피드 포워드 제어기 (300, 306)는 이미징 센서 (214)에 의해 측정된 인터페로그램의 정확도를 향상시킨다. 인터페로그램은 초분광 이미징 데이터 또는 초분광 데이터 큐브를 획득하는 신호 프로세서 (314)에 의해 처리된다. 일부 경우에, 신호 프로세서 (314)는 인터페로그램으로부터 초분광 이미징 데이터를 계산할 때, 주어진 인터페로그램에 대한 지연 궤적에 관한 정보를 사용할 수 있다. 예를 들어, 인터페로그램 샘플은 초분광 데이터 큐브를 계산하기 위해 인터페로그램에 푸리에 변환을 적용하기 전에 균일한 지연 단계들로 보간될 수 있다. 이는 지연 정보를 지연 추출기 (311)로부터 신호 프로세서 (314)로 전달하는 경로 (315)에 의해 표시된다. 제어기들 (300, 306) 및 다른 처리 블록들 (311, 314)은 시스템-온-칩, 주문형 집적 회로 등과 같은 하나 이상의 제어기 장치들상에서 구현될 수 있으며, 따라서 총괄하여 제어기 및/또는 제어기 디바이스로 지칭될 수 있는 것에 유의한다.

[0034] 전술한 바와 같이, LCVR은 전형적으로 편광 간섭계에서 사용되는 경우에서 모두 양성 및 음성 경로 딜레이들에 걸친 인터페로그램 또는 제로 및 근사제로 딜레이에서 인터페로그램의 계측을 방지할 수 있는 그것의 최저 지연 상태에서 일부 잔여 지연을 갖는다. 이것은 인터페로그램 신호의 대부분이 제로 및 근사 제로로 지연에 존재하므로 바람직하지 못하다. 최저 지연 상태에 LCVR의 지연은 LCVR을 제로 경로 딜레이 (또는 심지어 음의 경로 딜레이) 상태에 있게 할 수 있는, 고정된 파장판 (LCVR 지상 축에 대해 90°의 지상 축을 갖는)을 추가를 통하여 다루어질 수 있다. 이것은 도 4a에 도시되어 있고, 이는 일 실시예에 따른 편광 간섭계 (400)의 블록도이다.

[0035] 편광 간섭계 (400)는 제 1 편광자 (402)와 LC 셀 (404)와 LC 파장판 (406), 및 2 편광자 (408)를 포함한다. 도 4에 도시된 컴포넌트는, 예를 들어, 일부 실시예들에서 LCVR (404)은 하나 이상의 이중 네마틱 셀들 및/또는 얇은/두꺼운 셀들의 조합을 포함할 수 있는 상기에서 설명된 유사하게 명명된 컴포넌트들에 유사하게 구성될 수 있다. 제어기 (410)는 LCVR (404)에 신호를 인가하여 전술한 바와 같이 지연을 변화시킨다. 파장판 (406)은 LC 셀 (404)의 잔류 지연을 정정하기 위해 제공된다.

[0036] 액정은 혼한 파장판 재료와는 다른 분산 특성을 가진다는 것에 유의한다. 또한, 액정 분산은 온도 변화에 따라 크게 변할 수 있다. 따라서, 파장판 (406)이 방해석 또는 석영과 같은 혼한 파장판 재료로 제조되면, 각각의 파장은 온도에 따라 변화하는 방식으로 LCVR (404)의 약간 다른 상태에서 제로 경로 딜레이를 달성할 것이다. 이것은 LCVR (404)에서 획득된 인터페로그램에 위상 에러를 유발할 수 있으며, 이는 인터페로그램으로부터 계산된 초분광 이미지의 아트팩트(artifact)를 유발할 수 있다. 예시된 파장판 (406)은 LCVR (404)에서 사용되는 동일한 액정 재료로 제조됨으로써 이를 극복한다. 이러한 방식으로, 파장판 (406) 및 LCVR (404)의 나머지는 동일한 분산 특성을 가지며, 따라서 모든 파장은 넓은 온도 범위에 걸쳐 LCVR (404)의 동일한 상태에서 제로 경로 딜레이를 달성할 것이다.

[0037] 일반적으로 LCVR (404)의 최대 지연의 작은 부분을 보상하도록 의도된 대로 LCVR (404) 자체의 결합된 LC 층 두께에 비해 LC 파장판 (406)은 일반적으로 매우 얇을 것이다. 이와 같이, LC 파장판 (406)은 일반적으로 LCVR (404)의 최대 지연보다 작은 최대 지연을 갖는다. 도 4a에 도시된, 액정 파장판 (406)은 예를 들어 제어기 (410)에 의해 구동되지 않고 고정된다. 다른 실시예에서, 액정 파장판은 2 개의 상태들 사이에서 능동적으로 구동될 수 있다. 이것은 도 4b에 도시되고, 이는 다른 실시예에 따른 편광 간섭계 (411)를 도시하며, 도 4a에 컴포넌트들은 도 4a와 관련하여 설명된 유사한/동일한 컴포넌트와 동일한 도면 번호를 사용한다.

[0038] 편광 간섭계 (411)는 제어부 (410)에 의한 두 개의 상태 사이에서 구동되는 전극 (416a-b)를 포함하는 LC 파장판 (416)을 포함한다. 예를 들어, 액정 조준기(director)가 전극에 수직으로 구동될 수 있기 때문에, 하나의 상태에서 LC 파장판 (416)은 최소 지연을 갖는다. 다른 상태에서, LC 파장판 (416)은 액정 조준기가 전극들에 평행하게 구동될 수 있기 때문에 최대 지연을 갖는다. 앞에서는 양의 복굴절을 가정하고, 반대는 음의 복굴절을 유지할 것이다.

- [0039] 초분광 이미징에 사용될 때, 제 1 상태와 제 2 상태 간에 선택은 검출된 간섭계 신호가 제로 경로 딜레이 또는 제로 지연에 대해 명목상으로 대칭 또는 명목상 일 측면(one-sided) (클리핑(clipping) 또는 비대칭)이 될 수 있다. 명목상 일측면 인터페로그래프는 최고 절대 경로 딜레이 따라서 초분광 분해능을 달성한다. 그러나, 위상에러가 존재한다면, 그것들은 계산된 초분광 이미지 데이터에 아트팩트를 도입할 수 있고, 이 경우 위상 정보를 복원하기 위해 전체 양측면 대칭 인터페로그래프를 충분히 측정하는 것이 바람직하다. 이 파장관의 각각의 상태에 대해 측정된 두 개의 인터페로그래프는 음의 경로 딜레이 -L에서 양의 경로 딜레이 + 2L로 명목상 측정된 인터페로그래프에 결합될 수 있다. 따라서 위상 정정과 고 분해능의 이점을 동시에 실현할 수 있다.
- [0040] 도 5에서, 흐름도는 예시적인 실시예에 따른 방법을 도시한다. 이 방법은 LCVR의 온도를 나타내는 온도 신호를 수신하는 단계 (500)를 포함한다. LCVR은 제 1 LC 셀 및 제 2 LC 셀을 포함하며, 제 1 LC 셀은 제 2 LC 셀보다 두껍다. 제 1 LC 셀에 인가된 피드 포워드 신호는 온도 신호에 응답하여 변화된다 (501). 지연 에러 신호는 LCVR을 통해 광을 수신하도록 결합된 센서를 통해 수신된다 (502). 지연 에러 신호에 응답하여, 제 2 액정 셀에 인가된 신호가 변화된다 (503).
- [0041] 도 6에서, 흐름도는 다른 예시적인 실시예에 따른 방법을 도시한다. LC 파장관은 LCVR에 대하여 600으로 배향되어, 제 1 상태에서 액정 파장관은 최소 지연을 갖는다. 이것은 편광 간섭계에서 사용될 때 간섭계 출력이 제로 경로 딜레이에 대해 명목상 일 측면 (단면 인터페로그래프)이 되도록 할 수 있다. 액정 파장관은 제 1 상태에서 최대 지연을 유도하는 제 2 상태로 스위칭된다 (601). 최대 지연은 편광 간섭계에서 사용될 때 간섭계 출력이 제로 경로 딜레이에 대해 명목상 대칭이 되도록 하는 최대 경로 딜레이로 귀결된다.
- [0042] 다른 실시예에서, 제 1 상태의 최소 지연은 LCVR의 잔류 지연을 보상하는데 사용될 수 있다. 또는, 제 1 상태가 명목상 일 측면 인터페로그래프를 야기하는데 사용된 경우, LCVR의 잔류 지연은 도 4a에 도시된 수동 또는 고정 파장관과 같은 또 다른 파장관 또는 LC 층에 의해 보상될 수 있다.
- [0043] 도 7에서, 블록도는 예시적인 실시예에 따른 장치 (700)를 도시한다. 장치 (700)는 중앙 처리 장치, 서버 프로세서, 디지털 신호 처리기 등과 같은 하나 이상의 프로세서들을 포함할 수 있는 장치 제어기 (702)를 포함한다. 제어기 (702)는 더 상세하게 설명될 기능 모듈들을 포함하는 메모리 (704)에 결합된다. 메모리 (704)는 휘발성 및 비 휘발성 메모리의 조합을 포함할 수 있으며, 당업계에 공지된 바와 같이 지시들 및 데이터를 저장할 수 있다.
- [0044] 장치는 장치 (700) 외부로부터 광을 수신하는 외부 인터페이스 (708)를 포함하는 광학 섹션 (706)를 포함한다. 외부 인터페이스 (708)는 광을 장치 (700) 외부로부터 내부 광학 컴포넌트로 전달하기에 적합한 윈도우, 렌즈, 필터 등을 포함할 수 있다. 이 예제에서, 인터페이스 (708)는 외부 렌즈 (710)에 결합되도록 구성된다.
- [0045] 편광 간섭계 (712)는 장치 (700)의 광학 섹션 (706)에 위치된다. 편광 간섭계 (712)는 예를 들어 전기적 신호 라인을 통해 제어기 (702)에 결합된다. 제어기 (702)는 편광 간섭계 (712)에 신호를 인가하여 간섭계 (712)의 일부인 LCVR (712a)에 시변 광 경로 딜레이 또는 지연을 일으킨다. 이러한 시변 광 경로 딜레이는 광 경로 딜레이의 함수로서 변화하는 인터페로그래프를 생성한다. 인터페로그래프는 제어기 (702)에 또한 결합된 이미지 센서 (714) (예를 들어, 센서 픽셀들의 어레이 또는 초점 평면 어레이)에 의해 검출된다. 편광 간섭계 (712) 및 LCVR (712a)은 전술한 실시예에서들과 유사하게 구성될 수 있다.
- [0046] 피드백 센서 (716) 및 피드 포워드 센서 (718)는 LCVR (712a)와 통합되거나 또는 거기에 부착될 수 있다. 일반적으로, 피드 포워드 센서 (718)는 피드 포워드 제어 모델에 통합될 수 있는 LCVR (712a) 내의 LC 셀들의 상태 (예를 들어, 온도)를 감지한다. 피드백 제어 모듈 (720)은 피드백 센서 (716)를 통해 생성된 신호를 사용하여 LCVR (712a)의 적어도 하나의 LC 셀 (예를 들어, 비교적 얇은 LC 셀)을 제어한다. 일 실시예에서, 피드백 센서 (716)는 간섭계 (712)의 일 측면상의 단색 광원이고 간섭계 (712)의 다른 측면상의 광 검출기이며, 광 검출기 신호로부터 지연 신호를 추출하기 위해 신호 처리와 결합된다. 전술한 바와 같이, 이미지 센서 (714)는 피드백 센서 (716)의 일부로서 사용될 수 있다. 다른 실시예들에서, 피드백 센서 (716)는 간섭계 (712) 내의 하나 이상의 LC 셀의 캐패시턴스를 측정하는 회로를 포함할 수 있다. 이 캐패시턴스 신호는 록업 테이블 또는 다른 수단을 통해 지연 신호로 변환될 수 있다.
- [0047] 피드 포워드 제어 모듈 (722)는 적어도 LCVR (712a)의 다른 LC 셀(예를 들면, 상대적으로 두꺼운 LC 셀)을 제어하기 위해 사용되는 피드 포워드 제어 모델에 대한 입력으로 피드 포워드 센서 (718)를 통해 생성된 신호(예를 들어, 온도 신호)를 사용한다. 온도는 피드 포워드 제어 모델의 동작 지점을 조정하고, 모델의 출력은 LCVR (712a)의 하나 이상의 LC 셀에 인가된 제어 입력을 변경하는데 사용된다. 피드 포워드 제어 모듈 (722)에 의해

사용되는 제어 모델은 피드백 모듈 (720)에 의해 검출된 지연 에러에 기초하여 추가 조정될 수 있다. 예를 들어, 피드 포워드 제어 모델의 출력은 원하는 지연 궤적으로부터의 LCVR (712a)의 지연 궤적의 체계적 편차를 보상하도록 추가 조정될 수 있다. 이런 식으로, 피드백 제어 모듈 (720)은 희망하는 지연 궤적으로부터의 단시간 스케일, 랜덤(체계적이지 않은) 지연 편차를 보상하기 위해 보다 얇은 LC 셀을 주로 사용한다.

[0048] 일부 실시예들에서, 편광 간섭계 (712)는 LCVR(712a)의 LC 층의 잔류 지연을 보상하는 LC (712b) 파장판을 포함할 수 있다. 이러한 경우에, LC 파장판 (712b)은 고정되거나 또는 구동되지 않을 수 있다. 다른 실시예들에서, LC 파장판 (712b)은 파장판 제어 모듈 (724)에 의해 구동될 수 있으며, 이는 각각의 최소 및 최대 지연을 갖는 제 1 및 제 2 상태 간에 LC 파장판 (712b)을 스위칭한다. 이산 상태들 간에 토글하는 데 사용되는 신호가 예를 들어 피드백 또는 피드 포워드 조정과 같은 로컬 조건에 따라 달라질 수 있지만 이러한 상태는 이산 상태 예를 들어, 중간 상태 없음일 수 있다.

[0049] 장치 (700)는 편광 간섭계 (712)를 통과한 광의 부분들의 상대 경로 딜레이가 일정 기간 동안 수정되는 초분광(hyperspectral) 이미저로 구성될 수 있다. 이 경로 딜레이는 이미지 센서 (714)의 각각의 픽셀에서 감지되는 시간 및 위치 의존 인터페로그램으로 귀결된다. 인터페로그램은 초분광 데이터 큐브로 귀결되는 경로 딜레이의 함수로서 기록된 신호의 역 코사인 변환 또는 푸리에 변환을 수행함으로써 처리될 수 있다. 이 처리는 이미지 처리 모듈 (726)에 의해 수행될 수 있다. 처리의 일부 또는 전부는 데이터 전송 인터페이스 (728)를 통해 장치 (700)에 연결된 컴퓨터 (730)와 같은 외부 디바이스에 의해 수행될 수 있다.

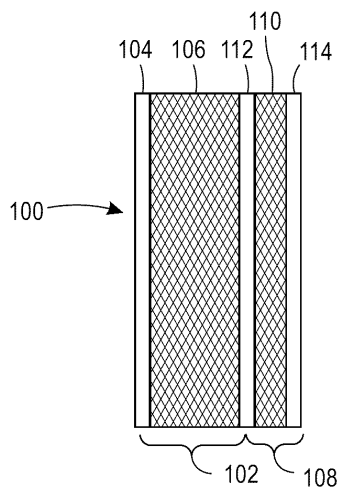
[0050] 상술한 다양한 실시예에서들은 특정 결과를 제공하기 위해 상호 작용하는 회로, 펌웨어 및/또는 소프트웨어 모듈을 사용하여 구현될 수 있다. 관련 기술 분야의 당업자는 당해 기술 분야에서 일반적으로 알려진 지식을 사용하여 모듈화된 레벨 또는 전체로서 상술한 기능을 용이하게 구현할 수 있다. 예를 들어, 본 출원에 예시된 흐름도 및 제어도는 프로세서에 의한 실행을 위해 컴퓨터 판독 가능 명령어/코드를 생성하는데 사용될 수 있다. 이런 명령은 비 일시적 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장될 수 있고 당 업계에 공지된 실행을 위해 프로세서로 전송될 수 있다. 전술한 구조 및 절차는 전술한 기능을 제공하는데 사용될 수 있는 실시예에서의 대표적인 예제일 뿐이다.

[0051] 다른 식으로 표시되지 않는 한 명세서 및 청구 범위에 사용된 특징부의 크기, 양 및 물리적 특성을 표현하는 모든 숫자는 모든 경우에서 "약"이라는 용어에 의해 변경되는 것으로 이해되어야 한다. 따라서, 달리 언급하지 않는 한, 명세서 및 첨부된 청구 범위에 기재된 수치 파라미터는 본 출원에 개시된 교시를 이용하여 당업자가 얻고자 하는 원하는 특성에 따라 변할 수 있는 근사치이다. 중점에 의한 수치 범위의 사용은 해당 범위내의 임의의 범위와 해당 범위 내의 모든 숫자들을 포함한다 (예를 들어, 1 내지 5는 1, 1.5, 2, 2.75, 3, 3.80, 4 및 5를 포함한다).

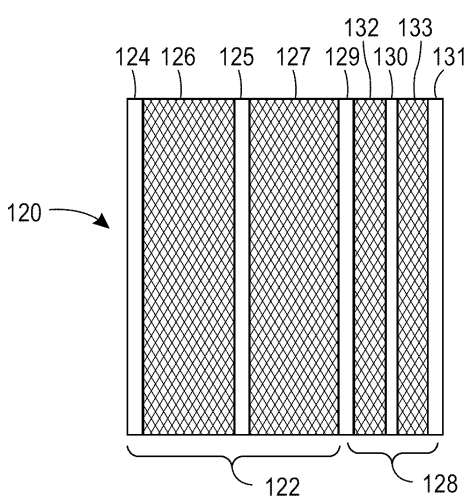
[0052] 예시적인 실시예에서들의 앞선 설명은 예시 및 설명의 목적으로 제공되었다. 그것은 총 망라되거나 실시예들을 개시된 정확한 형태로 한정하려는 것은 아니다. 상기 교시에 비추어 많은 수정예 및 변형예가 가능하다. 개시된 실시예들의 임의의 또는 모든 특징들이 개별적으로 또는 임의의 조합으로 적용될 수 있으며 제한하려는 것이 아니며, 단지 예시적인 것이다. 본 발명의 범위는 이 상세한 설명으로 제한되지 않고 본 명세서에 첨부된 청구 범위에 의해 결정되는 것으로 의도된다.

도면

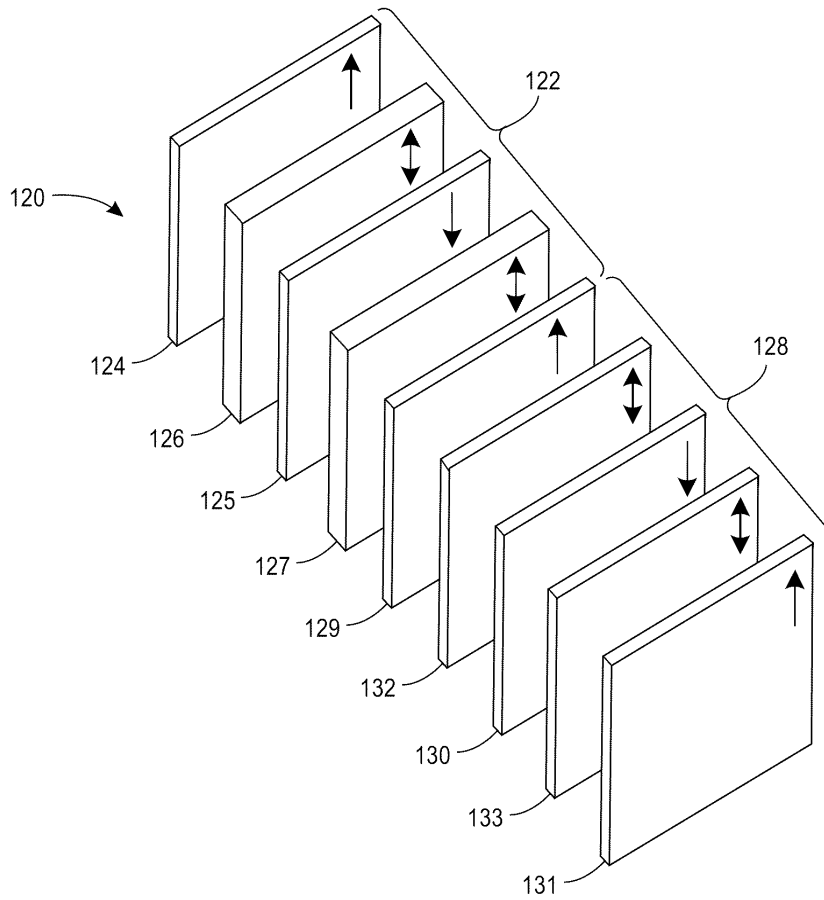
도면1a



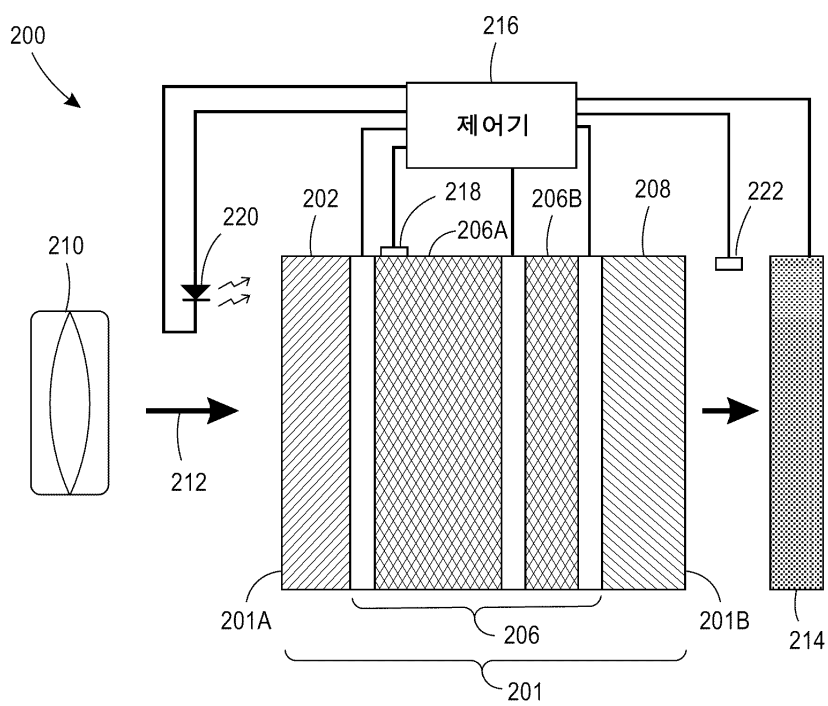
도면1b



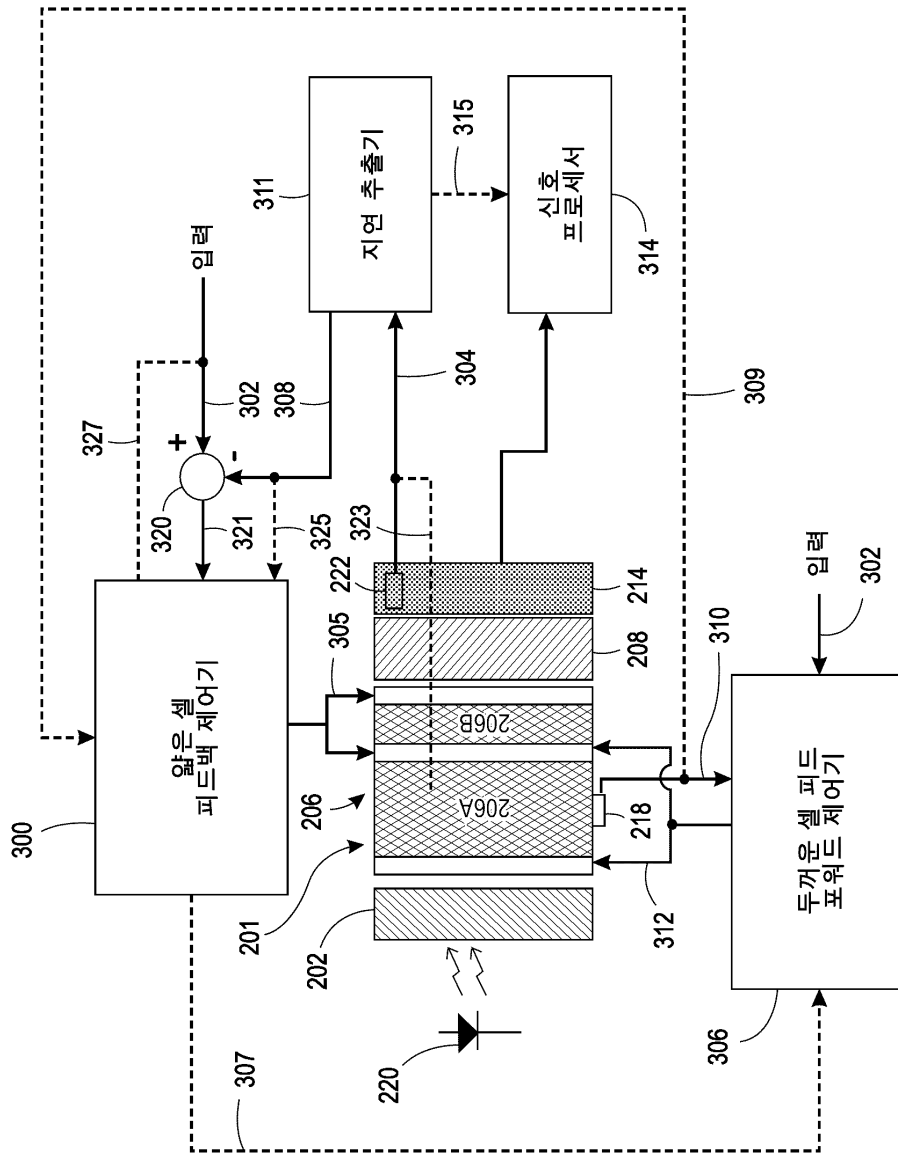
도면1c



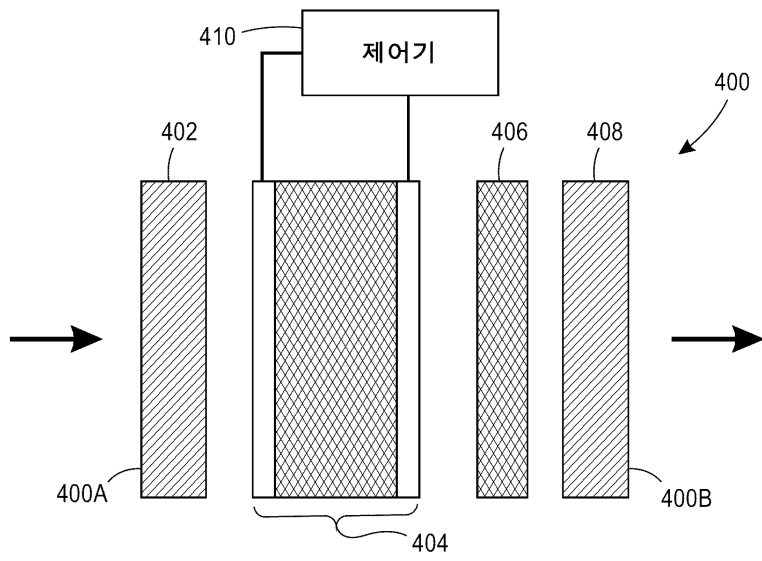
도면2



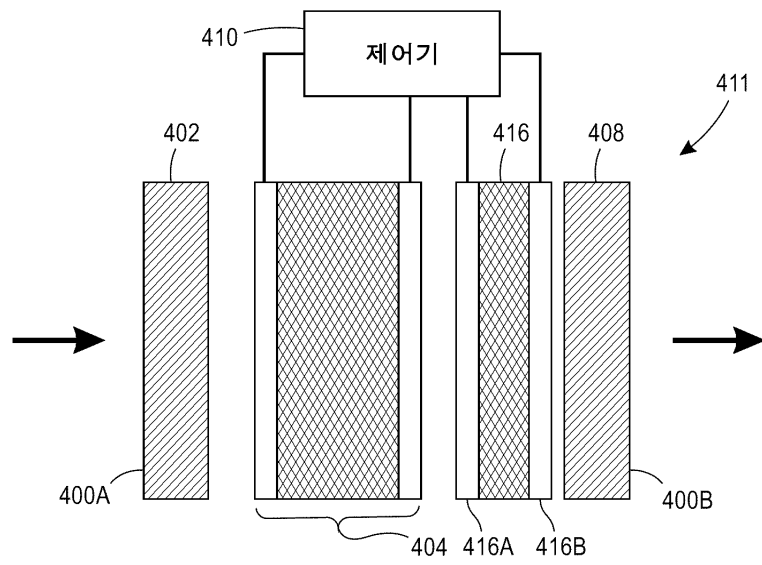
도면3



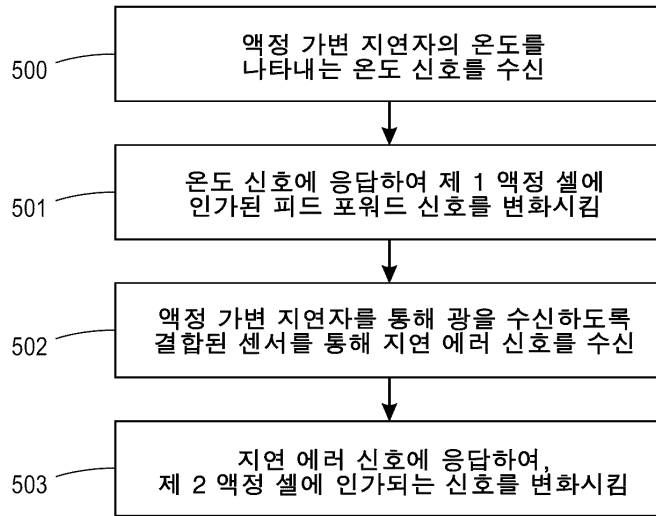
도면4a



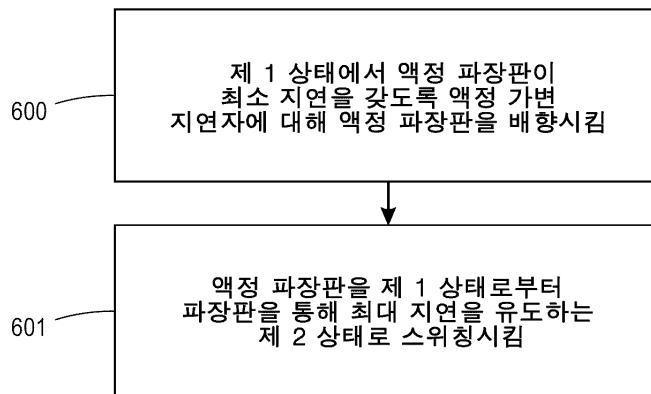
도면4b



도면5



도면6



도면7

