



(19) 대한민국특허청(KR)
 (12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0051184
 (43) 공개일자 2008년06월10일

(51) Int. Cl.

G06T 15/00 (2006.01) *G03B 35/00* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2008-7009564

(22) 출원일자 2008년04월21일

심사청구일자 없음

번역문제출일자 2008년04월21일

(86) 국제출원번호 PCT/US2006/037089

국제출원일자 2006년09월22일

(87) 국제공개번호 WO 2007/038330

국제공개일자 2007년04월05일

(30) 우선권주장

60/720,238 2005년09월22일 미국(US)

(뒷면에 계속)

(71) 출원인

쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터

(72) 별명자

로할리, 자노스

미국 01720 메사추세츠주 액톤 블랙홀스 드라이브 26

하트, 더글라스, 피.

미국 02129 메사추세츠주 찰스타운 워웨이 플레이스 11

장, 통

미국 01702 메사추세츠주 프라밍햄 621디 웨세스터 로드 1640

(74) 대리인

양영준, 백만기

전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 3차원 이미징에서의 아티팩트 완화

(57) 요 약

3차원 이미징 시스템의 정확도는, 예컨대 x-변위, y-변위 또는 이미지 차이 데이터에 따라 거리를 분해하기 위한 모델 기반 보정 및 조회 테이블의 사용을 통해 개선된다. 일 실시예에서, 조회 테이블(들)은 보정된 결과를 계산하는 데 사용되는 국소 파라미터화 데이터를 저장한다.

(30) 우선권주장

60/760,902 2006년01월20일 미국(US)

60/775,643 2006년02월22일 미국(US)

특허청구의 범위

청구항 1

복수의 보정 이미지 세트를 획득하는 단계; 및

보정 이미지 세트로부터, 이미지 세트 데이터를 보정된 3차원 데이터를 계산하기 위한 하나 이상의 파라미터와 연관시키는 조회 테이블 시스템을 구성하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 2

이미지 세트의 처리 메시 내의 위치와 연관된 적어도 하나의 차이 값을 각각 포함하는 이미지 세트를 획득하는 단계;

처리 메시 내의 위치 및 적어도 하나의 차이 값을, 하나 이상의 파라미터에 응답하는 조회 테이블 시스템에 적용하는 단계; 및

하나 이상의 파라미터 및 차이 값을으로부터 보정된 3차원 데이터를 계산하는 단계

를 포함하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 하나 이상의 파라미터는, 보정된 3차원 데이터를 계산하기 위해 사용되는 하나 이상의 모델 파라미터를 계산하기 위해 사용되는 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 조회 테이블 시스템은 복수의 조회 테이블을 포함하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 복수의 조회 테이블은 처리 메시의 각각의 인덱스에 대한 하나의 조회 테이블을 포함하는 방법.

청구항 6

제4항에 있어서, 복수의 조회 테이블은 이미지 세트의 각각의 독립 변수에 대한 하나의 조회 테이블을 포함하는 방법.

청구항 7

제2항에 있어서, 차이 값은 차이 크기를 포함하는 방법.

청구항 8

제2항에 있어서, 차이 값은 차이 벡터를 포함하는 방법.

청구항 9

제2항에 있어서, 차이 값은 x-변위 또는 y-변위 중 적어도 하나를 포함하는 방법.

청구항 10

제2항에 있어서, 조회 테이블 시스템은 깊이-종속 왜곡에 대해 파라미터화되는 방법.

청구항 11

제2항에 있어서, 조회 테이블 시스템은 반경방향 왜곡 및 접선방향 왜곡 중 적어도 하나에 대해 파라미터화되는 방법.

청구항 12

제2항에 있어서, 조회 테이블의 구성은 이미지 세트로부터의 데이터를 파라미터화된 카메라 모델에 피팅(fitting)함으로써 보정을 정제하는(refining) 단계를 포함하는 방법.

청구항 13

제2항에 있어서, 조회 테이블의 구성은 카메라 모델에 기초하여 하나 이상의 파라미터 값을 보간하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 14

다중 채널 이미징 시스템을 보정하는 방법으로서,

이미징 시스템의 제1 채널에 대한 모델을 결정하는 단계;

이미지 데이터 세트를 획득하고 상기 이미지 데이터 세트로부터의 데이터를 모델에 피팅함으로써 제1 채널을 보정하는 단계; 및

이미지 데이터 세트의 하나 이상의 차이 값을 기지의 깊이에 매핑(mapping)함으로써 제2 채널을 보정하는 단계를 포함하는 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 모델은 적어도 하나의 깊이 종속적인 항을 포함하는 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 16

제14항에 있어서, 제1 채널은 이미징 시스템의 중앙 채널인 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 17

제14항에 있어서, 제2 채널은 이미징 시스템의 중심이탈 채널인 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 18

제14항에 있어서, 모델은 왜곡, 광학축, 초점 길이, 주점 거리(principal distance) 및 주점 위치(principal point location) 중 적어도 하나를 포함하는 이미징 시스템의 기지의 특성을 이용하는 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 19

제14항에 있어서, 제2 채널의 보정은 이미지 데이터 세트로부터의 데이터를 절대 좌표계 내의 적어도 하나의 X, Y, Z 포인트에 매핑하는 단계를 포함하는 다중 채널 이미징 시스템 보정 방법.

청구항 20

이미징 시스템으로서,

측정 체적 내의 포인트에 대한 이미지 데이터를 제공하는 복수의 광학 채널;

메모리에 저장되며, 깊이 종속 모델의 하나 이상의 파라미터를 저장하는 조회 테이블; 및

보정된 출력을 복원하기 위해 이미지 데이터 및 조회 테이블로부터의 하나 이상의 파라미터를 적용하도록 구성된 프로세서

를 포함하는 이미징 시스템.

청구항 21

제20항에 있어서, 보정된 출력은 깊이를 포함하는 이미징 시스템.

청구항 22

제20항에 있어서, 보정된 출력은 카메라 좌표계에서의 3차원 데이터를 포함하는 이미징 시스템.

청구항 23

제20항에 있어서, 조회 테이블은 이미지 데이터의 하나 이상의 차이 값에 의해 인덱싱되는 이미징 시스템.

청구항 24

제20항에 있어서, 조회 테이블은 하나 이상의 처리 메시 좌표에 의해 인덱싱되는 이미징 시스템.

청구항 25

제20항에 있어서, 복수의 광학 채널은 중앙 채널을 포함하는 이미징 시스템.

청구항 26

이미징 시스템의 보정을 정제하는 방법으로서,

하나 이상의 기지의 파라미터를 가진 3차원 물체를 포함하는 측정 체적으로부터 이미지 데이터를 획득하는 단계;

이미지 데이터 내의 3차원 물체의 제1 투영 윤곽선을 식별하는 단계;

하나 이상의 기지의 파라미터 및 이미징 시스템의 모델을 이용하여 3차원 물체의 제2 투영 윤곽선을 분석적으로 결정하는 단계; 및

제1 투영 윤곽선과 제2 투영 윤곽선 사이의 편차를 최소화함으로써 이미징 시스템의 보정을 정제하는 단계를 포함하는 이미징 시스템의 보정 정제 방법.

청구항 27

제26항에 있어서, 3차원 물체는 구체이고, 하나 이상의 기지의 파라미터는 구체의 반경을 포함하는 이미징 시스템의 보정 정제 방법.

청구항 28

평면형 표면;

기지의 위치를 가진 평면형 표면 상의 복수의 기준(fiducial); 및

복수의 기준들 사이의 랜덤 패턴

을 포함하는 보정 타겟.

청구항 29

제28항에 있어서, 복수의 기준은 중앙 기준 및 직사각형 그리드 상의 규칙적으로 이격된 복수의 추가 기준을 포함하는 보정 타겟.

청구항 30

제28항에 있어서, 복수의 기준 및 랜덤 패턴 중 적어도 하나가 평면형 표면 상으로 투영되는 보정 타겟.

명세서

<1>

관련 출원

<2>

본 출원은 각각 본 명세서에 전체적으로 참조로 포함된 하기의 공동 소유의 미국 특허 출원에 대해 우선권을 주장한다: 2005년 9월 22일자로 출원된 미국 특허 출원 제60/720,238호; 2006년 1월 20일자로 출원된 미국 특허 출원 제60/760,902호; 및 2006년 2월 22일자로 출원된 미국 특허 출원 제60/775,643호.

배경기술

<3> 발명의 분야

본 발명은 3차원 스캐닝에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 3차원 데이터의 도출에 있어서 아티팩트(artifact)를 처리하는 기술에 관한 것이다.

<5> 관련 기술의 설명

3차원 이미징(three-dimensional imaging)을 위한 데이터의 획득은 일반적으로, 예컨대 이미징 피사체, 주변 조건, 및 데이터 획득에 사용되는 광학 및 전자 시스템의 고유 특성에 관련된 아티팩트를 포함한다.

<7> 일반적인 보정(calibration) 기술은 이러한 오차를 특성화하기 위한 기지의 타겟의 직접 측정, 및 이미징 시스템의 비이상적인 태양의 수학적 모델링을 채용할 수 있다. 중요한 단점으로서, 모델링 기술은 난해한 특성화 문제를 초래할 수 있으며 이미징 아티팩트의 실제 소스를 캡처하지 못할 수도 있다. 역으로, 억지 보정(brute force calibration)은 시간 소모적일 수도 있으며, 전형적으로 특수화된 민감성 하드웨어 플랫폼(sensitive hardware platform)을 필요로 한다. 억지 보정은 또한, 특히 3차원 이미징에 사용되는 다차원 데이터 세트에 대한 매우 큰 보정 파일을 생성한다. 이를 기준의 대안들 중에서의 선택은 일반적으로 보정 중인 시스템의 특성에 좌우될 것이고, 통상 설계자에게 일정 정도의 탐험을 강요한다. 하나 초과의 광학 채널을 가진 다중 애피처(multi-aperture) 장치 및 기타 시스템에서, 적절한 보정 체계의 선택은 각각의 채널이 보정에 영향을 미치는 상이한 특성들을 나타낼 수 있기 때문에 더욱 어려워질 수도 있다.

<8> 다중 애피처 이미징 시스템과 같은 하나 초과의 광학 채널(optical channel)을 가진 광학 장치와 함께 사용하기에 적합한 개선된 보정 기술에 대한 필요성이 남아 있다.

발명의 상세한 설명

<9> 3차원 이미징 시스템의 성능 및 그 보정은, 예컨대 x-변위, y-변위 및/또는 이미지 차이 데이터(disparity data)에 따라 깊이를 분해하기 위한 모델 기반 보정 및 조회 테이블의 사용을 통해 개선된다. 일 실시예에서, 조회 테이블(들)은 보정된 결과를 계산하는 데 사용되는 국소 파라미터화 데이터를 저장한다.

실시예

<16> 이하에서 3차원 이미징 시스템의 보정 기술이 설명된다. 깊이를 복원하는 데 차이 정보(disparity information)를 이용하는 소정의 다중 애피처 시스템과 관련하여 조회 테이블(lookup table) 및 보정 기술이 설명되지만, 변경 및 대안적인 실시예가 당업자에게 명백할 것이며 본 발명의 범주 내에 포함하고자 한다는 것을 이해할 것이다. 예컨대, 시스템은 깊이 및 보정 계산치의 인코딩시 사용되는 파라미터를 조직화 및 검색하기에 적합한 시간, 공간 주파수 내용의 차이, 또는 임의의 다른 기준을 채용할 수 있다.

<17> 하기의 설명에서, "이미지"라는 용어는 일반적으로 이미지 평면 내에 피사체의 2차원 뷰(view)를 형성하는 일 세트의 2차원 픽셀들을 지칭한다. "이미지 세트"라는 용어는 일반적으로 3차원 데이터로 분해될 수 있는 일 세트의 관련된 2차원 이미지들을 지칭한다. 전형적으로, 필수적인 것은 아니지만, 이는 상이한 카메라들 또는 애피처들을 사용하여 실질적으로 동시에 캡쳐된 피사체의 2개 이상의 이미지, 또는 상이한 시간에 동일한 애피처로부터 캡쳐된 피사체의 2개 이상의 이미지를 포함할 것이다. "포인트 클라우드"(point cloud)이라는 용어는 일반적으로 다수의 2차원 뷰로부터 재구성된 피사체의 3차원 뷰를 형성하는 일 세트의 3차원 포인트들을 지칭한다. 3차원 이미지 캡쳐 시스템에서, 다수의 이러한 포인트 클라우드는 또한 정합되어 이동 카메라(또는 이동 피사체)에 의해 캡쳐된 이미지들로 구성되는 집합된 포인트 클라우드로 조합된다. 따라서, 다른 의미가 구체적으로 지시되거나 문맥으로부터 명백하지 않는 한, 픽셀은 일반적으로 2차원 데이터를 지칭하며 포인트는 일반적으로 3차원 데이터를 지칭한다는 것을 이해할 것이다.

<18> 도 1은 이미지 캡쳐 시스템을 도시한다. 일반적으로, 시스템(100)은 시야(106) 내의 피사체(104)의 이미지를 캡쳐하고 이미지를 컴퓨터(108)로 전송하는 스캐너(102)를 포함할 수 있으며, 컴퓨터는 디스플레이(110) 및 마우스(112) 또는 키보드(114)와 같은 하나 이상의 사용자 입력 장치를 포함할 수 있다.

<19> 스캐너(102)는 3차원 포인트 클라우드가 복원될 수 있는 이미지를 캡쳐하기에 적합한 임의의 카메라 또는 카메라 시스템을 포함할 수 있다. 예를 들면, 카메라(102)는, 예컨대 그 전체 내용이 본 명세서에 참조로 포함된 하트(Hart) 등의 미국 특허 출원 공개 제20040155975호에 개시된 것과 같은 다중 애피처 시스템을 채용할 수 있

다. 하트는 하나의 다중 애피처 시스템을 개시하고 있지만, 다수의 2차원 이미지로부터 3차원 포인트 클라우드를 재구성하는 데 적합한 임의의 다중 애피처, 다중 동공(pupil), 다중 카메라, 또는 기타 다중 채널 광학 시스템이 유사하게 채용될 수 있음을 이해할 것이다. 다중 애피처의 일 실시예에서, 스캐너(102)는 렌즈의 중앙 광학축을 따라 위치된 중앙 애피처를 포함하는 복수의 애피처, 및 임의의 관련된 이미징 하드웨어를 포함할 수 있다. 스캐너(102)는 또한 또는 대신에, 다수의 카메라 또는 광학 경로가 다수의 약간 상이한 투시도(perspective)로부터 물체의 2차원 이미지를 얻기 위해 서로에 대해 고정된 관계로 유지되는 스테레오스코픽(stereoscopic), 트라이스코픽(triscopic) 또는 다른 다중 카메라 또는 다른 구성의 포함할 수 있다. 스캐너(102)는 하나의 이미지 세트 또는 다수의 이미지 세트로부터 3차원 포인트 클라우드를 도출하기 위한 적합한 처리를 포함할 수 있으며, 또는 각각의 2차원 이미지 세트는 후술되는 컴퓨터(108)에 포함된 것과 같은 외부 프로세서로 전송될 수 있다. 다른 실시예에서, 스캐너(102)는 3차원 데이터 또는 3차원 데이터로 분해될 수 있는 2차원 데이터를 획득하는 데 적합한 구조화된 광, 레이저 스캐닝, 직접 측량(direct ranging), 또는 임의의 다른 기술을 채용할 수 있다. 일 실시예에서, 스캐너(102)는 스캐닝을 개시하고 중단하는 것과 같은 이미지 캡쳐 시스템(100)의 사용자 제어를 위한 버튼, 레버, 다이얼, 써머 휠(thumb wheel), 스위치 등과 같은 적어도 하나의 사용자 입력 장치를 가진 자유롭게 위치될 수 있는 휴대형 프로브(probe)이다.

<20>

도 1에 도시되지는 않았지만, 다수의 추가의 조명 시스템이 이미지 캡쳐 중에 유용하게 채용될 수도 있음을 알 것이다. 예를 들면, 환경 조명은 이미지 획득을 빠르게 하고 시야 깊이(depth of field)(또는 공간 해상도 깊이)를 개선하기 위해 피사체(104)를 조명하는 하나 이상의 스포트라이트(spotlight), 링 라이트(ring light) 또는 동축 조명원(coaxial illumination source)에 의해 향상될 수 있다. 스캐너(102)는 또한 또는 대신에, 이미지 획득 중에 피사체(104)의 조명을 보충하기 위해, 또는 상이한 스펙트럼 대역에서의 조명을 제공하기 위해 스트로브(strobe), 플래쉬(flash) 또는 다른 광원을 포함할 수 있다.

<21>

피사체(104)는 임의의 물체, 물체들의 집합, 물체의 일부, 또는 다른 대상일 수 있다. 도 1에서 단순한 기하학적 형상으로 예시되었지만, 피사체(104)는 훨씬 더 복잡한 표면, 및 임의의 개수의 별개의 요소들을 포함할 수 있다. 예컨대, 치과 이미징 응용에서, 피사체(104)는 가상 치과 인상(impression)이 요구되는 2개의 대향하는 아치를 포함하는 치아, 치아들의 4분면 또는 치아들의 전체 집합을 포함할 수 있다. 피사체(104)는 또한 또는 대신에 치과 보철물, 예컨대 인레이(inlay), 크라운(crown) 또는 임의의 다른 치과 보철물, 임플란트 등을 포함할 수 있다. 피사체(104)는 치과 모델, 예컨대 치아, 치아들, 연조직 또는 이들의 일부의 조합의 석고상(plaster cast), 왁스-업(wax-up), 인상 또는 음 인상(negative impression)을 포함할 수 있다. 소정의 예에서, 3차원 포인트의 캡쳐를 개선하기 위해 광학 또는 텍스쳐화(textured) 이미징 제제(imaging agent)가 피사체(104)의 표면에 적용될 수 있다. 다른 실시예에서, 피사체(104)는 보청기, 안경, 고글 등의 맞춤 피팅(custom fitting)에 3차원 모델이 요구되는 사람의 머리 또는 이의 일부분일 수 있다. 다른 실시예에서, 피사체(104)는 축소 모형과 같이 디지털 애니메이션에 사용되는 물체의 물리적 모델, 3차원 디지털 애니메이션 프로세스에서 사용되는 물리적 모델일 수 있다. 상기 예로부터, 본 명세서에 설명된 기술을 사용하는 시스템은 비교적 좁은 범위의 고해상도 3차원 이미지 획득을 위한 광범위한 응용에 적합하게 될 수 있음을 명백할 것이다. 그러나, 당업자는 이미지 캡쳐 시스템(100)으로의 적합한 적용은 다중 애피처 또는 다중 카메라 시스템 및 기타 3차원 이미징 시스템과 기술에 기초하는 다양한 다른 3차원 이미징 응용에 대해 이루어질 수 있으며, 모든 그러한 변경은 본 발명의 범주 내에 포함하고자 한다는 것을 알 것이다.

<22>

시야(106)는 카메라(102)의 2차원 시야를 포함할 수 있다. 이 단락에서 사용되는 바와 같이, "시야"라는 용어는 이미지가 캡쳐되는 광학 센서(예컨대, 필름 또는 센서) 내의 평면이 아닌 이미징 환경 내의 평면을 지칭한다. 직사각형으로 예시되어 있지만, 시야(106)는 예컨대 스캐너(102)에 의해 제공되는 정사각형, 원형 또는 임의의 다른 기하학적 형상을 형성할 수 있다. 일반적으로, 스캐너(102)는 시야(106)와 함께 스캐너(102)의 측정 체적을 지정하는 시야 깊이 또는 깊이 해상도 범위를 가질 것이다. 시야 깊이는 주변 광과 같은 환경 조건에 따라 달라질 수 있다.

<23>

컴퓨터(108)는, 예컨대 퍼스널 컴퓨터 또는 다른 처리 장치일 수 있다. 일 실시예에서, 컴퓨터(108)는 듀얼 2.8 GHz 옵테론(Opteron) 중앙 처리 장치, 2 기가바이트의 램덤 액세스 메모리, 타이안 썬더(TYAN Thunder) K8WE 마더보드, 및 250 기가바이트 1256.6 rad/s(10,000 rpm) 하드 드라이브를 구비한 퍼스널 컴퓨터를 포함한다. 이러한 시스템은 본 명세서에서 설명된 기술을 사용하여 실시간으로 이미지 세트 당 대략 1,500개의 포인트를 캡쳐하여 1백만개를 초과하는 포인트의 집합된 포인트 클라우드를 저장하도록 동작될 수 있다. 구매 가능하고 보다 우수하게 작동하는 하드웨어를 사용하는 다른 실시예는 실시간으로 이미지 세트 당 대략 3,000개의 포인트를 캡쳐할 수 있다. 특정 실시예에서의 이미지 당 포인트의 개수는 센서들 및 다른 이미징 하드웨어의

밀도 및 구성을 포함하는 다수의 요인에 좌우될 수 있다. 더욱 일반적으로, 컴퓨터(108)의 처리 능력은 피사체(104)의 크기, 이미지 획득 속도, 및 3차원 포인트의 원하는 공간 해상도에 따라 달라질 수 있다. 컴퓨터(108)는 또한 카메라 시스템(100)과의 사용자 상호작용을 위한 키보드(114), 디스플레이(110) 및 마우스(112)와 같은 주변 장치를 포함할 수 있다. 디스플레이(110)는 디스플레이(110)와의 직접적인 물리적 상호작용을 통해 사용자 입력을 수신할 수 있는 터치 스크린 디스플레이일 수 있다.

<24> 컴퓨터(108)와 스캐너(102) 사이의 통신은, 예를 들어 유선 접속, 또는 예컨대 무선 주파수, 적외선 또는 다른 무선 통신 매체를 사용하는 IEEE 802.11(무선 이더넷(Ethernet)으로도 알려짐), 블루투스(BlueTooth) 또는 임의의 다른 적합한 무선 표준 등에 기초하는 무선 접속을 포함하는 임의의 적합한 통신 링크를 사용할 수 있다. 의학 이미징 또는 다른 민감성 응용에서, 스캐너(102)로부터 컴퓨터(108)로의 무선 이미지 전송이 안전할 수 있다. 컴퓨터(108)는 이미지 획득 명령 외에 초점 또는 줌과 같은 통상의 카메라 제어를 포함할 수 있는 스캐너(102)로의 제어 신호를 발생시킬 수 있다.

<25> 3차원 이미지 캡쳐 시스템(100)의 일반적인 동작의 예에서, 스캐너(102)는 피사체의 표면 위로 스캐너(102)가 통과하는 동안 2차원 이미지 세트를 획득할 수 있다. 2차원 이미지 세트는 3차원 포인트 클라우드의 도출을 위해 컴퓨터(108)로 전송될 수 있다. 각각의 새롭게 획득된 2차원 이미지 세트에 대한 3차원 데이터는 다수의 상이한 기술을 사용하여 도출되어 기존의 3차원 데이터에 피팅될(fitted) 수 있다. 그러한 기술의 유용한 일례는 그 전체 내용이 본 명세서에 참조로 포함된, 2005년 11월 9일자로 출원된 공동 소유의 미국 특허 출원 제 11/270,135호에 기술되어 있다. 그러나, 이러한 예는 제한적인 것이 아니며 본 명세서에 설명된 원리는 광범위한 3차원 이미지 캡쳐 시스템에 적용될 수 있음을 알 것이다.

<26> 도 2는 전술한 시스템과 같은 다중 애퍼처 이미징 시스템에 대한 좌표계를 예시한다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 다중 애퍼처라는 용어는 2개 이상의 애퍼처(또는 동공 등)를 가진 단일 카메라, 또는 스테레오스코픽 이미징에 채용되는 것과 같은 2개 이상의 단일 애퍼처 카메라, 또는 이들의 몇몇 조합을 지칭하도록 의도된다는 것을 이해할 것이다. 일반적으로, 카메라(206)의 시야(204) 내의 물체(202)는 절대 좌표(world coordinate) $\{X_w, Y_w, Z_w\}$, 카메라 좌표(camera coordinate) $\{X_c, Y_c, Z_c\}$, 및 시야(204)의 처리 메시(processing mesh) 내의 $i = 1$ 내지 N 개의 포인트 또는 픽셀에 대한 이미지 세트 좌표(image set coordinate) $\{x_i, y_i, d_i(x_i, y_i)\}$ 를 가지며, 여기서 d_i 는 다수의 애퍼처에 대한 시야(204) 내의 포인트의 변위를 특성화하는 하나 이상의 차이 값을 포함하는 차이 벡터이다. 차이 벡터는, 예컨대 카메라(206)에 있어서 존재할 경우 중앙 채널에 대한 변위에 의해 표현될 수 있다. 일반적으로, 차이 벡터는 깊이를 인코딩하며, 다른 3차원 이미징 시스템들에서 이러한 차이 벡터는 깊이를 인코딩하는 하나 이상의 다른 측정량에 의해 대체될 수 있다. 따라서 차이 벡터, 차이 값 및 차이 데이터와 같은 용어는 깊이 정보를 인코딩하기 위해 시스템에 의해 측정된 어떤 하나 이상의 스칼라량 및/또는 벡터량을 포함하도록 넓게 이해되어야 한다.

<27> 통상의 보정에서, 절대 좌표는 하드웨어 픽스쳐(hardware fixture)에 의한 일련의 보정 측정치를 사용하여 특성화될 수 있는 회전 및/또는 병진을 통해 보정되지 않은 이미지 세트 좌표에 관련될 수 있다. 패턴을 가진 평면형 타겟과 같은 타겟은 이미지 세트 좌표를 캡쳐하는 동안 보정 베드(bed)(또는 유사한 하드웨어)를 사용하여 카메라(206)에 대한 다양한 기지의 위치 및/또는 회전을 통해 이동될 수 있다. 이미지 세트 좌표 데이터를 카메라 좌표(들)에 상호관련시키기 위해 다수의 모델이 채용될 수 있다. 유사하게, 보정 타겟들의 위치를 알고 있고 타겟이 하나 이상의 식별 가능한 특징을 갖고 있는 경우, 측정 체적 내의 포인트들이 절대 좌표의 X_w, Y_w 및 Z_w 값에 직접적으로 상호관련될 수 있다. 이러한 보정의 일반적인 목표는 카메라(206)로부터 피사체(202) 상의 포인트까지의 진정한 거리의 연산적 결정을 허용하는 것, 또는 피사체 상의 포인트의 절대 또는 카메라 좌표를 결정하는 것이다.

<28> 도 3은 조회 테이블 구성 및 사용을 위한 프로세스를 도시한다. 개략적으로 살펴보면, 단계(301)에 도시된 바와 같이, 이미지 데이터가 다수의 보정 사이클에서 기지의 타겟으로부터 초기 보정시 획득된다. 보정은 후속 처리 단계(302)에서 정제될(refined) 수 있으며, 결과는 단계(304)에 도시된 바와 같이 보정 시스템으로부터 입수 가능한 진정한 위치 데이터(예컨대, 기지의 타겟 위치 및/또는 배향, 또는 카메라로부터의 포인트의 기지의 거리)와 조합하여 이미지 결과(예컨대, 스캐너로부터의 데이터 및/또는 그로부터 도출된 차이 데이터 또는 다른 데이터 인코딩 깊이 정보)를 사용하여 파라미터화될 수 있다. 보정 시스템으로부터의 진정한 위치 데이터는 보정 픽스쳐로부터 전달되거나 하나 이상의 보정 사이클 동안 타겟들의 처리를 통해 얻어지거나 이들의 몇몇 조합으로부터의 위치 데이터를 포함할 수 있다. 파라미터화된 결과는 단계(305)에 도시된 바와 같이 조회 테이블을

구성하는 데 사용될 수 있다. 마지막으로, 조회 테이블은 단계(309)에 도시된 바와 같이 이미지 캡쳐 시스템에 의해 캡쳐된 2차원 이미지로부터 3차원 데이터를 도출하는 데 이용될 수 있다. 일반적으로, 이러한 프로세스의 목적은 3차원 데이터에 대한 진정한 결과를 얻는 것이며, 이는 예컨대 조회 테이블의 사용을 통해 실시간으로 보정된 3차원 결과를 얻기 위한 시스템으로서 유리하게 실현될 수 있다.

<29> 이제, 단계(301)의 보정 데이터의 초기 획득에 대해 보다 상세하게 설명한다. 기지의 타겟으로부터의 데이터의 획득은 각각의 보정 사이를 동안 타겟을 미리설정된 거리만큼 장비를 향해 이동시키는 제어형 보정 베드를 사용하여 수행될 수 있다. 예컨대, 보정 베드는 각각의 보정 사이를 동안 타겟을 25 미크론만큼 장비에 근접하게 이동시킬 수 있다. 각각의 거리에서, 이미지 세트 좌표가 얻어질 수 있다. 카메라(206)는 중앙 애피처를 포함할 수 있으며, 이러한 경우 보정 측정은 외부 카메라 파라미터, 즉 수집된 포인트 세트에 대한 절대 좌표로부터 카메라 좌표로의 회전 및 이동을 캡쳐하도록 사용될 수 있다. 더욱 일반적으로, 다중 애피처 데이터는, 기준 프레임(예컨대, 중앙 애피처)에서 관련 포인트로부터의 상이한 애피처들에 대한 포인트의 변위를 특성화하는 차이 벡터와 함께, 각각의 센서의 좌표계에서 x 및 y 좌표로서 표현될 수 있다. 보정은, 예컨대 중앙 채널 또는 중앙 애피처로부터 기준 프레임에 대해 수행될 수 있으며, 결과적인 조회 테이블은 차이 데이터를 X, Y, Z 좌표로 변환하는 데 사용된다.

<30> 다양한 유용한 타겟들이 채용될 수 있다. 예컨대, 체커보드(checkerboard) 또는 다른 타겟이 사용될 수 있다. 일반적으로, 뚜렷한 중앙 특징 또는 기타 기준(fiducial)을 가진 타겟은 이미징 시스템을 보정하는 데 바람직하다. 이미지 차이 필드(disparity field)를 특성화하기 위해 랜덤 패턴(random pattern)이 또한 채용될 수 있다. 기준들 사이의 랜덤 패턴과 함께 다수의 기준, 예컨대 직사각형 그리드 상에 동등하게 분포된 9개의 포인트들을 포함하는 하이브리드 타겟(hybrid target)이 또한 채용될 수 있다. 이는, 다른 카메라 보정과 함께 이미지 처리 알고리즘(예컨대, 포인트 기반이 아닌 영역 기반의 알고리즘)의 처리 아티팩트를 설명하는 조회 테이블의 구성을 허용한다. 이러한 타겟은, 예컨대 중앙과 측면 이미지 사이의 상호관련 및 측면 이미지를 사이의 상호관련을 허용할 수 있다. 예컨대, 기준들의 기지의 배열은 (예컨대, 중앙 채널 이미지로부터) 카메라 좌표계 내의 타겟 위치를 복원하는 데 사용될 수 있으며, 랜덤 패턴은 측면 채널 이미지를 사용하여 평면 포인트를 복원하는 데 사용될 수 있다. 복원된 평면 포인트는 평면과 직교하게 피팅될 수 있으며, 피팅된 평면으로부터의 직교 거리는 (예컨대, 차이 추정, 조회 테이블 등에서의 노이즈로 인한) 이미징 시스템 내의 노이즈의 측정을 제공한다. 조회 테이블의 검증에 대해서는 이하에서 상세하게 논의되지만, 이러한 상황에서 기준들을 사용하여 식별되는 평면과 조회 테이블 시스템을 하이브리드 타겟의 랜덤 요소에 적용함으로써 식별되는 평면 사이의 차이는 본 명세서에서 설명된 시스템 및 방법에 따라 생성된 특정 조회 테이블의 검정(validation) 또는 검증(verification)의 역할을 할 수 있음에 유의한다.

<31> 또한, 기준들 내에서의 다중 랜덤 패턴들의 사용은 전체 평균 차이들의 계산이 보정 프로세스에서의 rms 노이즈를 감소시킬 수 있도록 유리하게 허용한다. 일 실시예에서, 보정 사이를 내에서 또는 다수의 보정 사이들에 걸쳐 상이한 패턴의 이용을 허용하기 위해, 랜덤 노이즈 및/또는 기준과 같은 타겟 패턴이 타겟 상으로 투영될 수 있는데, 예컨대 홀로그래픽 디퓨저(holographic diffuser) 상에서 디지털 데이터 프로젝터에 의해 후방 투영될 수 있다.

<32> 일 태양에서, 임의의 평면 또는 3차원 보정 타겟 위치 및 배향을 사용하여 제1 보정이 수행될 수 있다. 표준 보정 기술을 사용하여 수행될 수 있는 이러한 제1 단계는 깊이-종속 항의 복원 없이 보정하도록 채용될 수 있다.

<33> 이러한 보정은 단계(302)에 도시된 바와 같이 정제될 수 있다. 제2 보정은 임의의 미지의 배향 및 임의의 미지의 방향으로의 기지의 단계 증분(예컨대, 200 미크론)을 가진 평면형 보정 타겟들의 시퀀스를 사용할 수 있다. 평행 타겟 운동(및 실질적으로 평행한 타겟 운동을 제공하는 대응하는 보정 하드웨어)이라는 가정을 사용함으로써, 제2 보정 단계가 깊이-종속 항을 포함하는 2차원 기하학적 왜곡 모델을 복원하는 데 채용될 수 있다. 또한, 이러한 프로세스는 타겟 배향 및 운동을 복원하는 데 채용될 수 있으며, 이는 대응하는 보정 하드웨어에 대한 제한을 유리하게 완화시킬 수 있다. 이러한 보정 기술은 적어도 하나의 잘 특성화된 광학 채널(예컨대, 전술한 중앙 채널), 즉 파라미터화에 적합한 하나 이상의 기지의 왜곡 모델을 따르는 채널을 가진 임의의 광학 시스템에 유용하게 채용될 수 있다.

<34> 전형적으로, 조회 테이블의 생성을 위한 보정 사이클은 시스템의 원하는 해상도 또는 그 부근에서 Z 증분을 사용하여 전체 측정 체적을 샘플링할 것이다. 그러나, 예컨대 기지의 기하학적 디포커스 기반 공식(defocus-based formula)에 의해 좌우되는, 차이와 깊이 사이의 엄밀하게 제약된 관계가 존재하는 경우, 차이 및 깊이 포

인트를 기지의 함수에 피팅(fitting)한 후 등거리 차이 값을 가진 고밀도 조회 테이블이 구축될 수 있다. 따라서, 일 태양에서, 이미징 장치에 대한 기지의 기하학적 디포커스를 사용하여 보정된 거리 측정을 얻기 위한 고밀도 조회 테이블을 도출하기 위한 기술이 개시되어 있다. 주어진 기하학적 디포커스 기반 공식에 좌우되는 차이와 깊이 사이의 염밀하게 제약된 관계가 주어지면, 전술한 기술을 사용하여 차이 및 깊이 포인트를 만족스럽게 피팅한 후 등거리 차이 값을 이용하여 고밀도 조회 테이블이 분석적으로 구성될 수 있다. 역으로 설명하면, 조회 테이블 기반 시스템의 차이/깊이 공간을 낮은 해상도로 샘플링하고, 전체 해상도(full resolution) 조회 테이블을 분석적으로 구성하는 것이 가능하다.

<35> 예컨대, Z 종속 왜곡 모델에 평행 타겟 제약 조건(constraint)을 부여함으로써 보정이 정제될 수 있다. 이러한 보정 정제화(refinement)의 결과는 관련 차이 데이터와 함께 카메라 좌표계 내의 일 세트의 포인트를 포함할 수 있다. 정제화의 일 태양에서, Z 종속 왜곡 파라미터가 결정될 수 있다. 정제화의 다른 태양에서, 보정된 출력을 얻는 데에 유용한 다른 모델 파라미터들, 예컨대 카메라 초점 길이, 이미지 평면 또는 처리 메시 x-종속 항, 이미지 평면 또는 처리 메시 y-종속 항 등이 도출될 수 있다. 차이는 또한 전체 보정과 통상적으로 연관된 처리 시간을 감소시키기 위해 잘 특성화된 채널(예컨대, 다중 애퍼처 시스템의 중앙 채널)에 대해 고정된 처리 메시로 보간될(interpolated) 수 있다.

<36> 일반적인 사항으로, 획득된 이미지에서의 Z-종속 왜곡이 광학 시스템을 통해 각종 렌즈 및/또는 비축 광선 경로(off-axis ray path)에 의해 도입될 수 있음을 이해할 것이다. 광학 시스템의 왜곡은 전형적으로 대부분의 카메라 보정 목적에 충분한 반경방향 및 중심이탈 왜곡에 의해 지배되지만, 깊이-종속 왜곡은 정확한 카메라 보정을 위해서 중요할 수 있다. 일 태양에서, 반경방향 왜곡과 같은 소정의 주요 항은 제1 보정에 의해 처리될 수 있으며, 하나 이상의 깊이-종속 항은 후속 보정 정제화에 추가될 수 있다.

<37> 단계(304)에 도시된 바와 같이, 보정 사이클로부터의 결과는 조회 테이블의 보다 용이하고 보다 유연한 사용을 위해 파라미터화될 수 있다. 다수의 파라미터화 모델이 유용하게 채용될 수 있다. 하기 예들은 일반적으로 차이 벡터를 조회 테이블 입력으로 이용하지만, z 값이 획득된 데이터로부터 계산될 수 있으며, 획득된 이미지로부터의 x, y 및 (계산된) z 값은 대안적으로 조회 테이블용 인덱스로서 사용될 수 있고, 후속 처리에 적합하게 적응될 수 있음을 알 것이다.

<38> 보정 결과를 파라미터화하기 위해, 각각의 보정 타겟 위치/배향으로부터의 데이터가 카메라의 시야용의 처리 메시에서의 각각의 x 및 y 위치에 대한 차이 값을 포함하는 어레이 또는 다수의 어레이로서 특성화될 수 있다. (시야에 대한) x-축 차이 d_x , (시야에 대한) y-축 차이 d_y , 또는 차이 벡터의 크기 $|d|$ 와 같은 차이의 스칼라 특성화는 획득된 데이터에 대한 하나 이상의 진정한 카메라 좌표와 함께 데이터 포인트로서 저장될 수 있다. 이러한 방식으로 저장된 조회 테이블은 상세하게 후술되는 바와 같이 카메라 좌표 $\{X_c, Y_c, Z_c\}$ 의 직접 조회로서 배치될 수 있다.

<39> 다른 실시예에서, Z 값과 같은 진정한 값은 이들 변수 사이의 관계를 수학적으로 모델링하기 위해, 예컨대 곡선 피팅 기술을 사용하여 차이 파라미터(예컨대, 앞서 언급한 스칼라 차이량들 중 하나)에 상호관련될 수 있다. y-축 차이에 대한 경험적 국소 데이터에 대응하는 유용한 일례에서, Z는 d_y (또한 d_x 또는 $|d|$ 를 적합하게 이용할 수 있음)와 관련되어서,

수학식 1

$$Z(x, y) \propto \frac{1}{d_y(x, y)}$$

<40> 이 된다.

<41> 그리고, 데이터는 일반 관계로 피팅될 수 있다:

수학식 2

$$Z(x, y, d_y) = \frac{p_1(x, y)}{p_2(x, y) + d_y(x, y)} + p_3(x, y)$$

<42>

(이미지 평면 내의 주어진 (x, y)에서) d_y 에 대한 파라미터 벡터는,

수학식 3

$$<45> \quad \mathbf{p}(x, y) = [p_1(x, y) \quad p_2(x, y) \quad p_3(x, y)]^T$$

<46> 으로 표현될 수 있으며, Z 값은 하기 관계로부터 결정될 수 있다:

수학식 4

$$<47> \quad Z(d_y(x, y), \mathbf{p}(x, y)) = \frac{p_1(x, y)}{p_2(x, y) + d_y(x, y)} + p_3(x, y)$$

<48> 이러한 예에서, 수학식 3의 파라미터 벡터 \mathbf{p} 는 x , y 및 d_y 에 따라 인덱싱된 조회 테이블에 저장될 수 있어서, 보정되지 않은 이미지 결과들이 수학식 4의 파라미터를 얻는 데에 적용될 수 있고, 상기 파라미터는 이어서 Z의 값을 계산하는 데 이용될 수 있다. 이러한 상황에서, Z는 일반적으로, 특정 구현에서 깊이 데이터를 반영하는 절대 좌표, 카메라 좌표, 카메라 깊이, 또는 임의의 다른 적합한 양에 대응할 수 있는 깊이 변수를 지칭한다는 것을 이해할 것이다. y-좌표 차이의 선택은 단지 예시적인 것이며 결코 본 발명의 범주를 제한하지 않는다는 것을 또한 이해하여야 한다. 동시에, 소정의 물리적 카메라 시스템은 애피처가 처리 메시의 y-치수를 따라 공선적으로(collinearly) 배향되는 경우와 같이 우세하게 y-종속 차이 벡터를 나타낼 수 있다. 더욱 일반적으로, 카메라 시스템의 물리적 속성(예컨대, 동공 수차(pupil aberration))은 다중 애피처 카메라의 중앙 애피처에 대응하는 광학 중심으로부터 측정된 Z-종속 반경방향 또는 접선방향 왜곡과 같은 일관된 왜곡을 내포할 수 있다. 파라미터화된 모델은 보정 데이터 획득 결과를 하나 이상의 대응 모델에 피팅함으로써 이러한 기지의 규칙적인 왜곡 패턴을 설명할 수 있으며, 따라서 보다 컴팩트한 조회 테이블, 보다 적은 보정 측정, 또는 이 둘 모두를 제공한다. 다른 태양에서, 제1 전체 보정은 Z-독립 반경방향 또는 접선방향 왜곡을 처리할 수 있으며, 추가 항이 후속 미세 보정 단계에서 파라미터화에 추가된다.

<49> 다른 실시예에서, 파라미터 표면 자체가 모델링될 수 있다. 파라미터 표면이 비교적 단순한 모델을 생성하는 경우, 즉 카메라 시스템이 식별 가능한 포인트 또는 영역 주위에 일관된 x, y 및/또는 z 왜곡을 생성하는 경우, 파라미터화된 파라미터 모델은 물리적 메모리 또는 기억 장치의 관점에서 조회 테이블 보정 시스템의 크기를 실질적으로 감소시킬 수 있다. 이러한 상황에서, 경험적으로 전술한 이미지 캡쳐 시스템(100)의 실시예에 대한 z-종속 왜곡 성분은 하기의 형태의 주요 항을 포함한다:

수학식 5

$$<50> \quad \underline{\delta}_z(Z) \equiv \kappa_1 + \frac{\kappa_2}{Z} + \kappa_3 \cdot Z$$

<51> 단계(305)에 도시된 바와 같이, 조회 테이블, 또는 더욱 일반적으로 조회 테이블 시스템은 임의의 적합한 피팅, 오차 최소화 또는 기타 기술을 사용하여 전술한 바와 같은 모델 파라미터를 얻기 위해 보정 테스트 결과를 하나 이상의 모델에 피팅함으로써 상기 보정 데이터 및 모델에 대해 생성될 수 있다. 조회 테이블의 구성은 특정 구현에 좌우되며, 몇몇의 이러한 특정 구현이 상세하게 후술된다. 일반적인 제안으로서, 이미지 캡쳐 시스템을 위한 조회 테이블 구현은 이미지 캡쳐 시스템으로부터의 새롭게 획득된 데이터를 이미징 피사체 상의 표면 포인트에 대한 좌표 데이터에 관련시키는 메커니즘을 제공할 것이다. 중요한 이점으로서, 이러한 방식으로의 이미지 시스템의 보정은 차이 값을 물체 공간 데이터에 관련시키는 데 사용되는 카메라 모델의 국소화, 또는 다르게 말하면 더욱 일반적인 파라미터화된 모델을 따르는 국소 모델들의 어레이의 생성을 허용한다.

<52> 단계(306)에 도시된 바와 같이, 조회 테이블 또는 조회 테이블 시스템은 다수의 기술을 사용하여 겹증 및/또는 향상될 수 있다.

<53> 일반적인 하나의 접근법에서, 조회 테이블 기반 모델은 보정된 시스템을 각종 제어 조건 또는 물체에 노출시키고 결과적인 출력의 정확도를 측정함으로써 겹증될 수 있다. 전술한 바와 같은 하이브리드 타겟은 기지의 위치에 배치될 수 있으며, 보정된 시스템으로부터의 대응하는 이미지로부터의 결과가 타겟에 대한 예상 결과와 비교될 수 있다. 이러한 비교의 결과는 또한 또는 대신에 조회 테이블(들)을 정제하기 위하여 피드백될 수 있다. 다른 태양에서, 전체 시스템 및/또는 조회 테이블에서 노이즈를 식별하기 위해 조회 테이블 기반 시스템으로부터 포인트 클라우드에서의 노이즈가 출력된다.

<54> 다양한 패턴을 가진 평면형 타겟이 보정 시스템을 위한 한 가지 유용한 매체를 제공하지만, 상이한 기하학적 형상을 가진 타겟이 또한 또는 대신에 (조회 테이블 구성 및 검증 모두에) 채용될 수 있음을 이해할 것이다. 예컨대, 구체(sphere), 원뿔(cone) 또는 다른 형상을 사용함으로써 차원성(dimensionality)이 타겟에 제공될 수 있으며, 타겟의 (기지의) 차원 특성은 보정된 시스템을 사용하여 측정될 수 있다. 이로써, 검증 프로세스 예에서, 구체의 하나 이상의 이미지가 획득될 수 있으며, 구체의 반경이 획득된 데이터를 사용하여 계산되어 기지의 값과 비교될 수 있다. 이러한 비교의 결과는 또한 또는 대신에 조회 테이블(들)을 정제하기 위하여 피드백될 수 있다.

<55> 조회 테이블 기반 보정을 검증 또는 검정하기 위해 구체와 같은 형상이 다른 방식으로 채용될 수 있다. 예컨대, 이미징 시스템의 측정 체적 내의 구체 또는 다른 형상과 같은 물체 및/또는 그 일부의 경우, 물체의 외부 에지, 즉 이미지 평면으로의 물체의 투영을 찾기 위해 알려진 기술을 사용하는 윤곽선 검출이 적용될 수 있다. 구체의 예를 사용하여, 원이 검출될 수 있으며, 또한 전술한 것과 같은 Z-종속 또는 Z-독립 카메라 모델과 함께 구체 위치 및 카메라 위치에 기초하여 분석적으로 결정될 수 있다. 측정된 구체 위치는 분석적 윤곽선과 측정된 윤곽선이 수렴하는(예컨대, 오차 또는 편차가 최소화되는) 구체의 파라미터를 반복적으로 최적화함으로써 계산될 수 있다. 따라서, 일 태양에서, 3차원 물체의 제1 윤곽선이 2차원 이미지로부터 획득되고, 3차원 물체의 제2 윤곽선은 2차원 이미지의 이미지 평면에의 3차원 물체의 투영을 위해 분석적으로 결정되며, 이들 제1 윤곽선 및 제2 윤곽선은 3차원 물체의 파라미터에 대한 둘 이상의 변경에 걸쳐 반복적으로 비교되는 보정 검정 방법이 본 명세서에 개시되어 있다. 반복적인 비교는, 제1 윤곽선과 제2 윤곽선 사이의 편차를 위해, 보다 상세하게는 윤곽선들 사이의 편차를 최소화하기 위해 평가될 수 있다. 일 실시예에서, 3차원 물체는 구체이고, 파라미터는 구체의 반경이다. 다른 실시예에서, 파라미터는 구체의 위치이다. 둘 이상의 파라미터는 달라질 수 있다. 제2 윤곽선을 분석적으로 결정하는 것은 이미징 시스템에 대한 하나 이상의 카메라 모델을 적용하는 것을 포함할 수 있다. 유사한 기술이, 예컨대 원뿔, 피라미드, 단차를 갖는 피라미드 등에 적용될 수 있다. 또한, 상기 설명은 (배타적이지는 않지만) 일반적으로 중앙 채널의 모델링에 관한 것이지만, 본 명세서에서 설명된 모델 기반 검정 기술은 채널이 예상되는 결과의 분석적 결정을 허용할 만큼 충분히 잘 모델링된다면 다중 애플리케이션의 하나 이상의 측면 채널과 같은 임의의 채널에 적합하게 적용될 수 있다.

<56> 프로세스(330)에 대체로 도시된 바와 같이, 조회 테이블 또는 조회 테이블 시스템은 획득된 이미지의 고속 보정을 달성하기 위해 이미지 캡처 시스템(100)으로부터의 이미지 세트와 같은 새로운 이미지 데이터에 적용될 수 있다. 일단 구성되면, 조회 테이블로부터의 결과에 대한 직접적인 접근, 또는 적합한 또는 요구되는 임의의 선형 또는 다른 보간(interpolation)과 함께 조회 테이블로부터 얻어진 파라미터를 이용하는 비교적 단순한 계산, 또는 이들의 조합을 포함하므로, 조회 테이블의 사용은 간단할 수 있다.

<57> 더욱 구체적으로, 조회 테이블의 사용은 단계(307)에 도시된 바와 같이 이미지 획득 시스템으로부터의 데이터의 캡처로 시작될 수 있다. 본 기술 분야에 알려진 다양한 기술을 이용하여, 단계(308)에 도시된 바와 같이 다중 채널(또는 다중 카메라) 이미징 시스템의 하나 이상의 채널에 대한 차이 데이터가 얻어질 수 있다. 깊이 정보를 인코딩하는 다른 기술이 알려져 있더라도 차이 데이터는 보통 처리 메시 위치 및 그 위치에 있는 하나 이상의 차이량을 포함하며, 본 명세서에서 설명되는 시스템 및 방법과 함께 유용하게 이용될 수 있다.

<58> 단계(309, 310)에 도시된 바와 같이, 보정된 결과를 도출하기 위해 이미징 시스템으로부터의 데이터가 조회 테이블 시스템에 적용될 수 있다. 조회 테이블 시스템은, 예컨대 구현에 관한 임의의 설계 선호도 및/또는 특별한 보정 구현의 특성으로부터 달성될 수 있는 임의의 처리 또는 메모리 향상에 따라, 예컨대 인덱스, 벡터, 파라미터, 및/또는 파라미터화된 파라미터를 이용하여 다수의 배치(deployment)에 적합하게 될 수 있다. 일반적으로, 조회 테이블의 동작은 하기와 같이 진행한다:

$$(i, j, k) \rightarrow LUT \rightarrow \{X_c, Y_c, Z_c\} \{X_c, Y_c, Z_c\}$$

<59> 일반적으로 인덱스 i 및 j는 처리 메시 좌표에 대응하고 k는 (스칼라량 또는 벡터량일 수 있는) 차이 데이터에 대응할 수 있지만, 상기의 임의의 것으로부터 계산된 인덱스를 비롯한 인덱스의 다른 배열도 가능함을 이해할 것이다. 또한, 최종 결과를 계산하는 데 있어서 사용될 수 있는 파라미터를 복원하거나 또는 추가적인 조회 테이블의 인덱스를 계산하기 위한, 예컨대 중간 조회 테이블을 비롯한 조회 기반 기법에 대한 많은 변경을 이용할 수 있음을 알 것이다. 또한, 선형 또는 다른 보간이 조회 기반 시스템 내에서 이용될 수 있음을 알 것이다. 예를 들어, 인접 조회 테이블 결과들로부터의 최종 값들을 보간하기 위해 선형 보간이 적용될 수 있다. 특정 모델에 적합한 다른 예에서, 인덱스 또는 파라미터와 같은 중간 결과들에 보간이 적용될 수 있다. 보간은 투시

투영(perspective projection) 등으로 인한 $\{X_c, Y_c, Z_c\}$ 좌표계에서의 데이터의 특정 스프레딩(spreading)을 고려할 수도 있다. 예컨대, 포인트가 조회 테이블 포인트들 사이에 속하면, 거리 가중 보간은 특정 (x, y) 이미지 위치와 교차하는 투영 광선을 (보간을 통해) 구하고 다른 보간에 의해 그 광선 상에서 $\{X_c, Y_c, Z_c\}$ 포인트를 결정함으로써 처리될 수 있는 오차를 초래할 수 있다.

<61> 상기의 기술은 다양한 보정 타겟들 및 하드웨어의 사용, 다양한 왜곡 또는 카메라 모델들의 사용, 및 경험적 및 /또는 이론적 모델링의 변화 정도와 같은 수많은 변경을 고려한다. 또한, 도 3에 도시된 프로세스에 대한 수많은 변경이 가능하다. 예컨대, 보정 데이터를 획득하는 단계 및 결과들을 파라미터화하는 단계는 다수 회, 예컨대 각각의 타겟 위치에 대해 한번씩 수행될 수 있고, 처리 집약적(processing-intensive)인 경우 다수의 프로세서들 또는 처리 스레드(thread)들을 걸쳐 수행될 수 있다. 또한, 각각의 보정 사이클의 결과는 다음 보정 사이클로 진행하기 전에 조회 테이블을 패플레이팅(populate)하는 데 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 보정 정제화 단계는, 예컨대 일 세트의 동일 평면 및 등거리 타겟들을 사용하여 보정을 향상시키기 위해서 추가적인 제약 조건을 이용할 수 있다. 따라서, 도 3에 도시된 개념적으로 하이 레벨의 프로세스 흐름은 본 명세서에서 개시된 방법 및 시스템의 범주를 한정하거나 당업자에게 이해되는 수많은 변경 및 수정을 제한하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 이러한 모든 변경 및 수정은 본 발명의 범주 내에 포함하고자 한다.

<62> 비제한적인 예로서, 도 4 및 도 5는 전술한 기술을 사용하는 보정 시스템 및 프로세스의 다양한 태양을 예시한다.

<63> 도 4는 보정 프로세스의 태양을 예시한다. 도시된 바와 같이, 카메라 좌표계(406)의 Z축에 대응하는 주점(404)를 갖는 중앙 채널 이미지 평면(402)은 카메라 좌표계(406) 및 절대 좌표계(410) 내에 위치를 갖는 포인트를 갖는 보정 타겟(408)의 이미지를 포함할 수 있다. 차이 벡터와 같은 차이 값(412)은 중앙 채널 이미지 평면(402) 및 다른 이미지 평면(도시되지 않음), 예컨대 측면 채널 이미지 평면으로부터의 포인트의 변위를 특성화 할 수 있다. 차이 값(412)은, 예컨대 각각의 채널들 사이의 포인트에 대한 x-변위 및 y-변위를 포함할 수 있으며, 또는 거리 데이터를 인코딩하고 본 명세서에서 설명된 보정 기술과 함께 사용될 수 있는 임의의 다른 값(들)을 포함할 수 있다. 검출 및 그로 인한 보정을 향상시키기 위해, 포인트는 인접한 흑색 및 백색 정사각형으로 형성된 x-교차점(x-junction)일 수 있다. 그러나, 다른 이미지 유형을 보정 프로세스 내의 포인트로서 사용할 수 있음을 이해할 것이다. 도 4에 개시된 일반적인 기술은 본 명세서에서 설명된 바와 같은 Z-독립 왜곡 모델을 사용하여 중앙 채널의 초기 표준 기준 보정(initial standard reference calibration)을 위해 채용될 수 있다.

<64> 일 태양에서, x-교차점들을 사용하는 보정에 대한 개선이 본 명세서에 개시되어 있다. (x-교차점들을 포함하는) 체커보드는 x-교차점의 매우 국소적인 성질로 인해 일반적으로 사용되는 보정 타겟이지만, 이러한 x-교차점들의 사용은 아웃포커싱 포인트(out of focus point)에 대해 큰 오차를 생성할 수 있고 먼지, 긁힘, 또는 렌즈의 다른 물리적 오염과 같은 원하지 않는 국소적인 아티팩트에 매우 취약할 수 있다. 아웃포커싱 포인트에 대해, 정확도는 캡쳐된 이미지 내의 블러(blur)의 양에 좌우되고, 측정 체적 전체에 걸쳐 데이터를 캡쳐하는 능력은 특정 이미지 캡쳐에 대한 시야 깊이에 크게 좌우된다.

<65> 이러한 상황에서, 보정은 보정 타겟과 이미지 평면 내의 왜곡되지 않은 포인트 사이의 호모그래피 제약 조건(homography constraint)과 함께 보정 타겟 상의 다수의 x-교차점들의 공선성(collinearity)과 같은 전역 제약 조건(global constraint)을 이용하여 개선될 수 있다. 이러한 제약 조건을 적용하기 위해, x-교차점 이미지(또는 더욱 일반적으로는 타겟 이미지)는, 예컨대 시스템에 대한 반경방향 왜곡 모델, 접선방향 왜곡 모델 또는 임의의 다른 알려진 모델을 적용함으로써 왜곡되지 않아야 한다. 이어서, 예컨대 x-교차점 위치가 알려진 공선성을 따르도록 이미지를 와핑(warping)시킴으로써 전역 제약 조건(들)이 적용될 수 있다. 특이점(singularity)을 회피하기 위해 일반적인 직교 라인 피팅 접근법을 이용할 수 있고, 왜곡되지 않은 포인트들을 연결하는 왜곡되지 않은 라인의 교차점이 얹어져, 후속 보정 목적으로 왜곡된 x-접합점 위치를 정제하기 위해 임의의 계산된 왜곡 파라미터와 함께 사용될 수 있다. 타겟 포인트와 왜곡된 x-접합점 위치 사이에 정확한(또는 실질적으로 정확한) 호모그래피 관계를 부여함으로써, 왜곡 필드에 대한 차이 벡터가 왜곡된 포인트를 왜곡되지 않은 포인트에 관련시킨다. 이 왜곡 필드는 이미징 시스템으로부터의 왜곡된 이미지 상에서 바로 후속 동작을 가능하게 할 수 있다.

<66> 유리하게는, 이 결과적인 보정은 흑색 및 백색 이미지 특징을 교번시킴으로써 달리 얻어지는 바이어스(bias)를 감소시키고, 렌즈 또는 다른 표면 상의 먼지 및 긁힘과 같은 광학적 아티팩트의 보정에 미치는 영향을 감소시킬

수 있다.

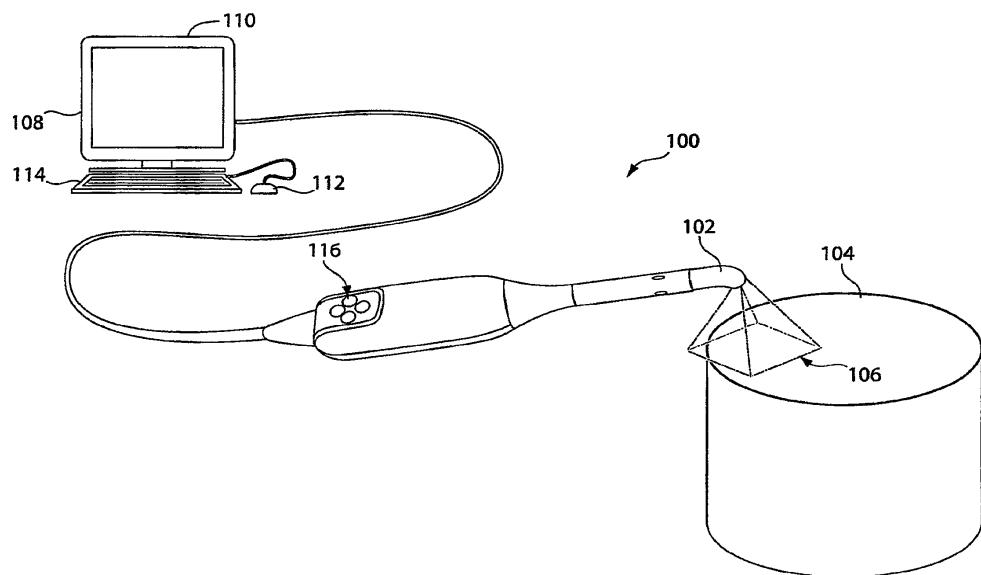
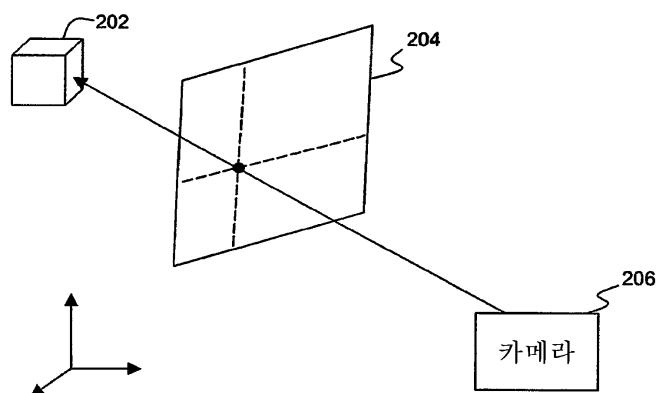
- <67> 상기 참조된 바와 같은 조회 테이블 스위핑(sweep)은 하나 이상의 평행 평면(414)을 통해 보정 타겟(408)을 이동시키는 것과 Z-종속 왜곡과 같은 중앙 채널 카메라 파라미터를 정제하기 위해 데이터를 획득하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 보정 정제화 단계는 전술한 조회 테이블 생성을 위한 카메라 좌표 데이터 포인트들의 의사 실측 정보(quasi ground truth) 세트를 제공할 수 있다. 실시예들에서, 보정 스위핑은 기지의 간격(416) 및 미지의 방향(418)을 갖는 보정 타겟(408)의 운동을 사용하여 수행되는 것이 유리할 수 있다.
- <68> 도 5는 보정 프로세스의 다른 태양을 예시한다. 보정 프로세스에서, 예컨대 단일 렌즈, 3-채널 이미징 시스템 또는 3개의 독립 카메라의 하나의 중앙 채널과 2개의 측면 채널에 대한 제1 이미지 평면(502), 제2 이미지 평면(504) 및 제3 이미지 평면(506)은, 예컨대 본 명세서에서 설명된 보정 타겟들 중 임의의 것일 수 있는 보정 타겟(508)의 조회 테이블 스위핑 동안에 차이 정보를 획득할 수 있다. 보정 프로세스 동안, 기지의 카메라 좌표를 갖는 하나 이상의 포인트(510)에 대한 차이 데이터는, 예컨대 이미지 평면(502, 504, 506) 중 하나의 처리 메시 내의 x 및 y 좌표와, 다른 이미지 평면 내의 차이 데이터로서 캡쳐될 수 있다. 보정 타겟(508)의 각각의 위치는 고정된 처리 메시 상에서 보간될 수 있는 차이 벡터(또는 다른 차이 데이터)의 필드를 보다 일반적으로 생성할 수 있다. 이 데이터로부터, 차이 데이터를 깊이에 국소적으로 매핑하는(map) 조회 테이블이 생성될 수 있다. 응용시, 조회 테이블은 차이 데이터에 기초하여 보정된 좌표의 계산을 위해 파라미터를 복원하는 데 적용될 수 있다. 다양한 실시예에서, 조회 테이블은 차이 데이터의 위치 및/또는 값에 의해 인덱싱될 수 있다.
- <69> 따라서, 조회 테이블들의 다수의 응용을 본 명세서에 개시한다. 일 실시예에서, 2개의 처리 메시 좌표를 포함하는 이미지 데이터 및 (지정된 처리 메시 좌표에 설정된 이미지의 데이터 사이의) 차이 값은 이미징된 포인트에 카메라 좌표를 제공하는 조회 테이블에 인덱스로서 적용될 수 있다. 상기에 수많은 변경들 및 수정이 가능하다. 다른 실시예에서, 2개의 처리 메시 좌표를 포함하는 이미지 데이터 및 차이 값은 제2 조회 테이블에 보정된 인덱스를 제공하는 조회 테이블에 인덱스로서 적용될 수 있다. 위치 데이터는, 예컨대 카메라로부터의 거리, 하나 이상의 절대 좌표, 또는 이미징된 포인트에 대한 하나 이상의 카메라 좌표를 포함할 수 있다. 다른 태양에서, 파라미터화된 조회 테이블을 사용하여 향상된 정확도를 달성하는 실시간 3차원 이미지 캡쳐 시스템이 본 명세서에 개시되어 있다.
- <70> 상기의 프로세스는 본 명세서에 설명된 3차원 이미징 기술에 적합한 하드웨어, 소프트웨어 또는 이들의 임의의 조합으로 실현될 수 있음을 알 것이다. 이 프로세스는 내부 및/또는 외부 메모리와 함께, 하나 이상의 마이크로프로세서, 마이크로제어기, 내장 마이크로제어기, 프로그래머블 디지털 신호 프로세서, 또는 다른 프로그래머블 장치로 실현될 수 있다. 이 프로세스는 또한 또는 대신에, 주문형 집적회로, 프로그래머블 게이트 어레이, 프로그래머블 어레이 로직, 또는 전자 신호를 처리하도록 구성될 수 있는 임의의 다른 장치를 포함할 수 있다. 이 프로세스는 C와 같은 구조적 프로그래밍 언어, C++ 와 같은 객체 지향 프로그래밍 언어, 또는 상기 장치들 중 하나 상에서 실행되기 위해 저장, 컴파일 또는 해석될 수 있는 임의의 다른 고급 또는 저급 프로그래밍 언어(어셈블리 언어, 하드웨어 기술 언어, 및 데이터베이스 프로그래밍 언어 및 기술을 포함)뿐만 아니라, 프로세서들의 이종 조합, 프로세서 아키텍처, 또는 상이한 하드웨어 및 소프트웨어의 조합을 이용하여 생성된 컴퓨터 실행가능 코드로서 실현될 수 있음을 또한 이해할 것이다. 동시에, 처리는 다수의 방식으로 카메라 및/또는 컴퓨터에 걸쳐 분배될 수 있거나, 또는 모든 기능은 독립형의 전용 이미지 캡쳐 장치에 통합될 수 있다. 이러한 모든 변형 및 조합은 본 발명의 범주 내에 포함하고자 한다.
- <71> 본 발명이 임의의 바람직한 실시예와 관련하여 설명되었지만, 다른 실시예들이 당업자에 의해 인식될 것이며, 이러한 모든 변경, 수정 및 대체는 본 발명의 범주 내에 포함하고자 한다. 따라서, 본 명세서에 개시된 본 발명은 법이 허용하는 가장 넓은 의미로 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

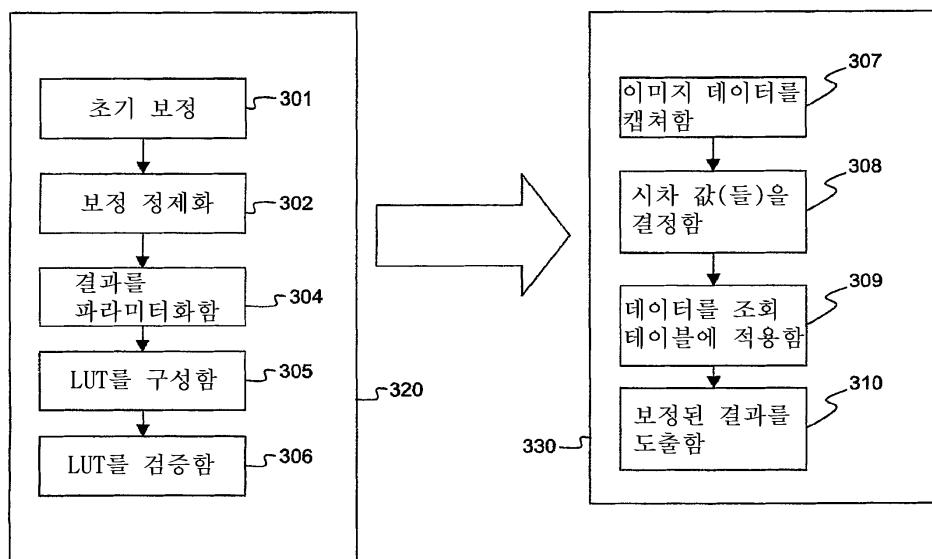
- <10> 본 발명 및 본 발명의 소정의 실시예의 하기의 상세한 설명은 하기의 도면을 참조하여 이해될 수 있다.
- <11> 도 1은 3차원 이미징 시스템을 도시하는 도면.
- <12> 도 2는 3차원 이미징 시스템의 좌표계를 도시하는 도면.
- <13> 도 3은 조회 테이블 구성 및 사용을 위한 프로세스를 도시하는 도면.
- <14> 도 4는 보정 프로세스의 태양을 도시하는 도면.

<15>

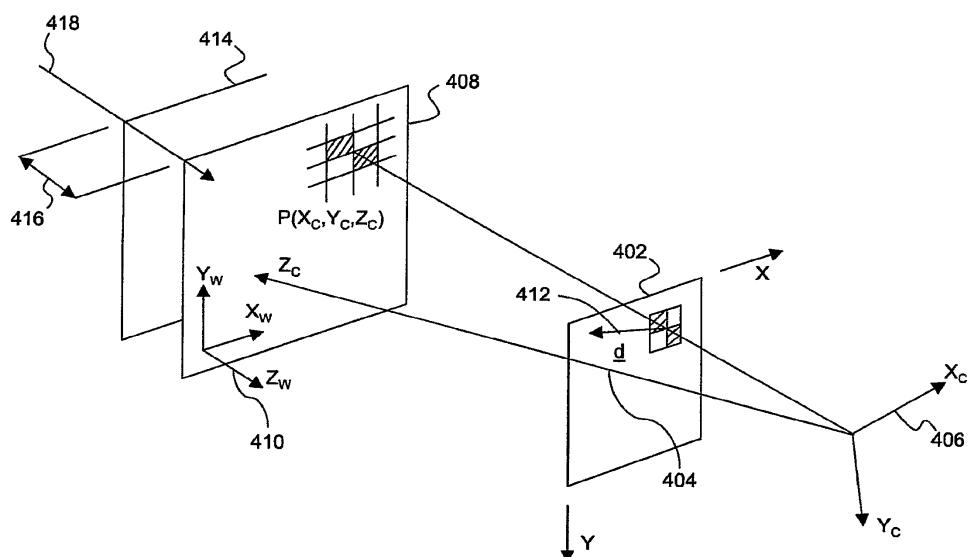
도 5는 보정 프로세스의 태양을 도시하는 도면.

도면**도면1****도면2**

도면3



도면4



도면5

