



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년11월22일
(11) 등록번호 10-2605314
(24) 등록일자 2023년11월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 21/36 (2006.01) G06F 18/00 (2023.01)
G06T 3/40 (2006.01) G06T 5/50 (2006.01)
G06V 10/98 (2022.01)
(52) CPC특허분류
G02B 21/365 (2013.01)
G02B 21/361 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-7003240
(22) 출원일자(국제) 2019년05월21일
심사청구일자 2021년02월01일
(85) 번역문제출일자 2021년02월01일
(65) 공개번호 10-2021-0025104
(43) 공개일자 2021년03월08일
(86) 국제출원번호 PCT/US2019/033293
(87) 국제공개번호 WO 2020/009749
국제공개일자 2020년01월09일
(30) 우선권주장
16/027,056 2018년07월03일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
US20180075581 A1
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
나노트로닉스 이미징, 인코포레이티드
미국, 오하이오 44223, 카이어호가 폴즈, 피.오.
박스 306, 수트 110, 프론트 스트리트 2251
(72) 발명자
쑤맨, 매튜, 씨.
미국, 뉴욕 11231, 브루클린, 아파트먼트 2, 치버
플레이스 68
쑤맨, 존, 비.
미국, 플로리다 34747, 셀레브레이션, 셀레브레이션
애비뉴 1102
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인정진

전체 청구항 수 : 총 13 항

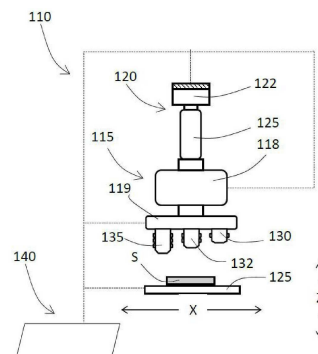
심사관 : 김희진

(54) 발명의 명칭 초해상도 이미징에 대한 피드백을 제공하고 이의 정확도를 개선하기 위한 시스템, 장치 및 방법

(57) 요약

초해상도 이미징에 대한 피드백을 제공하고 이의 정확도를 개선하기 위한 시스템, 방법, 및 컴퓨터 판독 가능 매체가 제공된다. 일부 실시형태에서, 표본의 저해상도 이미지는 현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈를 사용하여 획득될 수 있다. 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지는 초해상도 이미지 시뮬레이션을 사용하여 표본의 저해상도 이미지로부터 생성될 수 있다. 이후, 초해상도 이미지의 정확도 평가는, 시뮬레이션 이미지 분류기를 사용하여 식별된 하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 식별될 수 있다. 초해상도 이미지의 정확도 평가를 기반으로, 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정할 수 있다. 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면 초해상도 이미지는 추가로 처리될 수 있다.

대표도 - 도2b



(52) CPC특허분류

G06F 18/2411 (2023.01)

G06F 18/2413 (2023.01)

G06T 3/4053 (2013.01)

G06T 5/50 (2023.01)

G06V 10/993 (2023.08)

G06V 20/693 (2022.01)

(72) 발명자

핀스키, 바딤

미국, 뉴저지 07470, 웨인, 크로싱 웨이 1313

수카, 조셉, 알.

미국, 뉴욕 11201, 브루클린, 윌러비 스트리트 100

(56) 선행기술조사문헌

US20170193680 A1

논문 1*

US20160320602 A1

US20170220000 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

표본의 저해상도 이미지를 기반으로 초해상도 시스템을 통해 표본에 대한 초해상도 이미지를 생성하기 위한 방법으로서, 방법은,

현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 저해상도 이미지를 획득하는 단계와;

초해상도 이미지 시뮬레이션을 사용하여 표본의 저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지를 생성하는 단계와;

시뮬레이션 이미지 분류기를 사용하여 식별된 하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 초해상도 이미지의 정확도 평가를 식별하는 단계와;

초해상도 이미지의 정확도 평가를 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하는 단계; 및

초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 단계를 포함하고,

초해상도 이미지를 추가로 처리하는 단계는,

현미경 검사 시스템의 고해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지를 획득하는 단계; 및

초해상도 이미지와 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지를 조합하여, 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 단계의 일부로서 표본의 적어도 일부의 단일 간섭성 이미지를 생성하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,

고해상도 대물렌즈를 사용하여 획득된 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지는 저해상도 이미지 내의 하나 이상의 아티팩트의 고해상도 이미지인, 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

표본의 적어도 일부의 단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수를 식별하는 단계와;

단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수를 아티팩트의 사전 정의된 공차 수와 비교하여 단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수와 아티팩트의 사전 정의된 공차 수의 관계를 결정하는 단계; 및

단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수와 아티팩트의 사전 정의된 공차 수의 관계에 따라 표본의 하나 이상의 저해상도 이미지를 기반으로 표본에 대한 하나 이상의 고해상도 이미지를 생성하기 위해 초해상도 시스템의 동작을 추가로 제어하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

아티팩트의 사전 정의된 공차 수는, 하나 이상의 관련 표본, 산업 가이드라인, 하드웨어 제약, 펌웨어 제약, 소프트웨어 제약, 및 현미경 검사 시스템의 조작자의 제약과 관련된 하나 이상의 아티팩트의 공차 수를 기반으로 사전 정의되는, 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

저해상도 이미지 내의 하나 이상의 아티팩트를 검출하는 단계와;

저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성을 식별하는 단계; 및

초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성을 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

하나 이상의 아티팩트는 초해상도 이미지의 생성에 부적합한 것으로 식별되는, 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성을 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면, 현미경 검사 시스템의 고해상도 대물렌즈를 사용하여 하나 이상의 아티팩트의 하나 이상의 고해상도 이미지를 획득하는 단계; 및

초해상도 이미지와 하나 이상의 아티팩트의 하나 이상의 고해상도 이미지를 조합하여, 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 단계의 일부로서 표본의 적어도 일부의 단일 간섭성 이미지를 생성하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 9

제 6 항에 있어서,

초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성은, 초해상도 이미징에 적합한 알려진 아티팩트의 제 1 그룹과 초해상도 이미징에 부적합한 알려진 아티팩트의 제 2 그룹으로 훈련되는 적합성 분류기에 의해 식별되는, 방법.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

시뮬레이션 이미지 분류기는 둘 이상의 이미지 신뢰도 결정에서 다수의 알려진 초해상도 이미지를 사용하여 훈련되는, 방법.

청구항 11

표본을 검사하기 위한 현미경 검사 시스템과;

저해상도 대물렌즈와;

고해상도 대물렌즈와;

하나 이상의 프로세서; 및

적어도 하나의 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함하는 초해상도 시스템으로서,

적어도 하나의 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서가

현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 저해상도 이미지를 획득하는 동작과;

초해상도 이미지 시뮬레이션을 사용하여 표본의 저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지를 생성하는 동작과;

하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 초해상도 이미지의 정확도 평가를 식별하는 동작과;

초해상도 이미지의 정확도 평가를 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하는 동작; 및

초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 동작을 포함하는 동작을 수행하도록 하는 명령을 내부에 저장하고,

초해상도 이미지를 추가로 처리하는 동작은,

현미경 검사 시스템의 고해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지를 획득하는 동작; 및

초해상도 이미지와 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지를 조합하여, 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 동작의 일부로서 표본의 적어도 일부의 단일 간섭성 이미지를 생성하는 동작을 포함하는, 초해상도 시스템.

청구항 12

삭제

청구항 13

제 11 항에 있어서,

고해상도 대물렌즈를 사용하여 획득된 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 고해상도 이미지는 저해상도 이미지 내의 하나 이상의 아티팩트의 고해상도 이미지인, 초해상도 시스템.

청구항 14

제 11 항에 있어서,

명령은, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서가

표본의 적어도 일부의 단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수를 식별하는 동작과;

단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수를 아티팩트의 사전 정의된 공차 수와 비교하여 단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수와 아티팩트의 사전 정의된 공차 수의 관계를 결정하는 동작; 및

단일 간섭성 이미지 내의 아티팩트의 총수와 아티팩트의 사전 정의된 공차 수의 관계에 따라 표본의 하나 이상의 저해상도 이미지를 기반으로 표본에 대한 하나 이상의 고해상도 이미지를 생성하기 위해 초해상도 시스템의 동작을 추가로 제어하는 동작을 포함하는 동작을 더 수행하도록 하는, 초해상도 시스템.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

명령은, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서가

저해상도 이미지 내의 하나 이상의 아티팩트를 검출하는 동작과;

저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성을 식별하는 동작; 및

초해상도 이미지의 생성을 위한 하나 이상의 아티팩트의 적합성을 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하는 동작을 포함하는 동작을 더 수행하도록 하는, 초해상도 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 2018 년 7월 3일 출원된 미국 특허 출원 제16/027,056호의 우선권을 주장하며, 그 전체 내용이 본원에 참조로 포함된다.

[0003] 본 개시는 초해상도 이미징에 대한 피드백을 제공하고 이의 정확도를 개선하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 재료의 균일성 검사 및 이상 검출은 제조에서부터 과학, 생물학에 이르는 분야에서 중요하다. 검사는 종종 현미경 검사 시스템을 사용하여 표본을 검사하고 측정한다. 본원에서 사용된 표본은 검사 대상(예를 들어, 웨이퍼, 기관 등)을 의미하고 아티팩트는 표본, 표본의 일부, 표본 내의 특징, 이상 및/또는 결함을 의미한다. 예를 들어, 아티팩트는 트랜지스터, 저항기, 커패시터, 집적 회로, 마이크로 칩 등과 같은 전자 장치, 암 세포와 같은 생물학적 이상, 또는 균열, 스크래치, 칩 등과 같은 벌크 재료 내의 결함일 수 있다.

[0005] 현미경 검사 시스템은 육안으로 볼 수 있는 것을 높이기 위해 사용될 수 있다. 특히 현미경 검사 시스템은 볼 수 있는 세부 사항의 양(예를 들어, 광학 해상도)을 늘림으로써, 물체, 예를 들어, 특징과 이상을 확대할 수 있다. 본원에서 사용된 광학 해상도는, 사람이 별도의 지점으로 인식할 수 있는 두 개의 개별 지점으로 여전히 구별될 수 있는 표본의 두 지점 사이의 최소 거리를 의미한다. 광학 해상도는 다른 파라미터 중에서 대물렌즈의 개구수(numerical aperture)에 의해 영향을 받을 수 있다. 일반적으로, 대물렌즈의 개구수가 높을수록 해당 대물렌즈로 얻을 수 있는 표본의 해상도가 더 좋다. 단일 현미경 검사 시스템은 하나 이상의 대물렌즈를 가질 수 있으며, 각각의 대물렌즈는 다른 분해능을 갖는다. 더 높은 해상도의 대물렌즈는 일반적으로 더 낮은 해상도의 대물렌즈보다 더 많은 세부 사항을 캡처한다. 그러나, 더 높은 해상도의 대물렌즈는, 예를 들어 작은 시야로 인해, 일반적으로 더 낮은 해상도의 대물렌즈보다 표본을 스캔하는 데 훨씬 더 오래 걸린다.

[0006] 더 높은 해상도의 대물렌즈에 따라 캡처된 이미지 또는 초해상도 기술을 사용하여 생성된 이미지와 같은 더 높은 해상도의 이미지를 속도 저하 없이 얻기 위해, 인공 지능 모델을 사용하여 저해상도 이미지로부터 초해상도 이미지를 추론하고 시뮬레이션할 수 있다. 이러한 방법은 더 높은 해상도의 대물렌즈를 사용하여 실제로 표본을 스캔하지 않고, 대신에 표본의 저해상도 이미지의 전부 또는 일부, 예를 들어, 저해상도 이미지 내의 검출된 아티팩트를 사용하여 달성될 수 있다. 이러한 방법은 본원에서 초해상도, 초해상도 시뮬레이션, 초해상도 생성, 고해상도 시뮬레이션으로 서로 교체 가능하게 지칭될 것이며, 이러한 방법에 의해 생성된 이미지는 본원에서 예를 들어 고해상도 시뮬레이션을 사용하여 시뮬레이션된 초해상도 이미지와 고해상도 이미지로 서로 교체 가능하게 지칭될 것이다. 본원에서 사용된 초해상도 이미지는 현미경 시스템의 해상도 한계보다 큰 해상도에서 생성된 이미지를 포함할 수 있다. 구체적으로, 초해상도 이미지는 주어진 현미경 시스템의 회절 한계를 넘는 해상도의 이미지 또는 주어진 현미경 시스템의 디지털 이미지 센서의 한계를 넘어 생성된 이미지를 포함할 수 있다. 본원에서 사용된 초해상도 이미지는 주어진 현미경 시스템의 해상도 한계 내이지만, 저해상도 이미지보다 더 높은 해상도에서 시뮬레이션된 이미지를 포함할 수 있다(예를 들어, 초해상도 이미지는 현미경 시스템이 촬영할 수

있는 가장 높은 해상도에서 시뮬레이션된 이미지일 수 있다).

[0007] 그러나, 저해상도에서 검출 가능한 모든 아티팩트가 정확한 초해상도 이미지를 생성하기 위한 좋은 후보는 아니다. 예를 들어, 저해상도 배율을 사용하여 검출된 아티팩트는 고해상도 배율로 검출된 많은 아티팩트와 일치할 수 있으며, 아티팩트의 저해상도 이미지에서는 부족할 수 있는 추가 정보 없이, 예를 들어, 고해상도 시뮬레이션을 사용하여 저해상도 이미지 이미지의 정확한 초해상도를 생성하는 것은 불가능할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 따라서, 저해상도 배율에서 발견된 아티팩트가 초해상도 이미지 생성에 적합한지 부적합한지에 대한 피드백을 제공하기 위한 새로운 메커니즘을 제공하는 것이 바람직하다. 또한, 생성된 초해상도 영상의 정확도를 높이는 것이 바람직하다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 개시의 다양한 실시형태가 아래에서 상세히 논의된다. 특정 구현형태가 논의되지만, 이는 설명 목적으로만 이루어진다는 것을 이해해야 한다. 관련 분야의 숙련자는 본 개시의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다른 구성요소와 구성이 사용될 수 있음을 인식할 것이다. 따라서, 다음의 설명 및 도면은 예시적인 것이며 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 개시의 완전한 이해를 제공하기 위해 다수의 특정 세부 사항이 설명된다. 그러나, 어떤 경우에는, 설명을 모호하게 하는 것을 피하기 위해 잘 알려져 있거나 통상적인 세부 사항은 설명되지 않는다. 본 개시의 일 실시형태 또는 실시형태에 대한 언급은 동일한 실시형태 또는 임의의 실시형태에 대한 언급일 수 있으며; 이러한 언급은 실시형태 중 적어도 하나를 의미한다.

[0010] "일 실시형태" 또는 "실시형태"에 대한 언급은 해당 실시형태와 관련하여 설명된 특정 특징, 구조 또는 특성이 본 개시의 적어도 하나의 실시형태에 포함된다는 것을 의미한다. 명세서의 다양한 위치에서 "일 실시형태에서"라는 문구의 출현은 반드시 모두 동일한 실시형태를 지칭하는 것은 아니며, 다른 실시형태와 상호 배타적인 별개의 또는 대안적인 실시형태도 아니다. 또한, 일부 실시형태에 의해 나타날 수 있고 다른 실시형태에 의해서는 나타나지 않을 수 있는 다양한 특징이 설명된다.

[0011] 본 명세서에서 사용된 용어는 일반적으로 본 기술 분야에서, 본 개시의 맥락 내에서, 그리고 각각의 용어가 사용되는 특정 맥락에서 이들의 일반적인 의미를 갖는다. 본원에서 논의된 하나 이상의 용어에 대해 대안적인 언어와 동의어가 사용될 수 있으며, 어떠한 용어가 본원에서 설명되거나 논의되는지 여부에 대해 특별한 의미를 두어서는 안 된다. 경우에 따라 특정 용어에 대한 동의어가 제공된다. 하나 이상의 동의어의 설명은 다른 동의어의 사용을 배제하지 않는다. 본원에서 논의된 임의의 용어의 예를 포함하는 본 명세서 모든 곳에서의 예의 사용은 단지 예시일 뿐이며, 개시 또는 임의의 예시적인 용어의 범위와 의미를 추가로 제한하려는 것은 아니다. 마찬가지로, 본 개시는 본 명세서에 주어진 다양한 실시형태들에 제한되지 않는다.

[0012] 본 개시의 범위를 제한하려는 의도 없이, 본 개시의 실시형태에 따른 기기, 장치, 방법 및 이의 관련된 결과의 예가 아래에 제공된다. 독자의 편의를 위해 예시에서 제목 또는 부제가 사용될 수 있으며, 이는 본 개시의 범위를 어떠한 방식으로든지 제한해서는 안 된다. 달리 정의하지 않는 한, 본원에서 사용된 기술 및 과학 용어는 본 개시가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미를 갖는다. 충돌하는 경우, 정의를 포함하여 본 문서가 우선한다.

[0013] 본 개시의 추가적인 특징 및 장점은 다음의 설명에서 제시될 것이고, 부분적으로 설명으로부터 명백해지거나, 본원에 개시된 원리의 실행에 의해 알 수 있다. 본 개시의 특징 및 장점은 첨부된 청구 범위에서 특히 지적된 기구 및 조합에 의해 실현되고 달성될 수 있다. 본 개시의 이들 및 다른 특징은 다음의 설명 및 첨부된 청구 범위로부터보다 완전히 명백해지거나, 본원에 제시된 원리의 실행에 의해 알 수 있다.

[0014] 방법은 현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 저해상도 이미지를 획득하는 단계를 포함할 수 있다. 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지는 초해상도 시뮬레이션을 사용하여 저해상도 이미지로부터 생성될 수 있다. 또한, 생성된 초해상도 이미지의 정확도 평가는, 시뮬레이션 이미지 분류기(simulated image classifier)를 사용하여 식별된 하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 식별될 수 있다. 방법은 또한 초해상도 이미지의 정확도 평가를 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

이후, 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면 초해상도 이미지는 추가로 처리될 수 있다.

[0015] 시스템은 표본을 검사하기 위한 현미경 검사 시스템과, 하나 이상의 프로세서, 및 적어도 하나의 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 현미경 검사 시스템은 저해상도 대물렌즈와 고해상도 대물렌즈를 포함할 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서가 현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈를 사용하여 표본의 저해상도 이미지를 획득하도록 하는 명령을 저장할 수 있다. 명령은 또한 하나 이상의 프로세서가 초해상도 시뮬레이션을 사용하여 저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지를 생성하도록 할 수 있다. 또한, 명령은 하나 이상의 프로세서가, 시뮬레이션 이미지 분류기를 사용하여 식별된 하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 생성된 초해상도 이미지의 정확도 평가를 생성하도록 할 수 있다. 하나 이상의 프로세서는 또한, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장된 명령의 실행에 따라, 초해상도 이미지의 정확도 평가를 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정할 수 있다. 이후, 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면, 초해상도 이미지는 하나 이상의 프로세서에 의해 추가로 처리될 수 있다.

[0016] 비밀시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때, 하나 이상의 프로세서가 표본의 저해상도 이미지를 기반으로 표본에 대한 초해상도 이미지를 생성하기 위한 동작을 수행하도록 하는 명령을 포함할 수 있다. 특히, 명령은 하나 이상의 프로세서가 현미경 검사 시스템의 저해상도 대물렌즈에 의해 캡처된 표본의 저해상도 이미지를 수신하도록 할 수 있다. 명령은 또한 하나 이상의 프로세서가 초해상도 시뮬레이션을 사용하여 표본의 저해상도 이미지로부터 표본의 적어도 일부의 초해상도 이미지를 생성하도록 할 수 있다. 또한, 명령은 하나 이상의 프로세서가, 시뮬레이션 이미지 분류기를 사용하여 식별된 하나 이상의 관련 표본의 적어도 일부의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지와 초해상도 이미지 사이의 하나 이상의 동등성 정도를 기반으로 초해상도 이미지의 정확도 평가를 식별하도록 할 수 있다. 명령은 또한 하나 이상의 프로세서가 초해상도 이미지의 정확도를 기반으로 초해상도 이미지를 추가로 처리할지 여부를 결정하도록 할 수 있다. 따라서, 명령은 또한 초해상도 이미지를 추가로 처리하는 것으로 결정되면 하나 이상의 프로세서가 초해상도 이미지를 추가로 처리하도록 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 본 개시의 위에서 설명한 그리고 다른 장점 및 특징이 달성될 수 있는 방식을 설명하기 위해, 위에서 간략하게 설명한 원리에 대한 보다 구체적인 설명이 첨부된 도면에 도시된 이들의 특정 실시형태를 참조하여 제공될 것이다. 이들 도면은 본 개시의 예시적인 실시형태만을 도시하고 따라서 그 범위를 제한하는 것으로 간주되지 않는다는 것을 이해하면, 본원의 원리는 첨부된 도면의 사용을 통해 더 구체적이고 상세하게 기술되고 설명된다, 도면에서:

도 1은 초해상도 이미지를 생성하기 위한 예시적인 초해상도 시스템을 도시한다.

도 2A는 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 현미경 검사 시스템의 일반적인 구성의 측면도이다.

도 2B는 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 현미경 검사 시스템의 일반적인 구성의 정면도이다.

도 3은 초해상도 이미지 피드백 제어를 사용하기 위한 예시적인 동작의 흐름이다.

도 4는 초해상도 이미지 피드백 제어를 사용하여 초해상도 이미지 생성을 제어하기 위한 예시적인 컴퓨터 시스템을 도시한다.

도 5는 초해상도 이미지 피드백 제어를 제공하는 데 사용하기 위한 적합성 분류기(suitability classifier)를 훈련시키는 방식을 도시한다.

도 6은 초해상도 이미지 피드백 제어를 제공하는 데 사용하기 위해 시뮬레이션 이미지 분류기를 훈련시키는 방식을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 개시된 주제의 일부 실시형태에 따르면, 저해상도 배율에서 발견된 아티팩트가 초해상도 이미지 생성에 적합한지 부적합한지, 초해상도 이미지에서 발견된 아티팩트가 더 높은 해상도의 대물렌즈를 사용하여 다시 스캔되어야 하는지에 대한 피드백을 제공하고, 생성된 초해상도 이미지의 정확도를 향상시키기 위한 메커니즘(시스템, 방법, 기구, 장치 등을 포함할 수 있음)이 제공된다. 이러한 유형의 피드백은, 예를 들어 표본의 적합한 부분에

대해 선택적으로 초해상도를 사용하고, 저해상도와 고해상도 모두에서 표본의 문제가 있는 부분을 식별하며, 보다 정확한 초해상도 이미지를 생성하기 위해 문제가 있는 이들 영역에 대해 인공 지능 모델을 훈련시키는 데 유용하다.

[0019] 본원에서 개시된 바와 같이, 일부 실시형태에서, 저해상도 이미지로부터 초해상도 이미지를 생성하고, 정확한 초해상도 이미지를 생성할 가능성이 없는 표본의 저해상도 스캔 내의 아티팩트를 결정하고, 초해상도 이미지의 이미지 등급(image grade)을 결정하며, 이미지 등급에 따라 고해상도 배율을 사용하여 스캔되어야 하는 아티팩트를 결정하기 위해 인공 지능이 이용될 수 있다. 인공 지능 알고리즘은 다음 중 하나 이상을 단독 또는 조합으로 포함할 수 있다: 기계 학습, 은닉 마르코프 모델(hidden Markov model); 순환 신경망(recurrent neural network); 합성곱 신경망(convolutional neural network); 베이저안 기호법(Bayesian symbolic method); 생성적 적대 신경망(general adversarial network); 서포트 벡터 머신(support vector machine); 및/또는 다른 적합한 인공 지능 알고리즘.

[0020] 도 1은 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른, 현미경 검사 시스템(110) 및/또는 컴퓨터 시스템(150)에 대해 초해상도 피드백 제어를 구현할 수 있는 예시적인 초해상도 시스템(100)을 도시한다. 초해상도 피드백 제어는, 표본의 저해상도 스캔 이후, 정확한 초해상도 이미지를 생성할 가능성이 없고 더 높은 해상도로 스캔되어야 하는 아티팩트를 결정하는 단계와; 초해상도 이미지에 대한 이미지 등급을 결정하고, 이미지 등급을 기반으로 더 높은 해상도로 스캔되어야 하는 아티팩트를 결정하는 단계와; 유사한 표본에 대한 공차(tolerance) 또는 초해상도 시스템(100)에 대해 정의된 공차에 대해 아티팩트의 총수를 비교하는 단계; 및/또는 표본의 문제가 있는 영역에 대해 캡처된 더 높은 해상도의 이미지를 사용하여 인공 지능 모델을 훈련시켜 문제가 있는 영역에 대한 보다 정확한 초해상도 이미지를 생성하는 단계를 포함한다.

[0021] 높은 수준에서, 일부 실시형태에 따른 초해상도 시스템(100)의 기본 구성요소는 현미경 검사 시스템(110)과 컴퓨터 시스템(150)을 포함한다. 현미경 검사 시스템(110)은 표본에 광을 제공하는 조명원(115)과, 이미징 장치(120)와, 스테이지(125)와, 저해상도 대물렌즈(130)와, 고해상도 대물렌즈(132, 135)와, 하드웨어, 소프트웨어 및/또는 펌웨어를 포함하는 제어 모듈(140)을 포함할 수 있다.

[0022] 현미경 검사 시스템(110)은 임의의 적합한 유형의 현미경의 일부로서 구현될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시형태에서, 시스템(110)은 투과광 또는 반사광을 사용하는 광학 현미경의 일부로서 구현될 수 있다. 보다 구체적으로, 시스템(110)은 오하이오주 카이어호가 폴스(Cuyahoga Falls)의 Nanotronics Imaging, Inc.사로부터 입수 가능한 nSpec® 광학 현미경의 일부로서 구현될 수 있다. 현미경 검사 시스템은 공초점 또는 2광자 여기 현미경의 일부로서 구현될 수도 있다.

[0023] 도 2A(측면도) 및 2B(정면도)는 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 현미경 검사 시스템(110)의 일 실시형태의 일반적인 구성을 도시하고 있다. 일부 실시형태에 따르면, 현미경 검사 시스템(110)은 두 개 이상의 대물렌즈(130, 132 및 135)를 포함할 수 있다. 대물렌즈(130, 132 및 135)는 서로 다른 분해능을 가질 수 있다. 대물렌즈(130, 132 및 135)는 또한 서로 다른 배율을 가질 수 있고 및/또는 명시야/암시야 현미경법, 차등 간섭 대비(differential interference contrast, DIC) 현미경법 및/또는 형광을 포함하는 임의의 다른 적합한 형태의 현미경법으로 작동하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 표본의 고해상도 스캐닝은 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM), 투과 전자 현미경(transmission electron microscope, TEM) 및/또는 원자간력 현미경(atomic force microscope, AFM)과 같은 고해상도 현미경을 사용하여 수행될 수 있다. 일부 실시형태에서, 고해상도 현미경은 저해상도 현미경(예를 들어, 5x)보다 2 배 더 큰 배율(예를 들어, 10x)을 갖는 현미경일 수 있다. 표본을 검사하기 위해 사용되는 대물렌즈 및/또는 현미경 기술은 일부 실시형태에서 소프트웨어, 하드웨어 및/또는 펌웨어에 의해 제어될 수 있다. 일부 실시형태에서, 고해상도 현미경법은 저해상도 현미경법과는 별개의 독립형 시스템에서 수행될 수 있다. 다른 실시형태에서, 저해상도 대물렌즈(130)와 더 높은 해상도의 대물렌즈(132 및 135)는 현미경 검사 유닛에 함께 상주할 수 있고 노즈피스(119)에 결합될 수 있다.

[0024] 일부 실시형태에서, 스테이지(125)를 위해 XY 변환 스테이지가 사용될 수 있다. XY 변환 스테이지는 스테퍼 모터, 서버 모터, 선형 모터, 피에조 모터 및/또는 임의의 다른 적합한 메커니즘에 의해 구동될 수 있다. 일부 실시형태에서, XY 변환 스테이지는 임의의 적합한 제어기의 제어 하에 X축 및/또는 Y축 방향으로 표본을 이동시키도록 구성될 수 있다. 예를 들어 0 내지 5 mm, 0 내지 10 mm, 0 내지 30 mm 및/또는 기타 적합한 거리 범위(들)의 대략적인 초점 조정을 하기 위해 액추에이터가 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 액추에이터는 또한 예를 들어 0 내지 50 μm , 0 내지 100 μm , 0 내지 200 μm , 및/또는 임의의 다른 적합한 거리 범위의 미세 초점을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 현미경 검사 시스템(110)은 대물렌즈(130, 132 및

135)를 향하고 이로부터 멀어지도록 Z방향으로 스테이지(125)를 조정하고 및/또는 스테이지(125)를 향하여 이로부터 멀어지도록 대물렌즈(130, 132 및 135)를 조정하는 초점 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0025] 조명원(115)은 사용된 광원의 강도, 개수 및/또는 조명의 위치와 각도에 따라 변할 수 있다. 광원(117)은 반사광 조명기(118)를 통해 광을 전달할 수 있고 표본의 일부를 조명하기 위해 사용될 수 있으며, 따라서 광은 튜브렌즈(123)를 통해 이미징 장치(120)(예를 들어, 카메라(122))로 반사되고 이미징 장치(120)는 표본의 이미지 및/또는 비디오를 캡처할 수 있다. 일부 실시형태에서, 사용된 광원은 백색광 시준 발광 다이오드(LED), 자외선 시준 LED, 레이저 또는 형광등일 수 있다.

[0026] 일부 실시형태에서, 이미징 장치(120)는 이미지 센서를 포함하는 카메라일 수 있다. 이미지 센서는 예를 들어 CCD, CMOS 이미지 센서 및/또는 광을 하나 이상의 전기 신호로 변환하는 임의의 다른 적합한 전자 장치일 수 있다. 이러한 전기 신호는 표본의 이미지 및/또는 비디오를 형성하기 위해 사용될 수 있다.

[0027] 표본의 하나 이상의 3차원 지형 이미지를 생성하기 위한, 미리 정의된 크기, 개수 및 위치의 조명광과 함께 다양한 지형 이미징 기술(초점 결상 알고리즘(shape-from-focus algorithm), 음영 결상 알고리즘(shape-from-shading algorithm), 광도측정 스테레오 알고리즘(photometric stereo algorithm) 및 푸리에 타이코그래피 변조 알고리즘(Fourier ptychography modulation algorithm)을 포함하지만 이에 한정되지 않음)이 사용될 수 있다.

[0028] 일부 실시형태에서, 제어기와 제어기 인터페이스를 포함하는 제어 모듈(140)은 초해상도 시스템(100)(예를 들어, 조명원(115), 대물렌즈(130, 132 및 135), 스테이지(125), 이미징 장치(120))의 모든 설정뿐만 아니라 통신, 동작(예를 들어, 이미지 촬영, 조명원 켜기 및 끄기, 스테이지(125) 및/또는 대물렌즈(130, 132 및 135) 이동)를 제어할 수 있다. 제어 모듈(140)은 예를 들어 컴퓨터, 마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러, 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA) 및 디지털 신호 프로세서(DSP)(하드웨어 프로세서라고도 함), 인코더, 인코더를 읽기 위한 회로, 메모리 장치(하나 이상의 EPROMS, 하나 이상의 EEPROM, 동적 랜덤 액세스 메모리("DRAM"), 정적 랜덤 액세스 메모리("SRAM") 및/또는 플래시 메모리를 포함함) 및/또는 기타 적합한 하드웨어 요소와 같은 임의의 적합한 하드웨어(일부 실시형태에서 소프트웨어를 실행할 수 있음)를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 초해상도 시스템(100) 내의 개별 구성요소는, 개별 구성요소를 제어하고 초해상도 시스템(100) 내의 다른 구성요소와 통신하기 위해 이들 자체의 소프트웨어, 펌웨어 및/또는 하드웨어를 포함할 수 있다.

[0029] 일부 실시형태에서, 제어 모듈(예를 들어, 제어기와 제어기 인터페이스)과 초해상도 시스템(100)의 구성요소 사이의 통신은 아날로그 기술(예를 들어, 릴레이 로직), 디지털 기술(예를 들어, RS232, 이더넷 또는 무선), 네트워크 기술(예를 들어, 근거리 통신망(LAN), 광역 통신망(WAN), 인터넷), 블루투스 기술, 근거리 통신 기술, 보안 RF 기술, 및/또는 다른 적합한 통신 기술과 같은 임의의 적합한 통신 기술을 사용할 수 있다.

[0030] 일부 실시형태에서, 조작자 입력은 임의의 적합한 입력 장치(예를 들어, 키보드, 마우스 또는 조이스틱)를 사용하여 제어 모듈(140)에 전달될 수 있다.

[0031] 초해상도 시스템(100)의 컴퓨터 시스템(150)은 아날로그 기술(예를 들어, 릴레이 로직), 디지털 기술(예를 들어, RS232, 이더넷 또는 무선), 네트워크 기술(예를 들어, 근거리 통신망(LAN), 광역 통신망(WAN), 인터넷), 블루투스 기술, 근거리 통신 기술, 보안 RF 기술, 및/또는 다른 적합한 통신 기술과 같은 임의의 적합한 통신 기술을 사용하여 임의의 적합한 방식으로 현미경 검사 시스템(110)에 결합될 수 있다. 컴퓨터 시스템(150) 및 컴퓨터 시스템(150) 내의 모듈은 현미경 검사 시스템(110)에 의해 출력되고 및/또는 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 이미지를 사용하여 본원에 추가로 설명되는 다수의 기능을 수행하도록 구성될 수 있다.

[0032] 컴퓨터 시스템(150)은 예를 들어 컴퓨터, 마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러, 주문형 집적 회로(ASIC), 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA) 및 디지털 신호 프로세서(DSP)(하드웨어 프로세서라고도 함), 인코더, 인코더를 읽기 위한 회로, 메모리 장치(하나 이상의 EPROMS, 하나 이상의 EEPROM, 동적 랜덤 액세스 메모리("DRAM"), 정적 랜덤 액세스 메모리("SRAM") 및/또는 플래시 메모리를 포함함) 및/또는 기타 적합한 하드웨어 요소와 같은 임의의 적합한 하드웨어(일부 실시형태에서 소프트웨어를 실행할 수 있음)를 포함할 수 있다.

[0033] 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 이용 가능한 매체일 수 있으며, 휘발성 및 비휘발성 매체, 이동식 및 비이동식 매체를 모두 포함한다. 제한이 아닌 예로서, 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터 저장 매체 및 통신 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독 가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 이

동식 및 비이동식 매체를 모두 포함한다. 컴퓨터 저장 매체는 RAM, ROM, EEPROM, 플래시 메모리 또는 다른 메모리 기술, CD-ROM, 디지털 비디오 디스크(DVD) 또는 다른 광 디스크 스토리지, 자기 카세트, 자기 테이프, 자기 디스크 스토리지 또는 다른 자기 저장 장치, 또는 원하는 정보를 저장하기 위해 사용될 수 있고 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 다른 매체를 포함한다.

- [0034] 일부 실시형태에 따르면, 컴퓨터 시스템(150)은 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)과, 초해상도 모듈(170)과, 초해상도 분석 모듈(180)과, 이미지 조립 모듈(190) 및 아티팩트 비교 모듈(195)을 포함할 수 있다.
- [0035] 도 1, 도 2A, 도 2B, 도 4를 더 참조하여, 도 3은 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 초해상도 피드백 제어를 사용하는 초해상도 동작(300)의 예를 높은 수준으로 도시하고 있다. 일부 실시형태에서, 초해상도 동작(300)은 초해상도 시스템(100)을 사용할 수 있다. 개시된 주제의 일부 실시형태에 따라 컴퓨터 시스템(150)의 각각의 모듈이 구성될 수 있는 방법을 설명하는 추가 세부 사항은 도 4와 관련하여 설명될 것이다.
- [0036] 단계 310에서, 현미경 검사 시스템(110)은 저해상도 대물렌즈(130)를 사용하여 표본을 스캔할 수 있다. 일부 실시형태에서, 표본은 표본의 전체 표면 또는 원하는 영역이 스캔될 때까지 X/Y 방향으로 이미징 장치(120) 및/또는 스테이지(125)를 이동시킴으로써 스캔될 수 있다. 일부 실시형태에서, 표본의 하나 이상의 영역은 서로 다른 초점 레벨을 사용하고 Z방향으로 스테이지(125) 및/또는 저해상도 대물렌즈(130)를 이동시켜 스캔될 수 있다. 이미징 장치(120)는 스캔된 표본의 저해상도 이미지를 캡처하고 생성할 수 있다.
- [0037] 단계 320에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 생성된 저해상도 이미지 내의 아티팩트를 검출하고 초해상도 이미징에 대한 이들의 적합성을 결정하기 위해 인공 지능 알고리즘 및/또는 다른 적합한 컴퓨터 프로그램(본원에서 추가로 설명됨)을 사용할 수 있다. 일부 실시형태에서, 적합성은 초해상도 이미징에 적합하거나 적합하지 않은 것으로 평가된 알려진 아티팩트들에 대한 하나의 아티팩트의 상호 상관(cross-correlation)을 기반으로 할 수 있다. 본원에서 언급되는 상호 상관은 다른 것에 대한 하나의 변위의 함수로서 두 시리즈(예를 들어, 두 개의 이미지)의 유사성의 척도일 수 있다. 보다 구체적으로, 검사 중인 아티팩트의 이미지와 알려진 아티팩트의 이미지는 각각 픽셀(0-255)당 강도 값의 매트릭스를 나타내며, 상호 상관은 이미지가 각각의 픽셀에서 얼마나 다르거나 유사한지와 관련된 값을 지정할 수 있다.
- [0038] 일부 실시형태에서, 알려진 적합한 아티팩트는 예를 들어 높은 이미지 등급을 갖는 높은 신뢰도의 초해상도 이미지로 결정된 초해상도 이미지가 생성된 아티팩트일 수 있다. 반대로, 알려진 부적합한 아티팩트는 예를 들어 낮은 이미지 등급을 갖는 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지로 결정된 초해상도 이미지가 생성된 아티팩트일 수 있다. 높은 신뢰도 및 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지 및 대응하는 이미지 등급은 본원에서 추가로 설명된다.
- [0039] 본원에 설명된 기술은 아티팩트가 초해상도 시뮬레이션에서 사용하기에 적합한지 여부를 식별하는 것과 관련하여 수행되지만, 다양한 실시형태에서, 이 기술은 초해상도 시뮬레이션에서 사용하기 위한 아티팩트의 적합성을 결정하지 않고 수행될 수 있다.
- [0040] 단계 330에서, 고해상도 대물렌즈(예를 들어, 고해상도 대물렌즈(132 또는 135))는 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 부적합하다고 결정된 아티팩트를 스캔할 수 있고, 이미징 장치(120)는 스캔된 아티팩트의 고해상도 이미지를 캡처하고 생성할 수 있다. 일부 실시형태에서, 생성된 고해상도 이미지는, 초해상도 이미징에 대한 아티팩트의 적합성을 결정하기 위한 추가 상황 데이터(context data)를 제공하기 위해 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에; 정확도를 개선하기 위해 초해상도 모듈(170)에; 및/또는 초해상도 이미지의 이미지 등급을 결정하기 위한 추가 상황 데이터를 제공하기 위해 초해상도 분석 모듈(180)에 피드백으로서 제공될 수 있다. 고해상도 이미지는 또한 단일 간섭성 이미지(coherent image)로의 통합을 위해, 예를 들어 스캔된 표본의 하나 이상의 초해상도 이미지와 하나 이상의 고해상도 이미지를 결합하기 위해 이미지 조립 모듈(190)에 제공될 수 있다.
- [0041] 단계 340에서, 초해상도 모듈(170)은 하나 이상의 초해상도 알고리즘을 사용하여 전체 표본에 대한 초해상도 이미지를 생성하거나 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 초해상도에 적합하다고 결정된 아티팩트만을 생성할 수 있다.
- [0042] 단계 350에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 모듈(170)로부터 초해상도 이미지를 수신할 수 있고, 인공 지능 알고리즘 및/또는 다른 적합한 컴퓨터 프로그램(본원에서 추가로 설명됨)을 사용하여 초해상도 이미지의 이미지 신뢰도를 결정할 수 있다. 나중에 더 상세히 논의되는 바와 같이, 초해상도 이미지의 이미지 신뢰도 결정은, 초해상도 이미지가 높은 신뢰도의 초해상도 이미지인지, 초해상도 이미지가 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지인지, 및/또는 초해상도 이미지의 이미지 등급에 대해 초해상도 이미지의 특정 이미지 신뢰도 결정을 포함할 수 있다. 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 결정된 초해상도 이미지의 이미지 신뢰도 결정은 초해상도 시뮬레이

선을 통해 생성된 초해상도 이미지의, 예를 들어 정확도 평가의 일부로서, 예측된 정확도에 해당할 수 있다. 초해상도 이미지의 예측된 정확도는, 저해상도 이미지로부터 생성된 초해상도 이미지가 표본 및 표본 내의 아티팩트를 실제로 얼마나 정확하게 나타내는지의 추정치일 수 있다. 구체적으로, 초해상도 이미지의 예측된 정확도는, 마치 초해상도 이미지가 고해상도 대물렌즈를 사용하거나 초해상도로 아티팩트/표본을 스캔하기 위한 적용 가능한 메커니즘을 사용하여 실제로 아티팩트/표본을 스캔하여 생성된 것처럼, 저해상도 이미지로부터 생성된 초해상도 이미지가 표본 및 표본 내의 아티팩트를 실제로 얼마나 정확하게 나타내는지의 추정치일 수 있다. 예를 들어, 초해상도 분석 모듈(180)이 시뮬레이션된 초해상도 이미지가 촬영된 표본의 95%를 정확하게 나타내는 것으로 식별하면, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지가 높은 신뢰도의 초해상도 이미지임을 식별할 수 있다.

[0043] 초해상도 분석 모듈에 의해 결정된 초해상도 이미지의 이미지 신뢰도 결정은 초해상도 이미지 및 표본의 하나 이상의 실제 스캔된 고해상도 이미지 사이의 동등성 정도에 해당할 수 있다. 구체적으로, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지의 신뢰도 및 초해상도 이미지와 고해상도 이미지 사이의 동등성 정도를 결정하기 위해, 초해상도 이미지가 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 실제 고해상도 이미지에 얼마나 밀접하게 일치하는지를 결정할 수 있다. 이는 상호 상관 방법을 기반으로 할 수 있다. 본원에서 사용된 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트는 관련 표본/아티팩트라고 한다. 예를 들어, 관련 표본은 현재 분석된 표본과 동일하거나 유사한 유형의 재료인 촬영된 재료를 포함할 수 있다. 또 다른 예에서, 현재 표본에 대한 관련 표본은 현재 표본 자체를 포함할 수 있다. 초해상도 이미지가 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 실제 고해상도 이미지와 밀접하게 관련되어 있다면, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지가 높은 신뢰도의 초해상도 이미지임을 나타낼 수 있다. 반대로, 초해상도 이미지가 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 실제 고해상도 이미지에 해당하지 않은 경우, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지가 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지임을 나타낼 수 있고, 고해상도 대물렌즈(예를 들어, 132 및 135)를 사용하여 스캔되고 고해상도 이미지를 생성할 기본 아티팩트를 나타낼 수 있다(단계 330에서와 같이).

[0044] 단계 360에서, 이미지 조립 모듈(190)은 수신된 초해상도 이미지 및 고해상도 대물렌즈를 사용하여 스캔된 이미지를 함께 조립하고 스티치(stitch)(본원에서 추가로 설명됨)하여, 스캔된 표본의 단일 간섭성 이미지를 생성할 수 있다.

[0045] 단계 370에서, 아티팩트 비교 모듈(195)은 표본의 단일 간섭성 이미지를 수신하고 표본에 대한 아티팩트의 총수를 결정할 수 있다. 아티팩트 비교 모듈(195)은 스캔된 표본 유형에 대해 일반적인 공차에 대해 또는 초해상도 시스템(100)에 대해 정의된 공차를 기반으로 총수를 비교할 수 있다(예를 들어, 조작자, 하드웨어/펌웨어/소프트웨어 제약, 산업 가이드라인, 및/또는 기타 적합한 표준에 의해).

[0046] 동작(300)의 특정 부분이 수행될 때의 구분은 다양할 수 있으며, 본원에 개시된 주제의 범위 내에는 구분이 없거나 다른 구분이 있다. 일부 실시형태에서, 동작(300)의 블록은 임의의 적합한 시간에 수행될 수 있음에 유의한다. 본원에 설명된 동작(300)의 부분들 중 적어도 일부는, 일부 실시형태에서, 도 3과 관련하여 도시되고 설명된 순서와 차례로 제한되지 않는 임의의 순서 또는 차례로 수행될 수 있음을 알아야 한다. 또한, 본원에 설명된 프로세스(200)의 일부 부분은 적합한 경우 실질적으로 동시에 또는 일부 실시형태에서 병렬로 수행될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 프로세스(200)의 일부 부분은 일부 실시형태에서 생략될 수 있다. 동작(300)은 임의의 적합한 하드웨어 및/또는 소프트웨어로 구현될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시형태에서, 동작(300)은 초해상도 시스템(100)에서 구현될 수 있다.

[0047] 도 4는 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 컴퓨터 시스템(150)의 실시형태의 일반적인 구성을 도시하고 있다.

[0048] 일부 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 현미경 검사 시스템(110) 및/또는 임의의 적합한 컴퓨터 판독 가능 매체로부터 표본의 하나 이상의 저해상도 이미지를 수신하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 저해상도 이미지는 저해상도 대물렌즈(130)를 사용하여 이미징 장치(120)에 의해 캡처된 이미지일 수 있다. 추가 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은, 컴퓨터 비전을 사용하여, 수신된 이미지(들) 내의 하나 이상의 아티팩트를 검출하고, 검출된 각각의 아티팩트에 대한 적합성 클래스(suitability class)를 결정하도록 구성될 수 있다. 아티팩트의 검출은, 예를 들어, 참조 설계의 정보(예를 들어, 컴퓨터 지원 설계(CAD) 파일, 표본의 물리적 레이아웃 등), 참조 설계와의 편차 및/또는 알려진 아티팩트에 대한 데이터를 기반으로 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 식별된 각각의 아티팩트에 대한 적합성 클래스를 결정하기 위해 하나 이상의 인공 지능 알고리즘(들)이 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 클래스는 이진 클래스(예를 들어, 초해상도 이미징에 "적합함" 및 "적합하지 않음")일 수 있다. 다른 실시형태에서, 클래스는 클래스의 더 크거나 더 높은 해상도의

구별을 제공할 수 있다(예를 들어, A는 최상의 등급을 나타내고 F는 최악의 등급을 나타내는 문자 등급 A 내지 F, 또는 1은 최악의 등급을 나타내고 100은 최상의 등급을 나타내는 숫자 등급 1 내지 100).

[0049] 일부 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 저해상도 이미지 내의 검출된 아티팩트가 초해상도 생성에 적합한지 여부를 결정하기 위해 분류 알고리즘을 적용할 수 있다. 일부 실시형태에서, 분류 알고리즘은 초해상도 생성에 적합한 아티팩트 및 그렇지 않은 아티팩트의 공유된 특성을 식별하기 위해 먼저 훈련 데이터(training data)로 훈련된다. 일부 실시형태에서, 훈련 데이터는 부여된 적합성 클래스와 함께 아티팩트의 저해상도 이미지의 예를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 훈련 데이터는 아티팩트에 대해 생성된 초해상도 이미지에 부여된 이미지 등급과 함께 아티팩트의 저해상도 이미지의 예를 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 분류 알고리즘은 아티팩트의 유형, 크기, 모양, 구성, 표본 상의 위치 및/또는 임의의 다른 적합한 특성을 기반으로 적합성에 대한 추론을 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 훈련 데이터는 또한 촬영 중인 표본의 일부, 참조 설계의 정보, 아티팩트 위치(즉, 표본 상의 아티팩트의 위치), 아티팩트의 유형 및/또는 또는 이의 크기, 모양 및/또는 구성을 기반으로 하는 명시적 적합성 부여를 포함할 수 있다.

[0050] 분류 알고리즘이 훈련되고 나면, 이는 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 적용되어 저해상도 이미지 내의 검출된 아티팩트가 초해상도 생성에 적합한지 여부를 결정할 수 있다.

[0051] 분류기는 입력 속성 벡터(예를 들어, $X=(X_1, X_2, X_3, X_4, X_n)$)를 입력이 속하는 클래스(예를 들어, $f(x)$ = 신뢰도 (적합성 클래스)에 해당하는 신뢰도에 매핑하는 함수이다. 적합성 분류의 경우, 속성은 초해상도 이미징에 대한 아티팩트의 적합성을 결정하기 위한, 예를 들어, 아티팩트의 유형, 크기, 모양, 구성, 표본 상의 위치, 참조 디자인 및/또는 및/또는 임의의 다른 적합한 특성일 수 있다.

[0052] 서포트 벡터 머신(support vector machine, SVM)은 사용될 수 있는 분류기의 일례이다. SVM은 트리거링 기준을 비-트리거링 이벤트와 분리하려고 시도하는, 가능성 있는 입력의 공간 내에서 초곡면(hypersurface)을 찾는 방식으로 작동한다. 이는 훈련 데이터와 동일하지는 않지만 근접한 테스트 데이터에 대한 분류를 정확하게 한다. 방향성 및 무방향성 모델 분류 접근법이 사용될 수 있으며, 예를 들어 나이브 베이즈(naive Bayes), 베이저안 네트워크(Bayesian network), 의사결정 트리(decision tree)를 포함할 수 있고, 다양한 독립 패턴을 제공하는 확률적 분류 모델이 이용될 수 있다. 본원에 사용된 분류에는 우선순위 모델을 개발하기 위해 이용될 수 있는 통계적 회귀(statistical regression)도 포함된다.

[0053] 개시된 주제는 일반 훈련 데이터, 외부 정보(예를 들어, 참조 설계, 동일하거나 유사한 유형의 표본의 고해상도 이미지(본원에서는 지상 실측 고해상도 이미지라고 함)), 및/또는 초해상도 동작(300)이 진행됨에 따라 초해상도 시스템(100)으로부터의 피드백을 통해 훈련되는 분류기를 사용할 수 있다. 예를 들어 SVM은 분류기 생성자(classifier constructor) 및 기능 선택 모듈 내에서 학습 또는 훈련 단계를 통해 구성될 수 있다. 따라서, 분류기는 다음을 포함하지만 이에 한정되지 않는 여러 기능을 자동으로 수행하기 위해 사용될 수 있다: 아티팩트의 상황(예를 들어, 표본 상의 아티팩트의 위치, 검사 중인 표본의 유형, 동일하거나 유사한 유형의 표본 상의 유사한 아티팩트, 참조 설계, 지상 실측 고해상도 이미지)을 결정하는 기능, 및 초해상도 이미징에 대한 아티팩트의 적합성을 정확하게 결정하기 위해 아티팩트를 더 잘 분류하도록 아티팩트의 크기, 모양, 구성을 분석하는 기능.

[0054] SVM은 훈련 전에 기능적 형태가 정의된 파라미터화된 함수이다. 구체적으로, SVM은 다차원 또는 무한 차원의 차원 공간에서 하나 이상의 분리 초평면(hyperplane)에 의해 정의되는 함수이다. SVM은 지도 학습 모델을 훈련시키기 위해 적용 가능한 방법을 사용하여 훈련될 수 있다. SVM을 훈련시키려면, 일반적으로 라벨링된 훈련 세트가 필요한데, SVM은 예제의 세트로부터의 함수에 적합하기 때문이다. 훈련 세트는 N 개의 예제의 세트로 구성될 수 있다. 각각의 예제는 입력 벡터 x_i 와, 입력 벡터가 카테고리에 속하는지 여부를 설명하는 카테고리 라벨 y_j 로 구성된다. 각각의 카테고리에 대해, 분리 초평면을 형성하도록 SVM을 훈련시키기 위해 하나 이상의 파라미터, 예를 들어, N 개의 예제로 훈련된 SVM 내에 N 개의 자유 파라미터가 있을 수 있다. 이들 파라미터를 사용하여 SVM을 훈련시키기 위해, 이차 계획법(quadratic programming, QP) 문제는 잘 알려진 대로 풀 수 있다. 대안적으로, 이들 파라미터를 사용하여 SVM을 훈련시키기 위해 서브-그라디언트 하강(sub-gradient descent) 및 좌표 하강(coordinate descent)이 사용될 수 있다. 이러한 기술에는 순차적 최소 최적화(Sequential Minimal Optimization) 기술뿐만 아니라 이러한 기술을 사용하여 SVM 분류기를 찾거나 해결하거나 다른 방법으로 훈련시키기 위한 다른 기술이 포함될 수 있다.

[0055] 또한, 개시된 주제는 비지도 기계 학습 기술을 사용하여 구현될 수 있다. 구체적으로, 초해상도 이미지의 이미지 신뢰도 결정은 비지도 학습 기술을 사용하여 식별될 수 있다. 또한, 초해상도 이미지를 형성하기 위해 사용

되는 저해상도 이미지 내의 아티팩트의 적합성은 비지도 학습 기술을 사용하여 식별될 수 있다. 비지도 학습 기술에는 분류되지 않은/라벨링되지 않은 데이터 내의 패턴을 인식하기 위한 적용 가능한 방법이 포함된다. 예를 들어, 비지도 학습 기술을 통해 개시된 주제를 구현하기 위해 신경망이 사용될 수 있다.

[0056] 도 5를 참조하면, 도면은 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 방식을 도시하며, 여기서 검출된 아티팩트(510)는, 초해상도 이미징에 적합한 그리고 적합하지 않은 두 가지 클래스로 분류된다. 이는 단지 예일 뿐이며, 클래스의 더 크거나 더 높은 해상도의 구별을 제공하기 위해 다수의 다른 훈련 세트가 사용될 수 있다(예를 들어, 클래스는 서로 다른 적합성 등급 A, B, C, D, E 및 F 또는 적합성 점수를 나타낼 수 있다). 아티팩트의 적합성은 단계 340에서 아티팩트가 정확한 초해상도 이미지의 전부 또는 일부를 생성하기 위해 사용될 수 있는 가능성의 척도일 수 있다. 구체적으로, 아티팩트의 적합성은 단계 350에서 저해상도 이미지로부터 적어도 부분적으로 생성된 초해상도 이미지가 높은 신뢰도의 초해상도 이미지로 통과될 수 있는 가능성의 척도일 수 있다. 보다 구체적으로, 아티팩트의 적합성은 아티팩트의 저해상도 이미지로부터 생성된 초해상도 이미지가 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 실제 고해상도 이미지에 얼마나 밀접하게 일치하는지에 대한 예측일 수 있다. 예를 들어, 아티팩트의 저해상도 이미지로부터 생성된 초해상도 이미지가 관련 아티팩트의 실제 고해상도 이미지와 크게 일치할 가능성이 95%인 경우, 예를 들어 90% 상관 관계가 있는 경우, 아티팩트는 초해상도 이미징에 적합한 것으로 식별될 수 있다, 예를 들어 A의 높은 적합성 등급을 가질 수 있다.

[0057] 적합성 분류기(520)는 초해상도 이미징에 적합한 아티팩트를 나타내는 알려진 아티팩트의 그룹(515)과 초해상도 이미징에 적합하지 않은 아티팩트를 나타내는 알려진 아티팩트 그룹(517)에 의해 훈련될 수 있다. 다른 실시형태에서, 적합성 분류기(520)는 서로 다른 적합성 등급을 나타내는 알려진 아티팩트의 그룹에 의해 훈련될 수 있다. 분석된 아티팩트(510)는 적합성 분류기(520)에 입력될 수 있고, 이는 검출된 아티팩트가 속할 가능성이 가장 높은 클래스를 나타내는 클래스(530)를 출력할 수 있다. 원하는 경우 추가 클래스(예를 들어, 등급)가 추가될 수도 있다. 일부 실시형태에서, 적합성 분류기(520)는 또한 예를 들어 스칼라 수(scalar number, 525), 예를 들어, 적합성 점수를 출력할 수 있는데, 이는 분석 중인 아티팩트가, 필요한 경우, 초해상도 이미징에 적합한 클래스, 또는 예를 들어 초해상도 이미징에 적합하지 않은 클래스에 속할 가능성을 측정할 수 있다.

[0058] 본원에 설명된 다양한 스코어링 기술은 선형 회귀 모델링을 사용하여 구현될 수 있다. 예를 들어, 선형 회귀 모델링을 사용하여 아티팩트 적합성 스코어링과 초해상도 이미지 스코어링 중 하나 또는 둘 모두를 구현할 수 있다. 선형 회귀 모델링은 종속 변수와 하나 이상의 독립 변수 간의 선형 관계를 모델링하기 위한 기계 학습 기술이다. 단일 스칼라 예측을 사용하는 간단한 선형 회귀 모델이 사용하여 본원에 설명된 스코어링을 수행할 수 있다. 대안적으로, 다수의 예측자를 사용하는 다중 선형 회귀 모델을 사용하여 본원에 설명된 스코어링을 수행할 수 있다.

[0059] 아티팩트가 특정 클래스에 속할 가능성은 신뢰 수준(또는 신뢰 간격)이라고도 한다. 신뢰 수준은 일반적으로 샘플 데이터의 파라미터를 포함할 지정된 확률을 나타내고, 이에 기반이 되는 것은 파라미터 값에 대해 사용 가능한 유일한 정보이다. 예를 들어 95% 신뢰 수준이 선택되는 경우, 동일한 모집단이 많은 경우에 샘플링되고 각각 경우에 대해 신뢰 간격 추정이 이루어지면, 그 결과 생성된 간격은 실제 모집단 파라미터를 사례의 대략 95% 범주로 간주할 수 있음을 의미할 것이다. 초해상도 시스템(100)에서 사용하도록 조정될 수 있는 신뢰 수준 추정의 예는 문헌[G. Papadopoulos et al., "Confidence Estimation Methods for Neural Networks: A Practical Comparison," ESANN 2000 proceedings - European Symposium on Artificial Neural Networks Bruges (Belgium), 26-8 April 2000 D-Facto public., ISBN 2-930307-00-5, pp. 75-80]에 기술되어 있으며, 이의 전체가 본원에 참조로 포함된다. 개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.

[0060] 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)이 비-이진 방식(예를 들어, 등급 또는 숫자에 의한 아티팩트 스코어링)으로 적합성을 결정하는 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 결정된 적합성 점수를, 예를 들어 조작자, 하드웨어/펌웨어/소프트웨어 제약, 산업 가이드라인, 및/또는 기타 적합한 표준에 의해 정의된 바와 같은, 초해상도 시스템(100)에 대한 허용 가능한 적합성 공차와 비교하도록 구성될 수 있다. 초해상도 시스템(100)에 대해 허용 가능한 적합성 공차 이하의 적합성 점수를 받은 아티팩트의 경우, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 더 높은 해상도의 대물렌즈를 사용하여 스캔될 식별된 아티팩트를 나타낼 수 있다. 초해상도 시스템(100)에 대해 허용 가능한 적합성 공차 이상의 적합성 점수를 받은 아티팩트의 경우, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 검출된 아티팩트에 대해 생성될 초해상도 이미지를 나타낼 수 있다.

[0061] 분류기는 또한 초해상도 이미징에 대한 아티팩트의 적합성을 결정하는 데 사용되는 허용 가능한 적합성 공차를 자동으로 조정하기 위해 사용될 수 있다. 피드백 메커니즘은 이력 성능 데이터 및/또는 초해상도 시스템(100)에

의해 사용되는 하나 이상의 기본 인공 지능 알고리즘의 개선을 기반으로 허용 가능한 적합성 공차에 자동으로 영향을 미치는 데이터를 분류기에 제공할 수 있다. 예를 들어, C 이상의 문자 등급 또는 50 이상의 숫자 등급을 받은 모든 검출된 아티팩트가 초해상도 이미징에 적합한 것으로 간주되도록 허용 가능한 적합성 공차가 초기에 설정될 수 있다. 초해상도 분석 모듈(180)로부터의 피드백이, 적합하다고 결정된 많은 수의 아티팩트가 궁극적으로는 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지를 생성했음을 보여 주는 경우, 분류기는 적합성 공차를 높여 아티팩트가 적합한 것으로 분류되는 것을 더 어렵게 할 수 있다. 반대로, 초해상도 모듈(170)로부터의 피드백이, 그 모델이 개선되었고 이전에는 부적합한 것으로 분류된 결함에 대해 초해상도 이미지를 더 잘 생성할 수 있음을 보여 주는 경우, 분류기는 허용 가능한 적합성 공차를 낮춰 아티팩트가 적합한 것으로 분류되는 것을 더 쉽게 할 수 있다.

[0062] 적합성을 결정하기 위해 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 사용되는 허용 가능한 적합성 공차는 또한 표본 및/또는 검사 중인 표본의 영역의 중요성을 기반으로 자동으로 조정될 수 있다. 예를 들어, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 중요하다고 간주되는 표본 및/또는 표본의 영역에 대해 허용 가능한 적합성 공차를 상향 조정할 수 있고 및/또는 중요하지 않은 것으로 간주되는 표본 및/또는 표본의 영역에 대해 허용 가능한 적합성 공차를 하향 조정할 수 있다.

[0063] 적합성 분석 모듈(160)은 초해상도 이미징에 대한 아티팩트의 적합성을 결정하기 위해 인공 지능을 사용하는 것으로 제한되지 않는다는 점에 유의한다. 일부 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 적합하고 부적합한 아티팩트를 인식하도록 사전 프로그래밍될 수 있다. 사전 프로그래밍된 데이터를 기반으로, 적합성 분석 모듈(160)은 저해상도 이미지(들)가 사전 프로그래밍된 아티팩트와 유사한 임의의 아티팩트를 포함하는지 여부를 결정하고, 사전 프로그래밍된 아티팩트의 적합성을 기반으로 적합성을 결정하기 위해 하나 이상의 저해상도 이미지를 처리할 수 있다.

[0064] 동작 중에, 일부 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 적합성 점수를 생성하기 위해, 검출된 아티팩트의 특성 및/또는 이에 대한 상황 데이터를 훈련 데이터의 특성 및/또는 상황 데이터와 비교하는 것을 기반으로 할 수 있다. 예를 들어, 검출된 아티팩트가 A의 점수를 받은 훈련 데이터로부터의 아티팩트와 매우 유사한 경우, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 검출된 아티팩트에 유사한 점수를 부여할 수 있다.

[0065] 추가 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 적합성 점수를 생성하기 위해, 검출된 아티팩트의 특성 및/또는 이에 대한 상황 데이터를 높은 신뢰도의 초해상도 이미지(예를 들어, 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 결정됨)를 생성한 훈련 데이터의 특성 및/또는 상황 데이터와 비교하는 것을 기반으로 할 수 있다. 예를 들어, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지를 생성한 훈련 데이터와 유사한 검출된 아티팩트에 더 낮은 점수를 부여하고 높은 신뢰도의 초해상도 이미지를 생성한 훈련 데이터와 유사한 검출된 아티팩트에 더 높은 점수를 부여할 수 있다.

[0066] 또 다른 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 표본 상의 검출된 아티팩트를 동일하거나 유사한 유형의 표본의 고해상도 이미지(지상 실측 고해상도 이미지라고 함) 내의 아티팩트와 비교하는 것을 기반으로 할 수 있다. 검출된 아티팩트가 지상 실측 고해상도 스캔에서 두 개 이상의 아티팩트에 대응하고 검출된 아티팩트에 대한 상황 데이터가 추가 정보를 제공하지 않는 경우, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 낮은 적합성 점수를 부여할 수 있다. 반대로, 검출된 아티팩트가 실측 고해상도 이미지에서 단 하나의 아티팩트에 대응하는 경우, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 검출된 아티팩트에 높은 적합성 점수를 부여할 수 있다.

[0067] 일부 실시형태에서, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 또한 식별된 아티팩트, 이들의 적합성 점수 및 분석이 수행된 허용 가능한 적합성 공차를 기록하도록 구성될 수 있다.

[0068] 일부 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)은 초해상도 생성에 적합하다고 결정된 표본의 하나 이상의 저해상도 이미지를 수신하고, 수신된 이미지(들)로부터 하나 이상의 초해상도 이미지(들)를 생성하도록 구성될 수 있다. 대안적으로, 초해상도 모듈(170)은 저해상도 이미지가 실제로 초해상도 생성에 적합한 것으로 간주되는지 여부에 관계없이 표본의 하나 이상의 저해상도 이미지를 수신하고, 수신된 이미지(들)로부터 하나 이상의 초해상도 이미지(들)를 생성하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 하나 이상의 인공 지능 알고리즘(들)은 하나 이상의 저해상도 이미지로부터 하나 이상의 초해상도 이미지를 생성하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되는 알고리즘은 표본 상의 아티팩트의 위치, 검사 중인 표본의 유형, 동일하거나 유사한 표본 상의 검출된 다른 아티팩트에 대한 아티팩트의 비교, 참조 설계, 다양한 초점 수준에서 및/또는

다양한 조명 기술을 사용하여 촬영한 저해상도 이미지, 다양한 초점 수준에서 및/또는 다양한 조명 기술을 사용하여 촬영한 고해상도 이미지 등과 같은 상황 데이터를 고려할 수 있다. 추가 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되는 알고리즘은 아티팩트를 분류하는 것뿐만 아니라 이미지의 크기, 모양, 구성, 표본 상의 위치 및/또는 정확한 고해상도 이미지를 추론하기 위한 임의의 다른 적합한 특성을 식별하는 것을 포함할 수 있다.

[0069] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되는 초해상도 방법은 보간, 저해상도 깊이 이미지 프레임으로부터의 초해상도, 깊이 이미지 및 고해상도 컬러 이미지 융합을 통한 초해상도, 예제 기반 초해상도, 및 기반의 초해상도, 에지 가이드식(edge-guided) 방법을 기반으로 하는 깊이 이미지 초해상도를 포함할 수 있지만 이에 한정되지는 않는다.

[0070] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되도록 구성될 수 있는 보간의 일부 예는 문헌[Xie, J. et al., "Edge-guided Single Depth Image Super-resolution," IEEE Trans. Image Process. 2016, 25, 428-438; Prajapati, A. et al., "Evaluation of Different Image Interpolation Algorithms," Int. J. Comput. Appl. 2012, 58, 466-476; Pang, Z. et al., "An Improved Low-cost Adaptive Bilinear Image Interpolation Algorithm," In Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks, Chongqing, China, 14-16 December 2012; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2013; pp. 691-699; Ning, L. et al., "An Interpolation Based on Cubic Interpolation Algorithm," In Proceedings of the International Conference Information Computing and Automation," Chengdu, China, 20-22 December 2007; pp. 1542-1545]에 기술되어 있으며, 이들 전체가 본원에 참조로 포함된다. 개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.

[0071] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되도록 구성될 수 있는, 저해상도 깊이 이미지 프레임으로부터의 초해상도의 일부 예는 문헌[Schuon, S. et al., "LidarBoost: Depth Superresolution for ToF 3D Shape Scanning," In Proceedings of the 2009 the 22nd International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, FL, USA, 20-25 June 2009; pp. 343-350; Rajagopalan, A.N. et al., "Resolution Enhancement of PMD Range Maps," In Proceedings of the Joint Pattern Recognition Symposium, Munich, Germany, 10-13 June 2008; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; pp. 304-313; Al Ismaeil, K. et al., "Dynamic Super-resolution of Depth Sequences with Non-rigid Motions," In Proceedings of the 2013 20th IEEE International Conference on Image, Melbourne, Australia, 15-18 September 2013; pp. 660-664; Gevrekci, M. et al., "Depth Map Super-resolution," In Proceedings of the 2011 18th IEEE International Conference on Image, Brussels, Belgium, 11-14 September 2011; pp. 3449-3452]에 기술되어 있으며, 이들 전체가 본원에 참조로 포함된다. 개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.

[0072] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되도록 구성될 수 있는, 깊이 이미지 및 고해상도 컬러 이미지 융합을 통한 초해상도의 일부 예는 문헌[Ferstl, D. et al., "Image Guided Depth Upsampling Using Anisotropic Total Generalized Variation," In Proceedings of the IEEE International Conference on ComputernVision, Sydney, NSW, Australia, 1-8 December 2013; pp. 993-1000; Yang, Q. et al., "Spatial-Depth Super-resolution for Range Images, In Proceedings of the 2007 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Minneapolis, MN, USA, 17-22 June 2007; pp. 1-8; Lo, K.H. et al., "Edge-Preserving Depth Map Upsampling by Joint Trilateral Filter," IEEE Trans. Cybern. 2017, 13, 1-14]에 기술되어 있으며, 이들 전체가 본원에 참조로 포함된다. 개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.

[0073] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용하기 위해 조정될 수 있는 예시 기반 초해상도의 일부 예는 문헌[Timofte, R. et al., "A+: Adjusted Anchored Neighborhood Regression for Fast Super-Resolution," In Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision, Singapore, 1-5 November 2014; Springer: Cham, Switzerland, 2014; pp. 111-126; Yang, J. et al., "Image Super-resolution via Sparse Representation," IEEE Trans. Image Process. 2010, 19, 2861-2873; Xie, J. et al., "Single Depth Image Super-resolution and Denoising via Coupled Dictionary Learning with Local Constraints and Shock Filtering," In Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Chengdu, China, 14-18 July 2014; pp. 1-6; Kim, J. et al., "Accurate Image Super-resolution Using Very Deep Convolutional Networks," In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 27-30 June 2016; pp. 1646-1654]에 기술되어 있으며, 이들 전체가 본원에 참조로 포함된다.

개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.

- [0074] 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되도록 구성될 수 있는 에지 가이드식 방법을 기반으로 하는 깊이 이미지 초해상도의 예는 문헌(Zhou, D. et al., "Depth Image Super-resolution Based on Edge-Guided Method," Appl. Sci. 2018, 8, 298)에 기술되어 있으며, 이의 전체가 본원에 참조로 포함된다. 개시된 방법은 단지 예일 뿐이며 제한하려는 것은 아니다.
- [0075] 일부 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 저해상도 이미지만을 사용하여 훈련될 수 있다.
- [0076] 일부 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 모듈(170)로부터 및/또는 임의의 컴퓨터 관독 가능 매체로부터 하나 이상의 초해상도 이미지를 수신하고, 아티팩트의 각각의 초해상도 이미지에 대해 이미지 클래스(또는 등급)를 결정하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 하나 이상의 인공 지능 알고리즘(들)은 아티팩트의 초해상도 이미지에 대한 이미지 클래스를 결정하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 이미지 클래스는 이진 클래스(예를 들어, "높은 신뢰도의 초해상도 이미지" 및 "낮은 신뢰도의 초해상도 이미지")일 수 있다. 다른 실시형태에서, 클래스는 클래스의 더 크거나 더 높은 해상도의 구별을 제공할 수 있다(예를 들어, A는 최상의 등급을 나타내고 F는 최악의 등급을 나타내는 문자 등급 A 내지 F, 또는 1은 최악의 등급을 나타내고 100은 최상의 등급을 나타내는 숫자 등급 1 내지 100).
- [0077] 일부 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지에 대한 이미지 등급을 결정하기 위해 분류 알고리즘을 적용할 수 있다. 일부 실시형태에서, 분류 알고리즘은 높은 신뢰도의 초해상도 이미지인 아티팩트의 초해상도 이미지 및 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지인 아티팩트의 초해상도 이미지의 공유된 특성을 식별하기 위해 먼저 훈련 데이터로 훈련된다. 일부 실시형태에서, 훈련 데이터는 초해상도 시스템(100)에 의해 검사되는 아티팩트/표본의 유형에 대한 초해상도 이미지의 예제 및 이들의 대응하는 이미지 점수/등급 및/또는 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 실제 고해상도 이미지에 대한 교차 대응을 포함할 수 있다. 일부 실시형태에서, 분류 알고리즘은 참조 설계, 동일하거나 유사한 표본 유형의 지상 실측 고해상도 이미지, 동일하거나 유사한 아티팩트 유형의 지상 실측 고해상도 이미지, 아티팩트의 유형, 크기, 모양, 구성, 표본 상의 위치 및/또는 기타 적합한 특성을 기반으로 이미지 클래스에 대한 추론을 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 훈련 데이터는 또한 촬영 중인 표본의 일부, 아티팩트 위치(즉, 표본 상의 아티팩트의 위치), 참조 설계, 지상 실측 고해상도 이미지, 아티팩트의 유형 및/또는 이의 크기, 모양 및/또는 구성을 기반으로 명시적 이미지 클래스 부여를 포함할 수 있다.
- [0078] 분류 알고리즘이 훈련되고 나면, 이는 초해상도 분석 모듈(180)에 적용되어 초해상도에 의해 생성된 아티팩트의 이미지에 대한 이미지 클래스를 결정할 수 있다.
- [0079] 서포트 벡터 머신(SVM)은 사용될 수 있는 분류기의 일례이다. 방향성 및 무방향성 모델 분류 접근법이 사용될 수 있으며, 예를 들어 나이브 베이즈, 베이지안 네트워크, 의사결정 트리를 포함할 수 있고, 다양한 독립 패턴을 제공하는 확률적 분류 모델이 이용될 수 있다. 본원에 사용된 분류에는 우선순위 모델을 개발하기 위해 이용될 수 있는 통계적 회귀도 포함된다.
- [0080] 개시된 주제는 일반 훈련 데이터, 외부 정보(예를 들어, 참조 설계, 동일하거나 유사한 유형의 표본/아티팩트의 지상 실측 고해상도 이미지), 및/또는 초해상도 동작(300)이 진행됨에 따라 초해상도 시스템(100)으로부터의 피드백을 통해 훈련되는 분류기를 사용할 수 있다. 예를 들어 SVM은 분류기 생성자 및 기능 선택 모듈 내에서 학습 또는 훈련 단계를 통해 구성될 수 있다. 따라서, 분류기는 다음을 포함하지만 이에 한정되지 않는 여러 기능을 자동으로 수행하기 위해 사용될 수 있다: 초해상도 이미지에 대한 상황 데이터(예를 들어, 표본 상의 아티팩트의 위치, 검사 중인 표본의 유형, 유사한 표본 상의 유사한 아티팩트, 참조 설계, 동일하거나 유사한 유형의 표본의 지상 실측 고해상도 이미지, 동일하거나 유사한 유형의 아티팩트의 지상 실측 고해상도 이미지)를 결정하는 기능, 및 아티팩트에 대한 초해상도 이미지의 이미지 등급을 정확하게 결정하기 위해 아티팩트의 크기, 모양, 구성을 분석하는 기능.
- [0081] 도 6을 참조하면, 도면은 개시된 주제의 일부 실시형태에 따른 방식을 도시하며, 여기서 아티팩트(610)의 초해상도 이미지는 두 가지 클래스, 즉 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지와 높은 신뢰도의 초해상도 이미지로 분류된다. 이는 단지 예일 뿐이며 클래스의 더 크거나 더 높은 해상도의 구별을 제공하기 위해 다수의 다른 훈련 세트가 사용될 수 있다(예를 들어, 클래스는 서로 다른 이미지 등급 A, B, C, D, E 및 F 또는 이미지 점수 1 내지 100을 나타낼 수 있다). 시뮬레이션 이미지 분류기(620)는 아티팩트의 높은 신뢰도의 초해상도 이미지인 알려진

초해상도 이미지 그룹(615)과 아티팩트의 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지를 나타내는 알려진 초해상도 이미지의 그룹(617)에 의해 혼련될 수 있다. 다른 실시형태에서, 시뮬레이션 이미지 분류기(620)는 서로 다른 이미지 등급을 나타내는 알려진 초해상도 이미지의 그룹에 의해 혼련될 수 있다. 분석될 아티팩트(610)의 초해상도 이미지는 시뮬레이션 이미지 분류기(620)에 입력될 수 있고, 이는 분석 중인 초해상도 이미지가 특정 클래스(예를 들어, 높은 신뢰도의 초해상도 이미지 및 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지)에 속할 가능성을 측정할 수 있는 신뢰 간격(625)을 출력할 수 있다. 일부 실시형태에서, 시뮬레이션 이미지 분류기(620)는 또한 초해상도 이미지가 속할 가능성이 가장 높은 클래스를 나타내는 클래스(630)를 출력할 수 있다. 원하는 경우 추가 클래스(예를 들어, 문자 또는 숫자 등급)가 추가될 수도 있다.

[0082] 초해상도 분석 모듈(180)이 비-이진 방식(예를 들어, 등급 또는 숫자에 의한 초해상도 이미지 스코어링)으로 이미지 분류를 결정하는 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 결정된 이미지 등급을, 조작자, 하드웨어/펌웨어/소프트웨어 제약, 산업 가이드라인, 및/또는 기타 적합한 표준에 의해 정의된 바와 같은, 초해상도 시스템(100)에 대한 허용 가능한 이미지 공차와 비교하도록 구성될 수 있다. 초해상도 시스템(100)에 대해 허용 가능한 이미지 공차 이하의 이미지 점수를 받은 초해상도 이미지의 경우, 초해상도 분석 모듈(180)은 더 높은 해상도의 대물렌즈를 사용하여 스캔된 초해상도 이미지 내의 아티팩트를 나타낼 수 있다. 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 부여된 이미지 공차 및 대응하는 이미지 점수는 초해상도 이미지가 높은 신뢰도의 초해상도 이미지인지 또는 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지인지 여부를 나타낼 수 있다. 예를 들어, 허용 가능한 이미지 공차 이상의 이미지 점수를 갖는 초해상도 이미지는 높은 신뢰도의 초해상도 이미지로 식별될 수 있다. 반대로, 허용 가능한 이미지 공차 이하의 이미지 점수를 갖는 초해상도 이미지는 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지로 식별될 수 있다. 초해상도 시스템(100)에 대해 허용 가능한 이미지 공차 이상의 이미지 스코어를 받은 초해상도 이미지의 경우, 초해상도 이미지는 이미지 조립 모듈(190)에 제공될 수 있다.

[0083] 분류기는 또한 초해상도에 의해 제공된 아티팩트가 공차를 통과하는지 못하는지 여부를 결정하는 데 사용되는 허용 가능한 이미지 공차를 자동으로 조정하기 위해 사용될 수 있다. 피드백 메커니즘은 이력 성능 데이터 및/또는 초해상도 시스템(100)에 의해 사용되는 하나 이상의 기본 인공 지능 알고리즘의 개선을 기반으로 공차에 자동으로 영향을 미치는 데이터를 분류기에 제공할 수 있다. 예를 들어, 분류기는 초해상도 이미지가 높거나 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지로 정확하게 및/또는 부정확하게 분류되었는지에 대한 피드백을 기반으로 공차를 조정할 수 있다. 예를 들어, 아티팩트 비교 모듈(195)로부터의 피드백이, 많은 수의 초해상도 이미지가 더 높은 해상도의 대물렌즈를 사용하여 다시 스캔되어야 했음을 보여 주는 경우, 분류기는 이미지 공차를 높여 초해상도 이미지가 자격을 갖는 것을 더 어렵게 할 수 있다. 일부 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)로부터의 피드백이, 그 모델이 개선되었고 이전에는 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지로 분류된 초해상도 이미지에 대해 고해상도 이미지를 더 잘 시뮬레이션할 수 있음을 보여 주는 경우, 분류기는 허용 가능한 이미지 공차를 낮춰 초해상도 이미지가 자격을 갖는 것을 더 쉽게 할 수 있다.

[0084] 허용 가능한 이미지 공차를 결정하기 위해 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 사용되는 이미지 공차는 검사 중인 표본 및/또는 표본의 영역을 기반으로 자동으로 조정될 수도 있다. 예를 들어, 초해상도 분석 모듈(180)은 중요하다고 간주되는 표본 및/또는 표본의 영역에 대해 허용 가능한 이미지 공차를 상향 조정할 수 있고 및/또는 중요하지 않은 것으로 간주되는 표본 및/또는 표본의 영역에 대해 허용 가능한 이미지 공차를 하향 조정할 수 있다.

[0085] 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지에 대한 이미지 등급을 결정하기 위해 인공 지능을 사용하는 것으로 제한되지 않는다는 점에 유의한다. 일부 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 허용 가능하고 허용 불가능한 이미지 등급을 갖는 아티팩트의 초해상도 이미지를 인식하도록 사전 프로그래밍될 수 있다. 사전 프로그래밍된 데이터를 기반으로, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지(들)가 사전 프로그래밍된 이미지와 유사한 임의의 이미지를 포함하는지 여부를 결정하고, 사전 프로그래밍된 초해상도 및/또는 고해상도 이미지의 이미지 등급을 기반으로 허용 가능한 이미지 등급을 결정하기 위해 하나 이상의 초해상도 이미지를 처리할 수 있다.

[0086] 동작 중에, 일부 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 이미지 점수를 생성하기 위해, 초해상도 이미지의 대한 특성 및/또는 이에 대한 상황 데이터를 훈련 데이터의 특성 및/또는 상황 데이터와 비교하는 것을 기반으로 할 수 있다. 예를 들어, 아티팩트의 초해상도 이미지가 A의 이미지 점수를 받은 훈련 데이터 세트로부터의 아티팩트의 초해상도 이미지와 매우 유사한 경우, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도 이미지에 유사한 점수를 부여할 수 있다.

[0087] 또 다른 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)에 의해 사용되는 인공 지능 알고리즘은 표본에서 발견된 아티

팩트의 초해상도 이미지를 동일하거나 유사한 유형의 아티팩트 또는 표본의 고해상도 이미지와 비교하는 것을 기반으로 할 수 있다. 초해상도 분석 모듈(180)이 밀접한 대응 관계를 발견하면, 초해상도 이미지에 높은 이미지 점수를 부여할 수 있다. 반대로, 초해상도 분석 모듈(180)이 불량한 대응 관계를 발견하면, 초해상도 이미지에 낮은 이미지 점수를 부여할 수 있다.

[0088] 일부 실시형태에서, 초해상도 분석 모듈(180)은 또한 수신된 초해상도 이미지 및 이들의 이미지 등급뿐만 아니라 분석이 수행된 허용 가능한 이미지 공차를 기록하도록 구성될 수 있다.

[0089] 일부 실시형태에서, 이미지 조립 모듈(190)은 초해상도 이미지 및 실제 고해상도 이미지를 함께 조립하고 스티치하여 표본의 단일 간섭성 이미지를 생성하도록 구성될 수 있다. 일부 실시형태에서, 표본의 각각의 이미지는 타일(tile)이라고 하며, 각각의 타일은 표본 공간에서 XY 좌표 위치에 의해 배치될 수 있다. 낮은 신뢰도의 초해상도 이미지를 생성했거나 초해상도 이미징에 부적합하지 않다고 판단되어 고해상도 대물렌즈로 스캔하도록 지정된 아티팩트의 경우, 고해상도 대물렌즈는 타일 또는 식별된 아티팩트를 포함하는 타일을 나타내는 표본의 영역을 스캔할 수 있다. 유사하게, 초해상도 모듈(170)은 초해상도 이미징에 적합하다고 결정된 아티팩트를 포함하는 전체 타일 또는 타일을 시뮬레이션할 수 있다. 타일의 고해상도 이미지와 타일의 초해상도 이미지는 이들의 XY 좌표 위치 및/또는 기능 기반 등록 방법에 따라 함께 스티치될 수 있다. 이는 단일 간섭성 이미지가 조합될 수 있는 방법의 단지 하나의 예일 뿐이며, 이를 달성하기 위한 다른 적합한 방법이 수행될 수 있다. 일부 실시형태에서, 초해상도 모듈(170)은 전체 표본(심지어는 초해상도 이미징에 부적합한 것으로 표시된 표본의 일부)을 시뮬레이션할 수 있고, 이미지 조립 모듈(190)은 부적합한 부분을 이러한 부분의 고해상도 이미지로 대체할 수 있다. 이미지 조립 모듈(190)은 고해상도 이미지 타일의 XY 위치를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 고해상도 이미지 타일을 배치할 위치를 결정하기 위해 고해상도 이미지 타일과 초해상도 이미지 타일 사이의 유사한 특징을 식별할 수 있다. 이미지 조립 모듈(190)이 고해상도 이미지 타일에 대한 정확한 위치를 찾으면, 초해상도 이미지 타일은 고해상도 이미지 타일로 대체될 수 있다. 위의 방법은 타일당 단지 하나의 아티팩트만 가정하지만, 방법은 타일당 여러 개의 아티팩트를 수용하도록 조정될 수 있다.

[0090] 일부 실시형태에서, 아티팩트 비교 모듈(195)은 (예를 들어, 이미지 조립 모듈(190) 및/또는 임의의 적합한 컴퓨터 판독 가능 매체로부터) 표본의 단일 간섭성 이미지를 수신하고, 표본에 대한 아티팩트의 총수를 결정하도록 구성될 수 있다. 아티팩트 비교 모듈(195)은 스캔된 표본의 유형에 대해 일반적인 공차에 대해, 또는 초해상도 시스템(100)에 대해 정의된 공차를 기반으로, 조작자, 하드웨어/펌웨어/소프트웨어 제약, 산업 가이드라인, 및/또는 기타 적합한 표준에 의해, 총수를 비교할 수 있다. 일부 실시형태에서, 아티팩트의 총수가 스캔된 표본 유형에 대한 공차 및/또는 초해상도 시스템(100)에 대한 정의된 공차를 초과하거나 아래로 떨어지면, 초해상도 분석 모듈(180)은, 아티팩트 비교 모듈(195)로부터의 피드백을 기반으로, 고해상도 대물렌즈(132 또는 135)를 사용하여 다시 스캔될 더 높은 허용 가능한 이미지 공차 이하의 제 2 세트의 초해상도 이미지를 선택할 수 있다. 구체적으로, 초해상도 분석 모듈(180)은 표본에 대한 하나 이상의 고해상도 이미지를 생성하기 위해 초해상도 시스템(100)의 동작을 추가로 제어하는 단계의 일부로서 초해상도 이미지 세트를 선택할 수 있다. 예를 들어, 초해상도 분석 모듈(180)에 대한 허용 가능한 이미지 공차가 초기에 50%로 설정되고 아티팩트 비교 모듈(195)이 표본에 대해 검출된 아티팩트의 총수가 검사된 표본 유형에 대해 일반적인 것 같지 않다고 결정하는 경우, 상기한 바와 같이, 초해상도 분석 모듈(180)은 수용 가능한 이미지 공차를 60%로 높일 수 있고, 50 내지 59%의 이미지 등급이 부여된 초해상도 이미지는 고해상도 대물렌즈를 사용하여 다시 스캔될 것이다. 초해상도 분석 모듈(180)에 대한 피드백 및 허용 가능한 이미지 공차에 대한 조정은 필요한 만큼 여러 번 발생할 수 있다.

[0091] 일부 실시형태에서, 아티팩트의 총수가 스캔된 표본 유형에 대한 공차 및/또는 초해상도 시스템(100)에 대한 정의된 공차를 초과하거나 아래로 떨어지면, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 고해상도 대물렌즈(135)를 사용하여 다시 스캔될 더 높은 허용 적합성 공차 이하의 제 2 세트의 아티팩트를 선택할 수 있다. 구체적으로, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 표본에 대한 하나 이상의 고해상도 이미지를 생성하기 위해 초해상도 시스템(100)의 동작을 추가로 제어하는 단계의 일부로서 초해상도 제 2 세트의 아티팩트를 선택할 수 있다. 예를 들어, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 대한 허용 가능한 적합성 공차가 초기에 50%로 설정되고 아티팩트 비교 모듈(195)이 표본에 대해 검출된 아티팩트의 총수가 검사된 표본 유형에 대해 일반적인 것 같지 않다고 결정하는 경우, 상기한 바와 같이, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 적합성 임계값을 60%로 올릴 수 있고, 50 내지 59%의 적합성 점수가 부여된 아티팩트는 고해상도 대물렌즈를 사용하여 다시 스캔될 것이다. 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)에 대한 피드백 및 허용 가능한 적합성 공차에 대한 조정은 필요한 만큼 여러 번 발생할 수 있다.

[0092] 일부 실시형태에서, 아티팩트의 총수가 스캔된 표본 유형에 대한 공차 및/또는 초해상도 시스템(100)에 대해 정

의된 공차를 초과하거나 아래로 떨어지면, 아티팩트 비교 모듈(195)은 초해상도 모듈(170)이 부적합한 인공 지능 모델을 사용하여 초해상도 이미지를 생성하고 있다고 결정하고, 초해상도 모듈(170)에 대해 다른 인공 지능 모델을 사용하여 특정 표본에 대한 초해상도 이미지를 생성하도록 지시할 수 있다. 구체적으로, 초해상도 모듈(170)은 표본에 대한 하나 이상의 고해상도 이미지를 생성하기 위해 초해상도 시스템(100)의 동작을 추가로 제어하는 단계의 일부로서 다른 인공 지능 모델을 사용할 수 있다.

[0093] 본원의 설명은 아티팩트 분석에 관한 것이지만, 본원에 설명된 메커니즘은 또한 표본의 영역을 분석하기 위해 사용될 수 있다. 예를 들어, 아티팩트 분석을 기반으로 적합성을 결정하는 대신, 아티팩트 적합성 분석 모듈(160)은 표본의 개별 영역의 분석을 기반으로 적합성을 결정할 수 있다. 유사하게, 초해상도를 사용하여 생성된 아티팩트의 분석을 기반으로 이미지 등급을 결정하는 대신, 초해상도 분석 모듈(180)은 초해상도를 사용하여 제공된 표본의 개별 영역의 분석을 기반으로 이미지 등급을 결정할 수 있다.

[0094] 초해상도 시스템(100)을 위한 구성요소의 기능은 단일 구성요소로 결합되거나 여러 구성요소에 걸쳐 분산될 수 있다. 일부 실시형태에서, 일부 구성요소의 기능(예를 들어, 고해상도 대물렌즈(132 또는 135)에 의한 고해상도 스캐닝 및 컴퓨터 시스템(150)에 의한 컴퓨터 처리)은 현미경 검사 시스템(110)으로부터 원격으로 수행될 수 있다.

[0095] 초해상도 시스템(100)은 도시되지 않은 다른 적합한 구성요소를 포함할 수 있음에 유의한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 초해상도 시스템(100)에 포함된 일부 구성요소는 생략될 수 있다.

[0096] 일부 실시형태에서, 본원에 설명된 기능 및/또는 프로세스를 수행하기 위한 명령을 저장하기 위해 임의의 적합한 컴퓨터 판독 가능 매체가 사용될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시형태에서, 컴퓨터 판독 가능 매체는 일시적이거나 비일시적일 수 있다. 예를 들어, 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체는 비일시적 자기 매체(예를 들어, 하드 디스크, 플로피 디스크 등), 비일시적 광학 매체(예를 들어, 콤팩트 디스크, 디지털 비디오 디스크, 블루레이 디스크 등), 비일시적 반도체 매체(예를 들어, 플래시 메모리, 전기적 프로그램 가능 판독 전용 메모리(Electrical Programmable Read Only Memory, EPROM), 전기적 소거 및 프로그램 가능 판독 전용 메모리(Electrical Erasable Programmable Read Only Memory, EEPROM) 등), 전송 동안 일시적이지 않거나 또는 영속성의 외관이 전혀 없지는 않은 임의의 적합한 매체 및/또는 적합한 유형의 매체와 같은 매체를 포함할 수 있다. 또 다른 예로서, 일시적 컴퓨터 판독 가능 매체는 네트워크, 와이어, 전도체, 광섬유, 회로, 및 전송 동안 일시적이고 영속성의 외관이 전혀 없는 임의의 적합한 매체 및/또는 임의의 적합한 무형 매체 상의 신호를 포함할 수 있다.

[0097] 본원에 설명된 다양한 시스템, 방법 및 컴퓨터 판독 가능 매체는 클라우드 네트워크 환경의 일부로서 구현될 수 있다. 본 문서에서 사용된 클라우드 기반 컴퓨팅 시스템은 가상화된 컴퓨팅 리소스, 소프트웨어 및/또는 정보를 클라이언트 장치에 제공하는 시스템이다. 컴퓨팅 리소스, 소프트웨어 및/또는 정보는 종단 장치가 네트워크와 같은 통신 인터페이스를 통해 액세스할 수 있는 중앙 집중식 서비스 및 리소스를 유지함으로써 가상화될 수 있다. 클라우드는, 서비스형 소프트웨어(Software as a Service, SaaS)(예를 들어, 협업 서비스, 이메일 서비스, 전자적 자원관리 계획 서비스, 콘텐츠 서비스, 통신 서비스 등), 서비스형 인프라(Infrastructure as a Service, IaaS)(예를 들어, 보안 서비스, 네트워킹 서비스, 시스템 관리 서비스 등), 서비스형 플랫폼(Platform as a Service, PaaS)(예를 들어, 웹 서비스, 스트리밍 서비스, 애플리케이션 개발 서비스 등), 및 서비스형 데스크톱(desktop as a service, DaaS), 서비스형 정보 기술 관리(information technology management as a service, ITaaS), 서비스형 관리 소프트웨어(managed software as a service, MSaaS), 서비스형 모바일 백엔드(mobile backend as a service, MBaaS) 등과 같은 다른 유형의 서비스와 같은 클라우드 요소를 통해 다양한 클라우드 서비스를 제공할 수 있다.

[0098] 본원에 설명된 예의 제공(및 "~와 같은," "예를 들어", "포함하는" 등으로 표현되는 절)은 청구된 주제를 특정 예로 제한하는 것으로 해석되어서는 안 되고; 오히려, 예는 가능한 많은 양태 중 일부만을 설명하기 위한 것이다. 또한, 본원에서 사용된 메커니즘이란 용어는 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 또는 이들의 임의의 적합한 조합을 포함할 수 있다는 점에 유의해야 한다.

[0099] 상기 논의로부터 명백한 바와 같이 달리 구체적으로 언급되지 않는 한, 설명 전반에 걸쳐 "결정하는", "제공하는", "식별하는", "비교하는" 등과 같은 용어를 사용하는 논의는, 컴퓨터 시스템 메모리 또는 레지스터 또는 다른 이러한 정보 저장, 전송 또는 디스플레이 장치 내에서 물리적(전자) 양으로 표현된 데이터를 조작하고 변환하는 컴퓨터 시스템 또는 유사한 전자 컴퓨팅 장치의 동작과 프로세스를 의미하는 것으로 이해해야 한다.

[0100] 본 개시의 특정 양태는 알고리즘의 형태로 본원에 설명된 프로세스 단계 및 명령을 포함한다. 본 개시의 프로세스 단계 및 명령은 소프트웨어, 펌웨어 또는 하드웨어로 구현될 수 있고, 소프트웨어로 구현될 때 실시간 네트워크 운영 체제에 의해 사용되는 다양한 플랫폼에 상주하고 이로부터 작동하도록 다운로드될 수 있다는 점에 유의해야 한다.

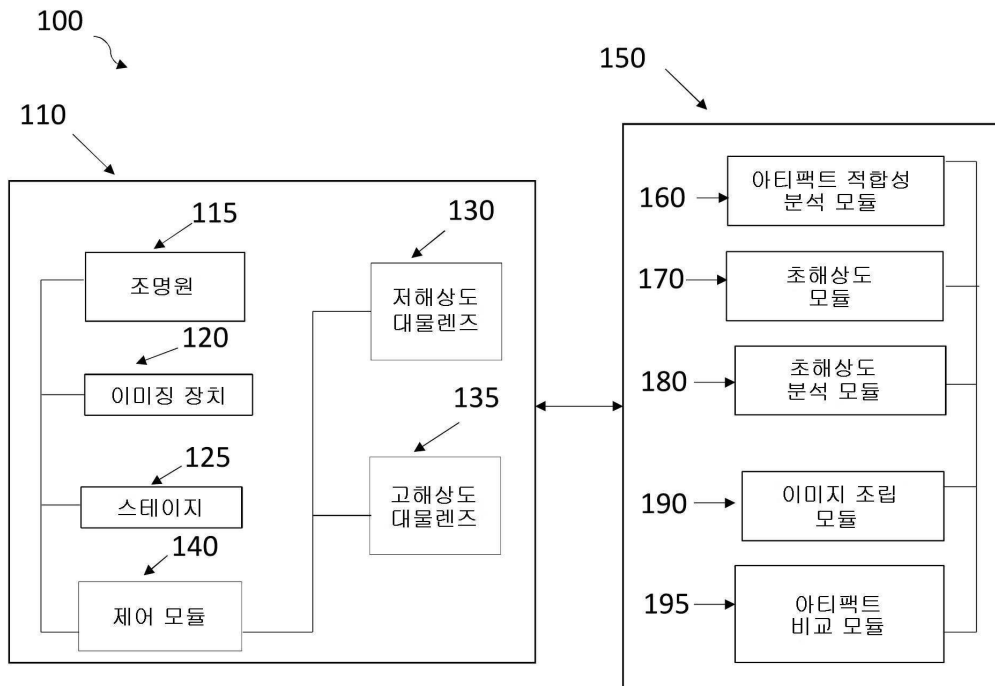
[0101] 본 개시는 또한 본원에서의 동작을 수행하기 위한 장치에 관한 것이다. 이 장치는 필요한 목적을 위해 특별히 구성될 수 있거나, 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 컴퓨터 판독 가능 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램에 의해 선택적으로 작동되거나 재구성되는 범용 컴퓨터를 포함할 수 있다. 이러한 컴퓨터 프로그램은, 플로피 디스크, 광 디스크, CD-ROM, 자기 광 디스크, 판독 전용 메모리(ROM), 랜덤 액세스 메모리(RAM), EPROM, EEPROM, 자기 또는 광 카드, 주문형 집적 회로(ASIC), 또는 전자 명령을 저장하는 데 적합한 모든 유형의 비일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체를 포함하지만 이에 한정되지 않는 컴퓨터 판독 가능 저장 매체에 저장될 수 있다. 또한, 명세서에서 언급된 컴퓨터는 단일 프로세서를 포함할 수 있거나 증가된 컴퓨팅 성능을 위해 다중 프로세서 설계를 사용하는 아키텍처일 수 있다.

[0102] 본원에 제시된 알고리즘 및 동작은 본질적으로 임의의 특정 컴퓨터 또는 다른 장치와는 관련이 없다. 다양한 범용 시스템이 또한 본원의 교시에 따라 프로그램과 함께 사용될 수 있거나, 필요한 방법 단계를 수행하기 위해 보다 전문화된 장치를 구성하는 것이 편리함을 증명할 수 있다. 다양한 이들 시스템에 필요한 구조는 등가 변형과 함께 본 기술 분야의 숙련자에게 명백할 것이다. 또한, 본 개시는 임의의 특정 프로그래밍 언어를 참조하여 설명되지 않는다. 다양한 프로그래밍 언어가 본원에 설명된 본 개시의 교시를 구현하기 위해 사용될 수 있고, 특정 언어에 대한 모든 언급은 본 개시의 실시 가능성 및 최상의 모드의 개시를 위해 제공된다는 것으로 이해해야 한다.

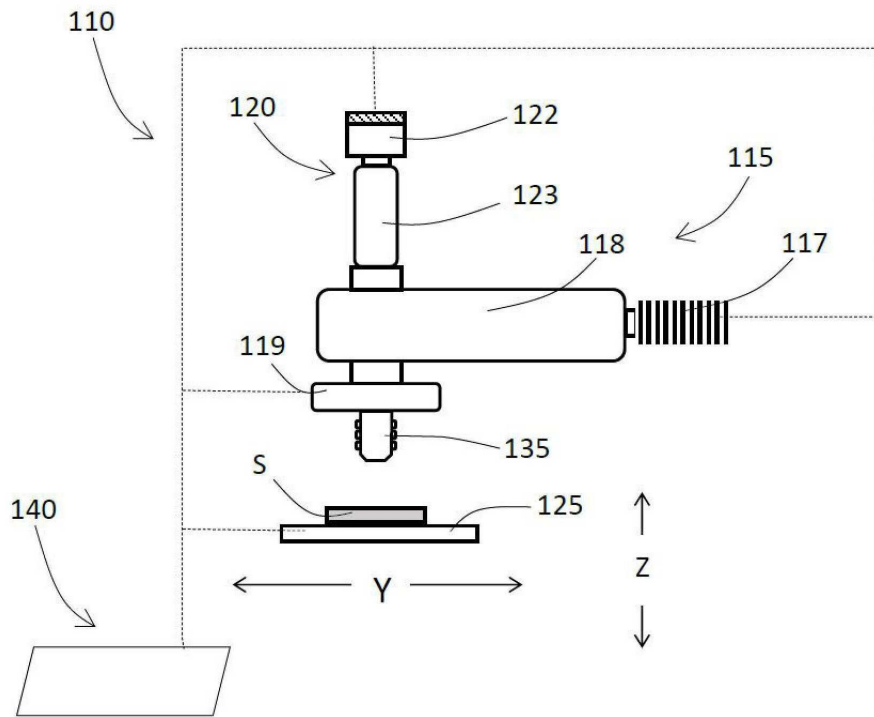
[0103] 초해상도 피드백 제어 메커니즘, 방법 및 시스템은 이러한 예시된 실시형태를 구체적으로 참조하여 상세하게 설명되었다. 그러나, 상기한 명세서에서 설명된 본 개시의 사상 및 범위 내에서 다양한 수정 및 변경이 이루어질 수 있으며, 이러한 수정 및 변경은 본 개시의 등가물 및 일부로 간주되어야 한다는 것이 명백할 것이다. 본 발명의 범위는 다음의 청구 범위에 의해서만 제한된다.

도면

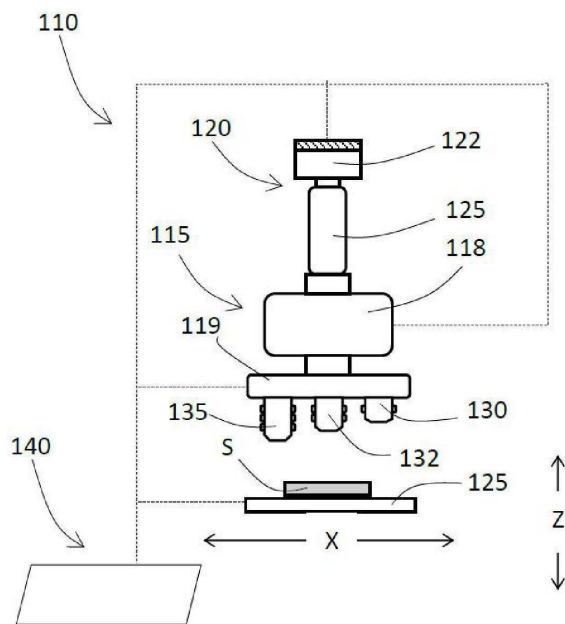
도면1



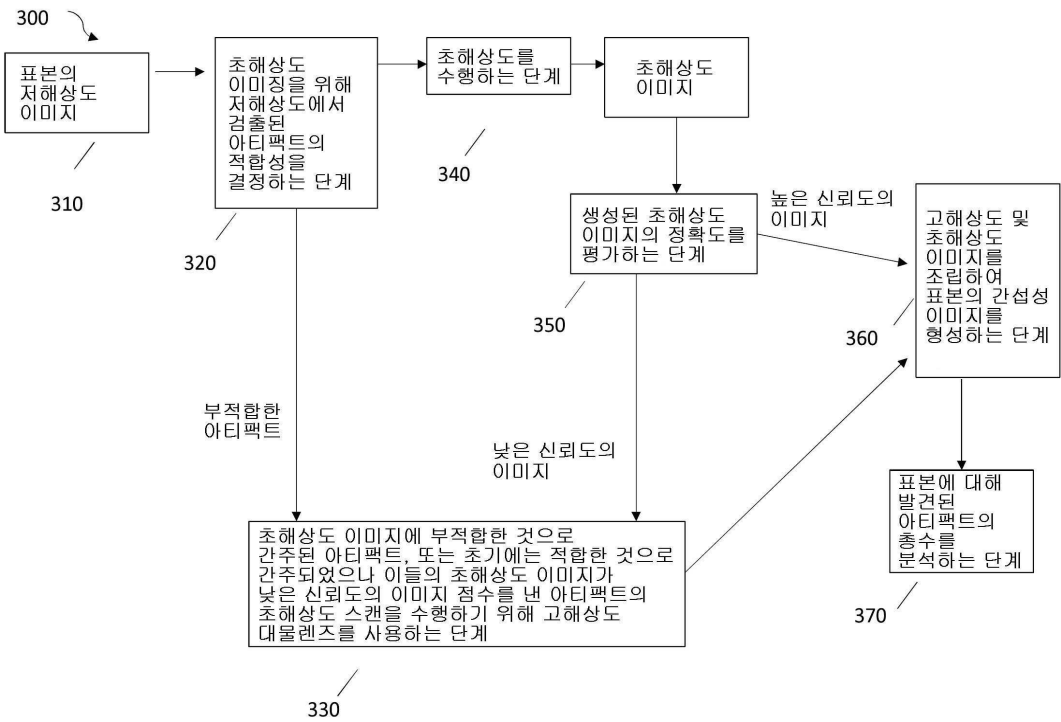
도면2a



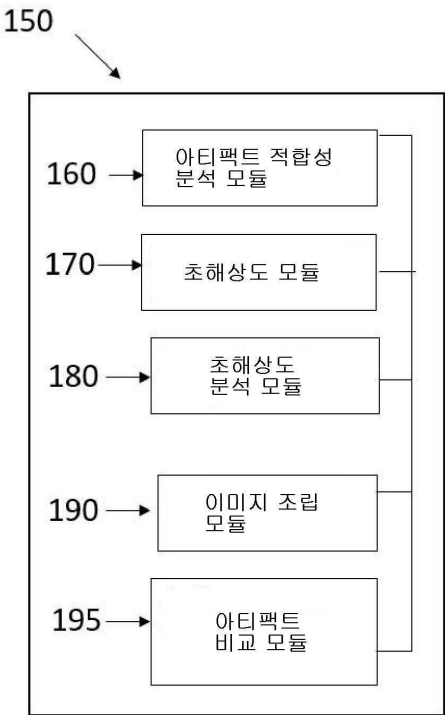
도면2b



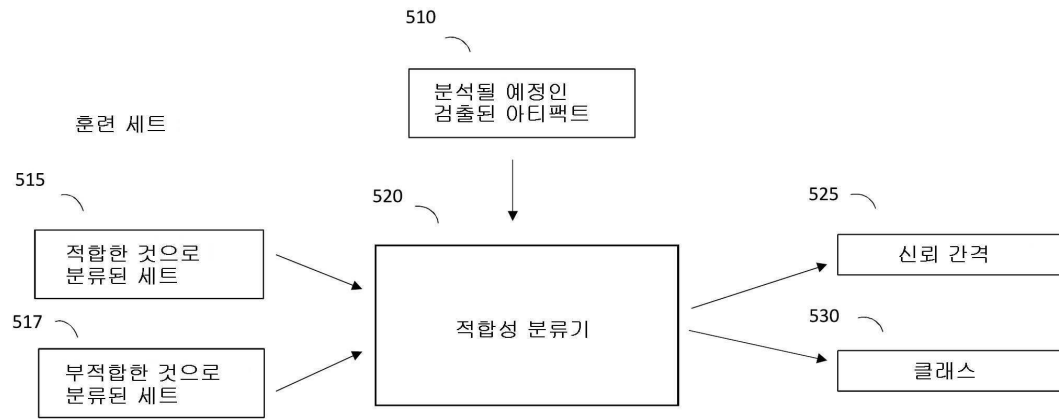
도면3



도면4



도면5



도면6

