



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년05월12일
(11) 등록번호 10-2397883
(24) 등록일자 2022년05월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B64C 39/02 (2006.01) B64D 47/00 (2006.01)
G01N 21/3581 (2014.01) G01N 21/88 (2006.01)
G01N 23/18 (2018.01) G01N 27/24 (2006.01)
G01N 27/90 (2021.01) G01N 29/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
B64C 39/024 (2013.01)
B64D 47/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0144127

(22) 출원일자 2017년10월31일

심사청구일자 2020년10월26일

(65) 공개번호 10-2018-0048405

(43) 공개일자 2018년05월10일

(30) 우선권주장
15/338,491 2016년10월31일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
JP2015101168 A*
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 10 항

(73) 특허권자
더 보잉 컴파니
미국, 일리노이스 60606, 시카고, 100 노스 리버
사이드 플라자

(72) 발명자
조지슨, 개리
미국 60606-2016 일리노이스 시카고 노스 리버사
이드 플라자 100

리아, 스콧
미국 60606-2016 일리노이스 시카고 노스 리버사
이드 플라자 100

트로이, 제임스 제이.
미국 60606-2016 일리노이스 시카고 노스 리버사
이드 플라자 100

(74) 대리인
특허법인 남앤남

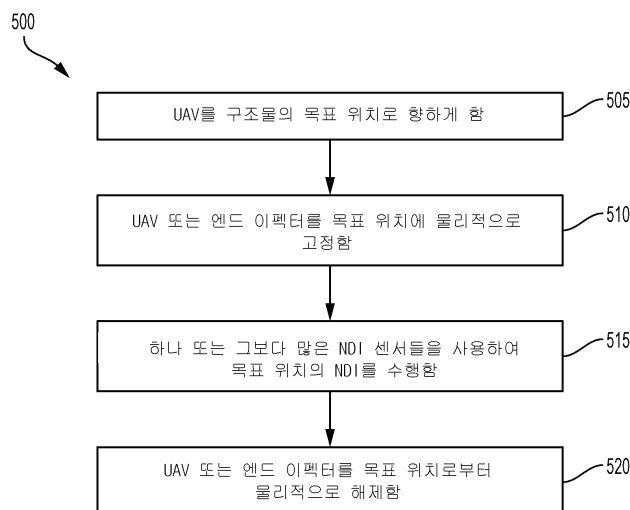
심사관 : 김윤수

(54) 발명의 명칭 무인 항공기를 이용한 비파괴 검사를 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

본체 구조를 포함하는 무인 항공기("UAV") - 본체 구조는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들을 포함하며, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 각각은 해제 가능한 말단 구조를 포함함 -; 및 각각의 해제 가능한 말단 구조에 통합된 하나 또는 그보다 많은 비파괴 검사("NDI") 센서들을 포함하는 NDI 시스템이 제공된다. NDI 시스템은 또한 검사되는 구조물에 대해 UAV 및/또는 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들에 대한 포지션, 배향, 또는 포지션과 배향 둘 다를 결정할 수 있는 위치 추적 시스템을 포함할 수 있다.

대표도 - 도5



(52) CPC특허분류

G01N 21/3581 (2013.01)
G01N 21/88 (2013.01)
G01N 23/083 (2013.01)
G01N 27/24 (2013.01)
G01N 27/90 (2021.01)
G01N 29/00 (2020.05)
B64C 2201/12 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

KR1020140130987 A*
KR1020150074527 A*
US20170073071 A1
US09753461 B1
JP2016107843 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

비파괴 검사("NDI(nondestructive inspection)") 시스템으로서,

본체 구조를 포함하는 무인 항공기("UAV") - 상기 본체 구조는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들을 포함하고, 상기 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 각각은 해제 가능한 말단 구조를 포함하며, 각각의 지지 구조는 상기 해제 가능한 말단 구조와 해제 가능하게 연결된 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 지지하도록 구성됨 -; 및

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들에 통합된 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 포함하고,

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들은 검사될 구조물에 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 고정하도록 동작 가능한 장착 메커니즘을 포함하는,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 UAV는 상기 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들에 제어 신호를 제공하여 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 상기 해제 가능한 말단 구조로부터 해제하도록 동작 가능한 해제 제어기를 포함하는,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나는 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식(modality)으로 감지하도록 동작 가능하고,

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식들은 접촉 기반 NDI 감지 방식을 포함하는,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 전력을 제공하는 것, 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 제어 신호들을 제공하는 것, 그리고 안전 및 회수(safety and retrieval) 메커니즘을 제공하는 것 중 하나 이상을 수행하도록 동작 가능한 테더(tether)를 포함하는,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 장착 메커니즘은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 그리퍼(gripper) 기반 또는 접착제 기반인,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 6

제1 항에 있어서,

상기 구조물의 좌표 시스템을 사용하여, 검사될 구조물에 대해 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 대한 포지션, 배향, 또는 상기 포지션과 상기 배향 둘 다를 결정하도록 동작 가능한 위치 추적 시스템을 더 포함하고,

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들은 데이터 수집 중에 상기 검사될 구조물에 대해 이동되는, 비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 7

제1 항 내지 제6 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 UAV는 추적 시스템으로부터 획득되거나 원격 제어 시스템을 사용하여 제어되는 포지션 및 배향 데이터를 사용하여 업데이트되는 미리 결정된 비행 경로를 사용하여 이동하도록 동작 가능한,

비파괴 검사(NDI) 시스템.

청구항 8

명령들을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체로서,

상기 명령들은 프로세서에 의해 실행될 때 상기 프로세서로 하여금, 구조물의 비파괴 검사("NDI")를 위한 방법을 수행하게 하며,

상기 방법은,

무인 항공기("UAV")를 상기 구조물의 목표 위치로 향하게 하는 단계;

상기 UAV의 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들의 장착 메커니즘을 사용하여 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 상기 목표 위치에 물리적으로 고정하는 단계;

상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들의 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 사용하여 상기 목표 위치의 NDI를 수행하는 단계; 및

상기 UAV로부터 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 분리한 후에 상기 UAV를 상기 목표 위치로부터 물리적으로 해제하는 단계를 포함하는,

비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

청구항 9

제8 항에 있어서,

상기 방법은 상기 수행하는 단계 이전에 상기 UAV의 로터를 비활성화하기 위한 제어 신호를 제공하는 단계를 더 포함하는,

비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

청구항 10

제8 항 또는 제9 항에 있어서,

상기 방법은 상기 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나를 상기 목표 위치에 전개하는 단계를 더 포함하는,

비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 일반적으로 검사 활동들을 수행하기 위한 시스템 및 방법들에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 무인 이동 차량에 의해 구조물들 또는 물체들의 원격 검사를 가능하게 하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 구조물들의 비파괴 검사("NDI(non-destructive inspection)")는 구조물에 해를 끼치거나 구조물의 상당한 분해를 요하지 않으면서 구조물을 철저히 검사하는 것을 수반한다. NDI는 구조물의 외부 및/또는 내부의 철저한 검사가 요구되는 많은 애플리케이션들에 유리하다. 예를 들어, NDI는 항공기 구조에 대한 임의의 타입의 내부 또는 외부 손상에 관해 그 구조를 검사하기 위해 항공기 산업에서 일반적으로 이용된다. 일상적으로 비파괴적으로 검사되는 구조물들 중에는 복합 구조물들이 있다. 이에 따라, 복합 구조물의 성능에 악영향을 미칠 수 있는 균열들, 공동들 또는 공극과 같은 임의의 결함들을 식별하기 위해 복합 구조물들을 검사하는 것이 종종 바람직하다. 검사에서 중대한 문제들을 제기하는 구조물들의 다른 예들로는 몇 가지만 예를 들자면, 교량들, 댐들, 제방들, 발전소들, 전력선들 또는 전력망들, 수처리 시설들; 정유 시설들, 화학 처리 공장들, 고층 건물들, 전기 열차들과 연관된 인프라구조 및 모노레일 지원 구조들이 있다.

[0003] 다양한 타입들의 센서들이 NDI를 수행하기 위해 이용될 수 있다. 하나 또는 그보다 많은 센서들이 검사될 구조물 위로 이동하여, 내부 결함들이 식별될 수 있는 구조물에 관한 데이터를 수신할 수 있다. 센서들에 의해 획득된 데이터는 일반적으로 처리 엘리먼트에 의해 처리되고, 처리된 데이터는 디스플레이를 통해 사용자에게 제시될 수 있다.

[0004] 구조물들 및 다양한 타입들의 물체들에 대한 직접적인 인간 기반의 검사들은 개인이 수행하기에는 시간이 오래 걸리고, 비용이 많이 들며, 어렵고 종종 위험할 수 있다. 주기적 육안 검사를 필요로 하는 구조물 또는 물체의 주기적인 사진들을 제공하기 위한 정적 카메라들(즉, 고정 위치 카메라들)의 사용은 제한된 효율성을 갖고 충족되었다. 정적 카메라들은 환경의 제한된 가시성을 갖는다. 따라서 수백 미터 이상 뻗어있는 전력선과 같은 넓은 영역을 검사하는 것은 그러한 카메라들을 많이 사용하지 않고는 어렵거나 불가능하다. 더욱이, 일단 카메라가 제자리에 장착되면, 이는 수리 또는 유지보수를 위해 쉽게 접근 가능하지 않을 수 있다. 카메라의 장착은 카메라가 엘리먼트들에 노출될 것을 요구할 수 있으며, 이는 카메라의 작동 신뢰성 및/또는 비용을 감소시킬 수 있다.

[0005] 교량의 구조 부분의 주기적 사진들을 얻기 위해 교량 꼭대기 근처에 장착된 정적 카메라는 또한 수리 또는 유지보수가 필요하게 된다면, 개인에 의한 접근이 어렵고 그리고/또는 비용이 많이 들 수 있다. 개인이 교량, 댐 등의 꼭대기에 높이 장착된 카메라에 접근할 것을 요구하는 행위는 또한 그러한 작업을 담당하게 된 작업자 또는 작업자들에 대한 인명 안전에 상당한 위험을 수반할 수 있다.

[0006] 간혹, 인프라구조는 환경, 화학 또는 생물학적 엘리먼트들로 인해 검사가 인간 작업자를 그의 건강에 상당한 위험에 처하게 할 그러한 검사를 필요로 할 수 있다. 그러한 상황은 제조 설비 내에서 발견될 수 있는데, 여기서는 유해한 화학 물질들이 존재할 수 있는 영역들에서, 설비 또는 그 내부에서 작동하는 기계들의 일부에 대한 주기적인 정기 검사가 이루어질 필요가 있다. 해양 석유 시추 플랫폼의 구조 부분들의 검사는, 환경적 요소들이 사람들에 의한 플랫폼의 다양한 부분들의 검사를 위험 가득하게 만들 수 있는 다른 예가 될 것이다. 또 다른 구조물들, 예를 들어 산들에 위치한 대형 안테나들이나 망원경들은 사람에 의한 검사가 개인의 안전에 상당한 위험을 안겨주는 상황들을 제시할 수 있다.

[0007] 일부 검사 애플리케이션들에서는, 인간 조종 헬리콥터들이 다양한 인프라구조를 검사하는 데 사용되었다. 그러나 인간 조종 헬리콥터들은 자산 비용(헬리콥터, 연료 및 유지보수) 및 운영 비용(조종사 급여) 측면에서 운영하는 데 비용이 많이 들 수 있다. 또한, 검사는 이용 가능한 조종사들 및 헬리콥터들의 수에 의해 제한되며, 폭풍우 또는 황사 동안과 같은 일부 경우에는 위험할 수 있다. 또한, 인간 조종 헬리콥터들 또는 다른 타입들의 차량들의 사용은 접근하기 어려운 일부 위치들에서 또는 악천후 중에는 때로는 단순히 가능하지 않다.

[0008] 원격 제어(RC: remote controlled) 헬리콥터들은 비용은 더 낮지만 숙련된 조작자를 필요하며, 이에 따라 다수의 헬리콥터들로 넓은 영역을 검사하는 것은 비용이 많이 드는 숙련된 조작자를 많이 필요로 한다. 또한, 이용 가능한 숙련된 조작자들 및 장비의 수로 인해, 정밀한 육안 검사 및 검사 작업이 수행될 수 있는 시간 지속기간이 제한될 수 있다.

[0009] 이러한 방법들은 추가 결함들을 겪는다. 현재, 인간 조종 RC 헬리콥터들은 인프라구조를 육안으로만 검사할 수 있다. 따라서 검사는 표면 손상의 검출로 제한된다. 더욱이, GPS 장착 인간 조종 및 RC 헬리콥터들은 육안 검사에 충분한 위치의 대략적 추정을 제공할 수 있지만, GPS 추적은 다른 NDI 검사 방법들에 사용하기에는 충분히 정확하지 않다.

[0010] 따라서 앞서 언급한 결함들 및 부적합성들을 해결하기 위해서는 업계에서 지금까지 해결되지 않은 필요성이 존재한다.

발명의 내용

[0011] 본 교시들의 예들에 따르면, 비파괴 검사("NDI") 시스템이 제공된다. 이 시스템은 본체 구조를 포함하는 무인 항공기("UAV(unmanned aerial vehicle)") - 본체 구조는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들을 포함하며, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 중 적어도 하나는 해제 가능한 말단 구조를 포함할 수 있음 -; 및 각각의 해제 가능한 말단 구조에 통합된 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 포함한다.

[0012] 예들에 따르면, UAV는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들에 제어 신호를 제공하여 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 해제 가능한 말단 구조로부터 해제하도록 동작 가능한 해제 제어기를 포함할 수 있다.

[0013] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나는 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식을 감지하도록 동작 가능하다.

[0014] 예들에 따르면, NDI 시스템은 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 전력을 제공하도록 동작 가능한 테더를 더 포함할 수 있다.

[0015] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 검사될 구조물에 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 고정하도록 동작 가능한 장착 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0016] 예들에 따르면, NDI 시스템은 구조물에 대해 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 대한 포지션, 배향, 또는 포지션과 배향 둘 다를 결정하도록 동작 가능한 위치 추적 시스템을 더 포함할 수 있다.

[0017] 예들에 따르면, 장착 메커니즘은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 그리퍼(gripper) 기반 또는 접착제 기반이다.

[0018] 예들에 따르면, UAV는 추적 시스템으로부터 획득되거나 원격 제어 시스템을 사용하여 제어되는 포지션 및 배향 데이터를 사용하여 업데이트되는 미리 결정된 비행 경로를 사용하여 이동하도록 동작 가능할 수 있다.

[0019] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식들은 접촉 기반 NDI 감지를 포함할 수 있다.

[0020] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 엑스선 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.

[0021] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 중 적어도 하나는 매니플레이터 암(manipulator arm)을 포함한다. 매니플레이터 암은 그리퍼를 포함할 수 있으며, 여기서 그리퍼는 검사되는 구조물에 대해 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 조작하도록 동작 가능하다.

[0022] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 데이터 수집 중에 구조물에 관련하여 이동될 수 있다.

[0023] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 중 하나는 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들로 구성

될 수 있으며, 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들은 샌더, 드릴, 브러시, 페인트 분무기, 마커, 잉크 스템프, 레이저 또는 타겟 애플리케이터를 포함한다.

- [0024] 본 교시들의 예들에 따르면, 비파괴 검사("NDI") 시스템이 제공된다. 이 시스템은 컴포넌트들을 수용하도록 구성된 하우징을 포함하며, 이 컴포넌트들은 구조물의 하나 또는 그보다 많은 특성들을 측정하도록 동작 가능한 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들; 구조물에 하우징을 고정하거나 해제하도록 동작 가능한 장착 메커니즘; 및 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들로부터 측정 데이터를 전송하도록 동작 가능한 트랜시버를 포함하고, 하우징은 무인 항공기("UAV")에 의해 구조물의 목표 위치에 전달되도록 크기가 정해진다.
- [0025] 예들에 따르면, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 액션 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들 중 하나 또는 그보다 많은 센서를 포함할 수 있다.
- [0026] 예들에 따르면, 장착 메커니즘은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접착제 기반 및 그리퍼 기반 중 하나일 수 있다.
- [0027] 예들에 따르면, NDI 시스템은 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들에 전력을 공급하도록 동작 가능한 전원 공급장치를 더 포함할 수 있다.
- [0028] 예들에 따르면, NDI 시스템은 하우징 외부의 전원 공급 장치로부터 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들에 전력을 제공하고, NDI 센서로/로부터 신호 데이터를 송신 및 수신하며, 안전 및 회수(safety and retrieval) 메커니즘으로서의 역할을 하도록 동작 가능한 테더를 더 포함할 수 있다.
- [0029] 예들에 따르면, NDI 시스템은 하우징의 적어도 일부에 충격 보호를 제공하도록 동작 가능한 충격 보호 구조를 더 포함할 수 있다. 충격 보호 구조는 팽창 가능 구조 또는 부유(floatation) 구조를 포함할 수 있다.
- [0030] 예들에 따르면, NDI 시스템은 구조물의 표면을 따라 하우징을 이동시키도록 동작 가능한 이동 메커니즘을 더 포함할 수 있다.
- [0031] 본 교시들의 예들에 따르면, 명령들을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체가 제공되며, 명령들은 프로세서에 의해 실행될 때 프로세서로 하여금, 구조물의 비파괴 검사("NDI")를 위한 방법을 수행하게 한다. 이 방법은, 무인 항공기("UAV")를 구조물의 목표 위치로 향하게 하는 단계; UAV 또는 엔드 이펙터를 목표 위치에 물리적으로 고정하는 단계; 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 사용하여 목표 위치의 NDI를 수행하는 단계; 및 UAV 또는 엔드 이펙터를 목표 위치로부터 물리적으로 해제하는 단계를 포함한다.
- [0032] 예들에 따르면, 이 방법은 수행 단계 전에 UAV의 로터 동작을 제어하기 위한 제어 신호를 제공하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0033] 예들에 따르면, 물리적으로 고정하는 것은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접착제 기반 또는 그리퍼 기반 일 수 있다.
- [0034] 예들에 따르면, 이 방법은 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나를 목표 위치(들)에 전개하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0035] 예들에 따르면, 이 방법은 위치 포지셔닝 시스템을 사용하여 목표 위치에 대한 포지션, 배향, 또는 포지션과 배향 둘 다를 추적하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0036] 앞서 말한 일반 설명과 다음의 상세한 설명은 모두 단지 예시이며 설명을 위한 것일 뿐이고 청구된 바와 같이, 본 개시를 한정하는 것은 아니라고 이해되어야 한다.

도면의 간단한 설명

- [0037] 본 명세서의 일부에 포함되며 이를 구성하는 첨부 도면들이 본 개시를 예시하며, 설명과 함께 본 개시의 원리들을 설명하는 역할을 한다.
 도 1은 본 개시의 예들에 따른 시스템의 제1 구현을 예시한다.
 도 2는 본 개시의 예들에 따른 시스템의 제2 구현을 예시한다.
 도 3은 본 개시의 예들에 따른 시스템의 제3 구현을 예시한다.

도 4는 본 개시의 예들에 따라, NDI 디바이스가 UAV에 의해 전개될 수 있음을 보여주는 블록도이다.

도 5는 도 1 - 도 3의 시스템들에 의해 수행될 수 있는 동작들의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이제 본 개시의 예시적인 구현들이 상세히 언급될 것이며, 그 예들은 첨부 도면들에 예시된다. 가능하면 어디든, 동일한 또는 비슷한 부분들을 나타내기 위해 도면들 전반에서 동일한 참조 번호들이 사용될 것이다. 다음의 설명에서, 그 일부를 형성하며 본 개시가 실시될 수 있는 특정 예시적인 구현들이 예시로 도시된 첨부 도면들이 참조된다. 이러한 구현들은 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자들이 본 개시를 실시할 수 있도록 충분히 상세하게 설명되며, 본 개시의 범위를 벗어나지 않으면서 다른 구현들이 이용될 수 있고 변경들이 이루어질 수 있다고 이해되어야 한다. 따라서 다음의 설명은 단지 예시일 뿐이다.

[0039] 일반적으로 말하자면, 본 개시의 예는 육안 또는 IR 카메라에 의한 단순한 육안 검사 이상으로, 교량들, 선박들 등과 같은 구조물들의 원격 NDI를 위해, 드론들로도 또한 알려진 무인 항공기(UAV)들의 사용을 가능하게 하기 위한 방법들 및 시스템들을 설명한다. UAV는 일 단부는 UAV에 부착되거나 통합되고 다른 단부는 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 지지하는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들을 포함한다. 하나 또는 그보다 많은 지지 구조는 고정된 길이를 가질 수 있거나, 수축된 상태일 때 제1 길이 그리고 연장된 상태에서 더 긴 길이를 갖는 신축식 부재일 수 있다. UAV는 또한 주기적인 원격 검사를 위한 위치 태깅과 같은 유지보수 활동들을 가능하게 할 수 있다. 접촉 태그들, 페인트 등은 또한 차후의 참조를 위해 그대로 부착되어 있을 수 있거나 3-D 시각화를 가능하게 할 수 있다. 차량 및 센서 측위(localization)를 위한 오프보드(Off-board) 추적 시스템은 항행을 위한 UAV의 그리고 검사 위치의 정확한 위치를 제공하고 구조물의 3-D 모델과의 상관을 제공한다. 검사될 구조물의 표면 상에 UAV 및/또는 NDI 디바이스들을 유지하기 위해, 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접촉제 기반 또는 그리퍼 기반을 비롯한, 그러나 이에 한정되는 것은 아닌 다양한 시스템들 및 방법들이 사용될 수 있다. 일부 예들에서, 이러한 부착 메커니즘들 중 2개 이상이 결합하여 사용될 수 있다. 자기 기반 접근 방식에서는, 전자 영구("EP(Electro-Permanent)") 자석이 전기 펄스로 인에이블될 수 있고 전력의 사용 없이 전압이 가해진 상태를 유지할 수 있다. 진공 기반 접근 방식에서, UAV는 본 출원과 공동 소유되는, "Holonomic motion vehicle for travel on non-level surfaces"라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제8,738,226호에 기술된 바와 같이, 각각의 흡입 구역들에서 각각의 흡입력들을 발생시키도록 구성된 하나 또는 그보다 많은 전기 도관 팬들을 포함할 수 있다. 정전기 기반 접근 방식에서는, 기관 재료(예를 들어, 검사되는 구조물의 표면)와 지지 구조 또는 NDI 디바이스의 전기 접촉성 표면 사이에서 정전기력들이 사용된다. 이 접근 방식에서, 전기 접촉성 패드들은 중합체의 표면 상에 증착되는 전도성 전극들로 구성된다. 인접한 전극들에 교번하는 양전하 및 음전하가 유도될 때, 전기장이 기관 상에 반대 전하들을 설정하고, 이에 따라 전극들과 기관 상의 유도 전하들 사이에 정전기 접촉력을 일으킨다. 접촉제 기반 접근 방식에서는, 탭을 당김으로써 접촉성 아교 또는 제거 가능한 아교 패드들이 표면으로부터 분리될 수 있다. 또한, 온 및 오프 전환될 수 있는 - 접촉제로 변경된 구조를 발생시킴으로써 아교가 자유자재로 끈적거리거나 끈적거리지 않게 만들어질 수 있음을 의미함 - 아교가 사용될 수 있다. 그리퍼 기반 접근 방식에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들은 작동될 때 열리거나 닫혀, 검사되는 구조물의 일부에 물리적으로 유지할 수 있는 하나 또는 그보다 많은 그립부들을 갖는 말단 부분을 포함할 수 있다.

[0040] 한 예시적인 동작에서는, 매니플레이터 암과 같은 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들에 의해 지지되는 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들이 구비된 UAV는 검사되는 구조물의 목표 영역으로 날려진다. UAV 조작자는 이를테면, 매니플레이터 암을 연장함으로써 목표 영역으로 NDI 디바이스를 포지셔닝하도록 UAV에 명령한다. NDI 디바이스는 강자성 구조들에 대한 자기 기반 디바이스들, 예를 들어 EP 자석 및/또는 비강자성 구조에 대한 진공 기반, 정전기 기반, 접촉제 기반, 그리퍼 기반 디바이스들과 같은 고정 메커니즘을 가질 수 있다. EP 자석은 전기 펄스로 인에이블된 다음, 전력의 사용 없이 전압이 가해진 상태를 유지할 수 있다. EP 자석에 전압이 가해지면, EP 자석이 목표 영역에 접촉하여 UAV의 무게를 지탱할 때 UAV가 물리적으로 목표 영역에 고정될 수 있다. 목표 영역에 물리적으로 고정된 후, 다음에는 UAV 상의 로터들이 오프 전환(회전 중지)될 수 있으며, 이 경우 UAV는 이제 안정된 고정 포지션에 있다. 그런 다음, NDI 디바이스가 활성화되어 검사 관독 값들을 가져올 수 있다. UAV의 3D 위치는 로컬 포지셔닝 시스템("LPS(local positioning system)")과 같은 오프보드 추적 시스템에 의해 측정될 수 있는데, 이 시스템은 검사되는 구조물의 좌표 시스템에 관해 UAV의 위치를 결정할 수 있다. NDI 검사가 완료되면, UAV의 로터들에 시동이 걸릴 수 있고, 고정 메커니즘이 비활성화되며, UAV가 멀리 날아가거나 또는 다음 검사 위치로 날아가고, 프로세스가 반복된다. 카메라 또는 (스마트폰과 같은) 카메라 장

착 디바이스가 UAV에 부착되어 시스템의 양상들의 지침이나 동작을 지원할 수 있다.

[0041] 다른 예시적인 동작에서는, 독립형 NDI 디바이스가 UAV에 의해 드롭-오프(drop-off)될 수 있다. 이 예에서, 하나 또는 그보다 많은 독립형 NDI 디바이스들이 장착된 UAV가 검사될 구조물의 제1 목표 영역으로 날아가게 되고, 조작자는 제1 목표 영역에 NDI 디바이스들 중 하나를 부착하도록 UAV에 명령한 다음, 멀리 날아간다(또는 제2 목표 영역으로 날아가고, 드롭-오프 프로세스가 반복된다). 독립형 NDI 디바이스는 고정 메커니즘, 즉 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접촉제 기반 또는 그리퍼 기반의 고정 메커니즘을 포함하며, 이는 NDI 디바이스가 목표 영역에 부착되게 한다. 자기(EP 자석)의 예에서, NDI 디바이스는 단일 전기 펄스로 부착된 다음 전력의 사용 없이 전압이 가해진 상태를 유지할 수 있다. NDI 디바이스는 무선일 수 있고 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 포함하며, 다른 제어 가능한 엘리먼트들을 포함할 수 있다. UAV에 의해 목표 영역에 놓여진 후, NDI 디바이스의 3D 위치가 오프보드 추적 시스템, 즉 LPS에 의해 측정될 수 있는데, LPS는 검사되는 구조물의 좌표 시스템에 관해 NDI 디바이스의 위치를 결정할 수 있다. NDI 검사가 완료되면, 고정 메커니즘이 비활성화될 수 있는데, 이를테면 EP 자석을 무전압 상태로 만들 수 있으며, NDI 디바이스는 목표 영역에서 떨어지고, 조작자에 의해 회수될 수 있다. 이 예에서는, 하나보다 많은 독립형 NDI 디바이스가 UAV에 의해 단일 비행에 배치될 수 있다. 일부 상황들에서는 NDI 디바이스가 UAV에 의해 검사되는 구조물 위에 직접 배치될 수 있으며, 다른 상황들에서는 UAV가 발사체와 같은 독립형 NDI 디바이스를 발사하여, 디바이스가 구조물 상의 위치들에 도달하도록 단단히 부착할 수 있게 할 수 있다. 독립형 NDI 디바이스는 작업을 수행하거나 목표 대상으로부터 이 디바이스가 해제될 때 디바이스에 대한 손상을 막는 데 유용할 수 있는 다른 피쳐들을 포함할 수 있다. 예를 들어, NDI 디바이스는 디바이스가 표면 위로 움직일 수 있게 하는(디바이스를 미니 크롤러로 전환함) 작은 바퀴들이나 트랙들을 포함할 수 있다. NDI 디바이스는 또한 무선 커맨드에 의해 팽창될 수 있는 팽창 가능 컴포넌트를 포함할 수 있는데, 이는 낙하 도중 손상으로부터 NDI 디바이스(또는 그 아래에 위치할 수 있는 다른 사람들)를 보호할 수 있으며, 디바이스가 물에 빠진다면 디바이스가 뜨게 할 수 있다.

[0042] 도 1을 참조하면, 본 개시의 예들에 따라 구조물들을 검사하기 위한 시스템(100)이 도시되어 있다. 시스템(100)은 주기적 검사를 필요로 하는 구조물(110) 주위를 이동하는 데 사용될 수 있는 무인 이동 차량(105)을 포함한다. 이 예에서, 무인 이동 차량은 무인 항공기로서, 그리고 보다 구체적으로는 (이하, 간단히 "UAV"(105)로 지칭되는) 무인 회전 날개 항공기로서 예시되지만, 무인 육상 차량 및 무인 해양 선박(표면 및 수중 모두)과 같은 다른 형태들의 무인 차량들이 본 시스템(100)에 사용하기에 용이하게 적응될 수 있다고 인식될 것이다. 또한, 목표 구조물(110)은 I-빔으로서 예시되지만, 시스템(100)은 전력선들, 발전 시설들, 전력망들, 댐들, 제방들, 경기장들, 대형 건물들, 대형 안테나들 및 망원경들, 탱크들, 컨테이너들, 수처리 시설들, 정유 시설들, 화학 처리 공장들, 고층 건물들, 및 전기 열차들과 연관된 인프라구조 및 모노레일 지원 구조들을 포함하는, 그러나 이에 한정된 것은 아닌 다양한 범위의 다른 구조물들의 검사에 사용하는 데 동일하게 적용된다. 시스템(100)은 또한 제조 설비들 및 창고들과 같은 대형 건물들 내부에서 사용하기에 특히 적합하다. 사실상, 인간 조종 차량 또는 RC 차량에 의해 검사하기에 어렵거나 비용이 많이 들거나 너무 위험한 임의의 구조물은 잠재적으로 시스템(100)을 사용하여 검사될 수 있다.

[0043] UAV(105)는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(120)이 배치되는 본체 구조(115)를 포함한다. 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(120)은 일 단부는 본체 구조(115)에 부착되고 제2 단부는 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)과 통합된다. 일부 예들에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(120) 중 적어도 하나는 매니플레이터 암을 포함하며, 여기서 매니플레이터 암은 그리퍼를 포함하며, 그리퍼는 검사되는 구조물(110)에 대해 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)을 조작하도록 동작 가능하다. 일부 예들에서, 매니플레이터 암 및/또는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(120) 중 적어도 하나는 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들로 구성될 수 있으며, 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들은 샌더, 드릴, 브러시, 페인트 분무기, 마커, 레이저, 레이저 마킹 시스템, 잉크 스탬프 또는 타겟 애플리케이션을 포함한다.

[0044] 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 액션 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들을 포함하는, 그러나 이에 한정된 것은 아닌 하나 또는 그보다 많은 센서들을 포함할 수 있다.

[0045] 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 검사될 구조물(110)의 표면 상에 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125) 및/또는 UAV(105)를 물리적으로 유지하기 위한 고정 메커니즘을 포함할 수 있는데, 이는 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접촉제 기반 또는 그리퍼 기반을 포함하지만 이에 한정된 것은 아니다. 자기 기반 접근 방식에서는, EP 자석이 전기 펄스로 인에이블되며, 전력의 사용 없이 전압이 가해진 상태를 유지할 수

있다. 접촉제가 건조되는 동안 접촉제 기반 접근 방식과 결합될 수 있는 진공 기반 접근 방식에서, UAV는 미국 특허 제8,738,226호에 기술된 바와 같이, 하나 또는 그보다 많은 모터 구동 임펠러 유닛들을 포함할 수 있는 온보드 진공 발생 시스템을 포함할 수 있다. 모터들이 회전하는 속도는 발생하는 진공의 양을 결정하며, 제어 워크 스테이션으로부터 조작자 또는 자동 제어 시스템에 의해 지시되는 모터 제어기 유닛에 의해 제어된다. 진공 부착 시스템은 또한 시스템이 너무 많은 흡입력을 잃지 않고 작은 물체들 위를 미끄러질 수 있게 하는 도관 및 자동 수평 조절 스커트들(또는 픽(puck)들)을 포함할 수 있다. 정전기 기반 접근 방식에서는, 기관 재료(예를 들어, 검사되는 구조물의 표면)와 지지 구조 또는 NDI 센서의 전기 점착성 표면 사이에서 정전기력들이 사용된다. 이 접근 방식에서, 전기 점착성 패드들은 중합체의 표면 상에 증착되는 전도성 전극들로 구성된다. 인접한 전극들에 교번하는 양전하 및 음전하가 유도될 때, 전기장이 기관 상에 반대 전하들을 설정하고, 이에 따라 전극들과 기관 상의 유도 전하들 사이에 정전기 점착력을 일으킨다. 접촉제 기반 접근 방식에서는, 탭을 당김으로써 점착성 아교 또는 제거 가능한 아교 패드들이 표면으로부터 분리될 수 있다. 또한, 온 및 오프 전환될 수 있는 - 접촉제로 변경된 구조를 발생시킴으로써 아교가 자유자재로 끈적거리거나 끈적거리지 않게 만들어질 수 있음을 의미함 - 아교가 사용될 수 있다. 그리고 기반 접근 방식에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들은 작동될 때 열리거나 닫혀, 검사되는 구조물의 일부에 물리적으로 유지할 수 있는 하나 또는 그보다 많은 그립부들을 갖는 말단 부분을 포함할 수 있다.

[0046] 자기 기반 접근 방식과 관련하여, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 본 출원과 동일한 양수인에 의해 공동 소유되는, "Adaptive Magnetic Coupling System"이라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제9,156,321호에 기술된 바와 같이, 커플링 자석들 사이의 인력을 능동적으로 제어하는 고정 메커니즘을 포함할 수 있다. 이 예에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 구조물(110)에 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)을 결합하는데 사용되는 자석들 사이의 인력의 크기를 능동적으로 조정함으로써 구조물(110)의 가변 두께에 자동으로 적응하도록 동작 가능할 수 있다.

[0047] 일부 예들에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 일단 UAV(105)에 의해 전개되면, 구조물(110)의 표면과 맞물려 이동을 가능하게 할 수 있는 하나 또는 그보다 많은 이동 메커니즘들을 사용하여, 이를테면 트랙들, 휠들, 관절형 암들 등을 사용하여 표면을 따라 또는 표면 주위로 이동하도록 동작 가능할 수 있다. 이동은 이를테면, 제어된 방식으로 고정 메커니즘을 선택적으로 온 및 오프 전환함으로써 적어도 고정 메커니즘을 사용하여 달성될 수 있다. 예를 들어, 자기 기반 접근 방식을 사용하여, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 구조물(110)의 가변 두께 스킨 위로 이동할 수 있는데, 여기서 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)과 구조물(110) 사이의 적절한 인력을 결정하기 위해 제어 시스템에 의해 센서 데이터가 사용되어, 자기 결합 시스템이 가변적인 스킨 두께에 자동으로 적응할 수 있게 한다. 일부 예들에서, 본 출원과 공동으로 소유되는 "Holonomic Motion Vehicle for Travel on Non-Level Surfaces"라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제 8,738,226호의 교시들은 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)의 이동을 가능하게 하는 데 사용될 수 있다. 이 예에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(125)은 4개(또는 4의 배수)의 메카넘(Mecanum) 휠들을 갖는 프레임에 가질 수 있는데, 여기서 각각의 휠은 각각 독립적으로 제어되는 모터에 의해 구동되고, 복수의 (예를 들어, 2개의) 독립적으로 제어되는 흡입 디바이스들을 더 갖는다. 메카넘 휠들은 홀로노믹 모션을 가능하게 하는 한편, 흡입 디바이스들은 수평이 아닌 표면들에서 모션의 충분히 정밀한 제어를 가능하게 한다.

[0048] 일부 예들에서, UAV(105)는 미리 프로그래밍된 비행 계획에 따라 UAV(105)를 항행하게 할 수 있고 검사되는 구조물(110)에 대한 검사 데이터가 얻어질 수 있게 할 수 있는 온보드 시스템을 포함할 수 있다. 일부 예들에서, UAV(105)는 무선 UAV 제어기(130)를 사용하는 조작자에 의해 비행 경로(135)를 따라 비행하게 될 수 있다. UAV(105)는 본 출원과 공동 소유되는 "Closed-Loop Feedback Control Using Motion Capture System"이라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제7,643,893호의 교시들을 사용하여 제어될 수 있다. UAV(105)는 모션 캡처 시스템들을 사용하는 페루프 피드백 제어 시스템을 사용하여 제어될 수 있다. 시스템은 UAV(105)가 제어 볼륨 내에서 동작함에 따라 UAV(105)의 하나 또는 그보다 많은 모션 특성들을 측정하도록 구성된 모션 캡처 시스템을 포함할 수 있다. 프로세서는 모션 캡처 시스템으로부터 측정된 모션 특성들을 수신하고 측정된 모션 특성들에 기초하여 제어 신호를 결정한다. 위치 제어 시스템은 제어 신호를 수신하고, 원하는 모션 상태를 유지 또는 달성하기 위해 UAV(105)의 적어도 하나의 모션 특성을 연속해서 조정한다. UAV(105)에는 패시브 역반사 마커들이 장착될 수 있다. 모션 캡처 시스템, 프로세서 및 위치 제어 시스템은 완전한 페루프 피드백 제어 시스템을 포함한다.

[0049] 검사 데이터는 하나 또는 그보다 많은 센서들로부터의 데이터를 포함할 수 있다. 검사 데이터는 또한 사진들, 비디오 또는 오디오 데이터를 포함할 수 있다. UAV(105)에 의해 운반되는 사전 프로그래밍된 비행 계획은 UAV(105)가 구조물(110)의 일부 주위의 비행 경로를 따를 수 있게 한다. 일부 예들에서, 하나보다 많은

UAV(105)가 사용될 수 있고, 이러한 UAV(105)는, 단일 UAV보다 짧은 시간 내에 구조물(110)의 다양한 영역들의 검사를 가능하게 할 수 있고 그렇지 않으면 인간 조종 차량이 검사하기에는 어렵고, 비용이 많이 들며 그리고/또는 위험할 수 있는 차량들의 "무리"로 보일 수 있는 것을 형성할 수 있다.

[0050] 시스템(100)은 UAV(105)로부터의 무선 통신들을 수신하기 위한 원격 검사 스테이션(140)을 더 포함할 수 있다. 원격 검사 스테이션(140)은 검사 기술자 또는 조작자가 보기 위한 안테나 및 컴퓨터 제어 시스템을 포함할 수 있다. 원격 검사 스테이션(140)은 UAV(105)의 다양한 동작 성능 파라미터들, 이를테면 연료 잔량, 배터리 전력 잔량 등을 모니터링하거나 커맨드들을 전송하는데 사용될 수 있다. 원격 검사 스테이션(140)은 또한 UAV(105)의 비행 경로(135)를 변경하기 위한 커맨드들을 생성하는데 사용될 수 있다.

[0051] 원격 검사 스테이션(140)은 LPS(145)를 포함할 수 있다. 일부 예들에서, LPS(145)는 "Local Positioning System and Method"이라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제8,044,991호 및/또는 "Method Involving a Pointing Instrument and a Target Object"이라는 명칭의 배경 예인 미국 특허 제7,859,655호의 교시들을 사용할 수 있으며, 이 특허들은 모두 본 출원의 동일한 양수인에 의해 소유된다.

[0052] 미국 특허 제7,859,655호에 기술된 바와 같은 일례에서, LPS(145)는 비디오 카메라, 레이저 거리 측정기, 전동 및 측정 팬 및 틸트 축들, 및 LPS(145)와 통신하는 컴퓨터, 즉 원격 검사 스테이션(140)을 포함할 수 있다. LPS(145)는 조준점 축을 갖고 기구 좌표 시스템을 갖는 지시 기구, 이를테면 레이저 거리 측정기(150)를 사용하여 목표 대상 좌표 시스템을 갖는 목표 대상, 이를테면 구조물(110)의 표면 상의 관심 지점의 포지션을 결정하기 위한 방법을 사용할 수 있고, 레이저 거리 측정기(150)에 의해 측정된 거리를 팬 및 틸트 각들 이외에도 목표점들 각각에 사용한다. 이 방법은, 기구의 조준점 축이 목표 대상의 표면 상의 3개의 교정점들 각각과 차례로 정렬될 때, 기구 좌표 시스템에서 조준점 축의 배향을 측정하는 단계를 포함할 수 있으며, 여기서 목표 대상 좌표 시스템의 3개의 교정점들의 포지션들은 알려져 있다. 이 방법은 또한, 실질적으로 조준점 축을 따라 기구로부터 3개의 교정점들 각각까지의 거리를 측정하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 목표 대상 좌표 시스템에서 3개의 교정점들 및 3개의 교정점들의 알려진 포지션들에 대응하는 기구 좌표 시스템에서의 적어도 측정된 배향 및 거리를 사용하여, 기구 좌표 시스템에서 정의된 포지션을 목표 대상 좌표 시스템에 정의된 포지션으로 변환하는 (간혹 카메라 포즈 행렬로 지칭되는) 교정 행렬을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 기구의 조준점 축이 관심 지점과 정렬될 때, 기구 좌표 시스템에서 조준점 축의 배향을 측정하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 적어도, 관심 지점에 대응하는 기구 좌표 시스템에서 조준점 축의 측정된 배향, 교정 행렬, 그리고 실질적으로 조준점 축을 따라 기구로부터 관심 지점까지의 거리 및 목표 대상 좌표 시스템에서 목표 대상의 표면의 모델 중 적어도 하나를 사용하여 목표 대상 좌표 시스템에서 관심 지점의 포지션을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 계산된 포지션을 저장하는 단계를 포함한다.

[0053] 미국 특허 제7,859,655호에 기술된 다른 예에서, LPS(145)는 기구 좌표 시스템을 갖는 지시 기구, 이를테면 레이저 거리 측정기(150)의 조준점 축이 목표 대상 좌표 시스템을 갖는 목표 대상, 이를테면 구조물(110)의 표면 상의 관심 지점과 정렬되도록 기구의 조준점 축의 배향을 결정하기 위한 방법을 사용할 수 있으며, 여기서 목표 대상 좌표 시스템의 관심 지점의 포지션은 알려져 있다. 이 방법은 목표 대상 좌표 시스템에 정의된 포지션을 기구 좌표 시스템에 정의된 포지션으로 변환하는 교정 역행렬을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 적어도 교정 역행렬, 목표 대상 좌표 시스템에서의 관심 지점의 포지션, 및 기구의 역운동학을 사용하여 기구 좌표 시스템에서 기구의 조준점 축의 배향을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 기구의 조준점 축을 계산된 배향으로 향하게 하는 것을 포함한다.

[0054] 미국 특허 제7,859,655호에 기술된 또 다른 예에서, LPS(145)는 기구 좌표 시스템을 갖는 레이저, 이를테면 레이저 거리 측정기(150)의 레이저 빔이 목표 대상 좌표 시스템을 갖는 목표 대상, 이를테면 구조물(110)의 표면 상의 이미지를 추적하도록 레이저 빔의 배향을 제어하기 위한 방법을 사용할 수 있으며, 여기서 목표 대상 좌표 시스템에서 목표 대상의 표면 상의 이미지에 대한 지점들의 포지션들은 알려져 있다. 이 방법은 목표 대상 좌표 시스템에 정의된 포지션을 기구 좌표 시스템에 정의된 포지션으로 변환하는 교정 역행렬을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 적어도 교정 역행렬, 목표 대상 좌표 시스템에서 목표 대상의 표면 상의 이미지에 대한 지점들의 포지션들, 및 기구의 역운동학을 사용하여 기구 좌표 시스템에서 레이저의 레이저 빔의 배향들을 계산하는 단계를 포함한다. 이 방법은 또한, 목표 대상의 표면 상에서 경로를 추적하도록 레이저 빔을 계산된 배향들로 향하게 하는 단계를 포함한다.

[0055] 미국 특허 제8,044,991호에 기술된 바와 같은 다른 예에서, LPS(145)는 비디오 카메라, 레이저 포인터, 전동 및 측정 팬 및 틸트 축들, 및 비디오 카메라로 조준되며 목표 대상 좌표 시스템을 갖는 LPS와 통신하는 컴퓨터, 즉

원격 검사 스테이션(140)을 포함할 수 있다. 컴퓨터는 목표 대상에 대한 비디오 카메라의 상대적인 포지션 및 배향을 정하고, 목표 대상 좌표 시스템에서 비디오 카메라의 포지션 및 배향을 결정하고, 목표 대상 좌표 시스템에서 관심 지점의 포지션을 결정하도록 적응된다. 이 시스템은 이전에 기록된 관심 지점에서 카메라를 목표 대상에 조준하는 데에 또한 사용될 수 있다. 로컬 포지셔닝 시스템은 자동화된(원격 제어된) 줌 성능들을 가질 수 있는 비디오 카메라를 포함할 수 있고, 비디오 카메라의 광학 이미지 필드 디스플레이 내에서 지점의 정확한 로케이팅을 가능하게 하는 통합 십자선 생성기를 추가로 포함할 수 있다. 비디오 카메라의 고정 좌표 시스템에 대한 카메라의 배향을 설명하는 방향 벡터가 방위각 및 고도각뿐만 아니라, 카메라가 관심 지점에 조준될 때의 광학계의 십자선 마커의 중심 포지션으로부터 결정된다. 이 방향 벡터는 카메라의 렌즈로부터 연장하여 목표 대상 위의 위치와 교차하는 선으로 여겨질 수 있다. 3차원 측위 소프트웨어가 컴퓨터에 로딩될 수 있다. 3-D 측위 소프트웨어는 목표 대상에 대한 비디오 카메라의 위치(포지션 및 배향)를 정의하기 위해 목표 대상에 대한 거리에서의 다수의 교정점들을 사용할 수 있다. 일부 애플리케이션들에서, 3D 측위 소프트웨어는 비디오 카메라와 연관된 팬 및 틸트 데이터와 결합하여, 목표 대상에 대한 복수의 교정점들을 이용하여, 목표 대상에 대한 비디오 카메라의 상대적 포지션 및 배향을 정의할 수 있다. 교정점들은 3-D CAD 모델 또는 다른 측정 기술로부터 결정된 바와 같이 목표 대상의 로컬 좌표 시스템에서 알려진 포지션의 가시적인 피쳐들일 수 있다. 교정점들은 목표 대상에 대한 카메라 포지션 및 배향에 대한 해를 구하기 위해 팬-기울기 메커니즘으로부터의 방위각 및 고도각과 조율하여 사용될 수 있다. 목표 대상에 대한 비디오 카메라의 포지션 및 배향이 결정되면, 컴퓨터는 비디오 카메라의 광학 이미지 필드를 회전하여 목표 대상 위의 알려지지 않은 포지션의 원하는 위치로 줌하도록 동작될 수 있다. 방향 벡터의 이 위치에서, (방위 축 및 고도 축을 따라 비디오 카메라의 각도를 포함할 수 있는) 비디오 카메라의 배향이 기록될 수 있다. 팬-틸트 유닛으로부터의 방위각 및 고도각, 그리고 교정 프로세스에서 결정된 카메라의 상대적인 포지션 및 배향을 사용함으로써, 관심 대상의 위치가 목표 대상의 좌표 시스템에 대해 결정될 수 있다. 관심 지점의 포지션이 (이전 데이터 획득 세션, CAD 모델 또는 다른 측정으로부터) 목표 대상의 좌표 시스템에서 알려질 수 있는 역 프로세스가 또한 수행될 수 있다. 이 상황에서, LPS(145)는 교정점들이 보이는 작업 영역의 임의의 위치(원래 데이터가 기록된 위치와는 다른 위치에 있을 수 있음)에 배치될 수 있고, 카메라 포즈 교정 단계가 수행될 수 있다. 관심 지점으로부터 카메라까지의 방향 벡터는 목표 대상의 좌표 시스템에서 계산될 수 있다. 카메라 포즈 변환 행렬의 역함수는 방향 벡터를 카메라의 좌표 시스템으로 변환하는 데 사용될 수 있다. 그 다음, 방위각 및 고도각이 계산되어, 카메라를 목표 대상의 관심 지점에 조준하도록 팬-틸트 유닛에 의해 사용될 수 있다. 일부 애플리케이션에서는, (예를 들어, 3개와 같은) 적어도 하나의 레이저 포인터가 카메라에 장착되어 방향 벡터와 정렬될 수 있다. 적어도 하나의 레이저 포인터는 비디오 시스템의 조준 또는 방향에 관해 목표 대상에 대한 시각적인 표시를 제공할 수 있다. 레이저 포인터에 의해 제공되는 이러한 조준 특징은 목표 대상 및/또는 UAV(105)의 본체 구조(115) 상의 포지션 교정점들 및 관심 지점들의 신속한 선택을 돕는데 유용할 수 있는데, 이는 목표 대상에 레이저 포인터로부터 방사되는 (도시되지 않은) 레이저 빔들의 교차가 육안으로 확인할 수 있기 때문이다. 레이저 포인터들의 사용은 또한 목표 대상 위의 위치를 보여줌으로써 (이전 수리 위치들 또는 다른 관심 지점들일 수 있는) 목표 대상의 좌표 시스템에서 점들을 다시 불러올 때 유용할 수 있다.

[0056] 일부 예들에서, UAV(105)는 무선 UAV 제어기(130)를 사용하여 그리고/또는 무선 UAV 제어기(130) 및/또는 LPS(145) 및/또는 원격 검사 스테이션(140)과 통합될 수 있는 컴퓨터 제어 엘리먼트를 사용하여 직접 수동 제어에 의해 제어될 수 있다.

[0057] 도 2를 참조하면, 본 개시의 예들에 따라 구조물들을 검사하기 위한 시스템(200)이 도시되어 있다. 시스템(200)은 도 1의 시스템(100)과 유사한데, 차이점들은 평형추(230)의 추가, 그리고 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(220), 부착 디바이스, NDI 디바이스(225) 위치의 배열이다. 이 예에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(220) 중 적어도 하나는 UAV(205)의 본체 구조(215)의 세로 축에 배열된다. 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(225)은 지지 구조(220) 및 평형추(230)의 일 단부에 통합될 수 있는데, 이는 다른 단부에 배열될 수 있는 배터리를 수 있거나 이를 포함할 수 있다.

[0058] 도 3을 참조하면, 본 개시의 예들에 따라 구조물들을 검사하기 위한 시스템(300)이 도시되어 있다. 시스템(300)은 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(325)을 지원하도록 동작 가능한 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(320)과 함께 배열된 UAV(305)를 포함하는데, NDI 디바이스들(325)은 지지 구조(320)의 한 단부에 통합될 수 있다. 시스템(300)은 도 1의 시스템(100)과 유사한데, 차이점은 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(325)이 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들(320)로부터 분리될 수 있고 본 명세서에서 설명되는 고정 메커니즘들 중 하나 이상을 사용하여 구조물(110)의 목표 위치에 물리적으로 고정될 수 있다는 것이다. 일단 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(325)이 목표 위치에 고정되면, UAV(305)는 다음에 구조(110)의 다른 목표 위치로

지시될 수 있으며, 여기서 다른 NDI 디바이스(325)는 구조물(110)에 전개될 수 있거나 조작자에게 돌아가도록 지시될 수 있다. 일부 예들에서, 일단 NDI 디바이스들(325)이 이들의 데이터 수집을 완료하면, UAV(305)는 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(325)을 회수하도록 지시될 수 있거나 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(325)이 조작자 제어를 통해 분리되거나 아니면 구조물(110)과 풀어지도록 프로그래밍되어, 구조물(110)로부터 떨어질 수 있다.

[0059] 도 1 - 도 3의 예들에서, UAV(105) 및/또는 NDI 디바이스들(125, 225, 335)은 구조물(110)과 도킹되거나 물리적으로 고정될 때 구조물에 대해 NDI 디바이스들(125, 225, 335)의 포지션 안전성을 제공하며, 이는 NDI 디바이스들이 수행될 보다 높은 공간 해상도의 손상 및 (IR 서모그래피와 같은) 시간 의존적 감지를 포착할 수 있게 한다. 포지션 안정성은 UAV(105, 205, 305)의 접촉으로 그리고/또는 구조물(110)과 접촉을 수행하는, 도 2에 도시된 부재(235)를 사용하여 달성될 수 있다.

[0060] 도 4를 참조하면, 본 개시의 예들에 따라, NDI 디바이스(405)가 UAV(105)에 의해 전개될 수 있다고 도시되어 있다. NDI 디바이스들(125, 225, 325)일 수 있는 NDI 디바이스(405)는 하나 또는 그보다 많은 접촉 기반, 비접촉 기반 또는 이 둘 모두의 감지 방식들을 검출하도록 동작 가능할 수 있는 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)을 포함한다. NDI 디바이스(405)는 UAV(105, 205, 305)에 의해 운반되도록 크기가 정해질 수 있다. 예를 들어, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 엑스선 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들을 포함할 수 있지만, 이에 한정된 것은 아니다. NDI 디바이스(405)는 또한 통신 버스(440)를 통해 모두 접속된 전원(415), 고정/분리 메커니즘(420), 트랜시버(425), 제어기(430) 및 이동 메커니즘(435)을 선택적으로 포함할 수 있다. 예를 들어, 전원(415)은 NDI 디바이스(405)의 서브시스템들 중 하나 이상에 전력을 제공할 수 있다. 일부 예들에서는, UAV(105, 205, 305)에 접속된 테더에 의해 추가 전력 또는 전체 전력이 제공될 수 있다. 선택적인 테더는 또한 시스템에 대한 안전 및 회수 메커니즘을 제공할 뿐만 아니라, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)로 그리고 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)로부터 커맨드 또는 데이터 신호들을 송신 및 수신하는 데 사용될 수 있다. 고정/분리 메커니즘(420)은 본 명세서에 개시된 하나 또는 그보다 많은 고정 메커니즘을 포함할 수 있고, NDI 디바이스(405)가 구조물(110)로부터 분리되어 부유 메커니즘을 통해 충격으로부터 보호될 수 있게 하는 분리 메커니즘을 또한 포함할 수 있다. 트랜시버(425)는 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)로부터 무선 UAV 제어기(130) 및/또는 원격 검사 스테이션(140)으로 위치 및/또는 측정 데이터를 제공하도록 구성될 수 있다. 제어기(430)는 NDI 디바이스(405)의 서브시스템들 중 하나 이상을 제어하고 그리고/또는 무선 UAV 제어기(130) 및/또는 원격 검사 스테이션(140)과 트랜시버(425)를 통해 통신하도록 명령들로 프로그래밍될 수 있다. 이동 메커니즘(435)은 본 명세서에 개시된 구조물(110)의 표면을 따라 또는 그 표면 주위로 NDI 디바이스(405)를 이동시키도록 동작 가능할 수 있다.

[0061] 도 5를 참조하면, 시스템(100, 200, 300)의 하나의 예시적인 구현의 동작들을 제시하는 방법(500)이 예시된다. 이 방법(500)은 프로세서에 의해 실행될 때 프로세서로 하여금 구조물의 NDI를 위한 방법(500)을 수행하게 하는 동작들을 저장하는 비-일시적 컴퓨터 판독 가능 저장 매체로 구현될 수 있다. 동작(505)에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들(405)을 갖는 UAV(105, 205, 305)가 구조물(110)의 목표 위치로 향하게 된다. 예를 들어, UAV(105, 205, 305)는 사전 프로그래밍된 비행 계획에 따라 UAV(105, 205, 305)를 항행하게 하고, 검사되는 구조물(110)에 대한 검사 데이터가 얻어질 수 있게 할 수 있는 온보드 시스템을 포함할 수 있으며 그리고/또는 무선 UAV 제어기(130)를 사용하여 조작자에 의해 비행 경로(135)를 따라 날아갈 수 있다. 510에서, UAV(105, 205, 305) 및/또는 엔드 이펙터, 이를테면 적어도 하나의 지지 구조(120, 220, 235, 320) 또는 매니플레이터 암이 구조물의 목표 위치에 물리적으로 고정된다. 일부 예들에서, UAV(105, 205, 305)는 NDI 검사 동안 구조물(110)에 물리적으로 고정된 상태로 유지된다. 이 예에서, 제어 신호는 NDI 검사를 수행하기 전에 UAV의 로터들을 정지시키도록 무선 UAV 제어기(130)에 의해 제공되거나 제어기(430)에 의해 제공될 수 있다. 다른 예에서, UAV(105, 205, 305)는 NDI 디바이스들(405) 중 하나 이상을 구조물(110)에 물리적으로 부착하고 전개 후에 날아갈 수 있다. 515에서, NDI 디바이스(405)는 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들(410)을 사용하여 목표 위치의 하나 또는 그보다 많은 NDI 검사를 수행했다. 520에서 UAV(105, 205, 305) 또는 엔드 이펙터가 목표 위치로부터 물리적으로 해제된다.

[0062] 추가로, 본 개시는 다음 조항들에 따른 실시예들을 포함한다:

[0063] 조항 1. 비파괴 검사("NDI") 시스템은,

- [0064] 본체 구조를 포함하는 무인 항공기("UAV") - 본체 구조는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들을 포함하며, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 각각은 해제 가능한 말단 구조를 포함함 -; 및
- [0065] 각각의 해제 가능한 말단 구조에 통합된 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 포함한다.
- [0066] 조항 2. 비파괴 검사("NDI") 시스템은,
 무인 항공기("UAV") 및 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 포함하고,
 UAV는 본체 구조를 포함하고, 본체 구조는 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 지지 하도록 구성된 하나 이상의 지지 구조들을 포함하고 - 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들은 하나 이상의 지지 구조들로부터 해제 가능함; 그리고
 NDI 시스템은 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들에 통합된 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 더 포함하고;
 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들은 검사될 구조물에 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 고정하도록 동작 가능한 장착 메커니즘을 포함한다.
- [0067] 조항 3. 조항 1 또는 조항 2의 NDI 시스템에서, UAV는 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들에 제어 신호를 제공하여 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 해제 가능한 말단 구조로부터 해제하도록 동작 가능한 해제 제어기를 포함한다.
- [0069] 조항 4. 조항 1 내지 조항 3의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나는 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식들을 감지하도록 동작 가능하다.
- [0071] 조항 5. 조항 1 내지 조항 4의 NDI 시스템은, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 전력을 제공하는 것, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 제어 신호들을 제공하는 것, 그리고 안전 및 회수 메커니즘을 제공하는 것 중 하나 이상을 수행하도록 동작 가능한 테더를 포함한다.
- [0073] 조항 6. 조항 1 내지 조항 5의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 검사될 구조물에 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 고정하도록 동작 가능한 장착 메커니즘을 포함한다.
- [0075] 조항 7. 조항 6의 NDI 시스템은, 구조물의 좌표 시스템을 사용하여 구조물에 대해 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 대한 포지션, 배향, 또는 포지션과 배향 둘 다를 결정하도록 동작 가능한 위치 추적 시스템을 더 포함한다.
- [0077] 조항 8. 조항 5 또는 조항 6의 NDI 시스템에서, 장착 메커니즘은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 그리퍼 기반 또는 접착제 기반이다.
- [0079] 조항 9. 조항 1 내지 조항 8의 NDI 시스템에서, UAV는 추적 시스템으로부터 획득되거나 원격 제어 시스템을 사용하여 제어되는 포지션 및 배향 데이터를 사용하여 업데이트되는 미리 결정된 비행 경로를 사용하여 이동하도록 동작 가능하다.
- [0081] 조항 10. 조항 3 내지 조항 9의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 감지 방식들은 접촉 기반 NDI 감지를 포함한다.
- [0083] 조항 11. 조항 1 내지 조항 10의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 엑스선 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0085] 조항 12. 조항 1 내지 조항 11의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 중 적어도 하나는 매니플레이터 암을 포함한다.
- [0087] 조항 13. 조항 12의 NDI 시스템에서, 매니플레이터 암은 그리퍼를 포함하며, 그리퍼는 검사되는 구조물에 대해 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 조작하도록 동작 가능하다.
- [0089] 조항 14. 조항 5 내지 조항 13의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 데이터 수집 중

에 검사될 구조물에 관련하여 이동된다.

- [0091] 조항 15. 조항 1 내지 조항 14의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들 중 하나는 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들로 구성되며, 하나 또는 그보다 많은 유지보수 도구들은 샌더, 드릴, 브러시, 페인트 분무기, 마커, 잉크 스탬프, 레이저 또는 타깃 애플리케이터를 포함한다.
 - [0093] 조항 16. 비파괴 검사("NDI") 시스템은,
 - [0094] 컴포넌트들을 수용하도록 구성된 하우징을 포함하며, 이 컴포넌트들은,
 - [0095] 구조물의 하나 또는 그보다 많은 특성들을 측정하도록 동작 가능한 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들;
 - [0096] 구조물에 하우징을 고정하거나 해제하도록 동작 가능한 장착 메커니즘; 및
 - [0097] 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들로부터 측정 데이터를 전송하도록 동작 가능한 트랜시버를 포함하며,
 - [0098] 하우징은 무인 항공기("UAV")에 의해 구조물의 목표 위치에 전달되도록 크기가 정해진다.
 - [0100] 조항 17. 조항 16의 NDI 시스템에서, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들은 와전류 센서들, 초음파 센서들, 음향 센서들, 기계적 임피던스 센서들, 광 센서들, 엑스선 후방 산란 센서들, 컴퓨터 단층 촬영 센서들, 표면 조도 센서들, IR 서모그래피, 마이크로파 센서들 및 테라헤르츠 센서들 중 하나 이상을 포함한다.
 - [0102] 조항 18. 조항 16 또는 조항 17의 NDI 시스템에서, 장착 메커니즘은 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접착제 기반 및 그리퍼 기반 중 하나이다.
 - [0104] 조항 19. 조항 16 내지 조항 18의 NDI 시스템은, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들에 전력을 공급하도록 동작 가능한 전원 공급 장치를 더 포함한다.
 - [0106] 조항 20. 조항 16 내지 조항 19의 NDI 시스템은, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 전력을 제공하는 것, 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나에 제어 신호들을 제공하는 것, 그리고 안전 및 회수 메커니즘을 제공하는 것 중 하나 이상을 제공하도록 동작 가능한 테더를 더 포함한다.
 - [0108] 조항 21. 조항 16 내지 조항 20의 NDI 시스템은, 하우징의 적어도 일부에 충격 보호를 제공하도록 동작 가능한 충격 보호 구조를 더 포함한다.
 - [0110] 조항 22. 조항 21의 NDI 시스템에서, 충격 보호 구조는 팽창 가능 구조 또는 부유 구조를 포함한다.
 - [0112] 조항 23. 조항 16 내지 조항 22의 NDI 시스템은, 구조물의 표면을 따라 하우징을 이동시키도록 동작 가능한 이동 메커니즘을 더 포함한다.
 - [0114] 조항 24. 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체는 명령들을 저장하며, 이 명령들은 프로세서에 의해 실행될 때 프로세서로 하여금, 구조물의 비파괴 검사("NDI")를 위한 방법을 수행하게 하고, 이 방법은,
 - [0115] 무인 항공기("UAV")를 구조물의 목표 위치로 향하게 하는 단계;
 - [0116] UAV 또는 엔드 이펙터를 목표 위치에 물리적으로 고정하는 단계;
 - [0117] 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 사용하여 목표 위치의 NDI를 수행하는 단계; 및
 - [0118] UAV 또는 엔드 이펙터를 목표 위치로부터 물리적으로 해제하는 단계를 포함한다.
- 조항 25. 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 프로그램 명령들을 포함하고, 프로그램 명령들은 컴퓨터화된 시스템의 프로세서에 의해 실행될 때, 컴퓨터화된 시스템으로 하여금 구조물의 비파괴 검사("NDI")를 위한 방법을 수행하게 하고, 이 방법은,
- 무인 항공기("UAV")를 구조물의 목표 위치로 향하게 하는 단계;
 - UAV의 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 목표 위치에 물리적으로 고정하는 단계;
 - 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들에 통합된 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들을 사용하여 목표 위치의 NDI를 수행하는 단계; 및
 - 구조물의 목표 위치 상으로 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 물리적으로 고정할 때 UAV의 하나 또는 그보다 많은 지지 구조들로부터 하나 또는 그보다 많은 NDI 디바이스들을 분리하는 단계를 포함한다.

- [0119] 삭제

- [0120] 조항 26. 조항 24 또는 조항 25의 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체에서, 이 방법은 수행하는 단계 이전에 UAV의 로터를 비활성화하기 위한 제어 신호를 제공하는 단계를 더 포함한다.

- [0122] 조항 27. 조항 24 내지 조항 26의 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체에서, 물리적으로 고정하는 단계는 자기 기반, 진공 기반, 정전기 기반, 접촉제 기반 또는 그리퍼 기반이다.

- [0124] 조항 28. 조항 24 내지 조항 27의 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체에서, 이 방법은 하나 또는 그보다 많은 NDI 센서들 중 적어도 하나를 목표 위치에 전개하는 단계를 더 포함한다.

- [0126] 조항 29. 조항 24 내지 조항 28의 비-일시적 컴퓨터 관독 가능 저장 매체에서, 이 방법은 위치 포지셔닝 시스템을 사용하여 목표 위치에 대한 포지션, 배향, 또는 포지션과 배향 둘 다를 추적하는 단계를 더 포함한다.

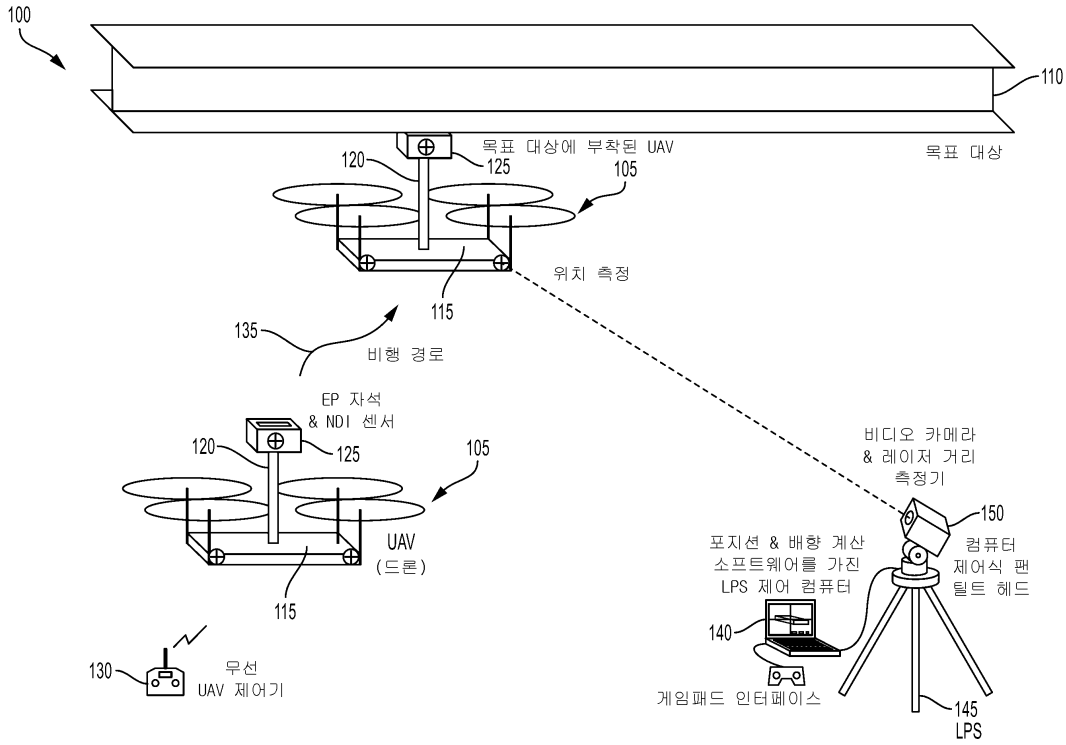
- [0128] 간단함 및 예시 목적들을 위해, 본 교시들의 원리들은 이들의 예시적인 구현들을 주로 참조함으로써 설명된다. 그러나 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 동일한 원리들이 모든 타입들의 정보 및 시스템들에 동일하게 적용될 수 있고 모든 타입들의 정보 및 시스템들로 구현될 수 있으며, 이러한 임의의 변형들은 본 교시들의 진정한 기술적 사상 및 범위를 벗어나지 않음을 쉽게 인식할 것이다. 더욱이, 상기의 상세한 설명에서는, 특정 예시적인 구현들을 예시하는 첨부 도면들에 대한 참조가 이루어진다. 본 교시들의 기술적 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 예시적인 구현들에 대해 전기적, 기계적, 논리적 그리고 구조적 변경들이 이루어질 수 있다. 따라서 상기의 상세한 설명은 제한하는 의미로 받아들여지는 것이 아니며, 본 교시들의 범위는 첨부된 청구항들 및 이들의 등가물들에 의해 정의된다.

- [0129] 본 명세서에서 사용된 용어들 및 설명들은 단지 예시에 의해 제시되며 한정들로 여겨지는 것은 아니다. 예를 들어, 방법들은 위에서부터 아래로의 방식으로 설명되었지만, 방법의 단계들은 예시된 것과는 다른 순서로 또는 동시에 수행될 수 있다. 더욱이, "포함하는," "포함한다," "갖는," "갖는다," "가진"이라는 용어들 또는 이들의 변형들이 상세한 설명 또는 청구항들에서 사용되는 정도까지, 이러한 용어들은 "포함하는"이라는 용어와 비슷한 식으로 포괄적인 것으로 의도된다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 예를 들어, A 및 B와 같은 항목들의 리스트에 대한 "~ 중 하나 또는 그보다 많은"이라는 용어는 A 단독, B 단독, 또는 A와 B를 의미한다. 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자들은 이러한 그리고 다른 변형들이 가능하다고 인식할 것이다.

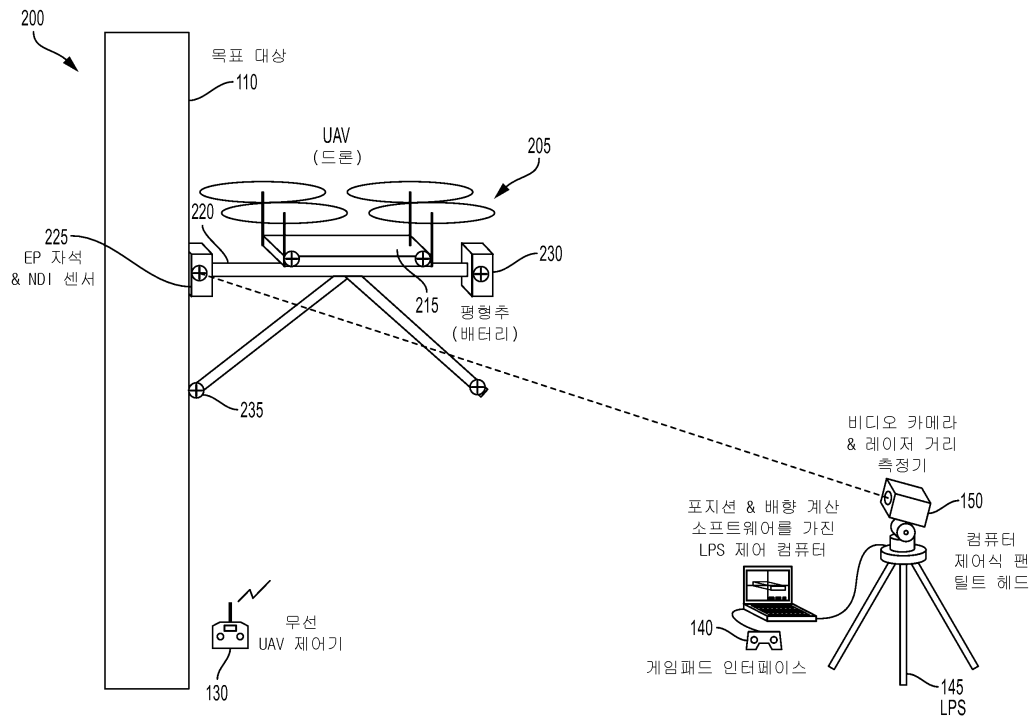
- [0130] 본 명세서에 개시된 개시의 실시 및 명세서의 고려로부터 본 교시들과 일치하는 다른 구현들이 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자들에게 명백할 것이다. 명세서 및 예들은 단지 예시로만 여겨지는 것으로 의도되며, 본 개시의 진정한 범위 및 기술적 사상은 다음의 청구항들로 표시된다.

도면

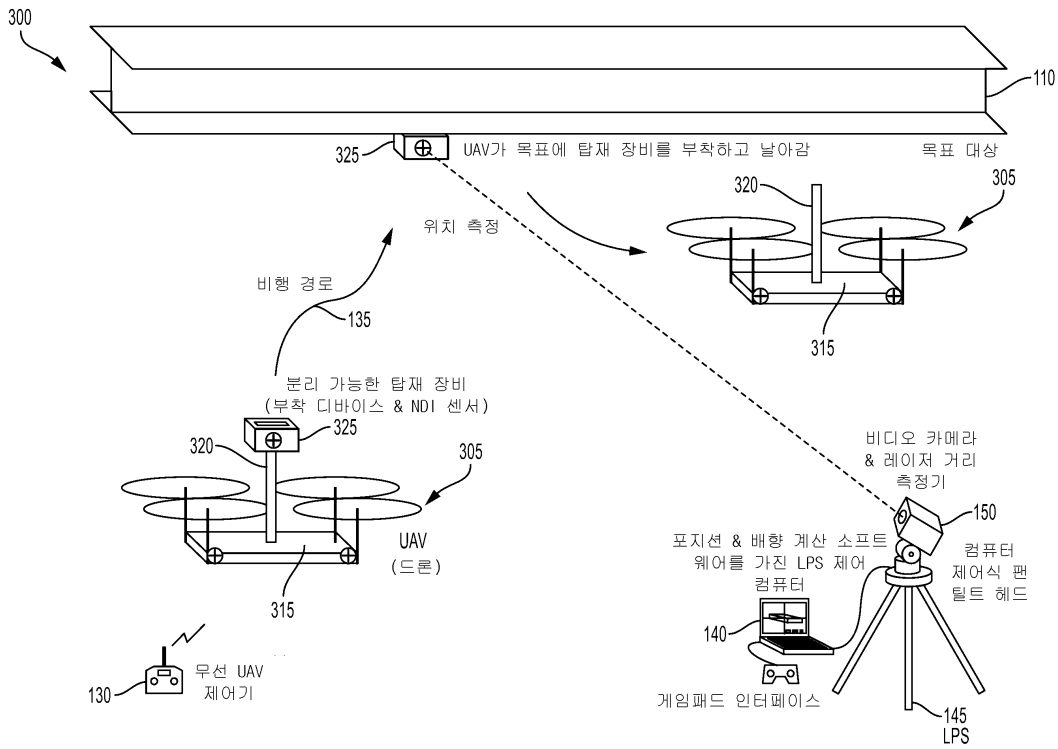
도면1



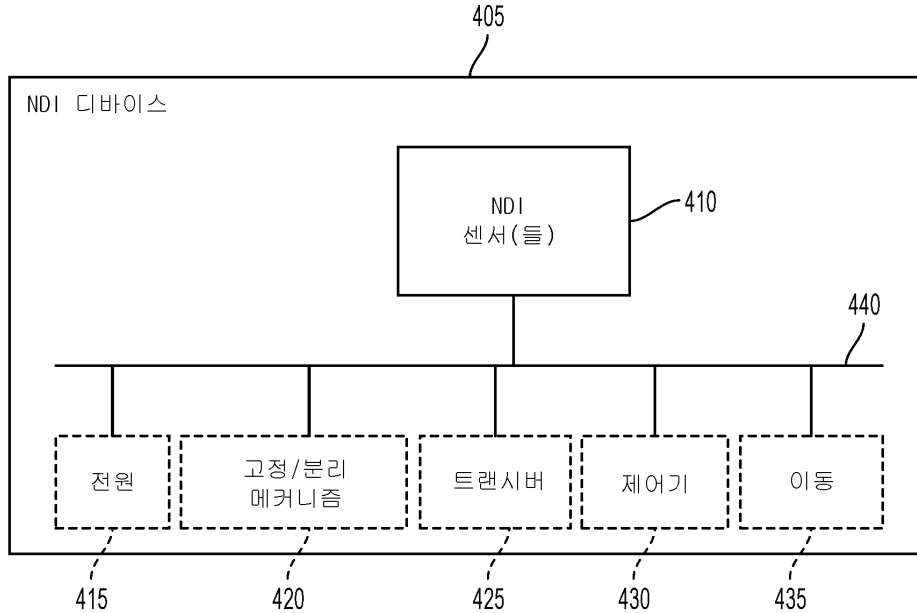
도면2



도면3



도면4



도면5

500

