(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0055261
(43) 공개일자 2024년04월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/33 (2017.01) *G06T 15/04* (2011.01)
G06T 17/20 (2006.01) *G06T 7/00* (2017.01)
G06T 7/70 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/344 (2017.01)
G06T 15/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0135334
(22) 출원일자 2022년10월20일
심사청구일자 2022년10월20일

(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
안윤규
서울특별시 광진구 능동로 209, 율곡관 708호 (군자동, 세종대학교)
배현진
서울특별시 송파구 양재대로 1218, 256동 506호 (방이동, 올림픽선수기자촌아파트)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

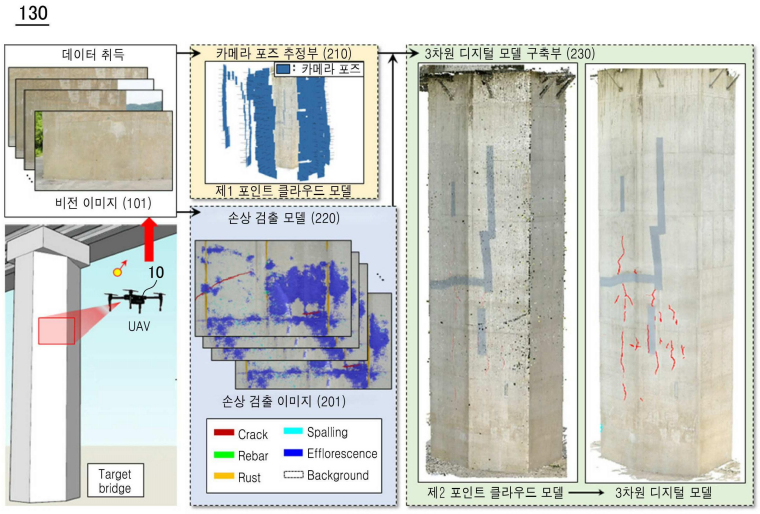
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템은 자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램이 저장된 메모리; 및 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하고, 프로세서는 프로그램의 실행에 따라, 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하고, 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하고, 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하며, 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G06T 17/20 (2013.01)
G06T 7/0004 (2013.01)
G06T 7/70 (2017.01)
G06T 2207/20081 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615012845
과제번호	160936
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	국토교통기술사업화지원
연구과제명	드론을 활용한 건축물 안전점검 및 진단을 위한 인공지능 기반의 웹 솔루션 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	주식회사 바탕색이엔지
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 있어서,

자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램이 저장된 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하고,

상기 프로세서는 상기 프로그램의 실행에 따라,

대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하고,

상기 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하고,

상기 손상 검출 이미지와 상기 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하며,

상기 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 상기 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 상기 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성하는 것인, 자동 손상 매핑 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 제2 포인트 클라우드 모델에 상기 손상 검출 이미지에 기반한 메쉬 표면 정보 및 상기 메쉬 표면 정보와 대응하는 텍스처 정보를 매핑하여 상기 3차원 디지털 모델을 구축하는 것인, 자동 손상 매핑 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 프로세서는

상기 비전 이미지에 대하여 에피폴라 기하(epipolar geometry) 알고리즘을 통해 상기 비전 카메라의 외부 변수와 내부 변수를 포함하는 상기 카메라 포즈 정보를 추정하는 것인, 자동 손상 매핑 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 손상 검출 모델은

적어도 하나 이상의 구조물 손상을 포함한 복수의 이미지와 각 이미지에 포함된 구조물 손상의 종류별로 상기 손상 검출 이미지를 매칭시킨 학습 데이터에 기반하여 구축된 모델인 것인, 자동 손상 매핑 시스템.

청구항 5

구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 의한 자동 손상 매핑 방법에 있어서,

(a) 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하는 단계;

(b) 상기 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하는 단계; 및

(c) 상기 손상 검출 이미지와 상기 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하는 단계를 포함하며,

상기 (c) 단계에서 상기 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 상기 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 상기 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성하는 것인, 자동 손상 매핑 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 (c) 단계는

상기 제2 포인트 클라우드 모델에 상기 손상 검출 이미지에 기반한 메쉬 표면 정보 및 상기 메쉬 표면 정보와 대응하는 텍스처 정보를 매핑하여 상기 3차원 디지털 모델을 구축하는 것인, 자동 손상 매핑 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 (a) 단계는

상기 비전 이미지에 대하여 에피폴라 기하(epipolar geometry) 알고리즘을 통해 상기 비전 카메라의 외부 변수와 내부 변수를 포함하는 상기 카메라 포즈 정보를 추정하는 것인, 자동 손상 매핑 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 손상 검출 모델은

적어도 하나 이상의 구조물 손상을 포함한 복수의 이미지와 각 이미지에 포함된 구조물 손상의 종류별로 상기 손상 검출 이미지를 매칭시킨 학습 데이터에 기반하여 구축된 모델인 것인, 자동 손상 매핑 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 대형 시설물의 외관 손상 평가시 기존의 방법은 인력 접근의 한계로 전체 구조물에 대한 평가가 어렵다. 이로 인해 최근에는 비전 카메라를 탑재한 드론을 통해 디지털 이미지 데이터를 취득하여 활용한다. 취득한 데이터를 대상으로 손상 평가시, 2D 이미지 데이터를 활용하여 구조물의 국소 영역에 대한 손상 평가가 가능하다. 전체 영역에 대한 손상 평가를 진행하기 위해 3D 디지털 모델을 구축하여 이를 활용한다. 이와 같이 비전 데이터 기반의 구조물 외관 손상 평가는 데이터의 종류에 따라 2가지로 분류할 수 있다.

[0003] 먼저 2D 이미지 데이터를 활용하는 방법은 비전 카메라를 탑재한 드론을 활용하여 인력이 접근하기 어려운 곳의 디지털 이미지를 취득하고, 이를 대상으로 인공지능 기반의 네트워크를 통해 손상을 자동 검출하는 방법이다. 인력 접근이 어려운 부분의 디지털 이미지 취득이 용이하다는 장점이 있으나, 드론의 접근 거리와 카메라의 촬영 각도가 제한적이며, 구조물의 곡면부에서 손상 영역에 대한 왜곡이 발생한다는 문제가 있다. 또한 취득한 데

이터는 이미지 왜곡 보정 등을 통해 매우 정밀한 국부 손상 평가는 가능하지만, 전체 영역에 대한 손상 평가 시에는 어려움이 있다. 따라서, 한 개의 손상 영역의 크기가 방대한 경우 이를 부분적으로만 평가하기 때문에 비효율적이다.

[0004] 3D 디지털 모델을 구축하는 방법은 대형 구조물에서 취득한 다량의 2D 이미지 데이터를 포토그래메트리(Photogrammetry) 알고리즘을 기반으로 구축한 3D 디지털 모델에 2D 이미지 데이터에서 검출된 손상 영역을 표면에 재투영하여 해당 영역을 평가하는 방법이다. 전체 구조물의 손상 영역에 대한 비주얼라이제이션(Visualization)으로 손상 영역을 직관적으로 쉽게 파악할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 3D 메쉬 모델 표면에 재투영된 2D 이미지의 왜곡, 3D 모델 생성시 이미지 번들 과정에서 발생하는 왜곡 등에 인한 오차가 발생하고, 이에 따라 구축된 3D 모델과 실제 구조물의 표면은 완전히 일치하지 않는다는 문제가 있다. 따라서, 구축된 3D 모델과 실제 구조물 사이의 차이로 인해 모델 표면 영역에 투영된 손상 영역을 정량적으로 평가하는 것은 정밀도와 신뢰도가 낮고, 전체 영역에 대한 3D 메쉬 모델은 용량 등의 컴퓨팅 코스트로 인해 그 활용도가 매우 제한적이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10- 2037893호(발명의 명칭: 디지털 외관조사망도 구축 시스템 및 방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템 및 방법은 드론에 탑재된 비전 카메라를 통해 대상 구조물에 대한 비전 이미지를 취득한 후 이를 토대로 구축한 제1 포인트 클라우드 모델에서 카메라 포즈를 추정하고, 취득한 비전 이미지에서 딥러닝 네트워크를 기반으로 손상이 검출된 손상 검출 이미지를 생성하고, 기추출한 카메라 포즈를 활용하여 손상 검출 결과가 매핑된 3차원 디지털 모델을 새롭게 구축하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템은 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템은 자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램이 저장된 메모리; 및 메모리에 저장된 프로그램을 실행하는 프로세서를 포함하고, 프로세서는 프로그램의 실행에 따라, 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하고, 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하고, 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하며, 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성한다.

[0008] 본 발명의 다른 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 의한 자동 손상 매핑 방법은 (a) 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하는 단계; (b) 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하는 단계; 및 (c) 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하는 단계를 포함하며, (c) 단계에서 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성한다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 따르면 대상 구조물에 대한 원본 이미지인 비전 이미지에서 추정한 카메라 포즈를 이용하여 손상 검출 결과 이미지가 반영된 3

차원 디지털 모델을 구축하기 때문에 기존의 2D 이미지 데이터로 불가능하였던 대상 구조물의 전체 영역의 손상 검출 결과를 파악할 수 있다.

[0010] 또한 기존의 3D 메쉬 모델의 텍스처 매핑과정에서 발생하는 이미지 왜곡을 해결하여, 정밀 손상 정량 평가결과의 신뢰도를 확보할 수 있고, 낮은 컴퓨팅 코스트 비용으로 인해 본 발명의 자동 손상 매핑 시스템의 활용도를 높일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템의 구성을 보여주는 도면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템의 세부 모듈을 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 4 는 본 발명의 일 실시예에 따른 카메라 포즈 추정부를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 검출 모델을 설명하기 위한 도면이다.

도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 디지털 모델 구축부를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템을 검증하기 위한 실험 구성을 도시한 도면이다.

도 8은 도 7의 실험 구성에 따른 비전 이미지와 카메라 포즈 추정을 위해 생성된 제1 포인트 클라우드 모델을 도시한 도면이다.

도 9는 도 8의 비전 이미지에 기초하여 출력된 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 추정값을 이용하여 생성된 제2 포인트 클라우드 모델을 도시한 도면이다.

도 10은 도 8의 카메라 포즈 추정값을 기반으로 도 9의 손상 검출 이미지가 매핑된 메쉬 표면 정보와 텍스처 정보가 투영된 3차원 디지털 모델을 도시한 도면이다.

도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0012] 이하에서는 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고, 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0013] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다. 또한, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0014] 본 명세서에 있어서 '부(部)'란, 하드웨어 또는 소프트웨어에 의해 실현되는 유닛(unit), 양방을 이용하여 실현되는 유닛을 포함하며, 하나의 유닛이 둘 이상의 하드웨어를 이용하여 실현되어도 되고, 둘 이상의 유닛이 하나의 하드웨어에 의해 실현되어도 된다. 한편, '~부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니며, '~부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는 그 이상의 프로세서들을 재생시키도록 구성될 수도 있다. 따라서, 일 예로서 '~부'는 소프트웨어 구성요소들, 객체지향 소프트웨어 구성요소들, 클래스 구성요소들 및 태스크 구성요소들과 같은 구성요소들과, 프로세스들, 함수들, 속성들, 프로시저들, 서브루틴들, 프로그램 코드의 세그먼트들, 드라이버들, 펌웨어, 마이크로코드, 회로, 데이터, 데이터베이스, 데이터 구조들, 테이블들, 어레이들 및 변수들을 포함한다. 구성요소들과 '~부'들 안에서 제공되는 기능은 더 작은 수

의 구성요소들 및 '~부'들로 결합되거나 추가적인 구성요소들과 '~부'들로 더 분리될 수 있다. 뿐만 아니라, 구성요소들 및 '~부'들은 디바이스 내의 하나 또는 그 이상의 CPU들을 재생시키도록 구현될 수도 있다.

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템의 구성을 보여주는 도면이다.

[0016] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템(100)은 비전 카메라(10), 통신 모듈(110), 메모리(120), 프로세서(130) 및 데이터베이스(140)를 포함한다.

[0017] 통신 모듈(110)은 통신망과 연동하여 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템(100)에 비전 카메라(10)로 촬영된 이미지를 송수신할 수 있는 통신 인터페이스를 제공하는데, 특히 비전 카메라 기기 및 관리 서버와의 데이터를 송수신하는 역할을 수행할 수 있다 여기서, 통신 모듈(110)은 다른 네트워크 장치와 유무선 연결을 통해 제어 신호 또는 데이터 신호와 같은 신호를 송수신하기 위해 필요한 하드웨어 및 소프트웨어를 포함하는 장치일 수 있다.

[0018] 예를 들어 비전 카메라(10)는 대상 구조물을 촬영하기 위해 무인체, 클라이밍 로봇, 드론 등의 부착형 무인체에 탑재되어 사용될 수 있다.

[0019] 메모리(120)는 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 제공하기 위한 프로그램이 기록된 것일 수 있다. 또한, 메모리(120)는 프로세서(130)가 처리하는 데이터를 일시적 또는 영구적으로 저장하는 기능을 수행할 수 있다. 여기서, 메모리(120)는 휘발성 저장 매체(volatile storage media) 또는 비휘발성 저장 매체(non-volatile storage media)를 포함할 수 있으나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.

[0020] 메모리(120)에는 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램이 저장된다. 이러한 메모리(120)에는 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템(100)의 구동을 위한 운영 체제나 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램의 실행 과정에서 발생되는 여러 종류가 데이터가 저장된다.

[0021] 프로세서(130)는 메모리(120)에 저장된 프로그램을 실행하되, 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 제공하는 프로그램의 실행에 따라 다음과 같은 처리를 수행한다.

[0022] 프로세서(130)는 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라(10)로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하고, 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하고, 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하며, 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성한다.

[0023] 프로그램의 실행에 따른 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 과정의 구체적인 각 단계에 대해서는 도 2 내지 도 6b를 참조하여 후술하도록 한다.

[0024] 이러한 프로세서(130)는 데이터를 처리할 수 있는 모든 종류의 장치를 포함할 수 있다. 예를 들어 프로그램 내에 포함된 코드 또는 명령으로 표현된 기능을 수행하기 위해 물리적으로 구조화된 회로를 갖는, 하드웨어에 내장된 데이터 처리 장치를 의미할 수 있다. 이와 같이 하드웨어에 내장된 데이터 처리 장치의 일 예로써, 마이크로프로세서(microprocessor), 중앙처리장치(central processing unit: CPU), 프로세서 코어(processor core), 멀티프로세서(multiprocessor), ASIC(application-specific integrated circuit), FPGA(field programmable gate array) 등의 처리 장치를 망라할 수 있으나, 본 발명의 범위가 이에 한정되는 것은 아니다.

[0025] 데이터베이스(140)는 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 수행하기 위해 공동으로 필요한 데이터를 유기적으로 결합하여 저장한 매체일 수 있다. 데이터베이스(140)는 대상 구조물의 구조물 손상과 관련된 이미지, 클라우드 포인트 및 학습 데이터가 저장된 것일 수 있다. 이러한 데이터베이스는 메모리(120)와는 별도의 구성 요소로서 포함되거나, 또는 메모리(120)의 일부 영역에 구축될 수도 있다.

[0026] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템의 세부 모듈을 설명하기 위한 블록도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0027] 도 2를 참조하면, 프로세서(130)는 메모리(120)에 저장된 프로그램의 실행에 따라 다양한 기능을 수행하는 세부 모듈을 포함할 수 있다. 세부 모듈은 카메라 포즈 추정부(210), 손상 검출 모델(220) 및 3차원 디지털 모델 구

축부(230)를 포함한다.

[0028] 도 3을 참조하면 프로세서(130)는 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라(10)로부터 획득한 비전 이미지(101)를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정할 수 있다. 예를 들어, 비전 이미지(101)는 드론(UAV)에 탑재한 비전 카메라(10)를 통해 인력이 접근하기 어려운 대상 구조물(Target bridge)의 외관 영역을 촬영하여 취득한 데이터일 수 있다.

[0029] 또한 프로세서(130)는 비전 이미지(101)를 손상 검출 모델(220)에 입력하여 손상 검출 이미지(201)를 검출하고, 손상 검출 이미지(201)와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축할 수 있다.

[0030] 이때 프로세서(130)는 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지(201)에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성할 수 있다. 또한 제2 포인트 클라우드 모델에 손상 검출 이미지(201)에 기반한 메쉬 표면 정보 및 메쉬 표면 정보와 대응하는 텍스처 정보를 매핑하여 3차원 디지털 모델을 구축할 수 있다.

[0031] 이로 인해 본 발명은 기존의 3D 메쉬 모델의 텍스처 매핑과정에서 발생하는 이미지 왜곡으로 인해 정밀 손상 검출 결과의 신뢰도가 저하되는 문제를 해결할 수 있다. 또한 대상 구조물의 전체 영역에 대한 3D 메쉬 모델을 구축하는 기존의 방법과 달리 제2 포인트 클라우드 모델의 포인트 간의 비교 결과를 활용하기 때문에 컴퓨팅 코스트 비용으로 감소시킬 수 있다.

[0032] 이하, 도 4 내지 도 6b를 참조하여 프로세서(130)의 각 모듈의 구성을 상세히 설명하고자 한다.

[0033] 도 4 는 본 발명의 일 실시예에 따른 카메라 포즈 추정부를 설명하기 위한 도면이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 손상 검출 모델을 설명하기 위한 도면이고, 도 6a 및 도 6b는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 디지털 모델 구축부를 설명하기 위한 도면이다.

[0034] 프로세서(130)는 비전 이미지(201)에 대하여 공액 기하(epipolar geometry) 알고리즘을 통해 비전 카메라(10)의 외부 변수와 내부 변수를 포함하는 카메라 포즈 정보를 추정할 수 있다.

[0035] 카메라 포즈 추정부(210)는 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라(10)의 카메라 포즈 정보를 추정할 수 있다.

[0036] 예시적으로 카메라 포즈 추정부(210)는 로우(Raw) 이미지 데이터셋인 비전 이미지(101)에 대하여 SFM(Structure from Motion) 알고리즘을 사용하여 초기 3차원 스파스(Sparse) 포인트 클라우드 모델인 제1 포인트 클라우드 모델을 생성할 수 있다.

[0037] 즉, 프로세서(130)는 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하는 과정에서 핀홀(Pinhole) 카메라 모델을 기반으로 렌즈 왜곡도를 고려하여, 카메라 보정(Camera calibration) 과정을 통해 카메라 포즈를 추정할 수 있다.

[0038] 이하 도 4를 참조하여 카메라 보정 과정을 통한 카메라 포즈의 추정 방법을 설명한다. 먼저, 카메라 포즈 추정부(210)는 취득한 이미지 데이터셋을 대상으로, 첫 번째 이미지와 두 번째 이미지에 대하여 피처를 추정하고, 이를 기반으로 두 이미지 간 피처를 매칭할 수 있다. 다음으로, 기하학적 검증(Geometric verification)을 통해 매칭 결과의 최적화를 위해, 2 개의 카메라가 동일한 공간에 있다는 가정하에 에피폴라 기하(Epipolar geometry) 알고리즘을 통해 이미지 데이터의 카메라 포즈를 산출할 수 있다.

[0039] 도 4에 도시된 것처럼, 또한 카메라 포즈 추정부(210)는 카메라 중심(C)과 추출한 대표 피처 포인트인 p를 연결하는 에피폴라(Epipolar) 평면을 생성할 수 있다. 생성된 에피폴라 평면과 이미지 평면의 교차점을 에피폴(Epipole)이라고 정의할 수 있다.

[0040] 즉 도 4에 도시된 e1과 e2가 에피폴에 해당하며 해당 에피폴과 두 카메라 중심점 c1과 c2를 모두 통과하는 에피폴라 평면의 밑변을 베이스 라인(Base line)이라고 정의한다. 또한 카메라 포즈 정보는 카메라 내부변수인 K(Camera instinct index), 외부변수인 R(Camera extinct index for rotation)과 t(camera extinct index for translation)를 포함하는 카메라 포즈값을 의미한다.

[0041] 이어서 카메라 포즈 추정부(210)는 첫 번째 이미지와 두 번째 이미지의 피처 매칭 결과 포인트에 에피폴라 조건식을 이용하여 카메라 포즈값을 구하기 위한 기본(Essential) 행렬 (E)를 구할 수 있으며, 이때 에피폴라 조건식은 수식1과 같다.

[0042] <수식1>

[0043] $$\hat{x_i}'^T E \hat{x_i} = 0$$

[0044] 수식1과 두 이미지 내 매칭된 8개의 피처 포인트(x_1, x_2, …, x_8)를 사용하면 특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)를 통해 행렬 E를 도출할 수 있고, 하기의 수식 2 내지 수식 4로부터 SVD를 사용하여 카메라 외부변수인 R과 t를 산출할 수 있다.

[0045] <수식2>

[0046] $$E = [\hat{t}] \times R$$

[0047] <수식3>

[0048] $$\hat{t} = U(\pm W)SU^T$$

[0049] <수식4>

[0050] $$R = U(\pm W^T)V^T, \quad where\ W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0051] 여기서, U와 V는 카메라 내부변수 K를 구성하는 주점(Principal point)의 좌표이고, W는 초점거리(Focal length)이고, S는 비대칭 계수 (Skew coefficient)로, 내부변수의 경우 직접 취득한 이미지 데이터를 대상으로, 카메라 보정 과정을 통해 계산되는 계수이다.

[0052] 다음으로, 카메라 포즈 추정부(210)는 카메라 포즈값이 추정되면, 두 이미지는 1 개의 번들로 등록(Register)하게 되고, 추가적으로 삼각측량(Triangulation) 알고리즘을 기반으로 3차원 공간에 생성된 피처 포인트와 이미지 내 해당 피처 간의 오차를 줄이는 과정을 통해 번들 최적화(번들 조정)를 진행할 수 있다. 다음으로, 세 번째 이미지와 네 번째 이미지를 대상으로 상기 과정을 반복하여 수행하고, 매 이미지 데이터 간의 등록 결과를 토대로 카메라 포즈값은 업데이트 될 수 있다. 마지막 이미지를 대상으로 모든 과정의 반복을 마치면, 최적화된 최종 카메라 포즈값으로 R^f와 t^f가 산출될 수 있다. 여기서 산출된 카메라 포즈값 R^f와 t^f 를 이용하여 3차원 디지털 모델을 생성하는 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 도 6a 및 도 6b를 참조하여 후술하도록 한다.

[0053] 손상 검출 모델(220)은 적어도 하나 이상의 구조물 손상을 포함한 복수의 이미지와 각 이미지에 포함된 구조물 손상의 종류별로 손상 검출 이미지를 매칭시킨 학습 데이터에 기반하여 구축될 수 있다.

[0054] 예시적으로, 손상 검출 모델(220)은 비전 이미지(201)를 DCNN(Deep convolution neural network)에 입력하여, 낮은 레벨(Low-level) 특징을 추출하고, 구조물 손상의 종류 별 생성된 특징 맵을 누적하여 제1 특징 맵을 생성하고, 제1 특징 맵과 낮은 레벨 특징을 누적하여 제2 특징 맵을 생성하고, 제2 특징 맵의 특징을 비전 이미지(201) 별 픽셀 단위의 손상 라벨로 분류할 수 있다. 또한 손상 검출 모델(220)의 학습 클래스별 손상 검출 결과로서 업샘플링 층을 통해 손상 검출 이미지(202)가 생성될 수 있다. 이때 손상 라벨은 균열(Crack), 부식(Rust), 철근노출(Rebar exposure), 박리박락(Spalling), 백화(Efflorescence), 배경(Background) 등을 포함할 수 있다.

[0055] 일 예로, 손상 검출 모델(220)은 시맨틱 분할 네트워크(Semantic segmentation network) 기반으로 구축될 수 있으며, 입력된 비전 이미지(201) 내 손상을 자동으로 검출할 수 있다. 학습 데이터는 균열, 철근노출, 박리박락, 부식, 백화 등의 5가지 이상의 손상이 포함된 총 2,947장의 이미지를 활용하였고, 총 2,991개 라벨을 어노테이션(Annotation)하여 손상 검출 모델(220)을 구축하였다. 균열의 경우, 학습능력 향상을 위해 시설물 내 조인트나 그림자 등이 네거티브 샘플로서 함께 학습될 수 있다. 또한 학습된 손상 검출 모델(220)을 활용하여 비전 이미지(201) 내의 손상을 검출하고, 검출된 손상 결과는 손상 검출 이미지(202)로서 스토리지에 저장할 수 있다.

[0056] 예시적으로, 손상 검출 모델(220)은 손상 검출능을 향상시키기 위해 다음과 같은 3 가지 프로세스를

실행하였다. 첫째 이미지 해상도에 따라 손상 검출 결과가 다른 문제를 해결하기위해 다중 해상도 이미지를 사용하였다. 둘째 균열 손상의 경우 이미지내 면적 비율이 면적형 손상에 비해 매우 국소적이므로, 이를 분리하여 2 가지 네트워크를 구축하여 학습 및 테스트한 후 검출결과를 합산하여 도출하였다. 셋째 대상 구조물은 교각이므로 이와 비슷한 테스트 이미지 데이터셋을 추가로 구축하여 각 클래스(Class) 검출시 가중치와 임계(Threshold) 값을 최적화하는 미세조정(Fine-tunning)을 진행하였다.

[0057] 예시적으로 손상 검출 모델(220)은 CNN 기반의 시맨틱 분할 네트워크인 DeepLab v3+[3]을 손상 검출에 적합하도록 전이학습을 수행하여 구축될 수 있다. 예를 들어 DeepLab v3+는 엔코더(Encoder)와 디코더(Decoder)로 구성되어 있으며, 각각 입력 이미지를 다운 샘플링하여 손상 특성을 추출하는 기능과, 업샘플링하여 픽셀의 다중 라벨(Label)을 분류하는 기능을 수행할 수 있다. 이때, 엔코더와 디코더의 컨볼루션(Convolution) 레이어(layer)로 CNN 기반의 Resnet-50 네트워크를 사용할 수 있다. DCNN(Deep convolution neural network)을 통해 생성된 인풋 이미지의 피처 맵(Map)은 ASPP(Atrous spatial pyramid pooling)를 거쳐 다양한 스케일의 필터를 통과한 결과가 누적된 형태로, 검출능 향상을 기대할 수 있다. 이후 도5에 도시된 것처럼 디코더의 3×3 Conv 레이어를 통해 엣지(Edge), 선과 같은 고주파수의 피처가 강조된 피처 맵을 토대로 해당 영역내 픽셀 단위로 라벨을 분류하여 생성된 손상 검출 결과로서, 균열 손상 검출 결과인 V_C^D 이미지와 면적형 손상 검출결과인 V_A^D 이미지의 두 가지로 손상 검출 결과가 도출될 수 있다. 이후 두 결과 이미지는 V_N^D, (N=1,2,3,…)) 이미지와 같이 합산된 후 적층 및 대상 구조물에 대한 미세 조정(Fine-tunning) 과정을 통해 최종적인 손상 검출 결과인 손상 검출 이미지(V_N^D)가 생성될 수 있다.

[0058] 프로세서(130)는 손상 검출 이미지(201)와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축할 수 있다.

[0059] 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지(201)에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성할 수 있다.

[0060] 예시적으로 도 6a를 참조하면 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 카메라 포즈 추정부(210)에서 사용된 SFM 알고리즘과 추가적인 MVS(Multi-view stereo) 알고리즘을 기반으로 손상 검출 이미지(201)에 대한 3차원 밀집(Dense) 포인트 클라우드 모델(302)인 제2 포인트 클라우드 모델을 재구축할 수 있다.

[0061] 다시 설명하면 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 먼저 3차원 스파스 포인트 클라우드 모델(301)을 구축할 시에 카메라 포즈값을 추정하는 단계에서 카메라 포즈 추정부(210)에서 추정된 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 값인 K, R^f 및 t^f를 사용하여 손상 검출 이미지(201) 내에서 추정한 피처 포인트(x)에 대한 매칭을 수행하고, 수식5에 의해 해당 3차원 공간 좌표에 포인트(X)를 생성할 수 있다.

[0062] <수식5>

[0063] $$x = K[R^f \mid t^f]X$$

[0064] 이어서 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 구축한 3차원 스파스(sparse) 포인트 클라우드 모델(301)을 대상으로 MVS 알고리즘을 통해 포인트 클라우드의 밀도가 조밀한(dense) 제2 포인트 클라우드 모델(302)을 재구성할 수 있다.

[0065] 다음으로 도 3에 도시된 것처럼 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 재구성된 제2 포인트 클라우드 모델에 손상 검출 이미지(201)에 기반한 메쉬 표면 정보 및 메쉬 표면 정보와 대응하는 텍스처 정보를 매핑하여 3차원 디지털 모델을 구축할 수 있다.

[0066] 예시적으로 도 6b를 참조하면 3차원 디지털 모델 구축부(230)는 먼저 재구성된 제2 포인트 클라우드 모델에서 영역내 포인트 벡터값에 대한 푸아송(Poisson) 알고리즘을 기초로 국소 부위의 디테일이 잘 반영된 표면 영역을 추출하여 메쉬 표면 모델을 구성할 수 있다. 이어서 해당 메쉬 표면 모델을 구성한 손상 검출 이미지(201)를 사용하여 모델 표면에 대한 텍스처 매핑시 이미지 최적화 알고리즘을 사용하여 텍스처가 투영된 3차원 디지털 모델을 재구성할 수 있다. 이때 이미지 최적화 알고리즘에 의해, 3차원 모델의 복잡한 모양과 토폴로지의 메쉬 영역에 대한 아이소메트릭(Isometric) 왜곡이 최소화될 수 있다.

[0067] 다시 말해서, 프로세서(130)는 포인트 클라우드 데이터에 기초하여 푸아송(Poisson) 또는 3D 재구성(3d reconstruct) 알고리즘을 이용하여 메쉬로 변형하여 대상 구조물에 대해 3차원 형상으로 구현할 수 있다. 즉 3차원 디지털 모델 구축부(230)가 대상 구조물에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 메쉬 형태로 변형하여 3차원 디지털 모델로 구현하는 것은 통상의 기술자가 용이하게 실시할 수 있는 것이므로 이에 대해 상세한 설명은 생략한다.

[0068] 이하 도 7 내지 도 9를 참조하여 본 발명의 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 대한 실험적 검증 결과를 설명한다.

[0069] 도 7은 본 발명의 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템을 검증하기 위한 실험 구성을 도시한 도면이고, 도 8은 도 7의 실험 구성에 따른 비전 이미지와 카메라 포즈 추정을 위해 생성된 제1 포인트 클라우드 모델을 도시한 도면이고, 도 9는 도 8의 비전 이미지에 기초하여 출력된 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 추정값을 이용하여 생성된 제2 포인트 클라우드 모델을 도시한 도면이고, 도 10은 도 8의 카메라 포즈 추정값을 기반으로 도 9의 손상 검출 이미지가 매핑된 메쉬 표면 정보와 텍스처 정보가 투영된 3차원 디지털 모델을 도시한 도면이다.

[0070] 도 7을 참조하면 실험적 검증을 위해 강릉에 있는 등선교를 테스트베드로 활용하여 실험을 수행하였다. 비전 카메라가 탑재된 DJI Inspire 2 드론을 통해 30 fps로 약 15분간 이미지를 취득하였으며, 취득된 이미지 데이터셋은 총 471 장으로, 각 이미지의 해상도는 6,016 × 3,376 이다. 비전 카메라의 초점거리(Focal length)와 이미지 센서 사이즈는 각각 50 ㎜와 23.5 ㎜ × 15.7 ㎜에 해당한다. 데이터 취득시 드론의 비행경로(Flight path)는 도 7에 도시된 것처럼 6 각형 형태의 교각의 둘레를 원을 그리고 나선(Spiral) 형태를 유지하며 교각 하부에서 상향 이동하였다. 취득한 이미지 데이터셋의 촬영 거리는 최소 2.8 m에서 최대 8 m 이다.

[0071] 도 8(a)는 드론에 장착된 비전 카메라의 스캐닝을 통해 취득한 로우 이미지인 비전 이미지를 나타내고, 도 8(b)는 로우 이미지에 대한 카메라 포즈값을 취득하기 위해 구축한 초기 스파스(Sparse) 포인트 클라우드 모델을 도시한 것이다.

[0072] 도 9는 취득한 비전 이미지를 입력하여 손상 검출 모델(220)을 통해 검출한 손상 검출 이미지(201)의 손상 중 균열, 박리박락, 철근 노출에 대한 대표 영역을 예시로 지정하고, 이에 대한 각각의 검출 결과를 도시한 것이다.

[0073] 도 10(a) 내지 도 10(d)는 도 9(a) 내지 도 9(d)에 도시된 대표 손상 영역에 대한 손상 검출 이미지(201)의 매핑 결과를 도시한 것이고, 도 10(e)는 손상이 검출된 손상 검출 이미지(201)를 대상으로 도8(b)를 통해 추정한 카메라 포즈값을 활용하여 손상 영역이 매핑된 메쉬 모델을 재구축하여 생성한 3차원 디지털 모델을 도시한 것이다.

[0074] 이하에서는 상술한 도 1 내지 도 10에 도시된 구성 중 동일한 기능을 수행하는 구성의 경우 설명을 생략하기로 한다.

[0075] 도 11은 본 발명의 다른 실시예에 따른 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 방법을 설명하기 위한 순서도이다.

[0076] 도 11을 참조하면, 본 발명의 구조물의 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템에 의한 자동 손상 매핑 방법은 대상 구조물을 촬영하는 드론에 장착된 비전 카메라로부터 획득한 비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정하는 단계(S110), 비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출하는 단계(S120) 및 손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축하는 단계(S130)를 포함하며, S130 단계에서 3차원 디지털 모델을 구축할 시에 제1 포인트 클라우드 모델의 카메라 포즈 정보를 이용하여 손상 검출 이미지에 대한 제2 포인트 클라우드 모델을 재구성한다.

[0077] S110 단계는 비전 이미지에 대하여 에피폴라 기하(epipolar geometry) 알고리즘을 통해 비전 카메라의 외부 변수와 내부 변수를 포함하는 카메라 포즈 정보를 추정할 수 있다.

[0078] S130 단계는 제2 포인트 클라우드 모델에 손상 검출 이미지에 기반한 메쉬 표면 정보 및 메쉬 표면 정보와 대응하는 텍스처 정보를 매핑하여 3차원 디지털 모델을 구축할 수 있다.

[0079] 이상에서 설명한 방법은 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 모듈과 같은 컴퓨터에 의해 실행가능한 명령어를 포함하는 기록 매체의 형태로도 구현될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의

의 가용 매체일 수 있고, 휘발성 및 비휘발성 매체, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다. 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터 저장 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 저장 매체는 컴퓨터 판독가능 명령어, 데이터 구조, 프로그램 모듈 또는 기타 데이터와 같은 정보의 저장을 위한 임의의 방법 또는 기술로 구현된 휘발성 및 비휘발성, 분리형 및 비분리형 매체를 모두 포함한다.

[0080] 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 상술한 설명을 기초로 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 쉽게 변형이 가능하다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해되어야만 한다. 본 발명의 범위는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

[0081] 10: 비전 카메라

100: 3차원 디지털 모델 재건을 통한 자동 손상 매핑 시스템

110: 통신 모듈

120: 메모리

130: 프로세서

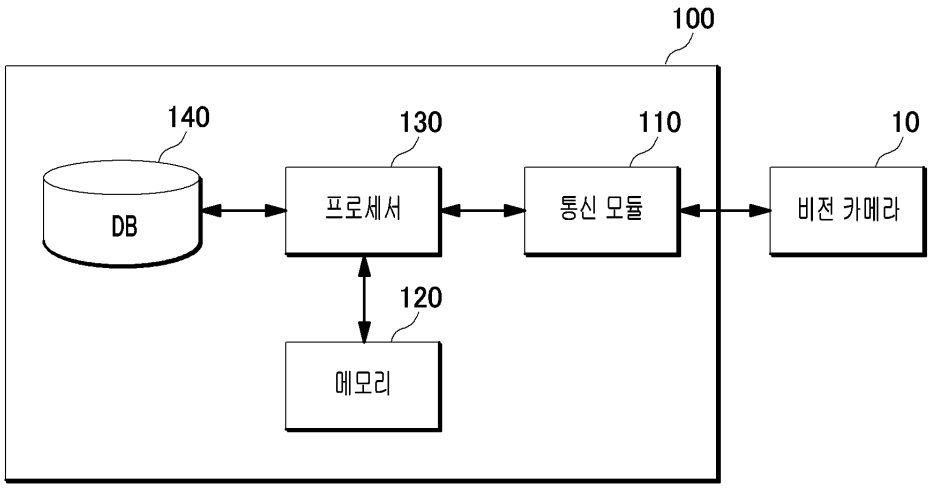
210: 카메라 포즈 추정부

220: 손상 검출 모델

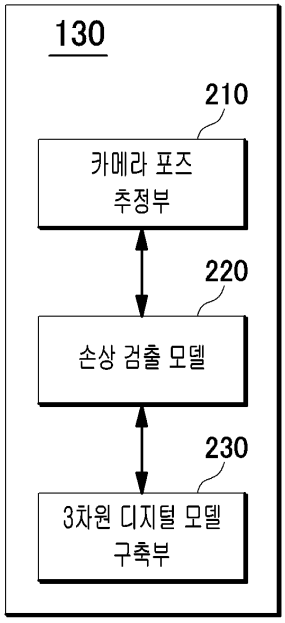
230: 3차원 디지털 모델 구축부

도면

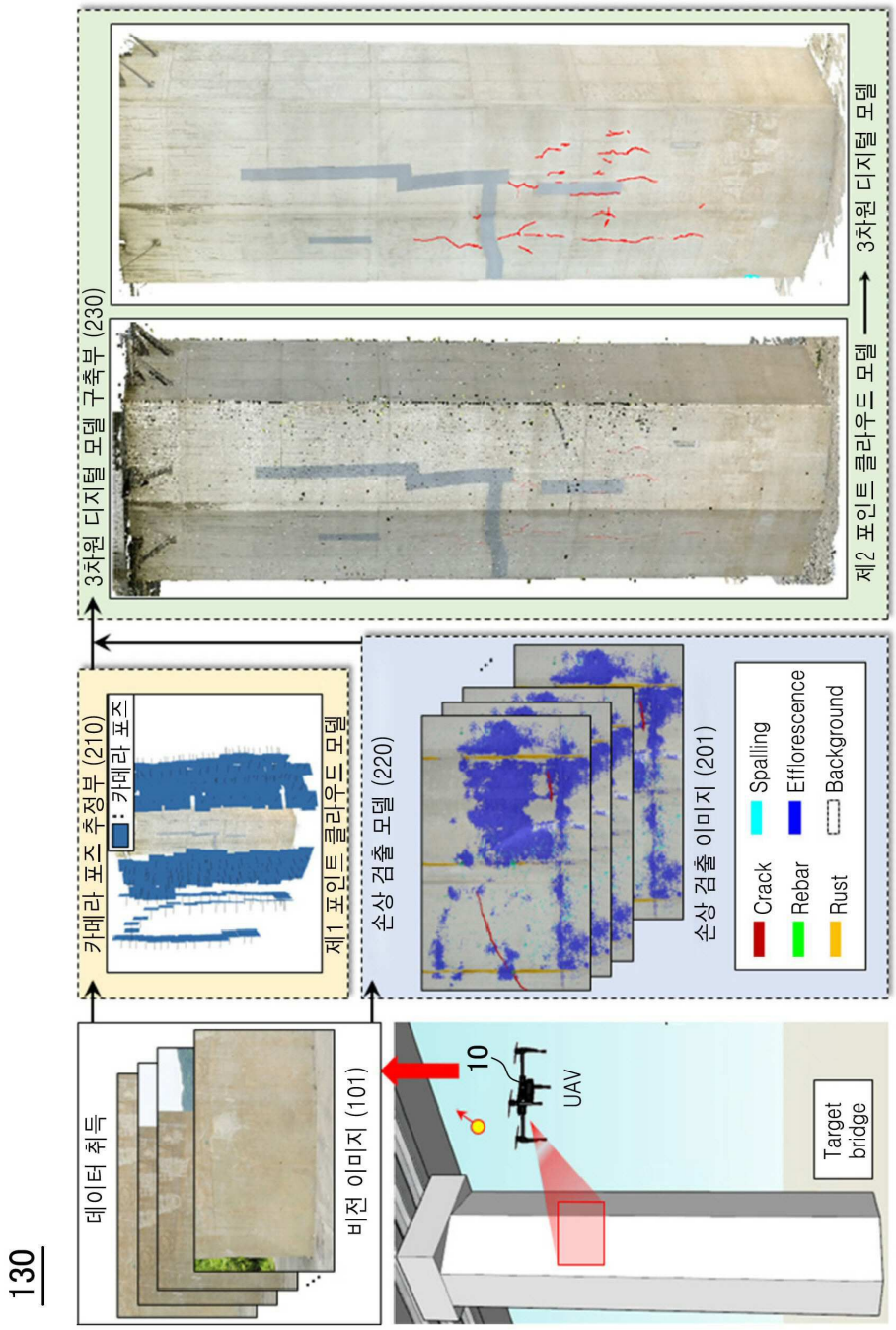
도면1



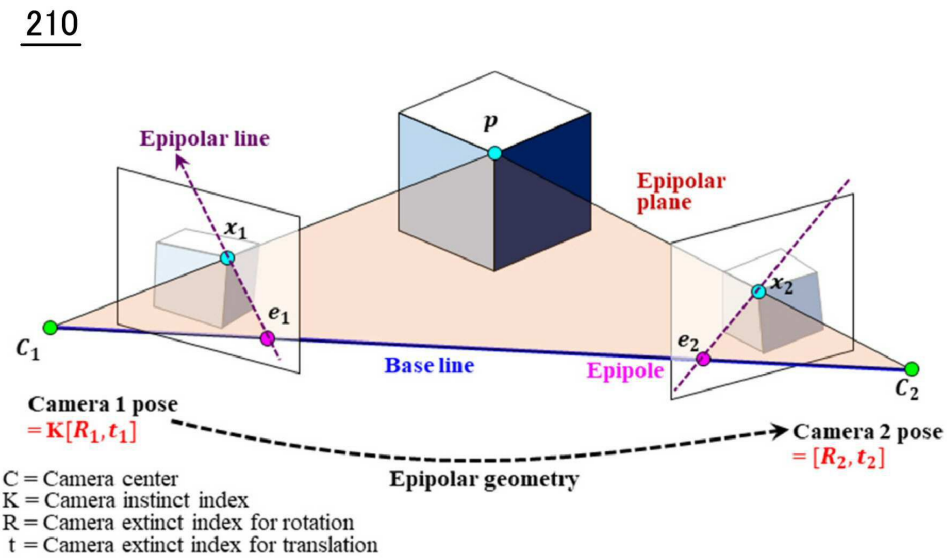
도면2



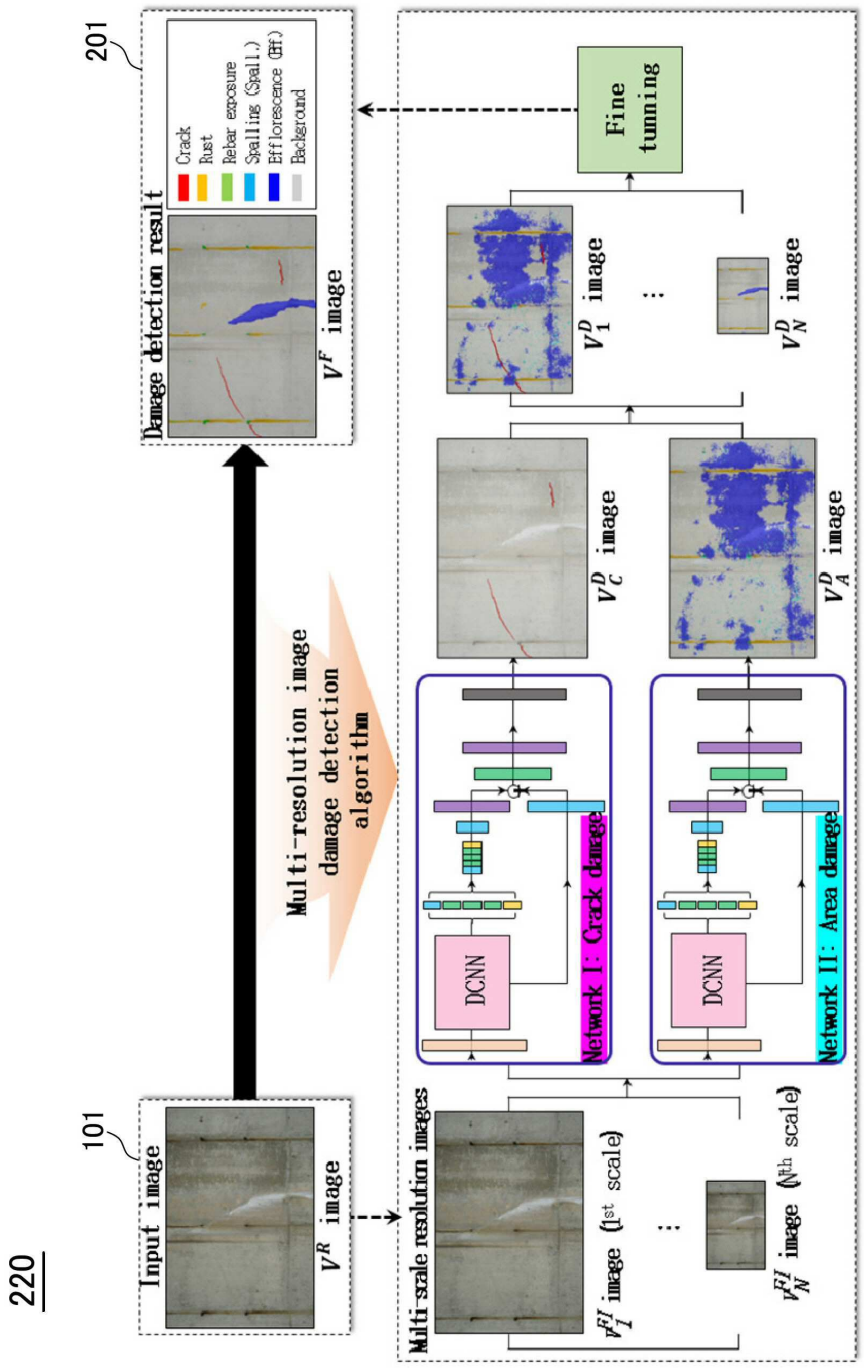
도면3


130
데이터 취득
비전 이미지 (101)
10
UAV
Target bridge
카메라 포즈 추정부 (210)
: 카메라 포즈
제1 포인트 클라우드 모델
손상 검출 모델 (220)
손상 검출 이미지 (201)
Crack
Spalling
Rebar
Efflorescence
Rust
Background
3차원 디지털 모델 구축부 (230)
제2 포인트 클라우드 모델
3차원 디지털 모델

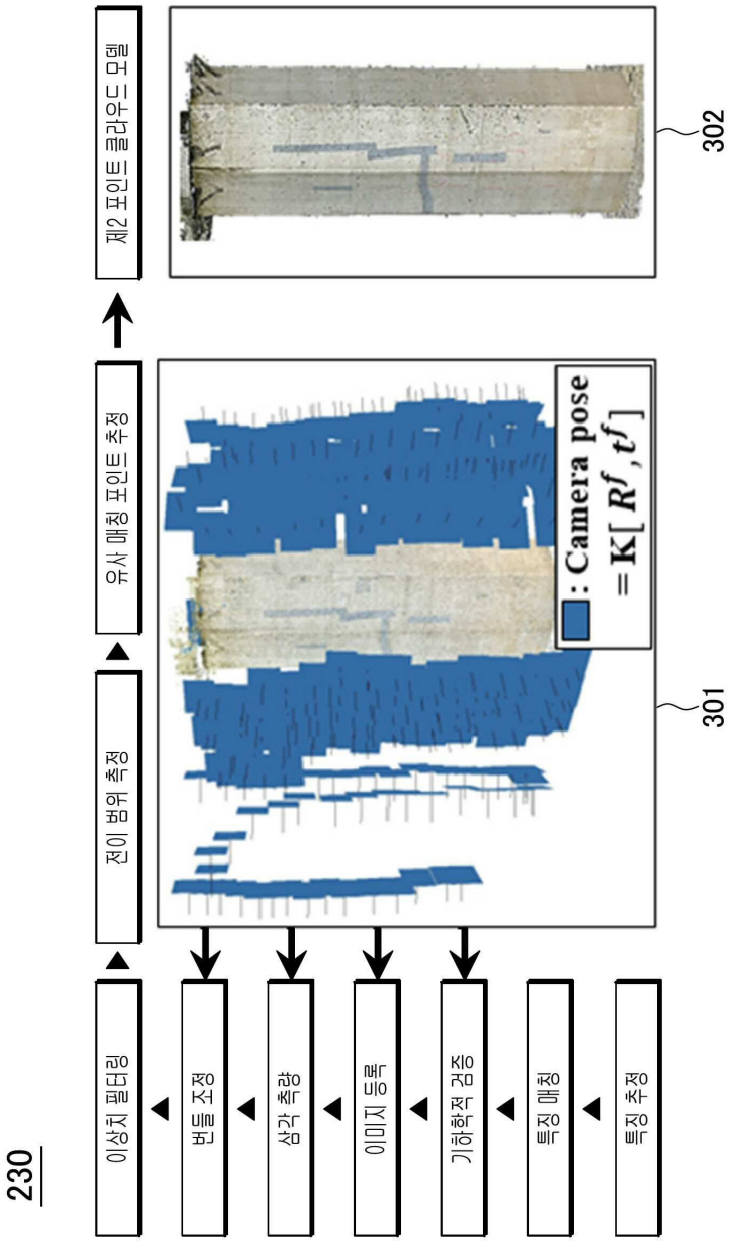
도면4


210
Epipolar line
p
Epipolar plane
x_1
x_2
e_1
e_2
C_1
Base line
Epipole
C_2
Camera 1 pose
$=K[R_1,t_1]$
Camera 2 pose
$=[R_2,t_2]$
Epipolar geometry
C = Camera center
K = Camera instinct index
R = Camera extinct index for rotation
t = Camera extinct index for translation

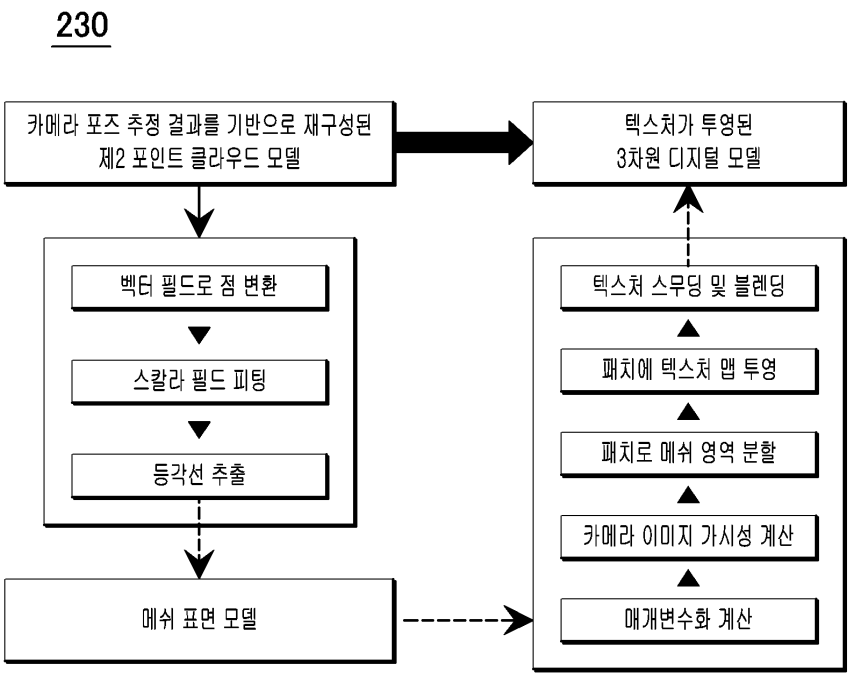
도면5


220
101
Input image
V^R image
Multi-resolution image damage detection algorithm
Multi-scale resolution images
V_1^{FI} image (1st scale)
V_N^{FI} image (Nth scale)
DCNN
Network I: Crack damage
DCNN
Network II: Area damage
V_C^D image
V_A^D image
V_1^D image
V_N^D image
Fine tunning
201
Damage detection result
Crack
Rust
Rebar exposure
Spalling (Spall.)
Efflorescence (Eff.)
Background
V^F image

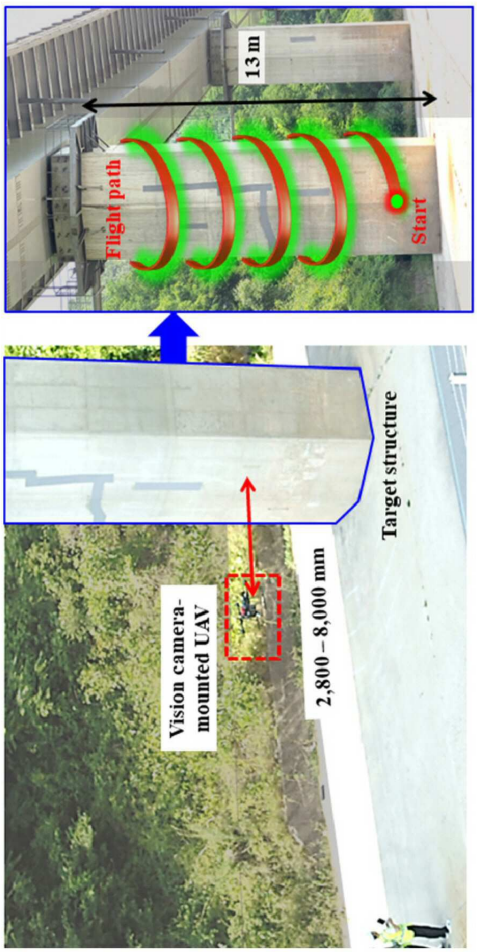
도면6a


230
이상치 필터링
번들 조정
삼각 측량
이미지 등록
기하학적 검증
특징 매칭
특징 추정
전이 범위 측정
유사 매칭 포인트 추정
제2 포인트 클라우드 모델
: Camera pose
= K[Rf , tf]
301
302

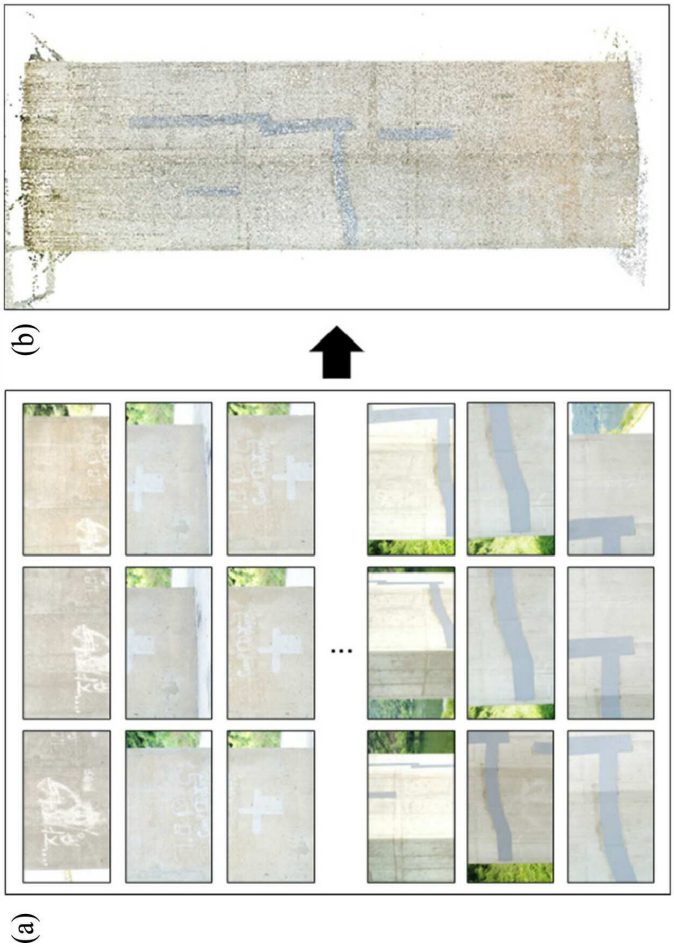
도면6b


230
카메라 포즈 추정 결과를 기반으로 재구성된
제2 포인트 클라우드 모델
텍스쳐가 투영된
3차원 디지털 모델
벡터 필드로 점 변환
스칼라 필드 피팅
등각선 추출
메쉬 표면 모델
텍스쳐 스무딩 및 블렌딩
패치에 텍스쳐 맵 투영
패치로 메쉬 영역 분할
카메라 이미지 가시성 계산
매개변수화 계산

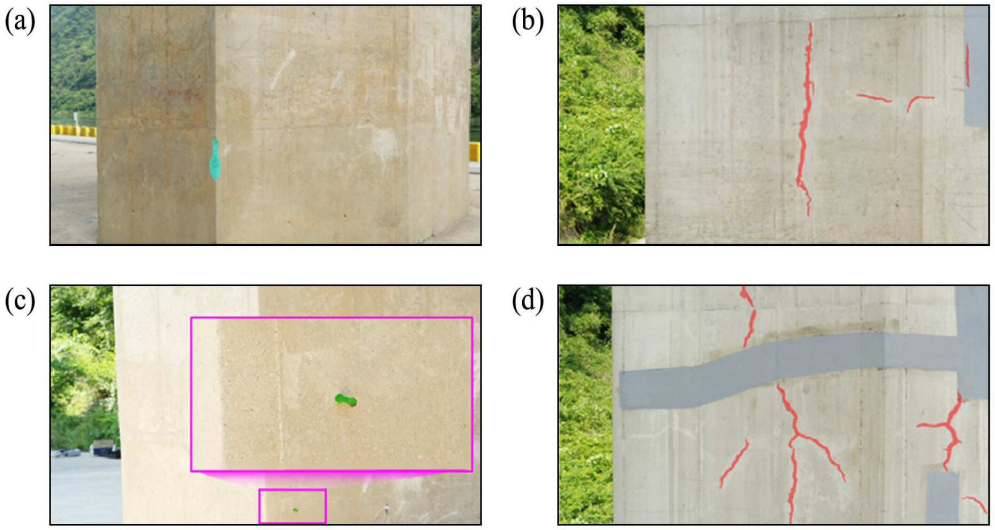
도면7


13 m
Flight path
Start
Target structure
2,800 – 8,000 mm
Vision camera-mounted UAV

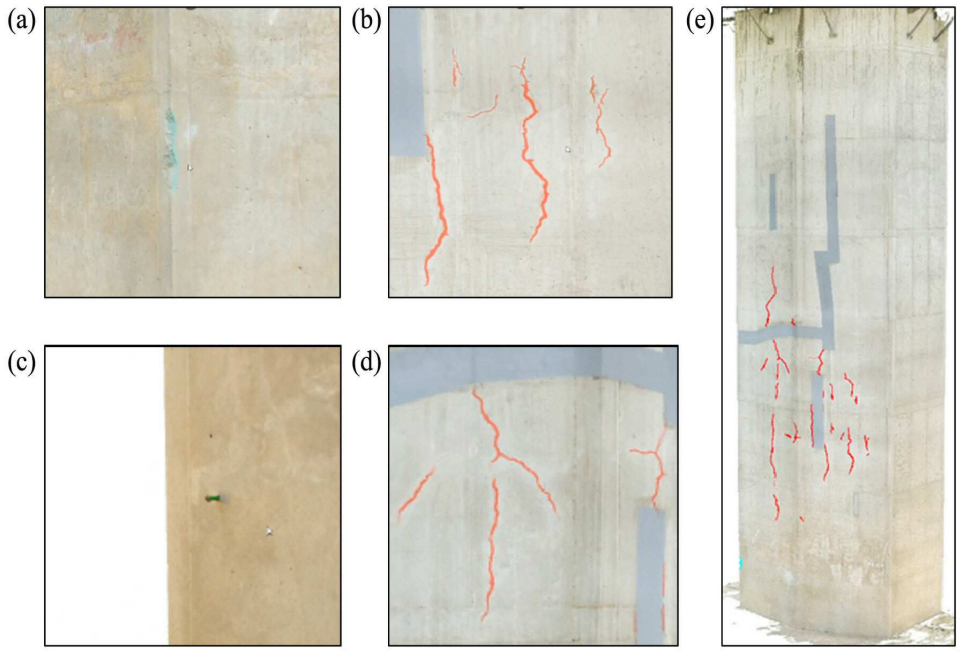
도면8



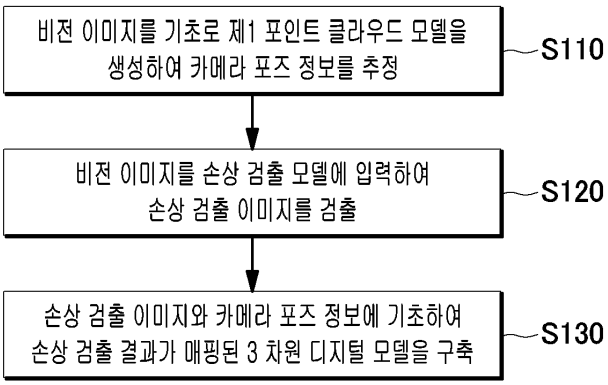
도면9



도면10


(a)
(b)
(e)
(c)
(d)

도면11


비전 이미지를 기초로 제1 포인트 클라우드 모델을 생성하여 카메라 포즈 정보를 추정
S110
비전 이미지를 손상 검출 모델에 입력하여 손상 검출 이미지를 검출
S120
손상 검출 이미지와 카메라 포즈 정보에 기초하여 손상 검출 결과가 매핑된 3 차원 디지털 모델을 구축
S130