



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0094460
(43) 공개일자 2022년07월06일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 7/521 (2017.01) G01B 11/24 (2006.01)
G06F 17/17 (2006.01) G06F 3/06 (2006.01)
G06T 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G06T 7/521 (2017.01)
G01B 11/24 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0185694
(22) 출원일자 2020년12월29일
심사청구일자 2020년12월29일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
문두환
세종특별자치시 도움3로 75, 1101동 503호 (중촌동, 가재마을11단지)
김영기
대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
(74) 대리인
백두진, 김정연, 권성현, 유광철, 강일신

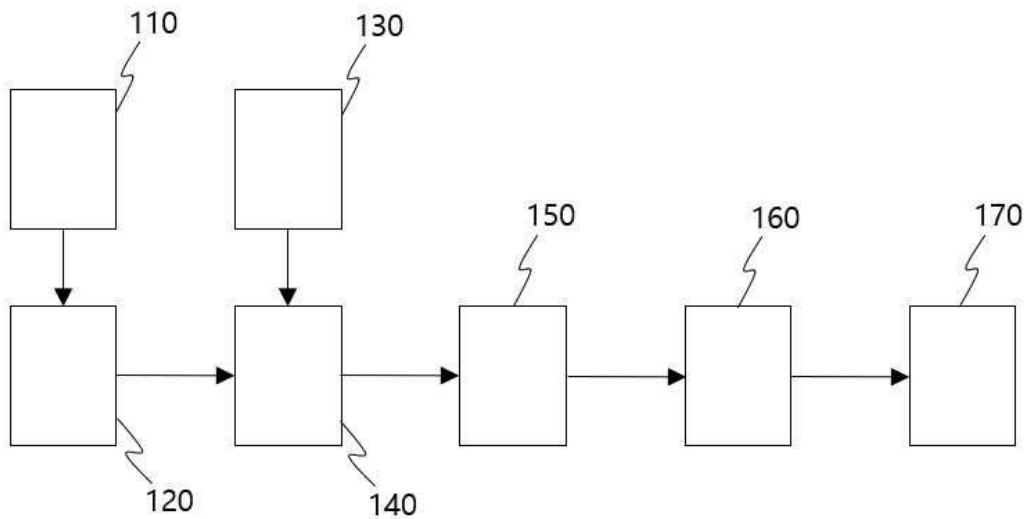
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 파손 볼륨 계산 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 계산 장치는 물체의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출하는 추출부; 상기 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성하는 이미지부; 상기 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산하는 볼륨부;를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06F 17/175 (2013.01)

G06F 3/0653 (2013.01)

G06T 1/0007 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

물체의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출하는 추출부;

상기 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성하는 이미지부; 및

상기 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산하는 볼륨부;

를 포함하는 계산 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 파손 영역의 표면이 스무싱(smoothing) 처리되면 상기 물체를 3차원 스캐닝하는 스캐닝부가 마련되고,

상기 추출부는 상기 스캐닝부의 스캐닝 결과를 이용해서 상기 부분 점군을 추출하는 계산 장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 물체를 3차원 스캐닝하는 스캐닝부, 상기 스캐닝부의 스캐닝 결과를 이용해서 상기 물체의 전체 점군을 획득하는 획득부, 상기 물체의 3차원 설계 모델에 해당하는 메쉬 모델로부터 포인트를 샘플링하는 샘플링부, 상기 포인트와 상기 전체 점군을 정합하는 정합부가 마련되고,

상기 추출부는 상기 정합이 완료된 전체 점군과 상기 메쉬 모델에서 상기 부분 점군을 필터링하며,

상기 부분 점군은 상기 전체 점군에서 추출된 파손 부위에 해당하는 제1 점들과 상기 메쉬 모델에서 추출된 파손 영역에 대응되는 제2 점들로 이루어지는 계산 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 물체의 3차원 스캐닝 결과를 이용해서 상기 물체의 전체 점군을 획득하는 획득부가 마련되고,

상기 추출부는 상기 전체 점군의 각 점과 상기 물체의 3차원 설계 모델을 구성하는 다각형들 간의 최단 거리를 계산하며,

상기 추출부는 상기 최단 거리가 설정값보다 작은 정상 점을 제거하고,

상기 추출부는 상기 정상 점이 제거되고 남은 제1 점을 이용해서 상기 부분 점군을 추출하는 계산 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 추출부는 상기 3차원 설계 모델을 구성하는 각 다각형의 중심점을 중심으로 하는 가상의 구를 생성하고, 상기 구 안에 존재하는 상기 점에 대해서만 상기 최단 거리를 계산하는 계산 장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 추출부는 상기 제1 점을 상기 3차원 설계 모델에 최소 거리를 가지도록 투영하고, 투영된 제2 점을 포함하는 메쉬 세그먼트(mesh segment)와 상기 제1 점의 집합을 하나로 병합하여 상기 부분 점군을 획득하는 계산 장

치.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 볼륨부는 복수의 상기 단면 이미지의 픽셀을 이용하여 설정 개수의 정점을 갖는 복셀(voxel)을 생성하고,

상기 볼륨부는 상기 복셀 내에서 상기 설정 개수의 상기 정점 중에서 특정 정점의 값이 다르면, 상기 특정 정점을 포함하는 복수의 변의 중점에 보간 포인트를 생성하며,

상기 볼륨부는 상기 보간 포인트를 이어 상기 마칭 큐브 알고리즘의 결과물에 해당하는 메쉬(mesh)를 생성하는 계산 장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 이미지부는 상기 부분 점군을 포함하는 바운딩 박스를 생성하고,

상기 이미지부는 생성할 이미지의 개수만큼 상기 바운딩 박스의 내부 공간을 균등하게 분할하며,

상기 이미지부는 상기 부분 점군의 점들을 분할된 공간의 중립면에 투영하고,

상기 이미지부는 상기 중립면에 투영된 점들을 이용하여 상기 단면 이미지를 생성하는 계산 장치.

청구항 9

계산 장치에 의해 수행되는 계산 방법에 있어서,

부분적으로 파손된 물체의 전체 점군 대신 파손 영역에 해당하는 부분 점군을 추출한 후 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 이용하여 상기 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 계산하는 계산 방법.

청구항 10

계산 장치에 의해 수행되는 계산 방법에 있어서,

파손 영역을 갖는 물체를 3차원 스캐닝하는 스캔 단계;

상기 스캐닝 결과를 이용해서 상기 물체의 전체 점군을 획득하는 획득 단계;

상기 물체의 3차원 설계 모델에 해당하는 메쉬 모델로부터 포인트를 샘플링하는 샘플링 단계;

상기 포인트와 상기 전체 점군을 정합하는 정합 단계;

정합이 완료된 전체 점군과 메쉬 모델에서 상기 물체의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출하는 추출 단계;

상기 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성하는 생성 단계;

상기 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산하는 계산 단계;

를 포함하는 계산 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 파손 볼륨 계산 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] AM(additive manufacturing) 기술은 CAD(computer-aided design) 시스템에서 생성된 디지털 모델만 있으면 제품의 제작이 가능한 장점이 있어서 제품의 제작뿐만 아니라 제품의 유지보수에도 활용이 가능하다.

[0003] AM을 이용하여 부분적으로 파손된 부품을 유지보수 하려면, 3D 프린터의 공구 경로 등의 생성을 위해서 파손 영

역에 대한 델타 볼륨 계산이 필요하다.

- [0004] 한국등록특허공보 제0461789호에는 선반에서의 회전체의 절삭 가공을 위하여, CAD 데이터를 입력하고, 상기 CAD 데이터 및 절삭 공구 정보에 기반한 델타 볼륨 분해를 수행하여 절삭될 형상을 인식하는 기술이 나타나 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제0461789호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 레이저 스캐너를 이용하여 수집한 부분 파손 모델의 전체 점군(point cloud of partially damaged part: PCPDP)과 3D 설계 모델을 이용하여 파손 영역의 델타 볼륨을 계산하고 생성하는 계산 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

- [0007] 한편, 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 계산 장치는 물체의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출하는 추출부; 상기 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성하는 이미지부; 상기 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산하는 볼륨부;를 포함할 수 있다.

- [0009] 본 발명의 계산 방법은 부분적으로 파손된 물체의 전체 점군 대신 파손 영역에 해당하는 부분 점군을 추출한 후 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 이용하여 상기 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 계산할 수 있다.

- [0010] 본 발명의 계산 방법은 파손 영역을 갖는 물체를 3차원 스캐닝하는 스캔 단계; 상기 스캐닝 결과를 이용해서 상기 물체의 전체 점군을 획득하는 획득 단계; 상기 물체의 3차원 설계 모델에 해당하는 메쉬 모델로부터 포인트를 샘플링하는 샘플링 단계; 상기 포인트와 상기 전체 점군을 정합하는 정합 단계; 정합이 완료된 전체 점군과 메쉬 모델에서 상기 물체의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출하는 추출 단계; 상기 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성하는 생성 단계; 상기 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산하는 계산 단계;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0011] 본 발명에 따르면, 비교 실시예의 포이송 서피스 리컨스트럭션(Poisson surface reconstruction) 방법과 비교할 때 점군(point cloud)에 포함된 노이즈(outlier)나 점들의 편차에 상관없이 강건하게 형상 오류가 적은 델타 볼륨이 생성될 수 있다. 따라서, 본 발명의 계산 장치 및 계산 방법에 의하면, 3D 프린터 등을 이용해서 파손 부품의 파손 부위를 메울 수 있는 보강품 등을 현실적으로 성형할 수 있는 환경이 마련될 수 있다.

- [0012] 한편, 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 계산 장치를 나타낸 개략도이다.
 도 2는 본 발명의 계산 방법을 나타낸 흐름도이다.
 도 3은 부분 점군을 추출하는 방법을 나타낸 흐름도이다.

도 4는 단면 이미지를 생성하는 과정을 나타낸 흐름도이다.

도 5는 샘플링부의 동작을 나타낸 개략도이다.

도 6은 정합부의 동작을 나타낸 개략도이다.

도 7은 추출부의 동작을 나타낸 개략도이다.

도 8은 추출부에 의해 수행되는 부분 점군의 추출 과정을 나타낸 개략도이다.

도 9는 BMP 이미지를 그리기 위한 부분 점군의 처리 과정을 나타낸 개략도이다.

도 10은 이미지 평면을 나타낸 개략도이다.

도 11은 이미지부에 의해 생성된 단면 이미지를 나타낸 개략도이다.

도 12는 마칭 큐브 알고리즘을 이용해서 삼각형 메쉬를 생성하는 과정을 나타낸 개략도이다.

도 13은 마칭 큐브 알고리즘을 통해 생성할 수 있는 삼각형 메쉬의 타입을 나타낸 개략도이다.

도 14는 테스트 모델을 나타낸 개략도이다.

도 15는 테스트 모델을 이용해서 계산된 델타 볼륨을 나타낸 개략도이다.

도 16은 포이송 서피스 리컨스트럭션 방법과 본 발명의 계산 방법에 의해 생성된 델타 볼륨을 나타낸 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 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.
- [0015] 본 명세서에서, 동일한 구성요소에 대해서 중복된 설명은 생략한다.
- [0016] 또한 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결되어' 있다거나 '접속되어' 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에 본 명세서에서, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '직접 연결되어' 있다거나 '직접 접속되어' 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0017] 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용되는 것으로써, 본 발명을 한정하려는 의도로 사용되는 것이 아니다.
- [0018] 또한 본 명세서에서, 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다.
- [0019] 또한 본 명세서에서, '포함하다' 또는 '가지다' 등의 용어는 명세서에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품, 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것일 뿐, 하나 또는 그 이상의 다른 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0020] 또한 본 명세서에서, '및/또는'이라는 용어는 복수의 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다. 본 명세서에서, 'A 또는 B'는, 'A', 'B', 또는 'A와 B 모두'를 포함할 수 있다.
- [0021] 또한 본 명세서에서, 본 발명의 요지를 흐리게 할 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 상세한 설명은 생략될 것이다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 계산 장치를 나타낸 개략도이다.
- [0023] 물체의 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 얻는 일반적인 방법은 파손된 부품을 레이저 스캐닝하여 점군(point cloud)을 얻은 후 메쉬(mesh) 모델로 재생성하고 원본 부품의 메쉬(mesh) 모델과 불리언 연산하는 것이다. 그러나, 레이저 스캐닝을 통해 얻은 파손 부품에 대한 점군의 경우 노이즈(outlier)와 스캐너의 정밀도의 한계로 인

해서 본질적으로 발생하는 점들의 편차로 인해, 이 점군으로부터 메쉬 모델이 원활하게 생성되지 않는 문제점이 있다.

- [0024] 본 발명의 계산 장치 및 계산 방법은 부분적으로 파손된 부품의 전체 점군이 아닌 파손 영역에 해당하는 부분 점군을 추출한 후 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 활용하여 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 강건하게 생성할 수 있다.
- [0025] 각종 노이즈 등에 강건한 델타 볼륨을 계산 및 생성하기 위해, 도 1에 도시된 계산 장치는 스캐닝부(110), 획득부(120), 샘플링부(130), 정합부(140), 추출부(150), 이미지부(160), 볼륨부(170)를 포함할 수 있다.
- [0026] 본 발명은 AM(additive manufacturing)을 활용하여 각종 물품을 유지보수하는데 필요한 파손 영역의 델타 볼륨을 계산 및 생성할 수 있다.
- [0027] 도 2는 본 발명의 계산 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0028] 도 2에 도시된 계산 방법은 도 1에 도시된 계산 장치에 의해 수행될 수 있다. 계산 방법의 각 단계는 계산 장치를 구성하는 스캐닝부(110), 획득부(120), 샘플링부(130), 정합부(140), 추출부(150), 이미지부(160), 볼륨부(170)의 동작으로 설명될 수 있다.
- [0029] 본 발명의 계산 방법은 스캔 단계(S 510), 획득 단계(S 520), 샘플링 단계(S 530), 정합 단계(S 540), 추출 단계(S 550), 생성 단계(S 560), 계산 단계(S 570)를 포함할 수 있다.
- [0030] 스캔 단계(S 510)에서 스캐닝부(110)는 파손 영역을 갖는 물체(10)를 3차원 스캐닝할 수 있다. 스캐닝부(110)는 파손 영역의 표면이 스무싱(smoothing) 처리되면(S 501), 물체(10)를 3차원 스캐닝할 수 있다.
- [0031] 획득 단계(S 520)에서 획득부(120)는 스캐닝부(110)의 3차원 스캔 결과를 이용해서 물체(10)의 전체 점군을 획득할 수 있다.
- [0032] 샘플링 단계(S 530)에서 샘플링부(130)는 물체(10)의 3차원 설계 모델(20)에 해당하는 메쉬 모델로부터 포인트를 샘플링할 수 있다.
- [0033] 정합 단계(S 540)에서 정합부(140)는 샘플링부(130)에서 샘플링된 포인트와 획득부(120)에서 획득한 전체 점군을 정합할 수 있다.
- [0034] 추출 단계(S 550)에서 추출부(150)는 정합이 완료된 전체 점군과 메쉬 모델에서 물체(10)의 파손 영역에 대한 부분 점군을 추출할 수 있다. 추출부(150)는 스캐닝부(110)의 스캐닝 결과를 이용해서 부분 점군을 추출할 수 있다.
- [0035] 구체적으로, 추출부(150)는 정합이 완료된 전체 점군과 메쉬 모델에서 부분 점군을 필터링할 수 있다. 추출부(150)는 전체 점군의 각 점과 물체의 3차원 설계 모델(20)을 구성하는 다각형들 간의 최단 거리를 계산할 수 있다. 추출부(150)는 3차원 설계 모델(20)(메쉬 모델)을 구성하는 각 다각형의 중심점을 중심으로 하는 가상의 구를 생성하고, 구 안에 존재하는 점에 대해서만 최단 거리를 계산할 수 있다.
- [0036] 추출부(150)는 최단 거리가 설정값보다 작은 정상 점을 제거할 수 있다. 정상 점은 소위, 메쉬 모델에 일치하는 점으로 정상 부위를 의미할 수 있다.
- [0037] 추출부(150)는 정상 점이 제거되고 남은 제1 점을 이용해서 부분 점군을 추출할 수 있다.
- [0038] 추출부(150)는 제1 점을 3차원 설계 모델(20)에 최소 거리를 가지도록 투영하고, 투영된 제2 점을 포함하는 메쉬 세그먼트(mesh segment)와 제1 점의 집합을 하나로 병합하여 부분 점군을 획득할 수 있다.
- [0039] 부분 점군은 전체 점군에서 추출된 파손 부위에 해당하는 제1 점들과 메쉬 모델에서 추출된 파손 영역에 대응되는 제2 점들로 이루어질 수 있다.
- [0040] 생성 단계(S 560)에서 이미지부(160)는 부분 점군을 이용해서 단면 이미지를 생성할 수 있다.
- [0041] 이미지부(160)는 부분 점군을 포함하는 바운딩 박스를 생성할 수 있다.
- [0042] 이미지부(160)는 생성할 이미지의 개수만큼 바운딩 박스의 내부 공간을 균등하게 분할할 수 있다.
- [0043] 이미지부(160)는 부분 점군의 점들을 분할된 공간의 중립면에 투영할 수 있다.
- [0044] 이미지부(160)는 중립면에 투영된 점들을 이용하여 마칭 큐브 알고리즘에 입력되는 단면 이미지를 생성할 수 있다.

다.

- [0045] 계산 단계(S 570)에서 볼륨부(170)는 단면 이미지에 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 적용하여 상기 파손 영역의 볼륨을 계산 및 생성할 수 있다.
- [0046] 볼륨부(170)는 복수의 단면 이미지의 픽셀을 이용하여 설정 개수의 정점을 갖는 복셀(voxel)을 생성할 수 있다. 볼륨부(170)는 복셀 내에서 설정 개수의 정점 중에서 특정 정점의 값이 다르면, 특정 정점을 포함하는 복수의 변의 중점에 보간 포인트를 생성할 수 있다. 볼륨부(170)는 보간 포인트를 이어 마칭 큐브 알고리즘의 결과물에 해당하는 메쉬(mesh)를 생성할 수 있다. 복수의 메쉬를 합치면 파손 영역의 볼륨이 계산되거나 생성될 수 있다.
- [0047] 3D scanning 단계(스무싱 단계, 스캔 단계, 획득 단계 포함)에서는 파손 부위를 갖는 물체에 해당하는 파손 부품으로부터 획득할 점군(point cloud)의 품질을 높이기 위한 방안이 마련될 수 있다. 일 예로, 파손 부품에 머시닝(machining), 버핑(buffing) 또는 블래스팅(blasting)과 같은 방법을 사용하여 파손 부위의 표면이 매끈하게 가공될 수 있다. 그 후, 스캐닝부(110)는 3차원 스캐닝을 통해서 파손 부품의 3차원 형상 정보를 획득할 수 있다. 3차원 스캐닝은 파손 부품의 형상 정보를 취득하기 위한 과정으로, 광학식, 레이저 조사식, 접촉식 등 다양한 방식이 적용될 수 있다.
- [0048] 획득 단계에서 획득부(120)는 3차원 스캐닝 결과를 이용해서 물체 표면 상의 점들을 샘플링하여 점군(point cloud)을 추출할 수 있다. 최종적으로 획득부(120)는 점들의 위치 정보와 함께 법선 및 색상 정보가 기록된 전체 점군(PCPDP, point cloud of partially damaged part)를 xyz 포맷으로 저장할 수 있다.
- [0049] 도 3은 부분 점군을 추출하는 방법을 나타낸 흐름도이다.
- [0050] 전처리(pre-processing) 단계에서는 3D scanning 단계에서 취득한 전체 점군과 원본 부품의 3D 설계 모델(mesh model) 간의 정합이 수행될 수 있다. 이를 위해서, 샘플링부(130)는 메쉬 모델(mesh model)로부터 포인트(points)를 샘플링할 수 있다. 그리고 샘플링된 포인트(points)와 전체 점군(PCPDP) 간에 정합, 등록(registration)이 정합부(140)에 의해 수행될 수 있다.
- [0051] 정합이 완료된 전체 점군(PCPDP)과 원본 부품(초기 설계된 물체로 파손 영역이 없는 상태)의 메쉬 모델(mesh model)을 이용하여, 추출부(150)는 도 3과 같이, 파손 영역에 대한 점군에 해당하는 부분 점군(Point cloud of partially damaged area: PCPDA)을 추출할 수 있다. 이를 위해서, 추출부(150)는 전체 점군(PCPDP)에 포함된 점과 메쉬 모델을 구성하는 삼각형과의 거리를 계산하여 거리가 사용자가 입력한 threshold 값 또는 설정값보다 작은 점을 제거함으로써 파손 영역에 해당하는 제1 점들을 획득할 수 있다. 그 다음에 추출부(150)는 메쉬 모델에서 파손 영역에 대응되는 메쉬 세그먼트(mesh segment)를 식별하고 해당 메쉬 세그먼트(mesh segment)에서 점군(제2 점)을 샘플링할 수 있다. 마지막으로 추출부는 파손 영역에 해당되는 제1 점들과 메쉬 세그먼트(mesh segment)에서 샘플링한 파손 영역에 대응되는 제2 점들을 하나로 병합하여 부분 점군(PCPDA)을 생성할 수 있다.
- [0052] 도 4는 단면 이미지를 생성하는 과정을 나타낸 흐름도이다.
- [0053] 부분 점군이 생성되면, 도 4의 절차에 따라, 이미지부(160)는 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)에 입력될 단면 이미지들을 생성할 수 있다.
- [0054] 이미지부(160)는 사용자가 입력한 방향으로 이미지의 개수만큼 부분 점군(PC PDA)을 공간 분할(filtering)하고 나뉘어진 점들을 각 공간의 중립면에 투영할 수 있다. 단면 이미지를 생성하기에 앞서 이미지부(160)는 콘케이브 헐 알고리즘(concave hull algorithm)을 사용하여 투영된 점들 중에서 내부에 있는 불필요한 점들을 제거하여 외곽 점들만 남길 수 있다. 그리고, 이미지부(160)는 사용자가 입력한 해상도의 빈 BMP 이미지를 생성하고 추출된 외곽 점들을 이용하여 BMP 이미지에 폴리곤(polygon)을 그릴 수 있다. 빈 BMP 이미지 상에 그려진 폴리곤 이미지가 단면 이미지에 해당될 수 있다. 이미지부(160)는 생성된 단면 이미지의 내부를 후처리를 통해서 채워줄 수 있다.
- [0055] 추출부(150)는 내부를 채운 단면 이미지들에 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)을 적용하여 파손 부위의 볼륨을 생성할 수 있다. 추출부(150)는 생성된 파손 부위의 볼륨에 대해서 표면 후처리를 하여 델타 볼륨(Delta volume of partially damaged area: DVPDA)를 최종적으로 생성할 수 있다.
- [0056] 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm) 기반 델타 볼륨 생성을 위한 요소 기술로는 전체 점군(PCPDP)과 3D 설계 모델의 정합, 부분 점군(PCPDA) 추출, 단면 이미지 생성, 및 델타 볼륨(DVPDA) 생성이 있다. 각 요소 기술에 대해 상세하게 살펴본다.

- [0057] 도 5는 샘플링부(130)의 동작을 나타낸 개략도이다.
- [0058] 전체 점군(PCPDP)을 원본 부품의 3D 설계 모델(메쉬 모델)과 정합(registration)하기 위해서 샘플링부(130)는 메쉬 모델에서 점들을 샘플링할 수 있다.
- [0059] 도 5의 (a)와 같이 샘플링부(130)는 원본 부품의 메쉬 모델을 이루는 각 다각형(예를 들어, 삼각형)이 전체 모델에서 차지하는 면적 비율을 계산하고, 샘플링할 전체 점의 수가 지정되면 도 4의 (b)와 같이 각 삼각형에 생성할 점의 개수를 할당할 수 있다. 샘플링부(130)는 도 4의 (c)와 같이 각 삼각형의 내부에 할당된 점의 개수만큼 균일 분포(uniform distribution) 확률로 무작위 점을 샘플링할 수 있다.
- [0060] 도 6은 정합부(140)의 동작을 나타낸 개략도이다.
- [0061] 전체 점군(PCPDP)에 포함된 점 집합 $X = \{x_i \in R^3\}$ 과 샘플링된 점군에 포함된 점 집합 $P = \{p_i \in R^3\}$ 가 정의될 수 있다.
- [0062] 두 개의 점군(전체 점군(PCPDP)과 3D 설계 모델에서 샘플링된 점군) 사이의 정합(registration)은 두 집합 X, P 에서 서로 대응되는 점들 사이의 거리 오차 e 가 최소가 되는 이동(translation) 행렬과 회전(rotation) 행렬을 구하여 전체 점군(PCPDP)을 변환(transformation)시키는 방식으로 이루어질 수 있다.
- [0063] 일 예로, 정합부(140)는 point cloud library(PCL)의 iterative closest point(ICP) 알고리즘을 이용하여 정합(registration)을 수행할 수 있다. 이때의 거리 오차 e 는 수학식 1과 같다.

수학식 1

$$e(R, t) = \frac{1}{N_P} \sum_{i=1}^{N_P} \|x_i - R \cdot p_i - t\|^2$$

- [0064]
- [0065] 여기서, t 는 이동 행렬(translation matrix), R 은 회전 행렬(rotation matrix), N_P 는 계산에 사용된 점들의 개수이다.
- [0066] ICP 알고리즘은 거리 오차 e 를 계산하기 위하여 singular vector decomposition(SVD)을 사용하고 계산된 e 가 충분히 작을 때까지 상기의 과정을 반복할 수 있다. 도 6은 전체 점군(PCPDP)과 샘플링된 점군의 정합(registration) 과정을 나타낼 수 있다.
- [0067] 도 7은 추출부(150)의 동작을 나타낸 개략도이다. 도 8은 추출부(150)에 의해 수행되는 부분 점군의 추출 과정을 나타낸 개략도이다.
- [0068] 부분 점군(PCPDA)의 추출은 정합이 완료된 두 모델(전체 점군(PCPDP)과 3D 설계 모델)에서 파손 영역에 해당하는 점들을 필터링(filtering)하는 기술을 포함할 수 있다. 부분 점군(PCPDA)은 전체 점군(PCPDP)에서 추출된 파손 부위에 해당하는 점들과 3D 설계 모델에서 추출된 파손 영역에 대응되는 점들로 이루어질 수 있다.
- [0069] 부분 점군(PCPDA)을 구성하는 첫번째 종류의 점(제1 점)들은 추출부(150)에 의해 다음과 같이 추출될 수 있다.
- [0070] 전체 점군(PCPDP)의 한 점과 3D 설계 모델(메쉬 모델)을 구성하는 삼각형들 간의 최단 거리를 계산하여 사용자가 입력한 threshold 값 또는 설정값보다 작은 경우 해당 점은 3D 설계 모델의 표면에 위치한다고 판단하여 제거될 수 있다. 위와 같은 과정을 전체 점군(PCPDP)의 모든 점에 대해서 수행한 후에 최종적으로 남은 제1 점들이 부분 점군(PCPDA)에 해당된다.
- [0071] 3차원 공간에서 점과 삼각형의 최단 거리를 계산하는 알고리즘은 Geometric Tools의 알고리즘이 사용될 수 있다.
- [0072] 3차원 공간에서 점과 삼각형의 최단 거리를 계산하는 알고리즘은 전체 점군(PCPDP)에 포함된 점들의 개수와 3D 설계 모델(메쉬 모델, mesh model)을 구성하는 삼각형의 개수가 많아질수록 계산량이 많아질 수 있다. 연산 부하를 줄이기 위해, 추출부(150)는 도 7과 같이 메쉬 모델을 구성하는 하나의 삼각형의 중심점을 기준(중심)으로 가상의 구를 생성하고, 구 밖의 점(Outside points)을 배제하고 구 안에 있는 점(Inside points)들에 대해서만 거리를 계산할 수 있다.

- [0073] 부분 점군(PCPDA)을 구성하는 두번째 종류의 점군은 3D 설계 모델(메쉬 모델)에서 파손 영역에 대응되는 메쉬(mesh) 상의 점들을 샘플링하여 얻을 수 있다. 이를 위해서, 추출부(150)는 도 8의 (a)와 같이 앞 단계에서 획득한 파손 부위 상의 제1 점들을 메쉬 모델에 최소 거리를 가지도록 투영할 수 있다. 그리고, 추출부(150)는 도 8의 (b)에 도시된 바와 같이, 투영된 점들을 포함하는 메쉬 세그먼트(mesh segment)를 추출할 수 있다. 추출된 메쉬 세그먼트(mesh segment)에서 점들을 도 8의 (c)와 같이 샘플링하여 PCPDA 생성에 필요한 두번째 점군(제2 점)을 생성한다. 추출부(150)는 마지막으로 2가지 종류의 점 집합을 하나로 병합하여 최종적으로 도 8의 (d)와 같은 부분 점군(PCPDA)를 획득할 수 있다.
- [0074] 도 9는 BMP 이미지를 그리기 위한 부분 점군의 처리 과정을 나타낸 개략도이다.
- [0075] 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)에 입력되는 단면 이미지들은 부분 점군(PCPDA)로부터 만들어질 수 있다.
- [0076] 도 9의 (a)와 같이, 이미지부(160)는 부분 점군(PCPDA)의 바운딩 박스(붉은색 선)를 기준으로 생성할 이미지의 개수만큼 공간을 균등하게 분할한 후 각 공간별로 점들을 도 9의 (b)와 같이 필터링할 수 있다. 이때, 공간 분할을 수행하는 방향은 사용자에게 의해 설정될 수 있다.
- [0077] 이미지부(160)는 각 공간별로 필터링된 점들을, 도 9의 (c)와 같이, 분할된 공간의 중립면으로 투영할 수 있다. 중립면에 투영된 점들을 이용하여 단면 이미지를 생성할 경우, 경계(boundary) 내부의 불필요한 점들로 인해 경계가 명확하게 구분되기 어려울 수 있다. 이를 해결하기 위해, 이미지부(160)는 최근접 접근법(k-nearest neighbors approach)을 이용하여 입력 점군에서 경계에 위치한 점들을 찾는 콘케이브 헐 알고리즘(concave hull algorithm)을 이용하여, 도 9의 (d)와 같이 경계를 구성하는 점들만 남기고 내부 점들을 제거할 수 있다. 이때, 추출된 점들에는 콘케이브 헐 알고리즘(concave hull algorithm)을 통해 추출되는 점의 순서대로 순서가 부여될 수 있다.
- [0078] 도 10은 이미지 평면을 나타낸 개략도이다.
- [0079] 이미지부(160)는 단면 이미지를 생성하기 위해서 정사각형의 이미지 평면(image plane)을 생성할 수 있다. 이미지 평면은 도 10과 같이, 바운딩 박스를 이미지 개수만큼 분할한 공간별로 생성한 중립면 상에 위치할 수 있다. 이미지 평면의 길이는 중립면의 가로, 세로 길이 중 긴 쪽으로 정의될 수 있다. 이때, 이미지의 외곽에 픽셀이 그려져 watertight한 볼륨이 생성되지 않는 문제를 피하기 위하여 이미지 평면의 길이에 마진이 추가될 수 있다. 그리고, 이미지 평면은 사용자가 입력한 해상도를 가질 수 있다.
- [0080] 콘케이브 헐 알고리즘(Concave hull algorithm)으로 정리된 경계점들을 이미지 평면 상에 나타내기 위해서는 점들의 좌표로부터 이미지 평면 상의 점의 위치를 계산해야 한다. 이를 위해서는 픽셀의 크기를 알 필요가 있으며, 이미지 평면의 크기로부터 수학식 2와 같이 각 픽셀의 물리적 크기가 계산될 수 있다.

수학식 2

$$\text{Size}_{\text{Pixel}} = \frac{\max(\text{Length of orthogonal plane}) + \text{margin}}{\text{Image resolution}}$$

- [0081]
- [0082] 이미지부(160)는 각 픽셀의 물리적 크기를 계산 후에 이미지 평면에 이미지 해상도에 맞추어 픽셀을 정의할 수 있다. 이미지부(160)는 이미지 평면의 원점을 기준으로 x축과 y축에 균등하게 각 픽셀을 배치할 수 있다. 픽셀의 인덱스는 제로 베이스드 인덱스(zero-based index)를 사용하여 [0, 이미지 해상도-1]의 범위를 가지고 픽셀은 x와 y의 값이 모두 음수인 영역이 시작점이 될 수 있다.
- [0083] 도 11은 이미지부(160)에 의해 생성된 단면 이미지를 나타낸 개략도이다.
- [0084] 이미지부(160)는 이미지 평면을 결정한 후에 경계 점들에 대한 이미지를 생성할 수 있다. 기본적으로 이미지 평면의 배경은 검은색으로 지정될 수 있다. 그리고, 이미지부(160)는 경계점들이 위치해야 하는 이미지 평면 상에 픽셀을 선택한 후 해당 픽셀을 흰색으로 채울 수 있다.
- [0085] 도 11의 (a)는 콘케이브 헐 알고리즘(concave hull algorithm)으로 정리된 점들을 인덱스의 순서에 따라 대응되는 이미지 평면의 픽셀을 채운 그림을 나타낸다. 대응되는 점들을 모두 그린 이미지부(160)는 점들이 표시된 픽셀들을 채워진 순서에 따라 직선으로 연결하여 도 11의 (b)와 같은 폴리곤 형태의 단면 이미지를 생성할 수 있다.

다. 모든 분할 공간의 각 중립면에 투영된 점들에 대해서 위에서 설명한 과정을 거치면, 델타 볼륨(DVPDA)을 생성하는데 필요한 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)의 입력 이미지 세트가 획득될 수 있다. 생성된 이미지들을 바로 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)에 사용할 경우 속이 비어 있는 서피스 메쉬 모델(surface mesh model)이 생성될 수 있다. 이러한 문제를 방지하기 위하여, 이미지부(160)는 이미지 프로세싱을 통해서, 도 11의 (c)와 같이, 폴리곤 내부를 흰색으로 채울 수 있다.

[0086] 도 12는 마칭 큐브 알고리즘을 이용해서 삼각형 메쉬를 생성하는 과정을 나타낸 개략도이다. 도 13은 마칭 큐브 알고리즘을 통해 생성할 수 있는 삼각형 메쉬의 타입을 나타낸 개략도이다.

[0087] 볼륨부(170)는 이미지부(160)에서 생성된 단면 이미지들을 입력받아 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)을 통해 델타 볼륨(DVPDA)을 생성할 수 있다.

[0088] 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)의 구현을 위해서 visualization toolkit(VTK) 라이브러리에서 제공하는 기능이 활용될 수 있다. 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)은 도 12와 같이 i 번째 이미지와 $i+1$ 번째 이미지의 픽셀들을 이용하여 8개의 정점을 가지는 복셀(voxel)을 생성할 수 있다. 각 정점은 이미지의 색상에 따라 0 또는 1의 값을 가질 수 있다. 만약, 도 12와 같이 복셀(voxel)의 8개의 정점 중 하나의 정점만 값이 다르다면, 볼륨부(170)는 해당 정점을 포함하는 3개의 변의 중점에 보간점(interpolation point)을 생성하고 이 점들을 이어 삼각형 메쉬를 생성할 수 있다. 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 통해 생성할 수 있는 삼각형 메쉬의 타입은 총 256가지가 되지만 형상의 대칭성을 고려한다면 도 13과 같이 15개의 타입으로 줄어들 수 있다.

[0089] 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 사용하여 메쉬(mesh) 형식의 델타 볼륨을 생성하기 위하여 이미지의 해상도(image resolution), 이미지의 개수, 픽셀의 크기, 이미지 간의 간격(interval of images)의 정보가 필요하다. 이미지의 해상도와 이미지의 개수는 사용자로부터 입수할 수 있다. 픽셀의 크기는 수학적 2를 통해 획득될 수 있다. 마지막으로, 이미지 간격은 중립면 간의 거리를 의미할 수 있다. 중립면은 부분 점군(PCPDA)의 바운딩 박스를 기준으로 지정된 방향에 따라 등간격으로 생성되기 때문에 이미지를 생성하는 과정에서 손쉽게 계산이 가능하다. 볼륨부(170)는 이러한 정보들을 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)의 파라미터로 이용하여 델타 볼륨(DVPDA)을 생성할 수 있다.

[0090] 이상에서 설명된 계산 장치 및 계산 방법은 본 발명은 부분적으로 파손된 물체의 전체 점군 대신 파손 영역에 해당하는 부분 점군을 추출한 후 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 이용하여 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 계산하거나 생성할 수 있다.

[0091] 도 14는 테스트 모델을 나타낸 개략도이다. 도 15는 테스트 모델을 이용해서 계산된 델타 볼륨을 나타낸 개략도이다.

[0092] 마칭 큐브 알고리즘(Marching cubes algorithm)을 이용하여 부품 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 생성하는 방법의 검증을 위해서 프로토타입 시스템을 개발하였다. 구현 환경을 살펴보면, 프로그래밍 언어는 C++를 사용하였으며, graphic user interface(GUI) 구현을 위하여 Microsoft에서 제공하는 Microsoft foundation class(MFC)를 사용하였다. 사용된 third party library를 살펴보면, point cloud 데이터를 위해서 PCL를 사용하였고 mesh 데이터를 위해서 VTK를 사용하였다. 그 외에 형상 모델링 커널인 SPATIAL사의 ACIS와 3D 그래픽스 라이브러리인 HOOPS를 사용하였다.

[0093] 프로토타입 시스템을 활용하여 부품 파손 부품에 대해서 델타 볼륨(DVPDA)을 생성하는 실험을 수행하였다. 실험 대상 부품으로는 볼 밸브의 구성 부품 중 하나인 볼을 선정하였으며 이 부품의 3D 설계 모델과 파손 형상은 도 14와 같다. 실험에서는 파손된 볼 부품을 3D scanning하여 전체 점군(PCPDP)을 생성하였다. 그리고 생성된 전체 점군(PCPDP)은 xyz 형식으로 저장하였다.

[0094] 3D scanning 이후에 프로토타입 시스템을 사용하여 전체 점군(PCPDP)과 3D 설계 모델(메쉬 모델)로부터 델타 볼륨(DVPDA)을 생성하였다.

[0095] 전체 점군(PCPDP)을 입력받은 계산 장치가 델타 볼륨(DVPDA)을 올바르게 생성하는지 여부를 확인하였다. 이 실험에서는 앞에서 살펴본 바와 같이 델타 볼륨(VPDA)을 생성하는 각 단계(Pre-processing, PCPDA extraction, Image generation, 및 DVPDA generation)가 적용되었으며, 각 단계별 산출물을 표시한 것이 도 15이다.

[0096] 전처리 단계에서는 먼저 101,220개 삼각형으로 구성되는 메쉬 모델에서 100,000개의 점들을 샘플링하였다. 그리고 나서 샘플링된 점들과 전체 점군(PCPDP)을 정합하였다. PCPDA extraction 단계(추출 단계, 생성 단계, 계산

단계 포함)에서는 정합이 완료된 전체 점군(PCPDF)과 메쉬 모델로부터 부분 점군(PCPDA)을 추출하였다. 이때, 파손 영역이 아닌 부분의 점들을 제거하기 위하여 threshold값을 1.4mm로 설정하였다. 그 결과 부품 파손 부위에 해당되는 23,181개의 점들과 부품 파손 영역에 대응되는 메쉬 세그먼트(mesh segment)에서 10,000개의 점을 추출하여 총 33,181개로 구성되는 부분 점군(PCPDA)을 획득하였다. 생성 단계에 해당하는 Image generation 단계에서는 부분 점군(PCPDA)으로부터 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)에 입력으로 사용할 bmp 이미지를 생성하였다. 이 실험에서는 128x128 해상도를 갖는 30장의 이미지를 생성하였다. 이미지를 구성하는 한 픽셀의 물리적인 크기는 0.3593mm이며, 이미지 간의 간격은 1.1747 mm로 계산되었다. 계산 단계에 해당하는 DVPDA generation 단계에서는 앞서 생성된 이미지들을 사용하여 파손 영역에 대한 델타 볼륨을 생성하였다. 그 결과 $4,499.703\text{mm}^3$ 의 볼륨을 갖는 델타 볼륨(DVPDA)이 생성되었다. 생성된 델타 볼륨(DVPDA)의 오차 비교를 위한 ground truth 값으로 3D 설계 모델로부터 계산된 볼륨 값을 사용하였으며 그 값은 $4,491\text{mm}^3$ 이었다. 이 경우 생성된 DVPDA의 볼륨 오차는 약 0.19%였다.

[0097] 도 16은 포이송 서피스 리컨스트럭션 방법과 본 발명의 계산 방법에 의해 생성된 델타 볼륨을 나타낸 개략도이다.

[0098] 본 발명은 비교 실시예의 포이송 서피스 리컨스트럭션(Poisson surface reconstruction) 방법 대신에 마칭 큐브 알고리즘(marching cubes algorithm)을 사용하여 델타 볼륨(DVPDA)을 생성하는 계산 장치 및 계산 방법을 제공할 수 있다.

[0099] 포이송 서피스 리컨스트럭션(Poisson surface reconstruction) 방법은 사용하는 점군(point cloud)에 포함된 노이즈를 제거해야 하며 만약 점군(point cloud)을 구성하는 점들의 데비에이션(deviation)이 크다면 메쉬 모델의 생성이 실패할 가능성이 높아진다. 또한 메쉬 모델이 생성된다 하더라도 생성된 형상에 오류가 발생할 가능성이 높다.

[0100] 도 16의 (a)는 동일한 부분 점군(PCPDA)으로부터 포이송 서피스 리컨스트럭션(Poisson surface reconstruction) 방법으로 생성된 델타 볼륨(DVPDA)과 단면 형상이다. 도 16의 (b)는 본 발명의 계산 장치 및 방법으로 생성한 델타 볼륨(DVPDA)과 단면 형상을 나타낸다. 포이송 서피스 리컨스트럭션(Poisson surface reconstruction)으로 생성된 델타 볼륨(DVPDA)의 경우, 부분 점군(PCPDA)을 구성하는 두 가지 종류의 점 집합 사이의 갭으로 인하여 도넛 형태의 외곽 형상을 갖는 메쉬 모델이 생성되는 문제점이 있었다. 그러나, 마칭 큐브 알고리즘을 사용하는 본 발명의 계산 장치 및 계산 방법을 이용하면, 단면 이미지를 생성하는 과정에서 중첩면에 투영된 점들에서 콘케이브 헐 알고리즘(concave hull algorithm)을 이용하여 내부에 있는 점들을 필터링하고 외곽 점들만을 남긴 후에 이미지를 생성함으로써 두 가지 종류의 점 집합 사이의 갭으로 인해 발생하는 각종 문제가 예방될 수 있다.

[0101] 한편, 본 발명의 실시예는 지금까지 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하는 프로그램 또는 그 프로그램이 기록된 기록 매체를 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 상술한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 기술자라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.

[0102] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 통상의 기술자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

[0103] 10 물체(파손 부품)

20 3차원 설계 모델(메쉬 모델)

110 스캐닝부

120 획득부

130 샘플링부

140 정합부

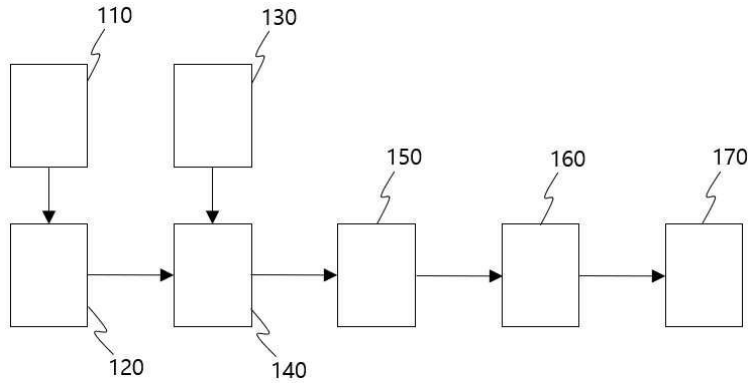
150 추출부

160 이미지부

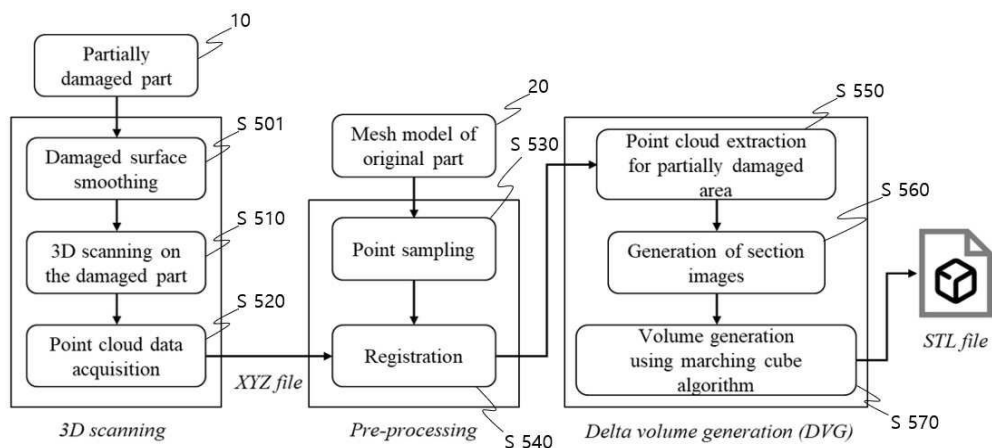
170 볼륨부

도면

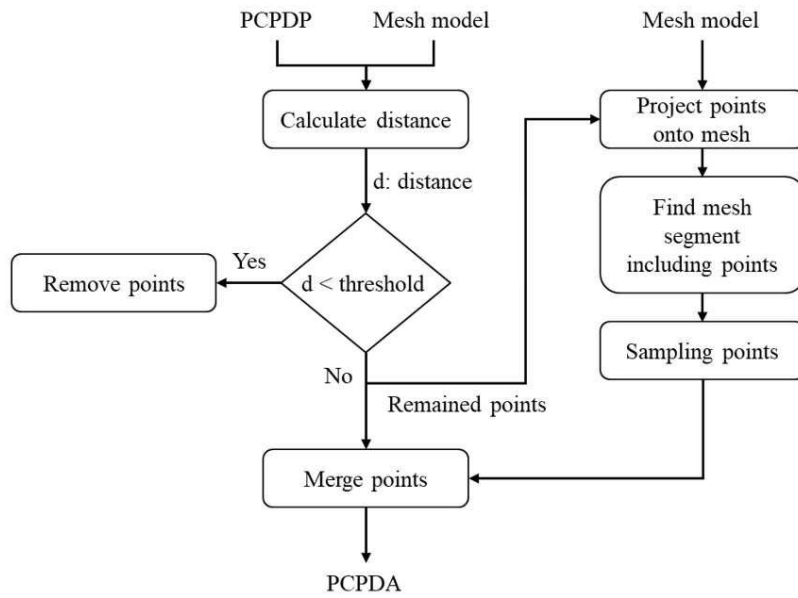
도면1



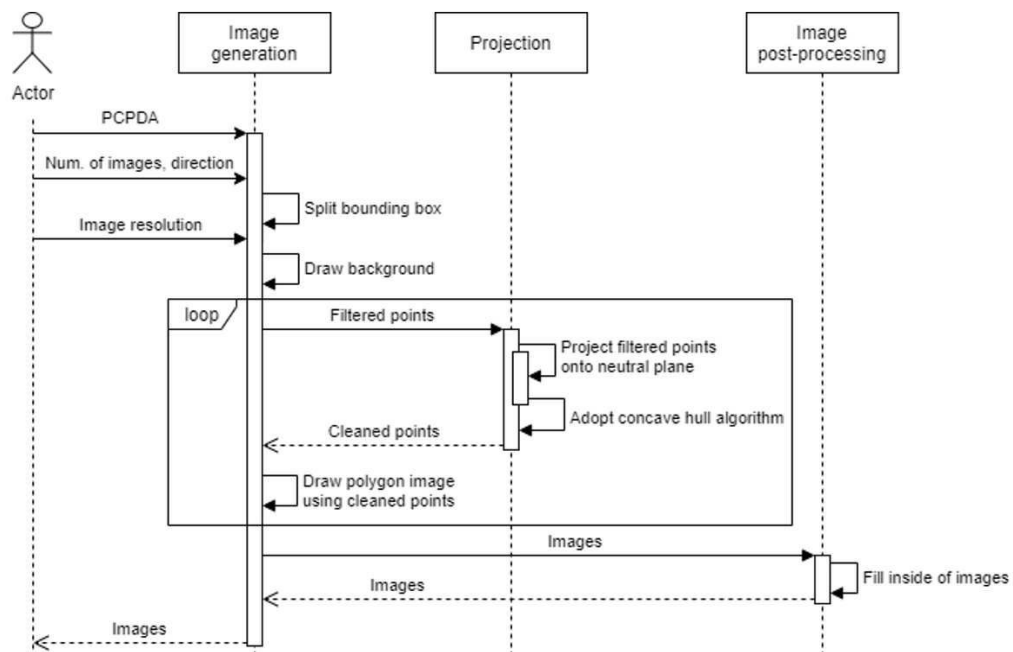
도면2



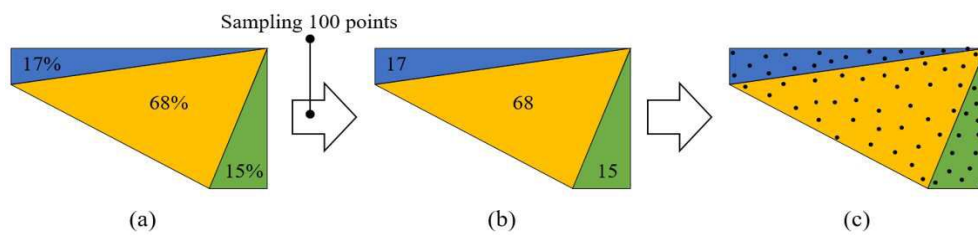
도면3



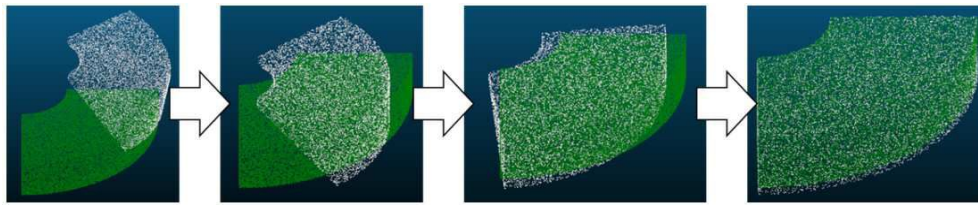
도면4



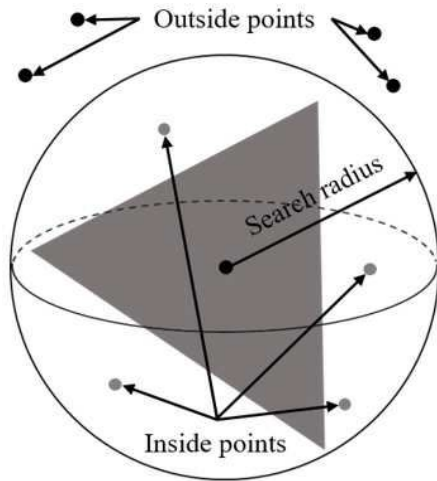
도면5



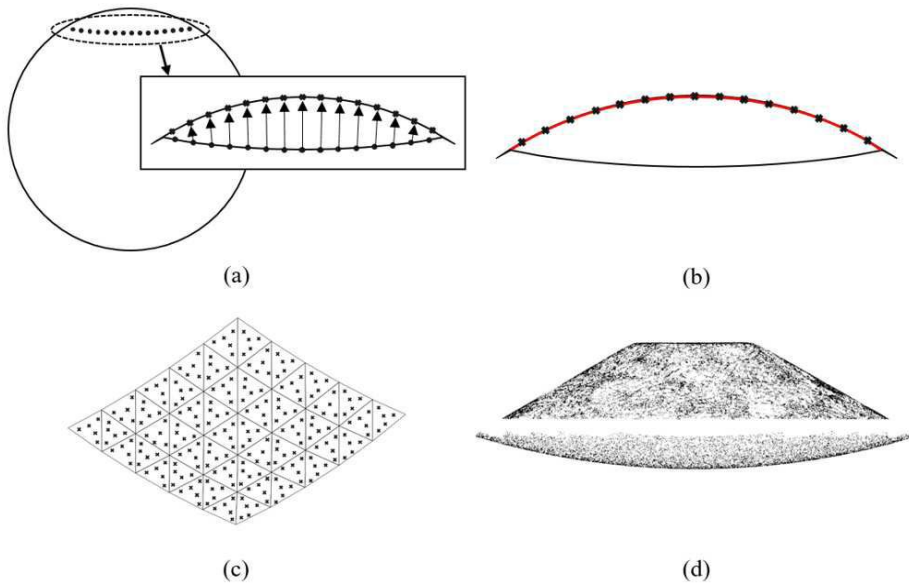
도면6



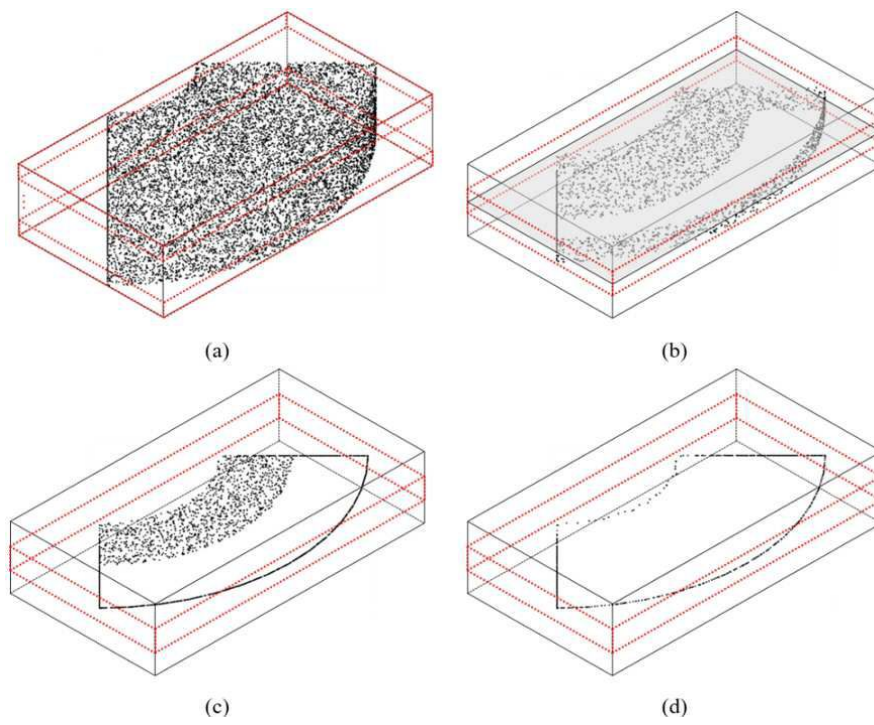
도면7



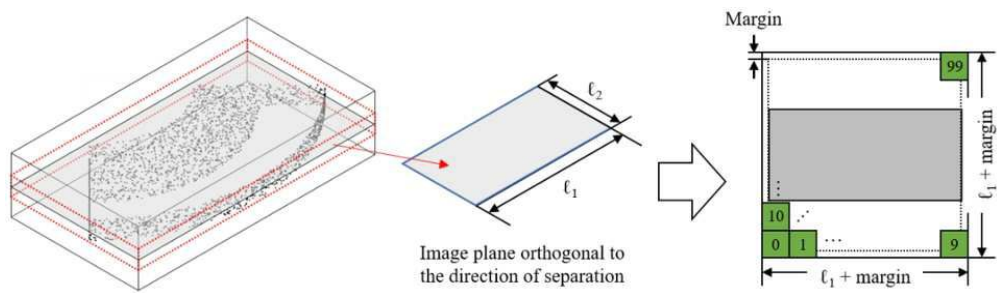
도면8



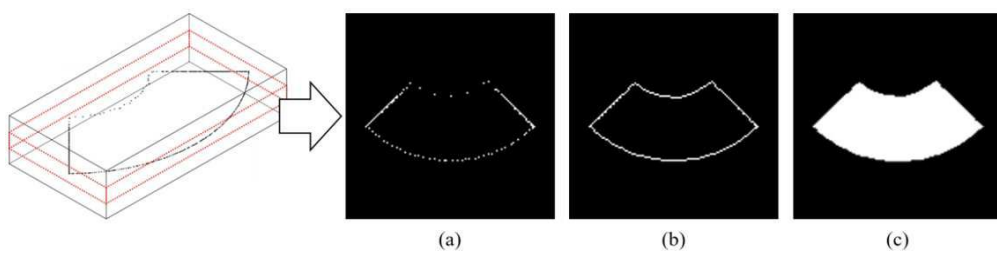
도면9



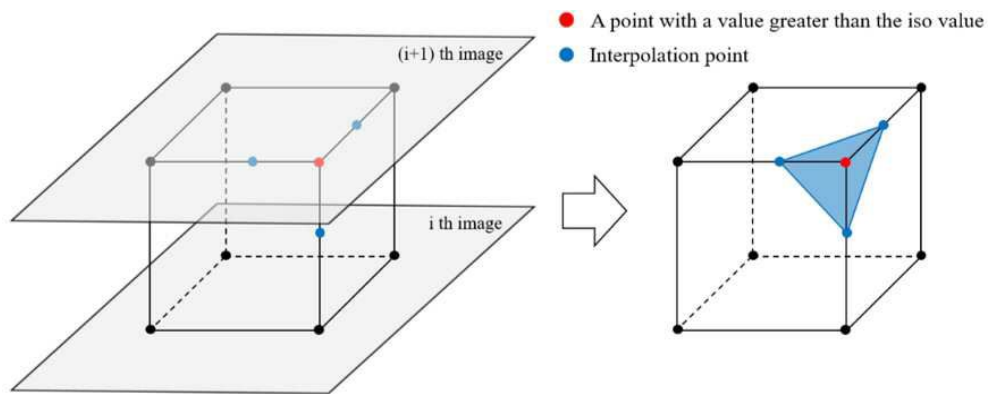
도면10



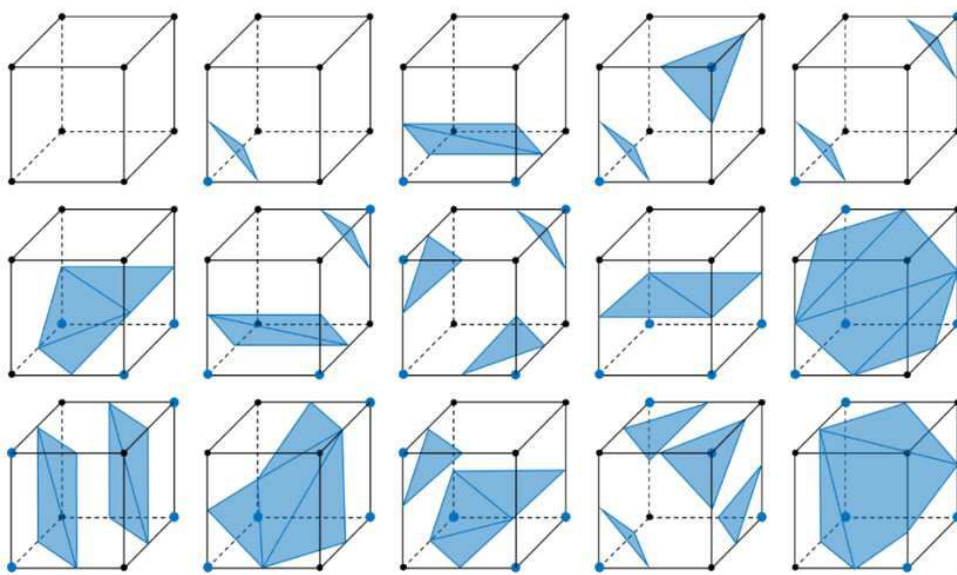
도면11



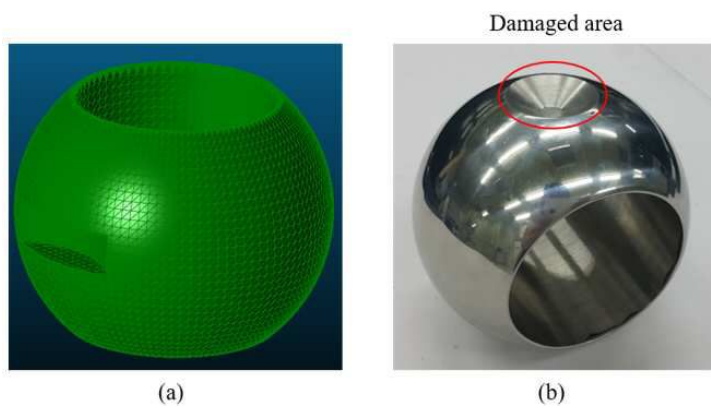
도면12



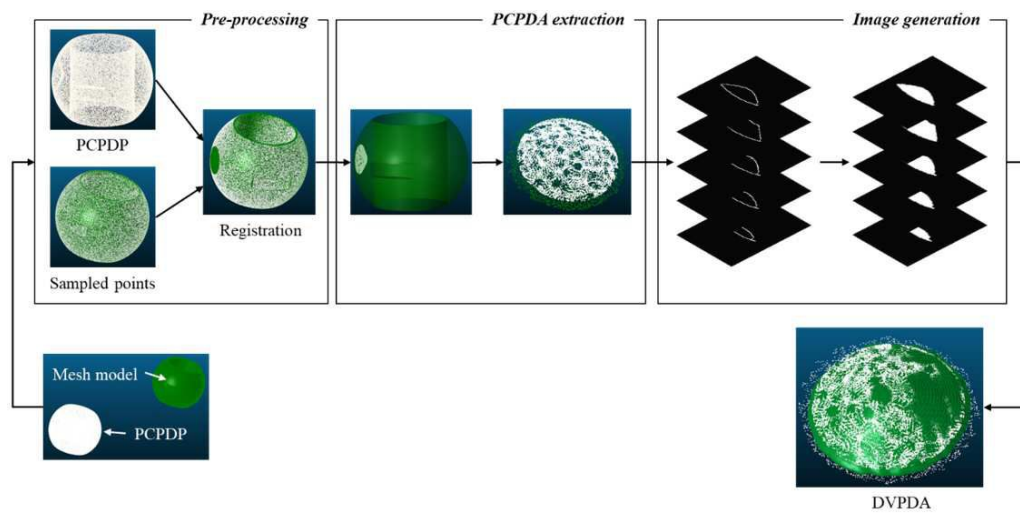
도면13



도면14



도면15



도면16

