

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0099700

(43) 공개일자 2022년07월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06T 7/10 (2021.01) G06T 17/20 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G06T 7/10 (2021.01)

G06T 17/20 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0001919

(22) 출원일자 2021년01월07일

심사청구일자 2021년01월07일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

신병석

서울특별시 서초구

김지은

울산광역시 남구 옥현로 34, 302동 704호(무거동, 옥현 으뜸마을주공3단지아파트)

권구주

인천광역시 미추홀구 경인남길102번길 59-7(용현동)

(74) 대리인

양성보

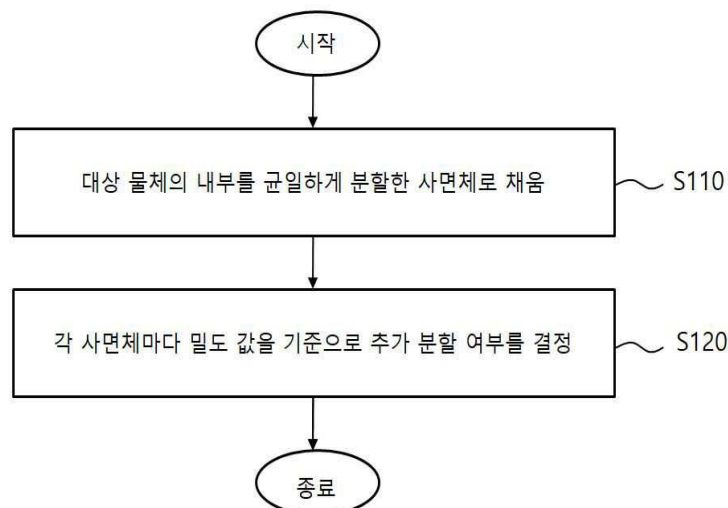
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치

(57) 요약

상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치가 제시된다. 일 실시예에 따른 컴퓨터 장치를 통해 구현되는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법은, 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 단계; 및 각 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 밀도 값을 기반으로 각 상기 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나눌 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G06T 2207/10081 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711115629
과제번호	2019R1A2C1090713
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구
연구과제명	CNN과 GAN을 이용한 의료 AR/VR용 실감 인체모델 생성기술
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711113344
과제번호	2017-0-01815-004
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	(K-AR 1세부) AR기반 수술용 개발툴킷 및 응용개발(4차년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	서울대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 장치를 통해 구현되는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법에 있어서,
대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 단계; 및
각 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계
를 포함하고,
상기 밀도 값을 기반으로 각 상기 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나누는 것
을 특징으로 하는, 사면체 모델 분할 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 사면체의 분할 완료 기준은 밀도 값에 따라 분할된 사면체와 분할되지 않은 사면체의 개수의 균형을 유지
하도록 하는 것
을 특징으로 하는, 사면체 모델 분할 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,
상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계는,
컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 이용하여 사면체를 구성하는 각 정점의 밀도 값을 추출하는
단계;
상기 정점의 밀도 값을 이용하여 사면체의 밀도 값에 대한 누적 분포 함수를 계산하는 단계;
상기 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 상기 사면체의 분할 횟수를 결정하는 단계; 및
상기 사면체의 분할 횟수에 따라 내부 사면체의 정점을 차등 분할하는 단계
를 포함하는, 사면체 모델 분할 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 상기 사면체의 분할 횟수를 결정하는 단계는,
상기 밀도 값의 누적 분포 함수의 역함수를 이용하여 밀도 임계 값을 구하고, 각 상기 사면체의 밀도 값이 어느
임계 구간에 있는지 검사하여 분할 횟수를 결정하는 것
을 특징으로 하는, 사면체 모델 분할 방법.

청구항 5

상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 장치에 있어서,
대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 사면체 형성부; 및
각 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 분할 결정부
를 포함하고,

상기 밀도 값을 기반으로 각 상기 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나누는 것을 특징으로 하는, 사면체 모델 분할 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 실시예들은 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]표면 모델만 사용해서는 3D 물체의 움직임을 사실적으로 묘사할 수 없다. 그래서 일반적으로 내부까지 모두 기하학적으로 표현된 모델을 사용해야 하고, 가장 많이 사용되는 것이 사면체 메쉬(tetrahedron mesh)이다. 이 모델은 표면 모델을 재귀적으로 분할한 사면체 메쉬들로 구성되며 각 사면체의 정점 위치를 변경하여 물체의 움직임을 표현한다. 그러나 입력되는 표면 모델이 매우 크고 복잡하면 내부를 사면체로 채울 때 매우 많은 사면체가 생성되어 실시간 변형이 어렵게 된다. 분할된 사면체의 개수에 따라서 시뮬레이션 성능이 좌우되기 때문에 정점 분할 과정에서 가변적 크기로 분할하여 실시간 변형하는 연구가 진행되었다.

[0003]기존 연구들은 물체 내부를 균등한 크기의 사면체로 분할하는 방법을 사용했다. 균등하게 분할된 사면체 모델을 사용하면 미세구조나 미세한 움직임을 표현하기 위해 전체 영역을 모두 작은 크기로 분할해야 하므로 사면체 개수가 많아져 속도가 느려지는 문제가 발생한다. 만약 물체 내부에 밀도가 높은 부분과 낮은 부분이 섞여 있는 경우 밀도가 낮은 부분의 움직임이 커져 변형의 폭이 증가한다.

[0004]따라서 밀도 값을 기반으로 각 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나누면 사면체의 수를 줄일 수 있어 밀도 분포가 다른 물체의 외형과 움직임을 효율적으로 모델링할 수 있다.

[0005]한국등록특허 10-1401417호는 이러한 변형체 모델의 조각 시뮬레이션 방법 및 장치에 관한 기술을 기재하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006](특허문헌 0001) 한국등록특허 10-1401417호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007]실시예들은 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치에 관하여 기술하며, 보다 구체적으로 대상 물체의 내부 사면체에 대하여 밀도 값을 기반으로 상세 단계 모델을 생성함으로써, 전체 사면체 수를 줄여 적은 수의 정점으로 동일한 움직임을 표현하는 기술을 제공한다.

[0008]실시예들은 밀도 임계 값(density threshold)에 기반한 사면체 분할 방법을 이용함으로써, 동일한 개수의 사면체를 사용할 경우 보다 정교한 변형 시뮬레이션이 가능하도록 하는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치를 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0009]일 실시예에 따른 컴퓨터 장치를 통해 구현되는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법은, 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 단계; 및 각 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계를 포함하고, 상기 밀도 값을 기반으로 각 상기 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나눌 수 있다.

[0010]상기 사면체의 분할 완료 기준은 밀도 값에 따라 분할된 사면체와 분할되지 않은 사면체의 개수의 균형을 유지하도록 할 수 있다.

[0011] 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계는, 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 이용하여 사면체를 구성하는 각 정점의 밀도 값을 추출하는 단계; 상기 정점의 밀도 값을 이용하여 사면체의 밀도 값에 대한 누적 분포 함수를 계산하는 단계; 상기 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 상기 사면체의 분할 횟수를 결정하는 단계; 및 상기 사면체의 분할 횟수에 따라 내부 사면체의 정점을 차등 분할하는 단계를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0012] 상기 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 상기 사면체의 분할 횟수를 결정하는 단계는, 상기 밀도 값의 누적 분포 함수의 역함수를 이용하여 밀도 임계 값을 구하고, 각 상기 사면체의 밀도 값이 어느 임계 구간에 있는지 검사하여 분할 횟수를 결정할 수 있다.

[0013] 다른 실시예에 따른 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 장치는, 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 사면체 형성부; 및 각 상기 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 분할 결정부를 포함하고, 상기 밀도 값을 기반으로 각 상기 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나눌 수 있다.

발명의 효과

[0014] 실시예들에 따르면 대상 물체의 내부 사면체에 대하여 밀도 값을 기반으로 상세 단계 모델을 생성함으로써, 전체 사면체 수를 줄여 적은 수의 정점으로 동일한 움직임을 표현하는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

[0015] 실시예들에 따르면 밀도 임계 값(density threshold)에 기반한 사면체 분할 방법을 이용함으로써, 동일한 개수의 사면체를 사용할 경우 보다 정교한 변형 시뮬레이션이 가능하도록 하는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 2는 일 실시예에 따른 추가 분할 여부를 결정하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

도 3은 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 장치를 나타내는 블록도이다.

도 4는 일 실시예에 따른 누적 분포 그래프에서 누적 사면체 비율을 균등하게 나누는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

도 5는 일 실시예에 따른 누적 분포 그래프에서 균등하게 나누어진 누적 사면체 비율로 밀도 임계 값을 계산하는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

도 6은 일 실시예에 따른 사면체를 분할하는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 설명한다. 그러나, 기술되는 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명되는 실시예들에 의하여 한정되는 것은 아니다. 또한, 여러 실시예들은 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.

[0019] 아래의 실시예들은 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법 및 장치에 관한 것으로, 대상 물체의 내부 사면체에 대하여 밀도 값을 기반으로 상세 단계 모델을 생성함으로써 전체 사면체의 수를 줄여 적은 수의 정점으로 동일한 움직임을 표현하는 기술을 제공할 수 있다. 또한, 실시예들은 동일한 개수의 사면체를 사용할 경우 보다 정교한 변형 시뮬레이션이 가능하도록 할 수 있다. 이를 위해 밀도 임계 값(density threshold)에 기반한 사면체 분할 방법을 제공할 수 있다.

[0020] 한편, 밀도 값을 기반으로 각 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나누면 사면체의 수를 줄일 수 있어 밀도 분포가 다른 물체의 외형과 움직임을 효율적으로 모델링할 수 있다. 컴퓨터 단층 촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 적층하여 만든 볼륨 데이터는 3차원 공간을 균일한 간격으로 샘플링한 밀도 값들의 집

합이다. 기하 모델은 볼륨 데이터로부터 만들어지므로 각 정점의 밀도 값은 쉽게 알 수 있다.

- [0022] 사면체 분할은 다음과 같은 과정으로 진행할 수 있다. (1) 단층 영상을 이용한 정점의 밀도 추출, (2) 정점 밀도를 이용한 사면체의 밀도, 누적 분포 계산, (3) 누적 밀도 분포를 활용하여 분할 횟수를 결정, 그리고 (4) 내부 사면체 정점 분할 순이다.
- [0023] 먼저, 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우고, 각 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정할 수 있다. 분할 완료 기준은 밀도 값에 따라 분할된 사면체와 분할되지 않은 사면체 개수의 균형을 유지하도록 하는 것이다. 이는 사면체가 너무 작게 분할되는 것을 막고, 분할된 레벨 별 사면체의 크기가 많이 차이가 나지 않도록 한다.
- [0024] 아래에서 사면체 모델 분할 방법을 보다 상세히 설명한다.
- [0026] 도 1은 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 일 실시예에 따른 컴퓨터 장치를 통해 구현되는 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 방법은, 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채우는 단계(S110), 및 각 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계(S120)를 포함하여 이루어질 수 있고, 밀도 값을 기반으로 각 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나눌 수 있다.
- [0028] 도 2는 일 실시예에 따른 추가 분할 여부를 결정하는 방법을 나타내는 흐름도이다.
- [0029] 도 2를 참조하면, 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정하는 단계(S120)는, 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 사면체를 구성하는 각 정점의 밀도 값을 추출하는 단계(S121), 정점의 밀도 값을 이용하여 사면체의 밀도 값에 대한 누적 분포 함수를 계산하는 단계(S122), 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 사면체의 분할 횟수를 결정하는 단계(S123), 및 사면체의 분할 횟수에 따라 내부 사면체의 정점을 차등 분할하는 단계(S124)를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0030] 실시예들은 물체 내부의 밀도 값에 따라 각 사면체들의 분할 크기를 다르게 하여 상세 단계를 제작하는 방법을 제공할 수 있다. 밀도 값을 가진 물체 내부와 각 사면체가 매핑되는 지점의 밀도 값 분포를 이용하여 상세 단계 각 레벨의 채워진 분할 여부를 결정함으로써 사면체를 세분화할 수 있다. 상세 단계 모델을 이용하여 렌더링한 결과 동일한 정밀도를 유지하면서도 정점, 삼각형 수를 줄일 수 있다. 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 방법은 사면체 모델 분할 장치를 예를 들어 설명할 수 있다.
- [0032] 도 3은 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 장치를 나타내는 블록도이다.
- [0033] 도 3을 참조하면, 일 실시예에 따른 상세 단계 생성을 위한 밀도 값 기반 사면체 모델 분할 장치(300)는 사면체 형성부(310) 및 분할 결정부(320)를 포함하여 이루어질 수 있다. 여기서, 분할 결정부(320)는 밀도 값 추출부(321), 누적 분포 함수 계산부(322), 분할 횟수 결정부(323) 및 차등 분할부(324)를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0034] 단계(S110)에서, 사면체 형성부(310)는 대상 물체의 내부를 균일하게 분할한 사면체로 채울 수 있다.
- [0035] 단계(S120)에서, 분할 결정부(320)는 사면체마다 밀도 값을 기준으로 추가 분할 여부를 결정할 수 있다. 이때, 밀도 값을 기반으로 각 사면체마다 가변적인 크기로 상세 단계를 나눌 수 있다. 사면체의 분할 완료 기준은 밀도 값에 따라 분할된 사면체와 분할되지 않은 사면체의 개수의 균형을 유지하도록 할 수 있다.
- [0036] 분할 결정부(320)는 밀도 값 추출부(321), 누적 분포 함수 계산부(322), 분할 횟수 결정부(323) 및 차등 분할부(324)를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0037] 단계(S121)에서, 밀도 값 추출부(321)는 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상을 이용하여 사면체를 구성하는 각 정점의 밀도 값을 추출할 수 있다. 밀도 값 추출부(321)는 컴퓨터 단층 촬영(CT) 영상에서 특정 정점의 좌표를 구하고, 좌표의 위치의 매핑을 통해 밀도 값을 추출할 수 있다.
- [0038] 단계(S122)에서, 누적 분포 함수 계산부(322)는 정점의 밀도 값을 이용하여 사면체의 밀도 값에 대한 누적 분포

함수를 계산할 수 있다. 이는 사면체들의 밀도 값의 정렬 없이 분할 횟수를 결정하기 위해 수행될 수 있다.

[0039] 단계(S123)에서, 분할 횟수 결정부(323)는 밀도 값의 누적 분포 함수를 활용하여 사면체의 분할 횟수를 결정할 수 있다. 여기서, 분할 횟수 결정부(323)는 밀도 값의 누적 분포 함수의 역함수를 이용하여 밀도 임계 값을 구하고, 각 사면체의 밀도 값이 어느 임계 구간에 있는지 검사하여 분할 횟수를 결정할 수 있다.

[0040] 단계(S124)에서, 차등 분할부(324)는 사면체의 분할 횟수에 따라 내부 사면체의 정점을 차등 분할할 수 있다. 분할 횟수가 2회 이상일 경우에는 분할된 모든 사면체에 대해 재귀적으로 다시 분할을 진행할 수 있다. 여기서, 사면체를 분할하는 경우 팔면체가 형성될 수 있고, 팔면체를 다시 분할하면 복수개의 사면체가 형성될 수 있다.

[0041] 아래에서 일 실시예에 따른 사면체 모델 분할 방법 및 장치를 보다 구체적으로 설명한다.

[0043] 정점 위치 매핑을 통한 밀도 추출

[0044] 인체 영상으로부터 만든 기하 모델은 마칭 큐브(Marching Cubes)와 같은 재구성 알고리즘을 사용하여 CT나 MRI와 같은 단층 영상에서부터 만들어 낸다. 단층 영상과 재구성된 기하 모델간의 기하학적 연관 관계는 미리 결정되어 있으므로 간단한 수학적식을 통해서 특정 정점 $V(x, y, z)$ 에 해당하는 CT 영상의 픽셀 좌표 $I_n(s, t)$ (n 번째 CT 영상의 s, t 위치)를 구할 수 있고, 이 위치의 밀도 값을 가져올 수 있다. 모델 좌표 값과 영상 좌표 값의 위치 매핑 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

[0045] [수학식 1]

$$\begin{aligned} s &= \lfloor x / pixel_space \rfloor \\ t &= \lfloor y / pixel_space \rfloor \\ n &= \lfloor z / slice_space \rfloor \end{aligned}$$

[0046]

[0047] 여기서, $pixel_space$ 은 DICOM 파일의 헤더에 저장된 Pixel Spacing 값을 의미하고, $slice_space$ 는 Slice Spacing 값을 의미하며, DICOM 데이터에서 추출한 기하 모델과 CT 이미지 간 공간적 연관 관계를 표현하는 정보이다. 여기서, Pixel Spacing 값은 각 픽셀의 중점 간 실제 거리를 나타내며, Slice Spacing 값은 촬영된 CT 이미지의 간격을 의미한다.

[0049] 밀도 기반의 사면체 차등 분할

[0050] 먼저, 기하 모델의 내부를 Labelle이 제안한 방식을 적용하여 T_{total} 개의 균등한 사면체들로 분할할 수 있다. 추가적인 분할을 적용할지에 대한 여부는 밀도 값에 의해 결정된다. 이를 위해 사면체를 구성하는 각 정점들의 밀도(vertex density)를 평균하여 해당 사면체의 밀도(tetrahedron density) 값으로 계산 후 0과 1 사이로 정규화 할 수 있다.

[0051] 사면체들을 가변적으로 분할하는 정책은 여러 가지가 있으나, 여기에서는 이전 단계에서 분할된 T_{total} 개의 사면체들에 적용되는 추가 분할 횟수가 밀도에 비례하도록 하는 정책을 사용할 수 있다. 이렇게 하면 입력되는 사면체들의 숫자와 무관하게 처리시간은 사용자가 정의한 최대 분할 횟수에 선형적으로 비례하도록 함으로써 처리시간을 일정하게 조절할 수 있다. 아울러, 인접한 밀도 값을 가지는 영역들 사이에서 급격한 분할 단계의 변화가 생기지 않도록 함으로써 자연스러운 LOD 생성이 가능하다.

[0052] 밀도 값에 따라 정렬된 사면체들 중 p 번째 사면체인 T_p 에 적용되는 분할 횟수 $d(T_p)$ 는 다음 식과 같이 정의될 수 있다.

[0053] [수학식 2]

$$d(T_p) = i$$

$$\text{where } \left\lfloor \frac{T_{total}}{N} \right\rfloor i \leq p \leq \left\lfloor \frac{T_{total}}{N} \right\rfloor (i+1)$$

$$0 \leq i \leq N-1$$

[0054]

[0055] 예를 들어, 초기 입력된 사면체가 100개이고 사용자가 정의한 최대 분할 횟수가 10이면, 밀도 값이 가장 작은 100/10개의 사면체는 최대 횟수인 $N-1$ 회 분할되고, 이후 각각 100/10개씩은 분할 횟수가 1회씩 감소하며 밀도 값이 가장 큰 100/10개의 사면체는 분할되지 않는다.

[0056] 이 방법은 사면체들을 밀도 값에 따라 정렬해야 한다. 밀도 값의 정렬 없이 처리하기 위해 모든 사면체의 밀도 값에 대한 누적 분포 함수(cumulative distribution function) C 를 계산할 수 있다. C 는 밀도 값에 따른 사면체의 비율을 나타내는 함수이다. 사면체 비율은 누적 분포 상에서 누적된 사면체 개수 T_{accum} 와 균등한 크기로 분할된 초기 사면체 개수 T_{total} 간의 비율(r)을 나타내며, 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

[0057] [수학식 3]

$$r = \left(\frac{T_{accum}}{T_{total}} \right)$$

[0058]

[0059] 도 4는 일 실시예에 따른 누적 분포 그래프에서 누적 사면체 비율을 균등하게 나누는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

[0060] 도 4를 참조하면, 누적 사면체 비율을 나누는 과정의 예시를 나타낸다. 도 1의 y축과 같이, 밀도 값에 따라 균등하게 분할 횟수를 적용하기 위해 누적 사면체 비율 r 을 N 으로 균등하게 나눌 수 있다.

[0061] 도 5는 일 실시예에 따른 누적 분포 그래프에서 균등하게 나누어진 누적 사면체 비율로 밀도 임계 값을 계산하는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

[0062] 도 5를 참조하면, 누적 분포를 이용하여 밀도 임계 값(thr_i)을 결정하고 이 임계 값(thr_i)을 이용하여 각 사면체의 분할 횟수 $d(T_p)$ 를 결정할 수 있다. 여기서, i 는 분할 횟수를 나타낸다. 도 2의 x축과 같이, 임계 값(thr_i)은 누적 분포 함수의 역함수(C^{-1})를 이용해 계산할 수 있다. 밀도 임계 값과 사면체 밀도 값과의 비교를 통해 분할 횟수를 정하는 경우에는 밀도 값에 따라 모든 사면체들을 정렬할 필요가 없다.

[0063] 이렇게 밀도 임계 값(thr_i)을 계산한 후, 각각의 사면체 T_p 의 밀도 값 $den(T_p)$ 이 어느 임계 구간에 있는지를 검사하면 분할 횟수를 알 수 있으며, 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

[0064] [수학식 4]

$$thr_{N-i-1} < den(T_p) \leq thr_{N-i}$$

$$0 \leq i \leq N$$

[0065]

[0066] 각 사면체의 분할 횟수에 따라 차등 분할을 진행할 수 있다. 분할 횟수가 2회 이상일 경우에는 분할된 모든 사면체에 대해 재귀적으로 다시 분할을 진행할 수 있다.

[0067] 밀도 임계 값을 증가시켰을 경우에 모델의 정점(Vertex), 변(Edge), 삼각형(Triangle), 사면체(Tetrahedron), 용량(Capacity)의 변화를 확인한 결과, 밀도 임계 값이 증가할수록 사면체 분할이 더 많이 일어나기 때문에 모델의 정점 수, 변 수, 삼각형 수, 사면체 수, 차등 분할된 모델의 용량이 모두 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0069] 도 6은 일 실시예에 따른 사면체를 분할하는 과정의 예시를 나타내는 도면이다.

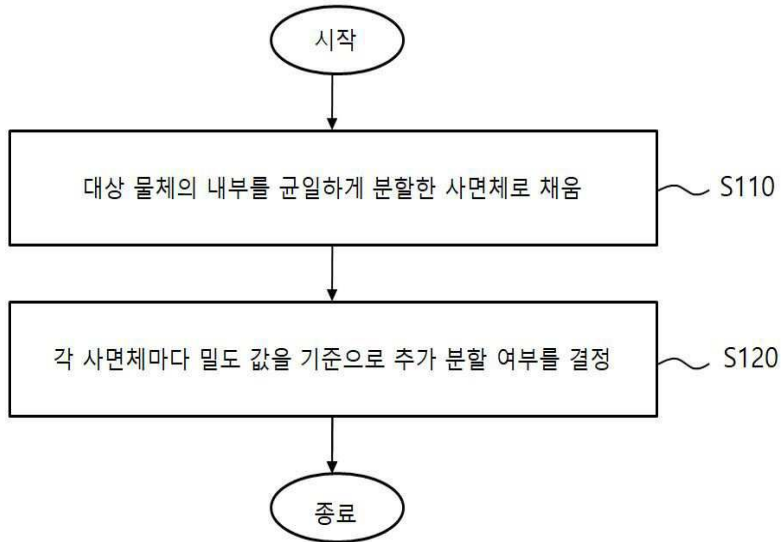
[0070] 도 6을 참조하면, 먼저 사면체(600)는 4개의 사면체와 1개의 팔면체(610)로 분할될 수 있다. 그리고 내부의 팔면체(610)는 다시 4개의 사면체(620)로 나누어질 수 있다.

- [0071] 보다 구체적으로, 먼저 사면체(600)의 각 변의 중심에 새로운 정점들을 생성할 수 있다. 그리고 사면체(600)의 꼭지점과 이 점과 가까운 새로 생성된 정점 3개를 연결하여 바깥 부분에 4개의 작은 사면체를 생성할 수 있다. 내부에 팔면체(610)의 경우 중앙의 마름모에 대각선을 그어 2개의 삼각형으로 분할하고, 이 2개의 삼각형의 각 3개의 정점과 팔면체(610)의 위쪽, 아래쪽의 정점을 이용하여 4개의 사면체(620)로 분할할 수 있다. 이러한 분할 방식은 분할하는 과정이 단순하고 직관적이며 계산량이 적어 많은 사면체들을 분할하는 경우에 성능을 올릴 수 있는 장점이 있다.
- [0073] 이상과 같이, 실시예들에 따르면 물체 내부 사면체 모델의 기하학적 정보만을 활용하여 분할하는 기존의 알고리즘과 다르게, 실시예들은 모델의 각 정점에서 물성을 나타내는 밀도를 추출하고, 이 밀도 값을 기준으로 내부 사면체 모델을 분할하는 방법을 제공할 수 있다. 이를 통해서 사면체의 기하 모델의 정점 수를 줄여 렌더링(rendering) 효율을 높이고 필요한 부분에 더 세밀한 분할이 가능해 대상 물체의 세부 모습을 나타낼 수 있다. 밀도 값을 가진 물체 내부와 각 사면체가 매핑되는 지점의 밀도 값 분포를 이용하여 각 사면체의 재귀적인 분할 여부를 결정함으로써 사면체를 세분화할 수 있다.
- [0074] 실시예들에 따른 상세 단계 모델을 이용하여 렌더링한 결과, 정점, 삼각형 수를 줄일 수 있고 물성이 균등하지 않은 물체를 효율적으로 시물레이션 할 수 있다. 그리고 균등하게 분할된 사면체 모델의 밀도 분포도 및 누적 분포도 계산과 분석을 통해 어느 밀도 기준 값에서 최적의 모델 분할이 가능한지를 확인할 수 있다.
- [0076] 이상에서 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있거나 "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, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0077] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0078] 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0079] 또한, 명세서에 기재된 "...부", "...모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0080] 또한, 각 도면을 참조하여 설명하는 실시예의 구성 요소가 해당 실시예에만 제한적으로 적용되는 것은 아니며, 본 발명의 기술적 사상이 유지되는 범위 내에서 다른 실시예에 포함되도록 구현될 수 있으며, 또한 별도의 설명이 생략될지라도 복수의 실시예가 통합된 하나의 실시예로 다시 구현될 수도 있음은 당연하다.
- [0081] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일하거나 관련된 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0082] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0083] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

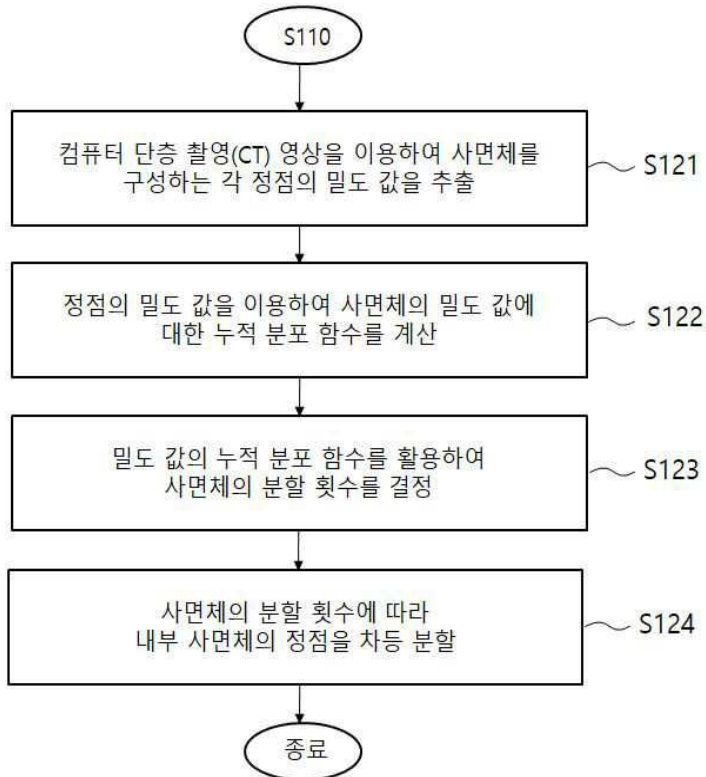
[0084]

도면

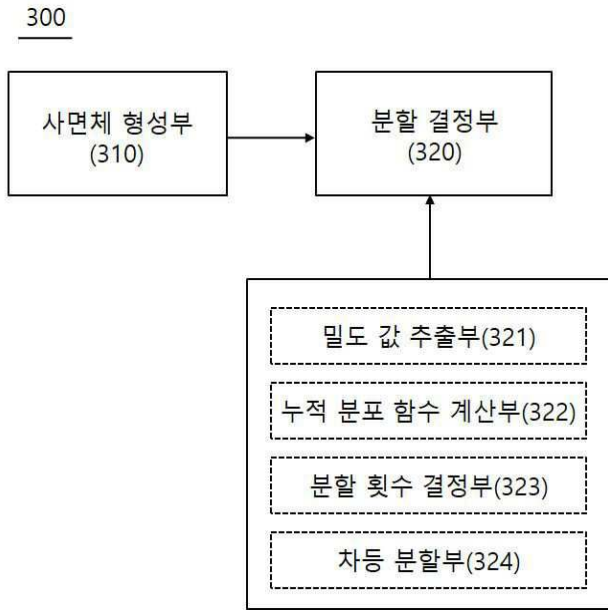
도면1



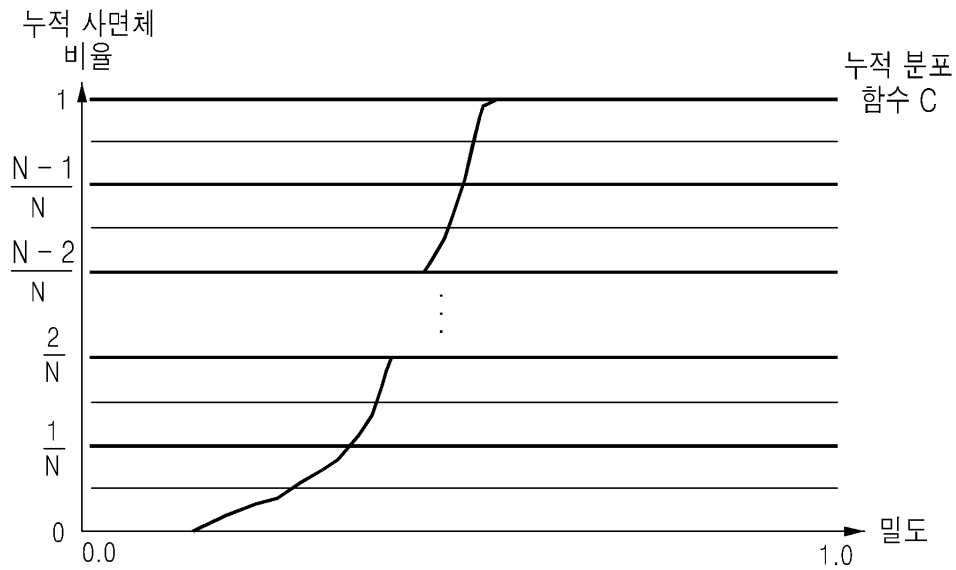
도면2



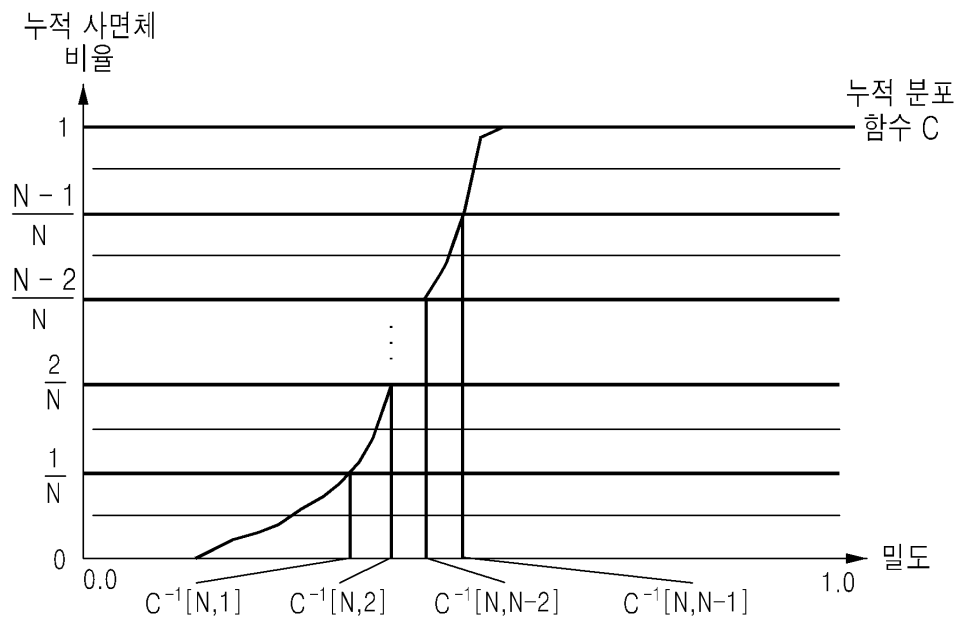
도면3



도면4



도면5



도면6

