(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0017423
(43) 공개일자 2025년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 17/00 (2006.01) *G06T 17/10* (2006.01)
G06T 7/73 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 17/005 (2013.01)
G06T 17/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0098149
(22) 출원일자 2023년07월27일
심사청구일자 2023년07월27일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김종현
인천광역시 미추홀구 인하로 100, 1호관 512C(용현동, 인하대학교)
(74) 대리인
양성보

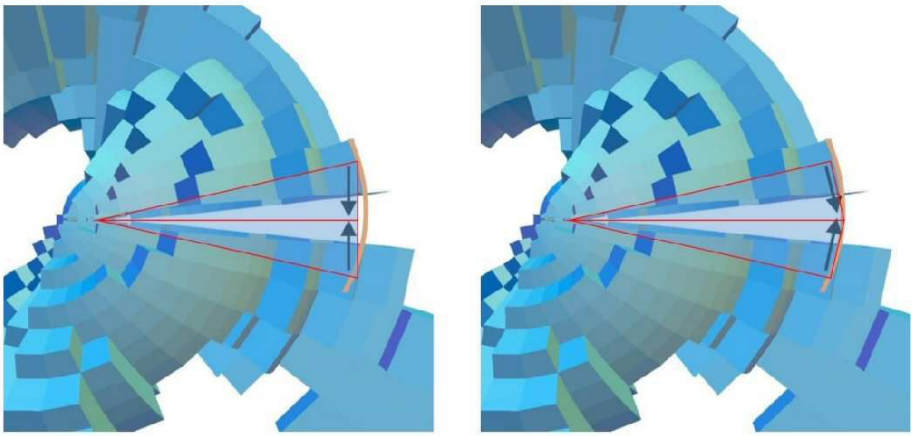
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **구면 좌표계 기반 옥트리의 안정적인 구성과 극홀 필링 방식을 이용한 표면 재복원 방법 및 시스템**

(57) 요 약

구면 좌표계 기반 옥트리의 안정적인 구성과 극홀 필링 방식을 이용한 표면 재복원 방법 및 시스템이 개시된다. 일 실시예에 따른 컴퓨터 시스템에 의해 수행되는 표면 재복원 방법은, 구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성하는 단계; 및 상기 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원하는 단계를 포함하고, 상기 복원하는 단계는, 상기 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도8



(52) CPC특허분류
G06T 7/73 (2017.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 시스템에 의해 수행되는 표면 재복원 방법에 있어서,

구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성하는 단계; 및

상기 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원하는 단계

를 포함하고,

상기 복원하는 단계는,

상기 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링하는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 구성하는 단계는,

상기 구면 좌표계에서 레벨셋(Level-set)을 통해 구의 원점을 계산하고, 상기 계산된 구면 좌표계의 원점이 메쉬의 표면일 경우, 레벨셋의 기울기를 이용하여 원점을 이동시키는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 복원하는 단계는,

상기 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용하기 위해 상기 구성된 구면 옥트리의 인접노드 리스트를 구축하는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복원하는 단계는,

상기 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용함에 따라 2차 에러 함수를 사용하여 격자 공간 내에서 정점의 위치를 결정하는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 복원하는 단계는,

구면 좌표계를 이용하여 폴리곤화(Polygonization)를 수행하는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복원하는 단계는,

극홀이 포함된 인접 노드의 방향을 이용하여, 상기 방향과 극좌표가 충돌하는 지점을 기반으로 고스트 노드를 실행하는 단계

를 포함하는 표면 재복원 방법.

청구항 7

컴퓨터 시스템에 있어서,

구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성하는 구면 옥트리 구성부; 및

상기 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원하는 표면 복원부

를 포함하고,

상기 표면 복원부는,

상기 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링하는 것

을 포함하는 컴퓨터 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 아래의 설명은 구면 좌표계 기반 표면 재복원 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 물리 기반 유체 시뮬레이션에서 표면 재복원(Surface reconstruction)은 결과를 시각화하기 위해 필요한 과정이다. 이때, 활용하는 방법이 음함수 표면(Implicit surface)이며, 복잡한 기하구조(Geometry)와 연결 정보를 효율적으로 생성할 수 있기 때문에 렌더링(Rendering)분야에서 활용되고 있다. 음함수를 시각화하기 위해서는 표면으로부터의 거리를 표현한 부호거리장과 레벨셋 뿐만 아니라 제로 컨투어(Zero-contour)를 찾기 위해 마칭 큐브(Marching cubes)와 듀얼 컨투어링이 널리 활용되고 있다. 비특허문헌 1 "Kim, J.H., Park, T.J. and Kim, C.H., Enhanced Dual Contouring method by using the Feature of Spherical Coordinate System. Journal of the Korea Computer Graphics Society, Vol. 17, No.2, pp.27-36. 2011. DOI: 10.15701/kcgs.2011.17.2.27"은 그래픽스 분야에서 처음으로 구면 좌표계 시스템을 활용하여 구면 옥트리를 구성하고 이를 듀얼 컨투어링 기법에 적용했다. 이 기법은 모델의 형태가 구형에 가까울수록 메쉬(Mesh) 압축성이 개선된다는 결과를 보여주었다(도 1 참조).

[0004] 하지만 종래의 기술은 다음과 같은 몇 가지의 문제가 있다. 첫 번째로 내부 구를 계산하는 방식에서 구의 중점이 표면에 있으면 반지름을 계산할 수 없기 때문에 시스템이 불안정해진다. 이 같은 문제는 듀얼 컨투어링에 대한 한계가 아닌, 구면 옥트리가 잘못 구성된 문제이다. 두번째는 극좌표 부근에서 발생하는 홀을 채우는 과정에서 정확도가 떨어진다는 것이다.

[0005] 한편, 도 1은 직교 좌표계와 구면 좌표계를 이용하여 공간적으로 이산화된 노드를 시각화 한 도면이다. 도 1(a)는 직교 좌표계, 도 1(b)는 구면 좌표계를 이용한 격자 구성을 나타낸다. 음함수가 곡선(빨간색)임에도 불구하고 직교 좌표계는 격자(Grid) 형태로 공간을 표현하지만, 구면 좌표계로 계산된 노드는 음함수 표면과 유사한 형태로 공간을 근사할 수 있다. 상기 노드는 점진적 압축(Progressive compression) 같이 메쉬 표현을 위해

충분한 데이터가 주어지지 않은 경우에 나타나는 결과이며, 곡면 처리에 있어서 부드러운 특징을 잘 표현한다. 데이터가 부족하다는 것은 트리의 깊이가 낮아서 메쉬를 처리하는데 있어서 기하구조 정보가 부족한 경우를 의미하며, 특히 직교 좌표계 기반의 옥트리(Octree)에서 이렇게 부족한 기하구조로는 도 1(a)에서 보듯이 각진 형태로 보이거나 곡면을 표현하기 어렵게 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 구면 좌표계 기반 적응형(Adaptive) 자료구조인 구면 옥트리(Spherical octree)를 안정적으로 구성할 수 있는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

[0008] 내부 원의 중점을 계산할 때 오차로 인해 안정성이 감소되는 부분을 레벨셋(Level-set)을 통해 보정하고, 구면 옥트리와 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 기반으로 표면을 복원할 때 극좌에 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 표면의 법선 벡터(Normal vector) 활용하여 정확하게 필링(Filling)하는 방법 및 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 컴퓨터 시스템에 의해 수행되는 표면 재복원 방법은, 구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성하는 단계; 및 상기 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원하는 단계를 포함하고, 상기 복원하는 단계는, 상기 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 구성하는 단계는, 상기 구면 좌표계에서 레벨셋(Level-set)을 통해 구의 원점을 계산하고, 상기 계산된 구면 좌표계의 원점이 메쉬의 표면일 경우, 레벨셋의 기울기를 이용하여 원점을 이동시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0012] 상기 복원하는 단계는, 상기 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용하기 위해 상기 구성된 구면 옥트리의 인접노드 리스트를 구축하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 복원하는 단계는, 상기 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용함에 따라 2차 에러 함수를 사용하여 격자 공간 내에서 정점의 위치를 결정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 복원하는 단계는, 구면 좌표계를 이용하여 폴리곤화(Polygonization)를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0015] 상기 복원하는 단계는, 극홀이 포함된 인접 노드의 방향을 이용하여, 상기 방향과 극좌표가 충돌하는 지점을 기반으로 고스트 노드를 실행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 컴퓨터 시스템은, 구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성하는 구면 옥트리 구성부; 및 상기 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원하는 표면 복원부를 포함하고, 상기 표면 복원부는, 상기 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링하는 것을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0018] 안정적으로 구면 옥트리를 생성하고, 이를 통해 복원된 표면의 품질을 개선시킬 수 있다.

[0019] 직교 좌표계를 이용한 표면 복원 방식과 유사한 왜곡을 가지면서 적은 기하구조 정보를 이용하여 음함수를 표현할 수 있다.

[0020] 구면 형태로 이루어진 노드를 이용하기 때문에 부드러운 표면을 가진 3D모델에서 직교 좌표계보다 곡면을 잘 표현할 수 있다.

[0021] 직교 좌표계보다 다양한 방향을 가진 법선 벡터를 표현할 수 있기 때문에 구면 옥트리로 표현된 메쉬를 이용하여 충돌 처리/렌더링을 할 경우 직교 좌표계보다 정확하게 계산할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 직교 좌표계와 구면 좌표계를 이용하여 격자를 구성하는 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일 실시예에 있어서, 컴퓨터 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 일 실시예에 있어서, 표면 재복원 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 4는 듀얼 컨투어링 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일 실시예에 있어서, 구면 좌표계와 구면 옥트리를 설명하기 위한 도면이다.

도 6는 일 실시예에 있어서, 구면 옥트리의 잘못된 원점으로 인한 발산 표면을 나타낸 예이다.

도 7은 일 실시예에 있어서, 구의 중심 위치가 업데이트되는 과정을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 일 실시예에 있어서, 표면 기울기를 사용한 극홀 필링의 정확도와 기존 방법의 비교 결과를 설명하기 위한 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0026] 실시예에서는 안정성 문제를 개선하여 구면 옥트리를 다양한 모델에 적용 가능하도록 하고, 원주율로 인해 나타나는 오차를 기존 기법에 비해 정확하게 보완할 수 있는 구면 좌표계 기반 옥트리의 안정적인 구성과 극홀 필링 방식에 대하여 설명하기로 한다.

[0027] 도 2는 일 실시예에 있어서, 컴퓨터 시스템의 구성을 설명하기 위한 블록도이고, 도 3은 일 실시예에 있어서, 표면 재복원 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0028] 컴퓨터 시스템(100)의 프로세서는 옥트리 구성부(210) 및 표면 복원부(220)를 포함할 수 있다. 이러한 프로세서의 구성요소들은 컴퓨터 시스템에 저장된 프로그램 코드가 제공하는 제어 명령에 따라 프로세서에 의해 수행되는 서로 다른 기능들(different functions)의 표현들일 수 있다. 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 도 3의 표면 재복원 방법이 포함하는 단계들(310 내지 320)을 수행하도록 컴퓨터 시스템을 제어할 수 있다. 이때, 프로세서 및 프로세서의 구성요소들은 메모리가 포함하는 운영체제의 코드와 적어도 하나의 프로그램의 코드에 따른 명령(instruction)을 실행하도록 구현될 수 있다.

[0029] 프로세서는 표면 재복원 방법을 위한 프로그램의 파일에 저장된 프로그램 코드를 메모리에 로딩할 수 있다. 예를 들면, 컴퓨터 시스템에서 프로그램이 실행되면, 프로세서는 운영체제의 제어에 따라 프로그램의 파일로부터 프로그램 코드를 메모리에 로딩하도록 컴퓨터 시스템을 제어할 수 있다. 이때 옥트리 구성부(210) 및 표면 복원부(220) 각각은 메모리에 로딩된 프로그램 코드 중 대응하는 부분의 명령을 실행하여 이후 단계들(310 내지 320)을 실행하기 위한 프로세서의 서로 다른 기능적 표현들일 수 있다.

[0030] 단계(310)에서 옥트리 구성부(210)는 구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성할 수 있다. 옥트리 구성부(210)는 구면 좌표계에서 레벨셋(Level-set)을 통해 구의 원점을 계산하고, 계산된 구면 좌표계의 원점이 메쉬의 표면일 경우, 레벨셋의 기울기를 이용하여 원점을 이동시킬 수 있다.

[0031] 단계(320)에서 표면 복원부(220)는 구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원할 수 있다. 표면 복원부(220)는 음함수 표면의 법선 벡터를 이용하여 극좌표 부근에서 발생하는 홀(Hole)을 필링할 수 있다. 표면 복원부(220)는 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용하기 위해 구성된 구면 옥트리의 인접노드 리스트를 구축할 수 있다. 표면 복원부(220)는 구성된 구면 옥트리에서 듀얼 컨투어링을 적용함에 따라 2차 에러 함수를 사용하여 격자 공간 내에서 정점의 위치를 결정할 수 있다. 표면 복원부(220)는 구면 좌표계를 이용하여 폴리곤화(Polygonization)를 수행할 수 있다. 표면 복원부(220)는 극홀이 포함된 인접 노드의 방향을 이용하여, 방향과 극좌표가 충돌하는 지점을 기반으로 고스트 노드를 실행할 수 있다.

[0032] 보다 상세하게는, 음함수 표면에 대하여 설명하기로 한다. 컴퓨터 시스템은 동적 재메쉬(Dynamic remesh)를 표현하기 위해 음함수 형태를 이용할 경우, 아이코날 방정식(Eikonal equation)을 만족하는 함수인 수식 1로 표현이 가능해야 한다.

[0033] 수식 1:

[0034] $$f(x,y,z)=f(p)=0$$

[0035] 수식 1에서 $f(p)=0$를 만족시키는 위치인 p는 표면 위에 존재하는 점이며, 수식 1은 표면으로부터 가장 가까운 거리를 나타내는 음함수이다. 구 방정식이나 평면의 방정식이 수식 1을 만족하는 식이며, 0인 지점은 표면 위에 존재하는 점이기 때문에 접점을 찾을 때 활용된다. 이 거리는 표면 내부일 때 음수를 가지고, 표면 외부일 때 양수를 가진다. 이 같은 특징은 물리 기반 시뮬레이션에서 렌더링 및 충돌 처리를 계산하는데 활용된다.

[0036] 음함수 표면의 또 다른 장점은 CSG(Constructive solid geometry)에 쉽게 적용이 가능하다는 것이다. 음함수로 표현된 점들의 집합에서 서로간의 차집합, 교집합, 합집합을 통해 복잡한 모델을 만들 수 있다. 또한, 블렌딩(Blending)과 같은 변형이 가능하기 때문에 유체 시뮬레이션에서 표면을 표현하는데 활용하기도 한다. 음함수로 표현된 간단한 형태는 구 방정식이며, 단위 구는 $f(x,y,z)=x^2+y^2+z^2-r^2$로 표현된다. 이 함수에 대한 기울기는 수식 2와 같이 계산된다.

[0037] 수식 2:

[0038] $$\nabla f(x,y,z)=\left(\frac{\partial f}{\partial x},\frac{\partial f}{\partial y},\frac{\partial f}{\partial z}\right)$$

[0039] 음함수 표면의 블렌딩은 블로비 모델링(Blobby modeling), 소프트 오브젝트(Soft object), 메타볼(Metaball) 등의 모델링에서도 활용될 수 있다. 이러한 함수는 삼각형 메쉬로 변환할 수 있으며, 일반적으로 구현이 쉽고 널리 활용되고 있는 방법이 마칭 큐브이다. 다시 말해서, 수식 1은 아이코날 방정식을 만족하는 일반적인 함수 형태이며, 수식 2는 그 함수에 대한 기울기이다. 구 형태를 표현하고 싶으면 구 방정식을, 평면을 표현하고 싶다면 평면의 방정식을 적용하면 된다. 임의의 모델에 대해서 수식 1을 적용하려면 부호거리장을 통해 근사된 필드를 활용하면 된다.

[0040] 도 5를 참고하면, 구면 좌표계와 구면 옥트리를 설명하기 위한 도면이다. 구면 좌표계는 3차원 공간에서 점의 위치를 표현할 수 있는 좌표계 중의 하나이다. 도 5(a)는 구면 좌표계이고, 도 5(b)는 내부/외부 원이 있는 구형 옥트리를 나타낸 것이다.

[0041] 일반적으로 구면 좌표계는 공간에 있는 위치를 (r,θ,ϕ)로 나타낸다. 원점으로부터의 거리 r은 0부터 거리를 표현하고, Z축과 r방향이 이루는 각도인 θ는 0부터 π까지, Z축과 X축이 이루는 각도인 ϕ는 0부터 2π까지 범위가 지정된다. 도 5에서 (r,θ,ϕ)는 다음과 같이 정의되며, 주어진 위치가 p라고 했을 때, r은 원점으로부터 p사이의 거리($r \geq 0$), θ는 Z축 방향으로부터 원점과 p가 이루는 직선까지의 각도($0 \leq \theta \leq \pi$), ϕ는 X축으로부터 원점과 p가 이루는 직선을 XY 평면에 투영시킨 각도($0 \leq \phi \leq 2\pi$)를 의미한다.

[0042] 직교 좌표계와 구면 좌표계의 변환은 수식 3, 4와 같다.

[0043] 수식 3:

[0044] $$r=\sqrt{x^2+y^2+z^2},\ \theta=\arccos\frac{z}{r},\ \phi=\arctan\frac{y}{x}$$

[0045] 수식 4:

[0046] $$x = rsin\theta\cos\phi, y = rsin\theta\sin\phi, z = rcos\theta$$

[0047] 수식 3은 직교 좌표계를 구면 좌표계로 변환하는 수식이며, 구면 옥트리는 x,y,z 대신에 r,θ,ϕ를 분할한다. 반대로, 수식 4는 구면 좌표계를 직교 좌표계를 변환하는 수식이며, 최종적으로 구면 옥트리의 결과를 렌더링할 때 다시 직교 좌표계 공간으로 변환한다.

[0048] 컴퓨터 시스템은 음함수 표면을 복원하기 위해서 구면 옥트리를 이용할 수 있다. 기하구조 분야에서는 표면 모델만 다루기 때문에 옥트리를 적용하면 불필요한 내부 공간을 무시하고 표면에 근접한 공간만을 다룰 수 있다는 장점이 있다.

[0049] 예를 들면, 컴퓨터 시스템은 최소/최대 구를 정의하여 구면 옥트리를 구성할 수 있다. 내부에 있는 구가 최소 반지름, 외부에 있는 구가 최대 반지름을 나타낸다. 직교 좌표계 기반 옥트리가 x,y,z를 기준으로 분할하듯이, 구면 옥트리는 r,θ,ϕ를 기준으로 분할된다. 구면 옥트리에서 주의해야 할 점 중 하나는 구면 좌표계의 원점 정의이다. 도 6을 참고하면, 구면 옥트리의 잘못된 원점으로 인한 발산 표면을 나타낸 예이다. 이전 기법에서는 Smallest enclosing discs방법을 이용했지만, 정점을 기반으로 구면 좌표계의 중심점이 결정되기 때문에 이 과정에서 모델 표면에 원점이 설정되면 반지름을 계산할 수 없고, 결과적으로 구면 옥트리는 발산하게 된다. 발산 표면 문제를 해결하기 위해 실시예에서는 표면의 레벨셋을 이용한 원점 보정 기법을 제안한다. 만약에 구면 좌표계의 원점이 메쉬의 표면이라면, 컴퓨터 시스템은 레벨셋의 기울기를 이용하여 원점 x를 이동시킬 수 있다(수식 5 참조). 원점이 표면이라는 조건은 레벨셋으로 계산된 거리 값을 이용한다.

[0050] 수식 5:

[0051] $$x_1 = x_0 + \delta\nabla\ f(x_0)$$

[0052] 여기서 x_0는 원점의 초기 위치이고, x_1는 다음 스텝에서 업데이트된 원점의 위치이며, δ는 수렴방향으로 이동하는 가중치이다. 원점이 표면 내부/외부에 위치될 때 까지 반복적으로 원점을 갱신한다. 내부 혹은 외부 중 최종적인 수렴방향을 결정하는 조건은 좀 더 가까운 거리 방향을 선택한다. 제로 컨투어 반대 방향으로 이동해야 되기 때문에 증가하는 방향인 양수를 곱했고, δ는 1보다 큰 가중치이다. 가중치 값이 1이라면 표면에서 움직이지 않거나 극소점(Local minima)에 빠질 가능성이 있으므로 δ는 1보다 큰 값으로 설정한다. 도 7을 참고하면, 구의 중심 위치가 업데이트되는 과정을 설명하기 위한 도면이다. 컴퓨터 시스템은 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링를 적용하기 위해 옥트리의 인접노드 리스트를 구축할 수 있다. 예를 들면, 인접 노드를 찾는 과정을 옥트리 노드에 대한 지오메트리 정보를 사용하지 않고, 옥트리 노드에 대한 연결 정보만을 사용할 수 있다.

[0053] 컴퓨터 시스템은 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링을 적용할 수 있다. 듀얼 컨투어링은 격자 공간 내에서 정점의 위치를 결정하기 때문에 마칭 큐브보다 정확도가 높으며, 정점의 위치를 결정하기 위해 2차 에러 함수를 사용하고, 그 방식은 수식 6과 같다.

[0054] 수식 6:

[0055] $$Q(x) = \sum_i (n_i \cdot \ (x - p_i))^2$$

[0056] 여기서, p_i는 격자의 에지와 음함수 표면의 교차점 위치이며, n_i는 교차점의 법선 벡터이다. $n_i \cdot \ (x - p_i) = 0$을 만족하는 점인 x는 p_i를 지나면서 법선 벡터 n_i를 가지는 평면이다. 따라서, 수식

6을 최소화하는 위치 x는 각 평면의 교차점임을 알 수 있다. 도 4는 듀얼 컨투어링에서 정점의 위치가 결정되는 조건을 표현한 도면이다.

[0057] 컴퓨터 시스템은 구면 옥트리 기반에서 듀얼 컨투어링을 적용함에 있어서, x,y,z 대신에 r,θ,ϕ를 이용하여 폴리곤화(Polygonization)를 수행할 수 있다. 직교 좌표계의 경우 노드가 사각형 형태로 나타나기 때문에 법선 벡터도 X, Y, Z축에 평행한 방향으로 설정되며 이 같은 특징은 곡면으로 나타나야 할 부분이 평면처럼 표현된다. 이 뿐만 아니라 좌표계를 변환하는 과정에서 원주율에 대한 정확도 오차 때문에 한 가지 문제가 더 발생한다. 도 6(b)는 구면 옥트리를 위에서 바라본 모습이며, 원주율에 대한 수치적 오차 때문에 빈 공간이 발생할 수 있다.

[0058] 구면 좌표계를 이용한 폴리곤화 과정에서 모든 계산은 구면 좌표계에서 계산하지만 그래픽 하드웨어 시스템의 좌표가 직교 좌표계이고, 시각화를 위해서는 다시 직교 좌표계로 변환해야 한다. 두 좌표 시스템을 변환하는 과정에서 수치적인 오차가 발생하며, 이 원인은 기본적으로 무한 소수인 원주율이 시스템에서는 64비트 double 형으로 표현되면서 유한한 값을 가지기 때문이다. 예를 들면, 컴퓨터 시스템은 오차를 완화하기 위해 극좌표로 수직 투영하는 방식인 고스트 노드 기법을 제안할 수 있다. 하지만 이 방법은 방향을 고려하지 않았기 때문에 트리 깊이가 낮을 때는 오차가 커지며, 트리 깊이가 커진다고 해서 온전하게 해결되지 않을 수 있다. 이에, 컴퓨터 시스템은 극홀이 포함된 인접 노드의 방향을 이용하여, 상기 방향과 극좌표계가 충돌하는 지점을 기반으로 고스트 노드를 실행할 수 있다. 도 8을 참고하면, 표면 기울기를 사용한 극홀 필링의 정확도와 기존 방법의 비교 결과를 설명하기 위한 예이다. 도 8(a)에서 보듯이 원형에 가깝게 표현되어야 될 음함수 표면이 이전 기법에서는 수직 벡터로 근사했기 때문에 곡면과는 다른 표면이 표현된다. 반면에 실시예에서 제안하는 방법은 곡면의 형태를 상대적으로 잘 표현할 수 있다(도 8(b) 참조).

[0059] 극홀 필링을 구현하기 위한 과정은 다음과 같다. ϕ,θ에서 최소/최대 각을 원주율의 근사값(64비트double)으로 조정한다. 홀 부분(벌어진 부분)을 극좌표 기준으로 투영시킨다(이때 방향은 표면의 법선 벡터 방향으로 설정). 홀을 기준으로 음과 양의 범위에서 투영된 위치가 일치하는 곳에 고스트 노드를 삽입한다. 직교 좌표계에서 고스트 노드로 연결된 부분에 새로운 정점과 삼각형을 삽입한다.

[0060] 실시예에 따르면, 구의 중심을 발산하지 않도록 수렴 방향을 보정함으로써 안정적으로 계산하는 방법을 제안하고, 특정 모델에만 적용됐던 이전 구면 옥트리 한계를 다양한 모델에서 적용되도록 했다. 또한, 듀얼 컨투어링에서 발생하는 홀 필링(Hole filling)의 정확도를 방향까지 고려함으로써 구면 옥트리를 좀 더 정확하게 근사할 수 있다. 결과적으로 이전 구면 옥트리 구조에서 발생하는 문제를 해결함으로써 표면에서 발생하는 발산 문제를 완화시킬 수 있다.

[0061] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 예를 들어, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 애플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.

[0062] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 가상 장치(virtual equipment), 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터

는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

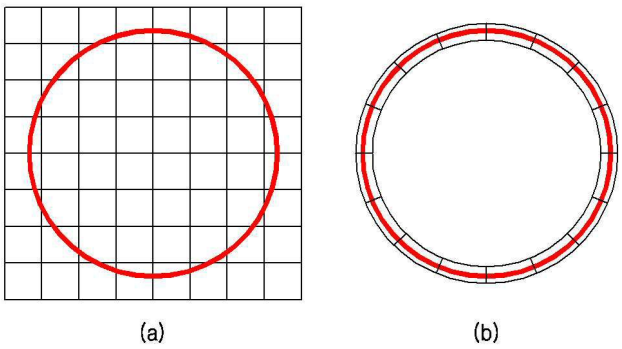
[0063] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0064] 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.

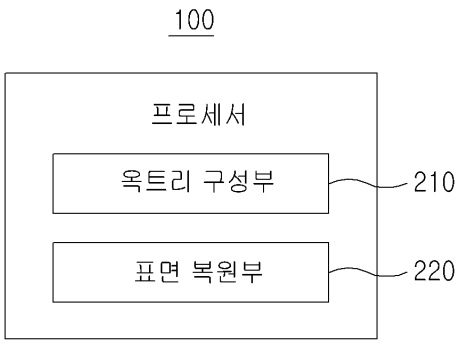
[0065] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

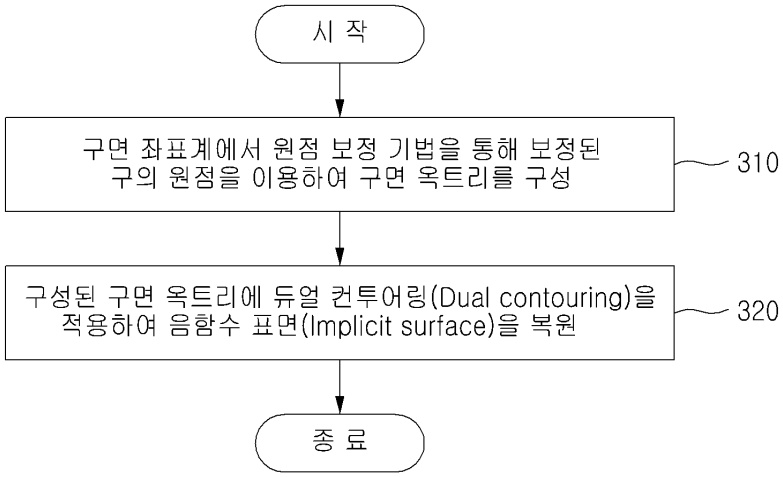
도면1



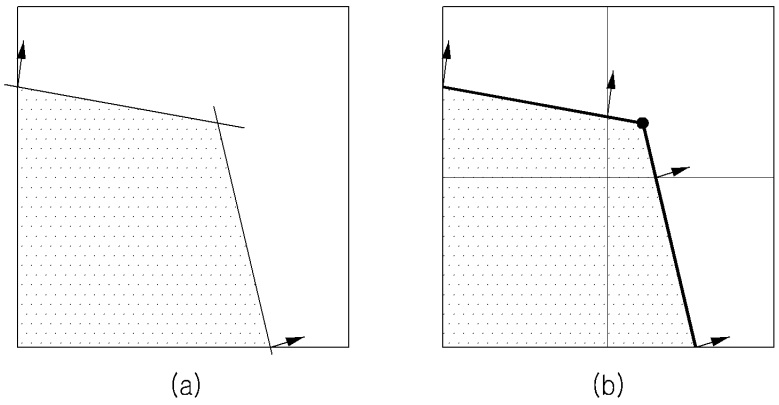
도면2



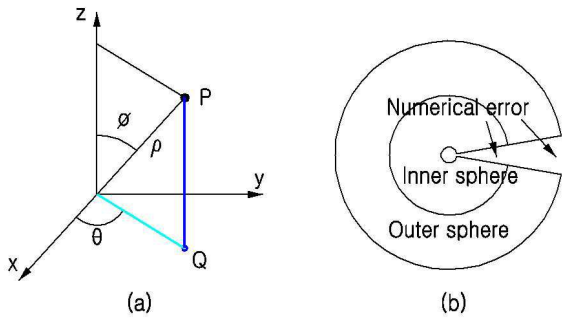
도면3


시 작
구면 좌표계에서 원점 보정 기법을 통해 보정된 구의 원점을 이용하여 구면 옥트리를 구성
310
구성된 구면 옥트리에 듀얼 컨투어링(Dual contouring)을 적용하여 음함수 표면(Implicit surface)을 복원
320
종 료

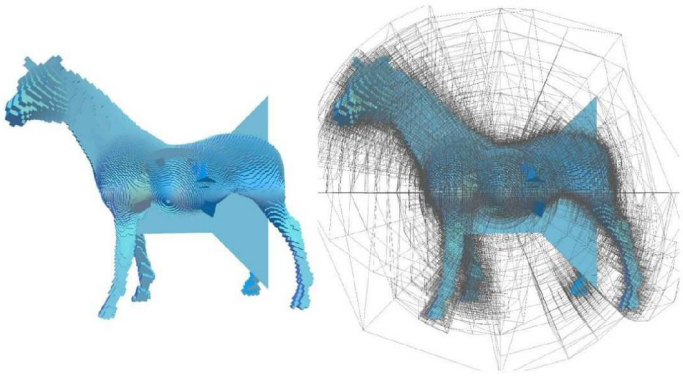
도면4


(a)
(b)

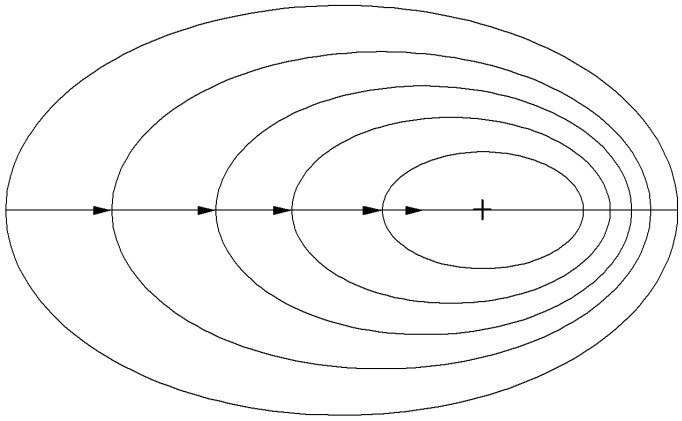
도면5


z
P
ø
ρ
y
θ
x
Q
(a)
Numerical error
Inner sphere
Outer sphere
(b)

도면6



도면7



도면8

