(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2010년06월15일
(11) 등록번호 10-0963114
(24) 등록일자 2010년06월04일

(51) Int. Cl.
G06T 17/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0132157
(22) 출원일자 2008년12월23일
심사청구일자 2008년12월23일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080098871 A
KR1020050042916 A
KR1020060066304 A

(73) 특허권자
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가1 고려대학교 내
(72) 발명자
김창헌
서울특별시 동대문구 제기동 안암골 벽산아파트 105-602
신승호
서울특별시 동대문구 장안3동 현대홈타운아파트 111동 405호
윤종철
서울특별시 영등포구 여의도동 미성아파트 B동 1106호
(74) 대리인
송경근

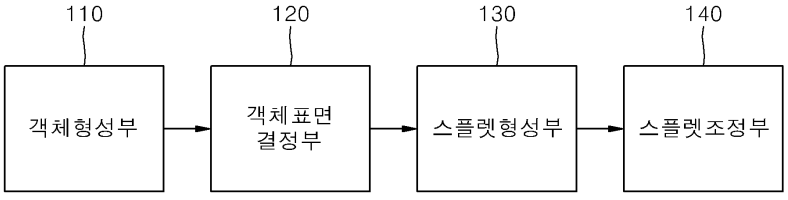
전체 청구항 수 : 총 13 항 심사관 : 문남두

(54) 유체형상 표현장치 및 방법

(57) 요 약

유체형상 표현장치 및 방법이 개시된다. 객체형성부는 3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성한다. 객체표면결정부는 상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 상기 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정한다. 스플렛형성부는 상기 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 상기 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성한다. 스플렛조정부는 상기 객체의 곡면 부분에 위치하는 상기 표면입자 상에 형성된 상기 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 상기 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성한다. 본 발명에 따르면, 객체를 구성하는 입자의 밀도를 이용하여 표면입자를 결정하고 표면입자 상에 스플렛을 형성함으로써, 유체의 3차원 가시화에 소요되는 시간이 줄어들게 되어 애니메이션 등의 영상을 제작할 때 효율적이다. 또한 형성된 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성함으로써, 유체의 표면을 표현할 때 스플렛 사이의 경계에서 단절 현상이 발생하지 않고 매끄럽게 표현할 수 있다.

대 표 도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성하는 객체형성부;

상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 상기 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정하는 객체표면결정부;

상기 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 상기 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성하는 스플렛형성부; 및

상기 객체의 곡면 부분에 위치하는 상기 표면입자 상에 형성된 상기 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 상기 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 스플렛조정부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 객체표면결정부는 상기 평균 밀도에 사전에 설정된 비례계수를 곱하여 산출된 임계밀도를 기준으로 하여 상기 표면입자를 결정하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치.

청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 스플렛형성부는 직사각형 형태의 스플렛을 형성하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치.

청구항 4

제 1항 또는 제 2항에 있어서,

상기 법선벡터는 다음의 수학식 A에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치:

[수학식 A]

$$n=\sum_j m_j \frac{1}{\rho_j} \nabla W(r-r_j, h)$$

여기서, n은 상기 법선벡터, m_j는 상기 객체를 구성하는 j번째 입자의 질량, ρ_j는 j번째 입자의 밀도, $\nabla W(r-r_j,h)$는 상기 표면입자의 위치에 적용되는 스무딩 커널, r은 상기 표면입자의 위치, r_j는 j번째 입자의 위치, 그리고 h는 상기 스무딩 커널의 반경이다.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 기준거리는 상기 스무딩 커널의 반경과 동일하게 설정되는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치.

청구항 6

제 2항에 있어서,

상기 스플렛조정부는 다음의 수학식 B에 의하여 결정된 위치로 상기 스플렛의 각 꼭지점을 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현장치:

[수학식 B]

$$P_{tp}=P_p+\frac{h(SD-PD)}{ID-PD}\cdot n$$

여기서, P_{tp}는 상기 입체적 형상의 스플렛의 꼭지점의 위치, P_p는 본래 형성되었던 스플렛의 꼭지점의 위치, h는 상기 스플렛과 상기 표면입자 사이의 거리, SD는 상기 임계밀도, PD는 상기 표면입자의 밀도, ID는 상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균밀도, 그리고 n은 상기 법선벡터이다.

청구항 7

3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성하는 객체형성단계;

상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 상기 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정하는 객체표면결정단계;

상기 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 상기 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성하는 스플렛형성단계; 및

상기 객체의 곡면 부분에 위치하는 상기 표면입자 상에 형성된 상기 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 상기 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 스플렛조정단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법.

청구항 8

제 7항에 있어서,

상기 객체표면결정단계에서, 상기 평균 밀도에 사전에 설정된 비례계수를 곱하여 산출된 임계밀도를 기준으로 하여 상기 표면입자를 결정하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법.

청구항 9

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 스플렛형성단계에서, 직사각형 형태의 스플렛을 형성하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법.

청구항 10

제 7항 또는 제 8항에 있어서,

상기 법선벡터는 다음의 수학식 A에 의하여 계산되는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법:

[수학식 A]

$$n=\sum_j m_j\frac{1}{\rho_j}\nabla W(r-r_j,h)$$

여기서, n은 상기 법선벡터, m_j는 상기 객체를 구성하는 j번째 입자의 질량, ρ_j는 j번째 입자의 밀도, $\nabla W(r-r_j,h)$는 상기 표면입자의 위치에 적용되는 스무딩 커널, r은 상기 표면입자의 위치, r_j는 j번째 입자의 위치, 그리고 h는 상기 스무딩 커널의 반경이다.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 기준거리는 상기 스무딩 커널의 반경과 동일하게 설정되는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법.

청구항 12

제 8항에 있어서,

상기 스플렛조정단계에서, 다음의 수학식 B에 의하여 결정된 위치로 상기 스플렛의 각 꼭지점을 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 것을 특징으로 하는 유체형상 표현방법:

[수학식 B]

$$P_{tp}=P_p+\frac{h(SD-PD)}{ID-PD}\cdot n$$

여기서, P_{tp}는 상기 입체적 형상의 스플렛의 꼭지점의 위치, P_p는 본래 형성되었던 스플렛의 꼭지점의 위치, h는 상기 스플렛과 상기 표면입자 사이의 거리, SD는 상기 임계밀도, PD는 상기 표면입자의 밀도, ID는 상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균밀도, 그리고 n은 상기 법선벡터이다.

청구항 13

제 7항 또는 제 8항에 기재된 유체형상 표현방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 유체형상 표현장치 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 유체의 유동현상을 3차원 영상으로 표현할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 디지털 콘텐츠에 대한 고품질화 요구에 따라 영화, 애니메이션 및 게임 등의 콘텐츠에 자연현상과 영상특수효과를 실사 수준으로 끌어올려 그래픽으로 표현하는 기술의 중요성이 강조되고 있다. 자연현상을 직접 디자인하여 그래픽으로 표현하는 것은 매우 복잡하며, 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 계산물리학 및 수치해석 기법을 도입하여 슈퍼컴퓨터로 자연현상을 시뮬레이션하고 가시화하는 기술이 연구되어 왔다. 이렇게 물리를 기반으로 하는 유체 시뮬레이션 기술은 연기, 물, 화염과 같은 유체의 움직임을 계산 물리적으로 시뮬레이션하고, 이를 실제처럼 보이도록 3차원으로 가시화하는 기술이다.

[0003] 유체 시뮬레이션의 근간이 되는 것은 나비어-스톡스 방정식(Navier-Stokes equation)이다. 이 식은 뉴턴의 운동방정식 F=ma 를 유체에 맞게 다시 쓴 것으로 유체의 가속도, 유체 이동에 의한 힘, 압력, 외부의 힘, 유체의 점성 사이의 관계를 나타낸다. 나비어-스톡스 방정식은 연속 공간에서 정의되어 있으므로, 이를 컴퓨터에서 계산하기 위해서 크게 두 가지의 계산 방법이 사용되고 있다.

[0004] 먼저 격자 기반 기법(grid-based method)은 공간을 균일한 격자로 나누고 각 격자점에서 유체의 특성을 계산하는 기법으로, 부드러운 수면을 표현하는 데 적합하다. 반면 입자 기반 기법(particle-based method)은 유체를 서로 힘을 주고 받는 다수의 입자로 표현하고 입자의 움직임을 추적함으로써 유체의 최종 모양을 얻는 기법으로 유체의 격한 움직임을 계산하는 데 장점을 갖는다.

[0005] 입자 기반 유체 시뮬레이션에는 여러 가지 방법들이 사용되고 있는데, 라그랑즈 기법(lagrangian method)의 시뮬레이션 기술(Desbrun and Cani)에서 유체를 구성하는 입자는 음함수(implicit) 곡면을 제어하고, 유체의 표면을 가시화하기 위해 사용되었다. 또한 최근 주목 받고 있는 것은 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법(Muller et al.)이다. 이는 유체에 포함된 무수한 분자들이 구성하는 부드럽고 연속적인 공간을 상대적으로 훨씬 적은 수의 입자만으로 표현하고자 하는 방법이다. SPH를 이용하면 미분값이 근사 함수에 의해 미리 계산되어 있기 때문에 연산 시간이 빠르다는 장점이 있다.

[0006] 입자 형태로 시뮬레이션 된 유체를 3차원 그래픽으로 표현하기 위하여 마칭 큐브를 이용하여 표면을 삼각화하거나 각 입자를 포인트 스플렛(splat)으로 가시화할 수 있다. 이러한 포인트 스플래팅(point splatting) 기법은 유체의 3차원 가시화 속도가 빠르지만 하나의 법선벡터를 가지는 평면 스플렛을 사용하기 때문에 스플렛의 경계에 단절 현상이 발생하고, 생성된 영상의 품질이 저하된다.

[0007] 또한 스플렛의 경계에서 단절 현상이 없는 타원형 EWA 스플렛으로 3차원 가시화를 수행하는 기법(Zwicker et al.)이 제안되었고, 법선벡터와 각 점에서의 반지름에 근거하여 단절을 방지하는 표면 스플래팅 기법(Zwicker et al.)이 제안되었다. 그러나 이러한 방법들은 빛을 이용한 음영 계산이 수행될 때 스플렛 당 하나의 법선벡터만을 사용하므로 기본적으로 평면 쉐이딩(constant shading) 효과가 나타난다. 따라서 스플렛의 경계에서 발생하는 단절 현상 및 평면 쉐이딩 효과를 방지할 수 있는 유체 시뮬레이션 방법에 대한 필요성이 제기되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 유체의 유동현상을 3차원 영상으로 표현할 때 복잡한 계산 과정을 줄이고 효율적으로 표현할 수 있으며, 유체의 표면을 자연스럽게 가시화할 수 있는 유체형상 표현장치 및 방법을 제공하는 데 있다.

[0009] 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 유체의 유동현상을 3차원 영상으로 표현할 때 복잡한 계산 과정을 줄이고 효율적으로 표현할 수 있으며, 유체의 표면을 자연스럽게 가시화할 수 있는 유체형상 표현방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공하는 데 있다.

과제 해결수단

[0010] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 유체형상 표현장치는, 3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성하는 객체형성부; 상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 상기 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정하는 객체표면결정부; 상기 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 상기 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성하는 스플렛형성부; 및 상기 객체의 곡면 부분에 위치하는 상기 표면입자 상에 형성된 상기 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 상기 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 스플렛조정부;를 구비한다.

[0011] 상기의 다른 기술적 과제를 달성하기 위한, 본 발명에 따른 유체형상 표현방법은, 3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성하는 객체형성단계; 상기 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 상기 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정하는 객체표면결정단계; 상기 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 상기 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성하는 스플렛형성단계; 및 상기 객체의 곡면 부분에 위치하는 상기 표면입자 상에 형성된 상기 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 상기 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성하는 스플렛조정단계;를 갖는다.

효 과

[0012] 본 발명에 따른 유체형상 표현장치 및 방법에 의하면, 객체를 구성하는 입자의 밀도를 이용하여 표면입자를 결정하고 표면입자 상에 스플렛을 형성함으로써, 유체의 3차원 가시화에 소요되는 시간이 줄어들게 되어 애니메이션 등의 영상을 제작할 때 효율적이다. 또한 형성된 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성함으로써, 유체의 표면을 표현할 때 스플렛 사이의 경계에서 단절 현상이 발생하지 않고 매끄럽게 표현할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 유체형상 표현장치 및 방법의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.

[0014] 도 1은 본 발명에 따른 유체형상 표현장치에 대한 바람직한 실시예의 구성을 도시한 블록도이다.

[0015] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 유체형상 표현장치는, 객체형성부(110), 객체표면결정부(120), 스플렛형성부(130) 및 스플렛조정부(140)를 구비한다.

[0016] 객체형성부(110)는 3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성한다.

[0017] 물이나 안개와 같은 유체의 유동 현상을 3차원 그래픽으로 표현하기 위해서는 먼저 유체를 복수의 불연속적인 입자로 구성되는 객체로 나타내어야 한다. 이때 형성된 객체는 속도계(velocity field), 밀도계(density field)

및 압력계(pressure field)로 표현 가능하다. 또한 다음 수학식 1의 나비어-스톡스 방정식은 객체를 구성하는 입자들의 운동량 보존(conservation of momentum)을 나타낸다.

수학식 1

$$\rho\left(\frac{\partial v}{\partial t}+v\cdot\nabla v\right)=-\nabla p+\rho g+\mu\nabla^2 v$$

[0018]

[0019] 여기서, ρ는 밀도계, v는 속도계, p는 압력계, g는 외력 밀도계(external force density field), 그리고 μ는 유체의 점도(viscosity)를 나타낸다.

[0020] 이때 객체 내의 입자들은 객체, 즉 유체의 움직임에 따라 함께 이동하기 때문에 수학식 1의 좌변에 있는 ($\partial v/\partial t + v\cdot\nabla v$)를 단순화시켜 입자들의 속도를 시간에 대해 미분한 (dv/dt)의 형태로 치환할 수 있다. 또한 수학식 1의 우변은 입자들의 운동량을 변화시키는 힘을 나타내며, 이는 크게 압력($-\nabla p$), 외력(pg) 및 점도($\mu\nabla^2 v$)로 구분된다.

[0021] 또한 객체형성부(110)에 의해 형성된 객체에 라그랑지안(Lagrangian) 방법을 적용함으로써 객체를 구성하는 입자들을 이류시켜 유체의 유동 현상을 표현할 수 있다. 라그랑지안은 계의 동역학적 상태에 대한 정보를 가진 함수로서, 유동하는 유체 내에서 입자들의 속도를 알 수 있으므로 유체 유동을 시뮬레이션하는 데 적합하다.

[0022] 다음으로 객체표면결정부(120)는 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균 밀도 및 각각의 입자의 밀도를 기초로 상기 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정한다. 표면입자는 객체를 구성하는 입자의 밀도에 따라 결정되는데, 입자의 밀도가 사용자에 의해 사전에 설정된 임계밀도보다 작은 경우에 표면입자로 결정된다. 임계밀도는 전체 입자들의 평균밀도를 기초로 설정될 수 있으며, 예를 들면, 객체를 구성하는 모든 입자들의 밀도를 평균한 평균밀도에 사전에 설정된 비례계수를 곱한 값에 의해 산출된 값을 임계밀도로 설정할 수 있다. 이때 평균밀도에 곱해지는 비례계수는 0에서 1 사이의 값을 가지도록 하는 것이 바람직하며, 표면입자를 결정할 때마다 사용자가 임의로 설정할 수도 있고, 특정한 값으로 고정되도록 하여 임계밀도가 자동으로 산출되도록 할 수도 있다.

[0023] 스플렛형성부(130)는 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대 방향으로 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성한다.

[0024] 객체표면결정부(120)에 의해 결정된 표면입자는 3차원 공간에서 객체, 즉 유체가 위치하는 영역과 그렇지 않은 영역의 경계를 형성한다. 그 경계를 확실히 하여 3차원으로 가시화된 유체를 표현하기 위해서 스플렛을 이용한다. 스플렛을 형성하기 위하여 표면입자에 대해 법선벡터를 계산할 때 수학식 1의 나비어-스톡스 방정식에 나타난 유체의 밀도를 이용할 수 있다.

[0025] 수학식 1의 나비어-스톡스 방정식을 풀이하기 위해 사용되는 것이 입자 기반의 기법인 SPH(smoothed particle hydrodynamics)이다. SPH는 입자로 이루어진 시스템을 위한 보간방법으로, 공간에 존재하는 불연속적인 각각의 입자에 대한 분포 밀도 및 미분값 등의 물리량을 계산할 수 있다. 또한 SPH는 방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 이용하여 각각의 입자 부근의 필드값을 보간한다. SPH에 따르면, 객체 내의 특정 위치인 r에 대한 스칼라 필드값인 $A_s(r)$은 다음의 수학식 2에 의해 객체 내의 모든 입자에 대한 물리량의 가중 합(weighted sum)을 산출함으로써 보간된다.

수학식 2

$$A_s(r)=\sum_j m_j\frac{A_j}{\rho_j}W(r-r_j,h)$$

[0026]

[0027] 여기서, $A_s(r)$은 객체 내의 r 위치에 대한 필드값, m_j는 j번째 입자의 질량, ρ_j는 j번째 입자의 밀도, $W(r-r_j,h)$는 스무딩 커널, r_j는 j번째 입자의 위치, A_j는 r_j에서의 필드값, 그리고 h는 스무딩 커널의 반경을 나타낸다. 또한 커널 함수인 $W(r,h)$는 $\int W(r)dr=1$의 식을 만족시킴으로써 정규화된다.

[0028] 수학식 2에 있어서, 객체 내의 j번째 입자의 질량 m_j는 변하지 않는 일정한 값이지만 밀도 ρ_j는 가변하며, 매

순간마다 그 값을 산출하여야 한다. 수학식 2를 객체 내의 r 위치에 대한 밀도에 관한 식으로 변환하면 다음의 수학식 3과 같이 나타난다.

수학식 3

$$\rho_s(r)=\sum_j m_j\frac{\rho_j}{\rho_j}W(r-r_j,h)=\sum_j m_j W(r-r_j,h)$$

[0029]

[0030] 여기서, $\rho_s(r)$은 객체 내의 r 위치에 대한 밀도, m_j는 j번째 입자의 질량, ρ_j는 j번째 입자의 밀도, 그리고 $W(r-r_j,h)$는 스무딩 커널이다.

[0031] 수학식 3에 의해 계산되는 밀도를 이용하여 표면입자에서 계산되는 법선벡터는 다음의 수학식 4와 같이 객체 내의 임의의 위치에서 계산된 밀도값의 그라디언트로 나타낸다. 또한 법선벡터의 방향은 표면입자로부터 객체의 중심, 즉 유체의 안쪽을 향하는 방향이다.

수학식 4

$$n=\sum_j m_j\nabla W(r-r_j,h)$$

[0032]

[0033] 여기서, n은 표면입자에서 계산된 법선벡터, m_j는 j번째 입자의 질량, 그리고 $\nabla W(r-r_j,h)$는 표면입자의 위치에 적용되는 스무딩 커널을 나타낸다.

[0034] 스플렛은 위와 같이 계산된 법선벡터의 방향과 정반대의 방향, 즉 객체로부터 멀어지는 방향으로 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하며, 다각형의 모양으로 형성된다. 이때 스플렛의 모양은 네 개의 삼각형이 결합되어 형성된 직사각형 모양으로 하는 것이 바람직하다. 또한 생성된 스플렛과 표면입자 간의 거리인 기준거리는 표면입자의 위치에 적용된 스무딩 커널의 반경과 동일한 h로 할 수 있다.

[0035] 도 2는 스플렛형성부(130)에 의해 표면입자로부터 h의 거리만큼 이격되어 형성된 스플렛을 도시한 도면이다. 도 2를 참조하면, 화살표는 표면입자에서 계산된 법선벡터의 방향과 반대 방향을 나타내며, 정확하게는 형성된 스플렛의 중심을 통과하는 방향이다. 또한 화살표의 길이, 즉 스플렛과 표면입자 사이의 거리는 스무딩 커널의 반경과 동일한 h이다. 표면입자를 중심으로 하는 원은 표면입자의 위치에 적용되는 스무딩 커널을 나타낸다.

[0036] 이와같이 객체를 구성하는 입자의 밀도를 이용하여 표면입자를 결정하고 표면입자 상에 스플렛을 형성함으로써 유체의 3차원 가시화에 소요되는 시간이 줄어들게 되어 애니메이션 등의 영상을 제작할 때 효율적이다.

[0037] 그런데 객체는 유체를 형상화한 것이므로 유체의 성질상 표면에 곡면으로 이루어진 부분이 많게 된다. 따라서 2차원 형상의 평면 스플렛으로 객체의 표면을 형성할 경우, 곡면으로 이루어진 부분의 표면입자로부터 형성된 스플렛의 꼭지점이 객체의 표면으로부터 멀어지게 되어 스플렛 사이의 경계에 단절이 발생하고 유체의 실제 표면과 상이하게 표현될 우려가 있다. 이를 방지하기 위해 원래 평면의 형상으로 형성되었던 스플렛을 입체적 형상으로 수정하여 실제 객체의 표면과 유사하게 형성되도록 할 필요성이 있다.

[0038] 스플렛조정부(140)는 객체의 곡면 부분에 위치하는 표면입자 상에 형성된 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 표면입자의 위치에서 계산된 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성한다. 이동된 꼭지점의 위치는 다음의 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$P_{tp}=P_p+\frac{h(SD-PD)}{ID-PD}\cdot n$$

[0039]

[0040] 여기서, P_{tp}는 입체적 형상의 스플렛의 꼭지점의 위치, P_p는 본래 형성되었던 스플렛의 꼭지점의 위치, h는 스플렛과 표면입자 사이의 거리, SD는 임계밀도, PD는 표면입자의 밀도, ID는 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균밀도, 그리고 n은 법선벡터이다.

[0041] 도 3은 표면입자 상에 형성된 스플렛의 각 꼭지점이 표면입자에서 계산된 법선벡터의 방향으로 이동되는 것을

도시한 도면이고, 도 4는 평면 스플렛의 꼭지점이 이동되어 입체적 형상의 스플렛으로 조정된 결과를 도시한 도면이다.

[0042] 도 3을 참조하면, 꼭지점이 이동되기 이전에는 표면입자에 대해 판형의 스플렛이 형성되어 이웃한 스플렛과의 경계 부분에서 단절 현상이 발생하게 된다. 따라서 이러한 단절 현상을 방지하기 위해 스플렛의 꼭지점을 각각의 스플렛이 형성된 표면입자에서 계산된 법선벡터의 방향, 즉 객체의 안쪽을 향하는 방향으로 이동시킨다. 스플렛의 꼭지점을 이동시킨 결과 도 4에 도시된 바와 같이 입체적 형상의 스플렛이 형성되어 이웃한 스플렛과의 경계에서 단절 현상이 발생하지 않고 매끄러운 유체의 표면을 형성할 수 있게 된다.

[0043] 도 5는 본 발명에 따른 유체형상 표현방법의 바람직한 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도이다.

[0044] 도 5를 참조하면, 객체형성부(110)는 3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성한다(S510). 다음으로 객체표면결정부(120)는 객체를 구성하는 전체 입자들의 평균밀도 및 각각의 입자의 밀도를 기초로 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정한다(S520). 구체적으로는, 입자의 밀도가 전체 입자들의 평균밀도에 의해 결정되는 임계밀도보다 작으면 표면입자로 결정된다.

[0045] 스플렛형성부(130)는 표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 표면입자로부터 사전에 설정된 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성한다(S530). 이때 법선벡터는 수학식 4에 의해 계산되며, 기준거리는 표면입자의 위치에 적용되는 스무딩 커널의 반경과 동일하게 설정될 수 있다. 또한 형성된 스플렛은 네 개의 사각형이 결합된 형태의 직사각형으로 하는 것이 바람직하다.

[0046] 마지막으로 스플렛조정부(140)는 객체의 곡면 부분에 위치하는 표면입자 상에 형성된 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성한다(S540). 스플렛의 꼭지점은 수학식 5에 의해 결정된 위치로 이동시킬 수 있으며, 이동 결과 도 4에 도시된 바와 같은 입체적 형상의 스플렛이 형성될 수 있다.

[0047] 도 6은 본 발명에 따른 유체형상 표현장치에 의한 3차원 가시화 결과를 나타낸 도면이다. 8,000개의 입자들로 이루어진 객체를 형성하여 유체의 유동을 시뮬레이션하고, 객체 표면에 형성된 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 유체를 형상화하였다. 3차원 가시화 결과, 도 6에 나타난 유체의 표면에 단절이 발생하지 않고 매끄럽게 표현된 것을 확인할 수 있다.

[0048] 또한 도 7은 평면 스플렛을 사용하여 유체를 형상화한 경우와 스플렛조정부(140)에 의해 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 유체를 형상화한 경우를 비교한 일 예를 도시한 도면이다. 도 7을 참조하면, 꼭지점을 이동시키지 않은 평면 형태의 스플렛을 사용한 경우에는 객체의 곡면 부분에서 표면에 굴곡이 생기고, 스플렛의 경계 부분에서 단절이 발생하였다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 입체적 형상의 스플렛을 사용한 경우에는 객체의 곡면 부분이 자연스럽게 표현된 것을 확인할 수 있다.

[0049] 도 8은 평면 스플렛을 사용하여 유체를 형상화한 경우와 스플렛조정부(140)에 의해 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 유체를 형상화한 경우를 비교한 다른 예를 도시한 도면이다. 도 8을 참조하면, 평면 스플렛을 사용한 경우에는 객체의 곡면 부분에서 스플렛의 꼭지점이 객체의 표면과 멀어지게 되어 스플렛 사이의 경계가 부드럽게 연결되지 못하고 객체의 표면이 심하게 일그러져 유체를 적절하게 표현할 수 없다. 그러나 입체적 형상의 스플렛을 사용한 경우에는 객체의 곡면 부분에서 스플렛의 꼭지점이 객체의 표면에 가깝게 위치하도록 수정되므로 단절이 발생하지 않고 유체가 자연스럽게 표현된다.

[0050] 도 9는 본 발명에 따른 유체형상 표현장치를 이용하여 유체의 유동현상을 표현한 결과를 도시한 도면이다. 수학식 1의 나비어-스톡스 방정식과 라그랑지안 방법을 사용하여 유동하는 유체를 형상화한 객체 내의 입자의 이동속도 등을 산출함으로써 유체의 유동현상을 표현할 수 있다. 또한 이러한 유동현상을 가시화하기 위해서 본 발명에 따른 유체형상 표현장치에 의해 객체의 표면에 입체적 형상의 스플렛을 형성하였다. 시뮬레이션 결과 도 9에 도시된 바와 같이 물의 유동이 자연스럽게 형상화되었다는 것을 확인할 수 있다.

[0051] 본 발명은 또한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체의 예로는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피디스크, 광데이터 저장장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한 컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템에 분산되어 분산방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수 있다.

[0052] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0053] 도 1은 본 발명에 따른 유체형상 표현장치에 대한 바람직한 실시예의 구성을 도시한 블록도,

[0054] 도 2는 스플렛형성부에 의해 표면입자로부터 h의 거리만큼 이격되어 형성된 스플렛을 도시한 도면,

[0055] 도 3은 표면입자 상에 형성된 스플렛의 각 꼭지점이 표면입자에서 계산된 법선벡터의 방향으로 이동되는 것을 도시한 도면,

[0056] 도 4는 평면 스플렛의 꼭지점이 이동되어 입체적 형상의 스플렛으로 조정된 결과를 도시한 도면,

[0057] 도 5는 본 발명에 따른 유체형상 표현방법의 바람직한 실시예의 수행과정을 도시한 흐름도,

[0058] 도 6은 본 발명에 따른 유체형상 표현장치에 의한 3차원 가시화 결과를 나타낸 도면,

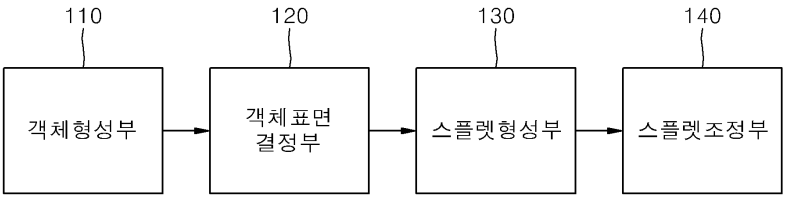
[0059] 도 7은 평면 스플렛을 사용하여 유체를 형상화한 경우와 스플렛조정부에 의해 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 유체를 형상화한 경우를 비교한 일 예를 도시한 도면,

[0060] 도 8은 평면 스플렛을 사용하여 유체를 형상화한 경우와 스플렛조정부에 의해 스플렛의 꼭지점을 이동시켜 유체를 형상화한 경우를 비교한 다른 예를 도시한 도면, 그리고,

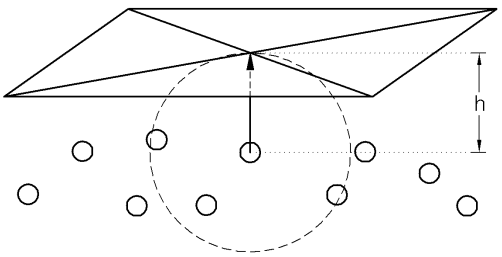
[0061] 도 9는 본 발명에 따른 유체형상 표현장치를 이용하여 유체의 유동현상을 표현한 결과를 도시한 도면이다.

도면

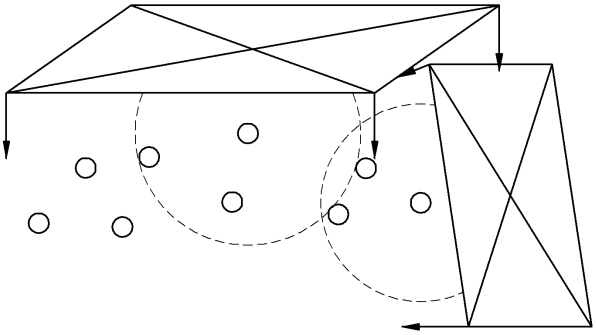
도면1



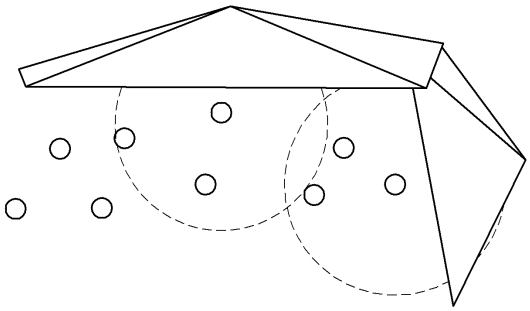
도면2



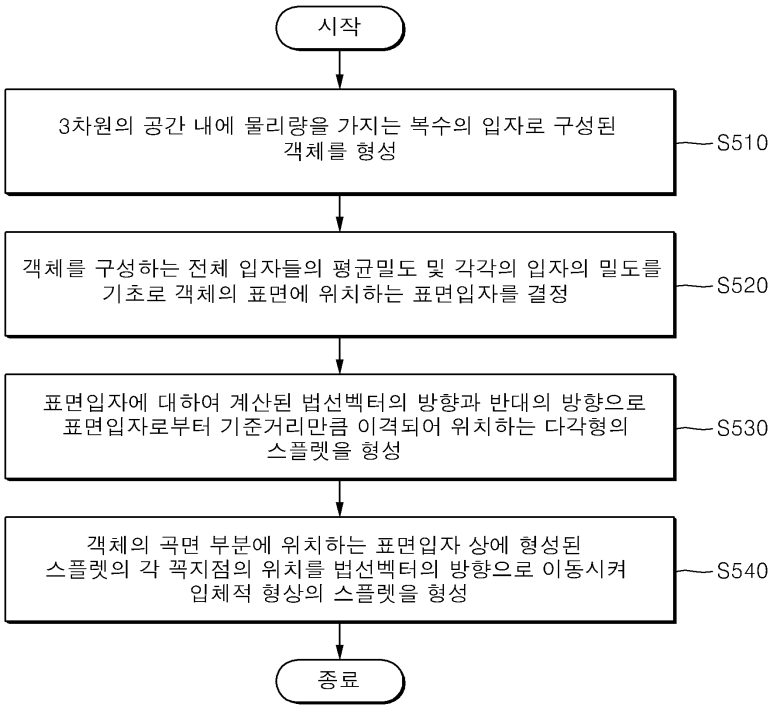
도면3



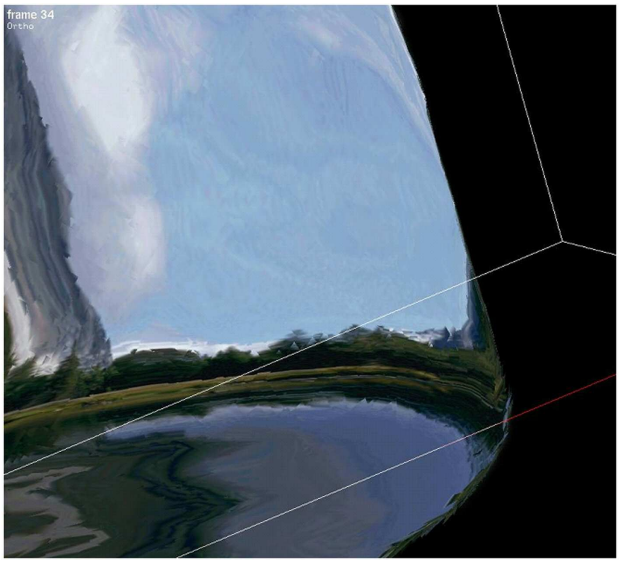
도면4



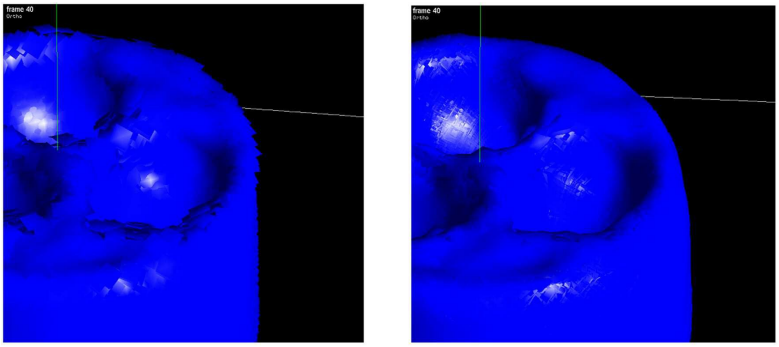
도면5


시작
3차원의 공간 내에 물리량을 가지는 복수의 입자로 구성된 객체를 형성
S510
객체를 구성하는 전체 입자들의 평균밀도 및 각각의 입자의 밀도를 기초로 객체의 표면에 위치하는 표면입자를 결정
S520
표면입자에 대하여 계산된 법선벡터의 방향과 반대의 방향으로 표면입자로부터 기준거리만큼 이격되어 위치하는 다각형의 스플렛을 형성
S530
객체의 곡면 부분에 위치하는 표면입자 상에 형성된 스플렛의 각 꼭지점의 위치를 법선벡터의 방향으로 이동시켜 입체적 형상의 스플렛을 형성
S540
종료

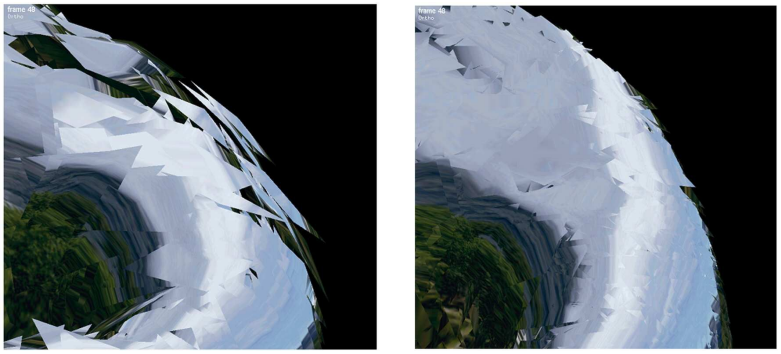
도면6


frame 34
Ortho

도면7


frame 40
Ortho
frame 40
Ortho

도면8


frame 48
Ortho
frame 48
Ortho

도면9

