(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0041328
(43) 공개일자 2023년03월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G09B 23/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G09B 23/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0124795
(22) 출원일자 2021년09월17일
심사청구일자 2021년09월17일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
신병석
서울특별시 서초구
성수경
인천광역시 미추홀구 인하로 115-11, 405호(용현동, 가온빌)
한상원
인천광역시 미추홀구 토금남로 79, 102동 1107호(용현동, 우성아파트)
(74) 대리인
양성보

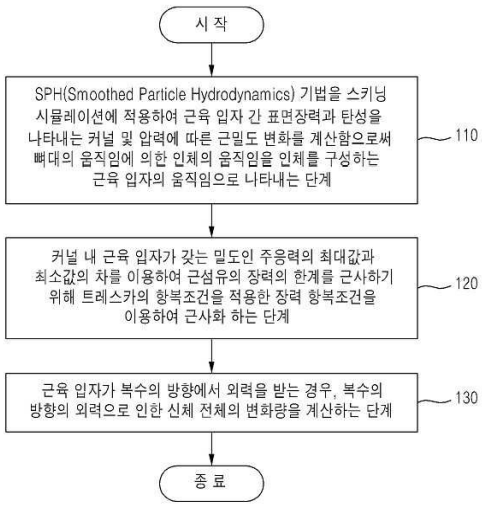
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 **입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법 및 장치**

(57) 요 약

입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법 및 장치가 제시된다. 본 발명에서 제안하는 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법은 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계, 상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계 및 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711126402
과제번호	2020-0-00594-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro] VR·AR 콘텐츠 제어를 위한 다형성 햅틱컨트롤러 (2차년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국기술교육대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711131757
과제번호	2019R1A2C1090713
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구
연구과제명	[Ezbaro] CNN과 GAN을 이용한 의료 AR/VR용 실감 인체모델 생성기술
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계;

상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계; 및

근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계

를 포함하는 관절 탄성 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 SPH 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계는,

방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용하는 상기 SPH 기법을 이용하고, 커널 내 근육 입자들의 밀도, 압력, 점탄성을 포함하는 필드 값들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용하며,

상기 SPH 기법을 통해 임의의 스칼라 필드의 값을 근사하기 위해 근육 입자의 질량, 밀도, 스칼라 필드의 값을 이용하며, 해당 근육 입자가 갖는 스칼라 필드의 값은 미리 정해진 반지름 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 모두 더함으로써 계산하고, 계산된 스칼라 필드의 값은 특정 근육 입자에 적용되는 외력을 계산하기 위해 사용되는

관절 탄성 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계는,

서로 수직인 한 쌍의 주응력 성분들 중 서로 수직인 주응력 간의 차가 가장 큰 값의 1/2을 장력 항복조건으로 하고,

상기 장력 항복조건은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값과 최소 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값을 이용하여 계산되는

관절 탄성 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계는,

신체 변화량을 계산하기 위해 미리 설정된 근육 입자의 밀도 값을 초기 값으로 하여 근육 입자 간의 거리를 계

산하고,

근육 입자 간의 거리 값이 상기 초기 값보다 작은 경우, 근육 입자에 적용되는 외력에 의한 근육 입자의 밀도 값을 계산하고,

상기 계산된 근육 입자의 밀도 값이 상기 장력 항복조건보다 큰 경우, 근육 입자의 밀도 값이 더 이상 증가하지 않도록 상기 외력을 제한하는

관절 탄성 시뮬레이션 방법.

청구항 5

SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 근밀도 계산부;

상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 항복조건 계산부; 및

근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 신체 변형 계산부

를 포함하는 관절 탄성 시뮬레이션 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 근밀도 계산부는,

방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용하는 상기 SPH 기법을 이용하고, 커널 내 근육 입자들의 밀도, 압력, 점탄성을 포함하는 필드 값들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용하며,

상기 SPH 기법을 통해 임의의 스칼라 필드의 값을 근사하기 위해 근육 입자의 질량, 밀도, 스칼라 필드의 값을 이용하며, 해당 근육 입자가 갖는 스칼라 필드의 값은 미리 정해진 반지름 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 모두 더함으로써 계산하고, 계산된 스칼라 필드의 값은 특정 근육 입자에 적용되는 외력을 계산하기 위해 사용되는

관절 탄성 시뮬레이션 장치.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 항복조건 계산부는,

서로 수직인 한 쌍의 주응력 성분들 중 서로 수직인 주응력 간의 차가 가장 큰 값의 1/2을 장력 항복조건으로 하고,

상기 장력 항복조건은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값과 최소 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값을 이용하여 계산되는

관절 탄성 시뮬레이션 장치.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 신체 변형 계산부는,

신체 변화량을 계산하기 위해 미리 설정된 근육 입자의 밀도 값을 초기 값으로 하여 근육 입자 간의 거리를 계

산하고,

근육 입자 간의 거리 값이 상기 초기 값보다 작은 경우, 근육 입자에 적용되는 외력에 의한 근육 입자의 밀도 값을 계산하고,

상기 계산된 근육 입자의 밀도 값이 상기 장력 항복조건보다 큰 경우, 근육 입자의 밀도 값이 더 이상 증가하지 않도록 상기 외력을 제한하는

관절 탄성 시뮬레이션 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법 및 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 스키닝 기법은 뼈대의 움직임에 따라 변형되는 물체의 움직임을 표현하는 기법이다. 실시간 어플리케이션에서 가장 자주 사용되는 스키닝 기법 중 하나는 기하학적 방법이다. 선형 혼합 스키닝(Linear Blend Skinning)은 캐릭터의 움직임을 시각적으로 표현하기 위해 일반적으로 사용되는 기법 중 하나이다. 선형 혼합 스키닝 기법은 직관적이어서 구현하기 쉬우면서 동시에 적은 계산 비용을 가지고 있다는 장점이 있다. 선형 혼합 스키닝 기법은 물체의 움직임을 다음과 같은 순서로 구한다. 먼저 해당 물체에 영향을 주는 모든 관절들의 변환 행렬의 각각에 가중치를 설정하여 곱한다. 그 다음 가중치를 곱한 변환 행렬들을 모두 더하여 물체의 위치에 대한 변환 행렬을 구한다. 이 방법으로 구한 변환 행렬은 물체의 움직임에 영향을 주는 관절들의 변환 행렬을 선형 보간한 것으로, 선형 보간에 의한 시각적 오류들이 나타나게 된다. 그러한 시각적 오류 중 하나는 캔디 래퍼(candy-wrapper) 문제로, 관절을 회전시켰을 때 회전시킨 관절과 다른 관절 사이의 물체가 부피를 잃고 사탕 봉투처럼 부자연스럽게 수축한 모습을 보이는 문제이다.

[0003] 선형 보간으로 인한 문제점을 해결하기 위해 많은 비선형 스키닝 기법들이 제안되었다. Cordier와 Magnenat-Thalmann은 로그 행렬 혼합(log-matrix blending) 기법을 제안했다. Kavan과 Zara는 Spherical blending method를 제안하였다. 그에 이어 Kavan과 Zara는 듀얼 쿼터니언(dual quaternion)을 사용한 DQS(Dual Quaternion Skinning) 기법을 제안하였다. 듀얼 쿼터니언은 쿼터니언을 이루는 하나의 실수와 세 개의 허수 각각을 이원수로 표현한 것이다. 총 8개의 계수로 하나의 듀얼 쿼터니언을 표현한다. 듀얼 쿼터니언을 사용하면 회전 변환만 표현할 수 있었던 기존 쿼터니언에 비해 이동 변환까지 표현할 수 있게 된다.

[0004] DQS는 물체의 움직임에 영향을 주는 모든 관절의 이동과 회전 변환을 듀얼 쿼터니언의 형태로 바꾼 뒤, 각 관절에 설정된 가중치를 해당 관절의 이동과 회전을 표현하는 듀얼 쿼터니언에 곱한다. 그런 다음 가중치가 적용된 듀얼 쿼터니언을 더한 뒤 정규화하면 해당 물체의 이동과 회전을 표현하는 듀얼 쿼터니언을 결과로 얻을 수 있다. DQS는 선형 보간에 의한 시각적 오류를 줄이는 동시에 선형 혼합 스키닝보다 조금 낮은 프레임으로 스키닝 표현을 가능하게 하여 실시간으로 물체의 움직임을 표현할 수 있게 하였다.

[0005] 뼈대의 움직임에 따라 변형되는 물체를 기하학적 방법보다 더 현실적으로 표현하는 다른 방법들도 연구되었다. 그러한 방법들에는 모델의 여러 움직임 데이터를 미리 생성한 뒤, 이 데이터를 보간하여 다양한 움직임을 생성하는 예시 기반 방법(example-based method)과 실제 물리적인 특성들을 고려하여 물체의 움직임을 계산하는 물리 기반 시뮬레이션(physically-based simulation) 방법이 있다. 예시 기반 방법은 미리 만든 모델 데이터를 사용하므로 실시간 성능을 보장받을 수 있으나 더 정확한 움직임을 표현하기 위해서는 많은 기본 모델 데이터가 필요하고 이를 직접 만들어야 한다는 단점이 있다. 물리 기반 시뮬레이션 방법은 물리학적 특성을 사용하여 현실적임 움직임을 만들어낼 수 있지만, 필요한 계산이 많아 실시간으로 모델의 움직임을 표현하기 어렵다는 단점이 있다.

[0006] 인체의 정교한 움직임을 표현하기 위해 컴퓨터 그래픽스 분야에서는 근육에 대한 연구가 진행되어왔다. Chadwick의 크리터 시스템(critter system)과 Shen에 의해 구현된 바디빌더 시스템(bodybuilder system)은 인체를 골격 계층, 피부 계층과 부피를 갖는 중간 계층으로 분리하여 더 사실적인 인체 형태와 움직임을 얻고자 하였다. Scheepers 등은 해부학적 도식과 유사한 모양을 갖는 인체를 모델링하고, 이를 바탕으로 외형의 변화를 유발하는 내부구조와 외부구조 간의 연관성을 정의한 후, 타원체의 근육을 모델링하여 인체 외형 변형을 해부학적으로 근사한 모델을 제시하였다. Terran 등은 실제 인체의 단면 이미지로부터 사실적인 인체 모델의 근육을

얻기 위한 연구를 하였다.

[0007] 인체 운동에 따른 외형의 사실적인 움직임을 얻기 위한 다양한 연구도 병행되어 왔다. Barr는 전역과 지역 트랜스폼 구조를 나누어 애니메이션을 구현하였고, Sederberg 등은 자유 형태 변형을 적용하여 비 강체 형태의 애니메이션을 표현하였다. Witkin 등은 에너지 제한 기법을 적용하였고, Lazarus 등은 axial deformation을, Wilhelms 등은 metaball을 도입해 골격계에 대해 비선형 애니메이션을 표현하였다. Nedel은 물리 기반 모의 실험에 근거해 인체 모델 및 동작을 생성하였고, Matias는 뼈의 랜드마크 지점들을 기반으로 근육이 붙는 뼈의 위치를 판단하는 연구를 진행하였다. Levin은 확산 텐서(tensor) 이미지로부터 근섬유 방향성을 평가하는 연구를 진행했다. Yang 등은 손가락 뼈의 정확한 3차원 움직임을 위해 15개의 남성 손가락 뼈의 단층 촬영 데이터에 기반한 회전 중심 측정법을 제안하였다.

[0008] 유체 시뮬레이션을 위한 방법들은 오일러 방법(Eulerian methods)과 라그랑지안 방법(Lagrangian methods)으로 분류된다. 오일러 방법은 유클리드 공간(Euclidean space) 위의 격자를 생성하여 각 격자에서 계산된 속도 벡터를 사용하여 유체 입자를 간접적으로 움직이는 방법이다. 이 방법은 대기의 이류 현상을 현실감 있게 표현할 수 있으며 정교한 유체 표현이 중시되는 어플리케이션에서 주로 사용한다.

[0009] 오일러 방법은 유체의 이류현상을 표현할 때 많은 계산량을 필요하기 때문에 실시간 어플리케이션에서 사용하기에는 어려움이 있다. 컴퓨터 게임과 같은 실시간 처리가 중요한 어플리케이션에서는 오일러 방법에 비해 적은 계산을 필요로 하는 라그랑지안 방법을 주로 사용한다. 라그랑지안 방법은 유체 주변의 환경을 사용하는 대신 유체 입자들에 중점을 두어 유체의 움직임을 표현한다. Tonnesen은 변형 가능한 물체를 표현하기 위해 라그랑지안 방법을 사용하여 입자의 움직임을 계산하였다.

[0010] 라그랑지안 방법 중에서도, 모든 입자들의 상호 관계 연산을 효율적으로 하기 위해 SPH 기법이 많이 사용된다. SPH 기법은 밀도, 압력, 점성과 같은 입자가 가질 수 있는 물리적인 필드(field) 값들을 해당 입자의 커널(kernel) 내에 있는 다른 입자들의 필드 값들과 커널 함수를 사용하여 계산한 가중치 평균으로 구하는 방법이다. 커널 함수로는 폴리6(poly6)와 비스코시티 커널(viscosity kernel) 또는 스피키 커널(spiky kernel)이 주로 사용된다. 탄성체를 표현하기 위해 SPH 기법을 사용하는 기법들이 진행되어 왔다. Clavet 등은 외력에 의해 변형되는 탄성체를 표현하기 위해 탄성체가 변형된 형태를 유지하지 않고 원래대로 돌아가는 조건인 항복 조건을 제안하였다. 항복조건을 통해 입자의 이동 거리가 한계보다 작은 경우 원래의 위치를 유지하고, 한계보다 큰 경우 원래 위치를 변화시킴으로써 탄성을 표현할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 한국 등록특허 제10-1829016호(2018.02.07)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 입자(particle) 기반 유체 시뮬레이션에서 입자 간 표면장력과 탄성을 표현하기 위해 적용된 커널과 압력에 따른 밀도 변화를 스키닝 시뮬레이션에 반영하여 사실적인 인체의 움직임을 구현하기 위한 방법 및 장치를 제공하는데 있다. 또한, 근섬유가 지닌 장력의 한계를 모사하기 위해 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 그 한계를 근사할 수 있는 트레스카의 항복조건을 반영한 장력 항복조건을 제안한다.

과제의 해결 수단

[0013] 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법은 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계, 상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계 및 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력

으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계를 포함한다.

[0014] 상기 SPH 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계는 방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용하는 상기 SPH 기법을 이용하고, 커널 내 근육 입자들의 밀도, 압력, 점탄성을 포함하는 필드 값들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용하며, 상기 SPH 기법을 통해 임의의 스칼라 필드의 값을 근사하기 위해 근육 입자의 질량, 밀도, 스칼라 필드의 값을 이용하며, 해당 근육 입자가 갖는 스칼라 필드의 값은 미리 정해진 반지름 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 모두 더함으로써 계산하고, 계산된 스칼라 필드의 값은 특정 근육 입자에 적용되는 외력을 계산하기 위해 사용된다.

[0015] 상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계는 서로 수직인 한 쌍의 주응력 성분들 중 서로 수직인 주응력 간의 차가 가장 큰 값의 1/2을 장력 항복조건으로 하고, 상기 장력 항복조건은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값과 최소 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값을 이용하여 계산된다.

[0016] 상기 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계는 신체 변화량을 계산하기 위해 미리 설정된 근육 입자의 밀도 값을 초기 값으로 하여 근육 입자 간의 거리를 계산하고, 근육 입자 간의 거리 값이 상기 초기 값보다 작은 경우, 근육 입자에 적용되는 외력에 의한 근육 입자의 밀도 값을 계산하고, 상기 계산된 근육 입자의 밀도 값이 상기 장력 항복조건보다 큰 경우, 근육 입자의 밀도 값이 더 이상 증가하지 않도록 상기 외력을 제한한다.

[0017] 또 다른 일 측면에 있어서, 본 발명에서 제안하는 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 장치는 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 근밀도 계산부, 상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 항복조건 계산부 및 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 신체 변형 계산부를 포함한다.

발명의 효과

[0018] 본 발명의 실시예들에 따르면 입자(particle) 기반 유체 시뮬레이션에서 입자 간 표면장력과 탄성을 표현하기 위해 적용된 커널과 압력에 따른 밀도 변화를 스키닝 시뮬레이션에 반영하여 사실적인 인체의 움직임을 구현할 수 있다. 또한, 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 그 한계를 근사할 수 있는 트레스카의 항복조건을 반영한 장력 항복조건을 제안하고, 이를 통해 근섬유가 지닌 장력의 한계를 모사할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 SPH의 스무딩 커널을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 상에서의 트레스카 항복조건을 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 실제 근육은 뼈와 연조직을 둘러싸고 있으며 인대와 피부에 의해 움직임을 제한 받는다. 이러한 근육의 복잡한 움직임을 표현할 때, 뼈 사이를 단순히 직선으로 연결하게 되면 실제 근육에 대한 많은 정보가 손실된다. 그러나 뼈 사이에 있는 근육이 받는 모든 힘을 계산하기에는 많은 계산량이 필요하여 실시간으로 움직임을 표현하기 어려워지는 문제점이 발생한다. 선형 혼합 스키닝 기법은 관절의 움직임을 기하학적으로 근사하고 각각의 뼈에 가중치를 부여함으로써 근육의 정확한 움직임을 계산한다.

[0022] $$v' = \sum_j w_{ij} T_j v_i \qquad (1)$$

[0024] LBS(Location Based Service)는 물체의 각 표면의 위치를 계산하기 위해 표면의 위치를 변형시키는 모든 뼈대의 변환 행렬을 선형 보간하는 방법을 사용한다. 식(1)은 각 뼈대의 변환 행렬을 선형 보간하여 변형된 표면의 위치를 계산하는 수식이다. 구하고자 하는 표면에 대해 각 뼈대가 가지는 가중치 w_{ij}를 뼈대의 변환 행렬 T_j에 곱하여 나온 모든 결과 행렬을 더하면 해당 표면의 변형된 위치를 나타내는 변환 행렬을 결과로 얻을 수 있다. 이 변환 행렬을 표면의 원래 위치 v_i 에 곱하여 해당 표면의 변형된 움직임을 계산한다.

[0025] LBS는 뼈대에 의한 표면의 변형된 움직임을 빠르게 계산할 수 있다. LBS는 빠른 계산과 부드러운 움직임 표현으로 각종 애니메이션 사업에서 활용되고 있지만, 회전 운동 시 모델이 꼬인 형태로 나타나는 캔디 래퍼 아티팩트(candy-wrapper artifact)가 발생하여 굽힘 운동 등을 표현 시 관절 부위가 병합되는 현상이 발생한다. 이를 해결하기 위해 DQS 기법을 대신 사용함으로써 시각적 오류를 줄이면서 더 부드러운 캐릭터의 움직임을 표현할 수 있었다.

[0026] 하지만 가중치 기반 스키닝 기법을 사용한 캐릭터 움직임 표현은 근육이 받는 물리적인 힘을 계산하지 않으므로 캐릭터가 외력을 받는 상황에서의 변형을 추가적인 과정 없이 표현할 수는 없다. 추가적인 가중치 커스터마이징을 하거나, 메시 데이터를 변경시켜는 과정을 거쳐야 외력을 받는 상황에 대해서 모델 데이터의 변형을 표현할 수 있게 된다.

[0027] 다시 말해, 종래기술에 따른 인체를 표현하는 스켈레탈 시뮬레이션에서 사용되는 기법 중 하나인 스키닝 기법은 뼈와 뼈 사이 간 가중치를 두어 근육이 실제로 움직이는 것과 같은 표현을 가능하게 한다. 가중치를 사용하는 방법은 실제 근육 섬유의 밀도의 압력을 계산하는 방법이 아니므로, 외력에 의한 물리적인 변화를 표현하는 것은 불가능하다. 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0029] 본 발명에서는 입자(particle) 기반 유체 시뮬레이션에서 입자 간 표면장력과 탄성을 표현하기 위해 적용된 커널과 압력에 따른 밀도 변화를 스키닝 시뮬레이션에 반영하여 사실적인 인체의 움직임 구현 방법을 제안한다. 또한 근섬유가 지닌 장력의 한계를 모사하기 위해 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용해 그 한계를 근사할 수 있는 트레스카의 항복조건을 반영한 장력 항복조건을 제안한다. 여기서는 커널 내 입자가 가진 밀도를 주응력으로 가정한다. 가장 큰 힘을 받는 순간을 최대 주응력, 가장 적은 힘을 받는 순간을 최소 주응력으로 근사하여 그 차이를 계산한다. 입자의 밀도가 항복 조건 이상으로 커질 때, 물체가 더 이상의 힘을 받지 않도록 하여 일반적인 상황에서 표현할 수 있는 근육을 모사하였다.

[0030] 본 발명에서는 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 사용한 입자 기반 스키닝 시뮬레이션 방법을 제안한다. 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 표현하여, 이 입자들의 움직임을 SPH 기법을 사용하여 계산한다. 인체가 외력을 받을 때 외력에 의해 움직이게 되면서 입자들의 물리학적인 특성 값들이 변하게 되고, 이 특성 값들을 사용해 각 입자에 가해지는 힘을 계산하여 입자의 움직임을 계산한다. 이를 통해 인체가 외력을 받아 움직이게 될 때 발생하는 물리학적인 움직임을 실시간으로 정확하게 표현할 수 있다.

[0031] 또한, 인체 변형의 한계를 표현하기 위해 트레스카의 항복조건을 응용하였다. 물체가 일정 이상의 응력을 받아 원래 형태로 돌아가지 않게 되는 조건인 항복조건(yield condition)을 응용하여 입자가 일정 이상의 응력을 받은 경우 더 이상 변형이 일어나지 않도록 하였다. 이를 통해 인체의 변형이 한계치에 도달하게 되는 경우 인체가 변형되지 않도록 하여 현실적인 인체의 움직임을 표현할 수 있다.

[0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

[0034] 제안하는 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법은 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도

변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계(110), 상기 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 하는 단계(120) 및 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계(130)를 포함한다.

[0035] 단계(110)에서, SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타낸다.

[0036] 단계(110)에서, 방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용하는 상기 SPH 기법을 이용하고, 커널 내 근육 입자들의 밀도, 압력, 점탄성을 포함하는 필드 값들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용한다.

[0037] 상기 SPH 기법을 통해 임의의 스칼라 필드의 값을 근사하기 위해 근육 입자의 질량, 밀도, 스칼라 필드의 값을 이용하며, 해당 근육 입자가 갖는 스칼라 필드의 값은 미리 정해진 반지름 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 모두 더함으로써 계산하고, 계산된 스칼라 필드의 값은 특정 근육 입자에 적용되는 외력을 계산하기 위해 사용된다.

[0038] 단계(120)에서, 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 한다.

[0039] 이때, 서로 수직인 한 쌍의 주응력 성분들 중 서로 수직인 주응력 간의 차가 가장 큰 값의 1/2을 장력 항복조건으로 하고, 상기 장력 항복조건은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값과 최소 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값을 이용하여 계산된다.

[0040] 단계(130)에서, 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산한다.

[0041] 신체 변화량을 계산하기 위해 미리 설정된 근육 입자의 밀도 값을 초기 값으로 하여 근육 입자 간의 거리를 계산한다. 근육 입자 간의 거리 값이 상기 초기 값보다 작은 경우, 근육 입자에 적용되는 외력에 의한 근육 입자의 밀도 값을 계산한다. 이때, 계산된 근육 입자의 밀도 값이 상기 장력 항복조건보다 큰 경우, 근육 입자의 밀도 값이 더 이상 증가하지 않도록 상기 외력을 제한한다.

[0043] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0044] 제안하는 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 장치(200)는 근밀도 계산부(210), 항복조건 계산부(220) 및 신체 변형 계산부(230)를 포함한다.

[0045] 근밀도 계산부(210)는 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타낸다.

[0046] 근밀도 계산부(210)는 방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용하는 상기 SPH 기법을 이용하고, 커널 내 근육 입자들의 밀도, 압력, 점탄성을 포함하는 필드 값들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용한다.

[0047] 근밀도 계산부(210)는 SPH 기법을 통해 임의의 스칼라 필드의 값을 근사하기 위해 근육 입자의 질량, 밀도, 스칼라 필드의 값을 이용하며, 해당 근육 입자가 갖는 스칼라 필드의 값은 미리 정해진 반지름 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 모두 더함으로써 계산하고, 계산된 스칼라 필드의 값은 특정 근육 입자에 적용되는 외력을 계산하기 위해 사용된다. 이하, 도 3 및 도 4를 참조하여 입자기반 유체의 특성을 활용한 관절 탄성 시뮬레이션 방법 및 장치에 대하여 더욱 상세히 설명한다.

[0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 SPH의 스무딩 커널을 설명하기 위한 도면이다.

[0050] 인간의 근육은 수축과 이완에 따라 몸의 운동을 수행한다. 평소의 근육은 구성 물질인 액틴과 마이오신이 서로 간 장력을 통해 이상적인 거리를 유지하며 효율적인 운동을 준비한다. 운동 시에는 외력에 의해 근육이 수축하지만 수축한 상태에서 외력을 제거 시 탄성에 의해 근육은 본래의 이상적인 거리를 유지하기 위해 되돌아간다. 이러한 근육의 특성은 물 입자가 가진 표면장력의 특징과 유사하다.

[0051] 본 발명의 실시예에서는 입자 기반 유체 기법인 SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 외력에 의한 근육의 수축을 모사하고자 한다. SPH 기법에서 각각의 근육 입자에 대해 범위 내에 들어오는 다른 근육 입자와 장력을 유지하기 위한 커널이 존재한다.

[0053] $$\mathbf{A}^{\text{smooth}}(\mathbf{r}) = \sum_j m_j A_j W(r-r_j,h) / p_j \qquad (2)$$

[0055] 본 발명의 실시예에 따른 SPH 기법은 방사형으로 대칭인 스무딩 커널(smoothing kernel)을 사용한다. 커널 내에 있는 근육 입자들의 필드 값(예를 들어, 밀도, 압력, 점탄성 등)들은 이웃한 커널과 겹치는 근육 입자들의 필드 값을 보간하여 사용한다. 식(2)는 SPH 기법을 이용하여 임의의 스칼라 필드 A의 값을 근사하는 수식이다. m_j, p_j, A_j 는 각각 입자 j의 질량, 밀도, 스칼라 필드 A의 값을 의미한다. r 위치에서 입자 i가 가지는 스칼라 필드 A의 값은 반지름이 h 인 커널 영역 내의 모든 근육 입자들에 가중치를 곱한 후 더함으로써 구할 수 있으며, 특정 근육 입자에 적용되는 힘을 계산하기 위해 사용된다. 본 발명의 실시예에 따른 SPH 기법의 스무딩 커널을 통해 도 2에 도시된 바와 같은 파라미터들을 이용하여 커널 범위 내에서 물리적인 값들의 가중치 합을 얻을 수 있다. 본 발명의 실시예에 따른 유체 시뮬레이션에서 사용되는 커널 함수 W는 poly6와 비스코시티 커널(viscosity kernel) 또는 스피키 커널(spiky kernel)이 사용된다.

[0057] 다시 도 2를 참조하면, 항복조건 계산부(220)는 커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 장력의 한계를 근사화 한다.

[0058] 항복조건 계산부(220)는 서로 수직인 한 쌍의 주응력 성분들 중 서로 수직인 주응력 간의 차가 가장 큰 값의 1/2을 장력 항복조건으로 하고, 상기 장력 항복조건은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값과 최소 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값을 이용하여 계산한다.

[0060] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 3차원 상에서의 트레스카 항복조건을 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 근육 조직은 강한 외력이 작용하면 파괴되므로, 근육 조직의 파괴가 일어나는 조건이 필요하다. 본 발명에서는 어떠한 근육 입자에서의 최대전단응력(maximum stress)이 단순인장시험(Tensile stress test)에서 항복(yield)이 시작될 때의 최대전단응력(maximum stress)과 같을 때 항복이 시작된다는 최대 전단응력설(Tresca theory)의 개념인 트레스카의 항복조건을 사용한다.

[0062] 트레스카의 항복조건 식은 외력에 의해 근육 입자에서 발생하는 힘인 주응력과 관련이 있다. 항복조건은 최대 주응력과 최소 주응력의 차의 1/2이며, 이 조건을 사용하여 다양한 항복 조건을 표현할 수 있다.

[0063] 근육 입자와 같은 연성 물질의 조건에 따른 허용범위의 수치는 폰 미제스(von mises)의 이론이 더 안정적이지만, 계산이 복잡하기 때문에 본 발명에서는 비교적 더 간단한 계산을 사용하는 트레스카의 항복 조건을 사용한다.

[0065] $$\tau_f = s_u = 1/2 * max(|\sigma_1-\sigma_2|, |\sigma_2-\sigma_3|, |\sigma_3-\sigma_1|) \qquad (3)$$

[0067] σ_1, σ_2, σ_3은 서로 수직인 주응력 성분이며, 항복조건은 두 주응력 성분 사이의 차 중 가장 큰 값의 1/2 이

다. 이 값은 단순인장시험에서 측정한 최대전단응력 값인 τ_f 과 동일하다. 외력에 의해 압력이 증가하면, 근육 조직은 본래의 상태로 돌아가기 위한 반작용의 힘을 축적하게 되며 이 힘이 외력보다 높아지게 되면 근육 조직의 손실이 일어나게 된다.

[0068] 본 발명에서는 일정 밀도를 유지하고 있는 근육 조직을 가정하고, 이것이 매우 강한 외력에 의해 방해받을 때 버티지 못하고 결손이 발생하는 순간을 근육의 항복 조건으로 정의한다. 다시 말해, 최소 주응력을 가진 상태를 비압축성을 유지하는 안정 상태로 가정한다.

[0070] $$|\rho_{max}-\rho_{min}|/2 = \tau_f = \Delta\rho \quad (4)$$

[0072] 식(4)는 제안된 방법으로 신체의 탄성을 표현하기 위해 사용된 항복 조건이다. ρ_{min}은 최소 주응력을 갖는 근육 입자의 밀도 값이며, ρ_{max} 은 최대 주응력을 가진 근육 입자의 밀도 값이다. 각 근육 입자는 일정 범위의 커널을 가지고 있고 커널을 가진 다른 입자와의 장력을 유지하려고 하기 때문에 밀도를 항복 조건의 기준으로 사용할 수 있다.

[0073] 신체 변형 계산부(230)는 근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산한다.

[0074] 신체 변형 계산부(230)는 신체 변화량을 계산하기 위해 미리 설정된 근육 입자의 밀도 값을 초기 값으로 하여 근육 입자 간의 거리를 계산한다. 근육 입자 간의 거리 값이 상기 초기 값보다 작은 경우, 근육 입자에 적용되는 외력에 의한 근육 입자의 밀도 값을 계산한다. 이때, 계산된 근육 입자의 밀도 값이 상기 장력 항복조건보다 큰 경우, 근육 입자의 밀도 값이 더 이상 증가하지 않도록 상기 외력을 제한한다.

[0075] 종래기술의 거리 기반 근사화와 달리 본 발명의 실시예에 따르면, 근육 입자가 동일한 힘을 여러 방향에서 받는 경우, 근육 입자 하나의 변화량이 아닌 신체 전체의 변화량을 계산한다. 본 발명에서는 외부로부터 힘을 받을 때 근육 입자의 탄성의 변화에 의한 신체의 변형 알고리즘을 제안한다.

[0076] 본 발명의 실시예에 따른 알고리즘의 순서는 다음과 같다. 먼저, 초기 값과 비교하여 입자 사이의 거리를 계산한다. 여기서 초기값은 실험의 대상이 될 근육 입자의 밀도 값으로 사용자가 미리 설정한 값이다. 근육 입자 사이의 거리 값이 초기 값보다 작으면, 외력에 의한 근육 입자의 밀도를 계산한다. 만약 계산된 밀도 값이 항복조건의 밀도 값보다 크면, 밀도 값이 그 이상 증가하지 않도록 외력을 제한한다. 그 결과, 주응력의 크기를 모델의 형태를 파괴하지 않는 이상적인 형태로 유지할 수 있으며, 따라서 현실적인 신체의 움직임을 나타낼 수 있다.

[0077] 본 발명의 실시예들에 따른 관절 탄성 시뮬레이션 방법 및 장치를 통해 입자(particle) 기반 유체 시뮬레이션에서 입자 간 표면장력과 탄성을 표현하기 위해 적용된 커널과 압력에 따른 밀도 변화를 스키닝 시뮬레이션에 반영하여 사실적인 인체의 움직임을 구현할 수 있다. 또한, 주응력의 최댓값과 최솟값의 차를 이용하여 그 한계를 근사할 수 있는 트레스카의 항복조건을 반영한 장력 항복조건을 제안하고, 이를 통해 근섬유가 지닌 장력의 한계를 모사할 수 있다.

[0079] 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, FPA(field programmable 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 장치

는 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.

[0080] 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 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.

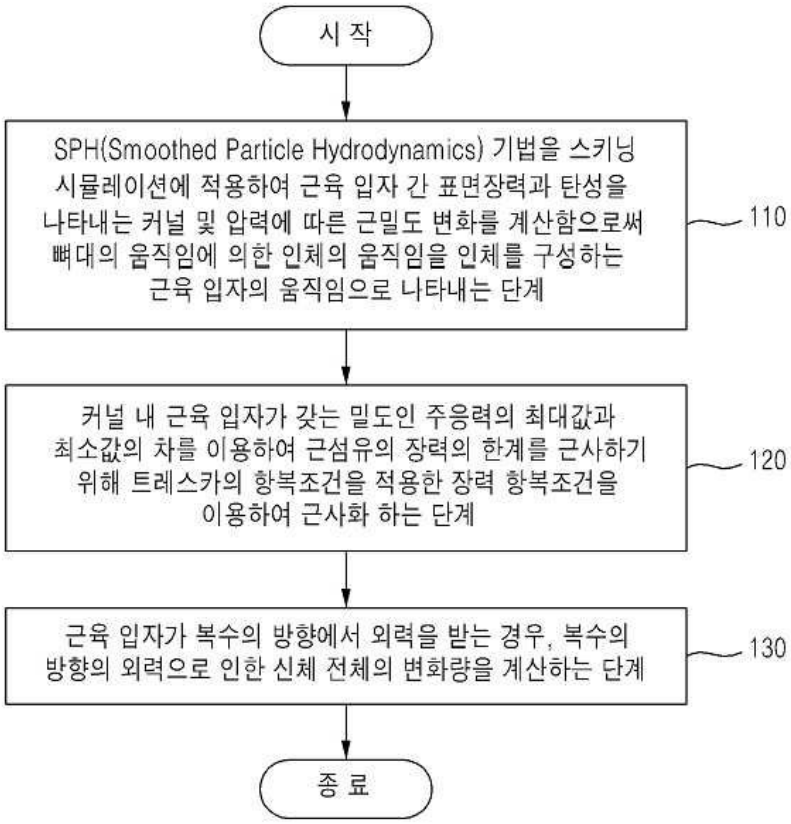
[0081] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic 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.

[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.

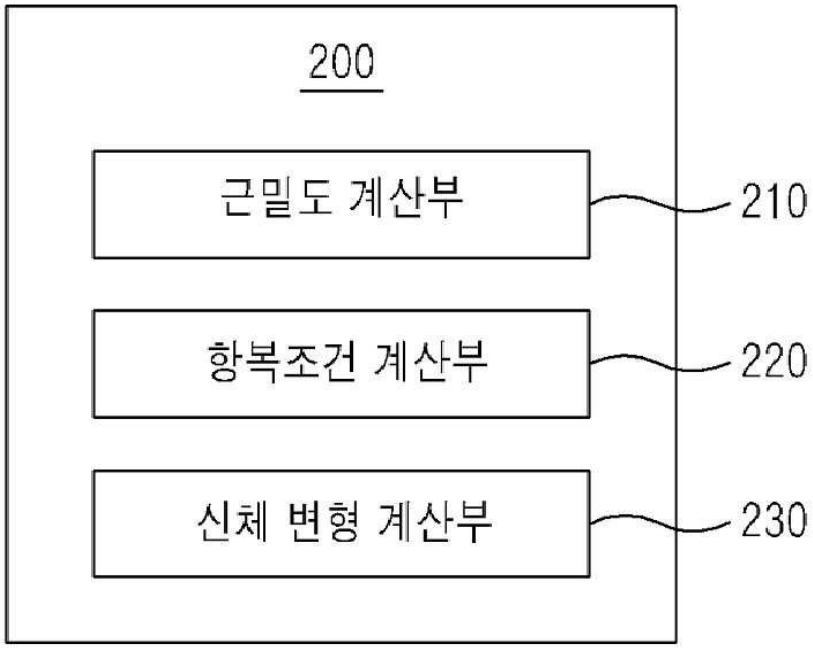
[0083] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

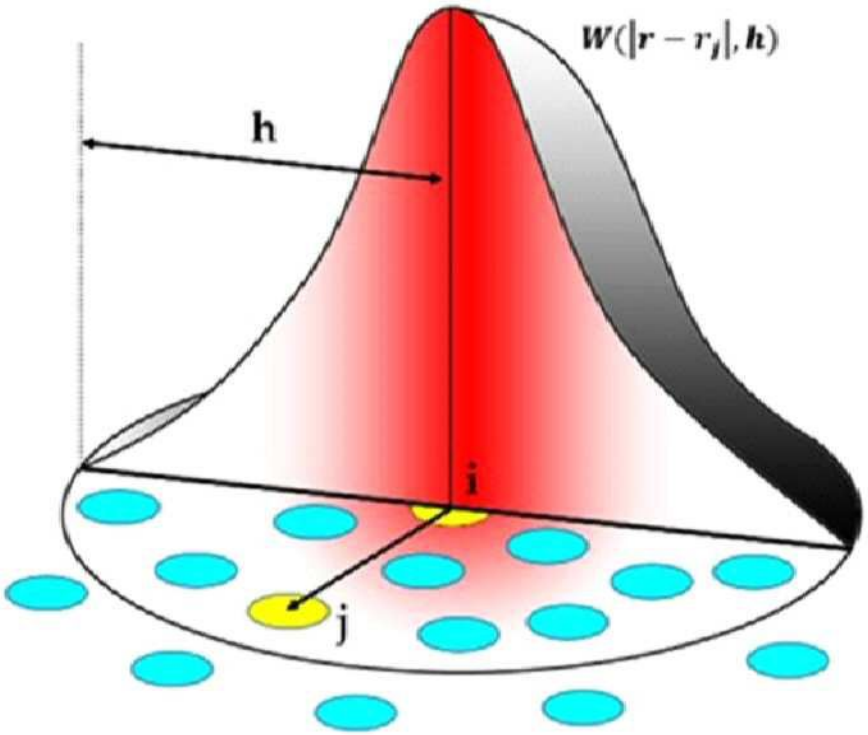
도면1


시 작
SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 스키닝 시뮬레이션에 적용하여 근육 입자 간 표면장력과 탄성을 나타내는 커널 및 압력에 따른 근밀도 변화를 계산함으로써 뼈대의 움직임에 의한 인체의 움직임을 인체를 구성하는 근육 입자의 움직임으로 나타내는 단계
110
커널 내 근육 입자가 갖는 밀도인 주응력의 최대값과 최소값의 차를 이용하여 근섬유의 장력의 한계를 근사하기 위해 트레스카의 항복조건을 적용한 장력 항복조건을 이용하여 근사화 하는 단계
120
근육 입자가 복수의 방향에서 외력을 받는 경우, 복수의 방향의 외력으로 인한 신체 전체의 변화량을 계산하는 단계
130
종 료

도면2


200
근밀도 계산부
210
항복조건 계산부
220
신체 변형 계산부
230

도면3



도면4

