



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0081086
(43) 공개일자 2024년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06F 30/25 (2020.01) G06F 119/14 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G06F 30/25 (2020.01)
G06F 2119/14 (2020.01)
(21) 출원번호 10-2022-0165019
(22) 출원일자 2022년11월30일
심사청구일자 2022년11월30일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대 학교)
(72) 발명자
신병석
서울특별시 서초구 방배로 14, 3동 903호(방배동, 임광아파트)
성수경
인천광역시 미추홀구 인하로 115-11, 가온빌 405호(용현동)
한상원
인천광역시 미추홀구 토금남로 79, 102동 1107호(용현동, 우성아파트)
(74) 대리인
양성보

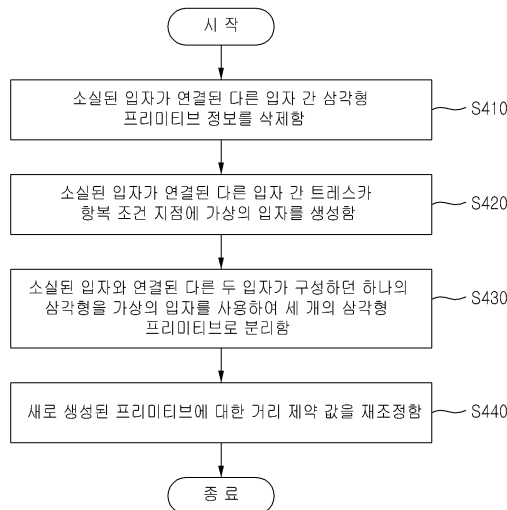
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 위치기반 동역학 이론을 활용한 탄성체 파괴와 잔해생성 기법 및 장치

(57) 요약

위치기반 동역학 이론을 활용한 탄성체 파괴와 잔해생성 기법 및 장치가 개시된다. 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션을 위한 방법으로, 외력에 대한 주응력(principal stress)과 관련된 항복 조건(yield condition)을 이용하여 취성 변형 지점을 결정하는 단계; 및 상기 취성 변형 지점의 메시(mesh)를 재구성하는 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711159717
과제번호	2020-0-00594-003
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro] VR·AR 콘텐츠 제어를 위한 다형성 햅틱컨트롤러(3차년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국기술교육대학교 산학협력단
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711174118
과제번호	00155915
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	정보통신인재양성(교육운영수익)
연구과제명	[Ezbaro][정부+민간] 인공지능융합혁신인재양성(1차년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교 산학협력단
연구기간	2022.07.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 장치에서 수행되는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법에 있어서,

상기 컴퓨터 장치는 메모리에 포함된 컴퓨터 판독가능한 명령들을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고,

상기 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법은,

상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 외력에 대한 주응력(principal stress)과 관련된 항복 조건(yield condition)을 이용하여 취성 변형 지점을 결정하는 단계; 및

상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 상기 취성 변형 지점의 메시(mesh)를 재구성하는 단계를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는,

입자 간의 거리를 나타내는 주응력의 최대값과 최소값의 차이를 기초로 근사화된 트레스카 항복 조건(Tresca's yield condition)을 이용하여 상기 취성 변형 지점을 결정하는 것

을 특징으로 하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는,

외력에 의한 입자 간의 거리 변화를 상기 항복 조건으로 적용하여 상기 취성 변형 지점을 결정하는 것

을 특징으로 하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 재구성하는 단계는,

취성 변형에 따른 잔해를 표현하기 위해 파괴된 입자에 가해지는 벡터를 계산하여 해당 입자의 위치를 재배치한 후 리메싱(re-meshing)을 수행하는 단계

를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 재구성하는 단계는,

소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 삼각형 프리미티브(primitive)를 삭제하는 단계;

소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 항복 조건 지점에 가상의 입자를 생성하는 단계;

소실된 입자가 연결된 다른 입자로 구성된 삼각형을 상기 가상의 입자를 사용하여 세 개의 삼각형 프리미티브로 분리하는 단계; 및

상기 가상의 입자를 기준으로 생성된 프리미티브에 대한 거리 제약(constraint) 값을 조정하는 단계를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 가상의 입자를 생성하는 단계는,

외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들의 중간 지점에 상기 가상의 입자를 생성하는 것

을 특징으로 하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는,

외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 평균 값을 기초로 상기 취성 변형 지점을 계산하는 단계

를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 재구성하는 단계는,

그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 평균 값에 대한 최대 거리와 최소 거리의 차이를 기초로 잔해 표현을 위한 지점을 결정하는 단계

를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법은,

상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 변화량을 기초로 한계점 미만의 외력을 받는 탄성체의 면적을 복원하는 단계

를 더 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법.

청구항 10

컴퓨터 장치에 있어서,

메모리에 포함된 컴퓨터 판독가능한 명령들을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서

를 포함하고,

상기 적어도 하나의 프로세서는,

입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션을 통해 임계점 이상의 외력으로 파괴되는 탄성체의 잔해를 모사하는 것으로,

외력에 대한 주응력(principal stress)과 관련된 항복 조건(yield condition)을 이용하여 취성 변형 지점을 결정하는 과정; 및

상기 취성 변형 지점의 메시(mesh)를 재구성하여 과정

을 처리하는 컴퓨터 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,
상기 적어도 하나의 프로세서는,
입자 간의 거리를 나타내는 주응력의 최대값과 최소값의 차이를 기초로 근사화된 트레스카 항복 조건(Tresca's yield condition)을 이용하여 상기 취성 변형 지점을 결정하는 것
을 특징으로 하는 컴퓨터 장치.

청구항 12

제10항에 있어서,
상기 적어도 하나의 프로세서는,
취성 변형에 따른 잔해를 표현하기 위해 파괴된 입자에 가해지는 벡터를 계산하여 해당 입자의 위치를 재배치한 후 리메싱(re-meshing)을 수행하는 것
을 특징으로 하는 컴퓨터 장치.

청구항 13

제10항에 있어서,
상기 적어도 하나의 프로세서는,
소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 삼각형 프리미티브(primitive)를 삭제하고,
소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 항복 조건 지점에 가상의 입자를 생성하고,
소실된 입자가 연결된 다른 입자로 구성된 삼각형을 상기 가상의 입자를 사용하여 세 개의 삼각형 프리미티브로 분리하고,
상기 가상의 입자를 기준으로 생성된 프리미티브에 대한 거리 제약(constraint) 값을 조정하는 것
을 특징으로 하는 컴퓨터 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,
상기 적어도 하나의 프로세서는,
외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들의 중간 지점에 상기 가상의 입자를 생성하는 것
을 특징으로 하는 컴퓨터 장치.

청구항 15

제10항에 있어서,
상기 적어도 하나의 프로세서는,
외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 변화량을 기초로 한 계점 미만의 외력을 받는 탄성체의 면적을 복원하는 것
을 특징으로 하는 컴퓨터 장치.

발명의 설명

기술 분야

아래의 설명은 가상 환경에서 외력에 의해 파괴되는 탄성체의 잔해를 모사하는 기술에 관한 것이다.

[0001]

배경 기술

- [0002] 탄성체 시뮬레이션은 가상의 환경에서 실제와 같은 물체를 모사하거나 고난이도의 기술이 요구되는 시뮬레이션을 간접적으로 체험하여 성공률을 높일 수 있다. 복잡한 탄성체에 대한 실감나는 묘사를 위해 과정을 예측하여 메시(mesh)를 분할하는 FEM(Finite Element Method)이 활용되고 있다. 이산 방법(Discretization method)으로 연속 영역에 대한 탄성체의 변화 과정을 모사할 수는 있으나, 비선형 방정식과 같이 해를 구하기 위해 추가적인 변수나 식이 필요한 경우 원하는 결과를 도출하지 못하거나 연산량이 급격하게 많아진다. 또한, 물질의 질량 보존이 정확히 이루어지지 않아 계산 결과에 따라 형체가 보존되지 않는 경우도 존재한다.
- [0003] 탄성체를 표현하기 위한 또 하나의 방법으로 MSM(Mass Spring Method)가 적용되고 있다. 복잡한 물리적 모델과 달리 MSM은 부드러운 조직을 질량을 가진 많은 이산 노드(Discretization node)로 계산하는 방법이다. 부드러운 조직이 받는 내부의 힘을 시뮬레이션 하기 위해 스프링의 탄성력을 활용하고 있으며, 각각의 이산 노드는 스프링으로 연결된다. 노드에 작용하는 뉴턴의 제2법칙(운동의 법칙)과 후크의 법칙(Hooke's law)에서 유래한 대수 방정식에 의해 계산되어 연조직의 변형을 표현한다. MSM은 높은 수학적 효율성과 위상 변화에 대한 뛰어난 적응성을 가지고 있다는 장점이 있어 실시간 인터랙티브 애플리케이션에 널리 적용되고 있다.
- [0004] 그러나, MSM의 핵심 알고리즘으로 사용되는 후크의 법칙이 선형 모델에만 적용되기 때문에 물체의 역학적 특성을 정확하게 표현하기 어렵다는 단점도 지니고 있다. 또한, MSM에서 상미분 방정식을 해결하기 위해 내연적 적분기(implicit integrator)가 적용되고 있지만, 이 방법은 큰 시간 단계에서 중복 연산이 발생하는 문제가 있다.
- [0005] 이러한 MSM의 한계점을 해결하기 위해 질량 보존과 외력에 따른 운동 변화에 용이한 입자 기반 시뮬레이션이 탄성체의 움직임을 표현하기 위해 활용되고 있다. 이는 메시리스 기법(meshless method)이라고도 불린다.
- [0006] 메시리스 방법 중 대표적인 한 가지로, 탄성체를 이루는 입자간 거리에 따라 탄성체의 위치를 선형 조합적인 함수로 정의하여 가해지는 외력에 대한 애니메이션을 생성하는 방법이 있다. FEM에 비해 각 입자가 받는 힘의 결과를 정확히 표현할 수 있어 사실과 같은 탄성체를 모사할 수 있으나, 각 입자가 특정 지오메트리(geometry)로 수렴하지 않을 수 있어 물체가 받는 힘의 범위와 부피가 갖고 있는 특성을 유지하는 것이 어렵다.
- [0007] 기존의 메시리스 기반 방법의 문제를 해결하는 방법으로, 비선형 탄성체를 모사하기 위해 입자 기반으로 작용 받는 물리적인 힘을 먼저 계산하고 그 결과를 메시로 재구성하는 입자기반 동역학 시뮬레이션(PBD) 기법이 사용되고 있다. PBD 기법은 외력에 의한 탄성의 변화를 입자의 움직임으로 계산한다. 인체가 외력을 받을 때 입자들이 이 외력에 의해 움직이게 되면서 입자들의 물리학적 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 물리학적 움직임을 실시간으로 정확하게 표현할 수 있다. 이러한 PBD는 탄성의 한계점을 단일 입자 간의 거리와 각도로 정의하고 있으며, 여러 입자가 이루는 오브젝트를 고려하여 법선(normal)에 대한 아크코사인(arccos) 값으로 제한 값을 적용하고 있으나 이는 외력이 직접적으로 가해지는 입자와 간접적으로 힘을 받는 입자가 받는 범위의 탄성을 표현해주는 것에 한계가 있다.
- [0008] 다시 말해, PBD는 옷감 또는 피부를 모사하기 위해 입자 간 유지시켜야 할 결합 거리가 외력으로 인해 깨어질 때 결합이 깨어진 입자를 제외한 나머지 입자들로 탄성을 재연산하게 된다. 이는 물체의 탄성이 끊어지는 순간의 반작용을 모사할 수 있으나, 결합이 깨어진 입자가 다른 입자와 이루고 있던 메시도 같이 소실되어 잔해가 남는 실제 물리와 다른 결과가 도출되는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 힘이 가해지는 탄성체의 사실적인 묘사를 위해 힘을 받는 입자와 근처의 입자를 그룹 형태로 정의하고 그룹이 받는 힘의 평균에 따라 탄성체가 변화하도록 하는 알고리즘을 제공한다.
- [0010] 임계점 이상의 힘을 받아 끊어지게 되는 탄성체의 잔해를 모사하기 위해 트레스카 항복 조건(Tresca's yield condition)을 활용한 입자 재생성 지점 결정 및 근처 입자와의 메시 재생성 알고리즘을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 컴퓨터 장치에서 수행되는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법에 있어서, 상기 컴퓨터 장치는 메모리에 포

함된 컴퓨터 판독가능한 명령들을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법은, 상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 외력에 대한 주응력(principal stress)과 관련된 항복 조건(yield condition)을 이용하여 취성 변형 지점을 결정하는 단계; 및 상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 상기 취성 변형 지점의 메시(mesh)를 재구성하는 단계를 포함하는 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법을 제공한다.

- [0012] 일 측면에 따르면, 상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는, 입자 간의 거리를 나타내는 주응력의 최대값과 최소값의 차이를 기초로 근사화된 트레스카 항복 조건(Tresca's yield condition)을 이용하여 상기 취성 변형 지점을 결정할 수 있다.
- [0013] 다른 측면에 따르면, 상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는, 외력에 의한 입자 간의 거리 변화를 상기 항복 조건으로 적용하여 상기 취성 변형 지점을 결정할 수 있다.
- [0014] 또 다른 측면에 따르면, 상기 재구성하는 단계는, 취성 변형에 따른 잔해를 표현하기 위해 파괴된 입자에 가해지는 벡터를 계산하여 해당 입자의 위치를 재배치한 후 리메싱(re-meshing)을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0015] 또 다른 측면에 따르면, 상기 재구성하는 단계는, 소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 삼각형 프리미티브(primitive)를 삭제하는 단계; 소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 항복 조건 지점에 가상의 입자를 생성하는 단계; 소실된 입자가 연결된 다른 입자로 구성된 삼각형을 상기 가상의 입자를 사용하여 세 개의 삼각형 프리미티브로 분리하는 단계; 및 상기 가상의 입자를 기준으로 생성된 프리미티브에 대한 거리 제약(constraint) 값을 조정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0016] 또 다른 측면에 따르면, 상기 가상의 입자를 생성하는 단계는, 외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들의 중간 지점에 상기 가상의 입자를 생성할 수 있다.
- [0017] 또 다른 측면에 따르면, 상기 취성 변형 지점을 결정하는 단계는, 외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 평균 값을 기초로 상기 취성 변형 지점을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0018] 또 다른 측면에 따르면, 상기 재구성하는 단계는, 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 평균 값에 대한 최대 거리와 최소 거리의 차이를 기초로 잔해 표현을 위한 지점을 결정하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0019] 또 다른 측면에 따르면, 상기 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법은, 상기 적어도 하나의 프로세서의 의해, 외력을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 그룹 내 모든 입자들이 받는 외력의 변화량을 기초로 한 계점 미만의 외력을 받는 탄성체의 면적을 복원하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 컴퓨터 장치에 있어서, 메모리에 포함된 컴퓨터 판독가능한 명령들을 실행하도록 구성된 적어도 하나의 프로세서를 포함하고, 상기 적어도 하나의 프로세서는, 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션을 통해 임계점 이상의 외력으로 파괴되는 탄성체의 잔해를 모사하는 것으로, 외력에 대한 주응력(principal stress)과 관련된 항복 조건(yield condition)을 이용하여 취성 변형 지점을 결정하는 과정; 및 상기 취성 변형 지점의 메시(mesh)를 재구성하여 과정을 처리하는 컴퓨터 장치를 제공한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명의 실시예들에 따르면, 힘이 가해지는 탄성체의 사실적인 모사를 위해 힘을 받는 입자와 근처의 입자를 그룹 형태로 정의하고 트레스카 항복 조건을 활용하여 입자 재생성 지점을 결정하고 근처 입자와의 메시 재생성을 수행함으로써 탄성 변형이 한계치에 도달하여 파괴된 이후의 형체와 탄성 운동을 통해 현실적인 움직임을 모사할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨터 장치의 예를 도시한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 있어서 입자 간 거리 제약을 설명하기 위한 예시 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일실시예에 있어서 트레스카 항복 조건 하에 응력과 거리를 표현하는 과정을 설명하기 위한 예시 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 있어서 탄성체 모사를 위한 리메싱 방법의 일례를 도시한 순서도이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 있어서 탄성체의 취성 변형을 표현하는 과정을 설명하기 위한 예시 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0025] 본 발명의 실시예들은 가상 환경에서 외력에 의해 파괴되는 탄성체의 잔해를 모사하는 기술에 관한 것이다.
- [0026] 본 명세서에서 구체적으로 개시되는 것들을 포함하는 실시예들은 힘을 받는 입자와 근처의 입자를 그룹 형태로 정의하고 그룹이 받는 힘의 평균에 따라 힘이 가해지는 탄성체의 변화를 사실적으로 모사할 수 있다.
- [0027] 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 장치는 적어도 하나의 컴퓨터 장치에 의해 구현될 수 있으며, 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법은 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 장치에 포함되는 적어도 하나의 컴퓨터 장치를 통해 수행될 수 있다. 이때, 컴퓨터 장치에는 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨터 프로그램이 설치 및 구동될 수 있고, 컴퓨터 장치는 구동된 컴퓨터 프로그램의 제어에 따라 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법을 수행할 수 있다. 상술한 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 장치와 결합되어 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법을 컴퓨터에 실행시키기 위해 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장될 수 있다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 컴퓨터 장치의 예를 도시한 블록도이다. 예를 들어, 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 장치는 도 1을 통해 도시된 컴퓨터 장치(100)에 의해 구현될 수 있다.
- [0029] 도 1에 도시된 바와 같이 컴퓨터 장치(100)는 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법을 실행하기 위한 구성요소로서, 메모리(110), 프로세서(120), 통신 인터페이스(130) 그리고 입출력 인터페이스(140)를 포함할 수 있다.
- [0030] 메모리(110)는 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체로서, RAM(random access memory), ROM(read only memory) 및 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치(permanent mass storage device)를 포함할 수 있다. 여기서 ROM과 디스크 드라이브와 같은 비소멸성 대용량 기록장치는 메모리(110)와는 구분되는 별도의 영구 저장 장치로서 컴퓨터 장치(100)에 포함될 수도 있다. 또한, 메모리(110)에는 운영체제와 적어도 하나의 프로그램 코드가 저장될 수 있다. 이러한 소프트웨어 구성요소들은 메모리(110)와는 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체로부터 메모리(110)로 로딩될 수 있다. 이러한 별도의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체는 플로피 드라이브, 디스크, 테이프, DVD/CD-ROM 드라이브, 메모리 카드 등의 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체를 포함할 수 있다. 다른 실시예에서 소프트웨어 구성요소들은 컴퓨터에서 판독 가능한 기록매체가 아닌 통신 인터페이스(130)를 통해 메모리(110)에 로딩될 수도 있다. 예를 들어, 소프트웨어 구성요소들은 네트워크(160)를 통해 수신되는 파일들에 의해 설치되는 컴퓨터 프로그램에 기반하여 컴퓨터 장치(100)의 메모리(110)에 로딩될 수 있다.
- [0031] 프로세서(120)는 기본적인 산술, 로직 및 입출력 연산을 수행함으로써, 컴퓨터 프로그램의 명령을 처리하도록 구성될 수 있다. 명령은 메모리(110) 또는 통신 인터페이스(130)에 의해 프로세서(120)로 제공될 수 있다. 예를 들어, 프로세서(120)는 메모리(110)와 같은 기록 장치에 저장된 프로그램 코드에 따라 수신되는 명령을 실행하도록 구성될 수 있다. 본 발명의 실시예들에 따른 입자 기반 탄성체 파괴 시뮬레이션 방법에 포함된 전반의 동작들은 프로세서(120)에 의해 수행될 수 있다.
- [0032] 통신 인터페이스(130)는 네트워크(160)를 통해 컴퓨터 장치(100)가 다른 장치와 서로 통신하기 위한 기능을 제공할 수 있다. 일례로, 컴퓨터 장치(100)의 프로세서(120)가 메모리(110)와 같은 기록 장치에 저장된 프로그램 코드에 따라 생성한 요청이나 명령, 데이터, 파일 등이 통신 인터페이스(130)의 제어에 따라 네트워크(160)를 통해 다른 장치들로 전달될 수 있다. 역으로, 다른 장치로부터의 신호나 명령, 데이터, 파일 등이 네트워크(160)를 거쳐 컴퓨터 장치(100)의 통신 인터페이스(130)를 통해 컴퓨터 장치(100)로 수신될 수 있다. 통신 인터페이스(130)를 통해 수신된 신호나 명령, 데이터 등은 프로세서(120)나 메모리(110)로 전달될 수 있고, 파일 등은 컴퓨터 장치(100)가 더 포함할 수 있는 저장 매체(상술한 영구 저장 장치)로 저장될 수 있다.
- [0033] 통신 방식은 제한되지 않으며, 네트워크(160)가 포함할 수 있는 통신망(일례로, 이동통신망, 유선 인터넷, 무선 인터넷, 방송망)을 활용하는 통신 방식뿐만 아니라 기기들 간의 근거리 유선/무선 통신 역시 포함될 수 있다. 예를 들어, 네트워크(160)는, PAN(personal area network), LAN(local area network), CAN(campus area network), MAN(metropolitan area network), WAN(wide area network), BBN(broadband network), 인터넷 등의

네트워크 중 하나 이상의 임의의 네트워크를 포함할 수 있다. 또한, 네트워크(160)는 버스 네트워크, 스타 네트워크, 링 네트워크, 메쉬 네트워크, 스타-버스 네트워크, 트리 또는 계층적(hierarchical) 네트워크 등을 포함하는 네트워크 토폴로지 중 임의의 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다.

[0034] 입출력 인터페이스(140)는 입출력 장치(150)와의 인터페이스를 위한 수단일 수 있다. 예를 들어, 입력 장치는 마이크, 키보드, 카메라 또는 마우스 등의 장치를, 그리고 출력 장치는 디스플레이, 스피커와 같은 장치를 포함할 수 있다. 다른 예로 입출력 인터페이스(140)는 터치스크린과 같이 입력과 출력을 위한 기능이 하나로 통합된 장치와의 인터페이스를 위한 수단일 수도 있다. 입출력 장치(150)는 컴퓨터 장치(100)와 하나의 장치로 구성될 수도 있다.

[0035] 또한, 다른 실시예들에서 컴퓨터 장치(100)는 도 1의 구성요소들보다 더 적은 혹은 더 많은 구성요소들을 포함할 수도 있다. 그러나, 대부분의 종래기술적 구성요소들을 명확하게 도시할 필요성은 없다. 예를 들어, 컴퓨터 장치(100)는 상술한 입출력 장치(150) 중 적어도 일부를 포함하도록 구현되거나 또는 트랜시버(transceiver), 카메라, 각종 센서, 데이터베이스 등과 같은 다른 구성요소들을 더 포함할 수도 있다.

[0036] 이하에서는 위치기반 동역학 이론을 활용한 탄성체 파괴와 잔해생성 기법 및 장치의 구체적인 실시예를 설명하기로 한다.

[0037] PBD는 변형 가능한 물체(deformable object)를 실시간으로 구현하기 위한 시뮬레이션 기술로서, 수술 시뮬레이션, 헤어스타일 표현, 모션 캡처 애니메이션, 유체 표현, 인체 근육 표현 등을 다양한 분야에서 현실적인 물체를 모사하기 위해 활용되고 있다.

[0038] 컴퓨터 그래픽스에서 가장 대중적으로 사용되는 시뮬레이션 방법들은 대부분 뉴턴의 제2 운동법칙에 기반하여 내부와 외부의 힘을 누적하여 가속도를 먼저 계산한다. 이렇게 얻은 가속도의 시간 누적(time integration)으로 물체의 속도를 얻으며, 이 속도를 통해 위치를 최종적으로 계산하게 된다. PBD는 힘 기반 방법(force based method)에서 속도를 구하는 과정에 더해 제약(constraints)이라는 위치를 제어하는 방법이라 할 수 있다. 위치를 직접적으로 제어하여 힘 기반 방법에서 해결하기 어려운 탄성물체를 비교적 쉽게 표현할 수 있다.

[0039] PBD에서는 제약을 통한 오류 정정(error correction)에서 사용된 가우스-자이델 방법(Gauss-Seidel method)의 속도를 빠르게 만들기 위해 원본 메시(original mesh)를 the 최상의 메시(finest mesh)로 지정하고 거친 메시(coarser mesh)를 생성한 후 제약에 따라 수정하고 결과를 보간 한 멀티-그리드 방식(Multi-grid method)을 사용하고 있다. 또한, 제약을 적용하는 반복 횟수가 많아질수록 시뮬레이션 대상이 딱딱해지는(stiff) 문제를 해결하기 위해 사영 역학(projective dynamics)을 사용하는 방법, 제약에 의한 위치 변경에 사용되는 승수(multiplier)를 함께 수정하는 방법 등이 사용되고 있다.

[0040] 본 실시예들은 임계점 이상의 힘을 받아 끊어지게 되는 탄성체의 잔해를 모사함에 있어 트레스카 항복 조건을 활용하여 입자 재생성 지점을 결정하고 근처 입자와의 메시 재생성을 수행할 수 있다.

[0041] 트레스카 항복 조건은 결속을 이루는 입자와 입자 사이의 거리를 주응력(principal stress)으로 가정하고, 외력에 대한 주응력의 최대값과 최소값의 차를 이용하여 근사할 수 있다. 힘을 받은 입자의 위치가 한계점 이상으로 커질 때, 해당 입자가 끊어질 지점을 트레스카 항복 조건으로 예상한 후 근처의 입자들과 새롭게 메시지를 생성할 수 있다. 이 결과로 강한 외력을 받아 결함이 깨어진 탄성체의 잔해를 사실적으로 모사할 수 있다.

[0042] PBD를 활용한 제약 기반 탄성 시뮬레이션

[0043] 본 발명에서는 질감과 탄성을 표현하기 위해 입자 기반 동역학 기법(PBD)을 적용하여 외력에 의한 근육의 수축과 팽창을 모사하고자 한다. 각각의 입자는 일정범위 내에 들어오는 다른 입자 간의 장력을 유지하기 위한 제약이 존재한다.

[0044] 도 2는 본 발명의 일실시예에 있어서 입자 간 거리 제약을 설명하기 위한 예시 도면이다.

[0045] 두 입자 간 거리 제약은 수학적 식 1과 같이 정의될 수 있다.

[0046] [수학적 식 1]

$$C(p1, p2) = |p1 - p2| - d$$

[0048] 여기서 p1과 p2는 두 입자의 위치, d는 두 입자가 유지해야 하는 거리를 의미한다.

[0049] 제약은 서로 영향을 끼치는 입자 간 거리 또는 각도를 조절할 때 사용된다. PBD는 힘에 의한 간접적인 위치 변

경 대신, 각 입자들에 질량, 위치, 속도를 부여한 뒤 제약을 통한 직접적 위치 변경을 통해 입자의 움직임을 시뮬레이션할 수 있다.

[0050] 의상이나 피부, 근육 등과 같은 대상의 정확한 시뮬레이션을 위해 도 1과 같이 일정한 거리를 유지하는 스트레치 제약(Stretch Constraint)과 일정한 굽힘 각도를 유지하는 굽힘 제약(Bending Constraint)이 활용될 수 있다.

[0051] 트레스카 항복 조건을 이용한 취성 변형 적용

[0052] 기존 입자 기반 동역학 시뮬레이션의 경우 입자간 결합의 유지를 특성 임계치를 가진 거리로 판단한다. 외부에서 가해지는 힘으로 인해 입자간 거리가 임계치를 넘으면 해당 입자를 제거하여 의상 또는 피부와 같은 탄성체가 파열되는 현상을 연출한다. 하지만, 현실의 탄성체는 임계치를 넘어 찢어지게 되는 경우 잔해가 남지만 기존 입자 기반 동역학 시뮬레이션의 경우 임계치를 넘은 해당 입자가 제거될 때 입자가 이루고 있는 메시도 전부 제거되어 잔해가 정확히 표현되지 않는다. 잔해는 시뮬레이션에서 현실감을 줄 뿐만 아니라 탄성 계산의 결과에도 영향을 미치게 된다.

[0053] 본 발명은 물체에 발생하는 응력이 인장 응력 시험의 최대 응력과 같을 때, 항복이 일어난다는 개념인 트레스카 항복 조건을 적용한다. 입자가 일정 이상의 응력을 받아 파괴되면 입자에 가해지는 벡터를 계산하여 파괴된 입자의 위치를 재배치한 후 리메싱(re-meshing)하여 사실적인 잔해를 표현할 수 있다.

[0054] 도 3은 본 발명의 일실시예에 있어서 트레스카 항복 조건 하에 응력과 거리를 표현하는 과정을 설명하기 위한 예시 도면이다.

[0055] 트레스카 항복 조건식은 물체 내부의 외력으로 응력이 발생한다는 의미의 주응력과 관련이 있다. 항복 조건은 최대 주응력과 최소 주응력의 차이의 1/2로 표현될 수 있으며, 이를 통해 다양한 물체의 항복 조건을 표현할 수 있다. 연성 물질의 조건에 따른 허용범위 수치는 본 미세스(Von mises) 응력이 안정적이지만, 계산이 복잡하기 때문에 근사한 식으로 표현한 수학적 2의 트레스카 항복 조건식을 활용한다.

[0056] [수학적식 2]

$$[0057] \tau_f = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

[0058] τ_f 은 트레스카 항복 조건을 의미하고, σ_1 은 최대 주응력을 의미하고, σ_3 은 최소 주응력을 의미한다. 다시 말해, 항복 조건(τ_f)은 외력에 의한 주응력의 최대값(σ_1)과 최소값(σ_3)의 차를 이용하여 근사할 수 있다.

[0059] 도 3을 참조하면, 외력에 의해 압력이 급증하면, 탄성체(30)는 본래의 상태로 돌아가기 위한 반작용의 힘이 축적되고, 가해지는 외력보다 클 때 근육 조직의 손실이 일어나게 된다.

[0060] 본 발명에서는 각 입자들이 결합을 유지하기 위한 임계치 값을 최대 응력으로 가정하고, 이것이 매우 강한 외력으로 방해받을 때 버티지 못하고 결손이 발생하는 순간을 근육의 항복 조건으로 정의한다. 최소 주응력(σ_3)을 갖는 형태를 비압축성을 유지하는 안정화 상태로 가정한다.

[0061] 본 발명에 따른 신체 탄성에 대한 항복 조건(τ_f)을 수학적식 3과 같이 정의할 수 있다.

[0062] [수학적식 3]

$$[0063] (|k\rho_{max} - k\rho_{min}|)/2 = \tau_f$$

[0064] 여기서, ρ_{max} 는 최대 주응력을 갖는 입자의 거리 변화량이고, ρ_{min} 는 최소 주응력을 갖는 입자의 거리 변화량을 의미한다.

[0065] 탄성체(30)인 근육을 이루는 입자는 외력에 따른 벡터의 변화를 가지며, 결합을 이루고 있는 다른 입자 간의 장력을 입자간 거리 임계값의 형태로 유지하고 있기 때문에 외력에 의한 거리 변화를 항복 조건에 대한 기준으로 삼을 수 있다.

[0066] 본 실시예에서는 외부로부터 충격을 받을 때 탄성의 변화에 대한 신체의 형상 변화 알고리즘을 적용한다. 먼저, 입자 i가 힘을 받은 거리를 계산하여 초기값과 비교한다. 만약, 입자 간 거리 임계값이 파괴 조건보다 크다면

트레스카 항복 조건에 따라 취성 변형을 적용하여 기존 입자간 임계값의 절반 길이만큼 입자를 재생성하여 그 결과를 바탕으로 메시를 재구성한다.

[0067] 도 4는 본 발명의 일실시예에 있어서 탄성체 모사를 위한 리메싱 방법의 일례를 도시한 순서도이다.

[0068] 프로세서(120)는 트레스카 항복 조건을 활용하여 입자 재생성 지점을 결정하고 근처 입자와의 메시 재생성을 수행할 수 있다.

[0069] 도 4를 참조하면, 단계(S410)에서 프로세서(120)는 소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 삼각형 프리미티브(primitive) 정보를 삭제한다.

[0070] 단계(S420)에서 프로세서(120)는 소실된 입자가 연결된 다른 입자 간 트레스카 항복 조건 지점에 가상의 입자를 생성한다.

[0071] 단계(S430)에서 프로세서(120)는 소실된 입자와 연결된 다른 두 입자가 구성하던 하나의 삼각형을 가상의 입자를 사용하여 세 개의 삼각형 프리미티브로 분리한다.

[0072] 단계(S440)에서 프로세서(120)는 새로 생성된 프리미티브에 대한 거리 제약 값을 재조정한다.

[0073] 상기한 과정(S410 내지 S440)을 통해 트레스카 항복 조건에 근거하여 외력에 의해 결합이 깨어진 탄성체의 잔해를 표현할 수 있다.

[0074] 공간탄성 알고리즘

[0075] 트레스카 항복 조건은 각 입자에 가해진 힘으로 손실된 잔해의 기준을 모사 가능하다. 하지만, 실제 근육을 포함한 탄성체의 경우 근처에 여러 입자들과 결합을 이루고 있기 때문에 힘을 받은 입자 하나의 거리 변화량을 기준으로 시뮬레이션하면 외력의 종류에 따라 현실과 비슷한 시뮬레이션을 도출할 수 없다.

[0076] 본 실시예에서는 힘을 받는 입자와 근처의 다른 입자들을 그룹화하고 이를 통해 연결된 모든 입자들의 중간 지점에 가상의 입자를 생성한다. 이후, 취성 변형의 지점을 가상의 입자와 그룹으로 연결된 모든 입자의 평균값에 대한 거리로 계산한다. 트레스카 항복 조건의 결과로 잔해가 생길 지점은 해당 평균 값의 최대 거리와 최소 거리 차의 절반 값이다.

[0077] 도 5는 본 발명의 일실시예에 있어서 탄성체의 취성 변형을 표현하는 과정을 설명하기 위한 예시 도면이다.

[0078] 도 5는 그룹화한 입자들과 취성 변형을 표현하기 위해 생성한 가상 입자를 나타낸 것으로, x_1 , x_2 , x_3 은 힘이 가해지는 입자를 나타내고, x_m 은 다른 입자(x_1 , x_2 , x_3)의 중간에 위치한 가상 입자를 나타내고 있다.

[0079] 주응력을 갖는 입자의 거리 변화량(ρ_f)은 수학식 4와 같이 정의할 수 있다.

[0080] [수학식 4]

$$\rho_f = k \sum_{i=1}^n (X_i - X_m) / n$$

[0082] 여기서, k 는 상수로, 입자를 연결하는 스프링의 탄성 계수를 나타낸다. X_i 는 입자 i 의 위치를 의미하고, $|X_i - X_m|$ 는 입자 i 와 가상의 중심점 입자 m 사이의 거리를 의미한다. 거리 변화량 ρ_f 는 가상 중심점 입자 m 과 연결된 다른 입자들 i 간의 거리에 대한 총합을 n 으로 나누어 단순 연결된 입자 하나간 거리 변화가 아닌, 연결된 다른 입자들의 거리변화 총합에 대한 평균을 나타낸다.

[0083] [수학식 5]

$$\tau_f = \frac{\rho_{maxf} - \rho_{minf}}{2}$$

[0085] 수학식 5는 결합된 입자의 평균으로 구해진 거리의 변화량에 대한 트레스카 항복 조건(τ_f) 기준 거리이다. 힘을 받은 입자 하나의 변화량을 계산한 것보다 정교한 결과를 표현하기 위해 기준 입자와 주변 입자들이 받은 힘의 결과를 취성 변형의 기준으로 삼는다.

[0086] 면적복원 알고리즘

- [0087] 여러 입자의 결합으로 이루어진 탄성체가 힘을 받았을 때, 각각의 입자에 적용되는 힘뿐만 아니라 입자가 이루는 그룹의 면적에 대한 복원 역시 힘을 받은 탄성체가 원래의 형태로 돌아가기 위해 필요하다.
- [0088] 본 실시예에서는 힘을 받은 입자가 탄성으로 복원될 때 원래의 형태를 유지시키고자 면적 복원 알고리즘을 적용한다.
- [0089] 입자가 이루는 그룹의 면적(f_i^{area})은 수학적 식 6과 같이 정의할 수 있다.
- [0090] [수학적 식 6]
- $$f_i^{area} = k(A_i - A_{init}) \frac{(X - X_{init})}{|X - X_{init}|}$$
- [0091]
- [0092] 여기서, A_i 와 A_{init} 는 입자 i와 연결된 다른 입자들이 생성한 삼각형 프리미티브의 현재 넓이와 초기 넓이를 의미한다.
- [0093] 강한 외력을 받아 프리미티브가 손상되지 않은 경우 면적의 변화량에 대한 힘을 각 입자에 적용하여 탄성체의 변화를 최소화할 수 있다.
- [0094] 기존 입자 기반 동역학 시뮬레이션에서 외력이 가해져 입자 간 결합이 파괴될 때, 결합을 이루고 있는 입자를 제거하는 경우 실제 물질의 형태와 부합하지 않으며 탄성에 대한 계산도 부정확하다.
- [0095] 본 발명은 외부에서 가해지는 힘에 의해 입자간 결합이 깨어진 이후의 탄성체를 표현하기 위해 트레스카 항복 조건에 기반한 잔해 재생성 알고리즘을 적용할 수 있다. 그 결과로 기존 동역학 기반 알고리즘에서 외력에 의해 결합이 깨어진 입자가 제거되어 현실과는 다른 결과를 보이는 현상을 해결할 수 있다. 또한, 탄성체 입자가 이루는 면적 보존 알고리즘을 통해 기존 PBD에 비해 힘을 받은 탄성체의 면적이 변화하지 않고 원래의 형태로 되돌아 가는 결과를 확인할 수 있다.
- [0096] 따라서, 본 발명에서는 힘이 가해지는 탄성체의 사실적인 모사를 위해 힘을 받는 입자와 근처의 입자를 그룹 형태로 정의할 수 있고, 그룹이 받는 힘의 평균에 따라 탄성체가 변하는 결과를 표현할 수 있다. 이때, 탄성체에 한계 이상으로 외력을 받아 취성 변형된 결과를 표현하기 위해 트레스카 항복 조건을 이용하는 것으로, 일정 이상의 외력을 받은 입자가 파괴되면 가해지는 벡터를 계산하여 파괴된 입자의 위치를 재생성 후 리메싱할 수 있다. 그 결과로 탄성 변형이 한계치에 도달하여 파괴된 이후의 형체와 탄성 운동을 통해 현실적인 움직임을 모사할 수 있다. 또한, 외력을 받는 입자와 근처의 입자가 받는 외력의 변화량을 활용하여 한계점 미만의 외력을 받는 탄성체의 면적이 변하지 않도록 표현할 수 있다.
- [0097] 이처럼 본 발명의 실시예들에 따르면, 힘이 가해지는 탄성체의 사실적인 모사를 위해 힘을 받는 입자와 근처의 입자를 그룹 형태로 정의하고 트레스카 항복 조건을 활용하여 입자 재생성 지점을 결정하고 근처 입자와의 메시 재생성을 수행함으로써 탄성 변형이 한계치에 도달하여 파괴된 이후의 형체와 탄성 운동을 통해 현실적인 움직임을 모사할 수 있다.
- [0098] 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, 프로세서, 컨트롤러, 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 어플리케이션을 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 컨트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0099] 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 처

리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 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.

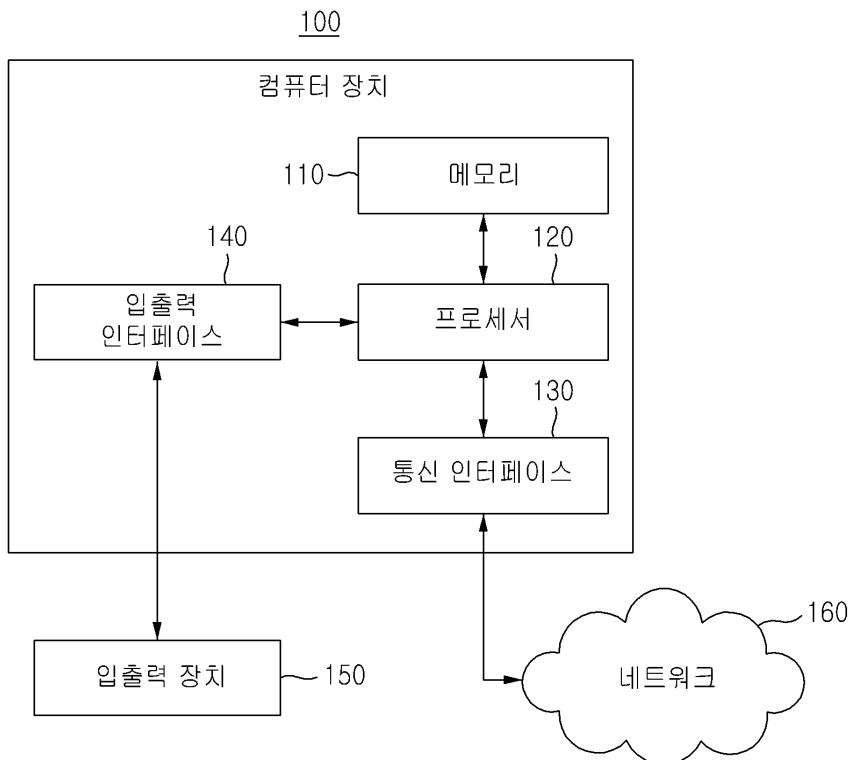
[0100] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 어플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다.

[0101] 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.

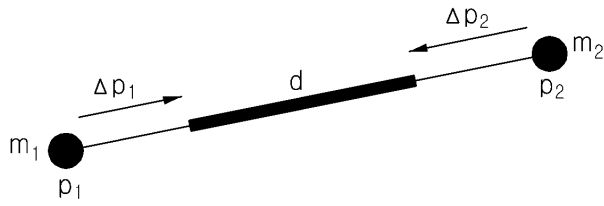
[0102] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

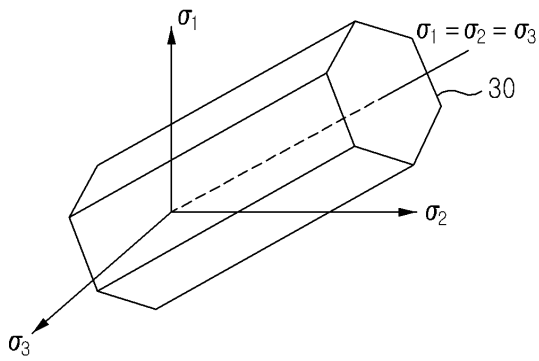
도면1



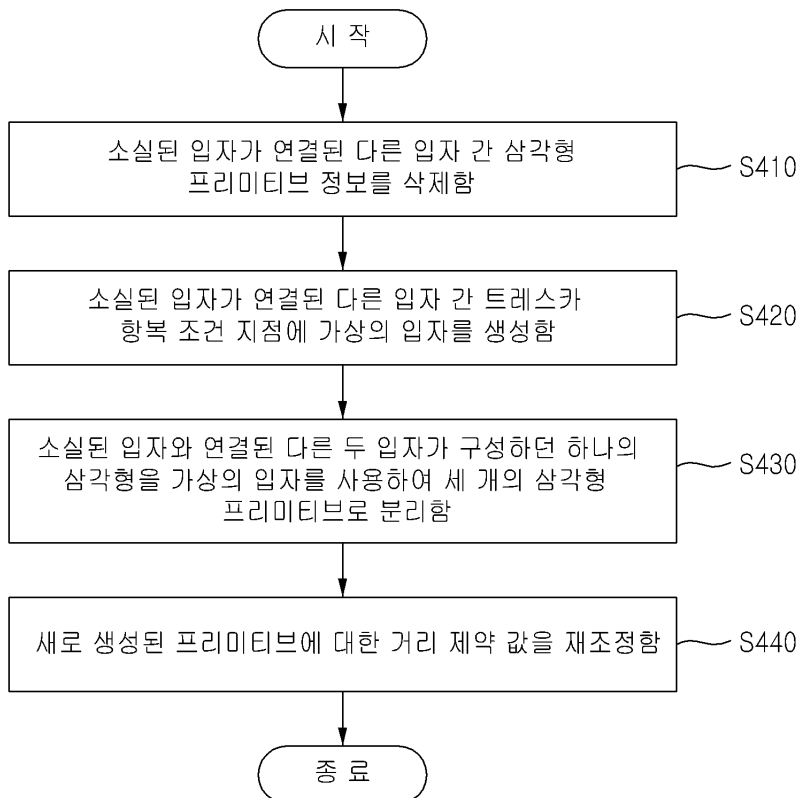
도면2



도면3



도면4



도면5

