

# 가변형 연체 조직 의료데이터를 위한 3D모델링 및 시뮬레이션 방법 및 수행 장치

Keyword	가변형 연체 조직, 뇌, 척추, 수술, 3차원 모델링, 시뮬레이션, 의료 데이터,		
기술보유 기관	송실대학교 산학협력단	기술판매형식	기술협력, 라이선스
연구 책임자	이정진	기술 완성단계(TRL)	4단계-연구실 규모 실험 단계

## 기/술/개/요

의료데이터를 3D모델링 및 시뮬레이션 할 때, 빠르고 정확하게 시뮬레이션 할 수 있도록 최적화된 알고리즘에 관한 것임

## 기존 기술의 문제점

- AR 기반 네비게이션 수술을 위한 기존의 3차원 모델 물리 시뮬레이션 모델링의 경우, 가변형 연체 변형 특성 또는 이종 형질 특성 등을 반영하기 어려우므로, 3차원 모델 변형에 정확도가 저하됨
- 계산량 증가로 인한 시뮬레이션 속도가 감소되고, 개뇌 후 뇌척수액 손실 및 뇌의 반복적인 움직임 등으로 인한 네비게이션 오차 발생 가능성이 큼

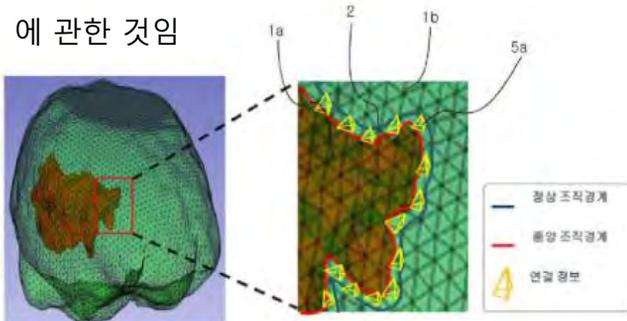
## 기술 내용 및 차별성

### 기술 내용 차별성

호모시스테인 검출용 전기화학발광 프로브를 포함하는 전기화학발광 센서 기술

### 기술 내용

- AR(Augmented Reality) 기반 네비게이션 수술을 위한 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치에 관한 것임



▲ 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 생성되는 가상 스프링의 예시

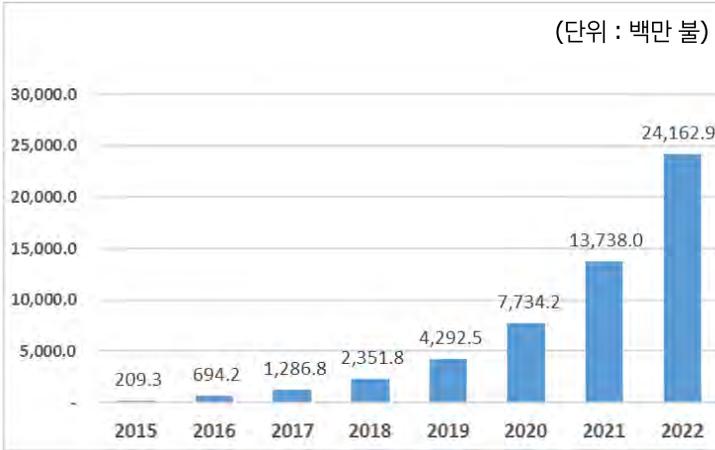
### 기술의 우수성 / 혁신성

- 시뮬레이션 속도 향상 및 높은 정밀도의 3D 모델 가시화 가능**
  - 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성함으로써, 변형을 위한 계산량을 감소시켜 시뮬레이션 속도를 향상시킬 뿐만 아니라, 조직의 이종 형질을 반영할 수 있으며, 고해상도 모델에 의해 높은 정밀도를 갖는 3차원 모델을 가시화하는 것이 가능함
- 자연스러운 모델 변형 및 정확한 시뮬레이션 결과 제공**
  - 이종 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 이용하여 이종 형질 영역 간을 연결하는 경계 영역의 제약 조건을 계산함으로써, 이종 형질을 고려한 연체 모델 변형이 가능하여 보다 자연스럽게 정확한 시뮬레이션 결과를 제공하는 것이 가능함

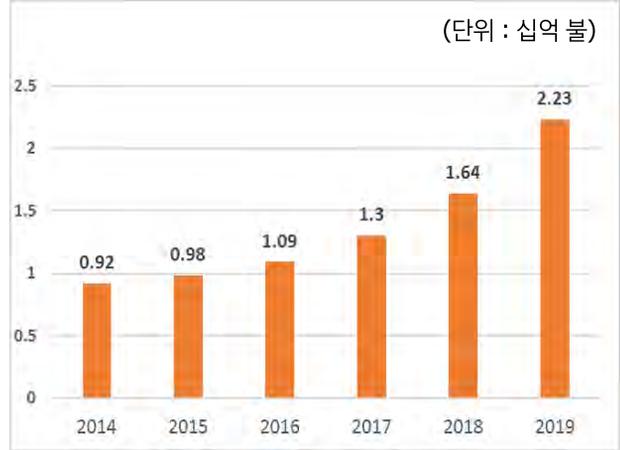
# 시장 현황

## 관련 시장 현황

[세계 메디컬 AR 시장규모 전망]



[세계 메디컬 VR 시장규모 전망]



## 기술 활용 분야

### 기술 활용 분야

- 수술 · 진료 · 의료 훈련 지원 (메디컬 AR 솔루션 / 앱)



## 권리현황

### 권리현황

발명의 명칭	문헌번호	등록일자	상태
가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치	KR 10-1948482	2019. 02. 08	등록

## 문의처

기술문의



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2019년02월14일  
 (11) 등록번호 10-1948482  
 (24) 등록일자 2019년02월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 A61B 34/10 (2016.01) A61B 34/20 (2016.01)  
 G16H 20/40 (2018.01)  
 (52) CPC특허분류  
 A61B 34/10 (2016.02)  
 A61B 34/20 (2016.02)  
 (21) 출원번호 10-2018-0103704  
 (22) 출원일자 2018년08월31일  
 심사청구일자 2018년08월31일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 US09898854 B1\*  
 US20140226884 A1\*  
 US20160063729 A1\*  
 EP2594200 A1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 숭실대학교산학협력단  
 서울특별시 동작구 상도로 369 (상도동)  
 (72) 발명자  
 이정진  
 서울특별시 동작구 상도로 346-1, 103동 602호 (상도동, 엠코타운센트럴파크아파트)  
 박대용  
 서울특별시 관악구 인현12길 46-2, 101동 301호(인현동, 은천아파트)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 윤귀상

전체 청구항 수 : 총 9 항

심사관 : 도민환

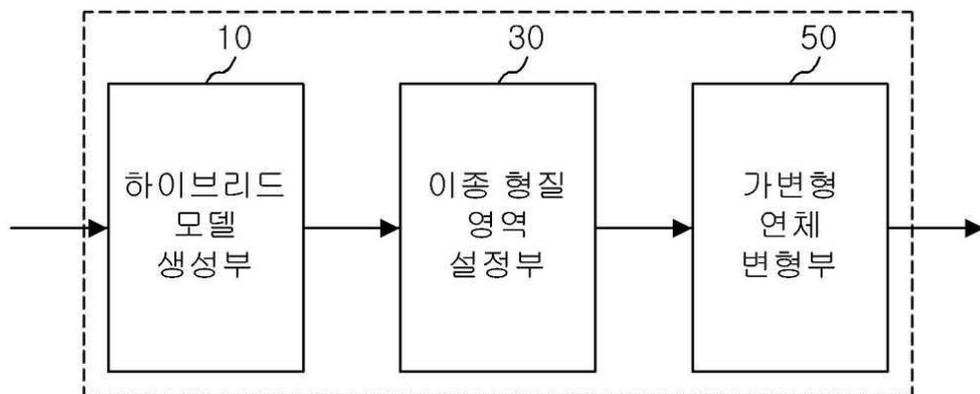
(54) 발명의 명칭 **가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치**

**(57) 요약**

가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치가 제공된다. 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법은 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 단계, 상기 하이브리드 모델에서 상기 가변형 연체 조직의 이종 형질 영역을 설정하고, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계 및 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 단계를 포함한다.

**대표도** - 도1

1000



(52) CPC특허분류

**A61B 90/39** (2016.02)  
**G16H 20/40** (2018.01)  
*A61B 2034/105* (2016.02)  
*A61B 2034/107* (2016.02)  
*A61B 2034/2055* (2016.02)

**구교영**

서울특별시 영등포구 선유서로9길 5, 502동 309호  
(현대5차아파트)

(72) 발명자

**정희렬**

서울특별시 동작구 상도로67길 12-22, 202호 (상도동)

**강승우**

서울특별시 관악구 대학20길 27, 110동 507호 (현대아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711060052
부처명	법부처사업
연구관리전문기관	정보통신기술진흥센터
연구사업명	국가전략프로젝트(법부처)
연구과제명	(K-AR 1세부) AR기반 수술용 개발툴킷 및 응용개발
기여율	1/1
주관기관	서울대학교 산학협력단
연구기간	2017.09.01 ~ 2018.04.30

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션을 수행하기 위한 소프트웨어가 설치되어 실행되는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에서의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법에 있어서,

하이브리드 모델 생성부가 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 단계;

이중 형질 영역 설정부가 상기 하이브리드 모델에서 상기 가변형 연체 조직의 이중 형질 영역을 설정하고, 상기 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계; 및

가변형 연체 변형부가 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 단계를 포함하고,

가변형 연체 변형부가 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력 및 상기 제약 조건에 기반한 내력을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 단계는,

단위 시간에 대한 속도 및 외력을 이용하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 현재 위치를 변형시키는 단계;

상기 다해상도 모델이 나타내는 상기 가변형 연체 조직 각 영역의 물성치에 기반한 상기 제약 조건을 이용하여 변형된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 위치를 수정하는 단계; 및

수정된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점에 충돌처리를 수행하는 단계를 포함하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계는,

상기 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점과 해당 사면체의 내부 중심점을 이어 상기 가상 스프링을 생성하는 단계를 포함하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계는,

상기 이중 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반한 탄성계수를 갖는 상기 가상 스프링을 생성하는 단계를 포함하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기

고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 단계는,

상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행하는 단계; 및

상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하는 단계를 포함하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법.

**청구항 5**

삭제

**청구항 6**

제1항에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법을 수행하기 위한, 컴퓨터 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체.

**청구항 7**

가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 하이브리드 모델 생성부;

상기 하이브리드 모델에서 상기 가변형 연체 조직의 이종 형질 영역을 설정하고, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 이종 형질 영역 설정부; 및

상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 가변형 연체 변형부를 포함하고,

상기 가변형 연체 변형부는,

단위 시간에 대한 속도 및 외력을 이용하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 현재 위치를 변형시키고, 상기 다해상도 모델이 나타내는 상기 가변형 연체 조직 각 영역의 물성치에 기반한 상기 제약 조건을 이용하여 변형된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 위치를 수정하며, 수정된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점에 충돌처리를 수행하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치.

**청구항 8**

제7항에 있어서,

상기 이종 형질 영역 설정부는,

상기 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점과 해당 사면체의 내부 중심점을 이어 상기 가상 스프링을 생성하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치.

**청구항 9**

제7항에 있어서,

상기 이종 형질 영역 설정부는,

상기 이종 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반한 탄성계수를 갖는 상기 가상 스프링을 생성하는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치.

**청구항 10**

제7항에 있어서,

상기 하이브리드 모델 생성부는,

상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행하는 보간부; 및

상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하는 맵핑부를 포함하는 가변형 연

체 조직의 물리 시뮬레이션 장치.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 AR(Augmented Reality) 기반 네비게이션 수술을 위한 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 기존의 영상 유도 뇌수술 시, 사전에 촬영된 MRI 영상과 수술 전 환자에게 부착된 마커를 정합하는 방식으로 인체 내부 정보를 확인한다. 그러나, 여러 개의 화면에 인체 내부 정보를 분할하여 보여주기 때문에 수술의 효율성이 떨어지는 문제가 있으며, 개뇌 후 뇌척수액 손실 및 뇌의 반복적인 움직임 등으로 인한 네비게이션 오차가 발생하여 뇌출혈 또는 뇌 손상이 위험이 증대된다.

[0003] 따라서, AR(Augmented Reality) 기반의 네비게이션 수술이 널리 시행되고 있다. AR 기반의 네비게이션 수술은, 수술 전 촬영한 뇌의 3차원 모델을 생성하고, 수술 중 발생하는 뇌의 변화에 따라 3차원 모델을 변형하여 가시화함으로써, 수술의 효율성을 향상시킬 수 있다.

[0004] 이를 위해, 수술 중 발생하는 뇌의 변화에 따라 3차원 모델을 자연스럽게 변형시킬 수 있는 물리 시뮬레이션 모델이 필요하다. 특히, 인체 장기는 대부분 딱딱하지 않은 변형 특성을 가지며, 정상 조직과 종양 조직과 같은 이종의 형질로 구성된다는 특성을 갖는다. 따라서, 종래의 외력에 따른 3차원 모델 물리 시뮬레이션 모델을 적용하는 경우, 가변형 연체 변형 특성 또는 이종 형질 특성 등을 반영하기 어려우므로, 3차원 모델 변형에 정확도가 떨어질 수 있으며, 계산량 증가로 인한 시뮬레이션 속도가 감소될 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0005] 본 발명의 일측면은 이종 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 생성하고, 이를 제약 조건으로 하여 가변형 연체 조직의 3차원 모델을 자연스럽게 변형시키는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법, 이를 수행하기 위한 기록매체 및 장치를 제공한다.

**과제의 해결 수단**

[0006] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법은 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 단계, 상기 하이브리드 모델에서 상기 가변형 연체 조직의 이종 형질 영역을 설정하고, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계 및 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 단계를 포함한다.

[0007] 한편, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계는, 상기 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점과 해당 사면체의 내부 중심점을 이어 상기 가상 스프링을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0008] 또한, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 단계는, 상기 이종 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반한 탄성계수를 갖는 상기 가상 스프링을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기

고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 단계는, 상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행하는 단계 및 상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 단계는, 단위 시간에 대한 속도 및 외력을 이용하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 현재 위치를 변형시키는 단계, 상기 다해상도 모델이 나타내는 상기 가변형 연체 조직 각 영역의 물성치에 기반한 상기 제약 조건을 이용하여 변형된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 위치를 수정하는 단계 및 수정된 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점에 충돌처리를 수행하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법을 수행하기 위한, 컴퓨터 프로그램이 기록된 컴퓨터로 판독 가능한 기록 매체일 수 있다.

[0012] 또한, 본 발명의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치는 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타내는 고해상도 모델 및 상기 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron)들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 맵핑하여 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 상기 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성하는 하이브리드 모델 생성부, 상기 하이브리드 모델에서 상기 가변형 연체 조직의 이종 형질 영역을 설정하고, 상기 이종 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체에 상기 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성하는 이종 형질 영역 설정부 및 상기 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 상기 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점을 변형시키는 가변형 연체 변형부를 포함한다.

[0013] 한편, 상기 이종 형질 영역 설정부는, 상기 경계 영역을 나타내는 상기 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점과 해당 사면체의 내부 중심점을 이어 상기 가상 스프링을 생성할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 이종 형질 영역 설정부는, 상기 이종 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반한 탄성계수를 갖는 상기 가상 스프링을 생성할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 하이브리드 모델 생성부는, 상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행하는 보간부 및 상기 고해상도 모델 및 상기 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하는 맵핑부를 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

[0016] 본 발명에 따르면, 고해상도 모델 및 다해상도 모델을 맵핑하여 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성함으로써, 변형을 위한 계산량을 감소시켜 시뮬레이션 속도를 향상시킬 뿐만 아니라, 조직의 이종 형질을 반영할 수 있으며, 고해상도 모델에 의해 높은 정밀도를 갖는 3차원 모델을 가시화할 수 있다.

[0017] 또한, 이종 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 이용하여 이종 형질 영역 간을 연결하는 경계 영역의 제약 조건을 계산함으로써, 이종 형질을 고려한 연체 모델 변형이 가능하여 보다 자연스럽게 정확한 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있다.

[0018] 또한, AR(Augmented Reality) 기반 네비게이션 수술에 적용되는 경우, 임상의에게 보다 자연스럽게 정확한 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있어, 수술의 효율성을 향상시킬 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치의 블록도이다.  
 도 2는 도 1에 도시된 하이브리드 모델 생성부의 블록도이다.  
 도 3은 본 발명의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 생성되는 하이브리드 모델의 일 예를 도시한 도면이다.  
 도 4는 도 1에 도시된 이종 형질 영역 설정부의 블록도이다.  
 도 5는 본 발명의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 설정되는 가변형 연체 조직의 이종 형질 영

역의 일 예이다.

도 6은 본 발명의 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 생성되는 가상 스프링의 일 예를 도시한 도면이다.

도 7 및 도 8은 도 1에 도시된 가변형 연체 변형부에서의 하이브리드 모델의 물리 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 도면들이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법의 순서도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0020] 후술하는 본 발명에 대한 상세한 설명은, 본 발명이 실시될 수 있는 특정 실시예를 예시로서 도시하는 첨부 도면을 참조한다. 이들 실시예는 당업자가 본 발명을 실시할 수 있기에 충분하도록 상세히 설명된다. 본 발명의 다양한 실시예는 서로 다르지만 상호 배타적일 필요는 없음이 이해되어야 한다. 예를 들어, 여기에 기재되어 있는 특정 형상, 구조 및 특성은 일 실시예와 관련하여 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 다른 실시예로 구현될 수 있다. 또한, 각각의 개시된 실시예 내의 개별 구성요소의 위치 또는 배치는 본 발명의 정신 및 범위를 벗어나지 않으면서 변경될 수 있음이 이해되어야 한다. 따라서, 후술하는 상세한 설명은 한정적인 의미로서 취하려는 것이 아니며, 본 발명의 범위는, 적절하게 설명된다면, 그 청구항들이 주장하는 것과 균등한 모든 범위와 더불어 첨부된 청구항에 의해서만 한정된다. 도면에서 유사한 참조부호는 여러 측면에 걸쳐서 동일하거나 유사한 기능을 지칭한다.
- [0021] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치의 블록도이다.
- [0023] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치(1000, 이하 장치)는 하이브리드 모델 생성부(10), 이종 형질 영역 설정부(30) 및 가변형 연체 변형부(50)를 포함할 수 있다.
- [0024] 본 발명에 따른 장치(1000)는 수술 전 촬영 영상으로부터 획득되는 가변형 연체 조직의 3차원 모델을 가시화할 수 있으며, 수술 중 발생하는 가변형 연체 조직의 변형에 따라 3차원 모델을 변형시킬 수 있다. 가변형 연체 조직은 힘에 의한 변형이 발생하는 조직으로, 예를 들면, 뇌, 간 등이 포함될 수 있다.
- [0025] 특히, 본 발명에 따른 장치(1000)는 병변, 혈관 등과 같이 서로 다른 물성치를 갖는 이종 형질을 고려하여 가변형 연체 조직의 3차원 모델을 자연스럽게 변형시킬 수 있다.
- [0026] 이에, 본 발명에 따른 장치(1000)는 AR(Augmented Reality) 기반 네비게이션 수술에 적용되는 경우, 임상의에게 보다 자연스럽게 정확한 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있다.
- [0027] 본 발명에 따른 장치(1000)는 별도의 단말이거나 또는 단말의 일부 모듈일 수 있다. 또한, 하이브리드 모델 생성부(10), 이종 형질 영역 설정부(30) 및 가변형 연체 변형부(50)의 구성은 통합 모듈로 형성되거나, 하나 이상의 모듈로 이루어질 수 있다. 그러나, 이와 반대로 각 구성은 별도의 모듈로 이루어질 수도 있다.
- [0028] 본 발명에 따른 장치(1000)는 이동성을 갖거나 고정될 수 있다. 본 발명에 따른 장치(1000)는 서버(server) 또는 엔진(engine) 형태일 수 있으며, 디바이스(device), 기구(apparatus), 단말-terminal), UE(user equipment), MS(mobile station), 무선기기(wireless device), 휴대기기(handheld device) 등 다른 용어로 불릴 수 있다.
- [0029] 본 발명에 따른 장치(1000)는 운영체제(Operation System; OS), 즉 시스템을 기반으로 다양한 소프트웨어를 실행하거나 제작할 수 있다. 운영체제는 소프트웨어가 장치의 하드웨어를 사용할 수 있도록 하기 위한 시스템 프로그램으로서, 안드로이드 OS, iOS, 윈도우 모바일 OS, 바다 OS, 심비안 OS, 블랙베리 OS 등 모바일 컴퓨터 운영체제 및 윈도우 계열, 리눅스 계열, 유닉스 계열, MAC, AIX, HP-UX 등 컴퓨터 운영체제를 모두 포함할 수 있다.
- [0030] 본 발명에 따른 장치(1000)는 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션을 수행하기 위한 소프트웨어(애플리케이션)가 설치되어 실행될 수 있으며, 하이브리드 모델 생성부(10), 이종 형질 영역 설정부(30) 및 가변형 연체 변형부(50)의 구성은 장치(1000)에서 실행되는 소프트웨어에 의해 제어될 수 있다.
- [0031] 아래에서는 도 2 이하를 참조하여 본 발명에 따른 장치(1000)의 각 구성에 대해 자세히 설명한다.

- [0033] 도 2는 도 1에 도시된 하이브리드 모델 생성부의 블록도이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 생성되는 하이브리드 모델의 일 예를 도시한 도면이다.
- [0034] 도 2를 참조하면, 하이브리드 모델 생성부(10)는 보간부(11) 및 맵핑부(15)를 포함하여, 가변형 연체 조직의 3차원 모델로부터 조직의 이중 형질 표현을 위한 하이브리드 모델을 생성할 수 있다.
- [0035] 가변형 연체 조직의 3차원 모델은 고해상도 모델 및 다해상도 모델로 나뉠 수 있다. 고해상도 모델은 가변형 연체 조직을 메쉬(mesh) 형태로 나타낼 수 있으며, 다해상도 모델은 가변형 연체 조직을 사면체(Tetrahedron) 들의 집합으로 나타낼 수 있다.
- [0036] 고해상도 모델은 수술 전 촬영 영상을 이용하여 생성할 수 있다. 고해상도 모델은 다수의 정점을 사용하는 메쉬 형태로 가변형 연체 조직을 나타내므로 높은 정밀도를 가지며, 연체의 세세한 부분까지 표현할 수 있어 AR 기반 네비게이션 수술에 널리 사용되고 있다.
- [0037] 그러나, 고해상도 모델은 가변형 연체 조직의 변형이 발생하는 경우, 다수의 정점을 변형시키기 위한 계산량이 증가하여 시뮬레이션 속도가 크게 저하된다는 문제점이 있다. 또한, 고해상도 모델은 내부가 비어 있어 지역적인 부피 변형을 고려할 수 없으며, 이중의 형질로 구성된 연체 조직을 나타내기 어렵다.
- [0038] 다해상도 모델은 고해상도 모델로부터 생성할 수 있다. 예를 들면, 다해상도 모델은 고해상도 모델의 어느 영역을 나타내는 정점의 수를 사면체를 구성하는 4 개의 정점으로 감소시키는 방식으로 사면체들의 집합을 생성할 수 있다. 다만, 다해상도 모델은 가변형 연체 조직에서 병변, 혈관 등과 같이 중요 부위를 나타내는 영역은 정밀도 향상을 위해 고해상도 모델을 그대로 유지할 수 있다.
- [0039] 이러한 다해상도 모델은 사면체들의 집합으로 가변형 연체 조직을 나타내므로, 가변형 연체 조직의 변형이 발생하는 경우, 고해상도 모델에 비해 정점 변형을 위한 계산량을 감소시켜 시뮬레이션 속도를 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한, 다해상도 모델은 사면체들의 집합으로 가변형 연체 조직을 나타내어 연속체 특성을 가지며, 연체 조직의 부위별 부피, 물성치 차이 등으로 인한 변형을 나타낼 수 있다.
- [0040] 따라서, 하이브리드 모델 생성부(10)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델을 맵핑하여 하이브리드 모델을 생성할 수 있으며, 이를 위해 보간부(11) 및 맵핑부(15)를 포함할 수 있다.
- [0041] 보간부(11)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행할 수 있다. 예를 들면, 보간부(11)는 선형 보간 법을 적용하여 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행할 수 있다. 보간부(11)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델 간 보간을 수행하여 고해상도 모델 및 다해상도 모델 간의 해상도 차이를 해소시킬 수 있다.
- [0042] 맵핑부(15)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하여 하이브리드 모델을 생성할 수 있다. 예를 들면, 맵핑부(15)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점을 가상으로 연결시키는 Coordinate 맵핑을 수행할 수 있다. 이와 같은 경우, 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 다해상도 모델의 정점과 맵핑된 고해상도 모델이 함께 변형될 수 있다.
- [0043] 도 3을 참조하면, 맵핑부(15)는 고해상도 모델(3) 및 다해상도 모델(5)의 인접하는 정점을 보간한 뒤 맵핑을 수행하여 하이브리드 모델(1)을 생성할 수 있다. 하이브리드 모델(1)은 다해상도 모델(5)이 변형되는 경우, 고해상도 모델(3)이 함께 변형될 수 있다. 즉, 하이브리드 모델(1)을 변형시키는 시뮬레이션을 구현하기 위해서는, 다해상도 모델(5)의 사면체를 구성하는 정점으로부터 변형 물리량을 계산하여 다해상도 모델(5)을 변형시킬 수 있으며, 이러한 다해상도 모델(5)의 정점에 맵핑된 고해상도 모델(3) 또한 다해상도 모델(5)의 정점 변형에 따라 함께 변형시킬 수 있다. 이와 관련하여 구체적인 설명은 후술하기로 한다.
- [0044] 이와 같이, 하이브리드 모델 생성부(10)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델을 맵핑하여 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 고해상도 모델이 함께 변형되게 하는 하이브리드 모델을 생성함으로써, 변형을 위한 계산량을 감소시켜 시뮬레이션 속도를 향상시킬 뿐만 아니라, 조직의 이중 형질을 반영할 수 있으며, 고해상도 모델에 의해 높은 정밀도를 갖는 3차원 모델을 가시화할 수 있다.
- [0046] 도 4는 도 1에 도시된 이중 형질 영역 설정부의 블록도이고, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 설정되는 가변형 연체 조직의 이중 형질 영역의 일 예이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치에 의해 생성되는 가상 스프링의 일 예를 도시한 도면이다.

- [0047] 도 4를 참조하면, 이중 형질 영역 설정부(30)는 경계 영역 설정부(31) 및 가상 스프링 생성부(35)를 포함하여, 하이브리드 모델이 나타내는 가변형 연체 조직에서 이중 형질 영역을 설정하고, 이중 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 생성할 수 있다.
- [0048] 사람의 장기는 일반 조직, 병변, 혈관 등과 같이 서로 다른 물성치를 갖는 이중 형질의 집합으로 구성될 수 있다. 따라서, 가변형 연체 조직의 물성치를 하나로 가정하여 3차원 모델 변형 시뮬레이션을 실행하는 경우, 오차가 발생하여 부자연스러운 결과가 나타날 수 있다.
- [0049] 따라서, 이중 형질 영역 설정부(30)는 가변형 연체 조직의 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 사면체에 다해상도 모델을 변형시키는 경우 제약 조건(Constraint)이 되는 가상 스프링을 생성할 수 있다. 이를 위해, 이중 형질 영역 설정부(30)는 경계 영역 설정부(31) 및 가상 스프링 생성부(35)를 포함할 수 있다.
- [0050] 경계 영역 설정부(31)는 하이브리드 모델에서 가변형 연체 조직의 이중 형질 영역을 설정하고, 이중 형질 영역 간 경계 영역을 설정할 수 있다.
- [0051] 예를 들면, 도 5를 참조하면, 경계 영역 설정부(31)는 뇌를 나타내는 하이브리드 모델을 정상 조직의 제1 형질 영역(1b)과 중앙 조직의 제2 형질 영역(1a)으로 설정할 수 있으며, 제1 형질 영역(1b)의 경계와 제2 형질 영역(1a)의 경계 사이의 영역을 이중 형질 영역 간 경계 영역(2)으로 설정할 수 있다.
- [0052] 여기에서, 제1 형질 영역(1b) 또는 제2 형질 영역(1a)에 대한 변형이 이루어지는 경우, 제1 형질 영역(1b) 또는 제2 형질 영역(1a)을 나타내는 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 정점의 변형이 시뮬레이션 되는데, 각각 정상 조직 또는 중앙 조직의 특성을 나타내는 물성치 기반의 서로 다른 제한 조건이 적용되어 정점 변형의 물리량이 계산될 수 있다.
- [0053] 경계 영역 설정부(31)는 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 좌표를 획득할 수 있다.
- [0054] 예를 들면, 도 5를 참조하면, 경계 영역(2)은 다해상도 모델의 사면체(5a)들의 집합으로 나타낼 수 있다. 경계 영역 설정부(31)는 이러한 경계 영역(2)을 나타내는 사면체(5a)를 구성하는 각 정점의 좌표를 획득할 수 있다.
- [0055] 가상 스프링 생성부(35)는 이중 형질 영역 간 경계 영역에서 이중 형질 영역을 연결 시켜주기 위한 가상 스프링을 생성할 수 있다. 가상 스프링은 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점과 해당 사면체 내부 중심점을 잇는 선으로 정의될 수 있다.
- [0056] 도 6을 참조하면, 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 사면체는 4 개의 정점으로 구성될 수 있다. 가상 스프링 생성부(35)는 이러한 4 개의 정점 좌표( $p_1, p_2, p_3, p_4$ )와 내부 중심점 좌표( $p_0$ )를 연결하여 가상 스프링(7)을 생성할 수 있다. 여기서, 다해상도 모델 사면체의 내부 중심점 좌표( $p_0$ )는 아래의 수학적 식 1과 같이 계산될 수 있다.

**수학적 식 1**

$$p_0 = \frac{1}{4} \sum_{k=1}^4 (p_k)$$

- [0057]
- [0058] 수학적 식 1에서  $p_0$ 는 다해상도 모델 사면체의 중심점 좌표를 나타내고,  $p_1, p_2, p_3, p_4$ 는 각각 다해상도 모델 사면체를 구성하는 정점 좌표를 나타낸다.
- [0059] 가상 스프링 생성부(35)는 이중 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반하여 가상 스프링의 탄성계수를 설정할 수 있다. 가상 스프링 생성부(35)는 제1 형질 영역(1b) 및 제2 형질 영역(1a)의 특성을 나타내는 물성치를 이용하여 가상 스프링의 탄성계수를 설정할 수 있다.
- [0060] 가상 스프링 생성부(35)는 경계 영역(2)의 제약 조건을 설정할 수 있다. 가상 스프링 생성부(35)는 가상 스프링을 이용하여 경계 영역(2)을 나타내는 사면체(5a)를 변형시키는 경우 적용되는 제약 조건을 아래 수학적 식 2와 같이 계산할 수 있다.

수학식 2

$$C_{hetero}(\Delta p_i) = \frac{w_i}{\sum_{k=1}^4 w_k} * C_{spring}(p_i, p_o) * \nabla g_i * k_{hetero}$$

수학식 3

$$C_{spring}(p_i, p_o) = |p_i - p_o| - l_i$$

수학식 2에서  $w_i$ 는 정점  $p_i$ 의 무게를 나타내고,  $C_{spring}$ 은 가상 스프링을 구성하는 두 정점 간의 거리 차이로 수학식 3과 같이 계산될 수 있다. 또한, 수학식 2에서  $\nabla g_i$ 는 정점의 변형 방향,  $k_{hetero}$ 는 가상 스프링의 탄성계수를 나타낸다. 수학식 3에서  $l_i$ 는 가상 스프링을 구성하는 두 정점 간의 초기 거리를 나타낸다.

이와 같이, 이중 형질 영역 설정부(30)는 하이브리드 모델이 나타내는 가변형 연체 조직에서 이중 형질 영역을 설정하고, 이중 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 생성하며, 가상 스프링을 이용하여 이중 형질 영역 간을 연결하는 경계 영역의 제약 조건을 계산할 수 있다. 이로 인해, 이중 형질을 고려한 연체 모델 변형이 가능하여 보다 자연스럽게 정확한 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있다.

도 7 및 도 8은 도 1에 도시된 가변형 연체 변형부에서의 하이브리드 모델의 물리 시뮬레이션 방법을 설명하기 위한 도면이다.

가변형 연체 변형부(50)는 가변형 연체 조직에 가해지는 외력(External Forces) 및 제약 조건에 기반한 내력(Internal Forces)을 반영하여 하이브리드 모델을 변형시킬 수 있다.

상술한 바와 같이 하이브리드 모델(1)을 변형시키는 시뮬레이션을 구현하기 위해서는, 다해상도 모델(5)의 사면체를 구성하는 정점으로부터 변형 물리량을 계산하여 다해상도 모델(5)을 변형시킬 수 있으며, 이러한 다해상도 모델(5)의 정점에 맵핑된 고해상도 모델(3) 또한 다해상도 모델(5)의 정점 변형에 따라 함께 변형시킬 수 있다.

따라서, 가변형 연체 변형부(50)는 다해상도 모델(5)의 정점을 변화시킬 수 있으며, 이때, 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 경우 수학식 2에 따른 제약 조건을 반영할 수 있다.

가변형 연체 변형부(50)는 이러한 정점 변형을 수행하기 위한 물리 모델로 PBD(Position Based Dynamics) 물리 모델을 이용할 수 있다.

도 7 및 도 8을 참조하면, 가변형 연체 변형부(50)는 4 가지 단계를 반복 수행하여 다해상도 모델(5)의 정점을 변형시킴으로써 가변형 연체 조직을 나타내는 하이브리드 모델(1)의 물리 시뮬레이션을 실현시킬 수 있다.

먼저, 가변형 연체 변형부(50)는 다해상도 모델(5)의 사면체를 구성하는 각 정점의 현재 위치를 기준으로 단위 시간에 대한 속도 및 외력을 반영하여 정점의 새로운 위치를 산출할 수 있다. 구체적으로는, 가변형 연체 변형부(50)는 정점의 현재 속도( $v_i$ )에 가변형 연체 조직에 가해지는 외력( $f$ )과 내부 Damping 및 질량( $m_i$ )을 고려하여 새로운 속도( $v_i^{new}$ )를 산출할 수 있다. 또한, 가변형 연체 변형부(50)는 정점의 현재 위치( $p_i$ )를 기준으로 단위 시간( $\Delta t$ )에 대한 속도 정보인 새로운 속도( $v_i^{new}$ )를 반영하여 정점의 새로운 위치( $p_i^{new}$ )를 산출할 수 있다. 이는 아래 수학식 4 내지 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$w_i = 1/m_i$$

수학식 5

[0074] 
$$v_i^{new} = v_i + f\Delta t w_i + Damp(v_i)$$

수학식 6

[0075] 
$$p_i^{new} = p_i + n_i^{new} \Delta t$$

[0076] 가변형 연체 변형부(50)는 정점의 새로운 위치( $p_i^{new}$ )에 제약 조건(C)을 적용하여 최종 위치( $p_i^{fin}$ )로 수정할 수 있다. 여기서, 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 경우 가상 스프링에 기반한 수학식 2에 따른 제약 조건이 적용될 수 있다. 이는 아래 수학식 7 및 8과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 7

[0077] 
$$p_i^{fin} = C(p_i^{new})$$

수학식 8

[0078] 
$$v_i^{fin} = (p_i^{fin} - p_i) / \Delta t$$

[0079] 마지막으로, 가변형 연체 변형부(50)는 충돌처리를 수행하여 변형된 하이브리드 모델(1)이 관통되는 현상을 방지할 수 있다.

[0080] 이와 같이, 가변형 연체 변형부(50)는 PBD 물리 모델 기반의 정점 변형을 통한 하이브리드 모델의 변형을 수행함으로써, 연체의 외력 및 내력을 고려한 시뮬레이션 결과를 제공할 수 있다. 특히, 이중 형질 간 경계 영역의 변형 시, 가상 스프링에 기반한 제약 조건을 적용하여 이중 형질 영역의 변형을 자연스럽게 표현할 수 있다.

[0082] 이하에서는, 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법에 대하여 설명한다.

[0083] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법의 순서도이다.

[0084] 본 발명의 일 실시예에 따른 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법은 도 1의 물리 시뮬레이션 장치(1000)와 실질적으로 동일한 구성에서 진행될 수 있다. 따라서, 도 1의 장치(1000)와 동일한 구성요소는 동일한 도면부호를 부여하고, 반복되는 설명은 생략한다.

[0085] 도 9를 참조하면, 하이브리드 모델 생성부(10)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델을 맵핑하여 하이브리드 모델을 생성할 수 있다(S100).

[0086] 하이브리드 모델 생성부(10)는 수술 전 촬영 영상으로부터 가변형 연체 조직을 메쉬 형태로 나타내는 고해상도 모델을 획득할 수 있다. 하이브리드 모델 생성부(10)는 고해상도 모델로부터 가변형 연체 조직을 사면체들의 집합으로 나타내는 다해상도 모델을 획득할 수 있다. 하이브리드 모델 생성부(10)는 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 보간을 수행하여 해상도 차이를 해소시킨 뒤, 고해상도 모델 및 다해상도 모델의 인접하는 정점 간 맵핑을 수행하여 하이브리드 모델을 생성할 수 있다. 이와 같은 하이브리드 모델은 다해상도 모델을 변형시키는 경우, 다해상도 모델의 정점과 맵핑된 고해상도 모델이 함께 변형될 수 있다.

[0087] 이중 형질 영역 설정부(30)는 하이브리드 모델이 나타내는 가변형 연체 조직에서 이중 형질 영역을 설정하고(S200), 이중 형질 영역 간을 연결하는 가상 스프링을 생성하며(S300), 가상 스프링을 이용하여 이중 형질 영역 간 경계 영역에 적용되는 제약 조건을 설정할 수 있다(S400).

[0088] 이중 형질 영역 설정부(30)는 하이브리드 모델에서 가변형 연체 조직의 이중 형질 영역을 설정하고, 이중 형질

영역 간 경계 영역을 설정할 수 있다. 여기서, 이중 형질 영역은 각각 영역 별 조직 특성을 나타내는 물성치 기반의 서로 다른 제한 조건이 설정될 수 있다.

- [0089] 이중 형질 영역 설정부(30)는 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 좌표를 획득할 수 있다. 이중 형질 영역 설정부(30)는 상기 수학식 1과 같이 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 좌표로부터 해당 사면체 내부 중심점의 좌표를 획득할 수 있다. 이중 형질 영역 설정부(30)는 다해상도 모델의 사면체를 구성하는 각 정점의 좌표와 해당 사면체 내부 중심점의 좌표를 이어 가상 스프링을 생성할 수 있다.
- [0090] 이중 형질 영역 설정부(30)는 이중 형질 영역 간의 서로 다른 물성치에 기반하여 가상 스프링의 탄성계수를 설정할 수 있다. 이중 형질 영역 설정부(30)는 상기 수학식 2 및 3과 같이 가상 스프링을 이용하여 경계 영역에 적용되는 제약 조건을 설정할 수 있다.
- [0091] 가변형 연체 변형부(50)는 가변형 연체 조직에 가해지는 외력 및 제약 조건에 기반한 내력을 반영하여 하이브리드 모델을 변형시킬 수 있다(S500).
- [0092] 가변형 연체 변형부(50)는 PBD 물리 모델을 이용하여 가변형 연체 조직을 나타내는 하이브리드 모델을 변형시킬 수 있다. 가변형 연체 변형부(50)는 상기 수학식 4 내지 8에 따른 단계를 반복하여 다해상도 모델(5)의 정점을 변형시킴으로써 가변형 연체 조직을 나타내는 하이브리드 모델(1)의 물리 시뮬레이션을 실현시킬 수 있다. 여기서, 이중 형질 영역을 나타내는 다해상도 모델의 경우, 각 영역 별 조직 특성을 나타내는 물성치에 기반하여 설정되는 제한 조건이 적용될 수 있다. 또한, 이중 형질 영역 간 경계 영역을 나타내는 다해상도 모델의 경우, 수학식 2에 따른 가상 스프링에 기반하여 설정되는 제한 조건이 적용될 수 있다.
- [0094] 이와 같은, 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 방법은 애플리케이션으로 구현되거나 다양한 컴퓨터 구성요소를 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령어의 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체는 프로그램 명령어, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다.
- [0095] 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체에 기록되는 프로그램 명령어는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 분야의 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.
- [0096] 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체의 예에는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD 와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령어를 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다.
- [0097] 프로그램 명령어의 예에는, 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드도 포함된다. 상기 하드웨어 장치는 본 발명에 따른 처리를 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0098] 이상에서는 실시예들을 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

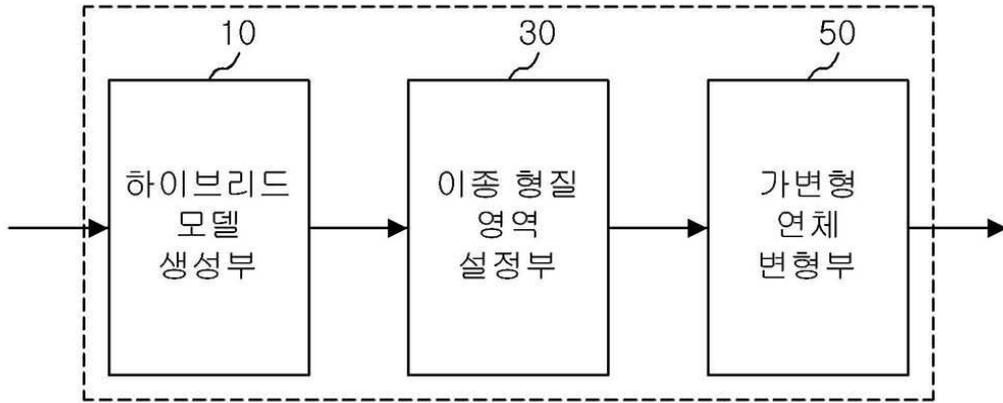
**부호의 설명**

- [0099] 1000: 가변형 연체 조직의 물리 시뮬레이션 장치
- 10: 하이브리드 모델 생성부
- 30: 이중 형질 영역 설정부
- 50: 가변형 연체 변형부

도면

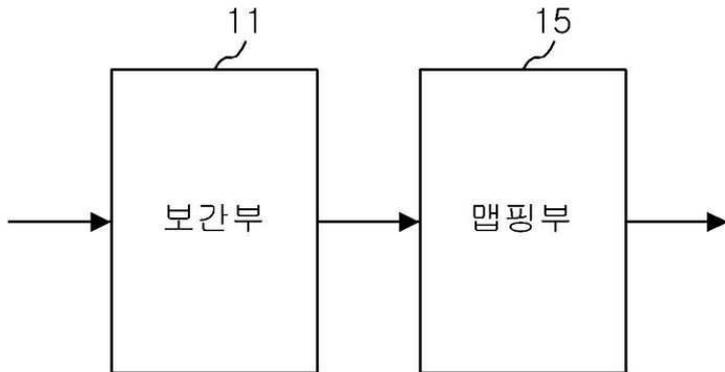
도면1

1000

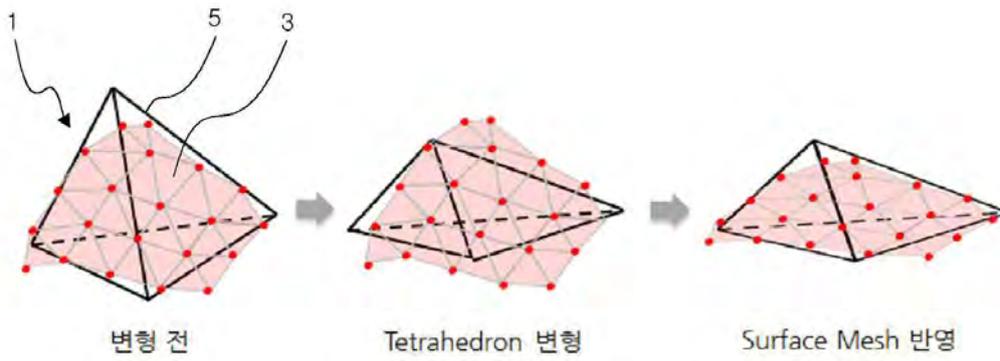


도면2

10

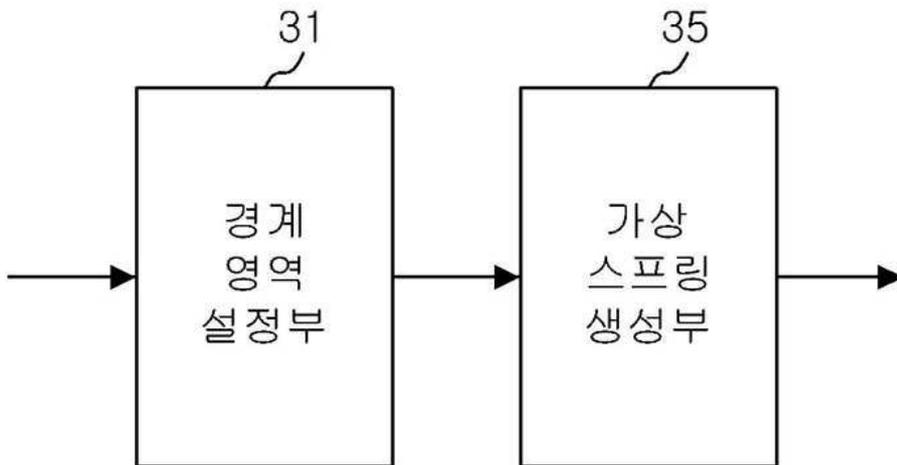


도면3

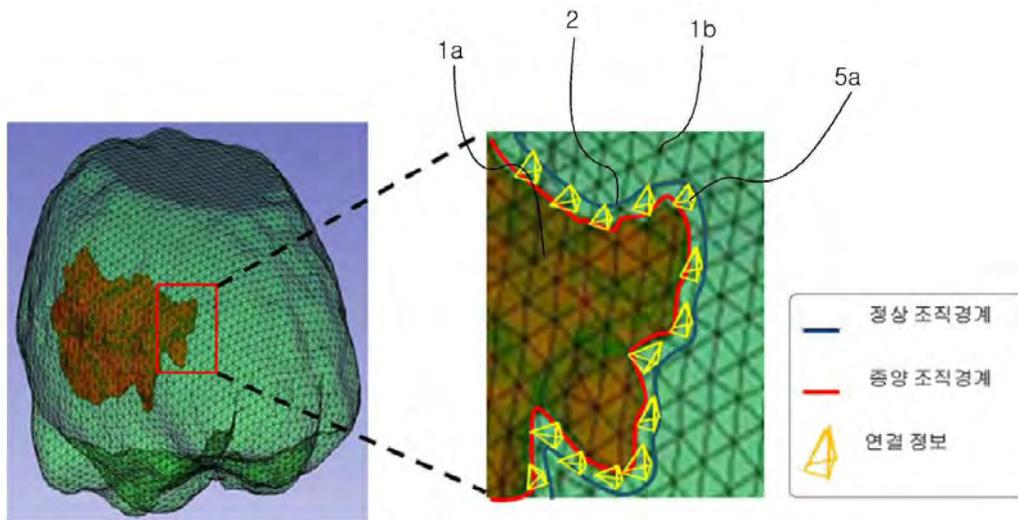


도면4

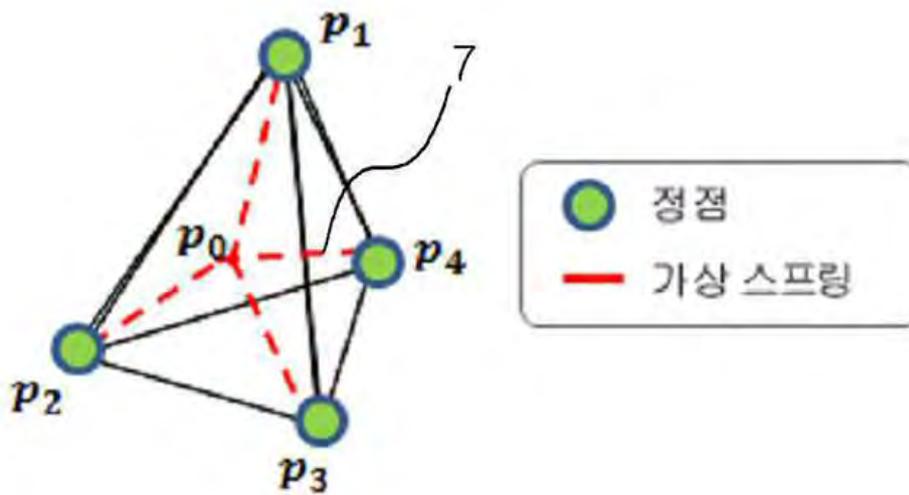
30



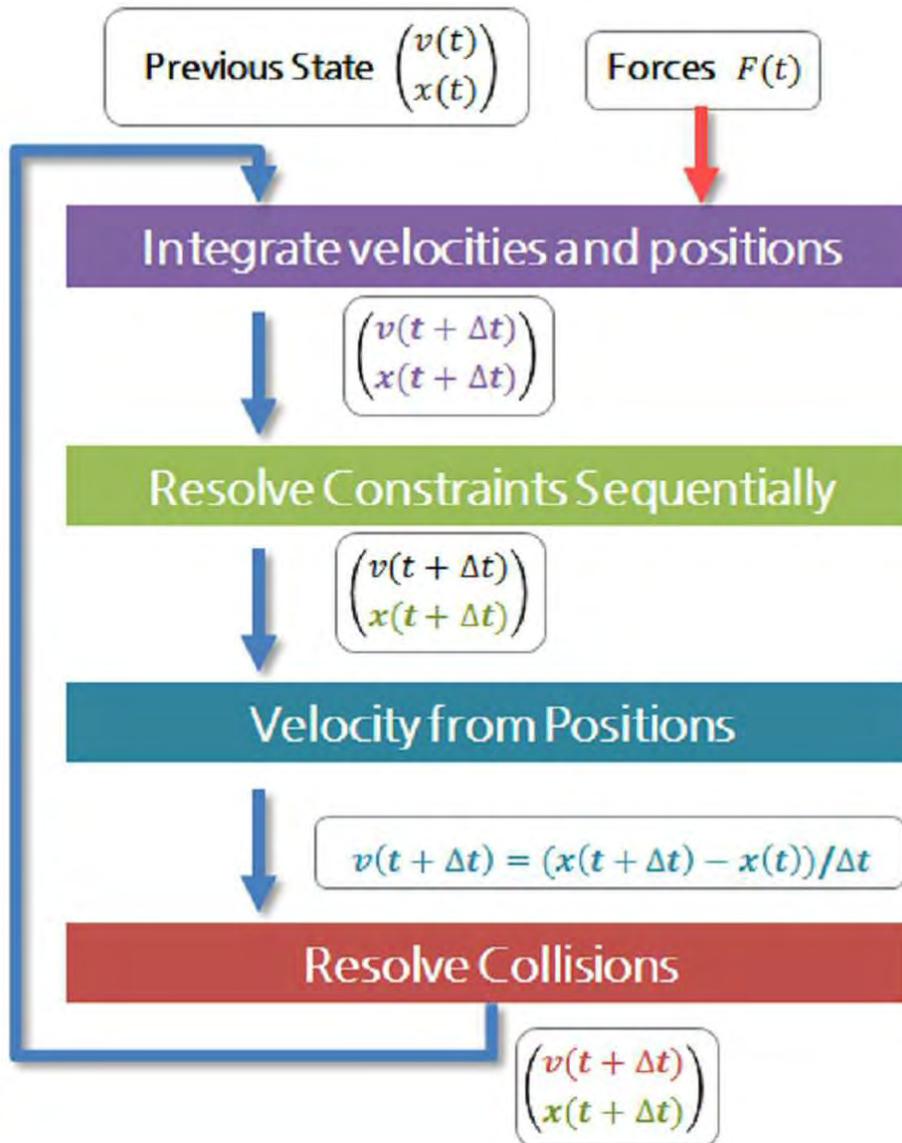
도면5



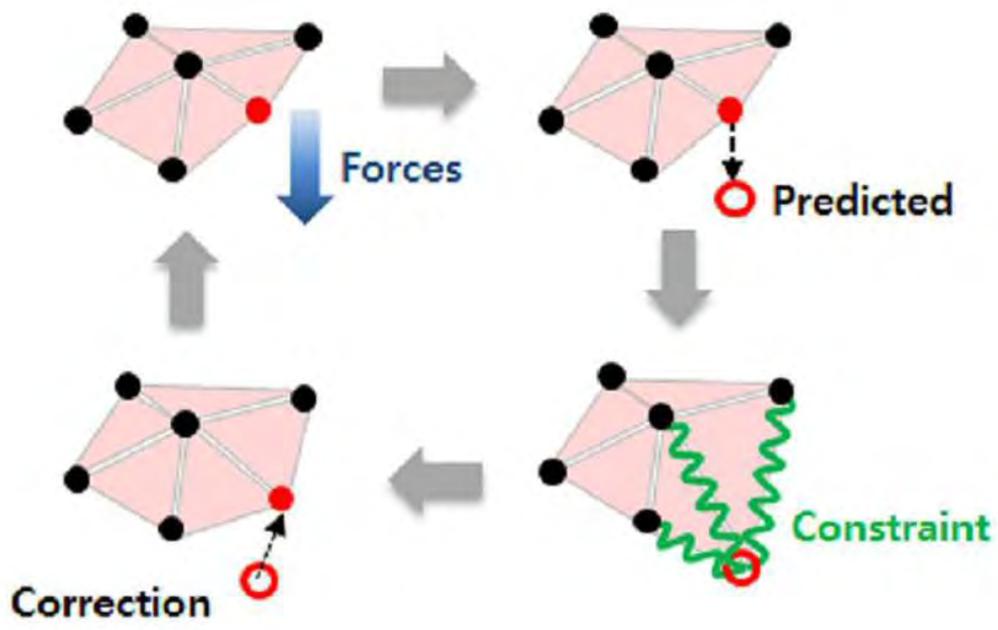
도면6



도면7



도면8



도면9

