(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0103183
(43) 공개일자 2021년08월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 11/00 (2006.01) *G06T 5/00* (2019.01)
G06T 7/11 (2017.01) *G06T 7/13* (2017.01)
G06T 7/136 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G06T 11/003 (2013.01)
G06K 9/00885 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0017600
(22) 출원일자 2020년02월13일
심사청구일자 2020년02월13일

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교내)
(72) 발명자
김병철
세종특별자치시 달빛로 211(범지기마을10단지, 아름동), 1012동 101호
(74) 대리인
이철희

전체 청구항 수 : 총 12 항

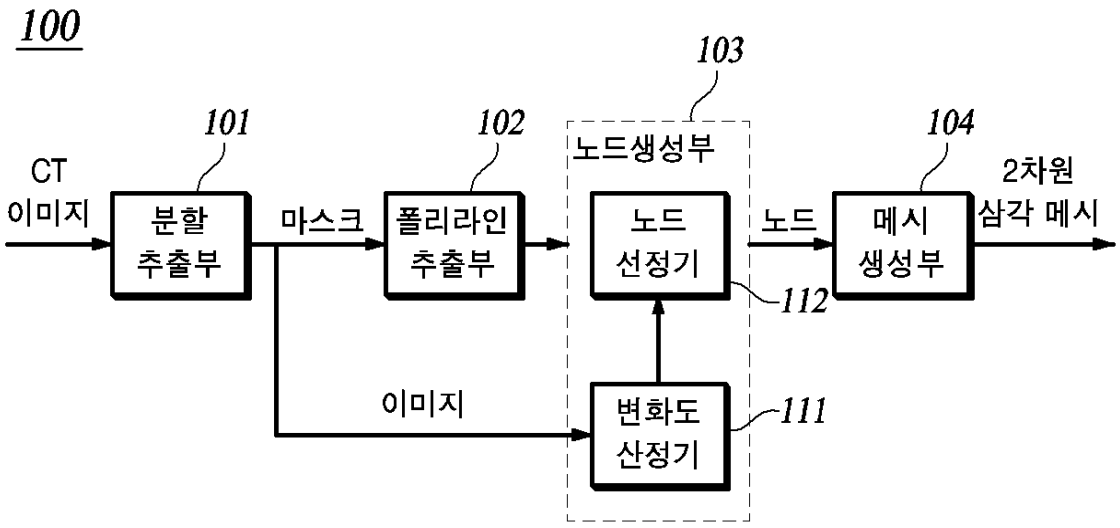
(54) 발명의 명칭 **뼈의 불균질성에 기반하는 2차원 삼각 메시 생성장치 및 방법**

(57) 요 약

뼈의 불균질성에 기반하는 2차원 삼각 메시 생성장치 및 방법을 개시한다.

본 실시예는, CT(Computed Tomography) 이미지로부터 뼈의 형상(shape)을 구성하고, 뼈의 형상 및 물성(material property) 분포를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 노드(node)를 생성한다. 생성한 노드에 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용함으로써 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법을 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06T 5/002 (2013.01)
G06T 7/11 (2017.01)
G06T 7/13 (2017.01)
G06T 7/136 (2017.01)
G06K 2209/055 (2013.01)
G06T 2207/10081 (2013.01)
G06T 2207/30008 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성하는 분할추출부;

상기 마스크 이미지로부터 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성하는 폴리라인 생성부;

상기 뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 이용하여 상기 뼈의 경계에 위치하는 복수의 경계 노드(boundary node) 및 상기 뼈의 내부(inside)에 위치하는 복수의 내부 노드(inside node)를 생성하는 노드생성부; 및

상기 복수의 경계 노드와 상기 복수의 내부 노드를 기초로 2 차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성하는 메시 생성부

를 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치(mesh generator).

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 폴리라인 생성부는,

상기 마스크 이미지에 마칭 사각형(Marching Squares) 기법을 적용하여 상기 폴리라인을 생성하되, 저대역 필터(low pass filter) 및 경계 필터(edge filter)의 전부 또는 일부를 적용하여 상기 폴리라인을 부드럽게(smoothly) 변화시키는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 노드생성부는,

상기 뼈의 경계 또는 내부에서 상기 뼈 이미지의 픽셀(pixel)에 대하여 물성의 변화도를 산정하는 변화도산정기(gradient evaluator); 및

상기 변화도를 이용하여, 상기 뼈 이미지의 픽셀로부터 생성되는 랜덤 노드(random node)를 기반으로 상기 경계 노드 또는 상기 내부 노드를 선정하는 노드선정기(node selector)

를 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 노드선정기는,

상기 랜덤 노드에 대한 변화도를 산정하고, 상기 변화도를 기반으로 임계치(threshold)를 설정하며, 상기 랜덤 노드에 대응하는 랜덤값(random value)을 생성하여, 상기 랜덤값이 상기 임계치 이하인 경우, 상기 랜덤 노드를 상기 경계 노드 또는 상기 내부 노드로 선정하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 노드생성부는,

상기 폴리라인 상의 픽셀로부터 생성된 랜덤 노드를 기반으로 상기 변화도산정기 및 노드선정기를 이용하여 상기 경계 노드(boundary node)를 생성하되, 기 설정된 최대 편향(maximum deflection)과 최대 경계 길이

(maximum edge length)를 이용하여 상기 경계 노드의 밀도를 조절하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 노드생성부는,

상기 경계 노드의 품질 저하를 방지하기 위하여, 이웃하는(neighboring) 두 경계 노드를 이용하여 생성된 랜덤 노드를 기반으로 상기 변화도산정기 및 상기 노드선정기를 이용하여 상기 내부 노드를 추가하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 노드생성부는,

상기 뼈의 이미지의 내부 픽셀로부터 생성된 랜덤 노드를 기반으로 상기 변화도산정기 및 상기 노드선정기를 이용하여 상기 내부 노드를 생성하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 메시생성부는,

상기 복수의 경계 노드 또는 복수의 상기 내부 노드 각각에 대하여, 각각의 노드를 공유하는 모든 삼각형의 중심(centroid)에 각 삼각형의 면적을 가중합(weighted sum)하는 메시 스무딩(mesh smoothing)을 기반으로 상기 삼각 메시의 품질(quality)을 개선하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치.

청구항 9

메시 생성장치의 메시 생성방법에 있어서,

CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성하는 과정;

상기 마스크 이미지로부터 상기 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성하는 과정;

상기 뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 이용하여 상기 뼈의 경계에 위치하는 복수의 경계 노드(boundary node) 및 상기 뼈의 내부(inside)에 위치하는 복수의 내부 노드(inside node)를 생성하는 과정; 및

상기 복수의 경계 노드와 상기 복수의 내부 노드를 기초로 2 차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성하는 과정

을 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성방법(mesh generating method).

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 노드를 생성하는 과정은,

상기 뼈의 경계 또는 내부에서 상기 뼈 이미지의 픽셀(pixel)에 대하여 물성의 변화도를 산정하는 단계; 및

상기 변화도를 이용하여, 상기 뼈 이미지의 픽셀로부터 생성되는 랜덤 노드(random node)를 기반으로 상기 경계 노드 또는 상기 내부 노드를 선정하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 노드를 선정하는 단계는,

상기 랜덤 노드에 대한 변화도를 산정하고, 상기 변화도를 기반으로 임계치(threshold)를 설정하며, 상기 랜덤 노드에 대응하는 랜덤값(random value)을 생성하여, 상기 랜덤값이 상기 임계치 이하인 경우, 상기 랜덤 노드를 상기 경계 노드 또는 상기 내부 노드로 선정하는 것을 특징으로 하는 메시 생성방법.

청구항 12

제9항 내지 제11항 중 어느 한 항에 따른 메시 생성방법이 포함하는 각 단계를 실행시키기 위하여 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 저장된 컴퓨터프로그램.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 뼈의 불균질성에 기반하는 2차원 삼각 메시 생성장치 및 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, CT(Computerized Tomography)로부터 획득된 영상으로부터 뼈의 불균질성에 기반하는 2차원 삼각 메시를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 이하에 기술되는 내용은 단순히 본 발명과 관련되는 배경 정보만을 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것이 아니다.

[0003] 인체를 대상으로 한 실험에는 시간적, 비용적, 도덕적인 제약이 따른다. 이러한 제약을 극복하고 인체 공학적 해석(bio-mechanical analysis)을 수행하기 위해, 유한요소법(finite element method)과 같은 시뮬레이션(simulation) 방법이 이용된다. 유한요소법을 이용하기 위해서는 메시(mesh)로 표현된 유한요소 모델이 정의되어야 한다. 종래에는 인체를 구성하는 뼈(bone)가 기계 부품과 같이 균질한 물체(homogeneous object)라는 가정하에 유한요소 모델이 정의되었다(비특허문헌 1 참조). 그러나 뼈는 본질적으로 불균질한 물체(heterogeneous object)이다. 예컨대, 밀도(density), 영률(Young's modulus), 포아송비(Poisson's ratio) 등의 물성(material property)이 뼈 내부에서 변할 수 있다. 따라서 뼈를 균질한 물체로 가정한다면, 뼈에 대한 유한요소의 정확도가 낮아질 수밖에 없다.

[0004] CT(computed tomography) 이미지로부터 뼈의 형상(shape)을 재구성(reconstruction)한 후, 뼈의 형상에 대한 유한요소로서 메시(mesh)를 생성하는 다양한 메시 생성방법들이 존재한다. 그러나 종래의 방법들은 뼈의 형상만을 고려하여 메시를 생성하고, 뼈 내부의 물성 분포(material distribution)는 고려하지 않는다. 물성 분포를 반영하기 위해서는 유한요소, 즉 각 메시마다 물성의 변화를 산정해야 하나, 메시가 큰 경우에는 하나의 메시 내에서도 물성이 급격하게 변할 수 있으므로 뼈의 물성 분포가 제대로 표현되기 어렵다는 문제가 있다.

[0005] 이러한 문제에 대처하기 위해 불균질성을 고려한 메시 생성방법들이 시도되었다(비특허문헌 2, 3 참조). 그러나, 이러한 시도들은, 형상이 단순하고 물성 변화가 크지 않은 물체를 대상으로 하거나, 메시 생성 후 메시를 정제(refinement)하는 과정을 수행해야 한다는 문제가 있다.

[0006] 따라서, 형상이 복잡하고 물성 변화가 큰 뼈에 대한 메시를 생성할 때, 뼈의 형상 및 물성 분포를 함께 고려하여 메시의 크기를 조절함으로써, 물성 분포가 급격하게 변하는 부분에서 더 조밀한(finer) 메시를 생성하는 것이 가능한 메시 생성방법이 요구된다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0007] (비특허문헌 0001) 비특허문헌 1: N. Trabelsi, Z. Yosibash, C. Wutte, P. Augat, and S. Eberle, 2011, “Patient-specific finite element analysis of the human femur—A double-blinded biomechanical validation”, Journal of Biomechanics, Vol. 44, No. 9, pp. 1666~1672.

(비특허문헌 0002) K. H. Shin, 2005, “mesh generation for finite element analysis of functionally

graded materials”, In Proceedings of American Society of Mechanical Engineers, International Mechanical Engineering Congress & Exposition (Orlando, FL, Nov. 5~11, 2005), pp. 199~206.

(비특허문헌 0003) Y. H. You, X. Y. Kou, and S. T. Tan, 2015, “Adaptive meshing for finite element analysis of heterogeneous materials”, Computer-Aided Design, Vol. 62, pp. 176~189.

é(비특허문헌 0004) 비특허문헌 4: D. Mun and B. C. Kim, 2017, “Three-dimensional solid reconstruction of a human bone from CT images using interpolation with triangular Bzier patches," Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 31, No. 8, pp. 3875~3886.

(비특허문헌 0005) 비특허문헌 5: D. C. Wirtz, N. Schiffers, T. Pandorf, K. Radermacher, D. Weichert, and R. Forst, 2000, “Critical evaluation of known bone material properties to realize anisotropic FE-simulation of the proximal femur”, Journal of Biomechanics, Vol. 33, No. 10, pp. 1325~1330.

(비특허문헌 0006) 비특허문헌 6: J. Kim, 2017, “An iterative mesh untangling algorithm using edge flip,” Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2017, Article ID 2953736, 10 pages.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 개시는, CT(Computed Tomography) 이미지로부터 뼈의 형상(shape)을 구성하고, 뼈의 형상 및 물성(material property) 분포를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 노드(node)를 생성한다. 생성한 노드에 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용함으로써 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법을 제공하는 데 주된 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 실시예에 따르면, CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성하는 분할추출부; 상기 마스크 이미지로부터 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성하는 폴리라인 생성부; 상기 뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 이용하여 상기 뼈의 경계에 위치하는 복수의 경계 노드(boundary node) 및 상기 뼈의 내부(inside)에 위치하는 복수의 내부 노드(inside node)를 생성하는 노드생성부; 및 상기 복수의 경계 노드와 상기 복수의 내부 노드를 기초로 2 차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성하는 메시생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성장치(mesh generator)를 제공한다.

[0010] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 메시 생성장치의 메시 생성방법에 있어서, CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성하는 과정; 상기 마스크 이미지로부터 상기 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성하는 과정; 상기 뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 이용하여 상기 뼈의 경계에 위치하는 복수의 경계 노드(boundary node) 및 상기 뼈의 내부(inside)에 위치하는 복수의 내부 노드(inside node)를 생성하는 과정; 및 상기 복수의 경계 노드와 상기 복수의 내부 노드를 기초로 2 차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성하는 과정을 포함하는 것을 특징으로 하는 메시 생성방법(mesh generating method)을 제공한다.

[0011] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 메시 생성방법이 포함하는 각 단계를 실행시키기 위하여 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 저장된 컴퓨터프로그램을 제공한다.

발명의 효과

[0012] 이상에서 설명한 바와 같이 본 실시예에 따르면, 뼈의 형상 및 물성(material property) 분포를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 생성한 노드(node)에, 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용하여 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법을 제공함으로써, 물성 분포가 급격하게 변하는 부분에서 더 조밀한(finer) 메시를 생성하는 것이 가능해지는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 생성장치의 블럭도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 폴리라인 상의 후보 노드 및 경계 노드를 나타내는 예시도이다.

도 3는 본 발명의 일 실시예에 따른 임계 함수의 예시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 경계 노드의 추가에 대한 개념도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 경계의 내부에 내부 노드를 추가하는 것에 대한 개념도이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 스무딩의 예시도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 생성방법의 순서도이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 대퇴골에 대한 분할 결과는 나타내는 예시도이다.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 대퇴골에 대한 메시 생성 결과의 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0014] 이하, 본 발명의 실시예들을 예시적인 도면을 참조하여 상세하게 설명한다. 각 도면의 구성요소들에 참조부호를 부가함에 있어서, 동일한 구성요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 실시예들을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 실시예들의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다.

[0015] 또한, 본 실시예들의 구성요소를 설명하는 데 있어서, 제 1, 제 2, A, B, (a), (b) 등의 용어를 사용할 수 있다. 이러한 용어는 그 구성요소를 다른 구성요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다. 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 '포함', '구비'한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 '…부', '모듈' 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어나 소프트웨어 또는 하드웨어 및 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0016] 첨부된 도면과 함께 이하에 개시될 상세한 설명은 본 발명의 예시적인 실시형태를 설명하고자 하는 것이며, 본 발명이 실시될 수 있는 유일한 실시형태를 나타내고자 하는 것이 아니다.

[0017] 본 실시예는 뼈의 불균질성에 기반하는 2차원 삼각 메시 생성장치 및 방법에 대한 내용을 개시한다. 보다 자세하게는, CT(Computed Tomography) 이미지로부터 뼈의 형상(shape)을 구성하고, 뼈의 형상 및 물성(material property) 분포를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 노드(node)를 생성한다. 생성한 노드에 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용함으로써 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법을 제공한다.

[0018] 이하, 마스크(mask) 및 마스크 이미지는 동일한 의미로 사용된다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 생성장치의 블럭도이다.

[0020] 본 발명의 실시예에 있어서, 메시 생성장치(100)는 CT(Computed Tomography) 이미지로부터 뼈의 형상(shape)을 구성하고, 뼈의 형상 및 물성(material property) 변화를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 생성한 노드(node)에, 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용함으로써 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성한다. 메시 생성장치(100)는 분할추출부(101), 폴리라인 추출부(102), 노드 생성부(103) 및 메시생성부(104)의 전부 또는 일부를 포함한다.

[0021] 본 실시예에 따른 분할추출부(101)는 CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성한다. 분할추출부(101)는 인체의 모든 장기(organ)를 포함하는 2차원 CT 이미지로부터 뼈 부분을 분할한다. 객체 분할은 이미지 품질의 영향을 받기 때문에, 범용으로 이용할 수 있는 객체 분할방법은 없다. 따라서, 사용자가 이미지를 관찰하고, 적합한 분할방법을 선택하여 분할 작업을 수행한 후, 필요시 추가적인 수작업을 이용하여 분할된 객체를 보정할 수 있다.

[0022] 본 실시예에서는 관심 영역(Region of Interest: ROI)에 대한 임계치 필터링(threshold filtering), 요소 선택(component selection), 형태 필터링(morphological filtering) 등을 이용하는 객체 분할방법(비특허문헌 4 참조)이 이용된다. 도 8에 도시된 바와 같이, 분할추출부(101)는 객체 분할의 결과로서 뼈의 이미지 및 마스크를

생성할 수 있다. 여기서, 마스크는 이진 이미지(binary image)로서, 배경은 0의 픽셀(pixel)값을, 마스크 부분은 255의 픽셀값을 갖는다.

[0023] 본 실시예에 따른 폴리라인 추출부(102)는 마스크로부터 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성한다. 객체 분할로부터 생성된 마스크 이미지는 메시를 생성할 영역을 나타낸다. 그러나 이미지에서 바로 메시를 생성할 수 없으므로, 마스크 이미지가 형상으로 변환되어야 한다. 폴리라인 추출부(102)는 마스크의 경계(boundary)를 폴리라인으로 변환한다.

[0024] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 폴리라인 상의 후보 노드 및 경계 노드를 나타내는 예시도이다.

[0025] 폴리라인 추출부(102)는 마칭 큐브(Marching Cubes) 기법의 2 차원 버전인 마칭 사각형(Marching Squares) 기법을 이용하여 뼈의 경계인 폴리라인을 추출할 수 있다. 마칭 사각형 기법은 이미지 상에 있는 4 개의 이웃하는 픽셀값(neighboring pixel value)을 갖는 가상의 사각형을 구성한다. 가상의 사각형 및 이진 이미지(binary image)를 이용하여 사각형이 통과하는 부분에 대한 윤곽 선분(contour line)의 형태가 결정될 수 있다. 여기서 윤곽 선분은 등위선(isoline)으로 구현된다. 사각형은 이미지의 모든 픽셀에 대해 적용되며, 각 사각형 별로 결정된 윤곽 선분을 결합하여 전체 등위선인 폴리라인이 형성될 수 있다. 마스크 이미지는 0과 255 두 값을 가지므로, 등위선은 0과 255 사이에 형성될 수 있다. 폴리라인 추출부(102)는 그 중간 값인 127.5를 반올림한 128을 갖는 등위선을 추출한다.

[0026] 한편, 마스크 이미지가 두 개의 값으로 표현되기 때문에, 마스크 이미지로부터 등위선을 추출하면 계단현상(aliasing)이 발생할 수 있다. 계단현상을 감소시키기 위해, 폴리라인 추출부(102)는 저대역 필터(low pass filter)인 가우시안 필터(Gaussian filter)를 이용하여 부드러운 마스크 이미지를 생성한 후, 마칭 사각형 기법을 적용할 수 있다. 또한, 폴리라인에 경계 필터(edge filter)인 라플라시안 필터(Laplacian filter)를 적용하여, 부드러운 형상의 폴리라인이 형성될 수 있도록 한다.

[0027] 폴리라인을 구성하는 픽셀은, 추후 폴리라인 상에 노드(node)를 생성할 때, 후보 노드(candidate node)로 이용될 수 있다. 도 2의 (a)는 오른쪽 대퇴골(right femur)의 일부에 대하여 폴리라인 상의 모든 후보 노드를 나타낸다.

[0028] 본 실시예에 따른 노드생성부(103)는 뼈 이미지로부터 획득되는 물성의 변화도(gradient)를 이용하여 뼈의 경계 및 내부에 노드를 생성한다. 노드생성부(103)는 변화도산정기(gradient evaluator, 111) 및 노드선정기(node selector, 112)를 포함할 수 있다.

[0029] 본 실시예에 따른 변화도산정기(111)는 뼈의 경계 및 내부의 이미지 픽셀(pixel)에 대하여 물성 변화를 나타내는 변화도(gradient)를 산정한다. 메시 생성장치(100)는 뼈의 불균질성(heterogeneity)에 따른 물성 변화를 기반으로 메시의 삼각요소의 크기를 다르게 생성할 수 있다. 이를 위하여, 물성 변화에 대한 수치화가 필요하다.

[0030] CT 이미지를 구성하는 픽셀들은 HU(Hounsfield unit)값을 나타낸다. HU값은 표준 압력과 온도에서의 공기와 물의 방사선밀도(radiodensity)를 각각 -1,000 HU와 0 HU인 것으로 기준을 설정한 후, CT 투과율(penetration ratio)을 수치화한 값이다. 예컨대, 공기나 지방(fat)은 음수의 HU값을 가지며, 뼈는 100 이상의 높은 HU값을 가진다.

[0031] 본 실시예에서는, 뼈의 물성을 표현하는 값으로 HU값을 이용한다. HU값은 뼈의 밀도(density)와 선형 상관 관계를 갖는 것으로 알려져 있으므로(비특허문헌 5 참조) HU값의 변화는 뼈 밀도의 변화를 나타낼 수 있다. 또한, 밀도로부터 영률(Young's modulus)과 포아송비(Poisson's ratio)를 추정할 수 있으므로, HU값으로 뼈의 물성을 나타내는 것은 합리적일 수 있다. 따라서, 뼈의 물성 변화는 HU값의 변화도(gradient)의 크기로 표현될 수 있다. 수학식 1에 표현된 바와 같이, 메시 좌표계의 노드 좌표 (x,y)에 대하여 변화도산정기(111)는 뼈의 이미지로부터 변화도의 크기 z(x,y)를 산정한다.

수학식 1

[0032]
$$z(x,y) = \frac{\|\nabla I(i(x),j(y))\|}{\max\|\nabla I(i(x),j(y))\|}$$

[0033] 여기서, (i,j)는 CT 이미지 좌표계 상에서의 노드의 위치이고 , I(i,j)는 (i,j)에서의 이미지 픽셀값이다. $\nabla I(i,j)$ 는 (i,j)에서의 변화도 벡터이고, $\|\cdot\|$ 는 L2 놈(norm)을 의미한다. 또한, i(x) 및 i(y)는, CT 이미지 좌표 (i,j)와 메시 좌표계 상의 좌표 (x,y) 간의 관계식으로서, 수학식 2로 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0034]
$$i(x) = \text{round}\left(\frac{x-O_x}{\Delta x}\right)$$
$$i(y) = \text{round}\left(\frac{y-O_y}{\Delta y}\right)$$

[0035] 여기서, (O_x, O_y) 는 메시 좌표계 상의 이미지 원점이고, Δx 와 Δy 는 각각 메시 좌표계 상에서의 CT 이미지 픽셀의 x, y 방향에 대한 간격(spacing)이다. 수학식 1에 따르면, 변화도의 크기 z(x,y)는 0부터 1까지의 값을 갖는다.

[0036] 본 실시예에 따른 노드선정기(112)는 뼈의 이미지 픽셀로부터 생성되는 랜덤 노드(random node)에 대하여, 변화도를 이용하여 노드를 선정한다.

[0037] 노드선정기(112)는 뼈의 경계 또는 내부의 임의의 위치에 노드를 생성할 때, 변화도를 이용하여 노드의 생성을 확률적으로 조절한다. 뼈의 경계 또는 내부의 랜덤 노드(random node)에 대하여, 노드선정기(112)는 변화도산정기(111)를 이용하여 수학식 1에 표현된 바와 같은 변화도를 CT 이미지 좌표 상에서 산정한다. 수학식 3에 표현된 바와 같이, 노드선정기(112)는 변화도를 임계 함수(threshold function) f에 적용하여 임계치(threshold) $\delta(\in[0,1])$를 결정한다.

수학식 3

[0038]
$$\delta = f(z(x,y))$$

[0039] 랜덤 노드에 대응되는 랜덤값 p($\in$[0,1])를 생성하여, 생성된 랜덤값이 임계치 이하($p \leq \delta$)이면, 노드선정기(112)는 랜덤 노드를 최종적인 뼈의 노드로 확정할 수 있다.

[0040] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 임계 함수의 예시도이다.

[0041] 임계 함수는 단조 증가(monotonically increasing)하는 함수이다. 본 실시예는 도 3에 도시된 바와 같은 5 가지 형태의 단조 증가 함수 중 어느 것이든 이용하되, 반드시 이에 한정하는 것은 아니며, 다른 형태의 단조 증가 함수도 이용할 수 있다. 임계 함수가 생성하는 임계치 δ의 범위는 실수 0부터 1까지이다.

[0042] 도 3의 도시에서 균질 함수(homogeneous function)는 상수 함수로서, 이 함수를 사용하면, 뼈를 균질하다고 가정하는 것과 동일하다.

[0043] 이하, 노드생성부(103)가 뼈의 경계, 즉 폴리라인 상에 위치하는 경계 노드(boundary node)를 생성하는 과정을 기술한다. 마칭 사각형 기법은 이미지 좌표계 상에서 픽셀 단위로 노드를 생성하기 때문에 경계 상에 매우 조밀하게 노드를 생성할 수 있다. 과도한 개수의 노드가 뼈의 경계에 생성될 수 있으므로, 노드생성부(103)는 경계에서 노드의 조밀성을 조절한다. 형상만을 고려하는 경우, 경계 폴리라인의 곡률(curvature)에 따라 노드의 개수가 조절할 수 있으나, 본 실시예에서는 경계 폴리라인 상의 물성 변화도 고려된다.

[0044] 도 2의 (b)는, 오른쪽 대퇴골(right femur)의 일부에 대하여 폴리라인 상의 후보 노드 중에서 경계 노드로 선택된 노드들을 나타낸다.

[0045] 뼈 내부에 생성할 노드의 개수 n_i (n_i 는 자연수)에 대하여, 노드생성부(103)는 물성 변화를 고려하여 n_b (n_b 는 자연수) 개의 노드를 경계에 생성한다. 수학식 4에 표현한 바와 같이, 뼈의 형상을 정사각형으로 가정한 후, 정사각형의 네 변에 생성할 노드의 개수로서 경계 노드의 개수가 근사적으로 설정될 수 있다.

수학식 4

[0046] $$n_b = 4\sqrt{n_i}$$

[0047] 본 실시예에서와 같이 경계가 폴리라인인 경우, 폴리라인의 길이에 비례하여 n_b 개의 노드가 분할될 수 있다.

[0048] 전술한 바와 같이 폴리라인을 구성하는 픽셀을 후보 노드로 이용하여, 노드생성부(103)는 경계 노드를 생성할 수 있다. 폴리라인 상의 후보 노드가 n(n은 자연수) 개라면, n 개 중에 하나의 랜덤 노드가 선택된다. 선택된 랜덤 노드에 대하여, 노드생성부(103)는 변화도산정기(111) 및 노드선정기(112)를 이용하여 폴리라인 상의 경계 노드를 추가할 수 있다. 노드생성부(103)는 폴리라인 상의 경계 노드가 n_b ($n_b \leq n$)개가 될 때까지 경계 노드를 생성한다.

[0049] 한편, 기 설정된 최대 편향(maximum deflection)과 기 설정된 최대 경계 길이(maximum edge length)를 이용하여 노드생성부(103)는 폴리라인 상의 경계 노드의 밀도를 조절할 수 있다. 노드생성부(103)는 폴리라인 상의 후보 노드들을 순차적으로 순회하되, 노드가 이미 경계 노드로 생성된 경우이면 무시하고 계속 순회한다. 경계 노드로 생성된 경우가 아닌 후보 노드에 대하여, 편향이 고려된다. 편향은, 도 4에 도시된 바와 같이(① 및 ②), 한 노드에서 다음에 나오는 노드들을 연속적으로 연결한 폴리라인과, 이 폴리라인의 양 끝 노드들을 이은 선분 간의 최대 거리로 정의된다. 편향이 최대 편향보다 작은 가장 긴 선분에 대하여, 노드생성부(103)는 선분의 양 끝 노드를 폴리라인 상의 경계 노드로 추가한다.

[0050] 폴리라인이 평평한 경우에는 선택한 두 점 간의 거리가 길어져서, 메시를 구성하는 삼각요소 한 변의 길이가 길어질 수 있다. 따라서, 도 4에 도시된 바와 같이(③ 및 ④), 최대 편향을 넘지 않는 선분의 길이를 최대 경계 길이보다는 짧게 제한한 후, 노드생성부(103)는 선분의 양 끝 노드를 폴리라인 상의 경계 노드로 추가한다.

[0051] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 경계 내부에 내부 노드를 추가하는 것에 대한 개념도이다.

[0052] 경계 노드를 가지고 삼각요소를 생성하는 경우, 경계 내부의 적절한 위치에 노드가 없으면 경계 부근에 생성되는 삼각요소의 품질이 저하될 수 있다. 노드생성부(103)는 도 2의 (c)에 도시된 바와 같이 경계 내부에 내부 노드를 추가한다. 도 5에 도시된 바와 같이, 추가되는 노드의 위치는 이웃하는 두 경계 노드와 60 도의 각도를 형성하는 곳이다. 이 위치에 대하여, 변화도산정기(111) 및 노드선정기(112)를 이용하여 경계 내부에 신규 노드가 추가될 수 있다.

[0053] 이하, 노드생성부(103)가 뼈의 내부, 즉 폴리라인의 내부에 위치하는 내부 노드(inside node)를 생성하는 과정을 기술한다.

[0054] 노드생성부(103)는 뼈 형상의 가로, 세로 범위에서 랜덤 노드를 선택하고, 선택한 노드가 뼈의 내부 영역을 벗어난 경우, 신규 랜덤 노드를 선택한다. 선택된 랜덤 노드에 대하여 변화도산정기(111) 및 노드선정기(112)를 이용하여, 내부 노드가 선택될 수 있다. 생성된 내부 노드의 개수가 n_i 가 될 때까지 노드생성부(103)는 노드 생성 과정을 지속한다.

[0055] 본 실시예에 따른 메시생성부(104)는 노드를 기반으로 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성한다. 노드 생성부(104)가 생성한 경계 노드 및 내부 노드를 이용하여 메시생성부(104)는 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 이용하여 딜로네 조건(Delaunay condition)을 만족하는 메시의 삼각요소를 생성할 수 있다. 여기서, 딜로네 조건은 '모든 삼각형의 외접원 내부에 처음 주어진 점 집합의 어떤 점도 속하지 않아

야 한다'는 것이다.

[0056] 딜로네 삼각화는 주어진 노드 집합의 컨벡스 헐(convex hull)을 만들기 때문에, 뼈의 경계 외부에도 삼각요소가 만들어질 수 있다. 따라서 메시생성부(104)는 뼈의 경계 외부에 있는 삼각요소를 제거한다.

[0057] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 스무딩의 예시도이다.

[0058] 딜로네 삼각화로 생성되는 삼각 메시의 품질을 개선하기 위해 메시생성부(104)는 영역중심 가중(area centroid weighting) 방법에 기반하는 메시 스무딩(mesh smoothing)을 실행할 수 있다. 영역중심 가중 방법은 각각의 노드에 대해, 그 노드를 공유하는 모든 삼각형 요소들의 중심(centroid)에 각 삼각형 면적을 가중합(weighted sum)하여 생성한 평균을 노드의 새 위치로 사용한다. 노드의 위치 P에 대한 새 노드의 위치는 수학식 5로 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0059] $$P_{new} = \frac{\sum_{k=1}^{s} A_k C_k}{\sum_{k=1}^{s} A_k}$$

[0060] 여기서, P_{new} 는 노드 P의 새 위치, S(S는 자연수)는 노드 P를 공유하는 삼각형의 개수, C_k 는 k 번째 삼각형의 중심 위치, A_k 는 k 번째 삼각형의 면적이다. 한편, P_{new} 를 새 위치로 사용하면 노드의 위치가 너무 급격하게 변할 수 있기 때문에, 수학식 6에 나타낸 바와 같이, P와 P_{new} 의 평균인 P'_{new} 가 새 위치로 설정될 수 있다.

수학식 6

[0061] $$P'_{new} = \frac{P_{new}+P}{2}$$

[0062] 메시생성부(104)는 수학식 5 및 수학식 6에 나타낸 과정을 반복 실행함으로써, 삼각 메시의 품질을 개선할 수 있다. 본 실시예의 실험 결과에 따르면 5 차례 정도의 반복 실행이 가장 좋은 결과를 보였다.

[0063] 메시 스무딩 적용 후, 새로운 노드에 기반하는 메시의 삼각요소들이 딜로네 조건을 만족하지 않을 수 있으므로, 메시생성부(104)는 에지 플립핑(edge flipping, 비특허문헌 6 참조)을 적용하거나 딜로네 삼각화를 재수행함으로써, 모든 삼각요소들이 딜로네 조건을 만족시키도록 하여 최종적인 삼각 메시를 생성할 수 있다.

[0064] 도 1의 도시는 본 실시예에 따른 예시적인 구성이며, 분할추출 방법, 노드 생성 방법, 및 메시 생성과 스무딩 방법에 따라 다른 구성요소 또는 구성요소 간의 다른 연결을 포함하는 구현이 가능하다.

[0065] 본 실시예에 따른 메시 생성장치(100)가 탑재되는 디바이스(미도시)는 프로그램가능 컴퓨터일 수 있다.

[0066] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 메시 생성방법의 순서도이다.

[0067] 도 7의 (a)는 본 실시예에 따른 메시 생성장치(100)가 삼각 메시를 생성하는 과정의 순서도이다.

[0068] 메시 생성장치(100)는 CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성한다(S701).

[0069] 메시 생성장치(100)는 마스크 이미지로부터 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 생성한다(S702). 메시 생성장치(100)는 마칭 사각형(Marching Squares) 기법을 이용하여 마스크의 경계를 폴리라인으로 변환한다.

[0070] 계단 현상(aliasing)을 감소시키기 위하여, 마스크 이미지에 저대역 필터인 가우시안 필터를 적용한 후, 마칭 사각형 기법이 적용될 수 있다. 또한, 폴리라인에 경계 필터인 라플라시안 필터를 적용하여, 부드러운 형상의

폴리라인이 형성되도록 할 수 있다.

[0071] 메시 생성장치(100)는 뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 이용하여 뼈의 경계 및 내부에 노드를 생성한다(S703).

[0072] 본 실시예에서는, 뼈의 물성을 표현하는 값으로 HU(Hounsfield unit)값을 이용한다. HU값은 뼈 밀도(density)와 선형 상관 관계를 가지므로 HU값의 변화는 뼈의 밀도 변화를 나타낼 수 있다. 따라서, 뼈의 물성 변화는 HU값의 변화도(gradient)의 크기로 표현될 수 있다. 메시 생성장치(100)는 뼈의 경계 및 내부에 대하여 뼈의 이미지로부터 변화도의 크기를 산정할 수 있다.

[0073] 메시 생성장치(100)는 변화도에 기반하는 노드 산정 과정(S711에서 S714까지의 단계)을 이용하여 폴리라인 상에 뼈의 경계 노드(boundary node)를 생성할 수 있다. 메시 생성장치(100)는 기 설정된 최대 편향(maximum deflection)과 기 설정된 최대 경계 길이(maximum edge length)를 이용하여 경계 노드의 밀도를 조절할 수 있다.

[0074] 경계 노드의 품질 저하를 방지하기 위하여, 메시 생성장치(100)는 경계 내부에 노드를 추가할 수 있다. 추가되는 노드의 위치는 이웃하는 두 경계 노드와 60 도의 각도를 형성하는 곳이다.

[0075] 메시 생성장치(100)는 변화도에 기반하는 노드 산정 과정(S711에서 S714까지의 단계)을 이용하여 폴리라인의 내부에 뼈의 내부 노드(inside node)를 생성할 수 있다.

[0076] 메시 생성장치(100)는 노드를 기반으로 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성한다(S704).

[0077] 경계 노드 및 내부 노드를 기반으로 메시 생성장치(100)는 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 이용하여 딜로네 조건(Delaunay condition)을 만족하는 메시의 삼각요소를 생성할 수 있다. 여기서, 딜로네 조건은 '모든 삼각형의 외접원 내부에 처음 주어진 점 집합의 어떤 점도 속하지 않아야 한다'는 것이다.

[0078] 메시 생성장치(100)는 메시 스무딩(mesh smoothing)을 기반으로 삼각 메시의 품질을 개선한다(S705).

[0079] 딜로네 삼각화로 생성되는 삼각 메시의 품질을 개선하기 위해 메시 생성장치(100)는 영역중심 가중(area centroid weighting) 방법에 기반하는 메시 스무딩(mesh smoothing)을 실행할 수 있다. 영역중심 가중 방법은, 각각의 노드에 대해, 그 노드를 공유하는 모든 삼각형 요소들의 중심(centroid)에 각 삼각형 면적을 가중합(weighted sum)하여 생성한 평균을 노드의 새 위치로 사용한다.

[0080] 도 7의 (b)는 노드를 생성하는 과정(S703 단계)에서 이용하는 노드 산정 과정의 순서도이다.

[0081] 뼈의 경계 또는 내부의 랜덤 노드에 대하여, 메시 생성장치(100)는 랜덤 노드에서의 변화도를 기반으로 임계치(threshold)를 결정한다(S711). 메시 생성장치(100)는 랜덤 노드에 대한 변화도를 산정하고, 상기 변화도를 임계 함수(threshold function)에 적용하여 임계치를 결정한다. 임계치의 범위는 실수 0부터 1까지이다.

[0082] 메시 생성장치(100)는 랜덤 노드에 대응되는 랜덤값을 생성한다(S712). 랜덤값의 범위는 실수 0부터 1까지이다.

[0083] 메시 생성장치(100)는 랜덤값이 임계치 이하인지를 확인하여(S713), 랜덤 노드를 노드로 확정한다(S714).

[0084] 랜덤값이 임계치보다 큰 경우, 노드 산정 과정이 종료된다. 기 설정된 개수의 노드가 확정될 때까지 메시 생성장치(100)는 S711부터 S714까지의 단계를 반복하여 수행할 수 있다.

[0085] 이하 본 실시예에 따른 메시 생성장치(100)의 성능을 제시하기 위한 실험예에 대하여 설명한다. 실험예에서는, 메시 생성장치(100)는 C++ 프로그래밍 언어를 기반으로 VTK(Visualization Toolkit) 라이브러리를 이용하여 구현되었다. 실험을 위한 CT 이미지로는 우측 대퇴골(right femur)의 이미지가 사용되었다. 대퇴골 영상에 대한 정보는 표 1에 나타낸 바와 같다.

표 1

[0086]

	우측 대퇴골
절단	전면
크기(pixel)	512x481
관심영역(ROI)의 크기(mm)	79x421
스페이싱(mm)	0.9765625x1

[0087] 실험예에서는, 우측 대퇴골의 CT 이미지에 대하여, 내부와 경계에 각각 700 개와 105 개의 노드를 생성하고, 생성된 노드를 기반으로 삼각 메시가 생성되었다. 경계 노드 설정을 위해 최대 편향은 0.1 mm, 최대 경계 길이는 10 mm로 설정되었다.

[0088] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 대퇴골에 대한 메시 생성 결과의 예시도이다.

[0089] 도 9의 (a)는 우측 대퇴골에 대한 CT 이미지를 나타내고, 도 9의 (b)는 CT 이미지에 대한 변화도의 크기를 나타낸다. 도 9의 (a)와 (b)에서, 픽셀의 색상이 흰색에 가까울수록 HU값 또는 변화도의 크기가 큰 것을 의미한다. 도 9의 (c)의 도시는, 임계 함수로서 균질 함수(homogeneous function)가 사용된 경우로서, 물성 분포에 상관없이 균일한 메시가 생성된 것을 나타내고 있다. 반면, 도 9의 (d)의 도시는, 임계 함수로서 선형 함수가 사용된 경우로서, 변화도의 크기가 큰 부분에 조밀한 메시가 생성된 것을 나타내고 있다.

[0090] 이상에서 설명한 바와 같이 본 실시예에 따르면, 뼈의 형상 및 물성(material property) 분포를 기반으로 뼈의 경계(boundary) 및 내부(inside)에 생성한 노드(node)에, 딜로네 삼각화(Delaunay triangularization) 기법을 적용하여 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 자동으로 생성하는 메시 생성장치 및 방법을 제공함으로써, 물성 변화가 급격한 부분에서 더 조밀한 메시를 생성하는 것이 가능해지는 효과가 있다.

[0091] 본 실시예에 따른 각 순서도에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다시 말해, 순서도에 기재된 과정을 변경하여 실행하거나 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하는 것이 적용 가능할 것이므로, 순서도는 시계열적인 순서로 한정되는 것은 아니다.

[0092] 본 명세서에 설명되는 시스템들 및 기법들의 다양한 구현예들은, 디지털 전자 회로, 집적 회로, FPGA(field programmable gate array), ASIC(application specific integrated circuit), 컴퓨터 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어, 및/또는 이들의 조합으로 실현될 수 있다. 이러한 다양한 구현예들은 프로그래밍가능 시스템 상에서 실행가능한 하나 이상의 컴퓨터 프로그램들로 구현되는 것을 포함할 수 있다. 프로그래밍가능 시스템은, 저장 시스템, 적어도 하나의 입력 디바이스, 그리고 적어도 하나의 출력 디바이스로부터 데이터 및 명령들을 수신하고 이들에게 데이터 및 명령들을 전송하도록 결합되는 적어도 하나의 프로그래밍가능 프로세서(이것은 특수 목적 프로세서일 수 있거나 혹은 범용 프로세서일 수 있음)를 포함한다. 컴퓨터 프로그램들(이것은 또한 프로그램들, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션들 혹은 코드로서 알려져 있음)은 프로그래밍가능 프로세서에 대한 명령어들을 포함하며 "컴퓨터가 읽을 수 있는 기록매체"에 저장된다.

[0093] 본 명세서에 설명되는 시스템들 및 기법들의 다양한 구현예들은, 프로그램가능 컴퓨터에 의하여 구현될 수 있다. 여기서, 컴퓨터는 프로그램가능 프로세서, 데이터 저장 시스템(휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 다른 종류의 저장 시스템이거나 이들의 조합을 포함함) 및 적어도 한 개의 커뮤니케이션 인터페이스를 포함한다. 예컨대, 프로그램가능 컴퓨터는 서버, 네트워크 기기, 셋탑 박스, 내장형 장치, 컴퓨터 확장 모듈, 개인용 컴퓨터, 랩탑, PDA(Personal Data Assistant), 클라우드 컴퓨팅 시스템 또는 모바일 장치 중 하나일 수 있다.

[0094] 이상의 설명은 본 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0095] 100: 메시 생성장치 101: 분할추출부

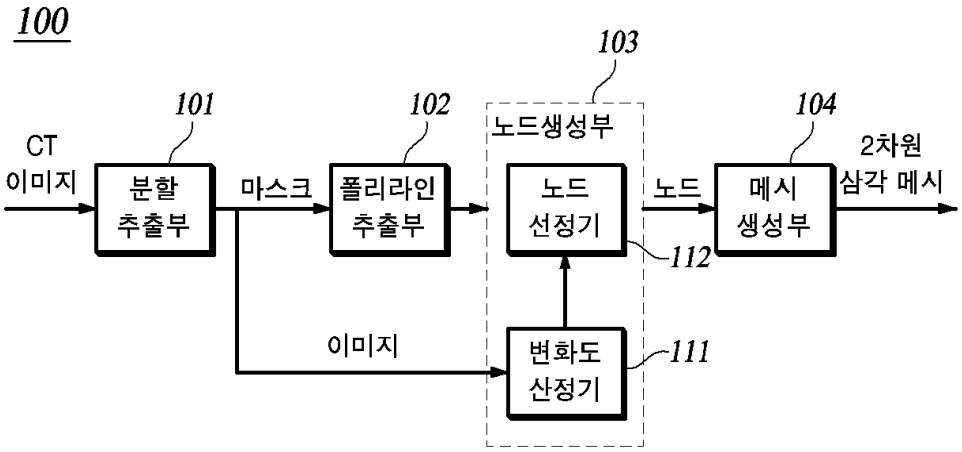
102: 폴리라인 추출부 103: 노드생성부

104: 메시생성부

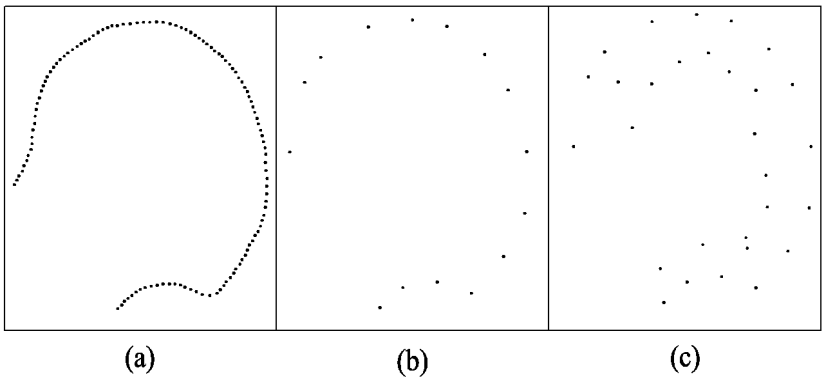
111: 변화도산정기 112: 노드선정기

도면

도면1


100
101
102
103
104
CT
이미지
분할
추출부
마스크
폴리라인
추출부
노드생성부
노드
선정기
112
노드
메시
생성부
2차원
삼각 메시
이미지
변화도
산정기
111

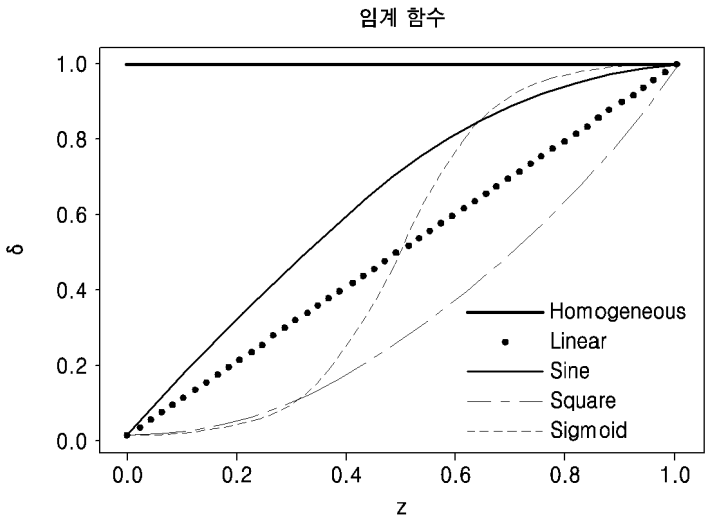
도면2


(a)
(b)
(c)

도면3

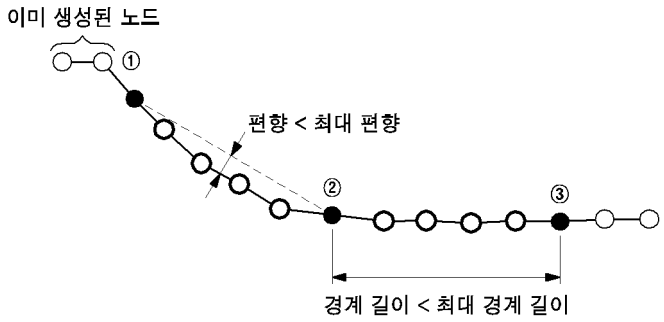
함수	균질 함수 (homogeneous function)	선형 함수 (linear function)	이차 함수 (square function)	사인 함수 (sine function)	시그모이드 함수 (sigmoid function)
정의	f(z) = 1	f(z) = z	$f(z) = z^2$	$f(z) = \sin\left(\frac{\pi z}{2}\right)$	$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-12z+6}}$

(a)

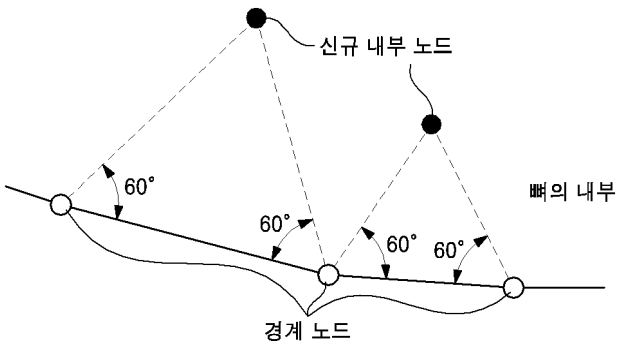


(b)

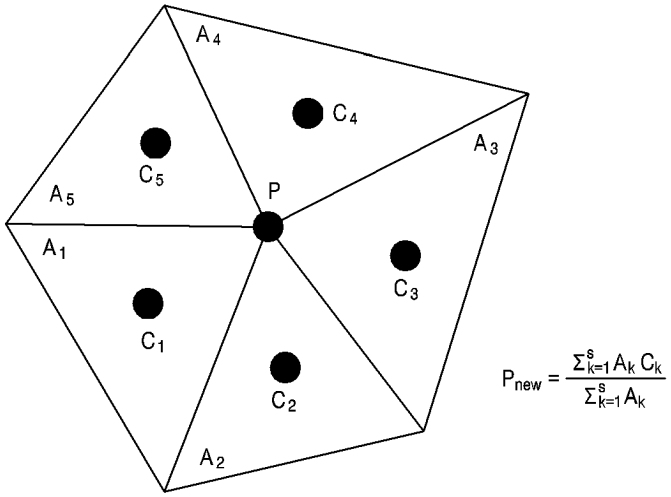
도면4



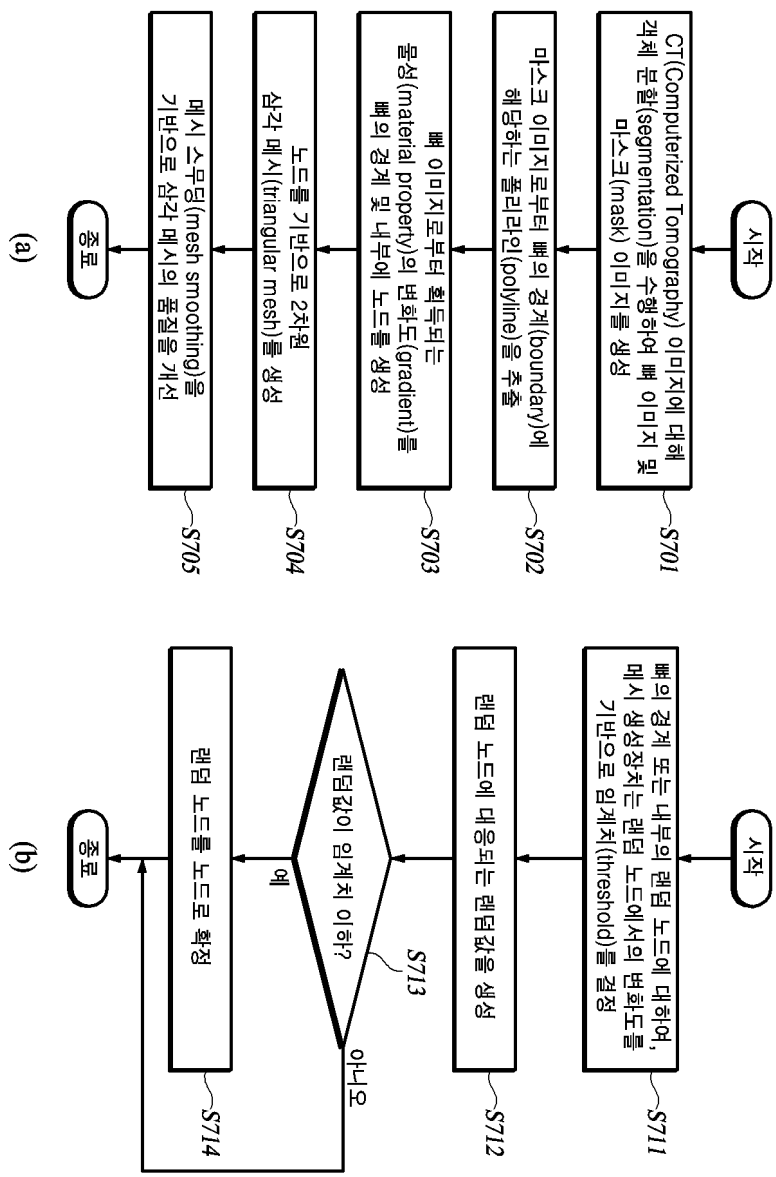
도면5



도면6


A4
C4
A3
C5
A5
P
A1
C3
C1
C2
A2
$P_{new} = \frac{\Sigma_{k=1}^{s} A_k C_k}{\Sigma_{k=1}^{s} A_k}$

도면7


(a)
시작
CT(Computerized Tomography) 이미지에 대해 객체 분할(segmentation)을 수행하여 뼈 이미지 및 마스크(mask) 이미지를 생성
S701
마스크 이미지로부터 뼈의 경계(boundary)에 해당하는 폴리라인(polyline)을 추출
S702
뼈 이미지로부터 획득되는 물성(material property)의 변화도(gradient)를 뼈의 경계 및 내부에 노드를 생성
S703
노드를 기반으로 2차원 삼각 메시(triangular mesh)를 생성
S704
메시 스무딩(mesh smoothing)을 기반으로 삼각 메시의 품질을 개선
S705
종료
(b)
시작
뼈의 경계 또는 내부의 랜덤 노드에 대하여, 메시 생성정치는 랜덤 노드에서의 변화도를 기반으로 임계치(threshold)를 결정
S711
랜덤 노드에 대응되는 랜덤값을 생성
S712
랜덤값이 임계치 이하?
S713
예
아니오
랜덤 노드를 노드로 확정
S714
종료

도면8



도면9

