



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년12월28일
(11) 등록번호 10-1099732
(24) 등록일자 2011년12월21일

(51) Int. Cl.

A61C 19/04 (2006.01) A61B 6/14 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0074319

(22) 출원일자 2010년07월30일

심사청구일자 2010년07월30일

(56) 선행기술조사문헌

JP2005515826 A

논문1-전자공학회논문지

JP2008228818 A

JP2000185060 A

(73) 특허권자

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

채옥삼

경기도 용인시 기흥구 동백동 동원로알듀크아파트 101-502

가오휘

경기도 용인시 기흥구 서천동 경희대학교 전자정보대학 341호

류병용

대전광역시 서구 둔산동 삼성 한마루아파트 6-102

(74) 대리인

특허법인다울

전체 청구항 수 : 총 16 항

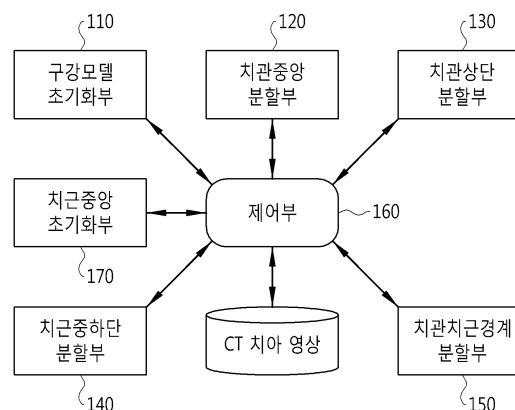
심사관 : 김희승

(54) 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템

(57) 요약

본 발명은 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템 및 방법에 대한 것으로서, 특히 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리하여 수작업에 의해 수행되던 개별 치아의 3차원 모델 생성을 자동화하여 치아의 3차원 모델링에 필요한 시간과 비용을 감소시킬 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 치아와 치조골을 개별적인 객체로 표현하고 관찰할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 치아들과 턱뼈를 개별적으로 조작하고 가시화할 수 있는 치과전용 3차원 CT 뷰어로 사용될 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 2차원 엑스레이 영상을 바탕으로 이루어지고 있는 기존의 치열교정을 시뮬레이션 및 치료계획 수립 프로그램으로 대체할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 000302340109, 000302341018, 000302340108

부처명 중소기업청 / 경기도

연구관리전문기관 (사)한국산학연합회

연구사업명 산학공동기술개발지원사업

연구과제명 2009 산학(학·안면 3차원 영상획득을 위한 콘 빔 컴퓨터단층 촬영시스템 개발)

기여율 1/1

주관기관 경희대학교

연구기간 2008.07.01 ~ 2010.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

치아와 치조골의 3차원 모델을 생성하는 구강 모델 초기화부와,
 상기 3차원 모델로부터 개별 치아의 위치와 크기 및 방위를 결정하는 치관 중앙 분할부와,
 상기 3차원 모델로부터 치관 중앙 부위의 경계를 추출하여 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정하는 치관 상단 분할부와,
 상기 치관 상단의 윤곽선을 기초로 치아 하단의 윤곽선을 추적하여 치근 중앙의 초기 윤곽선을 결정하는 치근 중앙 초기화부와,
 상기 치근 중앙의 초기 윤곽선을 기초로 치근 하단의 경계를 추적하여 치근을 분리하는 치근 중하단 분할부와,
 상기 개별 치아의 위치와 범위 및 방위와, 상기 치근 중하단 분할부에서 분리된 치근 정보를 기초로 치아 경계 부위의 치아 윤곽선을 결정하는 치관 치근 경계 분할부와,
 상기 치관 중앙 분할부와 상기 치관 상단 분할부 및 상기 치근 중앙 초기화부를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,
 상기 제어부는 상기 치관 중앙 분할부에서 결정된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 이용하여 상기 치관 상단 분할부와 상기 치근 중앙 초기화부를 제어하여 치관 상단을 분할하고 치근 경계를 초기화하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 3

청구항 2에 있어서,
 상기 치관 상단 분할부는 상기 제어부가 상기 치관 중앙 분할부에서 생성된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 생성한 치관 상단 초기 윤곽선을 시작점으로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서,
 상기 치관 상단 분할부는 상기 치관 상단 초기 윤곽선을 시작점으로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 5

청구항 1에 있어서,
 상기 치근 중앙 초기화부는 상기 제어부가 상기 치관 중앙 분할부에서 생성된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 생성한 치관 하단 초기 윤곽선을 시작으로 치아 하단의 윤곽선을 추적하여 치근 중앙 부위와 초기 윤곽선을 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 6

청구항 2에 있어서,
 상기 치관 치근 경계 분할부는 상기 치관 중앙 분할부에서 생성된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위 정도와,

상기 치근 중하단 분할부에서 분리된 치근 정보를 기초로 상기 제어부에서 예측한 치관 치근 경계 영역에서의 치아의 위치와 검색 범위 정보와 상기 치근 중앙 초기화부에서 생성된 초기 치근 윤곽선을 이용하여 하단에서 상단 방향으로 치아경계를 추적하는 역방향 레벨셋 방법으로 치아 경계 부위의 치아 윤곽선을 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 구강 모델 초기화부는 치아 넘버를 결정하는 치아 정보 초기화 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 치아 정보 초기화 모듈은 임계화 방법을 이용하여 치아와 치조골을 포함하는 골조직을 분할함으로써 치아와 치조골의 3차원 모델을 구성하고, 이를 바탕으로 치관과 치근의 경계를 이루는 턱뼈의 시작부위를 결정하고, 각 치아의 치관 상단과 치관 중앙과 치근 중하단 및 치관 치근 경계 영역이 포함되는 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스들을 구분하고, 치아 중심곡선 파노라마 영상을 생성하여 치아 넘버를 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 9

청구항 1에 있어서,

상기 구강 모델 초기화부는 치근 주변에 있는 치조골 경계의 경사방향 특성을 이용하여 치근 중하단이 포함되는 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스에서 치조골의 윤곽선 주변에 있는 에지 화소들을 비 활성화시키는 치아 영상 초기화 모듈을 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 치관 중앙 분할부는 상기 치아 영상 초기화 모듈에서 처리된 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스로 개별 치아의 위치와 크기 및 방위를 결정하고, 이를 바탕으로 치관 상단과 치관 하단 분할을 위한 초기 윤곽선을 생성하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 치관 상단 분할부는 치아를 위치에 따라 홀수 그룹과 짝수 그룹으로 나누고, 각 그룹을 별개의 부호화된 제 1 및 제 2 거리 함수(signed distance function)로 표현하고, 상기 제 1 및 제 2 거리 함수를 제 1 및 제 2 에너지 함수로 표현하고, 상기 홀수 그룹과 짝수 그룹이 겹치지 않도록 하기 위해 통합 에너지 함수를 구성하여 상기 홀수 그룹과 짝수 그룹을 경쟁시키고, 치아 중앙에서 멀어지는 방향의 경사방향을 갖는 치조골 화소를 약 화시키는 에지 연산자와 이전 슬라이스에서 추출된 윤곽선과 가까운 에지 화소를 우선시하는 커플드 레벨셋 알고리즘을 이용하여 간격이 없이 접해있는 치관 상단의 윤곽선을 중첩 없이 정확하게 분리하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 통합 에너지 함수는,

$$E_C(\Phi_1, \Phi_2) = E_S(\Phi_1) + E_S(\Phi_2) + \alpha E_R$$

이고,

상기 ϕ_1 은 상기 홀수 그룹 거리함수이며,

상기 ϕ_2 는 상기 짝수 그룹 거리함수이고,

상기 $E_S(\phi_1)$ 은 상기 제 1 에너지 함수이며,

상기 $E_S(\phi_2)$ 는 상기 제 2 에너지 함수이고,

상기 $E_S(\phi_1)$ 와 상기 $E_S(\phi_2)$ 는

$$E_S(\phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x, y)| - 1)^2 dx dy + \gamma \int_{\Omega} g(x, y) \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \rho \int_{\Omega} d(x, y)^2 \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx + \nu \int_{\Omega} i(x, y) H(-\phi(x, y)) dx$$

에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 $s(x, y)$ 는 에지 연산자인 $\begin{cases} 1, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) \leq 0 \\ \frac{1}{1 + |\nabla I(x, y)|^2}, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) > 0 \end{cases}$ 이고,

상기 $i(x, y)$ 는 화소의 밝기를 나타내는 함수 $\frac{I_{max} - I(x, y)}{I_{max}}$ 이며,

상기 $H(x)$ 는 치아영역을 결정하는 smoothed Heaviside 함수인 $\begin{cases} 1, & x > \varepsilon \\ 0, & x < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$ 이고,

상기 $\delta(x)$ 는 치아의 경계 영역을 결정하고 상기 $H(x)$ 의 미분함수인 $\begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$ 인 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 14

청구항 11에 있어서,

상기 치근 중앙 초기화부는 상기 커플드 레벨셋 알고리즘에서 에너지 함수 $E_S(\phi_1)$ 와 $E_S(\phi_2)$ 를 정의할 때 사용된 에너지 함수 $E_S(\phi)$ 를 기반으로 하는 단일 레벨셋을 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스별로 가변적으로 결정되는 가중치 γ 와 가중치 ρ 를 적용하여 치근 중앙 부위의 윤곽선을 초기화하며,

상기 가중치 γ 는 치아의 경계 상에 있는 화소들의 경사크기의 합으로 표현되는 현재 슬라이스의 치아 경계 평탄도가 전체 에너지에 차지하는 비율을 결정하고,

상기 가중치 ρ 는 현재 슬라이스의 치아 경계와 이전 슬라이스에서 검출된 치아의 경계의 유사도가 전체 에너지에 차지하는 비율을 결정하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 15

청구항 11에 있어서,

상기 치근 중하단 분할부는 상기 커플드 레벨셋 알고리즘에서 정의되는 단일 레벨셋에 이전 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스에서 결정된 치아 윤곽선 내부와 외부의 밝기값 분포 함수를 이용하여 각 화소가 치아 내부와 외부에 존재할 확률을 구하고, 그 결과에 따라 확장과 축소 정도를 결정하여 이전 슬라이스의 치아와 주변 치조골 밝기 정보를 활용하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.

청구항 16

청구항 11에 있어서,

상기 치관 치근 경계 분할부는 상기 치근 중하단 분할부와 상기 치관 중앙 분할부의 결과를 기초로 예측된 치관 치근 경계 부분에서 치아 윤곽선의 위치와 검색 범위를 결정하는데 활용하고, 단일 레벨셋 알고리즘을 이용하여 상기 치근 중앙 초기화부에서 결정된 치근 윤곽선을 하부에서 상부로 역방향 추적하여 치관 치근 경계 부위의 치아 윤곽선을 검출하며,

상기 단일 레벨셋 알고리즘($E_S(\Phi)$)은,

$$E_S(\Phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \Phi(x, y)| - 1)^2 dx dy + \gamma \int_{\Omega} g(x, y) \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \rho \int_{\Omega} d(x, y)^2 \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \int_{\Omega} v(x, y) H(-\Phi(x, y)) dx dy$$

이고,

$$\text{상기 } v(x, y) \text{ 는 상기 이전 슬라이스의 밝기 정보를 이용하는 함수인 } \begin{cases} v_E \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right) \geq 0 \\ v_E \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right) \leq 0 \end{cases} \text{이며,}$$

$$\text{상기 } g(x, y) \text{ 는 에지의 세기를 나타내는 함수인 } \begin{cases} 1, & -\nabla \Phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) \leq 0 \\ \frac{1}{1 + |\nabla I(x, y)|^2}, & -\nabla \Phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) > 0 \end{cases} \text{ 이고,}$$

$$\text{상기 } \delta(x) \text{ 는 치아의 경계 영역을 결정하는 함수인 } \begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases} \text{이며,}$$

$$\text{상기 } H(x) \text{ 는 치아 영역을 결정하는 함수인 } \begin{cases} 1, & x > \varepsilon \\ 0, & x < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases} \text{ 인 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템.}$$

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템 및 방법에 대한 것으로서, 특히 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 현재 의료기관에서 사용되는 CT와 MRI, 그리고 치과에서 주로 사용되는 치과용 콘빔 CT에는 골조직의 3차원 형태를 모델링하여 다양한 각도에서 관찰할 수 있는 3차원 가시화 기능이 탑재되어 있다. 이러한 기존의 3차원 가시화 시스템에 사용되는 3차원 모델링 방법은 골조직을 연조직으로부터 분리하는데 초점이 맞춰져 있다. 따라서, 비슷한 밝기를 가지면서 서로 인접해 있는 골조직들을 개별적인 객체로 분리하는데 어려움이 있다. 그

결과, 기존의 3차원 가시화 시스템들은 치조골 속의 치아나, 간격이 없어 서로 접해있는 치아들을 독립적인 객체로 분리하여 가시화하지 못하는 문제점이 있다.

- [0003] 최근 치과분야에서 개별치아의 가시화는 치아질환의 정확한 진단과 시술계획 수립 및 시술 모의실험 등을 위해서는 반드시 필요한 기능으로 인식되고 있다. 하지만, 기존의 기술로는 CT나 MRI 상에서 치아와 치아, 치아와 치조골을 분할하는 것은 어려우며, 이를 해결할 수 있는 새로운 기술이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명의 목적은 각각의 치아를 치조골과 이웃에 위치한 치아와 분리하여 독립적인 3차원 모델을 생성할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템 및 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0005] 상술한 목적을 달성하기 위해 본 발명은 치아와 치조골의 3차원 모델을 생성하는 구강 모델 초기화부와, 상기 3차원 모델로부터 개별 치아의 위치와 크기 및 방위를 결정하는 치관 중앙 분할부와, 상기 3차원 모델로부터 치관 중앙 부위의 경계를 추출하여 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정하는 치관 상단 분할부와, 상기 치관 상단의 윤곽선을 기초로 치아 하단의 윤곽선을 추적하여 치근 중앙의 초기 윤곽선을 결정하는 치근 중앙 초기화부와, 상기 치근 중앙의 초기 윤곽선을 기초로 치근 하단의 경계를 추적하여 치근을 분리하는 치근 중하단 분할부와, 상기 개별 치아의 위치와 범위 및 방위와, 상기 치근 중하단 분할부에서 분리된 치근 정보를 기초로 치아 경계 부위의 치아 윤곽선을 결정하는 치관 치근 경계 분할부와, 상기 치관 중앙 분할부와 상기 치관 상단 분할부 및 상기 치근 중앙 초기화부를 제어하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공한다.
- [0006] 상기 제어부는 상기 치관 중앙 분할부에서 결정된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 이용하여 상기 치관 상단 분할부와 상기 치근 중앙 초기화부를 제어하여 치관 상단을 분할하고 치근 경계를 초기화한다. 상기 치관 상단 분할부는 상기 제어부가 상기 치관 중앙 분할부에서 생성된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 생성한 치관 상단 초기 윤곽선을 시작점으로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정한다. 상기 치관 상단 분할부는 상기 치관 상단 초기 윤곽선을 시작점으로 치관 상단의 윤곽선을 추적하여 결정한다.
- [0007] 상기 치근 중앙 초기화부는 상기 제어부가 상기 치관 중앙 분할부에서 생성된 개별 치아의 위치와 범위 및 방위를 기초로 생성한 치관 하단 초기 윤곽선을 시작으로 치아 하단의 윤곽선을 추적하여 치근 중앙 부위와 초기 윤곽선을 결정한다.
- [0008] 상기 치관 치근 경계 분할부는 상기 개별 치아의 위치와 범위 및 방위와, 상기 치근 중하단 분할부에서 분리된 치근 정보를 기초로 상기 제어부에서 예측한 치관 치근 경계 영역에서의 치아의 위치와 검색 범위 정보와 상기 치근 중앙 초기화부에서 생성된 초기 치근 윤곽선을 이용하여 치아 경계 부위의 치아 윤곽선을 결정한다.
- [0009] 상기 구강 모델 초기화부는 치아 넘버를 결정하는 치아 정보 초기화 모듈을 포함한다. 상기 치아 정보 초기화 모듈은 임계화 방법을 이용하여 치아와 치조골을 포함하는 골조직을 분할함으로써 치아와 치조골의 3차원 모델을 구성하고, 이를 바탕으로 치관과 치근의 경계를 이루는 턱뼈의 시작부위를 결정하고, 각 치아의 치관 상단과 치관 중앙과 치근 중하단 및 치관 치근 경계 영역이 포함되는 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스들을 구분하고, 치아 중심곡선 파노라마 영상을 생성하여 치아 넘버를 결정한다.
- [0010] 상기 구강 모델 초기화부는 치근 주변에 있는 치조골 경계의 경사방향 특성을 이용하여 치근 중하단이 포함되는 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스에서 치조골의 윤곽선 주변에 있는 에지 화소들을 비 활성화시키는 치아 영상 초기화 모듈을 포함한다. 상기 치관 중앙 분할부는 상기 치아 영상 초기화 모듈에서 처리된 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스로 개별 치아의 위치와 크기 및 방위를 결정하고, 이를 바탕으로 치관 상단과 치관 하단 분할을 위한 초기 윤곽선을 생성한다.
- [0011] 상기 치관 상단 분할부는 치아를 위치에 따라 홀수 그룹과 짝수 그룹으로 나누고, 각 그룹을 별개의 부호화된 제 1 및 제 2 거리 함수(signed distance function)로 표현하고, 상기 제 1 및 제 2 거리 함수를 제 1 및 제 2 에너지 함수로 표현하고, 상기 홀수 그룹과 짝수 그룹이 겹치지 않도록 하기 위해 통합 에너지 함수를 구성하여

상기 홀수 그룹과 짝수 그룹을 경쟁시키고, 치아 중앙에서 멀어지는 방향의 경사방향을 갖는 치조골 화소를 약 화시키는 에지 연산자와 이전 슬라이스에서 추출된 윤곽선과 가까운 에지 화소를 우선시하는 커플드 레벨셋 알고리즘을 이용하여 간격이 없이 접해있는 치관 상단의 윤곽선을 중첩 없이 정확하게 분리한다. 상기 통합 에너지 함수는, $E_C(\Phi_1, \Phi_2) = E_S(\Phi_1) + E_S(\Phi_2) + \alpha E_R$ 이고, 상기 Φ_1 은 상기 홀수 그룹의 거리함수이며, 상기 Φ_2 는 상기 짝수 그룹의 거리함수이고, 상기 $E_S(\Phi_2)$ $E_S(\Phi_1)$ 은 상기 제 1 에너지 함수이며, 상기 $E_S(\Phi_2)$ 는 상기 제 2 에너지

$$E_S(\Phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \Phi(x, y)| - 1)^2 dx dy + \gamma \int_{\Omega} g(x, y) \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \rho \int_{\Omega} d(x, y)^2 \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \nu \int_{\Omega} i(x, y) H(-\Phi(x, y)) dx$$

함수이고, 상기 $E_S(\Phi_1)$ 와 상기 $E_S(\Phi_2)$ 는

[0012] 상기 에지 연산자를 나타내는 함수 $g(x, y)$ 는 $\begin{cases} 1, & -\nabla \Phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) : \\ \frac{1}{1 + |\nabla I(x, y)|^2}, & -\nabla \Phi(x, y) \cdot \nabla I(x, y) : \end{cases}$ 이고, 상기 화소의 밝기를

나타내는 함수 $i(x, y)$ 는 $\frac{I_{max} - I(x, y)}{I_{max}}$ 이고, 상기 치아영역을 결정하는 smoothed Heaviside 함수 $H(x)$ 는 $\begin{cases} 1, & x > \varepsilon \\ 0, & x < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$ 이며, 상기 치아의 경계 영역을 결정하고 $H(x)$ 의 미분함수인 $\delta(x)$ 는 $\begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$ 이다.

[0013] 상기 치근 중앙 초기화부는 상기 커플드 레벨셋 알고리즘에서 에너지 함수 $E_S(\Phi_1)$ 와 $E_S(\Phi_2)$ 를 정의할 때 사용된 에너지 함수 $E_S(\Phi)$ 를 기반으로 하는 단일 레벨셋을 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스별로 가변적으로 결정되는 가중치 γ 와 가중치 ρ 를 적용하여 치근 중앙 부위의 윤곽선을 초기화하며, 상기 가중치 γ 는 에너지 함수에서 치아 경계에 있는 화소들의 경사크기의 합으로 표현되는 치아경계의 평탄도를 나타내는 두 번째 항의 비중을 결정하며, 상기 가중치 ρ 는 이전 슬라이스에서 추출된 경계와 현재 치아경계와의 유사성을 나타내는 세 번째 항의 비중을 나타낸다. γ 가 크면 영상에서 밝기 차이가 크고 길이가 짧은 경계가 우선적으로 고려되며, ρ 가 크면 이전 슬라이스에서 추출된 경계와 차이가 적은 경계가 우선적으로 고려된다.

[0014] 상기 치근 중하단 분할부는 상기 커플드 레벨셋 알고리즘에서 정의되는 단일 레벨셋에 이전 컴퓨터 단층촬영영상 또는 자기공명영상 슬라이스에서 결정된 치아 윤곽선 내부와 외부의 밝기값 분포 함수를 이용하여 각 화소가 치아 내부와 외부에 존재할 확률을 구하고, 그 결과에 따라 확장과 축소 정도를 결정하여 이전 슬라이스의 치아와 주변 치조골 밝기 정보를 활용한다.

[0015] 상기 치관 치근 경계 분할부는 상기 치근 중하단 분할부와 상기 치관 중앙분할부의 결과를 기초로 예측된 치관 치근 경계 부분에서 치아 윤곽선의 위치와 검색 범위를 결정하는데 활용하고, 단일 레벨셋 알고리즘을 이용하여 상기 치근 중앙 초기화부에서 결정된 치근 윤곽선을 하부에서 상부로 역방향 추적하여 치관 치근 경계 부위의 치아 윤곽선을 검출하며, 상기 단일 레벨셋 알고리즘($E_S(\Phi)$)은,

$$E_S(\Phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \Phi(x, y)| - 1)^2 dx dy + \gamma \int_{\Omega} g(x, y) \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \rho \int_{\Omega} d(x, y)^2 \delta(\Phi(x, y)) |\nabla \Phi(x, y)| dx dy + \nu \int_{\Omega} v(x, y) H(-\Phi(x, y)) dx dy$$

[0016] 이고, 상기 이전 슬라이스의 밝기 정보를 이용하는 $v(x, y)$ 는 $\begin{cases} v_s \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right) \geq 0 \\ v_s \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_E(I(x, y))}{p_A(I(x, y))}\right) \leq 0 \end{cases}$ 이며, 상기

에지의 세기를 나타내는 함수 $s(x, y)$ 는
$$\begin{cases} 1, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla f(x, y) \leq 0 \\ \frac{1}{1 + |\nabla f(x, y)|^2}, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla f(x, y) > 0 \end{cases}$$
 이고, 상기 치아영역의 결정하는 함수 $F(x)$ 는
$$\begin{cases} 1, & x > \varepsilon \\ 0, & x < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$$
 이고, 상기 치아의 경계 영역을 결정하는 함수 $\delta(x)$ 는
$$\begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$$
 이다.

발명의 효과

- [0017] 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리하여 수작업에 의해 수행되던 개별 치아의 3차원 모델 생성을 자동화하여 치아의 3차원 모델링에 필요한 시간과 비용을 감소시킬 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.
- [0019] 또한, 본 발명은 치아와 치조골을 개별적인 객체로 표현하고 관찰할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.
- [0020] 또한, 본 발명은 치아들과 턱뼈를 개별적으로 조작하고 가시화할 수 있는 치과전용 3차원 CT 뷰어로 사용될 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.
- [0021] 또한, 본 발명은 2차원 엑스레이 영상을 바탕으로 이루어지고 있는 기존의 치열교정을 시뮬레이션 및 치료계획 수립 프로그램으로 대체할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템의 블록도.
- 도 2는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아를 네 부분으로 구분한 개념도.
- 도 3 (a)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스.
- 도 3 (b)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스의 이진영상.
- 도 3 (c)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스의 치아 중심 곡선을 추출한 영상.
- 도 4는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 중심 곡선을 중심으로 치아 넘버가 추가되어 생성된 파노라마 영상.
- 도 5는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 중심에서 멀어지는 방향의 에지 화소를 판별하여 턱뼈의 윤곽선 상에 있는 에지 화소들을 비활성화시킨 예시도.
- 도 6은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 윤곽선과 치조골 내부 및 치조골 외부 경계 선상의 화소들이 가지는 경사방향을 도식한 개념도.
- 도 7은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치관 중앙에서 추출된 윤곽선을 이용하여 치아의 범위와 방향을 측정하는 것을 도식한 개념도.
- 도 8은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시

시스템에서 커플드 레벨셋을 이용한 치관 상단 분할을 위하여 치아를 짝수 그룹과 홀수 그룹으로 구분하는 것을 예시한 개념도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명하기로 한다.

[0024] 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다. 도면상의 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다.

[0025] 도 1은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템의 블록도이고, 도 2는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아를 네 부분으로 구분한 개념도이다. 도 3 (a)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스이고, 도 3 (b)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스의 이진영상이다. 도 3 (c)는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 CT 슬라이스의 치아 중심 곡선을 추출한 영상이다. 도 4는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 중심 곡선을 중심으로 치아 넘버가 추가되어 생성된 파노라마 영상이고, 도 5는 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 중심에서 멀어지는 방향의 에지 화소를 판별하여 턱뼈의 윤곽선 상에 있는 에지 화소들을 비활성화시킨 예시도이다. 도 6은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치아 윤곽선과 치조골 내부 및 치조골 외부 경계 선상의 화소들이 가지는 경사방향을 도식한 개념도이고, 도 7은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 치관 중앙에서 추출된 윤곽선을 이용하여 치아의 범위와 방향을 측정하는 것을 도식한 개념도이다. 도 8은 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템에서 커플드 레벨셋을 이용한 치관 상단 분할을 위하여 치아를 짝수 그룹과 홀수 그룹으로 구분하는 것을 예시한 개념도이다.

[0026] 본 발명에 따른 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템은 도 1에 도시된 바와 같이, 치아 CT 영상으로부터 치아와 치조골의 3차원 구조정보를 추출하여 근사적인 초기 구강 모델을 생성하는 구강 모델 초기화부(110)와, 치아의 구조적 특성정보와 수집되는 치아정보를 기초로 각 치아의 주요 부위의 위치를 예측하고 전체적인 치아영역 분할 과정을 통제하는 제어부(160)와, 각 치아의 치관부위 중에서 이웃 치아와 접하지 않는 부위의 경계를 추출하여 근사적인 치아 위치와 방향을 결정하는 치관 중앙 분할부(120)와, 치관 중앙 분할부에서 생성된 각 치아의 초기 영역들을 이용한 커플드 레벨셋 알고리즘을 기반으로 치관 상단 영역의 윤곽선을 추출하는 치관 상단 분할부(130)와, 치관 중앙 분할부에서 수집된 정보를 기초로 생성된 치관 하단의 윤곽선과 위치정보를 치관 중앙의 윤곽선을 초기화하는 치관 중앙 초기화부(170)와, 치관 중앙 초기화부에서 생성된 치관의 초기 윤곽선을 바탕으로 치관의 하단부를 추출하는 치관 중하단 분할부(140)와, 치관분할 결과와 치관 중앙 분할 결과를 이용하여 예측된 검색영역과 초기 윤곽선을 이용하여 치관과 치관 경계 근처의 슬라이스들을 분할하는 치관 치관 경계 분할부(150)를 포함한다.

[0027] 구강 모델 초기화부(110)는 전체 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography, CT; 이하 CT 영상이라 함) 영상 또는 자기공명영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI; 이하 MRI 영상이라 함)에서 치아와 치조골을 포함하는 골조직을 분리하여 근사적인 구강 모델을 생성하여 제어부(160)에 전달한다. 이러한 구강 모델 초기화부(110)는 치아 정보 초기화 모듈과, 치아 영상 초기화 모듈을 포함한다.

[0028] 치아 정보 초기화 모듈은 치아의 경계를 구분하여 치아 넘버를 결정한다. 이때, 연조직과 골조직 사이에는 뚜렷한 밝기 차이가 있어서 치아와 치조골을 구분하지 않는 근사적인 구강 모델은 간단한 임계화 방법을 이용하여 생성할 수 있다. 생성된 초기 구강 모델을 이용하여 도 3에 도시된 바와 같이, 치아들의 중심을 지나는 곡선인 치아 중심 곡선을 구하고, 치아 중심 곡선을 중심으로 치아의 파노라마 영상을 생성한 다음, 이를 이용하여 도 4에 도시된 바와 같이 각 치아 넘버를 구분한다. 또한, 치관과 치관의 경계가 되는 턱뼈의 시작 위치를 근사적으로 결정하여 도 2에 도시된 바와 같이 각 치아의 치관 상단, 치관 중앙, 치관 하단, 치관 치관 경계 부위의 범위를 결정한다.

[0029] 치아 영상 초기화 모듈은 치근 분할 과정에서 치조골의 외곽 경계가 치근의 경계로 추출되는 것을 방지한다. 치근 하단부는 치아와 턱뼈의 외곽 경계가 뚜렷이 구분될 수 있도록 충분한 거리를 갖는 지점에 있는 슬라이스에서 시작된다. 각 치아의 치근하단이 결정되면, 치아 CT 영상에서 치근 하단을 포함하는 턱뼈의 윤곽선 상의 화소들을 도 5에 도시된 바와 같이 영상의 경사각(gradient direction)을 바탕으로 치근검색영역에서 제외시킨다. 도 5에서 제외된 영역은 턱뼈의 경계로써 여기에 속하는 화소들의 경사각은 치아의 외곽영역의 경사각과 유사하여 두 영역이 접해 있을 경우에는 턱뼈의 외곽선을 치아의 윤곽선으로 오인되는 경우가 많다. 하지만, 이 두 영역 사이에는 어두워지는 부분이 있어서 반대의 경사각을 갖는 화소들이 존재한다. 치근 하단부에 존재하는 턱뼈의 외곽선 근처에 있는 화소 중에서 경사각이 밖을 향하는 것들을 비활성화 시킴으로써 치근분할에서 턱뼈의 외곽선이 치아의 윤곽선으로 추출되는 것을 방지한다.

[0030] 제어부(160)는 상술한 치아분할의 문제점들을 해결하여 정확한 치아영역을 얻을 수 있도록 치아분할에 필요한 과정들을 통제한다. 즉 각 과정에서 필요한 정보를 생성하여 제공하고, 새로 생성된 결과를 바탕으로 보다 정확한 정보를 생성하여 다음 과정에 제공함으로써 치아 영상에 포함되는 불확실성을 극복할 수 있게 한다. 이를 위해서 제어부(160)는 먼저 구강 모델 초기화부(110)를 활성화시켜서 치아와 치조골에 대한 근사적인 구조정보를 포함하는 초기구강 모델을 생성하고, 이를 이용하여 각 치아의 근사적인 치관상단, 치관중앙, 치관치근경계, 치근 중하단 부위를 결정하고, 이 부위들이 속해있는 CT 영상 또는 MRI 영상 슬라이스(slice)들과 각 슬라이스에서 해당치아의 근사적인 위치와 범위를 결정한다. 제어부(160)는 이 정보를 바탕으로 치관 중앙 분할부(120)를 활성화시켜서 개별치아의 보다 정확한 위치, 방위, 크기를 결정하고, 이 개선된 치아 정보를 바탕으로 치관 상단부와 치관 하단부의 윤곽선을 초기화하여 상기 치관 상단 분할부(130)과 치근 중앙 초기화부(170)을 활성화한다. 상기 제어부(160)는 상기 치근 중앙 초기화부(170)에서 추출된 치근 중앙의 초기 윤곽선을 이용하여 치근 중하단분할부(140)을 활성화 한다. 제어부(160) 치관 중앙부와 치근 중하단부의 치아윤곽선 분할 결과를 바탕으로 치관 치근 경계 부위의 보다 정확한 정보를 생성하여 치관 치근 경계 분할부(150)를 활성화함으로써 이 경계부위의 영상에 포함되는 불확실성을 극복하고 정확하게 치아를 분할 할 수 있게 한다. 즉, 제어부(160)는 불확실성이 적은 결과를 먼저 생성하고 이를 바탕으로 보다 정확한 치아정보를 생성하여 불확실성이 큰 다음 과정에서 사용할 수 있게 함으로써 최종 치아분할 결과에 포함되는 불확실성을 최소화한다. 또한, 각 치아 별로, 치아의 부위별로 치아영역 분할을 위한 최적의 인자 값을 제공함으로써 치아분할의 정확도를 높인다.

[0031] 치관 중앙 분할부(120)는 이웃한 치아나 치조골이 없는 치관의 중앙부위를 구강 모델 초기화부(110)에서 이진화된 결과를 이용하여 각 CT 영상 또는 MRI 영상 슬라이스의 치아윤곽선을 구하고, 도 7에 도시된 바와 같이 각 슬라이스 별로 치아의 중앙점을 계산한 다음에, 중앙점들을 지나는 직선을 정합(fitting)하여 치아의 방위를 구한다.

[0032] 치관 상단 분할부(130)는 간격 없이 접해있는 이웃치아로부터 각 치아를 분할하는 역할을 담당한다. 상기 치관 상단 분할부(130)는 치관 중앙 분할부(120)에서 생성된 각 치아의 초기영역들을 이용한 커플드 레벨셋(Coupled Level Set) 알고리즘을 기반으로 뚜렷한 경계 없이 밀접하게 붙어있는 치관 상단 영역의 윤곽선을 추출한다. 치관 상단부는 턱뼈의 간섭은 없으나 밝기가 동일한 이웃치아와 간격이 없이 접해있는 경우가 많다. 따라서, 여러 개의 치아가 결합되어 분할되거나, 분할된다 하여도 접합부의 경계가 정확하지 않은 경우가 흔하게 발생한다. 본 발명에서는 이를 방지하기 위하여 도 8에 도시된 바와 같이 치아를 짝수 그룹과 홀수 그룹으로 분할한 다음, 그룹을 별개의 레벨셋으로 표현하고 이를 아래의 수학식1과 같이 결합하여 서로 경쟁하게 함으로써 이 문제를 해결한다.

수학식 1

[0033]
$$E_C(\Phi_1, \Phi_2) = E_S(\Phi_1) + E_S(\Phi_2) + \alpha E_R$$

[0034] 여기서, Φ_1 은 치아의 홀수 그룹을 의미하며, Φ_2 는 치아의 짝수 그룹을 의미한다. α 는 두 그룹의 영역이 겹치는 정도를 나타내는 에너지 E_R 이 통합 에너지에서 차지하는 비율이고, $E_S(\Phi_1)$ 과 $E_S(\Phi_2)$ 는 제 1 및 제 2 에너지 함수로서, 아래의 수학식3을 이용하여 정의된다.

[0035] 수학식1의 최적화를 위한 에너지 함수로 $E_S(\Phi_1)$, $E_S(\Phi_2)$, αE_R 항을 포함하고 있다. 즉, 이 세 항이 함께 최적화됨으로써 서로에게 영향을 미치게 된다. 특히, E_R 은 아래의 수학식2와 같이 짝수와 홀수 치아 그룹의 영역들이

서로 중복되지 않을 때 최소값이 되게 함으로써 치관 상단부분이 서로 겹치거나 한 그룹이 다른 그룹의 영역을 침범하는 것을 방지한다.

수학식 2

$$E_R = \int_{\Omega} H(-\phi_1(x,y))H(-\phi_2(x,y))dxdy$$

수학식 3

$$E_S(\phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x,y)| - 1)^2 dxdy + \gamma \int_{\Omega} g(x,y) \delta(\phi(x,y)) |\nabla \phi(x,y)| dxdy + \rho \int_{\Omega} \frac{d(x,y)^2 \delta(\phi(x,y)) |\nabla \phi(x,y)|}{\rho + v \int_{\Omega} \delta(x,y) H(-\phi(x,y)) dx}$$

여기서, μ 는 이전 슬라이스에서 검출된 치아경계와의 유사성이 전체 에너지에 미치는 비율이고, γ 는 현재 치아 경계화소들의 경사 크기의 합으로 표현되는 치아 경계의 평탄도가 전체 에너지에서 차지하는 비율이고, v 는 현재 치아영역의 크기와 밝기가 전체 에너지에서 차지하는 비율이다. 또한, 수학식2 및 수학식3의 $H(-\phi_1)$ 와 $H(-\phi_2)$ 는 아래의 수학식4와 같은 smoothed heaviside function로 정의된다. 수학식3의 $\delta(\phi)$ 는 $H(\phi)$ 함수의 미분 함수로 아래의 수학식 5와 같이 표현된다. 또한, 수학식3의 $g(x,y)$ 는 각 화소의 경사 크기, 즉 에지의 세기를 나타낸다. 이때, $g(x,y)$ 는 에너지 함수를 최소화해야 하기 때문에 에지 세기에 반비례하는 값을 갖는다.

수학식 4

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x > \varepsilon \\ 0, & x < -\varepsilon \\ \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$$

수학식 5

$$\delta(x) = \begin{cases} 0, & |x| > \varepsilon \\ \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi x}{\varepsilon}\right) \right], & |x| \leq \varepsilon \end{cases}$$

여기서, ε 는 치아 경계 영역을 결정하는 임계치이다.

본 발명은 아래의 수학식6과 같이 턱뼈 내부의 치아 윤곽선 근처에 있는 에지 화소들을 도 5에 도시된 경사각 특성을 이용하여 제거함으로써 주변 치조골에 수렴하는 것을 방지한다. 치아 주변 치조골의 경계화소의 경사 벡터와 smoothed heaviside function의 경사방향의 사이 각은 90도와 170도가 되어 $-\nabla \phi(x,y) \cdot \nabla f(x,y) \leq 0$ 의 조건을 만족한다. 또한, 이 조건을 만족하는 화소는 최대값으로 1을 배정함으로써 무시되어 치아 윤곽으로 추출되는 것을 방지한다. 수학식3에서 ϕ 는 이전 슬라이스에서 최종 치아 윤곽이 결정될 때 사용된 레벨셋 함수인 $\phi_{\text{current}}(x,y)$ 의 값이 사용되며, 현재 화소 (x,y) 와 이전 치아 윤곽선과의 최단 거리를 나타낸다. 수직방향으로 치아의 형태는 매끄럽기 때문에 두 슬라이스 사이에서 치아의 형태 변화는 크지 않다. 따라서, 본 발명은 $\rho \int_{\Omega} d(x,y)^2 \delta(\phi(x,y)) |\nabla \phi(x,y)| dxdy$ 항을 추가하여 이전 슬라이스에서 추출된 치아 윤곽선을 현재 슬라이스의 치아 윤곽선 추출을 위한 참고 패턴으로 활용함으로써, 부드러운 치아 윤곽을 추출할 수 있도록 한다. 이때, 치관 상

단 분할 과정에서는 수학적식3의 μ, γ, ρ, ν 는 고정된다.

수학적식 6

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla f(x, y) \leq 0 \\ \frac{1}{1 + |\nabla f(x, y)|^2}, & -\nabla \phi(x, y) \cdot \nabla f(x, y) > 0 \end{cases}$$

치근 중앙 초기화부(170)는 치관 중앙 분할부(120)에서 생성된 근사적인 치아 모델을 이용하여 치관 치근 경계 시작지점의 초기윤곽선과 검색영역을 결정하고 이를 바탕으로 적응적으로 치근 중앙부의 윤곽선을 생성한다. 치근 중앙부는 치조골의 윤곽선과 치아의 윤곽선 사이에 거리가 있어서 두 경계가 뚜렷이 구분될 수 있는 치근부위를 의미한다. 상기 치관 중앙 분할부(170)에서 초기화된 치아윤곽선을 단일 레벨셋 알고리즘을 이용하여 치근 방향으로 추적할 경우 치관 치근 경계에서 치조골 윤곽의 경사크기가 치아 윤곽의 경사크기 보다 커서 치조골 윤곽선이 치아의 윤곽선으로 검출되는 경우가 많이 발생한다. 하지만, 치근 쪽으로 더 내려가면 치근의 경계에 수렴하게 된다. 특히, 본 발명에서는 초기 치아모델을 이용하여 예측된 치관 치근 경계 슬라이스에서 일정범위 밑에 있는 슬라이스들의 치조골 윤곽선 부위 화소들을 비활성화 시킴으로써 그 가능성을 높인다. 그 결과 이 부분에서 치근 중앙영역의 윤곽선을 비교적 정확하게 초기화할 수 있다. 치근 중앙윤곽선은 구강 모델 초기화부(110)에서 결정된 치조골의 윤곽선에서 치근의 윤곽선이 일정거리 이상 되는 지점의 치근윤곽선이 선택된다. 이때, 임계거리는 치아번호에 따라서 결정된다. 치근 중앙초기화에는 수학적식3과 같은 에너지 함수를 이용하는 단일 레벨셋 알고리즘이 적용된다. 치관 상단 분할부와는 분할된 치아윤곽선의 평탄(smoothness)을 나타내는 두 번째 항의 가중치 γ 와 이전 슬라이스에서 추출된 윤곽선과의 유사도를 나타내는 세 번째 항의 가중치 ρ 가 고정되지 않고 슬라이스의 위치에 따라서 결정된다는 점에서 차이가 있다. 이러한 본 발명에 따른 치관중앙의 윤곽선 초기화 방법은 치아번호와 사람에 따라서 달라지는 치아형태를 정확하게 모델링 하지 않고 치근의 윤곽선을 초기화할 수 있는 장점을 가진다.

치근 하단 분할부(140)는 상기 치근 중앙 초기화부(170)에서 생성된 치근 중앙 부위의 초기 윤곽선을 이용하여 치근 하단부의 치아윤곽을 분리한다. 먼저 치관 중앙 분할부(120)의 결과와 치근 중앙 초기화부(170)의 결과를 바탕으로 치근 하단부의 검색범위를 보다 정확하게 정의하고 제한된 영역에서 아래의 수학적식7과 같이 특별히 고안된 에너지 함수를 기반으로 하는 단일 레벨셋 알고리즘을 이용하여 치조골 내의 치근 영역을 분할한다.

수학적식 7

$$E_f(\phi) = \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi(x, y)| - 1)^2 dx dy + \gamma \int_{\Omega} g(x, y) \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \rho \int_{\Omega} d(x, y)^2 \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy + \int_{\Omega} v(x, y) F(-\phi(x, y)) dx dy$$

수학적식7에서 처음 세 항은 치관 상단 분할부에서 사용하는 수학적식3과 동일하다. 다만 가중치 μ, γ, ρ 가 치관 상단 분할부와 동일하게 모든 슬라이스에 대해서 고정된다. 하지만 마지막 항은 슬라이스 간 밝기값의 유사도를 이용한 가변적인 축소/확장 계수 $v(x, y)$ 를 기반으로 하는 새로운 아이디어를 포함한다. 이때, $v(x, y)$ 는 아래의 수학적식8과 같이 표현된다.

수학적식 8

$$v(x, y) = \begin{cases} v_s \log\left(\frac{p_B(f(x, y))}{p_A(f(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_B(f(x, y))}{p_A(f(x, y))}\right) \geq 0 \\ v_s \log\left(\frac{p_B(f(x, y))}{p_A(f(x, y))}\right), \log\left(\frac{p_B(f(x, y))}{p_A(f(x, y))}\right) \leq 0 \end{cases}$$

먼저, 이전 슬라이스에서 추출된 치아 경계를 추적하면서 경계 양쪽 화소들의 누적 히스토그램을 구하여 밝기값

I 가 치아 밖에 속할 확률함수 $p_B(I)$ 와 치아 내부에 존재할 확률함수 $p_A(I)$ 를 근사적으로 정의한다. 다만, $p_B(I)$ 를 정의하기 위해서는 역방향 누적 히스토그램을 사용한다. 수학식8에서 화소 $I(x, y)$ 가 치아 안에 존재할 확률이 높을 경우($p_B(I(x, y)) < p_A(I(x, y))$), 치아 경계에 도달하기 위해서는 밖으로 확장해야 한다. 이 경우, $\log(\frac{p_B(I(x, y))}{p_A(I(x, y))})$ 항이 음수 값이 되어 확장이 이루어진다. 반대의 경우, $\log(\frac{p_B(I(x, y))}{p_A(I(x, y))})$ 항이 양수가 되어 경계가 축소된다. 이러한 축소 및 확대 정도는 상수 v_3 와 v_4 , 및 $I(x, y)$ 값에 따라 결정된다. 이러한 방법은 유사한 밝기 값을 갖는 치조골 내에서 치아의 경계를 결정하는 것이 기여할 수 있다.

[0050] 치관 치근 경계 분할부(150)는 치아분할에서 가장 불확실성이 큰 부위의 치아윤곽을 결정한다. 치관 중앙부와 치근 하단부의 분할결과를 이용하여 치관과 치근의 경계부위에서 치아의 경계의 위치와 검색범위를 보다 정확하게 예측함으로써 치조골의 윤곽선이 치아의 윤곽으로 검출되는 것을 막는다. 또한, 같은 검출 오류를 최소화하기 위하여 하단에서 상단 방향으로 치아경계를 역추적하는 역방향 레벨셋 방법을 이용한다. 치관 치근 경계부에서는 치근 하단 분할부를 위해서 정의된 수학식7을 이용하는 에너지 함수를 기반으로 하는 레벨셋 알고리즘에 약간의 수정을 가하여 사용한다. 둘 사이에 다른 점은 치아의 윤곽선의 평탄(smoothness)을 나타내는 두 번째 항의 가중치 γ 와, 이전 슬라이스와 유사성을 나타내는 세 번째 항의 가중치 μ 를 슬라이스별로 다르게 적용하는 것이다. 치관 치근 경계부에서는 예측된 경계 근처 슬라이스들에서 세 번째 항의 가중치를 높이고 두 번째 항의 가중치를 낮추어 상대적으로 경사크기가 큰 치조골 외곽이 치아 윤곽선으로 추출되는 것을 방지한다.

[0051] 상술한 바와 같이 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 개별 치아의 영역을 이웃한 치아 또는 치조골로부터 정확하게 분리하여 수작업에 의해 수행되던 개별 치아의 3차원 모델 생성을 자동화하여 치아의 3차원 모델링에 필요한 시간과 비용을 감소시킬 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 치아와 치조골을 개별적인 객체로 표현하고 관찰할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 치아들과 턱뼈를 개별적으로 조작하고 가시화할 수 있는 치과전용 3차원 CT 뷰어로 사용될 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다. 또한, 본 발명은 2차원 엑스레이 영상을 바탕으로 이루어지고 있는 기존의 치열교정을 시뮬레이션 및 치료계획 수립 프로그램으로 대체할 수 있는 컴퓨터 단층촬영영상 및 자기공명영상에서 3차원 개별 치아 모델링을 위한 치아 분리 시스템을 제공할 수 있다.

[0052] 이상에서는 도면 및 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허청구범위에 기재된 본 발명의 기술적 사상으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

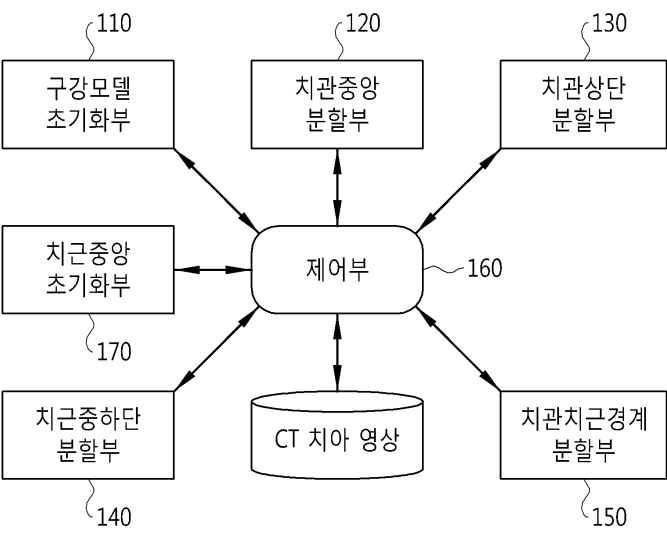
부호의 설명

[0053]

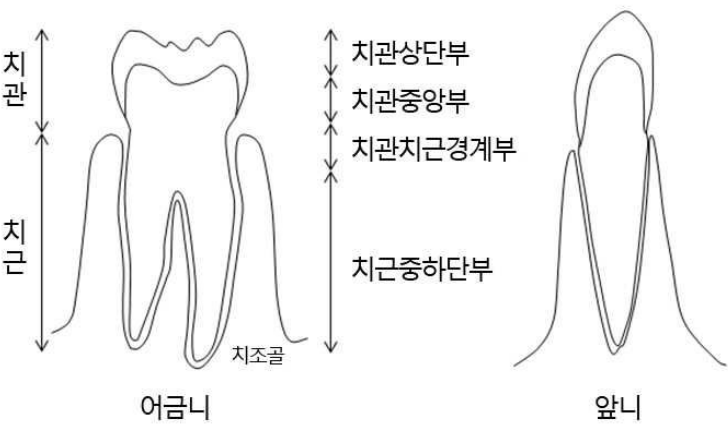
110: 구강 모델 초기화부	120: 치관 중앙 분할부
130: 치관 상단 분할부	140: 치근 중하단 분할부
150: 치관 치근 경계 분할부	160: 제어부
170: 치근 중앙 초기화부	

도면

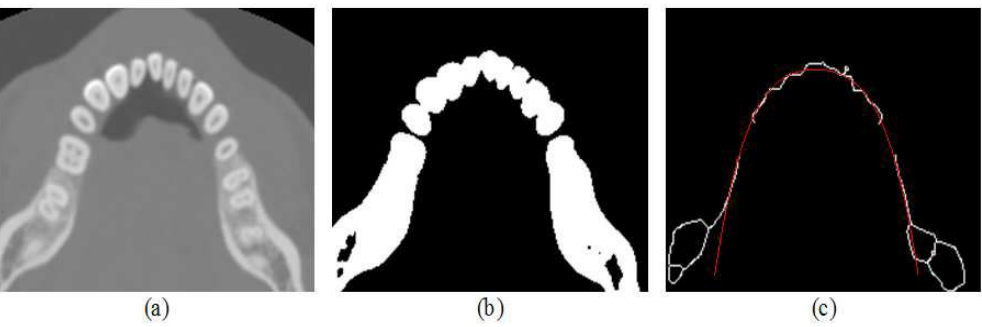
도면1



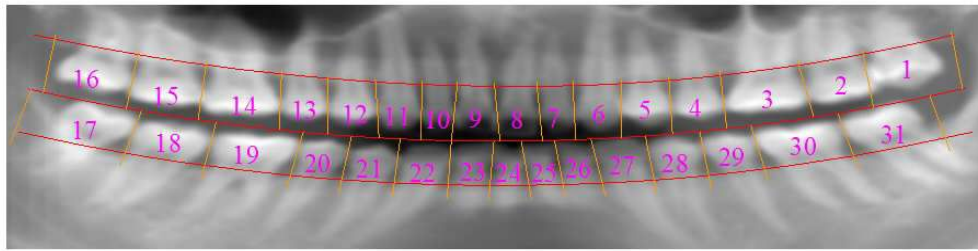
도면2



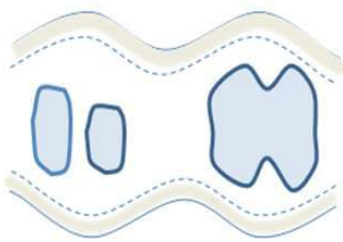
도면3



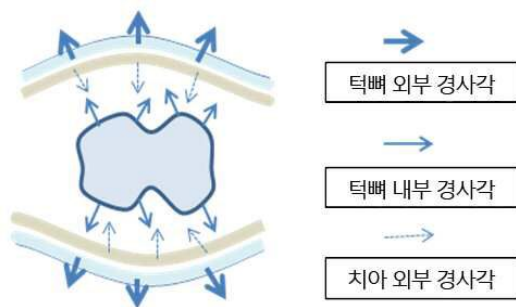
도면4



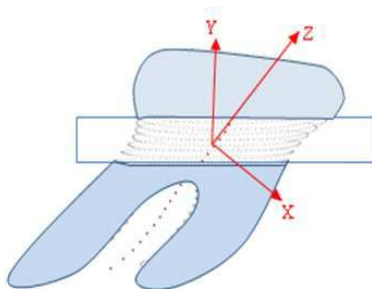
도면5



도면6



도면7



도면8



- 홀수그룹(): Signed distance function ϕ_1 으로 표현
- 홀수그룹(): Signed distance function ϕ_2 으로 표현