



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0131631
(43) 공개일자 2021년11월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/03 (2006.01) A61B 6/00 (2006.01)
G06T 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 6/032 (2013.01)
A61B 6/4085 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0049970
(22) 출원일자 2020년04월24일
심사청구일자 2020년04월24일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
이호
서울특별시 강남구 언주로 211(도곡동)
이익재
서울특별시 강남구 언주로 211(도곡동)
(74) 대리인
특허법인우인

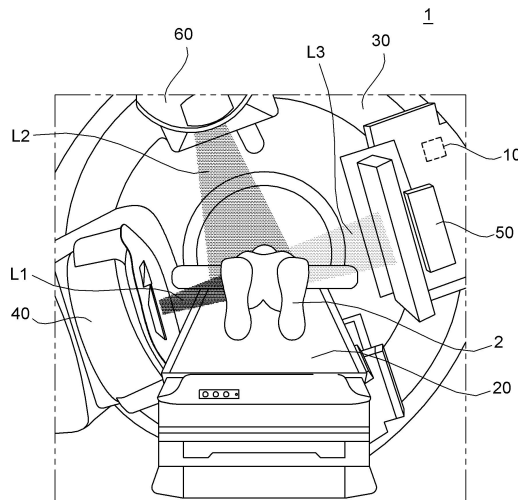
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 다중비공명호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법

(57) 요약

본 발명에 따르면, 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비평면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비평면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함하여 비공면 CBCT 영상 화질을 개선하는 다중비공명호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법이 개시된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 6/4275 (2013.01)
A61B 6/5205 (2013.01)
A61B 6/5229 (2020.08)
A61B 6/5258 (2020.08)
G06T 11/003 (2013.01)
G06T 5/001 (2013.01)
G06T 5/50 (2013.01)
G06T 7/11 (2017.01)
G06T 2207/10081 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345312599
과제번호	2019R1I1A1A01062157
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	학문균형발전지원사업
연구과제명	딥 콘빔형 전산화 단층촬영 영상 생성을 위한 핵심 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2019.06.01 ~ 2022.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 있어서,
 피검사체가 위치하며, 기 설정된 각도로 회전하는 카우치;
 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리;
 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체에 방사선 빔을 조사하는 방사선 조사부;
 상기 갠트리에 연결되며 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득하는 영상 획득부; 및
 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 영상 처리부;
 를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 기 저장된 사전 영상은,
 상기 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상인 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 영상 처리부는,
 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는 사전 영상 입력부;
 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는 비공면 영상 입력부;
 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정하는 매칭부; 및
 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하는 영상 정합부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,
 상기 영상 처리부는,
 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성하는 타겟 영상 생성부; 및
 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 중첩 영역 검출부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 중첩 영역 검출부는,

반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성하는 분할 사전 영상 생성부; 및

상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성하는 재구성 타겟 영상 생성부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 중첩 영역 검출부는,

상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성하는 거리 지도 생성부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 영상 처리부는,

생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성하는 가중치 맵 생성부;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 반복적 재구성 알고리즘은,

상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 9

콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법에 있어서,

영상 획득부가 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득하는 단계; 및

영상 처리부가 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 이용하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하며,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 이용하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하고,

상기 기 저장된 사전 영상은, 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상인 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

사전 영상 입력부가 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는 단계;

비공면 영상 입력부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영

상을 입력 받는 단계;

매칭부가 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정하는 단계; 및

영상 정합부가 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

타겟 영상 생성부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성하는 단계; 및

중첩 영역 검출부가 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계는,

분할 사전 영상 생성부가 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성하는 단계; 및

재구성 타겟 영상 생성부가 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계는,

거리 지도 생성부가 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

가중치 맵 생성부가 생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성하는 단계;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 반복적 재구성 알고리즘은,

상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의

영상 재구성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 관한 것으로, 특히 다중비공명호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(Cone Beam Computed Tomography)은 호흡 주기 상에서 해부 체적 영상을 제공한다. CBCT 영상은 방사선 치료 전에 호흡하는 동안 연속적으로 획득되는 영상으로 치료 계획과 동일하게 환자 위치를 고정하거나 표적(또는 종양)이 계획한 물리적인 범위 내에 위치하는지 평가하기 위한 목적으로 사용된다.

[0003] 4D CBCT는 일정 시간 내에 여러 CBCT 영상들을 획득하기 위해 슬라이스 간 간격이 크게 촬영되므로, 정보량이 적고 호흡 중 연속 촬영으로 인한 움직임 인공음영(Motion Artifact)이 발생한다. 4D CBCT에서 갠트리가 저속으로 회전하기 때문에 스캔 시간이 증가하고 환자에게 조사되는 방사선량이 증가하므로, 각 호흡 주기 bin에서 적절한 개수의 프로젝션이 필요하다.

[0004] 특히, 각 호흡 주기 bin에는 약간 다른 시간 지점에서 동일한 대상을 캡처한 중복 정보를 포함하는 인접 프로젝션 데이터가 포함되어 있기 때문에 더 많은 수의 프로젝션이 필요하다. 각 위상 bin의 프로젝션 수가 부적절하면 아티팩트가 선명한 낮은 품질의 4D CBCT 영상을 획득하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 다중비공명호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법으로, 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비평면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비평면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함하여 비공면 CBCT 영상 화질을 개선하는데 그 목적이 있다.

[0006] 또한, 비공면 CBCT 영상 화질 개선으로 대조도가 향상되므로 각 아크(arc) 별 환부의 변형과 이동 상태를 정확하고 세밀하게 파악하여 치료의 정확도 향상시키는데 그 목적이 있다.

[0007] 본 발명의 명시되지 않은 또 다른 목적들은 하기의 상세한 설명 및 그 효과로부터 용이하게 추론할 수 있는 범위 내에서 추가적으로 고려될 수 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은, 피검사체가 위치하며, 기 설정된 각도로 회전하는 카우치, 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리, 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체에 방사선 빔을 조사하는 방사선 조사부, 상기 갠트리에 연결되며 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득하는 영상 획득부 및 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함한다.

[0009] 여기서, 상기 기 저장된 사전 영상은, 상기 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상이다.

[0010] 여기서, 상기 영상 처리부는, 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는 사전 영상 입력부, 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는 비공면 영상 입력부, 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정하는 매칭부 및 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상

을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하는 영상 정합부를 포함한다.

- [0011] 여기서, 상기 영상 처리부는, 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성하는 타겟 영상 생성부 및 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 중첩 영역 검출부를 포함한다.
- [0012] 여기서, 상기 중첩 영역 검출부는, 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성하는 분할 사전 영상 생성부 및 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성하는 재구성 타겟 영상 생성부를 포함한다.
- [0013] 여기서, 상기 중첩 영역 검출부는, 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성하는 거리 지도 생성부를 더 포함한다.
- [0014] 여기서, 상기 영상 처리부는, 생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성하는 가중치 맵 생성부를 더 포함한다.
- [0015] 여기서, 상기 반복적 재구성 알고리즘은, 상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행한다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법은, 영상 획득부가 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득하는 단계 및 영상 처리부가 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 이용하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하며, 상기 복원 영상을 생성하는 단계는 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 이용하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하고, 상기 기 저장된 사전 영상은, 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상이다.
- [0017] 여기서, 상기 복원 영상을 생성하는 단계는, 사전 영상 입력부가 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는 단계, 비공면 영상 입력부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는 단계, 매칭부가 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정하는 단계 및 영상 정합부가 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0018] 여기서, 상기 복원 영상을 생성하는 단계는, 타겟 영상 생성부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성하는 단계 및 중첩 영역 검출부가 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계를 포함한다.
- [0019] 여기서, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계는, 분할 사전 영상 생성부가 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성하는 단계 및 재구성 타겟 영상 생성부가 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성하는 단계를 포함한다.
- [0020] 여기서, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계는, 거리 지도 생성부가 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성하는 단계를 더 포함한다.
- [0021] 여기서, 상기 복원 영상을 생성하는 단계는, 가중치 맵 생성부가 생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성하는 단계를 더 포함한다.
- [0022] 여기서, 상기 반복적 재구성 알고리즘은, 상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행한다.

발명의 효과

- [0023] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비평면 영상을

정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비평면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 영상 처리부를 포함하여 비공면 CBCT 영상 화질을 개선할 수 있다.

[0024] 또한, 비공면 CBCT 영상 화질 개선으로 대조도가 향상되므로 각 아크(arc) 별 환부의 변형과 이동 상태를 정확하고 세밀하게 파악하여 치료의 정확도 향상시킬 수 있다.

[0025] 여기에서 명시적으로 언급되지 않은 효과라 하더라도, 본 발명의 기술적 특징에 의해 기대되는 이하의 명세서에서 기재된 효과 및 그 잠정적인 효과는 본 발명의 명세서에 기재된 것과 같이 취급된다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 나타낸 도면이다.
- 도 2 및 도 3은 다중비공면호형(multiple non-coplanar arcs) 정위적 체부 방사선치료를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 처리부를 나타낸 블록도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 중첩 영역 검출부를 나타낸 블록도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 재구성 알고리즘을 적용하여 생성한 단면 영상을 나타낸 것이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 아크(arc)별 사전 영상 생성 방법을 나타낸 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 중첩 영역 검출 방법을 나타낸 도면이다.
- 도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 반복적 재구성 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 12 내지 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법을 나타낸 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하, 본 발명에 관련된 다중비공면호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며, 설명하는 실시예에 한정되는 것이 아니다. 그리고, 본 발명을 명확하게 설명하기 위하여 설명과 관계없는 부분은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.
- [0028] 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다.
- [0029] 본 발명은 다중비공면호형기반 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템 및 영상 재구성 방법에 관한 것이다.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 나타낸 도면이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(1)은 영상 처리부(10), 카우치(20), 갠트리(30), 방사선 조사부(40), 영상 획득부(50), 영상빔 조사부(60)를 포함한다.
- [0032] 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(Four Dimensional Cone Beam Computed Tomography)은 호흡 주기 상에서 해부 적 영상을 제공한다. CBCT 영상은 방사선 치료 전에 호흡하는 동안 연속적으로 획득되는 영상으로 치료 계획과 동일하게 환자 위치를 교정하거나 표적(또는 종양)이 계획한 물리적인 범위 내에 위치하는지 평가하기 위한 목적으로 사용된다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(1)은 고선량 방사선을 1회 내지 3~4회 조사하여 분할치료하기 위해 영상을 획득하기 위한 시스템이다. 구체적으로, 본 발명은 비공면 상태에서의 CBCT 재구성 단면 영상을 획득하기 위한 것이다.
- [0034] 비공면 상태에서 갠트리, 카우치, 환자 및 영상 유도 장치 간의 충돌을 피하기 위해 특정 갠트리 각도 범위(90

° ~230°) 내에서 회전하게 된다. 비공면 상태에서는 환자의 자세를 체크하지 못하고 방사선 치료를 하게 되므로 비공면 CBCT 재구성 단면 영상의 화질을 효과적으로 개선하기 위한 방법이 필요하다.

- [0035] 카우치(20)는 피검사체가 위치하며, 기 설정된 각도로 회전한다. 카우치(20)는 치료할 환자가 드러눕는 장소로서 수평 및 수직 위치조절이 가능하도록 제공될 수 있다.
- [0036] 갠트리(30)는 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된다. 상기 갠트리(100)는 요구되는 조건 및 설계 사양에 따라 다양한 갠트리(100)가 사용될 수 있으며, 갠트리(100) 종류 및 특성에 의해 본 발명이 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 일 예로, 상기 갠트리(100)는 본체부에 회전축으로 연결되어 축회전하도록 구성될 수 있다. 경우에 따라서는 갠트리로서 통상의 링형 갠트리, 부분 링형 갠트리, C형 갠트리 등이 사용될 수 있으며, 다르게는 갠트리 대신 환자에 대하여 방사선 모듈을 다양한 회전 위치 및/또는 축 위치로 위치시킬 수 있는 어떠한 다른 프레임워크가 사용될 수도 있다.
- [0037] 방사선 조사부(40)는 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체에 방사선 빔을 조사한다.
- [0038] 영상 획득부(50)는 상기 갠트리에 연결되며 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득한다.
- [0039] 영상빔 조사부(60)는 영상을 획득하기 위해 영상 빔을 조사하며, 방사선 조사부에서 피검사체에 방사선 치료빔(L1)을 조사하면 그 경로상에 영상빔 조사부가 영상 빔(L2)을 조사하고, 영상 획득부는 피검사체를 투과한 방사선 빔(L3)을 감지한다.
- [0040] 영상 처리부(10)는 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성한다.
- [0041] 여기서, 기 저장된 사전 영상은, 상기 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상이다.
- [0042] 도 2 및 도 3은 다중비공면호형(multiple non-coplanar arcs) 정위적 체부 방사선치료를 설명하기 위한 도면이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 다중비공면호형 (multiple non-coplanar arcs) 정위적 체부 방사선치료는 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리에 연결된 방사선 조사부가 피검사체에 다양한 각도에서 방사선 빔을 조사하며 방사선 치료를 수행하며, 도 2에 나타난 바와 같이, 환자가 위치한 카우치가 갠트리를 중심으로 회전하게 된다.
- [0044] 다중비공면호형 (multiple non-coplanar arcs) 정위적 체부 방사선치료는 고선량 방사선을 1회 내지 3~4회 분할 치료하므로 환자의 위치 설정에 더 높은 정확성을 요구하며, 방사선 영상을 모니터링하기 위한 영상유도 장치를 활용한다.
- [0045] 환자를 중심으로 회전하며 방사선을 조사하는 경우, 공면호형(Coplanar arc)에 비해 선량이 소형화(dose compactness)되고 순응도(conformity)를 보인다.
- [0046] 도 3의 (a)는 360° 단일 회전을 수행한 경우의 단면 영상이고, 도 3의 (b)는 120° 부분 회전을 수행한 경우의 단면 영상이다.
- [0047] 도 3에 나타난 바와 같이, 비공면 CBCT 영상 획득의 경우, 비공면 상태에서 갠트리, 카우치, 환자 및 영상 유도장치 간의 충돌을 피하기 위해 특정 갠트리 각도 범위 (90° ~230°) 내에서 회전하므로, X-선 영상의 수는 더 적게 되며, 아티팩트(Artifact)로 인해 크게 화질 저하된 CBCT 영상이 생성된다.
- [0048] 여기서, 아티팩트(Artifact)는 모니터에 나타나는 조직 표본 제작 과정에 투입된 여러 물질이나 기법 때문에 생성된 모든 일공물을 의미한다.
- [0049] 임상에서는 카우치를 0° 에 위치하고 방사선 조사 전에 CBCT 영상 획득을 시행하나 비공면상태에서는 환자의 자세를 체크하지 못하고 방사선 치료를 수행하므로, 비공면 CBCT 재구성 단면 영상의 화질을 효과적으로 개선하기 위한 방법이 필요하다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 이에 따라, 비공면 CBCT 재구성 단면 영상의 화질을 개선하기 위한 것으로, 카우치가 회전하지 않을 상태에서 획득한 공면영상과 카우치를 회전한 상태의 비공면 영상의 정합을 수행하게 된다.

- [0051] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 처리부를 나타낸 블록도이다.
- [0052] 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(1)의 영상 처리부(10)는 사전 영상 입력부(100), 비공면 영상 입력부(200), 매칭부(300), 영상 정합부(400), 타겟 영상 생성부(500), 중첩 영역 검출부(600), 가중치 맵 생성부(700)를 포함한다.
- [0053] 영상 처리부(10)는 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성한다.
- [0054] 사전 영상 입력부(100)는 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는다.
- [0055] 비공면 영상 입력부(200)는 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는다.
- [0056] 매칭부(300)는 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정한다.
- [0057] 영상 정합부(400)는 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성한다.
- [0058] 타겟 영상 생성부(500)는 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성한다.
- [0059] 여기서, 반복적 재구성 알고리즘은, 상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행한다.
- [0060] 중첩 영역 검출부(600)는 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성한다.
- [0061] 가중치 맵 생성부(700)는 생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성한다.
- [0062] 반복적 재구성 알고리즘을 수행하면서 매 반복과정동안 업데이트 된 재구성 단면 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 분할한 타겟 영상을 생성한 후에, 분할 사전 영상과의 비교를 통해 가중치 맵을 갱신할 수 있다.
- [0063] 구체적으로, 반복적 재구성(Iterative Reconstruction) 알고리즘에 따라 복원 영상을 생성한다. 프로젝션 볼륨을 재구성하여 복원 영상을 생성하고, 복원 영상을 리프로젝션(Reprojection)하여 재투영 영상을 생성하고, 재투영 영상에 가중치 맵을 적용하고, 다시 반복적 재구성 알고리즘을 적용한다.
- [0064] 구체적으로, 반자동분할도구를 이용해 분할된 사전 영상과 반복적 재구성 알고리즘의 매 반복과정동안 업데이트 된 재구성 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용해 얻은 분할 타겟 영상을 이용하여 가중치 맵을 갱신할 수 있다. 타겟 영상의 영역을 분할하는 과정은 타겟 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 타겟 영상의 밝기 값으로 정의된 목적 함수를 최적화하여 타겟 영상을 그룹화할 수 있다. 타겟 영상의 영역을 분할하는 과정은 특정 그룹의 중심 벡터로부터 가까운 벡터는 높은 가중치를 갖도록 설정하고 특정 그룹의 중심 벡터로부터 먼 벡터는 낮은 가중치를 갖도록 설정하여 타겟 영상의 밝기 값을 분류하며, 모든 그룹의 중심 벡터를 다시 산출하며 산출한 중심 벡터가 바뀌지 않을 때까지 가중치를 부여하는 과정을 반복하여 수행할 수 있다.
- [0065] 가중치 맵(Weighted Relaxation Map)은 비교되는 영상 간에 불일치 영역을 검출하고 불일치 영역의 픽셀 또는 복셀의 인텐시티 정보를 거리 변환하여 산출된다. 상기 가중치 맵에 포함된 픽셀 또는 복셀은 불일치 영역의 분포 특징을 나타내는 완화 계수를 대표한다. 완화 계수는 최적화 함수의 반복 횟수를 조절하는 계수이며, 반복적 재구성 알고리즘의 반복 횟수가 변경될 수 있다. 가중치 완화 맵의 완화 계수는 불일치 정도가 높을수록 높은 가중치가 할당되고, 불일치 정도가 낮을수록 낮은 가중치가 할당된다.
- [0066] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 중첩 영역 검출부를 나타낸 블록도이다.
- [0067] 도 5를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(1)의 중첩 영역 검출부(600)는 분할 사전 영상 생성부(610), 재구성 타겟 영상 생성부(620), 거리 지도 생성부(630)를 포함한다.

- [0068] 중첩 영역 검출부(600)는 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성한다.
- [0069] 분할 사전 영상 생성부(610)는 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성한다.
- [0070] 재구성 타겟 영상 생성부(620)는 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성한다.
- [0071] 거리 지도 생성부(630)는 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성한다.
- [0072] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 재구성 알고리즘을 적용하여 생성한 단면 영상을 나타낸 것이다.
- [0073] 타겟 영상 생성부(500)는 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성한다.
- [0074] 여기서, 복수의 비공면 영상은 카우치를 제한된 회전 범위 내에서 회전한 상태에서 촬영된 적은 수의 X-선 영상들을 의미한다.
- [0075] 반복적 재구성 알고리즘은, 적응형 사전영상제약 압축센싱(adaptive prior image constrained compressed sensing; APICCS)을 활용한다.
- [0076] 이전에 동일환자로부터 얻어진 고화질 사전 영상(Prior image)을 활용하며, 사전 영상에서 승계된 일치 영역으로 인해 더 높은 신호대잡음비(SNR)가 있다.
- [0077] 도 6에 나타난 바와 같이, APICCS 알고리즘과 기존 재구성 알고리즘을 적용하여 생성한 CBCT 단면영상 비교하면, 화질이 개선된 것을 확인할 수 있다.
- [0078] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법을 나타낸 도면이다.
- [0079] 4D CBCT는 일정 시간 내에 여러 CBCT 영상들을 획득하기 위해 슬라이스 간 간격이 크게 촬영되므로, 정보량이 적고 호흡 중 연속 촬영으로 인한 움직임 인공음영(Motion Artifact)이 발생한다. 4D CBCT에서 갠트리가 저속으로 회전하기 때문에 스캔 시간이 증가하고 환자에게 조사되는 방사선량이 증가하므로, 각 호흡 주기 bin에서 적절한 개수의 프로젝션이 필요하다.
- [0080] 특히, 각 호흡 주기 bin에는 약간 다른 시간 지점에서 동일한 대상을 캡처한 중복 정보를 포함하는 인접 프로젝션 데이터가 포함되어 있기 때문에 더 많은 수의 프로젝션이 필요하다. 각 위상 bin의 프로젝션 수가 부적절하면 아티팩트가 선명한 낮은 품질의 4D CBCT 영상을 획득하게 된다.
- [0081] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법은 비공면 CBCT 영상 화질 개선으로 대조도가 향상되므로 각 아크(arc) 별 환부의 변형과 이동 상태를 정확하고 세밀하게 파악하여 치료의 정확도 향상시킬 수 있고, 보다 안전한 환자치료를 제공할 수 있으므로 방사선 치료에 대한 결과가 합병증 발생률이 낮아지며 전반적인 생존율을 개선할 수 있다.
- [0082] 또한, 비공면 CBCT 영상을 이용한 적응형 방사선 치료(adaptive radiotherapy)의 임상 적용이 가능하도록 한다.
- [0083] 도 7에 나타난 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법은 Prior 영상 생성, 영상정합, 기계학습, 반복적 재구성 알고리즘으로 구성되며, 도 8 내지 도 10에서 상세히 설명한다.
- [0084] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 아크(arc)별 사전 영상 생성 방법을 나타낸 도면이다.
- [0085] 본 발명은 공면(Coplanar) CBCT와 비공면(non-coplanar) CBCT간 강제 영상정합을 통해 기하학적으로 대응되는 아크(arc)별 비공면(non-coplanar) CBCT 사전영상을 생성한다.
- [0086] 구체적으로, 사전 영상 입력부(100)는 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는다.
- [0087] 기 저장된 사전 영상은 이미 저장된 prior CBCT 영상(110)이며, 카우치가 회전하지 않은 상태에서 획득한

Coplanar CBCT 영상을 prior CBCT 영상으로 불러온다.

- [0088] 비공면 영상 입력부(200)는 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는다.
- [0089] 카우치를 회전한 상태 (45도, 90도, 135도 등)에서 획득한 non-coplanar CBCT(210)을 생성한다.
- [0090] 매칭부(300)는 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정한다.
- [0091] 구체적으로, 유사도 평가를 위해 정규화된 상호정보량 (normalized mutual information, NMI) 척도함수를 사용한다. NMI는 두 영상이 중첩된 영역 내 밝기값 관계를 확률밀도 계산을 통해 위치를 탐색하는 유사도 평가함수이며, 두 영상 각각의 조인트 히스토그램의 엔트로피를 계산하여 합산한 값과, 중첩된 영역의 조인트 히스토그램의 엔트로피를 계산한 값을 비교하여 상기 중첩 정도를 계산하는 방법이다.
- [0092] 조인트 히스토그램을 생성하여 엔트로피를 계산하여 정규화된 상호정보량을 계산하게 된다, 매칭값인 $Y(A_s, B_0)$ 의 값이 낮을수록 조인트 엔트로피가 높아짐을 의미하며 패턴이 몰리지 않고 퍼져있음을 의미한다. 매칭값이 커지면 한부분에 밝기값이 몰려있다는 의미이며, 조인트 엔트로피가 낮아지게 된다.
- [0093] 매칭값이 높아질 때까지 제1 파라미터와 제2 파라미터를 조정하며, 최적의 매칭값에서 두 영상을 오버랩한다.
- [0094] 두 영상간의 정합을 위해서, optimization을 통해 강제 변환 파라미터들을 탐색하고 탐색된 강제 변환을 이용해 한쪽의 영상(310)을 기하학적으로 변형한다.
- [0095] 유사도 지수에 따라 매칭점(320)을 결정한다.
- [0096] 영상 정합부(400)는 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성한다.
- [0097] 이에 따라, 영상정합 전 이미 저장된 prior CBCT 영상과 non-coplanar CBCT 영상을 합성한 영상(410)에서 결정된 매칭점을 이용하여 합성된 영상(420)의 축이 정렬된 것을 확인할 수 있다.
- [0098] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 중첩 영역 검출 방법을 나타낸 도면이다.
- [0099] 본 발명은, 밝기값 기반 Fuzzy C-Means 클러스터링(Clustering) 알고리즘을 적용하여 Prior image와 단계별 생성된 CBCT 영상간 국부적 차이가 나는 부분을 검출한다.
- [0100] 도 9에서 좌측은 사전 영상인 coplanar CBCT 영상이고, 우측은 non-coplanar CBCT 영상이다.
- [0101] 중첩 영역 검출부(600)는 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성한다.
- [0102] 구체적으로, 분할 사전 영상 생성부(610)는 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성한다.
- [0103] 밝기값 기반 및 반자동(semi-automatic) 분할도구를 이용해 skull, tissue, air로 구역화된 분할 사전 영상(clustered prior image)을 생성한다.
- [0104] 재구성 타겟 영상 생성부(620)는 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성한다.
- [0105] 반복적 재구성 알고리즘을 근간으로 동작을 한다. 반복이 진행되면서 매 단계에서 생성되는 CBCT 영상에 Fuzzy C-means clustering 알고리즘을 적용하여 clustered non-coplanar CBCT 영상이 만들어진다. 오른쪽 그림은 60번까지 반복적으로 수행되었을 때, 매 단계에서 얻어진 CBCT영상(21번째, 40번째, 60번째)을 의미한다.
- [0106] 거리 지도 생성부(630)는 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성한다.
- [0107] clustered prior CBCT영상과 매 반복단계에서 얻어진 clustered non-coplanar CBCT영상과 차영상을 계산하여 동일한 밝기값을 가지는 영역은 0으로 하고 그렇지 않은 영역은 1로 표현하는 이진영상을 생성한다. 이진영상에서 1로 표현된 부분이 국부적으로 차이가 나는 부분이다.

- [0108] 중첩되는 영역이 나타난 이진영상에 3D 거리지도 변환을 통해서 거리지도를 생성한다. 거리지도는 국부적으로 차이가 나는 부분은 0이고 그 외 화소들은 1보다 큰 정수로 표현된다. 생성된 거리지도로부터 국부적으로 차이가 나는 부분은 가장 큰 가중치인 1로 표현되고 주변을 둘러싼 최인접 화소로부터 멀어질수록 낮은 가중치가 표현되도록 $1/(distance+1)$ 을 적용하여 가중치 맵(weighted relaxation map)을 생성한다.
- [0109] 도 10 및 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 반복적 재구성 알고리즘을 설명하기 위한 도면이다.
- [0110] 타겟 영상 생성부(500)는 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성한다.
- [0111] 여기서, 반복적 재구성 알고리즘은, 상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행한다.
- [0112] 구체적으로, 반자동분할도구를 이용해 분할된 사전 영상과 반복적 재구성 알고리즘의 매 반복과정동안 업데이트된 재구성 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용해 얻은 분할 타겟 영상을 이용하여 가중치 맵을 갱신할 수 있다. 타겟 영상의 영역을 분할하는 과정은 타겟 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 타겟 영상의 밝기 값으로 정의된 목적 함수를 최적화하여 타겟 영상을 그룹화할 수 있다. 타겟 영상의 영역을 분할하는 과정은 특정 그룹의 중심 벡터로부터 가까운 벡터는 높은 가중치를 갖도록 설정하고 특정 그룹의 중심 벡터로부터 먼 벡터는 낮은 가중치를 갖도록 설정하여 타겟 영상의 밝기 값을 분류하며, 모든 그룹의 중심 벡터를 다시 산출하며 산출한 중심 벡터가 바뀌지 않을 때까지 가중치를 부여하는 과정을 반복하여 수행할 수 있다.
- [0113] 반복적 재구성 알고리즘을 도 10을 참조하여 설명하면, 복수의 비공면 영상(Non-coplanar CBCT projection 영상)(510)을 획득하며, 콘빔 CT detector에 저장된 X-선 영상을 의미한다.
- [0114] 반복적 재구성 알고리즘인 SART알고리즘을 데이터 적합성 적용하여 반복 단계별로 Non-coplanar CBCT 단면영상(520)을 생성한다.
- [0115] 이후, 2차원 슬라이스 영상으로부터 gradient transform을 적용하여 기울기 영상(530)을 생성한다.
- [0116] 기울기 영상에 대한 TV 정규화(Total variation regularization)를 통해 정규화된 영상(540)으로 변형하고, 정규화된 영상을 이용하여 영상을 재구성하여, 재구성된 영상(550)으로부터 2차원 슬라이스 영상을 획득한다.
- [0117] 반복적 재구성 알고리즘은, 적응형 사전영상제약 압축센싱(adaptive prior image constrained compressed sensing; APICCS)을 활용하며, 수학식 1로 나타난다.

수학식 1

$$\mu^* = \arg \min \left(\alpha \left| \psi_1(\mu - \mu_p) \right|_{l_1} + (1 - \alpha) \left| \psi_2(\mu) \right|_{l_1} \right)$$

$$\text{subject_to } \left| A\mu - p \right|_{l_2} \leq \varepsilon, \mu \geq 0$$

- [0118]
- [0119] 여기서, μ 는 non-coplanar CBCT영상의 감쇠계수 (attenuation coefficient), μ_p 는 prior 영상의 감쇠계수 (attenuation coefficient), A는 각 복셀당 ray가 차지하는 비율을 계산하여 이들로 구성된 system matrix (하기 도 11 참조)이다.
- [0120] 데이터 정확도(data fidelity)를 위한 가중치 완화(weighted relaxation) 기능을 갖춘 SART는 수학식 2로 나타난다.

수학식 2

$$\mu_j^k = \mu_j^{(k-1)} + \lambda_j \frac{\sum_{p_i \in P_s} \left(\frac{p_i - \sum_{n=1}^N a_{in} \mu_n^{k-1}}{\sum_{n=1}^N a_{in}} \right) a_{ij}}{\sum_{p_i \in P_s} a_{ij}}$$

[0121]

[0122] 여기서, P: p_i 는 i 번째 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값이다.

[0123] a_{ij} 는 i 번째 ray가 j 번째 복셀을 지나갈때 ray의 길이이며, a_{in} 는 i 번째 ray가 지나가는 모든 복셀들의 인덱스를 n 으로 하여 그 ray가 지나가는 모든 복셀들(1부터 N 까지)의 길이이다. 즉 그 복셀의 a_{ij} 값과 μ_j 를 곱한후에 모두 더해 가상의 P_i 를 계산한다는 의미이다.

[0124] 이미지 정확도(image fidelity)를 위한 TV 정규화(TV regularization)는 수학식 3으로 나타난다.

수학식 3

$$|\psi(\mu)|_{l_1} = \sum_j G_j^{(\mu)}$$

[0125]

[0126] 도 11은 각 복셀당 ray가 차지하는 비율을 계산하여 이들로 구성된 system matrix를 나타낸 것이다.

[0127] 도 12 내지 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법을 나타낸 흐름도이다.

[0128] 도 12를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법은, 영상 획득부가 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 비공면 영상을 획득하는 단계(S100)에서 시작한다.

[0129] 단계 S200에서 영상 처리부가 기 저장된 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성하고, 상기 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성한다.

[0130] 상기 기 저장된 사전 영상은, 카우치가 회전하지 않은 상태에서 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 획득한 영상이다.

[0131] 아크(arc)별 사전 영상과 재구성된 비공면 영상간의 중첩되는 영역을 검출하여 복원 영상을 생성하는 단계(S200)를 도 13에서 상세히 설명한다.

[0132] 도 13을 참조하면, 단계 S210에서 사전 영상 입력부가 상기 기 저장된 사전 영상을 입력 받는다.

[0133] 단계 S220에서 비공면 영상 입력부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 입력 받는다.

[0134] 단계 S230에서 매칭부가 상기 사전 영상을 강제 변환하기 위한 제1 파라미터와, 제2 파라미터 각각에 따른 상기 사전 영상과 상기 비공면 영상 간의 유사도 지수를 계산하고, 상기 유사도 지수에 따라 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 결정한다.

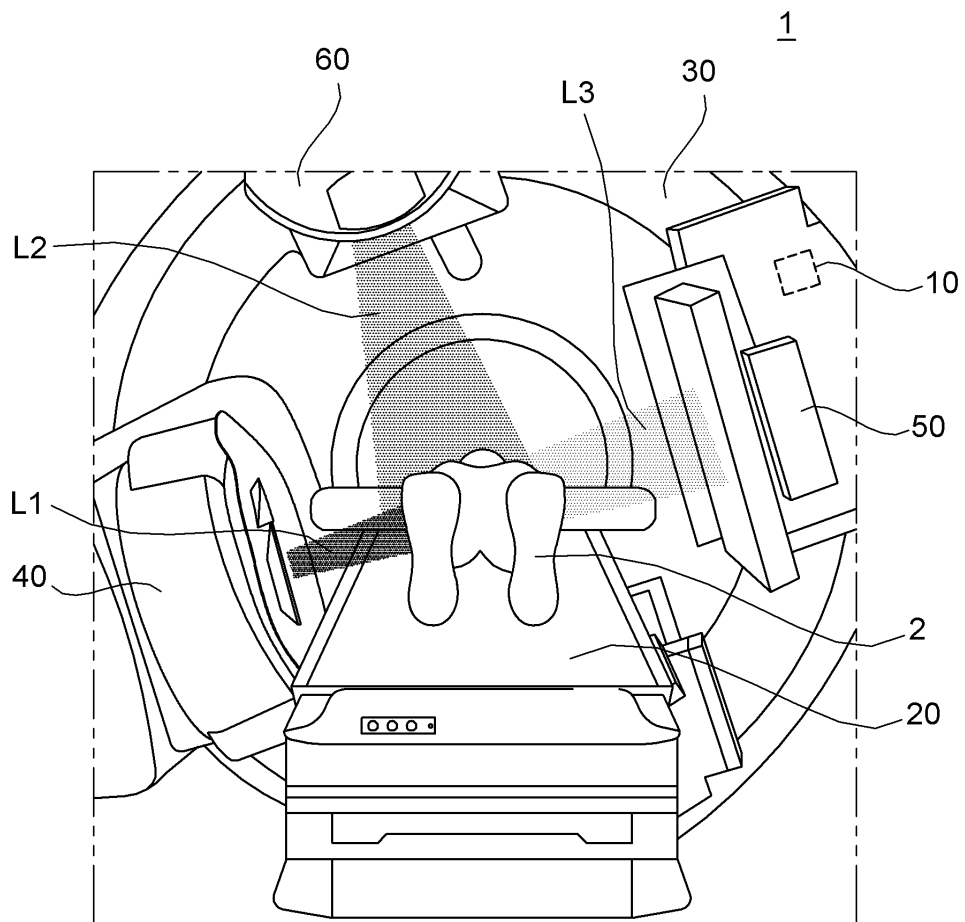
[0135] 단계 S240에서 영상 정합부가 상기 제1 파라미터와 상기 제2 파라미터를 설정값으로 하여 상기 사전 영상과 상기 복수의 비공면 영상을 정합하여 아크(arc)별 사전 영상을 생성한다.

[0136] 단계 S250에서 타겟 영상 생성부가 상기 카우치가 설정된 각도로 회전한 상태에서 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상을 반복적 재구성 알고리즘을 통해 재구성하여 타겟 영상을 생성한다.

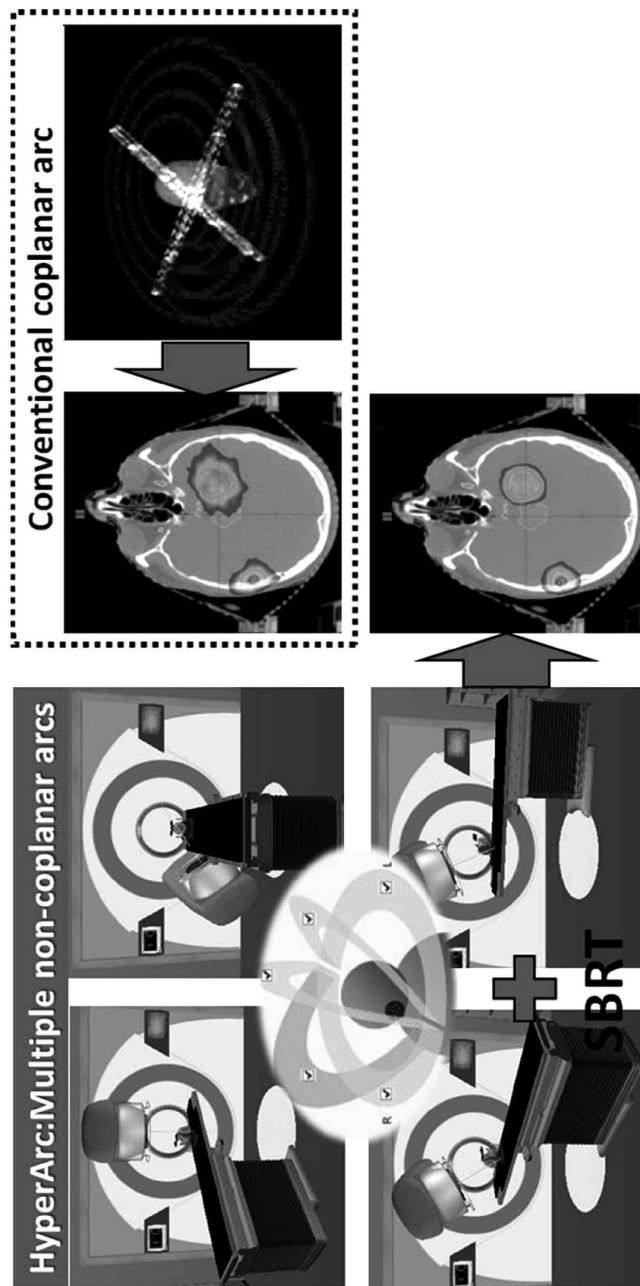
- [0137] 여기서, 반복적 재구성 알고리즘은, 상기 각도 별로 획득한 상기 복수의 비공면 영상의 단면 영상을 생성하고, 상기 단면 영상으로부터 기울기 변환을 적용하여 기울기 영상을 생성하여 정규화를 진행하는 것이다.
- [0138] 단계 S260에서 중첩 영역 검출부가 상기 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성한다.
- [0139] 단계 S270에서 가중치 맵 생성부가 생성된 상기 거리 지도를 이용하여 상기 중첩되는 영역으로부터 인접한 영역에 따라 다른 가중치로 표현한 가중치 맵을 생성한다.
- [0140] 아크(arc)별 사전 영상과 상기 타겟 영상에서 중첩되는 영역을 검출하여 상기 중첩되는 영역의 거리 지도를 생성하는 단계(S260)를 도 14에서 상세히 설명한다.
- [0141] 도 14를 참조하면, 단계 S261에서 분할 사전 영상 생성부가 반자동분할도구를 이용하여 상기 아크(arc)별 사전 영상의 영역을 분할하여 분할 사전 영상을 생성한다.
- [0142] 단계 S262에서 재구성 타겟 영상 생성부가 상기 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용하여 재구성 타겟 영상을 생성한다.
- [0143] 단계 S263에서 거리 지도 생성부가 상기 분할 사전 영상과 상기 재구성 타겟 영상의 차영상을 계산하여 밝기값의 차이에 따라 중첩되는 영역을 검출하고, 상기 중첩되는 영역의 거리 지도 변환을 통해 삼차원의 거리 지도를 생성한다.
- [0144] 이상의 설명은 본 발명의 일 실시예에 불과할 뿐, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허 청구 범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

도면

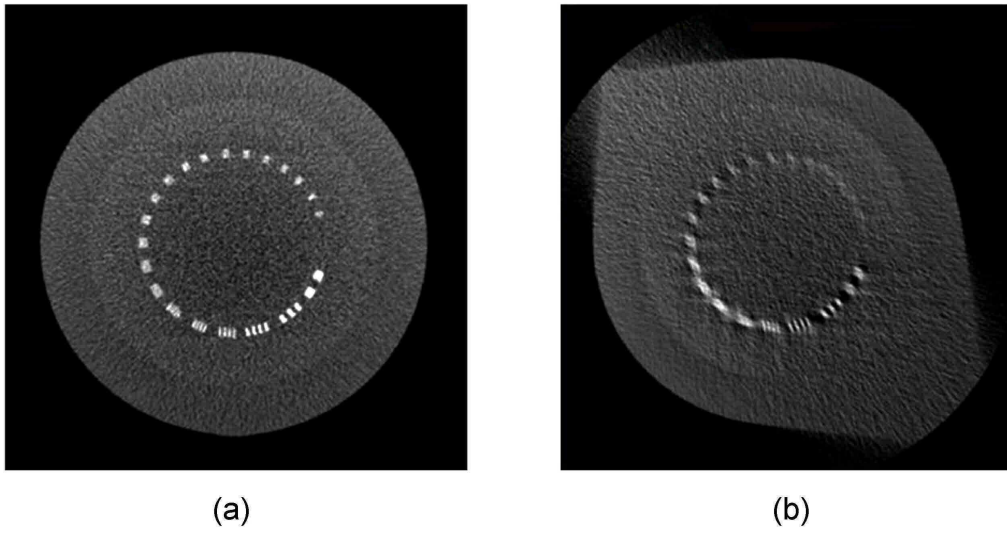
도면1



도면2

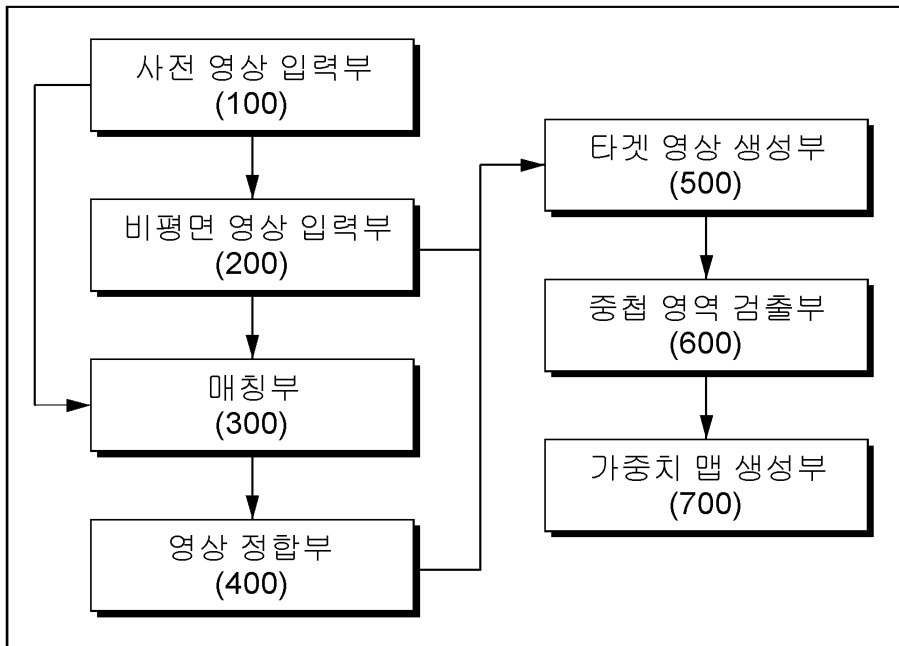


도면3



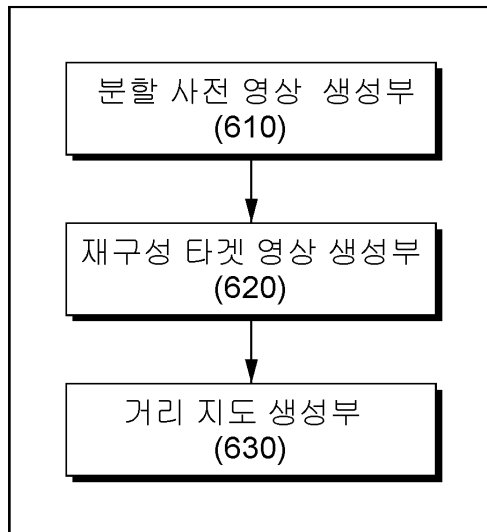
도면4

10

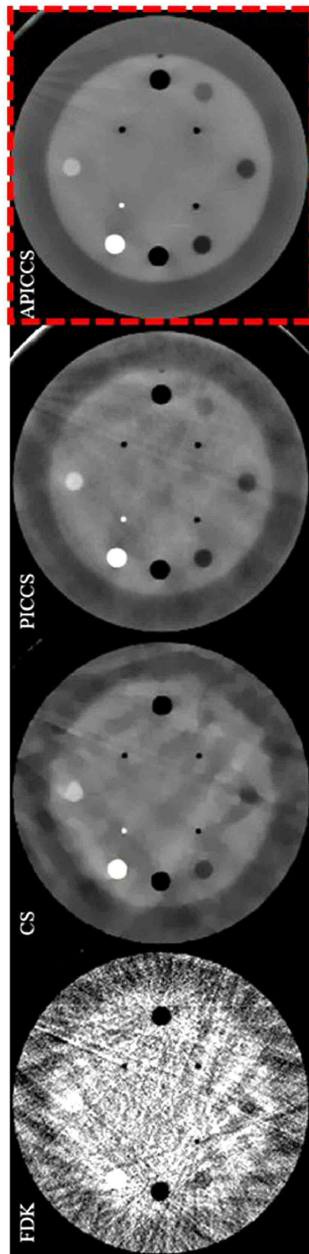


도면5

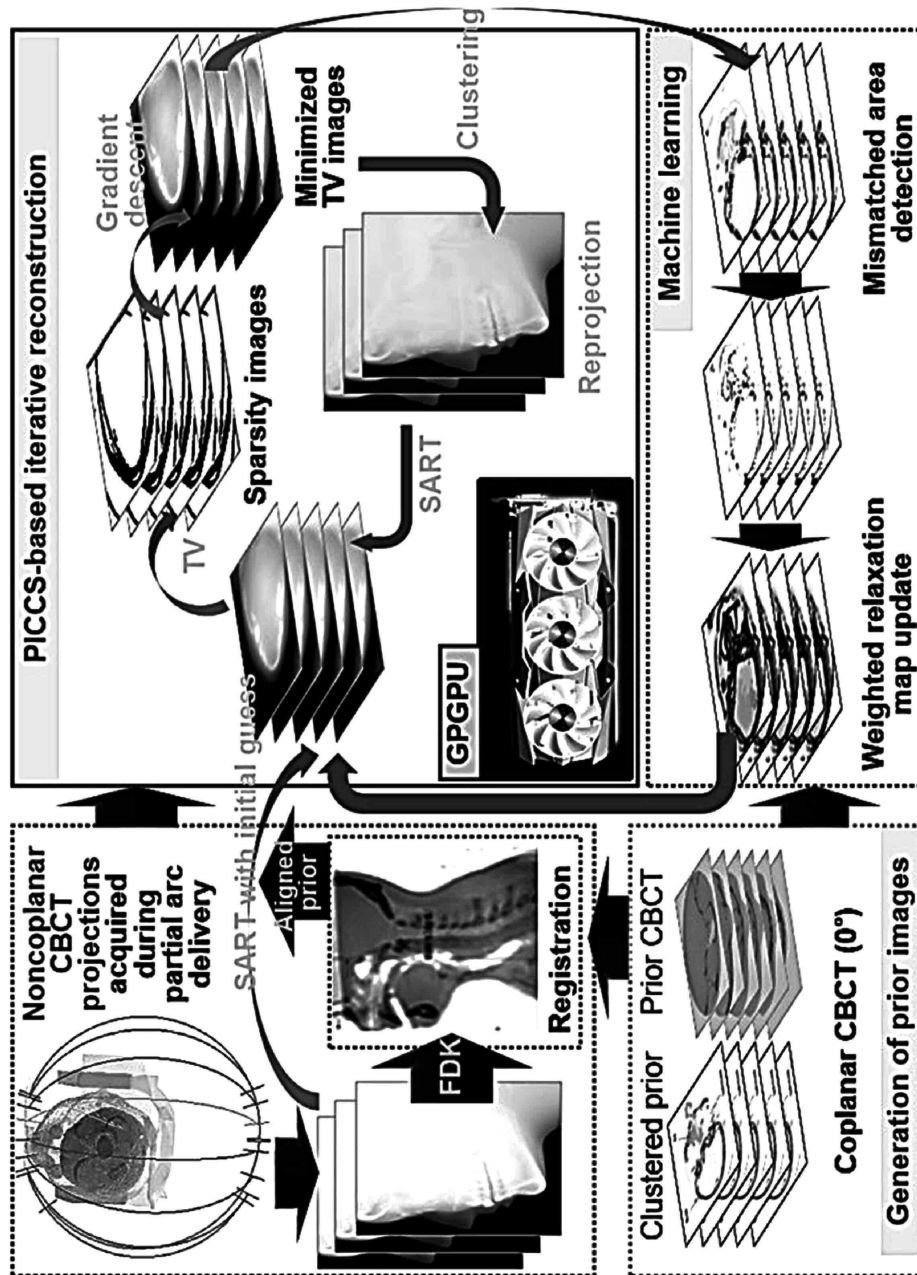
600



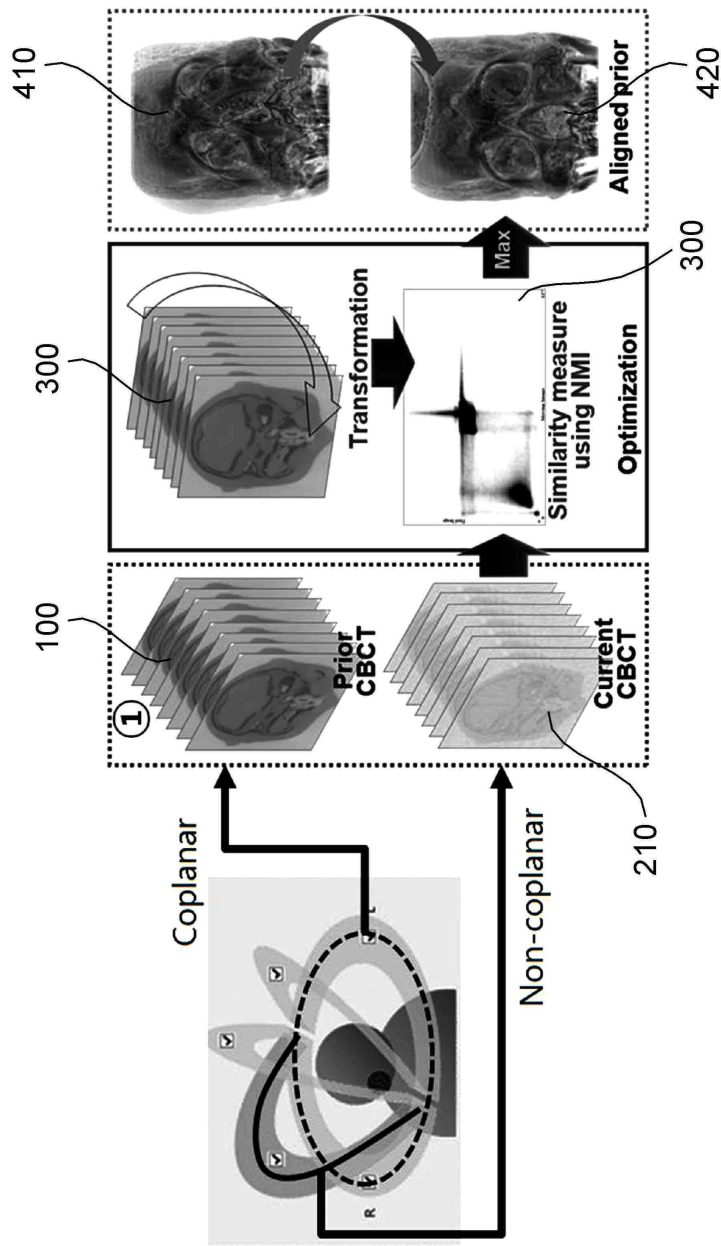
도면6



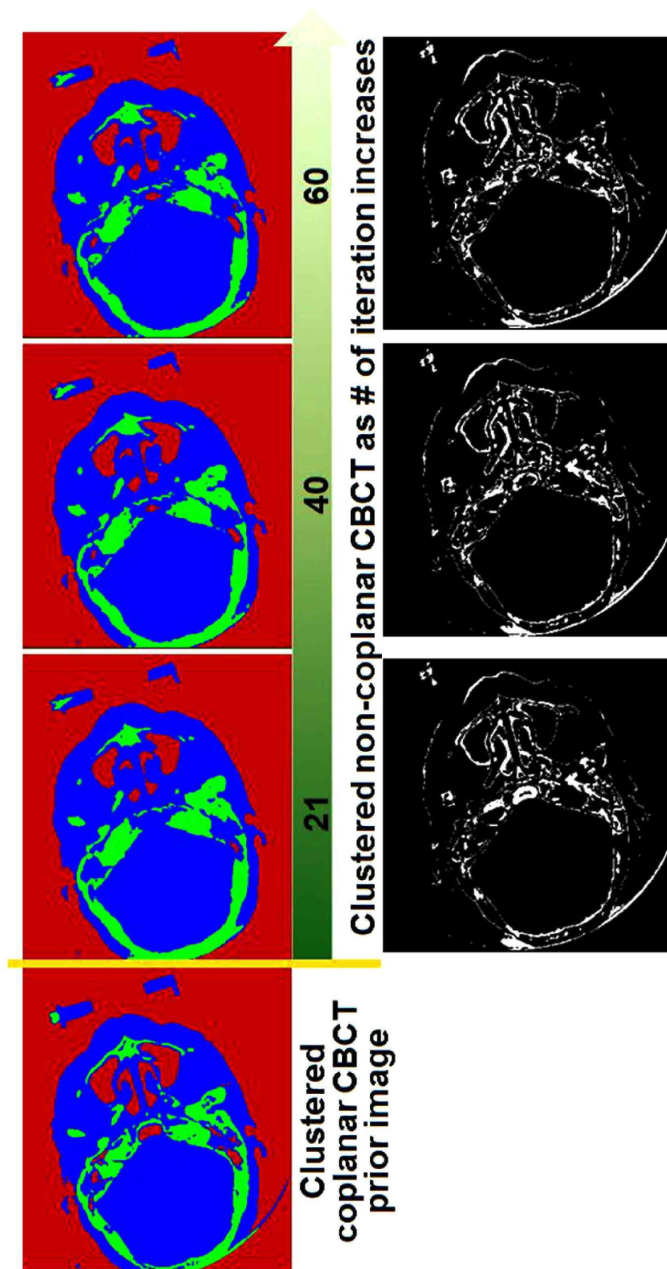
도면7



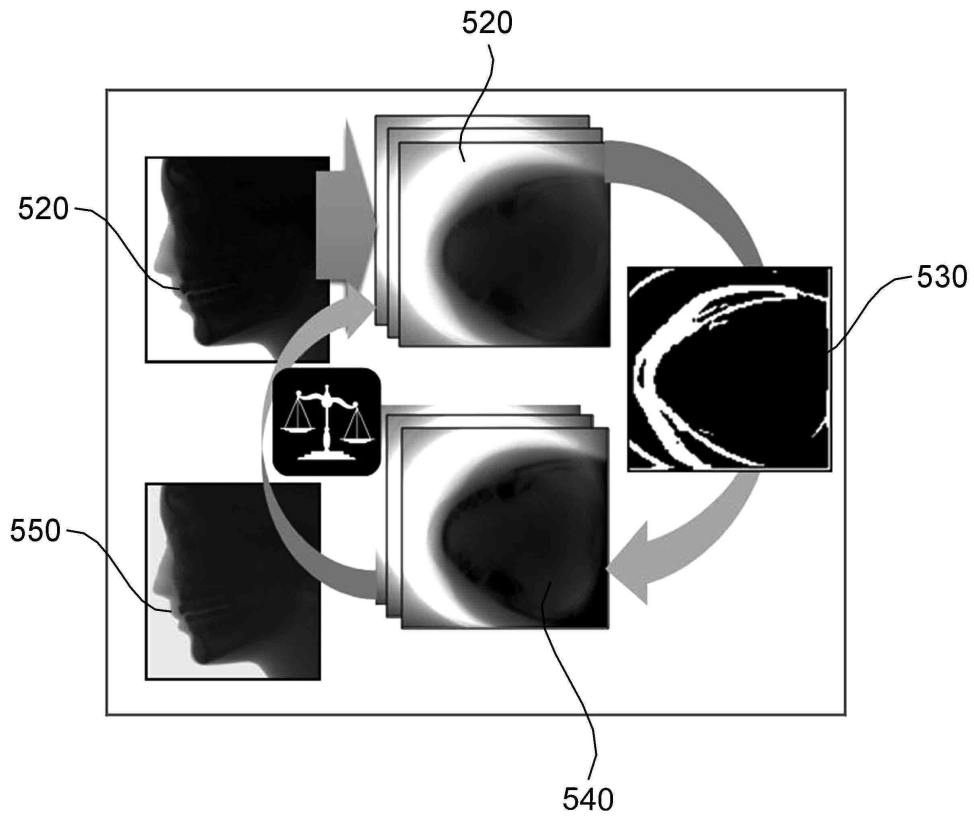
도면8



도면9

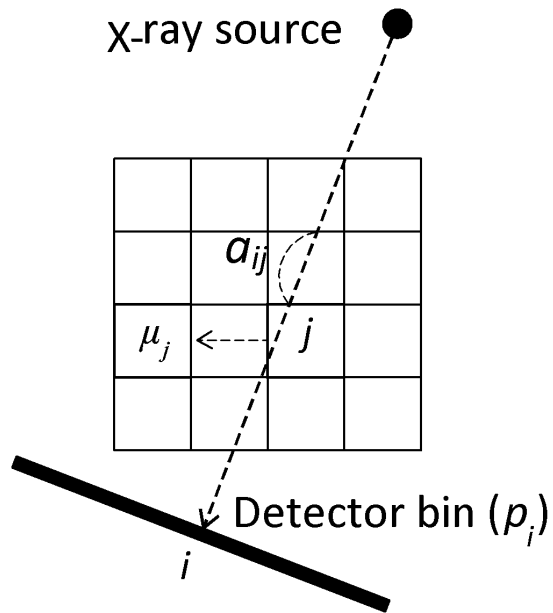


도면10

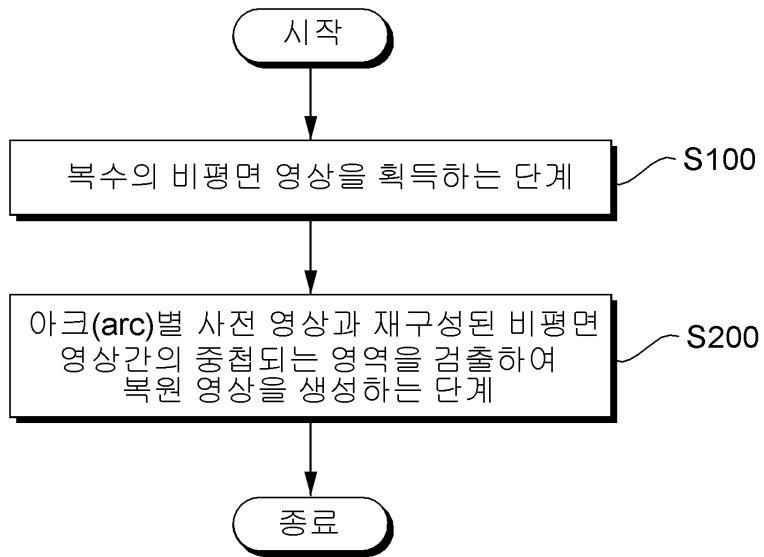


도면11

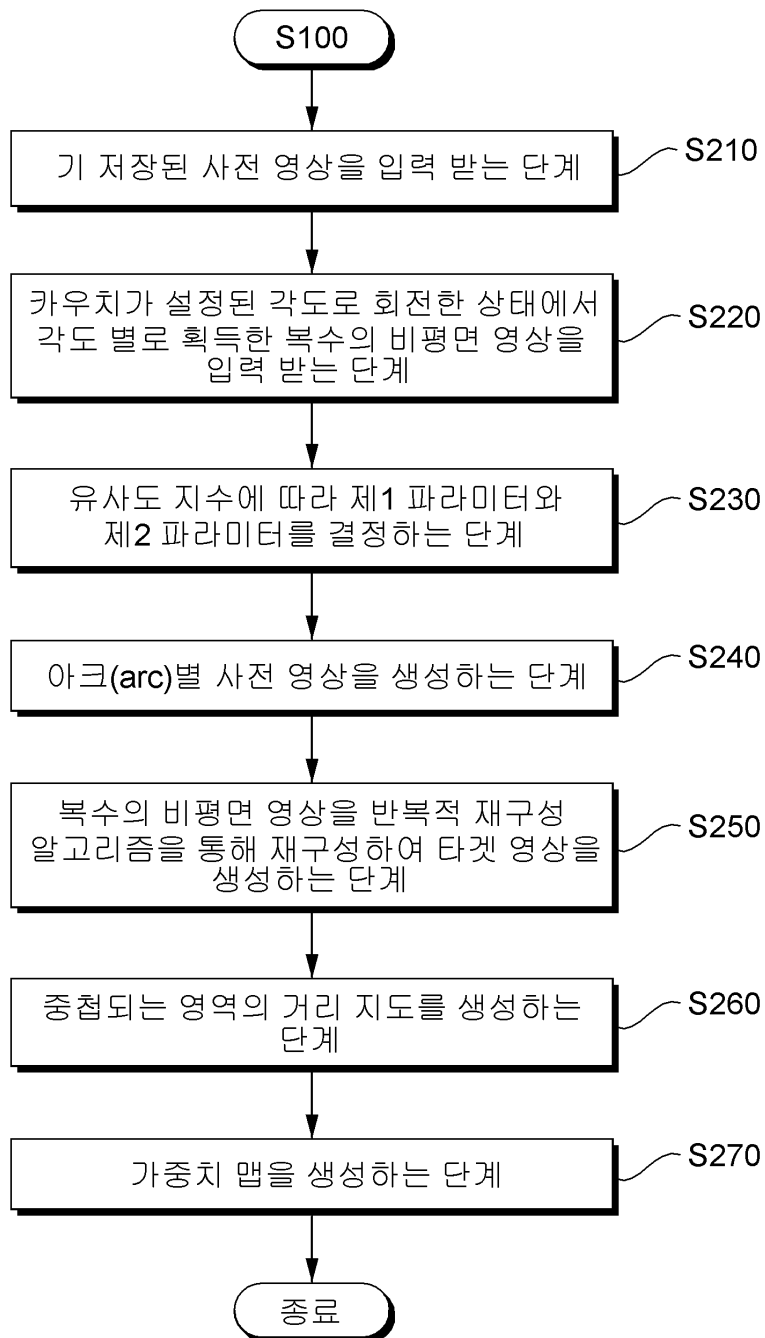
$$\left\| \begin{bmatrix} \overbrace{a_{1,1} \quad a_{1,2} \quad \cdots \quad a_{1,n-1} \quad a_{1,n}}^{a_{i,j}} \\ \overbrace{a_{2,1} \quad a_{2,2} \quad \cdots \quad a_{2,n-1} \quad a_{2,n}}^{a_{i,j}} \\ \vdots \\ \overbrace{a_{m-1,1} \quad a_{m-1,2} \quad \cdots \quad a_{m-1,n-1} \quad a_{m-1,n}}^{a_{i,j}} \\ \overbrace{a_{m,1} \quad a_{m,2} \quad \cdots \quad a_{m,n-1} \quad a_{m,n}}^{a_{i,j}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_{n-1} \\ \mu_n \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_{m-1} \\ p_m \end{bmatrix} \right\|_{l_2} \leq \epsilon$$



도면12



도면13



도면14

