



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년07월24일

(11) 등록번호 10-2137765

(24) 등록일자 2020년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/03 (2006.01) A61B 6/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
A61B 6/03 (2013.01)
A61B 6/4085 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0096552

(22) 출원일자 2018년08월20일

심사청구일자 2018년08월20일

(65) 공개번호 10-2020-0021156

(43) 공개일자 2020년02월28일

(56) 선행기술조사문헌

US20140192952 A1*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 15 항

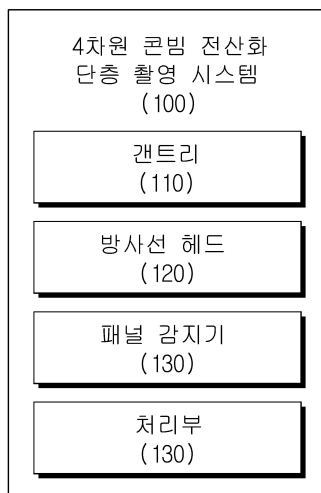
심사관 : 이기철

(54) 발명의 명칭 사전 영상을 이용하는 고품질의 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템

(57) 요약

본 실시예들은 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하고, 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성함으로써, 적은 수의 프로젝션 영상을 이용하여 고품질의 영상을 재구성할 수 있는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

A61B 6/5205 (2013.01)

A61B 6/5223 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP5619707 B2

JP2010501856 A

JP2015535434 A

US20120207370 A1

JP2008546464 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017M2A2A6A01070330

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 방사선기술개발사업

연구과제명 차세대 영상유도 방사선 치료를 위한 고속 고화질 단일선원 이중에너지 콘빔 CT 영상화 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2017.09.21 ~ 2020.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2015R1D1A1A01056850

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 이공학개인지초연구

연구과제명 저선량 고선명 4차원 콘빔 CT 영상 재구성 알고리즘 개발

기 여 율 1/2

주관기관 연세대학교

연구기간 2015.11.01 ~ 2018.10.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 있어서,

적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리;

상기 갠트리에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사하는 방사선 헤드;

상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션 데이터를 획득하는 패널 감지기; 및

상기 복수의 프로젝션 데이터를 상기 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하고, 상기 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 상기 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부를 포함하며,

상기 처리부는 상기 부분 프로젝션 데이터를 사전 영상으로 적용하고 상기 가중치 완화 맵을 타겟 영상으로 적용하고, 상기 사전 영상과 상기 타겟 영상을 비교한 차영상으로 정의된 제1 목적 함수를 최소화하는 제약 최적화(Constraint Optimization) 기반의 반복적 재구성(Iterative Reconstruction) 알고리즘에 따라 상기 복원 영상을 생성하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 가중치 완화 맵은 비교되는 영상 간에 불일치 영역을 검출하고 상기 불일치 영역의 픽셀 또는 복셀의 인텐시티 정보를 거리 변환하여 산출되며, 상기 가중치 완화 맵에 포함된 상기 픽셀 또는 상기 복셀은 상기 불일치 영역의 분포 특징을 나타내는 완화 계수를 대표하며, 상기 완화 계수에 따라 상기 반복적 재구성 알고리즘의 반복 횟수가 변경되는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 가중치 완화 맵의 상기 완화 계수는 불일치 정도가 높을수록 높은 가중치가 할당되고, 불일치 정도가 낮을수록 낮은 가중치가 할당되는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 처리부는 상기 제1 목적 함수를 최소화하기 위하여, 상기 제1 목적 함수의 데이터 적합도를 최소화하고 상기 제1 목적 함수의 영상 적합도를 최소화하며, 상기 데이터 적합도를 최소화하는 것은 상기 가중치 완화 맵을 기반으로 반복적 재구성 알고리즘을 적용하고, 상기 영상 적합도를 최소화하는 것은 적응적 경사 하강법을 적용하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 처리부는 상기 제1 목적 함수에 경계 영역과 잡음 영역을 분리하는 이방 계수를 추가하여 주변 픽셀과의 대조도에 따라 차등적으로 계산하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 처리부는 상기 사전 영상의 복셀의 8개의 모서리로부터 상기 패넬 감지기에 대응하는 픽셀의 위치를 산출하고 상기 대응하는 픽셀을 포함하는 볼록 집합(Convex Hull) 내부의 픽셀에 대하여만 상기 패넬 감지기의 각 채널의 중심 위치로부터 선속(Ray)를 시작하여 상기 복셀을 투과하면서 상기 복셀에서 교차되는 길이를 산출하고 상기 교차되는 길이만큼의 가중치를 적용하여 상기 복셀을 갱신하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 처리부는 상기 사전 영상의 영역을 반자동분할도구를 이용하여 분할하고, 상기 분할한 사전 영상과 반복적 재구성 알고리즘의 매 반복과정동안 업데이트된 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용해 얻은 분할 타겟 영상을 이용하여 상기 가중치 완화 맵을 갱신하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 타겟 영상의 영역을 분할하는 것은, 상기 사전 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 상기 사전 영상의 밝기 값으로 정의된 제2 목적 함수를 최적화하여 상기 사전 영상을 그룹화하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 처리부는 상기 특정 그룹의 중심 벡터로부터 가까운 벡터는 높은 가중치를 갖도록 설정하고 상기 특정 그룹의 중심 벡터로부터 먼 벡터는 낮은 가중치를 갖도록 설정하여 상기 타겟 영상의 밝기 값을 분류하며, 모든 그룹의 중심 벡터를 다시 산출하며 산출한 중심 벡터가 바뀌지 않을 때까지 가중치를 부여하는 과정을 반복하여 수행하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 처리부는 상기 복원 영상의 밝기 값으로 정의된 제3 목적 함수에 적응적 경사 하강법(Gradient Descent)을 적용하고, 상기 제3 목적 함수를 최적화하는 파라미터를 검출하는 과정을 반복하여 상기 복원 영상을 필터링하는 것을 특징으로 하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 12

랜트리, 방사선 헤드, 패넬 감지기, 및 처리부를 포함하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법에 있어서,

상기 처리부는 상기 패넬 감지기가 획득한 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하는 단계; 및

상기 처리부는 상기 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 상기 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하며,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

상기 부분 프로젝션 데이터를 사전 영상으로 적용하고 상기 가중치 완화 맵을 타겟 영상으로 적용하고, 상기 사전 영상과 상기 타겟 영상을 비교한 차영상으로 정의된 제1 목적 함수를 최소화하는 제약 최적화(Constraint Optimization) 기반의 반복적 재구성(Iterative Reconstruction) 알고리즘에 따라 상기 복원 영상을 생성하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 13

삭제

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

상기 제1 목적 함수를 최소화하기 위하여, 상기 제1 목적 함수의 데이터 적합도를 최소화하고 상기 제1 목적 함수의 영상 적합도를 최소화하며, 상기 데이터 적합도를 최소화하는 것은 상기 가중치 완화 맵을 기반으로 반복적 재구성 알고리즘을 적용하고, 상기 영상 적합도를 최소화하는 것은 적응적 경사 하강법을 적용하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

상기 사전 영상의 영역 및 상기 타겟 영상의 영역을 분할하고, 상기 분할한 사전 영상과 상기 분할한 타겟 영상을 이용하여 상기 가중치 완화 맵을 갱신하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 타겟 영상의 영역을 분할하는 것은, 상기 타겟 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 상기 타겟 영상의 밝기 값으로 정의된 제2 목적 함수를 최적화하여 상기 타겟 영상을 그룹화하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 17

제12항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

상기 복원 영상의 밝기 값으로 정의된 제3 목적 함수에 적응적 경사 하강법(Gradient Descent)을 적용하고, 상기 제3 목적 함수를 최적화하는 파라미터를 검출하는 과정을 반복하여 상기 복원 영상을 필터링하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(Four Dimensional Cone Beam Computed Tomography, 4D CBCT)는 호흡 주기 상에서 해부 체적 영상을 제공한다. 4D 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.

[0004] 도 1은 4D CBCT가 프로젝션 데이터를 분류하고 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다. 4D CBCT는 프로젝션 영상 또는 외부 장치로부터 추출된 호흡 신호에 따라 x선 프로젝션을 다중 호흡 주기 빈으로 분류한 다음, FDK 등의 복원 알고리즘을 사용하여 각 호흡 주기 빈에서 독립적으로 3D CBCT 영상으로 재구성한다.

[0005] 도 2는 4D CBCT가 비균일 샘플링된 프로젝션 데이터를 재구성한 영상을 나타낸 도면이다. 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 지속적으로 회전하기 때문에 스캔 시간이 증가하고 환자에게 조사되는 방사선량이 증가한다.

[0006] 따라서 각 호흡 주기 빈에서 적절한 개수의 프로젝션이 필요하다. 특히, 각 호흡 주기 빈에는 약간 다른 시간 지점에서 동일한 대상을 캡처한 중복 정보를 포함하는 인접 프로젝션 데이터가 포함되어 있기 때문에 더 많은 수의 프로젝션이 필요하다. 각 위상 빈의 프로젝션 수가 부적절하면 아티팩트가 선명한 낮은 품질의 4D CBCT 영상을 획득하게 된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1767069호 (2017.08.04.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 실시예들은 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하고, 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성함으로써, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적은 수의 프로젝션 영상으로 재구성한 복원 영상의 품질을 개선하는 데 발명의 주된 목적이 있다.

[0009] 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

[0010] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 있어서, 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리, 상기 갠트리에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사하는 방사선 헤드, 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션 데이터를 획득하는 패널 감지기, 및 상기 복수의 프로젝션 데이터를 상기 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하고, 상기 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 상기 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부를 포함하는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 제공한다.

[0011] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법에 있어서, 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된 갠트리, 상기 갠트리에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사하는 방사선 헤드, 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션 데이터를 획득하는 패널 감지기, 및 처리부는 패널 감지기가 획득한 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하는 단계, 및 처리부는 상기 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 상기 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하는 영상 재구성 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0012] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류하고, 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성함으로써, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적은 수의 프로젝션 영상으로 재구성한 복원 영상의 품질을 개선할 수 있는 효과가 있다.

[0013] 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

- [0014] 도 1은 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 프로젝션 데이터를 분류하고 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 비균일 샘플링된 프로젝션 데이터로 재구성한 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사전 영상과 가중치 완화 맵을 이용하여 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사전 영상의 화질을 개선하기 위한 선속 구동 방식을 나타낸 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 분할한 사전 영상과 분할한 타겟 영상을 나타낸 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 제약 최적화 기반의 반복적 재구성 알고리즘에 따라 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다.
- 도 9는 본 발명의 실시예들이 재구성한 영상을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0015] 이하, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지기능에 대하여 이 분야의 기술자에게 자명한 사항으로서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하고, 본 발명의 일부 실시예들을 예시적인 도면을 통해 상세하게 설명한다.
- [0016] 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 원주형으로 발산하는 X선을 조사하고, 환자의 호흡 주기에 따라 획득한 투사 영상에서 단층 영상으로 복원하는 장비이다.
- [0017] 도 3은 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.
- [0018] 도 3에 도시한 바와 같이, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 갠트리(Gantry, 110), 방사선 헤드(Radiation Head, 120), 패널 감지기(Panels Detector, 130), 처리부(Processor, 140)를 포함한다. 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 도 3에서 예시적으로 도시한 다양한 구성요소들 중에서 일부 구성요소를 생략하거나 다른 구성요소를 추가로 포함할 수 있다.
- [0019] 갠트리(110)는 본체부에 연결되며 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된다. 갠트리(110)는 방사선 헤드(120) 및 패널 감지기(130) 사이에 위치한 피검사체 주위를 360도 회전한다. 갠트리(120)는 경사계 센서를 추가로 포함할 수 있다.
- [0020] 방사선 헤드(120)는 갠트리(110)에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사한다. 방사선 헤드(120)는 피검사체를 촬영하는 스캔 시간 동안 작동한다.
- [0021] 패널 감지기(130)는 갠트리(110)에 연결되며 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션(Projection) 데이터를 획득한다.
- [0022] 처리부(260)는 복수의 프로젝션 데이터에 재구성 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 생성한다. 처리부(260)는 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류한다. 처리부(260)는 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다.
- [0023] 도 4는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사전 영상과 가중치 완화 맵을 이용하여 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다.
- [0024] 처리부는 부분 프로젝션 데이터를 사전 영상으로 적용하고 가중치 완화 맵을 타겟 영상으로 적용하고, 사전 영

상과 타겟 영상을 비교한 차영상으로 정의된 제1 목적 함수를 최소화하는 제약 최적화(Constraint Optimization) 기반의 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 완화 맵을 적용하고, 다시 반복적 재구성 알고리즘을 적용한다.

[0025] 가중치 완화 맵은 비교되는 영상 간에 불일치 영역을 검출하고 불일치 영역의 픽셀 또는 복셀의 인텐시티 정보를 거리 변환하여 산출된다. 상기 가중치 완화 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.

[0026] 제1 목적 함수는 압축 센싱(Compressed Sensing) 방식의 목적 함수에 사전 영상과 타겟 영상 간의 차영상(μ_d)을 고려한 형태로 수학식 1과 같이 표현된다. 사전 영상은 방사선 요법 치료 첫 날에 촬영되어 전체 투영법을 사용하여 재구성된 영상이 사용될 수 있다.

수학식 1

$$f^{(\mu, \mu_d)} = \alpha \left(\sum_j G_j^{(\mu_d)} \right) + (1 - \alpha) \left(\sum_j G_j^{(\mu)} \right)$$

[0027]

[0028] $G_{(l,m,n)}^{(\mu)}$ 는 재구성 단면 영상 (l, m, n) 좌표에서 이산 기울기 변환 함수를 통해 얻어진 기울기를 의미하며, 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

$$G_j^{(\mu)} = G_{(l,m,n)}^{(\mu)} = \sqrt{(\mu_{(l,m,n)} - \mu_{(l-1,m,n)})^2 + (\mu_{(l,m,n)} - \mu_{(l,m-1,n)})^2 + (\mu_{(l,m,n)} - \mu_{(l,m,n-1)})^2}$$

[0029]

[0030] 처리부는 목적 함수 최소화를 위해 데이터 적합도 함수와 영상 적합도 함수를 교대로 최소화하는 제약 최적화 기법을 적용한다.

[0031] 처리부는 제1 목적 함수에 경계 영역과 잡음 영역을 분리하는 이방 계수(Anisotropic Penalty, ω_j)를 추가하여 주변 픽셀과의 대조도에 따라 차등적으로 계산한다. 이방 계수가 추가된 제1 목적 함수는 수학식 3과 같이 표현되고, 이방 계수는 수학식 4와 같이 표현된다. 주변 화소들(μ_m)에 비해 상대적으로 높은 대조도를 보이는 경계들은 보존되고, 낮은 대조도를 보이는 잡음 복셀들은 억제된다.

수학식 3

$$f_w^{(\mu, \mu_d)} = \alpha \left(\sum_j w_j G_j^{(\mu_d)} \right) + (1 - \alpha) \left(\sum_j w_j G_j^{(\mu)} \right)$$

[0032]

수학식 4

$$w_j = \exp \left[- \left(\frac{\mu_j - \mu_m}{\delta} \right)^2 \right]$$

[0033]

- [0034] 경계 영역과 잡음 영역을 분리하기 위한 보존 파라미터 δ 는 각 단면 영상으로부터 밝기 값의 기울기 값을 계산하고, 이를 누적한 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function, CDF) 히스토그램을 통하여 최적의 보존 파라미터를 결정할 수 있다.
- [0035] 도 5는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사전 영상의 화질을 개선하기 위한 선속 구동 방식을 나타낸 도면이다.
- [0036] 처리부는 선속 구동형 역투영(Ray Driven Backprojection) 방식을 적용하여 사전 영상의 화질을 개선한다. 선속 구동형 역투영 방식은 실제 X-선의 기하학적 투사 궤도를 반영한 기법이다. 모델링하기 위해서는 모든 각도에 따른 X선원의 위치 (x_1, y_1, z_1)를 샘플링해야 한다.
- [0037] 처리부는 계산 시간의 단축하기 위하여, 사전 영상의 복셀의 8개의 모서리로부터 패널 감지기에 대응하는 픽셀의 위치를 산출한다. 처리부는 대응하는 픽셀을 포함하는 볼록 집합(Convex Hull) 내부의 픽셀에 대하여만 패널 감지기의 각 채널의 중심 위치로부터 선속(Ray)를 시작하여 복셀을 통과하면서 복셀에서 교차되는 길이를 산출한다. 처리부는 교차되는 길이만큼의 가중치를 적용하여 복셀을 갱신할 수 있다. 선속 구동형 역투영 방식은 두드러진 경계들을 유지하면서 잡음 픽셀들을 부드럽게 만든다.
- [0038] 처리부는 선속 구동형 역투영 방식을 이용하여 획득한 고선명 사전 영상에 반자동 분할도구를 이용하여 분할 사전 영상을 생성하고 이를 가중치 완화 맵(Weighted Relaxation Map)을 갱신하는 데 활용할 수 있다. 분할 사전 영상은 사전 영상의 밝기 값을 기준으로 임계치와 비교하여 분할된 영상이다.
- [0039] 처리부는 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 완화 맵을 갱신할 수 있다.
- [0040] 도 6의 (a)는 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 고선명 사전 영상에 반자동 분할도구를 적용하여 얻은 분할 사전 영상이고, 도 6의 (b)는 반복적 재구성 알고리즘이 수행되면서 매 반복과정동안 업데이트된 재구성 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용한 분할 타겟 영상을 나타내며, 그룹화된 복셀 별로 다른 색상으로 표시화하였다.
- [0041] 처리부는 반복적 재구성 알고리즘 적용시 매 반복과정동안 업데이트된 타겟 영상의 영역을 분할한다. 처리부는 타겟 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 타겟 영상의 밝기 값으로 정의된 제2 목적 함수를 최적화하여 타겟 영상을 그룹화한다.
- [0042] 처리부는 특정 그룹의 중심 벡터로부터 가까운 벡터는 높은 가중치를 갖도록 설정하고 특정 그룹의 중심 벡터로부터 먼 벡터는 낮은 가중치를 갖도록 설정하여 사전 영상의 밝기 값을 분류한다. 처리부는 모든 그룹의 중심 벡터를 다시 산출하며 산출한 중심 벡터가 바뀌지 않을 때까지 가중치를 부여하는 과정을 반복하여 수행한다. 처리부는 동일 넘버를 갖는 그룹을 분류한다.
- [0043] 처리부는 클러스터의 개수 $c(2 \leq c \leq n)$ 을 정하고 지수의 가중(exponential weight) $m(1 \leq m < \infty)$ 을 선택한다. 초기 소속함수 $U^{(0)}$ 를 초기화하고, 알고리즘 반복 회수를 $r(r=0, 1, 2, \dots)$ 로 표시할 때, 소속함수 U 는 0과 1사이의 값을 갖고, 소속 정도의 합은 항상 1로 설정될 수 있다. 소속 정도는 수학적 5와 같이 표현된다.

수학적식 5

$$\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, \quad \forall k = 1, \dots, n$$

$$0 < \sum_{k=1}^n u_{ik} < n$$

[0044]

- [0045] 제2 목적 함수는 수학적식 6과 같이 표현되며, 제2 목적 함수의 값이 최소로 접근하기 위해서 반복적으로 수행한다.

수학식 6

$$J(u_{ik}, v_i) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m (d_{ik})^2$$

$$d_{ik} = d(x_k - v_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^l (x_{kj} - v_{ij})^2}$$

$$v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ij}, \dots, v_{iL}\}$$

[0046]

[0047]

여기서 u_{ik} 는 0과 1사이의 값으로 1번째 클러스터에 속해져 있는 x_k 의 k 번째 데이터의 소속 정도를 의미한다. v_i 는 i 번째 클러스터 중심벡터이고, $j(j=1, 2, 3, \dots, L)$ 는 특정 공간 상의 변수이다.

[0048]

처리부는 수학식 7을 이용하여 퍼지 클러스터의 중심 $\{v_i | i=1, 2, \dots, c\}$ 을 계산한다.

수학식 7

$$v_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_{kj}}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m}$$

[0049]

[0050]

새로운 소속 함수 $U^{(r+1)}$ 는 수학식 8을 통하여 계산된다.

수학식 8

$$u_{ik}^{(r+1)} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}^r}{d_{jk}^r} \right)^{2/(m-1)}} \quad \text{for } I_k = \emptyset$$

$$\text{or}$$

$$u_{ik}^{(r+1)} = 0 \quad \text{for all classes } i, i \in \tilde{I}_k$$

Here,

$$I_k = \{i | 2 \leq c < n; d_{ik}^{(r)} = 0\}$$

$$\tilde{I}_k = \{1, 2, \dots, c\} - I_k$$

$$\sum_{i \in I_k} u_{ik}^{(r+1)} = 1$$

[0051]

[0052]

처리부는 수학식 9를 계산해서 만일 $\Delta > \varepsilon$ 이면 $r=r+1$ 로 정하고 퍼지 클러스터 중심을 다시 계산하고 위 단계를 반복 수행한다. $\Delta \leq \varepsilon$ 이면 알고리즘을 종료한다. ε 는 임계값을 의미한다.

수학식 9

$$\Delta = \| U^{(r+1)} - U^{(r)} \| = \max_{i,k} |u_{ik}^{(r+1)} - u_{ik}^{(r)}|$$

[0053]

[0054]

도 7은 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 제약 최적화 기반의 반복적 재구성 알고리즘에 따라 영상을 재구성하는 동작을 나타낸 도면이다.

[0055]

처리부는 제1 목적 함수를 최소화하기 위하여, 제1 목적 함수의 데이터 적합도를 최소화하고 제1 목적 함수의 영상 적합도를 최소화한다.

[0056]

처리부가 데이터 적합도를 최소화하는 것은 가중치 완화 맵을 기반으로 반복적 재구성 알고리즘을 적용할 수 있다. 반복 재구성 기법인 SART(Simultaneous Algebraic Reconstruction Technique)에 가중치 완화 계수를 적용할 수 있다.

[0057]

처리부가 영상 적합도를 최소화하는 것은 적응적 경사 하강법(Steepest Gradient Descent)을 적용할 수 있다. 적응적 경사 하강법을 적용하여 제1 목적 함수를 최소화하고, 두드러진 경계들을 유지하면서 잡음 복셀들이 부드러워지는 최적의 경사 하강법의 반복 회수를 파인 튜닝(Fine Tuning)을 통하여 결정할 수 있다. 파인 튜닝을 통하여 이미 존재하는 모델에 추가 데이터를 입력하여 파라미터를 갱신한다. 전역 변형(Total Variation)에 관한 정규함수를 최소화한다.

[0058]

처리부는 복원 영상의 밝기 값으로 정의된 제3 목적 함수에 적응적 경사 하강법(Gradient Descent)을 적용하고, 제3 목적 함수를 최소화하는 파라미터를 검출하는 과정을 반복하여 복원 영상을 필터링할 수 있다.

[0059]

전역 변형 저감화(Total Variation Denoising, TVD) 기법을 적용한 제3 목적 함수는 수학식 10과 같이 표현된다.

수학식 10

$$\begin{aligned} R(P) &= \sum_j G(P_j) = \sum_u \sum_v G(P_{(u,v)}) \\ &= \sum_u \sum_v \sqrt{(P_{(u,v)} - P_{(u-1,v)})^2 + (P_{(u,v)} - P_{(u,v-1)})^2} \end{aligned}$$

[0060]

[0061]

$P_{(u,v)}$ 에서 X선 영상의 (u,v) 좌표에서의 밝기 값이고, $G(P_{(u,v)})$ 는 X선 영상의 (u,v)에서 계산된 이산 기울기 변환 함수를 통해 얻어진 기울기 값을 의미한다. 적응적 경사 하강법(Steepest Gradient Descent)을 적용하여 제3 목적 함수를 최소화하고 이는 수학식 11과 같이 표현된다.

수학식 11

$$P_j^{t+1} = P_j^t - \lambda \frac{\nabla R(P_j)}{|\nabla R(P)|}$$

[0062]

[0063]

λ 는 반복 단계가 진행됨에 따라 부드러움 정도가 감소될 수 있도록 제어하는 적응 파라미터이고, 각 경사 하강법 단계에서 갱신된 값이 반복 회수가 증가함에 따라 보다 작은 값으로 지정되도록 제어한다. t는 반복 회수를 의미한다.

[0064]

$\nabla R(P_j)$ 는 각 경사 하강법 단계에서 계산되는 제3 목적 함수의 X선 영상의 j번째 색인된 위치에서의 기울기를 의미하고 모든 위치에서 계산된 기울기의 제곱근의 합 $|\nabla R(P_j)|$ 는 정규화된 기울기 계산을 위해 요구된다. 이러한 기울기는 수학식 12와 수학식 13과 같이 표현된다.

수학식 12

$$\nabla R(P_j) = \frac{\partial R(P)}{\partial P_j} = \frac{\partial R(P)}{\partial P_{(u,v)}} = \left(\frac{2P_{(u,v)} - P_{(u-1,v)} - P_{(u,v-1)}}{G(P_{(u,v)})} + \frac{P_{(u,v)} - P_{(u+1,v)}}{G(P_{(u+1,v)})} + \frac{P_{(u,v)} - P_{(u,v+1)}}{G(P_{(u,v+1)})} \right)$$

수학식 13

$$|\nabla R(P)| = \sqrt{\sum_j (\nabla R(P_j))^2}$$

적응적 경사 하강법(Steepest Gradient Descent)에 관한 알고리즘은 표 1과 같이 표현될 수 있다.

표 1

```

γ = 1; γred = 0.8
for i = 1 to 20 do
    for j = 1 to all pixels do
        λ = √(∑j (Pj)2)
        |∇R(P)| = √(∑j (∇R(Pj))2)
    end for
    for j = 1 to all pixels do
        ∂Pj = ∇R(Pj) / |∇R(P)|
        Pjnew = Pj - γ · λ · ∂Pj
    end for
    while R(Pnew) > R(P) do
        γ = γ × γred
        for j = 1 to all pixels do
            Pjnew = Pj - γ · λ · ∂Pj
        end for
    end while
    for j = 1 to all pixels do
        Pj = Pjnew
    end for
end for

```

4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 포함된 구성요소들이 도 3에서는 분리되어 도시되어 있으나, 복수의 구성요소들은 상호 결합되어 적어도 하나의 모듈로 구현될 수 있다. 구성요소들은 장치 내부의 소프트웨어적인 모

들 또는 하드웨어적인 모듈을 연결하는 통신 경로에 연결되어 상호 간에 유기적으로 동작한다. 이러한 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스 또는 신호선을 이용하여 통신한다.

- [0070] 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어 또는 이들의 조합에 의해 로직회로 내에서 구현될 수 있고, 범용 또는 특정 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수도 있다. 장치는 고정배선형(Hardwired) 기기, 필드 프로그램 가능한 게이트 어레이(Field Programmable Gate Array, FPGA), 주문형 반도체(Application Specific Integrated Circuit, ASIC) 등을 이용하여 구현될 수 있다. 또한, 장치는 하나 이상의 프로세서 및 컨트롤러를 포함한 시스템온칩(System on Chip, SoC)으로 구현될 수 있다.
- [0071] 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 구현될 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모듈 등의 통신장치, 프로그램을 실행하기 위한 데이터를 저장하는 메모리, 프로그램을 실행하여 연산 및 명령하기 위한 마이크로프로세서 등을 전부 또는 일부 포함한 다양한 장치를 의미할 수 있다.
- [0072] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다. 영상 재구성 방법은 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의하여 수행될 수 있으며, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 수행하는 동작에 관한 상세한 설명과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0073] 단계 S810에서, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 획득한 복수의 프로젝션 데이터를 피검사체의 호흡 주기에 따라 복수의 그룹으로 분류한다.
- [0074] 단계 S820에서, 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 분류된 그룹에 속하는 부분 프로젝션 데이터에 가중치 완화 맵을 적용하고 상기 부분 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다.
- [0075] 복원 영상을 생성하는 단계(S820)는 부분 프로젝션 데이터를 사전 영상으로 적용하고 가중치 완화 맵을 타겟 영상으로 적용하고, 사전 영상과 타겟 영상을 비교한 차영상으로 정의된 제1 목적 함수를 최소화하는 제약 최적화(Constraint Optimization) 기반의 반복적 재구성(Iterative Reconstruction) 알고리즘에 따라 복원 영상을 생성한다.
- [0076] 가중치 완화 맵은 비교되는 영상 간에 불일치 영역을 검출하고 불일치 영역의 픽셀 또는 복셀의 인텐시티 정보를 거리 변환하여 산출되며, 가중치 완화 맵에 포함된 픽셀 또는 복셀은 불일치 영역의 분포 특징을 나타내는 완화 계수를 대표하며, 완화 계수에 따라 반복적 재구성 알고리즘의 반복 횟수가 변경될 수 있다. 가중치 완화 맵의 완화 계수는 불일치 정도가 높을수록 높은 가중치가 할당되고, 불일치 정도가 낮을수록 낮은 가중치가 할당될 수 있다.
- [0077] 복원 영상을 생성하는 단계(S820)는 제1 목적 함수를 최소화하기 위하여, 제1 목적 함수의 데이터 적합도를 최소화하고 제1 목적 함수의 영상 적합도를 최소화하며, 데이터 적합도를 최소화하는 것은 가중치 완화 맵을 기반으로 반복적 재구성 알고리즘을 적용하고, 영상 적합도를 최소화하는 것은 적응적 경사 하강법을 적용할 수 있다. 제1 목적 함수에 경계 영역과 잡음 영역을 분리하는 이방 계수를 추가하여 주변 픽셀과의 대조도에 따라 차등적으로 계산할 수 있다.
- [0078] 복원 영상을 생성하는 단계(S820)는 복셀의 8개의 모서리로부터 패널 감지기에 대응하는 픽셀의 위치를 산출하고 대응하는 픽셀을 포함하는 볼록 집합(Convex Hull) 내부의 픽셀에 대하여만 패널 감지기의 각 채널의 중심 위치로부터 선속(Ray)를 시작하여 복셀을 투과하면서 복셀에서 교차되는 길이를 산출하고 교차되는 길이만큼의 가중치를 적용하여 복셀을 갱신할 수 있다.
- [0079] 복원 영상을 생성하는 단계(S820)는 반자동분할도구를 이용해 분할된 사전 영상과 반복적 재구성 알고리즘의 매 반복과정동안 업데이트된 재구성 타겟 영상에 클러스터링 알고리즘을 적용해 얻은 분할 타겟 영상을 이용하여 가중치 완화 맵을 갱신할 수 있다. 타겟 영상의 영역을 분할하는 과정은 타겟 영상의 밝기 값이 특정 그룹에 속할 가능성을 기준으로 타겟 영상의 밝기 값으로 정의된 제2 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.
- [0080] 복원 영상을 생성하는 단계(S820)는, 복원 영상의 밝기 값으로 정의된 제3 목적 함수에 적응적 경사 하강법(Gradient Descent)을 적용하고, 제3 목적 함수를 최적화하는 파라미터를 검출하는 과정을 반복하여 복원 영상

을 필터링할 수 있다.

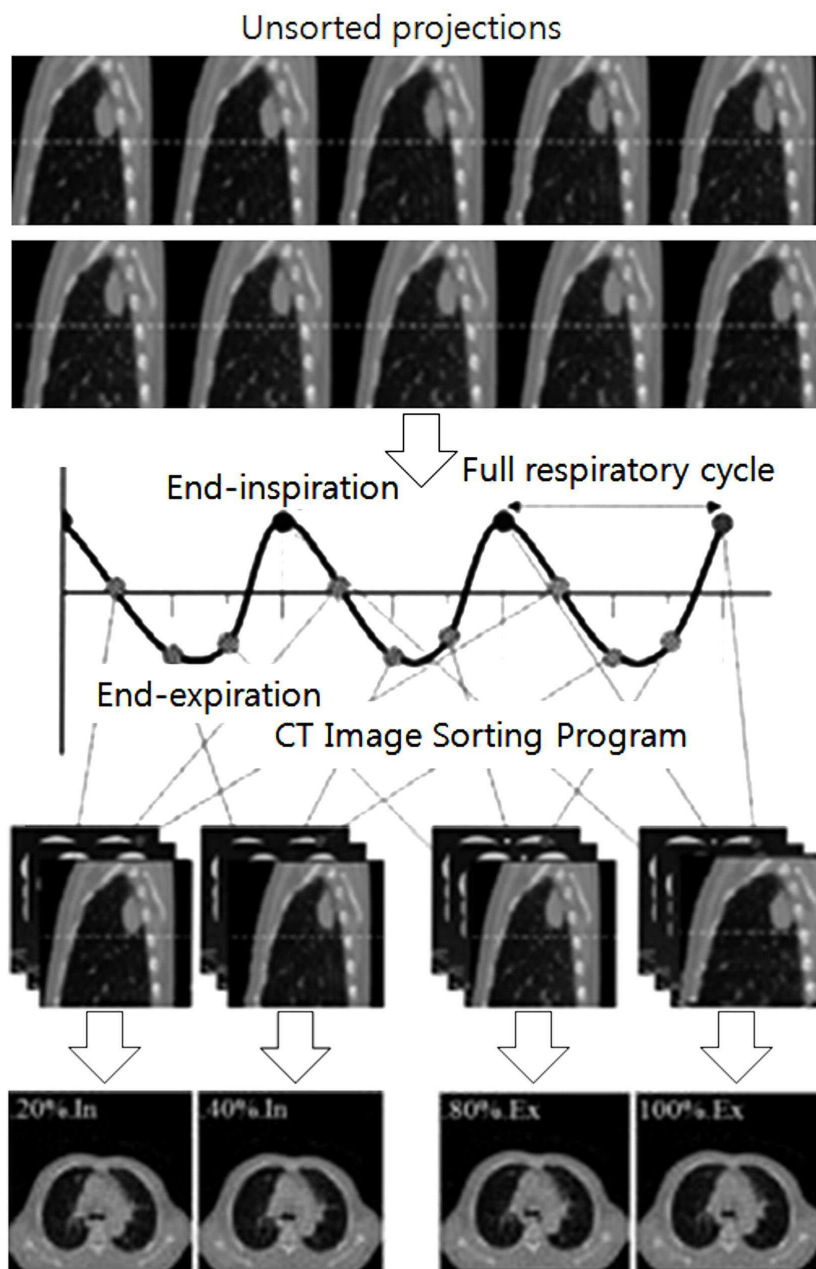
- [0081] 도 9의 (a)는 FDK 복원 알고리즘을 이용하여 재구성한 영상이고, 도 9의 (b)는 CS 복원 알고리즘을 이용하여 재구성한 영상이고, 도 9의 (c)는 PICCS 복원 알고리즘을 이용하여 재구성한 영상이고, 도 9의 (d)는 본 실시예에 따른 복원 알고리즘을 이용하여 재구성한 영상이다. 본 실시예에 따른 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적은 수의 프로젝션 데이터를 이용하여 고품질의 복원 영상을 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.
- [0082] 도 8에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 8에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.
- [0083] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는 데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예를 들면, 자기 매체, 광기록 매체, 메모리 등이 있을 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어 분산 방식으로 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드가 저장되고 실행될 수도 있다. 본 실시예를 구현하기 위한 기능적인(Functional) 프로그램, 코드, 및 코드 세그먼트들은 본 실시예가 속하는 기술분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.
- [0084] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 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

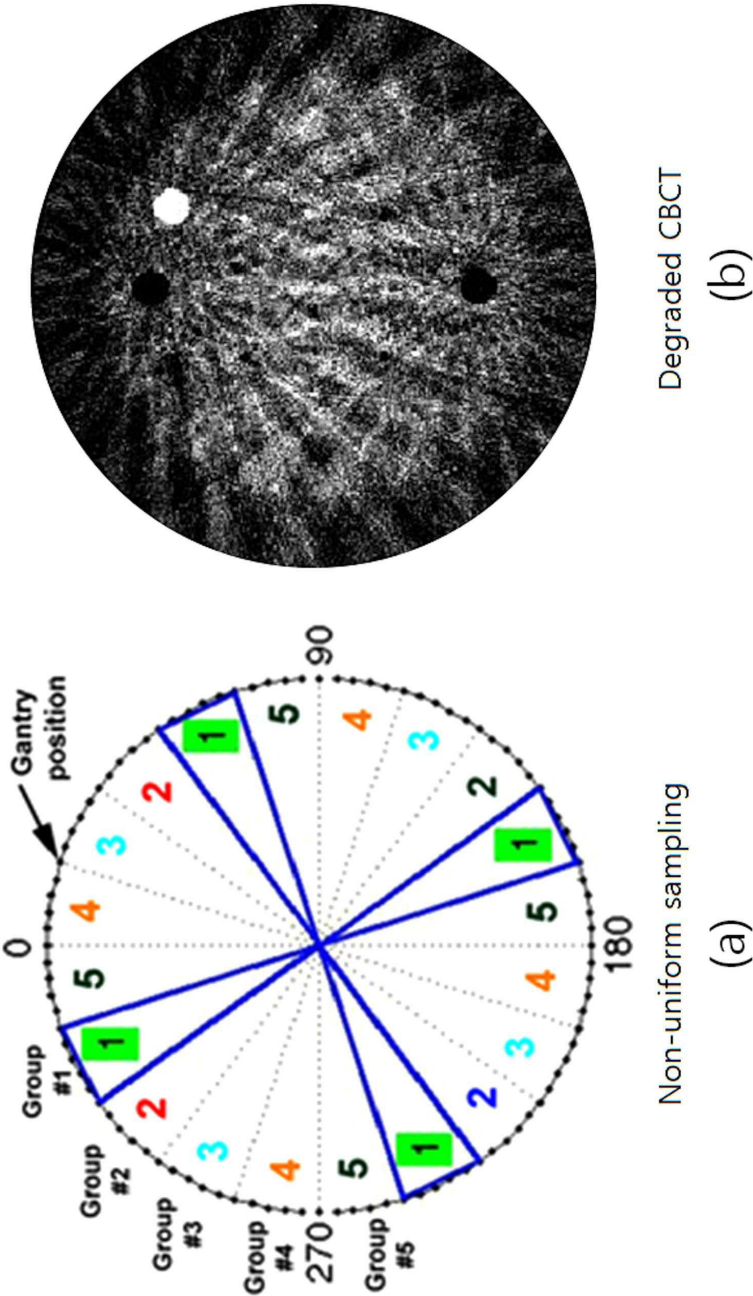
- [0086] 100: 4차원 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템
110: 갠트리
120: 방사선 헤드
130: 패널 감지기
140: 처리부

도면

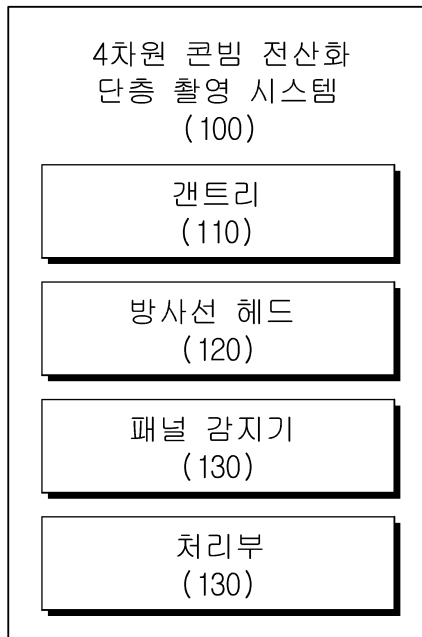
도면1



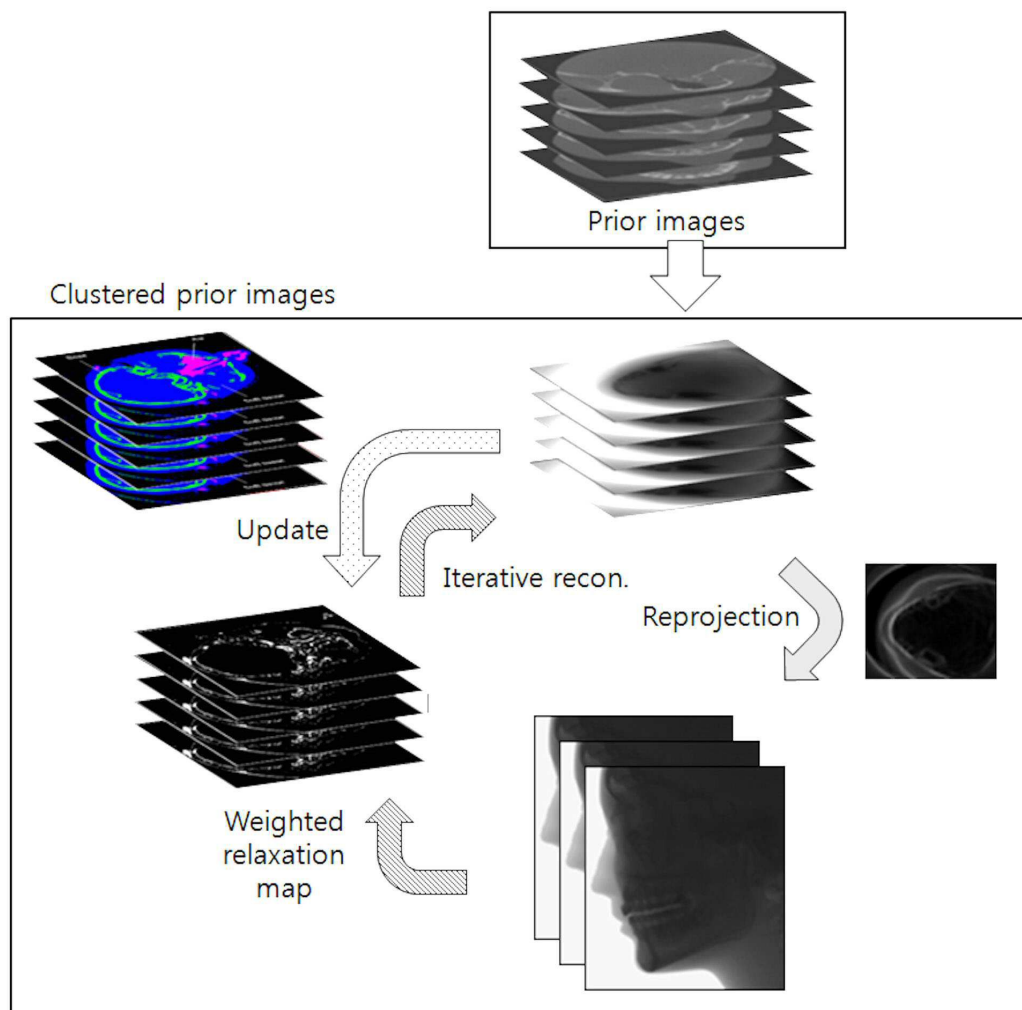
도면2



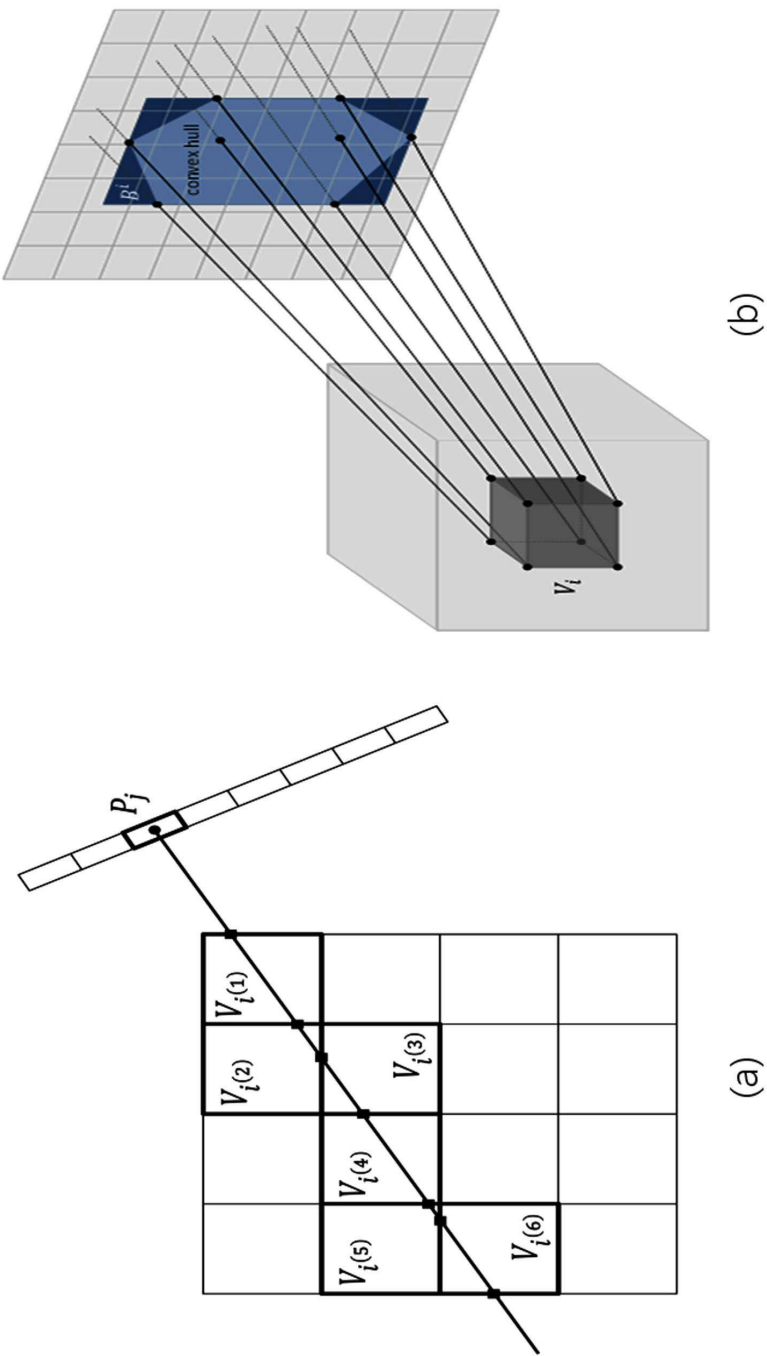
도면3



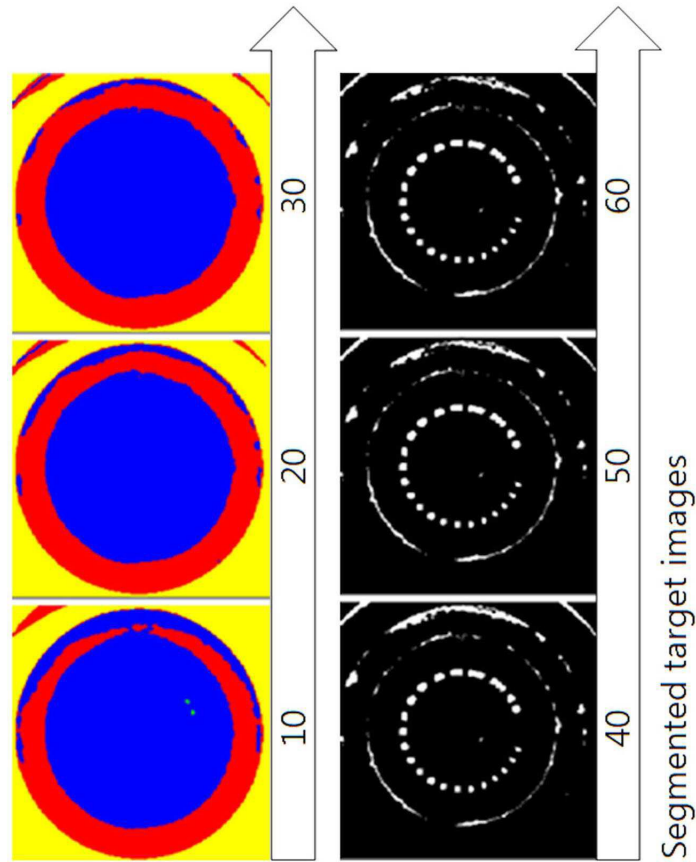
도면4



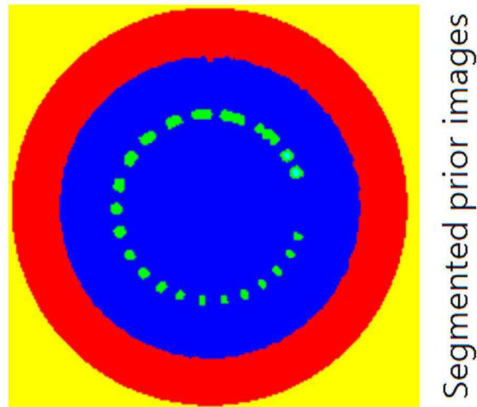
도면5



도면6

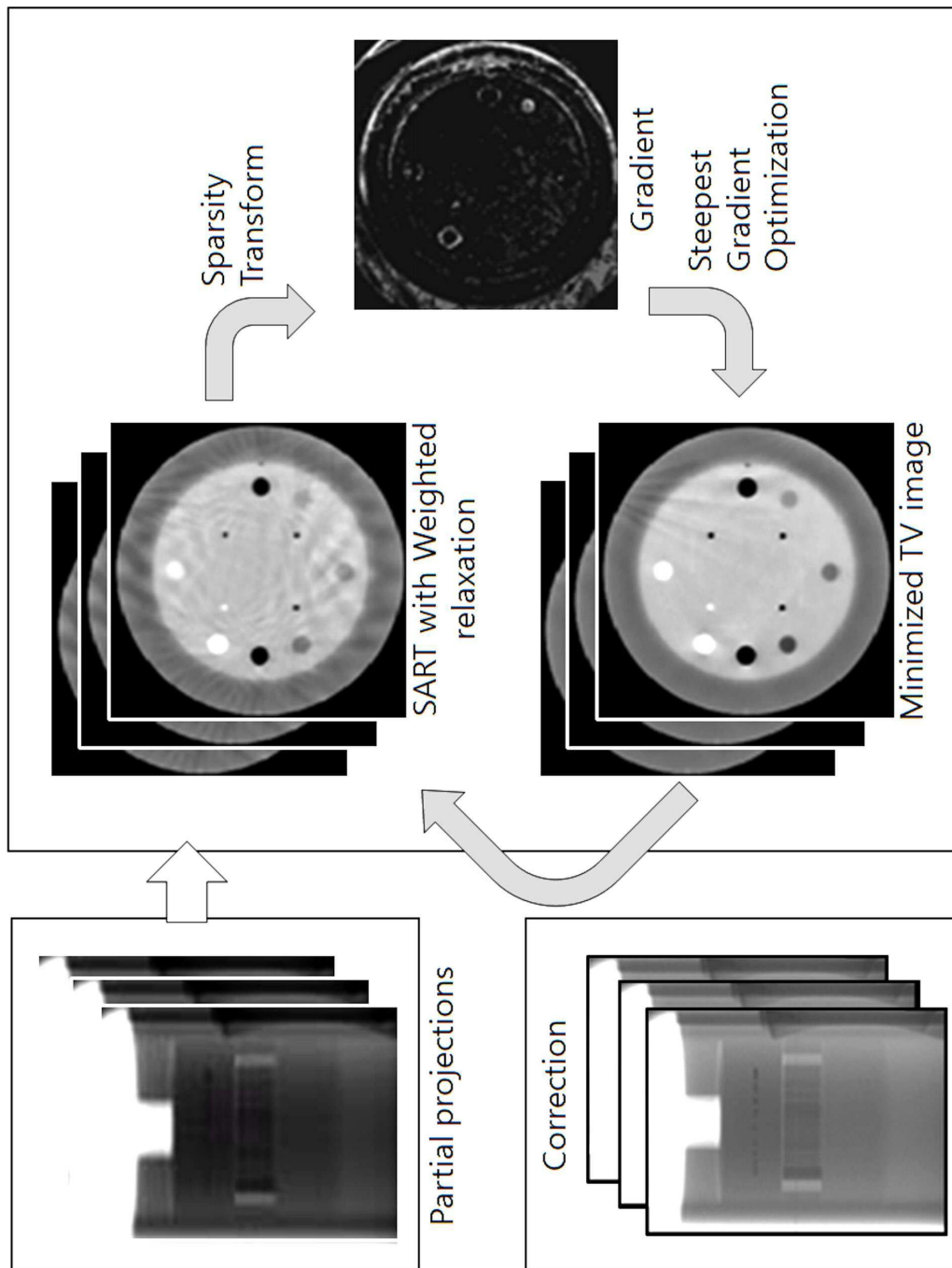


(b)

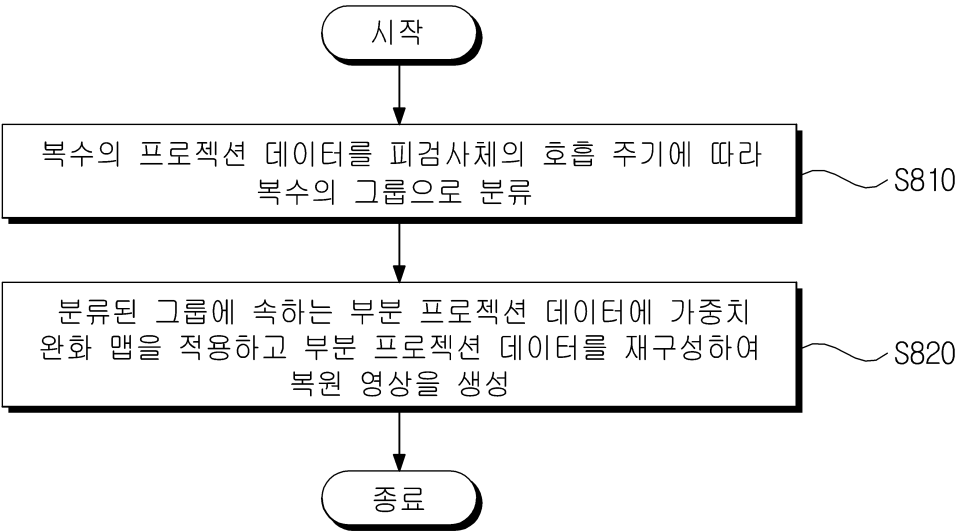


(a)

도면7



도면8



도면9

