



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0083122
(43) 공개일자 2020년07월08일

- | | |
|--|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
A61B 6/54 (2013.01)
A61B 6/4085 (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2019-0056157</p> <p>(22) 출원일자 2019년05월14일
심사청구일자 2019년05월14일</p> <p>(30) 우선권주장
1020180171700 2018년12월28일 대한민국(KR)</p> | <p>(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)</p> <p>(72) 발명자
이호
서울특별시 서대문구 연세로 50-1</p> <p>(74) 대리인
특허법인우인</p> |
|--|--|

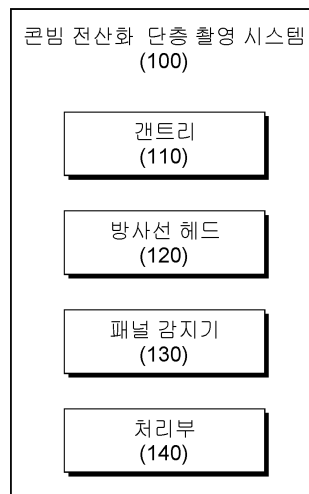
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 전역 변형 저감화 기법을 이용한 저선량 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템

(57) 요약

본 실시예들은 프로젝션 데이터를 전처리하고, 전역 변형 저감화 기법이 적용된 비등방성 가중치 또는 비국부 가중치를 포함하는 목적 함수를 최적화하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정함으로써, 복원 영상의 품질을 개선하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 제공한다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017M2A2A6A01070330

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 방사선기술개발사업

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

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2017.09.21 ~ 2020.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법에 있어서,

프로젝션 데이터를 전처리하는 단계;

전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝트 데이터를 보정하는 단계; 및

상기 보정된 프로젝트 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하는 영상 재구성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 프로젝트 데이터를 전처리하는 단계는,

상기 프로젝트 데이터를 로그 변환하는 단계;

상기 로그 변환된 프로젝트 데이터를 주파수 영역으로 푸리에 변환하는 단계;

상기 푸리에 변환된 상기 프로젝트 데이터에 고주파 통과 필터와 윈도우 필터가 결합된 수정 필터를 적용하여 보정하는 단계; 및

상기 수정 필터를 적용하여 보정된 상기 프로젝트 데이터를 역푸리에 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법은 노이즈를 갖는 픽셀은 전역 변형이 높은 것을 고려하여 에지를 보존하면서 상기 노이즈를 제거하며, 상기 전역 변형은 2차원의 위치에서 인접 픽셀 간의 놈(Norm)으로 표현되며,

상기 전역 변형 저감화 기법의 상기 목적 함수에 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 적용하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법은 상기 비등방성(Anisotropic) 가중치를 적용하며, 상기 비등방성 가중치는 상기 전처리된 프로젝트 데이터의 각 픽셀의 경사 크기를 누적한 히스토그램의 특정 지점에 해당하는 보존 파라미터를 포함하는 관계로 표현되는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법은 상기 비국부(Non-Local) 가중치를 적용하며, 상기 비국부 가중치는 (i) 패치를 갖는 커널 함수와 (ii) 영상 배경의 표준편차의 소정의 배수로 설정된 필터링 파라미터를 포함하는 관계로 표현되는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 비국부 가중치는 단위 분산에 따라 기 설정된 크기를 갖는 검색 영역 내에서 상기 검색 영역의 크기보다 작게 설정된 크기를 갖는 패치 간의 유사도를 이용하여 설정되는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 프로젝션 데이터를 보정하는 단계는,

상기 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 복원 영상을 생성하는 단계는,

3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 9

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 전처리하고, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부

를 포함하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 처리부는,

상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하고, 상기 로그 변환된 프로젝션 데이터를 주파수 영역으로 푸리에 변환하고, 상기 푸리에 변환된 상기 프로젝션 데이터에 고주파 통과 필터와 윈도우 필터가 결합된 수정 필터를 적용하여 보정하고, 상기 수정 필터를 적용하여 보정된 상기 프로젝션 데이터를 역푸리에 변환하여, 상기 프로젝션 데이터를 전처리하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법은 노이즈를 갖는 픽셀은 전역 변형이 높은 것을 고려하여 에지를 보존하면서 상기 노이즈를 제거하며, 상기 전역 변형은 2차원의 위치에서 인접 픽셀 간의 놈(Norm)으로 표현되며,

상기 전역 변형 저감화 기법의 상기 목적 함수에 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 적용하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법은 상기 비등방성(Anisotropic) 가중치를 적용하며, 상기 비등방성 가중치는 상기 전처리된 프로젝션 데이터의 각 픽셀의 경사 크기를 누적한 히스토그램의 특정 지점에 해당하는 보준 파라미터를 포함하는 관계로 표현되는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법은 상기 비국부(Non-Local) 가중치를 적용하며, 상기 비국부 가중치는 (i) 패치를 갖는 커널 함수와 (ii) 영상 배경의 표준편차의 소정의 배수로 설정된 필터링 파라미터를 포함하는 관계로 표현되는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 14

제11항에 있어서,

상기 처리부는,

상기 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하고, 상기 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화하여, 상기 프로젝션 데이터를 보정하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 처리부는,

3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 16

제11항에 있어서,

상기 처리부는,

상기 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하여, 가중치가 적용되지 않은 전역 변형 저감화 기법보다 복수의 관심 영역에서 콘트라스트 노이즈 비율(CNR)을 높이고, 대조 영상과의 RMSE(Root-Mean-Square Error)를 낮추고, 상기 대조 영상과의 상관 계수를 높이는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명이 속하는 기술 분야는 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] 콘빔 전산화 단층 촬영(Cone Beam Computed Tomography, CBCT) 시스템과 같은 체적 이미지 처리 방식은 영상유도 방사선 치료법(IGRT)에서 널리 사용되고 있다. 몇 주에 걸친 전체 치료 과정에서 CBCT를 매일 촬영하면 환자에게 누적된 선량은 무시할 수 없는 선량이 된다. 낮은 선량으로 합리적인 이미지 품질을 얻을 수 있다면 저선

량 프로토콜을 준수할 수 있다.

- [0004] CBCT 시스템의 선량을 줄이는 가장 실용적인 방법은 낮은 관전류 또는 투영당 짧은 노출 시간을 사용하는 것이다. 알고리즘의 성능이 필터링 프로세스의 영향을 크게 받기 때문에, FDK(Felkamp-Davis-Kress) 알고리즘과 같은 기존의 재구성 알고리즘을 그대로 사용하면 CBCT 영상 품질이 크게 저하되는 문제가 있다. FDK(Feldkamp Davis Kress) 알고리즘은 콘빔의 각도가 커짐에 따라 콘빔 아티팩트가 증가한다. 따라서 실제 구조물과 원하지 않는 노이즈 간의 신호의 차이를 개선하여 CBCT 영상의 품질을 향상시키는 방안이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1076321호 (2011.10.26)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 실시예들은 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에서 프로젝션 데이터를 전처리하고, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 포함하는 목적 함수를 최적화하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정함으로써, 복원 영상의 품질을 개선하는 데 발명의 주된 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] 본 실시예의 일 측면에 의하면, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법에 있어서, 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계, 및 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하는 영상 재구성 방법을 제공한다.
- [0009] 본 실시예의 다른 측면에 의하면, 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 전처리하고, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부를 포함하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 제공한다.

발명의 효과

- [0010] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에서 프로젝션 데이터를 전처리하고, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 포함하는 목적 함수를 최적화하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정함으로써, 복원 영상의 품질을 개선할 수 있는 효과가 있다.
- [0011] 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

- [0012] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 프로젝션 데이터를 전처리하는 동작을 예시한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사용하는 수정 필터를 예시한 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사용하는 프로젝션 데이터의 각 픽셀에서 경사 크기에 대한 누적 분포 함수 히스토그램을 예시한 도면이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적용하는 적응적 경사 하강 기법을 예시한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적용하는 복셀 구동형 역투영 기법을 예시한 도면이다.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다.

도 8 내지 도 13은 본 발명의 실시예들이 재구성한 영상을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 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.
- [0014] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.
- [0015] 도 1에 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.
- [0016] 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.
- [0017] 방사선 헤드(120)는 갠트리(110)에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사한다. 방사선 헤드(120)는 피검사체를 촬영하는 스캔 시간 동안 작동한다.
- [0018] 패널 감지기(130)는 갠트리(110)에 연결되며 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션(Projection) 데이터를 획득한다.
- [0019] 처리부(140)는 복수의 프로젝션 데이터에 재구성 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 생성한다. 처리부(140)는 복수의 프로젝션 데이터를 전처리하고, 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다. 처리부(140)는 CPU 또는 GPU 등의 프로세서로 구현될 수 있다.
- [0020] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 프로젝션 데이터를 전처리하는 동작을 예시한 흐름도이다.
- [0021] 처리부(140)가 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계는, 프로젝션 데이터를 로그 변환하는 단계(S210), 로그 변환된 프로젝션 데이터를 주파수 영역으로 푸리에 변환하는 단계(S220), 푸리에 변환된 프로젝션 데이터에 고주파 통과 필터와 윈도우 필터가 결합된 수정 필터를 적용하여 보정하는 단계(S230), 및 수정 필터를 적용하여 보정된 프로젝션 데이터를 역푸리에 변환하는 단계(S240)를 포함한다.
- [0022] 콘 모양의 빔 진행 방향으로 인해 생기는 밝기값 떨어짐 현상을 방지하기 위해 로그 변환된 각각의 프로젝션 데이터를 각각의 X선의 조사방향에 따른 사전가중치를 적용하여 변환한다. 사전가중치를 적용하는 것은 수학식 1과 같이 표현된다.

수학식 1

$$P(\theta, u, v) = \frac{D}{\sqrt{D^2 + u^2 + v^2}} p(\theta, u, v)$$

[0023]

[0024]

$p(\theta, u, v)$ 는 각도 θ 에서 주어진 프로젝션 데이터에서 (u, v) 의 위치에서 로그 변환된 값이다. D 는 빔원에서 감지기까지의 거리이다. 사전가중치가 적용된 프로젝션 데이터의 각 수평 라인은 1차원 푸리에 변환을 사용하여 주파수 도메인으로 변환된다. 처리부(140)는 높은 공간 주파수를 억제하기 위해 푸리에 변환된 값에 수정 필터를 적용한다.

[0025]

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 사용하는 수정 필터를 예시한 도면이다. 수정 필터는 수학식 2와 같이 표현된다.

수학식 2

$$H(\omega) = \left| \sin \frac{\omega}{2} \right| (0.515 + 0.485 \cos \omega), \quad -\pi < \omega < \pi$$

[0026]

[0027]

처리부(140)는 노이즈 대역인 고주파수 부분을 억제하기 위해 셰프-로간(Shepp-Logan) 필터와 주파수 도메인에서 정의된 코사인 윈도우 함수를 결합한다. 셰프-로간(Shepp-Logan) 필터는 1차원 Ramp 필터에 고주파 감쇠를 위한 sinc 함수를 이용하여 가중치를 적용한 필터이다. 처리부(140)는 수정 필터를 적용하여 보정한 프로젝션 데이터에 역푸리에 변환을 수행하여 노이즈가 감소된 프로젝션 데이터를 획득한다.

[0028]

푸리에 변환된 값을 처리하는 과정에서 고주파 통과 필터에 윈도우 필터 함수를 결합하여 생성한 수정 필터를 영상 신호에 적용함으로써, 상대적으로 높은 공간 주파수 성분이 존재하는 경우에도 효과적으로 노이즈를 감소시켜 영상의 선명도를 증가시킬 수 있다.

[0029]

처리부(140)는 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다. 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법은 노이즈를 갖는 픽셀은 전역 변형이 높은 것을 고려하여 에지를 보존하면서 노이즈를 제거한다.

수학식 3

$$R(P) = \sum_j R(P_j) = \sum_j w_j G(P_j)$$

[0030]

[0031]

인덱스 j 는 필터링된 프로젝션 데이터에서 픽셀의 인덱스를 의미한다. 전역 변형에 관한 함수 $G(P_j)$ 는 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

$$G(P_j) = G(P_{(u,v)}) = \sqrt{(P_{(u,v)} - P_{(u-1,v)})^2 + (P_{(u,v)} - P_{(u,v-1)})^2}$$

[0032]

[0033] $P_{(u,v)}$ 는 2차원의 위치에서 픽셀을 의미한다. 전역 변형은 2차원의 위치에서 인접 픽셀 간의 높(Norm)으로 표현된다. 높은 2차원 벡터의 크기로서 경사의 절대값으로 볼 수 있다.

[0034] 처리부(140)는 전역 변형 저감화 기법의 목적 함수에 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 적용한다.

[0035] 전역 변형 저감화 기법의 목적 함수에 적용되는 비등방성(Anisotropic) 가중치는 수학식 5 또는 수학식 6과 같이 표현된다.

수학식 5

[0036]

$$w_j = \sum_{m \in N_j} \exp \left[- \left(\frac{P_j - P_m}{\delta} \right)^2 \right]$$

수학식 6

[0037]

$$w_j = \sum_{m \in N_j} \frac{1}{1 + \frac{(P_j - P_m)^2}{\delta^2}}$$

[0038] 처리부(140)는 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법에 비등방성(Anisotropic) 가중치를 적용할 수 있다. 비등방성 가중치는 전처리된 프로젝트 데이터의 각 픽셀의 경사 크기를 누적한 히스토그램의 특정 지점에 해당하는 보존 파라미터를 포함하는 관계로 표현된다. 수학식 5는 이웃 픽셀과 보존 파라미터의 관계식에 마이너스를 곱한 후 지수함수를 적용하고, 수학식 6은 이웃 픽셀과 보존 파라미터의 관계식에 1을 더한 후 역수를 취한다.

[0039] N_j 는 j번째 픽셀의 이웃 집합을 의미한다. 예컨대, 이웃 집합으로 4개의 1차 이웃을 설정할 수 있다. 보존 파라미터 δ 는 경계 영역과 노이즈 영역을 분리하기 위하여, 각 필터링된 프로젝트 데이터로부터 밝기값의 경사(gradient)값을 계산한다.

[0040] 프로젝트 데이터의 각 픽셀에서 경사 크기에 대한 누적 분포 함수 히스토그램이 도 4에 도시되어 있다. 경사값을 누적한 누적 분포 함수(Cumulative Distribution Function, CDF) 히스토그램을 통하여 최적의 보존 파라미터를 결정하며, 히스토그램의 90%가 되는 지점의 경사 값으로 결정할 수 있다.

[0041] 가중치는 주변 픽셀과의 대조도에 따라 차등적으로 계산된다. 주변 픽셀들(μ_m)에 비해 상대적으로 높은 대조도를 보이는 경계들은 보존되고, 낮은 대조도를 보이는 잡음 복셀들은 억제된다.

[0042] 전역 변형 저감화 기법의 목적 함수에 적용되는 비국부(Non-Local) 가중치는 수학식 7과 같이 표현된다.

수학식 7

$$w_j = \sum_{i \in \Omega} \exp \left(- \frac{\sum_{k=-a}^a G(k) (P_{(j+k)} - P_{(i+k)})^2}{2h_0^2} \right)$$

[0043]

[0044] 처리부는 가중치를 포함하는 목적 함수로 정의된 전역 변형 저감화 기법에 비국부(Non-Local) 가중치를 적용할 수 있다. 비국부 가중치는 (i) 패치를 갖는 커널 함수와 (ii) 영상 배경의 표준편차의 소정의 배수로 설정된 필터링 파라미터를 포함하는 관계로 표현될 수 있다. 커널 함수는 원점을 중심으로 대칭이면서 적분값이 1인 non-negative 함수이다. 처리부는 커널 함수로 가우시안 커널 함수를 사용할 수 있다.

[0045] 비국부 가중치는 단위 분산에 따라 기 설정된 크기를 갖는 검색 영역 내에서 검색 영역의 크기보다 작게 설정된 크기를 갖는 패치 간의 유사도를 이용하여 설정된다. 비국부 영역은 $j \in \Omega$ 로 정의된다. 인덱스 k 는 패치의 인덱스를 의미하고, 패치의 크기는 $(2a+1) \times (2a+1)$ 로 설정될 수 있다. 가우시안 커널에서 패치는 5×5 로 설정될 수 있고, 검색 영역은 21×21 로 설정될 수 있다. 필터링 파라미터 h_0 는 영상 배경의 표준편차의 2-3배로 설정될 수 있다.

[0046] 처리부는 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여 프로젝션 데이터를 보정한다. 처리부는 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화한다.

[0047] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적용하는 적응적 경사 하강 기법을 예시한 도면이다.

[0048] 처리부가 영상 적합도를 최소화하는 것은 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용할 수 있다. 적응적 경사 하강 기법을 적용하여 목적 함수를 최소화하고, 두드러진 경계들을 유지하면서 잡음 복셀들이 부드러워지는 최적의 경사 하강 기법의 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 정규 함수를 최소화한다.

[0049] 처리부는 복원 영상의 밝기 값으로 정의된 목적 함수에 적응적 경사 하강 기법을 적용하고, 목적 함수를 최적화하는 파라미터를 검출하는 과정을 반복하여 복원 영상을 필터링할 수 있다.

[0050] 적응적 계단 크기가 적용되는 적응적 경사 하강 기법은 수학식 8과 같이 표현된다.

수학식 8

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

[0051]

[0052] λ 는 반복 단계가 진행됨에 따라 부드러움 정도가 감소될 수 있도록 제어하는 적응 파라미터이다. 각 경사 하강법 단계에서 갱신된 값이 반복 회수가 증가함에 따라 보다 작은 값으로 지정되도록 제어한다. t 는 반복 회수를 의미한다.

[0053] $\nabla R(P_j)$ 는 각 경사 하강법 단계에서 계산되는 목적 함수의 X선 영상의 j 번째 색인된 위치에서의 경사를 의미하고 모든 위치에서 계산된 경사의 제곱근의 합 $|\nabla R(P_j)|$ 는 정규화된 경사 계산을 위해 요구된다.

[0054] 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법에 의한 경사는 수학식 9와 같이 표현된다.

수학식 9

$$\nabla R(P_j) = \frac{\partial R(P)}{\partial P_j} = \frac{\partial R(P)}{\partial P_{(u,v)}} \left(\begin{array}{l} w_{(u,v)} \frac{2P_{(u,v)} - P_{(u-l,v)} - P_{(u,v-l)}}{\sqrt{(P_{(u,v)} - P_{(u-l,v)})^2 + (P_{(u,v)} - P_{(u,v-l)})^2}} \\ + w_{(u+l,v)} \frac{P_{(u,v)} - P_{(u+l,v)}}{\sqrt{(P_{(u+l,v)} - P_{(u,v)})^2 + (P_{(u+l,v)} - P_{(u+l,v-l)})^2}} \\ + w_{(u,v+l)} \frac{P_{(u,v)} - P_{(u,v+l)}}{\sqrt{(P_{(u,v+l)} - P_{(u-l,v+l)})^2 + (P_{(u,v+l)} - P_{(u,v)})^2}} \end{array} \right)$$

[0055]

[0056] 목적 함수가 상이하면, 적응적 경사 하강 기법에 따른 경사 역시 상이하게 되고, 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적용된 경사는 인접 픽셀과의 높에 따른 제곱근을 분자로 갖고 인접 픽셀과의 차를 분모로 갖는 값에 가중치를 곱한 형태로 표현된다.

[0057] 적응 파라미터는 수학식 10과 같이 표현된다.

수학식 10

$$\lambda = \gamma \times \sqrt{\sum_j P_j^t \times P_j^t}$$

[0058]

[0059] 급격한 변화로 인하여 발생할 수 있는 국부 최소화를 피하기 위하여 스케일링 파라미터 γ 를 적용한다. 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적용된 적응적 경사 하강 기법에 관한 알고리즘은 다음 표 1과 같이 슈도 코드로 표현된다.

㉠ 1

```

 $\gamma = 0.1, \gamma_{\text{red}} = 0.8$ 
for  $j = 1$  to all pixels do
     $\lambda = \sqrt{\sum_j (P_j)^2}$ 
    for  $m = 1$  to  $N_j$  do
         $w_j = \sum_{m \in N_j} \exp \left[ - \left( \frac{P_j - P_m}{\delta} \right)^2 \right]$ 
    end for
end for

```

[0060]

```

for i=1 to 20 do
  for j=1 to all pixels do
     $R(P) = \sum_j w_j G(P_j)$ 
     $|\nabla R(P)| = \sqrt{\sum_j (\nabla R(P_j))^2}$ 
  end for
  for j=1 to all pixels do
     $\partial P_j = \nabla R(P_j) / |\nabla R(P)|$ 
     $P_j^{new} = P_j - \gamma \cdot \lambda \cdot \partial P_j$ 
  end for
  for j=1 to all pixels do
     $R(P^{new}) = \sum_j w_j G(P_j^{new})$ 
  end for
  while  $R(P^{new}) \geq R(P)$  do
     $\gamma = \gamma \times \gamma_{red}$ 
    for j=1 to all pixels do
       $P_j^{new} = P_j - \gamma \cdot \lambda \cdot \partial P_j$ 
    end for
    for j=1 to all pixels do
       $R(P^{new}) = \sum_j w_j G(P_j^{new})$ 
    end for
  end while
  for j=1 to all pixels do
     $P_j = P_j^{new}$ 
  end for
end for

```

[0061]

[0062] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적용하는 복셀 구동형 역투영 기법을 예시한 도면이다.

[0063] 처리부는 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 보정된 프로젝션 데이터를 재구성한다. 복셀의 벡터 r 가 주어질 때 투영 변화를 통해 대응하는 위치 $u(r)$, $v(r)$ 의 픽셀 P 는 수학식 11과 같이 표현되고, 대응하는 위치 $u(r)$, $v(r)$ 는 수학식 12 및 수학식 13과 같이 표현된다.

수학식 11

$$P(\theta, r) = P^i(\theta, u(r), v(r))$$

[0064]

수학식 12

$$u(r) = \frac{r_{x\theta}}{d + r_{y\theta}} D$$

[0065]

수학식 13

$$v(r) = \frac{r_{z\theta}}{d + r_{y\theta}} D$$

[0066]

[0067] D는 빔원에서 감지기까지의 거리이고, 회전 벡터 $[r_{x\theta}, r_{y\theta}, r_{z\theta}]^T$ 는 구성 볼륨의 원점으로부터 각도 θ 만큼 회전된 회전 벡터이다. 회전 벡터는 수학식 14의 회전 행렬을 통해 산출된다.

수학식 14

$$\begin{pmatrix} r_{x\theta} \\ r_{y\theta} \\ r_{z\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix}$$

[0068]

[0069] 위치 벡터 r에서 최종 감쇠 계수 u(r)은 수학식 15와 같이 표현된다.

수학식 15

$$\mu(r) = \mu(r_x, r_y, r_z) = \frac{\pi}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} (w(r) \cdot P^i(\theta, u(r), v(r)))$$

[0070]

[0071] w(r)은 깊이 가중치이고, N_p 는 프로젝션 데이터의 총 개수이다. 모든 복셀은 필터링된 모든 프로젝션 데이터로부터 유도되면 N_p 에 의해 정규화된다.

수학식 16

$$w(r) = \frac{d^2}{(d + r_{y\theta})^2}$$

[0072]

[0073]

처리부는 3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 보정된 프로젝션 데이터를 재구성할 수 있다.

[0074]

$u_p=u-p-1$, $v_q=v-q-1$ 조건에서 $P^n(\theta, u(r), v(r))$ 은 수학식 17과 같이 1차원 큐빅 스플라인의 2차원 텐서 곱으로 표현될 수 있다.

수학식 17

$$P^n(\theta, u(r), v(r)) = \sum_{p=0}^3 \sum_{q=0}^3 B_p(u - [u_p]) B_q(v - [v_q]) P^n(\theta, [u_p], [v_q])$$

[0075]

[0076]

$[x]$ 는 실수 x 에 대해서 작거나 동일한 정수 중에서 가장 큰 정수로 매핑하는 바닥 함수이다. B_p 및 B_q 는 수학식 18에 대응한다.

수학식 18

$$\begin{aligned} B_0(X) &= (2 - X)^3 / 6 & \text{if } 1 \leq X \leq 2, \\ B_1(X) &= (3X^3 - 6X^2 + 4) / 6 & \text{if } 0 \leq X < 1, \\ B_2(X) &= (-3X^3 - 6X^2 + 4) / 6 & \text{if } -1 \leq X < 0, \\ B_3(X) &= (2 + X)^3 / 6 & \text{if } -2 \leq X < -1 \end{aligned}$$

[0077]

[0078]

콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 포함된 구성요소들이 도 1에서는 분리되어 도시되어 있으나, 복수의 구성요소들은 상호 결합되어 적어도 하나의 모듈로 구현될 수 있다. 구성요소들은 장치 내부의 소프트웨어적인 모듈 또는 하드웨어적인 모듈을 연결하는 통신 경로에 연결되어 상호 간에 유기적으로 동작한다. 이러한 구성요소들은 하나 이상의 통신 버스 또는 신호선을 이용하여 통신한다.

[0079]

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.

[0080]

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.

[0081]

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다. 영상 재구성 방법은 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의하여 수행될 수 있으며, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 수행하는 동작에 관한 상세한

설명과 중복되는 설명은 생략하기로 한다.

- [0082] 단계 S710에서, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 프로젝션 데이터를 전처리한다. 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계(S710)는, 프로젝션 데이터를 로그 변환하는 단계, 로그 변환된 프로젝션 데이터를 주파수 영역으로 푸리에 변환하는 단계, 푸리에 변환된 프로젝션 데이터에 고주파 통과 필터와 윈도우 필터가 결합된 수정 필터를 적용하여 보정하는 단계, 및 수정 필터를 적용하여 보정된 프로젝션 데이터를 역푸리에 변환하는 단계를 포함한다.
- [0083] 단계 S720에서, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다. 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법은 노이즈를 갖는 픽셀은 전역 변형이 높은 것을 고려하여 에지를 보존하면서 상기 노이즈를 제거하며, 전역 변형은 2차원의 위치에서 인접 픽셀 간의 놈(Norm)으로 표현된다. 전역 변형 저감화 기법의 목적 함수에 비등방성(Anisotropic) 가중치 또는 비국부(Non-Local) 가중치를 적용할 수 있다.
- [0084] 프로젝션 데이터를 보정하는 단계(S720)는, 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화할 수 있다.
- [0085] 단계 S730에서, 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다. 복원 영상을 생성하는 단계(S730)는, 3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성할 수 있다.
- [0086] 도 8 내지 도 13은 본 발명의 실시예들이 재구성한 영상을 예시한 도면이다.
- [0087] Catphan503을 사용하여 정량적 비교를 수행하였다. 팬텀은 중 방향을 따라 상하 방향으로 3 개의 직교하는 레이저 빔을 사용하여 정렬되었다. CBCT 프로젝션 데이터는 Infinity 선형 가속기 시스템에 장착된 kV 방사선원으로 구성된 XVI R5.0으로 획득되었다. 갠트리와 피검사체 또는 지지대의 주변을 회전할 때 작은 시야각(FOV) 프로토콜, S20 시준기, F0 필터를 구비하고 보타이 필터없이 총 360도의 회전으로 일련의 프로젝션 데이터를 획득하였다. 전체 스캔을 위한 프로젝션 수는 약 665 개이다. 빔원과 검출기 간의 거리는 1536 mm이고, 빔원과 축 간의 거리는 1000 mm이다. 저선량 CBCT 프로토콜의 경우 X레이 튜브 전류는 10 mA로 설정되고 X레이 펄스의 지속 시간은 각 프로젝션의 데이터 수집 중에 10 ms로 설정되고, 관 전압은 100 kVp로 설정되었다. 재구성 된 영상은 복셀 크기가 0.5x0.5x0.5 mm³인 512x512x200 보셀의 크기로 생성되었다. 모든 복원 영상은 Hounsfield units (HU)로 변환되었다.
- [0088] 대응하는 영역들 간의 상대적 이미지 콘트라스트를 정량적으로 비교하기 위해, 우리는 복원 영상에서 선택된 관심 영역 (ROI)에서의 콘트라스트 노이즈 비율(CNR)은 수학식 19와 같이 정의한다.

수학식 19

$$CNR = \frac{2|M_{insert} - M_{center}|}{\sqrt{\delta_{insert}^2 + \delta_{center}^2}}$$

[0089]

- [0090] M_{insert} 및 $\delta_{insertsms}$ 는 평균 및 표준 편차 HU 값을 나타낸다. M_{center} 및 δ_{center} 는 중앙에 위치한 ROI에 대응하는 값이다. 각 방식에 의한 CNR은 표 2와 같은 수치를 갖는다. 해당 영역 간의 상대적인 대비를 파악할 수 있다.

표 2

ROI	FDK with Shepp-Logan filter	FDK with modified filter	FDK with ATV
1	3.15	6.29	11.69
2	5.50	12.94	23.66
3	4.84	11.59	23.14
4	0.05	0.48	1.36
5	0.38	0.81	1.64
6	0.87	1.58	2.76
7	5.14	11.64	23.09

[0091]

[0092]

전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화하여 프로젝션 데이터를 보정함으로써, 모든 ROI에서 CNR이 개선됨을 파악할 수 있다.

[0093]

선택된 ROI에서 정확한 HU 값을 평가하기 위해 수학적 20과 같이 RMSE(Root-Mean-Square Error)를 산출한다.

수학적 20

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_{ROI}} \sum_i^{N_{ROI}} (M_{insert}^i - \overline{M_{insert}^i})^2}$$

[0094]

M_{insert}^i 및 $\overline{M_{insert}^i}$ 는 재구성된 영상과 벤치마크 CBCT 영상에서 i번째의 평균 HU 값을 나타낸다.

[0095]

재구성된 영상과 벤치마크 CBCT 영상 간의 전반적인 차이를 평가하기 위해 수학적 21과 같이 상관 계수를 산출한다.

[0096]

수학적 21

$$Correlation = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i^l - M^l)(m_i^h - M^h)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (m_i^l - M^l)^2 \sum_{i=1}^N (m_i^h - M^h)^2}}$$

[0097]

m_i^l 및 M^l 는 각 방식에 의한 재구성 영상의 복셀 i의 HU 값과 평균 HU 값을 나타낸다. m_i^h 및 M^h 는 벤치마크 CBCT 영상의 복셀 i의 HU 값과 평균 HU 값을 나타낸다. RMSE가 낮고 상관 계수가 높을수록 성능이 우수하다는 것을 의미한다. 각 방식에 의한 RMSE 및 상관 계수는 표 3과 같은 수치를 갖는다. 해당 영역 간의

[0098]

상대적인 대비를 파악할 수 있다.

표 3

	FDK with Shepp-Logan filter	FDK with modified filter	FDK with ATV
RMSE	37.49	25.02	22.38
Correlation	0.943	0.966	0.971

[0099]

[0100]

전역 변형 저감화(Total Variation Denoising) 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수를 최소화하여 프로섹션 데이터를 보정함으로써, 모든 ROI에서 RMSE 및 상관 계수가 개선됨을 파악할 수 있다.

[0101]

도 8의 (a)는 셰프-로간 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 8의 (b)는 수정 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 8의 (c)는 본 실시예에 따른 비등방성 가중치를 갖는 TV가 적용된 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이다.

[0102]

도 9의 (a)는 기존의 고선량 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 9의 (b)는 본 실시예에 따른 비등방성 가중치를 갖는 TV가 적용된 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이다.

[0103]

도 10의 (a)는 셰프-로간 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 10의 (b)는 수정 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 10의 (c)는 본 실시예에 따른 비국부 가중치를 갖는 TV가 적용된 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이다.

[0104]

도 11의 (a)는 기존의 고선량 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이고, 도 11의 (b)는 본 실시예에 따른 비국부 가중치를 갖는 TV가 적용된 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상이다.

[0105]

본 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 고품질의 복원 영상을 획득할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0106]

도 12의 (a)는 셰프-로간 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상의 MIP(Maximum Intensity Projection)이고, 도 12의 (b)는 수정 필터를 적용한 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상의 MIP이고, 도 12의 (c)는 본 실시예에 따른 비등방성 가중치를 갖는 TV가 적용된 FDK 알고리즘에 의한 복원 영상의 MIP이다.

[0107]

MIP 영상은 복원 영상의 각 픽셀에서 해당 뷰 레이를 따라 마주 치는 최고 값을 추출할 수 있으므로, 노이즈를 줄이면서 콘트라스트가 높은 일부 영역이 보존되는지 여부를 판단할 수 있다. 본 실시예에 따른 영상 재구성 방법은 눈에 띄는 특징을 가진 뼈나 치아 영역이 다른 두 알고리즘과 비교하여 배경 영역의 아티팩트를 줄이면서 잘 보존된다는 것을 보여 준다.

[0108]

도 13의 3 개의 FDK 복원 알고리즘에 의해 생성된 복원 영상의 중심을 지나는 수평선의 1차원 프로파일이다.

[0109]

셰프-로간 필터를 사용할 때의 인접한 복셀 간의 급격한 변화는 수정 필터를 적용하면서 크게 감소하였다. 비등방성 가중치를 적용한 후에는 균질(Homogeneous) 영역의 변화가 더 부드러워졌고, 뼈, 연조직 및 공기 중의 비균질(Inhomogeneous) 영역의 변화는 거의 보존되었다. 본 실시예에 따른 영상 재구성 방법은 노이즈를 효과적으로 제거할 수 있으며 동시에 눈에 띄는 에지에 패널티를 가하지 않음을 쉽게 파악할 수 있다.

[0110]

도 2 및 도 7에서는 각각의 과정을 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나 이는 예시적으로 설명한 것에 불과하고, 이 분야의 기술자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 도 2 및 도 7에 기재된 순서를 변경하여 실행하거나 또는 하나 이상의 과정을 병렬적으로 실행하거나 다른 과정을 추가하는 것으로 다양하게 수정 및 변형하여 적용 가능할 것이다.

[0111]

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.

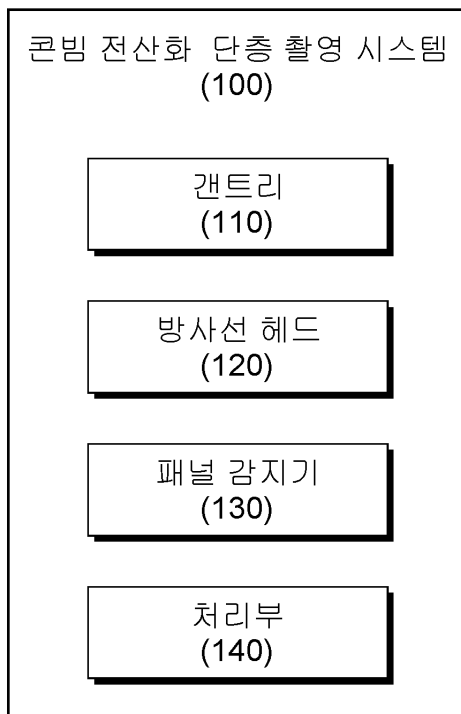
[0112] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

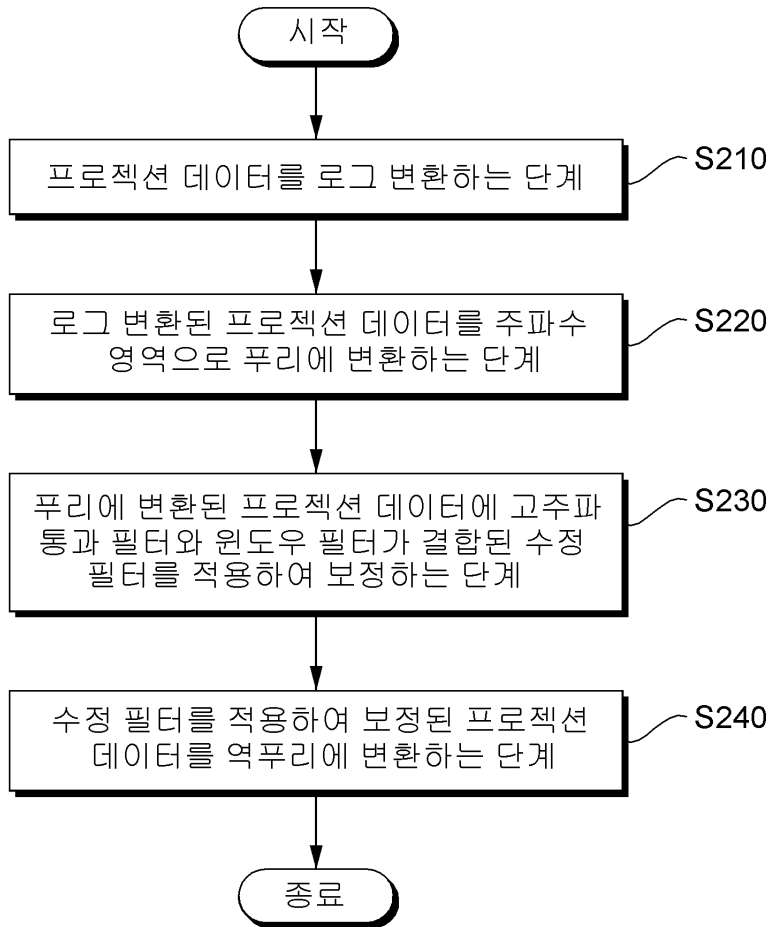
[0113] 100: 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템
110: 갠트리
120: 방사선 헤드
130: 패널 감지기
140: 처리부

도면

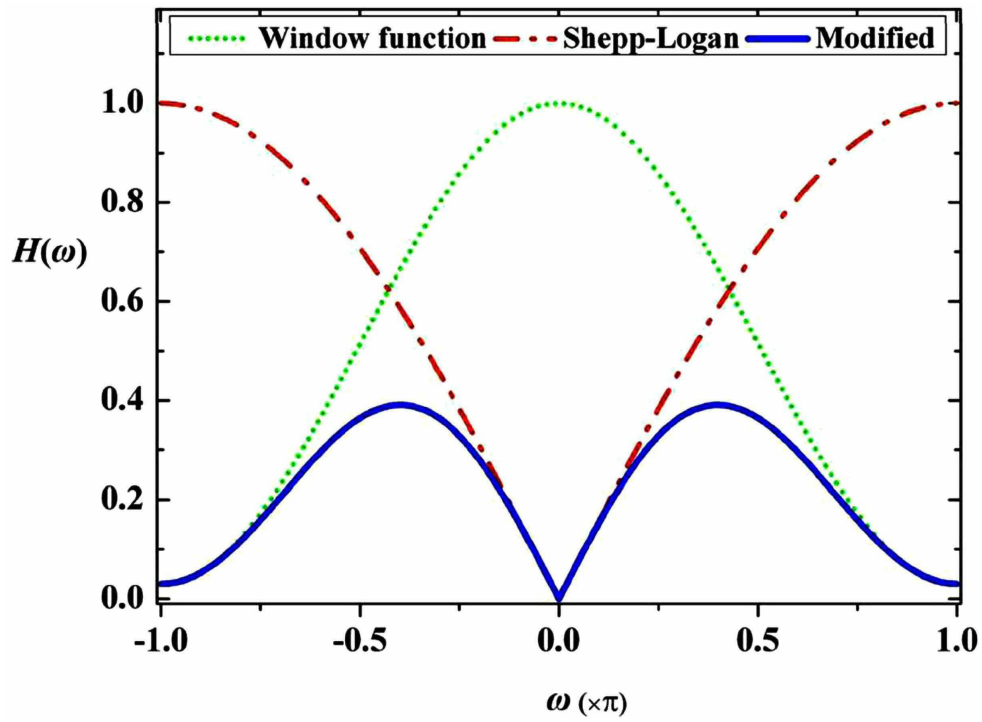
도면1



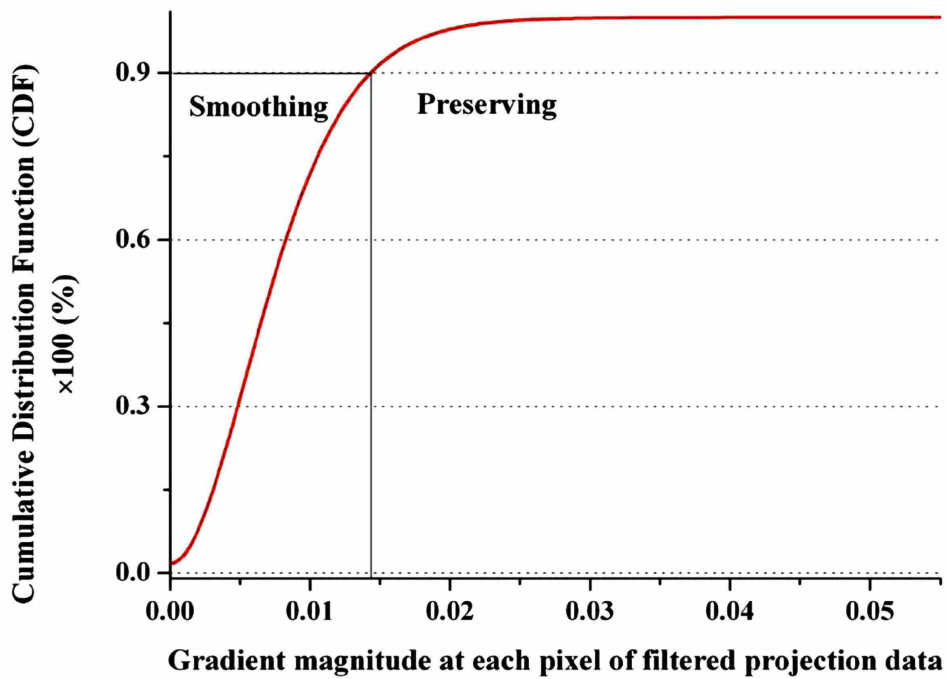
도면2



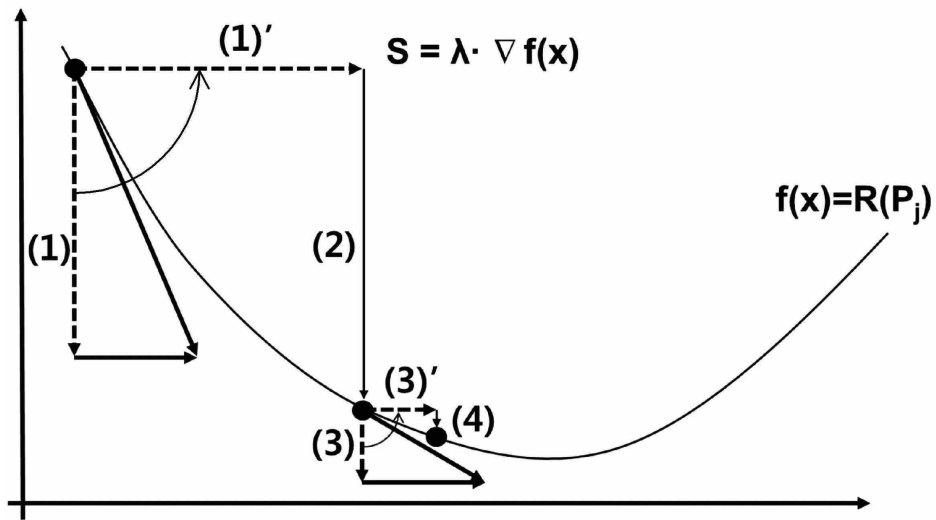
도면3



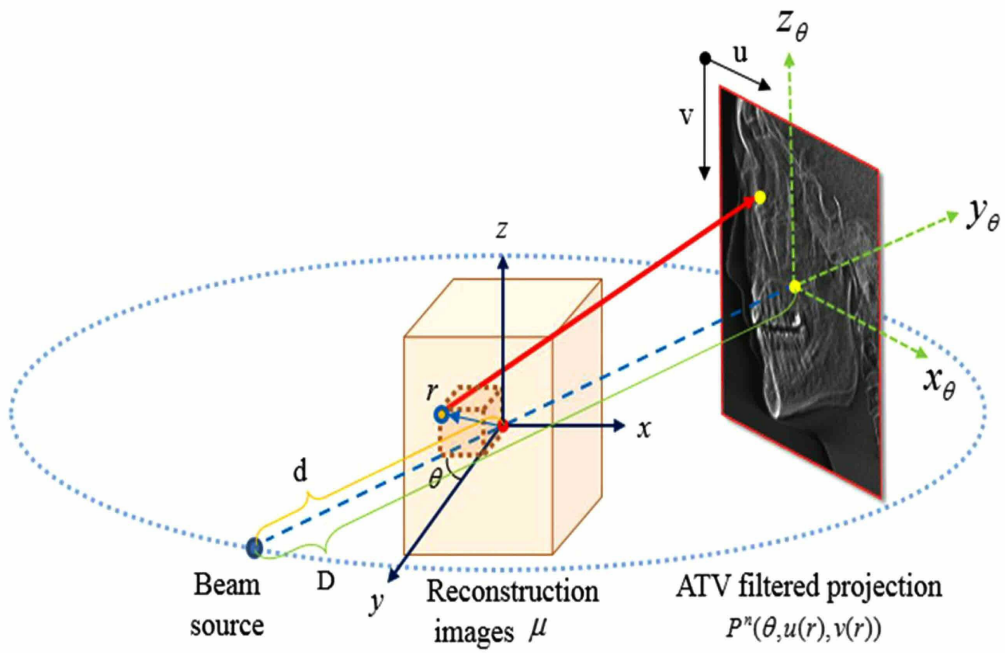
도면4



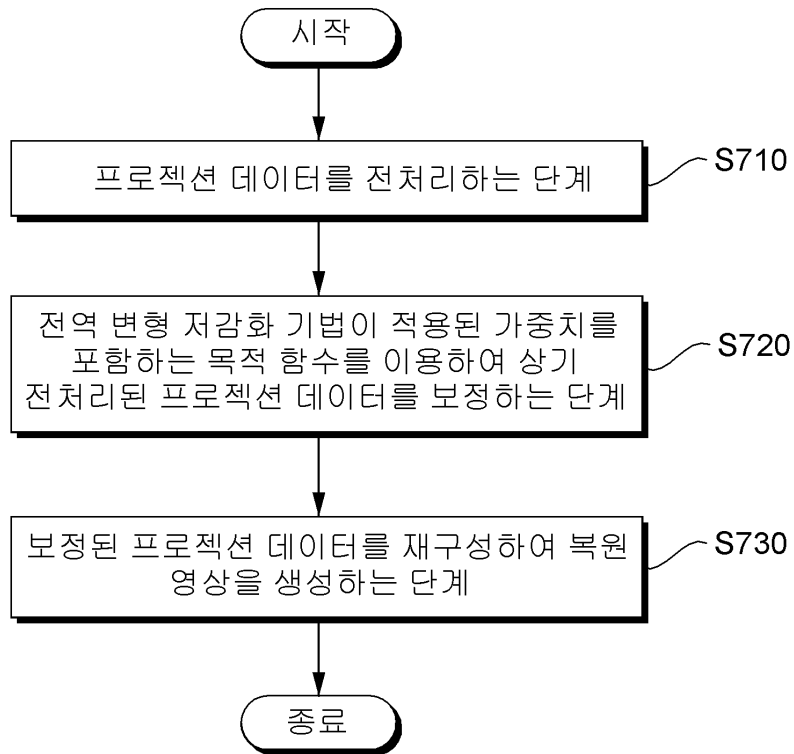
도면5



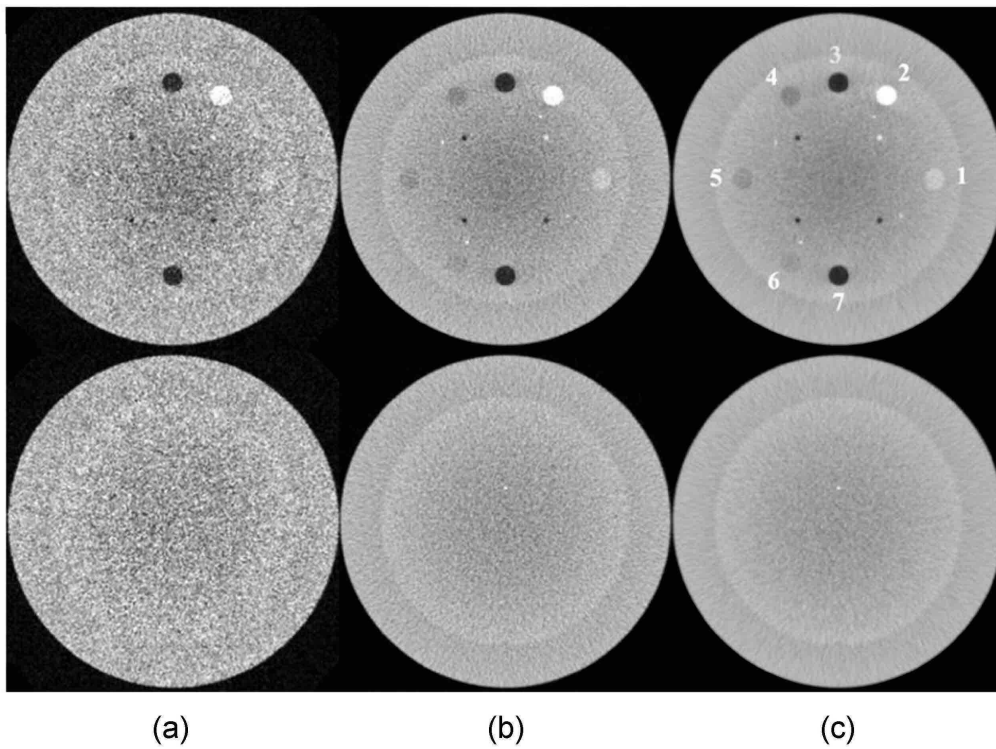
도면6



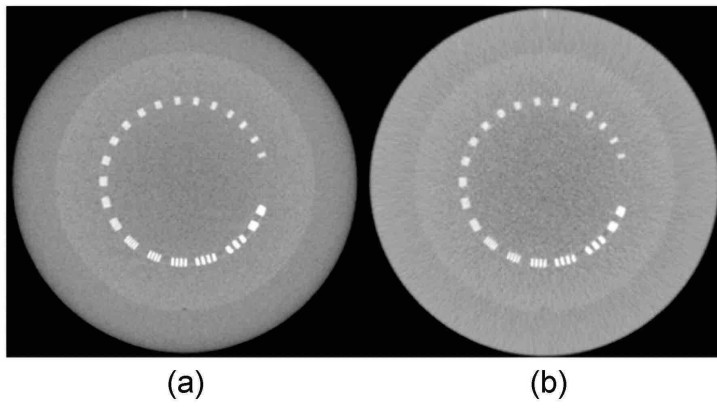
도면7



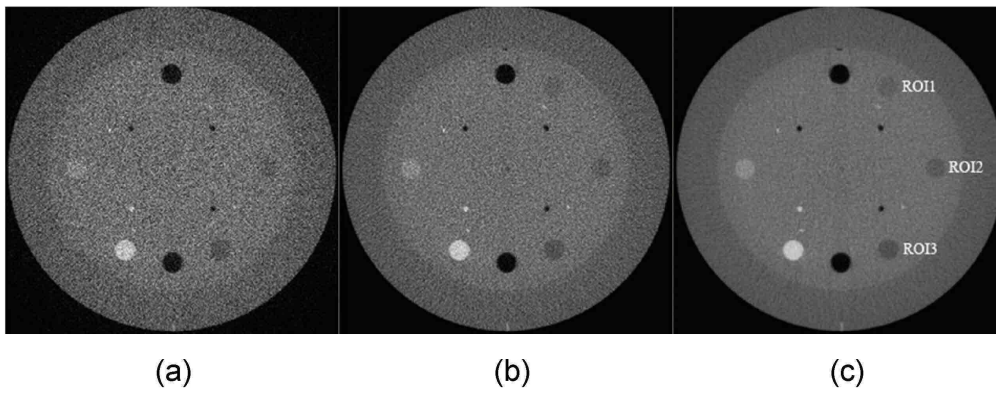
도면8



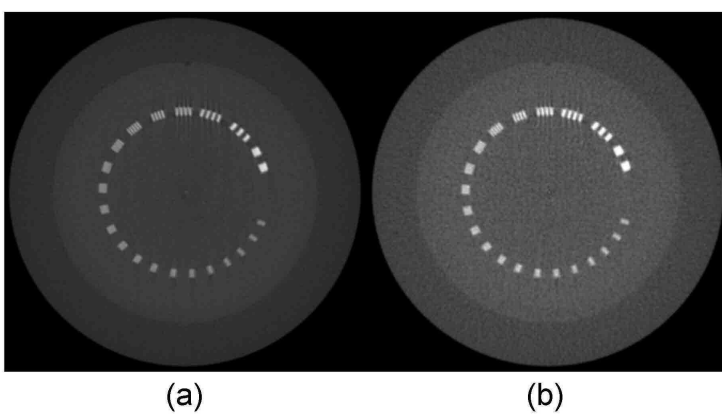
도면9



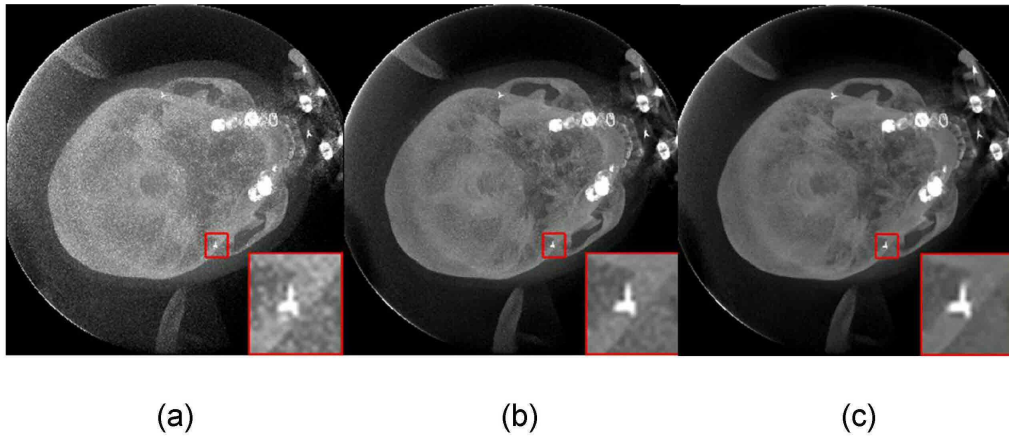
도면10



도면11



도면12



도면13

