(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년11월30일
(11) 등록번호 10-2473009
(24) 등록일자 2022년11월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 11/00 (2006.01) *A61B 6/00* (2006.01)
A61B 6/03 (2006.01) *G06T 15/08* (2011.01)
G06T 3/40 (2006.01) *G06T 5/00* (2019.01)
(52) CPC특허분류
G06T 11/003 (2013.01)
A61B 6/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0097301
(22) 출원일자 2020년08월04일
심사청구일자 2020년08월04일
(65) 공개번호 10-2022-0017155
(43) 공개일자 2022년02월11일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020200083122 A*
KR101076321 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
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

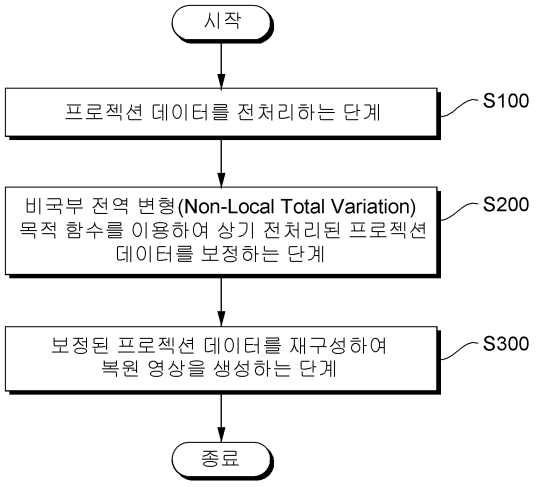
전체 청구항 수 : 총 8 항 심사관 : 이병우

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

(57) 요 약

본 발명에 따르면, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하여 고 대조비를 가지는 구조물이 원래의 특징을 유지하면서 이미지 품질을 향상시키는 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 저선량 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 개시된다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
A61B 6/4085 (2013.01)
A61B 6/5205 (2013.01)
G06T 15/08 (2013.01)
G06T 3/4007 (2013.01)
G06T 5/001 (2013.01)
G06T 2211/416 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1345312599
과제번호 2019R1I1A1A01062157
부처명 교육부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 과학기술분야 기초연구사업
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

명 세 서

청구범위

청구항 1

콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법에 있어서,

프로젝션 데이터를 전처리하는 단계;

비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계; 및

상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함하며,

상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용하고,

상기 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계는, 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하는 단계를 포함하고,

상기 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자를 포함하되, 상기 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값과 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터를 포함하고,

상기 제1 하이퍼파라미터는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1보다 크도록 만드는 정규화 인자에 해당하고,

상기 제2 하이퍼파라미터는 스케일링 계수에 해당하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계는,

상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계는,

적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total

Variation) 목적 함수를 최소화하는 것을 특징으로 하는 영상 재구성 방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 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, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부를 포함하며,

상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용하고,

상기 처리부는, 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하며,

상기 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자를 포함하되, 상기 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값과 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터를 포함하고,

상기 제1 하이퍼파라미터는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1보다 크도록 만드는 정규화 인자에 해당하고,

상기 제2 하이퍼파라미터는 스케일링 계수에 해당하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 처리부는, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 처리부는, 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-

Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하는 것을 특징으로 하는 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템.

청구항 15

제9항에 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.

발명의 설명

기 술 분 야

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

배 경 기 술

[0002] 콘빔 전산화 단층 촬영(Cone Beam Computed Tomography, 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.

[0003] 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.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 저선량 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 관한 것으로 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하여 고 대조비를 가지는 구조물이 원래의 특징을 유지하면서 이미지 품질을 향상시키는데 그 목적이 있다.

[0005] 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

[0006] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법은, 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계 및 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계를 포함한다.

[0007] 여기서, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계는, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다.

[0008] 여기서, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용한다.

[0009] 여기서, 상기 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계는, 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하는 단계를 포함한다.

[0010] 여기서, 상기 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자를 포함하되, 상기 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값과 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터를 포함한다.

[0011] 여기서, 상기 제1 하이퍼파라미터는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1 보다 크도록 만드는 정규화 인자이다.

[0012] 여기서, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데

이터를 보정하는 단계는, 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화한다.

[0013] 여기서, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 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 재구성한다.

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 의한 영상 재구성 방법은, 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, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 처리부를 포함한다.

[0015] 여기서, 상기 처리부는, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다.

[0016] 여기서, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용한다.

[0017] 여기서, 상기 처리부는, 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하며, 상기 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자를 포함하되, 상기 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값과 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터를 포함한다.

[0018] 여기서, 상기 제1 하이퍼파라미터는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1 보다 크도록 만드는 정규화 인자이다.

[0019] 여기서, 상기 처리부는, 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화한다.

[0020] 여기서, 상기 처리부는, 3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성한다.

발명의 효과

[0021] 이상에서 설명한 바와 같이 본 발명의 실시예들에 의하면, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하여 고 대조비를 가지는 구조물이 원래의 특징을 유지하면서 이미지 품질을 향상시킬 수 있다.

[0022] 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

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법에 따른 결과를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적용하 는 복셀 구동형 역투영 기법을 예시한 도면이다.

도 5 내지 도 7은 본 발명의 실시예들이 재구성한 영상을 예시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 본 발명에 관련된 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 저선량 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 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 부분

은 생략되며, 도면의 동일한 참조부호는 동일한 부재임을 나타낸다.

[0025] 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.

[0026] 본 발명은 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 저선량 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템에 관한 것이다.

[0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템을 예시한 블록도이다.

[0028] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 갠트리(110), 방사선 헤드(120), 패널 감지기(130), 처리부(140)를 포함한다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 콘빔 전산화 단층 촬영(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)을 통해 프로젝션 영상을 획득하고, 재구성하여 복원 영상을 생성하는 시스템이다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 프로젝션(projection) 영상에서 고밀도 구조물인 뼈(bone) 등이 프로젝션 영상에서 큰 밝기값을 가지는 것에 기인하여 비국부 가중치 함수에 관련 파라미터를 추가하여 고 대조비를 가지는 구조물이 원래의 특징을 유지하면서 열화되는 것을 방지한다.

[0031] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템(100)은 비 로컬 총 변이(total variation)(NLTV) 노이즈 제거 및 3차원의 B-스플라인 보간-기반 백 프로젝터(backprojector)를 사용하여 저선량 CBCT의 이미지 품질을 향상시키는 개선 된 Feldkamp-Davis-Kress (FDK) 재구성 알고리즘을 이용한다.

[0032] 갠트리(110)는 적어도 일 방향으로 회전 가능하도록 형성된다.

[0033] 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.

[0034] 방사선 헤드(120)는 상기 갠트리에 연결되며 피검사체에 방사선 빔을 조사한다. 방사선 헤드(120)는 피검사체를 촬영하는 스캔 시간 동안 작동한다.

[0035] 패널 감지기(130)는 상기 갠트리에 연결되며 상기 피검사체를 투과한 방사선 빔을 감지하여 복수의 프로젝션 데이터를 획득한다.

[0036] 처리부(140)는 상기 복수의 프로젝션 데이터를 전처리하고, 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하고, 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다.

[0037] 처리부(140)는 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다.

[0038] 여기서, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용한다.

[0039] 국부(local) 영역 처리는 현재 업데이트하고자 하는 대상 픽셀과 그 인접 픽셀에 포함된 픽셀들 간의 관계만을 가지고 현재 픽셀에 업데이트하는 방식인 반면에, 비국부(Non-Local) 영역 처리는 대상 픽셀의 인접 픽셀만이 아니라 영상 내 모든 픽셀들을 그룹으로 지정해서, 그룹에 포함된 각 픽셀들이 대상 픽셀과 얼마나 유사한 지에 따라 가중치를 계산하여 업데이트하게 된다. 유사도 계산은 대상 픽셀을 포함하는 작은 패치 영역과 그룹에 포함된 각 픽셀 별 작은 패치 영역을 가지고 비교하게 된다. 구현 측면으로는 그룹 픽셀의 범위를 전체 영상 크기로 하면 계산 시간이 오래 걸리기 때문에, 탐색 영역을 정해서 그 안에 포함된 픽셀들 만을 고려하게 된다.

[0040] 처리부(140)는 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하며, 상기 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자를 포함하되, 상기 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값과 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터를 포함한다.

[0041] 여기서, 상기 제1 하이퍼파라미터는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1 보다 크도록 만드는 정규화 인자이다.

[0042] 처리부(140)는 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화한다.

[0043] 처리부(140)는 3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형

역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성한다.

[0044] 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.

[0045] 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.

[0046] 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템은 하드웨어적 요소가 마련된 컴퓨팅 디바이스에 소프트웨어, 하드웨어, 또는 이들의 조합하는 형태로 구현될 수 있다.

[0047] 컴퓨팅 디바이스는 각종 기기 또는 유무선 통신망과 통신을 수행하기 위한 통신 모뎀 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.

[0048] 도 2는 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법을 예시한 흐름도이다.

[0049] 도 2를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 영상 재구성 방법은 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 처리부에서 수행되며, 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계(S100)에서 시작한다.

[0050] 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계(S100)는, 상기 프로젝션 데이터를 로그 변환하는 단계를 포함한다.

[0051] 구체적으로, 처리부(140)가 프로젝션 데이터를 전처리하는 단계는, 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.

[0052] 콘 모양의 빔 진행 방향으로 인해 생기는 밝기값 떨어짐 현상을 방지하기 위해 로그 변환된 각각의 프로젝션 데이터를 각각의 X선의 주사방향에 따른 사전가중치를 적용하여 변환한다.

[0053] 단계 S200에서 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다.

[0054] 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계(S200)는, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정한다.

[0055] 로그 변환 프로젝션에서 노이즈 제거의 전체 변형이 적용되어 로컬이 아닌 패치 간의 유사성으로 인해 현저한 특징과 원치 않는 노이즈 간의 신호 차이를 향상시킨다.

[0056] NLTV(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하면 대차에 비해 대비가 높은 가장자리가 유지되고 대비가 낮은 노이즈가 많은 복셀이 매끄럽게 나타난다. 동일한 거리에 따라 가중치가 다른 비 로컬 패널티(penalty)는 수학식 1로 구현되며, 수학식 1을 이용한 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는 수학식 2로 구현된다.

수학식 1

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

[0057]

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

[0058] 여기서 인덱스 j는 투영에서 픽셀 요소의 인덱스를 식별하며, 2D 위치(u, v)의 픽셀 요소이다. 비 로컬 영역 대한 검색 세트는 i∈Ω로 정의된다.

[0059] 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수는, 인덱스로 식별되는 제1 복셀과 비국부(Non-Local) 영역에 대해 지정된 검색 세트에 포함되는 다수의 복셀들 사이의 가중치를 이용한다. 가중치는 수학식 2로 나타난다.

수학식 2

[0060]
$$w_j = \sum_{i\in\Omega} exp\left(-(P_j/\tau)^k \frac{\sum_{k=-a}^{k=a} G(k)(P_{(j+k)} - P_{(i+k)})^2}{2h_0^2}\right)$$

[0061] w_j는 검색 세트(Ω)에서 현재 복셀 j와 복셀 사이의 가중치 나타낸다. G (k)는 패치 크기가 ((2a + 1)×(2a + 1)) 인 가우시안 커널이며 k는 패치의 인덱스를 나타낸다.

[0062] 여기서, 가우시안 커널의 패치는 단위 분산으로 5 x 5로 정의되고, 비 로컬 검색 영역은 단위 분산으로 21 x 21 이며, 필터링 매개 변수 h_0은 누적 분포 함수(CDF)의 90%로 설정되는 것이 바람직하다. CDF히스토그램은 로그 변환 된 프로젝션 데이터의 각 픽셀에서 기울기 크기를 누적하여 생성된다.

[0063] 가중치는, 하나의 픽셀에 대하여 공간 부호화된 인자$(P_j/\tau)^k$를 포함한다. 공간 부호화된 인자는 j 번째 픽셀에 대해 공간적으로 인코딩 된 인자이다.

[0064] 공간 부호화된 인자는 하나의 픽셀에 대한 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값(P_j)과 제1 하이퍼파라미터(τ) 및 제2 하이퍼파라미터(k)를 포함한다.

[0065] 제1 하이퍼파라미터 및 제2 하이퍼파라미터는 대비를 유지하기 위해 고강도 영역에서 가중 평균 효과를 줄인다.

[0066] 상기 제1 하이퍼파라미터(τ)는, 상기 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1 보다 크도록 만드는 정규화 인자이다.

[0067] 제1 하이퍼파라미터는 로그 변환된 프로젝션 데이터의 각 픽셀에서 강도를 누적함으로써 생성된 CDF 히스토그램의 90 %로 설정된다.

[0068] 이에 따라, 프로젝션 데이터의 로그 변환된 값을 상기 제1 하이퍼파라미터로 나눈 값이 1 보다 큰 경우만 유지되고, 작은 경우 사라지게 되므로 선명한 영상을 획득할 수 있다.

[0069] 제2 하이퍼파라미터(k)는(본 발명의 일 실시예에서는 k = 3을 사용함)는 더 높은 강도를 위해 더 작은 가중치를 만들기 위한 스케일링 계수이므로 높은 강도의 영역에서 흐림 효과를 줄일 수 있다.

[0070] 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계(S200)는, 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법을 적용하여, 상기 비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화한다.

[0071] 적응적 계단 크기가 적용되는 적응적 경사 하강 기법은 수학식 3과 같이 표현된다.

수학식 3

[0072]
$$P_j^{t+1} = P_j^t - \lambda \frac{\nabla R(P_j)}{|\nabla R(P)|}$$

[0073] λ는 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. t는 반복 회수를

의미한다.

[0074] $\nabla R(P_j)$는 각 경사 하강법 단계에서 계산되는 목적 함수의 X선 영상의 j번째 색인된 위치에서의 경사를 의미하고 모든 위치에서 계산된 경사의 제곱근의 합 $|\nabla R(P)|$는 정규화된 경사 계산을 위해 요구된다.

[0075] 전역 변형 저감화 기법이 적용된 가중치를 포함하는 목적 함수에 적응적 경사 하강(Steepest Gradient Descent) 기법에 의한 경사는 수학식 4와 같이 표현된다.

수학식 4

$$\nabla R(P_j)=\frac{\partial R(P)}{\partial P_j}=\frac{\partial R(P)}{\partial P_{(u,v)}}=\left(\begin{array}{l} w_{(u,v)}\dfrac{2P_{(u,v)}-P_{(u-1,v)}-P_{(u,v-1)}}{\sqrt{(P_{(u,v)}-P_{(u-1,v)})^2+(P_{(u,v)}-P_{(u,v-1)})^2}} \\ +w_{(u+1,v)}\dfrac{P_{(u,v)}-P_{(u+1,v)}}{\sqrt{(P_{(u+1,v)}-P_{(u,v)})^2+(P_{(u+1,v)}-P_{(u+1,v-1)})^2}} \\ +w_{(u,v+1)}\dfrac{P_{(u,v)}-P_{(u,v+1)}}{\sqrt{(P_{(u,v+1)}-P_{(u-1,v+1)})^2+(P_{(u,v+1)}-P_{(u,v)})^2}} \end{array}\right)$$

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

[0076]

[0077] 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 놈에 따른 제곱근을 분자로 갖고 인접 픽셀과의 차를 분모로 갖는 값에 가중치를 곱한 형태로 표현된다.

[0078] 적응 파라미터는 수학식 5와 같이 표현된다.

수학식 5

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

[0079]

[0080] 급격한 변화로 인하여 발생할 수 있는 국부 최소화를 피하기 위하여 스케일링 파라미터 γ를 적용한다.

[0081] 가장 가파른 경사 하강 단계에 대한 최적의 반복 횟수는 미세 조정되었으므로 두드러진 특징점 픽셀들이 유지되면서 노이즈 픽셀이 최소화된다. 가장 가파른 경사 하강 단계의 반복 횟수는 10으로 설정되는 것이 바람직하다.

[0082] 단계 S300에서 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성한다.

[0083] 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계(S300)는, 3차원 다항식을 사용하여 매끄러운 함수를 산출하는 큐빅 스플라인 보간법을 기초로 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 상기 보정된 프로젝션 데이터를 재구성한다.

[0084] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법에 따른 결과를 나타낸 도면이다.

[0085] 도 3은 NLTV 노이즈 제거 알고리즘을 적용하기 전(좌)과 후(우)에 필터링 된 투영 간의 차이점을 나타낸다.

[0086] 로그 변환 프로젝션의 전역 변형 저감화(Total Variation Denoising)는 비국부(non-local) 패치 간의 유사성으로 인해 현저한 특징과 원치 않는 노이즈 간의 신호 차이를 향상시키기 위해 적용된다.

[0087] NLTV(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 최소화하면 주변에 비해 대비가 높은 가장자리가 유지되고 대비가 낮은 노이즈가 많은 복셀이 매끄럽게 나타남을 확인할 수 있다.

[0088] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템이 적용하 는 복셀 구동형 역투영 기법을 예시한 도면이다.

[0089] 프로젝션 데이터의 기하학적 정보와 필터링 된 프로젝션 데이터를 사용한 복셀 구동 역 투영 계산에 대한 표기법을 나타낸다.

[0090] 3차원의 B-스플라인 보간에 기반한 복셀 구동 백 프로젝션은 최종적으로 재구성 된 이미지를 생성하기 위해 수행된다.

[0091] 처리부는 복셀 구동형 역투영(Voxel Driven Backprojection) 기법을 적용하여 보정된 프로젝션 데이터를 재구성한다. 복셀의 벡터 r가 주어질 때 투영 변화를 통해 대응하는 위치 u(r), v(r)의 픽셀 P는 수학식 6과 같이 표현되고, 대응하는 위치 u(r), v(r)는 수학식 7 및 수학식 8과 같이 표현된다.

수학식 6

[0092] $$P(\theta,r) = P^n(\theta,u(r),v(r))$$

수학식 7

[0093] $$u(r) = \frac{r_{x\theta}}{d + r_{y\theta}} D$$

수학식 8

[0094] $$v(r) = \frac{r_{z\theta}}{d + r_{y\theta}} D$$

[0095] 여기서, D는 빔원에서 감지기까지의 거리이고, 회전 벡터 $[r_{x\theta}, r_{y\theta}, r_{z\theta}]^T$ 는 구성 볼륨의 원점으로부터 각도 θ만큼 회전된 회전 벡터이다. 회전 벡터는 수학식 9의 회전 행렬을 통해 산출된다.

수학식 9

[0096] $$\begin{pmatrix} r_{x\theta} \\ r_{y\theta} \\ r_{z\theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix}$$

[0097] 위치 벡터 r에서 최종 감쇠 계수 μ(r)은 수학식 10와 같이 표현된다.

수학식 10

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

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

[0098]

[0099] w(r)은 깊이 가중치이고, N은 프로젝션 데이터의 총 개수이다. 모든 복셀은 필터링된 모든 프로젝션 데이터로부터 유도되면 N에 의해 정규화된다.

[0100] 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.

[0101] u_p=u-p-1, v_q=v-q-1 조건에서 $P_n(\Theta, u(r), v(r))$은 수학식 11과 같이 1차원 큐빅 스플라인의 2차원 텐서 곱으로 표현될 수 있다.

수학식 11

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

[0102]

[0103] [x]는 실수 x에 대해서 작거나 동일한 정수 중에서 가장 큰 정수로 매핑하는 바닥 함수이다. B_p 및 B_q 는 수학식 12에 대응한다.

수학식 12

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

[0104]

[0105] 도 5 내지 도 7은 본 발명의 실시예들이 재구성한 영상을 예시한 도면이다.

[0106] 도 5는 SL, ATV 및 NLTV를 사용하여 FDK에서 재구성 한 CBCT이미지의 대표적인 슬라이스 (각각 (a), (b), (c))와 SL, ATV 및 NLTV를 사용하여 필터링 된 투영에서 각각 입방 형 B- 스플라인 보간을 기반으로 복셀 구동 백 프로젝터(각각 (d), (e), (f))를 추가 한 것이다.

[0107] 본 발명의 일 실시예에 따른 비국부 전역 변형 저감화(NLTV denoisng)에 의해 재구성 된 이미지에서 다른 두 알고리즘에 비해 인공물이 크게 억제됨을 확인할 수 있다. 16 픽셀 (4x4)을 사용하는 3차 B- 스플라인 보간으로 리샘플링 된 CBCT 이미지는 더 매끄럽고 보간 아티팩트가 적어 SL, ATV 및 NLTV에 대한 재구성 정확도가 약간 향상되었다. 또한, 재구성 된 이미지에서 선택된 관심 영역 (ROI)에서 대비 대 잡음비(CNR)를 계산하여 해당 영역 간의 상대적인 이미지 대비 비교를 평가할 수 있다.

표 1

ROI	Material of insert	SL	ATV	NLTV	SL+cubic B-spline	ATV+cubic B-spline	NLTV+cubic B-spline
1	Delrin™	5.7	7.1	15.7	9.0	15.3	16.7
2	Teflon	13.8	17.0	30.7	20.6	30.9	31.3
3	Air	12.5	16.1	32.9	18.6	30.6	34.7
4	PMP	1.0	1.4	4.4	1.9	3.4	4.9
5	LDPE	0.1	0.1	0.5	0.3	0.7	0.7
6	Polystyrene	0.6	0.8	1.7	0.9	1.7	1.9
7	Air	13.2	17.9	40.7	21.7	38.7	44.1

[0108]

[0109] 표 1은 6 개의 FDK 알고리즘에 의해 얻어진 재구성 된 CBCT 이미지에서 7 개의 ROI에서 CNR을 비교한 것이다. 제안된 NLTV 노이즈 제거는 다른 두 알고리즘에 비해 모든 ROI에서 더 나은 CNR을 보여준다. 3 차 B- 스플라인 보간 프로세스를 추가하면 CNR이 SL, ATV 및 NLTV의 높은 값으로 약간 향상된다.

표 2

	SL	ATV	NLTV	SL+cubic B-spline	ATV+cubic B-spline	NLTV+cubic B-spline
RMSE	144.9	140.0	135.7	140.9	137.2	135.0
Correlation	0.92	0.94	0.98	0.97	0.98	0.99

[0110]

[0111] 표 2는 6 개의 FDK 재구성 방법에 기초하여 재구성 된 이미지로부터 획득 된 2 개의 정량적 측정치 (RMSE 및 Correlation)를 나타낸다. 높은 mAs 수집 프로토콜 (40mA 및 40ms)을 사용하여 전체 투영에 대해 오류를 계산한다. NLTV는 다른 알고리즘에 비해 낮은 RMSE와 높은 상관 관계를 이끌어낸다. 3 차 B-스플라인 보간을 추가하면 노이즈가 적은 시나리오에서 Catphan503 팬텀에 가장 적합한 결과를 얻을 수 있다. SL과 ATV의 에반, 큐빅 B-스플라인 보간은 RMSE를 낮추고 상관 관계를 높일 수 있다. 3 차 B-스플라인 보간법으로 제안 된 NLTV는 가장 낮은 RMSE와 가장 높은 상관 관계를 생성한다.

[0112] 도 6은 (a)높은 mAs 투영을 사용하는 벤치 마크 이미지와 (b)낮은 mAs 투영을 사용하는 NLTV + cubic B-spline interpolation을 사용한 FDK를 적용하여 생성 된 재구성 이미지의 대표적인 슬라이스를 비교한 것이다.

[0113] 두 mA의 재구성 이미지 사이에서 라인 바의 대응성을 정성적으로 판단하기 위해 낮은 mA에서 획득 된 투영법 (a)과 높은 mA에서 수집 된 투영법(b) (40mA 및 40ms)으로 제안된 방법을 보여준다. 제안 된 방법은 육안 검사를 통해 고용량 CBCT 이미징에 필적하는 공간 분해능을 보여준다.

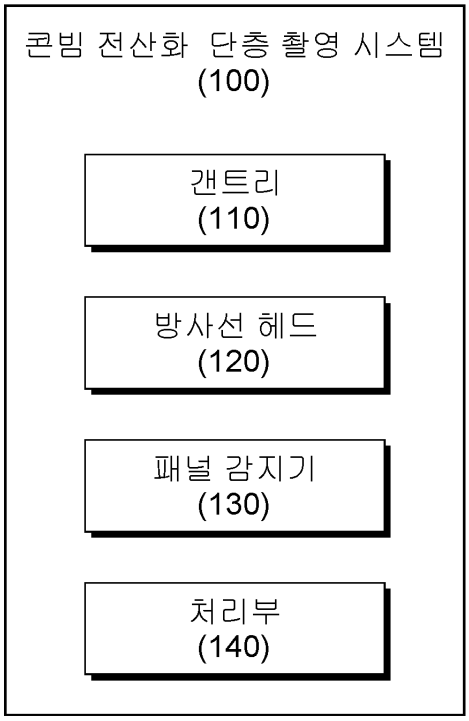
[0114] 도 7은 재구성 된 이미지의 최대 강도 투사(MIP)를 비교한 것이다. MIP 이미지를 사용하면 재구성 된 이미지의 각 픽셀에서 해당보기 광선을 따라 발생하는 가장 높은 값을 추출할 수 있으므로 노이즈를 줄이면서 명암이 높은 일부 영역이 보존되는지 여부를 확인할 수 있다.

[0115] 다른 두 알고리즘에 비해 벤치마크 이미지에 해당하는 중앙 영역의 아티팩트를 줄이면서 뛰어난 기능을 가진 영역이 잘 보존되었음이 나타난다. NLTV를 추가 한 후, 균질 영역의 변화는 더 매끄럽게 되었지만 균질 영역의 변화는 거의 보존됨을 확인할 수 있다. 이는 본 발명의 다른 실시예에 따른 콘빔 전산화 단층 촬영 시스템의 영상 재구성 방법이 눈에 띄는 가장자리에 큰 영향을 주지 않으면서 잡음을 효과적으로 절약 할 수 있음을 나타낸다.

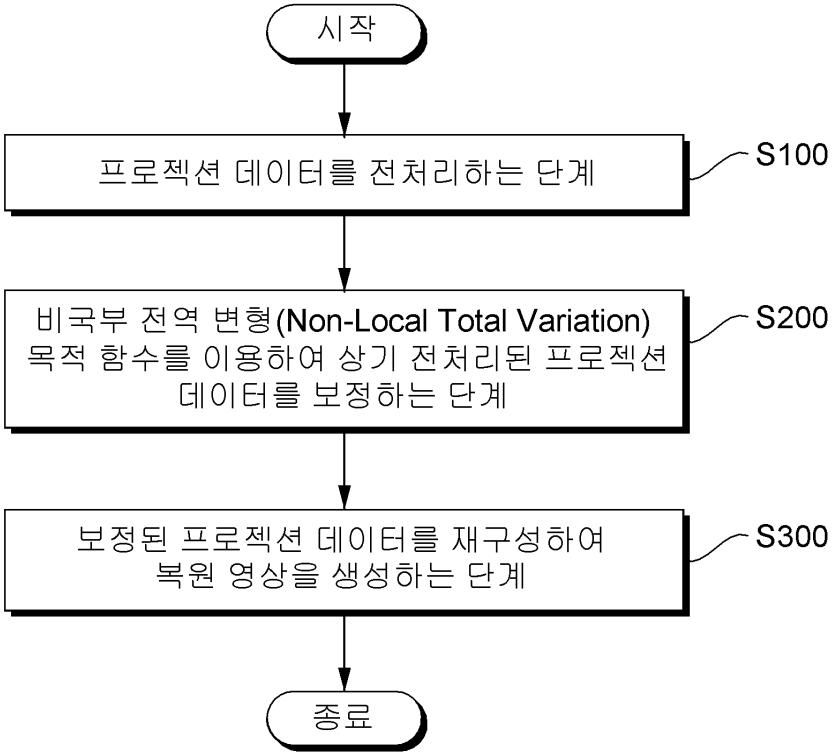
[0116] 이상의 설명은 본 발명의 일 실시예에 불과할 뿐, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 본질적 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현할 수 있을 것이다. 따라서 본 발명의 범위는 전술한 실시예에 한정되지 않고 특허 청구 범위에 기재된 내용과 동등한 범위 내에 있는 다양한 실시 형태가 포함되도록 해석되어야 할 것이다.

도면

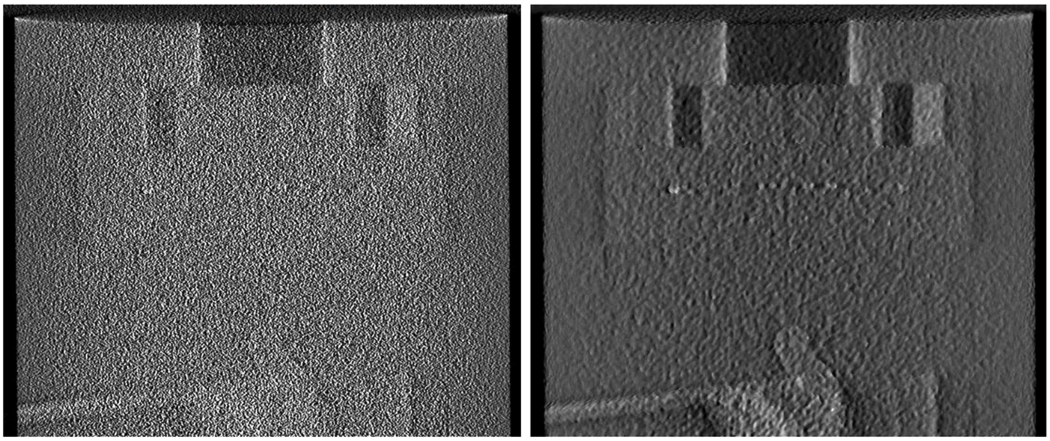
도면1


콘빔 전산화 단층 촬영 시스템
(100)
갠트리
(110)
방사선 헤드
(120)
패널 감지기
(130)
처리부
(140)

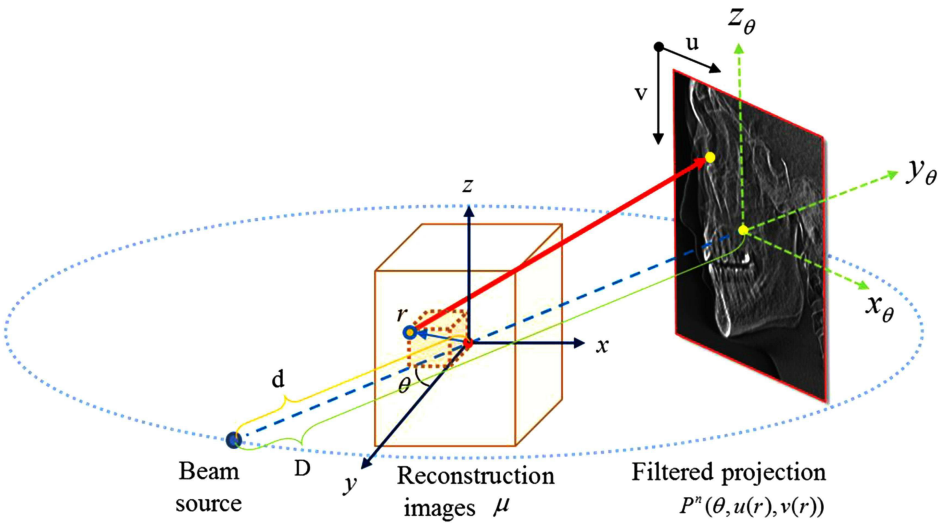
도면2


시작
프로젝션 데이터를 전처리하는 단계
S100
비국부 전역 변형(Non-Local Total Variation) 목적 함수를 이용하여 상기 전처리된 프로젝션 데이터를 보정하는 단계
S200
보정된 프로젝션 데이터를 재구성하여 복원 영상을 생성하는 단계
S300
종료

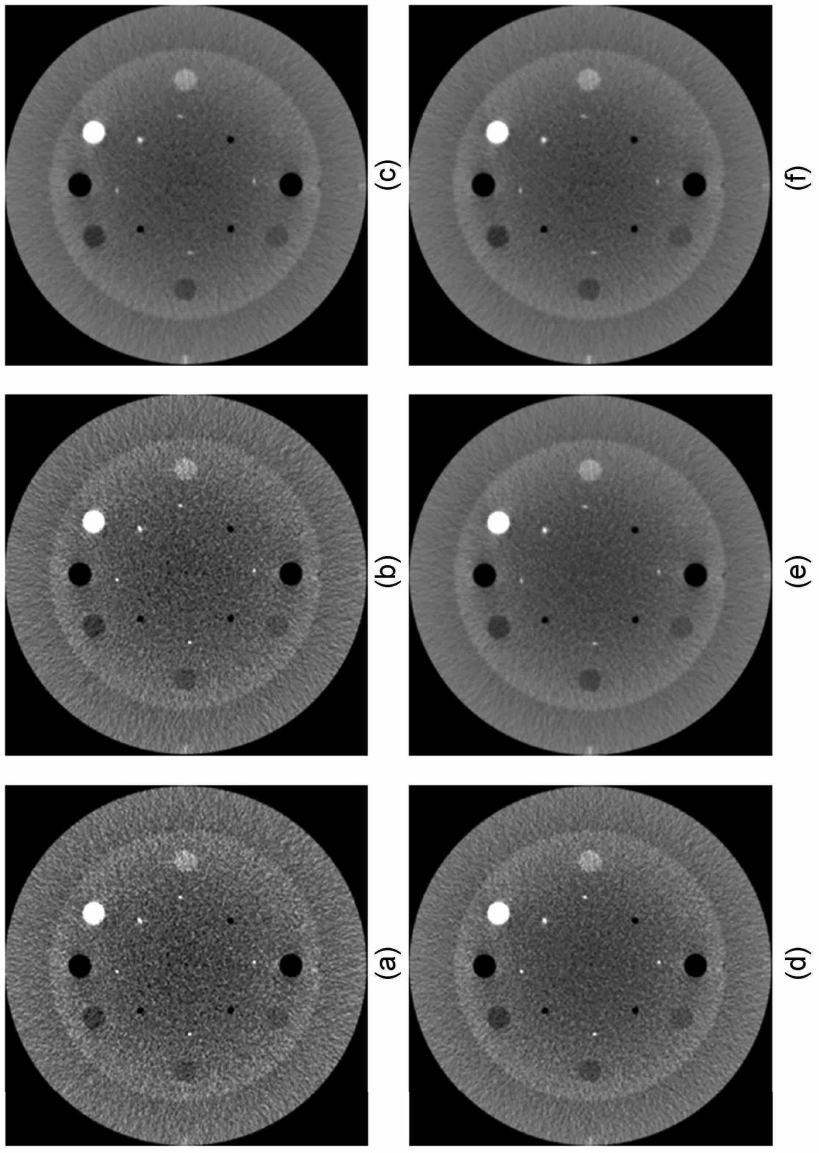
도면3



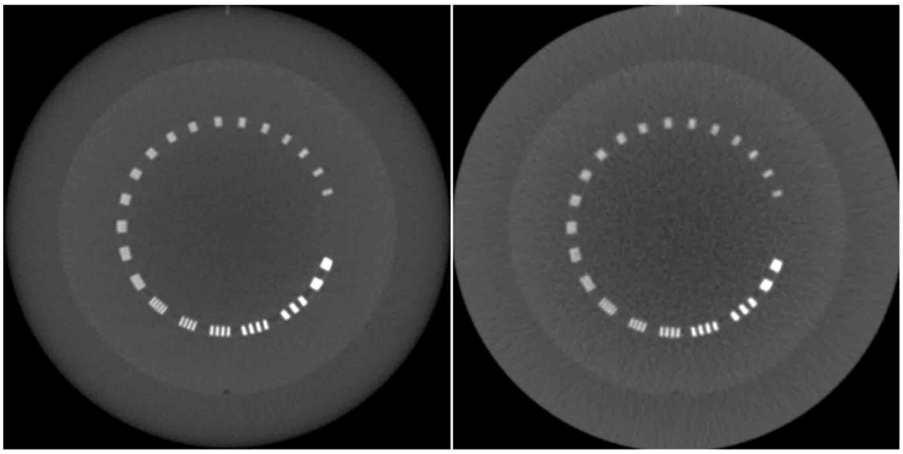
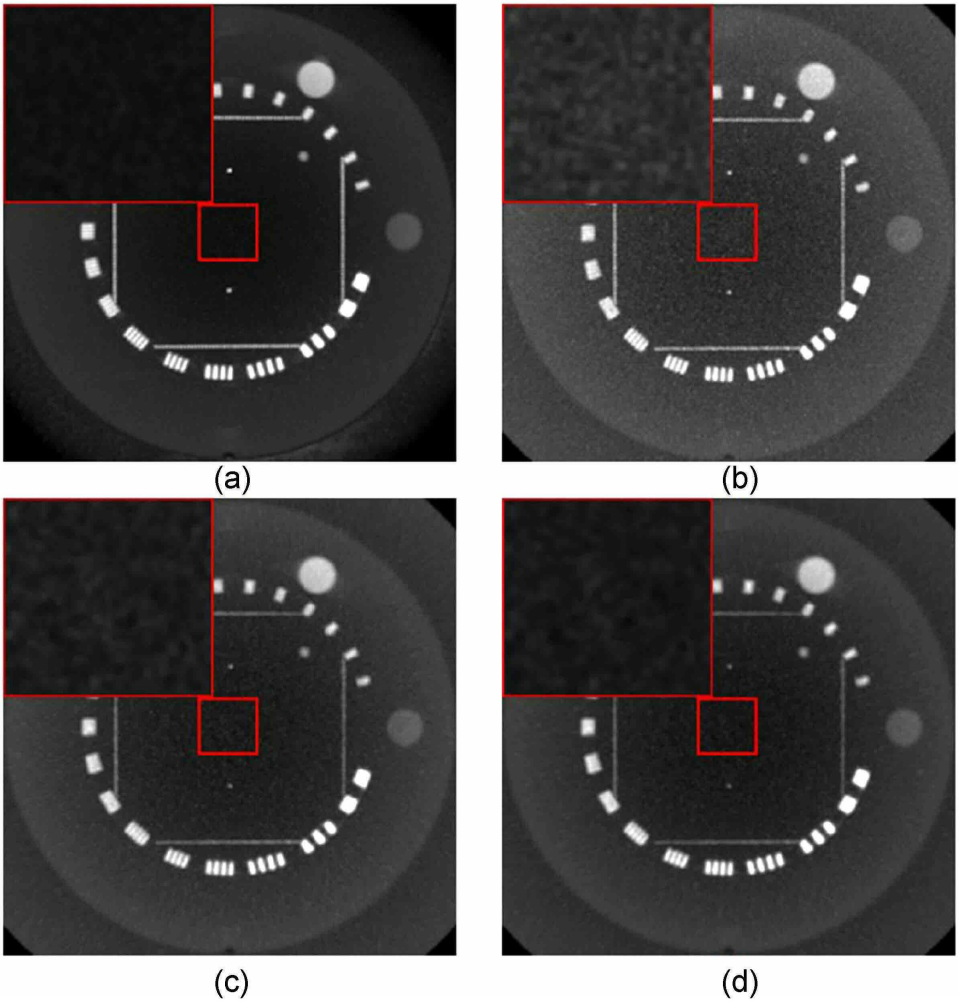
도면4


z_θ
u
v
y_θ
z
r
x
x_θ
d
θ
Beam source
D
y
Reconstruction images μ
Filtered projection
$P^n(\theta, u(r), v(r))$

도면5



도면6



도면7