



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0103516
(43) 공개일자 2020년09월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01) A61B 6/03 (2006.01)
G06T 11/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 6/5205 (2013.01)
A61B 6/032 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0088565
(22) 출원일자 2019년07월22일
심사청구일자 2019년07월24일
(30) 우선권주장
1020190021617 2019년02월25일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 원주산학협력단
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
(72) 발명자
김희중
강원도 원주시 늘품로 199 반곡아이파크아파트
102동 304호
김도현
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1 연세대학교원주
캠퍼스 백운관 425호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민혜정

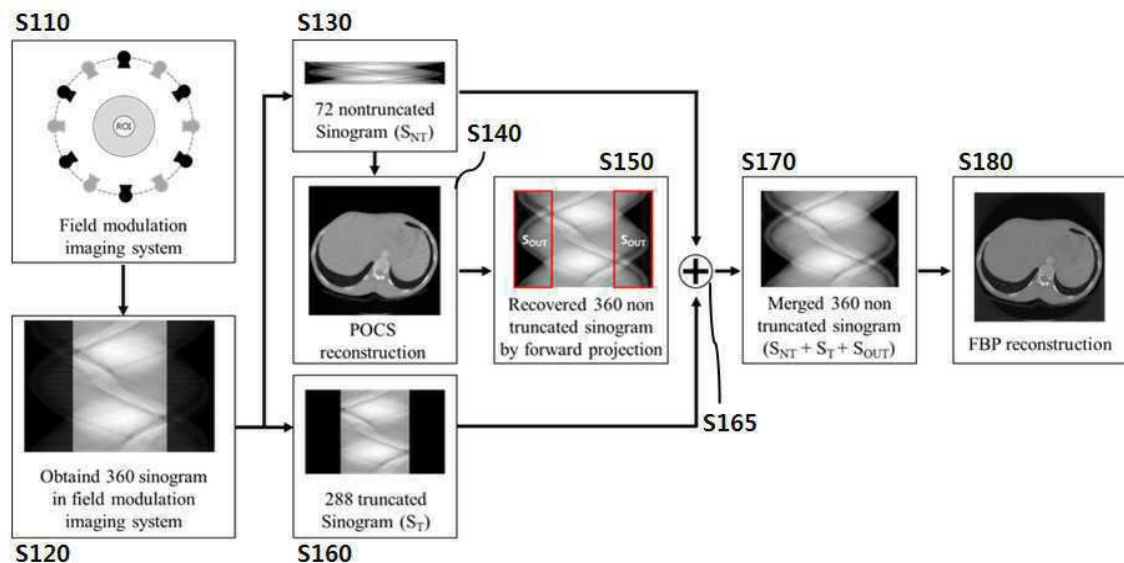
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 펄드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법

(57) 요약

본 발명은, POCS 기반의 재구성 알고리즘을 사용하여 비 절단 사이노그램(SNT)에 대한 재구성을 진행하여 외부정보가 포함된 재구성 영상을 얻고, 얻어진 재구성 영상을 다시 순방향 투영(forward projection, 전방 투시)하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 생성하고, 상기 가상의 사이노그램(SOUT)과 비 절단 사이노그램(뒷면에 계속)

대표도 - 도5



(SNT)과 절단 사이노그램(ST)을 이용하여 완성된 사이노그램을 활용하여 재구성 영상을 얻음으로 인해, 외부정보를 포함한 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법에 관한 것이다.

본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법은, 피검체를 중심으로한 360도 각도에 서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 조사야를 조절하여, 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비 절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하는, 투영데이터 획득단계; 투영데이터 획득부로부터 수신된 투영데이터로부터 사이노그램을 구하고, 구하여진 사이노그램으로부터 비절단 사이노그램(SNT) 및 절단 사이노그램(ST)을 추출하는, 비절단 사이노그램 및 절단 사이노그램 획득단계; 비절단 사이노그램(ST)에 POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하고, 획득된 재구성 영상을 순방향 투영하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 획득하는, POCS 알고리즘 적용 및 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계; 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)과 상기 가상의 사이노그램(SOUT)을 합산하여 얻은 투영 데이터를, 필터링된 역 투영(FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여 CT 이미지를 얻는, FBP 재구성된 CT 이미지 획득단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G06T 11/003 (2013.01)

G06T 2207/10081 (2013.01)

G06T 2211/421 (2013.01)

(72) 발명자

김혜미

강원도 원주시 흥업면 연세대길 1 연세대학교원주 캠퍼스 백운관 425호

이민재

강원도 원주시 흥업면 연세대길 1 연세대학교원주 캠퍼스 백운관 425호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017R1A2B2001818

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 이공분야기초연구사업

연구과제명 다중에너지 광자계수기반 디지털 단층영상 합성 장치의 융합기술 개발과 정량화

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 원주산학협력단

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

투영데이터 획득부에서, 피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 조사야를 조절하여 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하며, 획득된 투영 데이터의 갯수를 '총 투영 데이터수'로 하며, 절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '절단 투영 데이터수로 하고, 비절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '비절단 투영 데이터수로 하는, 투영데이터 획득단계;

연산처리부는, 투영데이터 획득단계에서 획득된 총 투영 데이터수의 투영 데이터로부터, 총 투영 데이터수의 사이노그램을 구하는, 사이노그램 획득단계;

연산처리부는, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서, 비절단 투영 데이터수의 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출하는, 비 절단 사이노그램 추출단계;

연산처리부는, 비 절단 사이노그램 추출단계에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을, POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하는, POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계;

연산처리부는, POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계에서 얻은 재구성 이미지를 가상 CT 프로젝터를 이용하여 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 복구하는, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

연산처리부가, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서, 절단 투영 데이터수의 절단 사이노그램(ST)을 추출하는, 절단 사이노그램 추출단계;

비 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 합산하는, 1차 합산단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

연산처리부가, 1차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산결과에, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT)을 더하여, 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는, 2차 합산단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

절단된 투영영상은, 관심영역만을 조사야로 하여 촬영한 영상이며, 비절단 투영영상은, 투영데이터 획득부에서 제공되는 뷰(view) 전체를 조사야로 하여 촬영한 영상인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

2차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과에, 필터링된 역 투영 (FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여, 재구성된 CT 이미지를 얻는, FBP 재구성된 CT 이미지 획득단계;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성은, 2차 합산단계에서 출력된 합산 결과를, 보정필터로 보정을 행하고, 가상 CT 프로젝터를 이용하여 역투영을 행하여 재구성된 CT 이미지를 획득하는 것인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법에 대한 컴퓨터 프로그램 소스를 저장한 기록매체.

청구항 8

제1항에 있어서,

총 투영 데이터수, 절단 투영 데이터수, 비절단 투영 데이터수는, 투영데이터 획득단계 전에, 사용자의 설정에 의해 설정된 값인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

총 투영 데이터수는 360 이며, 절단 투영 데이터수는 72 이며, 비절단 투영 데이터수는 288인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법.

청구항 10

피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 조사야를 조절하여, 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하는, 투영데이터 획득부;

투영데이터 획득부로부터 수신된 투영데이터로부터 사이노그램을 구하고, 구하여진 사이노그램으로부터 비절단 사이노그램(SNT) 및 절단 사이노그램(ST)을 추출하고,

비절단 사이노그램(ST)에 POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하고, 획득된 재구성 영상을 순방향 투영하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 획득하고,

비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)과 상기 가상의 사이노그램(SOUT)을 합산하여 얻은 투영 데이터를, 필터링된 역 투영 (FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여 CT 이미지를 얻는, 연산처리부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 필드 변조 CT 획득 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서,

투영데이터 획득부는,

피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하며, 획득된 투영 데이터의 갯수를 '총 투영 데이터수'로 하며, 절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '절단 투영 데이터수'이고, 비절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '비절단 투영 데이터수'로 하는 것을 특징으로 하는 필드 변조 CT 획득 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 연산처리부는,

투영데이터 획득부에서 획득된 총 투영 데이터수의 투영 데이터로부터, 총 투영 데이터수의 사이노그램을 구하는, 사이노그램 획득부;

사이노그램 획득부에서 얻어진 사이노그램에서, 비절단 투영 데이터수의 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출하는, 비 절단 사이노그램 추출부;

비 절단 사이노그램 추출부에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을, POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하는, POCS 알고리즘 처리부;

POCS 알고리즘 처리부에서 얻은 재구성 이미지를 가상 CT 프로젝터를 이용하여 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는. 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부;

를 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 연산처리부는,

사이노그램 획득부에서 얻어진 사이노그램에서, 절단 투영 데이터수의 절단 사이노그램(ST)을 추출하는, 절단 사이노그램 추출부;

비 절단 사이노그램 추출부에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출부에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 합산하는, 제1가산기;

제1가산기에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산결과에, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT)을 더하여, 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는, 제2가산기;

제2가산기에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산결과에, 필터링된 역 투영 (FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여, 재구성된 CT 이미지를 얻는, FBP 재구성된 CT 이미지 획득부;

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서,

총 투영 데이터수, 절단 투영 데이터수, 비절단 투영 데이터수는, 투영데이터 획득단계 전에, 사용자의 설정에 의해 설정된 값인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템.

청구항 15

제10항에 있어서,

절단된 투영영상은, 관심영역만을 조사야로 하여 촬영한 영상이며, 비절단 투영영상은, 투영데이터 획득부에서 제공되는 뷰(view) 전체를 조사야로 하여 촬영한 영상인 것을 특징으로 하는, 필드 변조 CT 획득 시스템.

발명의 설명

기술 분야

본 발명은 필드 변조(Field modulation) CT 획득 시스템에서, 외부정보의 복원의 정확도를 높인 POCS(projection onto convex sets, 볼록 집합 투영 기법) 기반의 복원 방법에 관한 것으로, 보다 상세히는, POCS 기반의 재구성 알고리즘을 사용하여 비 절단 사이노그램(SNT)에 대한 재구성을 진행하여 외부정보가 포함된 재구성 영상을 얻고, 얻어진 재구성 영상을 다시 순방향 투영(forward projection, 전방 투시)하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 생성하는 것으로, 기존의 사이노그램인 비 절단 사이노그램(SNT)과 절

[0001]

단 사이노그램(ST), 그리고 상기 가상의 사이노그램(SOUT)을 활용하여 완전한 사이노그램을 완성시킬 수 있으며, 완성된 사이노그램을 활용하여 재구성 영상을 얻게 되면 외부정보를 포함한 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 기존의 ROI(Region of interest) CT 촬영법은 환자의 불필요한 피폭을 줄이면서 선량을 감소시킬 수 있는 영상 촬영 기법이다. 하지만, 기존의 ROI(관심영역) CT는 외부정보를 재구성할 수 없기 때문에 현재 새로운 촬영 기법인 필드 변조(Field modulation) CT 획득 방식이라는 기술이 제안되어 연구되고 있다.
- [0003] 일례로, 2016년 3월 22일의 국제광학회 회보(Proc SPIE Int Soc Opt Eng.)에서, 제이 웹스터 스테이먼(J. Webster Stayman) 등의 논문, "다중 조리개 장치를 사용한 플루언스-필드변 X-ray CT (Fluence-Field Modulated X-ray CT using Multiple Aperture Devices)" 가 있다.
- [0004] (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4838035/>)
- [0005] 다른 일례로, 의학물리학회(Phys Med Biol.)에서 2019년 3월 21일에 Gang GJ 등에 의해 발표된 "다중 개구 장치를 이용한 컴퓨터 단층 촬영에서 동적 플루언트 필드 변조 (Dynamic fluence field modulation in computed tomography using multiple aperture devices)"가 있다.
- [0006] (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30939459>)
- [0007] 따라서, 필드 변조 CT 획득 방식 및 그 시스템은 공지되어 있으므로, 이에 대해서는 별도의 설명을 이하 생략한다.
- [0008] 필드 변조 CT 획득 방식을 사용하였을 때, 외부정보를 어느 정도 복원할 수 있지만, 완벽하게 복원하기에는 한계가 있어, 외부정보에 대한 정확도 및 품질이 떨어졌다. 여기서, 필드 변조(Field modulation)는 빔 변조(beam modulation)와 동일한 개념이다.
- [0009] 이를 해결하기 위해, 본 발명은, POCS 기반의 복원 알고리즘을 이용하여, 부족한 외부정보들을 완전하게 복원하는 것을 제안한다.
- [0010] 즉, 필드 변조 CT 획득 시스템을 통해 얻은 사이노그램(Sinogram)은 비 절단 사이노그램(nontruncated sinogram, SNT)과 절단 사이노그램(truncated sinogram, ST)으로 구성되는데, 본 발명은, POCS 기반의 재구성 알고리즘을 사용하여, 비 절단 사이노그램(SNT)에 대한 재구성을 진행하여 외부정보가 포함된 재구성 영상을 얻고, 얻어진 재구성 영상을 다시 전방 투시(forward projection)하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 생성하는 것으로, 기존의 사이노그램인 SNT와 ST, 그리고 SOUT을 활용하여 완전한 사이노그램을 완성시킬 수 있으며, 완성된 사이노그램을 활용하여 재구성 영상을 얻게 되면 외부정보를 포함한 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법을 제안한다.
- [0011] 일반적으로 CT의 X선 스캐너는 원통형상으로 이루어지며, 이 원통형상의 내측 일측에 X선 디텍터를 구비하며, X선 디텍터의 다른 일측(대정부)에 X선관을 구비하여, 이 원통형상의 내부에 삽입된 피검체를 영상화한다. X선관에서 방출되어 피검체를 투과한 투과선이 X선 디텍터에서 검출되는데, X선 디텍터에서는 피검체를 지나온 투과선의 양이 누적치량으로 합쳐지게 된다.
- [0012] 원통형상 속의 피검체를 있는 그대로 두고 투과선만 조사하여 내부물체를 영상화하려면, 피검체를 0도~180도로 돌려가며 찍든가, 아니면, 피검체를 그대로 두고 빔을 돌려가며 찍어서, 피검체를 투과한 빔의량을 계산하여 다면상인 CT영상을 만들게 된다.
- [0013] 이때 0도에서 180도까지 회전하며 투과량을 한줄로 구성된 X선 디텍터의 센서에서 검출하게 되며, 이렇게 검출한 데이터는 물체를 투과정도에 따라 데이터 누적량이 다르기에 물체의 정보를 가지고 있다. 물체의 360도 표현은 180도까지의 데이터를 미러링하여 구하여 나타낸다.
- [0014] 여기서, 여러각도로 X선 사진을 찍어 얻은 그래프를 시각화한 것을 사이노그램(sinogram)이라한다.
- [0015] 사이노그램은 피검체의 특정부분을 지나온 투과누적치를, 가로축에, 각이 0도부터 180도까지를 표시하고, 각 각도마다 중심축을 기준으로 해당하는 그래프의 높이를 명암을 써서 시각화한 것이다. 즉, 사이노그램은 X선이 흡수된 양을 XY평면에 표시한 것이다. 즉, 흰색에 가까울수록 흡수가 많이 된 경우로, 상당히 흡수가 많이 일어난 경우는 물체가 투과빔을 막았다고 볼 수 있다.

- [0016] 일반적으로 사이노그램은 수학적 라돈변환을 물리적으로 수행한 결과이고, 원래 영상을 얻으려면 역라돈변환을 수행하여 얻는다.
- [0017] 본 발명에서 사용되는 POCS기반의 알고리즘은 반복적(iterative) 알고리즘으로 접근하여 보다 정확하고 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는 장점이 있으며, 또한, 기존의 ROI CT나 interpolation 방법보다 정확한 외부정보를 복원할 수 있으므로, Field modulation CT 획득 방법에서 유용하게 쓰일 수 있다.
- [0018] 선행기술로, 국내 공개특허공보 제10-2011-0040164호는 사이노그램 복원 장치 및 방법에 관한 것으로, 이 사이노그램 복원 장치는 사이노그램(sinogram)을 재구성하여 사이노그램에 상응하는 최초 이미지(initial image)를 생성하고 최초 이미지에서 금속 물질(metal object)을 식별하는 금속 물질 식별부, 금속 물질을 전면 투사(forward projection)하여 금속 물질에 상응하는 영역인 금속 투사 영역을 생성하는 금속 영역 생성부, 금속 투사 영역의 외부의 주변 영역 중 금속 투사 영역 내부의 픽셀 값과 관련 있는 주변 영역을 검출하고 검출된 주변 영역으로부터 금속 투사 영역 내부의 픽셀 값을 획득하여 복원된 사이노그램을 생성하는 복원부, 및 복원된 사이노그램을 재구성하여 복원된 사이노그램에 상응하는 복원 이미지를 생성하고 복원 이미지에 금속 물질을 결합하는 이미지 생성부를 포함하여 이루어진다.
- [0019] 국내 공개특허공보 제10-2011-0040164호에서는 절단 사이노그램과, 비절단 사이노그램과, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 고려한 것이 아니기 때문에 외부정보에 대한 정확도 및 품질이 떨어진다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0020] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, POCS 기반의 재구성 알고리즘을 사용하여 비 절단 사이노그램(SNT)에 대한 재구성을 진행하여 외부정보가 포함된 재구성 영상을 얻고, 얻어진 재구성 영상을 다시 순방향 투영(forward projection)하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 생성하는 것으로, 기존의 사이노그램인 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST), 그리고 상기 가상의 사이노그램(SOUT)을 활용하여 완전한 사이노그램을 완성시킬 수 있으며, 완성된 사이노그램을 활용하여 재구성 영상을 얻게 되면 외부정보를 포함한 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는, 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0021] 상기 과제를 해결하기 위해, 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법은, 투영 데이터 획득부에서, 피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 조사야를 조절하여 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하며, 획득된 투영 데이터의 갯수를 '총 투영 데이터수'로 하며, 절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '절단 투영 데이터수'로 하고, 비절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '비절단 투영 데이터수'로 하는, 투영 데이터 획득단계; 연산처리부는, 투영데이터 획득단계에서 획득된 총 투영 데이터수의 투영 데이터로부터, 총 투영 데이터수의 사이노그램을 구하는, 사이노그램 획득단계; 연산처리부는, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서, 비절단 투영 데이터수의 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출하는, 비 절단 사이노그램 추출단계; 연산처리부는, 비 절단 사이노그램 추출단계에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을, POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하는, POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계; 연산처리부는, POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계에서 얻은 재구성 이미지를 가상 CT 프로젝터를 이용하여 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 복구하는, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0022] 상기 POCS 기반 외부정보 복원 방법은, 연산처리부가, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서, 절단 투영 데이터수의 절단 사이노그램(ST)을 추출하는, 절단 사이노그램 추출단계; 비 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 합산하는, 1차 합산단계; 연산처리부가, 1차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산 결과에, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT)을 더하여, 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는, 2차 합산단계; 2차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과에, 필터링된 역 투영 (FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여, 재구성된 CT 이미지를 얻는, FBP 재구성된 CT 이미지 획득단계;를 더 포함한다.

- [0023] 절단된 투영영상은, 관심영역만을 조사야로 하여 촬영한 영상이며, 비절단 투영영상은, 투영데이터 획득부에서 제공되는 뷰(view) 전체를 조사야로 하여 촬영한 영상이다.
- [0024] 필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성은, 2차 합산단계에서 출력된 합산 결과를, 보정필터로 보정을 행하고, 가상 CT 프로젝터를 이용하여 역투영을 행하여 재구성된 CT 이미지를 획득하는 것이다.
- [0025] 총 투영 데이터수, 절단 투영 데이터수, 비절단 투영 데이터수는, 투영데이터 획득단계 전에, 사용자의 설정에 의해 설정된 값일 수 있으며, 총 투영 데이터수는 360 이며, 절단 투영 데이터수는 72 이며, 비절단 투영 데이터수는 288 일 수 있다.
- [0026] 또한, 본 발명은, 필드 변조 CT 획득 시스템에서의 POCS 기반 외부정보 복원 방법에 대한 컴퓨터 프로그램 소스를 저장한 기록매체를 특징으로 한다.
- [0027] 또한, 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템은, 피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 조사야를 조절하여, 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하는, 투영데이터 획득부; 투영데이터 획득부로부터 수신된 투영데이터로부터 사이노그램을 구하고, 구하여진 사이노그램으로부터 비절단 사이노그램(SNT) 및 절단 사이노그램(ST)을 추출하고, 비절단 사이노그램(ST)에 POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하고, 획득된 재구성 영상을 순방향 투영하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 획득하고, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)과 상기 가상의 사이노그램(SOUT)을 합산하여 얻은 투영 데이터를, 필터링된 역 투영 (FBP, filtered back projection) 재구성을 행하여 CT 이미지를 얻는, 연산처리부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0028] 투영데이터 획득부는, 피검체를 중심으로한 360도 각도에서, 피검체에 X선을 조사하여 투영 데이터를 획득하되, 절단 투영 영상의 투영 데이터와, 비절단 투영 영상의 투영 데이터를 번갈아가면서 획득하며, 획득된 투영 데이터의 갯수를 '총 투영 데이터수'로 하며, 절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '절단 투영 데이터수'이고, 비절단 투영 영상의 투영 데이터의 갯수를 '비절단 투영 데이터수'로 한다.
- [0029] 연산처리부는, 투영데이터 획득부에서 획득된 총 투영 데이터수의 투영 데이터로부터, 총 투영 데이터수의 사이노그램을 구하는, 사이노그램 획득부; 사이노그램 획득부에서 얻어진 사이노그램에서, 비절단 투영 데이터수의 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출하는, 비 절단 사이노그램 추출부; 비 절단 사이노그램 추출부에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을, POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득하는, POCS 알고리즘 처리부; POCS 알고리즘 처리부에서 얻은 재구성 이미지를 가상 CT 프로젝터를 이용하여 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부; 사이노그램 획득부에서 얻어진 사이노그램에서, 절단 투영 데이터수의 절단 사이노그램(ST)을 추출하는, 절단 사이노그램 추출부; 비 절단 사이노그램 추출부에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출부에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 합산하는, 제1가산기; 제1가산기에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산결과에, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT)을 더하여, 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 획득하는, 제2가산기; 제2가산기에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과에, 필터링된 역 투영 (FBP) 재구성을 행하여, 재구성된 CT 이미지를 얻는, FBP 재구성된 CT 이미지 획득부;를 더 포함한다.

발명의 효과

- [0030] 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법은, POCS 기반의 재구성 알고리즘을 사용하여 비 절단 사이노그램(SNT)에 대한 재구성을 진행하여 외부정보가 포함된 재구성 영상을 얻고, 얻어진 재구성 영상을 다시 전방 투시(forward projection)하여 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)을 생성하는 것으로, 기존의 사이노그램인 SNT와 ST, 그리고 SOUT을 활용하여 완전한 사이노그램을 완성시킬 수 있으며, 완성된 사이노그램을 활용하여 재구성 영상을 얻게 되면 외부정보를 포함한 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있다.
- [0031] ROI CT 영상 재구성은 방사선 량과 산란 된 방사선을 줄이기 위해 개발되었으며, 이 방법은 비교적 저렴하고 기존의 CT 촬영에서 발생하는 것보다 낮은 방사선 선량을 초래한다. 그러나, ROI CT 스캔에 의해 얻어진 재구성된 이미지는 외부 정보를 포함하지 않는다. 이것은 외부 정보가 필요한 치료 계획 또는 진단에 대한 제한될 수 있다. 본 발명에서는 POCS 알고리즘에 기반한 필드변조(빔 변조) 획득과 새로운 절단 된 이미지 복원 방법을 도입하여 재구성 된 이미지의 품질을 향상시켰다.

[0032] 즉, 기존에는 Analytical한 알고리즘을 기반으로 접근하여 외부정보에 대한 정확도 및 품질이 떨어졌지만, 본 발명은 POCS기반의 알고리즘으로 iterative적인 알고리즘으로 접근하여 보다 정확하고 좋은 품질의 영상을 획득할 수 있는 장점이 있다.

[0033] 또한, 본 발명에서 적용한 POCS 기반의 재구성 알고리즘은, 기존의 ROI CT나 interpolation 방법보다 정확한 외부정보를 복원할 수 있는 효율적인 알고리즘으로, Field modulation 획득 방법에서 유용하게 쓰일 수 있는 알고리즘이다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법을 적용하기 위한 연산처리부를 나타내는 구성도이다.

도 2은 일반적인 필드 변조(Field modulation) 획득 방법의 모식도에 관한 것이다.

도 3는 시뮬레이션으로 얻은 3D 복셀 복부 DICOM 팬텀과 사이노그램을 나타낸다.

도 4은 필드 변조 CT 획득 시스템에서 필드 변조방식을 적용하기 위한 투영데이터 획득부를 설명하는 설명도이다.

도 5는 본 발명에서 POCS 알고리즘을 이용한 영상 복원 방법의 흐름도이다.

도 6는 복부 팬텀의 3 가지 ROI를 나타낸다.

도 7은 본 발명에 의한 복부 DICOM 팬텀에서 얻은 사이노그램의 일예들이다.

도 8은, 복원된 복부 CT 영상의 예를 나타낸다.

도 9은 각 방법으로 얻은 재구성된 복부 CT 영상에서 3 개의 ROI의 확대도입니다.

도 10는 4 가지 ROI 기반 방법으로 얻은 SSIM 값을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 이하, 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법을 첨부된 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0036] 본 발명에서는 필드 변조(Field modulation), 즉, 필드 변조 (beam modulation)라고 불리는 대안적인 CT 획득 방법을 제안한다. 필드 변조 획득 방법은 비 절단(SNT) 및 절단 투영(ST)을 모두 얻으므로 ROI의 외부 정보를 결정할 수 있다. 따라서 기존의 ROI 이미징과 달리 필드 변조 수집을 사용하여 외부 정보를 복원 할 수 있다. 그러나, 필드 변조에 의해 얻어진 내부 및 외부 투영 정보의 비율은 일치하지 않는다. 따라서, 재구성된 이미지는 트렁케이션 아티팩트(truncation artifact)를 수반하며, 이는 정확한 외부 정보를 복원하는 능력을 제한한다. 이 문제를 해결하기 위해 본 발명에서는 보간 기반 복원 기법(interpolation-based restoration method)과 POCS (projection to convex set, 볼록 집합 투영 기법 또는 볼록 사영법) 알고리즘 기반의 기법을 제안한다.

[0037] 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템(10)은 필드 변조용 투영 데이터 획득부(50)와 연산처리부(100)를 포함하여 이루어지며, 연산처리부는 MATLAB 등을 포함하는 컴퓨터 일 수 있다.

[0038] 투영데이터 획득부(50)는, 종래의 필드 변조 CT 획득 시스템에 구비된 수단으로, 필드 변조방식으로 CT 영상을 획득하기 위해, X선 조사야를 변조하여 투영 데이터를 획득하는 수단이다.

[0039] 투영데이터 획득부(50)는 X선 조사야를 변조하여, 피검자 또는 피검체(이하, 설명의 편의상 '피검체'로 통칭한다)의 둘레(즉, 피검체를), 피검체를 중심으로 했을때 360도 각도에서 투영 데이터(투영 영상)를 획득한다.

[0040] 이때, 피검체의 둘레에서 투영 영상획득시, 절단 투영(Truncated projection) 영상과 비절단 투영(Nontruncated projection) 영상을 사용자의 설정에 따라, 번갈아가면서 획득할 수 있다.

[0041] 여기서, 절단된 투영영상은, 관심영역만으로 조사야를 줄여 촬영한 영상이라할 수 있으며, 비절단 투영영상은, 전체 뷰를 조사야로 하여 촬영한 영상이라 할 수 있다.

[0042] 또한, 연산처리부(100)는, 투영데이터 획득부(50)에 의해 획득된 투영 데이터들을 이용하여, POCS 기반 외부정

보 복원 방법에 의해 복원된 외부정보를 포함하는 좋은 품질의 영상을 획득하도록 연산처리하는 수단이다.

- [0043] 도 1은 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템에서 적용가능한 POCS 기반 외부정보 복원 방법을 적용하기 위한 연산처리부를 나타내는 구성도이다.
- [0044] 본 발명의 연산처리부(100)는, 사이노그램 획득부(120), 비 절단 사이노그램 추출부(130), POCS 알고리즘 처리부(140), 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부(150), 절단 사이노그램 추출부(160), 제1 가산기(165), 제2가산기(170), FBP(filtered back projection) 재구성된 CT 이미지 획득부(180)를 포함한다.
- [0045] 사이노그램 획득부(120)는, 투영데이터 획득부(50)에서 피검자 또는 피검체(이하, 설명의 편의상 '피검체'로 통칭한다)의 둘레를 360도 각도에서 얻은 투영 데이터(투영 영상)들로부터, 상기 총 투영 데이터수의 사이노그램을 구한다. 여기서 '총 투영 데이터수'는 설명의 편의상, 투영데이터 획득부(50)에서 얻어진 전체(총) 투영 데이터수를 말한다. 또한, '총 투영 데이터 수의 사이노그램'은 투영데이터 획득부(50)에서 획득된 총(전체) 투영 데이터수 만큼이 축적되어 이루어진 사이노그램을 말한다.
- [0046] 일반적으로 투영데이터는 2D 영상이며, 이를 한 단면 (1D) 들을 추출하여, 각도별로의 단면 (1D)를 추출하여 쌓은 게 사이노그램이라고 할 수 있다. 즉, 360개의 투영데이터의 line들이 쌓인 것이 360 사이노그램이라고 표기한 것이다.
- [0047] 예를들어, 투영데이터 획득부(50)에서, 피검자 또는 피검체의 둘레의 1도 각도에서 하나의 투영 데이터를 얻는다고 할때, 피검체의 둘레를 360도 각도에서 X선을 투영하여 얻은 360개의 투영 데이터로부터, 360 사이노그램을 구한다.
- [0048] 또한, 투영데이터 획득부(50)에서 획득된 투영 영상(데이터)는 절단 투영 영상과 비절단 투영 영상을 포함한다. 절단 투영영상의 갯수와 비절단 투영영상의 갯수는 촬영시 사용자가 설정하기에 따라 달라질 수 있다.
- [0049] 예를들어, 투영데이터 획득시의 사용자의 설정에 따라, 상기 360개의 투영 데이터에서, 절단 투영영상은 72개이고, 비절단 투영영상은 288개일 수 있다.
- [0050] 비 절단 사이노그램 추출부(130)는 사이노그램 획득부(120)에서 얻어진 사이노그램에서, 비 절단 투영영상 수의 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출한다. 여기서, '비 절단 투영영상 갯수(비절단 투영 데이터수)'는 투영데이터 획득부(50)에서 얻어진 비 절단 투영 영상(데이터) 갯수를 말한다. 또한, '비 절단 투영영상 수의 비 절단 사이노그램(SNT)'은, 비 절단 투영영상 갯수 만큼의 투영데이터의 line들이 쌓여서 이루어진 사이노그램이다.
- [0051] 예로, 비 절단 사이노그램 추출부(130)는 사이노그램 획득부(120)에서 얻어진 사이노그램에서, 비 절단 투영영상 갯수인, 72의 비 절단 사이노그램(SNT), 즉, 72 비 절단 사이노그램(SNT)을 추출할 수 있다. 여기서, 비 절단 투영영상 갯수 및 절단 투영영상 갯수는 사용자에게 의해 설정된 값이다.
- [0052] POCS 알고리즘 처리부(140)는, 비 절단 사이노그램 추출부(130)에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을, POCS(projection onto convex sets, 볼록 집합 투영 기법) 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득한다.
- [0053] 일반적으로, POCS(projection onto convex sets, 볼록 집합 투영 기법) 알고리즘은 어떤 법칙(norme) 공간내에 어떤 형상을 가지는 닫힌 볼록 집합 $C_i(i=1, 2, \dots, m)$ 가 주어졌을 때, 각 C_i 에의 거리 투영을 이용하여, 공통부분 집합[numerical formula]의 C_i 내의 1점을 산출하는 일련의 알고리즘을 말한다. 즉, POCS 알고리즘은 원(原)화상이 가지는 특징으로부터 복수의 볼록집합을 형성하고, 비선형 투영 작용요소를 이용하여 각 볼록집합의 공통부분에 속하는 원(原)화상을 반복적으로 구하는 방법이다.
- [0054] POCS (재구성) 알고리즘은 대수적 재구성 (algebraic reconstruction technique, ART) 알고리즘에 전체 변이(TV) 최소화를 적용하여, 투영 뷰(projection views)의 제한으로 인한 줄무늬 아티팩트를 억제한다. 전통적인 CT 영상 문제에서, 샘플링 절차가 이산 선형 변환(discrete linear transform)으로 간주 될 수 있으며 그 영상 모델(imaging model)은 다음과 같은 선형 모델을 통해 두 벡터를 연결(links)한다.
- [0055] $g_o = Af$
- [0056] 단, A는 크기 $M \times N$ 의 시스템 행렬, 즉, 원래 영상 속의 단위 영상의 크기를 나타내는 시스템 행렬이고, g_o 는 모델 데이터의 측정 벡터, 즉, 원래 영상이 가지고 있는 데이터(벡터)이며, 이미지 f는 M 픽셀과 N 개의 복셀을 갖는 벡터로, 즉, 검출된 이미지를 나타낸다. 모델 데이터 g_o 는 측정 데이터 g와 다르며, 측정 데이터 g는 최적화 공식에서 아래와 같이 고려될 수 있다.

- [0057] 선형 모델의 등식(equation)의 역변환(inversion, 도치, 반전)은, 최적화 문제로 다음과 같이 공식화할 수 있으며, 최적화 문제는 최적화 기반 알고리즘을 사용하여 해결할 수 있다.
- [0058] 재구성된 이미지, 즉, 이미지 f 의 역변환(f^*)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.
- [0059] $f^* = \operatorname{argmin} \|f\|_{TV} \quad D(f) \leq \varepsilon$
- [0060] 여기서, $D(f)$ 는 $D(f) = \|Af - g\|$ 이다.
- [0061] $D(f) = \|Af - g\|$ 는 측정된 데이터 g 와 이미징 모델 Af 사이의 유클리드 데이터 발산을 나타내며, ε 는 측정된 데이터 g 와 이미징 모델 Af 사이의 불일치를 수용하기 위해 미리 선택된 양의 파라미터이다.
- [0062] POCS 알고리즘에 대해서, 의학 및 생물 물리학회지(PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY)의 53권 17호에 2008년에 게재된, "Image reconstruction in circular cone-beam computed tomography by constrained, total-variation minimization"에 공지되어 있으며, 또한, 일본의 MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY Vol.12 No.1에, 1994년 1월에 공개된 "Image Reconstruction and Restoration by the Method of Convex Convex Projections"에도 공지되어 있다. 따라서, 여기서, POCS 알고리즘에 대한 보다 상세한 설명은 생략한다.
- [0063] 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부(150)는, POCS 알고리즘 처리부(140)에서 얻은 재구성 이미지를 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 투영 데이터를 복구한다. 여기서 얻어진 투영데이터의 수는 '총 투영 데이터 수'와 같다. 또한, 여기서, 투영을 위해 가상 CT 프로젝터를 사용할 수도 있다.
- [0064] 예를들어, 사이노그램 획득부(120)에서 얻은 360 사이노그램을 획득했다면, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부(150)는, POCS 알고리즘 처리부에서 얻은 재구성 이미지를 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인 360개의 투영 데이터를 복구한다.
- [0065] 절단 사이노그램 추출부(160)는 사이노그램 획득부(120)에서 얻어진 사이노그램에서, 절단 투영영상 수의 절단 사이노그램(ST)을 추출한다.
- [0066] 여기서, '절단 투영영상 갯수 (절단 투영 데이터수)'는 투영데이터 획득부(50)에서 얻어진 절단 투영 영상(데이터) 갯수를 말한다. 또한, '절단 투영영상 수의 절단 사이노그램(SNT)'은, 절단 투영영상 갯수 만큼의 투영데이터의 line들이 쌓여서 이루어진 사이노그램이다.
- [0067] 예로, 절단 사이노그램 추출부(160)는 사이노그램 획득부에서 얻어진 사이노그램에서, 기 설정된 절단 투영영상 갯수인, 288(사용자가 설정한 값)의 절단 사이노그램(ST), 즉 288 절단 사이노그램(ST)을 추출할 수 있다.
- [0068] 제1 가산기(165)는, 비 절단 사이노그램 추출부(130)에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출부(160)에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 합산한다.
- [0069] 제2 가산기(170)는, 제1 가산기(165)에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산결과를, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부(150)에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT) (예로, 360개의 투영 데이터를 더한다. 이 합산결과와 투영데이터의 수도, '총 투영 데이터 수'와 같다.
- [0070] FBP 재구성된 CT 이미지 획득부(180)는, 제2 가산기(170)에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과(예로, 360 투영 데이터)로부터, 필터링된 역투영(filtered back projection, FBP)으로 재구성을 행하여, 필터링된 역투영(FBP) 재구성된 CT 이미지를 얻는다.
- [0071] 일반적으로, 필터링된 역투영(FBP)은 영상에서 뭉게진 부분을 필터링을 통해 보정을 행하고 역투영을 행하는 것을 말한다. 여기서는 필터링된 역투영(FBP)은, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과를, 보정필터(예로 램프(Ramp) 필터, Ram-Lak 등등)로 보정을 행하고, 역투영을 행한 것을 말한다.
- [0072] 필터링된 역투영(FBP)은 널리 공지된 기술로, 예로, 일본 단층영상연구회잡지 제41권 제2호에 2014년 8월에 공개된 "화상재구성: 임상의를 위한 해설 제2회-순차 근사 화상 재구성법"에 공지되어 있어, 여기서는 보다 상세한 설명은 생략한다.
- [0073] 도 2은 본 발명의 필드 변조(Field modulation) 획득 방법을 설명하기 위한 모식도이다.

- [0074] 필드 변조 CT 획득 시스템에서, X 선원(X ray source)(11)으로부터의 X선을, 여러 각도에서 피검체(예로, 도 2의 팬텀 스테이지에 있는 팬텀)(20)에 조사하여 영상을 획득하되, 절단 투영(Truncated projection) 영상(21)과 비절단 투영(Nontruncated projection) 영상(22)을 번갈아가면서 획득한다. 즉, 도 2에서와 같이, 절단된 투영 영상(21)과 비절단된 투영 영상(22)을 번갈아가면서 얻어, 기존의 ROI CT와 다르게 외부정보를 획득할 수 있다.
- [0076] <필드 변조 획득>
- [0077] 본 발명의 필드 변조 CT 획득 시스템은, POCs 알고리즘을 이용하여 외부정보의 복원의 정확도를 높였다. 이에 대한 시뮬레이션을 위해, 연산처리부(100)에, 수치 해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 공학용 소프트웨어(예를 들어, MATLAB R2017b 프로그램)을 포함하여, 컴퓨터 단층 촬영을 시뮬레이션한다. 또한 상기 시뮬레이션을 위해, $512 \times 512 \times 512$ 입방 크기(cubic size)의 3D 복셀 팬텀은 임상 CT 시스템에서 얻은 복부 DICOM(Digital Imaging and Communications in Medicine) 이미지(DICOM 형식(규격)에 따른 이미지)를 사용하여 만들었으며, 사이노그램을 만들기 위해 가상 CT 프로젝터를 사용하였다.
- [0078] 이 시뮬레이션에서, 도 1의 연산처리부(100)의 처리과정을 거쳐, 제2 가산기(170)에서 얻어진 360 투영 데이터(즉, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)와 가상의 사이노그램(SOUT)이 합산된 결과)로부터, FBP 재구성된 CT 이미지 획득부(180)에서 필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성을 통해 CT 이미지를 얻었다. ROI CT 이미지는 360 개의 잘린 투영 데이터를 사용하여 재구성되었다. 필드(빔) 변조 획득을 통해 얻어진 CT 영상은 288 개의 절단 된 투영 데이터와 72 개의 최대 크기(비 절단)의 투영 데이터를 사용하여 재구성되었다.
- [0079] 도 3은 시뮬레이션으로 얻은 3D 복셀 복부 DICOM 팬텀과 사이노그램을 나타낸다.
- [0080] 도 3의 (a)는 복부 DICOM 팬텀이며, 도 3의 (b) 종래의 스캔을 통해 얻은 사이노그램이며, 도 3의 (c)는 필드(빔) 변조 획득을 통해 얻은 사이노그램이며, 도 3의 (d)는 절단 된 부분을 제거한 후, 필드(빔) 변조 획득을 통해 얻은 사이노그램이다.
- [0081] 288 개의 절단된 투영 데이터의 대부분이 잘리기 때문에, 필드 변조에 의해 얻어진 사이노그램(도 3의 (c))으로부터, 인접 픽셀의 값들을 이용하여 잘라내어진 부분을 외삽법(extrapolation)으로 제거한다(도 3의 (d)).
- [0082] 도 4은 필드 변조 CT 획득 시스템(10)에서 필드 변조방식을 적용하기 위한 투영데이터 획득부(50)를 설명하는 설명도이다.
- [0083] 도 4의 (a)는 비절단 투영(Nontruncated projection) 데이터(영상)의 획득을 설명하는 설명도이다. 비절단 투영에 맞추어 조사야가 조절된 X선관(11a)으로부터, X선이 투사되어 관심영역(ROI)를 포함하는 비절단 투영 영상(22)을 획득한다.
- [0084] 도 4의 (b)는 절단 투영(Truncated projection) 데이터(영상)의 획득을 설명하는 설명도이고, 절단 투영에 맞추어 조사야가 조절된 X선관(11b)으로부터, X선이 관심영역(ROI)만을 투사하여, 관심영역(ROI)만을 포함하는 비절단 투영 영상(22)을 획득한다.
- [0085] 도 4의 (c)는 절단 투영(Truncated projection) 영상과 비절단 투영(Nontruncated projection) 영상을 번갈아가면서 획득하는 것을 설명한다.
- [0086] X선관을 회전하면서 각 각도별로 조사야를 조절하여, 즉, 비절단 투영에 맞추어 조사야가 조절된 X선관(11a)과, 절단 투영에 맞추어 조사야가 조절된 X선관(11b)을 번갈아 가면서 위치시키고, X선을 투사하여, 절단 투영 데이터와 비절단 투영 데이터를 번갈아가면서 획득한다.
- [0088] <절단된 이미지 복원 방법>
- [0089] 절단된 이미지 복원 절차는 필드 변조 획득에 의해 얻어진 CT 이미지에서 절단 (truncation) 아티팩트를 완전히 제거하기 위해 필요하다. 제안된 두 가지 방법을 사용하여 절단 투영 데이터를 수정했다.
- [0090] 첫 번째 방법은 스플라인 보간 방법이다. 필드 변조 획득을 통해 얻은 투영 데이터에는 샘플 된 ROI 외부 정보가 포함되어 있다. 72 개의 샘플 된 ROI 외부 정보를 사용하는 스플라인 보간 방법을 통해 288 개의 잘린 투영 데이터를 채웠다.

- [0091] 일반적으로, 자료 점들의 부분집합에 저차 다항식을 적용시켜나가는, 연결 다항식을 스플라인 함수라고 하며, 스플라인 함수는 국부적으로 급격히 변화하는 함수의 거동에 우수한 근사값을 제공한다. 수학적 함수를 이용해 그려지는 선은, 곡률표현으로서, 이를 라인(Line)이라 하지 않고 스플라인(Spline)이라 한다. Lagrange 보간법이나 Newton의 보간법등에서 점의 수가 많으면 진동하는 경향을 보이는 등의 문제가 있으며, 이들의 문제를 해결하는 방법으로서 구분적으로 보간다항식 함수를 작성하여, 이것을 유연하게 연결하여 결합할 수 있는 방법이 있다. 이 구분적인 다항식을 스플라인 함수(spline function)라 하며, 스플라인 함수를 이용하여 보간 함수를 구하는 문제를 스플라인 보간(spline interpolation)이라고 한다.
- [0092] 스플라인(Spline)은 통과해야 하는 점(절점)을 고정하는 것에 따라, 왜곡(歪曲) 에너지가 최소로 되는 형태가 된다. 이 에너지는 스플라인의 곡률의 제곱을 호의 길이에 관해서 적분한 값에 비례하며, 절점간은 3차 다항식으로 표현되고, 옆 구간의 다항식에서는 절점에서 1계와 2계 미분이 연속이 되어 연결된다. 이것으로부터 spline 함수 중에서 3차 spline(cubic spline)함수가 이용된다.
- [0093] 이것은, 절점 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 과 그 함수값 $f(x_i)$ 이 주어진 경우, 각 구간 $[x_i, x_{i+1}] (i=1, 2, \dots, n-1)$ 을 3차 다항식으로 보간한다. 각 구간을 접속하는 끝점에서는, 함수값 및 1계와 2계 도함수의 값을 동일하게 한다. 그리고 양단 x_1, x_n 에서의 단조조건(end condition)을 만족시키는 조건으로부터 다항식의 계수를 정하는 것이다.
- [0094] 스플라인 보간 방법에 대해서는 네이버 백과사전 등에 공지되어 있으므로 보다 상세한 설명은 생략한다.
- [0095] 두 번째 방법은 POCS 알고리즘을 사용한다.
- [0096] 도 5는 본 발명의 연산처리부(100)에서 POCS 알고리즘을 이용한 영상 복원 방법의 흐름도이다. 즉, 도 5는 POCS 알고리즘의 개략도와 전체 이미지 복원 방법을 나타낸다.
- [0097] 영상획득단계로, 필드변조 CT 영상 획득 시스템의 투영데이터 획득부(50)에서 피검체의 둘레(즉, 피검체를 중심으로 360도 각도에서) X선을 투영(촬영)하여 투영 데이터를 획득하되, 이때 획득된 투영 데이터수(예로 350개)를 '총 투영 데이터수'로 획득한다(S110).
- [0098] 투영데이터 획득부(50)에서 획득된 투영 영상(데이터)는 절단 투영 영상과 비절단 투영 영상을 포함하며, 절단 투영영상의 갯수와 비절단 투영영상의 갯수는 촬영시 사용자가 설정하기에 따라 달라질 수 있다.
- [0099] 사이노그램 획득단계로, 영상획득단계에서 투영데이터 획득부(50)로부터 수신된 총 투영 데이터수(예로 360개)의 투영 데이터로부터 총 투영 데이터수 사이노그램(즉, 360 사이노그램)을 얻는다(S120).
- [0100] 비 절단 사이노그램 추출단계로, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서 비절단 투영영상의 갯수의 비절단 사이노그램(SNT)(예로, 72 비 절단 사이노그램)을 추출한다(S130).
- [0101] POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계로, 비 절단 사이노그램 추출단계에서 얻어진 비 절단 사이노그램(SNT)을 POCS 알고리즘을 적용하여 재구성 영상을 획득한다(S140).
- [0102] 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계로, POCS 알고리즘에 의한 영상재구성단계에서 얻은 재구성 이미지를 순방향 투영하여, 외부정보를 포함하는 가상의 사이노그램(SOUT)인, 총 투영 데이터수(예로 360개)의 투영 데이터를 복구한다(S150).
- [0103] 절단 사이노그램 추출단계로, 사이노그램 획득단계에서 얻어진 사이노그램에서 절단 투영영상 수의 절단 사이노그램(truncated sinogram, ST)(예로, 288 절단 사이노그램)을 추출한다(S160).
- [0104] 1차 합산단계로, 비 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 비절단 사이노그램(ST)과, 절단 사이노그램 추출단계에서 추출된 절단 사이노그램(ST)을 더한다(S165).
- [0105] 2차 합산단계로, 1차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과 절단 사이노그램(ST)의 합산결과에, 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구단계에서 출력된 가상의 사이노그램(SOUT)인, 총 투영 데이터수의 투영 데이터를 더한다(S170).
- [0106] 필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성된 CT 이미지 획득단계로, 2차 합산단계에서 출력된, 비 절단 사이노그램(SNT)과, 절단 사이노그램(ST)과, 가상의 사이노그램(SOUT)의 합산 결과의 투영 데이터(즉, 총 투영 데이터수의 투영 데이터)로부터, 필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성을 행하여, 필터링 된 역 투영 (FBP) 재구성된 CT 이미지를 얻는다(S180).

[0107] 도 5에서와 같이, POCS 알고리즘을 사용하여 72 샘플로 이루어진 투영 데이터로 얻은 재구성 영상은 다소 흐릿하고 화질은 다소 떨어지지만, 288 개의 잘린 투영 데이터의 ROI 외부 정보를 채우기에 충분한 정보를 제공할 수 있다. 순방향 투영을 사용하여 POCS 알고리즘으로 얻은 재구성 이미지를 사용하여 360 개의 투영 데이터를 복구했다. 288 개의 잘린 투영 데이터의 복구 된 ROI 외부 정보가 288 개의 잘린 투영 데이터와 병합되어 외부 정보를 채운다. 채워진 288개 투영 데이터와 72개 투영되지 않은 투영 데이터를 사용하여 최종 재구성된 이미지를 얻는다. 최종 완성된 사이노그램이, 필드 변조 (SNT)로 얻은 72개의 비 절단된 투영 데이터, 필드 변조 (ST)로 얻은 절단된 투영 데이터 288개, 순방향 투영 (SOUT)에 의한 복원된 360개의 비 절단된 사이노그램의 외부 정보 (SOUT)가 조합된 것임을 도 5에서 나타낸다.

[0109] <데이터 분석>

[0110] 도 6은 복부 팬텀의 3 가지 ROI(관심영역), 즉 ROI 1, ROI 2, ROI 3를 나타낸다.

[0111] 구조적 유사성 지수 측정(Structural Similarity Index Measure, SSIM) 값과 피크신호 대 잡음비(peak signal-to-noise ratio, PSNR)를 사용하여 3 개의 ROI (도 6참조)의 화질을 평가했다. 필드 변조 획득 중에 내부 ROI는 ROI 1로 설정되고, 외부 ROI는 ROI 2와 ROI 3으로 설정하였다. 이미지 복원 정도를 평가하는 데 사용되는 지표 SSIM (Structed similarity image matching, 구조화 유사성 이미지 매칭) 값은 다음과 같이 계산된다.

[0112]
$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha \cdot [c(x, y)]^\beta \cdot [s(x, y)]^\gamma$$

[0113] 여기서 α , β 및 γ 는 가장 일반적으로 설정 값인 1로 설정된다. ℓ , c , s 는 각각 휘도(luminance), 명암(contrast) 및 구조구성(structural) 요소로 다음과 같이 정의된다.

[0114]
$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C1} \quad c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C2} \quad s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C3}{\sigma_x\sigma_y + C3}$$

[0115] 여기서 μ_x 및 μ_y 는 각각 기준 이미지 및 비교 이미지의 부분 평균(local means)이다. σ_x 와 σ_y 는 각각 기준 이미지와 비교 이미지의 표준 편차이다. σ_{xy} 는 두 이미지의 교차 공분산(cross-covariance)이다. C1, C2 및 C3는 양의 정수로, 분모가 작을때 방정식을 안정화하기 위해 사용된 것이다.

[0116] 도 7은 본 발명에 의한 복부 DICOM 팬텀에서 얻은 사이노그램의 일례들이다.

[0117] 도 7의 (a)는 기준 사이노그램이다. 도 7의 (b)는 사이노그램의 잘린부분을 제거하기 위해, 단순 외삽(extrapolation)을 이용하여 필드 변조 획득에 의해 생성된 사이노그램을 나타낸다. 도 7의 (c)는 스플라인 보간법에 의해 얻은 복원된 사이노그램을 나타낸다. 도 7의 (d)는 POCS 알고리즘을 기반으로 본 발명에서 제안된 방법으로 얻은 복원 된 사이노그램을 나타낸다. 도 7의 (d)에서 복원된 사이노그램은 기준 사이노그램에 가장 가깝다.

[0118] 도 8은. 복원된 복부 CT 영상의 예를 나타낸다.

[0119] 도 8의 (a)는 기준 CT 영상으로, 복부 DICOM 팬텀의 기준 CT 영상을 나타낸다. 도 8의 (b)는 ROI 스캔을 사용하여 얻은 재구성 된 이미지를 나타낸다. 이 재구성 된 이미지에서 외부 정보의 윤곽을 거의 볼 수 없다. 도 8의 (c)는 단순 외삽을 이용한 필드 변조에 의해 생성된 사이노그램을 나타낸다. 도 8의 (d) 보간법을 이용한 필드 변조를 이용하여 얻은 재구성 된 이미지를 나타내며, 도 8의 (e) 본 발명에서 제안된 방법을 이용한 필드 변조 획득을 이용하여 얻은 재구성 된 이미지상을 나타낸다. 즉, 도 8의 (c) 내지 (e)는 필드 변조 획득을 이용하여 얻은 재구성 된 이미지를 나타낸다. 도 8 의 (c) 및 (d)는 외부 정보의 윤곽이 보일지라도, 스틱 아티팩트(streak artifact)를 나타낸다. 이 스틱 아티팩트는, 도 8의 (e)와 같이, POCS 알고리즘에 기반한 본 발명의 방법을 사용하여 제거되었다.

[0120] 도 9은 각 방법으로 얻은 재구성 된 복부 CT 영상에서 3 개의 ROI의 확대도이다.

[0121] 도 9의 (a)는 ROI 1, ROI 2, ROI 3의 기준영상을 나타내며, 도 9의 (b)는 ROI 1, ROI 2, ROI 3의 스캔을 하여 얻은 재구성 된 이미지를 나타내며, 도 9의 (c)는 ROI 1, ROI 2, ROI 3에 대해 단순 외삽을 이용한 필드(빔) 변조에 의해 얻은 이미지를 나타내며, 도 9의 (d)는 ROI 1, ROI 2, ROI 3에 대해 보간법을 이용한 필드(빔) 변조를 이용하여 얻은 이미지를 나타내며, 도 9의 (d)는 ROI 1, ROI 2, ROI 3에 대해 본 발명의 필드(빔) 변조를 통

해 얻어진 이미지를 나타낸다.

- [0122] 필드(빔) 변조 획득 동안 내부 ROI는 ROI 1이었고, 외부 ROI는 ROI 2와 ROI 3이었다. 도 9의 (b)에서, ROI 1의 ROI 스캔은 절단 아티팩트가 완전히 제거되지 않고 다소 밝아 졌음을 나타낸다. ROI 2와 ROI 3의 ROI 스캔에는 가시적인 외부 정보가 거의 없다. 그러나 필드(빔) 변조를 사용하여 얻은 정보 중에, 도 9의 (c)의 보간 방법과 도 9의 (d)의 본 발명의 제안된 방법은해 합리적인 수준으로 복원되었다.
- [0123] 도 10은 4 가지 ROI 기반 방법(즉, ROI의 스캔을 하여 재구성 된 이미지를 얻는 방법, ROI에 대해 단순 외삽을 이용한 필드(빔) 변조에 의해 재구성 된 이미지를 얻는 방법, ROI에 대해 보간법을 이용한 필드(빔) 변조에 의해 재구성 된 이미지를 얻는 방법, 본발명의 ROI에 대해 POCS알고리즘을 이용한 필드(빔) 변조에 의해 재구성 된 이미지를 얻는 방법)으로 얻은 SSIM 값을 나타낸다.
- [0124] ROI 1에서 모든 ROI 기반 방법은 1에 가까운 높은 SSIM 값을 산출했다. ROI 스캔으로 얻은 재구성 이미지는 절단 아티팩트로 인해 SSIM 값이 약간 낮다. 특히, 필드 변조 획득에 의해 얻어진 재구성 된 이미지는 ROI 스캔에 의해 얻어진 것보다 외부 정보에 대한 SSIM 값이 더 높다. 가장 높은 SSIM 값은 POCS 알고리즘을 기반인 본 방법에 의해 얻어졌다.
- [0125] 본 발명에서 사이노그램은 빔 변조로 얻은 투영 데이터가 ROI에 충분한 외부 정보를 포함하고 있음을 나타냈다. 이 외부 정보를 사용하여 원본과 유사한 이미지를 본 발명의 POCS 기반 외부정보 복원 방법으로 재구성 할 수 있다. 복부 팬텀의 재구성 된 영상은 영상 복원 방법이 보간방법과 POCS 기반 방법 중에서 가장 효과적인 방법이라는 것을 나타냈다. ROI(관심영역) 밖의 영역이 잘렸기 때문에 ROI 스캔에 잘림 아티팩트(truncation artifacts)가 포함되었다. ROI 스캔에 의해 얻어진 투영 데이터는 ROI 만의 정보이기 때문에, 재구성된 이미지의 외부 정보는 불완전하고 외부 정보를 채우기 위해 사용될 수 있는 정보가 없다.
- [0126] 한편, 단순 외삽에 의한 필드 변조 획득에 의해 얻어진 투영 데이터는 ROI 외부 정보를 포함하며, 이는 필드 변조 획득을 사용하여 재구성된 이미지에서 복원 될 수있다. 그러나 외부 정보보다 ROI 내부 정보가 많으므로 도 8과 같이 재구성된 영상에 ROI 경계가 존재하고 영상 품질이 다소 저하된다. 이 문제를 해결하기 위해 본 발명은 스플라인 보간 방법과 POCS 알고리즘을 기반으로하는 복원 방법을 사용하여 외부 정보를 채울 것을 제안했다. 이 방법은 가장 효과적인 방법을 결정하기 위해 SSIM 값을 계산하여 평가되었다. 모든 ROI 기반 방법은 ROI 1에서 1에 가까운 SSIM 값이 높았다. 그러나 ROI 스캔을 사용하여 얻은 재구성된 이미지는 약간 낮은 SSIM 값을 가졌으므로 ROI 1 주변의 픽셀 값 절사 아티팩트로 인해 다소 높았다.
- [0127] 외부 정보가 얼마나 잘 복원되었는지는 재구성된 이미지에서 ROI 2와 3을 확인하여 결정된다. 전반적으로 ROI 2와 3에 대한 필드 변조 방식의 SSIM 값은 외부 정보가 포함된 사이노그램 때문에 높았다. 보간 방법과 POCS 기반 방법은 ROI 외부의 외부 정보 사이의 표본 공간을 채우므로 SSIM 값을 증가시켰다. 그러나 보간법은 72 개의 투영 데이터의 외부 정보만을 사용하여 값을 채웠으므로 도 6 및 도 7에서와 같이 재구성 과정에서 스틱(줄무늬) 아티팩트가 발생합니다. 이는 SSIM 값을 어느 정도 향상시킬 수는 있지만 진단 또는 방사선 치료 계획을 위해 이미지를 사용하기에는 충분하지 않았다.
- [0128] 도 5에 제시된 POCS 기반 방법을 사용하면 72 개의 투영 데이터의 외부 정보 만 사용하여 외부 정보 간의 값을 예측할 수 있다. POCS 기반의 방법은 72 개의 외부 정보가 360 개 외부 정보를 예측하고 채우는 데 사용되어 실제 값에 더 가깝기 때문에 가장 높은 SSIM 값을 산출했다.
- [0129] 산란 데이터의 최소 샘플링 수집은 중요한 해부학 적 정보를 놓칠 수 있으며 의료 진단을 위한 실제 임상 사용이 제한됩니다. 그러나 본 발명의 필드 변조 획득으로 얻은 ROI 내부의 투영 데이터는 샘플링 된 정보가 아니므로 완벽한 해부학적인 이미지를 제공할 수 있으며 ROI 외부의 적절한 수준으로 복원 할 수 있다. 본 발명에서 사용 된 필드 변조 획득은 기존의 CT 영상에 비해 약 53 %의 노 출량을 감소시킬 것으로 예상된다. 이것은 이미지 획득을 위해 설정된 시야의 크기에 비례한다.
- [0130] 본 발명은 노출량을 줄이면서 외부 정보를 재구성 할 수있는 ROI 기반 필드 변조 획득 방법을 제안했다. 또한 본 발명은 POCS 알고리즘을 기반으로하며, 최고 품질의 재구성 된 영상을 얻기 위해 사용될 수있다. 또한, CT 영상에서 본 발명의 POCS 알고리즘을 사용하여 필드 변조 획득을 사용할 가능성이 검증되었다.
- [0131] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균

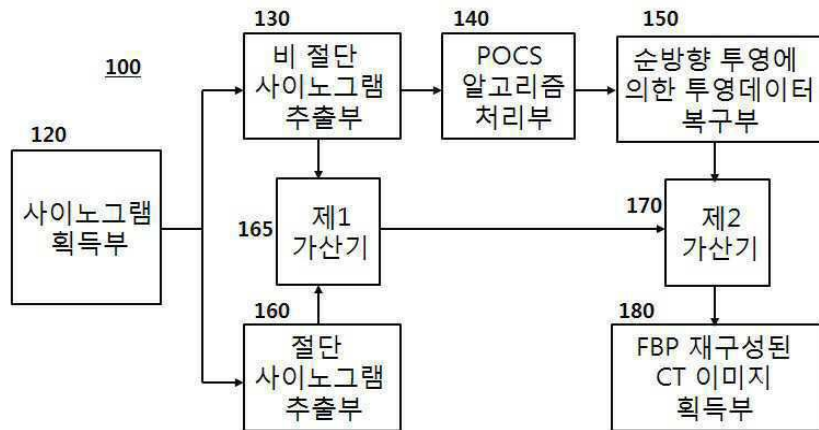
등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

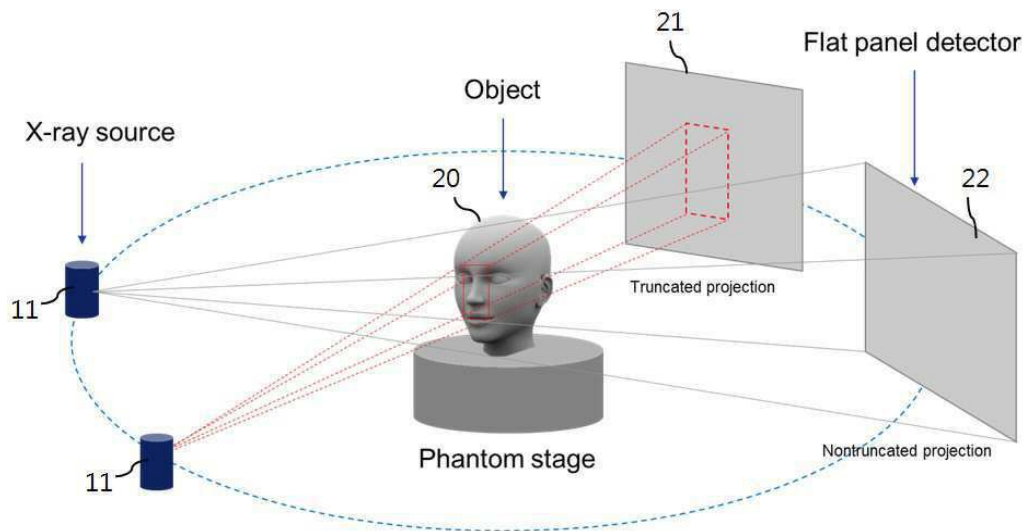
[0132]	10: 필드 변조 CT 획득 시스템	11: X 선원(X ray source)
	20: 피검체	21: 절단 투영 영상
	22: 비절단 투영 영상	50: 투영데이터 획득부
	100: 연산처리부	120: 사이노그램 획득부
	130: 비 절단 사이노그램 추출부	140: POCS 알고리즘 처리부
	150: 순방향 투영에 의한 투영데이터 복구부	160: 절단 사이노그램 추출부
	165: 제1 가산기	170: 제2가산기
	180: FBP 재구성된 CT 이미지 획득부	

도면

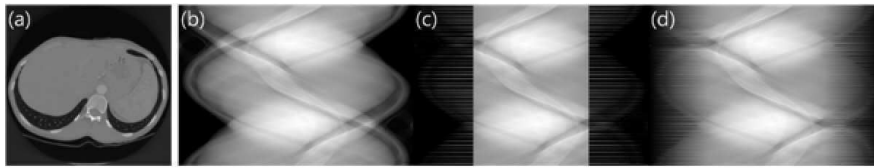
도면1



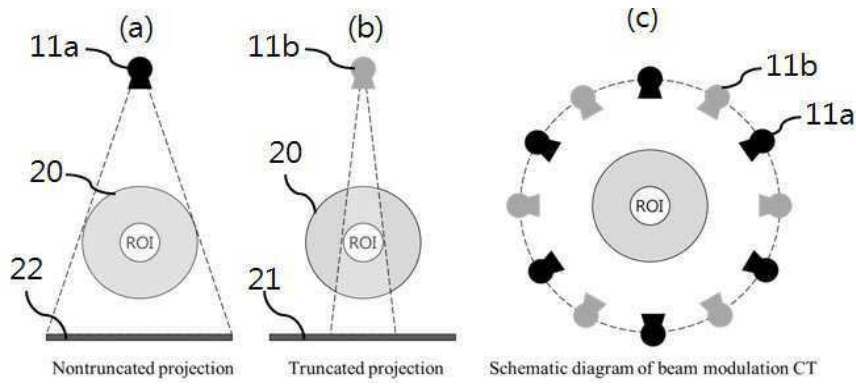
도면2



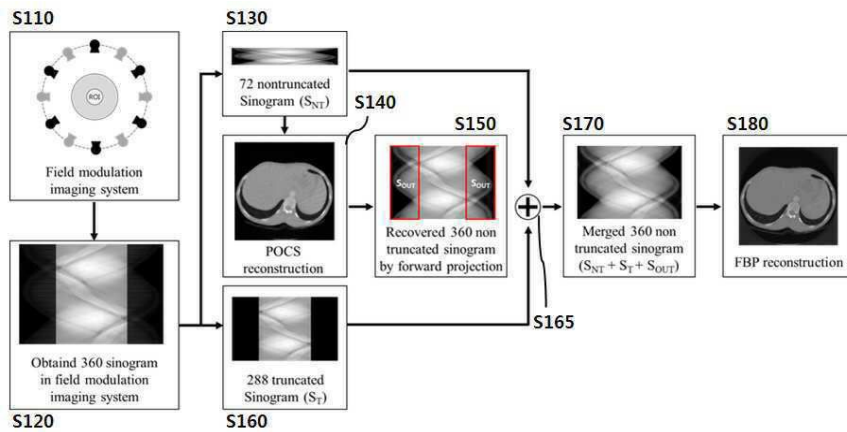
도면3



도면4



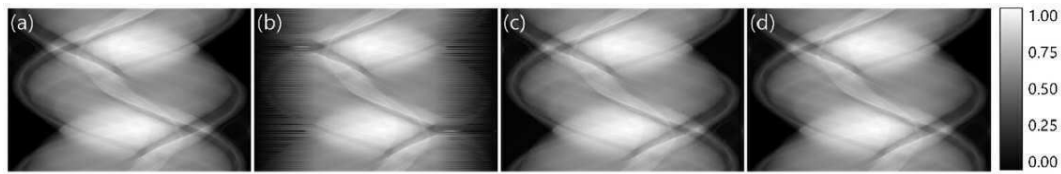
도면5



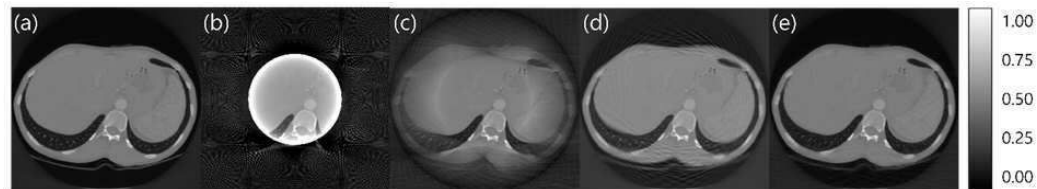
도면6



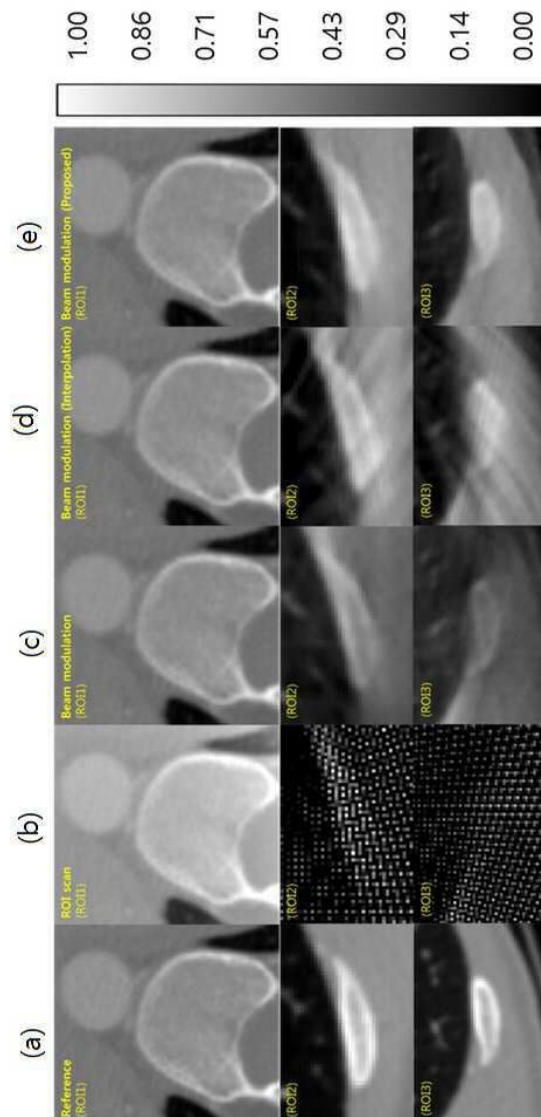
도면7



도면8



도면9



도면10

