



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년08월29일
(11) 등록번호 10-2438068
(24) 등록일자 2022년08월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06T 5/00 (2019.01) G06T 3/40 (2006.01)
G06T 5/40 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G06T 5/001 (2013.01)
G06T 3/40 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0084978

(22) 출원일자 2021년06월29일

심사청구일자 2021년06월29일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020200083122 A*

Weihong Guo ET AL: "A Local Mutual Information Guided Denoising Technique and Its Application to Self-calibrated Partially Parallel Imaging", MICCAI 2008, Sept. 2008(2008.09.06.) 1부.*

KR102262397 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 11 항

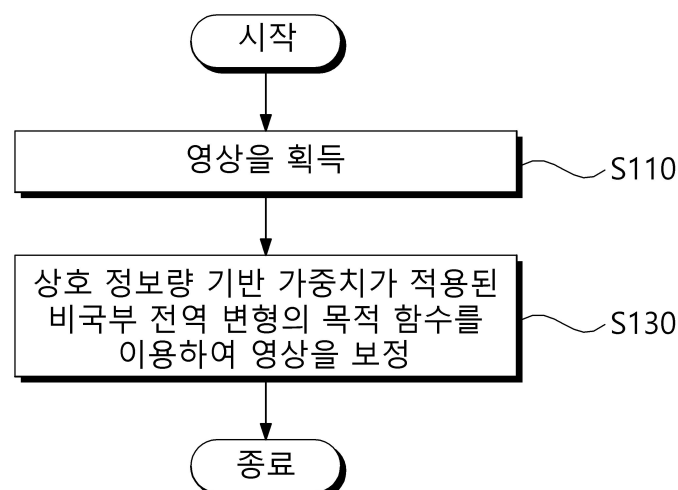
심사관 : 김광식

(54) 발명의 명칭 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치는, 상호 정보량(mutual information, MI)의 조합을 기반으로 하는 새로운 유형의 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV), 즉 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선할 수 있고, 특히, 저선량 CBCT(cone beam computed tomography) 영상의 성능을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06T 5/40 (2013.01)

G06T 2207/20076 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345312599
과제번호	2019R1I1A1A01062157
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	이공학개인지초연구지원사업
연구과제명	딥 콘빔형 전산화 단층촬영 영상 생성을 위한 핵심 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

영상을 획득하는 단계; 및

상호 정보량(mutual information, MI) 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV)의 목적 함수를 이용하여 상기 영상을 보정하는 단계;

를 포함하며,

상기 목적 함수는, 상기 영상의 복셀과 고정 패치(stationary patch)에 대한 검색 세트(search set)에 포함된 비국부 패치(non-local patch)의 복셀 간의 가중치를 이용하며,

상기 가중치는, 엔트로피(entropy)를 통해 획득되는 하나의 복셀에 대한 통계적 척도 값, 및 상기 하나의 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함하는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에서,

상기 통계적 척도 값은,

상기 고정 패치에 대한 한계 엔트로피(marginal entropy)를 나타내는 제1 엔트로피, 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제2 엔트로피 및 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제3 엔트로피를 기반으로 획득되는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 4

제3항에서,

상기 제1 엔트로피는,

상기 고정 패치의 한계 확률 분포(marginal probability distribution)를 기반으로 획득되고,

상기 제2 엔트로피는,

상기 비국부 패치의 한계 확률 분포를 기반으로 획득되며,

상기 제3 엔트로피는,

상기 고정 패치와 상기 비국부 패치의 조인트 확률 분포(joint probability distribution)를 기반으로 획득되는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 5

제4항에서,

상기 제1 엔트로피, 상기 제2 엔트로피 및 상기 제3 엔트로피를 획득하기 위해 이용되는 확률 분포는,

상기 고정 패치와 상기 비국부 패치에서 해당 픽셀들의 강도(intensity) 간의 관계를 고려하기 위해 사용되는

조인트 히스토그램(joint histogram)을 이용하여 획득되며,

상기 조인트 히스토그램은,

상기 조인트 히스토그램의 각 축의 최대값이 미리 설정된 값과 같도록 조정된 비닝 크기(binning size)에 따라 각 패치의 강도 값(intensity value)을 스케일링(scaling)하는 것에 의해 획득되는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 6

제1항에서,

상기 공간적으로 인코딩된 팩터는,

상기 영상의 각 복셀에서 강도(intensity)를 누적하는 것에 의해 획득된 누적 분포 함수 히스토그램(cumulative distribution function histogram)을 기반으로 설정된 정규화 팩터 및 미리 설정된 스케일링 팩터를 포함하는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 7

제1항에서,

상기 영상 획득 단계는,

투영 데이터(projection data)를 기반으로 상기 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 8

제7항에서,

상기 영상 획득 단계는,

PDB(pixel-driven backprojector) 또는 RDB(ray-driven backprojector)를 기반으로 상기 투영 데이터로부터 상기 영상을 획득하는 것으로 이루어지는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법.

청구항 9

제1항, 제3항 내지 제8항 중 어느 한 항에 기재된 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법을 컴퓨터에서 실행시키기 위하여 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 10

상호 정보량(mutual information, MI) 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선하는 영상 화질 개선 장치로서,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용하여 상기 영상의 화질을 개선하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및

상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 상기 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용하여 상기 영상의 화질을 개선하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;

를 포함하고,

상기 프로세서는,

상기 영상을 획득하고,

상호 정보량 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형의 목적 함수를 이용하여 상기 영상을 보정하며,

상기 목적 함수는, 상기 영상의 복셀과 고정 패치(stationary patch)에 대한 검색 세트(search set)에 포함된

비국부 패치(non-local patch)의 복셀 간의 가중치를 이용하며,

상기 가중치는, 엔트로피(entropy)를 통해 획득되는 하나의 복셀에 대한 통계적 척도 값, 및 상기 하나의 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함하는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치.

청구항 11

삭제

청구항 12

제10항에서,

상기 통계적 척도 값은,

상기 고정 패치에 대한 한계 엔트로피(marginal entropy)를 나타내는 제1 엔트로피, 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제2 엔트로피 및 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제3 엔트로피를 기반으로 획득되는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치.

청구항 13

제10항에서,

상기 공간적으로 인코딩된 팩터는,

상기 영상의 각 복셀에서 강도(intensity)를 누적하는 것에 의해 획득된 누적 분포 함수 히스토그램(cumulative distribution function histogram)을 기반으로 설정된 정규화 팩터 및 미리 설정된 스케일링 팩터를 포함하는,

상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 영상의 화질을 개선하는, 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 종래의 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV) 기법은 NLM(non-local means) 필터의 가중치를 사용한다. 이때, 픽셀 가중치를 결정하기 위해 사용되는 국부 패치(local patch)가 해당 패치 간의 유사성을 감소시키는 노이즈 손상 픽셀(noisy-damaged pixels)을 포함하기 때문에, 낮은 밀리암페어 초(milliampere-seconds) 파라미터 값으로 생성된 저선량 CBCT(cone beam computed tomography) 영상의 성능이 저하되는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 본 발명이 이루고자 하는 목적은, 상호 정보량(mutual information, MI)의 조합을 기반으로 하는 새로운 유형의 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV), 즉 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선하는, 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

[0004] 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

- [0005] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법은, 영상을 획득하는 단계; 및 상호 정보량(mutual information, MI) 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV)의 목적 함수를 이용하여 상기 영상을 보정하는 단계;를 포함한다.
- [0006] 여기서, 상기 목적 함수는, 상기 영상의 복셀과 고정 패치(stationary patch)에 대한 검색 세트(search set)에 포함된 비국부 패치(non-local patch)의 복셀 간의 가중치를 이용하며, 상기 가중치는, 엔트로피(entropy)를 통해 획득되는 하나의 복셀에 대한 통계적 척도 값, 및 상기 하나의 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함할 수 있다.
- [0007] 여기서, 상기 통계적 척도 값은, 상기 고정 패치에 대한 한계 엔트로피(marginal entropy)를 나타내는 제1 엔트로피, 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제2 엔트로피 및 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제3 엔트로피를 기반으로 획득될 수 있다.
- [0008] 여기서, 상기 제1 엔트로피는, 상기 고정 패치의 한계 확률 분포(marginal probability distribution)를 기반으로 획득되고, 상기 제2 엔트로피는, 상기 비국부 패치의 한계 확률 분포를 기반으로 획득되며, 상기 제3 엔트로피는, 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치의 조인트 확률 분포(joint probability distribution)를 기반으로 획득될 수 있다.
- [0009] 여기서, 상기 제1 엔트로피, 상기 제2 엔트로피 및 상기 제3 엔트로피를 획득하기 위해 이용되는 확률 분포는, 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치에서 해당 픽셀들의 강도(intensity) 간의 관계를 고려하기 위해 사용되는 조인트 히스토그램(joint histogram)을 이용하여 획득되며, 상기 조인트 히스토그램은, 상기 조인트 히스토그램의 각 축의 최대값이 미리 설정된 값과 같도록 조정된 비닝 크기(binning size)에 따라 각 패치의 강도 값(intensity value)을 스케일링(scaling)하는 것에 의해 획득될 수 있다.
- [0010] 여기서, 상기 공간적으로 인코딩된 팩터는, 상기 영상의 각 복셀에서 강도(intensity)를 누적하는 것에 의해 획득된 누적 분포 함수 히스토그램(cumulative distribution function histogram)을 기반으로 설정된 정규화 팩터 및 미리 설정된 스케일링 팩터를 포함할 수 있다.
- [0011] 여기서, 상기 영상 획득 단계는, 투영 데이터(projection data)를 기반으로 상기 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0012] 여기서, 상기 영상 획득 단계는, PDB(pixel-driven backprojector) 또는 RDB(ray-driven backprojector)를 기반으로 상기 투영 데이터로부터 상기 영상을 획득하는 것으로 이루어질 수 있다.
- [0014] 상기의 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 저장되어 상기한 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 중 어느 하나를 컴퓨터에서 실행시킨다.
- [0016] 상기의 목적을 달성하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치는, 상호 정보량(mutual information, MI) 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선하는 영상 화질 개선 장치로서, 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용하여 상기 영상의 화질을 개선하기 위한 하나 이상의 프로그램을 저장하는 메모리; 및 상기 메모리에 저장된 상기 하나 이상의 프로그램에 따라 상기 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용하여 상기 영상의 화질을 개선하기 위한 동작을 수행하는 하나 이상의 프로세서;를 포함하고, 상기 프로세서는, 상기 영상을 획득하고, 상호 정보량 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형의 목적 함수를 이용하여 상기 영상을 보정한다.
- [0017] 여기서, 상기 목적 함수는, 상기 영상의 복셀과 고정 패치(stationary patch)에 대한 검색 세트(search set)에 포함된 비국부 패치(non-local patch)의 복셀 간의 가중치를 이용하며, 상기 가중치는, 엔트로피(entropy)를 통해 획득되는 하나의 복셀에 대한 통계적 척도 값, 및 상기 하나의 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함할 수 있다.
- [0018] 여기서, 상기 통계적 척도 값은, 상기 고정 패치에 대한 한계 엔트로피(marginal entropy)를 나타내는 제1 엔트로피, 상기 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제2 엔트로피 및 상기 고정 패치와 상기 비국부 패치

에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제3 엔트로피를 기반으로 획득될 수 있다.

[0019] 여기서, 상기 공간적으로 인코딩된 팩터는, 상기 영상의 각 복셀에서 강도(intensity)를 누적하는 것에 의해 획득된 누적 분포 함수 히스토그램(cumulative distribution function histogram)을 기반으로 설정된 정규화 팩터 및 미리 설정된 스케일링 팩터를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치에 의하면, 상호 정보량(mutual information, MI)의 조합을 기반으로 하는 새로운 유형의 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV), 즉 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선할 수 있고, 특히, 저선량 CBCT(cone beam computed tomography) 영상의 성능을 향상시킬 수 있다.

[0021] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치를 설명하기 위한 블록도이다.

도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법을 설명하기 흐름도이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 투영 데이터로부터 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면으로, 도 3의 (a)는 PDB를 나타내고, 도 3의 (b)는 RDB를 나타낸다.

도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화의 가중치 맵의 일례를 나타내는 도면으로, MI 기반 통계적 척도 및 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함하는 MI-NLTV 저감화의 가중치 맵이다.

도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화의 슈도코드(pseudo-code)의 일례를 나타낸다.

도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 비국부 전역 변형 저감화의 성능을 설명하기 위한 도면으로, 분석적 재구성 알고리즘을 적용하여 생성된 CBCT 영상의 동일한 뷰(view) 간의 비교를 나타내며, 도 6의 (a)는 PDB를 적용한 영상이고, 도 6의 (b)는 RDB를 적용한 영상이며, 도 6의 (c)는 PDB에 이어 NLTV를 적용한 영상이고, 도 6의 (d)는 RDB에 이어 NLTV를 적용한 영상이며, 도 6의 (e)는 PDB에 이어 MI-NLTV를 적용한 영상이고, 도 6의 (f)는 RDB에 이어 MI-NLTV를 적용한 영상이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나, 본 발명은 이하에서 게시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 게시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0024] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또한, 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다.

[0025] 본 명세서에서 "제1", "제2" 등의 용어는 하나의 구성 요소를 다른 구성 요소로부터 구별하기 위한 것으로, 이들 용어들에 의해 권리범위가 한정되어서는 아니 된다. 예컨대, 제1 구성 요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.

- [0026] 본 명세서에서 각 단계들에 있어 식별부호(예컨대, a, b, c 등)는 설명의 편의를 위하여 사용되는 것으로 식별 부호는 각 단계들의 순서를 설명하는 것이 아니며, 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않는 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0027] 본 명세서에서, "가진다", "가질 수 있다", "포함한다" 또는 "포함할 수 있다" 등의 표현은 해당 특징(예컨대, 수치, 기능, 동작, 또는 부품 등의 구성 요소)의 존재를 가리키며, 추가적인 특징의 존재를 배제하지 않는다.
- [0030] 이하에서 첨부한 도면을 참조하여 본 발명에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법 및 장치의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다.
- [0032] 먼저, 도 1을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치에 대하여 설명한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치를 설명하기 위한 블록도이다.
- [0034] 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 장치(이하, '영상 화질 개선 장치'라 한다)(100)는 상호 정보량(mutual information, MI)의 조합을 기반으로 하는 새로운 유형의 비국부 전역 변형(non-local total variation, NLTV), 즉 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선할 수 있다.
- [0035] 여기서, 영상은 CBCT(cone beam computed tomography) 영상, MRI(magnetic resonance imaging) 영상, 초음파 영상, PET(positron emission tomography) 영상, SPET(single photon emission computed tomography) 영상 등과 같은 의료 영상일 수 있다. 물론, 본 발명은 SAR(synthesized aperture radar) 영상 등과 같은 다른 유형의 영상에도 적용되어, 노이즈(noisy)한 영상을 보다 깨끗한 영상으로 보정할 수도 있다. 본 발명에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법이 CBCT 영상에 적용되는 것으로 가정하고 이하 설명한다.
- [0036] 그리고, 상호 정보량(MI)은 두 확률 변수가 서로 어떤 관계를 가지고 있는지 나타내는 정보량을 말한다. 예컨대, 두 확률 변수가 완전히 독립인 경우(사건 A가 발생하는 것이 사건 B가 발생할 확률에 전혀 영향을 주지 않고, 그 역도 마찬가지인 것) 그 값은 0이 된다. 두 확률 변수가 서로 밀접한 관련이 있을 경우(사건 A가 발생할수록 B가 발생할 확률이 높아지는 경우) 그 값이 커지고, 역의 방향으로 관련이 있을 경우(사건 A가 발생할수록 B가 발생할 확률이 낮아지는 경우) 그 값이 작아진다.
- [0037] 그리고, 국부(local) 영역 처리는 현재 보정하고자 하는 대상 복셀과 그 인접 복셀들 간의 관계만을 가지고 현재 대상 복셀을 업데이트하는 방식이다. 반면, 비국부(non-local) 영역 처리는 현재 보정하고자 하는 대상 복셀의 인접 복셀만이 아니라 영상 내 모든 복셀들을 그룹으로 지정해서, 그룹에 포함된 각 복셀들이 대상 복셀과 얼마나 유사한 지에 따라 가중치를 계산하여 현재 대상 복셀을 업데이트하는 방식이다. 이때, 유사도 계산은 대상 복셀을 포함하는 작은 패치 영역과 그룹에 포함된 각 복셀별 작은 패치 영역을 가지고 비교하게 된다. 그룹 복셀의 범위를 영상의 전체 크기로 하면 계산 시간이 오래 걸리기 때문에, 탐색 영역을 정해서 그 안에 포함된 복셀들 만을 고려하도록 구현되는 것이 일반적이다.
- [0039] 이를 위해, 영상 화질 개선 장치(100)는 하나 이상의 프로세서(110), 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130) 및 통신 버스(150)를 포함할 수 있다.
- [0040] 프로세서(110)는 영상 화질 개선 장치(100)가 동작하도록 제어할 수 있다. 예컨대, 프로세서(110)는 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 하나 이상의 프로그램(131)을 실행할 수 있다. 하나 이상의 프로그램(131)은 하나 이상의 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함할 수 있으며, 컴퓨터 실행 가능 명령어는 프로세서(110)에 의해 실행되는 경우 영상 화질 개선 장치(100)로 하여금 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선하기 위한 동작을 수행하도록 구성될 수 있다.
- [0041] 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV) 저감화 기법을 이용하여 영상의 화질을 개선하기 위한 컴퓨터 실행 가능 명령어 내지 프로그램 코드, 프로그램 데이터 및/또는 다른 적합한 형태의 정보를 저장하도록 구성된다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)에 저장된 프로그램(131)은 프로세서(110)에 의해 실행 가능한 명령어의 집합을 포함한다. 일 실시예에서, 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)는 메모리(랜덤 액세스 메모리와 같은 휘발성 메모리, 비휘발성 메모리, 또는 이들의 적절한 조합), 하나 이상의 자기 디스크 저장 디바이스들, 광학 디스크 저장 디바이스들, 플래시 메모리 디바이스들, 그 밖에 영상 화질 개

선 장치(100)에 의해 액세스되고 원하는 정보를 저장할 수 있는 다른 형태의 저장 매체, 또는 이들의 적합한 조합일 수 있다.

- [0042] 통신 버스(150)는 프로세서(110), 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체(130)를 포함하여 영상 화질 개선 장치(100)의 다른 다양한 컴포넌트들을 상호 연결한다.
- [0043] 영상 화질 개선 장치(100)는 또한 하나 이상의 입출력 장치를 위한 인터페이스를 제공하는 하나 이상의 입출력 인터페이스(170) 및 하나 이상의 통신 인터페이스(190)를 포함할 수 있다. 입출력 인터페이스(170) 및 통신 인터페이스(190)는 통신 버스(150)에 연결된다. 입출력 장치(도시하지 않음)는 입출력 인터페이스(170)를 통해 영상 화질 개선 장치(100)의 다른 컴포넌트들에 연결될 수 있다.
- [0046] 그러면, 도 2를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법에 대하여 설명한다.
- [0047] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화 기법을 이용한 영상 화질 개선 방법을 설명하기 흐름도이다.
- [0048] 도 2를 참조하면, 영상 화질 개선 장치(100)의 프로세서(110)는 영상을 획득할 수 있다(S110).
- [0049] 즉, 프로세서(110)는 투영 데이터(projection data)를 기반으로 영상을 획득할 수 있다. 이때, 프로세서(110)는 PDB(pixel-driven backprojector) 또는 RDB(ray-driven backprojector)를 기반으로 투영 데이터로부터 영상을 획득할 수 있다. 여기서, PDB는 분석적 재구성 알고리즘(analytical reconstruction algorithm)의 역 투영에 이용되는 방법으로, 픽셀(pixel)을 중심으로 역 투영을 수행하는 방법을 말한다. 그리고, RDB는 분석적 재구성 알고리즘의 역 투영에 이용되는 방법으로, 광선(ray)을 중심으로 역 투영을 수행하는 방법을 말한다.
- [0050] 물론, 프로세서(110)는 CBCT 촬영 시스템 등과 같은 영상 촬영 시스템으로부터 CBCT 영상 등과 같은 영상을 획득할 수도 있다.
- [0052] 그런 다음, 프로세서(110)는 상호 정보량(MI) 기반 가중치가 적용된 비국부 전역 변형(NLTV)의 목적 함수를 이용하여 영상을 보정할 수 있다(S130).
- [0053] 여기서, 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV)의 목적 함수는 영상의 복셀(voxel)과 고정 패치(stationary patch)에 대한 검색 세트(search set)에 포함된 비국부 패치(non-local patch)의 복셀 간의 가중치를 이용할 수 있다.
- [0054] 즉, 가중치는 엔트로피(entropy)를 통해 획득되는 하나의 복셀에 대한 통계적 척도 값, 및 하나의 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함할 수 있다.
- [0055] 여기서, 통계적 척도 값은 고정 패치에 대한 한계 엔트로피(marginal entropy)를 나타내는 제1 엔트로피, 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제2 엔트로피 및 고정 패치와 비국부 패치에 대한 한계 엔트로피를 나타내는 제3 엔트로피를 기반으로 획득될 수 있다. 즉, 제1 엔트로피는 고정 패치의 한계 확률 분포(marginal probability distribution)를 기반으로 획득되고, 제2 엔트로피는 비국부 패치의 한계 확률 분포를 기반으로 획득되며, 제3 엔트로피는 고정 패치와 비국부 패치의 조인트 확률 분포(joint probability distribution)를 기반으로 획득될 수 있다. 이때, 제1 엔트로피, 제2 엔트로피 및 제3 엔트로피를 획득하기 위해 이용되는 확률 분포는 고정 패치와 비국부 패치에서 해당 픽셀들의 강도(intensity) 간의 관계를 고려하기 위해 사용되는 조인트 히스토그램(joint histogram)을 이용하여 획득될 수 있다. 조인트 히스토그램은 조인트 히스토그램의 각 축의 최대값이 미리 설정된 값과 같도록 조정된 비닝 크기(binning size)에 따라 각 패치의 강도 값(intensity value)을 스케일링(scaling)하는 것에 의해 획득될 수 있다.
- [0056] 그리고, 공간적으로 인코딩된 팩터는 정규화 팩터 및 미리 설정된 스케일링 팩터를 포함할 수 있다. 이때, 정규화 팩터는 영상의 각 복셀에서 강도(intensity)를 누적하는 것에 의해 획득된 누적 분포 함수 히스토그램(cumulative distribution function histogram)을 기반으로 설정될 수 있다.
- [0057] 본 발명에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV)을 이용한 저감화 과정에 대해서는 이하 보다 자세하게 설명한다.
- [0060] 그러면, 도 3 내지 도 5를 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 비국부 전역 변형 저감화 과정의 일례에 대하여 설명한다.

[0061] 본 발명은 상호 정보량(MI)의 조합을 기반으로 하는 새로운 유형의 비국부 전역 변형(NLTV), 즉 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형(MI-NLTV)을 제안한다. 본 발명은 고정 패치(stationary patch)와 비국부 패치(non-local patch)의 해당 빈(bin) 간의 유사성 계산에 대한 통계적 척도를 기반으로 한다. 가중치는 해당 고정 패치와 비국부 패치의 엔트로피 사이의 상호 정보량(MI) 값을 포함하는 통계적 척도 측면에서 결정될 수 있다. MI-NLTV의 노이즈 제거 프로세스는 RDB를 이용하여 분석적 재구성 알고리즘에 의해 생성된 CBCT 영상에 적용될 수 있다. MI-NLTV의 목적 함수는 실제 구조와 노이즈 간의 차이를 늘리기 위해 적응적 경사 하강(steepest gradient descent) 최적화를 기반으로 최소화될 수 있다. 이 최소화 프로세스는 재구성된 영상에 남아있는 미세한 구조와 세부사항을 너무 많이 잃지 않고 노이즈 픽셀을 정리하여, 본 발명에 따른 비국부 전역 변형(NLTV)을 종래의 비국부 전역 변형(NLTV)보다 더 안정적이고 견고하게 할 수 있다. 이러한 차이는 저선량 CBCT 영상에 대한 비국부 전역 변형(NLTV)의 상호 정보량(MI)의 선호도를 나타낸다.

[0063] X-선 전송 길이 계산 기반 RDB

[0064] 도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 투영 데이터로부터 영상을 획득하는 과정을 설명하기 위한 도면으로, 도 3의 (a)는 PDB를 나타내고, 도 3의 (b)는 RDB를 나타낸다.

[0065] 콘(cone) 각도 효과로 인한 강도(intensity) 저하를 피하기 위해 각 투영에 원형 사전-가중치 팩터가 적용된다. SL 필터와 상승된 코사인 윈도우 함수의 곱을 사용하는 1차원 램프 필터(ramp filter)를 적용하여 주파수 영역에서 고주파수를 억제한다. 램프 필터는 1차원 푸리에 변환을 통해 사전-가중치 투영의 수평 방향에 평행한 각선의 푸리에 변환된 값으로 곱해진다. 필터링된 투영은 역 1차원 푸리에 변환을 적용하는 것에 의해 획득된다.

[0066] 이 필터링 단계 이후, 역 투영 단계가 수행되어 필터링된 투영 데이터로부터 볼륨 영상(volumetric image)을 획득한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 재구성할 복셀에서 디텍터의 해당 위치를 결정하는 PDB를 사용하는 대신 광선 추적 기반 RDB를 사용하였다. 이 RDB는 투영 데이터를 형성하는 광선의 정확한 지오메트리(geometry)를 유지하기 때문에 PDB 보다 잠재적으로 더 정확하다. 광선 경로와 각 복셀 사이의 교차 길이를 계산하고, 이는 아래의 [수학식 1]과 같이 표현된다.

수학식 1

$$\mu_j = \frac{\sum_k l^{jk} P_k}{\sum_k l^{jk}}$$

[0067]

[0068] 여기서, μ_j 는 볼륨의 j번째 인덱싱된 복셀(V_j)에서 재구성될 감쇠 계수(attenuation coefficient)이다. P_k 는 필터링된 투영 데이터에서 k번째 인덱싱된 픽셀의 값이다. l^{jk} 는 복셀-의존적 가중치 팩터로, V_j 와 P_k 로부터 발생한 광선 사이의 교차 길이(교차가 되지 않으면, $l^{jk}=0$)이다. 이 광선 추적 프로세스는 투영 데이터의 모든 픽셀에 적용된다. 먼저, 모든 μ_j 값은 0으로 설정된다. P_k 에 영향을 미치는 복셀을 결정하기 위해, P_k 의 중심 좌표로부터 발생되어 초점(focal point)으로 되돌아가는 역투영 광선(a^k)이 고려된다. 이후, a^k 및 볼륨 내의 복셀 간의 교차는 Siddon 방법을 사용하여 계산된다. a^k 가 지나가는 각 복셀 V_j 에서, μ_j 의 현재 값은 $l^{jk}P_k$ 에 의해 증가된다. 마지막으로 볼륨은 각 μ_j 를 $\sum_k l^{jk}$ 로 나누어 정규화된다.

[0070] MI-NLTV 저감화

[0071] 도 4는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화의 가중치 맵의 일례를 나타내는 도면으로, MI 기반 통계적 척도 및 공간적으로 인코딩된 팩터를 포함하는 MI-NLTV 저감화의 가중치 맵이고, 도 5는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 기반 비국부 전역 변형 저감화의 슈도코드(pseudo-code)의 일례를 나타낸다.

[0072] 비국부 패치 간의 유사성을 결정하는 것에 의해 눈에 띄는 특징과 원하지 않은 노이즈 간의 신호 차이를 향상시키기 위해, 가중치가 적용된 전역 변형 저감화 프로세스가 재구성된 영상에 적용된다. $\Phi_{i,j}$ 가 각 패치의 중심 점에 의해 영향을 받는 영역일 때, 고정 패치(stationary patch)의 상태는 검색 세트(search set)에 포함된 비

국부 패치로 통계적 척도를 계산하는 것에 의해 결정된다. MI는 해당 강도 간의 선형 관계를 필요로 하지 않는 영상 매칭의 메트릭(metric)으로 사용된다. 고정 패치와 비국부 패치가 매칭되지 않으면, MI는 낮은 값을 가지게 된다. 눈에 띄는 특징없이 노이즈-손상된 픽셀을 포함하는 패턴을 가지는 고정 패치는 높은 엔트로피 영역으로 간주된다. 따라서 스무딩 상태(smoothing state)일 가능성이 높다. 반대로, 보존 상태가 될 영역은 낮은 엔트로피와 높은 MI 값을 가지는 패치일 수 있다. 또한, MI 값은 각 패치의 한계 엔트로피의 양보다 작거나 같다. 이러한 특성을 고려하여, 통계적 척도 $M(\Phi_{i,j})$ 는 아래의 [수학식 2]와 같이 정의된다.

수학식 2

$$M(\Phi_{i,j}) = \frac{MI(I_A, I_B^\Omega)}{H(I_A)}$$

여기서, I_A 는 고정 패치 내의 영역을 나타내고, 비국부 패치 I_B 에 대한 검색 세트는 Ω 로 정의된다. I_B^Ω 는 고정 패치에 해당하는 검색 세트에 포함된 모든 비국부 패치를 의미한다.

그리고, $MI(I_A, I_B^\Omega)$ 는 아래의 [수학식 3]과 같이 정의된다.

수학식 3

$$MI(I_A, I_B^\Omega) = H(I_A) + H(I_B^\Omega) - H(I_A, I_B^\Omega)$$

여기서, $H(I_A)$ 및 $H(I_B^\Omega)$ 는 각각 고정 패치와 비국부 패치의 한계 엔트로피를 나타낸다. 이 엔트로피들은 아래의 [수학식 4] ~ [수학식 6]과 같이 정의된다.

수학식 4

$$H(I_A) = - \sum_{i \in I_A} p_i \log_2 p_i$$

수학식 5

$$H(I_B^\Omega) = - \sum_{i \in I_B^\Omega} p_i \log_2 p_i$$

수학식 6

$$H(I_A, I_B^\Omega) = - \sum_{i \in I_A} \sum_{j \in I_B^\Omega} p_{i,j} \log_2 p_{i,j}$$

여기서, p_i 및 $p_{i,j}$ 는 각각 I_A 와 I_B^Ω 의 한계 확률 분포(marginal probability distribution) 및 조인트 확률 분포(joint probability distribution)이다. 이 엔트로피들을 계산하는데 필요한 확률 분포의 경우, 조인트 히스토그램(joint histogram)은 2개의 고정 패치 및 비국부 패치에서 해당 픽셀의 강도 간의 관계를 고려하기 위해 사용된다. 조인트 히스토그램은 조인트 히스토그램의 각 축의 최대 값이 특정 값과 같도록 조정된 비닝 크기(binning size)에 따라 각 패치의 강도 값을 스케일링하는 것에 의해 획득된다.

[0082] $M(\Phi_{i,j})$ 을 기반으로 하는 다른 가중치를 가지는 패널티(penalty)는 아래의 [수학식 7]과 같이 표현된다.

수학식 7

[0083]
$$w_j = \exp(- (V_j/\tau)^\rho M(\Phi_{i,j}))$$

[0084] 여기서, 인덱스 i는 비국부 패치의 인덱스를 나타낸다. 인덱스 j는 영상 내의 복셀의 인덱스를 나타내고, V_j 는 j번째 복셀을 나타낸다. w_j 는 현재 복셀 j와 Ω 내의 복셀 간의 가중치를 나타낸다. 패치 크기는 단위 분산(unit variance)를 가지는 $((2a+1) \times (2a+1))$ 으로 정의되고, a는 2로 설정하여 본 발명의 실시예에 따른 패치 크기는 5×5 일 수 있다. 비국부 검색 영역은 단위 분산을 가지는 21×21 일 수 있다. $(V_j/\tau)^\rho$ 는 2개의 하이퍼파라미터 τ 및 ρ 를 가지는 j번째 복셀에 대해 공간적으로 인코딩된 팩터이다. 역할은 명암(contrast)을 유지하기 위해 고 강도 영역에서 가중치 평균 효과(weighted averaging effect)를 줄이는 것이다. 국부 필터링 파라미터 τ 는 V_j/τ 비율이 1을 초과하는 것을 보장하기 위한 정규화 팩터이다. 이는 재구성된 영상의 각 복셀에서 강도를 누적하는 것에 의해 생성된 누적 분포 함수 히스토그램의 90%로 설정될 수 있다. 파라미터 ρ (본 발명의 실시예에서는, $\rho=10$)는 더 높은 강도를 위해 더 작은 가중치를 보장하기 위한 스케일링 팩터이다. 도 4는 CBCT 영상에서 [수학식 7]을 사용하여 계산된 MI-NLTV 가중치 맵을 보여준다. 어두운 영역은 보존 복셀을 나타내고, 밝은 영역은 스무딩 상태를 나타낸다.

[0085] 아래의 [수학식 8]에서 가중치가 적용된 TV 목적 함수를 최소화하는 것은 비국부 패치에 비해 높은 명암을 가지는 에지들이 보존되고 낮은 명암을 가지는 노이즈 복셀들이 스무딩하게되는 것을 나타낸다.

수학식 8

[0086]
$$R(V) = \sum_j R(V_j) = \sum_j w_j D(V_j)$$

[0087] 여기서, $D(V_j)$ 는 아래의 [수학식 9]와 같다.

수학식 9

[0088]
$$D(V_j) = \sqrt{(V_{(x,y)} - V_{(x-1,y)})^2 + (V_{(x,y)} - V_{(x,y-1)})^2}$$

[0089] 여기서, $V_{(x,y)}$ 는 2차원 좌표 (x,y)에서의 복셀이다. 가중치가 적용된 TV 목적 함수는 아래의 [수학식 10] ~ [수학식 11]과 같이 표현되는 적응형 스텝 크기(step size)를 가지는 적응적 경사 하강(steepest gradient descent) 방법을 기반으로 최소화된다.

수학식 10

[0090]
$$V_j^{t+1} = V_j^t - \lambda \nabla R(V_j) / |\nabla R(V)|$$

수학식 11

[0091]
$$\lambda = \gamma \sqrt{\sum_j (V_j^t)^2}$$

[0092] 여기서, λ 는 스텝 크기를 조절하는 적응형 파라미터로, 반복 단계의 진행에 따라 스무딩 정도(smoothing

degree)가 감소된다. 각 단계에서 업데이트된 모든 복셀의 제곱근(square root)을 사용하여, λ 는 반복 횟수가 증가함에 따라 점점 작은 값으로 적용된다. 갑작스러운 변경으로 인한 국부 최소화를 피하기 위해, 스케일링 파라미터 γ 가 사용되며, 초기 값은 1.0으로 설정될 수 있다.

[0093] 현재 반복 단계의 $R(V)$ 가 이전 단계의 $R(V)$ 보다 크면, 이 값은 상수 값($r_{red}=0.8$)을 곱하는 것에 의해 선형적으로 감소된다. $\nabla R(V)$ 는 j 번째 인덱싱된 픽셀에서 목적 함수 $R(V)$ 의 경사(gradient)이다. 모든 픽셀에서 계산된 경사(gradient)의 RSS(root-sum-square) $|\nabla R(V)|$ 는 정규화된 경사(gradient) 계산에 필요하다. 명확하게는 아래의 [수학식 12] ~ [수학식 13]과 같다.

수학식 12

$$\nabla R(V_j) = \frac{\partial R(V)}{\partial V_j} = \frac{\partial R(V)}{\partial V_{(x,y)}} = \begin{pmatrix} W_{(x,y)} \frac{2V_{(x,y)} - V_{(u-1,v)} - V_{(u,v-1)}}{\sqrt{(V_{(x,y)} - V_{(x-1,y)})^2 + (V_{(x,y)} - V_{(x,y-1)})^2}} \\ + W_{(x+1,y)} \frac{V_{(x,y)} - V_{(x+1,y)}}{\sqrt{(V_{(x+1,y)} - V_{(x,y)})^2 + (V_{(x+1,y)} - V_{(x+1,y-1)})^2}} \\ + W_{(x,y+1)} \frac{V_{(x,y)} - V_{(x,y+1)}}{\sqrt{(V_{(x,y+1)} - V_{(x-1,y+1)})^2 + (V_{(x,y+1)} - V_{(x,y)})^2}} \end{pmatrix}$$

[0094]

수학식 13

$$|\nabla R(V)| = \sqrt{\sum_j (\nabla R(V_j))^2}$$

[0095]

[0096] 적응적 경사 하강(steepest gradient descent) 단계에 대한 최적의 반복 횟수는 미세 조정되어, 눈에 띄는 특질을 보존하면서 노이즈 픽셀을 최소화한다. 본 발명의 실시예에서, 단계의 반복 횟수를 20으로 설정하였다. 위에서 언급한 모든 항목들을 고려할 때, MI-NLTV 저감화의 슈도코드(pseudo-code)는 도 5에 도시된 바와 같다.

[0099] 그러면, 도 6을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 비국부 전역 변형 저감화의 성능에 대하여 설명한다.

[0100] 도 6은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 상호 정보량 비국부 전역 변형 저감화의 성능을 설명하기 위한 도면으로, 분석적 재구성 알고리즘을 적용하여 생성된 CBCT 영상의 동일한 뷰(view) 간의 비교를 나타내며, 도 6의 (a)는 PDB를 적용한 영상이고, 도 6의 (b)는 RDB를 적용한 영상이며, 도 6의 (c)는 PDB에 이어 NLTV를 적용한 영상이고, 도 6의 (d)는 RDB에 이어 NLTV를 적용한 영상이며, 도 6의 (e)는 PDB에 이어 MI-NLTV를 적용한 영상이고, 도 6의 (f)는 RDB에 이어 MI-NLTV를 적용한 영상이다.

[0101] 도 6의 영상들은 (975, 9) HU의 윈도우(너비 및 레벨) 설정에서 디스플레이되었다.

[0102] 도 6을 참조하면, RDB는 노이즈 제거기를 사용하지 않고 NLTV 및 MI-NLTV를 사용할 때 상당한 게인(gain)을 얻을 수 있다. 본 발명에 따른 MI-NLTV 저감화와 함께 RDB에 의해 처리된 CBCT 영상에서 아티팩트(artifact)는 다른 접근 방식을 통해 처리된 것과 비교하여 상당히 억제됨을 확인할 수 있다. 특히, MI-NLTV 저감화가 적용된 CBCT 영상은 더 스무딩하고 아티팩트가 적어, PDB와 RDB 모두에서 영상 품질이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0103] 또한, CBCT 영상에서 선택된 ROI(region of interest)에서 CNR(contrast-to-noise ratio)을 계산하였다. 이는 해당 영역 간의 상대적인 영상 명암을 비교할 수 있다. 아래의 [표 1]은 분석적 재구성 알고리즘을 기반으로 획득된 CBCT 영상에서 노이즈 제거기를 사용하지 않는 경우, NLTV를 사용한 경우, 및 MI-NLTV를 사용한 경우의 7개의 ROI에서의 CNR을 비교한 것이다. 본 발명에 따른 MI-NLTV 저감화는 노이즈 제거기가 없이 NLTV를 사용하는 경우의 ROI에 비해 모든 ROI에서 향상된 CNR을 보여주는 것을 확인할 수 있다. RDB를 결합하면 CNR이 NLTV 및 MI-NLTV 모두에 대해 더 높은 값으로 향상되는 것을 확인할 수 있다.

표 1

ROI	Material of insert	PDB	RDB	PDB+ NLTV	RDB+ NLTV	PDB+ MI-NLTV	RDB+ MI-NLTV
1	Delrin™	2.2	9.7	11.1	14.2	19.8	22.9
2	Teflon	5.4	19.8	31.0	27.0	33.1	32.5
3	Air	5.7	26.1	42.3	38.2	60.4	62.7
4	PMP	0.7	2.5	4.5	3.9	7.0	7.0
5	LDPE	0.1	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9
6	Polystyrene	0.3	1.1	2.4	1.7	4.3	2.9
7	Air	5.7	25.7	38.6	35.9	46.3	51.1

[0105] [표 1]은 저선량 투영 데이터를 사용하여 PDB 및 RDB를 기반으로 분석적 재구성 알고리즘에 의해 생성된 CBCT 영상에서 7개의 ROI에서의 CNR의 비교 결과를 나타낸다.

[0108] 본 실시예들에 따른 동작은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체에 기록될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 실행을 위해 프로세서에 명령어를 제공하는데 참여한 임의의 매체를 나타낸다. 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 예컨대, 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 기술 분야의 프로그래머들에 의해 용이하게 추론될 수 있을 것이다.

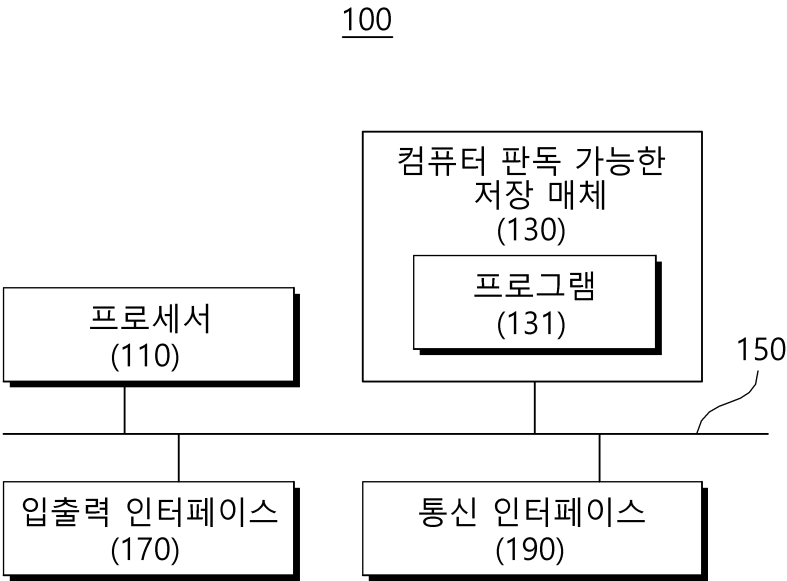
[0109] 본 실시예들은 본 실시예의 기술 사상을 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

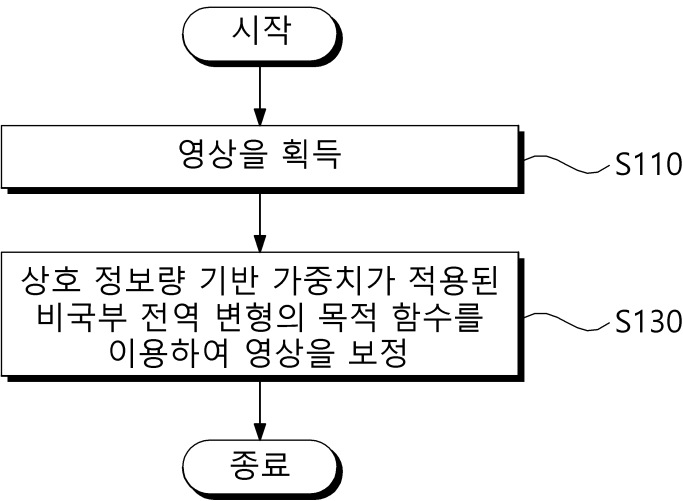
- [0110] 100 : 영상 화질 개선 장치,
 110 : 프로세서,
 130 : 컴퓨터 판독 가능한 저장 매체,
 131 : 프로그램,
 150 : 통신 버스,
 170 : 입출력 인터페이스,
 190 : 통신 인터페이스

도면

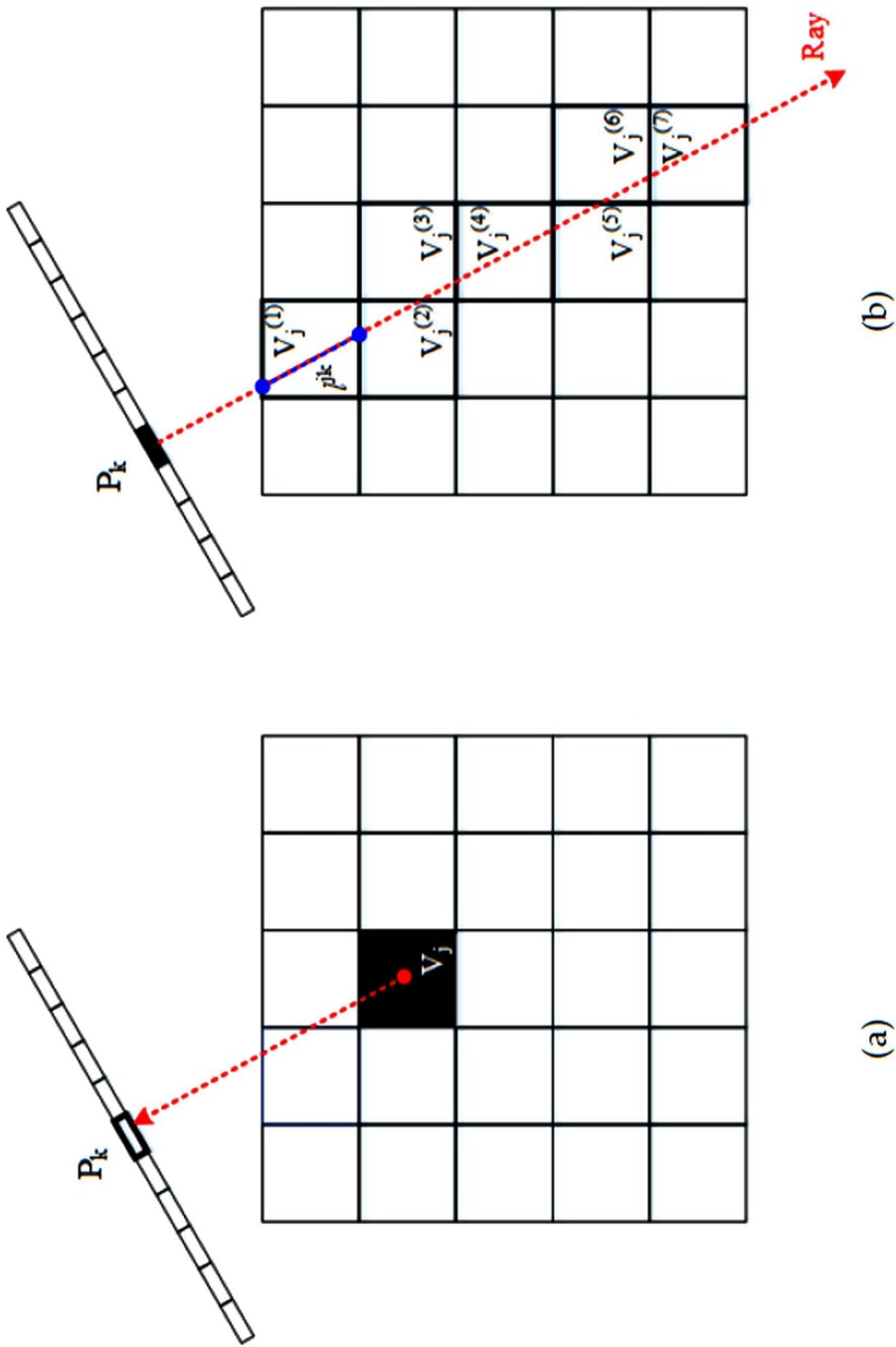
도면1



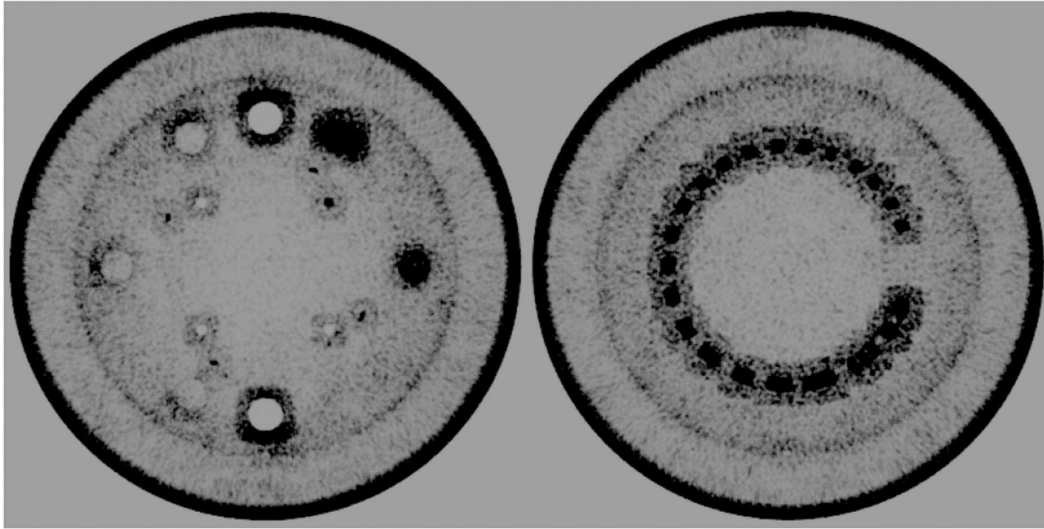
도면2



도면3



도면4



도면5

```

For n ← 1 to all images do
  r ← 1,   rred ← 0.8,   ε ← 3,   a ← 2,   Ω ← 10
  For j ← 1 to all voxels do
    Calculate D(Vj) using Eq. (9)
    Create intensity CDF histogram using Vj
  End For
  τ ← Intensity at 90% of intensity CDF
  R(V) ← 0
  For j ← 1 to all voxels do
    wj ← 0
    For k ← a to a do
      Find the largest number in Vj+k and call it 'Amax'
    End For
    For i ← j - Ω to j + Ω do
      S ← 0
      For k ← a to a do
        Find the largest number in Vi+k and call it 'Bmax'
      End For
      For k ← a to a do
        A ← (Vj+k/Amax) × Bin Size
        B ← (Vi+k/Bmax) × Bin Size
        Voting at Bin of (A,B) of the joint histogram
      End For
    End For
    Calculate wj using Eq. (7)
    Calculate D(Vj) using Eq. (9)
    R(Vj) ← wjD(Vj)
  End For
  R(V) ← R(V) + R(Vj)
End For
For t ← 1 to 20 do
  For j ← 1 to all voxels do
    λ ←  $\sqrt{\sum_j V_j^2}$ 
    λ ← λ × r
    ∂Vj ← ∇R(Vj) calculated by Eq. (12)
    |∇R(V)| ←  $\sqrt{\sum_j (\partial V_j)^2}$  as in Eq. (13)
  End For
  For j ← 1 to all voxels do
    Vj' ← Vj + λ∂Vj/|∇R(V)|
  End For
  While R(Vj') > R(V) do
    r ← r × rred
    λ ← λ × r
    For j ← 1 to all voxels do
      Vj' ← Vj +  $\frac{\lambda \partial V_j}{|\nabla R(V)|}$ 
    End For
  End While
  Update Vj' to Vj
End For

```

도면6

