(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2015-0089382
(43) 공개일자 2015년08월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 6/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0009916
(22) 출원일자 2014년01월27일
심사청구일자 2015년01월15일

(71) 출원인
연세대학교 원주산학협력단
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
(72) 발명자
김희중
강원 원주시 늘품로 199, 102동 304호 (반곡동, 반곡아이파크아파트)
박혜숙
강원 원주시 흥업면 연세대길 1, 백운관 439호 (연세대학교원주캠퍼스)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
민혜정

전체 청구항 수 : 총 11 항

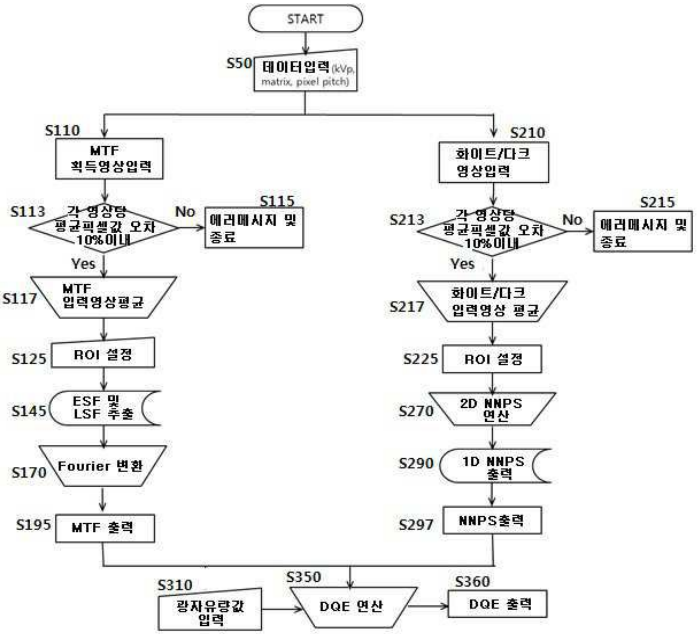
(54) 발명의 명칭 **디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율의 검출방법, 검출시스템 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체**

(57) 요 약

본 발명은 변수에 따른 오차율을 줄이며, 보다 간단히 MTF, NNPS, 및 DQE 값을 공간주파수별로 획득할 수 있어, DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있는, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율의 검출방법, 검출시스템 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체에 관한 것이다.

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도11



본 발명의 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법은, 연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 MTF용 영상으로부터 변조전달함수(MTF)를 구하는, MTF 측정단계; 연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상으로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)을 구하는, NNPS 측정단계; 연산처리부에서, 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자유량(photon fluence)을 검출하는, 광자유량검출단계; 상기 변조전달함수(MTF)와 상기 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)과 상기 광자유량(q)을 이용하여 검출 양자효율(DQE)를

$$DQE(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS\,(f)\cdot q\cdot X}$$

(단, X는 조사선량(mR)이며, q는 광자유량임)

에 의해 구하는 DQE 연산단계;를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

(72) 발명자

김예슬

강원 원주시 흥업면 연세대길 1, 백운관 425호 (연세대학교원주캠퍼스)

이동훈

강원 원주시 흥업면 세동길 13, 103동 707호 (현대아파트)

강원석

강원 원주시 흥업면 연세대길 1, (연세대학교원주캠퍼스)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2013D7222010100

부처명 교육부

연구관리전문기관 연세대학교 산학협력단

연구사업명 연세대학교 원주캠퍼스 산학공동기술개발과제(추경)

연구과제명 디지털 유방 촬영 시스템의 정량적인 화질 측정 및 평가 프로그램 개발

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2013.10.01 ~ 2014.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

이미지 획득부로부터 수신된 변조전달함수(MTF)용 영상으로부터 변조전달함수(MTF)를 구하는, MTF 측정부;

이미지 획득부로부터 수신된 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상으로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)을 구하는, NNPS 측정부;

관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질, 필터물질 및 두께를 이용하여 관전압의 에너지 스펙트럼을 도출하고, 도출된 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자유량(photon fluence)을 검출하는, 광자유량검출부;

상기 변조전달함수(MTF), 상기 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS) 및 상기 광자유량를 이용하여 검출 양자효율(DQE)을

$$DQE(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS\,(f)\cdot q\cdot X}$$

(단, X는 조사선량(mR)이며, q는 광자유량임)

에 의해 검출하는 DQE연산부;

를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

광자 유량(q)은

$$q = X\cdot\int_0^{kVp}\left[\frac{\Phi(E)}{X}\cdot\frac{\Phi(E)}{\int_0^{kVp}\Phi(E)dE}\right]dE$$

$$\frac{\Phi(E)}{X} = \frac{5.456\times10^{10}}{E(keV)\cdot(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho}(cm^2/g))_{air}}\left[photons/cm^2\cdot R\right]$$

(단, X는 조사선량이며, φ(E)는 측정하고자 하는 관전압의 에너지스펙트럼이고, E는 측정하고자 하는 관전압이며, $\mu en(E)/\rho$는 질량에너지 감약계수임)

에 의해 구하여지는 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

MTF용 영상은 에지검사장치의 영상으로 5장의 영상으로 이루어지며,

화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상은 각각 4장의 영상으로 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, MTF 측정부는,

이미지 획득부로부터 다수 장의 영상으로 이루어진 MTF용 영상을 수신하여 평균하여 한 장의 MTF용 영상을 생성하고, 평균된 MTF용 영상에서 관심영역(ROI)을 설정하며, 관심영역(ROI)에서 에지를 따라 일정 구간을 반복적으

로 설정하여 픽셀의 값들을 나열하여 시스템 에지 확산 함수(ESF)를 구하고,

에지 확산 함수(ESF)를 미분하여 선 확산 함수(LSF)를 획득한 후, 정규화(normalization)하고,

정규화된 선 확산 함수(LSF)를 푸리에변환하여 변조전달함수(MTF)를 구하고, 에지 확산 함수의 유효 픽셀 간격을 계산하고, 획득된 변조전달함수(sMTF)로부터 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간을 행하는 것을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, NNPS 측정부는,

이미지 획득부로부터 4개의 화이트(white) 영상과 4개의 다크 영상을 수신하며, 수신된 4장의 화이트 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 생성된 화이트 영상의 관심영역(ROI) 영상을, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)을 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할하고,

16개의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상들에서 각 화이트 영상의 평균값을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 구하며, 이미지 획득부로부터 수신된 4장의 다크 영상을 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 잘라, 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장의 평균된 다크 영상을 생성하고, 화이트 영상도 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 화이트 영상을 평균하여 평균된 화이트 영상을 생성하며, 평균된 화이트 영상에서 평균된 다크 영상을 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 상기 잡음 파워 스펙트럼(sNPS)을 나누어, 정규화하여, 2차원 시스템 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득하고,

주파수 상에서 중심을 지나는 수직축인 V축과 중심을 지나는 수평축인 u축을 기준으로 나누어 생성된 4개의 면을 한 장으로 평균하며, u축 상의 위 4줄을 추출하여 1차원 시스템 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D sNNPS)를 획득한 후, 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간하는 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템.

청구항 6

연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 MTF용 영상으로부터 변조전달함수(MTF)를 구하는, MTF 측정단계;

연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상으로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)을 구하는, NNPS 측정단계;

연산처리부에서, 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자유량(photon fluence)을 검출하는, 광자유량검출단계;

상기 변조전달함수(MTF)와 상기 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)과 상기 광자유량(q)을 이용하여 검출 양자효율(DQE)를

$$DQE(f) = \frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)\cdot q\cdot X}$$

(단, X는 조사선량(mR)이며, q는 광자유량임)

에 의해 구하는 DQE 연산단계;

를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 광자 유량(q)은

$$q = X \cdot \int_0^{kVp} \left[\frac{\Phi(E)}{X} \cdot \frac{\Phi(E)}{\int_0^{kVp} \Phi(E) dE} \right] dE$$

$$\frac{\Phi(E)}{X} = \frac{5.456 \times 10^{10}}{E(keV) \cdot (\frac{\mu_{en}(E)}{\rho}(cm^2/g))_{air}} \left[photons/cm^2 \cdot R \right]$$

(단, X는 조사선량이며, ϕ(E)는 측정하고자 하는 관전압의 에너지스펙트럼이고, E는 측정하고자 하는 관전압이며, $\mu en(E)/\rho$는 질량에너지 감약계수임)

에 의해 구하여지는 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법.

청구항 8

제6항에 있어서,

MTF용 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 5장의 영상으로 이루어지며,

화이트(White) 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 4장의 영상으로 이루어지며,

다크(dark) 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 4장의 영상으로 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법.

청구항 9

제6항에 있어서, MTF 측정단계는,

연산처리부는 이미지 획득부로부터 수신된 다수 장의 영상으로 이루어진 MTF용 영상을 평균하여 한 장의 MTF용 영상을 생성하고, 평균된 MTF용 영상에서 관심영역(ROI)을 설정하며, 관심영역(ROI)에서 에지를 따라 일정 구간을 반복적으로 설정하여 픽셀의 값들을 나열하여 에지 확산 함수(ESF)를 구하는, ESF 추출단계;

ESF 추출단계로부터 수신된 에지 확산 함수(ESF)를 미분하여 선 확산 함수(LSF)를 획득하여, 정규화(normalization)하는, LSF 추출단계;

LSF 추출단계로부터 수신된 선 확산 함수(LSF)를 푸리에변환하여 변조전달함수(MTF)로서 획득하며, 복합 시스템 에지 확산 함수(Composite sESF)의 유효 픽셀 간격을 계산하고, 획득된 변조전달함수(MTF)로부터 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간을 행하는, MTF 연산단계;

를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법.

청구항 10

제9항에 있어서, NNPS 측정단계는,

이미지 획득단계로부터 4개의 화이트(white) 영상과 4개의 다크 영상을 수신하며, 수신된 4장의 화이트 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 생성된 화이트 영상의 관심영역(ROI) 영상을, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)을 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할하는 ROI추출단계;

ROI추출단계에서 출력된 16장의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상들에서 각 화이트 영상의 평균값을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 시스템 잡음 파워 스펙트럼(sNPS)을 구하며, 이미지 획득부로부터 수신된 4장의 다크 영상을 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 잘라, 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장의 평균된 다크 영상을 생성하고, 화이트 영상도 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 화이트 영상을 평균하여 평균된 화이트 영상을 생성하며, 평균된 화이트 영상에서 평균된 다크 영상을 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 상기 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 나누어, 정규화하여, 2

차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득하는, 2D NNPS연산단계;

주파수 상에서 중심을 지나는 수직축인 V축과 중심을 지나는 수평축인 u축을 기준으로 나누어 생성된 4개의 면을 한 장으로 평균하며, u축 상의 위 4줄을 추출하여 1차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D NNPS)를 획득하며, 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간하는, 1D NNPS연산단계;

를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 하는 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법.

청구항 11

제6항 내지 제10항 중 어느 한 항의 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법에 대한 컴퓨터 프로그램 소스를 저장한 기록매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 변수에 따른 오차율을 줄이며, 보다 간단히 MTF, NNPS, 및 DQE 값을 공간주파수별로 획득할 수 있어, DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있는, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율의 검출방법, 검출시스템 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 방사선 촬영 시스템의 검출 양자 효율(detective quantum efficiency: DQE)은, 그 시스템이 "입사한 X선 양자를 얼마나 효율적으로 화상 형성에 이용하고 있는지"를 평가하는 척도로, 입력과 출력의 신호대 잡음비(signal-to-noise ratio: S/N)의 제곱의 비로서 정의되며, S/N를 완전히 열화 시키지 않는 "이상적인" 방사선 촬영 시스템의 DQE는 1이다.

[0003]
$$DQE(f)=\frac{(S/N)_{OUT}^{\;2}}{(S/N)_{IN}^{\;2}}=\frac{\frac{MTF^2(f)}{WS(f)}}{q}=\frac{MTF^2(f)}{q\cdot WS(f)}$$

[0004] (단, WS(f)는 정규화된전력스펙트럼(NNPS), q는 입사X선양자수, MTF는 변조전달함수)

[0005] 디지털 방사선 촬영장비(Digital radiography, DR)의 급속한 발전으로 X-레이 유방영상(X-ray breast imaging)의 효용성을 향상되었으며, 현재는 여러 기술들을 이용하여 다양한 종류의 유방촬영 시스템용 검출기(detector)들이 개발되었다.

[0006] 이런 다양한 검출기의 특성을 평가 및 비교하기 위하여, 정량적인 평가지표가 되는 DQE(detective quantum efficiency)는 표준화된 방법이 없어 의학물리학자나, 방사선사들이 제품설명서나 기존의 책에 출간되어 있는 DQE 값을 비교하는데 어려움을 있어왔으며, 이를 위해, 국제전기기기술위원회(International Electrotechnical commission, IEC)는 IEC 6220-1-2에서 검출양자효율(Detective quantum efficiency, DQE)를 측정하기 위한 빔의 질(beam quality) RQA-M-1~4를 수립하고, 측정 방법을 표준화하였으며, 시장에 나와있는 각기 응용분야가 다른 시스템의 다양화때문에 일반 방사선촬영에서 사용되는 시스템을 표준화 적용하는 범위로 제한하였다. DQE측정방법에 대한 국제적인 표준을 확립하기위해 제안된 방사선의 질(radiation quality)은 표 1과 같다.

표 1

[0007]

Radiation Quality No.	Target & Filter	Approx. Tube Voltage (kV)	Filter Thickness (mm Al)	Additional Filtration (mm Al)	HVL (mm Al)
RQA-M-1	Mo/Mo	25	0.032	2.0	0.56
RQA-M-2	Mo/Mo	28	0.032	2.0	0.60
RQA-M-3	Mo/Mo	30	0.032	2.0	0.62
RQA-M-4	Mo/Mo	35	0.032	2.0	0.68
	Mo/Rh	28	0.025	2.0	0.65
	Rh/Rh	28	0.025	2.0	0.74
	W/Rh	28	0.05	2.0	0.75
	W/Al	28	0.50	2.0	0.83

[0008] 그러나 검출기의 DQE 측정시 세부적인 측정방법에 따라 오차율이 상당히 높았다.

[0009] DQE측정의 정확성을 높이기 위하여, 학계에서는, 변조전달함수(modulation transfer function, MTF)와 잡음 파워스펙트럼(noise power spectrum, NPS) 측정 및 분석에 다양한 방법을 응용, 적용하는 등, 세부적인 지침사항 마련에 많은 노력을 기울였지만, 그 분석방법이 복잡하고 어려우며, DQE 계산시 다수의 소프트웨어가 필요하기 때문에 임상환경 및 중소기업에서의 적용은 제한되었다. 그 측정방법 및 분석이 복잡하여 비전문가가 사용하기 어려웠다.

[0010] 따라서, 정확하고, 사용이 용이하고 간편하며, 저렴한 digital mammography용 DQE 자동계산 방법 및 그 방법을 적용한 시스템이 요망된다.

[0011] 특히, 디지탈 유방 영상 시스템(digital breast imaging system)에서도 선택, 성능 평가 그리고 장비의 유지 및 보수를 위하여, DQE의 측정은 필수적이다. 그러므로, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템에서 DQE 측정시 변수에 따른 오차율이 보다 낮고, 저가이고, 측정방법 및 분석이 간단하면서 정확히 측정하는 방법이 요망된다.

[0012] 종래기술로서, 본 발명자들에 의해 출원, 등록된, 국내 등록특허 제10-1270002호의 '임상용 시스템 검출 양자효율 검출 방법 및 그 시스템'이 있으나, 이 발명도 DQE 측정시 변수에 따른 오차율이 높은 문제를 해결하고 있지 않으며, 여전히 측정 및 분석 방법이 복잡하여 비전문가가 사용하기 어려운 단점이 있다.

[0013] 즉, 국내 등록특허 제10-1270002호는 유방 엑스선 촬영용 검출기의 DQE 평가 시 정확도를 높이기 위해 많은 변수들을 고려하여, 보다 더 정확한 DQE 도출에 목적을 두고 있다. 하지만, DQE 계산은 대학의 학자나 메이저(major) 제조회사에 국한되어있다. 검출기(Detector)를 수입하여 유방 엑스선 촬영 시스템을 개발하는 중소기업이나 다양한 유방 엑스선 촬영시스템을 구매한 임상 환경에서는 DQE 측정이 매우 복잡하고 어려우며, 저가인 것이 요망된다. 현재, 대부분은 판매회사에서 제시하고 있는 DQE값을 활용하고 있으며, 더구나 국내 임상환경에서는 DQE를 이용한 장비의 유비 및 보수가 어려운 현실에 있다. 동일한 제조과정을 통해 만들어진 검출기라도 그 특성상 약간의 차이를 보일 수 있으므로, 고가의 유방 엑스선촬영 검출기는 각각의 제품마다 DQE 평가가 이루어져야 한다.

[0014] 특히, 일반엑스선 촬영용 검출기와 유방 엑스선 촬영용 검출기는 그 적용부위 등이 다르기 때문에, 일반엑스선 촬영용 검출기의 DQE 평가 툴(tool)로 유방 엑스선 촬영용 검출기의 DQE를 측정하는데는 다소 무리가 있다. 그러므로, 유방 엑스선 촬영용 검출기의 DQE 측정을 위한 간편한 자동프로그램이 요망된다.

[0015] 따라서, 본 발명은 디지탈 유방 영상 시스템(digital breast imaging system)의 선택, 성능 평가 그리고 장비의 유지 및 보수를 위하여, DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있으며, 변수에 따른 오차율을 줄인, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율 자동 계산방법을 제안한다. 이를 위해 본 발명은 합성(composite) 선상분포함수(line spread function, LSF)(이하 컴포지트 LSF라 함) 획득 및 라돈 변환(radon transform)을 이용한 각도(angle)(이하 앵글이라 함) 결정, 그리고 중첩 관심영역(overlapping ROI)(이하 오버랩핑 ROI라고 함) 방법을 적용하였다. 본 발명에 의하면, 사용자(User)는 매뉴얼에 따라 간단한 방법으로 MTF(Modulation Transfer

Function, 변조전달함수), NNPS(Normalized Noise Power Spectum, 정규화된 잡음 파워스펙트럼), 그리고 DQE 값을 공간주파수별로 획득할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0016] 본 발명에서 해결하고자 하는 기술적 과제는, 변수에 따른 오차율을 줄이고, 보다 간단히 MTF, NNPS, 및 DQE 값을 공간주파수별로 획득할 수 있어, DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있는, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율의 검출방법, 검출시스템 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명의 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템은, 이미지 획득부로부터 수신된 변조전달함수(MTF)용 영상으로부터 변조전달함수(MTF)를 구하는, MTF 측정부; 이미지 획득부로부터 수신된 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상으로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)을 구하는, NNPS 측정부; 관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질, 필터물질 및 두께를 이용하여 관전압의 에너지 스펙트럼을 도출하고, 도출된 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자유량(photon fluence)을 검출하는, 광자유량검출부; 상기 변조전달함수(MTF), 상기 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS) 및 상기 광자유량를 이용하여 검출 양자효율(DQE)을

[0018]
$$DQE(f)=\frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)\cdot q\cdot X}$$

[0019] (단, X는 조사선량(mR)이며, q는 광자유량임)

[0020] 에 의해 검출하는 DQE연산부;를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 시스템에서 광자 유량(q)은

[0022]
$$q=X\cdot\int_0^{kVp}\left[\frac{\Phi(E)}{X}\cdot\frac{\Phi(E)}{\int_0^{kVp}\Phi(E)dE}\right]dE$$
$$\frac{\Phi(E)}{X}=\frac{5.456\times10^{10}}{E(keV)\cdot(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho}(cm^2/g))_{air}}\left[photons/cm^2\cdot R\right]$$

[0023] (단, X는 조사선량이며, ф(E)는 측정하고자 하는 관전압의 에너지스펙트럼이고, E는 측정하고자 하는 관전압이며, μen(E)/ρ는 질량에너지 감약계수임)

[0024] 에 의해 구하여진다.

[0025] MTF용 영상은 에지검사장치의 영상으로 5장의 영상으로 이루어지며, 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상은 각각 4장의 영상으로 이루어진다.

[0026] MTF 측정부는, 이미지 획득부로부터 다수 장의 영상으로 이루어진 MTF용 영상을 수신하여 평균하여 한 장의 MTF용 영상을 생성하고, 평균된 MTF용 영상에서 관심영역(ROI)을 설정하며, 관심영역(ROI)에서 에지를 따라 일정 구간을 반복적으로 설정하여 픽셀의 값들을 나열하여 시스템 에지 확산 함수(ESF)를 구하고, 에지 확산 함수(ESF)를 미분하여 선 확산 함수(LSF)를 획득한 후, 정규화(normalization)하고, 정규화된 선 확산 함수(LSF)를 푸리에변환하여 변조전달함수(MTF)를 구하고, 에지 확산 함수의 유효 픽셀 간격을 계산하고, 획득된 변조전달함수(sMTF)로부터 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간을 행하는 것을 포함하여 이루어진다.

[0027] NNPS 측정부는, 이미지 획득부로부터 4개의 화이트(white) 영상과 4개의 다크 영상을 수신하며, 수신된 4장의 화이트 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 생성된 화이트 영상의 관심영역(ROI) 영상을, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)을 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할하고, 16개의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상들에서 각 화이트 영상의 평균값을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 구하며, 이미지 획득부로부터 수신된

4장의 다크 영상을 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 잘라, 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장의 평균된 다크 영상을 생성하고, 화이트 영상도 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 화이트 영상을 평균하여 평균된 화이트 영상을 생성하며, 평균된 화이트 영상에서 평균된 다크 영상을 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 상기 잡음 파워 스펙트럼(sNPS)을 나누어, 정규화하여, 2차원 시스템 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득하고, 주파수 상에서 중심을 지나는 수직축인 V축과 중심을 지나는 수평축인 u축을 기준으로 나누어 생성된 4개의 면을 한 장으로 평균하며, u축 상의 위 4줄을 추출하여 1차원 시스템 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D sNNPS)를 획득한 후, 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간한다.

[0028] 또한, 본 발명의 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법은, 연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 MTF용 영상으로부터 변조전달함수(MTF)를 구하는, MTF 측정단계; 연산처리부에서, 이미지 획득부로부터 수신된 화이트(White) 영상 및 다크(dark) 영상으로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)을 구하는, NNPS 측정단계; 연산처리부에서, 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자유량(photon fluence)을 검출하는, 광자유량검출단계; 상기 변조전달함수(MTF)와 상기 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS)과 상기 광자유량(q)을 이용하여 검출 양자효율(DQE)를

[0029]
$$DQE(f)=\frac{MTF(f)^2}{NNPS(f)\cdot q\cdot X}$$

[0030] (단, X는 조사선량(mR)이며, q는 광자유량임)

[0031] 에 의해 구하는 DQE 연산단계;를 포함하여 이루어진다.

[0032] 상기 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출양자효율 검출 방법에서, 광자 유량(q)은

[0033]
$$q=X\cdot\int_0^{kVp}\left[\frac{\Phi(E)}{X}\cdot\frac{\Phi(E)}{\int_0^{kVp}\Phi(E)dE}\right]dE$$
$$\frac{\Phi(E)}{X}=\frac{5.456\times10^{10}}{E(keV)\cdot(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho}(cm^2/g))_{air}}\left[photons/cm^2\cdot R\right]$$

[0034] (단, X는 조사선량이며, φ(E)는 측정하고자 하는 관전압의 에너지스펙트럼이고, E는 측정하고자 하는 관전압이며, μen(E)/ρ는 질량에너지 감약계수임)

[0035] 에 의해 구하여진다.

[0036] MTF용 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 5장의 영상으로 이루어지며, 화이트(White) 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 4장의 영상으로 이루어지며, 다크(dark) 영상은 2분 이상의 간격으로 획득된 4장의 영상으로 이루어진다.

[0037] MTF 측정단계는, 연산처리부는 이미지 획득부로부터 수신된 다수 장의 영상으로 이루어진 MTF용 영상을 평균하여 한 장의 MTF용 영상을 생성하고, 평균된 MTF용 영상에서 관심영역(ROI)을 설정하며, 관심영역(ROI)에서 에지를 따라 일정 구간을 반복적으로 설정하여 픽셀의 값들을 나열하여 에지 확산 함수(ESF)를 구하는, ESF 추출단계; ESF 추출단계로부터 수신된 에지 확산 함수(ESF)를 미분하여 선 확산 함수(LSF)를 획득하여, 정규화(normalization)하는, LSF 추출단계; LSF 추출단계로부터 수신된 선 확산 함수(LSF)를 푸리에변환하여 변조전달함수(MTF)로서 획득하며, 복합 시스템 에지 확산 함수(Composite sESF)의 유효 픽셀 간격을 계산하고, 획득된 변조전달함수(MTF)로부터 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간을 행하는, MTF 연산단계;를 포함하여 이루어진다.

[0038] NNPS 측정단계는, 이미지 획득단계로부터 4개의 화이트(white) 영상과 4개의 다크 영상을 수신하며, 수신된 4장의 화이트 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 생성된 화이트 영상의 관심영역(ROI) 영상을, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)을 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할하는 ROI추출단계; ROI추출단계에서 출력된 16장의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상들에서 각 화이트 영상의 평균값을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 시스템 잡음 파워 스펙트럼(sNPS)을 구하며, 이미지 획득부로부터 수신된 4장의 다크 영상을 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크

기로 관심영역(ROI)를 설정하여 잘라, 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장의 평균된 다크 영상을 생성하고, 화이트 영상도 관심영역(ROI)만으로 이루어진 4장의 화이트 영상을 평균하여 평균된 화이트 영상을 생성하며, 평균된 화이트 영상에서 평균된 다크 영상을 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 상기 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 나누어, 정규화하여, 2차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득하는, 2D NNPS연산단계; 주파수 상에서 중심을 지나는 수직축인 V축과 중심을 지나는 수평축인 u축을 기준으로 나누어 생성된 4개의 면을 한 장으로 평균하며, u축 상의 위 4줄을 추출하여 1차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D NNPS)를 획득하며, 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간하는, 1D NNPS연산단계;를 포함하여 이루어진다.

발명의 효과

[0039] 본 발명의 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율 자동 계산방법 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체에 따르면, 변수에 따른 오차율을 줄이고, 간단히 MTF, NNPS, 및 DQE 값을 공간주파수별로 획득할 수 있어, DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있다.

[0040] 즉, 본 발명은 유방 엑스선 촬영용 검출기의 DQE 측정을 위한 것으로서, 저가이며, 디지탈 유방 영상 시스템의 선택, 성능 평가 그리고 장비의 유지 및 보수를 위하여, 비전문가라도 DQE 평가를 손쉽게 도출할 수 있게 되었으며, DQE 측정시 변수에 따른 오차율을 보다 줄이고, 측정방법 및 분석이 간단하면서 보다 정확히 측정할 수 있다.

[0041] 본 발명은, DQE측정을 위해 필요한 많은 소프트웨어 연동을 보다 간소화하였으며, 매트랩(Matlab)의 Compliar를 인스톨(Install)시킴으로써 실행 가능하므로 Matlab 지원이 되지 않는 환경에서도 DQE 획득가능하며, 또한, LSF tail의 영향을 고려하여 MTF 계산하도록, Composite LSF 획득함으로써 MTF 계산시에 보다 정확성을 높였으며, 또한, NNPS 계산시, 디지탈 영상(digital image)에 걸맞은 전자적 잡음(electronic noise)를 고려하기 위한 dark image 활용하였으며, 또한, overlapping ROI 방식 채택으로 정확성 높였으며, 또한, 단위시간당 단위면적에 도달하는 photon의 수인 포톤 플루엔스(photon fluence)를 SRS78 프로그램 통한 에너지 스펙트럼 보정의 간소화 및 삽입하며, 공기의 표준 에너지질량감약계수 표를 룩업테이블(lookup table)로 저장한다.

[0042] 본 발명은 효율적인 영상화질평가 프로그램을 개발함으로써, 임상에서 화질평가 의뢰에 드는 비용 및 시간을 절감할 수 있으며, 임상뿐만 아니라 임상용 기기 제조업체에서도 사용되어 활용도를 극대화 할 수 있으며, 검출기(Detector)를 수입하여 임상용 기기를 제조하는 업체의 경우 각 검출기마다 DQE를 평가함으로써 수입된 제품의 신뢰성을 높일 수 있으며, DQE 측정 방법의 정확성을 높임으로써 국내 측정값에 대한 신뢰도를 높이고, 정기적으로 DQE 데이터를 손쉽게 도출해봄으로써 시스템의 유지 및 보수에 일조할 것이다.

[0043] 본 발명은 영상의 정량적인 화질평가를 수행, 분석해봄으로써 방사선 응용 신기술의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 현장 맞춤형 의료영상기술 개발 인력의 양성에 일조할 것이고, 국내 디지털 X선 영상장치의 성능향상을 위한 데이터베이스로 이용될 것이며, 국내 디지털 X선 영상장치의 산업화 및 기술개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[0044] 일반적으로, 정량적인 영상평가는 복잡한 프로세싱과정을 거치며, 데이터를 획득하고 연산을 하는데 필요한 추가적인 소프트웨어 등을 필요로 하는데, 이로인해, 임상에서 근무하는 종사자들의 경우 검출기 및 전체시스템에 대한 정량적인 평가를 하는데 제한점을 갖는데, 이를 해소하기 위해, 본 발명은 사용자의 편리성을 도모하기 위하여 GUI로 구현함으로써 다른 소프트웨어를 필요로 하지않는 독립된 응용프로그램으로 구현되었다.

[0045] 임상에서 영상시스템의 유지 및 보수를 하기 위하여 정기적으로 화질평가를 시행해야 하지만, 여러가지 제한점 때문에 외부업체에 의뢰를 하는 경우가 대부분인데, 이를 위해, 본 발명은 사용하기에 간편하게 영상의 정량적인 평가를 행할 수 있음으로써, 기업체에 의뢰해야 하는 비용과 시간을 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0046] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 영상용 시스템 검출 양자효율 자동 계산 방법 및 그 시스템의 구성을 개략적으로 설명하기 위한 블럭도이다.

도 2는 본 발명의 MTF검출방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 3은 도 1의 에지 확산 함수(ESF) 획득부에서 복합 에지 확산 함수 획득을 위한 영상 메트릭스에서의 나열방법을 설명하는 설명도이다.

도 4는 본 발명에서 변조전달함수 연산을 위한 이미지에서 에지 검사장치의 기울어진 각도를 설명하는 설명도이

다.

도 5는 본 발명의 잡음파워 스펙트럼(NPS) 측정부(300)에서 잡음파워 스펙트럼(NPS) 검출방법을 설명하기 위한 흐름도이다.

도 6은 본 발명의 1D NNPS 연산 과정의 설명을 위한 주파수상의 2D NNPS이다.

도 7은 본 발명의 NPS 측정 과정중에서 세부 관심영역(sub_ROI)을 설정하기 위한 오버랩핑 방법의 모식도이다.

도 8은 본 발명에서 광자 유량(Photon fluence)을 검출하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

도 9는 미국국립 표준기술연구소에서 기술하고 있는 공기에 대한 질량-에너지 감약계수이다.

도 10a는 본 발명에서 에너지 스펙트럼을 구하기 위해 사용하는 프로그램의 일예이다.

도 10b는 본 발명에서 에너지 스펙트럼을 구하기 위해 사용하는 프로그램의 다른 일예이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 의한 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출 양자효율(sDQE)의 검출 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0047] 이하, 본 발명에 의한 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출양자효율의 검출방법, 검출시스템 및 그 방법을 실행하는 프로그램이 기록된 기록매체에 관해 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0048] 본 발명에서 사용되는 영상화 질평가 인자로서, 변조전달함수(MTF), 잡음전력스펙트럼(NPS), 검출양자화효율(DQE)이 있으며, 이하 이들에 대해서, 우선, 설명한다.

[0049] 변조전달함수(MTF)에 대해서 설명하면, 영상의 질을 결정하는 인자 중 하나가 선예도인데, 이러한 선예도(Sharpness)를 평가하기 위해 MTF를 이용한다. MTF는 응답함수(response function)라고도 하며, 시스템의 주파수응답(response)을 나타낸다. 따라서 MTF로, 영상시스템의 정량적인 분해능을 관측할 수 있으며, 고주파 성분의 값이 많을수록 선예도가 우수하다고 말할 수 있다. MTF는 다음 두가지 수식으로 설명될 수 있다.

[0050] 일반적으로 MTF는 입력파형(FTin(u.v))(예로, 정현파형)을 촬영하여, 촬영된 출력파형인 출력파형(FTout(u.v))과의 진폭비를 구해 공간주파수에 대한 진폭을 구한 것으로, 수학식 1과 같이, 주파수를 함유한 입력(input)에 대한 주파수를 함유 출력(output)의 비로 나타낼 수 있다.

수학식 1

[0051]
$$MTF(u,v)=\frac{|FTout(u,v)|}{|FTin(u,v)|}$$

[0052] 이 시스템에서의 입력이 델타 함수(delta function)라고 하면, MTF는 델타함수의 푸리에(Fourier) 변환의 크기와 같게 되며, 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

[0053]
$$MTF(u,v)=|OTF(u,v)|$$

[0054] 여기서, OTF(u,v)는 광변조함수(Optical transfer fuction), 즉, PSF (point spread function), LSF(line spread function), ESF (Edge spread function)의 후리에 변환(Fourier Transfer, FT)을 말한다.

[0055] 잡음전력스펙트럼(Noise Power Spectrum, NPS)에 대해서 설명하면, NPS는 방사선 화상의 잡음 특성을 평가하는 지표로서 이용되며, 일반적으로는, 잡음이 전혀 없는 경우에, NPS는 직류의 성분뿐인데 비해, 임상 화상은 촬영선량이나 수집 기구가 다름에 따라 잡음의 정도나 상태가 다르기 때문에, 푸리에 변환에 의해서 화상을 구성하는 주파수 성분을 분해함에 의해 잡음 특성을 분석하는 것이 가능하다.

[0056] NPS는 특정 풀루언스(fluence)와 질(quality)를 가진 균일한 방사선으로 획득된 이미지에서 관측된 잡음 진폭

(noise amplitude)과 텍스처(texture, 결)에 대해 묘사한다. 필름에 기록된 이미지의 잡음(noise)은 슬릿개구(slit aperture)를 가진 스캐닝 덴시토미터(densitometer)를 이용하여 얻어진 신호로부터 분석된다. 스캔(Scan) 방향에서의 잡음(noise) 진폭과 상관관계를 설명하고 있는 일차원 파워스팩트럼(Power spectrum)으로 NPS를 계산할 수 있다. 이 방법은 디지털 이미지를 위한 방법으로도 응용될 수 있다. 다른 방법으로, 디지털 이미지(digital image)의 모든 방위에서 잡음(noise)의 상관성을 묘사한 이차원 NPS를 획득하기 위해 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용하여 NPS 계산할 수 있다.

[0057] 검출양자화효율(Detective Quantum Efficiency, DQE)에 대해서 설명하면, DQE는 최종 이미지에 영상 시스템(imaging system)에 의해 생긴 잡음(noise)의 양을 표현한 파라미터라 할 수 있다. 화상 증배관(Image Intensifier)과 같은 영상 시스템은 영상 시스템에 입사되는 모든 광자(photon)를 흡수하지는 못하며, 광자(Photon) 중 일부는 전달(transmission)시 손실된다. 광자(Photon)을 흡수하는 효율은 양자 검출 효율(Quantum Detection Efficiency, QDE)에 의해 설명할 수 있다. 그러나 DQE는 영상 시스템이 흡수된 광자(photon)를 이용하는 정도를 측정하는 것으로, 이로써 영상 시스템에 의해 이입되는 잡음의 양을 간주할 수 있다. 따라서 DQE는 영상 시스템에 입사된 X-ray 빔(beam)에 존재하는 양자 잡음(quantum noise)에 대한, 영상 시스템에 의해 첨가된 잡음(noise)의 양을 측정한다. 초기, DQE는 일반적으로 단일 에너지방사선(monoenergetic radiation beam)을 기록하는 시스템의 효율을 묘사하기 위해 이용되었다. 영상 시스템의 DQE는 방사선 검출기의 전체적인 SNR 성능을 설명하는 가장 중요하고 객관적인 파라미터로서, DQE는 신호대 잡음비를 전달하는 검출기의 능력을 나타낸다. 본 발명에서는 수학식 3과 같은 수식에 의해 DQE를 검출한다.

수학식 3

[0058]
$$DQE = \frac{G \bullet MTF^2(f)}{NNPS(f) \bullet Q} = \frac{MTF^2(f)}{NNPS(f) \bullet q \bullet X}$$

[0059] (단, NNPS는 정규화된 잡음전력스펙트럼(NNPS), q는 입사X선양자수, MTF는 변조전달함수이고, X는 조사선량(mR)이며, G는 검출기의 이득(Gain Factor)이고, Q는 검출기 단위 면적 당 입사되는 x-ray photon의 수로, 검출기 위에 조사되는 x-ray 조사선량 (X)과 단위 선량당 x-ray fluence (q)의 곱으로 표현된다)

[0060] DQE가 높으면 같은 선량으로 신호대잡음비가 높은, 즉, 화질이 우수한 영상을 얻을 수 있고, 기본적으로 DQE는 최종적인 영상 중에서 실제의 X-선 데이터가 어느 정도 포함되어 있는지, 또는 신호와 노이즈 양쪽의 변환율은 얼마인가를 측정한다. 다시말해 DQE란 검출기의 X-선광자 포획능력과 영상을 구성하는 신호대 잡음비를 평가한다. 입력영상의 신호대 잡음비는 환자의 피폭선량과 거의 정비례하기 때문에 환자피폭선량에 대해서 출력영상의 SNR비가 어느정도 유지되는 가를 알 수 있다. 따라서 DQE는 어느 선량 레벨에 도달했을 때, 얻어지는 화질 정도를 추측할 수 있기 때문에 화질평가의 지표가 된다.

[0061] 도 1은 본 발명의 일실시예에 의한 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템을 위한 검출 양자효율(DQE)의 검출 방법을 적용하는 시스템의 구성을 개략적으로 설명하기 위한 블럭도로, 이미지획득부(100), 연산처리부(150), 키입력부(610), 디스플레이부(630), 메모리부(650)를 포함한다.

[0062] 이미지 획득부(100)는 변조전달함수(modulation transfer function, MTF) 연산을 위한 에지 검사장치(edge test device)의 이미지인 제1이미지(MTF용 영상)를 획득하며, 정규화된 잡음 전력스펙트럼(normalized noise power spectra, NNPS)연산을 위한 White 영상(제2이미지)과 dark영상(제3이미지)을 획득한다.

[0063] MTF용 영상은, 검출기 앞에 인체팬텀을 위치키고, 인체팬텀의 표면 위에 에지 검사장치를 올려놓고, 에지 검사장치의 이미지를 획득하되, 2분 이상의 간격으로 획득된 5장의 영상을 획득한 것이다. 화이트(White) 영상은, 검출기 앞에 인체팬텀을 위치시켜 획득한 이미지이며, 다크(dark) 영상은 엑스선 발생기 앞에 납판을 장착하여 획득한 이미지이다. 화이트 영상 및 다크 영상 각각은 2분 이상의 간격으로 획득된 4장의 영상을 획득한 것이다.

[0064] 변조전달함수(MTF) 연산을 위한 에지 검사장치의 이미지인 제1이미지를 획득할 때에는 이미지 획득시, 검출기 앞에 평가할 목적에 맞는 인체팬텀을 위치시키고, 인체팬텀의 앞에 에지 검사장치를 위치시켜, 에지 검사장치의 이미지(제1이미지)를 획득한다.

[0065] 잡음 전력 스펙트럼(NPS) 연산을 위한 White 영상(제2이미지)와 dark영상(제3이미지)을 획득할 때에는, 검출기 앞에 평가할 목적에 맞는 인체팬텀을 위치시키며, 임상에서 사용하는 촬영조건(Ex)으로 조사하여 White 영상(제

2이미지)과 dark영상(제3이미지)를 촬영한다.

[0066] 연산처리부(150)는 검출 양자효율(DQE) 검출을 위한 전반적인 연산을 행하는 수단으로, MTF측정부(200), 정규화된 잡음파워 스펙트럼(NNPS) 측정부(300), 광자유량측정부(400), DQE연산부(550)을 포함한다.

[0067] MTF측정부(200)는 이미지 획득부(100)로부터 제1이미지(MTF 연산을 위한 에지 검사장치(130)의 이미지)를 수신하여, 연산처리를 통해 변조전달함수(MTF)를 생성한다.

[0068] 즉, MTF측정부(200)에서는, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 5장의 영상을 평균하여 한 장의 영상을 획득하고, 이렇게 획득된 영상에서 에지 검사장치가 있는 곳에 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하여 적정한 크기로 잘르며, 이렇게 설정된 관심영역(ROI)에서 에지를 따라 일정 구간(ESF 검출용 구간)을 반복적으로 설정하여 픽셀의 값들을 나열하여 ESF를 획득한다. 그리고, 획득된 ESF를 미분하여 LSF를 획득하고, 획득된 LSF를 정규화(normalization) 하고, 정규화된 LSF를 푸리에변환(Fourier transform)하여 변조전달함수(MTF)를 획득한다. 그리고, 주파수를 계산하기 위하여, 복합 에지 확산 함수(Composite ESF)의 유효 픽셀 간격을 계산하고, 유효픽셀간격의 역수를 주파수로서 구하며, 획득된 MTF는 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간을 행한다.

[0069] 잡음파워 스펙트럼(NPS) 측정부(300)는 이미지 획득부(100)로부터 White 영상(제2이미지)과 dark영상(제3이미지)(즉, NNPS 연산을 위한 White 영상과 dark영상)을 수신하여, 2D NNPS와 1D NNPS를 연산한다.

[0070] 정규화된 잡음파워 스펙트럼(NNPS) 측정부(300)는, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 화이트(white) 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 이렇게 잘라서 생성된 화이트 영상의 ROI의 영상을, 정확도를 높이기위하여, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)를 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할하며, 분할된 16장의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상들에서 각 화이트 영상의 평균값을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 구한다. 또한, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 다크(Dark) 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 자르며, 이렇게 하여 관심영역(ROI)만을 나타내는 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장(즉, 평균된 다크 영상)으로 만들고, 같은 방식으로, 화이트 영상도 평균된 화이트 영상을 만든다. 그리고 평균된 화이트 영상에서 평균된 다크 영상을 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 앞서 획득된 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 나눔으로써, 정규화하여, 2차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득한다. 또한, 주파수 상에서 V축과 u축을 기준으로 나누고, 4개의 면을 한 장으로 평균하며, u축 상의 위 4줄을 추출하여 1차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D NNPS)를 획득한다. 획득된 NNPS는 DQE를 계산하기 위하여 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간한다.

[0071] 광자 유량(Photon fluence)측정부(400)는 광자 유량(photon fluence)을 검출하기위한 수단으로, 미국국립 표준기술연구소에서 기술하고 있는 공기에 대한 질량에너지 감약계수 데이터베이스에서 에너지 감약계수를 추출하고, 추출된 에너지 감약계수를 임상의 진단영역에서 사용하는 관전압에 맞는 값으로 보간하고, 임상에서 사용하는 관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질, 필터물질 및 두께를 확인하여 사용되는 관전압의 에너지 스펙트럼을 시판되는 프로그램을 이용하여 도출하고, 도출된 스펙트럼은 0.5 kV 간격으로 보간 하고, 관전압의 에너지 스펙트럼을 이용하여 광자 유량(photon fluence)을 후술되는 수학식 6에 의해 구한다.

[0072] DQE 연산부(550)에서 MTF 측정부(200)로부터 수신된 MTF, NNPS 측정부(300)로부터 수신된 NNPS, 광자 유량(Photon fluence) 측정부(400)로부터 수신된 광자 유량(Photon fluence)(q) 등을 이용하며 수학식 3을 이용하여 DQE를 구한다.

[0073] 키입력부(610)는 사용자가 관전압의 크기 등을 입력하는 입력수단이다.

[0074] 디스플레이부(630)는 MTF, NNPS, DQE 등의 연산결과를 출력하기 위한 수단이다.

[0075] 메모리부(650)는 공기에 대한 질량에너지 감약계수 데이터베이스를 포함하며, 연산결과 등을 저장한다.

[0076] 도 2는 본 발명의 MTF측정부(200)에서 변조전달함수(MTF) 검출방법을 설명하기 위한 흐름도이고, 도 3은 도 1의 에지 확산 함수(ESF) 획득부에서 복합 에지 확산 함수(Composite ESF)획득을 위한 영상 메트릭스에서의 나열방법을 설명하는 설명도이며, 도 3의 (a)는 관심영역(ROI)을 설정하여 적정한 크기로 자른 영상이며, 도 3의 (b)는 에지 확산 함수를 획득하기 위하여, 도 3의 (a)의 영상에서 에지(edge)를 따라 일정 구간을 설정하며, 도 3의 (c)는 도 3의 (b)에서 설정된 일정구간에서 ESF를 획득하는 것을 설명한다.

[0077] 에지 검사장치 영상획득단계로, 변조전달함수(MTF) 연산을 위한 에지 검사장치(Edge test device)의 영상인 제1 이미지를 5장 획득하고, 획득된 5장의 영상을 평균하여 한 장의 영상을 획득한다(S110).

[0078] 각도검출단계로, 에지 검사장치 영상획득단계에서 출력된 영상에서, 에지 검사장치가 있는 곳에 관심영역(region of interest, ROI)을 설정하여 적정한 크기로 영상을 자르고(도 3의 (b)의 참조), 에지 검사장치와 검출기의 수직면과의 이루는 각도를 라돈변환(randon transform)을 이용하여 검출한다(S120). 여기서, 변조전달함수(MTF)획득을 위한 영상, 즉, 에지 검사장치 영상에서의 ROI는 사용자가 직접 설정한다.

[0079] 에지 확산 함수(ESF) 획득단계로, 복합 에지 확산 함수(Composite ESF)(설명의 편의상 이하 ESF라 함)를 획득하기 위하여 각도검출단계에서 출력된 영상 중 에지(edge)를 따라 일정구간을 반복적으로 선택하되, 그 선택된 각 구간에서, 도 3의 (c)와 같은 순서로, 픽셀의 값들을 나열하여 ESF를 획득한다(S130).

[0080] 선 확산 함수(LSF) 생성단계로, 에지 확산 함수(ESF) 획득단계에서 생성된 ESF를 미분하여 LSF를 생성한다(S140).

[0081] 정규화단계로, 선 확산 함수(LSF) 생성단계에서 생성된 LSF의 끝자리를 소수점밑의 둘째 자리에서 자르고(S150), 지수함수(exponential function)로 외삽(Extrapolation)하여(S160), 정규화(normalization) 한다. 다시말해, LSF에서 0.01 아래 부분은 외삽함으로써, 그 끝자리(tail 부분)이 새로 만들어진 LSF를, 정규화(normalization)된 LSF로 의미한다. 즉, 외삽 후 정규화를 순서대로 진행한 것이다.

[0082] LSF의 푸리에 변환단계로, 정규화단계에서 정규화된 LSF를 푸리에변환(Fourier transform)하여, MTF를 구한다(S170).

[0083] 유효 픽셀 간격계산단계로, 주파수를 계산하기 위하여 복합 에지 확산 함수(Composite ESF)의 유효 픽셀 간격을 계산한다. 주파수는 유효픽셀간격의 역수로 구한다(S180). 유효픽셀 간격은 수학식4를 통해 구하여진다.

수학식 4

[0084] $$\text{원래 픽셀 크기} \times \tan\Theta = \text{유효 픽셀 간격}$$

[0085] 여기서, tanΘ는 에지검사장치(edge test device)와 검출기의 수직면과의 이루는 각도로서(도 4 참조), 이 각도는 라돈변환 함수를 이용하여 정확한 각도를 도출한다.

[0086] 부연설명하면, 주파수는 샘플링(sampling) 한 값들 즉 LSF의 한 픽셀 값들을 말하며, 이것을 퓨리에 변환했을 때 공간주파수 영역의 값들로 변하게 되는데, 그 값들이 해당되는 공간주파수 값을 의미하는 것으로, 주파수는 유효픽셀간격의 역수로 구한다.

[0087] MTF 보간단계로, 획득된 MTF로부터 DQE를 계산하기 위하여 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간(interpolation)을 행한다(S190).

[0088] 도 5는 본 발명의 정규화된 잡음파워 스펙트럼(NNPS) 측정부(300)에서 정규화된 잡음파워 스펙트럼(NNPS) 검출방법을 설명하기 위한 흐름도이고 도 6은 본 발명의 NPS 측정 과정중에서 세부 관심영역(sub_ROI)을 설정하기 위한 오버랩핑 방법의 모식도이고, 도 7은 본 발명의 1D NNPS 연산 과정의 설명을 위한 주파수상의 2D NNPS이다.

[0089] 화이트영상 및 다크영상 수신단계로, 이미지 획득부(100)로부터 화이트 영상(제2이미지)과 다크영상(제3이미지)을 수신한다(S210).

[0090] 화이트 영상의 ROI 설정단계로, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 화이트(white) 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자른다(S220). 여기서, NNPS 획득을 위한 영상, 즉, 화이트 영상과 다크 영상의 ROI는 자동적으로 설정되도록 이루어질 수 있다.

[0091] 세부 관심영역 설정단계로, 화이트 영상의 ROI를 설정단계에서 출력된 영상을, 정확도를 높이기위하여, 도 6과 같이 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)를 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할한다(S230).

[0092] 평균 화이트영상 생성단계로, 화이트 영상의 ROI 설정단계에서 출력된 관심영역(ROI)만을 나타내는 4장의 화이

트 영상을 평균하여 한 장으로 만든다(S240).

[0093] 세부 관심영역의 NPS연산단계로, 수학식 5를 이용하여, 세부 관심영역 설정단계에서 출력된 16장의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상 (I(x,y))들에서 각 화이트 영상의 평균값(S(x,y))을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 잡음 파워 스펙트럼(noise power spectra, NPS)를 구한다(S250).

수학식 5

[0094]
$$sNPS(u_n,v_k) = \lim_{N_xN_yM\to\infty}\frac{\Delta x\Delta y}{M\cdot N_xN_y}\sum_{m=1}^{M}\left\langle\left|\sum_{i=1}^{N_x}\sum_{j=1}^{N_y}\left(I(x_i,y_j)-S(x_i,y_j)\right)\exp\left(-2\pi i(u_nx_i+v_ky_j)\right)\right|^2\right\rangle$$

[0095] 여기서, I(xi, yj)는 세부 관심영역(sub_ROI) 영상을 말하며, S(xi, yj)는 각 세부 관심영역(sub_ROI)이 갖는 픽셀 값들의 평균을 말한다. ΔX와 Δy는 픽셀의 크기를 말하며, Nx와 Ny는 픽셀의 개수를 말하며, 그리고 M은 영상의 개수를 말한다. 본 발명에는 설명의 편의상, Nx와 Ny는 각각 640이며, M은 16으로 고정한다. 그러나 이로써 본 발명을 한정하기 위한 것이 아님을 밝혀둔다.

[0096] 평균 다크영상 생성단계로, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 다크(Dark) 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 자르며, 이렇게 하여 관심영역(ROI)만을 나타내는 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장으로 만든다(S260).

[0097] 잡음 파워 스펙트럼의 정규화단계로, 평균된 화이트 영상(평균 화이트영상)에서 평균된 다크 영상(평균 다크영상)을 차감하고, 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 세부 관심영역의 NPS연산단계에서 획득된 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 나누어, 즉 정규화하여, 정규화된 2D 잡음 파워 스펙트럼2D NNPS (system normalized noise power spectra, NNPS)을 획득한다(S270).

[0098] 4개 면 평균영상 생성단계로, 도 7과 같이, 주파수 상에서 V축과 u축을 기준으로 나누고, 4개의 면을 한 장으로 평균한다(S275).

[0099] 1D NNPS 연산단계로, u축 상의 위 4줄을 추출하여(S280), 1차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(이하 '1D NNPS'라 함)를 획득한다(S290). 즉, u축 상의 위 4줄을 추출하여 잡음 파워 스펙트럼(nps)를 구하고, 구하여진 잡음 파워스펙트럼을 정규화를 행한다.

[0100] 1D NNPS 주파수 보간단계로, 획득된 NNPS는 DQE를 계산하기 위하여 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간(interpolation)한다(S295).

[0101] 도 8은 본 발명의 광자유량 측정부(400)에서 광자 유량(Photon fluence)을 검출하는 방법을 설명하는 흐름도이고, 도 9는 미국국립 표준기술연구소에서 기술하고 있는 공기에 대한 질량-에너지 감약계수이다

[0102] 에너지 감약계수 수신단계로, 에너지 감약계수 추출부(420)는 미국국립 표준기술연구소에서 기술하고 있는 공기에 대한 질량에너지 감약계수 데이터베이스(도 9 참조)에서 에너지 감약계수를 추출한다(S310).

[0103] 에너지 감약계수 보간단계로, 에너지 감약계수 추출단계에서 출력된 데이터는, 임상의 진단영역에서 사용하는 관전압에 맞는 값으로 보간(interpolation) 한다(S315).

[0104] 에너지 스펙트럼 추출단계로, 에너지 스펙트럼 추출부(440)는 임상에서 사용하는 관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질, 필터물질 및 두께를 확인하여 사용되는 관전압의 에너지 스펙트럼을 도출한다(S320).

[0105] 관전압의 에너지 스펙트럼 보간단계로, 에너지 스펙트럼 추출단계에서 출력된 스펙트럼은 0.5 kV 간격으로 보간(interpolation) 한다(S325).

[0106] 도 10a는 본 발명의 에너지 스펙트럼을 구하기 위한 프로그램의 일예이고, 도 9b는 본 발명의 에너지 스펙트럼을 구하기 위한 프로그램의 다른 일예이다.

[0107] 도 10a는 GUI(그래픽 유저 인터페이스)형식으로 이루어져, 관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질, 필터물질 및 두께의 설정에 따라 도출된 관전압의 에너지 스펙트럼의 그래프를 나타낸다.

[0108] 도 10b는 GUI형식으로 이루어져, 관전압 및 엑스레이 발생기의 타겟물질을 설정하는 창을 보여준다.

[0109] 광자 유량(photon fluence) 연산단계로, 광자 유량(photon fluence) 연산부(460)는 광자 유량(photon fluence)(q)를 수학식 6에 의해 구한다(S330).

수학식 6

[0110]

$$q = X \cdot \int_0^{kVp} \left[\frac{\Phi(E)}{X} \cdot \frac{\Phi(E)}{\int_0^{kVp} \Phi(E)dE} \right] dE$$

$$\frac{\Phi(E)}{X} = \frac{5.456 \times 10^{10}}{E(keV) \cdot (\frac{\mu_{en}(E)}{\rho}(cm^2/g))_{air}} \left[photons/cm^2 \cdot R \right]$$

[0111] 여기서, X는 조사선량이며, ф(E)는 측정하고자 하는 관전압의 에너지스펙트럼이다. 에너지 스펙트럼 추출단계에서 에너지 스펙트럼을 구하는 프로그램을 통하여 추출된다. E는 측정하고자 하는 관전압이며, μen(E)/ρ는 에너지 감약계수 추출단계에서 추출된 질량에너지 감약계수이다.

[0112] 본 발명에서는 광자 유량(photon fluence) 값은 각 관전압별로 연산하여 룩업테이블로 작성되어 있으며, 사용자가 이용하고자 하는 관전압을 입력하면 미리 연산된 값이 출력될 수 있도록 프로그래밍되어 있다.

[0113] 일반적으로, 임상의 진단영역에서 사용하는 관전압이란, 실제 임상에서 흉부 및 복부 등을 촬영할 때 각 부위별로 달라지는 관전압을 의미한다. 보간을 한다는 것의 의미는 photon fluence를 계산할 때 사용하게 되는 공기에 대한 질량에너지 감약계수 데이터 베이스가 아래와 같이 5 keV 단위에서의 값만을 나타내고 있기 때문에 임상의 kVp 값에 따라 데이터베이스의 값을 이용해서 구한다는 의미이다.

[0114] 다음은 DQE 연산부(550)에서 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템 검출양자효율(DQE) 연산과정을 설명한다.

[0115] 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출 양자효율(DQE)은, MTF 측정부(200)로부터 수신된 MTF, NNPS 측정부(300)로부터 수신된 NNPS, 광자 유량(Photon fluence) 측정부(400)로부터 수신된 광자 유량(Photon fluence)(q) 등을 이용하여, 다음과 같은, 수학식 3을 이용하여 구한다.

[0116]

$$DQE(f) = \frac{G \cdot MTF^2(f)}{NNPS(f) \cdot Q} = \frac{MTF(f)^2}{NNPS(f) \cdot q \cdot X}$$

[0117] 여기서, X는 조사선량(mR)이며, G는 검출기의 이득(Gain Factor)으로써 여기서는 정규화된 NPS를 이용하기 때문에 1과 같다.

[0118] 도 11은 본 발명의 일실시예에 의한 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출 양자효율(sDQE)의 검출 방법의 흐름도이다.

[0119] 데이터입력단계로, 이미지 획득부(100)에서 영상획득에 사용된 노출값(exposure parameter)와 검출기 특성(detector spec.)에 대해 입력한다(S50). 녀기서 조사선량을 입력할 수 있다.

[0120] MTF 연산위한 영상 수신단계로, 변조전달함수(MTF) 연산을 위한 에지 검사장치(Edge test device)의 영상인 제1 이미지를 5장 수신한다(S110).

[0121] 입력영상 에러판단단계로, MTF 연산위한 영상 수신단계에서 수신된 각 영상당 평균픽셀 값 오차가 10%이내 인지를 판단하며(S113), 10%이내가 아닌 경우 입력영상확인 에러 메세지를 출력하고, 종료한다(S115).

[0122] 부연설명하면, MTF와 NPS 모두 영상을 몇 장을 찍어서 구하는 이유는 촬영하면서 발생되는 영상의 오차가 생길 수 있기 때문이다. MTF 측정을 위한 edge 영상을 몇장 얻었을 때 그 영상의 전체 평균 픽셀 값이 다른 영상에 비해 너무 높거나 너무 낮으면(즉, 소정 기준치보다 높거나 낮으면) 정상적으로 획득된 영상이 아니라 부적합한 영상으로 간주하게 된다.

[0123] 평균 영상 획득단계로, 입력영상 에러판단단계에서 영상당 평균픽셀 값 오차가 10%이내이라면, 이미지 획득부

(100)로부터 수신된 5장의 영상을 평균하여 한 장의 영상을 획득한다(S117).

[0124] 관심영역(ROI) 설정단계로, 평균 영상 획득단계에서 출력된 영상으로부터, 에지 검사장치가 있는 곳에 관심영역(ROI)을 설정하여 적정한 크기로 영상을 자른다(S125).

[0125] ESF 및 LSF 추출단계로, 에지 확산 함수(Composite sESF)를 획득하기 위하여 관심영역 설정단계에서 출력된 영상 중 에지(edge)를 따라 일정구간을 반복적으로 선택하여, 그 선택된 구간에서 픽셀의 값들을 나열하여 ESF를 획득하고, 획득된 ESF를 미분하여 LSF를 생성하며, 생성된 LSF를 정규화한다(S145).

[0126] 푸리에변환 단계로, ESF 및 LSF 추출단계로부터 수신된 LSF를 푸리에변환하고, 수학식4를 통해 복합 시스템 에지 확산 함수(Composite sESF)의 유효 픽셀 간격을 구하며, 주파수는 유효픽셀간격의 역수로 구하고, 획득된 MTF로부터 DQE를 계산하기 위하여 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간(interpolation)을 행한다(S170).

[0127] MTF 출력단계로, 푸리에변환 단계에서 검출된 MTF를 디스플레이부(630)으로 출력하고, 또한 DQE 연산부(550)로 전송한다.

[0128] 화이트 영상 및 다크 영상 수신단계, 이미지 획득부(100)로부터 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(NNPS) 연산을 위해 에지 검사장치(130)를 이용하여 White 영상(제2이미지)과 dark영상(제3이미지)을 획득한다(S210).

[0129] 입력영상 에러판단단계로, 화이트 영상 및 다크 영상 수신단계에서 수신된 각 영상당 평균픽셀 값 오차가 10%이내 인지를 판단하며(S213), 10%이내가 아닌 경우 입력영상확인 에러 메세지를 출력하고, 종료한다(S215).

[0130] 평균 화이트 영상 및 평균 다크 영상의 생성단계로, 4장의 화이트 영상을 평균하여 한 장으로 만들며, 4장의 다크 영상을 평균하여 한 장으로 만든다(S217).

[0131] 경우에 따라서 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 다크 영상 및 4장의 화이트 영상에서 각각 가운데 영역에 640×640매트릭스 크기로 관심영역(ROI)를 설정하여 자르며, 이렇게 하여 관심영역(ROI)만을 나타내는 4장의 다크 영상 및 4장의 화이트 영상을 각각 평균하여 한 장으로 만들 수 있다.

[0132] ROI추출단계로, 이미지 획득부(100)로부터 수신된 4장의 화이트(white) 영상의 가운데 영역에 640×640 매트릭스 크기로 관심영역(ROI)을 설정하여 자르고, 이렇게 잘라서 생성된 화이트 영상의 ROI의 영상을, 오버랩핑(overlapping) 방법으로 세부 관심영역(sub_ROI)를 256×256 매트릭스 크기로 총 16개의 영상으로 분할한다(S225).

[0133] 2D NNPS 획득단계로, 수학식 5를 이용하여, 16장의 각각의 세부 관심영역(sub_ROI)의 화이트 영상 (I(x,y))들에서 각 화이트 영상의 평균값(S(x,y))을 차감한 후 푸리에 변환을 행하여, 잡음 파워 스펙트럼(NPS)를 구하고, 평균된 화이트 영상(평균 화이트영상)에서 평균된 다크 영상(평균 다크영상)을 차감하고, 차감한 영상의 평균값의 제곱으로, 세부 관심영역의 NPS연산단계에서 획득된 잡음 파워 스펙트럼(NPS)을 나누어, 즉 정규화하여, 정규화된 2D 잡음 파워 스펙트럼(2D NNPS)을 획득한다(S270).

[0134] 1D NNPS 연산단계로, 주파수 상에서 V축과 u축을 기준으로 나누고, 4개의 면을 한 장으로 평균하고, u축 상의 위 4줄을 추출하여, 1차원 정규화된 잡음 파워 스펙트럼(1D NNPS)를 획득하고, 획득된 NNPS는 DQE를 계산하기 위하여 0.05 cycles/mm 간격을 갖는 주파수로 보간한다(S290).

[0135] NNPS 출력단계로, 2D NNPS 획득단계 및 1D NNPS 연산단계에서 생성된 NNPS를 디스플레이부(630)으로 출력하고, 또한 DQE 연산부(550)로 전송한다(S297).

[0136] 광자 유량값입력단계로, 광자 유량(photon fluence)을 수학식 6에 의해 연산하여 입력시킨다(S310).

[0137] DQE연산단계로, MTF 측정부(200)로부터 수신된 MTF, NNPS 측정부(300)로부터 수신된 NNPS, 광자 유량(Photon fluence) 측정부(400)로부터 수신된 광자 유량(Photon fluence)(q)을 수신하여, 수학식 3을 이용하여, 디지털 유방 엑스선 촬영용 시스템의 검출 양자효율(DQE)를 연산한다(S350).

[0138] DQE 출력단계로, DQE 연산단계에서 생성된 NNPS를 디스플레이부(630)으로 출력한다(S360).

[0139] 도 11의 DQE 검출방법을 간략히 정리하면 다음과 같다.

[0140] 첫번째로, 이미지 획득부(100)에서 영상획득에 사용된 노출값(exposure parameter)와 검출기 특성(detector spec.)에 대해 입력한다.

[0141] 두번째로, MTF, NNPS를 획득하기 위한 영상을 읽어들인다.

[0142] 세번째로, MTF 영상간 평균 픽셀값이 오차 10%를 넘을 경우 부적합한 영상으로간주하고 에러메세지를 출력한다.

[0143] 제번째로, MTF 영상평균 후, 사용자가 ROI를 설정한다.

[0144] 다섯번째로, ESF 추출 후, 미분하여 LSF를 획득한다.

[0145] 여섯번째로 Fourier 변환 후, 주파수별 MTF를 획득한다.

[0146] 일곱번째로, NNPS 각 영상간 평균픽셀값이 오차 10%를 넘을 경우 부적합한 영상으로 간주하고 에러메세지를 출력한다.

[0147] 여덟번째로, NNPS를 획득하기 위한 영상에서, NNPS 획득을 위하여 ROI 자동설정한다.

[0148] 아홉번째로, 2D NNPS 연산후, 1D NNPS를 추출한다.

[0149] 열번째로, DQE 획득을 위하여 광자유량(photon fluence)을 입력한다.

[0150] 열한번째로, DQE를 연산한 후, 디스플레이부로 출력한다.

[0151] 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 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0152] 100: 이미지 획득부 150: 연산처리부

200: MTF 측정부 300: NNPS 측정부

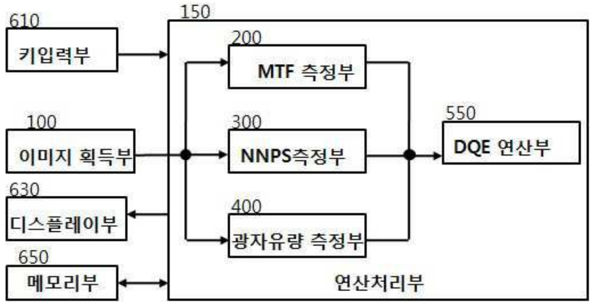
400: 광자유량 측정부 550: DQE 연산부

610: 키입력부 630: 디스플레이부

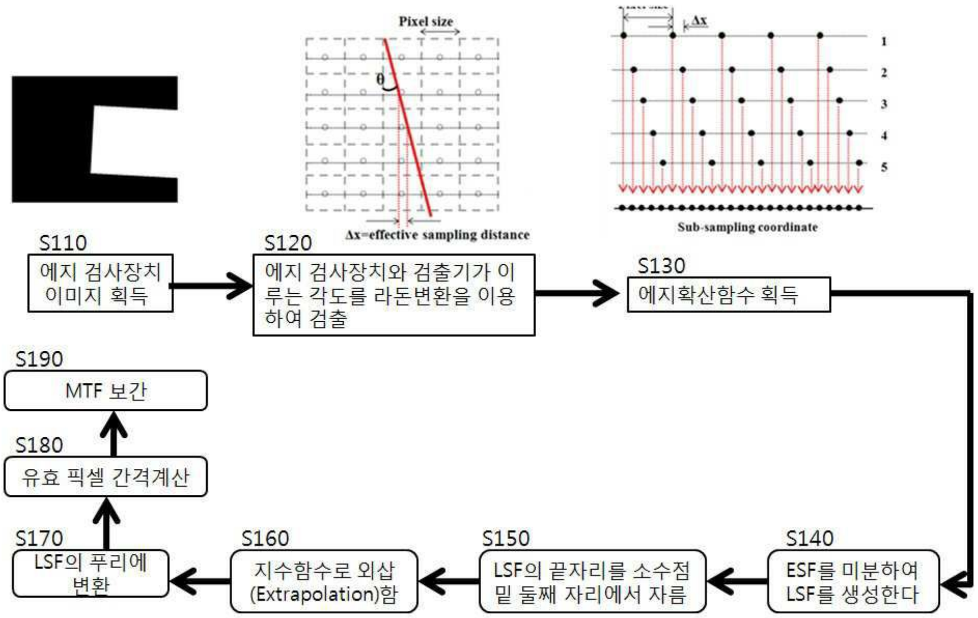
650: 메모리부

도면

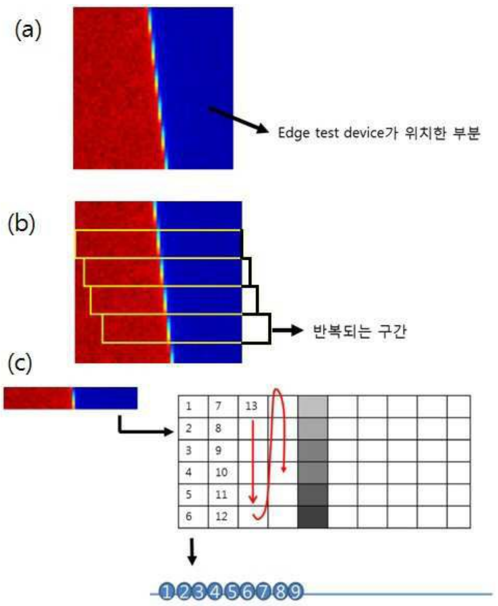
도면1



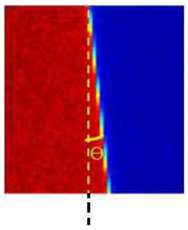
도면2


Pixel size
θ
Δx=effective sampling distance
Δx
1
2
3
4
5
Sub-sampling coordinate
S110
에지 검사장치 이미지 획득
S120
에지 검사장치와 검출기가 이루는 각도를 라돈변환을 이용하여 검출
S130
에지확산함수 획득
S140
ESF를 미분하여 LSF를 생성한다
S150
LSF의 끝자리를 소수점 밑 둘째 자리에서 자름
S160
지수함수로 외삽 (Extrapolation)함
S170
LSF의 푸리에 변환
S180
유효 픽셀 간격계산
S190
MTF 보간

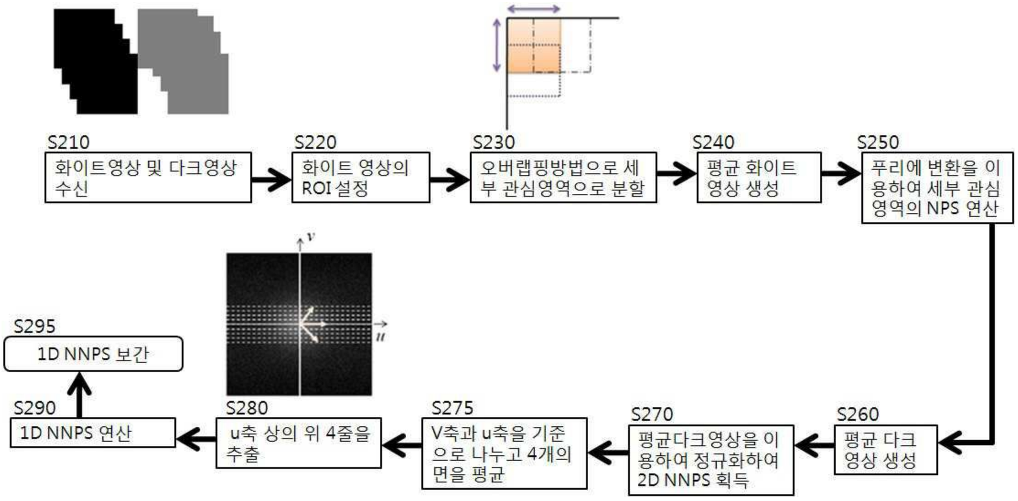
도면3


(a)
Edge test device가 위치한 부분
(b)
반복되는 구간
(c)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
123456789

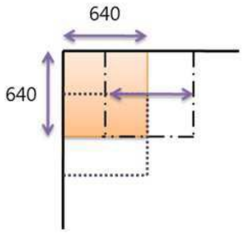
도면4


θ

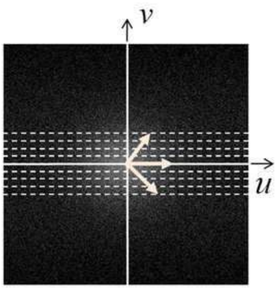
도면5



도면6



도면7



도면8

도면9

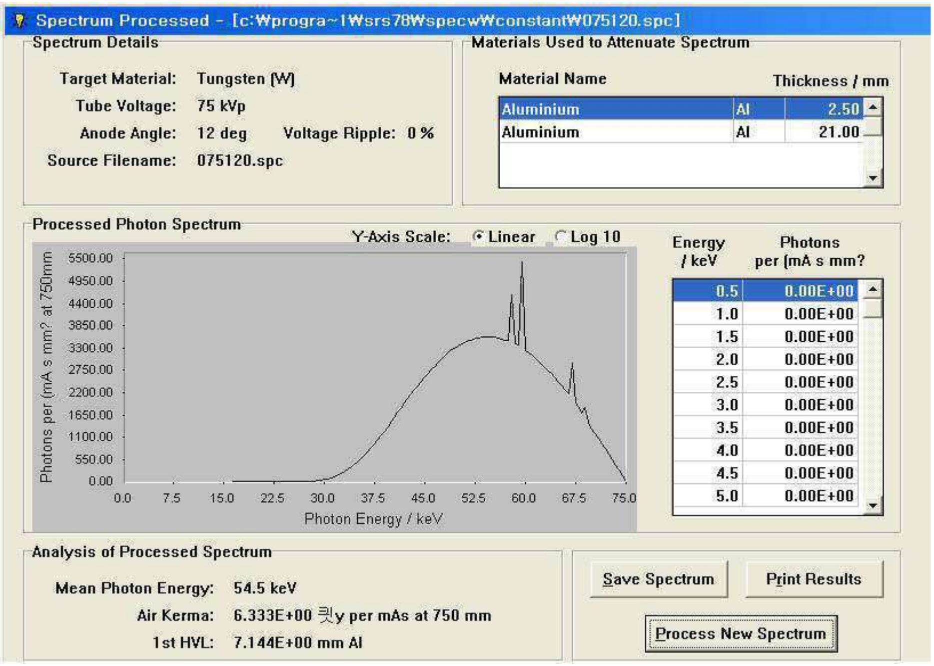
Air, Dry (Near Sea Level)
HTML table format

	Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
	1.00000E-03	3.606E+03	3.599E+03
	1.50000E-03	1.191E+03	1.188E+03
	2.00000E-03	5.279E+02	5.262E+02
	3.00000E-03	1.625E+02	1.614E+02
	3.20290E-03	1.340E+02	1.330E+02
18 K	3.20290E-03	1.485E+02	1.460E+02
	4.00000E-03	7.788E+01	7.636E+01
	5.00000E-03	4.027E+01	3.931E+01
	6.00000E-03	2.341E+01	2.270E+01
	8.00000E-03	9.921E+00	9.446E+00
	1.00000E-02	5.120E+00	4.742E+00
	1.50000E-02	1.614E+00	1.334E+00
	2.00000E-02	7.779E-01	5.389E-01

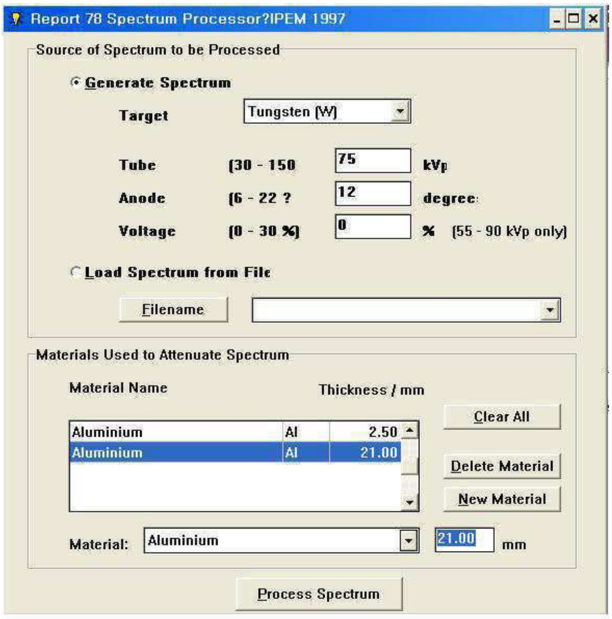
Air, Dry (Near Sea Level)
ASCII format

	Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
	1.00000E-03	3.606E+03	3.599E+03
	1.50000E-03	1.191E+03	1.188E+03
	2.00000E-03	5.279E+02	5.262E+02
	3.00000E-03	1.625E+02	1.614E+02
	3.20290E-03	1.340E+02	1.330E+02
18 K	3.20290E-03	1.485E+02	1.460E+02
	4.00000E-03	7.788E+01	7.636E+01
	5.00000E-03	4.027E+01	3.931E+01
	6.00000E-03	2.341E+01	2.270E+01
	8.00000E-03	9.921E+00	9.446E+00
	1.00000E-02	5.120E+00	4.742E+00
	1.50000E-02	1.614E+00	1.334E+00
	2.00000E-02	7.779E-01	5.389E-01
	3.00000E-02	3.538E-01	1.537E-01
	4.00000E-02	2.485E-01	6.833E-02
	5.00000E-02	2.080E-01	4.098E-02

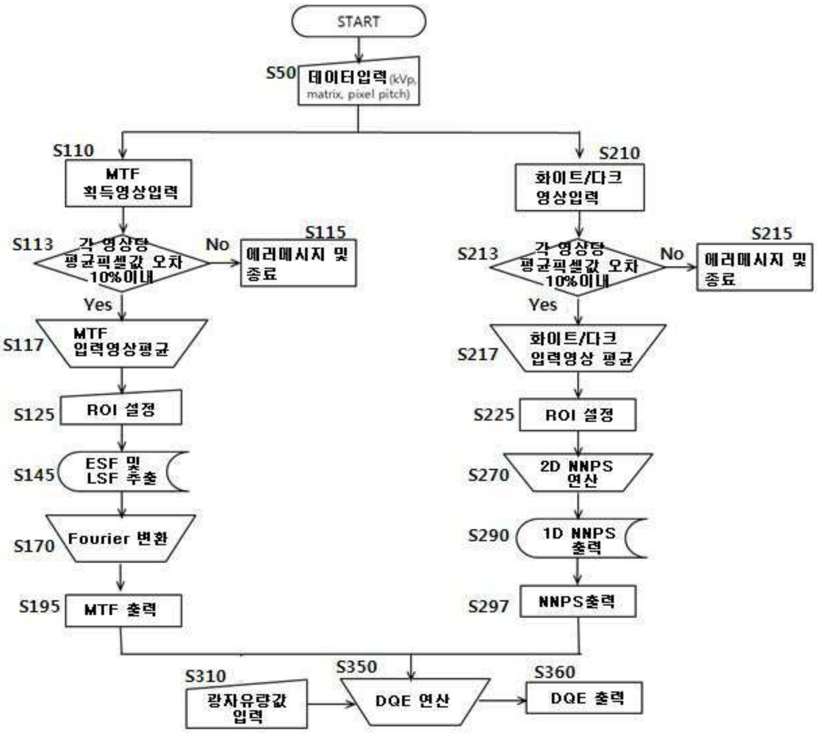
도면10a



도면10b


Report 78 Spectrum Processor?IPEM 1997
Source of Spectrum to be Processed
Generate Spectrum
Target
Tungsten (W)
Tube
(30 - 150
75
kVp
Anode
(6 - 22 ?
12
degree
Voltage
(0 - 30 %)
0
%
(55 - 90 kVp only)
Load Spectrum from File
Filename
Materials Used to Attenuate Spectrum
Material Name
Thickness / mm
Clear All
Aluminium
Al
2.50
Aluminium
Al
21.00
Delete Material
New Material
Material:
Aluminium
21.00
mm
Process Spectrum

도면11


START
S50
데이터입력(kVp, matrix, pixel pitch)
S110
MTF 획득영상입력
S113
각 영상당 평균픽셀값 오차 10%이내
No
S115
에러메시지 및 종료
Yes
S117
MTF 입력영상평균
S125
ROI 설정
S145
ESF 및 LSF 추출
S170
Fourier 변환
S195
MTF 출력
S210
화이트/다크 영상입력
S213
각 영상당 평균픽셀값 오차 10%이내
No
S215
에러메시지 및 종료
Yes
S217
화이트/다크 입력영상 평균
S225
ROI 설정
S270
2D NNPS 연산
S290
1D NNPS 출력
S297
NNPS출력
S310
광자유량값 입력
S350
DQE 연산
S360
DQE 출력