

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2011-0120015 (43) 공개일자 2011년11월03일
(51) Int. Cl. <i>A61B 5/055</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2010-0039492 (22) 출원일자 2010년04월28일 심사청구일자 2010년04월28일	(71) 출원인 서강대학교산학협력단 서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교 (72) 발명자 호위 서울시 마포구 대흥동 25-14번지 403호 최용 서울특별시 송파구 잠실동 리센츠 254-1701 (뒷면에 계속) (74) 대리인 특허법인충현	

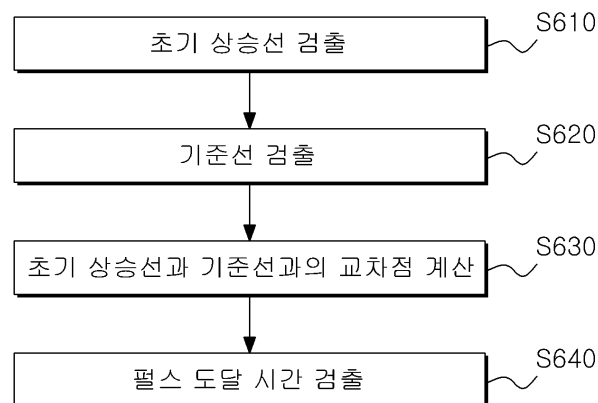
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법

(57) 요약

PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 통해 변환된 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호로부터 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 방법을 개시한다. 상기 방법은 (a) 소정의 시간 간격을 가진 상기 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출하는 단계, (b) 상기 초기 상승선 이전에 획득된 상기 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 통계적 처리를 통하여 기준선을 검출하는 단계, (c) 상기 초기 상승선 및 상기 기준선과의 교차점을 계산하는 단계, 및 (d) 상기 교차점을 이용하여 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 단계를 포함한다. PET 응용에 있어서 PET 검출기를 위한 간단하고 향상된 시간 분해능을 나타낸다.

대표도 - 도6



(72) 발명자

홍기조

서울특별시 노원구 하계2동 극동아파트 1동 1409호

강지훈

전라남도 목포시 용해동 232번지

허윤석

서울특별시 용산구 이태원동 92-27번지

임현경

서울특별시 마포구 신수동 89-33번지 재연원룸 402호

김상수

서울특별시 도봉구 방학1동 671-12번지 501호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2009-0081935 / 10030029

부처명 교육과학기술부 / 지식경제부

연구관리전문기관

연구사업명 신기술융합형성장동력사업 / 차세대신기술개발사업

연구과제명 신기술융합형 PET 기술 / MR 호환 PET 시스템 개발

기여율

주관기관 서강대학교 산학협력단 / 서강대학교 산학협력단

연구기간 2009년 07월 10일 ~ 2010년 06월 30일 / 2009년 07월 01일 ~ 2010년 06월 30일

특허청구의 범위

청구항 1

PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 통해 변환된 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호로부터 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 방법에 있어서,

- (a) 소정의 시간 간격을 가진 상기 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출하는 단계;
- (b) 상기 초기 상승선 이전에 획득된 상기 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 통계적 처리를 통하여 기준선을 검출하는 단계;
- (c) 상기 초기 상승선 및 상기 기준선과의 교차점을 계산하는 단계; 및
- (d) 상기 교차점을 이용하여 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 단계를 포함하는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 단계는

- (a-1) 최초의 상기 감마선 펄스 신호에서 상기 소정의 시간 간격을 가진 펄스 신호를 빼서 양의 피크 및 음의 피크를 가진 양극 펄스를 획득하는 단계;
- (a-2) 상기 양의 피크를 검출하는 단계; 및
- (a-3) 상기 초기 상승선을 위한 트리거링을 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 소정의 시간 간격은 상기 아날로그-디지털 변환기(ADC)의 샘플링 주파수에 따라 변화되는 것을 특징으로 하는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 (a) 단계 이전에

상기 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 증폭시키는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 기재된 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법을 수행하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 구현되어 있으며, 상기 디지털 처리 장치에 의해 관독될 수 있는 프로그램이 기록된 기록매체.

청구항 6

PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 샘플링을 통하여 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 출력하는 아날로그-디지털 변환부; 및

상기 디지털 신호를 입력 받아 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출하고

상기 초기 상승선 이전에 획득된 상기 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 통계적 처리를 통하여 기준선을 검출하여 상기 초기 상승선 및 상기 기준선과의 교차점으로부터 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 신호처리부를 포함하는 PET 신호처리모듈.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 소정의 시간 간격은 상기 아날로그-디지털 변환부(ADC)의 주파수에 따라 변화되는 것을 특징으로 하는 PET 신호처리모듈.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 PET 검출기에서의 신호처리방법에 관한 것으로, 특히 PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 세포, 전임상, 임상실험 및 환자의 진단을 위해 사용되는 의료 영상은 일반적으로 크게 구조적인 영상과 기능적인 영상으로 분류된다. 구조적인 영상은 인체의 구조 및 해부학적 영상을 의미하고, 기능적인 영상은 인체의 인지, 감각기능 등에 대한 기능 정보를 직접 또는 간접적인 방법으로 영상화하는 것이다. 구조 및 해부학적 영상 기술에는 컴퓨터단층촬영장치(Computed Tomography: CT), 자기공명단층촬영장치(Magnetic Resonance Imaging: MRI) 등이 있고, 인체의 생리적 및 생화학적 작용을 관찰하여 기능 정보를 영상화하는 기술로서는 양전자방출단층촬영장치(Positron Emission Tomography :PET)가 널리 사용되고 있다.

[0003] PET은 비침습적으로 인체 기능을 계량화하는 강력한 생물학적 영상도구로서, 방사성 활성을 갖는 양전자 방출동위원소로 표지된 생물학적 탐지자(probe) 분자를 체내에 주입한 후, 방사능의 분포를 단층촬영으로 재구성하여 영상화하여 인체의 각 장기 내의 생리적, 생화학적인 반응을 정량화할 수 있다. PET에 의해 제공되는 뇌, 장기 등의 인체 구조에 대한 기능적/분자학적 정보는 질병의 병인 연구, 진단 예후 판정 및 항암 치료 후 경과 관찰 등에 유용하게 이용할 수 있다.

[0004] 도 1a는 PET 시스템을 도시한 사시도이고 도 1b는 PET 시스템 중 PET 검출기를 확대한 사시도이다.

[0005] 도 1a 및 1b를 참조하면, PET 시스템(100)은 PET 검출기(120), PET 검출기(120)에 일측이 연결되는 케이블(130)과 케이블(130)의 타측에 연결되는 PET 회로부(140)를 포함한다. 환자를 이송하는 베드(111)는 받침대(113) 위에 이송가능하게 형성되고, PET 검출기(120)는 환자가 통과할 수 있도록 소정의 내경을 갖는 관 형상으로 이루어져 촬영구(도시되지 않음) 내부에 형성된다. 일측에는 다수개의 섬광결정(121)이 환형으로 배열되어 섬광결정 배열(122)을 이루고, 섬광결정 배열(122)은 PET 검출기(120)의 길이방향을 따라 다수개 배열되고, 섬광결정(121) 타측부는 광센서와 연결되어 PET 검출기(120)를 구성한다. PET 검출기(120)를 구성하는 광센서(도시되지 않음)는 섬광결정(121)에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한다. 광센서로는 PMT(Photo-Multiplier Tube), PIN Diode(Positive-Intrinsic-Negative Diode), CdTe(Cadmium Telluride), CZT(Cadmium Zinc Telluride), APD(Avalanche Photo Diode) 또는 GAPD(Geiger mode Avalanche Photo Diode) 등이 이용될 수 있다.

[0006] PET 영상을 생성하기 위해서는 상기 광센서에서 출력되는 신호의 동시성을 측정해야하고, 동시성을 측정하기 위해서는 측정된 감마선의 도달 시간을 검출해야 한다. 이러한 PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법으로는 디지털 상수 분수 차별법(Digital constant fraction discrimination: DCFD) 및 최대 상승 보간법(Maximum rise interpolation: MRI) 등이 있었다.

[0007] 디지털 상수 분수 차별법(DCFD)은 아날로그 상수 분수 차별법의 디지털버전이며, 이는 다른 디지털 시간 측정법에 비해 더 나은 시간 분해능을 제공할 수 있다. 디지털 상수 분수 차별법은 디지털화된 감마선 펄스 신호는 지연되고 증폭되고 나서 전도되며 그리고 나서 본래 펄스에 추가된다. 따라서, 단극 펄스는 양극 펄스로 변환된다. 펄스 도달 시간은 두 개의 제로-크로싱 샘플들 사이에 선형 보간법에 의해 계산된다. 이 방법의 정확성은 노이

즈와 신호 펄스 영향에 의해 영향 받는다.

- [0008] 최대 상승 보간법(Maximum rise interpolation: MRI)은 기준선과 최대 상승선의 교차점을 계산하여 펄스 도달 시간을 검출한다. 최대 상승 보간법은 간단하고 빠르지만, 이 방법의 정확성은 ADC 샘플링 단계에 의해 영향받는다. 이는 최대 상승선의 기울기는 ADC(Analog-digital converter) 클럭의 샘플링 단계에 의해 다양해지기 때문이다. 통계적인 방법으로 성능을 향상시킬 수 있으나, 다량의 데이터가 후 처리(post-process)되어야 하는 단점이 있다. 따라서, PET 검출기에서 개선된 시간 분해능을 가지는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법, 즉 디지털 시간 검출방법이 요구되는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 PET 검출기에서 향상된 시간 분해능을 가지는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법 및 그의 회로모듈을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

- [0010] 본 발명의 일 양태에 따르면, PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 통해 변환된 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호로부터 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 방법에 있어서, (a) 소정의 시간 간격을 가진 상기 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출하는 단계, (b) 상기 초기 상승선 이전에 획득된 상기 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 통계적 처리를 통하여 기준선을 검출하는 단계, (c) 상기 초기 상승선 및 상기 기준선과의 교차점을 계산하는 단계, 및 (d) 상기 교차점을 이용하여 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 단계를 포함하는 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법을 제공한다.
- [0011] 상기 (a) 단계는 (a-1) 최초의 상기 감마선 펄스 신호에서 상기 소정의 시간 간격을 가진 펄스 신호를 빼서 양의 피크 및 음의 피크를 가진 양극 펄스를 획득하는 단계, (a-2) 상기 양의 피크를 검출하는 단계, 및 (a-3) 상기 초기 상승선을 위한 트리거링을 생성하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0012] 상기 소정의 시간 간격은 상기 아날로그-디지털 변환기(ADC)의 샘플링 주파수에 따라 변화될 수 있다.
- [0013] 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법은 상기 (a) 단계 이전에
- [0014] 상기 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 증폭시키는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 양태에 따르면, 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법을 수행하기 위해 디지털 처리 장치에 의해 실행될 수 있는 명령어들의 프로그램이 구현되어 있으며, 상기 디지털 처리 장치에 의해 판독될 수 있는 프로그램이 기록된 기록매체를 제공한다.
- [0016] 본 발명의 또 다른 양태에 따르면, PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 샘플링을 통하여 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 출력하는 아날로그-디지털 변환부, 및 상기 디지털 신호를 입력 받아 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출하고 상기 초기 상승선 이전에 획득된 상기 소정의 시간 간격을 가진 상기 디지털 신호의 통계적 처리를 통하여 기준선을 검출하여 상기 초기 상승선 및 상기 기준선과의 교차점으로부터 상기 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출하는 신호처리부를 포함하는 PET 신호처리모듈을 제공한다.

발명의 효과

- [0017] 본 실시예에 따른 PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법은 PET 검출기에서 더 정확하게 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출할 수 있다. PET 응용에 있어서 PET 검출기를 위한 간단하고 향상된 시간 분해능을 나타낸다. 본 실시예에 따른 PET 신호처리모듈이 적용된 PET 검출기는 향상된 성능의 PET 단층 영상을 나타낸다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1a는 PET 시스템을 도시한 사시도이고 도 1b는 PET 시스템 중 PET 검출기를 확대한 사시도이다.
도 2는 PET 검출기의 신호를 보여주는 그래프이다.

도 3은 PET 검출기의 신호를 보여주는 그래프를 확대한 도면이다.

도 4는 PET 검출기의 감마선 펄스 신호를 보여주는 그래프이다.

도 5는 본 실시예에 따른 PET 검출기에서의 펄스 도달 시간을 획득하기 위한 방법을 설명하기 위한 그래프이다.

도 6은 본 실시예에 따른 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법을 설명하는 흐름도이다.

도 7은 본 실시예에 따른 초기 상승선을 획득하는 방법을 설명하는 흐름도이다.

도 8은 본 실시예에 따른 초기 상승선을 획득하는 방법을 설명하는 도면이다.

도 9는 본 실시예에 따라 기준선을 검출하기 위한 신호처리 단계의 일 예를 보여주는 도면이다.

도 10은 본 실시예에 따른 PET 신호처리모듈을 보여주는 블록도이다.

도 11은 본 실시예와 종래방법에 따른 시간 스펙트럼을 보여주는 그래프이다.

도 12는 본 실시예에 따른 PET 이미지를 보여주는 도면이다.

도 13은 도 12의 이미지의 프로파일을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0020] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.
- [0021] 본 출원에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0022] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0024] 본 실시예에 따른 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법은 PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 아날로그-디지털 변환기(ADC)를 통해 변환된 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호로부터 감마선 펄스 신호의 도달 시간을 검출한다.
- [0025] 본 실시예에 따른 PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법에서 샘플링된 감마선 펄스 신호는 기준선(baseline)으로부터 초기 상승률로 전압이 상승하다가 최대 상승률로 전압이 상승하는 감마신호의 중요한 특성을 이용한다. 여기서, 초기 상승률(initial rise)은 최대 상승률(maximum rise) 보다 더 기울기가 작다. 또한, 초기 상승률(initial rise)과 최대 상승률(maximum rise) 사이에 예비 최대 상승률(pre-maximum rise)이 있을 수 있다. 이러한 예비 최대 상승률(pre-maximum rise)은 초기 상승률(initial rise) 보다 기울기가 크고 최대 상승률(maximum rise) 보다 기울기가 작을 수 있다.
- [0026] 본 실시예에서 펄스 도달 시간은 각 감마선 펄스 신호의 기준선과 초기 상승률을 가지는 초기 상승선의 교차점을 이용함으로써 획득할 수 있다. 또한, 본 실시예는 BGO(Bismuth Germanate), LSO(Lutetium

Oxyorthosilicate), LYSO(Lutetium Yttrium Oxyorthosilicate), LuAP(Lutetium Aluminum Perovskite), LuYAP(Lutetium Yttrium Aluminum Perovskite), LaBr3 (Lanthanum Bromide) 및 LuI3(Lutetium Iodide), GSO(Gadolinium oxyorthosilicate), LGSO (lutetium gadolinium oxyorthosilicate), LuAG (Lutetium aluminum garnet) 등 중 적어도 하나를 이용한 광센서로 구성된 PET 검출기에서 이용할 수 있다.

- [0027] 도 2는 PET 검출기의 신호를 보여주는 그래프이고 도 3은 도 2를 확대한 그래프이다. 도 2 및 도 3을 참조하면, 시간에 따라 감마선 신호가 펄스 신호 형태로 출력되는 것을 확인할 수 있다.
- [0028] 도 4는 PET 검출기의 감마선 펄스 신호를 보여주는 그래프이고 도 5는 본 실시예에 따른 PET 검출기에서의 펄스 도달 시간을 획득하기 위한 방법을 설명하기 위한 그래프이다.
- [0029] 도 4 및 5를 함께 참조하면, 도 5는 도 4의 초기 50 ns부분을 확대해 본 그래프이다. 또한, 도 4는 도 3에서 감마선 펄스 신호(300)을 확대해 본 것이다. 도 5에서 포인트(a-2), 포인트(a-1), 포인트(a) 및 포인트(a+1)은 샘플링되어 디지털화된 감마선 펄스 신호의 각각 10 ns 이후의 포인트를 나타낸다. 포인트(a-2), 포인트(a-1), 포인트(a) 및 포인트(a+1)의 시간 간격은 ADC의 주파수에 따라 변경될 수 있다. 여기서, 이러한 포인트들의 수는 다양할 수 있다. 예를 들어, 초기 상승선 전의 포인트로써 포인트(a-2) 외에 더 많은 포인트들이 존재할 수도 있다. V(a-2), V(a-1), V(a), V(a+1)은 각각의 포인트에서의 전압을 나타낸다. 본 실시예에서 사용한 구체적인 수치는 본 발명의 일 실시예를 설명하기 위한 것에 불과하므로 본 발명의 내용이 이러한 구체적인 수치에 한정되지 않는다. 따라서, 상기 10 ns 또는 50 ns는 다른 수치로 변경되어 적용될 수 있음은 당업자에게 자명할 것이다.
- [0030] 도 6은 본 실시예에 따른 감마선 펄스 신호의 도달 시간 검출방법을 설명하는 흐름도이다. 도 5 및 도 6을 함께 참조하면, PET 검출기에서의 감마선 펄스 신호를 샘플링을 통하여 디지털화한 다음, 소정의 시간 간격을 가진 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호의 전압값의 초기 상승선을 검출한다(S610). 이러한 S610 이전에 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호는 증폭될 수 있다. S610은 이하에서 자세히 설명한다.
- [0031] 도 7은 본 실시예에 따른 초기 상승선을 획득하는 방법을 설명하는 흐름도이고, 도 8은 본 실시예에 따른 초기 상승선을 획득하는 방법을 설명하는 도면이다.
- [0032] 도 7 및 도 8을 함께 참조하면, 먼저, 양극 펄스(bipolar pulse)를 생성한다(S611). 구체적으로는, 최초 펄스 신호로부터 10 ns 지연된 펄스 신호를 빼서 양의 피크 및 음의 피크를 가진 양극 펄스를 획득할 수 있다.
- [0033] 그런 다음, 양의 피크를 검출한다(S612). 구체적으로는, 최대 상승선(550)의 이차점 V(a+1)에 해당하는 시간점이 피크 센싱(peak sensing)에 의해 검출될 수 있다. 다음으로, 초기 상승선을 위한 트리거를 생성한다(S613). 상기 시간점을 이용하여 10 ns 지연된 펄스 및 20 ns 지연된 펄스의 트리거링(triggering)이 초기 상승선의 각 V(a) 및 V(a-1)를 저장할 수 있다.
- [0034] 다시 도 6을 참조하면, 기준선을 검출한다(S620).
- [0035] 도 9는 본 실시예에 따라 기준선을 검출하기 위한 신호처리 단계의 일 예를 보여주는 도면이다.
- [0036] 도 9를 참조하면, 초기 상승선 검출(S610)후, V(a-1) 및 V(a)가 감마선 펄스 신호의 도달 시간 계산을 위하여 저장될 수 있다. 초기 상승선 전에 획득된 8개의 샘플들 값의 통계적 처리를 통해 각 펄스의 기준선 값을 획득할 수 있다. 예를 들어, 초기 상승선 전에 획득된 8개의 샘플의 평균값이 계산되어 각 펄스의 기준선으로 이용될 수 있다. 이러한 기준선은 정확한 시간 계산을 위하여 이용될 수 있다. 펄스 에너지는 32 샘플들의 적분값과 1/32를 곱하고 나서 기준선 값을 차감하여 획득될 수 있다.
- [0037] 다시 도 6을 참조하면, 각 펄스에 대해 초기 상승선(510)과 기준선(530)과의 교차점을 계산한다(S630). 이러한 초기 상승선(510)의 기울기는 최대 상승선(550)의 기울기에 비해 ADC 샘플링 단계에 의해 덜 영향을 받는다. 그런 다음, 펄스 도달 시간을 검출한다(S640). 본 실시예에 따른 펄스 도달 시간(T_{IRI})은 다음 수학적 식 1에 의해 획득될 수 있다.

수학적 식 1

$$T_{IRI} = T_{a-1} - \Delta t_1$$

[0038]

[0039] 여기서, T_{a-1} 은 포인트(a-1)에서의 시간 및 Δt_1 은 T_{a-1} 과 초기 상승선(510)과 기준선(530)과의 교차점의 시간차를 나타내고, Δt_1 은 다음 수학적 식 2에 의해 획득될 수 있다.

수학적 식 2

$$\Delta t_1 = (V(a-1) - V_{baseline}) / (V(a) - V(a-1))$$

[0041] 또한, 상기 Δt_1 은 다음 수학적 식 3에 의해 획득될 수도 있다.

수학적 식 3

$$\Delta t_1 = (V(a-1) - (V(a-2) + V(a-3) + \dots + V(a-9)) / 8) / (V(a) - V(a-1))$$

[0043] 도 10은 본 실시예에 따른 PET 신호처리모듈을 보여주는 블록도이다.

[0044] 도 10을 참조하면, PET 신호처리모듈(800)은 아날로그-디지털 변환부(ADC)(810), 신호처리부(820), 제어부(830) 및 저장부(840)를 포함한다.

[0045] 아날로그-디지털 변환부(810)는 PET 검출기의 섬광결정에서 검출한 섬광을 전기적인 신호로 변환한 광센서로부터 전기적인 신호를 입력받아 샘플링을 통하여 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 출력한다.

[0046] 신호처리부(820)는 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호를 입력받아 본 실시예에 따라 초기 상승선 및 기준선을 검출하고 초기 상승선 및 기준선의 교차점을 이용하여 펄스 도달 시간을 검출한다. 저장부(840)는 아날로그-디지털 변환부(810)로부터 감마선 펄스 신호에 대한 디지털 신호 또는 신호처리부(820)에서의 처리되는 데이터를 저장한다. 제어부(830)는 본 실시예에 따라 아날로그-디지털 변환부(810) 및 신호처리부(820)의 입력 및 출력을 제어할 수 있다.

[0047] 이하에서는, 본 실시예의 효과에 대하여 설명한다.

[0048] 표 1은 본 실시예와 종래방법(각각 30% 에너지 윈도우)에 따른 시간 분해능을 비교한 것이고 도 11은 본 실시예와 종래방법에 따른 시간 스펙트럼을 보여주는 그래프이다.

표 1

도달 시간 검출방법	fast GAPD	slow GAPD
본 실시예	0.7 ns	1.5 ns
DCFD	1.5 ns	2.2 ns
MRI	1.8 ns	2.7 ns

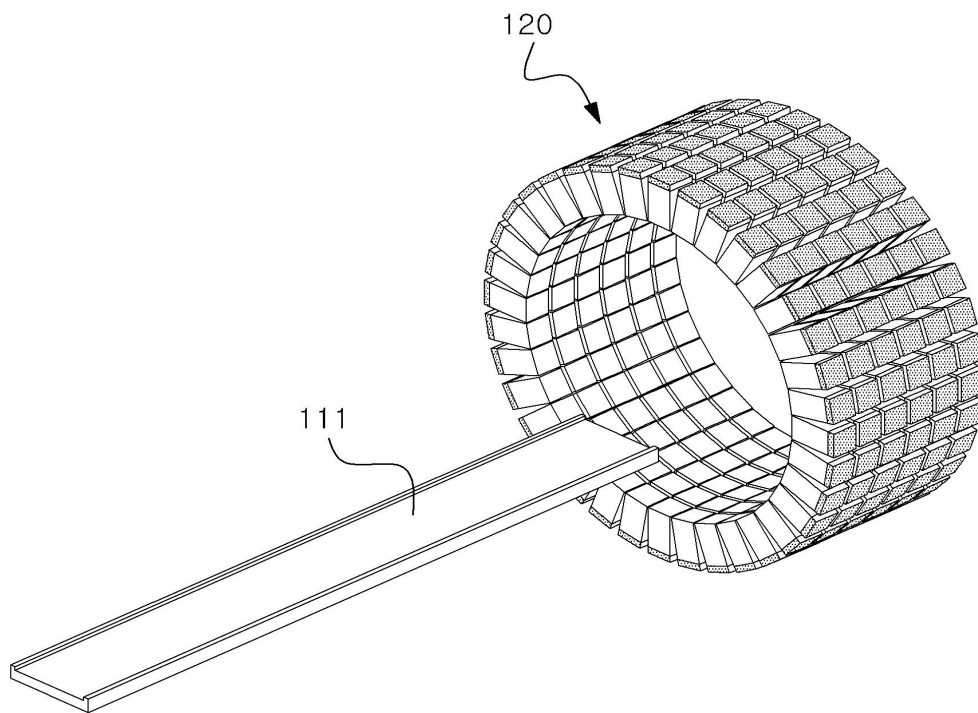
[0050] 표 1 및 도 11을 함께 참조하면, fast GAPD에 대해서는 본 실시예의 시간 분해능은 DCFD 방법에 비해서는 53% 향상되고 MRI 방법에 비해서는 61% 향상되었다. slow GAPD에 대해서는 본 실시예의 시간 분해능은 DCFD 방법에 비해서는 32% 향상되고 MRI 방법에 비해서는 44% 향상되었다.

[0051] 도 12는 본 실시예에 따른 PET 이미지를 보여주는 도면이고, 도 13은 도 12의 이미지의 프로파일을 보여주는 도면이다.

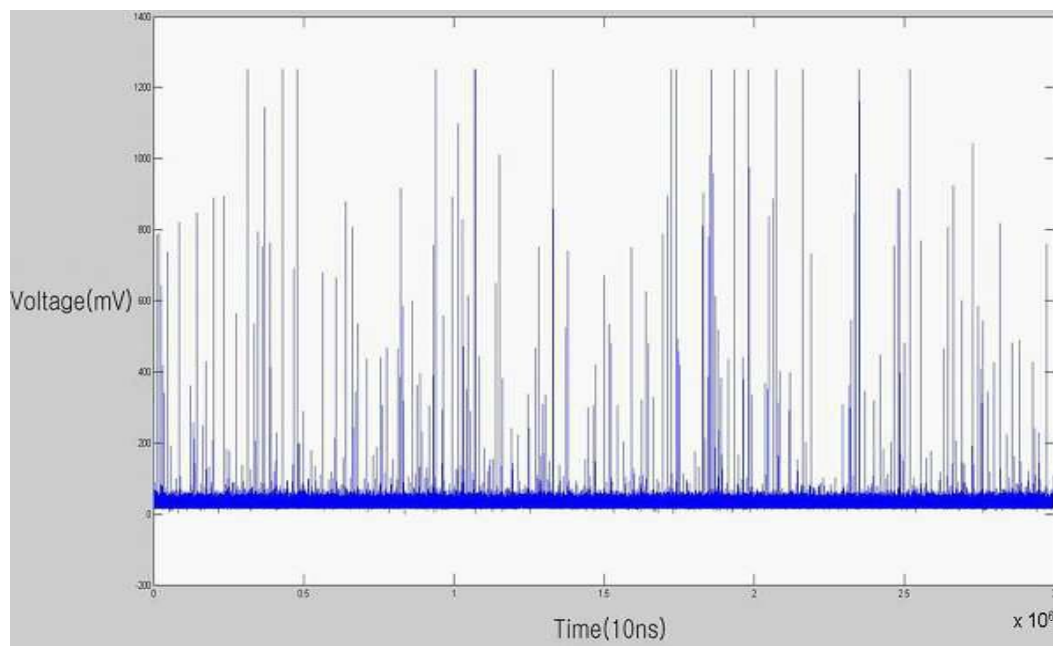
[0052] 도 12 및 도 13을 참조하면, 획득된 이미지 공간 해상도(spatial resolution)는 3.1 mm FWHM임을 확인할 수 있으며, 향상된 성능의 PET 이미지를 나타냄을 확인할 수 있다.

[0053] 본 실시예에서 사용되는 '~부'라는 용어는 소프트웨어 또는 FPGA(field-programmable gate array) 또는 ASIC과 같은 하드웨어 구성요소를 의미하며, '~부'는 어떤 역할들을 수행한다. 그렇지만 '~부'는 소프트웨어 또는 하드웨어에 한정되는 의미는 아니다. '~부'는 어드레싱할 수 있는 저장 매체에 있도록 구성될 수도 있고 하나 또는

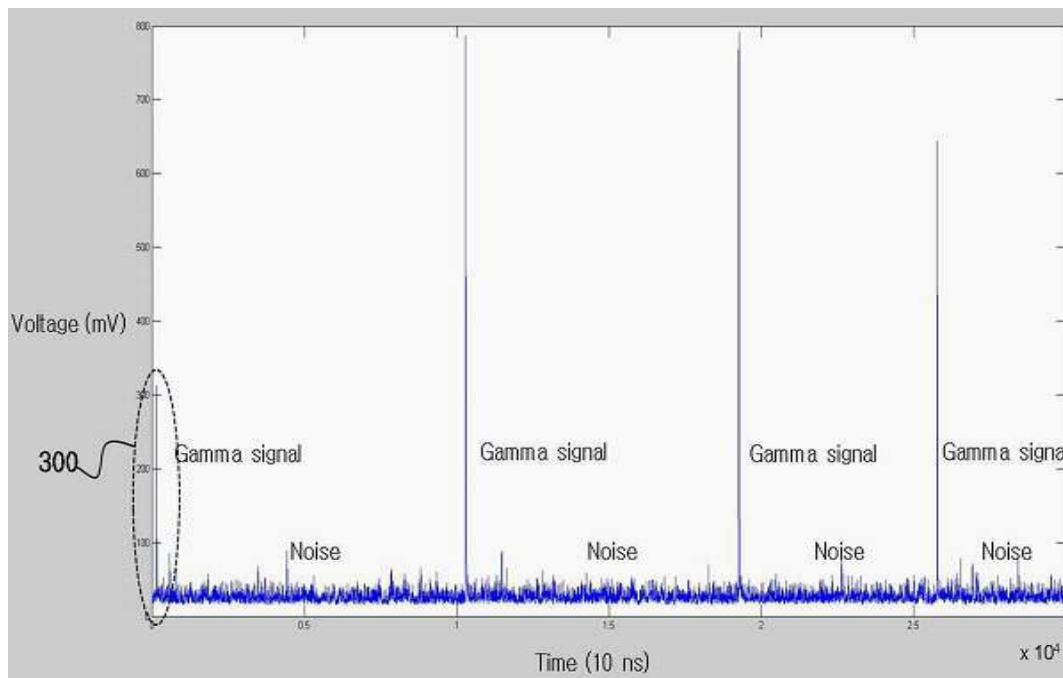
도면1b



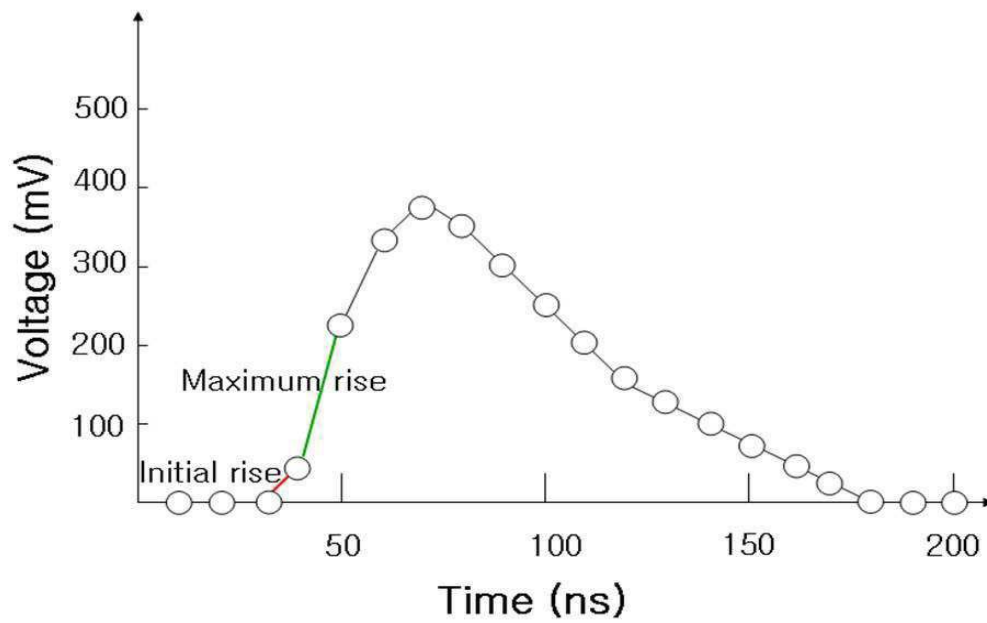
도면2



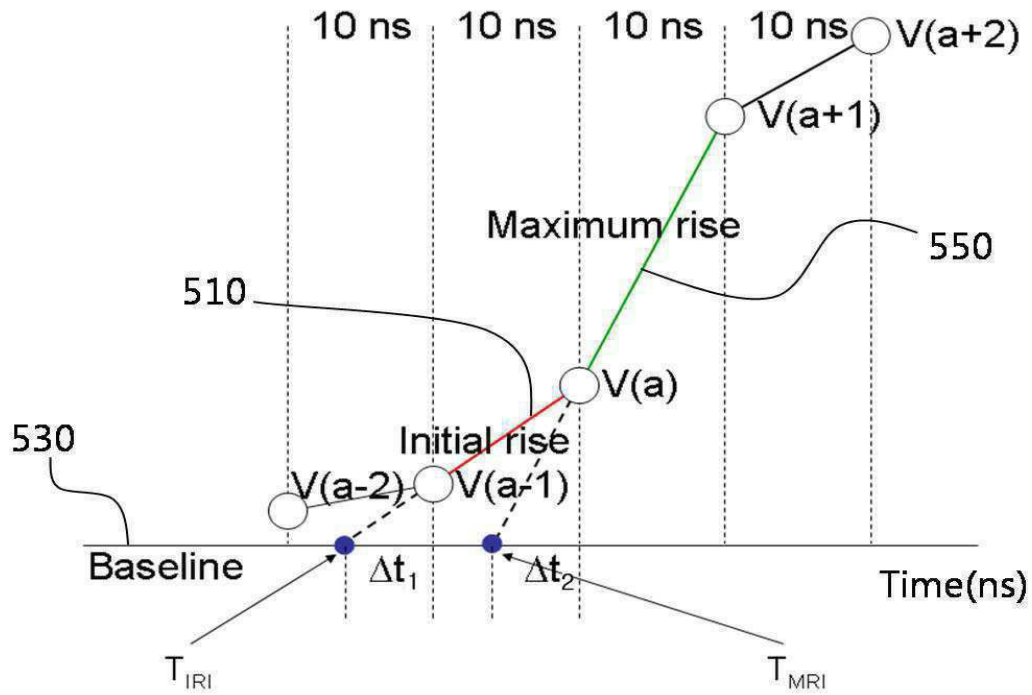
도면3



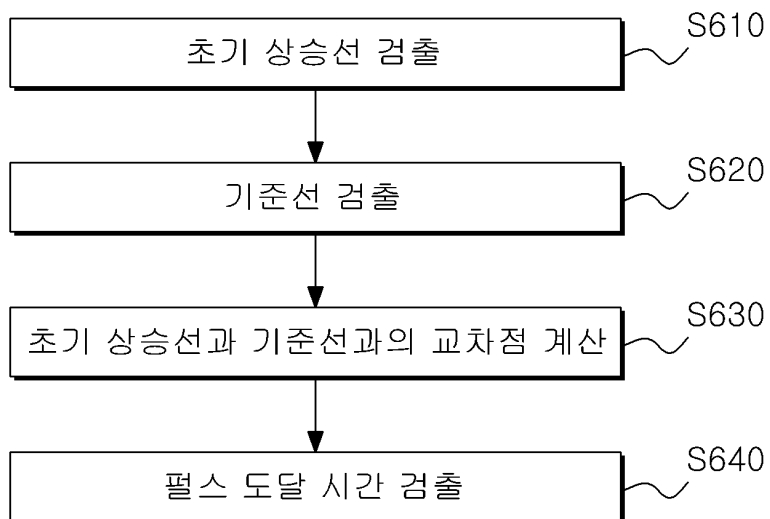
도면4



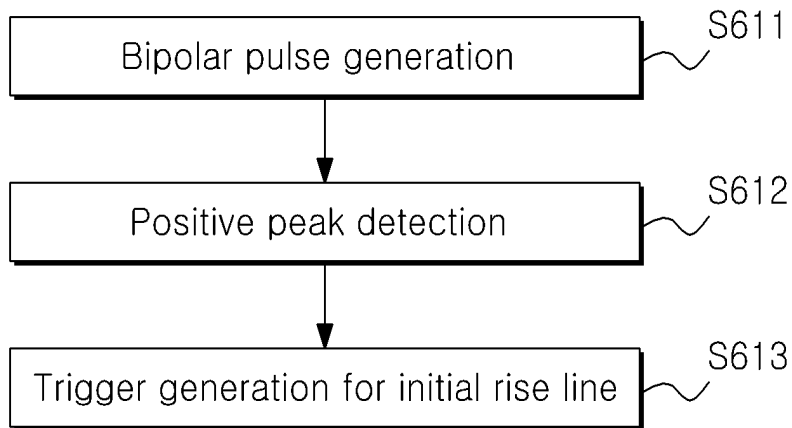
도면5



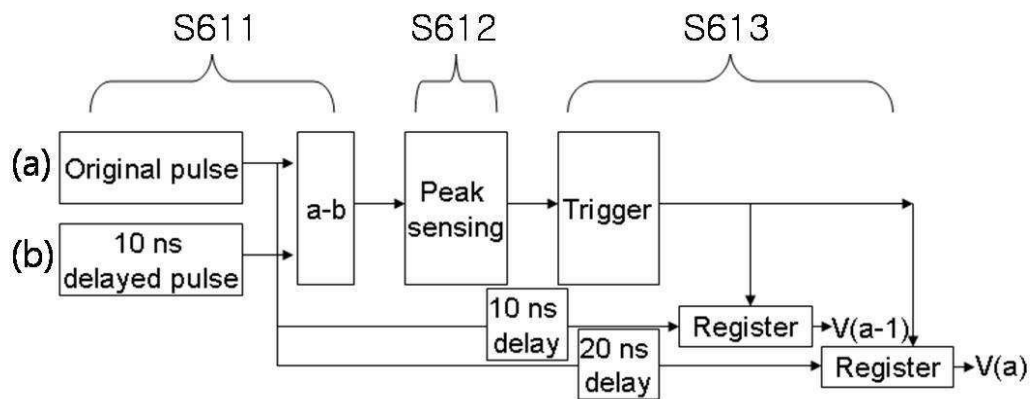
도면6



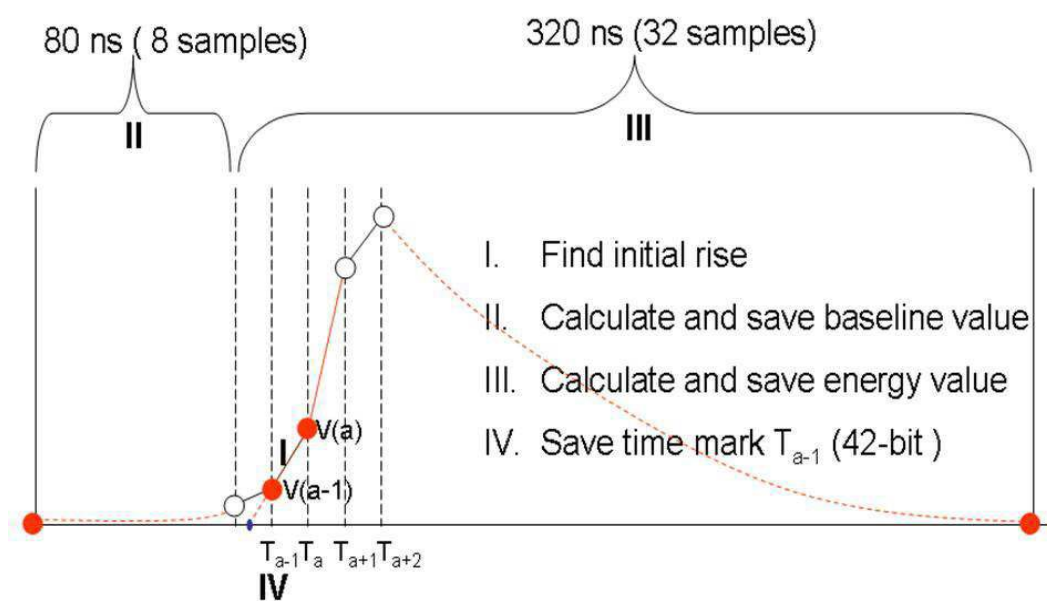
도면7



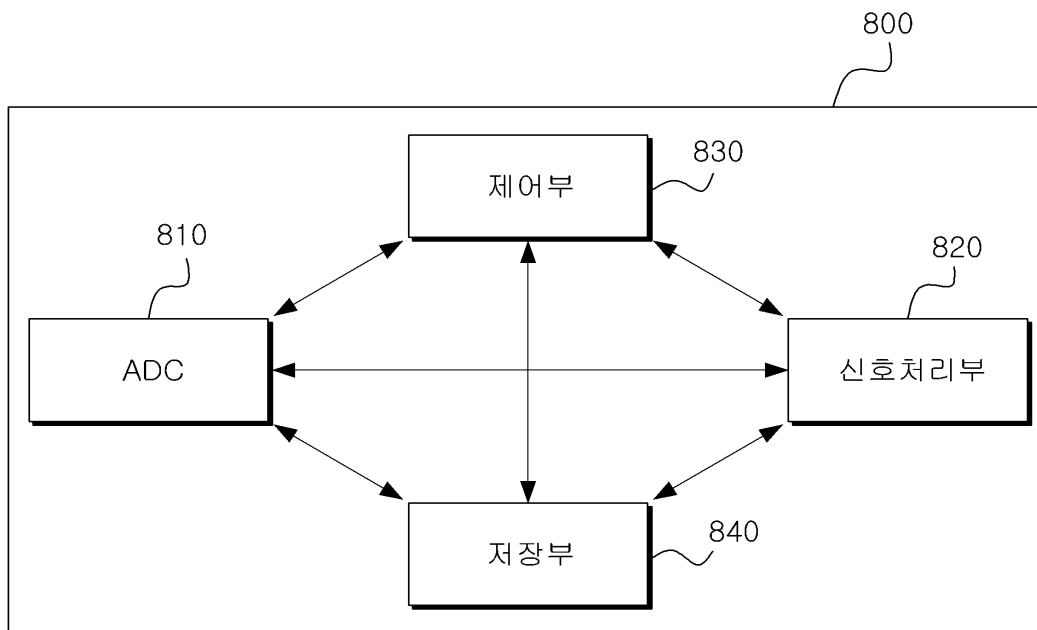
도면8



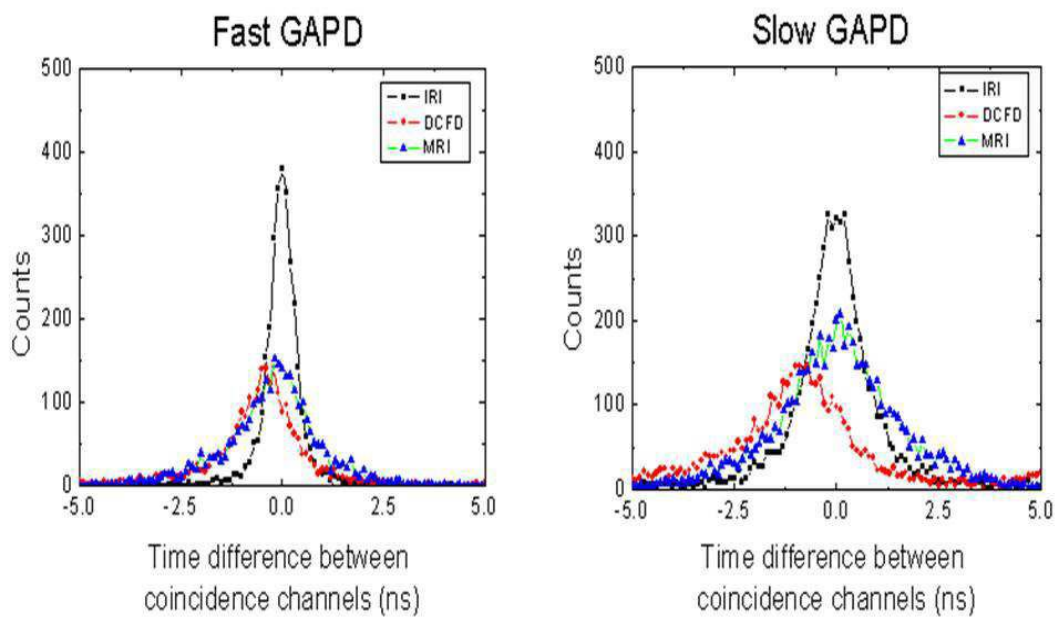
도면9



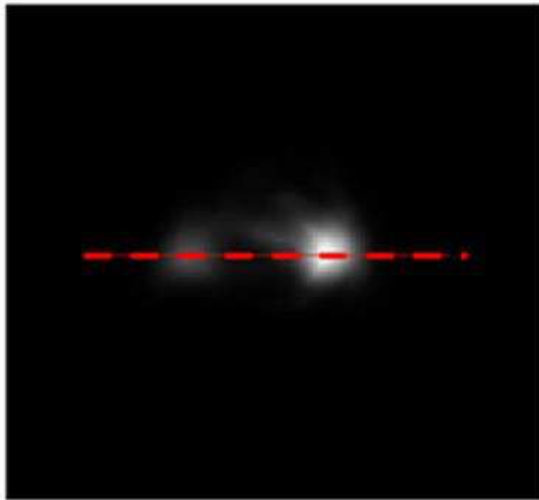
도면10



도면11



도면12



도면13

