

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)(11) 공개번호 10-2020-0141400
(43) 공개일자 2020년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04N 5/3745 (2011.01) H04N 5/365 (2011.01)
H04N 5/378 (2011.01)
(52) CPC특허분류
H04N 5/37457 (2013.01)
H04N 5/3656 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0070429
(22) 출원일자 2020년06월10일
심사청구일자 2020년06월10일
(30) 우선권주장
1020190067892 2019년06월10일 대한민국(KR)

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
채영철
서울특별시 마포구 백범로 152, 201동 1301호(공덕동, 공덕파크자이)
박병철
서울특별시 서대문구 북아현로1길 50, 205동 1003호(북아현동, 신촌푸르지오)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 11 항

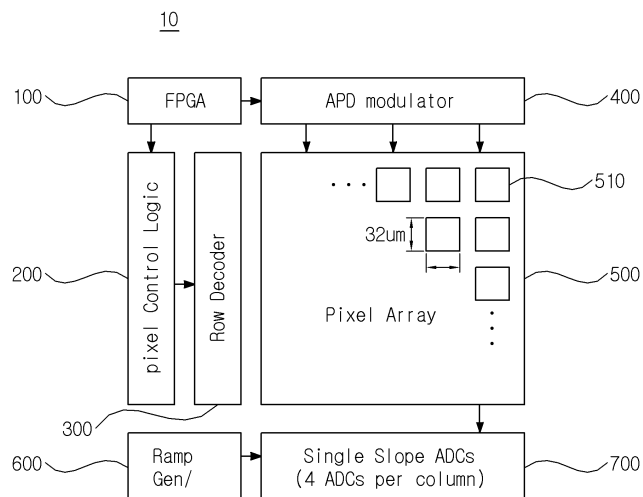
(54) 발명의 명칭 배경광 제거를 위한 장치 및 그를 이용한 이미지 센서

(57) 요약

배경광 제거를 위한 장치 및 그를 이용한 이미지 센서를 개시한다.

본 발명의 실시예에 따른 픽셀 장치는, 입사광의 광전 변환에 따른 전하를 생성하는 포토 다이오드; 상기 생성된 전하에 따른 전류를 증폭하는 증폭 회로; 및 상기 증폭 회로의 출력 전압을 기반으로 상기 전류에 포함된 배경광 전류(I_{BGL})를 제거하는 오프셋 제거 회로를 포함할 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

H04N 5/378 (2013.01)

(72) 발명자

박인준

서울특별시 서대문구 신촌로7길 49-15, 305호(창천동)

조우진

서울특별시 종로구 자하문로33길 22-8(청운동)

박찬민

서울특별시 구로구 신도림로 78, 303동 1503호(신도림동, 신도림3차동아아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1415167337

과제번호 10063436

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 자동차산업핵심기술개발(R&D)

연구과제명 최대 측정거리 50m급 CMOS 기반 차량용 ToF(Time of Flight) 센서, 송수신 광학계

및 신호처리 원천기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 에이테크솔루션

연구기간 2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

입사광의 광전 변환에 따른 전하를 생성하는 포토 다이오드;
상기 생성된 전하에 따른 전류를 증폭하는 증폭 회로; 및
상기 증폭 회로의 출력 전압을 기반으로 상기 전류에 포함된 배경광 전류(I_{BGL})를 제거하는 오프셋 제거 회로
를 포함하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 포토 다이오드의 캐소드는 적분 커패시터(C_{INT})를 포함하는 상기 증폭 회로 및 상기 오프셋 제거 회로와 연결되며,
상기 오프셋 제거 회로는,
오토 제로잉 제어신호(Φ_{AZ})에 의해 동작하는 제1 스위치(AZ), 오토 제로잉 전압(V_{AZ})을 저장하는 커패시터(C_{AZ})
및 피드백 전류(I_{AZ})를 피드백하는 Gm 셀을 포함하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 Gm 셀은,
상기 증폭 회로의 출력 전압(V_{OUT})을 인가받아 파생하는 트랜지스터(M_F); 및
상기 트랜지스터(M_F)와 연결된 전류 미러 회로를 포함하며,
상기 전류 미러 회로에 의해 출력된 피드백 전류(I_{AZ})는 배경광 전류(I_{BGL})와 서로 상쇄되는 것을 특징으로 하는
픽셀 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 증폭 회로는
증폭기, 적분 커패시터(C_{INT}) 및 리셋 스위치(RST)를 포함하며, 상기 증폭기의 입력은 상기 포토 다이오드의 캐소드와 연결되고, 상기 증폭기의 출력은 상기 적분 커패시터(C_{INT}) 및 상기 제1 스위치(AZ)와 연결되는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 제1 스위치(AZ)가 턴 온되고, 리셋 스위치(RST)가 턴 오프 상태로 제어되면,
상기 오프셋 제거 회로는, 상기 포토 다이오드로 피드백 전류(I_{AZ})를 공급하며, 오토 제로잉 전압(V_{AZ})이 증가하여
상기 오프셋 제거 회로에서 공급되는 피드백 전류(I_{AZ})와 상기 증폭 회로에서 공급되는 배경광 전류(I_{BGL})가
서로 상쇄되도록 오토 제로잉 동작을 수행하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제1 스위치(AZ)가 턴 오프되고, 리셋 스위치(RST)가 턴 온 상태로 제어되면, 상기 증폭 회로는 출력 전압을 기준 전압(V_{REF})으로 리셋하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 7

제4항에 있어서,

상기 증폭 회로와 연결되어 잔류 전류를 제거하기 위한 초퍼 회로를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 초퍼 회로는,

상기 적분 커패시터(C_{INT})와 상기 증폭 회로의 상기 증폭기 사이에 위치하는 초퍼 스위치 및 초퍼바 스위치를 포함하며,

상기 초퍼 스위치는 상기 적분 커패시터(C_{INT})의 입력단 및 출력단 양측에 설치되며, 상기 초퍼바 스위치는 상기 적분 커패시터(C_{INT})의 입력단 및 출력단 양측에 설치되며,

상기 초퍼 스위치 및 상기 초퍼바 스위치 각각은 서로 다른 위상에서 동작하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 초퍼 회로는,

제1 스위치(AZ)가 턴 오프 상태에서, 동위상(In-phase)에서 상기 초퍼 스위치가 동작하고, 역위상(Out-phase)에서 상기 초퍼바 스위치가 동작하여 상기 배경광 전류(I_{BGL})의 제거 이후 남아 있는 잔류 전류를 제거하는 것을 특징으로 하는 픽셀 장치.

청구항 10

다중 셀 구조를 가지며, 입사광의 광전 변환에 따른 전류에서 배경광 전류(I_{BGL}) 및 잔류 전류를 제거하여 픽셀 전압을 출력하는 복수의 픽셀 장치를 포함하는 픽셀 어레이를 이용하여 이미지를 구성하는 이미지 센서.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 픽셀 어레이에 포함된 픽셀 장치 각각은,

입사광의 광전 변환에 따른 전하를 생성하는 포토 다이오드;

상기 생성된 전하에 따른 전류를 증폭하는 증폭 회로;

상기 증폭 회로의 출력 전압을 기반으로 상기 전류에 포함된 배경광 전류(I_{BGL})를 제거하는 오프셋 제거 회로; 및

상기 증폭 회로와 연결되어 잔류 전류를 제거하기 위한 초퍼 회로를 포함하는 것을 특징으로 하는 이미지 센서.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 배경광 제거를 위한 픽셀 장치 및 픽셀 장치를 이용한 이미지 센서에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 발명의 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

[0003] ToF(Time-of-Flight) 이미지 센서는 제스처 인식, 모션 제어 및 사용자 인터페이스와 같은 소비자 애플리케이션에 대한 요구가 증가하고 있다. 또한, ToF 이미지 센서는 도 1에 도시된 바와 같이, 감시 시스템, 라이다 시스템, 로봇 시스템과 같이 다양한 분야에 대한 요구가 증가하고 있다.

[0004] 그러나, ToF 이미지 센서는 강한 태양광 아래에서 쉽게 포화 상태가 되므로, 야외 애플리케이션을 위한 배경광(BGL: Back Ground Light)을 제거하는 것은 필수적이다.

[0005] 도 2a 내지 도 2d에 도시된 바와 같이, 일반적인 타임 게이트 픽셀을 이용하여 배경광 제거를 위한 이미지 센서에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 높은 변조 주파수(> 20MHz)와 높은 배경광 제거(> 150klx)를 동시에 달성할 수 있는 기술은 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 픽셀 내에 오프셋 제거 회로 및 초퍼 회로를 추가하여 배경광에 의해 발생하는 배경광 노이즈 전류 및 잔여 전류를 제거하는 배경광 제거를 위한 장치 및 그를 이용한 이미지 센서를 제공하는 데 주된 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 픽셀 장치는, 입사광의 광전 변환에 따른 전하를 생성하는 포토 다이오드; 상기 생성된 전하에 따른 전류를 증폭하는 증폭 회로; 및 상기 증폭 회로의 출력 전압을 기반으로 상기 전류에 포함된 배경광 전류(I_{BGL})를 제거하는 오프셋 제거 회로를 포함할 수 있다.

[0008] 또한, 본 발명의 다른 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 이미지 센서는, 다중 셀 구조를 가지며, 입사광의 광전 변환에 따른 전류에서 배경광 전류 및 잔류 전류를 제거하여 픽셀 전압을 출력하는 복수의 픽셀 장치를 포함하는 픽셀 어레이를 이용하여 이미지를 구성할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 픽셀 내에서 오프셋 제거 회로 및 초퍼 회로를 이용하여 자동 영점 조정과 잔여 전류 제거를 수행하여 배경광을 제거함으로써, 배경광에 의해 노이즈 제거량을 현저히 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

[0010] 또한, 본 발명은 높은 변조 주파수(20MHz 이상)와 높은 배경광 제거(150klx 이상)를 동시에 만족하는 배경광 제거 기능을 수행하는 이미지 센서를 제공할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0011] 도 1은 일반적인 ToF 이미지 센서의 적용 분야를 나타낸 도면이다.

도 2a 내지 도 2d는 일반적인 ToF 이미지 센서의 동작 방식을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 소자의 단면 및 게인 변조 동작을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 장치에 대한 회로 구조를 나타낸 도면이다.

도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 장치의 오프셋 제거 회로 및 초퍼 회로의 동작을 간략히 설

명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 위한 픽셀 장치의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 8a 내지 도 8g는 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 위한 픽셀 장치의 동작을 단계별로 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 통한 3D 이미지를 생성하기 위한 이미지 센서의 순차 프레임 처리를 설명하기 위한 예시도이다.

도 10a 및 도 10b는 본 발명의 실시예에 따른 센서 칩 및 테스트 환경을 나타낸 도면이다.

도 11a 및 도 11b는 본 발명의 실시예에 따른 소정의 변조 조건에서 측정된 거리 및 정확도를 나타낸 그래프이다.

도 12는 본 발명의 실시예에 따른 컬러 코딩된 3D 이미지 결과물을 나타낸 도면이다.

도 13은 본 발명의 실시예에 따른 배경광을 포함하는 3D 이미지 결과물을 나타낸 도면이다.

도 14는 본 발명의 실시예에 따른 움직이는 물체에 대한 모션 인공 결과물을 나타낸 도면이다.

도 15는 본 발명의 실시예에 따른 문자에 대한 3D 이미지의 결과물을 나타낸 도면이다.

도 16는 본 발명의 실시예에 따른 두 위상 계산법을 설명하기 위한 도면이다.

도 17은 본 발명의 실시예에 따른 성능 요약 및 종래기술과의 비교표를 나타낸 도면이다.

도 18a 및 도 18b는 본 발명의 실시예에 따른 자동 영점 조정과 초핑 제어를 적용한 이미지 센서의 적용 결과물을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0012] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 바람직한 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다. 이하에서는 도면들을 참조하여 본 발명에서 제안하는 배경광 제거를 위한 장치 및 그를 이용한 이미지 센서에 대해 자세하게 설명하기로 한다.
- [0013] 본 발명은 야외용 애플리케이션을 위한 ToF(Time-of-Flight) 이미지 센서에 관한 기술이며, ToF 이미지 센서는 높은 변조 주파수를 달성하는 게인(gain)이 변조된 APD(avalanche photodiode)를 사용하는 것으로 기재하고 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 이미지 센서는 픽셀 내 자동 영점 조정과 초핑 제어 동작을 조합하여 사용함으로써 최대 약 200klx 정도로 배경광 제거 기능을 향상시킬 수 있다.
- [0014] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 소자의 단면 및 게인 변조 동작을 나타낸 도면이다.
- [0015] 도 3을 참고하면, 이미지 센서에 사용되는 포토 다이오드는 APD(avalanche photodiode)일 수 있다. APD의 바이어스 전압이 변조된 광과 동기화되면, 게인은 위상 감지 출력 전류를 제공하는 변의 영향을 받는다. 여기서, 저잡음 APD는 p+ / n-well 접합보다 우수한 감도를 갖는 p-well / Deep N-well 접합으로 구현될 수 있다. 초기 불량은 p 기판 가드링을 사용하여 피할 수 있다.
- [0016] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 이미지 센서를 개략적으로 나타낸 블록 구성도이다.
- [0017] 본 실시예에 따른 이미지 센서(10)는 FPGA(100), 픽셀 제어부(200), 로우 디코더(300), 포토 다이오드 모듈레이터(400), 픽셀 어레이(500), 램프 생성기(600) 및 아날로그-디지털 변환기(700)를 포함한다. 도 4의 이미지 센서(10)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 4에 도시된 모든 블록이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 이미지 센서(10)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다.
- [0018] 도 4의 이미지 센서(10)는 64 × 64 픽셀 어레이, 컬럼-병렬 단일 기울기 아날로그-디지털 변환기(column-parallel single-slope ADC) 및 제어 로직으로 구성될 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0019] 이미지 센서(10)의 관독 속도를 향상시키기 위하여, 4 개의 픽셀(510)이 하나의 열에 배치되고 한 번에 4 개의

행을 관독한다. 각각의 픽셀(510)에서 포토 다이오드의 캐소드는 적분 커패시터(C_{INT})가 있는 트랜스임피던스 증폭기(TIA)에 연결되고, 트랜스임피던스 증폭기(TIA)의 출력은 PMOS 소스 팔로워(PMOS source follower) 및 선택 스위치에 의해 관독된다.

- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 이미지 센서(10)는, 픽셀 제어부(200), 로우 디코더(300), 픽셀 어레이(500), 및 리드아웃 처리부(600, 700)를 포함한다.
- [0021] 픽셀 제어부(200) 및 로우 디코더(300)는 픽셀 어레이(500) 내에 구비된 단위 픽셀(510)들 중 로우 디코더(300)에 의해 선택된 단위 픽셀들을 로우 드라이버가 구동한다.
- [0022] 그리고 픽셀 어레이(500)는 포토 다이오드를 이용하여 입사광을 감지하고, 감지된 입사광에 대응되는 픽셀 신호(픽셀 출력신호)를 광전 변환을 통해 발생한다. 이때, 픽셀 어레이(500) 내에 구비된 단위 픽셀(510)들 중 로우 디코더에 의해 선택되어 로우 드라이버에 의해 구동된 단위 픽셀이 픽셀 신호를 출력한다. 이렇게 출력되는 픽셀 신호는 전기적 신호인 아날로그 픽셀 신호로서, 리셋 전압과 신호 전압을 포함한다. 그리고 아날로그-디지털 변환기(700)는 픽셀 어레이(500)에서 출력된 픽셀 신호를 리드아웃하여 리드아웃 데이터를 출력한다.
- [0023] 이미지 센서(10)에서, 이미지 센서 및 픽셀 어레이(500)의 동작을 제어하기 위한 FPGA(100), 포토 다이오드 모듈레이터(400) 등의 구성은 일반적인 기술에 해당하므로 그 자세한 설명은 생략하도록 한다.
- [0024] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 장치에 대한 회로 구조를 나타낸 도면이다.
- [0025] 본 실시예에 따른 픽셀 장치(510)는 포토 다이오드(512), 증폭 회로(513), 오프셋 제거 회로(514) 및 초과 회로(516)를 포함한다. 도 5의 픽셀 장치(510)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 5에 도시된 모든 블록이 필수 구성 요소는 아니며, 다른 실시예에서 픽셀 장치(510)에 포함된 일부 블록이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다.
- [0026] 포토 다이오드(512)는 입사광의 광전 변환에 따른 전하를 생성한다. 여기서, 포토 다이오드(512)는 APD(avalanche photodiode)일 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0027] 증폭 회로(513)는 포토 다이오드(512)에서 생성된 전하에 따라 증폭된 전류(I_{INT})를 출력하는 동작을 수행한다.
- [0028] 증폭 회로(513)는 증폭기, 적분 커패시터(C_{INT}) 및 리셋 스위치(RST)를 포함한다. 증폭 회로(513)에서, 증폭기의 입력은 포토 다이오드(512)의 캐소드와 연결되고, 증폭기의 출력은 적분 커패시터(C_{INT}) 및 제1 스위치(AZ)와 연결된다.
- [0029] 오프셋 제거 회로(514)는 증폭 회로(513)의 출력 전압을 기반으로 증폭 전류 전류(I_{INT})에 포함된 배경광 전류(I_{BGL})를 제거한다.
- [0030] 포토 다이오드(512)의 캐소드는 적분 커패시터(C_{INT})를 포함하는 증폭 회로(513) 및 오프셋 제거 회로(514)와 연결된다. 오프셋 제거 회로(514)는 오토 제로잉 제어신호(Φ_{AZ})에 의해 동작하는 제1 스위치(AZ), 오토 제로잉 전압(V_{AZ})을 저장하는 커패시터(C_{AZ}) 및 피드백 전류(I_{AZ})를 피드백하는 G_m 셀을 포함한다. 여기서, G_m 셀은, 증폭 회로의 출력 전압(V_{OUT})을 인가받아 파생하는 트랜지스터(M_F) 및 트랜지스터(M_F)와 연결된 전류 미러 회로를 포함한다.
- [0031] 오프셋 제거 회로(514)는 배경광 전류(I_{BGL})와 서로 상쇄되도록 전류 미러 회로를 통해 피드백 전류(I_{AZ})를 출력한다.
- [0032] 픽셀 장치(510)에서, 제1 스위치(AZ)가 턴 온되고, 리셋 스위치(RST)가 턴 오프 상태로 제어되면, 오프셋 제거 회로(514)는 포토 다이오드(512)로 피드백 전류(I_{AZ})를 공급한다.
- [0033] 오프셋 제거 회로(514)는 오토 제로잉 전압(V_{AZ})이 증가됨에 따라 피드백 전류(I_{AZ})가 증가되도록 한다. 이에, 픽셀 장치(510)는 오프셋 제거 회로(514)에서 공급되는 피드백 전류(I_{AZ})와 증폭 회로(513)에서 공급되는 배경광 전류(I_{BGL})가 서로 상쇄되도록 오토 제로잉 동작을 수행한다.
- [0034] 픽셀 장치(510)는 제1 스위치(AZ)가 턴 오프되고, 리셋 스위치(RST)가 턴 온 상태로 제어되면, 증폭 회로(513)의 출력을 기준 전압(V_{REF})으로 리셋한다. 픽셀 장치(510)는 출력 전압을 기준 전압(V_{REF})으로 리셋한 이후 초평

제어 동작을 수행한다.

- [0035] 초퍼 회로(516)는 증폭 회로(513)와 연결되어 잔류 전류를 제거하는 동작을 수행한다.
- [0036] 초퍼 회로(516)는 적분 커패시터(C_{INT})와 증폭 회로(513)의 증폭기 사이에 위치하는 초퍼 스위치 및 초퍼바 스위치를 포함한다. 여기서, 초퍼 스위치 및 초퍼바 스위치 각각은 두 개의 스위치로 구성된다. 초퍼 스위치는 초퍼 스위칭 제어신호(Φ_{CHOP})에 의해 동작하며, 초퍼바 스위치는 초퍼바 스위칭 제어신호($\overline{\Phi_{CHOP}}$)에 의해 동작한다.
- [0037] 초퍼 회로(516)의 초퍼 스위치는 적분 커패시터(C_{INT})의 입력단 및 출력단 양측에 설치되며, 초퍼바 스위치는 적분 커패시터(C_{INT})의 입력단 및 출력단 양측에 설치된다.
- [0038] 초퍼 스위치 및 초퍼바 스위치는 서로 병렬로 연결되며, 초퍼 스위치 및 초퍼바 스위치 각각은 서로 다른 위상에서 동작한다.
- [0039] 초퍼 회로(516)는 제1 스위치(AZ)가 턴 오프 상태에서, 동위상(In-phase)에서 초퍼 스위치가 동작하고, 역위상(Out-phase)에서 초퍼바 스위치가 동작하여 배경광 전류(I_{BGL})의 제거 이후 남아 있는 잔류 전류를 제거한다.
- [0040] 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예에 따른 픽셀 장치의 오프셋 제거 회로 및 초퍼 회로의 동작을 간략히 설명하기 위한 도면이다.
- [0041] 본 발명에 따른 배경광 제거 방식은 도 6a의 자동 영점 조정(Auto-Zeroing) 및 도 6b의 초핑(Chopping) 방식을 결합하여 배경광을 제거할 수 있다. 도 6c는 차동 신호(Differential signal)에서 배경광을 제거하는 동작을 나타낸다.
- [0042] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 위한 픽셀 장치의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0043] 포토 다이오드(512)의 출력 전류는 배경광 전류(I_{BGL})과 포토 다이오드(512)의 게인과 위상 지연 α 로 변조된 입사광에 의해 결정되는 상관 전류 I_L 로 구성된다.
- [0044] 본 발명에서는 I_L 에만 원하는 위상 정보가 포함되므로 배경광 전류(I_{BGL})를 제거한다. 본 발명에서는 배경광 전류(I_{BGL})을 제거하기 위하여 픽셀에서 자동 영점 조정과 초핑이 모두 사용된다.
- [0045] 도 7의 좌측 블록은 자동 영점 조정 동작에 대한 회로 구성을 나타내고, 도 7의 중앙 블록은 초핑 제어 동작에 대한 회로 구성을 나타낸다. 또한, 도 7의 우측 블록은 자동 영점 조정 동작 및 초핑 제어 동작에 대한 타이밍 다이어그램을 나타낸다.
- [0046] 도 8a 내지 도 8g는 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 위한 픽셀 장치의 동작을 단계별로 나타낸 도면이다.
- [0047] 도 8a 및 도 8b는 자동 영점 조정(Auto-Zeroing) 동작에 관한 도면이고, 도 8c는 증폭 회로의 출력은 기준 전압(V_{REF})으로 재설정하는 동작에 관한 도면이다. 또한, 도 8d 및 도 8g는 초핑(Chopping) 제어 동작에 관한 도면이다.
- [0048] 픽셀 장치(510)에서 자동 영점 조정을 수행하는 동안, 배경광 전류(I_{BGL})와 피드백 전류(I_{AZ})는 트랜지스터(M_F)를 통해 증폭기의 출력 전압에서 과생되고, 전류 미러를 통해 피드백되며, 서로 상쇄된다.
- [0049] 적분 커패시터(C_{INT} , 0.1pF)를 통한 밀러 보정 피드백 루프(Miller-compensated feedback loop)는 피드백 전류(I_{AZ})가 배경광 전류(I_{BGL})와 같아질 때까지 커패시터(C_{AZ})에 통합된 증폭기 출력을 구동한다. 커패시터(C_{AZ})의 크기(0.2pF)는 자동 영점 조정 스위치(제1 스위치(AZ))의 누설 전류 및 전하 주입을 줄이기 위해 선택되며, 무효 전류(nulling current)는 이후의 초핑 단계에서 발생한다.
- [0050] 배경광 전류(I_{BGL})가 제거 한계를 초과하면, 픽셀 장치(510)는 초핑에 의해 제거될 수 있는 잔류 오프셋 전류(residual offset current)가 남아 있게 된다.
- [0051] 픽셀 장치(510)는 초핑 제어 동작 전에, 증폭기 출력은 기준 전압(V_{REF})로 재설정된다.

- [0052] 초핑 동작은 동위상 및 역위상($\Phi_{\text{CHOP}} = 0$ 또는 1) 두 위상에서 수행된다. 각 위상마다 동일한 주기가 있기 때문에 CINT에서 잔류 오프셋 전류가 사라진다. 역위상에서 V_{APD} 와 광 신호 사이의 위상차는 π 이고, I_L 은 V_{APD} 와 반사 신호 사이의 상관된 위상 지연 α 를 나타내며, I_L 의 위상 지연은 동위상에서 $(\pi - \alpha)$ 이다. CINT가 두 위상 사이를 이동하면, 증폭기의 출력 결과는 $-\alpha + (\pi - \alpha)$ 에 비례하며, 원하는 위상 정보를 나타낸다.
- [0053] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 배경광 제거를 통한 3D 이미지를 생성하기 위한 이미지 센서의 순차 프레임 처리를 설명하기 위한 예시도이다.
- [0054] 자동 영점 조정 및 초핑 모두에서 픽셀은 배경광에 의해 쉽게 포화되지 않는다. 도 9를 참조하면, 이미지 센서 (10)는 V_{APD} 와 광 신호 사이의 $\pi / 2$ 위상 시프트를 갖는 4 개의 순차 프레임을 처리함으로써, 3D 이미지를 재구성할 수 있다.
- [0055] 도 10a 및 도 10b는 본 발명의 실시예에 따른 센서 칩 및 테스트 환경을 나타낸 도면이다.
- [0056] 본 발명에 따른 ToF 이미지 센서는 64×64 APD 기반으로 구현되며, $0.11 \mu\text{m}$ CMOS로 제작되는 것으로 가정한다. 64×64 APD 기반 ToF 센서는 25MHz 변조에서 0.5 ~ 2 m, 1.56MHz 변조에서 2 ~ 20 m의 깊이 범위를 제공한다. 또한, 96 fps의 3D 프레임 속도에서 64×64 APD 기반 ToF 센서는 두 깊이 범위 모두에 대해 0.8 % 미만의 비선형성 및 3.4 % 미만의 정확도를 달성하는 것을 목표로 한다.
- [0057] Deep n-well이 있는 $0.11 \mu\text{m}$ 1P4M CMOS로 제작된 프로토타입 센서는 $3.1 \times 3 \text{mm}^2$ 의 코어 면적을 차지하고 픽셀 크기는 $32 \times 32 \mu\text{m}^2$ 이며 FF(fill-factor)는 21 %이다. 이와 같은 센서는 도 10a에 도시되어 있다.
- [0058] 도 10b를 참조하면, 3D 이미지는 방출각이 20° 인 고휘력 820nm LED 어레이와 시야가 17° 이고 조리개 넘버가 $F / 2.0$ 인 렌즈를 사용하여 획득한다. DC 바이어스 전압(-13V)을 갖는 0.5V 변조 신호가 APD의 양극에 인가되고 1V의 기준 전압이 TIA의 V_{REF} 에 인가된다.
- [0059] 도 11a 및 도 11b는 본 발명의 실시예에 따른 소정의 변조 조건에서 측정된 거리 및 정확도를 나타낸 그래프이다.
- [0060] 구체적으로, 도 11a 및 도 11b는 두 가지 변조 주파수 (25MHz / 1.56MHz)를 사용하여 96fps의 3D 프레임 속도에서 측정된 거리와 정확도를 나타낸다.
- [0061] 도 11a를 참조하면, 본 실시예에 따른 센서는 1.56MHz 변조에서 2 ~ 20m의 거리 범위를 커버한다. 2 ~ 20m의 거리 범위에서 0.75 %의 최대 비선형성은 달성되며 정확도는 2.8 % 이하로 유지된다.
- [0062] 도 11b를 참조하면, 본 실시예에 따른 센서는 25MHz 변조에서 0.5 ~ 2.1 m에서 최대 정밀 오차를 달성하고, 0.5 ~ 2m 범위에서 최대 비선형성은 0.8 %, 상대 정확도는 3.4 %이다.
- [0063] 도 12는 본 발명의 실시예에 따른 컬러 코딩된 3D 이미지 결과물을 나타낸 도면이다.
- [0064] 도 12는 96fps의 프레임 속도에서 컬러 코딩된 3D 이미지를 나타낸다. 또한, 도 12는 10fps의 프레임 속도에서 일시적 잡음을 줄이기 위한 평균 샘플 이미지를 보여준다.
- [0065] 도 13은 본 발명의 실시예에 따른 배경광을 포함하는 3D 이미지 결과물을 나타낸 도면이다.
- [0066] 도 13은 200k1x 플래시를 사용하여 측정된 배경광을 포함하는 3D 이미지를 나타낸다. 배경광의 제거가 없으면 픽셀이 쉽게 포화되고, 3D 이미지에 큰 구멍이 생기게 된다. 자동 영점 조정은 배경광을 제거하고, 오류 영역을 줄이지만, 3D 이미지에는 여전히 구멍이 존재한다. 반대로, 자동 영점 조정과 초핑을 모두 적용하면, 3D 이미지의 품질은 포화 없이 유지된다.
- [0067] 도 14는 본 발명의 실시예에 따른 움직이는 물체에 대한 모션 인공 결과물을 나타낸 도면이다. 도 14에서, 회전하는 블레이드의 모서리가 거리 오차를 유발한다. 24fps에서 50cm의 거리 오차가 측정되고, 이러한 오류는 96fps에서 2.5x 감소한다.
- [0068] 도 15는 본 발명의 실시예에 따른 문자에 대한 3D 이미지의 결과물을 나타낸 도면이고, 도 16는 본 발명의 실시예에 따른 두 위상 계산법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0069] 도 17은 본 발명의 실시예에 따른 성능 요약 및 종래기술과의 비교표를 나타낸 도면이다.

[0070] 본 발명의 센서 동작은 가장 높은 배경광 제거 용량을 달성한다. 종래의 APD 기반 ToF 센서와 비교하면, 본 발명의 센서 동작은 배경광 제거를 포함하여 선형성 및 정확도가 2 배 이상 향상된 것을 확인할 수 있다. 다른 PD 기반 ToF 센서와 비교하면, 본 발명의 센서 동작은 더 큰 픽셀 피치를 가지고 있지만 더 높은 프레임 속도에서 더 나은 선형성을 달성하는 것을 확인할 수 있다.

[0071] 도 18a 및 도 18b는 본 발명의 실시예에 따른 자동 영점 조정과 초핑 제어를 적용한 이미지 센서의 적용 결과물을 나타낸 도면이다.

[0072] 도 18a 및 도 18b는 본 실시예에 따른 기술을 적용하지 않은 결과물, 자동 영점 조정(Auto-Zeroing)만을 사용하여 배경광을 제거한 결과물 및 자동 영점 조정(Auto-Zeroing) 및 초핑(Chopping)을 조합하여 배경광을 제거한 결과물을 나타낸다.

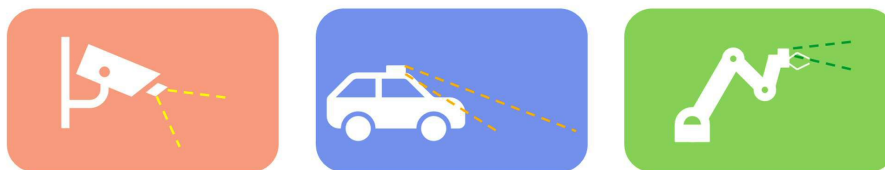
[0073] 이상의 설명은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명의 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0074] 10: 이미지 센서
100: FPGA 200: 픽셀 제어부
300: 로우 디코더 400: 포토 다이오드 모듈레이터
500: 픽셀 어레이 600: 램프 생성기
700: 아날로그-디지털 변환기
510: 픽셀 장치 512: 포토 다이오드
513: 증폭 회로 514: 오프셋 제거 회로
516: 초퍼 회로

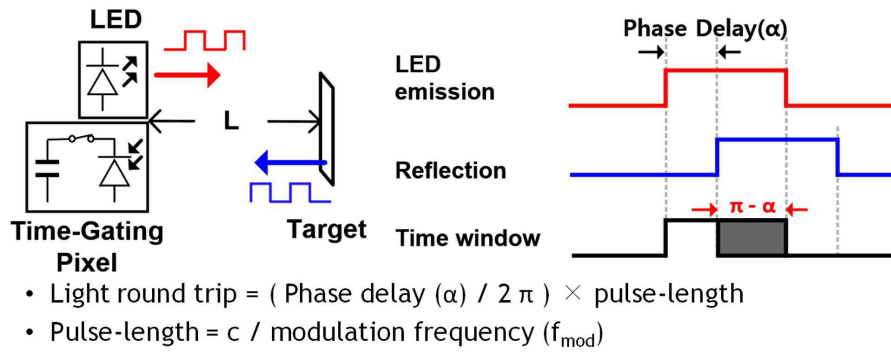
도면

도면1

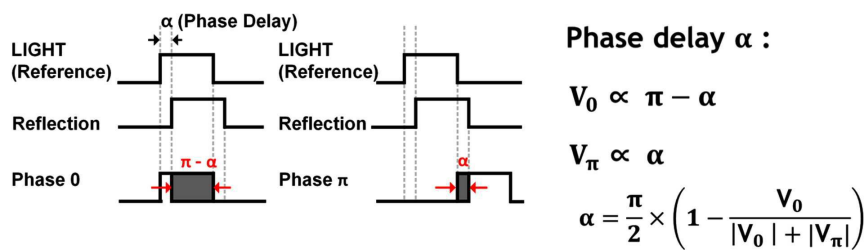


- In-direct Time-of-Flight (I-ToF) → widely used for 3-D imaging
 - Application : surveillance, LiDAR, robotic

도면2a

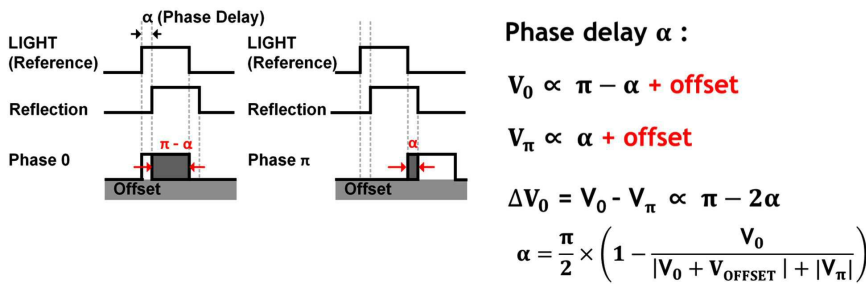


도면2b



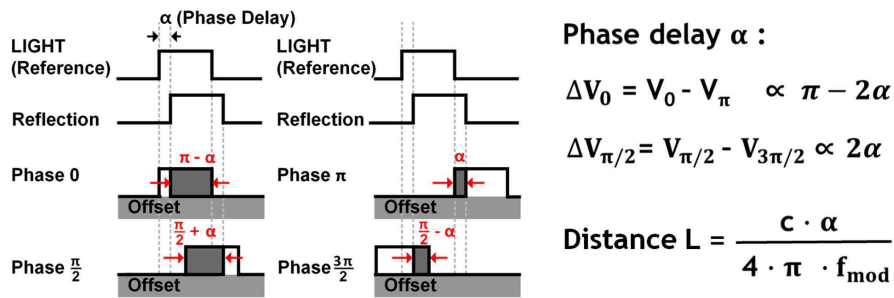
- Time gating pixel \rightarrow integrating reflected light during half-phase
- 2 orthogonal phase results \rightarrow calculating α

도면2c



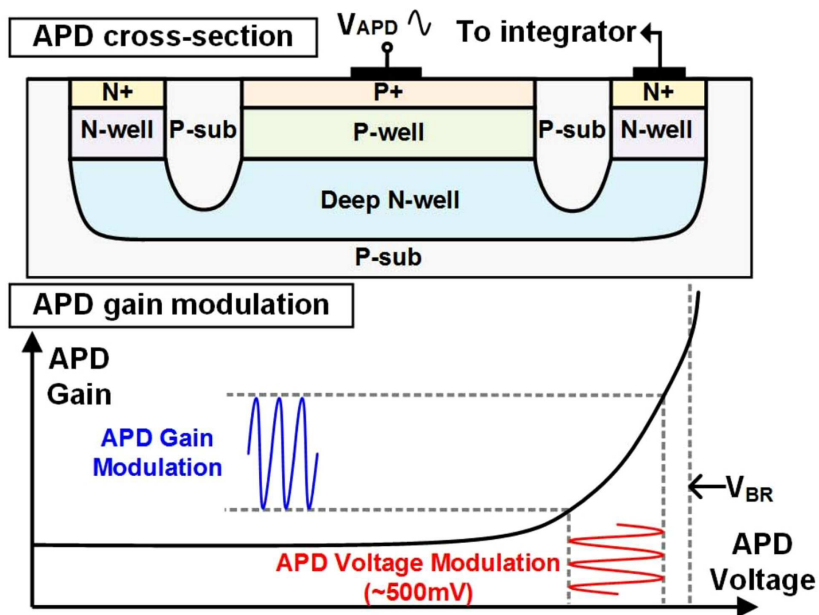
- With offset light \rightarrow error in phase calculation
 - Offset cancellation : subtract each orthogonal phase
 - Another offset-free result is needed for calculating phase delay

도면2d

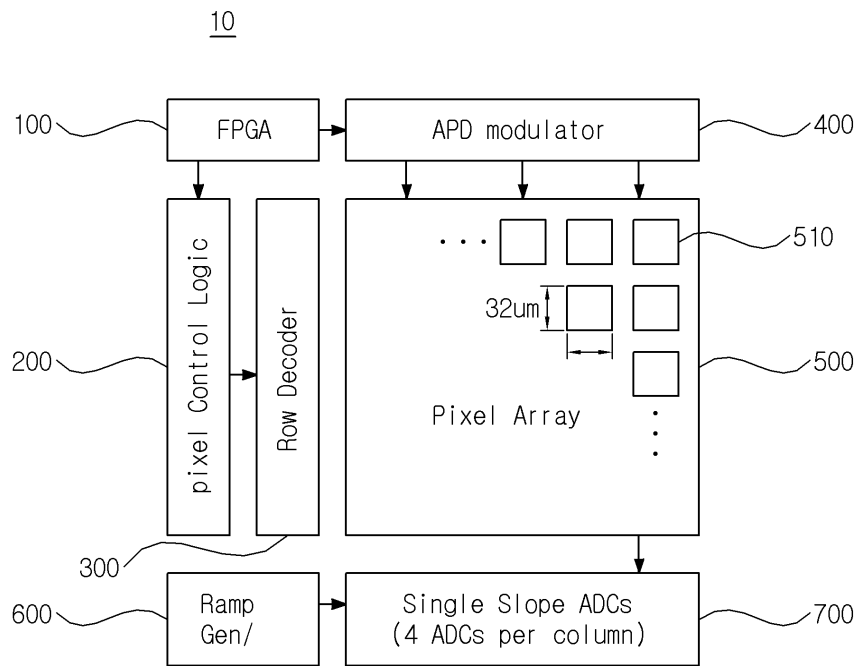


- Distance : inversely proportional to f_{mod}
 - Lower $f_{\text{mod}} \rightarrow$ larger depth uncertainty ☹
 - Time-gating pixel : lock-in pixel, Avalanche Photo Diode (APD)

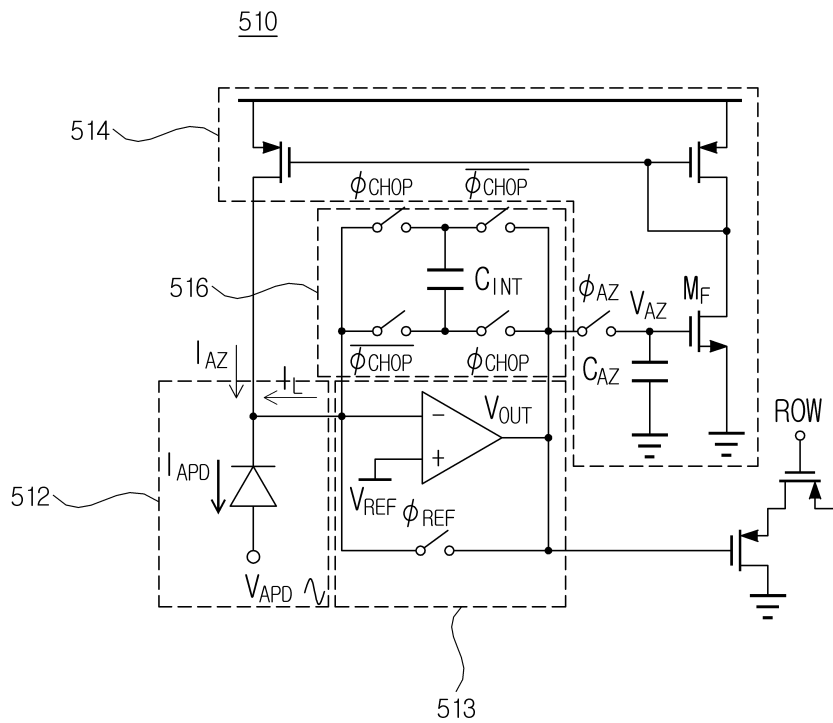
도면3



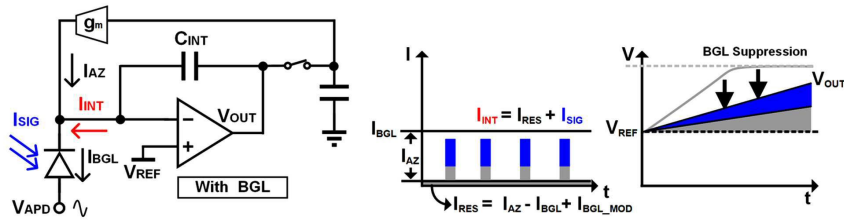
도면4



도면5

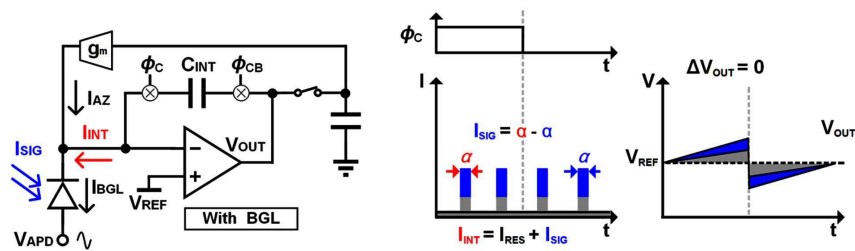


도면6a



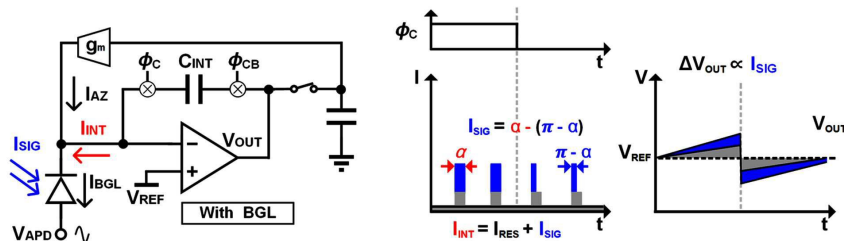
- Auto-zeroing $\rightarrow I_{AZ}$ from $g_m \approx I_{BGL}$
 - Preventing saturation \rightarrow SNR enhancement 😊

도면6b



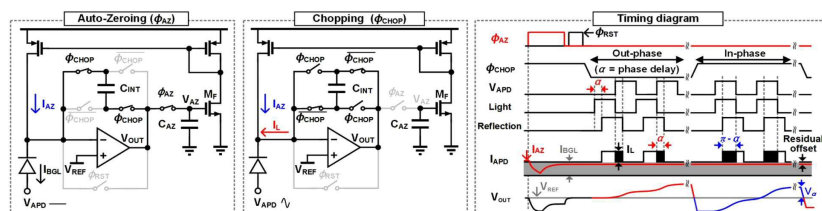
- BGL gain modulated error \rightarrow removed by chopper 😊
- Signal current \rightarrow also removed by chopper 😞
 - \rightarrow Signal difference needed at each chopping phase

도면6c

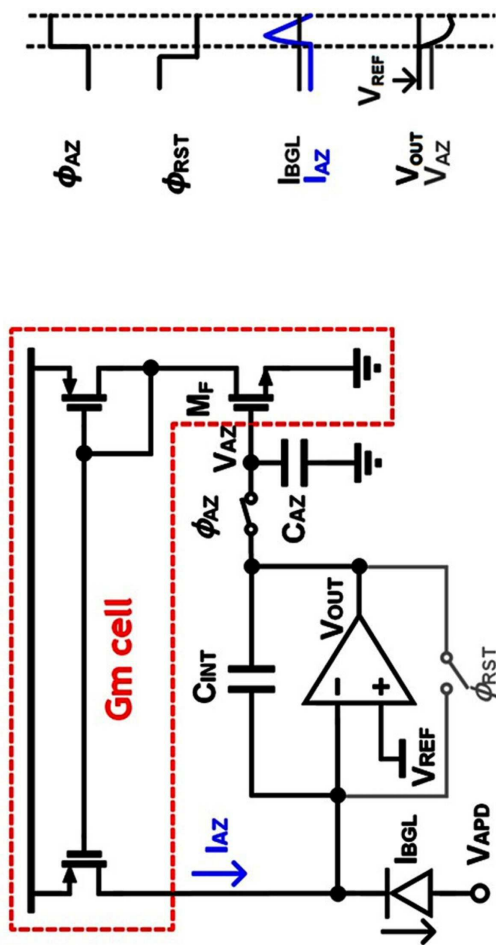


- Differential signal \rightarrow changing phase of signal current
 - Phase sensitive current remain 😊
- Residual offset \rightarrow completely removed 😊

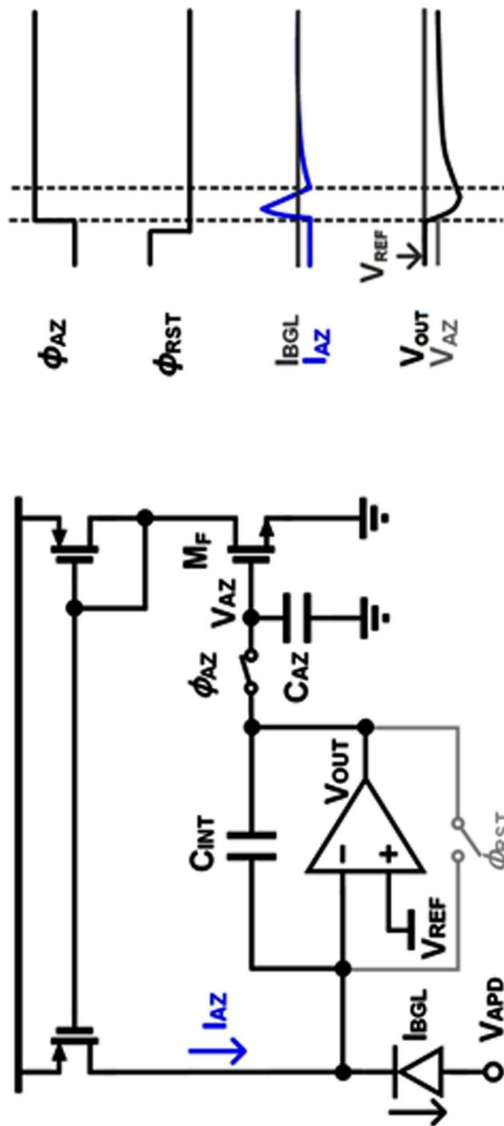
도면7



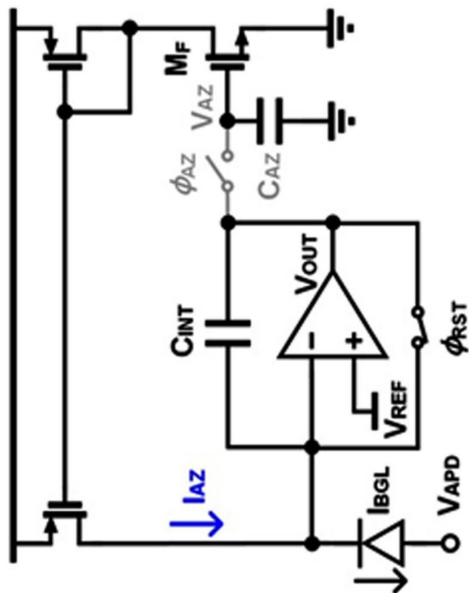
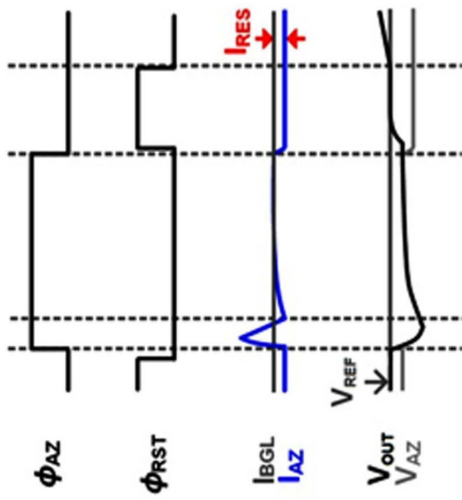
도면 8a



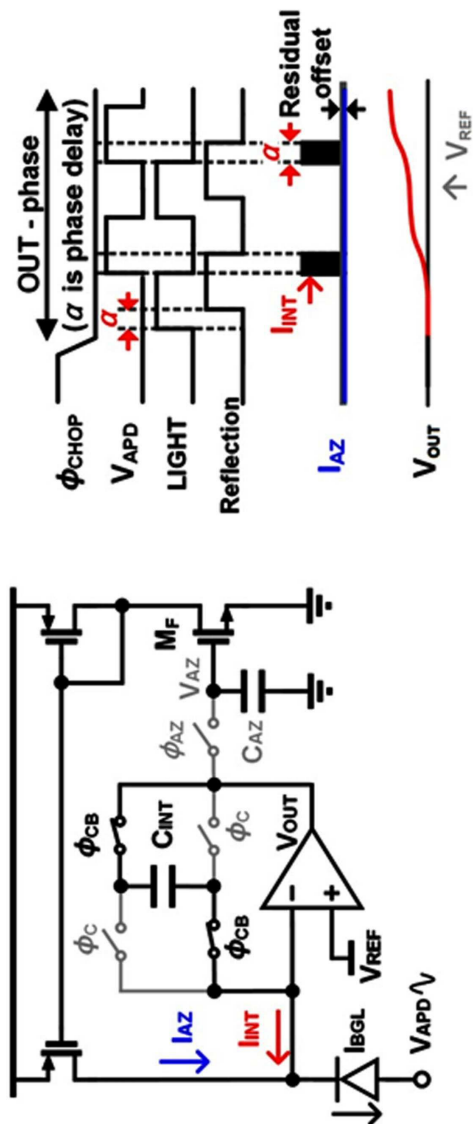
도면8b



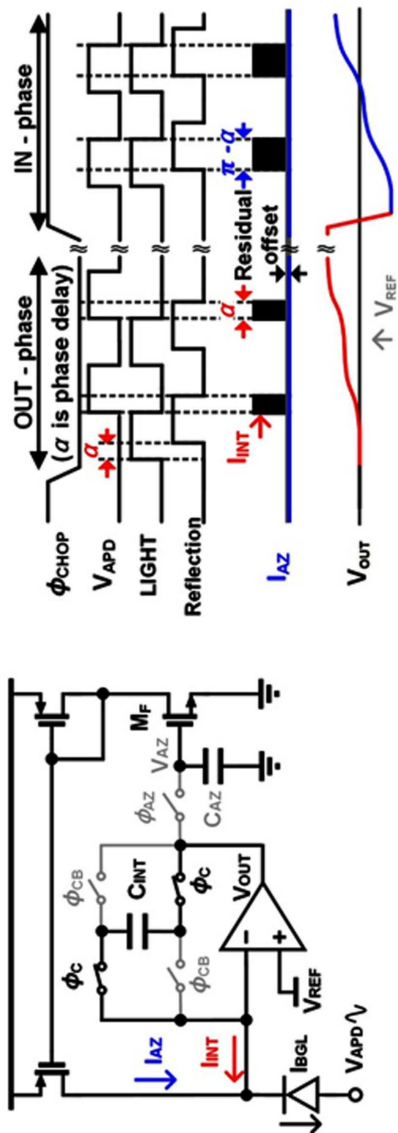
도면 8c



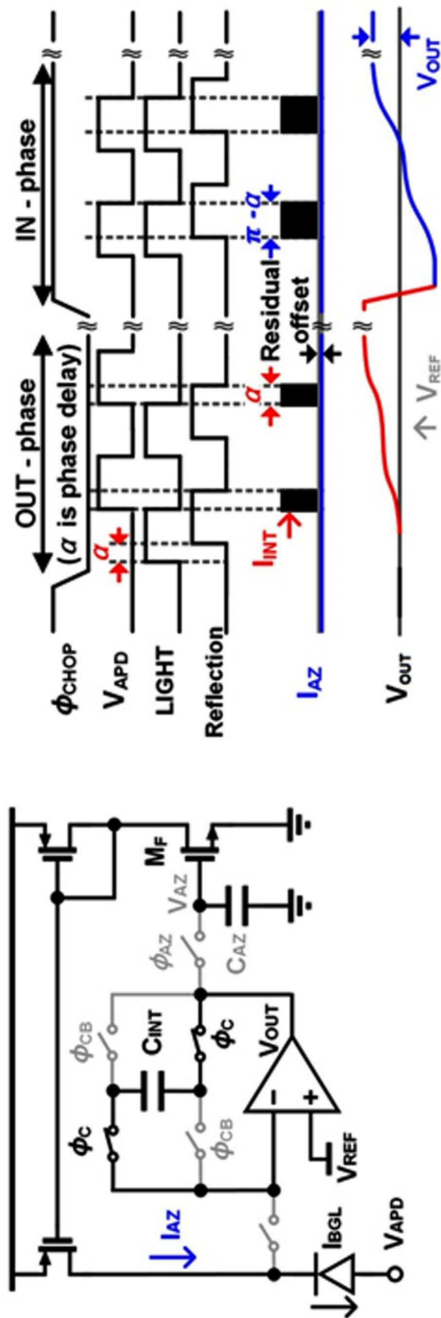
도면8d



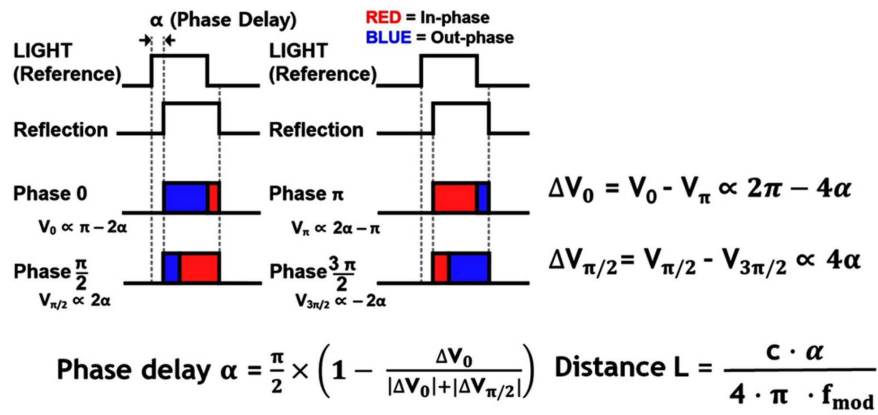
도면8e



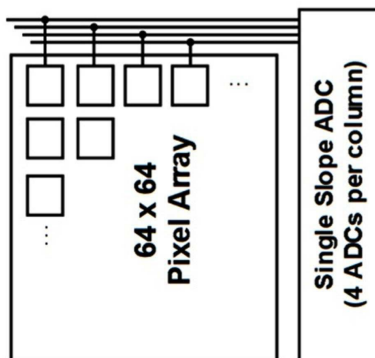
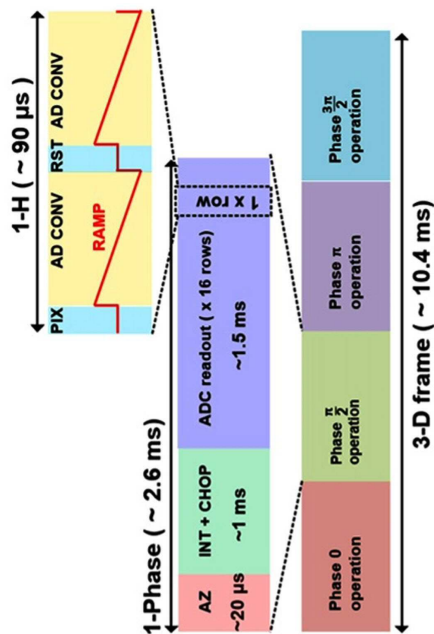
도면8f



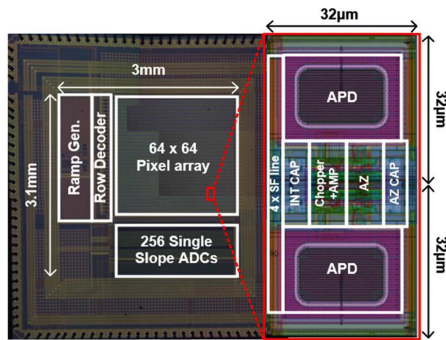
도면8g



도면9

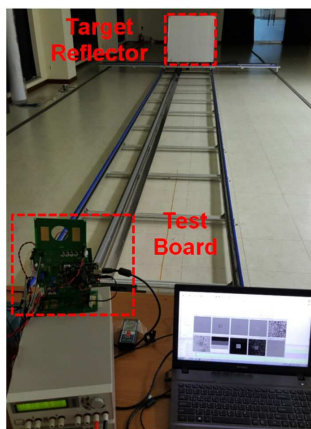


도면10a



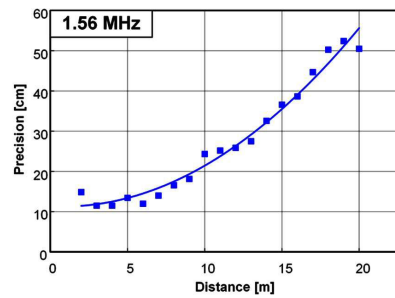
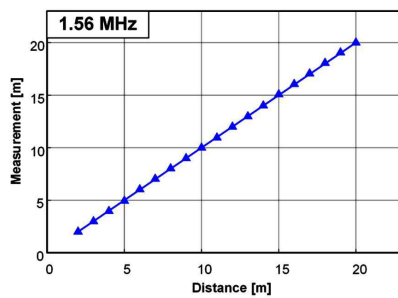
- 110nm CMOS process (1P4M)
- Core area : $3.1 \times 3 \text{ mm}^2$
- 64 x 64 APD Pixel Array
 - 32 μm Pixel pitch
 - Pixel fill factor: 21%

도면10b



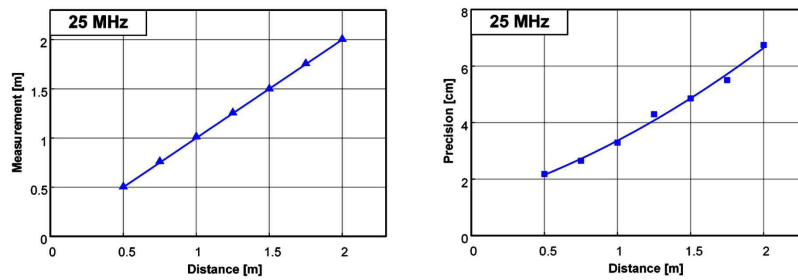
- LED Power consumption : 10.8W (@ 3-D 96 fps)
- Lens FoV : 17°
 - Aperture number : F/2.0
- 25MHz maximum frequency
 - Limited on FPGA
- Motorized rail : maximum 20m

도면11a



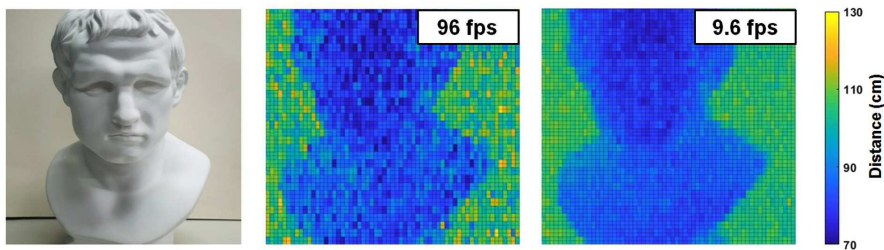
- 1.56 MHz APD modulation
 - Distance range → 2 m to 20 m with 1m interval
 - Non-linearity error : 0.75 %, Relative precision error : 2.8 % at 20 m

도면11b



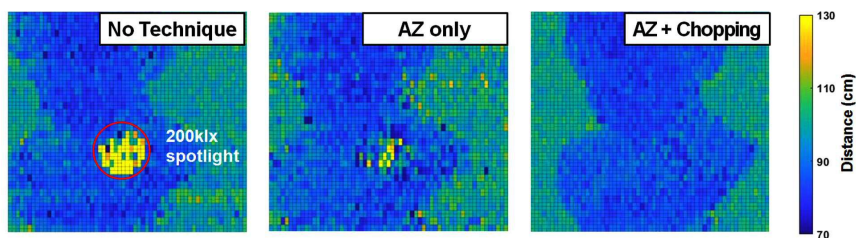
- 25 MHz APD modulation
 - Distance range → 0.5 m to 2 m with 25 cm interval
 - Non-linearity error : 0.8 %, Relative precision error : 3.4 % at 2 m

도면12



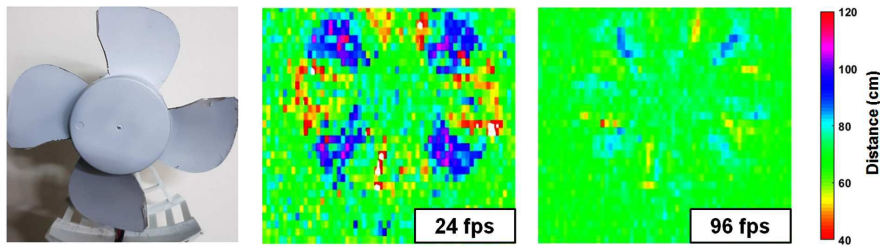
- 25 MHz APD modulation, No BGL
 - 10 frames accumulation → improve precision of the sensor x 3 times

도면13



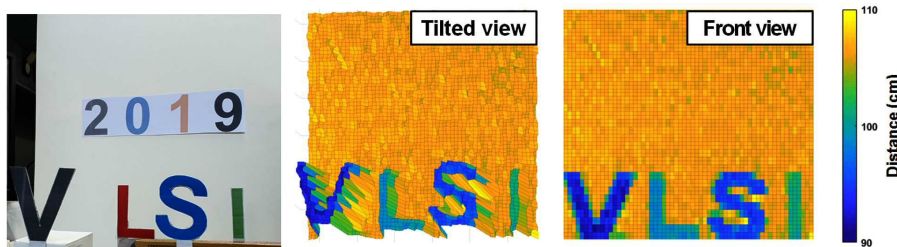
- 25 MHz APD modulation, 200klx BGL, 10 frame accumulation
 - Without any technique & AZ technique → error in 3-D image ☹️
 - Applying both techniques → 3-D image is maintained without any saturation 😊

도면14



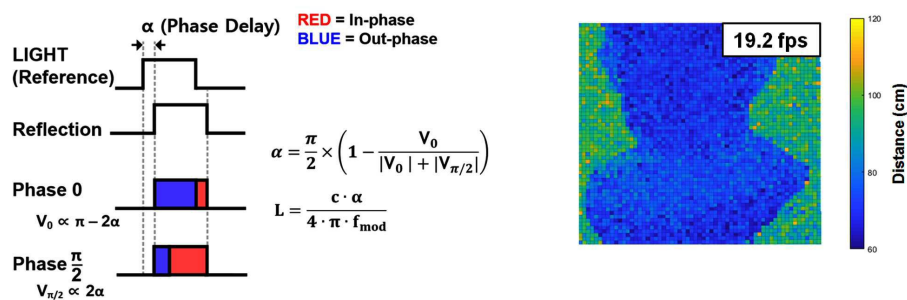
- 25 MHz APD modulation frequency
 - Edge of rotating blade causes distance error
 - Distance error : 50cm (@ 24 fps), 20cm (@ 96 fps)

도면15



- 3-D image of the letters with different reflection coefficients
 - 2019 : equal distance, VLSI : different distance
 - Different reflection coefficients → not affecting 3-D image

도면16

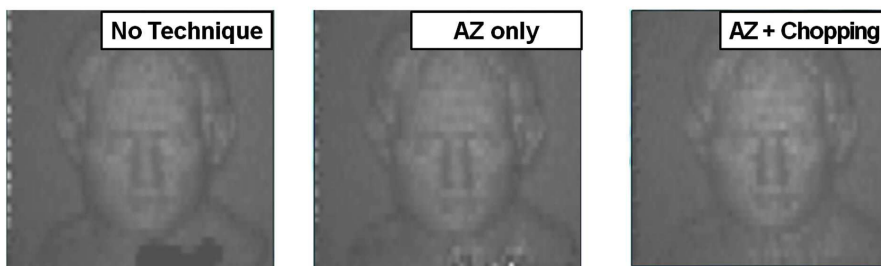


- Distance calculation with Phase 0 and Phase $\pi/2$
 - Frame rate x 2 😊

도면17

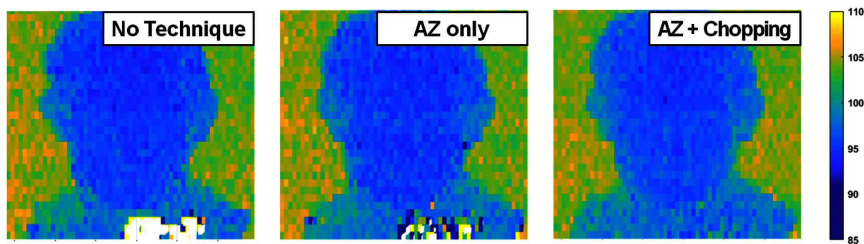
	This work		ISSCC 2013 [1]	JSSC 2018 [2]	JSSC 2014 [3]	JSSC 2010 [4]	JSSC 2011 [5]
Technology [μm]	0.11		0.35	0.18	0.11 CIS	0.6 Bi-CMOS	0.13
Photodiode	APD		APD	Standard PD	Pinned PD	Standard PD	Standard PD
BGL suppression Technique	In-pixel AZ and chopping		N/A	In-pixel voltage subtraction	Column level suppression	In-pixel charge subtraction	In-pixel CDS
BGL-suppression [ktx]	200		N/A	180	100	150	20
Pixel pitch [μm]	32		30	20	5.9	125	29.1
Frame rate [fps]	96		200	26	10	16	27.8
Fill Factor [%]	21		25	33	24	66	34
Resolution	64 x 64		64 x 64	64 x 64	336 x 256	16 x 16	160 x 120
Range [m]	0.5 - 2	2 - 20	0.5 - 4.75	0.75 - 7.5	0.75 - 4	0.1 - 3.2	1 - 4.5
Modulation Frequency [MHz]	25	1.56	25	2.5	12.5	10	N/A
Precision [%]	3.4	2.8	7	4.2	4.5	1.3	11
Non-linearity [%]	0.8	0.75	1.7	1.1	1	3.3	N/A

도면18a



- Intensity difference results between phase 4 and phase 2
 - Intensity results \rightarrow similar without BGL
 - First 2 results, BGL causes intensity error
 - AZ + Chopping techniques \rightarrow reduce intensity error

도면18b



- 3-D results of BGL cancellation with each technique
 - Without any technique \rightarrow white hole in 3-D image
 - AZ technique \rightarrow reduces error area
 - Applying both techniques \rightarrow 3-D image is maintained without any saturation 😊