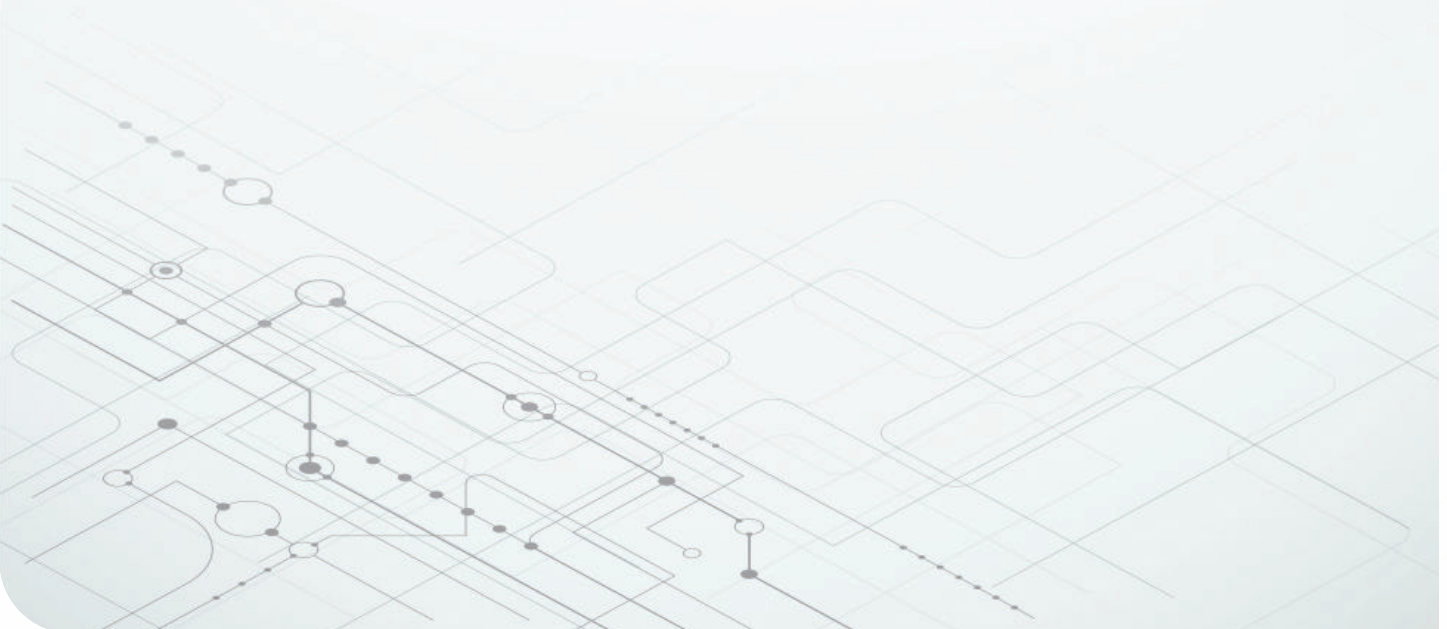


차량용 LIDAR 소개



Anthony Vaughan
High-Speed Amplifiers

Samir Cherian
High-Speed Amplifiers



LIDAR는 빛을 감지하고 범위를 가지고 있지만 ToF(비행 시간), 레이저 스캔 또는 레이저 레이더라고도 부르는 LIDAR는 물체를 감지하고 물체의 거리를 매핑하는 감지 방법입니다. 이 기술은 광학 펄스로 대상을 비추고 반사된 리턴 신호의 특성을 측정하여 작동합니다. 광학 펄스의 폭은 몇 나노초에서 몇 마이크로초까지 다양합니다.

그림 1에서 특정 패턴으로 빛을 비추고 수신 측에서 수집된 반사를 기반으로 정보를 추출하는 LIDAR의 기본 원리를 보여줍니다. 펄스 전력, 왕복 시간, 위상 변이 및 펄스 폭은 광 신호에서 정보를 추출하는 데 사용되는 일반적인 매개 변수입니다.

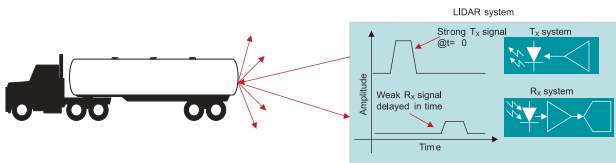


그림 1. 펄스 ToF 기반 LIDAR 시스템.

왜 빛을 선택하나요? 레이더, 초음파 센서 또는 카메라와 같은 다른 기존 기술과 LIDAR를 차별화하는 요인은 무엇인가요? LIDAR와 관련하여 과대 광고를 하게 하는 원인은 무엇인가요? 이 백서에서는 자율 주행의 중요한 센서가 될 장거리 LIDAR의 맥락에서 이러한 질문을 다룹니다. LIDAR는 자율 주행 차량 외에도 3D 항공 및 지리적 매핑, 공장의 안전 시스템, 스마트 정보 및 가스 분석 등의 애플리케이션을 보유하고 있습니다.

자율 주행 차량의 탐지 및 이미징

제조업체들은 다양한 고급 제어 및 감지 기능을 갖춘 현대식 자동차를 갖추고 있습니다. 충돌 경고 및 회피 시스템, 사각지대 모니터, 차선 유지 보조, 차선 이탈 경고 및 적응형 자동 주행 속도 유지 장치는 운전자를 지원하고 특정 운전 작업을 자동화하여 운전을 보다 안전하고 편하게 하기 위해 확립된 기능입니다.

LIDAR, 레이더, 초음파 센서 및 카메라는 각각 고유한 장점과 단점을 가지고 있습니다. 고도로 또는 완전 자율 주행 차량은 일반적으로 여러 센서 기술을 사용하여 다양한 날씨 및 조명 조건 하에서 차량 주변 환경에 대한 정확한 장거리 및 단거리 지도를 만듭니다. 상호 보완하는 기술 외에도 중복성을 높이고 안전을 개선하기 위해 충분한 중복성

을 갖는 것도 중요합니다. 센서 융합은 여러 센서 기술을 사용하여 차량 주변 환경에 대한 정확하고 신뢰할 수 있는 맵을 생성한다는 개념입니다.

초음파는 몇 미터 이상의 거리에서는 강한 감쇠를 겪습니다. 따라서 초음파 센서는 주로 단거리 물체 감지에 사용됩니다.

카메라는 비용 효율적이고 쉽게 사용할 수 있는 센서이지만 유용한 정보를 추출하기 위해서는 상당한 처리가 필요하며 주변 조명 조건에 크게 의존합니다. 카메라는 "색을 볼 수 있는" 유일한 기술이라는 점에서 독특합니다. 차선 이탈 방지 기능이 있는 자동차는 카메라를 사용하여 이러한 업적을 달성합니다.

LIDAR와 화상 레이더는 주변 환경을 매핑할 뿐만 아니라 물체 속도를 측정할 수 있는 광범위한 공통적이고 보완적인 기능을 공유합니다. 두 가지 기술을 여러 범주에서 비교해 보겠습니다.

- **범위.** LIDAR와 화상 레이더 시스템은 수 미터에서 200m 이상까지 다양한 거리에 있는 물체를 감지할 수 있습니다. 화상 LIDAR는 가까운 거리에서 물체를 감지하는 데 어려움을 겪습니다. 레이더는 1미터 미만에서 200m 이상까지 물체를 감지할 수 있지만, 그 범위는 시스템 유형(단거리, 중거리 또는 장거리 레이더)에 따라 달라집니다.
- **공간 해상도.** LIDAR가 진정으로 빛을 발하는 부분입니다. 레이저 광선을 시준하는 능력과 짧은 905~1,550nm 파장 때문에 LIDAR로 약 0.1도의 적외선(IR) 광선 공간 해상도가 가능합니다. 이 해상도를 사용하면 상당한 백엔드 처리 없이도 장면의 물체를 고해상도의 3D로 특성화할 수 있습니다. 반면, 레이더의 파장(77GHz의 경우 4mm)은 먼 거리의 작은 물체를 감지하기 어렵습니다.
- **시야각(FOV).** 솔리드 스테이트 LIDAR와 레이더 모두 탁월한 수평 FOV(방위각)를 가지고 있는 반면, 360도 회전하는 기계식 LIDAR 시스템은 모든 첨단 운전자 보조 시스템(ADAS) 기술에서 가장 넓은 FOV를 가집니다. 역사적으로 LIDAR는 수직 FOV(고도)가 레이더보다 우수합니다. 또한 LIDAR는 각도 해상도(방위각과 고도 모두)가 레이더보다 높으며, 이는 더 나은 물체 분류를 위해 필요한 주요 기능 중 하나입니다.

- **날씨 조건.** 레이더 시스템의 가장 큰 장점 중 하나는 비, 안개, 눈 등의 기상 조건에서 신뢰성입니다. LIDAR의 성능은 일반적으로 이러한 기상 조건에서 저하됩니다. 1,550nm의 IR 파장을 사용하면 LIDAR가 악천후 조건에서 더 나은 성능을 발휘할 수 있습니다.
- **주변광.** LIDAR와 카메라는 모두 주변광 조건에 취약합니다. 하지만 야간에 LIDAR와 화상 레이더 시스템은 자체 조명을 제공하기 때문에 매우 높은 성능을 발휘합니다. 레이더 및 변조 LIDAR 기술은 다른 센서의 간섭에 영향을 받지 않습니다.
- **비용 및 크기.** 레이더 시스템은 최근 몇 년 동안 주류로 사용되어 매우 작고 경제적으로 되었습니다. LIDAR는 인기가 높아짐에 따라 가격이 약 50,000달러에서 10,000달러 미만으로 급격히 떨어졌습니다. 최신 차량에서 레이더를 주류로 사용하는 것은 통합력을 높여 시스템 크기와 비용을 줄여주고 있습니다. 몇 년 전의 기계식 스캐닝 LIDAR 시스템은 일반적으로 다양한 자율 주행 로봇 택시에 장착된 것으로 부피가 크지만, 기술의 발전으로 수년 동안 LIDAR의 부피를 축소시켰습니다. 업계의 솔리드 스테이트 LIDAR로 전환을 통해 시스템 크기를 더욱 축소시키고 비용을 낮출 수 있을 것입니다.

LIDAR 유형

이 백서에서는 다양한 유형의 LIDAR 시스템 중에서도 주로 좁은 펄스 ToF 방식에 중점을 둡니다. LIDAR 시스템에는 두 가지 유형의 빔 스티어링이 있습니다.

- **기계식 LIDAR**는 고급 광학 부품과 회전 어셈블리를 사용하여 넓은(일반적으로 360도) FOV를 생성합니다. 기계적 측면에서 넓은 FOV에 높은 신호 대 잡음 비율(SNR)을 제공하지만, 크기가 줄어들었음에도 구형 부피가 큼니다.
- **솔리드 스테이트 LIDAR**는 회전하는 기계 부품이 없고 FOV가 감소되었으므로, 비용이 적게 듭니다. 차량의 전방, 후방 및 측면에 있는 여러 채널을 사용하고 데이터를 융합하면 기계적 LIDAR에 견줄 수 있는 FOV가 생성됩니다.

솔리드 스테이트 LIDAR에는 다음과 같은 여러 가지 구현 방법이 있습니다.

- **미세 전자 기계 시스템(MEMS) LIDAR.** MEMS LIDAR 시스템은 전압과 같은 자극을 적용할 때 기울기 각도가 변화하는 초소형 미러를 사용합니다. 실제로 MEMS는 기계식 스캐닝 하드웨어를 전자 기계 등가물로 대체합니다. 수신 SNR을 결정하는 수신기 광 수집 조리개는 일반적으로 MEMS의 경우 상당히 작습니다(수 밀리미터). 레이저 빔을 여러 차원으로 이동하려면 여러 개의 미러를 캐스캐이드해야 합니다. 이 정렬 프로세스는 다소한 것이 아니며 일단 장착되면 이동 차량에서 일반적으로 발생하는 충격과 진동에 취약합니다. MEMS 기반 시스템의 또 다른 잠재적 문제점은 자동차 사양이 -40°C에서 시작한다는 것으로, MEMS 장치에 문제가 될 수 있다는 것입니다.
- **플래시 LIDAR.** 플래시 LIDAR 작동은 광학 플래시를 사용하는 표준 디지털 카메라의 작동과 매우 유사합니다. 플래시 LIDAR에서는 하나의 대형 영역 레이저 펄스가 전면의 환경을 비추는 반면, 레이저 가까이 배치된 포토 디텍터의 초점 평면 배열은 후방 산란광을 캡처합니다. 디텍터는 영상 거리, 위치 및 반사 강도를 캡처합니다. 이 방법은 기계적 레이저 스캐닝 방법에 비해 단일 이미지로 전체 장면을 캡처하므로 데이터 캡처 속도가 훨씬 빠릅니다. 또한 전체 이미지가 단일 플래시에 캡처되므로 이 방법은 이미지를 왜곡할 수 있는 진동 효과에 더 영향을 받지 않습니다. 이 방법의 단점은 실제 환경에서 역반사체가 있다는 것입니다. 역반사체는 빛과 후방 산란의 대부분을 거의 반사하지 않으며, 사실상 전체 센서를 눈멀게 하고 쓸모가 없게 만듭니다. 이 방법의 또 다른 단점은 전체 장면을 조명하고 충분히 멀리 보는데 매우 높은 피크 레이저 전력이 필요하다는 것입니다. 눈의 안전 요구 사항을 준수하기 위해 플래시 LIDAR는 주로 단거리~중거리 감지 시스템에 사용됩니다.
- **광학 위상 배열(OPA).** OPA 원리는 위상 배열 레이더와 유사합니다. OPA 시스템에서 광학 위상 변조기는 렌즈를 통과하는 빛의 속도를 제어합니다. **그림 2**에 나와 있는 것처럼 빛의 속도를 제어하면 광파 전면 모양을 제어할 수 있습니다. 상단 빔은 지연되지 않고 중간 및 하단 빔은 양을 늘려 지연됩니다. 이 현상은 레이저 빔이 다른 방향을 가리키도록 효과적으로 "조종"합니다. 또한 유사한 방법으로 후방 산란광을 센서 방향으로 조종할 수 있으므로 기계식 구동 부품을 제거할 수 있습니다.

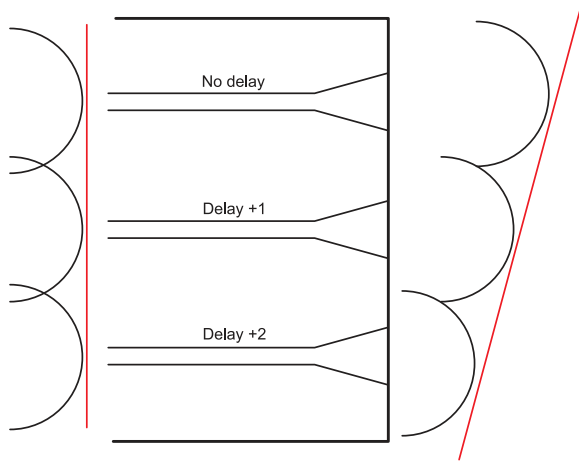


그림2. OPA.

- FMCW(주파수 변조 연속파) LIDAR.** 지금까지 나열된 방법은 좁은 광 펄스를 사용하는 ToF 원리에 기반하지만, FMCW LIDAR는 일관된 방법을 사용하여 주파수 변조 레이저 광의 짧은 처프를 생성합니다. 반환 처프의 위상과 주파수를 측정하면 시스템이 도플러 원리를 사용하여 거리와 속도를 모두 측정할 수 있습니다. 처프 생성이 복잡성을 더하더라도 FMCW 방식을 사용하면 계산 부하와 광학 구조가 더 단순해집니다. FMCW 시스템에 필요한 레이저 전력은 펄스 ToF 시스템에 필요한 것보다 상당히 낮기 때문에 FMCW는 매우 장거리 감지 응용 분야에 적합합니다. 또한 안개, 비, 눈과 같은 악천후 조건에서도 잘 작동합니다.

LIDAR 서브시스템

그림 3 에는 신호 체인, 전원, 인터페이스, 클로킹 및 모니터링 또는 진단 서브시스템을 포함한 전체 기능 LIDAR 모듈 서브시스템이 나와 있습니다. LIDAR 신호 체인의 주요 서브시스템은 전송 시스템(Tx)과 수신 시스템(Rx), 그리고 포인트 클라우드 정보를 추출하는 맞춤형 디지털 처리 시스템으로 구성됩니다. TI는 청록색으로 표시된 기능 블록에 대한 장치 옵션을 제공합니다.

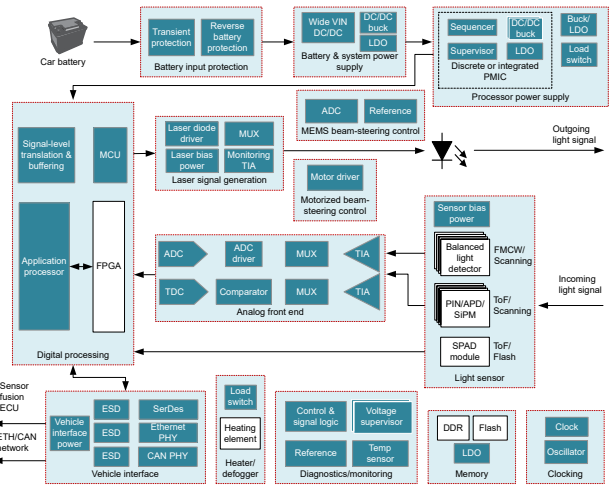


그림3. 신호 체인, 전원, 인터페이스, 클로킹 및 모니터 또는 진단 서브시스템을 보여주는 LIDAR 모듈.

LIDAR 시스템 통합

향후 통합에서 고밀도를 요구하는 시스템을 위해 TI는 Tx 경로에 대한 LIDAR 레이저 드라이버와 포토디텍터에서 직접 ADC(아날로그-디지털 컨버터) 또는 TDC(시간-디지털 컨버터)까지 Rx 경로의 연결을 처리하는 증폭기를 제공합니다. LMG1025는 1.25nS 펄스를 생성할 수 있는 외부 질화 갈륨 FET(전계 효과 트랜지스터)를 구동하는 별도의 레이저 드라이버입니다. TI의 통합 LMH13000 레이저 드라이버는 외부 FET가 필요하지 않으며, 최대 50mA에서 5A 까지 조정 가능한 전류를 지원하는 레이저를 구동하여 1nS 미만의 펄스를 생성할 수 있습니다. 또한 LMH13000 은 개별 레이저 드라이버 솔루션보다 약 4배 더 작습니다. 여러 개의 LMH13000 장치를 병렬로 사용하면 레이저에 전달되는 전류의 양을 늘릴 수 있습니다.

TI의 수신 경로 증폭기에는 ADC 기반 시스템용 LMH32401 및 LMH32404와 TDC 기반 시스템용 LMH34400이 포함됩니다. 이러한 장치는 고속 트랜스임피던스 증폭기(TIA) 보상 네트워크를 통합하고 주변광 제거, 입력 과전류 클램프 보호 및 멀티플렉서 모드와 같은 기능을 포함하고 있어 LIDAR 애플리케이션에 유용합니다.

주변광 제거 회로는 DC 주변광 신호를 제거하여 입력 전류를 더 잘 감지할 수 있도록 하고, 포토다이오드와 증폭기 사이의 AC 커플링 대신 이 회로를 사용할 수 있기 때문에 보드 공간을 절약합니다. 입력 과전류 보호 클램프는 증폭기가 노드를 감지할 때 초과 전류를 흡수하고 양극 공급 장치로 전용하여, 포화 상태로 들어가 증폭기가 훨씬 빠르게

선형 상태로 돌아갈 수 있도록 하고 펄스 연장을 몇 나노초 미만으로 제한합니다. 통합 LIDAR TIA에는 통합 출력 스위치가 있어, 이를 통해 여러 포토다이오드 및 증폭기 채널을 더 적은 수의 ADC 및 TDC 채널에 연결할 수 있으므로, 개별 멀티플렉서가 필요하지 않습니다. 따라서 여러 센서를 사용할 수 있으면서도 일반적으로 여러 ADC 및 TDC 채널이 차지하는 보드 공간을 절약할 수 있습니다.

결론

세계는 자율 주행 자동차의 상용화를 향한 흥미진진한 여정을 시작하고 있으며, 이 분야에 동력을 제공하는 기술과 아키텍처는 끊임없이 변화하고 있습니다. LIDAR는 이 분야에서 비교적 신생 업체이지만 이 기술이 제공하는 이점으로 혁신이 가속화되고 있으며 기존의 센서 시스템과 비교해서 비슷한 비용에 성능을 높이고 크기는 줄일 수 있습니다.

추가 리소스

- **TI의 ADAS 애플리케이션** 및 **TI 레퍼런스 설계를** 확인하세요.
- Explore TI의 차량용 등급 **고속 연산 증폭기**, **고속 아날로그-디지털 컨버터** 및 **온도 센서** 포트폴리오를 살펴보세요.
- 관련 백서 읽기:
 - **기술 혁신을 통해 더 안전한 차량 제조.**
 - **자율 주행 차량 기술을 주도하는 확장 가능한 전자 장치.**
 - **첨단 운전 보조 시스템으로 자율 주행 차량 개발 촉진.**

중요 알림: 이 문서에 기술된 텍사스 인스트루먼트의 제품과 서비스는 TI의 판매 표준 약관에 의거하여 판매됩니다. TI 제품과 서비스에 대한 최신 정보를 완전히 숙지하신 후 제품을 주문해 주시기 바랍니다. TI는 애플리케이션 지원, 고객의 애플리케이션 또는 제품 설계, 소프트웨어 성능 또는 특허권 침해에 대해 책임을 지지 않습니다. 다른 모든 회사의 제품 또는 서비스에 관한 정보 공개는 TI가 승인, 보증 또는 동의한 것으로 간주되지 않습니다.

모든 상표는 해당 소유권자의 자산입니다.

IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated