



## 4D Imaging Radar: Sensor Supremacy for Sustained L2+ Vehicle Enablement

### 4D 레이더: 레벨 2+ 위한 최고의 센서

레벨 3 자율주행에서 차량은 레벨 2+ 보다 더 많은 코너 케이스를 처리해야 한다. 추가 리던던시를 위해 라이더가 필요할 수 있다. 그러나 인식되는 가치와 가격 차이로 인해, 유사 기능을 제공하는 레벨 2+ 차량과 비교할 때 레벨 3 접근 방식은 고객에게 덜 만족스러울 수 있다. 레벨 4/5가 자리 잡기 전, 레벨 3의 점유율은 여전히 의문으로 남아 있다. 레벨 2+에서 라이더는 비용 최적화를 위해 제외될 수 있는 반면, 4D 이미징 레이더는 레벨 2+ 센서 제품군부터 완전 자율주행차까지 대부분의 워크로드를 맡을 수 있다.

글 | 후안유 구(Huanyu GU), 시니어 매니저, 제품 마케팅 & 사업 개발 ADAS & V2X 부문, NXP 반도체

**감**지 및 자율주행 애플리케이션을 위한 4D 이미징 레이더 기술의 출현으로 레벨 0에서 완전 자율주행 레벨 5로 진화하는 과정, 경제성이 새롭게 바뀌었다. 정밀한 환경 매핑을 가능하게 하는 레이더의 새로운 기능은 차량의 전반적인 감지 및 인식 기능을 크게 향상시키면서, 이를 통해 카메라 센서, 특히 라이더 센서와 관련된 레이더의 역할에 대한 업계의 기대치를 재정의했다. 광범위한 성능 및 신뢰성 지표에서 이미징 레이더는 라이더와의 격차를 좁히고, 상업적 비용 구조의 일부 차원에서 라이더

를 능가한다. 라이더는 아직 이에 근접하게 구현치 못했고 앞으로도 하지 못할 수 있다. 또한, 이런 센서 기술이 기능 측면에서 겹치기 시작하면서, 각각의 역할과 비용에 대한 면밀한 평가의 필요성이 높아졌다. 이와 동시에 자동차 산업이 안전 및 자동화 구현에 있어 레벨 2에서 레벨 3로 전환하는 중요한 시점에서 핵심 질문들이 제기됐고, OEM이 레벨 3 적합성을 달성하는 데 필요한 많은 설계 복잡성을 탐색하는 동안 레벨 2+가 새로운 격전지가 됐다. 특히, 백업 운전자를 요구하지 않는 점에서의 리던던시로 인해 풀 레벨 3 관련 오

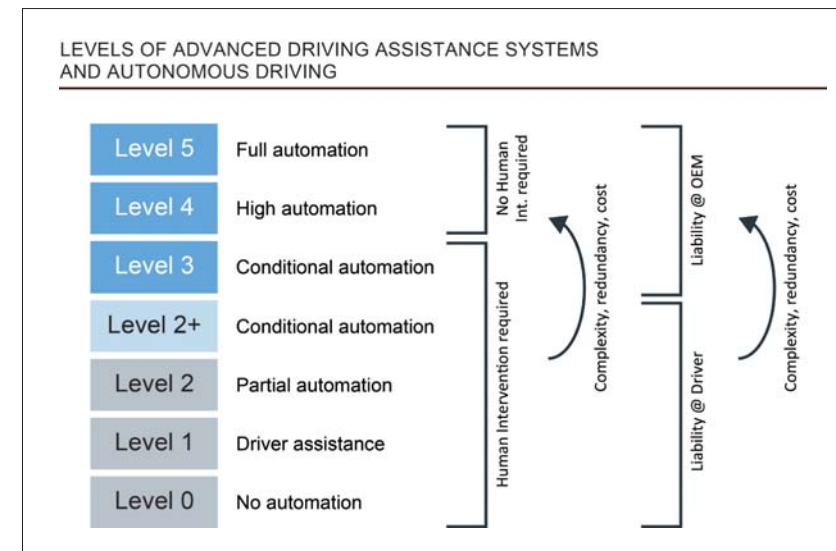
버헤드가 상당히 높기 때문에, 레벨 3에 준하는 기능이 제공되는 레벨 2+에 대한 관심이 높아졌고 이것이 레벨 2+의 강력한 성장으로 이어졌다. 레벨 2+에서는 운전자가 백업 역할을 하기 때문에 리던던시의 추가 필요성이 준다.

#### 복잡성 수준

SAE 5단계 주행 자동화 수준, 특히 레벨 2와 레벨 3 사이의 엄청난 결과적 차이와 관련해 첨단 운전자 지원 시스템

(ADAS) 및 자율주행(AD) 애플리케이션에 대한 4D 이미징 레이더의 잠재적 영향을 평가하는 것은 상당히 중요하다. 레벨 2에서는 항상 운전자의 주의가 필요하고, 운전자는 차량 안전에 대한 궁극적인 책임을 갖고 있어 사고 발생 시 책임을 진다. 그러나 레벨 3의 시작부터는 OEM이 사고에 대한 책임을 질 정도로 온보드 세이프티의 자동화가 충분히 견고해진다. 레벨 3과 레벨 4/5 사이에도 중요한 차이점이 있다. 레벨 3는 일부 상황에서 운전자 개입이 요구되는 반면, 레벨 4와 레벨 5는 요청이 있는 경우 운전자 개입이 허용

되긴 하지만, 이를 가정해서는 안 된다. 일부 레벨 5 사용 사례에서는 운전자 개입이 아예 불가능하다. 최소한 레벨 4 및 레벨 5 차량은 어떠한 상황에서도 사람의 개입 없이 안전하게 정지할 수 있을 것으로 예상된다. 또, 이런 자율주행 레벨은 주행 책임이 차량으로 점점 더 많이 옮겨 감에 따라 새로운 시스템 리던던시 요건을 도입하고 있다. 레벨 3에서 운전자는 까다로운 조건에서 차량을 제어할 수 있어야 하지만, 그렇지 않은 경우 “눈을 떴고 손을 뗄 수 있다”. 이러한 시나리오에서 운전자가 점차적으로 완전한 제어를 취하는 데 최대 1분이 걸릴 수



자율주행 레벨

있고, 이 단일 기능(차량에서 운전자로 제어 권을 안전하게 이전하는 것)에 필요한 리던던시 수준에는 상당한 시스템 복잡성과 비용이 부과될 수 있다. 결과적으로 레벨 3 적합성을 달성하는 데 필요한 차량 카메라, 레이더, 라이더 센서의 수와 구성, 그리고 일반적인 레벨 2 센서 구성에 대한 변수는 OEM 제조 비용에 큰 영향을 미친다.

레벨 2+는 OEM이 레벨 2에서 비용 증가를 최소화하는 동시에, 운전자에서 OEM으로 책임을 이전하는 레벨 3의 임계값을 완전히 넘지 않으면서 레벨 3 자동화에 접근하는 고급 ADAS 기능을 고객에게 제공하기 위해 출현한 것이다. 레벨 2+는 레벨 3와 유사한 센서 및 반도체 콘텐츠를 활용하기 때문에, 레벨 3에서 차량-운전자 간 제어 전환에 필요한 시스템 리던던시를 구현하는 추가 비용을 고려할 때 제조 비용이 절감된다. 한편, 소비자들은 레벨 3, 4, 5로 가는 과정에서 시장 차별화를 위해 경쟁하는 많은 OEM들이 향후 몇 년 동안 출시할 새로운 안전 및 편의 기능에 주목하고 이를 높이 평가할 것이다.

#### 레벨 2+ : 새로운 격전지

레벨 2+에서 새로운 안전 및 편의 기능이 소비자가 만족할 만한 가격대로 제공됨에 따라, 레벨 3 적합성 준수에 필요한 추가 시스템 리던던시에 대해 훨씬 더 많은 비용을 지불할 의향이 있는지에 대한 질문이 제기되고 있다.

OEM이 레벨 2+에 머물면 레벨 3에서 리던던시 및 코너 케이스를 해결하는 데 필요한 상당한 비용을 절감할 수 있다. 이는 레벨 3 차량의 상업적 매력을 떨어뜨릴 수 있다. 레벨 2+는 또 OEM이 고급 안전 및 편의 기능을 단계별로 출시할 수 있도록 만들어, 더 높은 수준의 자율주행에서 센서 기술이 상용화되기까지 더 많은 시간을 투자

할 수 있도록 할 수 있다. 그 사이 운전자가 필요한 리던던시를 계속 제공할 수 있으며 OEM은 기능과 비용 간 보다 최적화된 균형을 달성할 수 있다.

OEM은 궁극적으로 레벨 3에 접근할 때, 레벨 3 시스템 리던던시를 달성하기 위한 비용 부담이 레벨 4에서 예상하는 비용 부담과 비슷하다면, 왜 레벨 3에서 계속 남아 있어야 하는가? 궁극적으로 여전히 주의를 기울여야 하는 레벨 3 안전 시스템 리던던시에 대해 고객은 상당한 비용을 지불할 의향이 있는가?와 같은 중요한 질문을 고려해야 한다. 이러한 질문에 대한 OEM의 답은 모두 다를 수 있지만, 향후 몇 년 동안은 레벨 2+ 차량 수가 레벨 3 수를 크게 초과할 것으로 봐야 할 것이다.

최근, 올 디벨롭먼트(Yole Development) 보고서에 따르면, 레벨 4/5 시장 점유율은 최소 2030년까지 낮은 한 자릿수에 머물 것이고, 일부는 로보틱 카로 소비될 것이다. 한편 레벨 2+ 차량의 활용은 레벨 0 ~ 레벨 2 보급률이 감소하기 시작하면서 꾸준히 증가해 2030년까지 거의 50%의 시장 점유율을 달성할 것으로 예상된다. 따라서, 레벨 2+는

향후 10년 내 OEM의 관심을 집중적으로 받을 것으로 예상된다.

### 고유한 강점을 가진 3개 센서

레벨 2+ 차량용 4D 이미징 레이더의 장점은 ADAS 및 AD를 가능하게 하는 세 가지 기본 감지 기술인 카메라, 레이더, 라이더에 대한 더 높은 수준의 분석을 보여준다는 점이다.

궁극적으로 두루 적용할 수 있는 솔루션은 없다. 각 센서는 고유한 강점과 약점이 있으며 다른 센서 유형을 보완하거나 리던던시를 제공할 수 있다. 물론 카메라와 레이더 센서는 크게 보완되는 두 기술의 성숙도와 경제성 때문에 오늘날 이미 널리 쓰이고 있다. 레이더는 본질적으로 카메라나 레이더와 기능적으로 보완성이 없어 둘 다의 리던던시 계층으로 작용할 가능성이 높다.

메가픽셀 해상도와 결합된 RGB 색상 정보를 감지하는 카메라 센서의 고유한 기능은 물체 인식 및 분류의 향상된 정확도를 제공해, 앞으로도 교통 표지판 및 기타 애플리

케이션 '읽기'에 필수적인 것이다. 그러나 카메라 기술의 효율성과 신뢰성은 가혹한 날씨 및 도로 조건뿐만 아니라 매우 다양한 조명 조건에서 손상된다. 역설적으로 카메라 렌즈에서 습기와 이물질을 자동으로 제거하는 기술이 출시되고 있지만, 이러한 메커니즘은 BOM 비용을 높이고 아이러니하게도 시스템 견고성에 영향을 미치는 추가적인 기계적 취약성을 가져온다. 거리 및 속도 측정을 위한 카메라의 기능 역시 극도로 제한적이다. 속도와 깊이는 스테레오 카메라 구성에 의해 추정되는데, 정확도는 제한적이지만 이는 레이더 계층에서 보완되는 단점이다.

### 라이더, 코너 케이스 위한 프리미엄 성능 제공

라이더의 주요 차별화 기능은 1도 이하의 초정밀 수평/수직 양방향 각도 해상도와 극도로 짧은 파장 및 진동으로 인한 범위에서의 정밀한 해상도에 있다.

이런 강점 덕분에 라이더는 고해상도 3D 환경 매핑에 적합하며 여유 공간, 경계, 차량 자체 위치를 정확하게 감지하는 기능을 제공할 수 있다. 그러나 라이더는 카메라 센서와 몇 가지 공통적인 단점을 갖고 있다. 라이더가 제공하는 속도 추정 및 원거리 물체 탐지 기능은 레이더 센서에 비해 상당히 제한적이다. 게다가 라이더는 가혹한 날씨와 도로 조건에 민감해, 견고성과 유지관리 문제로 더 높은 비용을 초래한다.

솔리드 스테이트(solid state) 라이더, MEMS 라이더, 전자 스캐닝 라이더와 같은 새로운 라이더 기술이 지난 몇 년간 등장하고 있다. 새로운 기술은 크기, 비용, 견고성 측면에서 차량 애플리케이션에 전반적으로 더 '친화적인' 라이더를 만드는 것을 목표로 하고 있다. 일반적으로 기계 회전식 라이더에 비해 향상됐지만, 이런 기술들은 여전히

다른 ADAS 센서의 성숙도 수준을 따라잡기 위해서는 시간이 필요하다.

그러나 주류 승용차에 라이더를 대대적으로 도입하는 데 가장 큰 장애물은 여전히 비용이다. 최근 OEM 평가에 따르면, 2021년 소량의 라이더 비용은 4개의 순차 레이더 트랜시버(cascaded radar transceiver)가 장착된 12-TX 및 16-RX 이미징 레이더에 비해 약 10배 높았다. 라이더와 레이더 비용은 시간이 지남에 따라 떨어질 것으로 예상은 되지만, 라이더가 더 높은 수준의 자율주행 사용 사례에서 어느 정도 수량이 발생할 2030년까지 비용은 레이더의 두 배를 유지할 것으로 예상된다.

가까운 미래를 내다보면, 라이더는 복잡한 운전 시나리오에서 발생하는 코너 케이스를 처리하기 위해 추가 성능 프리미엄을 계속 제공할 것이다. 따라서, 레벨 4와 레벨 5 자율주행에 필요한 리던던시의 중요한 부분으로 남아 가격 프리미엄도 견딜 수 있을 것이다.

### 4D 이미징-레이더의 큰 도약

레이더는 매우 정확한 속도 및 거리 측정 기능 덕분에 여전히 차별화된 센서 방식이다. 라이더가 레이저 빔을 드물게 배치해 대상 장면을 비추는 반면, 레이더는 장면을 매끄럽게 비춘다. 더 먼 거리에서 표적이 레이저 빔 사이에 위치하면 라이더는 더 작은 표적은 놓칠 수 있다. 따라서 레이더는 원거리 작동에는 훨씬 더 안정적인 센서다.

레이더의 감지 범위는 최대 300미터까지 확장됐으며 앞으로는 카메라와 대부분의 라이더 센서가 제공할 수 있는 것보다 훨씬 더 도달할 수 있다. 또 레이더는 카메라나 라이더와 달리 모든 날씨와 조명 조건에서 안정적으로 작동한다. 악천후로 인한 환경 잔해나 물방울 굴절은 레이더 작동에 영

향을 미치지 않는다. 혼합파(mmWave) 주파수로 작동하는 레이더는 또 차량 범퍼와 같은 유전체 재료를 통해 전송할 수 있으며 조리개를 비추기 위해 물리적인 구멍이 필요하지 않아 견고성과 미학 측면 모두에서 더 나은 선택지다. 카메라 및 라이더 센서와 비교했을 때 레이더의 주요 약점은 색상 정보를 캡처할 수 없고 각도 해상도가 제한적이라는 것이다. 그러나 4D 이미징 레이더의 발전으로 각도 해상도 기능이 크게 향상됐으며, 이를 통해 라이더와의 성능 격차를 줄일 수 있게 됐다.

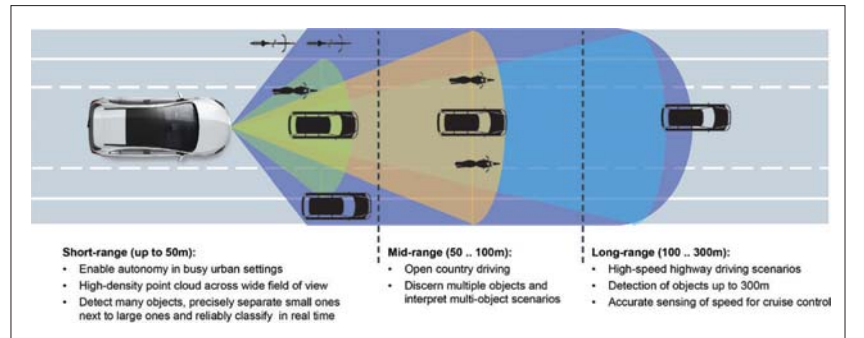
레벨 5로 가는 과정에서 레이더 혁신을 위한 새로운 가능성을 열어주는 4D 이미징 레이더는 레벨 2+를 대상으로 하는 미래 센서 제품군에서 완전 자율주행차까지 대부분의 워크로드를 맡을 수 있다. 기존 레이더 센서와 달리 4D 이미징 레이더는 방위각과 고도 방향 모두에 대한 도달 각뿐 아니라 공간 거리도 계산할 수 있다. 또, 기존 차량용 레이더로 사용할 수 있는 5~8도 해상도에 비해 1도 미만의 각 해상도를 제공한다.

MIMO 파형 구성 및 아티팩트 완화는 그 자체로 혁신을 위한 전용 영역이다. NXP는 일반적으로 사용되는 MIMO 파형의 까다로운 MIMO 아티팩트를 완화하기 위한 최첨단 솔루션을 고객에게 제공할 수 있다. 이런 고급 기술의 설계 및 구현은 기본 NXP 레이더 프로세서와 밀접하게 결합돼 고객이 정

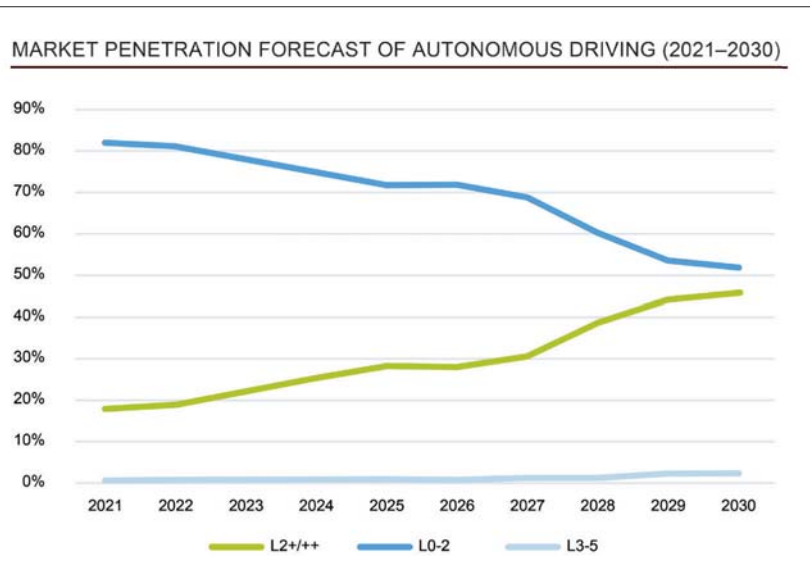
렬된 소프트웨어 및 하드웨어 개발에서 시너지 효과를 최대한 활용할 수 있도록 한다. 이러한 향상된 기능을 통해 레이더 센서는 고해상도 포인트 클라우드 출력을 처음 제공할 수 있게 됐으며, 오늘날의 라이더와 동등한 환경 및 장면 인식의 고해상도 매핑을 구현할 수 있게 됐다.

비용은 훨씬 저렴해서 대량 채택에 적합하다. 또 4D 이미징 레이더는 최대 300미터의 근거리에서 원거리까지 모든 범위에서 동시에 물체를 감지하는 고유한 다중 모드 작동 기능을 제공한다. 4D 이미징 레이더는 차량이 기존 레이더로 해결할 수 없는 결정을 내릴 수 있도록 한다. 예를 들어, 터널에서의 주행이 안전하지 또는 장애물 관련 주행차선이 안전하지를 알 수 있다. 이러한 고급 기능은 4D 이미징 레이더가 악천후 및 도로 조건에서 카메라 및 라이더 센서에 리던던시 또는 백업을 제공할 수 있도록 한다. 4D 이미징 레이더를 사용하면 물체가 서로 가까이 있는 경우에도 최대 300미터 전방의 정지 상태나 움직이는 물체를 감지, 분리, 추적할 수 있다. 이것은 카메라와 라이더의 탐지 범위를 훨씬 뛰어넘는다.

하위 해상도, 정확한 거리 및 속도 측정, 최대 300미터까지의 동시 다중 모드 감지를 고려하면, 레이더 센서는 모든 센서 유형 중 가장 긴 작동 범위를 제공한다. 환경 조건에 관계 없이 작동할 수 있는 기능에 더



단, 중, 장거리 성능을 위한 트리플 범 레이더 모드



자율주행 레벨별 시장 점유 전망

해, 레이더 센서는 AD 수준의 차량 센서 제품군을 위한 가장 근본적이고 다용도적이며 강력한 감지 성능을 보일 것으로 예상된다.

## 도전적인 사용 사례

상호 보장이 잘 되는 카메라와 레이더 센서는 레벨 1에서 레벨 5까지 광범위하게 사용될 것이다. 레벨 2에서 차량이 종방향 횡방향 제어를 동시에 수행하려면 센서 융합이 필요하다. 레벨 2+와 레벨 3에서 차량은 미리 정의되고 제한된 조건에서 차량 자체에서 실행되는 훨씬 더 복잡하고 작업 지향적인 사용 사례를 처리하기 위해 여러 측면 및 중단 제어를 결합할 것이다.

고속도로 파일럿이 좋은 예다. 운행설계 범위(Operation Design Domain, ODD)가 충분히 충족되면, 차량은 최대 130 km/h의 속도로 주행하고 차선 변경을 시작하며 전방의 저속주행 차량을 완벽하게 추월할 것이다. 이 고급 기능을 사용하려면 가능한 빨리 위험을 식별하기 위해 멀리 내다볼 수 있는 능력이 필요하고, 옆 차선의 차량과 오토바이로부터 안전한 추월을 보장하기 위해 안전 공간과 거리를 안정적으로 확보할 수 있어야 한다. 기존의 레이더는 탐지 범위가 제한돼 있고 필요한 여유 공간을 식별하고 확보할 수 있는 각 해상도

가 부족했기 때문에 이러한 요구사항을 충족할 수 없었다.


레벨 2+에서 운전자는 필요한 경우 이와 같은 어려운 동작을 탐색해야만 한다. 라이더는 인간 운전자가 리던던시 추가 계층을 제공하기 때문에 비용 최적화를 위해 레벨 2+ 설계에서 제외될 수 있다. 레벨 3에서는 차량이 레벨 2+ 차량보다 더 많은 코너 케이스를 처리해야 한다. 요청 시 최대 1분 이내에 운전자가 차량 제어를 인수할 것으로 예상되더라도, 추가 리던던시를 위해 라이더가 필요할 수 있다. 하지만 인식되는 가치와 가격의 차이로 인해, 유사한 기능을 제공하는 레벨 2+ 차량과 비교할 때 이 접근 방식이 고객에게 덜 만족스러울 수 있다. 따라서 레벨 4와 레벨 5 시장에서 자리를 잡기 전까지, 레벨 3 차량의 점유율은 여전히 의문으로 남아 있다.

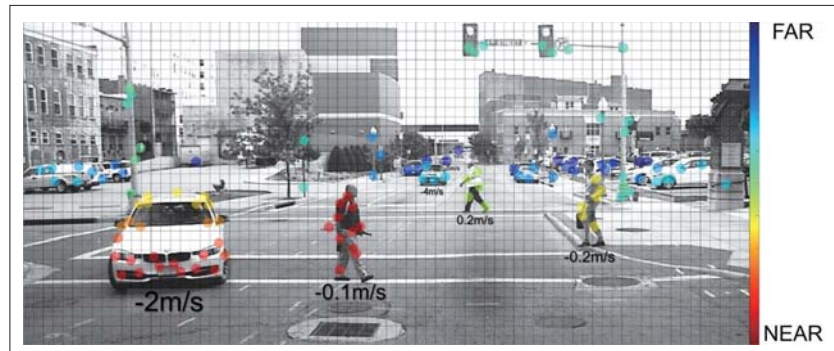
도시 파일럿은 복잡하고 업무 지향적인 사용 사례의 또 다른 좋은 예다. 고속도로 파일럿 시나리오보다 상당히 복잡한 위험이 많은 도시 환경에서 최대 70 km/h까지 안전하게 주행하기 위해, 차량은 예기치 않게 횡단하는 보행자와 애완동물을 안전하게 피할 수 있어야 한다. 세계 일부 지역에서는 하루 중 시간에 따라 자동으로 1~2개 차선으로 재구성되는 시간제한 도시 거리가 있는데, 이런 부분도 레벨 5에서 고려돼야 한다. 매우 상세한 환경 매핑 기능과 마찬가지로

로 이런 사용 사례에서는 매우 정확한 객체 인식 및 분류가 필수적이다. 레벨 4 및 레벨 5에서는 운전자가 차량을 제어할 필요가 없어 최후의 수단으로 차량을 안전하게 정지시키기 위해 완전 리던던시는 더 이상 선택 사항이 아니라 필수다.

이런 이유로 레벨 4 및 레벨 5 차량은 센서 제품군 내에 통합된 카메라, 레이더, 라이더의 세 가지 기본 차량 센서를 모두 활용할 것으로 예상된다. 고성능 4D 이미징 레이더 센서가 리던던시 목적을 위해 차량 당 두 개 이상의 라이더를 포함할 필요 없이 레벨 3 이상의 안전 준수를 달성하는 데 도움이 될 수 있다는 점을 감안하면, OEM은 감지 및 처리 계층에서 공격적인 비용 목표를 달성할 수 있는 좋은 위치에 있다.

상업적으로 실행 가능한 4D 이미징 레이더 기술의 등장은 레벨 2+ 이상의 보급을 목표로 하는 ADAS 센서 제품군에 큰 영향을 미치며, 레벨 2+ 안전 및 편의 기능의 광범위한 확산과 완전한 레벨 4/5 자동화를 향한 여정을 가능하게 한다. 카메라, 레이더, 라이더 센서의 상대적인 강점들에 의해, 각 AD 레벨에 대한 감지 기술의 역할과 중요성이 결정된다. 특히 레이더 센서는 레벨 2+ 및 레벨 3용 카메라와 레벨 4 및 레벨 5용 카메라와 라이더로 보완되는 가장 기본적인 센서가 될 준비를 마쳤다.

NXP는 최근 고성능 S32R45 레이더 프로세서를 출시함으로써, OEM이 상용 수량 및 비용 구조에서 레벨 2+ 이상을 위한 고급 4D 이미징 레이더 기능을 활성화할 수 있는 명확하고 비용 효율적인 경로를 제공하게 됐다. 이는 NXP의 정교한 레이더 신호 처리를 고도로 발전된 16nm FinFET CMOS 기술이 적용된 IP와 결합한 스마트 접근 방식 덕분이다. 자세한 내용은 [www.nxp.com/S32R45](http://www.nxp.com/S32R45)에서 확인할 수 있다. 



도시 자율주행