

## #2

4D 이미징  
레이다 센서 기반 자율주행

글. 김용환 (주)스마트레이더시스템 대표, 공학박사

레이다가 처음 세상에 본격적으로 공개된 시점은 보는 관점에 따라 다르겠지만 ‘영국 전쟁(Battle of Britain)’이 그 시발점이라 할 수 있다. 도버 해협을 넘어서 날아오는 독일군의 비행기들을 감지하기 위해 영국군은 해안가를 따라서 체인 홈(Chain home)이라는 철탑 형태의 레이다를 설치하였고, 덕분에 공군력의 열세를 만회할 수 있었다. 이후 레이다는 주로 군사 목적으로 사용되었으며, 레이다가 자동차에 처음 적용된 시점은 미국의 GM 社가 자사의 차량에 레이다를 장착한 1959년 정도부터이다. 그 후 발전을 거듭하여 2000년대 들어와서는 본격적으로 일반 차량에 적용되기 시작하였고 오늘날에는 대부분의 차량이 전방 및 코너 등 여러 형태의 레이다를 장착하고 있다.

구글 Waymo 등 자율주행을 타깃으로 하는 회사들의 출현과 더불어 기존 카메라를 보완하는 센서로서 LiDAR가 먼저 자리매김을 하였고, 레이다는 주로 사각지대 감지, 자동 긴급제동장치(AEB), 스마트 크루즈 등의 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS) 기능을 보조하는데 사용이 되었다.

스마트레이더시스템(이하 SRS)은 ‘4D 이미징 레이다의 원천 기술과 혁신 사업 역량을 갖춘 글로벌 혁신 이미징 레이다 기업’이다. 미래 유망 기술로 각광받고 있는 4D 이미징 레이다 기술의 파급 효과는 자율주행 레벨 3 및 그 이상을 가능하게 하며 고가의 LiDAR 센서를 대체하는 데 있다. 특히, 테슬라 및 기존 자동차회사들이 자율주행 시장의 패권을 놓고 경쟁하는 상황에 애플 등의 신규 플레이어의 진입도 예상되는바, 4D 이미

징 레이다의 역할은 더욱더 중요해질 것으로 기대된다. 테슬라의 Elon Musk 가 비전만으로는 자율주행을 주장하였으나 향후 양질의 이미징 레이다를 제공받는다면 비전(카메라)에 이미징 레이다를 더해서 완전자율주행(FSD)을 하겠다고 선언하였다. SRS는 이미 Yole 등 글로벌 시장조사 전문기관으로부터 인정 받은 기술력을 바탕으로 4D 이미징 레이다의 핵심인 비균일 배열 안테나 설계부터 고난이도의 실시간 레이다 신호처리 기술 및 인공지능 기반의 사물인식 알고리즘까지 자체 개발하여 글로벌 자동차회사(OEM), 자동차부품회사(Tier-1) 및 자율주행 플레이어들과의 협력을 통하여 자율주행 Level 3+ 시대를 주도하고 있다.

#### 4D 이미징 레이다 센서 기술의 이해

기존 차량용 레이다 센서는 타깃까지의 거리와 수평 각도의 측정을 잘하며, 특히 야간이나 우천 시 등 기상환경이 열악한 환경에서도 안정적으로 동작하여 자율주행차량의 안전성을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한, 대량 생산 공급이 가능하므로 가격 경쟁력도 우수하다. 그러나, 타깃의 높이(Elevation) 정보를 측정하지 못하는 한계가 있으며, 이 정보가 없으면 객체 인식을 제대로 수행하기 어렵다. 예를 들어 ‘그림 1[좌]’에 보인 테슬라 모델3 차량이 도로에 넘어져 있는 트럭과 충돌한 사고의 경우, 레이다 센서가 멈춰 있는 트럭을 제대로 인식하지 못한 것이 사고의 중요한 원인 중 하나이다. 만약, 레이다 센서로 타깃의 높이 정보를 측정할 수

그림 1. [좌] 테슬라 모델3 충돌 사고 예, [우] 기존 차량용 레이더의 높이 정보 측정 어려움 예

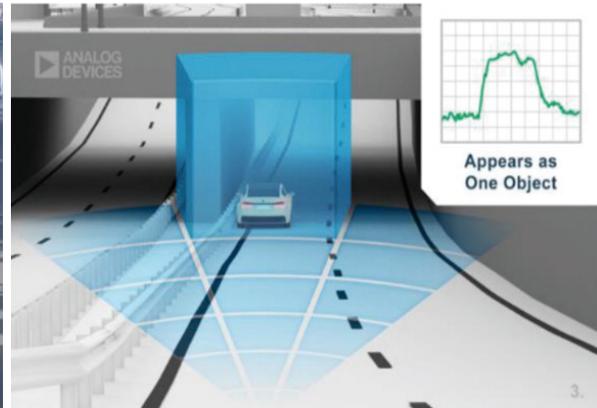


Image Source: Analogue Devices

있었으면 트럭 높이의 객체가 멈춰 있음을 알 수 있으므로 충돌 방지가 가능했을 것이다.

‘그림 1[우]’에는 지하도로 진입하는 차량의 예시이다. 현재 상용화되어 사용 중인 대부분의 차량용 레이더 센서는 수평 각도의 측정은 가능하지만, 수직 각도의 측정은 지원하지 않기 때문에 그림과 같은 상황에서 지하도와 차량을 구분하기는 어렵다. 자율주행이 아닌 경우에는 운전자에게 경고를 보내고 운전자의 판단으로 위험 회피가 가능하지만, 자율주행 3단계 이상의 경우에는 자율주행차량의 인지 엔진이 스스로 판단해야 한다. 이때 기존 차량용 레이더 센서는 지하도와 차량의 구분이 어렵고, 카메라 센서도 기상환경 등 여러 가지 이유로 제대로 동작하지 않은 경우에는 위험한 상황이 발생할 수 있다.

최근에 개발되고 있는 4D 이미징 레이더 센서는 타깃의 높이 측정이 가능하므로 위와 같은 상황에서 지하도와 차량을 각각 구별 인식할 수 있으며 이를 바탕으로 자율주행차량이 안정적으로 대응할 수 있다. 자율주행 단계가 높아짐에 따라 4D 이미징 레이더 센서에 의한 높이 측정이 필요함은 시장조사기관의 자료를 통해서도 확인할 수 있다. 글로벌 시장조사 전문기관인 프랑스 Yole Developement에 의하면 자율주행 4단계 이상에서는 차량용 레이더 센서를 통한 3D(x, y, z) 감지, 즉 타깃의 높이 측정이 필수적이다. 이미징 레이더를 활용한 AI 연구도 시작되어 KAIST 공승현 교수 연구팀이 SRS의 4D 이미징 레이더를 적용하여 악천후 상황에서 안

정적인 자율주행을 가능하게 하는 4D 레이더 객체 인지 인공지능(AI) 기술을 개발하였으며 4D 레이더 AI 신경망 성능을 다양한 방법으로 실험하였다. 악천후 상황에서 카메라 및 LiDAR는 측정치가 소실되는 영역이 발생하였으나 4D 이미징 레이더는 안정적인 결과를 내었다. 연구 성과는 2022년 12월 국제 AI 컨퍼런스인 ‘뉴립스 2022’ 데이터셋&벤치마크 트랙에서 발표되었으며 AI 이미징 레이더가 본격적으로 학계에 알려지는 계기가 되었다.

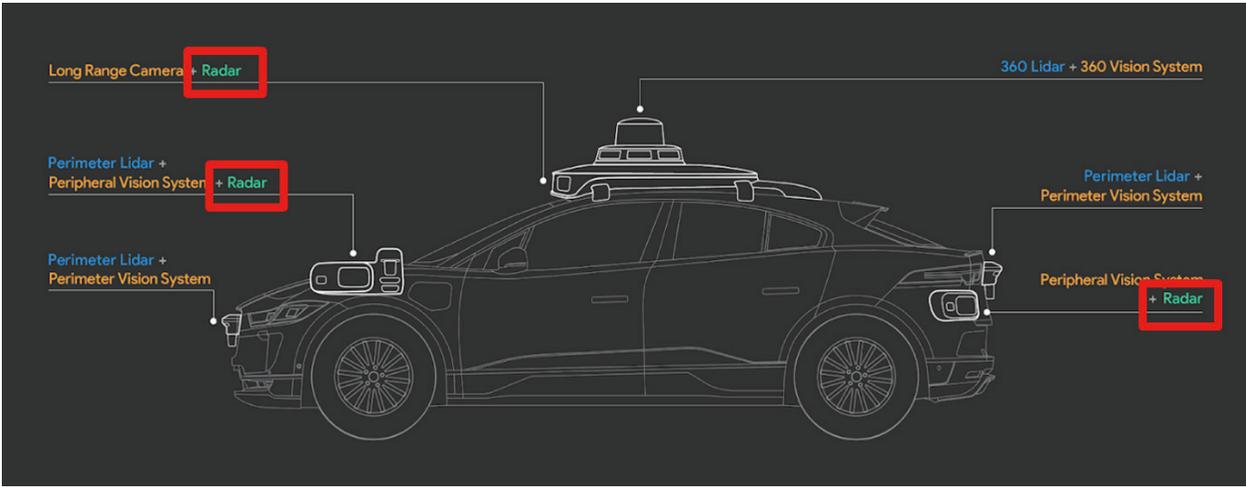
#### 4D 이미징 레이더가 자율주행의 핵심으로 활용될 것

비전 센서만으로 자율주행이 가능하다는 테슬라의 주장과 레이더 또는 LiDAR와의 센서 융합(sensor fusion)이 필요하다는 2가지 다른 견해가 팽팽하게 맞서고 있었다. 그런데 최근에 테슬라가 2023년 초 출시 모델에 다시 레이더를 적용할 것이라는 소식이 전해지면서 레이더, 특히 고해상도 4D 이미징 레이더가 주목을 받기 시작하였다.

최근 자율주행차량에 4D 이미징 레이더 채택이 활발히 진행 및 검토되고 있다. ‘그림 2’는 구글 Waymo의 5세대 자율주행 센서 시스템이다. 안전한 자율주행을 위해 카메라, 레이더, LiDAR 센서를 복합적으로 사용하는 것을 볼 수 있다. 특히 구글 Waymo는 자체 개발한 4D 이미징 레이더 센서를 사용하고 있으며 이를 통해 도심 주행 시 맨홀에서 발생하는 수증기에 의한 고스트 객체를 제거하는 데 활용하고 있다고 발표하였다.

다른 자율주행 업체들과 완성차 업체들에서도 4D 이미징

그림 2. 구글 Waymo 5세대 자율주행 센서 시스템



레이다 센서를 채택하거나 채택을 검토하고 있으며 주요 3가지 이유는 다음과 같다.

1) 기존 차량용 레이다를 4D 이미징 레이다로 업그레이드 대체하기 위함. 300미터 이상에서 객체 감지, 수평각도 해상도 1도 등이 중요한 성능 지표임

2) LiDAR 센서의 가격이 비싸서 유사한 포인트 클라우드(point cloud) 성능을 낼 수 있는 4D 이미징 레이다를 사용하고자 함

3) 카메라, LiDAR 센서 고장 상황에서도 안정적인 동작을 위해 센서 이중화(redundancy) 설계가 필요하며 4D 이미징 레이다 센서로 LiDAR 센서 고장에 대비하고자 함

글로벌 시장조사기관에 의하면, 위에 서술한 장점들로 인해 자율주행용 이미징 레이다가 향후 10년간 연간 32.1% 성장할 것으로 예상된다.

**자율주행을 위한 대량의 데이터 리더십 확보**

영상 처리 분야에는 이미징이 활성화되어 AI 분석용 데이터가 다수 존재한다. 레이더의 경우는 각 제조사별로 독자적으로 데이터를 모으지만, 외부에 공개하지 않는 폐쇄적인 생태계

그림 3. SRS의 이미징 레이더 포인트 클라우드(RETIINA-4FN 5대 적용, 현대 아이오닉 자율주행 개조 차량)



이다. SRS는 기계학습 기반의 차량, 보행자, 자전거를 탄 사람이 구별가능한 객체인식 엔진과 실내 사람의 자세와 낙상 인식이 가능한 딥러닝 기반의 자세인식 엔진을 개발하였다. 향후 자율주행차량에 사용될 이미징 레이더 기반의 객체인식 엔진은 주행 도로에서의 동적객체(차량, 보행자, 이륜차 등)와 정적객체(중앙분리대, 육교, 터널, 도로 연석, 비정형 장애물 등)의 인식이 가능하도록 개발 중이며, 관련해서 2022년에 2백 만개의 데이터 세트를 모았고 올해 중반에 일반에 공개할 예정이다. 구별할 대상 객체가 많으므로 대규모 네트워크 기반의 딥러닝 엔진으로 개발이 필요하며 집단지성을 활용한 개발이 가능할 것으로 예상된다.

그림 4. CES 2023에서 전시된 SRS의 SW 정의 이미징 레이더



### 소프트웨어 정의 차량(SDV, SW Defined Vehicle) 시대를 이끌 SW 정의 이미징 레이더(SDIR, SW Defined Imaging Radar)

스마트레이더시스템은 이미 글로벌 OEM 및 Tier 1 들과의 협력을 통하여 4D 이미징 레이더의 글로벌 선두 주자로 발돋움하였다. 아울러 ‘소프트웨어 정의 차량(Software Defined Vehicle)’의 대두와 맞물려 SDV에 적합한 센서들이 출시될 것으로 예상되는 시점에서 SRS는 세계적으로 기술을 선도하는 SDIR(Software Defined Imaging Radar)을 CES 2023에서 발표하였다.

SDIR을 채택하게 되면 동일한 레이더 하드웨어 사양에서 소

프트웨어로 최대 10배의 성능을 낼 수 있다. 특히 객체인식 엔진의 성능 향상을 위해서는 이미징 레이더 외에 카메라 센서와 라이다 센서 등의 퓨전도 예상된다. 센서 퓨전의 경우 특히 산업용 시장의 모빌리티 로봇, 건설기계, 농기계 등에서도 활용 가능성이 높을 것으로 기대된다.

### 결론

2023년을 기점으로, 특히 그간의 성능 경쟁을 넘어서서 이제는 양산 가능한 기술 및 제품을 보유한 플레이어들이 시장을 지배할 것으로 예상된다.

### 참고문헌

- 1) Radar and wireless technology for automotive, Yole Development, 2019
- 2) Waymo, 2021.8, <https://blog.waymo.com/2021/08/MostExperiencedUrbanDriver.html>
- 3) IDTechEx, “Automotive Radar 2022-2042”, 2021

...	저자소개	↗
<p>김용환 (㈜스마트레이더시스템 대표이사)는 서울대학교 제어계측공학과에서 학사와 석사, University of Texas at Austin에서 공학박사 과정을 밟았다. 이후 실리콘밸리에서 Cisco 및 AT&amp;T 엔지니어로 근무하였고, LG그룹 임원으로 지내며 다수의 신사업 담당과 글로벌 협력, 스타트업 투자, 신규사업 기획 등을 진행하였으며, 2020년에는 4D 이미징 레이더 개발을 통해 '중소기업 기술혁신 국무총리 표창'을 받았다. 현재 서울대학교 객원교수로도 활동 중이다.</p>		