

# 자율주행차량을 위한 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술

장재득 김태중\*

한국전자통신연구원 책임기술원

한국전자통신연구원 부장 \*

자율주행차량을 위해 기존에는 상용 WiFi, Bluetooth, ZigBee, WiMax, IEEE 802.11p 기반 근거리 전용 통신(Dedicated Short Range Communication: DSRC) 및 4G를 차량에 통합하려고 시도했다. 그러나 기존 무선통신 기술은 대역폭이 제한되어 있어 자율주행차량 통신에서 차량 센서 시스템의 3차원 및 고화질 영상과 같은 대용량의 데이터를 지연 없이 처리하기에는 어려운 문제점이 있다. 본 고에서는 자율주행 시 대용량의 데이터를 지연 없이 전달하기 위해서 차세대 밀리미터파 기반 무선통신 기술을 자율주행차량 사물 통신에 적용하여 대용량 트래픽 데이터를 초고속, 초저지연 통신으로 전송할 수 있는 차량 사물 통신 기술에 대해 논하고자 한다.

## 1. 서론

자율주행차량에 의해 자동차 혁명이 일어나고 있다. 사람의 개입이 없는 자율주행차량은 운전자의 실수로 인한 교통사고를 85%까지 감소시킬 것으로 예측되고 있다. 자율주행차량의 기술은 사물인터넷과 클라우드 컴퓨팅의 전형적인 융합이다. 자율주행차량은 차량 대 인프라(Vehicle to Infrastructure: V2I)와 차량 대 차량(Vehicle to Vehicle: V2V)의 두 가지 무선 방식을 통해 운전 전략을 최적화하기 위해 많은 트래픽 데이터를 수집할 수 있다.

기존의 무선통신에서는 라이다(Light Detection And Ranging: LiDAR)의 3차원 이미징 및 카메라의 고화질 비디오와 같은 트래픽 데이터는 계속 증가하고 있다. 이러한 기하 급수적으로 증가하는 트래픽 데이터를 처리하기 위해 차세대 무선기술인 밀리미터파[1] 무선통신 기술을 적용한 자율주행차량용 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술을 제안한다. 제안된 차량 사물 통신 기술의 밀리미터파는 특히 3-300GHz 에서 동작하며[2], 사용 가능한 채널 대역폭은

\* 본 내용은 장재득 책임기술원(☎ 042-860-6357, jdjang@etri.re.kr)에게 문의하시기 바랍니다.

\*\* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITP의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

최대 몇 GHz 이다. 따라서 밀리미터파는 대용량 데이터 전송을 위해 멀티 기가 비트 전송률을[3] 달성할 수 있다. 또한, 밀리미터파는 스마트 안테나 배열을 이용하여 빔 형성 기술을 구현한다[4].

차량을 중심으로 유무선통신망을 통해 정보를 제공하는 기술인 차량 사물(Vehicle-to-Everything: V2X) 통신은 차량 간 및 차량과 네트워크 인프라 간의 정보 교환을 가능하게 한다. V2X 통신은 차량-차량 간(V2V), 차량-인프라 간(V2I), 차량-네트워크 간(Vehicle to Network: V2N) 및 차량-보행자 간(Vehicle to Pedestrian: V2P)의 네 가지 유형의 통신으로 구성된다. 제안된 차량 사물 통신 기술은 낮은 대기 시간, 높은 신뢰성 또는 높은 대역폭을 필요로 하는 보다 도전적이고 미래지향적인 사용을 지원할 수 있다. 이 기술은 V2V 및 V2I 밀리미터파 통신으로 구성되며 V2V 는 라이다 데이터 및 고화질 비디오 같은 차량 간의 감각 데이터를 실시간으로 교환할 수 있어 사각 지역을 커버하고 악천후 시력을 공유할 수 있다. V2I 는 도로변 인프라와 클라우드 컴퓨팅을 활용하여 인식된 물체와 신호를 피드백한다. 그리고 운전자와 차량 간 상호 작용을 위한 인터페이스는 터치, 음성, 제스처, 뇌파 등 다양한 방식이 하나의 기기로 통합된 멀티 모달(Multi-Modal) 방식으로 자율주행차량은 최적의 주행을 할 수 있다.

본 고에서는 자율주행차량 및 무선통신의 주요 기술을 살펴보고, 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신의 프레임워크를 소개하고 주요 문제 및 솔루션을 제안한다. 제안된 기술은 지능형 교통 애플리케이션에 대해 큰 의미와 전망을 가지고 있다고 생각한다. V2X 통신은 향후 커넥티드카(Connected Car)의 핵심 구성요소로서, 최상의 차량 연결 솔루션을 구현하려면 밀리미터파 무선통신과 자동차 산업 간의 파트너십이 중요하다. V2X 기술 및 서비스가 보다 안전한 교통 흐름과 보다 즐거운 여행 경험을 제공함으로써 모든 운전자와 승객에게 직접적인 혜택을 제공할 것이다.

## II . 자율주행차량 기술

운전자가 없는 자동차, 자가주행차, 로봇 자동차 등의 자율주행차량[5]은 운전자가 직접 조작하지 않고 자동차 스스로 주행 환경을 인식하여 목적지까지 주행할 수 있는 차량이다. 자율주행을 실현하기 위해 자율주행차량은 먼저 차량 탑재 센서를 사용하여 주변을 감지한다. 그런 다음 제어시스템은 감각 정보를 해석하여 장애물뿐만 아니라 적절한 주행 경로를 식별한다. 감지 정밀도를 높이기 위해 자율주행차량에는 센서 시스템을 주요 부품으로 하고 통신 시스템을

보조장치로 하는 두 개 이상의 독립적인 시스템이 장착된다.

차량 통신 시스템<sup>6)</sup>은 라이다/센서의 단점을 보완하기 위한 솔루션이다. 자율주행차량은 차량 및 인프라 간(V2I) 통신과 차량 및 차량 간(V2V) 통신을 기반으로, 교통 상황 등 주행에 필요한 유용한 정보를 상호 교환 및 협업하여, 차량의 사고를 줄이고 안전하게 주행할 수 있다.

차량 위치 및 매핑 시스템은 3 차원 고정밀 디지털 지도, GPS(Global Positioning System), 센서 정보, 고정밀 위치 측위 기술 등을 융합하여 차량의 위치 정밀도를 높이는 기술이다. 향후 완전 자율주행차량에서는 각종 센서 정보 수집 및 융합, 상황인지, 주행 경로 선정, 돌발 상황 등을 대처할 수 있는 복잡한 알고리즘과 딥러닝(Deep Learning) 기반 인공지능이 요구되므로 IT(Information Technology) 업계의 역할이 커질 전망이다.

## 1. 차량 센서 시스템

차량 센서 시스템은 레이저(Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation: LASER), 레이더(Radio Detection And Ranging: RADAR), 라이다, 카메라 등으로 구성된다. 레이저는 물체에 적외선 또는 자외선을 발사하고 반사되는 빛을 분석하여 주변 정보를 획득한다. 가격이 저렴하고 적외선 사용 시 야간에도 물체 식별이 가능한 장점이 있으나, 인식 거리가 짧고 날씨에 영향을 받으며 형태 인식이 어렵다는 단점이 있다.

레이더는 물체에 전자기파를 발사하고 반사되는 신호를 분석하여 거리, 고도, 방향, 속도 등의 정보를 획득한다. 전후방 충돌 방지, 차선 이탈 방지, 사각지대 감지, 차간 거리 조절, 주차 지원 등을 제공할 수 있는 자율주행의 핵심이 되는 센서이다.

라이다는 레이저를 사용하여 물체에 반사되어 돌아오는 레이저 빔의 시간을 측정하여 거리 정보를 획득하는 센서이며, 레이저의 직진성으로 장거리까지 정밀한 물체 관측 및 거리 측정을 지원하는 장점이 있다. 그러나 가격이 매우 고가인 단점이 있다.

카메라는 대상 물체에 대한 정확한 형태 인식을 제공하는 기술이다. 다른 센서 시스템에 비해 정밀도가 낮고 날씨, 시간에 영향을 받지만 차선, 주차선, 도로표지판, 신호등 등을 판독할 수 있으므로 주행차로 유지, 차선 변경, 합류로 및 분기로 지원, 자동주차 등을 지원할 수 있다.

이와 같은 차량 센서 시스템만으로는 차량의 자동 크루즈가 충분하지 않으며, 차선 유지용 사이드 카메라, 야간 탐지용 적외선 센서 및 거리 측정용 소나와 같은 다른 센서가 여전히 필수적이며, 특수한 응용 분야에서 중요한 역할을 한다.

## 2. 차량 통신 시스템

센서 시스템의 단점을 보완하기 위해 차량에 통신 시스템이 적용된다. 무선 데이터 공유를 통해 통신 시스템이 가시선 제약 조건을 깨고 악천후에서도 사각지대 정보와 같은 주변 데이터를 더 많이 수집하는 데 앞장서고 있다. 데이터가 많을수록 차량은 운전 전략을 더욱 최적화할 수 있다. 연구자와 엔지니어는 차량 통신 시스템에 다양한 무선 표준을 구현하려고 시도했다[7](표 1 참조).

[표 1] 차량 통신 시스템의 비교

구분	DSRC	WiFi	Bluetooth	ZigBee	WiMax	4G
주파수	5.9GHz	2.4/5.8GHz	2.4 GHz	868MHz/ 915MHz/ 2.4GHz	2~6GHz	1880~2650 MHz
표준	802.11p	802.11 a/b/g/h	802.15.1	802.15.4	802.16e	LTE
대역폭	10MHz	20, 40MHz	1 MHz	2MHz	1.75~20MHz	20MHz
전송속도	3~27Mbps	6~600Mbps	1~24Mbps	250Kbps	상향: 56Mbps 하향: 128Mbps	상향: 75Mbps 하향: 300Mbps
변조방식	OFDM	MIMO, OFDM	FHSS, GFSK, $\pi/4$ -DPSK, 8-DPSK	DSSS, O-QPSK	OFDMA, MIMO	OFDMA, MIMO
송신거리	< 300m	< 100m	< 100m	< 100m	< 10km	< 2km
가격	저가	저가	저가	저가	고가	고가

<자료> Next-Generation Mobile Technologies on IoT

DSRC(Dedicated Short Range Communications)와 WiFi 는 가장 일반적인 무선 프로토콜 스택인 IEEE 802.11 계열에 속한다. 802.11p 기반 DSRC[8]는 802.11a 에 가까운 차량 통신용으로 특별히 설계되었다.

블루투스과 ZigBee 의 장점은 저전력으로, 블루투스 4.0 의 전력 소비는 0.5mW 에 불과하다. 그러나 이러한 저전력 표준은 BLE(Bluetooth Low Energy) 모드의 전송속도가 1Mbps 에 불과하고 ZigBee 의 전송속도가 250kbps 에 불과한 등 낮은 전송속도를 제공한다.

WiMax 및 4G LTE 는 셀룰러 네트워크에 널리 채택된 기지국 기반의 장거리 전송 기술이다. 이들은 고속 모바일 환경에서도 메가 비트 무선 접속 서비스를 제공할 수 있다. 그러나 기지국은 고가이며, 차량 사용자는 운전 중 데이터 트래픽에 대해 비용을 지불해야 한다.

차량 통신 시스템에 대한 수많은 표준이 있지만 어느 것도 자율주행차량에 적합하지 않다.

기존 표준의 공통적인 문제는 전송 가능성이 메가 비트 수준으로 제한된다. 반대로 자율주행차량의 라이더 및 고화질 카메라는 매초마다 대용량의 데이터를 생성한다. 특히, 복잡다단한 시나리오에서 이러한 데이터를 여러 차량 간에 공유하려면 기가 비트 무선 전송이 필요하다.

### 3. 차량 위치 및 매핑 시스템

차량 위치 및 매핑 시스템에서 3차원 고정밀 디지털 지도는 자율주행에 필요한 차선 정보, 도로 시설, 표지 시설 등 도로의 모든 정보를 고정밀 3차원 지도로 나타낸다. 자율주행차량은 센서에서 얻은 차선 정보와 정밀 지도의 차선 정보를 정합하고, 후방 센서에서 획득한 정보와 정밀 지도에 있는 정보를 연동하여 위치를 추정할 수 있다. 고정밀 위치 측위 기술은 자율주행을 위해 GPS와 센서 정보가 융합되는 위치 측위가 필요하며, 고정밀 디지털 지도 상에서 차량의 정확한 위치와 주행 방향을 실시간으로 매핑시키는 것이 필요하다. 따라서 복합 위치 측위 기술과 고정밀 디지털 지도의 위치 매핑을 위한 소프트웨어 개발이 요구된다.

## III . 무선통신 기반 차량 통신 기술

### 1. 근거리 전용 통신

근거리 전용 통신(DSRC)은 IEEE 에서 차량 간 통신을 지원하기 위해 설계된 표준으로 특히, 차량 안전 애플리케이션을 구현하는 데 중점을 두고 있다. DSRC 표준 계열은 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)라고도 하며 IEEE 1609 및 802.11p 에 정의되어 있다. WAVE 는 차량이 고속으로 이동하는 전파 환경의 V2I, V2V 에서 패킷 메시지를 최대 1km 까지 통신이 가능하며 메시지를 100ms 이내로 송수신이 가능하다.

DSRC 프로토콜 스택의 상위 계층은 IEEE 1609 워킹그룹 및 SAE International 이 정의한 표준을 기반으로 한다. DSRC 프로토콜 스택의 하위 계층인 물리 계층과 매체 액세스 제어(PHY/MAC) 는 IEEE 802.11p 에 정의되어 있으며 WiFi 계열의 표준을 기반으로 한다

IEEE 802.11p 를 기반으로 하는 DSRC 는 약 20년 전에 설계된 현재 기술이다. 많은 이해 관계자들이 광범위한 표준화, 제품 개발 및 현장 시험을 거쳤다.

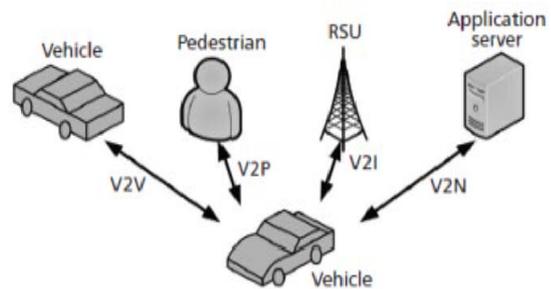
DSRC 에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째, 시스템은 현재 설치되지 않은 도로변 장치(Roadside

Unit: RSU)에 의존한다. 둘째, 물리 계층에서 시스템의 비동기 방식 사용으로 인해 여러 가지 비효율성이 발생하여 성능이 저하된다. 마지막으로 DSRC 물리 계층/MAC 계층에서 커버리지, 견고성 및 신뢰성 측면에서 개선할 수 있는 진화 경로 또는 IEEE 802.11 표준화 활동이 현재 없다.

## 2. LTE 기반 차량 통신

LTE(Long Term Evolution) 기반 V2X의 표준화는 3GPP(Third Generation Partnership Project)에 의해 적극적으로 진행되어 LTE 시스템의 V2X 통신 솔루션을 제공한다. V2I 및 V2N 서비스는 LTE 네트워크의 광범위한 설치로 인해 높은 데이터 속도, 서비스 품질(Quality of Service: QoS) 지원, 유비쿼터스 커버리지 및 높은 보급률로 제공될 수 있다. 한편, LTE는 차량 밀도가 높은 경우 낮은 대기 시간, 높은 신뢰성 및 고속과 같은 QoS 요구사항을 충족시키기 위해 D2D(Device-to-Device) 사이드 링크 설계를 기반으로 하는 V2V 직접 통신을 지원하도록 확장될 수 있다.

[그림 1]은 4 가지 유형의 V2X 애플리케이션을 보여주고 있다. V2V 애플리케이션은 위치, 이동 속도 및 차량 속성과 같은 V2V 애플리케이션 정보를 교환하기 위해 주변 장치에 메시지를 브로드캐스팅할 수 있다. V2V 트래픽은 RSU, 애플리케이션 서버 등을 포함한 V2X 통신을 지원하는 네트워크 인프라에서 전달할 수 있다. V2P 애플리케이션은 차



<자료>: Support for Vehicle-to-Everything Service Based on LTE

[그림 1] V2X 애플리케이션(V2V/V2P/V2I/V2N)

량 UE와 보행자 UE 간에 교환될 수 있다. 보행자 UE의 전력 소비의 제한으로 인해 이들 장치에 대한 메시지를 송신 또는 수신하는 빈도는 차량 UE보다 낮을 것이다. V2I 애플리케이션에서 UE는 정보를 RSU로 전송할 수 있고, RSU는 유니캐스트, 멀티캐스트 및 브로드캐스트와 같은 전송 모드에서 V2I 애플리케이션 정보에 따라 수신 UE를 선택할 수 있다. V2N 애플리케이션은 EPS(Evolved Packet Switching)[9]를 사용하여 V2N 애플리케이션을 지원하는 애플리케이션 서버와 통신할 수 있다.

LTE 기반 V2X의 주요 기술적 문제는 서비스 요구 사항 및 운영 시나리오 분석을 통해 물리 계층 구조 설계, 동기화 및 자원 할당과 같은 측면으로 제안된다.

### 3. 밀리미터파 기반 차량 통신

차세대 모바일 기술인 밀리미터파는 새로운 애플리케이션에 멀티 기가 비트 무선 서비스를 제공할 계획이다[10]. 밀리미터파를 자율주행차량에 적용하기 전에 먼저 밀리미터파의 전파 특성을 소개한다. 밀리미터파의 첫 번째 특성은 대역폭이다. 비면허 60GHz 대역은 모바일 애플리케이션용으로 7GHz 대역폭을 제공하며, 실내 멀티 기가 비트 무선 네트워크를 목표로 IEEE 802.11ad에서 지원된다. 넓은 대역폭의 이점을 고려할 때 802.11ad의 전송속도는 최대 6.76 Gbps 이고, 현재 달성된 최고 전송속도는 7Gbps 이다. 802.11ad의 다른 주요 파라미터는 [표 2]와 같다. 이러한 다중 기가 비트 전송 기능을 자율주행차량에 이식하면 라이다의 3차원 이미지 및 카메라의 고화질 비디오를 포함한 감각 데이터를 실시간으로 모든 주변 차량과 공유할 수 있다.

[표 2] 60GHz 밀리미터파 통신을 위한 IEEE 802.11ad 주요 파라미터

파라미터	값	파라미터	값
주파수	57GHz-64GHz	변조방식	OFDM
채널 수	4	송신거리	< 10m(omni-antenna)
대역폭	2.16GHz	비용	저가
전송속도	693Mbps-6.76 Gbps		

<자료> Next-Generation Mobile Technologies on IoT

대역폭 외에 다른 특성은 짧은 파장이다. 밀리미터파의 파장이 밀리미터 레벨이기 때문에 작은 공간에 많은 안테나를 패키징할 수 있다. 따라서 빔 형성 기술은 밀리미터파에 쉽게 적용되며, 스마트 안테나 배열에 의한 지향성 신호 전송을 생성하는 신호 처리 기술이다. 아울러 자율주행차량에 큰 도움이 되며, 방향성 전송은 고속 모바일 환경에서의 위치 표시를 지원한다. 또한, 빔 형성은 공간 분할 다중 접속에 의한 동시 전송을 실현하고 간섭을 감소시킨다.

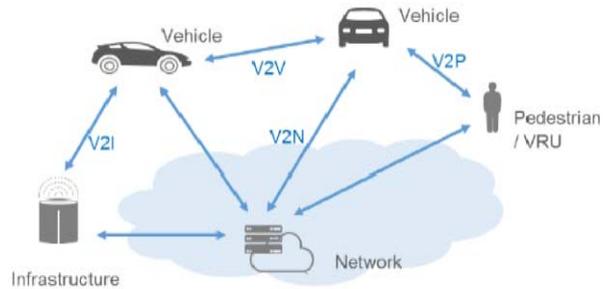
## Ⅳ . 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술

### 1. 차량 사물 통신 기술

3GPP에서 정의된 V2X 통신은 V2V, V2I, V2N 및 V2P의 네 가지 유형으로 구성되며, [그림 2]는 V2X의 유형을 보여준다. 이들 통신은 일반적으로 양방향이고, V2I 및 V2N은 인프라 및 네트워크가 차량에 메시지를 전송하는 것을 포함한다. V2V 및 V2P 전송은 사고를 피하기 위해

위치, 속도 및 방향에 대한 정보를 공유하기 위해 차량 간 또는 차량과 취약한 도로 사용자인 보행자나, 자전거를 타는 사람 간의 브로드캐스트 기능을 제공한다.

V2I 전송은 차량과 RSU 사이에서 이루어지며, V2N 전송은 차량과 V2X 애플리케이션 서버 사이에서 이루어진다.



<자료>: 5G Americas V2X Cellular Solutions

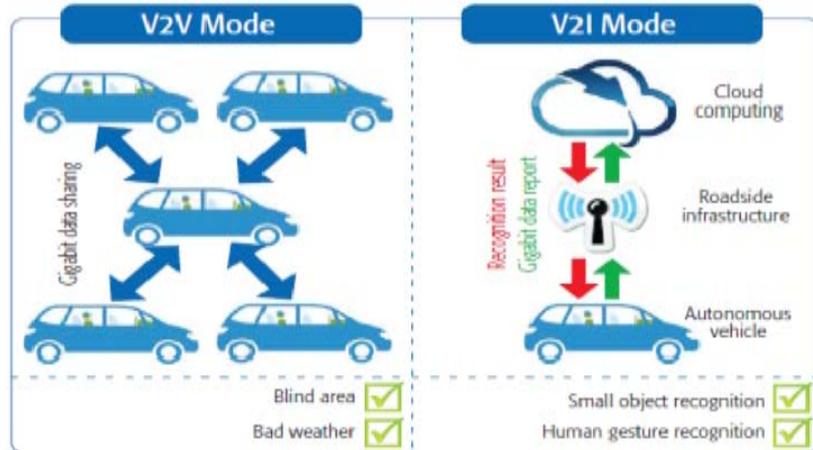
[그림 2] V2X 유형

RSU 는 전달 노드(중계기)로써 차량으로부터 수신된 V2X 메시지의 범위를 확장하는데 사용될 수 있다. V2I 는 도로 작업과 같은 정보를 공유하기 위해 차량과 교통 제어 장치 간의 통신을 포함할 수 있다. V2N 은 4G/5G 네트워크를 통해 차량과 서버 간의 통신을 포함할 수 있다.

## 2. 차량 사물 통신 프레임워크

자율주행차량의 대용량 데이터 전달을 충족시키기 위해 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크에는 3 가지 주요 구성요소가 있다. 첫째, 모든 자율주행차량에는 밀리미터파 무선, 라이다, 카메라 및 기타 일반 센서가 장착되어 있다. 둘째, 도로변 인프라는 고화질 카메라와 밀리미터파 무선으로 구성된다. 또한, 인프라는 클라우드와 유선으로 연결된다. 셋째, 클라우드 컴퓨팅은 데이터 분석 및 경로 계획을 위한 강력한 계산 기능을 갖추고 있다. 자율주행차량용 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 구조는 [그림 3]과 같다. 프레임워크는 V2V 및 V2I 밀리미터파 무선통신 모드를 기반으로 한 서비스를 제공한다.

- V2V 밀리미터파 무선통신: 밀리미터파 무선 차량은 전송 범위 내에서 실시간 감각 데이터를 공유하여 IoT(Internet of Things) 애플리케이션을 형성할 수 있다. 따라서 사각지대 및 악천후 문제가 효과적으로 해결된다. 차량이 감지 범위 내의 사각지대를 관찰할 때 주변 차량으로부터의 라이다 또는 카메라 데이터를 보상하도록 요구한다. 또한, 라이다의 감지 범위는 악천후에서 급격히 줄어들지만 밀리미터파의 전송 범위는 거의 영향을 미치지 않는다. 공유된 감각 데이터를 활용하여 차량은 다중 소스 멀티 모달 데이터 분석[11]을 통해 3차원 도로 조건을 재구성할 수 있다.



<자료>: Next Generation Mobile Technologies on IoT

[그림 3] 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 구조

- V2I 밀리미터파 무선통신: 이 모드에서 도로변 인프라는 차량과 클라우드 간에 데이터를 전달하는 중계 역할을 한다. 따라서 인식 문제가 잘 해결될 수 있다. 예를 들어, 차량이 물체 또는 사람의 몸짓을 감지하지만 식별할 수 없는 경우 고화질 비디오를 클라우드로 전송한다. 대용량 데이터와 강력한 계산 기능을 통해 클라우드는 즉각적으로 인식을 실행하여 결과를 다시 제공할 수 있다.

### 3. 차량 사물 통신 설계 문제 및 솔루션

밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술에 대한 네 가지 주요 설계 문제와 솔루션을 제시한다.

#### 가. 데이터 우선 순위

데이터 우선 순위의 목적은 무선 충돌이 발생할 때 어떤 감각 데이터가 미리 전송될 수 있는지를 결정하는 것이다. 의사 소통 요구사항을 세 가지 우선 순위로 분류한다.

- 우선 순위 I: 차량이 자동차 충돌과 같은 위험한 환경을 감지하거나 추정할 때 가장 중요한 우선 순위는 이 긴급 데이터를 이웃 차량 및 인프라로 즉시 전송하는 것이다. 긴급 데이터는 자율주행차량 안전의 첫 번째이다.
- 우선 순위 II: 자율주행차량이 앞선 트럭을 추월하려 하지만 트럭 앞의 도로 상태를 감지

할 수 없는 경우 이 차량은 트럭에 요청을 보낸다. 그런 다음 트럭은 라이다 및 고화질 카메라의 데이터에 응답한다. 애플리케이션 기반 요청의 우선 순위는 긴급 데이터에 이어 두 번째이다.

- 우선 순위 III: 브로드캐스팅 밀리미터파 채널이 사용되지 않으면 GPS 정보, 이동 정보, 밀리미터파의 채널 상태 및 추출된 감각 데이터 등의 메시지가 차량 및 인프라를 포함한 모든 단일 홉 이웃에 브로드캐스팅된다. 또한, 차량은 교차로를 통과할 때마다 데이터를 전송한다.

밀리미터파의 매체 접근 제어(Medium Access Control: MAC) 계층에서는 충돌 후 가장 먼저 전송할 수 있는 짧은 백 오프 범위를 갖는 높은 우선 순위의 데이터를 설정한다. 이 데이터에서 가장 낮은 우선 순위를 갖는 데이터가 가장 긴 백 오프 범위를 가진다.

#### 나. 설치 계획

도로변 및 최적 위치에 설치해야 하는 인프라의 수를 설치 계획에 따라 결정한다. 설치 문제는 두 가지 측면으로 대별된다. 첫째, 지도 정보와 방향성 밀리미터파의 전송 범위를 사용하여 가장 낮은 수의 인프라를 계산하여 모든 도로의 전체 커버리지를 충족시킬 수 있다. 둘째, 안테나 배열의 크기에 의해 제한되며, 하나의 인프라는 동시에 한정된 수의 차량에만 서비스를 제공할 수 있다. 중복 계수는 과거의 도로 조건에 따라 결정된다. 예를 들어, 빈번한 정체 또는 사고가 있는 도로에는 높은 중복성이 설정된다. 위의 두 단계를 활용하면 전체 인프라 수와 대략적인 분포를 얻을 수 있다.

밀리미터파 무선통신을 사용하는 인프라와 차량 수 간의 관계를 공식화하기 위해 경제 이론을 사용한다. 그리고 설치 계획을 안내하고 수정하기 위한 시뮬레이션이 수행된다.

#### 다. 빔 제어

경로 손실을 극복하기 위해 밀리미터파에서는 지향성 안테나와 빔 형성의 두 가지 방법이 사용될 수 있다. 지향성 안테나의 가장 큰 장점은 기존의 장치를 사용하여 구현하기가 쉽다는 데 있지만, 단점은 하나의 안테나가 단 하나의 무선 링크를 제공하고, 회전 모터가 추가 지연을 야기한다는 점이다. 빔 형성은 안테나 배열에 의해 동시에 여러 개의 링크를 생성할 수 있으며 방향 변경은 차량 속도에 따라 충분히 빠르다.

안테나 배열을 사용한 빔 형성은 디지털 또는 아날로그 영역에서 실현될 수 있다. 그러나

아날로그 빔 형성에는 많은 수의 안테나가 필요하며 디지털 방식보다 유연성이 떨어진다.

유연성과 단순성 사이의 절충을 위해 하이브리드 구조를 제안한다. 이 구조에서는 단순한 아날로그 빔 형성이 고속 차량을 신속하게 추적하는 한편, 유연한 디지털 빔 형성은 하나의 인프라가 여러 차량을 동시에 연결해야 하는 경우 여러 빔을 제공한다.

#### 라. 핸드오버 전략

자율주행차량용 밀리미터파 통신에서의 핸드오버는 다음과 같이 복잡하게 수행될 수 있다

- 차량이 하나의 밀리미터파 무선통신 커버리지 지역에서 벗어나 다른 무선 지역으로 진입할 때 링크 종료를 피하기 위해 무선 링크가 전송된다. 이 경우에 차량이 V2I 통신 모드 뿐만 아니라 V2V 통신 모드도 가지므로 핸드 오버를 위한 목적지 다이버시티를 증가시키기 때문에 핸드오버 동작은 중요하다.
- 셀룰러 네트워크에서는 강력한 침투력으로 인해 차량의 무선 링크가 나무, 사람 또는 다른 차량과 같은 물체에 의해 막히지 않지만, 자율주행차량용 밀리미터파 시스템에서는 방향성 전달, 불량 침투 및 고속 때문에 무선 링크가 물체에 의해 막혀서 통신이 불가능한 상태가 된다. 이 경우에 무선 링크를 다른 밀리미터파 무선 링크로 신속하게 전송해야 한다.

핸드오버 성능을 향상시키기 위한 예측 전략을 추가할 것을 제안한다. 클라우드 컴퓨팅으로 차량은 감각 데이터를 기반으로 하여 주변 물체의 움직임을 비교적 정확하게 예측할 수 있다. 그런 다음 도로 지도 및 인프라 위치와 함께 이 차량은 장애물을 우회하고 앞뒤의 경우를 최소화하여 최적의 링크 선택이라는 목표로 사전에 핸드오버를 계획하여 수행한다.

## V. 결론

최근에 학계와 산업계 모두 자율주행차량에 상당한 노력을 기울이고 있다. 밀리미터파 스펙트럼은 향후 수십 년 이후 자율주행차량 통신을 지원하는 가장 효과적이고 직접적인 솔루션으로 멀티 기가 비트 전송 속도를 제공할 수 있다. 본 고에서는 자율주행차량에 최대한 활용하기 위한 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술을 제안했다. 이 기술은 사각지대 및 악천후 문제를 해결하기 위해 차량 간의 감각 데이터 공유를 가능하게 한다. 반면에, 인간의 몸짓과 작은 물체를 정확하게 인식하기 위해 이 기술은 고화질 비디오의 차량 인프라 간 통신을 통해

클라우드 컴퓨팅을 활용한다.

결론적으로, 제안된 밀리미터파 무선통신 기반 차량 사물 통신 기술을 적용한 자율주행차량은 교통 혼잡 문제를 개선하고, 운전자의 부주의로 인한 교통사고를 절감할 수 있을 것이다. 또한, 효율적인 주행으로 인해 에너지 절감, 배출 가스를 감소시킴과 동시에 고령자 및 교통 약자에게 이동 자율성 보장을 지원할 수 있어 사회 경제적 파급효과가 높을 것이다.

#### [참고문헌]

- [1] Z. Pi and F. Khan, "An Introduction to Millimeter-Wave Mobile Broadband Systems," IEEE Commun. Mag., vol.49, no.6, June 2011, pp.101-07.
- [2] Y. Zhu et al., "Demystifying 60GHz Outdoor Picocells," ACM MobiCom, 2014, pp.5-16.
- [3] A. Ghosh et al., "Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A High-Data-Rate Approach for Future Wireless Networks," IEEE JSAC, vol.32, no.6, 2014, pp.1152-63.
- [4] W. Roh et al., "Millimeter-Wave Beamforming as an Enabling Technology for 5G Cellular Communications: Theoretical Feasibility and Prototype Results," IEEE Commun. Mag., vol.52, no.2, Feb. 2014, pp.106-13.
- [5] J. Baber et al., "Cooperative Autonomous Driving: Intelligent Vehicles Sharing City Roads," IEEE Robotics & Automation Mag., vol.12, no.1, 2005, pp.44-49.
- [6] K. Dar et al., "Wireless Communication Technologies for ITS Applications," IEEE Commun. Mag., vol.48, no.5, May 2010, pp.156-62.
- [7] N. Kumar et al., "Critical Applications in Vehicular Ad Hoc/Sensor Networks," Telecommun. Systems, 2014.
- [8] J. B Kenney, "Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States," Proc. IEEE, vol.99, no.7, 2011, pp.1162-82.
- [9] 3GPP TS 22.185, "Service Requirements for V2X Services," Feb. 2016.
- [10] D. Halperin et al., "Augmenting Data Center Networks with Multi-Gigabit Wireless Links," ACM SIGCOMM Comp. Commun. Review, vol. 41, 2011, pp.38-49.
- [11] S. Qian et al., "Multi-Modal Event Topic Model for Social Event Analysis," IEEE Trans. Multimedia, vol.18, no.2, 2016, pp.233-46.

\* 이 논문은 2017 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014-0-00282, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)