ISSN 2288-4866 (Print)
ISSN 2288-4882 (Online)
http://www.jiisonline.org
J Intell Inform Syst 2021 March: 27(1): 191~207 http://dx.doi.org/10.13088/jiis.2021.27.1.191

자율 주행을 위한 Edge to Edge 모델 및 지연 성능 평가

조문기
한양대학교 에리카 소프트웨어학부
(poletopole@hanyang.ac.kr)

배경율
상명대학교 컴퓨터과학과
(jbae@smu.ac.kr)

오늘날 이동통신은 급증하는 데이터 수요에 대응하기 위해서 주로 속도 향상에 초점을 맞추어 발전해 왔다. 그리고 5G 시대가 시작되면서 IoT, V2X, 로봇, 인공지능, 증강 가상현실, 스마트시티 등을 비롯하여 다양한 서비스를 고객들에게 제공하기위한 노력들이 진행되고 있고 이는 우리의 삶의 터전과 산업 전반에 대한 환경을 바꿀 것으로 예상되고 되고 있다. 이러한 서비스를 제공하기위해서 고속 데이터 속도 외에도, 실시간 서비스를 위한 지연 감소 그리고 신뢰도 등이 매우 중요한데 5G에서는 최대 속도 20Gbps, 지연 1ms, 연결 기기 $10^6/km^2$를 제공함으로써 서비스 제공할 수 있는 기반을 마련하였다. 하지만 5G는 고주파 대역인 3.5Ghz, 28Ghz의 높은 주파수를 사용함으로써 높은 직진성의 빠른 속도를 제공할 수 있으나, 짧은 파장을 가지고 있어 도달할 수 있는 거리가 짧고, 회절 각도가 작아서 건물 등을 투과하지 못해 실내 이용에서 제약이 따른다. 따라서 기존의 통신망으로 이러한 제약을 벗어나기가 어렵고, 기반 구조인 중앙 집중식 SDN 또한 많은 노드와의 통신으로 인해 처리 능력에 과도한 부하가 발생하기 때문에 지연에 민감한 서비스 제공에 어려움이 있다. 그래서 자율 주행 중 긴급 상황이 발생할 경우 사용 가능한 지연 관련 트리 구조의 제어 기능이 필요하다. 이러한 시나리오에서 차량 내 정보를 처리하는 네트워크 아키텍처는 지연의 주요 변수이다. 일반적인 중앙 집중 구조의 SDN에서는 원하는 지연 수준을 충족하기가 어렵기 때문에 정보 처리를 위한 SDN의 최적 크기에 대한 연구가 이루어져야 한다.

그러므로 SDN이 일정 규모로 분리하여 새로운 형태의 망을 구성 해야하며 이러한 새로운 형태의 망 구조는 동적으로 변하는 트래픽에 효율적으로 대응하고 높은 품질의 유연성 있는 서비스를 제공할 수 있다. 이러한 SDN 구조 망에서 정보의 변경 주기, RTD(Round Trip Delay), SDN의 데이터 처리 시간은 지연과 매우 밀접한 상관관계를 가진다. 이 중 RDT는 속도는 충분하고 지연은 1ms 이하이기에 유의미한 영향을 주는 요인은 아니지만 정보 변경 주기와 SDN의 데이터 처리 시간은 지연에 크게 영향을 주는 요인이다.

특히, 5G의 다양한 응용분야 중에서 지연과 신뢰도가 가장 중요한 분야인 지능형 교통 시스템과 연계된 자율주행 환경의 응급상황에서는 정보 전송은 매우 짧은 시간 안에 전송 및 처리돼야 하는 상황이기때문에 지연이라는 요인이 매우 민감하게 작용하는 조건의 대표적인 사례라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 자율 주행 시 응급상황에서 SDN 아키텍처를 연구하고, 정보 흐름(셀 반경, 차량의 속도 및 SDN의 데이터 처리 시간의 변화)에 따라 차량이 관련정보를 요청해야 할 셀 계층과의 상관관계에 대하여 시뮬레이션을 통하여 분석을 진행하였다.

주제어 : 자율주행, 5세대 이동통신, 지연, 대기시간, 차량사물통신, 소프트웨어 정의 네트워크

논문접수일 : 2021년 2월 2일 논문수정일 : 2021년 3월 13일 게재확정일 : 2021년 3월 18일
원고유형 : 일반논문 교신저자 : 배경율

1. 서론

오늘날 이동통신은 2G에서 5G에 이르기까지 급증하는 데이터 수요에 대응하기 위해서 주로 속도 향상에 초점을 맞추어 수 십 년간 지속적으로 빠르게 발전해 왔다(Bae and Cho, 2020). 특히 2019년 4월 3일에 최초로 상용화 된 5G는 사람만이 아니라 사물 간에도 ‘zero-distance’의 연결

〈Table 1〉 4G vs 5G Service

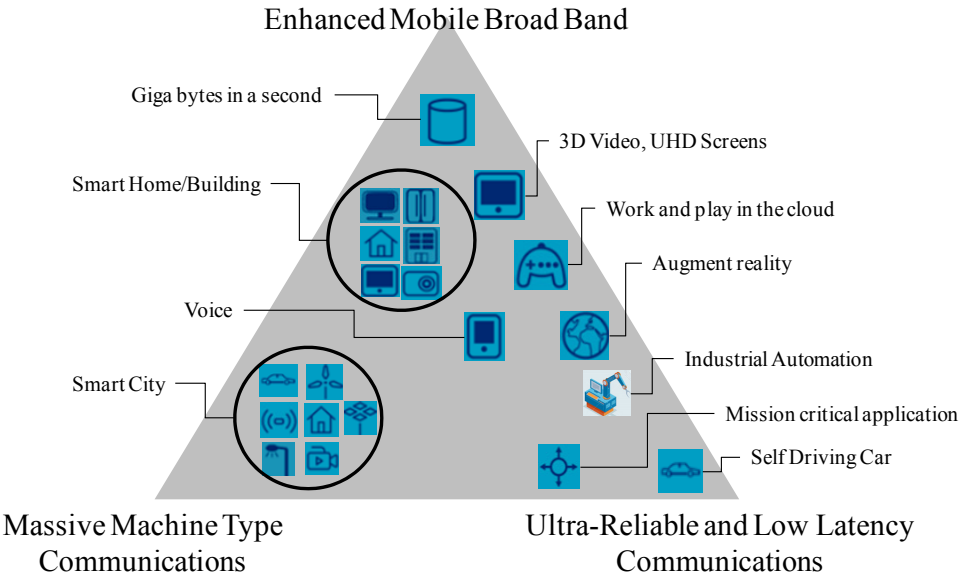
4G LTE	VS	5G
1Gbps	Data Rate	20Gbps
-	Frequency efficiency	3 times than 4G
10ms	Latency	1ms
$10^5/km^2$	Connectivity	$10^6/km^2$
-	Battery Life	100 times than 4G

을 제공하여 IoT, V2X, 로봇, 인공지능, 증강 가상현실, 스마트시티 등을 비롯하여 다양한 서비스를 고객들에게 제공할 것이며 이는 우리의 삶의 터전과 산업 전반에 대한 환경을 바꿀 것으로 예상되고 되고 있다(Kim et al., 2020). 5G에서는 최대 속도 20Gbps, 지연 1ms, 연결 기기 $10^6/km^2$를 제공함으로써 서비스 제공할 수 있는 기반을 마련하였다. 이를 4G와 비교하여 요약하면 <Table 1>와 같다(Shin et al.,2020).

5G 통신은 고주파 대역인 3.5Ghz, 28Ghz의 높은 주파수를 사용한다(Kim et al., 2020). 기존에 사용중인 주파수와의 간섭을 피하고, 동시에 빠른 속도로 데이터를 전송하기 위해서 넓은 대역폭의 확보가 필요하였고 그리하여 사용되고 있지 않은 고주파 대역을 할당한 것이다. 하지만 이러한 고주파는 높은 직진성으로 빠른 속도를 제공할 수 있으나, 짧은 파장을 가지고 있어 도달할 수 있는 거리가 짧은 단점과 회절 각도가 작아서 건물 등을 투과하지 못해 실내 이용에서 제약이 따른다(Sulyman. et al.,2014). 5G에서 고려되는 주요 응용 및 융합 분야인 IoT, V2X, 자율 주행, 로봇, 인공지능, 증강 가상현실, 스마트시티 등에 활용되기 위해서는 고속 데이터 속도 외에도, 실시간 서비스를 위한 지연 감소 그리고 신뢰도 등이 매우 중요한데 이러한 단점으로 인한 제약은 기존의 중앙 집중적인 구조의 SDN (Software Defined Network) 망 구조에서는 저지연과 신뢰도를 보장할 수 없다. 따라서 SDN이 일정 규모로 분리하여 새로운 형태의 망을 구성해야하며 이러한 새로운 형태의 망 구조는 동적으로 변하는 트래픽에 효율적으로 대응하고 높은 품질의 서비스를 유연성 있게 제공할 수 있다. 또한 이러한 망의 구조는 초저지연, 고신뢰, 초연결성 등과 밀접한 관계를 갖고 있으며 최악의 조건에 직면하는 경우를 위해서라도 새로운 SDN 구조를 기반으로 진행되어야 한다.

이러한 새로운 SDN 구조 망에서 정보의 변경 주기, RTD(Round Trip Delay), SDN의 데이터 처리 시간은 지연과 매우 밀접한 상관관계를 가진다. 이 중 RDT는 속도는 충분하고 지연은 1ms 이하이기에 유의미한 영향을 주는 요인은 아니지만 정보 변경 주기와 SDN의 데이터 처리 시간은 지연에 크게 영향을 주는 요인이다. 특히, 5G의 다양한 응용분야 중에서 지연과 신뢰도가 가장 중요한 분야로는 지능형 교통 시스템과 연계된 자율주행 환경에서의 응급 상황이라고 생각된다. 차량은 5G의 스몰 셀들을 매우 빠른 속도로 지나가고, 응급상황 발생할 경우 정보 전송은 매우 짧은 시간 안에 전송 및 처리돼야 하는 상황에서 지연이라는 요인이 매우 민감하게 작용하는 조건의 대표적인 사례라고 볼 수 있다.

이러한 시나리오에서 지연 시간을 최소로 하기위해서는 차량의 정보를 주기적으로 처리하는 망 구조를 중요한 변수로 고려해야한다. 일반적



〈Figure 1〉 5G Features

인 중앙 집중적 구조의 SDN으로는 원하는 수준까지 만족시키기 어렵다. 그래서 SDN이 일정한 규모로 분리되어 차량의 정보를 처리할 수 있는지 여부가 지연의 지대한 영향을 미치게 된다.

실제적으로는 차량의 속도와 밀도, 스몰 셀의 크기, 데이터의 속도, SDN의 정보 처리 시간 등이 지연에 영향을 미치는 요소이다.

본 연구에서는 이들 사이의 관계를 분석하고, 이를 지원하는 망 구조에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 관련 연구

2.1 5G

1세대 아날로그 이동통신 서비스가 시작된 이래 10년을 주기로 진화를 거듭해오고 있다. 단순 음성 전달에서 점차 복합적인 형태의 데이터 전달 형태로 발전하면서 트래픽의 양, 디바이스의 수, 클라우드 의존성이 증가하였다(Lee and Bae, 2015; SKtelecom, 2014). 그리고 다양한 모바일 융합 서비스의 등장으로 활용도는 더 늘어나게 되면서 더 빠르고, 더 많이 연결되며, 더 안정적인 통신망이 필요하게 되었다.

2018년 4월영국에서 최초로 5G 주파수 경매를 진행하였고 국내에서는 2018년 6월 5G 주파수 경매를 진행하여 2019년 4월 5G 상용화를 세계 최초 달성하였고, 스위스, 미국 등 일부 국가에서만 상용화되어 운영 중이다.

이러한 5G 네트워크의 가장 주요한 특징은 초고속(High Data Rate), 초연결(Connection Density), 저지연(Low Latency)으로 국제 표준화 기구(ITU-R)에서는 <Figure 1>과 같이 특징과 이를 활용한 서비스를 도출하였다(ITU-R M,2015).

〈Table 2〉 세대별 Mobile 통신의 속도 및 Latency

	Downlink velocity (Peak Data Rate)	Latency (Unidirectional Air interface)
2G	14.4kbps ~ 64kbps	300 ~ 1000ms
3G	144kbps ~ 14.4Mbps	50 ~ 100ms
4G	>=75Mbps	<=25ms
5G	>=20Gbps	<=1ms(Rel-16)

다만, 현재 상용화된 규격은 Rel-15로 <Figure 1>에서 제시된 모든 서비스를 완벽하게 구현 하여 제공하지 못하고 있다. 그리고 <Figure 1>의 3가지 주요 특징 중에서 우선적으로 Enhanced Mobile Broad Band(EMBB)만 제공하고 있다. Massive Machine Type Communications (MMTC)와 Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)는 2020년 표준인 된 R2l-16을 통해 제공될 것이다(Lee and Kwon, 2019). 5G 특징 3가지 중 가장 주목해야하는 특징은 URLLC를 통한 Low Latency 지원으로 5G 표준화 기구를 중심으로 표준화가 진행되고 있으며, 5G 네트워크 외에도 서버, 클라이언트 등 여러 분야에서 관련 연구가 진행 중이다.

과거의 Mobile 네트워크도 Mobile과 기지국으로의 단방향 지연에 대한 기준은 있었으나, 속도의 발전에 비교하면 사실상 많은 관심을 받지는 못했다.

현재 지연에 가장 민감한 서비스로는 클라우드 게임이라 할 수 있으며, 클라우드 게임을 LTE 환경에서 실행하는 경우에 서버의 위치가 클라이언트와 얼마나 떨어져 있는가에 따라서 서비스의 품질 차이가 존재한다.

클라우드 게임 서버와 클라이언트가 모두 국내에 있는 경우에는 서비스 실행을 위한 접속 대기, 응답 등에 대한 불편함은 없으나, 멀리 해외에 서버가 있을수록 지연에 따른 게임 실행에 불편함이 존재하게 된다.

이러한 불편함을 극복하고자 5G에서는 저지연 환경을 준비하고 있고, 이를 통하여 모바일을 활용한 새롭고 다양한 서비스의 탄생을 기대하고 있다.

그 외에도 실제 5G의 저지연을 활용한 새로운 서비스 후보로는 스마트 공장과 지능형 교통 관제 시스템, 로봇 및 Tele-presence, Health Care, VR/AR, Tactile Internet 등이 있으며 이들과 연관된시나리오 및 연구가 진행되고 있다.

5G 표준화에서 제시되는 요구사항은 데이터 속도, 지연 시간, 신뢰성 관련 기준으로 <Table 3>에는 사용 분야, 지연 시간, 속도 요구사항 그리고 시나리오를 요약 정리하였다(Imtiaz and Ismail, 2018)

<Table 3>에 제시된 지연은 서비스의 E2E Latency로 무선 구간(Air Interface), 네트워크(전송장비 포함), 정보처리(모바일과 서버 포함)를 포함한 전체 구간에 대한 지연 시간이다.

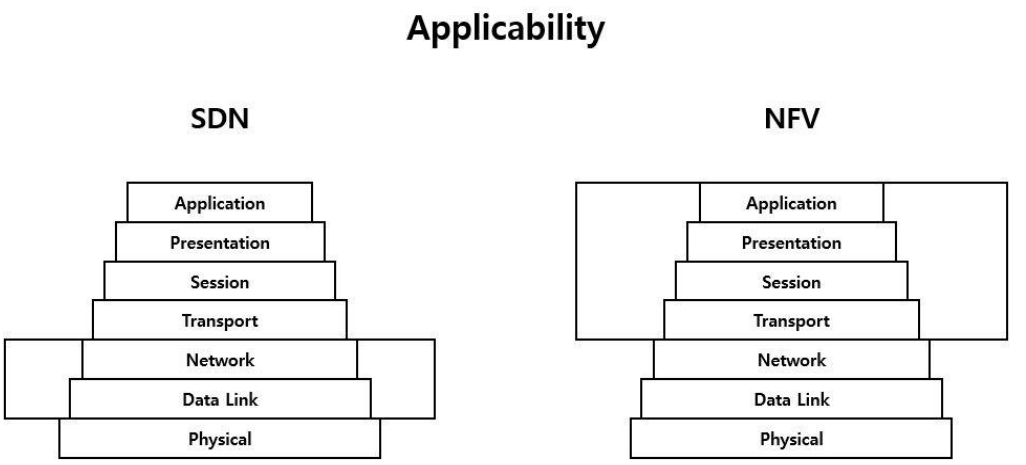
또한 E2E Latency는 RTT(Round Trip Time)로 클라이언트에서 서비스를 요청하고 응답을 받을 때까지의 왕복 지연 시간을 의미한다. 이러한 E2E Latency 요구사항은 무선 구간 지연 규격을 정하는 5G 표준화 단체나, 네트워크를 구성하는 Operator 그리고 실제 서비스를 제공하는 공급자 중 한 사람이 규정하기엔 한계가 존재한다.

〈Table 3〉 Low Latency를 활용하는 서비스 요구사항과 예시

Examples of Use	Latency(ms)	Data Rate(Mbps)	Examples of Utilization
Factory Automation	0.25 ~ 10	1	Remote adjustment
Intelligent Transportation system	10 ~ 100	10 ~ 700	ITS, virtual mirror
Robot, Tele-presence	1	100	Touch recognition, tactile sensing
VR	1	1,000	High sensitivity VR
Health Care	1 ~ 10	100	Remote diagnostics / operation
Game	1	1,000	High sensitivity visualization and Interaction
Smart Grid	1 ~ 20	0.01 ~ 1.5	a large area Smart Grid Behavior
Education, Culture	5 ~ 10	1,000	Tactile Internet Tactile Internet Tactile Internet /VR

2.2 NFV와 SDN

기존 통신망은 기지국을 중심축으로 개별 하드웨어를 설치하여 각각의 통신 서비스를 제공하는 방식으로 이루어져 있다. 이러한 방식의 문제는 3G에서 4G로, 4G에서 5G로 통신망을 구축하기위해서는 세대가 교체될 때마다 장비를 변경해야 한다는 것이다(Chae and Kwon, 2020). 이는 비용의 증대를 가져올 뿐만 아니라 장비 마다 개별적이라 통합적인 관리가 어려워 신규 서비스의 도입 또한 복잡하게 한다(Chae and Kwon, 2020). 또한 하드웨어의 여유 자원이 있어도 다른 서비스에 사용할 수 없고, 소프트웨어를 네트워크에 적용하기위해선 하드웨어를 우선 구축해야 하는 문제가 있다. 하지만 NFV(Network Function Virtualization), 다시 말해 네트워크 기능 가상화는 라우터 또는 스위치 등의 물리적인 네트워크 장비 기능을 가상화 하여 VM(가상 머신)이나 범용 프로세서를 탑재한 하드웨어, 또는 컨테이너(container)에서 구동하는 방식이다. 이러한 가상화는 새로운 장비 설치 없이 소프트웨어적으로 암호화, 라우팅, 로드밸런싱, 방화벽, WAN 가속 등의 네트워크 기능을 구현할 수 있으며, 네트워크 상의 원하는 위치로 이동이 가능하다. NFV는 하드웨어와 소프트웨어를 분리함으로써 문제를 해결한다. 가상화를 통해서 모든 하드웨어 자원들은 각각의 장비가 아니라 하나의 소프트웨어 Pool로 묶여서 필요한 곳에 필요한 만큼만 논리적으로 배치된다. 따라서 세대 교체 시 새 기능을 네트워크에 적용하기 위해 먼저 장비 구축부터 할 필요가 없으며 쉽게 추가 및 삭제도 할 수 있다. 이러한 가상화는 사업자들에게 다양하고 확장된 서비스의 제공 기회를 얻을 수 있으며 더 나아가 사업자들이 다양한 상황을 고려하여 현재 사용되고 있는 망 구조를 어떻게 효과적으로 발전시킬 것인지에 대해 고민을 하게 된다. 이러한 배경에서 컴퓨터 망 분야에서 새로운 형태로 태어난 것이SDN(Software defined

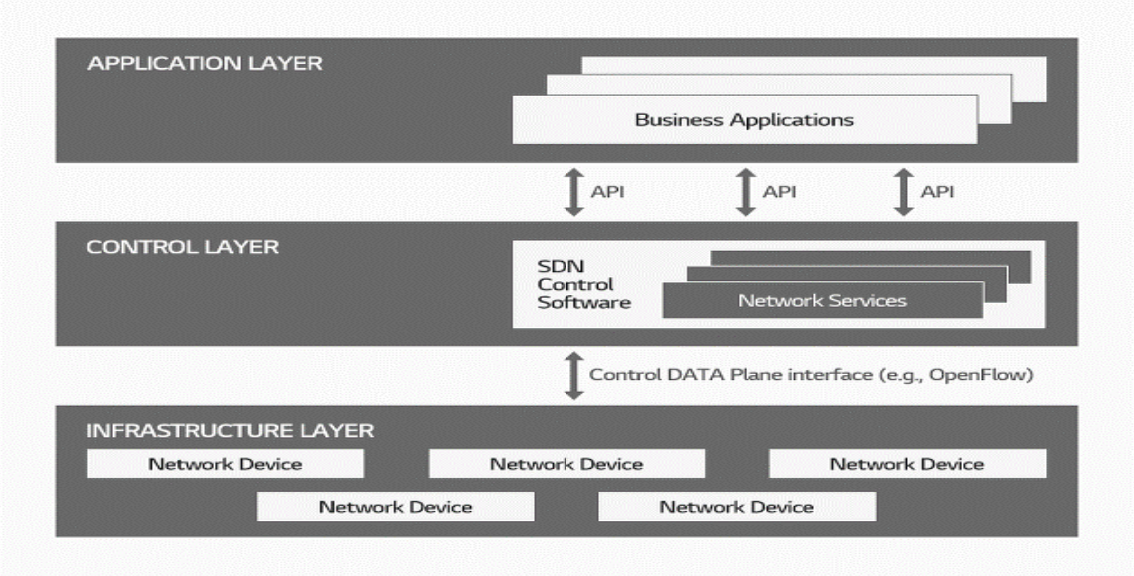


〈Figure 2〉 SDN Layer 2-3 and NFV Layer 4-7

Network)이다.

SDN은 네트워크 장비에서 제어부(Control Plane)와 전송부(Data Plane)로 분리하는 것이다 (Kim and Kwon, 2020). 분리된 제어 부분은 하나의 컨트롤러로 통합하고 컨트롤러가 제어 부분이 제외된 전송 기능만 있는 각각의 장비들을 컨트롤한다. 이러한 SDN과 클라우드를 활용한 차세대 데이터센터는 네트워크 패브릭으로 구현되는 SDN이 될 것이다. 네트워크 패브릭이란 네트워크의 서비스가 관련 기기에 밀접하게 융합되어 있는 환경을 의미한다. 이러한 환경은 IT 관리자가 I/O, 라우터, 클라우드 서비스, 네트워크 카드, 스위치 등과 같은 모든 네트워크 환경을 하나의 화면에서 통합적인 관리가 가능하게 된다. 또한 서버, 스토리지 등과 같이 각 영역에 흩어져 있었던 네트워크 환경들도 네트워크 패브릭 아래에서 하나로 통합되어 관리되어 네트워크 간 경계가 사라진다. IT 인프라를 구현하는 핵심인 네트워크는 벤더 별로 사용하는 사용자 인터페이스, 네트워크 운영체제, 프로토콜 등이 다양하여 상호 호환성 및 운영 효율이 떨어진다. 하지만 SDN은 데이터 계층으로부터 네트워크 제어 계층을 분리하여 하드웨어를 중심으로 발전해 왔던 네트워크를 소프트웨어를 중심으로 발전해 갈 수 있는 가교 역할을 하고 있다. <Figure 2>은 OSI 7계층에서 SDN과 NFV가 활용되는 계층을 표현하고 있다. SDN과 NFV의 적용 분야는 네트워크와 어플라이언스라는 점이 다르지만 상호보완적인 관계를 형성하고 있다 (ETSI, 2012).

<Figure 3>은 SDN의 전형적인 논리적 구조를 표현하고 있다(ONF, 2012). SDN은 기본적으로 <Figure 3>와 같이 SDN Controller에 네트워크 장비의 모든 제어기능이 하나로 통합되는 구조를 갖는다. 즉, SDN Controller는 SDN의 핵심으로 네트워크의 뇌에 해당하며 모든 정보는 SDN Controller에 집중되어 망 전체를 조정하는 기능을 수행한다. 또한, API(South-bound API)를 제공



〈Figure 3〉 Structure of SDN

하여 다른 네트워크 장비와 통신할 수 있으며, 다른 운영 도구와 통신이 가능할 수 있게 해주고 다양한 기능의 애플리케이션을 개발할 수 있는 API(North-bound API)도 제공한다(Kang et al., 2013). 하드웨어 중심이었던 네트워크 시장에서 소프트웨어의 개념이 도입된 NFV와 SDN은 5G, 클라우드, 가상현실, 사물인터넷 등의 환경에서 고도화된 인프라의 구현을 가능하게 하였다.

그러나 이러한 중앙 집중적인 구조의 SDN은 지연에 민감한 서비스에는 매우 불리한 구조라고 할 수 있다. 그러므로 자율 주행 시 긴급상황을 가정한다면, 관련된 컨트롤 기능이 Tree의 하부구조 모양으로 구성되어야만 요구되는 지연시간 안에 컨트롤 및 데이터 처리가 가능하게 된다.

2.3 자율 주행과 V2X

자율 주행은 알고리즘화 된 시스템을 통해서 운전자의 운전을 보조하거나 대신하는 기술로 지정된 목적지까지 이동하는 차량 운행을 의미한다. 거리를 자동으로 유지해 주는 HDA기술을 비롯하여 차선 유지 지원 시스템(LKAS), 차선이탈 경보 시스템(LDWS), 자동 긴급 제동 시스템(AEB), 후 측방 경보 시스템(BSD), 어드밴스트 스마트 크루즈 컨트롤(ASCC) 등의 기술들이 선행 개발 되어야하고 이를 기반으로 자율주행차의 핵심 센서인 레이더, 라이다, 카메라 시스템이 장착 되어야 자율 주행이 가능하다(Lee and Lee, 2020). 자율 주행의 가장 큰 장점으로는 주행 속도와 교통 관리 데이터가 일치하기 때문에 상황에 따라 조절장치를 적절하게 조정하여 차량의 반복적인 정지를 피하여 연료의 효율을 높일 수 있다는 점과 장애인, 노인, 아동 등과 같이 운전을 불 가능한 사람들도 이용할 수 있다 점이다. 이외에도 다양한 이유로 발생하는 교통사고의 위험을 크게 감소 시킬 수 있으며, 도로의 교

〈Table 4〉 V2X기술 WAVE와 C-V2X 비교

Sortation	WAVE	C-V2X
Data rate	Maximum 27Mbps	Maximum 100Mbps
Reliability	98~99%	95~99%
Latency	<100ms	<100ms
Density	hundreds of cars.	hundreds of cars.
Mobility	Maximum speed 200km	320km
Coverage	250~300m	1km
V2I & V2N	possibility	Suitable

통 흐름이 빨라지면서 교통 혼잡 감소한다는 장점이 있다. 이러한 자율 주행이 이루어지기 위해서는 도로와 차량에 적용 가능한 모든 형태와의 통신 방식이 필요하다. V2X는 차량이 유 무선 통신망을 통해 다른 차량 및 도로 등과 같이 인프라가 구축된 사물들과 정보를 주고 받는 기술을 뜻하는 것으로V2V(Vehicle to Vehicle), V2I (Vehicle to Infrastructure), V2N (Vehicle to Nomadic Device), V2P(Vehicle to Pedestrian) 등을 총칭한다(E. Uhlemann, 2017). V2V 통신은 차량 위치와 속도 그리고 교통상황 등과 같은 정보를 주변의 차량들과 교환하여 원활한 협력 주행이 가능하도록 뒷받침한다. 또한 차량 충돌 및 차선 변경 시 그리고 사각지대가 나타나거나 날씨로 인해 전방 시야가 좋지 않은 경우 이를 운전자에게 알려서 차량의 안전 주행을 보조한다. V2P 통신은 차량과 사람이 소지한 스마트폰과의 통신으로 정보 교환을 통해서 사고를 예방할 수 있다. V2I 통신은 차량과 인프라 간 통신, V2N 통신은 차량과 네트워크 간 통신을 의미한다. V2X 통신은 안정적이고 효율적인 자율 주행을 위해서 필수적이다. 따라서 V2X 통신은 초고속, 초저지연, 초연결의 특징을 지니는 5G 서비스와 연계되어 발전해 나갈 것으로 전망이 된다. <Table 4> 에 정리한 것과 같이 WAVE 및 C-V2X 둘 모두 기본적인 안전서비스의 제공이 가능하지만 저지연, 고용량 데이터 전송이 요구되는 서비스의 요구조건을 만족하기는 어렵다(Lee and Lee, 2020).

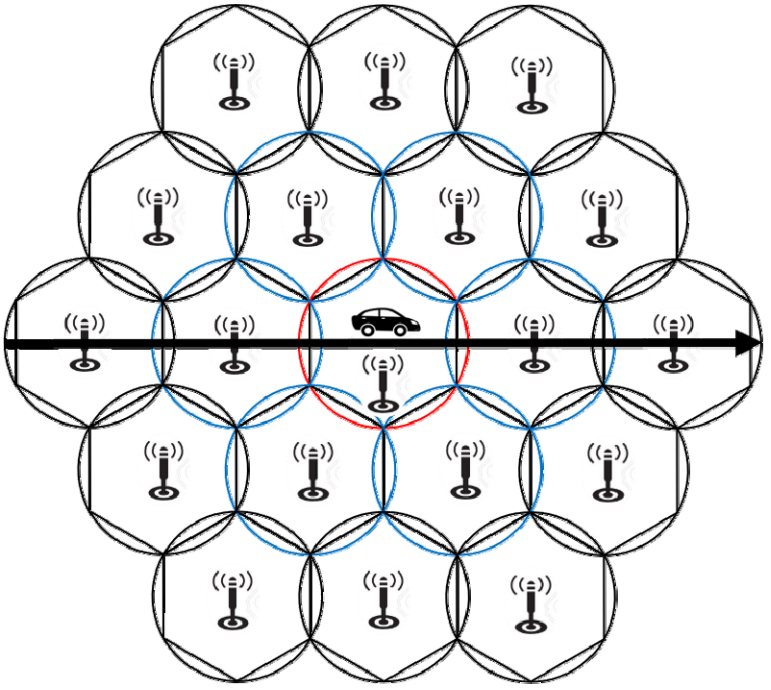
이러한 V2X 통신에서 가장 지연에 민감한 시나리오는 안전과 관련된 응용분야이다. 안전 및 응급상황에서 5G망을 통해서 차량에 빠르게 정보가 전달되어 반응해야 한다. 다시 말하면 교통상황 등의 정보가 망에 업로드 되고, 이 정보가 차량에 다운로드되기까지의 지연되는 시간이 매우 중요하며, 이 정보를 판단하여 응급조치 및 예방을 할 수 있게 된다.

본 논문에서는 5G망에서 자율 주행시 응급상황을 고려하여, 스몰 셀의 반경, 차량의 속도, SDN의 지연시간 등에 대하여 시스템 수준의 시뮬레이션을 수행하였으며 SDN 망에서의 컨트롤러의 범위 및 차량에 전달되어야 하는 스몰 셀의 범위를 도출하였다.

3. 시뮬레이션

3.1 Edge to Edge 모델

5G 고 대역 주파수의 단점과 기존 SDN 구조



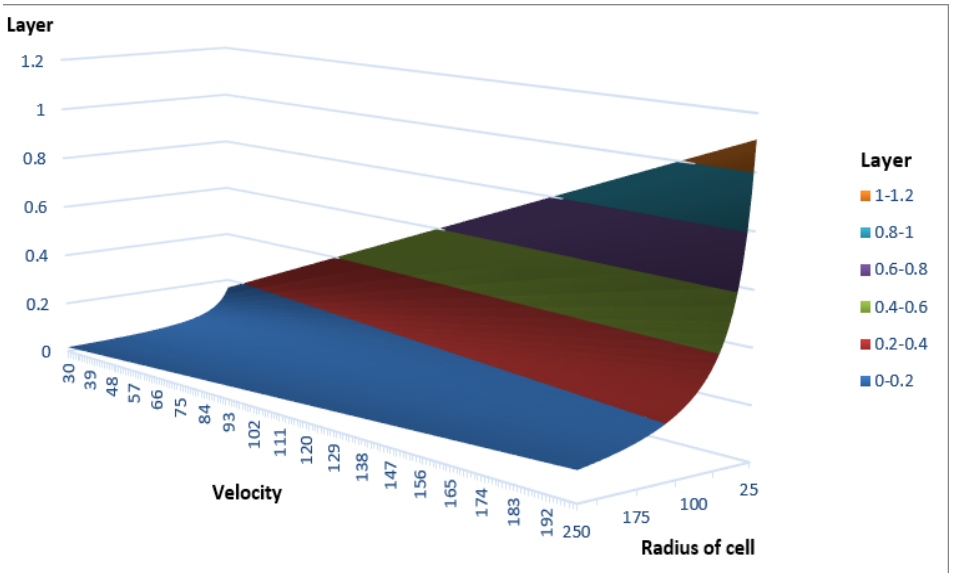
〈Figure 4〉 5G Cell Layer and Vehicle

의 단점을 극복할 수 있는 새로운 SDN 구조의 Edge to Edge 모델을 제안한다. 기존의 중앙집중적 구조의 SDN은 빅데이터 처리에 대한 연산 부하가 늘어나는 만큼 연산 처리에 서버 의존도가 점차 커지는 구조로서, 연산 부하를 다른 서버에 옮겨도 네트워크의 빠른 지원이 없다면 실제 효과는 얻기 어려운 구조였다. 따라서 최악의 시나리오인 자율 주행의 응급상황을 고려하여 최소 지연을 위한 SDN 망 구조를 제시한다.

<Figure 4>에서 차량이 있는 셀은 붉은 색 셀로 가정하고, 첫 번째 계층(Layer)은 파랑 셀, 두 번째 계층은 검정 셀을 나타내고 있다. 각각의 셀은 정육각형의 커버리지를 가져 신호의 음영 지역이 존재하지 않도록 구성한다.

여기서 차량이 5G 셀을 V라는 속도로 관통한다고 가정한다면, 해당 차량의 충돌을 방지하기 위해서 해당 차량에 제공돼야 할 주변 차량의 정보는 셀의 크기가 증가할수록 셀의 면적도 넓어지므로 정보가 요구되는 셀의 수가 줄어들고, 셀의 크기가 작아질수록 실제적으로는 여러 계층의 셀을 지나 갈 가능성이 높아짐으로 필요한 정보가 요구되는 셀과 차량의 수가 많아진다. 또한, 각 차량의 보고 주기, RTD(Round Trip Delay) 및 SDN의 정보 처리 시간이 길어질수록 필요한 정보의 셀과 차량의 수가 많아진다. 마지막으로 차량의 속도가 높아질수록 셀을 벗어날 확률이 높아짐으로 여러 계층의 셀 내의 차량에 대한 다양한 정보가 필요로 하게 된다. 하지만 이러한 많은 셀 내의 차량에 대한 정보의 요구로 인해 지연이 증가할 가능성이 높아진다.

따라서 차량에서 정보를 받아야 할 셀의 계층 수를 나타내는 식은 다음과 같다.



〈Figure 5〉 Relationship between Radius of cell and Vehicle Velocity

L = (IC+DPT+RTD/2)*V/(2R)

L : 응급상황 발생시 5G 망을 통해 알고 있어야 하는 5G 셀의 필요 계층

IC : 차량들의 정보 변경 주기

DPT : SDN의 Data Processing Time

RTD : SDN 컨트롤러까지의 Round Trip Delay

V : 차량의 최대 속도

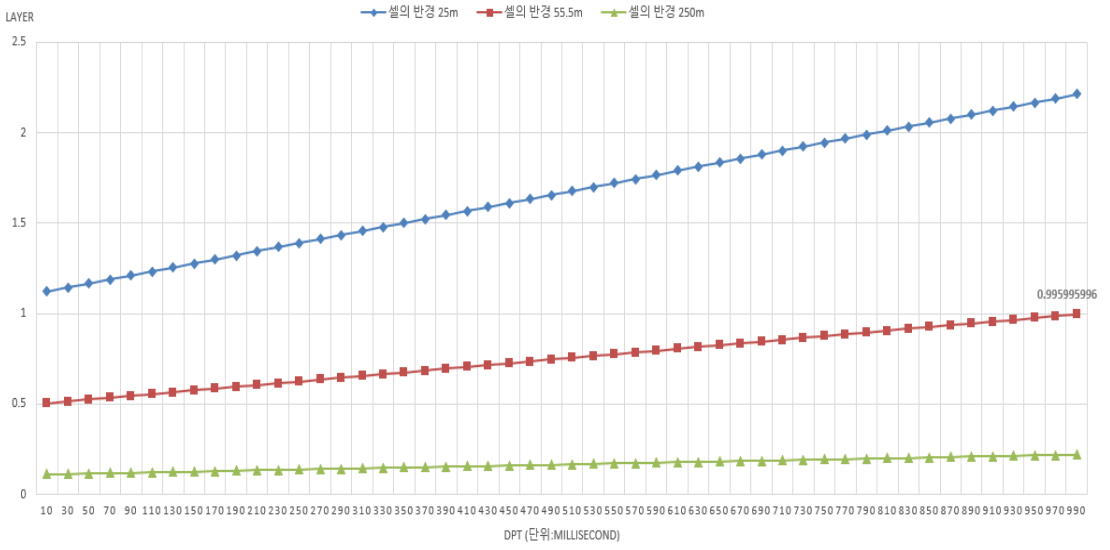
R : 셀 반경

3.2 조건 및 결과

최소 지연을 위한 SDN 망 구조에서 시뮬레이션은 5G 이동통신망의 스몰 셀을 50m~500m인 반경 25m ~ 250m 이내의 셀을 가정하고, 차량의 최고 속도는 시속 30 ~ 200km의 속도를 고려하였으며, 최대 20Ghz인 5G의 속도는 충분이 높아서 주변 차량에 대한 정보를 오류가 없이 받기에 충분한 전송속도를 제공한다고 가정하고 진행하였다.

시뮬레이션의 결과인 <Figure 5>은 중요한 인자 중에 하나인 DPT, 그리고 IC와RTD/2의 합이 1초인 경우의 필요한 셀 계층을 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 반경 25m에서 28m 미만에서 시속 180km~200km인 경우 첫 번째 셀 계층을 넘어 두 번째 계층 셀 내의 모든 차량들의 정보를 수집하여야만 응급상황에 대비가 가능함을 보여주고 있다. 그리고 반경 28m 이상에서는 모두 첫 번째 셀 계층 내의 차량들의 정보만 수집하면 응급상황에 대비가 가능함을 보이고 있다. 따라서 5G 망 구조에서 IC+DPT+RTD/2가 1초인 경우에는 셀의 크기는 최소 56m 이상 설정되어야만 첫 번째 계층 내의 차량 정보 수집만으로 응급상황에 대비할 수 있다.

그러나, 셀의 크기가 커짐에 따라 차량정보량이 늘어날 것이고 이것은 SDN의 DPT 값을 증가시킨다. 따라서 IC+DPT+RTD/2의 값이 커짐에 따라 <Figure 5>의 면의 기울기가 상승하게 된



〈Figure 6〉 demand layer according to DPT

다. 5G에서 지연은 1ms(0.001초) 이하이기 때문에 RTD/2의 값은 유의미한 값을 가지지 않는다. 따라서 차량 정보가 업데이트 되는 주기를 0.999초로 가정하고 IC+RTD/2의 값을 1초로 가정한다. 이때 DPT는 IC+RTD/2의 값 보다 작아야 한다. 이는 SDN 서버가 차량 정보 데이터를 처리하는 시간이 새롭게 차량 정보가 업데이트 되는 시간보다 크다면 새롭게 업데이트 된 차량 정보는 대기하게 되고 이는 지연을 늘어나게 한다. 따라서 DPT 값이 10ms(0.01초)에서 990ms(0.99초)까지의 변화에 따른 요구되는 계층의 정보가 필요하다.

요구되는 계층의 수인 L과 DPT 간의 관계를 알아보기 위해 IC+RTD/2는 1초로 가정하고, 최고속도 V를200km/hour 고정하여 DPT의 변화에 따른 시뮬레이션을 수행한 결과는 <Figure 6>와 같다.

<Figure 6>는 DPT가커짐에 따라 셀의 반경 별로 요구되는 계층의 증가를 표시하고 있다. 차량의 정보를 서버에서 처리하는 시간이 길어질수록, 요구되는 셀 계층 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 반경 25m 셀에서는 DPT 증가에 따라 두 번째 계층을 넘어서 세 번째 계층까지의 정보가 요구되고 있다. 반경 55.5m 이상 셀에서는 DPT 값이 990ms까지 증가해도 첫 번째 계층의 정보만이 요구된다. 즉, IC+RTD/2가 1초로 가정하고 DPT 값이 1초에 가까운 최악의 경우라도 최소 셀의 크기가 111m 이상이라면 첫 번째 계층 셀 내의 차량들의 정보만 수집하여 응급상황에 대비가 가능함을 알 수 있다. 5G 이동통신의 SDN 구조 망에서 정보를 수집하는 최소 규모라는 의미로도 볼 수 있다.

차량들의 정보 변경 주기, 차량의 분포, 요구되는 정보량을 고려하게 되면 응급상황에서 보다 효율적인 형태와 거리를 가지는 망 구조를 설계할 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결론

4.1 이론적 의의

본 연구의 의의는 첫째, 5G 고 대역 주파수의 단점과 기존 SDN 구조의 단점을 극복할 수 있는 새로운 SDN 구조의 Edge to Edge 모델을 제안하였다. 기존의 중앙집중적 구조의 SDN은 빅데이터 처리에 대한 연산 부하가 늘어나는 만큼 연산처리에 Server 의존도가 점차 커지는 구조로서, 연산 부하를 다른 Server에 옮겨도 네트워크의 빠른 지원이 없다면 실제 효과는 얻기 어려운 구조였다.

둘째, 최악의 시나리오인 자율 주행의 응급상황을 고려하여 차량의 속도 및 SDN의 데이터 처리 시간의 변화에 따라 차량이 관련정보를 요청해야 할 스몰 셀의 크기와 계층을 파악하여 효율적인 형태와 거리를 가지는 망 구조를 설계할 수 있다는 점이다. 이는 변수로 설정한 값을 조정하여 각각의 환경에 맞게 효율적으로 적용할 수 있다는 큰 의미가 있다.

4.2 실무적 의의

본 연구에서는 5G의 통신망에서 최악의 조건 시나리오인 자율 주행의 응급상황에서 SDN의 구조를 반영하여, 셀 반경, 차량의 속도 및 SDN의 데이터 처리 시간의 변화에 따라 차량이 관련정보를 요청해야 할 셀 계층과 이러한 셀 계층을 결정하는데 가장 중요한 SDN의 데이터 정보 처리 시간과 차량의 정보 수집 주기, 그리고 SDN 컨트롤러까지의 Round Trip Delay와의 관계에 대하여 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면 스몰 셀의 크기와 속도 그리고 SDN의 데이터 처리 시간이 지연에 가장 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.

결과를 살펴보면 첫째, 반경 25m에서 28m 미만에서 시속 180km~200km인 경우 첫 번째 셀 계층을 넘어 두 번째 계층 셀 내의 모든 차량들의 정보를 수집하여야만 응급상황에 대비가 가능함을 보여주고 있다. 그리고 반경 28m 이상에서는 모두 첫 번째 셀 계층 내의 차량들의 정보만 수집하면 응급상황에 대비가 가능함을 보이고 있다. 따라서 5G 망 구조에서 IC+DPT+RTD/2가 1초인 경우에는 스몰 셀의 크기는 최소 56m 이상 설정되어야만 첫 번째 계층 내의 차량 정보 수집만으로 응급상황에 대비할 수 있다.

둘째, 차량의 정보를 서버에서 처리하는 시간이 길어질수록, 요구되는 셀 계층 수가 증가하는 것을 알 수 있다. 반경 25m 셀에서는 DPT 증가에 따라 두 번째 계층을 넘어서 세 번째 계층까지의 정보가 요구되고 있다. 반경 55.5m 이상 셀에서는 DPT 값이 990ms까지 증가해도 첫 번째 계층의 정보만이 요구된다. 즉, IC+RTD/2가 1초로 가정하고 DPT 값이 1초에 가까운 최악의 경우라도 최소 셀의 크기가 111m 이상이라면 첫 번째 계층 셀 내의 차량들의 정보만 수집하여 응급상황에 대비가 가능함을 알 수 있다.

이는 지능형 교통 관제시스템뿐만 아니라 V2P, V2I, V2N 통신서비스 지원을 위한 망의 설계에 최소한의 기준으로 활용이 가능하다. 그리고 V2V, V2P, V2I, V2N에서 요구되는 사항을 적절하게 수용하여 5G 망이 설계된다면 실제적인 자율 주행이 가능한 V2X 통신이 가능할 것이며, 추가적으로 여러가지의 지능형 서비스에도 활용이 가능할 것으로 생각된다.

4.3. 연구의 한계점 및 향후 연구방향

본 연구는 각 차량에서 5G 망으로 올리는 데

이터의 주기와 SDN 서버에서 데이터 처리 시간 그리고 RTD에 따라서 차량정보를 요청해야 할 계층이 결정되는데 실제 망을 구성하고 실제 데이터의 값을 가지고 진행되지 못했다는 한계점이 있다. 그리고 실제적으로 스몰 셀에 위치하는 차량의 분포와 수량 그리고 요구되는 정보의 수준에 따라 영향을 받게 되는데 이를 반영하지 못하였다. 따라서 향후에는 위의 변수들을 고려하여 실제 구현을 통한 연구가 진행 되어야하며, 또한 5G 망 구축 시 스몰 셀의 크기에 영향을 주는 환경 요인에 대한 연구도 함께 진행되어야 할 것이다.

참고문헌(References)

Bae, K. Y., andCho, M. K., "SANET-CC : Zone IP Allocation Protocol for Offshore Networks." Journal of Intelligence and Information Systems, 26.4 (2020): 87-109.

Chae. W., and T. W. Kwon, "A Study on the Design of Network System for Defense Integrated Data Center Using NFV/SDN." KIPS Transactions on Computer and Communication Systems, 9.2 (2020), 31-36.

E. Uhlemann, "Initial steps toward a cellular vehicleto-everything standard," IEEE Veh. Tech. Magazine, vol. 12, no. 1, Mar. 2017.

ETSI, "Network Functions Virtualisation," Intruductory White Paper, SDN and OpenFlow World Congress, 2012.

ITU-R M.2083-0, "IMT Vision Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", 2015.

Imtiaz. P., and G. Ismail, "A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN, Core Network and Caching Solutions", IEEE Commsunications Surveys & Tutorials, Vol.20, No. 4, 3098~3130, 2018.

Kim, Y. H., T. Y. Kim, D. Y. Lee, and S. H. Bae, "Analysis of Small Cell Technology Application for Performance Improvement in Simulation-based 5G Communication Environment." Smart Media Journal, 9.2 (2020), 16-21.

Kim, J. G., and T. W. Kwon "Efficient Load Balancing Technique Considering Data Generation Form and Server Response Time in SDN."The Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, 15.4 (2020), 679-686.

Kang. S. H., Y. H. Kim, and S. H. Yang, "SDN Core Technology and Evolutionary Outlook Analysis,"The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol.30, No.3 (2013), 3-8.

Lee, H. W., and K. Bae, "The Requirements and Solutions of 5G Mobile Communication for Industry 4.0,"INFORMATION-An International Interdisciplinary Journal, Vol.18, No.11(2015), 4713~4720.

Lee. S. W., and J. S. Lee, "V2X image transfer protocol using 5G network." The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 45.7 (2020), 1314-1321.

Lee. H., D.S. Kwon, "Research Trends of Ultra-reliable and Low-latency Machine Learning-based Wireless Communication Technology", ERTI Electronics and Communications Trends, Vol.34, No.3, pp.93~105, 2019.

ONF, "Software-Defined Networking: The New Norm for Networks", ONF White Paper, 2012.

SKTelecom, SKtelecom 5G Whitepaper, SKtelecom, 2014.

Sulyman. A. l., A. T. Nassar, M. K. Samimi, G. R. MacCartney Jr., T. S. Rappaport, and A. Alsanie, "Radio Propagation Path Loss Model for 5G Cellular Networks in the 28GHz and 38 GHz Millimeter-Wave Bands," Communications Magazine IEEE. vol. 52, no. 9 (2014), 78-86.

Shin. K. Y., W. W. Lee, and D. W. Kim, "Developing an Augmented Reality-based Integrated Command and Control Platform under 5G Technologies and Its Applications." Journal of Digital Contents Society (J. Dcs), 21.5 (2020), 855-864.

Abstract

Edge to Edge Model and Delay Performance Evaluation for Autonomous Driving

Moon Ki Cho* · Kyoung Yul Bae**

Up to this day, mobile communications have evolved rapidly over the decades, mainly focusing on speed-up to meet the growing data demands of 2G to 5G.

And with the start of the 5G era, efforts are being made to provide such various services to customers, as IoT, V2X, robots, artificial intelligence, augmented virtual reality, and smart cities, which are expected to change the environment of our lives and industries as a whole.

In a bid to provide those services, on top of high speed data, reduced latency and reliability are critical for real-time services. Thus, 5G has paved the way for service delivery through maximum speed of 20Gbps, a delay of 1ms, and a connecting device of $10^6/km^2$

In particular, in intelligent traffic control systems and services using various vehicle-based Vehicle to X (V2X), such as traffic control, in addition to high-speed data speed, reduction of delay and reliability for real-time services are very important.

5G communication uses high frequencies of 3.5Ghz and 28Ghz.

These high-frequency waves can go with high-speed thanks to their straightness while their short wavelength and small diffraction angle limit their reach to distance and prevent them from penetrating walls, causing restrictions on their use indoors.

Therefore, under existing networks it's difficult to overcome these constraints. The underlying centralized SDN also has a limited capability in offering delay-sensitive services because communication with many nodes creates overload in its processing.

Basically, SDN, which means a structure that separates signals from the control plane from packets in the data plane, requires control of the delay-related tree structure available in the event of an emergency during autonomous driving.

* Department of Software, Erica, Hanyang University
** Corresponding author: Kyoung Yul Bae
Department of Computer Science, SangMyung University
G514, Hongji-dong, Jongno-gu, Seoul, 110-743, Korea
Tel: +82-2-2287-5211, Fax: +82-2-2287-0072, E-mail: jbae@smu.ac.kr

In these scenarios, the network architecture that handles in-vehicle information is a major variable of delay. Since SDNs in general centralized structures are difficult to meet the desired delay level, studies on the optimal size of SDNs for information processing should be conducted.

Thus, SDNs need to be separated on a certain scale and construct a new type of network, which can efficiently respond to dynamically changing traffic and provide high-quality, flexible services.

Moreover, the structure of these networks is closely related to ultra-low latency, high confidence, and hyper-connectivity and should be based on a new form of split SDN rather than an existing centralized SDN structure, even in the case of the worst condition.

And in these SDN structural networks, where automobiles pass through small 5G cells very quickly, the information change cycle, round trip delay (RTD), and the data processing time of SDN are highly correlated with the delay.

Of these, RDT is not a significant factor because it has sufficient speed and less than 1 ms of delay, but the information change cycle and data processing time of SDN are factors that greatly affect the delay.

Especially, in an emergency of self-driving environment linked to an ITS(Intelligent Traffic System) that requires low latency and high reliability, information should be transmitted and processed very quickly. That is a case in point where delay plays a very sensitive role.

In this paper, we study the SDN architecture in emergencies during autonomous driving and conduct analysis through simulation of the correlation with the cell layer in which the vehicle should request relevant information according to the information flow.

For simulation: As the Data Rate of 5G is high enough, we can assume the information for neighbor vehicle support to the car without errors. Furthermore, we assumed 5G small cells within 50 ~ 250 m in cell radius, and the maximum speed of the vehicle was considered as a 30km ~ 200 km/hour in order to examine the network architecture to minimize the delay.

Key Words : Autonomous driving, 5G, Delay, Latency, V2X(vehicle to X), SDN(Soft defined network)

Received : February 2, 2021 Revised : March 13, 2021 Accepted : March 18, 2021
Corresponding Author : Dongwon Lee

저 자 소 개

조문기

현재 한양대학교(에리카)에서 소프트웨어학부 교육 전담 교수로 재직 중이다. 삼육대학교에서 경영정보 학사, 한국외대에서 경영정보 석사, 상명대학교 컴퓨터과학 전공으로 박사 과정을 수료하였다. 숭실대학교 겸임교수, 용인대 초빙교수, 포스윈㈜ 등을 거쳤다. 주요 연구 분야는 통신 네트워크 구조, 빅 데이터, 인공지능, 스마트 공장 시스템(Industry 4.0) 등 이다.

배경율

현재 상명대학교 컴퓨터과학과 교수로 재직 중이다. 미국 Old Dominion University 정보과학 학사, Alabama University 정보과학 석·박사를 취득하였다. Stillman College 전산과 교수, Alabama University 산업공학과 교수, 한라중공업 CIO역임하였고, 서울시 정보화 기획단장(CIO 1급) 역임하였다. 주요 연구분야는 인공지능, 통신 네트워크, 자동 항법, 빅 데이터, 스마트 공장 시스템(Industry 4.0), 전자정부 및 지능형 시스템이다.