

LTE-D2D 차량 네트워크에서 정보 전달 방법

심 용 희*, 김 영 한^o

Data Dissemination in LTE-D2D Based Vehicular Network

Yong-hui Shim*, Young-han Kim^o

요 약

현재 표준 차량 통신 프로토콜인 IEEE 802.11p는 차량 간 한 홉 전송을 수행하기 때문에 차량 환경에서 효율적인 정보 전달을 수행하는데 한계가 있다. 본 논문은 차량 환경에서 효율적인 정보 전달을 위해 무선 근거리 통신 중 하나인 LTE-D2D 기술을 사용한 차량 네트워크를 제안한다. 이때 전송 메시지 형태는 IP 패킷 옵션을 지닌 이름 기반 정보 메시지를 사용하고 일반 차량 노드는 요청하는 메시지를 중간 매개 노드인 대형 차량 노드로 전송하여 정보를 전송 받는다. 성능 분석을 통해 셀룰러 네트워크와 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 패킷 전달 시간에 따른 데이터 처리율을 비교하였다.

Key Words : LTE-D2D, Vehicle ad-hoc network, VANET, Information-centric network, ICN

ABSTRACT

Current IEEE 802.11p which is suggested for vehicle to vehicle communication supports one hop communication. Thus, it has a limitation to carry out efficient data dissemination. In this thesis, we suggest LTE-D2D based vehicle network to provide efficient data dissemination in the vehicle environment. In this network architecture, we use name based message with IP packet options and we put the intermediate vehicle node called 'super vehicle node' and each normal vehicle node in the cell requests data to the super vehicle node. The super vehicle node responses data to the normal vehicle node. Performance analysis is based mathematical modeling. We compare LTE cellular network to LTE-D2D based vehicle network about throughput according to packet delivery time.

1. 서 론

최근 사물 간 통신에 대한 관심이 늘어나면서 이에 대한 응용으로 차량 간 통신에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 따라서 이제 차량은 단순히 이동 수단 기능만이 아닌 안전과 오락을 위한 정보 제공의 기능까지 담당하게 되었다. 이에 따라 앞으로 차량 통신에서 발생하는 트래픽량이 더욱 증가할 전망이다. 늘어

나는 트래픽은 기지국에 많은 부하를 가져올 수 있기 때문에 이를 효과적으로 관리하기 위한 차량 네트워크 내 정보 전달 방법에 대한 연구가 필요하다.

차량 네트워크 기술은 VANET(Vehicular Ad-hoc Networks)이라고 한다. VANET 기술은 IEEE 802.11a/g 기술을 기반으로 하며 현재 IEEE 802.11p 기술을 표준으로 한다. 따라서 차량 네트워크에 대한 많은 제안들은 802.11p를 사용하여 한 홉 전송을 통

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0401-14-1005)

• First Author : Soongsil University, School of EE, adgirlyh@dcn.ssu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Soongsil University, School of EE younghan@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2014-12-492, Received December 16, 2014; Revised March 13, 2015; Accepted March 13, 2015

한 차량과 차량 간 통신을 수행한다. 하지만 IEEE 802.11p를 사용하는 VANET에서는 한 홉 전송으로 인해 정보의 전송 범위가 한정적이다. 또한 무선 링크를 통해 동적으로 움직이는 차량 간 통신 환경에 맞게 빠른 속도를 지원하기 위해 인증 절차를 생략하여 보안상에 문제가 있을 수 있다^[1].

본 논문에서는 근거리 통신 기술 중 LTE-D2D 기술을 사용하여 기존 LTE 기지국과의 연동을 통해 넓은 커버리지를 제공할 수 있는 차량 네트워크 구조를 제안한다. 또한 차량 네트워크에서 효율적인 정보 전달을 위해 버스, 화물차와 같은 중간 차량 노드의 역할을 추가하였다. 이를 통해 일반적으로 기지국을 거쳐 LTE 코어망까지 정보를 요청하고 응답받던 메시지 수행 과정을 중간 차량 노드가 일부 담당할 수 있도록 설정하였다. 전송되는 메시지의 형태는 기존 IP 패킷 옵션을 지닌 이름 기반의 정보 메시지를 사용하여 자연재해와 같이 통신망이 끊어진 긴급 상황에서도 효과적인 정보 전달이 가능하도록 설계하였다.

본 논문의 2장에서는 제안한 네트워크 구조와 관련된 연구로 VANET의 개념과 VANET에서 사용되는 근거리 통신 기술인 802.11p와 LTE-D2D, 정보 전달과 관련된 ICN 기술에 대해 설명하고 3장에서는 LTE-D2D 차량 네트워크에서 정보 전달 방법에 대해 제안한다. 4장에서는 기존 LTE 셀룰러 네트워크와 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 데이터 처리를 비교를 통해 제안한 방법의 성능을 분석한다. 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 Vehicle Ad-hoc Network(VANET)

차량 환경에서 차량과 차량 간의 통신(V2V) 또는 차량과 도로 인근에 설치된 인프라 간의 통신(V2I)을 네트워크로 연결하는 기술을 차량 애드-혹 네트워크(Vehicular Ad-hoc Networks, VANET)라고 한다. VANET은 기존 모바일 애드-혹 네트워크(Mobile Ad-hoc Networks, MANET)와 다르게 네트워크를 형성하는 각 노드인 차량이 고속으로 이동한다. 네트워크를 형성하는 노드가 급변하기 때문에 네트워크 링크 연결 시간이 짧고 패킷 손실률이 높아져 네트워크 연결 상태가 전체적으로 불안정하다^[1].

VANET은 도로에서 발생할 수 있는 갑작스런 사고 정보를 주변 차량에 전달함으로써 추가적인 사고를 사전에 방지할 수 있고 도로의 교통상황을 모니터링 하여 교통량의 흐름을 능동적으로 제어하고 유지

하는 것을 목적으로 한다. 따라서 차량으로부터 실시간으로 전송되는 정보를 분석하여 다수의 차량들에게 정확한 정보를 제공하는 것이 중요하다. 이와 더불어 인터넷 연결을 지원하여 교통 서비스 이외에 부가적인 서비스를 사용할 수 있도록 연구 개발되고 있다.

2.2 무선 근거리 통신 기술

각 계층에서 실시되는 이동성 관리로 2계층에서는 IEEE802.11p, WAVE, IEEE802.16, 3G, LTE와 같은 프로토콜이 존재하며 3계층의 MIP 계열의 프로토콜이 존재한다^[2]. 본 절에서는 이동성 관리 기술 중에서도 2계층에서의 다양한 근거리 모바일 통신 기술들에 대해 설명한다. 그 중에서도 본 논문에서 제안하는 차량 네트워크와 관계된 802.11p/WAVE와 LTE-D2D에 대해 설명하고자 한다.

2.2.1 802.11p/WAVE

VANET 기술은 Wi-Fi 표준으로 잘 알려진 IEEE 802.11a/g 기술을 기반으로 한다. VANET에서 차량의 빠른 움직임을 고려할 때 빈번한 핸드셰이킹과 인증 과정은 링크 단절을 자주 발생시키기 때문에 이를 차량 환경에 맞도록 개선한 것이 IEEE 802.11p 기술이다. IEEE 802.11p WAVE 기술은 시속 최대 200 km로 이동하는 고속 차량에 최대 54 Mbps의 전송속도를 지원한다. IEEE 802.11p는 기존 Wifi와 유사한 무선 기술 규격을 갖는 것을 알 수 있다^[1]. 표 1은 IEEE 802.11p WAVE 표준의 주요 특징을 보여준다.

표 1. IEEE 802.11p WAVE 주요 특징
Table 1. Characteristics of IEEE 802.11p WAVE

Characteristic	Contents
Bandwidth	5.850 ~ 5.925 GHz
Number of channels	7
Channel bandwidth	10MHz (Availability : 20MHz)
Maximum transmission rate	54 Mbps
Transmission range	Max 1 km
Supported vehicle speed	Max 200 km/h

2.2.2 LTE-D2D

LTE-D2D는 반경 내에 있는 단말 간 직접 통신이 가능한 근거리 무선 통신 기술 중 하나이다. eNB와의 통신 또는 피코셀/페토셀 등의 초소형 기지국의 중계 없이도 단말 간 상호 접속 지원이 가능하다. 인접한

단말 간의 D2D 링크가 설정된 후에는 송수신 데이터를 기지국을 거치지 않고 D2D 링크를 통해 정보를 주고받는다.

2013년 3GPP SA1에서 단말 간 직접통신(D2D)을 위한 시나리오 정의 작업 표준화와 ProSe (Proximity-based Services) 서비스 요구사항이 완료되었다. 3GPP SA2에서는 서비스 시스템 구조 정의 관련 표준화가 진행 중이며 3GPP RAN에서는 D2D Discovery와 Direct Communication에 대한 표준화가 진행 중이다³⁾.

2.2.3 LTE-D2D와 802.11p 비교

802.11p는 5.9GHz의 주파수 대역을 사용한다. 높은 주파수는 정보를 멀리 전송하지 못하더라도 빠리, 단시간에 전달할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 이동성이 이슈인 차량 네트워크에 적합하다. 반면, LTE-D2D 기술을 사용하면 차량 노드가 인접 차량 노드와 직접 통신을 하는 동시에 기지국을 통해 인터넷에 접속하는 이중 연결이 가능하다는 장점이 있다. 또한 직접통신 중인 인접 차량과의 거리가 멀어져 직접 통신 가능 범위를 벗어나면 기지국을 통한 통신으로 전환될 수 있어 통신 커버리지를 넓힐 수 있다.

기지국 부하의 분산을 통해 망의 수용능력을 키울 수 있고 기지국과의 송수신을 하는 대신 차량 간 직접 통신을 함으로써 차량의 사용전력을 감소시킨다. 또한 차량 인접성 기반의 공간적 주파수 자원을 재사용할 수 있고 보안이 취약한 802.11p와는 달리 LTE 전용 주파수 사용으로 인해 사용자의 인증 및 보안성을 제공한다.

표 2. IEEE 802.11p WAVE와 LTE-D2D 주요 특징 비교
Table 2. Comparison IEEE 802.11p WAVE to LTE-D2D

Characteristic	802.11p	LTE-D2D
Frequency band	5.85~5.925 GHz	689~960 MHz, 1710~2700MHz
Channel bandwidth	10 MHz	1~2% of LTE Uplink bandwidth
Data transfer rate	11/54Mbps	SMS to Video Service
Modulation	OFDM	TBD
Data rate	3,4,5,6,9,12,18, 24,27	SMS to Video Service
Communication distance	50m~ max 1km	Depending on Power

2.3 Information-Centric Network(ICN)

정보 중심 네트워크(Information - Centric Network)

는 통신을 원하는 개체가 통신 대상 호스트의 주소인 IP주소를 명시하는 대신 통신 대상 정보의 식별자를 명시하여 통신하는 기술이다⁴⁾. 정보 중심 네트워크와 앞서 언급한 IEEE 802.11p 통신 기술 등을 사용한 차량 네트워크 연구가 진행되고 있다⁵⁻¹⁴⁾. 이는 현재 차량 간 통신(V2V) 또는 차량과 노변장치의 통신(V2I)에서 각 차량 장치가 애드혹(Ad-hoc) 네트워크의 단일 노드의 역할을 하는 VANET에 정보 중심 네트워크를 적용한 것으로 현재까지 전체적인 구조, 패킷의 형태, 라우팅 방법 등이 제안되었다. 최근에는 정보 중심 네트워크의 모델 중 NDN을 사용하여 유선 인프라 시스템, Ad-hoc, DTN을 통해 연결되어있는 모든 차량들이 독립적으로 네트워킹을 할 수 있는 통합 구조가 제안되고 있다¹⁵⁾.

III. 제안 내용

3장에서는 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 정보 전달 방법에 대해 설명한다. 먼저 LTE-D2D 차량 네트워크의 시나리오에 대해 설명한 후 제안된 차량 네트워크 시나리오를 통해 이에 필요한 차량 네트워크의 논리구조와 패킷 형태를 설명한다. 또한, LTE-D2D 차량 네트워크에서 정보 전달을 위해 사용되는 프로토콜의 동작 절차에 대해 설명한다.

3.1 LTE-D2D 차량 네트워크 정보 전달 방법

종래 차량용 애드-혹 네트워크(VANET)에서는 WiFi 표준으로 알려진 IEEE 802.11a/g 기술을 기반으로 하였다. 현재 이를 고속 이동에 적합하도록 수정한 IEEE 802.11p WAVE 표준을 사용한 차량 네트워크 제안이 많이 제시되고 있다. 하지만 IEEE 802.11p 표준의 경우 통신 범위가 넓지 않아 차량의 고속 이동으로 인해 토폴로지의 변화가 심한 VANET 환경에서 차량 간 통신을 지원하는데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 또 다른 근거리 통신 중 하나인 LTE-D2D 기반의 차량 간 통신을 제안한다.

3.1.1 LTE-D2D 차량 네트워크 시나리오

그림 4와 같은 LTE-D2D 차량 네트워크 구조를 설계 위해 아래와 같은 주요 특징을 가진다.

1) 대형 차량 노드(Super Vehicle) 설정 및 기능. 대형 차량 노드인 Super Vehicle은 기존 정보 중심 차량 네트워크에서 언급되었던 중간 노드의 역할을 담당하지만 지능형 교통 시스템(Intelligent Transport System, ITS)에서 정보를 얻기 위해 버스, 화물차처럼

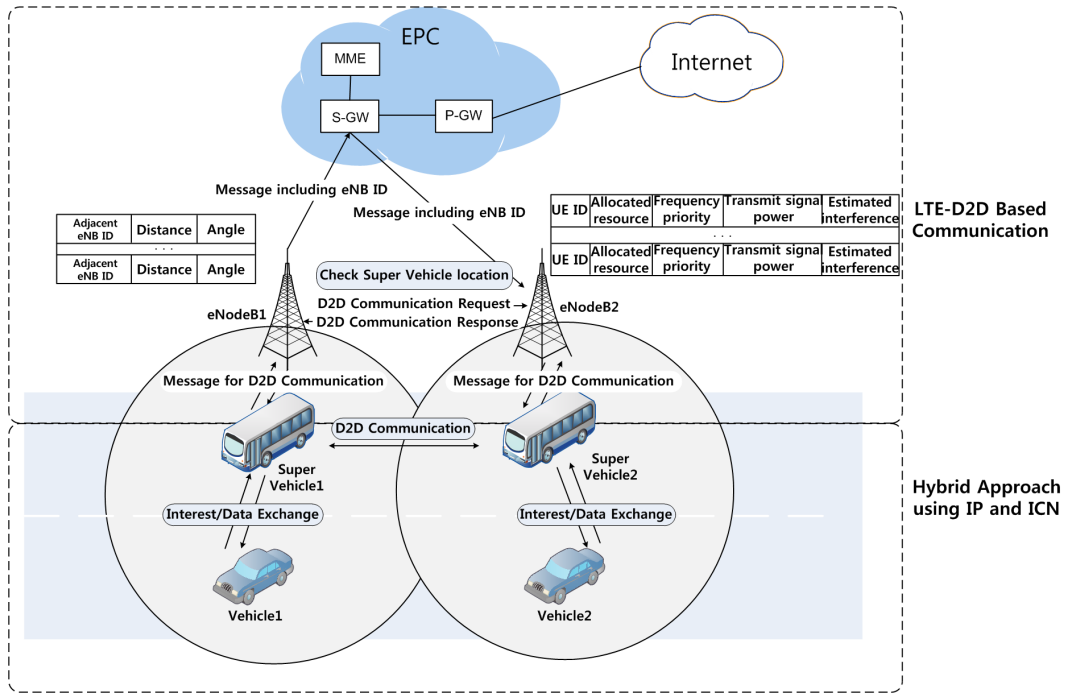


그림 1. LTE-D2D 기반 차량 네트워크 구조
 Fig. 1. LTE-D2D based Vehicle Network Architecture

전용노선을 이용하여 위치를 파악할 수 있는 차량으로 설정하였다. 이들 차량의 주요 기능은 사전에 대형 차량 노드와 기지국 간 LTE-D2D 연결을 맺어 일반 차량 노드가 정보를 요청할 때 기지국으로 요청 메시지를 전달할 필요 없이 중간 노드인 대형 차량 노드에 메시지를 요청한다. 즉, 대형 차량 노드는 프록시 서버의 역할로 도로, 교통 상황 등의 정보 제공을 수월하게 해준다.

2) 정보 중심 메시지 사용 : LTE-D2D 차량 네트워크에서는 정보를 요청하는 차량과 정보를 제공하는 기지국 간의 통신뿐만 아니라 차량 간 직접 통신이 이루어진다. 따라서 기존 IP 기반 패킷의 옵션에 사용자가 원하는 정보를 직접 요청/응답할 수 있도록 정보 중심 네트워크에서 사용되는 이름 기반 메시지를 추가하였다. 따라서 LTE-D2D 차량 네트워크에서 사용되는 메시지는 정보 중심 네트워크에서 정보 전송을 위해 인터레스트(Interest), 데이터(Data) 패킷을 사용한다. 단 대 단 통신이 아닌 요청한 정보를 중심으로 제공받기 때문에 고속으로 이동하는 차량 환경에서 적합한 통신이 이루어질 수 있다.

이와 같은 특징을 활용한 LTE-D2D 차량 네트워크의 시나리오는 그림 1과 같다. 먼저, LTE 기지국과 일반 차량(normal vehicle) 사이에 버스, 화물차 등의 대

형 차량(Super vehicle)을 중간 노드로 둔다. 대형 차량은 기지국과 LTE-D2D 연결 세션을 맺기 위해 기지국과 메시지를 주고받고 최종적으로 대형 차량 간 D2D 통신을 맺는다. 제안된 시나리오에서 대형 차량들은 정보 저장소의 기능을 담당한다. 따라서 일반 차량이 정보를 요청했을 때 기지국까지 메시지를 전달할 필요 없이 동일 셀 내에 있는 대형 차량까지 메시지를 전달해주면 되므로 차량이 기지국으로 정보를 요청했을 때 발생하는 기지국의 부하를 줄일 수 있는 이점이 있다.

3.1.2 LTE-D2D 차량 네트워크 논리 구조

본 논문에서 제안하는 LTE-D2D 차량 네트워크의 논리적 계층 구조는 그림 2와 같다. 기존 네트워크 계층에 이름 기반의 차량 네트워크 계층과 IP 계층이 하이브리드 형식으로 위치하게 되고 이는 아래쪽 LTE-D2D 기술이 가능한 PHY, MAC 계층과 통신을 하게 된다. 정보 중심 네트워크를 사용하기 위해 기존 IP 계층에 새로운 헤더 옵션을 추가하거나 IP 계층과 정보 중심 네트워크를 하이브리드 형식으로 제안한 연구^[16-18]들을 참고하였다. 이전 연구들처럼 본 제안에서도 움직이는 차량에서의 효율적인 정보 전달을 위해 IP 계층과 정보 중심 네트워크를 하이브리드 형

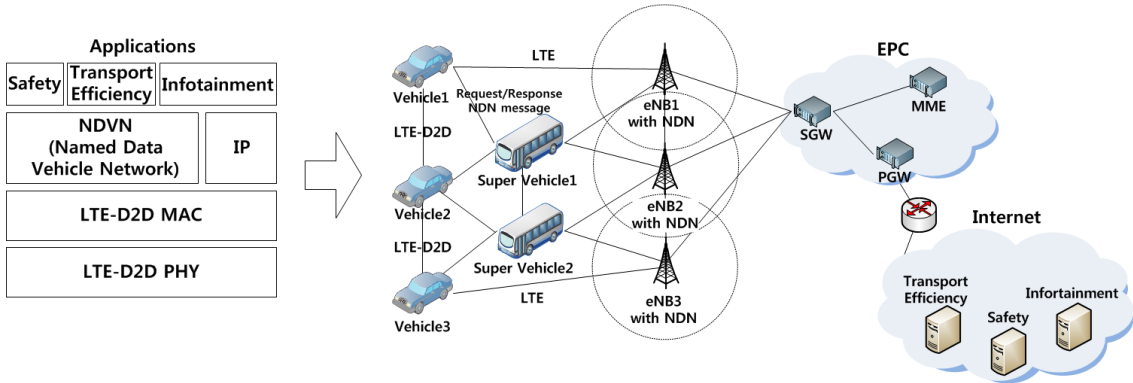


그림 2. 이름 기반 차량 네트워크 논리 구조
Fig. 2. Named Data Vehicle Network logical architecture

식으로 사용하는 방안으로 메시지를 설계하였다.

3.1.3 LTE-D2D 차량 네트워크 패킷 형태

그림 3은 제안하는 LTE-D2D 차량 네트워크에서 사용되는 메시지이다. 기존 IP 패킷 옵션에 정보 중심 네트워크의 기능을 제공하는 하이브리드 형태의 패킷 구조를 가진다. 정보를 요청하는 패킷은 인터레스트 패킷이고 요청된 정보에 응답해주는 패킷은 데이터 패킷이다. 각 패킷은 크게 요청 정보, 시간, 공간, 보안 정보를 담고 있다.

인터레스트 패킷에는 요청하는 정보를 나타내는 Content Name 필드가 있다. Node ID 필드는 정보를 요청/응답 받기 위해 차량 노드에 부여된 Node ID 정보를 나타낸다. Route Info 필드를 통해 정보를 요청/응답해주는 차량 노드가 위치한 노선 정보를 알 수 있다. 일반 차량 노드가 정보를 요청할 때 인터레스트 패킷을 대형 차량 노드에게 전송하게 된다. 인터레스트 패킷에는 자신의 ID를 나타내는 Node ID 필드와

차량이 위치한 노선 정보를 나타내는 Route Info 필드를 포함한다. 이 패킷을 받은 대형 차량 노드는 자신의 정보 저장소에 요청한 정보가 있는지 파악하게 된다. 일반 차량 노드가 요청한 해당 정보가 있을 경우 일반 차량 노드에게 해당 정보를 바로 전송해준다. 요청한 정보가 없을 경우 자신과 직접통신을 하고 있는 인접 대형 차량 노드에게 인터레스트 패킷을 전송한다. 이때 효율적인 정보 전송을 위해 Route Info 필드에서 알 수 있는 노선의 위치를 통해 정보를 요청한 일반 차량 노드가 향하는 주행방향과 동일하게 움직이는 대형 차량 노드 방향으로 인터레스트 패킷을 전송한다. Hop count 필드를 통해 정해진 최대 값 내 정보 못 찾으면 LTE EPC 코어망에 정보를 요청한다. 예를 들어 교통 체증 이벤트 같은 경우는 며칠간 지속될 필요 없기 때문에 정보의 시간 정보 나타내는 필드가 필요하다. 끝으로 정보 중심 네트워크의 특징 중 하나인 정보 자체로 보안을 담당하기 위해 보안을 위해 서명키를 담고 있는 Signature 필드를 가지고 있다.

데이터 패킷도 인터레스트 패킷과 마찬가지로 요청 정보와 해당 정보, 공간, 시간, 보안 정보를 나타낸다.

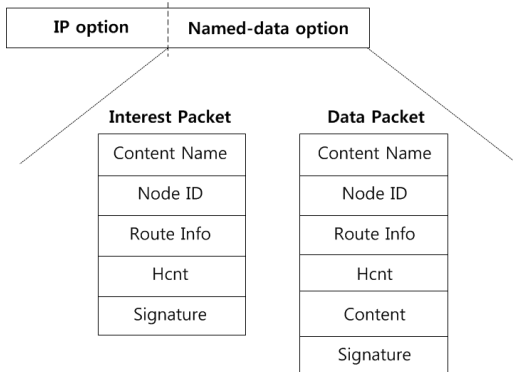


그림 3. LTE-D2D 기반 차량 네트워크 패킷
Fig. 3. LTE-D2D based Vehicle Network Packet

3.2 LTE-D2D 차량 네트워크 프로토콜 동작 과정

다음은 LTE-D2D 차량 네트워크 프로토콜의 동작 과정에 대한 설명이다. 간단히 요약하면 먼저 Super Vehicle과 기지국 간의 LTE-D2D 세션을 맺기 위해 단말 위치 확인 절차를 통해 기지국이 담당 셀 내의 Super Vehicle의 위치를 파악한다. 위치를 파악한 후 각 기지국은 Super Vehicle에게 D2D 통신을 수행할 것인지 물어보고 수행한다는 응답이 오면 각 Super Vehicle에게 D2D 통신을 위한 주파수를 할당해주고

D2D 통신을 위한 Bearer를 설정함으로써 Super Vehicle간 D2D 통신을 연결한다. 연결 설정 후 이를 유지하기 위한 메시지를 주고받게 된다.

그림 4는 프로토콜 동작 절차 중 대형 차량 노드 간 LTE-D2D 통신 의사 결정 절차 과정을 나타낸다. LTE-D2D 통신을 수행하려는 대형 차량 노드를 1, 2라 하고 각 대형 차량 노드가 속한 셀의 기지국을 기지국 1, 2로 지칭하였다. 먼저 대형 차량 노드 1에서 대형 차량 노드 2로 메시지를 전송하여 서로의 위치를 확인하는 과정을 진행한다. 대형 차량 노드 1은 자신의 차량 ID 정보를 포함하는 메시지를 기지국 1로 전송한다. 이동하는 차량 노드의 특성을 고려하여 차량 ID 정보를 통해 요청/응답 메시지를 전달하는 차량 파악을 가능하게 한다. 기지국 1은 전송 받은 메시지에 자신의 기지국 ID를 포함하여 LTE EPC (Evolved Packet Core) 망으로 전달한다. 기지국 ID를 신호에 포함시켜 기지국 2에서 두 대형 차량 노드들이 동일한 셀 또는 인접한 셀에 위치하는지 파악할 수 있게 한다. 이 후 EPC에서는 대형 차량 노드 2가 위치한 기지국 2로 메시지를 보낸다. 기지국 2에서는 직접통신 요청 메시지에 포함된 기지국 1의 ID와 자신이 가진 기지국 목록의 기지국 ID 값들을 비교하여 대형 차량 노드 1과 대형 차량 노드 2가 동일한 셀 또는 인접한 셀에 위치하는지를 파악한다. 두 대형 차량 노드가 서로 인접한 셀에 위치한 것이 확인되면 기지국 2

에서는 대형 차량 노드 간 직접통신 요청 메시지를 기지국 1로 전달하여 두 대형 차량 노드가 대형 차량 간 직접 통신이 가능하다는 것을 알려준다.

기지국에서 대형 차량 노드 1과 대형 차량 노드 2가 동일한 셀 또는 인접한 셀에 위치한다고 판단되면 D2D 통신 의사 결정 절차를 거친다. 의사 결정 절차에서는 기지국이 두 대형 차량 노드에게 의사 결정에 필요한 정보들을 요청하게 된다. 기지국 2에서 기지국 1에게 대형 차량 노드 간 직접통신 요청 메시지를 전송하여 대형 차량 노드 1과 대형 차량 노드 2가 차량 간 직접통신이 가능한 상태라는 것을 알린다. 요청 메시지를 받은 기지국 1은 대형 차량 노드 간 직접통신 응답 메시지를 기지국 2에게 보낸다. 대형 차량 노드 간 직접통신을 위한 요청과 응답 메시지 전송이 이루어지면 두 기지국에서는 자신의 셀에 속해 있는 대형 차량 노드들에게 대형 차량 간 직접통신 의사 결정에 필요한 정보를 요청한다.

각 대형 차량들은 요청 받은 메시지에 대한 응답으로 자신의 정보를 자신이 속한 기지국으로 전달한다. 기지국에서 대형 차량 노드 1, 대형 차량 노드 2로부터 정보를 받게 되면 대형 차량 간 직접통신 의사 결정 메커니즘을 수행하기 위해 기지국 2에서는 자신이 받은 대형 차량 노드 2의 정보를 기지국 1로 전송한다. 기지국 1은 받은 정보들을 통해 D2D 통신을 이용할 것인지 일반 이동통신을 이용하는 것인지를 거리, 위치, 신호 세기 등의 판단 기준에 따라서 최종적으로 결정한다.

대형 차량 간 직접통신 결정 메커니즘을 통해 기지국 1에서 D2D 통신의 성능이 일반 이동통신보다 좋다고 결정하면 대형 차량 간 직접통신 연결 요청 메시지를 기지국 2에게 전송한다. 이 때 대형 차량 간 직접통신 연결 요청 메시지는 대형 차량 간 직접통신에 할당할 주파수를 결정하기 위해 기지국 1의 주파수 할당 목록 정보를 포함한다. 기지국 2에서 대형 차량 간 직접통신 연결 요청 메시지를 받게 되면 미리 설정된 자신의 주파수 할당 목록과 기지국 1의 주파수 할당 목록을 비교하여 어떤 주파수를 할당할지 결정한다. 할당할 주파수가 결정되면 기지국 2는 기지국 1에게 결정된 주파수 정보와 함께 대형 차량 간 직접통신 연결요청 메시지를 보낸다. 응답 메시지를 받으면 대형 차량 간 직접통신이 가능한 상태가 된다. 기지국들은 각각 자신의 셀에 속한 대형 차량들에게 대형 차량 간 직접통신 설정 요청 메시지를 보내어 대형 차량들에게 대형 차량 간 직접통신으로 연결할 것을 알린다. 그렇게 되면 대형 차량들로부터 대형 차량 간 직접통

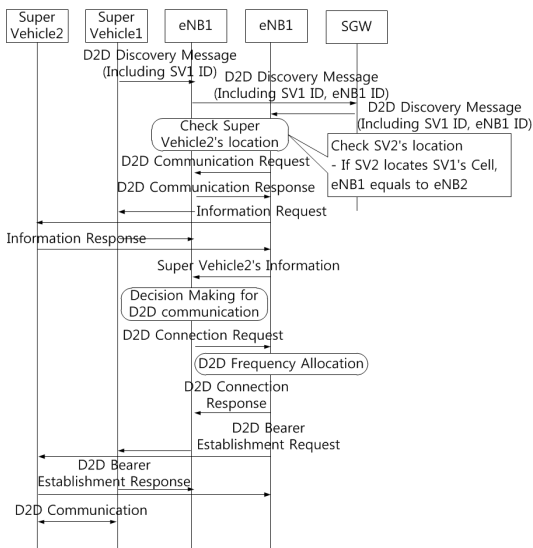


그림 4. LTE-D2D 기반 차량 네트워크 프로토콜 - 대형 차량 노드 간 D2D 통신
 Fig. 4. LTE-D2D based Vehicle Network Protocol - D2D Communication between Super Vehicles

신 설정 응답 메시지를 받게 되고, 최종적으로 대형 차량 간 직접통신 설정이 완료되고, 최종적으로 대형 차량 간 직접통신 링크가 생성된다.

대형 차량 간 직접통신 연결이 설정되면 두 대형 차량 간 데이터 전송은 기지국을 거치지 않고 대형 차량 간 직접통신 링크를 통해서 이루어진다. 하지만 LTE 코어망에서는 대형 차량 노드 간 직접통신 관리를 위해 대형 차량의 이동, 채널, 통신 상태 등의 정보를 알아야 한다. 또한 과금 측정을 위해 보낸 데이터 양에 대한 정보도 알아야 한다. 이러한 정보들을 얻기 위하여 D2D 통신에서는 기지국과 대형 차량 간 주기적인 제어 메시지를 주고받는다. 대형 차량 1과 대형 차량 2 사이의 대형 차량 간 직접통신이 연결되면 제어 메시지를 통한 상태 확인 절차를 주기적으로 반복하게 된다. 이 절차에서 기지국은 대형 차량 간 직접통신의 상태 확인을 위해 대형 차량 1, 대형 차량 2에게 주기적으로 제어 메시지를 보내게 되고, 제어 메시지를 받은 대형 차량 1, 대형 차량 2는 자신의 상태 및 D2D 통신 상태를 기지국으로 보내게 된다. 이후 기지국에서는 대형 차량 노드들로부터 받은 제어 메시지를 통해 대형 차량 간 직접통신의 상태를 파악하고 의사 결정 과정을 수행하여 대형 차량 간 직접통신이 셀룰러 통신보다 좋은지를 지속적으로 검사한다. 그리고 대형 차량 간 직접통신의 성능이 더 좋다고 결정되면 기지국 2에서 주파수 할당 절차를 거쳐서 대형 차량 노드 간 직접통신에 사용될 주파수를 결정하여 다음 제어 메시지를 보낼 때 결정된 정보를 알려준다.

그림 5는 일반 차량 노드와 대형 차량 노드 간 통신 절차 과정을 나타낸다. 대형 차량 노드 간 직접통신이 가능한 상태에서 일반 차량 노드가 동일 셀 내에 대형 차량 노드에게 정보를 요청할 수 있다. 정보는 교통사고, 도로 상황 등과 같은 실시간 도로 정보뿐만 아니라 영화, TV방송, 음악 등과 같은 엔터테인먼트 정보 모두 가능하다. 정보는 IP 옵션을 포함한 정보 중심 네트워크 기반 식별자를 통해 전송된다. 정보 중심 네트워크에 근거하여 정보 요청 메시지는 인터레스트 메시지라 하고 정보 응답 메시지는 데이터 메시지라 한다.

그림 5에서 일반 차량 노드1은 자신이 요청하는 정보를 포함한 인터레스트 메시지를 동일 셀 내의 대형 차량 노드1에게 요청한다. 대형 차량 노드 1이 해당 정보를 가지고 있을 경우 일반 차량 노드에게 바로 정보를 전송해줄 수 있다. 일반 차량 노드 1이 요청한 정보를 대형 차량 노드1이 가지고 있지 않은 경우 대형 차량 노드 1은 자신과 직접통신을 하고 있는 대형

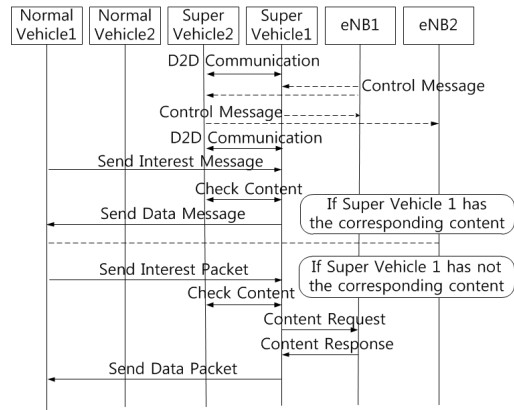


그림 5. LTE-D2D 기반 차량 네트워크 프로토콜 - 일반 차량 노드와 대형 차량 노드 간 D2D 통신
 Fig. 5. LTE-D2D based Vehicle Network Protocol - D2D Communication between Normal vehicle and Super vehicle

차량 노드2에게 해당 정보를 요청한다. 만일 대형 차량 노드2가 해당 정보를 가지고 있을 경우 대형 차량 노드1에게 전달해준다. 대형 차량 노드 1이 직접통신을 하는 대형 차량 노드들이 해당 정보를 가지고 있지 않은 경우 일반 이동통신망을 사용하여 일반 차량 노드1이 요청한 정보를 전송해준다.

IV. 성능 분석

본 장에서는 셀룰러 네트워크에서 정보 요청에 따른 데이터 처리율 성능^{[1]6}과 논문에서 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 데이터 처리율 성능을 비교하였다. 먼저 LTE 네트워크와 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 정보 전달을 위한 절차를 파악한 후 이를 토대로 성능 분석을 실시하였다. 현재는 D2D 통신을 지원하는 네트워크 시뮬레이터가 존재하지 않기 때문에 수학적으로 비교 분석하였다.

4.1 분석 모델

논문 [20], [21]을 참고하여 UE가 LTE/EPC 네트워크에 초기 접속하여 PDN으로부터 정보를 가져오는 과정은 그림 6과 같다.

UE는 eNodeB에 초기 접속 요청 메시지를 보내고 eNodeB는 세션을 생성하기 위한 요청 메시지를 S-GW로 보낸다. S-GW는 이를 P-GW로 전달해준다. P-GW는 지시 사항과 IP 주소를 고려하여 초기 접속 시간에 어느 이동성 관리와 IP 주소를 모바일 단말에 할당해야할지를 결정한다. 선택된 IP 주소를 S-GW로 전달해준다. 이때, S-GW와 P-GW 사이에 모바일 단

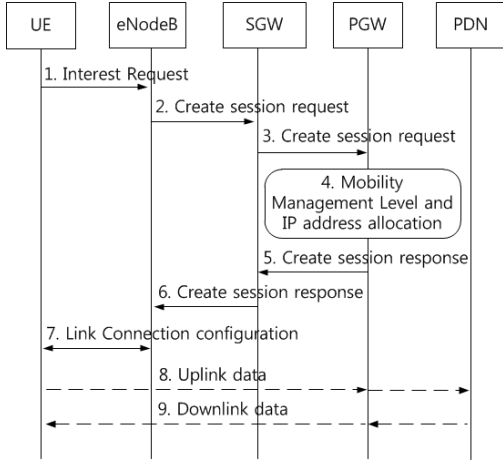


그림 6. LTE/EPC 초기 접속 절차
Fig. 6. LTE/EPC initial attachment procedure

말에 IP 주소를 할당하기 위해 터널이 생성된다. 이후 링크가 설정되고 접속이 완료된다. 데이터는 이 링크를 통해 eNodeB, S-GW와 P-GW 간에 전송된다.

일반 차량 노드가 본 논문에서 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에 초기 접속하여 PDN으로부터 정보를 가져오는 과정을 살펴보면 그림 7과 같다.

이는 UE가 LTE/EPC 네트워크에 초기 접속하여 PDN으로부터 정보를 가져오는 과정과 유사하나 사용자 단말이 아닌 차량이 정보를 요청하여 전달받는 과정이다. 일반 차량 노드는 근접한 대형 차량 노드에 LTE-D2D 통신을 통해 정보 요청 메시지를 전달받게 되고 해당 메시지가 있으면 대형 차량 노드는 직접 통신을 통해 일반 차량 노드로 정보를 전송해준다. 만일 대형 차량 노드에 해당 정보가 없을 경우 대형 차량

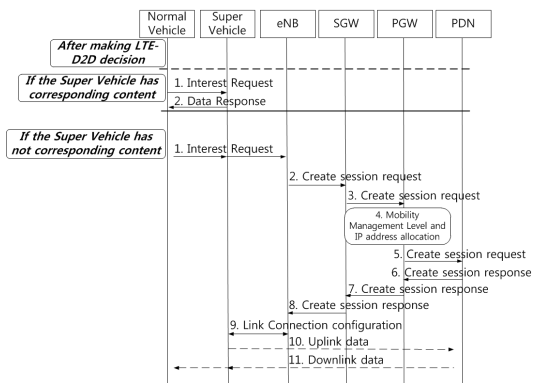


그림 7. LTE-D2D 기반 차량 네트워크 초기 접속과 정보 전달 과정
Fig. 7. LTE-D2D based Vehicle Network initial attachment and data dissemination procedure

노드는 자신과 LTE-D2D 통신을 하고 있는 인접 대형 차량 노드에게 해당 정보를 요청할 수 있고 인접 대형 차량 노드에도 해당 정보가 없다면 eNodeB로 요청 메시지를 보내어 PDN으로부터 정보를 전달받을 수 있도록 한다.

성능 비교를 위해 따라서 셀룰러 네트워크에서 정보 전달 방식과 LTE-D2D 차량 네트워크에서 정보 전달 방식을 도식화하여 각 네트워크 모델에서의 정보 전달 과정을 파악해보았다. 그림 8과 같이 셀룰러 네트워크에서 정보 전달 방식은 eNodeB로 직접 정보 요청을 하는 한 가지 경로를 통해 eNodeB에 연결된 PDN 망에 연결된 통신 노드(Corresponding Node)로부터 요청 정보를 전해 받는다.

본 논문에서 제안된 네트워크에서의 정보 전달 과정을 나타내면 그림 9와 같다. 기지국(BS)과 일반 차량 노드(V1,2) 사이에 대형 차량 노드(SV1,2)를 두고 대형 차량 노드 간에는 직접연결을 통해 정보를 주고 받고 일반 차량 노드는 기지국이 아닌 주변의 대형 차량 노드에게 정보를 요청 응답받게 된다. 이때 정보 전달 방식은 크게 3가지로 볼 수 있다. 먼저, 일반 차량 노드가 자신에게 근접한 대형 차량 노드로부터 직접 정보를 전달받는 경우가 있다. 다음으로 해당 정보가 대형 차량 노드에 없을 경우 대형 차량 노드가 자신과 직접통신을 하는 인접 대형 차량 노드에게 해당 정보를 요청하는 경우가 있다. 마지막으로 기존 셀룰러 네트워크와 같은 방식으로 eNodeB로부터 직접 정보를 전달받는 경우가 있다.

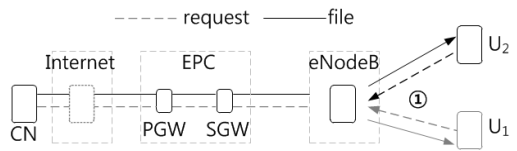


그림 8. LTE 셀룰러 네트워크에서 정보 요청
Fig. 8. Case of data request in LTE cellular network

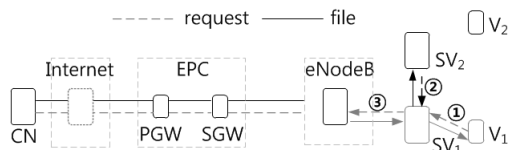


그림 9. LTE-D2D 기반 차량 네트워크에서 정보 요청
Fig. 9. Case of data request in LTE-D2D based vehicle network

4.2 실험 가정

기존 LTE-D2D 네트워크 구조와 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에서의 성능 비교를 위해 논문[19]를 참고하여 전달 시간과 데이터 처리율을 계산하였다. d^{LTE} 는 LTE 네트워크 구조에서 UE에서 통신 노드까지의 중단 패킷 전달 시간으로 다음과 같이 표현된다.

$$d^{LTE} = t_{PDN-PGW} + t_{PGW-SGW} + t_{SGW-eNodeB} + t_{eNodeB-UE} \\ = a \times L_{wd} + b \times L_{wl_1} + c \times L_{wl_2} + L_{ut} \quad (1) \\ = (a + b + c) \times L_{wd} + L_{ut}$$

데이터 처리율은 PDN에 존재하는 통신 노드가 UE 또는 차량에 보낸 패킷들에 대해 단위 시간 당 UE 또는 차량이 전송받은 데이터의 총 양으로 정의된다. 이를 위하여 N_p 를 하나의 세션에 전달되는 평균 패킷의 개수, δ 를 각각의 패킷이 전송되는 사이 시간이라고 가정한다. 즉, 통신 노드는 N_p 개의 패킷을 UE 또는 차량에게 δ 의 간격으로 보낸다. 기존 LTE/SAE 네트워크의 데이터 처리율을 T^{LTE} 이라고 할 때 통신 노드가 UE에게 전송하는 모든 패킷들은 먼저 P-GW에 도착하게 되고 미리 설정된 베어러들을 통하여 S-GW 그리고 eNodeB를 거쳐 UE까지 도착하게 된다. 이를 수식화하면 다음과 같다.

$$T^{LTE} = \frac{N_p}{d^{LTE} + \delta(N_p - 1)} \quad (2)$$

본 논문에서 제안된 네트워크 구조에서 차량 노드에서 통신 노드까지의 중단 패킷 전달 시간은 다음과 같이 표현할 수 있다. 이때 수식에서 각 경우에 대한 확률을 p_n 로 설정하였다.

$$d^{proposal} = \begin{cases} p_1 L_{ut} & \text{Case 1} \\ p_2 (L_{ut_1} + L_{ut_2}) & \text{Case 2} \\ p_3 ((a + b + c) L_{wd} + L_{ut}) & \text{Case 3} \end{cases} \quad (3)$$

제안된 네트워크 구조에서의 데이터 처리율을 수식화하면 다음과 같다.

$$T^{proposal} = \frac{N_p}{d^{proposal} + \delta(N_p - 1)} \quad (4)$$

4.3 분석 결과

본 절에서는 이전 절에서 기술한 지연 시간 및 데이터 처리율 수식을 활용하여 성능 분석의 결과를 제시한다. 제시한 각각의 파라미터의 의미는 표 3과 같

표 3. 시스템 변수

Table 3. Characteristics of IEEE 802.11p WAVE

Notation	Description
L_{wd}, L_{wl}	Average latency of a packet delivery in the wired(one hop)/wireless link
$d^{LTE}, d^{proposal}$	Packet delivery time from UE(Vehicle) to PDN
a	Average number of hops between P-GW and PDN
b	Average number of hops between S-GW and P-GW
c	Average number of hops between eNodeB and S-GW
p_n	Probability of packet delivery case
$T^{LTE}, T^{proposal}$	Data processing rate
N_p	Average packet number per one session
δ	Packet transmission interval

다. 성능 분석을 위하여 표 3에서 제시한 각각의 파라미터 기본 값을 다음과 같이 설정하였다: $L_{wd} = 2ms$, $L_{wl_1}, L_{wl_2} = 10ms$, $\delta = 1ms$. 데이터 처리율은 각 노드 간의 평균 홉 카운트 값과 세션 당 평균 패킷 수를 변화하여 구하였다. 이때 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크에서 정보 전달의 경우에 따른 확률 값을 달리하여 변이를 살펴보았다.

그림 10은 총 홉 카운트 합의 변화에 따른 데이터 처리율을 나타낸다. 실제 LTE EPC 코어망 환경을 고려하여 각 노드 간 평균 홉 카운트 총 합이 최소값인 3부터 최대 15까지 변화할 때 수식 (2)와 (4)를 통해 데이터 처리율을 계산하였다. 이때 홉 수의 변화에 따른 데이터 처리율을 파악하기 위해 제안된 네트워크 구조에서 패킷이 전송되는 경우의 확률은 1/3으로 정하였고 세션 당 전송되는 평균 패킷 수는 100으로 지정하였다. 그림 10과 같이 한 세션 당 전송되는 평균 패킷이 일정할 때 총 홉 카운트의 합의 늘어남에 따라 전체적인 데이터 처리율은 감소한다. 하지만 LTE 네트워크 구조와 비교했을 때 제안된 LTE-D2D 차량 네트워크의 데이터 처리율이 높은 것을 알 수 있다.

그림 11은 한 세션 당 전송되는 평균 패킷 수가 증가함에 따른 데이터 처리율을 나타낸다. 이때 패킷 수 변화에 따른 성능 비교를 위해 전체 홉 수를 3으로 동일하게 지정하였다. 실험을 통해 일반적인 LTE 네트워크 구조와 비교했을 때 전체적인 데이터 처리율이 향상되는 것을 파악할 수 있다. 그림 10, 11을 통해 제안된 구조에서 중간 차량 노드를 통해 데이터를 전

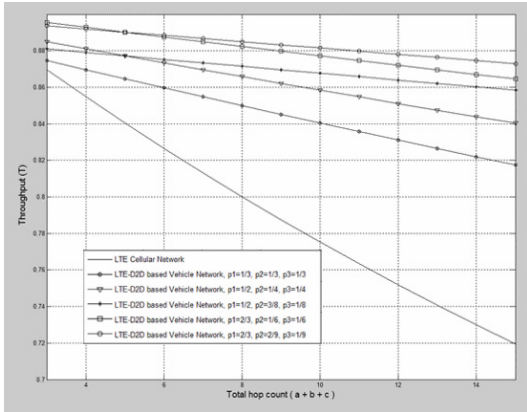


그림 10. 홉수 증가에 따른 정보 처리율
Fig. 10. Data processing rate according to hop count increasing

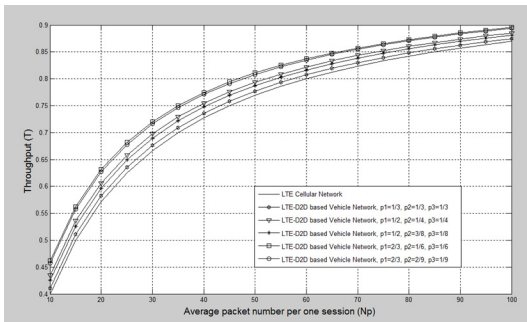


그림 11. 세션 당 평균 패킷 수 증가에 따른 정보 처리율
Fig. 11. Data processing rate according to average packet number per one session increasing

송받는 확률이 높을수록 데이터 처리율이 높은 것을 파악할 수 있었다. 본 실험에서는 확률의 경우를 몇 가지로 정하여 변화의 추이만을 살펴보았다. 이 같은 방법으로 모든 확률에 대한 분석을 통해 보다 정확한 데이터를 얻을 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 LTE-D2D 차량 네트워크에 대한 제안을 통해 제안된 네트워크 구조와 프로토콜의 동작 과정을 이해하고 성능 분석을 실시하였다.

기존 차량용 애드-혹 네트워크(VANET)는 차량 노드의 고속 이동으로 차량 간 정보 전송에 한계가 있었다. 하지만 제안한 차량 네트워크 구조에서는 802.11p 대신 LTE-D2D를 사용하여 통신의 커버리지를 확장 시킴으로써 종래 차량 간 한 홉 전송을 수행하던 통신의 전송 범위를 향상시켰다. 또한 기지국과 일반 차량

노드 사이에 차량의 위치 파악이 가능한 대형 차량 노드를 두어 중간 저장소의 역할을 지정함으로써 이를 통해 정보를 전달의 평균 지연 시간을 줄여 전체적인 데이터 처리율을 향상시켰다.

본 논문에서 실시한 수학적 모델링을 통해 중간 차량 노드의 역할에 대해 파악할 수 있었다. 또한 분석에서 나아가 향후 D2D 통신을 지원하는 시뮬레이션 프로그램을 통해 실제 차량 환경과 동일한 환경을 구성하여 성능 분석을 실시하여 실제 차량 환경에서의 데이터 전달 및 처리율을 파악해야한다. 본 논문에서는 LTE-D2D를 사용한 2계층 이동성 관리에 대해 논의했으나 앞으로 3계층인 IP 계층의 이동성 관리도 고려해볼 필요가 있으며 이에 따라 차량 네트워크를 위한 계층별 프로토콜 설계가 필요하다.

References

- [1] S. Eichler, "Performance evaluation of the IEEE 802.11p WAVE communication standard," *Veh. Technol. Conf.*, pp. 2199-2203, Baltimore, MD, Sept. 2007.
- [2] Y. Jo, H. Chu, and S. Lim, et al., "Built in antenna array based next generation vehicle mobile communication system technology," *J. KICS*, vol. 28, no. 2, pp. 46-53, Jan. 2011.
- [3] X. Lin, et al., "An overview of 3GPP device-to-device proximity services," *Commun. Mag.*, pp. 40-48, Apr. 2014.
- [4] G. Xylomenos, et al., "A survey of information-centric networking research," *Commun. Surveys and Tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 1024-1049, Jul. 2013.
- [5] F. Bai and B. Krishnamachari, et al., "Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric VANETs," *Commun. Mag.*, vol. 48, no. 5, pp. 138-146, May 2010.
- [6] G. Arnould, et al., "A self-organizing content centric network model for hybrid vehicular ad-hoc networks," in *Proc. DIVANet*, pp. 15-22, New York, USA, 2011.
- [7] J. Wang, R. Wakikawa, and L. Zhang, "DMND: Collecting data from mobiles using named data," in *Proc. Veh. Netw. Conf.*, pp. 49-56, Dec. 2010.

- [8] P. TalebiFard and V. C. M. Leung, "A content centric approach to dissemination of information in vehicular networks," in *Proc. DIVANet*, pp. 17-24, New York, USA, 2012.
- [9] L. Wang, et al., "Data naming in vehicle-to-vehicle communications," *INFOCOM NOMEN Workshop*, pp. 328-333, Mar. 2012.
- [10] G. Grassi, et al., "VANET via named data networking," *IEEE INFOCOM Workshop on Name Oriented Mobility(NOM)*, pp. 410-415, Toronto, ON, Apr. 2014.
- [11] M. Amadeo, et al., "Content-centric networking: is that a solution for upcoming vehicular networks?," *ACM VANET*, pp. 99-102, 2012.
- [12] M. Amadeo, et al., "CRoWN: Content-centric networking in vehicular ad hoc networks," *IEEE Communications Letters*, vol. 16, no. 9, pp. 1380-1383, Sept. 2012.
- [13] M. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, "Enhancing content-centric networking for vehicular environments," *Computer Networks*, vol. 57, no. 16, pp. 3222-3234, Nov. 2013.
- [14] A. Baid, et al., "Enabling vehicular networking in the mobility first future internet architecture," *World of Wirel., Mob. and Multimedia Netw. (WoWMoM)*, pp. 1-3, Jun. 2013.
- [15] G. Grassi, et al., "Vehicular inter-networking via named data," *SIGMOBILE Mob. Comput. and Commun.*, Oct. 2013.
- [16] A. Detti, et al., "CONET: A content centric inter-networking architecture," in *Proc. ACM SIGCOMM workshop on Information-centric networking*, pp. 50-55, New York, USA, 2011.
- [17] C. Jiachen, et al., "Coexist: A hybrid approach for content oriented publish/subscribe systems," in *Proc. 2nd ICN workshop on Information-centric networking*, pp. 31-36, Aug. 2012.
- [18] N. B. Melazzi, et al., "Internames: A name-to-name principle for the future Internet," *Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness (QShine)*, pp. 146-151, Dec. 2014.
- [19] Y. Kim, et al., "Distributed mobility management scheme in LTE/SAE networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 11, pp. 879-894, 2013.
- [20] M. Corici, et al., "Optimized low mobility support in massive mobile broadband evolved packet core architecture," *IEEE Int. Conf. Networks (ICON)*, pp. 322-327, Singapore, Dec. 2011.
- [21] H.-T. Roh and J.-W. Lee, "Mobility management of M2M devices with grouping in the LTE system," *J. KICS*, vol. 37, no. 12, pp. 1119-1127, 2012.

심 용 희 (Yong-hui Shim)



2013년 2월 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 졸업
 2014년 3월~2015년 2월 : 숭실대학교 정보통신공학과 석사
 <관심분야> 이동데이터통신망, 센서 네트워크, 차세대 네트워크

김 영 한 (Young-han Kim)



1984년 : 서울대학교 전자공학 학사
 1986년 : 한국과학기술원 전기전자공학 석사
 1990년 : 한국과학기술원 전기전자공학 박사
 1987년~1994년 : 디지털 정보통신연구소 데이터통신 연구부장
 1994년~현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 정교수
 <관심분야> 컴퓨터네트워크, 인터넷네트워킹, 이동데이터통신망