

WAVE 표준 기반 차량 통신 시스템의 V2V 시나리오 전파 특성 분석

주 지 훈*, 오돈고스티븐요부*, 김 지 훈*, 정 홍 중**, 한 동 석^o

Analysis of Radio Propagation Characteristics for V2V Scenarios in WAVE Standard Based Vehicular Communication System

Jihoon Joo*, Odongo Steven Eyobu*, Ji Hun Kim*, Hong-Jong Jeong**, Dong Seog Han^o

요 약

차량 통신 시스템을 이용한 서비스 설계를 위해서는 전파 특성에 대한 이해가 필수적이다. 그러나 차량 통신 환경은 낮은 안테나 높이와 높은 이동성으로 인하여 송수신기 사이의 채널 환경이 급변하므로 전파 특성을 예측하기가 매우 어렵다. 이에 따라 기존에 차량 통신 채널을 모델링하고자 하는 연구들이 진행되어왔지만 차량 통신 환경이 워낙 다양하여 범용성이 떨어지고 특히 신호 레벨에서의 분석이 대다수를 이루다보니 시스템 레벨의 차량 통신 성능을 알기 힘든 한계점이 있었다. 따라서 본 논문에서는 WAVE 표준 기반의 상용 차량 통신 시스템을 이용하여 V2V(Vehicle-to-vehicle) 시나리오에서 발생할 수 있는 다양한 환경에 대한 전파 특성 분석을 진행하였다. 본 논문에서 실측한 데이터 분석을 통하여 전반적인 차량 통신 시스템의 송수신 성능과 더불어 주행·정지 상태 교차, 차량에 의한 NLOS(Non-Line-of-Sight), 터널 주행 등 특정한 시나리오에서도 시스템 레벨의 전파 특성을 확인하였다.

Key Words : vehicular communication system, WAVE, radio propagation characteristics, measurement-based analysis

ABSTRACT

Understanding of radio propagation characteristics is essential for the service application design using vehicular communication system. However vehicular communication environments are exceedingly difficult to predict propagation characteristics because of rapidly changing channel due to their low antenna heights and high mobility. Accordingly, some literatures have discussed the modeling of vehicular communication channels but those have limitations such as lack of scalability and system-level performance analysis since vehicular communication environments are diverse and most of the conventional studies are oriented to signal-level analysis. Therefore, we analyze radio propagation characteristics in various environments that can occur in V2V scenarios using WAVE standard based commercial vehicular communication system. From the measurement data analysis discussed in this paper, we verify overall performance of vehicular communication system and system-level propagation characteristics of specific scenarios such as driving-stationary status transitions, NLOS induced by vehicle, tunnel driving.

* 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2016R1D1A3B03934420)

• First Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, jihoon@knu.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, dshan@knu.ac.kr, 종신회원

* School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, 학생회원

** Wayties Inc., hj@wayties.com, 정회원

논문번호 : KICS2017-03-063, Received March 6, 2017; Revised May 19, 2017; Accepted May 25, 2017

I. 서 론

차량 통신 기술은 레이더와 카메라 센서에 의존하여 운전자의 개입이 필요한 자율주행인 레벨 2 정도에 머물러 있는 자율주행 기술을 운전자의 개입 없이 스스로 주행 가능한 레벨 3와 완전 자율주행인 레벨 4까지 구현하는데 있어서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 차량 통신의 종류에는 차량 간 통신 (Vehicle-to-vehicle, V2V), 차량-인프라 간 통신, 차량-보행자 간 통신 등이 있으며, 이 중에서도 특히 도로 주행 안전과 직결되는 차량 간 통신의 비중이 크다^[1].

차량 간 통신은 낮은 안테나 높이와 고속 이동성으로 인하여 통신 채널 및 전파 경로 환경이 매우 빠르게 변화할 수 있다는 특징이 있다^[2]. 이러한 차량 간 통신의 성능 향상을 위해서 지난 수년간 많은 연구가 진행되어왔고, 특히 국제 표준인 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 기반 차량 통신 시스템의 성능 향상을 위한 프로토콜 설계는 IEEE 802.11p 규격의 한계점들로 인하여 완숙기에 이르렀다^[3]. 또한 지난 연구들 중 대부분이 시뮬레이션 단계에서 이루어져서 실제로 다양한 변수가 존재하는 차량 통신 환경을 제대로 반영하지 못하였고 이는 최근에 보고되는 차량 통신 실증 연구 결과가 증명하고 있다^[4]. 정확한 통신 채널 성능 추정이 불가능할 경우 차량 통신 시스템 설계의 신뢰성을 보장할 수 없기에 주행 안전과 직결되는 차량 통신 서비스에 심각한 문제를 야기할 수 있는 점은 자명하다. 따라서 기존의 차량 통신 연구 분야가 시뮬레이션을 통한 성능 평가 및 프로토콜 설계 중심이었다면 최근 차량 통신의 실증적 연구를 통한 통신 채널 및 전파 경로 환경 분석 및 모델링이 활성화되는 추세이다^[5-15].

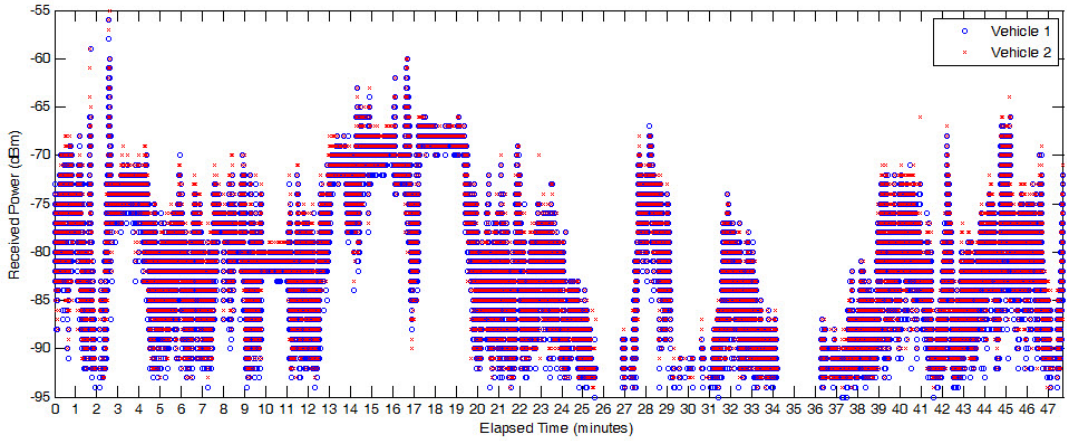
기존 차량 통신 실증적 연구들에서 제시되어온 채널 및 전파 모델은 구현 방식, 고려한 환경, 사용된 대규모 혹은 소규모 페이딩 모델 등에 따라서 구분된다. 우선 구현 방식에는 주변 기하 정보 활용 여부에 따른 기하기반 모델과 비기하기반 모델이 있으며, 이는 결정적 모델과 확률적 모델로 세분화된다. 송수신기가 존재하는 주변 환경에 따라서도 다양하게 분류되며 주로 고속도로^[16], 도심^[17] 등의 환경이 주류를 이루지만 주차장^[18], 터널^[19], 교외^[20], 교차로^[21], 시골 등 특수한 환경을 고려한 연구도 존재한다^[22]. 채널 및 전파 모델링에 사용된 대규모 페이딩 모델은 주로 로그거리 경로 손실 모델이 대다수이며 간혹 Two-ray 지면 반사 모델이나 Ray tracing 기법 혹은 실측 데이터 피팅을 활용하는 경우도 있었다. 반면에 소규모 페이딩

모델은 정규 분포를 비롯하여 Nakagami 분포, Rician 분포, Weibull 분포 등이 주변 환경 변수에 따라 활용되었다^[2].

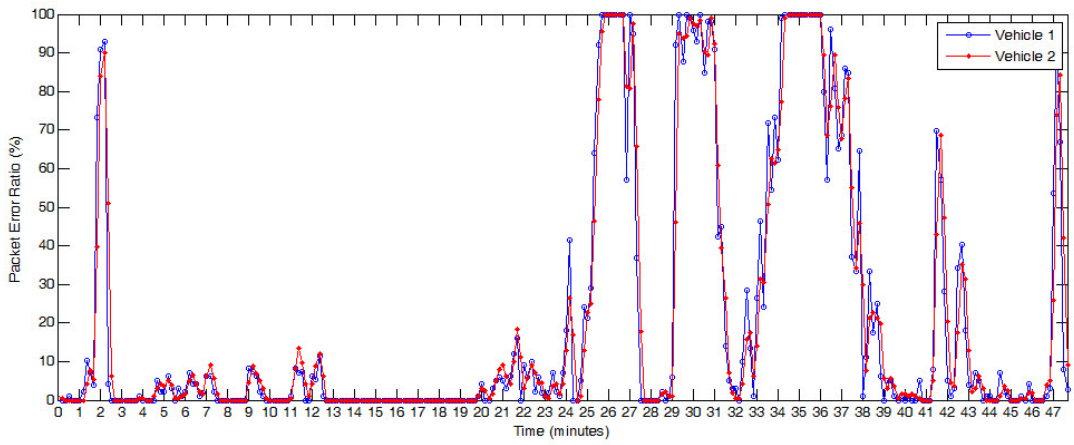
그러나 이러한 모델링 관련 연구는 범용성이 떨어진다는 한계점을 가지고 있다. 그 이유는 이상적인 환경을 고려하거나 환경의 범위가 너무 넓어서 한 종류로 특정하기 어렵기 때문이다. 예를 들면 고속도로 실측 데이터라고 할지라도 고속도로마다 그 안에서 수많은 변수들이 존재하기 때문에 하나의 고속도로 채널 모델링 결과를 직접적으로 다른 고속도로에 적용할 수 없다. 따라서 이러한 한계점을 해결하기 위해서 NLOS(Non-Line-of-Sight) 환경을 유발하는 요인에 따라 세분화하여 모델링을 수행함으로써 모델의 범용성을 높이고자 하는 연구도 진행되어왔다^[23]. 그러나 이러한 연구 결과도 발표하는 기관에 따라서 무시하지 못할 정도의 차이점을 보이고 있기 때문에 신뢰성이 높다고 할 수 없다.

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 가지는 기존 차량 통신 채널 및 전파 연구의 흐름에서 벗어나 차별화된 전략으로 접근한다. 첫 번째는 기존 연구들이 채널 사운드 혹은 IEEE 802.11p 규격 프로토타입 형태의 실측 장비를 사용하는 것에 반하여 본 논문에서는 WAVE 표준의 규격과 프로토콜 스택을 따르는 상용 차량 통신 시스템을 실측에 이용함으로써 시스템 레벨의 성능 분석을 수행한다. 두 번째는 범용성이 떨어지는 신호 레벨의 모델링을 수행하지 않고 실제 시스템 성능 경향을 파악하여 기존 신호 레벨 모델링 연구 결과와 실제 시스템 레벨의 성능 차이점을 분석한다.

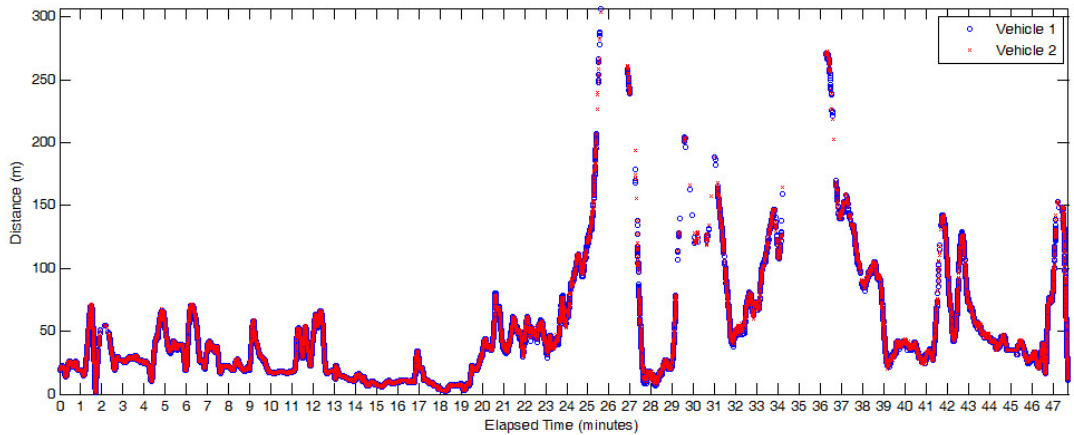
특히 본 논문은 이론적 모델로 접근하기에는 너무나 많은 변수가 존재하는 실제 주행 환경의 V2V 통신 성능을 측정을 통하여 분석하고자 한다. 이를 통하여 제어된 실험 환경 안에서 측정된 결과를 이론적 결과와 비교하는 방법이 실제 주행 환경 변수를 반영하지 못하는 문제점을 해결하고자 한다. 또한 결과 데이터의 범용성을 높이기 위하여 주행 환경을 시나리오 레벨로 세분화하여 특정 주행 시나리오 별 통신 성능 변화 추이의 경향성을 파악함으로써 V2V 통신 관련 연구자들이 향후 연구에 참고할 수 있도록 한다.



(a)



(b)



(c)

그림 1. 수집된 전체 실측 데이터의 소요 시간에 따른 (a) 수신 신호 세기, (b) 송수신기 사이의 거리 (c) 패킷 전달 실패율

Fig. 1. (a) received power, (b) packet error ratio, (c) separation distance of total measurement data according to elapsed time

II. WAVE 표준 기반 차량 통신 시스템의 V2V 시나리오 전파 특성 분석

2.1 실측 환경 구성

WAVE 표준 기반 차량 통신 시스템의 도로 주행 실측 데이터 취득을 위하여 본 논문에서는 GPS 정보를 수신할 수 있는 두 대의 차량에 상용 차량 통신 시스템을 탑재하여 상호 간 비콘 패킷 송수신을 통하여 해당 데이터를 실시간으로 로깅하는 실측 환경을 구성하였다. 비콘 패킷 송신 간격은 0.1 초로 설정하였다. 두 차량은 경상북도 구미시에서부터 구미 IC로 진입하여 칠곡 IC에서 빠져나와 대구광역시에 진입하는 경로로 주행하였다. 차량의 전고는 1.47 m이고 부착된 안테나는 0.1 m이다. 그리고 실제 주행 환경에서 실측한 데이터를 후처리하고 분석하기 위하여 후방에 위치한 차량에 블랙박스를 설치하여 촬영된 동영상을 통하여 송수신기 사이의 환경을 파악할 수 있게 하였다. 블랙박스 영상은 GPS 정보를 동시에 저장하게 만들어서 추후 통신 실측 데이터 로그와 동기를 맞출 수 있게 하였다. 이는 제어된 실험 환경이 아닌 실제 주행 실험 환경에서 효과적으로 데이터 분석을 할 수 있도록 한다.

본 실측에는 상용 차량 통신 시스템을 사용하였으므로 사용된 통신 규격은 WAVE 표준을 따른다. 실측에 사용된 통신 파라미터는 표 1에 나타내었다. 5.9 GHz의 반송파 주파수, 3 Mbps의 데이터율, 20 dBm의 송신 전력, 300 Bytes의 패킷 크기, -96 dBm의 수신 감도를 가진다. 사용된 안테나는 전방향성 안테나로 이득은 방위각 방향으로 0 dBi, 고도각 방향으로 5

dB이다.

2.2 전체 실측 데이터 분석

그림 1은 본 논문에서 사용된 실측 데이터 전체를 시간에 따른 수신 신호 세기, 패킷 전달 실패율, 송수신기 사이의 거리 순서로 나열한 것이다. 여기에서 패킷 전달 실패율은 20초 구간별로 송신 패킷 수 대비 수신 패킷 수로 계산하였다. 송수신기 사이의 거리는 각 차량이 자신의 GPS 정보를 수신한 비콘 패킷에 담긴 송신단의 GPS 정보와 비교 계산하여서 패킷 전달이 실패한 구간에서는 거리 정보가 파악되지 않았다. 실측 시간 동안 송수신기 사이의 상황은 시시각각으로 변화하며 시간대에 따라서 여러 가지 시나리오로 분류할 수 있다. 우선 실측에 포함된 주변 환경은 고속도로, 교외, 터널이 있고 송수신기 경로 환경은 LOS와 더불어 승용차에 의한 NLOS, 대형차에 의한 NLOS, 건물에 의한 NLOS가 있다. 또한 주행 상태와 정차 상태가 있으며 본 논문에서는 이러한 다양한 시나리오에 따른 통신 수신 성능의 변화를 분석한다.

실측은 총 48분 동안 진행되었으며 송신된 패킷의 총 개수는 56,118 개이고 이 중 성공적으로 수신된 패킷의 수는 44,135 개로 분석 가능한 충분한 양의 데이터를 확보하였다. 총괄 패킷 전달 실패율은 21.36 %이며, 이는 건물에 의하여 송수신기 경로가 막혀있거나 통달 거리를 벗어난 상황에서 많은 시간이 경과한 경우가 포함되었기 때문이다. 총 성공적으로 수신된 패킷의 평균 수신 신호 세기는 -79.87 dBm, 송수신기 사이의 거리 평균은 41.88 m로 집계되었다.

그림 1에 나타난 수집된 전체 실측 데이터에서 알 수 있는 사실은 수신 신호 세기나 패킷 전달 실패율과 같은 차량 통신 수신 성능 지표의 대략적인 변화 경향은 송수신기 사이의 거리에 상당히 의존적이라는 것이다. 또한 수신 신호 세기는 동일한 구간 내에서도 분산이 상당히 크다는 점을 알 수 있다. 이것은 매우 중요한 시사점을 가지는데, 왜냐하면 기존에 수신 신호 세기를 중심으로 모델링을 수행하는 많은 차량 통신 채널 모델링 관련 연구들이 높은 신뢰성을 확보할 수 없다는 근거가 되기 때문이다. 그리고 또 한 가지 알 수 있는 사실은 실제 차량 통신에서 패킷 전달 실패율은 결정적(Deterministic)으로 나타나는 경향을 보인다는 것이다. 이것은 그림 1에서 패킷 전달 실패율은 대부분이 0 % ~ 10 % 구간과 90 % ~ 100 % 구간에 형성되어있음을 통하여 확인할 수 있다.

그림 1에서 시간에 따른 수신 신호 세기의 추이는 변화의 정도가 매우 심하여 특정 시나리오 구간 동안

표 1. 실측 환경에 사용된 통신 파라미터
Table 1. Communication parameters used in our measurement

Parameter	Value
Carrier frequency	5.9 GHz
Data rate	6 Mbps
Transmission power	20 dBm
Packet transmission interval	0.1 초
Packet size	300 Bytes
Reception threshold	-96 dBm
Antenna gain	0 dBi (Azimuth), 5 dBi (Elevation)
Antenna height	1.47 m (car height) + 0.10 m (antenna height)

만을 분리하여 미시적으로 분석할 필요가 있으므로 소단원 3에서 다루도록 한다. 이에 반하여 패킷 전달 실패율은 비교적 명확히 특징적인 부분을 추려낼 수 있다. 먼저 실측 경과 시간 2분 구간에서 90% 이상의 급격히 높은 패킷 전달 실패율을 보이고 있다. 이는 송수신기 차량 사이의 직선 경로가 건물에 가려진 NLOS로 인한 것이다. 이때 두 차량 사이의 거리는 50 m 정도로 비교적 가깝게 형성되어있으나 실제 패킷 전달은 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 해당 환경을 보다 자세히 설명하면 건물에 의하여 LOS 경로가 존재하지 않고 전파가 반사되어 도달할 만한 반사체도 존재하지 않았다. 결국 건물 모서리에 의한 산란파만이 존재한 환경이라고 할 수 있는데, 이 때 패킷이 거의 전달되지 않았다는 사실로부터 차량 통신에서 산란파만으로는 서비스 제공이 불가능하다는 점을 확인할 수 있다. 이는 WAVE 표준이 상대적으로 높은 5.9 GHz 주파수를 사용하기 때문이라고 풀이할 수 있다. 또한 패킷 전달 실패율은 실측 경과시간 26분 구간에서도 나타나는데, 이는 송수신기 사이의 거리가 너무 멀어져서 통신 환경에서 벗어났다고 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 30분 구간과 35분, 42분, 47분 구간에서도 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 사실을 바탕으로 패킷 전달 실패율에 큰 영향을 미치는 요인은 송수신기 사이의 거리와 LOS 경로 확보 유무임을 알 수 있다.

2.3 특정 시나리오별 실측 데이터 분석

본 소단원에서는 전체 실측 데이터 중 송수신기 주변의 환경에 따라서 시나리오를 특정하여 해당 시나

리오에서의 차량 통신 수신 성능 변화를 분석한다. 본 실측 데이터에서 나타난 시나리오는 총 3 가지로 정지-주행 상태, 차량에 의한 NLOS, 터널 주행이다.

2.3.1 주행-정지 상태 교차

차량 통신 환경은 통신 시스템이 차량에 탑재되기 때문에 주행 중에 발생하는 움직임과 떨림에 쉽게 노출되게 되며 이로 인하여 추가적인 신호 손실발생을 예측할 수 있다. 그림 2는 실측 경과 시간 7분에서 10분 사이에 발생한 주행-정지 상태 교차 시나리오에서의 수신 신호 세기를 나타낸 그래프이다. 같은 시간 구간 내에서 수신 신호 세기가 형성된 분포를 보면 분산이 큰 부분은 주행 상태이고 작은 부분은 정지 상태로 구분 지을 수 있다. 전체 실측 구간에서 주행 상태와 정지 상태를 전부 구분한 결과, 수신 신호 세기는 정지 상태에서 1~2 dB 정도 편차를 갖는 반면에 주행 상태에서는 5 dB 이상의 편차를 가짐을 확인할 수 있었다. 특히 눈여겨볼 만한 결과는 주행 속도와 편차의 크기는 종속적이지 않았다는 점이다. 차량이 조금만 움직여도 수신 신호 세기의 편차는 급격히 커지며 이러한 편차는 100 km/h 이상의 속도로 주행하는 상황에서도 마찬가지로 확인할 수 있었다.

2.3.2 차량에 의한 NLOS

차량 통신 채널 관련 연구에서 차량에 의한 NLOS 환경에 대한 모델링은 상대적으로 많이 이루어졌으며 차량도 송수신 경로 내에 존재하면 전파를 방해하는 장애물로 작용한다고 널리 알려져 있다^[24,25]. 본 논문에서는 일반 승용차에 의하여 전파 경로가 가려진 경우와 대형 트럭에 의하여 전파 경로가 가려진 경우 두

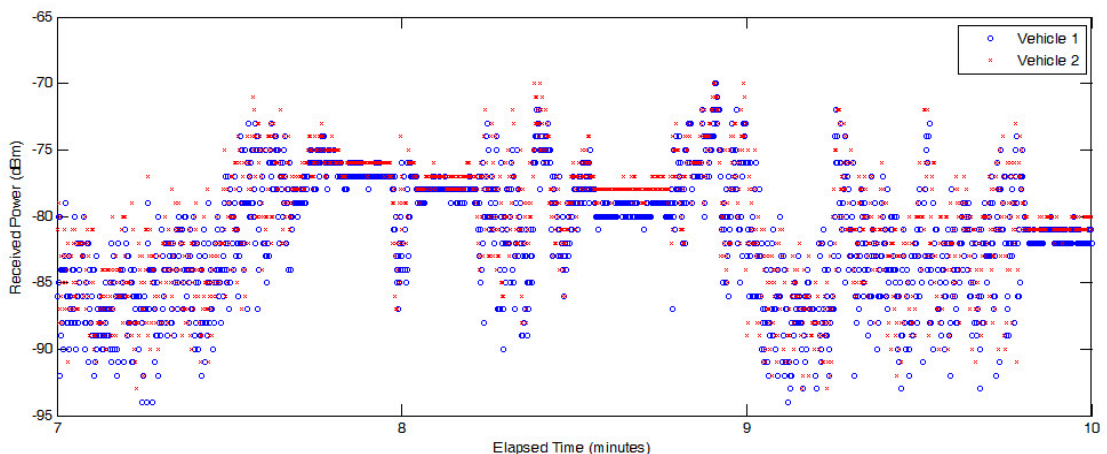


그림 2. 실측 경과 시간 7분에서 10분 사이에 발생한 주행-정지 상태 교차 시나리오에서의 수신 신호 세기
 Fig. 2. Received power in driving-stationary status transition scenario occurred from elapsed time of 7 minutes to 10 minutes

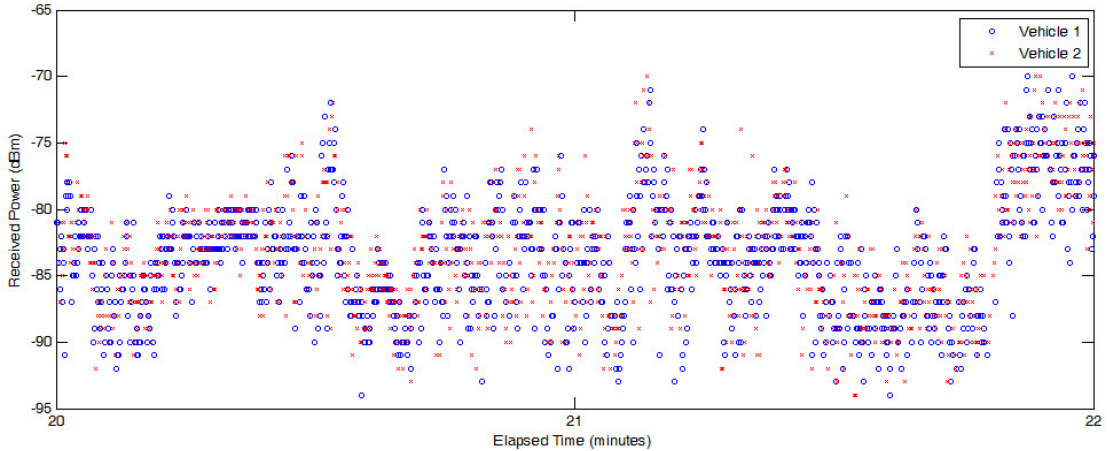


그림 3. 실측 경과 시간 20분에서 22분 사이에 수집된 수신 신호 세기. 송수신기 경로 환경은 20분부터 차량에 의한 NLOS를 유지하다가 20분 40초를 기점으로 LOS 환경으로 바뀐다.
 Fig. 3. Received power collected from elapsed time of 20 minutes to 22 minutes. Path environment is changed at 21' 40'' from NLOS by normal vehicle to LOS.

가지 시나리오를 실측 데이터를 통하여 분석한다. 먼저 그림 3은 실측 경과 시간 20분에서 22분 사이에 수집된 수신 신호 세기를 나타낸 그래프이다. 실험에 사용된 두 대의 차량 중 추종 차량에 장착된 블랙박스 영상을 관측한 결과 송수신기 사이의 경로 환경은 차량에 의한 NLOS를 계속 유지하다가 20분 40초를 기점으로 LOS 환경으로 바뀌는 것을 확인하였다. 그러나 그림 3에서 확인할 수 있듯이 20분 40초 주변에서 수신 신호 세기의 두드러진 변화는 발견할 수 없었다. 이와 같은 현상은 장애물로 작용한 차량이 실험에 사용된 차량과 같은 일반 승용차종이라서 송수신기 사

이의 경로에 큰 영향을 미치지 못한 이유로 풀이된다. 그림 4는 실측 경과 시간 40분에서 43분 사이에 수집된 수신 신호 세기를 나타낸 그래프이다. 마찬가지로 블랙박스 영상을 관측한 결과 41분 30초에서부터 약 10초간 대형 트럭에 의하여 NLOS 환경이 형성되는 것을 확인하였고 실제로 해당 구간 전후로 급격한 수신 신호 세기의 감쇄와 함께 패킷 전달 실패율이 증가하였다. 이러한 사실을 통하여 대형 트럭에 의한 NLOS는 차량 통신 수신 성능에 심각한 영향을 미치며 향후 플랫폼 시스템을 구성하는데 있어서 반드시 고려해야할 요소임을 알 수 있다.

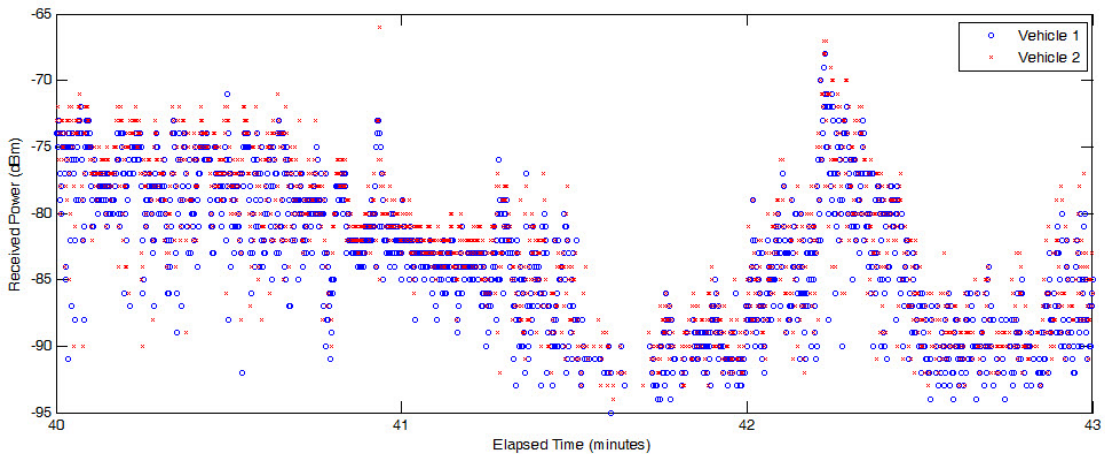


그림 4. 실측 경과 시간 40분에서 43분 사이에 수집된 수신 신호 세기. 송수신기 경로 환경은 41분 30초에서 약 10초간 대형 트럭에 의하여 NLOS가 발생한다.
 Fig. 4. Received power collected from elapsed time of 40 minutes to 43 minutes. Path is blocked around 10 seconds from 41' 30'' by large vehicle.

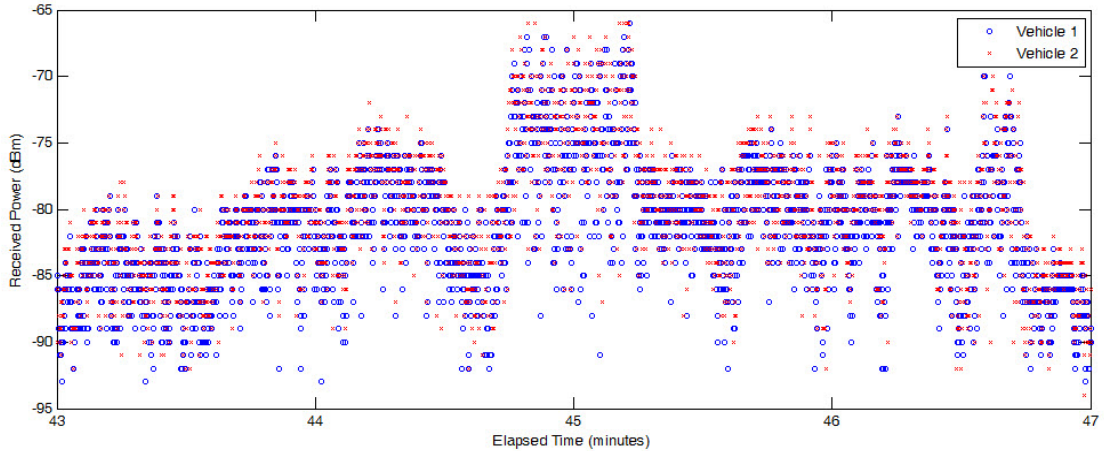


그림 5. 실측 경과 시간 43분에서 47분 사이에 수집된 수신 신호 세기. 44분 45초부터 45분 15초까지 터널 주행을 하였다.
 Fig. 5. Received power in tunnel driving scenario occurred from elapsed time of 20 minutes to 22 minutes

2.3.3 터널 주행

터널에서의 차량 통신 채널에 대한 연구는 일부 있었으나^{19,26)} 이들은 터널 내에 위치한 환경만을 고려하였고, 일반 도로에서의 통신 환경과 터널 내에서의 통신 환경에 대한 비교는 없었다. 따라서 본 논문에서는 일반 도로와 터널 내에서의 수신 성능 차이를 중점적으로 분석한다²⁷⁾. 그림 5는 실측 경과 시간 43분에서 47분 사이에 수집된 수신 신호 세기를 나타낸 그래프이다. 이 중 터널 주행 구간은 44분 45초부터 45분 15초까지이다. 결과에서 볼 수 있듯이 터널 주행 구간에서는 일반도로보다 확연히 높은 수신 신호 세기 분포를 가지는 것을 확인할 수 있다. 실제로 평균 수신 신호 세기는 터널 진입 전 30초 구간에서 -81.07 dBm 이고 터널 진출 후 30초 구간에서 -80.05 dBm인 반면에 터널 내에서는 -74.65 dBm으로 약 5~6 dB 정도의 이득을 가진다. 이러한 현상의 원인은 터널 환경이 송신 신호의 산란체로 작용하여 상대적으로 짧은 지연 확산을 가지는 다중 경로로부터 수신 신호가 형성되기 때문이다. 따라서 차량 통신 서비스 어플리케이션을 설계할 때에는 일반 도로와 터널 환경을 구분 지어야 함을 알 수 있다.

III. 결 론

차량 통신 시스템은 낮은 안테나 높이와 높은 이동성으로 인하여 채널이 시간에 따라 급변하는 특징을 가지고 있다. 이에 따라 차량 통신의 전파 및 채널 모델링에 대한 실측 기반 연구는 다양한 방법으로 진행되어 왔다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 채널 사운

더 혹은 테스트 보드 형태의 제품을 사용하여 신호 레벨에서 성능 평가가 이루어졌으며 저자의 인지 범위 안에서는 상용 차량 통신 플랫폼을 이용하여 시스템 레벨의 성능 평가를 다룬 연구는 없었다. 특히 실제 주행 환경의 V2V 통신 성능 분석은 이론적 모델로 접근하기에는 너무나 많은 변수가 존재하기 때문에 제어된 실험 환경 안에서 측정된 결과를 이론적 결과와 비교하는 방법은 실제 주행 환경 변수를 반영하지 못하는 문제점이 있었다.

본 연구는 WAVE 표준 기반의 상용 차량 통신 플랫폼으로 실제 주행환경에서 측정된 비콘 패킷 송수신 결과를 분석하였다. 이를 통하여 본 논문에서는 차량 통신에서 나타나는 여러 가지 중요한 현상을 파악하였다. 첫째, 차량 통신의 수신 신호 세기는 동일한 시간 구간 내에서도 분산이 상당히 크다. 둘째, 패킷 전달 실패율은 결정적으로 나타난다. 셋째, 차량 통신에서 산란파만으로는 서비스 제공이 어렵다. 넷째, 패킷 전달 실패율에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 송수신기 사이의 거리와 LOS 경로 확보 유무이다. 다섯째, 차량의 주행-정지 상태에 따라 수신 신호 세기 분포는 확연히 다르지만 분포의 범위는 속도에 의존적이지 않다. 여섯째, 차량에 의한 NLOS는 직접적으로 송수신 안테나 사이를 가릴 정도의 크기의 차량이 아니면 그 영향은 크지 않다. 일곱째, 터널을 주행할 때에는 일반 도로를 주행할 때보다 수신 신호 세기의 이득이 있다.

본 연구가 가지는 한계점은 상용 차량 통신 플랫폼을 이용하여 시스템 레벨의 성능 평가를 수행하기 때문에 패킷 전달이 실패한 구간에는 전달 실패의 사실

외에 어느 정도의 신호 손실이 이루어졌는지를 파악할 수가 없다는 점이다. 따라서 향후 연구에는 채널 사운딩을 병행하여 신호 레벨의 성능 평가와 시스템 레벨의 성능평가가 동시에 이루어져야할 필요성이 있다. 또한 실제 주행 환경의 성능 결과를 이론적 결과와 비교할 수 있도록 제어된 환경에서의 실험과 병행할 수 있는 방법을 도모 하여야 한다.

References

- [1] F. Dressler, H. Hartenstein, O. Altintas, and O. K. Tonguz, "Inter-Vehicle communication: Quo vadis," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 6, pp. 170-177, 2014.
- [2] W. Viriyasitavat, M. Boban, T. Hsin-Mu, and A. Vasilakos, "Vehicular communications: survey and challenges of channel and propagation models," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 10, pp. 55-66, 2015.
- [3] C. Sommer, S. Joerer, M. Segata, O. K. Tonguz, R. L. Cigno, and F. Dressler, "How shadowing hurts vehicular communications and how dynamic beaconing can help," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 14, pp. 1411-1421, 2015.
- [4] T. Abbas, J. Nuckelt, T. Kurner, T. Zemen, C. F. Mecklenbrauker, and F. Tufvesson, "Simulation and measurement-based vehicle-to-vehicle channel characterization: accuracy and constraint analysis," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 63, pp. 3208-3218, 2015.
- [5] Z. Tong, H. Lu, M. Haenggi, and C. Poellabauer, "A stochastic geometry approach to the modeling of DSRC for vehicular safety communication," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, pp. 1448-1458, 2016.
- [6] N. Adhikari, A. Kumar, and S. Noghianian, "Multiple antenna channel measurements for car-to-car communication," *IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 674-677, 2016.
- [7] T. Abbas, K. Sjöberg, J. Karedal, and F. Tufvesson, "A measurement based shadow fading model for vehicle-to-vehicle network simulations," *Int. J. Ant. Propag.*, vol. 2015, pp. 1-12, 2015.
- [8] H. Fernandez, L. Rubio, V. M. Rodrigo-Penarrocha, and J. Reig, "Path loss characterization for vehicular communications at 700 MHz and 5.9 GHz under LOS and NLOS conditions," *IEEE Ant. Wirel. Propag. Lett.*, vol. 13, pp. 931-934, 2014.
- [9] O. Renaudin, V.-M. Kolmonen, P. Vainikainen, and C. Oestges, "Wideband measurement-based modeling of inter-vehicle channels in the 5-GHz band," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 62, pp. 3531-3540, 2013.
- [10] T. Abbas, J. Karedal, and F. Tufvesson, "Measurement-based analysis: The effect of complementary antennas and diversity on vehicle-to-vehicle communication," *IEEE Ant. and Wirel. Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 309-312, 2013.
- [11] C. F. Mecklenbrauker, A. F. Molisch, J. Karedal, F. Tufvesson, A. Paier, L. Bernado, et al., "Vehicular channel characterization and Its implications for wireless system design and performance," in *Proc. IEEE*, vol. 99, pp. 1189-1212, 2011.
- [12] J. Karedal, N. Czink, A. Paier, F. Tufvesson, and A. F. Molisch, "Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, pp. 323-328, 2011.
- [13] H.-K. Choi, H.-S. Oh, W. Cho, and Y.-S. Jang, "Fading effects and antenna diversity tests of WAVE communications," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 967-973, 2014.
- [14] S.-M. Heo and S.-J. Yoo, "Multi-channel MAC protocol based on V2I/V2V collaboration in VANET," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 96-107, 2015.
- [15] M. Kim and C. Joo, "Prediction-based reliable data forwarding method in VANET," *J. KICS*, vol. 42, no. 1, pp. 128-139, 2017.
- [16] N. Akhtar, S. C. Ergen, and O. Ozkasap, "Vehicle mobility and communication channel models for realistic and efficient highway VANET simulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, pp. 248-262, 2015.
- [17] K. T. Herring, J. W. Holloway, D. H. Staelin,

and D. W. Bliss, "Path-loss characteristics of urban wireless channels," *IEEE Trans. Ant. Propag.*, vol. 58, pp. 171-177, 2010.

[18] R. Sun, D. W. Matolak, and P. Liu, "Parking garage channel characteristics at 5 GHz for V2V applications," in *Proc. IEEE 78th Veh. Technol. Conf.*, pp. 1-5, 2013.

[19] N. Avazov and M. Patzold, "A novel wideband MIMO car-to-car channel model based on a geometrical semi-circular tunnel scattering model," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, pp. 1070-1082, 2016.

[20] L. Cheng, B. E. Henty, D. D. Stancil, F. Bai, and P. Mudalige, "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated short range communication (DSRC) frequency band," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 1501-1516, Oct. 2007.

[21] T. Abbas, L. Bernado, A. Thiel, C. Mecklenbrauker, and F. Tufvesson, "Radio channel properties for vehicular communication: Merging lanes versus urban intersections," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 8, pp. 27-34, 2013.

[22] H. M. Lin, H. M. Tsai, and M. Boban, "Scooter-to-X communications: Antenna placement, human body shadowing, and channel modeling," *Ad Hoc Networks*, vol. 37, pp. 87-100, Feb. 2016.

[23] M. Boban, J. Barros, and O. K. Tonguz, "Geometry-based vehicle-to-vehicle channel modeling for large-scale simulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, pp. 4146-4164, 2014.

[24] M. Boban, T. T. V. Vinhoza, M. Ferreira, J. Barros, and O. K. Tonguz, "Impact of vehicles as obstacles in vehicular ad hoc networks," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 29, pp. 15-28, 2011.

[25] R. He, A. F. Molisch, F. Tufvesson, Z. Zhong, B. Ai, and T. Zhang, "Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, pp. 2237-2248, 2014.

[26] G. Maier, A. Paier, and C. Mecklenbräuker, "Channel tracking for a multi-antenna ITS system based on vehicle-to-vehicle tunnel measurements," in *Proc. 19th IEEE Symp. Commun. Veh. Technol. Benelux*, pp. 1-6, 2012.

[27] J. Joo, H. J. Jeong, and D. S. Han, "Measurement-based V2V communications reception performance analysis in tunnel driving environment," in *Proc. 27th Joint Conf. Commun. and Inf.*, Busan, 2017.

주 지 훈 (Jihoon Joo)



2011년 8월 : 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 학사
2014년 2월 : 경북대학교 대학
원 전자공학부 석사
2014년 3월~현재 : 경북대학교
대학원 전자공학부 박사과정
<관심분야> 차량통신시스템,
지능형교통시스템

오돈고스티븐요부 (Odongo Steven Eyobu)



2005년 3월 : Islamic Univer-
sity in Uganda, Computer
science
2009년 1월 : Makerere Univer-
sity, Kampala, Uganda.,
Computing and IT
2015년 2월~Present : Kyun-
gpook National University, Ph.D candidate.
Electronics Engineering
<Research interests> Intelligent Transportation
Systems, Vehicular communications, Deep
Learning

김 지 훈 (Ji Hun Kim)



2017년 2월 : 한밭대학교 정보통신공학과 졸업
2017년 3월~현재 : 경북대학교 모바일통신공학과 석사과정
<관심분야> 무선통신시스템

한 등 석 (Dong Seog Han)



1987년 2월 : 경북대학교 공학사
1989년 2월 : KAIST 공학석사
1993년 2월 : KAIST 공학박사
1989년 10월~1996년 8월 : 삼성전자 기술총괄 신호처리연구소 선임연구원
1996년 8월~현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수

2011년 6월~현재 : 경북대학교 IT자동차융합연구센터 센터장

<관심분야> IT자동차융합, 지능형교통시스템, 통신신호처리

정 흥 종 (Hong-Jong Jeong)



2004년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 졸업
2006년 2월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2013년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
2013년 7월~2016년 3월 : (주)제늄 이사

2015년 8월~현재 : (주)웨이티즈 최고기술책임자

<관심분야> 차량간통신, 차세대 ITS, 무선통신