

차량 간 통신 기반 추월보조 서비스를 위한 시나리오 및 네트워크 성능 평가

서현수*, 정진수*, 이상선^o

Scenario and Network Performance Evaluation for A Do Not Pass Warning Service Based on Vehicle-to-Vehicle Communications

Hyun-soo Seo^{*}, Jin-su Jung^{*}, Sang-sun Lee^o

요약

ITS 기술의 발전으로 인해 교통 분야에 관련한 서비스들이 제시되고 있다. 그리고 IEEE WG802.11과 P1609에서 추진하고 있는 WAVE가 차량 간 통신 표준으로 제정되고 있다. WAVE는 빠른 연결과정을 가지며 이동성 측면에서 우수한 특성을 나타낸다. 또한 국제적으로 차량 간 통신을 이용한 국가 프로젝트 및 서비스가 제안되고 있으며, 특히 미국 도로교통안전국에서 진행 중인 VSC-A 프로젝트에 다수의 차량 제조사가 참여하고 있고 차량 간 통신을 이용한 안전 서비스 및 측위 기술들이 제안되고 있다. 이러한 안전 서비스에 대한 모델 및 성능을 위한 차량 간 통신 성능에 대한 규격을 분석하고 제시해야 할 필요성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 차량 간 통신을 이용한 추월보조 안전 서비스에 대한 시나리오 및 모델을 제안한다. 이를 이용하여 WAVE 환경 하에서의 네트워크 시뮬레이션을 수행하여 통신 성능을 평가하였다. 향후 차량 간 통신을 이용한 추월보조 서비스의 실차 적용을 위해 고려해야 할 요소인 채널별 전송거리 및 지연시간에 대한 결과를 결론에서 제시하였다.

Key Words : ITS, WAVE, V2V communications, overtaking, vehicular safety services

ABSTRACT

Due to the development of ITS technology, various services related to transportation under vehicular environments have been provided. Especially, as wireless communication technology, WAVE has been established as a standard for vehicle-to-vehicle communications. WAVE has fast connection and excellent mobility characteristics. A VSC-A project is conducting by global automotive OEMs in USDOT. This project introduces the advanced safety services with vehicle-to-vehicle communications. In this paper, we presented the scenario of a do not pass warning service, which prevents an accident during overtaking activity by using vehicle-to-vehicle communications. In addition, we analyzed network performance under WAVE. In conclusion, we introduced the simulation results. Finally, we summarized the communication range and delay values for consideration factors for a overtaking model.

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10040990, UTIS 연동 통신기술 및 도심형교통안전지원 서비스 개발]

◆ 주저자 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 유비쿼터스통신 연구실, digitalshs@hanyang.ac.kr, 준회원

○ 교신저자 : 한양대학교 융합전자공학부 유비쿼터스통신 연구실, ssnlee@hanyang.ac.kr, 종신회원

* LG전자 Car 사업부, jinsu2711.jung@lge.com

논문번호 : KICS2013-01-007, 접수일자 : 2013년 1월 7일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 6일

I. 서 론

최근, 통신 및 컴퓨터를 비롯한 전자기술을 교통 환경에 접목한 ITS(Intelligent Transport System) 분야가 비약적으로 발전하고 있다. 교통흐름제어 및 버스환승체계를 비롯한 다양한 분야에 많은 기술들이 제시되고 있다¹⁾. ITS를 위한 다양한 통신 프로토콜이 제시되었으며, 대표적으로 UTIS(Urban Traffic Information System), DSRC(Dedicated Short Range Communication) 등이 국내에서 사용되고 있다. 이러한 프로토콜을 기반으로 한 ITS 서비스가 스마트 하이웨이 등의 국가프로젝트에서 제시되고 있다. 또한, 국제적으로 차량 간 통신 프로토콜 표준인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)가 제정되고 있다. WAVE는 WLAN(Wireless Local Area Network) 표준인 IEEE 802.11을 기반으로 하고 있으며, 차량 환경에 적합하도록 빠른 연결성과 효율적인 이동성을 갖는 특징이 있다. 이러한 WAVE 통신 프로토콜을 이용하게 되면 차량 간 그리고 차량과 도로변장치 간 필요 정보를 교환함으로써, 다양한 서비스들이 제시될 수 있다²⁾. 대표적으로 GPS(Global Positioning System)를 비롯한 위치 알고리즘인 LBS(Location Based System)를 적용하면 차량 간 통신을 통해 주변 차량의 위치정보를 파악할 수 있으며, 기존의 센서 기반 시스템의 안전 서비스를 대체할 수 있다³⁾.

차량 간 통신을 이용한 안전 서비스를 위한 프로젝트는 VSC-A(Vehicle Safety Communications-Application)가 대표적이다. VSC-A는 미국 도로교통안전국에서 진행하는 프로젝트로써, GM, 벤츠, 포드 등 다수의 차량 제조사가 참가하고 있으며 최근에는 국내 자동차 회사도 참여 중에 있다. 이 프로젝트를 통해 FCW(Forward Collision Warning), LCW(Lane Change Warning), EEBL(Emergency Electronic Brake Light) 등의 안전 서비스가 정립되고 테스트가 진행되고 있다. 특히, DNPW(Do Not Pass Warning)는 시골도로와 같은 2차선 도로에서 저속 차량이 선행차량을 추월하고자 할 때, 보조하는 서비스이다. 차량 간 통신을 통해 마주 오는 차량, 선행차량과 자차간의 차량정보를 교환함으로써, 상대방 위치를 파악하고 추월 허용 및 경고를 제공한다. 따라서 날씨가 나빠서 장애물 등과 같은 환경에 강인한 장점을 가지며, 운전자에게 안정적으로 주변 차량 정보제공 및 안전한 운행을 도울 수 있다. 그러나 이러한 특정 안전 서비스에 대해 차량 간 통

신환경에서의 고려사항 및 통신 성능에 대한 분석이 제시되지 않고 있다.

본 논문에서는 차량 간 통신 기반 추월보조 서비스의 통신 요구사항 분석을 위한 시나리오 및 모델을 제시한다. 추월 경로에 대한 모델을 구성하여 속도에 의한 이동 경로를 도출할 수 있다. 그리고 시나리오를 이용하여 WAVE의 IEEE 802.11p 및 1609.4 엔티티를 기반으로 네트워크 성능을 시뮬레이션하였다. 여기서, IEEE 802.11p와 1609.4는 각각 물리계층과 매체신점 및 중재를 위한 다중채널 운영을 명시한 WAVE 표준이다. 본 시뮬레이션에서는 노드 수를 변경하면서 네트워크 성능을 분석하였으며, 차량 간 통신 기반 추월보조 서비스에 적용하기 위한 요소를 도출하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 추월보조 서비스 개념 및 시나리오에 대해 소개한다. III장에서는 WAVE 표준에 대해 설명하고 동작원리를 나타낸다. 그리고 네트워크 시뮬레이션을 위한 변수를 제시하며, 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그리고 IV장에서 결론을 정리하고 마무리한다.

II. 추월보조 서비스 개념 및 시나리오

추월을 위한 운전 행위에는 다양한 위험이 존재하며, 차선변경 및 복귀, 가속구간 등이 존재한다. 특히, 전체 추돌사고 중에서 4-10% 정도가 추월이나 합류 등을 포함한 차선변경 행위에서 발생하고 있다^{4,5)}. 그리고 외국의 사례를 보면, 네덜란드에서 전체 사망자의 3% 정도가 추월 행위에서 사망한 것으로 나타난다⁶⁾. 이러한 추월 행위 단계가 연구되었으며, 분석된 결과는 표 1과 같다⁷⁾.

표 1로부터, 추월 행위의 첫 번째 단계로써 운전자는 앞차와의 거리를 시각을 통해 획득한 다음 적정한 거리가 되면 추월 행위에 대한 실행여부를 판단하게 된다. 두 번째 단계로는, 반대편 차선에서 접근하는 차량의 존재 여부를 판단 후에 차선 변경을 위한 선행차량 접근 등의 준비를 하게 된다. 세 번째 행위는 차선 변경을 하는 것이며, 이후 선행차량보다 빠른 속도로 추월을 하는 동작이 네 번째 행위이다. 마지막으로, 운전자가 선행차량보다 적정한 거리로 추월하였다고 판단하게 되면, 안전한 거리를 확보한 후 원래 차선으로 복귀함으로써 추월 행위를 마무리한다. 그러나 이러한 단계는 오직 운전자의 시각을 통해서만 판단하기 때문에, 선행차량에 의해서 반대차량의 존재유무 및 거리를 정확하

표 1. 추월 행위에 대한 단계
Table 1. Step for overtaking activity

Step	Driver activity
1	Decision for overtaking activity
2	Preparation for overtaking activity
3	Lane change
4	Overtaking activity
5	Return to own lane

게 판단하기 어렵게 된다. 또한 안개나 우천과 같이 날씨가 좋지 않는 경우나 나이가 들었으므로 주변상황에 대한 인지능력이 감소되기 때문에 추월 행위를 시도할 경우에는 사고의 위험성이 증가하게 된다⁸⁾. 그러나 차량 간 통신을 이용하면, 통신 범위 내의 주변 차량 정보를 이용하여 위치와 속도 등의 정보를 효율적으로 활용할 수가 있으며, 날씨 등의 환경에 강인한 성능을 나타낼 수 있다.

본 논문에서는 차량 간 통신 기반 추월보조 서비스를 위한 시나리오를 그림 1에 나타내었다. 자기차량, 선행차량, 반대편에서 다가오는 차량을 각각 HV, PV 그리고 CV로 정의한다. 그리고 그림의 HV, PV 그리고 CV의 속도를 각각 V_H , V_P , V_C 로 나타내었다. 이로부터 HV의 이동궤적 S_H 는 다음의 식 (1)과 같다.

$$S_H = V_H T + \frac{1}{2} a T^2 \quad (1)$$

여기서, T 는 추월 행위에 걸리는 시간, a 는 추월을 위한 가속도이다. 이와 유사하게 PV와 CV의 이동궤적을 수식 (2)와 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$S_P = V_P T \quad (2)$$

$$S_C = V_C T \quad (3)$$

그리고 최종 T 를 구하기 위한 수식은 다음의 식 (4)와 같다. 여기서, W_{lane} 는 차선폭이며, D_{out} 과 D_{in} 은 HV가 차선 변경과 차선 복귀시의 PV와의 거리가 된다. 수식 (4)를 통해 각 차량의 이동궤적에 대한 시나리오가 구성되며, 도출된 결과를 이용하여 차량의 이동구간의 위치를 구성할 수 있다.

$$2W_{lane} + D_{out} + D_{in} + V_P T = V_H T + \frac{1}{2} a T^2 \quad (4)$$

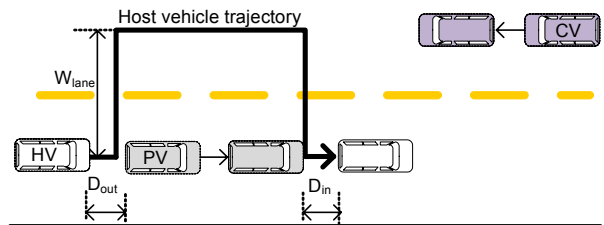


그림 1. 추월 시나리오를 위한 경로
Fig. 1. Trajectory for overtaking scenario

그림 2는 이동하는 차량의 속도에 따른 추월에 필요한 거리를 나타낸다. 추월보조 서비스는 시골도로와 같은 2차선 도로의 환경을 가정하기 때문에 차량 속도를 30km/h의 저속구간부터 100km/h까지 구성하였다. 또한 일반 가속도를 $1m/s^2$ 으로 설정하였고, W_{lane} 은 6m, D_{out} 과 D_{in} 은 각각 10m로 구성하였다. 결과 값은 다음 장에서의 시뮬레이션을 위한 기초데이터로 활용된다.

III. WAVE 기반 네트워크 성능평가

WAVE는 현재 IEEE WG802.11과 P1609에서 추진하고 있는 대표적인 차량 간 통신 표준이며, 빠른 이동성과 간단한 연결절차를 가진다. 본 장에서는 WAVE의 표준 스택에 대해 설명하고, 네트워크 시뮬레이션을 위한 환경 조건을 나타낸다. 또한, 앞의 장에서 제시된 이동 시나리오를 네트워크 시뮬레이션에서의 위치 및 경로 데이터로 적용하였다. 그리고 WAVE 엔티티를 기반으로 전송파워와 노드 수를 변경하면서 네트워크 성능에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 정리하였다.

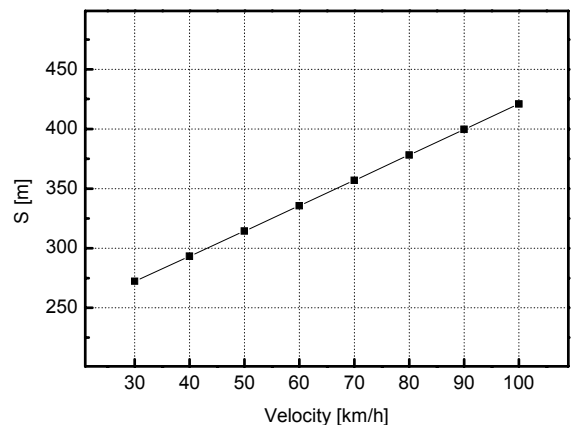


그림 2. 속도에 따른 전체 이동 거리
Fig. 2. Total moving distances according to velocity

3.1. WAVE 프로토콜

WAVE는 차량 간, 차량과 노변장치 간 그리고 차량과 노매딕 디바이스 간 통신을 위한 프로토콜 표준이며, 표준 아키텍처는 그림 3과 같다.

IEEE 802.11p와 IEEE 1609.4가 물리계층과 하위 MAC 계층으로 사용된다. 매체선점 및 중재를 위한 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 알고리즘이 적용되어 있으며, 4개의 AC로 우선순위가 제시된다. 따라서 경고메시지 등과 같은 안전과 관련한 메시지는 우선순위를 높여서 주변에 전송할 수 있다. 기본적으로 관리 영역과 데이터 영역으로 구분되며, 각 관리 부계층에서는 서비스 종류 및 물리계층에 대한 설정값을 저장하고 관리한다. 데이터 영역에서는 통신 프로토콜을 준수하기 위한 절차를 수행하며, 계층마다의 데이터 포맷을 구성한다.

그리고 5.850-5.925GHz의 주파수에서의 70MHz 대역폭을 사용한다. 단일 제어 채널(CCH)과 6개의 서비스 채널(SCH)을 가지며, 총 7개의 채널에서 10MHz 대역을 기본으로 제공한다. 또한, IPv6 (Internet Protocol version 6) 스택이 존재하고, WSM(WAVE Short Message) 전송을 위한 WSMP (WSM Protocol)가 있으며, IEEE 1609.3에서 나타난다. 메시지의 보안을 위한 WAVE Security Services 엔티티가 IEEE 1609.2의 표준 이름으로 제안되었으며, Higher Layer에는 응용 서비스가 탑재된다. 차량환경에 적합한 빠른 연결성과 이동성을 보장하기 위해 결합과정이 생략되며, WSA(WAVE Service Advertisement)를 통해 서비스가 광고되어 서비스 제공자와 이용자의 형태를 구성한다.

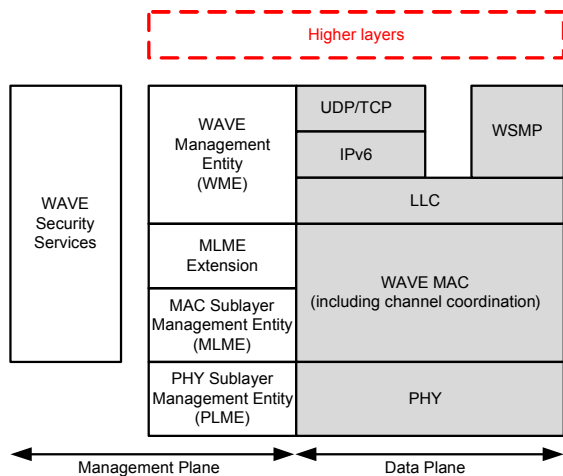


그림 3. WAVE 표준 아키텍처
Fig. 3. WAVE standard architecture

3.2. 네트워크 시뮬레이션 설정

차량 간 통신환경 하에서 추월보조 서비스에 대한 통신 성능을 분석하기 위해, 네트워크 시뮬레이터인 쉘넷을 이용하였다. WAVE 통신 환경을 구현하기 위해 MAC과 물리계층인 IEEE 1609.4와 IEEE 802.11p를 시뮬레이터에 적용하였다. II장에서 구성된 시나리오를 바탕으로 기초 데이터를 추출하여 노드 이동성을 갖도록 하였으며, 시뮬레이션의 이동경로로 사용하였다. 시뮬레이션을 위한 통신 환경 변수에 대한 설정 값을 표 2에 나타내었다. 전송속도는 6Mbps이며 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) - OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex)이 물리계층의 변조 방식으로 사용되었다. 노드의 전송 파워는 서비스 채널의 최저 전송파워 제한인 23dBm부터 제어 채널의 최대 전송파워인 44.8dBm까지 변경하면서 시뮬레이션하였다. 그리고 전송주기는 미국 도로교통안전국에서 제안하는 차량 통신을 이용한 안전 서비스 메시지 표준인 SAE J2735 주기인 10Hz로 설정하였다⁹⁾. 안전 서비스 메시지의 송수신을 위한 전송방식은 브로드 캐스트 방식을 적용하였다. 메시지 크기는 SAE J2735의 part1에 해당하는 39 바이트로 설정하였다.

3.3. 네트워크 시뮬레이션 결과

추월보조 서비스를 위한 네트워크 성능을 측정하기 위하여 II장에서 구성한 추월보조 서비스 시나리오를 이용하여 각 채널에 따른 전송범위와 노드 수에 따른 전송시간 변화를 측정하였다. 그림 4는 시나리오를 바탕으로 노드가 이동할 때 각 WAVE

표 2. 네트워크 시뮬레이션 변수 설정
Table 2. Parameters for network simulation

Environmental variables	Values
Frequency	5.850~5.925GHz
Data rate	6Mbps
Modulation	QPSK-OFDM,
Transmission power	23-44.8dBm
Transmission period	10Hz
Node number	3-11 units
Communication type	Broadcast

채널의 전송범위를 나타내고 있다. 그래프에서 보이는 바와 같이, 각 채널에 따른 전송범위에서 가장 크게 작용하는 요소는 전송 파워이다. 제시된 추월 거리에서 확인할 수 있듯이, 자신의 차량과 다가오는 차량의 속도가 100 km/h인 경우 추월에 필요한 거리는 약 420m의 거리를 가지게 된다. 전송파워가 23dBm인 경우 약 600m의 전송범위를 가지므로 II장에서 제시한 추월 거리를 모두 포함할 수 있다. 따라서 HV가 낮은 속도에서 차량 간 통신을 이용한 추월보조 서비스를 수행할 때, 추월에 필요한 거리 내의 주변차량을 감지하기 위한 별도의 라우팅 기법이나 메시지 전달 알고리즘이 불필요함을 의미한다.

차량 밀도에 따른 성능 분석을 위해 1km내에 노드의 수를 3, 5, 7, 9, 11개로 증가시켜 시뮬레이션 하였다. 각 노드의 배치는 2차선 네트워크 성능평가

에서 사용되어지는 String 토폴로지를 사용하였으며, 노드 수에 따라 각 노드는 균등하게 분포된다¹⁰⁾. 그림 5와 같이, 노드의 수가 증가할수록 전송 지연 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 약 6ms의 지연시간을 가질 경우 100km/h의 속도로 진행 중인 차량에서는 1.6m의 거리 오차를 가질 수 있다. 따라서 지연시간의 증가에 의한 거리 오차가 발생하여 차량 추월 시의 위험성을 증대시킬 수 있다. 이러한 지연시간을 보완하기 위해 HV에서는 사전 안전거리를 추월 가능 거리에 포함하는 것도 방안이 된다. 통신 측면에서의 지연시간은 주변 노드 증가에 따른 매체 확보를 위한 경쟁이 원인이 되므로, 위험상황에 대한 경고메시지의 우선순위를 높게 설정하여야 한다. 그리고 안전 메시지의 주기를 상황에 적응적으로 변화하여 지연시간을 보상하는 것도 방안이 될 수 있다.

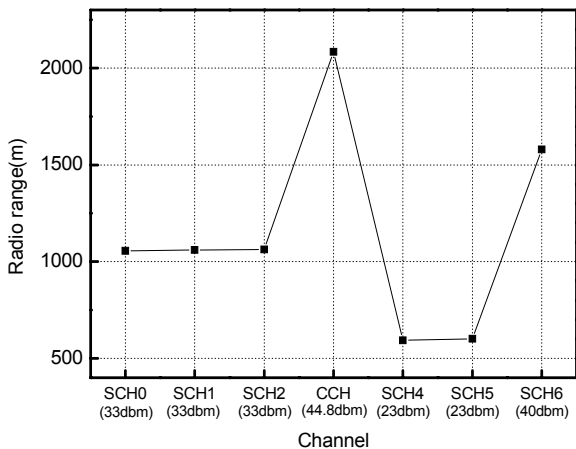


그림 4. WAVE 채널별 전송거리
Fig. 4. Radio ranges of transmitters by different WAVE channels

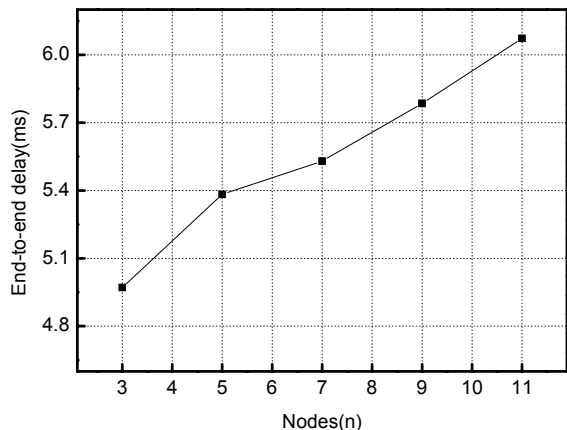


그림 5. 노드 수에 따른 전송 지연시간
Fig. 5. Delay time according to a number of nodes

IV. 결 론

최근, ITS 및 차량 간 통신을 활용한 다양한 서비스가 제안되고 있다. 특히 안전과 관련한 서비스는 시나리오 및 차량환경의 네트워크 성능 분석이 되어야 하며, 그 결과를 서비스 구현 시에 적용해야 한다. 본 논문에서는 차량 간 통신 기반 추월보조 서비스를 위한 시나리오를 구성하였다. 시나리오를 통해 추월에 필요한 경로 및 차량 속도별 추월 거리를 제시하였다. 그리고 설정된 시나리오를 네트워크 성능평가를 위한 기초 데이터로 활용하였으며, 차량 간 통신 프로토콜인 WAVE 엔티티를 기반으로 하여 네트워크 성능을 평가하였다. WAVE에서 사용되는 각 채널의 파워를 검증하여 추월보조 서비스에서 필요한 통신반경의 적절성을 확인할 수 있었으며, 전송 지연시간을 추출하여 추월보조 서비스에 적용되어야 할 안전거리를 제시하였다. 향후 과제로는, 차량 간 통신 기반 추월보조 서비스를 실차에 적용하기 위해 본 논문에서 제시된 모델링 및 통신사양의 실차 적용 및 검증이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

References

[1] M. Fukushima, "Launch of ITS in Yokohama, Japan-Progress of an ITS field operational test for traffic safety and congestion," *SAE Int. Convergence 2008*, Detroit, U.S.A., Oct. 2008.
[2] S. D. Jung, S. J. Lee and S. S. Lee,

“Development of clustering-based multi-channel MAC protocol to improve efficiency of network in VANET,” *KICS*, vol. 34, no. 5, pp. 463-468, May 2009.

- [3] D. Caveney, “Stochastic path prediction using the unscented transform with numerical integration,” *IEEE ITSC*, pp.848-853, Seattle, USA, Sep. 2007.
- [4] L. Barr and W. Najm, “Crash problem characteristics for the intelligent vehicle Initiative,” in *Proc. TRB 80th Ann. Meeting*, pp. 1-30, Washington D.C, USA, 2001.
- [5] J. S. Wang and R. S. Knippling, *Lane change/merge crashes: problem size assessment and statistical description*, US Department of Transport, pp.16, 1994.
- [6] SWOV, *Accident database*, Leidschendam, 2003.
- [7] M. Houtenbos, G. Hegeman and C. V. Driel, “Determining opportunities for overtaking assistance combined efforts of a user needs survey and an interaction model,” *12th World Congr. ITS*, pp. 2477-2488, San Francisco, USA, Nov. 2005.
- [8] Traffic Accident Analysis Center, *Traffic accident statistics analysis 2010*, KoROAD, 2010.
- [9] D. Caveney, “Cooperative vehicular safety application,” *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 30, no. 4, pp. 38-53, Aug. 2010.
- [10] S. Xu and T. Saadawi, “Does the IEEE 802.11 MAC protocol work well in multihop wireless ad hoc networks?,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 6, pp. 130-137, June 2001.

서 현 수 (Hyun-soo Seo)



2005년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학사
2007년 2월 부경대학교 제어계측공학과 공학석사
2007년 12월~2010년 8월 S&T 대우 기술연구소
2010년 9월~현재 한양대학교

전자컴퓨터통신공학과 박사과정
<관심분야> 차량 통신 및 네트워크, 커넥티드 카, 차량 인포테인먼트 시스템, 차량 안전시스템

정 진 수 (Jin-su Jung)



2008년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사
2012년 2월 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 공학석사
2012년 3월~현재 LG전자 Car 사업부

<관심분야> 차량통신 및 네트워크, 차량 임베디드 시스템

이 상 선 (Sang-sun Lee)



1978년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사
1983년 2월 한양대학교 전자공학과 공학석사
1990년 8월 University of Florida 전기공학과 박사
1991년 4월~1991년 11월 생

산기술연구원 선임연구원 겸 조교수
1991년 11월~1993년 2월 전자부품종합기술연구소 선임연구원
1993년 3월~현재 한양대학교 융합전자공학부 정교수
<관심분야> ITS 및 텔레매틱스, 통신망 통합 및 연동, 통신 네트워크, 위치추위 기술