

고속주행 환경에서의 WAVE 통신장치 성능분석

Performance evaluation of WAVE communication systems under a high-speed driving condition in a highway

송 유 승* 이 상 우* 오 현 서**
(Yoo Seung Song) (Sang Woo Lee) (Hyun Seo Oh)

요 약

최근에는 차량용 센서와 통신 기술의 발달로 길안내와 교통체증 알림 서비스뿐만 아니라 주변 차량의 주행 정보, 도로 상태 정보, 차량 간 긴급 메시지 전달 등과 같은 다양한 ITS 서비스가 가능해졌다. ITS 서비스의 발전은 고속 주행용 차량을 위한 V2X 통신 기술이 소개되면서 가속화 되고 있다. 본 논문에서는 V2X 통신기술 중에서 IEEE802.11p 규격을 기반으로 개발한 WAVE 통신장치를 소개한다. WAVE 기술로 구현된 기지국 및 차량 통신장치에 대한 구조 및 특징 그리고 각 통신장치에 사용된 RF/안테나의 특성에 대해서도 설명하였다. 개발한 WAVE 통신장치의 성능 평가를 위해 시험 차량에 설치된 통신장치와 시험 도로에 설치된 기지국 통신장치간의 데이터 전송량과 PER 그리고 지연시간 등을 실제 시험도로에서 측정하였다. WAVE 통신장치는 전반적으로 6~7Mbps의 데이터 전송량을 가지며 1km 통신영역에서 10% 내외의 PER를 나타내었다. 그리고 모든 구간에서 3ms이내의 패킷 지연시간을 만족하였다. 측정된 WAVE 성능은 ITS 서비스에 충분한 성능이며 인터넷 동영상 서비스도 가능함을 실제 시연을 통해서 입증하였다.

핵심어 : WAVE, V2X, IEEE802.11p, 지능형교통시스템, 차량용 통신기술

Abstract

In recent years, a variety of ITS services are available such as driving information, road conditions, V2X messages as well as navigation and traffic jams notification. The development of ITS services is accelerating by V2X communication technologies for high-speed vehicles. In this paper, WAVE communication devices based on the IEEE802.11p standard is introduced as a solution of V2X communication technologies. The H/W and S/W structures of the WAVE communication device and the characteristics of RF/antenna are described. The performance is evaluated in the test road by measuring throughput, PER and latency. The implemented WAVE communication device has 6~7 Mbps throughput with 10% PER at 1km coverage. The packet latency is less than 3ms for the whole test road. It is shown that the implemented WAVE technology is satisfactory to provide ITS services and Internet video-streaming services.

Key words : WAVE, V2X, IEEE802.11p, ITS, Wireless Communication

† 본 연구는 건설기술혁신사업 SMART 도로-IT 기반 교통운영기술 개발과제 (07기술혁신A01) 지원으로 수행하였습니다.

* 주저자 : 한국전자통신연구원

** 공저자 및 교신저자 : 한국전자통신연구원

† 논문접수일 : 2013년 5월 2일

† 논문심사일 : 2013년 6월 4일

† 게재확정일 : 2013년 6월 5일

I. 서 론

종래의 교통문제에 대한 대응 방안은 대부분 운전자의 판단력에 크게 의존적이어서 문제 해결 능력이 제한적이었다. 하지만 근래 센서기술의 발달로 점차 차량에 고가의 센서들을 탑재하여 차선이탈 알림/방지, 앞 차량과의 거리 유지, 운전자 졸음 감지 등과 같은 운전자 및 보행자 안전을 위한 기술 연구가 진행되어 실제로 적용되고 있다. 현재는 무선통신기술과의 융합을 통해 운전자 시야나 센서의 측정 범위 밖에서도 차량 간 혹은 차량과 인프라 간의 통신을 통해 사전에 교통정보를 운전자에게 전달함으로써 사고를 대비하거나 인터넷 서비스를 이용할 수 있는 ITS(Intelligent Transportation Systems) 관련 기술이 활발히 연구되고 있다. 이러한 ITS 서비스의 근간을 이루는 차량 간 통신이나 차량과 도로 인프라 간 통신기술인 V2V(Vehicle to Vehicle)/V2I(Vehicle to Infra) 네트워킹 기술을 통해 텔레매틱스, 인터넷, 사물 간 통신, 자율주행 등 다양한 서비스가 가능하다.

이러한 V2V/V2I 기술을 활용한 국내 및 해외의 ITS 기술 동향을 살펴보면 다음과 같다. 국내 경찰청의 UTIS (Urban Traffic Information System)는 도심지의 교통정보 수집 및 제공 서비스를 지자체별로 시행하고 있으며 궁극적으로 전국 단위의 단일 교통정보 시스템을 구축하려는 계획을 가지고 2015년까지 시스템의 설치 및 보급을 확대할 전망이다. 또한 국토해양부의 스마트 하이웨이 사업은 고속도로 환경에서 다차로 자동요금징수, 실시간 교통정보 제공, 돌발 상황 알림 등의 서비스를 통해 안전성과 편리성 그리고 차량 연료를 감소시키는 그린 고속도로를 목표로 2014년까지 기술 개발 중에 있다. 미국은 2004년부터 시작된 VII (Vehicle Infrastructure Integration), IntelliDrive 프로젝트가 Connected Vehicle로 변경되어 고속도로, 도심지 및 국도에 테스트베드를 운영하고 있으며 자동요금징수, 실시간 교통정보 수집 및 제공 신호등 정보 등을 제공하는 서비스를 하고 있다. 유럽도 2006년부터 CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems)

프로젝트를 시작하여 자동차와 도로 인프라간의 협업을 통한 교통의 효율성과 안전성을 증대 시키는 연구를 통해 여러 기반기술을 확보하였다.

한편, ITS 서비스를 위한 근거리 통신 시스템으로 IEEE 802.11p 규격을 기반으로 한 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 연구 및 시제품 개발도 활발히 진행되고 있으며 대표적인 제품은 다음과 같다. Kapsch사는 MCNU 통신장비를 개발하여 테스트베드에 설치하였으며 로컬 무선망과 차내 무선 통신을 통해 전자결제 및 기본적인 차량안전메시지 전송 서비스를 지원한다. Savari사의 MobiWAVE 제품은 채널 대역폭을 가변 할 수 있으며 끊임없는 링크를 구성하기 위해 3G / WAVE / Wi-Fi 채널을 선택할 수 있는 백홀 옵션을 지원한다. Cohda Wireless사의 MK2 제품은 NLOS(Non-line of Sight)환경에서도 넓은 통신범위를 가지며 고속열차의 속도에도 통신이 가능하다. Denso사의 WSU 제품은 SBC(Single Board Computer)를 사용하며 다중안테나를 위한 듀얼 RF 커넥터를 지원한다. ITRI사의 IWCU 제품은 SAE J2735 규격의 BSM (Basic Safety Messages)을 지원한다. ARADA사의 LocoMate 제품은 10/20MHz 채널 대역폭을 지원하며 송신패킷마다 출력파워와 전송속도를 제어할 수 있다. Autotalks사의 PLUTON 제품은 여러 국가에 지원 가능한 RF 송수신 기술과 듀얼 채널 기술을 이미 확보하고 있다.

본 논문에서는 개발한 WAVE 통신장치와 성능 평가시험에 사용된 기타 장치들의 특징을 함께 설명한다. 그리고 WAVE 무선통신 시스템을 차량에 탑재하여 실제 고속도로 테스트베드에 적용한 결과를 소개한다. 본 논문은 2장에서 WAVE와 기타 통신장치들의 구조와 특징에 대해 설명하고 3장에서는 테스트베드 및 필드시험 결과를 소개한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결과를 정리한다.

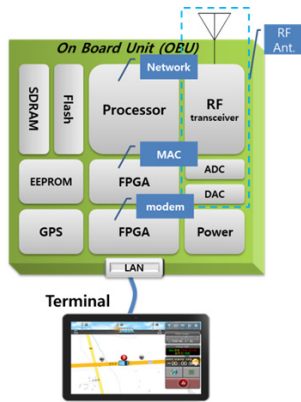
II. WAVE 통신시스템

본 장에서 소개하는 통신시스템은 WAVE 기술을 활용하여 RF로 데이터를 송수신하기 위해 필요

한 통신장치이다. 연구 과제를 통해 개발된 지국 통신장치(RSU, Roadside Unit)와 차량용 통신장치(OBU, On Board Unit) 그리고 시험에 사용된 타사 제품의 안테나 등의 특성을 소개한다.

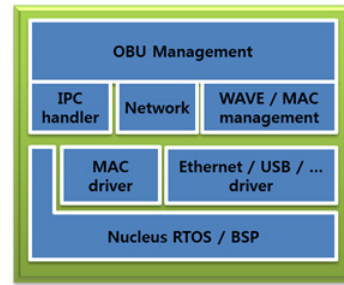
1. WAVE 통신장치

WAVE 통신장치는 무선 RF로 신호를 송수신하는 RF/안테나 블록, 디지털 변복조를 담당하는 모뎀, medium 접속을 제어하는 MAC (Medium Access Control) 그리고 네트워크 계층으로 구분된다. 각 계층의 구현은 <그림 1>와 같은 하드웨어로 구성되어 있다. 시간동기화를 위한 GPS(Global Positioning System)가 탑재되어 있으며 통신플랫폼은 주변 장치들과의 연결을 위해 여러 가지 타입의 커넥터들을 지원한다. 지국과 차량 통신장치는 공통적인 하드웨어 플랫폼을 가지며 차량 통신장치는 <그림 1>에서와 같이 LAN (Local Area Network)을 통해 이더넷으로 터미널과 연결되어 운전자에게 필요한 정보를 표출하고 지국의 경우 LAN이 서버와 연결되어 데이터를 송수신하게 된다.



<그림 1> WAVE 차량 통신장치 논리구조도 및 하드웨어 구성도
<Fig. 1> Logical structure and hardware block of OBU for WAVE communication

프로세서는 주변 장치들과의 통신을 위해 필요한 구동 프로그램을 지원하며 <그림 2>과 같은 소프트웨어 구조를 갖는다.



<그림 2> WAVE 차량 통신장치 소프트웨어 구조도
<Fig. 2> Software structure of OBU for WAVE communication

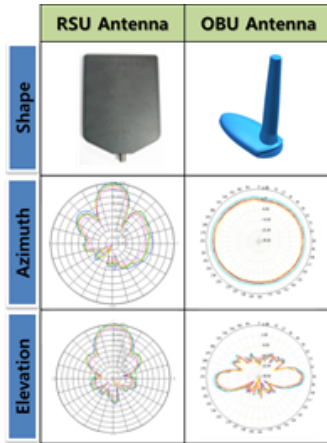
IPC handler는 이더넷을 통해 수신된 데이터를 해당 블록으로 전송하거나 반대로 각 블록의 데이터를 이더넷으로 전달하는 역할을 수행한다. Network 블록은 멀티 홉을 지원하며 최적의 라우팅 경로를 실시간 유지 및 관리를 한다. 그 외 WAVE 모뎀과 MAC의 기능을 관장하는 관리블록이 있다. 차량 통신장치의 OBU 관리블록은 IPC handler 블록, 네트워크 블록 및 WAVE/MAC 관리 블록을 제어하여 패킷의 발생, 주파수 설정, 출력과워 설정, 초기화, 네트워크 설정 등의 기능을 제공한다. 지국 통신장치의 경우 OBU 관리블록 대신 RSU 관리블록으로 대체되어 필요한 기능을 수행한다.

2. WAVE 통신장치 안테나

차량 통신장치에 사용되는 안테나는 최대 7dBi의 이득을 가지며 기타 자세한 특성은 <표 1>에 요약되어 있다.

<표 1> 지국과 차량 통신장치 안테나 특성
<Table 1> RSU / OBU antenna characteristics

	RSU Ant.	OBU Ant.
Freq. Range (GHz)	5.72~6.00	5.77~6.24
Bandwidth (MHz)	276	464
Peak Gain (dBi)	15	7
Avg. Gain (dBi)	4.5	-3.8
Beam width (Azimuth/Elevation)	33°/33°	360°/30°



〈그림 3〉 WAVE 기지국과 차량 통신장치 안테나 형상 및 빔 패턴
 〈Fig. 3〉 Antenna shape and beam pattern of RSU and OBU antenna for WAVE communication

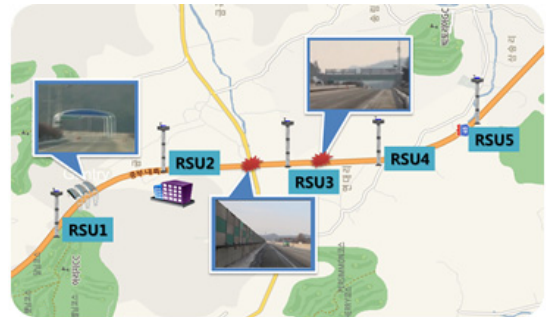
기지국 및 차량 통신장치에 사용되는 안테나의 모양과 빔 패턴은 <그림 3>과 같다. 기지국 통신장치에 사용되는 안테나는 수직과 수평 방향 모두 지향성으로 33도의 빔 폭을 가지며 최대 15dBi의 이득을 가진다. 반면, 차량 통신장치에 사용되는 안테나는 수평 방향에 대해서는 무지향성 특성을 가지고 수직 방향에 대해서는 30도의 빔 폭을 가진 지향성 특성을 가진다.

Ⅲ. 필드시험

이 장에서는 WAVE 통신장치의 성능을 검증한 고속도로의 시험 환경과 측정결과를 설명한다. 또한, 측정된 결과의 분석을 통해 구현된 통신장치가 지원 가능한 서비스의 종류와 범위 등을 알 수 있다.

1. 시험 고속도로 환경

WAVE 기지국 통신장치가 설치된 고속도로 환경은 <그림 4>와 같다. 총 5대의 기지국이 대략 1km의 간격으로 배치되어 있으며 각각의 기지국 커버리지가 조금씩 중첩되도록 하여 핸드오버 시 경계지역에서 통신 서비스가 끊어지지 않도록 망 설계가 되어있다.



〈그림 4〉 시험 고속도로 상에 배치된 기지국 및 주변 지형물의 위치
 〈Fig. 4〉 Location of RSUs and structures on the test highway

시험고속도로에는 여러가지 인공 구조물이 존재하여 다양한 장애물에 따른 통신 시험이 가능하다. 기지국 1번과 2번 사이 그리고 3번과 4번 사이에는 갠트리와 육교가 존재하여 신호의 LOS(Line of Sight) 환경을 방해하며 기지국 2번과 3번 사이에는 철 방음벽이 존재하여 많은 반사파들을 유발시킨다. 또한, 시험 고속도로 양 끝은 곡선도로임으로 다른 직선 도로에 비해 충분한 통신 커버리지 확보에 어려움이 발생한다. <그림 4>에서 시험고속도로의 왼쪽이 북쪽(상행)이고 오른쪽이 남쪽(하행) 방향이다.



〈그림 5〉 도로변에 설치된 WAVE용 기지국 통신장치
 〈Fig. 5〉 Roadside base station unit for WAVE communication

<그림 5>과 같이 도로변에 설치된 WAVE 기지국 통신장치는 인프라와 유선으로 연결되어 서버 및 외부 통신망과 접속 할 수 있는 기능을 제공한다. 고속으로 이동하는 차량에 다양한 텔레매틱스 및 ITS 서비스를 제공하기위해 차량용 통신장치와 통신기능을 수행한다.

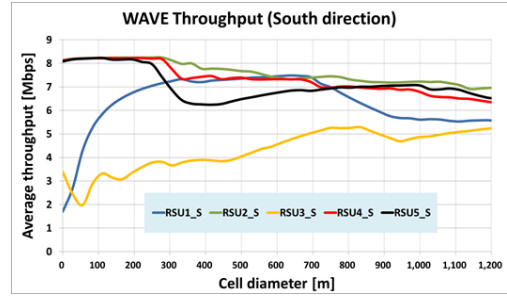
〈표 2〉 기지국/차량 통신장치 시험 설정 값
 〈Table 2〉 RSU and OBU test parameters

	RSU	OBU
Frequency	5.850~5.895GHz	
Bandwidth	10MHz	10MHz
Ant. Type	Patch	Dipole
Ant. Gain	15 dBi	7 dBi
Ant. Height	12m	1.5m
Power	10 ~ 27 dBm	3 ~ 20 dBm
Speed	-	~100km/h

WAVE 통신을 위한 주파수 및 출력 등의 시험 조건은 <표 2>에 정리하였다. 시험차량은 1대만을 사용하여 최대한 다른 WAVE 차량의 간섭은 배제되었다.

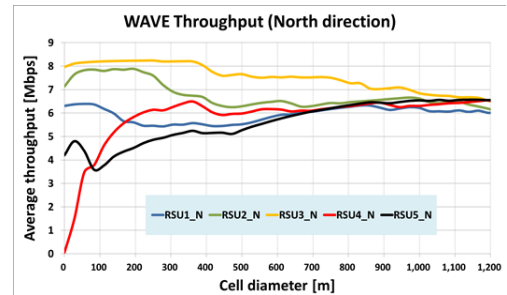
2. 필드시험 측정 결과

본 논문에서는 차량의 속도를 100km/h로 주행하면서 16QAM 1/2의 전송속도의 조건에서 통신거리에 따른 통신장치의 성능을 측정하였다. 통신 모델에서 안테나로 입력되는 신호의 출력 값은 15dBm으로 설정하였다. WAVE의 통신장치의 데이터 전송량은 OBU를 장착한 시험차량이 한쪽 셀(Cell) 경계선에서 반대편 셀(Cell) 경계선까지 주행하며 직경에 따른 값의 변화를 측정하였다. <그림 6>과 <그림 7>은 각각 차량이 남쪽과 북쪽 방향으로 진행 시 셀의 직경 거리에 따라 값을 나타내며 대략 600m 지점에 기지국이 위치한다. 데이터 전송량 성능은 전반적으로 차량이 북쪽 방향으로 진행 시 더 낫은 결과를 보여준다. 이는 각 통신장치의 안테나 빔 패턴이 완전히 대칭적이지 못하므로 차량 진행 방향에 따라 상호 안테나 이득이 달라지기 때문이라고 판단된다. 시험결과 전체적인 평균 데이터 전송량은 6~7Mbps 정도를 보여 주었다.



〈그림 6〉 기지국 별 WAVE 데이터 전송량 측정 값 (시험 차량이 남쪽방향으로 이동 시)

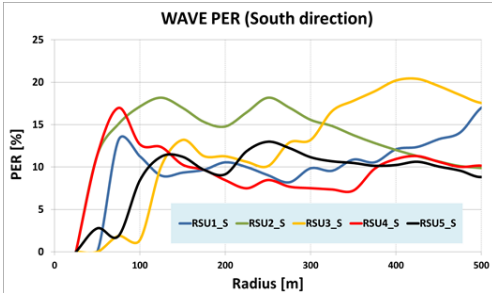
〈Fig. 6〉 WAVE throughput measurements for each RSU (to the South)



〈그림 7〉 기지국 별 WAVE 데이터 전송량 측정 값 (시험 차량이 북쪽방향으로 이동 시)

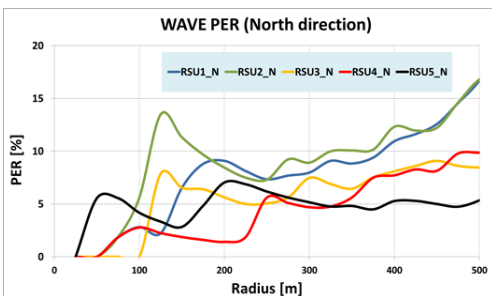
〈Fig. 7〉 WAVE throughput measurements for each RSU (to the North)

다음으로는 WAVE 통신장치의 유효 통신반경을 측정하기 위해 <그림 8>과 <그림 9>에서와 같이 기지국의 위치를 중심으로 반경에 따라 값의 변화를 나타내었다. 차량 통신장치(OBU)에서 기지국 통신장치(RSU)로 ping을 10ms 주기로 전송하여 100km/h의 속도로 주행 시 거리별 누적 PER과 지연시간을 측정하였다. 거리에 따른 누적 PER값은 해당 반경 내에서 총 전송한 ping의 개수에서 응답을 받은 개수로 계산하였다. 도로 구조물과 5.8GHz 주파수의 특성 등으로 인해 근거리에서도 순간적으로 PER값이 저하되는 현상을 보여준다. 전체적으로는 10% 정도의 PER을 갖으며 동일하게 북쪽 방향의 PER이 더 낫은 성능을 보여주며 이유는 앞서 설명한 바와 같다.



〈그림 8〉 기지국 별 WAVE PER 측정 값(시험 차량이 남쪽방향으로 이동 시)

〈Fig. 8〉 WAVE PER measurements for each RSU (to the South)



〈그림 9〉 기지국 별 WAVE PER 측정 값(시험 차량이 북쪽방향으로 이동 시)

〈Fig. 9〉 WAVE PER measurements for each RSU (to the North)

〈표 3〉 기지국 별 WAVE 지연시간 측정 값
〈Table 3〉 WAVE latency measurement for each RSU

No.	Direction	Latency (ms)
RSU1	North	2.48
	South	2.94
RSU2	North	2.69
	South	2.29
RSU3	North	2.51
	South	2.96
RSU4	North	2.40
	South	2.81
RSU5	North	2.39
	South	2.72

〈표 3〉에서는 기지국(RSU)별로 WAVE 통신 지연시간 값을 보여준다. 지연시간은 3ms이하를 모두 만족하며 기지국별로 성능의 큰 차이는 없다. 지연시간의 성능 또한 동일하게 북쪽 방향의 성능이 전

반적으로 우월하며 이유는 앞서 설명한 바와 같다.

IV. 결 론

본 논문에서는 ITS서비스를 위한 통신기술로 WAVE 기술을 소개하였다. WAVE 기술을 활용한 V2X 통신을 위해 실제 구현된 기지국 통신장치(RSU)와 차량 통신장치(OBU)의 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 설명하고 각 장치에 사용되는 RF/안테나의 특성을 소개하였다.

실제 WAVE 통신장치의 성능 평가를 위해 시험 차량에 설치된 통신장치와 시험 도로에 설치된 기지국 통신장치간의 데이터 전송량과 PER 그리고 지연시간 등을 측정하였다. 시험도로는 실제 고속도로와 접해 있으며 방음벽과 고가도로 그리고 곡선구간 등의 다양한 전파간섭 환경이 존재하여 최적의 통신 성능보다는 실제적인 성능을 파악할 수 있는 조건을 제공하였다. WAVE 통신장치는 전반적으로 6~7Mbps의 데이터 전송량을 가지며 1km 통신영역에서 10% 내외의 PER를 나타내었다. 그리고 모든 구간에서 3ms이내의 패킷 지연시간을 만족하였다. 상기의 성능은 ITS 서비스에 필요한 각종 메시지 전달에 충분한 성능이며 인터넷 동영상 서비스도 가능하다는 것을 입증하였다.

향후 연구개발 계획으로는 급속한 인터넷 서비스 용량 증가를 고려하여 고속 주행 시 10Mbps 이상의 데이터 전송량을 끊임없이 보장하는 통신모뎀 및 네트워킹 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] "IEEE 802.11p, Amendment 6 : Wireless Access in Vehicular Environments", 2010.
- [2] Hyun Seo Oh, Woong Cho, Sang Woo Lee, Han Berg Cho, "WAVE Communication Technology", ISAP2011, October, 2011
- [3] Hyun Seo Oh, "Cooperative ITS Service for Smart Car in Korea", ISO WG18 Plenary Meeting, June 28. 2012

- [4] John B. Kenney, Saurabh Barve, and Vinuth Rai, "Comparing Communication Performance of DSRC OBEs from Multiple Suppliers", 19th ITS World Congress, Vienna, Austria, October 2012.
- [5] S. Kim, "An Evaluation of the Performance of Wireless Network in Vehicle Communication Environment", Journal on the Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 36, no. 10, 2011., pp.816-822
- [6] Marie Moe, Vilmos Nebehaj, and Thierry Ernst, "CVIS performance test results: fast handovers in an 802.11p network" in Proceedings of Conference on Telecommunications for ITS, Kyoto, Japan, 2010
- [7] http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/connected_vehicle.htm
- [8] <http://www.cvisproject.org>
- [9] <http://www.kapsch.net>
- [10] <http://www.savarinetworks.com>
- [11] <http://www.cohdawireless.com>
- [12] http://www.itri.org.tw/eng/econtent/about/about09_02.aspx?sid=16
- [13] <http://www.globaldenso.com>
- [14] <http://www.aradasystems.com>
- [15] <http://www.auto-talks.com/public/page.aspx?PageID=26>

저자소개



송 유 승 (Song, Yoo-Seung)

2001년 Wichita State University 박사과정 수료(이동통신전공)
 2005년 5월 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 2011년 1월 ~ 현 재 : 과학기술연합대학원대학교 겸임교수
 2001년 10월 ~ 2005년 4월 : 삼성전자 통신연구소 책임 연구원
 e-mail : yssong00@etri.re.kr
 연락처 : 042) 860-1802



이 상 우 (Lee, Sang-Woo)

1996년 광운대학교 석사과정 수료(무선통신전공)
 2000년 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 1996년 ~ 2000년 : 대우전자
 e-mail : swlee@etri.re.kr
 연락처 : 042) 860-5254



오 현 서 (Oh, Hyun-Seo)

1998년 연세대학교 박사과정 수료(이동통신전공)
 1982년 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 근무
 e-mail : hsoh5@etri.re.kr
 연락처 : 042) 860-5659