

WAVE 통신의 페이딩 효과와 안테나 다이버시티 실험

최현균*, 오현서*, 조웅**, 장윤선^o

Fading Effects and Antenna Diversity Tests of WAVE Communications

Hyun-Kyun Choi*, Hyun-Seo Oh*, Woong Cho**, Youn-Seon Jang^o

요약

WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 통신은 차량이 주행하면서 도로 인프라 및 다른 차량과 상호 통신하며 교통정보 및 서비스를 교환 및 공유하는 정보통신 융합 시스템인 국내 C-ITS (Cooperative-Intelligent Transportation System)의 핵심적인 기술이다. 본 논문에서는 고속도로에서의 WAVE 통신에 있어서 통신거리에 따라 통신성능이 현저히 떨어지는 null 점의 발생 위치를 분석하기 위하여 two-ray 지면 반사 모델을 사용하여 down-fade와 up-fade가 발생하는 위치를 수식으로 정의하였으며 실제 고속도로 LOS (Line Of Sight) 환경에서 WAVE 통신 장치를 사용한 RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) 값 측정 실험결과와 비교 검증하였다. 또한, down-fade 발생의 문제점을 개선하기 위하여 수신 안테나 다이버시티 기능을 적용한 WAVE 통신 보드를 구현하고 실험을 통해 수신 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

Key Words : WAVE, Fading, RSSI, Antenna diversity

ABSTRACT

WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) communications is the core technology for C-ITS (Cooperative-Intelligent Transportation System) which communicates with the road infrastructure and other vehicles to exchange traffic information and service while driving. In this paper, to analyze the performance degradation according to the distance between WAVE communication terminals, we derived the formulas for the locations of down-fade and up-fade points by using the two-ray ground reflection model, and verified these theoretical results by comparing with those of RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) measurements. In addition, to solve the problem of down-fade, we suggested the WAVE communication with the antenna diversity and experimentally confirmed the performance improvement in the highway LOS (Line Of Sight) environments.

I. 서론

자동차는 안전성과 이동성, 그리고 편리성을 제공

하기 위하여 IT 기술과 융합이 이루어지고 있으며 블랙박스, 하이패스 단말, 내비게이션 단말은 자동차에서 사용되는 대표적인 IT 기술이다. 또한, 차량간 통

※ 본 연구는 중소기업청 중소기업융복합기술개발사업 이전기술과제(S2060148) 지원 및 한국전자통신연구원의 주요 및 내부사업(R&D 사업화 프로그램 운영, 14ZV1300/14RV1100)으로 수행되었습니다.

• First Author : ETRI Industries IT Convergence Research Department, choihk@etri.re.kr, 정회원

o Corresponding Author : Chungnam National University Department of Electronics Engineering, jangys@cnu.ac.kr, 정회원

* ETRI Industries IT Convergence Research Department, hsoh5@etri.re.kr, 정회원

** Jungwon University, Department of Computer System Engineering, wcho@jwu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2014-07-277, Received July 24, 2014; Revised September 11, 2014; Accepted September 11, 2014

신, 차량과 인프라간 통신 기능이 차량에 접목되어 Connected Car 또는 Networked Car의 시대로 발전하고 있다.

최근에는 운전자의 조작 없이 자동차 스스로 주행 환경을 인식하고 목표지점까지 운행할 수 있는 무인 자율 주행차량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 주행 차량의 안전성 향상을 위해 인프라 시스템 및 주변 차량과 통신하는 협력형 자율 주행 차량 연구를 수행하고 있으며 차량간 통신 기반으로 교차로에서 좌회전 시에 위험 상황이 예상되면 운전자에게 알려 주는 연구도 수행되었다^{1,2)}.

V2V/V2I (Vehicle-to-Vehicle/Vehicle-to-Infra) 통신 기능을 제공하는 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 통신 기술은 미국과 유럽에서 채택하고 있는 자동차 통신 기술로서 자동차와 도로 산업에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다. WAVE 통신 표준은 2010년 하반기에 MAC과 물리계층 표준인 IEEE802.11p가 제정되었으며 상위계층에 대한 표준으로 IEEE1609.x는 일부 표준이 제정되었거나 현재 표준이 추진 중에 있다³⁾. 국내에서도 기존의 IEEE802.11b/g와의 성능 비교 시험을 진행하였으며 WAVE가 더 우수함을 확인 하였다⁴⁾.

정부는 단순한 교통정보 제공을 넘어서 교통사고의 획기적인 감소와 비용을 절감하는 차세대 지능형 교통체계 구축 사업을 2014년부터 본격 추진하기로 하였다⁵⁾. WAVE 통신 기술은 차량이 주행하면서 도로 인프라 및 다른 차량과 상호 통신하며 교통정보 및 서비스를 교환 및 공유하는 정보통신 융합 시스템인 국내 C-ITS (Cooperative-Intelligent Transportation System)의 핵심적인 통신 기술이다.

정부는 1단계 사업으로 2014년부터 2016년까지 C-ITS의 핵심인 V2I, V2V 실시간 통신기술 및 단말기, 기지국 등에 대한 시제품 개발을 완료하고, 2단계 사업으로 2017년부터 2020년까지 고속도로를 중심으로 C-ITS 인프라를 구축하고 차량-도로 통신 간의 안전 서비스를 개시하여 기존 하이패스 단말기를 C-ITS 단말기로 전환하여 보급률 10% 달성을 목표로 하고 있으며, 3단계 사업은 2021년부터 2030년까지로 중소 도시까지 C-ITS를 확대하고 차량-인프라-보행자간 상호 연계 및 차량제어를 실현하여 교통사고 사망자 제로화를 구현할 방침이다. 또한, 정부는 C-ITS 활성화를 위해 미국, 유럽 등 주요 선진국과 동일한 대역 (5.855~5.925GHz)의 주파수를 확보하여 세계시장 진출을 도모하고 C-ITS 표준 및 인증의 국제 규격화도 추진할 방침이다⁶⁾.

본 논문에서는 WAVE 통신을 고속도로에 적용함에 있어서 통신 거리에 따른 특정 위치에서의 통신 throughput 성능이 떨어지는 현상에 대하여 two-ray 지면 반사에 기반한 간섭 모델을 사용하여 이론적인 분석을 수행하고 실제 고속도로에서 통신 거리에 따른 RSSI (Receiver Signal Strength Indicator) 값을 측정하여 비교 검증하였으며 이에 대한 해결책으로 안테나 다이버시티를 적용한 WAVE 통신 보드를 구현하고 고속도로에서 성능 실험을 수행하였다.

II. 본 론

2.1 고속도로 페이딩 채널 환경

고속도로에서의 WAVE 통신은 기지국과 차량간 통신 또는 차량간 통신에서 두 통신 장치간의 거리에 따른 통신 성능이 매우 저하되는 지점이 발생한다. 본 논문에서는 전파의 전달에서 지면 반사파의 간섭을 이에 대한 원인으로 간주하여 two-ray 지면 반사 모델에 근거한 down-fade와 up-fade의 발생 위치를 분석한다. down-fade는 null이라고도 하며 전파의 수신 전력 이 매우 약해지는 지점이다.

자유공간에서의 수신 전력은 아래의 수식 (1)과 같이 거리의 제곱에 반비례하고 파장의 제곱에 비례한다. $P_r(d)$ 는 수신파위를 나타내며 P_t 는 송신파위, G_t 는 송신안테나 이득, G_r 은 수신안테나 이득, λ 는 파장, L 은 시스템 로스 팩터를 나타낸다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

그러나, 수식(1)은 멀티패스가 존재하는 환경에서는 성립하지 않는다. 다양한 멀티패스가 존재하는 도심 환경과 달리 고속도로 LOS (Line Of Sight) 환경에서는 지면 반사의 간섭만 존재한다고 볼 수 있으며 그림 1과 같이 two-ray 지면 반사 모델로 해석이 가능하다^{6,7)}.

그림 1에서 H_1 과 H_2 는 각각 통신장치의 송수신 안테나 높이를 나타내며 d 는 두 통신장치 사이의 거리를 나타낸다. D 는 전파가 직접 도달하는 경로의 거리를 나타내고 R 은 지면에 반사되어 도달하는 경로의 거리를 나타내었으며 θ 는 반사파와 지면이 이루는 각도를 나타낸다.

그림 1에서 직접파와 반사파의 경로 거리인 D 와 R 은 다음과 같이 계산된다⁸⁾.

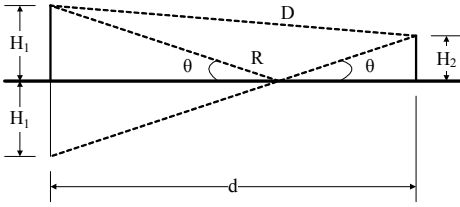


그림 1. Two-ray 지면 반사 모델
Fig. 1. Two-ray ground reflection model

$$D = \sqrt{d^2 + (H_1 - H_2)^2} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{d^2 + (H_1 + H_2)^2} \quad (3)$$

Two-ray 지면 반사 모델에서의 down-fade와 up-fade의 발생 위치는 두 통신장치 간의 직접파와 반사파가 합쳐지는 과정에서 나타나게 된다. 평면파에 있어서 반사계수 Γ 는 다음의 수식 (4), (5), (6)과 같이 표현되며 X_v 와 X_h 는 각각 수직분극과 수평분극에 대한 것이며 ϵ_g 는 지면의 유전상수이다.

$$\Gamma(\theta) = \frac{\sin\theta - X}{\sin\theta + X} \quad (4)$$

$$X_v = \frac{\sqrt{\epsilon_g - \cos^2\theta}}{\epsilon_g} \quad (5)$$

$$X_h = \sqrt{\epsilon_g - \cos^2\theta} \quad (6)$$

그림 2에서는 위의 수식을 사용하여 거리에 따른 수직분극 평면파와 수평분극 평면파의 반사계수 Γ_v , Γ_h 를 나타내었다. 이때 지면의 유전상수는 4의 값을 사용하였으며 H_1 과 H_2 는 각각 3m와 2m로 설정하였다. 수평분극은 거리가 가까운 곳에서부터 먼 거리에

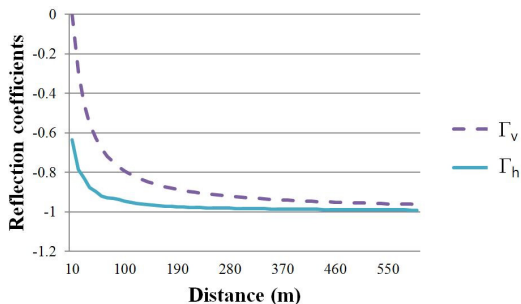


그림 2. 거리에 따른 수직/수평분극 평면파의 반사계수
Fig. 2. Reflection coefficients of plane wave according to the distance between transmitter and receiver

이르기까지 반사계수가 음의 값만 존재하여 반사 전파는 180°의 위상 천이가 발생하며 수직분극은 거리가 가까운 곳에서는 반사계수가 양의 값을 가지나 일정 거리 이상이 되는 경우에는 역시 음의 값을 가지게 되어 수평분극과 같이 동일하게 180°의 위상 천이가 발생한다. 수직분극과 수평분극 모두 통신 장치 간의 거리가 멀어 질수록 반사계수는 -1로 수렴함을 알 수 있다.

송수신 장치가 일정거리 이상에서는 반사파가 180°의 위상 변화가 발생하게 되며 이로 인하여 직접파와 반사파의 경로 거리가 $\lambda + \lambda k$ 차이를 보이는 경우에는 down-fade가 발생하고 $\lambda/2 + \lambda k$ 차이가 있는 위치에서는 up-fade가 발생하게 된다. 이때 k는 0, 1, 2, ...의 값을 가진다.

Down-fade가 발생하는 위치를 계산하기 위하여 앞에서 정의한 내용과 수식 (2), (3)으로부터 임의의 k에 대해서 down-fade가 발생하는 위치는 다음의 수식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\sqrt{d_k^2 + (H_1 + H_2)^2} = \sqrt{d_k^2 + (H_1 - H_2)^2} + (\lambda + \lambda k) \quad (7)$$

수식 (7)에서 양변에 대하여 제곱을 하고 다시 정리하면 다음의 수식 (8)과 같이 된다.

$$\sqrt{d_k^2 + (H_1 - H_2)^2} = \frac{4H_1H_2 - (\lambda + \lambda k)^2}{2(\lambda + \lambda k)} \quad (8)$$

수식 (8)의 양변을 제곱하고 d_k 의 해를 구하면 임의의 k에 대해서 down-fade가 발생하는 위치(DF_k)는 다음의 수식 (9)로 주어진다.

$$DF_k = \sqrt{\left(\frac{4H_1H_2 - (\lambda + \lambda k)^2}{2(\lambda + \lambda k)}\right)^2 - (H_1 - H_2)^2} \quad (9)$$

또한, 앞에서 정의한 내용과 수식 (2), (3)으로부터 임의의 k에 대해서 up-fade가 발생하는 위치는 다음의 수식 (10)으로 나타낼 수 있다.

$$\sqrt{d_k^2 + (H_1 + H_2)^2} = \sqrt{d_k^2 + (H_1 - H_2)^2} + (\lambda/2 + \lambda k) \quad (10)$$

수식 (10)으로부터 d_k 의 해를 구하면 임의의 k에 대해서 up-fade가 발생하는 위치(UF_k)는 다음의 수식 (11)로 주어진다.

$$UF_k = \sqrt{\left(\frac{4H_1H_2 - (\lambda/2 + \lambda k)^2}{2(\lambda/2 + \lambda k)}\right)^2 - (H_1 - H_2)^2} \quad (11)$$

Down-fade와 up-fade가 발생하는 지점에 대해 유도된 식 (9)와 (11)은 본 논문의 3장 실험에서 고속도로에서 측정된 RSSI 값과 비교하여 검증을 수행하며 다음 절에서는 down-fade에 의한 통신 장치 간 특정 거리에서의 수신 성능 저하를 개선하기 위하여 수신 안테나 다이버시티를 적용한 WAVE 통신 칩과 보드 구현에 대하여 설명한다.

2.2 안테나 다이버시티 구현

그림 3은 WAVE와 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 기능을 통합한 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 칩의 기능 블록도이다. ASIC 칩의 WAVE 블록은 2개의 WAVE 채널로 구성되어 있으며 수신 안테나 다이버시티 기능이 추가되어 있다. 2개의 독립된 WAVE 채널로 동작하거나 수신 안테나 다이버시티 기능을 사용하는 경우에는 1개의 WAVE 채널로 동작한다. 각 WAVE 채널은 IEEE 802.11p의 모뎀 기능과 MAC 기능 그리고 IEEE 1609.4의 멀티채널 동작의 확장된 MAC 기능을 포함하고 있으며 RF 트랜시버와의 인터페이스를 위한 ADC (Analog-to-Digital)와 DAC (Digital-to-Analog)가 내장되어 있다. 또한, IEEE 1609.2의 인증 및 보안을 위한 암호화 기능도 포함한다.

ASIC 칩은 자동차 단말에 적용될 경우, WAVE 통신뿐만 아니라 기존의 하이패스 기능을 제공하기 위하여 TTAS.KO-06.0025_R1 표준의 DSRC 통신 기

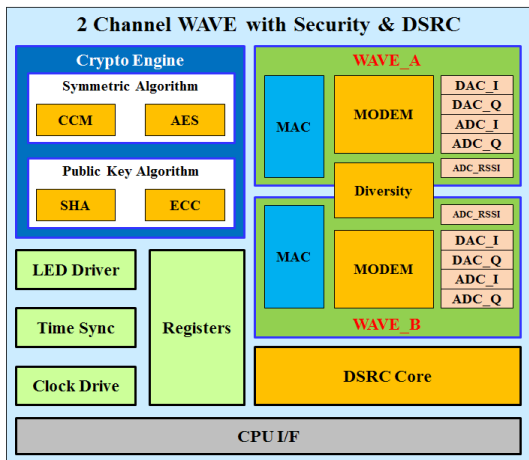


그림 3. WAVE와 DSRC를 위한 ASIC 칩 기능 블록도
Fig. 3. Function Diagram of the ASIC chip for WAVE & DSRC

능을 포함하며 스마트카드 인터페이스를 지원한다.

그림 4는 구현된 ASIC 칩을 검증하기 위하여 제작한 WAVE 통신 보드이다. WAVE 통신 보드는 2개의 WAVE 채널로 동작하거나 수신 안테나 다이버시티 기능을 위하여 RF 모듈 2개가 필요하다.

본 논문의 3장 실험에서는 구현된 WAVE 통신 보드를 사용하여 고속도로 LOS 환경에서 수신 안테나 다이버시티 적용 유무에 따른 통신 성능 실험 결과를 정리한다.

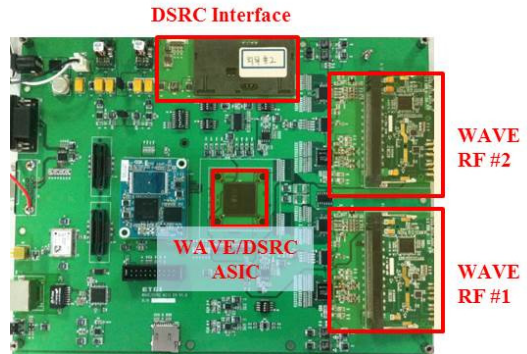


그림 4. 안테나 다이버시티가 적용된 WAVE 통신보드
Fig. 4. WAVE Communication Board for Antenna Diversity

III. 실험

고속도로와 같은 LOS 통신 환경에서는 앞장에서 설명한 것과 같이 지면 반사의 간섭을 고려한 two-ray 지면 반사 모델을 사용하여 전파의 수신 전력에 대한 해석이 가능하며 본 장에서는 down-fade와 up-fade가 발생하는 지점에 대해 유도된 식 (9)와 (11)을 고속도로에서의 RSSI 측정 결과와 비교 검증하며 안테나 다이버시티를 적용한 WAVE 통신 보드를 사용한 고속도로 LOS 환경에서의 실험 결과를 정리한다.

3.1 RSSI 측정과 이론 치와의 비교

그림 5는 고속도로 LOS 환경에서의 통신 거리에 따른 RSSI 측정값을 나타내었으며 down-fade와 up-fade가 발생한 지점들을 표시하였다. 통신 거리에 따른 RSSI 측정 실험은 5.85GHz 주파수 대역의 WAVE 통신 장치를 사용하였으며 기지국의 안테나 높이는 3m이고 차량에 설치된 안테나 높이는 약 2m로서 옴니 안테나를 사용하였다. 실험을 위한 기지국에서의 송신 프레임은 0.1초 간격으로 발생하고 차량은 약 20km/h의 속도로 이동하였으며 이동차량의

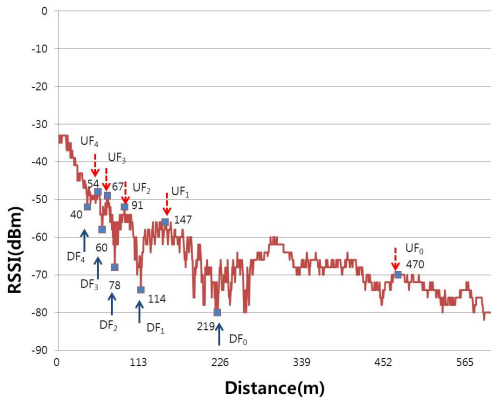


그림 5. 고속도로 LOS에서의 RSSI 측정 값
Fig. 5. RSSI measurement values in the highway LOS

WAVE 통신 장치에서 수신한 프레임의 RSSI 값을 측정하였다. 실험결과에서 통신장치 간의 거리 및 RSSI 값은 차량의 이동속도가 일정하지 않은 것과 동일지점에서 반복 측정된 평균값이 아니므로 어느 정도 오차가 있음을 고려하여야 한다. 하지만, 송신 프레임의 출력 파워 및 차량의 이동속도 등을 다르게 하여 여러 번에 걸쳐 실험한 결과 down-fade가 발생하는 위치는 거의 동일함을 확인하였다. 이는 다양한 멀티패스가 존재하는 도심 환경과는 달리 LOS가 보장되는 고속도로에서는 대부분의 측정값이 평균값에 근접함을 나타낸다.

표 1은 유도된 식 (9)와 (11)로부터 RSSI 측정 실험 환경을 대입하여 얻은 down-fade와 up-fade가 발생하는 지점의 이론적인 값을 표시하였다. 표 1에서 down-fade 발생 위치는 $k=0$ 일 때 234m, $k=1$ 인 경우 117m, $k=2$ 인 경우 78m, $k=3$ 인 경우 58m로 나타났으며 그림 5에서 나타난 down-fade 발생 위치는 $k=0$ 일 때 219m, $k=1$ 인 경우 114m, $k=2$ 인 경우 78m, $k=3$ 인 경우 60m로 실험 결과와 거의 동일한 것을 알 수 있다. 또한, up-fade 발생 위치에 있어서도 이론적인 발생 위치와 실제 측정된 값이 거의 일치함을 알 수 있다.

Down-fade가 발생하는 $k=1, 2, 3$ 인 위치에서는 반사계수가 -1에 근접하지 않고 차량 구조물로 인한 반

표 1. down-fade와 up-fade 위치 추정 값
Table 1. Estimation points of down-fade & up-fade

k	0	1	2	3	4
DFk(m)	234	117	78	58	47
UFk(m)	468	156	94	67	52

사파의 수신에 원활하지 않으므로 통신 성능에 크게 영향을 주지 않으나 $k=0$ 인 위치에서는 통신 성능이 크게 떨어지는 현상이 나타나게 된다.

3.2 안테나 다이버시티 성능 실험

본 논문의 2장에서 설명한 WAVE 통신 보드를 사용하여 안테나 다이버시티의 유무에 따른 통신 성능을 비교하기 위하여 그림 6과 같이 중부내륙고속도로에 위치한 한국도로공사 시험도로에서 실험을 수행하였으며 실험 구간은 LOS가 확보되는 위치로 선정하였다.

그림 6의 A 지점에 실험 패킷을 발생하는 WAVE 통신 장치가 설치된 고정차량을 위치시키고 안테나 다이버시티가 적용된 WAVE 통신 보드는 이동차량에 설치하여 그림의 화살표 구간에서 이동한다. 고정차량과 이동차량에 사용된 안테나는 8dBi 이득의 사크 안테나이며 고정차량은 세단 승용차를 사용하고 이동차량은 SUV 차량을 사용하였다. 그림 7은 WAVE 안테나 다이버시티 실험을 위한 안테나 설치와 이동차량을 나타내었다.

수신 안테나 다이버시티를 사용하여 WAVE 통신이 가능한 거리를 측정하였으며 6Mbps 데이터 전송 속도에서는 1,500m까지 100% 수신을 하며 12Mbps 데이터 전송 속도에서는 1,300m까지 99% 이상 수신하고 18Mbps 데이터 전송 속도에서는 500m까지 99% 수신율을 보였다. 1,600m 이상에서는 이동차량과 고정차량과의 LOS가 확보되지 않아 수신율이 급격히 떨어지는 결과를 보였다.

안테나 다이버시티 유무에 따른 전송 성능 실험은 고정차량으로부터 약 1.4km 구간에서 이동차량을 하

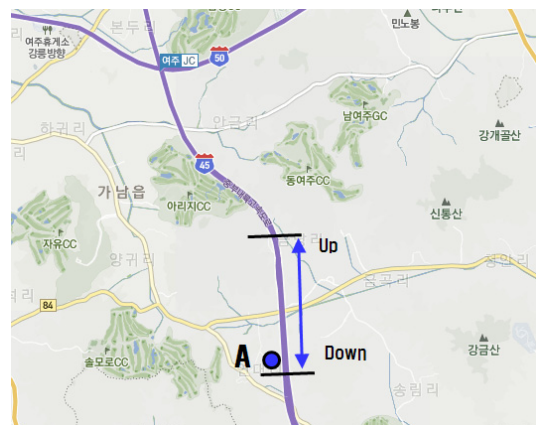


그림 6. 고속도로에서의 WAVE 통신 보드 실험
Fig. 6. Test of WAVE communication board in the highway



그림 7. WAVE 안테나 다이버시티 실험을 위한 이동차량
Fig. 7. Moving vehicle for WAVE antenna diversity tests

표 2. LOS 구간에서의 안테나 다이버시티 유무에 따른 패킷 전송 실험 결과
Table 2. Test results of packet transmission with/without the antenna diversity in LOS

Data Rate (Mbps)	Direction	Diversity	Success rate (%)
6	Down	Off	99.6
		On	99.9
	Up	Off	99.8
		On	99.9
12	Down	Off	70.7
		On	79.5
	Up	Off	93.5
		On	99.2
18	Down	Off	32.1
		On	46.2
	Up	Off	55.9
		On	80.5

행과 상행 방향으로 약 60km/h의 일정한 속도로 이동하면서 평균 수신율을 확인하였다. 고정차량의 송신 장치는 데이터 전송속도 6Mbps, 12Mbps, 18Mbps에 대해서 1,000바이트 길이의 패킷 20,000개를 4ms 간격으로 발생하였으며 이동차량에 장착된 수신 장치에서는 수신 안테나 다이버시티 기능을 On 또는 Off로 설정하고 이에 따른 수신율을 확인하였다.

표 2는 고속도로 LOS 구간에서의 수신 안테나 다이버시티 유무에 따른 패킷전송 실험 결과를 나타내었다. 6Mbps 데이터 전송속도에서는 안테나 다이버시티 유무에 따른 성능 차이를 확인하기 어려우며 12Mbps 데이터 전송속도에서는 수신 안테나 다이버시티를 사용하면 수신율이 약 5~9% 향상되었으며 18Mbps 데이터 전송속도에서는 수신율이 약 10~25% 향상되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 고속도로에서의 WAVE 통신에 있어서 통신거리에 따라 통신성능이 현저히 떨어지는 null 점의 발생 위치를 분석하기 위하여 two-ray 지면 반사 모델을 사용하여 down-fade와 up-fade가 발생하는 위치를 수식으로 정의하였으며 실제 고속도로 LOS 환경에서 WAVE 통신 장치를 사용한 RSSI 값 측정 실험결과와 비교 검증하였다. 또한, down-fade 발생의 문제점을 개선하기 위하여 수신 안테나 다이버시티 기능을 적용한 WAVE 통신 칩과 WAVE 통신 보드를 구현하고 안테나 다이버시티 유무에 따른 성능을 실험하였다.

고속도로 LOS 환경에서 WAVE 통신 장치를 사용하여 RSSI 값을 측정하였으며 실험 결과에서의 down-fade와 up-fade가 발생하는 위치들은 two-ray 지면 반사 모델을 사용하여 유도된 식에 동일한 실험 환경을 대입한 이론적인 발생 위치와 거의 일치함을 확인하였다.

통신 거리에 따른 down-fade의 문제점을 개선하기 위하여 수신 안테나 다이버시티를 적용한 WAVE 통신 보드로 고속도로 LOS 환경에서 실험하였으며 수신 안테나 다이버시티를 사용한 경우의 평균 수신율은 수신 안테나 다이버시티를 사용하지 않은 경우보다 12Mbps 전송속도에서는 약 5~9% 향상되었으며 18Mbps 데이터 전송속도에서는 수신율이 약 10~25% 향상되었다. 결론적으로, 수신 안테나 다이버시티를 적용하여 고속도로 LOS 환경에서 발생하는 down-fade에 의한 통신 성능의 저하를 개선할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] J. S. Kim, J. W. Kim, and J. D. Choi, "Reliable multicast MAC Protocol for cooperative autonomous vehicles," *J. KICS*, vol. 39B, no 3, pp. 180-187, Mar. 2014.
- [2] H. S. Seo, H. U. Kim, D. G. Noh, and S. S. Lee, "Algorithm design and implementation for safe left turn at an intersection based on vehicle-to-vehicle communications," *J. KICS*, vol. 38C, no. 2, pp. 165-171, Feb. 2013.
- [3] S. C. Kim, "An evaluation of the performance of wireless network in vehicle communication environment," *J. KICS*, vol. 33, no 10, pp.

816-822, Oct. 2011.

- [4] IEEE Computer Society, *IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments*, IEEE, 2010.
- [5] M. K. Lee, 'C-ITS construction' real start from this year, Jan., 6, 2014, from <http://www.koit.co.kr/news/articleView.html?idxno=49642>.
- [6] H. K. Choi, D. Y. Kwak, and Y. S. Jang, "A study on the wave propagation characteristics of the WAVE communications in highway," in *Proc. KICS Summer 2012 Conf.*, pp. 405-406, Jeju Island, Korea, Jun. 2012.
- [7] H. K. Choi, D. Y. Kwak, and Y. S. Jang, "An analysis of fading effects in LOS communication environments," in *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. ICT Convergence (ICTC2012)*, pp. 454-455, Jeju Island, Korea, Oct. 2012.
- [8] K. Siwiak, *Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications*, 2nd Ed., Artech House 1998.

최 현 균 (Hyun-Kyun Choi)



1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
 1997년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1997년~2000년 : 대우전자
 2000년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원 재직

<관심분야> 차량간통신, 텔레매틱스, ITS

오 현 서 (Hyun-Seo Oh)



1982년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업
 1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
 1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 박사
 1982년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원 재직

<관심분야> 이동통신, ITS, 텔레매틱스, USN 통신

조 웅 (Woong Cho)



1997년 2월 : 울산대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
 2003년 5월 : Univ. of Southern California 전기전자공학과 석사
 2007년 12월 : Univ. of Florida 전기컴퓨터공학과 박사

2008년 2월~2012년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2012년 3월~현재 : 중원대학교 컴퓨터시스템공학과 교수

<관심분야> 협력통신, 무선통신, ITS

장 윤 선 (Youn-Seon Jang)



1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1994년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
 1999년 3월~2006년 2월 : 한국

전자통신연구원 선임연구원

2006년 3월~현재 : 충남대학교 전자공학과 부교수

<관심분야> 광통신 전송시스템, 무선인지 기술, 수중통신망