

고속도로 환경에서 안정적인 ITS서비스를 위한 WAVE 통신 시스템 link budget 분석

Link Budget of WAVE Communication System for a Reliable ITS Service under Highway Environments

송 유 승*
(Yoo-seung Song)
(ETRI)

윤 현 정**
(Hyun-jeong Yun)
(ETRI)

· Corresponding author : Yoo-seung Song(ETRI), E-mail yssong00@etri.re.kr

요 약

ICT기술이 차량 교통 시스템에 적용되면서 스마트한 도로 교통 시대(ITS)가 열리고 있다. 이러한 기술적 진보를 가져 온 요소 중 하나는 고속으로 이동하는 차량과 인프라 간의 통신기술이다. IEEE802.11p기반의 WAVE 통신기술을 적용하여 도로교통의 다양한 안전서비스들과 운전자 편의 서비스들이 개발되고 있다. 본 논문에서는 이러한 ITS 서비스들의 품질을 보장하기 위해 필요한 link budget 분석을 수행하였다. 고속도로 환경에 적합한 경로손실 모델로 자유공간 모델과 two-ray모델을 통한 비교 분석을 통해 안정적인 통신 서비스가 가능한 셀 커버리지를 분석하였다.

핵심어 : 지능형 교통 시스템, WAVE, IEEE802.11p, 링크버젯, 커버리지

ABSTRACT

The era of intelligent transportation system(ITS) has been arrived by applying information and communication technology(ICT) to the traffic. One of these technological advances is a wireless communication technology for a high speed vehicle to be connected to an infrastructure(V2I). A variety of road traffic safety services and operator comfort services are being developed by means of WAVE(Wireless Access in a Vehicular Environment) based on IEEE802.11p Standard. In this paper, the link budget is analyzed to provide a reliable quality of these ITS services. Log-distance model and two-ray model is employed for the wave propagation path loss model which is adequate for a highway environment. Reliable cell coverage is suggested for ITS services from the link budget.

Key words : ITS, WAVE, IEEE802.11p, link budget, coverage

† 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.

[R0166-15-1014, Cooperative ITS 연계 스마트카 모바일 플랫폼 요소기술 국제표준개발]

† 본 논문은 한국ITS학회의 2015 ITS 춘계 학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

* 주저자 : 한국전자통신연구원 선임연구원

** 공저자 : 한국전자통신연구원 전문위원

† Received 10 June 2015; reviewed 17 August 2015; Accepted 18 August 2015

I. 서 론

ICT기술이 차량과 접목하여 새로운 패러다임의 교통안전과 편의 서비스 시대가 도래하고 있다. 과거 단순히 교통문제들을 운전자의 판단과 운전 능력에 의존해 오던 것이 이제는 차량간 통신(V2V)이나 차량과 인프라간 통신(V2I) 그리고 각종 센서들과의 융합을 통해 보다 안전하고 편리한 교통시대를 접하고 있다[1]. 이러한 지능적 교통 시스템(ITS)을 가능하게 한 가장 큰 기술적 진보는 V2X 통신이 가능해 지면서 이다. 고속도로 주행하는 차량들이 V2X 통신을 가능하도록 IEEE802.11p 기반의 WAVE 규격이 완성되어 현재 각종 단말들이 시장에 나오고 있으며 세계 각국에서 시범 서비스를 통한 기술 완성에 박차를 가하고 있다[2].

이러한 시점에서 안정적인 ITS 서비스를 제공하기 위해 링크 버짓 분석을 통한 통신 커버리지 분석이 요구된다. 동일한 송수신 통신 장비라 할지라도 통신환경에 따라 전송량과 전송범위가 달라지기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 현재 국내에서 시범적으로 WAVE 통신 기술을 적용하여 시범 서비스를 하고 있는 고속도로 환경에서 링크 버짓을 분석한다. 본 논문을 통해 실제 통신 거리를 분석함으로써 실제 시스템 운용 시 필요한 시스템 파라미터 값을 설계하는데 좋은 참고 자료로 활용 될 수 있다.

본 논문의 구성은 기존의 관련연구들을 2장에서 소개한다. 3장에서는 논문에서 링크 버짓 분석에 사용되는 경로 손실 모델들을 소개하고 특징들을 살펴본다. 그리고 4장에서는 실제 시험 고속도로 환경을 설명하고 측정된 값과 전파 경로 손실 모델을 비교 분석하였다. 본 논문을 통해 분석된 결과들을 5장 결론에서 정리하는 것으로 구성하였다.

II. 관련연구

V2X 통신을 위한 5GHz 대역의 채널 모델링연구 및 채널 모델을 활용한 경로손실과 링크 버짓에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 셀룰러 서비스를 위한 2GHz 대역(UHF, Ultra High Frequency)에서의

채널 모델들(Hata, Okumura, COST231)과 V2V 통신을 위한 5GHz 대역(SHF)에서의 채널 모델 특징을 비교한 연구가 진행되었다[3-4]. V2V 경로손실 모델의 정확성을 위해 몇 가지 대표적인 전파환경에서 실제 측정된 경로손실 값을 바탕으로 경로손실 모델의 파라미터 값들을 찾는 연구가 진행되었고[5-6], 1km내외의 근거리 통신을 위한 채널모델로 ITU-R 표준으로 LOS(Line of Sight) 및 NLOS(Non-line of Sight) 환경에서의 채널 모델이 발표되었다[7]. 특히 도심 교차로에서 NLOS V2V 통신에 대한 NLOS 경로손실 모델들을 실측치를 바탕으로 비교 분석하였다[8-9]. 최근 적용분야나 사용목적에 따라 전파전파 채널 모델을 분류한 논문이 발표되었다[10]. 차량 통신에 사용될 수 있는 다양한 채널 모델들을 적용분야, 지형적 정보 가용성, 차량의 속도 등을 고려하여 적합한 채널모델을 선택할 수 있도록 가이드라인을 제시하였다. 채널 모델을 활용하여 차량과 다양한 인프라간 통신을 할 경우 각 인프라간 통신을 통해 얻을 수 있는 채널 용량을 분석하는 연구도 수행되었다[11]. 본 논문에서는 몇 가지 대표적인 채널모델을 활용하여 V2I 고속도로 환경에 적합한 채널모델을 통해 실측치와 비교 분석을 함으로써 모델에 대한 신뢰성을 검증하고 안정적인 ITS 서비스를 위한 설계 조건을 제시하고자 한다.

III. 전파전파 경로손실 모델

본 장에서는 고속도로 환경에 적합한 전파전파 경로손실(wave propagation path loss) 모델을 소개한다. 특히 본 논문은 IEEE802.11p 기반의 물리계층을 활용한 WAVE 통신 시스템에 대한 경로 손실 모델 분석이 요구됨으로 5.8GHz의 SHF (Super High Frequency) 대역에서의 경로 손실을 분석한다. 전파전파 손실모델의 비교를 위해 다음과 같이 log-distance 모델과 two-ray 모델을 사용하였다.

1. Log-distance path loss model

일반적으로 널리 사용되는 Log-distance 경로손실

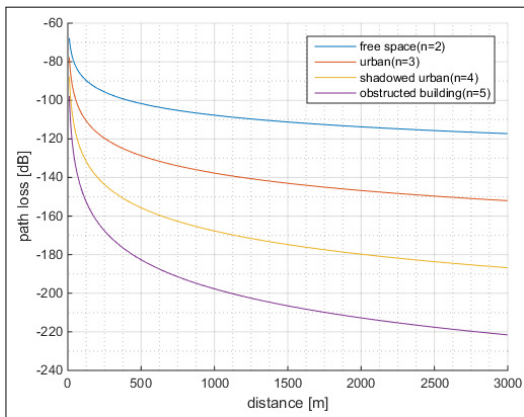
모델은 자유공간에서 거리의 제곱에 반비례하며 신호의 크기가 감소하며 경로손실 지수(n)의 값에 따라 LOS환경과 같은 자유공간이나 개활지 혹은 NLOS환경과 같은 도심지 등의 전파전파 모델로 모두 적용이 가능하다. Log-distance 경로손실 모델은 아래와 같은 수식(1)로 표현된다[12].

$$PL(dB) = PL(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

여기서 d_0 는 기준거리이며 본 논문에서는 1 값을 사용하였다. d 는 기지국과 단말의 거리를 의미하며, n 은 경로손실 지수 값으로 자유공간에서는 2를 사용한다. $PL(d_0)$ 는 기준 경로손실 값이며 수식(2)와 같다.

$$PL(d_0) = -10 \log\left[\frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d_0^2}\right] \quad (2)$$

여기서 λ 는 파장의 길이를 나타낸다.



〈그림 1〉 경로손실 지수(n)에 따른 log-distance 모델의 전파전파 경로손실 비교 분석

〈Fig. 1〉 Wave propagation path loss comparison with different path loss index (n)

그림1에서 경로손실 지수(n)에 따른 Log-distance 모델의 경로손실 값을 거리에 따라 나타내었다. 도심지의 다수 건물이 존재 할수록 급격히 전파전파의 경로손실 값이 증가하는 것을 알 수 있다.

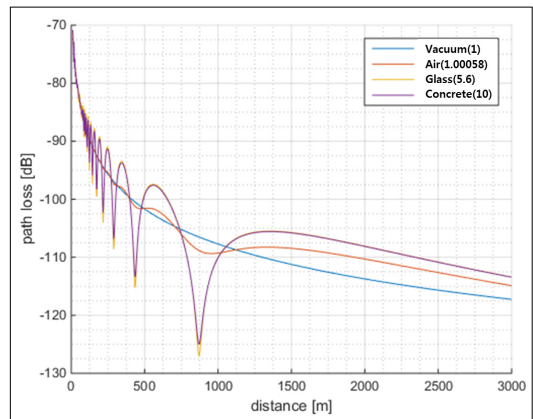
2. Two-ray path loss model

Two-ray 모델은 기지국의 신호가 단말기에 직접적으로 도달하는 직접파(E_{LOS})와 송신 신호가 지면에 반사되어 도달하는 지면반사파(E_{REF})의 합으로 나타낸다. 따라서 개활지나 고속도로와 같은 LOS환경에 대한 전파전파 모델로 적합하다. Two-ray 모델에 대한 수신 신호의 크기는 수식(3)과 같다[12].

$$P_{RX} = |E_{LOS} + E_{REF}|^2 \quad (3)$$

$$= \left| \frac{\sqrt{P_{TX}}}{2\beta} \frac{1}{d_L} e^{-j\beta d_L} + \frac{\sqrt{P_{TX}}}{2\beta} \frac{1}{d_R} \frac{\epsilon_r \cos\theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\epsilon_r \cos\theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}} e^{-j\beta d_R} \right|^2 \quad (4)$$

여기서 P_{TX} 는 송신신호의 세기, $\beta=2\pi/\lambda$, d_L 은 LOS거리, d_R 은 지면반사파거리, θ 는 지면반사파의 입사각 그리고 ϵ_r 은 유전율을 나타낸다. 경로손실 값은 송신신호 크기와 수신 신호 크기의 차를 통째로 구할 수 있다.



〈그림 2〉 유전율(ϵ_r)에 따른 two-ray 모델의 전파전파 경로손실 비교 분석

〈Fig. 2〉 Wave propagation path loss with different permittivity(ϵ_r)

그림2에서는 유전율에 따른 전파전파 경로손실 값을 거리에 따라 나타내었다. 유전율 값이 증가함에 따라 직접파와 반사파간의 위상 차이가 커지면

서 수신 신호 크기 변화도 동일하게 커지는 것을 알 수 있다.

IV. 실험환경 및 링크버짓 분석

이 장에서는 실제 실험환경으로부터 적용 가능한 파라미터 도출을 통하여 앞서 소개한 전파전파 경로 손실모델에 적용한다. 또한 링크버짓 분석을 통해 안정적인 통신범위 분석을 한다.

1. 테스트 베드 환경

본 절에서는 실제 여주시험도로에서 설치된 테스트베드를 참고로 하여 V2X 시험환경의 조건을 제시한다. 표1에서는 실제 구현된 기지국(RSU, Road Side Unit)과 단말(OBU, On Board Unit)의 시스템 파라미터 및 조건을 설명한다.

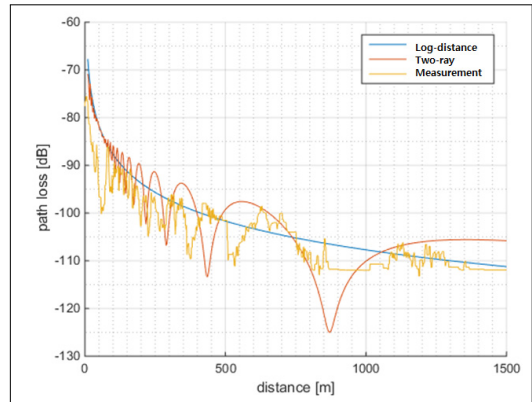
〈표 1〉 테스트 베드 환경 및 파라미터
〈Table 1〉 Testbed Parameters

Item	Value	Unit
RSU height	15	m
RSU power	17	dBm
RSU antenna gain	13	dBi
RSU EIRP	30	dBm
OBU antenna gain	7	dBi
OBU height	1.5	m
OBU power	16	dBm
OBU EIRP	23	dBm
Center frequency	5.8	GHz
Bandwidth	10	MHz

표1의 파라미터 값들을 앞 절에 소개된 전파전파 경로손실 모델에 적용하고 실제 필드에서 측정된 값과 비교를 수행한 결과를 그림3에 나타내었다.

여주시험도로 환경의 주요 특징으로는 총 5개의 RSU가 대략 1km의 간격으로 배치되어 있으며 핸드 오버 시 끊김 없는 통신을 위해 기지국의 경계가 일부 중첩되도록 설계되어 있다. 고속도로 상에는 갠트리, 방음벽 그리고 육교와 같은 일부 인공 구조

물이 존재하며 시험도로구간 전체는 S자 모양의 곡선 도로이다. 전파수신을 위해 사용된 차량은 시속 100km/h의 속도로 주행하며 각 RSU로부터 수신되는 WSA (WAVE Service Advertisement) 신호를 수신하고 그 수신강도를 디지털로 처리하여 내부에 저장한다[13].



〈그림 3〉 전파전파 경로손실 모델과 실제 필드에서의 전파 경로손실 측정치간의 비교

〈Fig. 3〉 Comparison between the measurement and path loss models

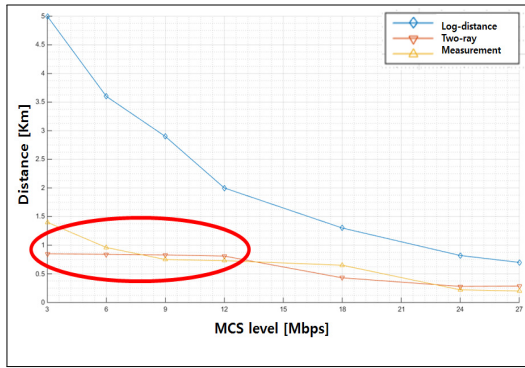
2. 링크버짓 분석

본 절에서는 앞 장의 파라미터 값과 경로손실 모델을 사용하여 link budget을 도출한다. WAVE 규격에서 제시된 각 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨에 따른 minimum sensitivity를 적용하여 최대 허용 가능한 경로손실 값(MAPL, Maximum Allowable Path Loss)을 계산하여 표2에 정리하였다. 표2에서의 MAPL값은 수신감도에서 EIRP(Effective

〈표 2〉 V2I 하향링크에서의 링크버짓
〈Table 2〉 V2I link budget(forward link)

Parameter	Unit	MCS level (Mbps)			
		3	9	18	27
EIRP	dBm	30			
Ant. gain	dBi	7			
Receiver sensitivity	dBm	-85	-80	-73	-68
MAPL	dB	-122	-117	-110	-105

Isotropic Radiated Power)값과 안테나 이득을 빼 값으로 구하였다.



〈그림 4〉 전파전파 경로손실 모델과 실제 필드에서의 전파 경로손실 측정치간의 비교

〈Fig. 4〉 Comparison between the measurement and path loss models

MAPL값을 바탕으로 각 MCL별 송수신 전파 도달 범위를 분석하여 그림4에 나타내었다. 각 경로 손실 모델에 따라 전파의 유효거리 도달 범위가 차이를 보이고 있으며 two-ray 모델은 실제 필드에서 측정된 값과 매우 흡사한 결과를 보이고 있다. 그림 4에 나타난 분석결과를 통해 통신반경 1km를 보장하기 위해서는 MCS level 12Mbps이하의 전송속도를 사용해야 하며 24Mbps이상의 전송속도에서는 500m이하의 통신 반경을 갖는 다는 것을 알 수 있다. 따라서 안정적인 ITS 서비스를 위해서는 상기의 결과를 바탕으로 하여 고속도로환경에서의 적절한 데이터 전송속도를 고려하여 서비스를 제공하는 것이 바람직하다.

V. 결 론

본 논문에서는 고속도로 환경에서의 링크버짓 도출을 통한 통신 시스템의 커버리지를 분석하였다. 고속도로 환경에 적합하다고 고려되는 자유공간에서의 경로손실 모델과 two-ray모델을 적용하여 유효 전파의 도달거리를 분석하였다. 분석에 사용된 파라미터 값들은 실제 테스트 베드에서 적용한

값들을 대입하였다. two-ray 모델의 결과를 비추어 볼 때 MCS level 12Mbps이하에서는 1km 정도의 통신 반경을 가지나 안정적인 핸드오버를 위해서는 3, 6Mbps의 전송속도가 더욱 적합하다는 것을 알 수 있다. 또한 셀 반경 500m이하에서 MCS level 24Mbps 이상의 전송속도를 가지는 서비스를 이용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

REFERENCES

- [1] P. Papadimitratos, "Vehicular communication systems: enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation", *IEEE Communications Magazine*, pp.84-95, Nov. 2009.
- [2] IEEE Standard 802.11p, "IEEE standard for information technology telecommunications and information exchanges between systems, Part 11", Amendment 6, Jul. 2010.
- [3] S. Dhar, "An overview of V2V communication channel modeling", in Proc. Int. symposium on Devices MEMs, Intelligent Systems & Commun. 2011 (ISMDMISC 2011).
- [4] Zhenyu Wang, "Statistical peer-to-peer channel models for outdoor urban environments at 2GHz and 5GHz", in Proc. Vehicular Technology Conf. 2004 (VTC 2004).
- [5] Johan Karedal, "Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communications", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no.1, Jan. 2011.
- [6] Christoph Sommer, "On the application of two-ray path loss models for vehicular network simulation", in Proc. Vehicular Networking Conf. 2012 (VNC 2012).
- [7] Recommendation ITU-R P.1411-5, Oct. 2009.
- [8] Thomas Mangel, "A validated 5.9GHz non-line-of-sight path-loss and fading model for inter-vehicle communication", in Proc. Int. Conf. on ITS Telecommunications 2011 (ITST 2011).

- [9] H. Iwai, "Propagation models for simulation scenario of ITS V2V communications", in Proc. Int. Symposium on Antennas & Propagation 2013 (ISAP 2013).
- [10] Viriyasitavat, Wantanee, et al., "Vehicular Communications: Survey and Challenges of Channel and Propagation Models", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, pp.55-66, Jun. 2015.
- [11] Pavle Belanovic, "On wireless links for vehicle-to-infrastructure communications", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no.1, Jan. 2010.
- [12] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall.
- [13] Yoo S. Song, Sang W. Lee. and Hyun S. Oh, "Performance evaluation of WAVE communication systems under a high-speed driving condition in a highway", *The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no.3, Jun. 2013.

저자소개



송 유 승 (Song, Yoo-Seung)

2001년 Wichita State University 박사졸업 (이동통신)
2005년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
2011년 1월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교 겸임교수
2001년 10월 ~ 2005년 4월 : 삼성전자 통신연구소 책임 연구원
e-mail : yssong00@etri.re.kr



윤 현 정 (Yun, Hyun-Jeong)

1999년 4월 ~ 현재 : ETRI 자율주행인프라연구실 표준전문위원
1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 전북대학교 공학석사 (컴퓨터공학과)
1993년 3월 ~ 1997년 2월 : 전북대학교 공학학사 (컴퓨터공학과)
e-mail : hjyun@etri.re.kr