Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.9.1057

도심 차량통신환경에서의 전파특성 측정과 구현 이슈

조 웅*

Measurement of Radio Characteristics of Vehicular Communication Environments in Urban Areas and Implementation Issues

Woong Cho*

요 약

차량통신시스템은 차량/도로기술과 정보통신기술을 접목하여 다양한 안전메시지를 전송하거나 지능형 교통시스템에 적용이 가능하다. 본 논문에서는 IEEE 802.11p를 기반으로 한 차량통신시스템을 소개하고 이 시스템의 전파특성을 도심환경에서 측정한 결과를 보인다. 전파특성은 패킷오류율과 수신스펙트럼을 이용하여 측정한다. 이 결과를 바탕으로 하여 실제 서비스 적용에 있어서 필요한 구현 이슈에 대해 논의한다.

ABSTRACT

Vehicular communications can be applied for transmission of various safety messages or Intelligent Transportation Systems(ITS) applications by combining vehicle/road technology with Information and Communication Technology(ICT). In this paper, we represent measurement results of radio characteristics of vehicular communications using IEEE 802.11p based system in urban environments. Radio characteristics are based on the packet error rate (PER) and received spectrum mask. Using measurement results, we discuss implementation issues of vehicular communication systems for supporting reliable services.

키워드

Vehicular Communications, IEEE 802.11p, WAVE, Radio Characteristics
차량통신, IEEE 802.11p, WAVE, 전파특성

Ⅰ. 서 론

차량통신은 차량간(Vehicle-to-Vehicle : V2V) 통신을 이용하여 안전서비스를 제공하거나 차량-인프라간(Vehicle-to-Infrastructure : V2I) 통신을 이용하여 교통정보 및 지능형교통시스템 (Intelligent Transportation Systems : ITS)등에 이용될 수 있다 [1]. 전세계적으로 차량통신은 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)라는 표준을 따르고 있다. WAVE 물리계층과 매체접근제어계층 표준은 IEEE 802.11 a/b/g표준을 수정한 IEEE 802.11p를 제정하여, 빠른 접속을 보장하고 송수신단에서 기존의 방식보다는 향상된 성능을 가질 수 있도록 정의하였다[2-3]. IEEE 802.11p를 기반으로 한 차량통신시스템을 이용하여 고속도로 및 직접파 (LOS : Line of Sight) 환경에서의 신호특성 및 이에 따른 구현이슈가 물리계층을 중점을 두어 논의되었으며[4-5], 다양한 환경에서의 성능도 측정되었다[6]. 또한 수신신호세기를 이용한 핸드오버 관련 이슈와 실제서비스 구현에 대해서도 일부 소개되었다 [7-8]. 그러나 대부분의 실험

* 중원대학교 컴퓨터시스템공학과(wcho@jwu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 07. 22 심사(수정)일자 : 2014. 08. 21 게재확정일자 : 2014. 09. 19

및 서비스들은 직접파가 보장되는 시골환경이나 고속도로 환경 하에서 실시되었으며 복잡한 도심환경에서의 신호측정 및 구현 이슈에 대해서는 심도 있게 논의되지 않았다.

본 논문에서는 IEEE 802.11p표준을 기반으로 한 통신시스템을 이용하여 도심환경에서의 전파환경을 측정한 결과를 소개한다. 또한 측정된 결과를 바탕으로 하여 실제 서비스를 제공하기 위해 요구되는 구현 이슈에 대해 논의한다.

II. 차량통신시스템 구성

이 장에서는 전체적인 차량통신시스템 구조와 실제 설치된 시스템에 대해 소개한다.

2.1. 차량통신시스템 구조

차량통신시스템은 차량통신장치(OBE, On Board Equipment) 및 노변기지국(RSE, Road Side Equipment)으로 구성되어 있으며 차량내부에는 차량통신장치의 정보를 표시해주는 디스플레이가 차량통신장치와 연결되어 있으며 노변기지국은 교통정보를 수집하고 가공하는 ITS센터/서버와 연결되어 있다. 차량통신장치와 노변기지국 모두 차량통신시스템을 장착하고 있는데 5.9GHz대(5.850~5.925GHz)의 주파수에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)변조 방식으로 신호를 전송하는 IEEE 802.11p표준을 따른다. IEEE 802.11p방식은 기존의 802.11a/b/g방식을 변형한 형태인데, 10MHz의 대역폭을 하나의 채널로 이용하여 신호를 송수신한다[3]. 통신성능을 향상시키기 위해 차량통신장치는 약 8~9dBi의 이득을 가지는 전방향 안테나를 이용하여 신호를 송수신하며, 노변기지국에서는 송수신신호의 특성에 따라 전방향 안테나 혹은 전방향 및 방향성 안테나를 혼합한 형태로 신호를 송수신한다. 전방향 안테나는 차량통신장치와 동일하며 방향성 안테나는 약 6~7dBi의 이득을 가진다.

2.2. 차량통신시스템 설치

앞 절에서 논의된 통신시스템은 차량 및 노변기지국에 장착되었는데 그림 1은 노변 기지국에 설치된 통신장치와 안테나를 나타낸다. 안테나는 약 4m의 높이에 설치되었다. 그림 1에서 왼쪽 두 개의 그림이 안테나를 나타낸 것인데, 원활한 통신을 위해 전방향 안테나와 방향성 안테나 둘 다를 설치하였는데, 방향성 안테나는 실험을 통하여 설치 각도를 조절하였다. 그림에서 오른쪽 부분은 통신모듈이 장착된 노변기지국을 나타낸다. 차량에서는 소형화된 모듈을 차량내부에 장착하였으며 안테나는 차량의 천장부분에 설치하였으며 전방향 안테나만을 이용하여 신호를 송수신한다.

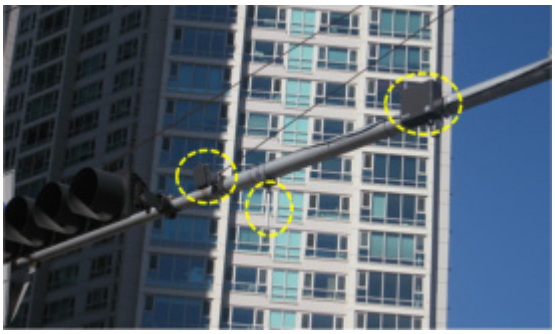

그림 1. 노변기지국 통신장치 및 안테나
Fig. 1 RSE communication module and antennas

III. 전파특성 측정

이 장에서는 앞 장에서 소개된 시스템을 기반으로 한 전파특성 측정환경, 측정방법 및 측정결과에 대해 소개한다.

3.1. 전파특성 측정환경

전파특성은 도심환경에서 5.9GHz대의 신호를 이용하여 측정하였다. 그림 2는 전파를 측정한 장소와 노변기지국이 위한 장소를 나타낸다. 부산 벡스코 인근에 노변기지국 6개를 설치하였는데, 그림에서의 숫자 1~6은 노변기지국이 설치된 장소를 나타낸다. 그림에서 1, 2, 6번 기지국은 3, 4, 5번 기지국에 비해 차량통행이 매우 빈번하며 특히 버스 및 차량들이 계속해서 다니는 전형적인 도심환경에 해당한다. 기지국 3, 4, 5번은 1, 2, 6번과 비교하여 약간은 덜 붐비는 환경이기는 하나 차량이 가끔씩 지나가는 도심환경에 해당한다.

그림 2. 전파측정 장소 및 노변기지국 위치
Fig. 2 Radio measurement area and RSEs' location

3.2. 전파특성 측정방법

전파특성의 측정은 패킷오류율과 수신스펙트럼을 이용하여 측정하였다. 차량(스타렉스)을 이용하여 차량과 노변기지국간의 신호의 송수신상태를 측정함으로써 전파특성을 확인하였다. 패킷오류율은 16QAM (12Mbps)신호를 이용하여 다운링크 및 업링크에서 1000개의 패킷을 송신한 후 수신단에서의 오류율을 측정하였다. 여기서 다운링크는 노변기지국에서 차량으로의 신호 전송을 의미하여 업링크는 차량에서 노변기지국으로서 신호 전송을 의미한다. 송신신호세기는 약 17~22dBm값을 가지는 유효등가방사전력(EIRP : Effective Isotropically Radiated Power)을 사용하였다. 수신스펙트럼은 송신단에서 그림 3 과 같은 신호 스펙트럼을 송신한 후, 수신단에서 수신된 스펙트럼의 형태를 측정한다. 그림 3에 나타나 있는 스펙트럼은 IEEE 802.11p 표준에 정의된 스펙트럼 기준을 만족하며 Class B에서 C사이 값을 가진다. 채널전력은 10MHz의 대역폭에서 약 10~15dBm값을 가진 신호를 사용한다.

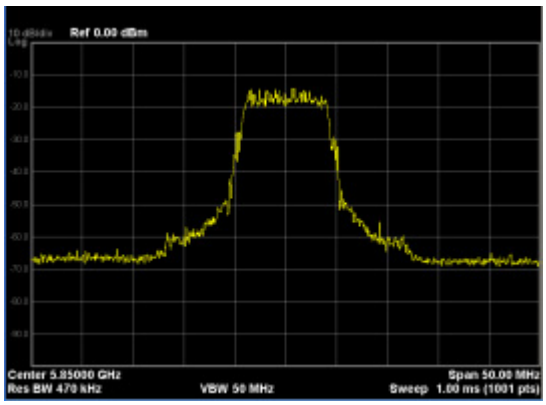

그림 3. 송신스펙트럼 마스크
Fig. 3 Transmission spectrum mask

3.3 전파특성 측정 결과

이 장에서는 특정된 패킷오류율과 수신스펙트럼 결과를 나타낸다. 표 1 과 2는 노변기지국 1과 노변기지국 4에서의 비트오류율 측정결과를 나타낸다.

표 1. 노변기지국 4에서의 패킷오류율
Table 1. Packet error rate at the RSE 1

Distance	Downlink (RSE to Vehicle)		Uplink (Vehicle to RSE)	
	No Error	Error	No error	Error
-300m	672	372	616	516
-200m	957	43	889	111
-100m	999	1	977	23
100m	817	183	608	392
200m	1000	0	896	104

표 2. 노변기지국 4에서의 패킷오류율
Table 2. Packet error rate at the RSE 4

Distance	Downlink (RSE to Vehicle)		Uplink (Vehicle to RSE)	
	No Error	Error	No error	Error
-300m	1000	0	1000	0
-200m	1000	0	1000	0
-100m	1000	0	899	101
100m	961	39	961	39
200m	999	1	473	527

표 1과 2에서 거리는 노변기지국과 차량과의 거리를 나타낸다. 이 결과는 안테나를 튜닝한 후의 결과를 나타낸다. 즉 단순히 안테나를 설치한 후 패킷오류율을 측정한 것이 아니라, 설치 후 측정된 오류율을 분

석한 다음 안테나의 방향 및 각도를 조절한 후의 결과를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 동일한 위치에서 동일한 신호를 전송한다하더라도 다운링크와 업링크의 성능이 다르게 나오는 것을 확인할 수 있다. 이는 패킷오류율이 안테나의 위치, 이득 및 빔형태 등과 밀접한 연관이 있음을 나타낸다. 본 측정에서는 송수신 이득을 높이기 위하여 차량과 노변기지국 모두 이득이 높은 안테나를 사용하여 상대적으로 수직각이 작은 안테나를 사용하였는데, 안테나의 수직각을 약간씩만 변경함에 따라 신호의 송수신이 민감하게 반응함을 알 수 있었으며 안테나의 위치 및 각도를 조절하여 좀 더 나은 패킷오류율을 획득함을 확인 할 수 있었다. 또한 신호 측정시 주변 환경에 의해서도 영향을 받는 것을 확인할 수 있었는데, 주변에 차량이 얼마나 많은지 주변 차량이 얼마나 빨리 이동하는지에 따라 약간의 성능차이가 남을 확인 할 수 있었다.

수신스펙트럼은 신호분석기를 이용하여 측정하였는데 주변의 신호특성을 용이하게 분석하기 위하여 20dBm의 프리앰프(Preamp)를 수신스펙트럼 측정기 입력부분에 장착하였다. 먼저, 노변기지국 및 차량에서 전송된 신호를 측정하기 전에 노변기지국의 모든 전원을 끄고 벡스코 인근의 5.9GHz대 신호를 측정하였다. 그림 4는 노변기지국 1번과 2번의 중간지점에서 측정된 수신스펙트럼을 나타낸다. 그림에 나타나있듯이 중심주파수 5.84GHz에서 높은 값을 가지는 신호가 수신됨을 확인할 수 있다. 이와 동일한 스펙트럼은 벡스코 인근 전 구간에서 측정 되었다. 이 신호는 부산시에서 운영하는 BIS(Bus Information System)으로 확인 되었으며 동일한 중심주파수를 이용하여 노변기지국이나 차량에서 통신을 하게 되면 IEEE 802.11p의 매체접근제어 표준인 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)의 특성상 주변 채널이 사용 중인 것으로 판단되어 통신장치에서 신호를 전송하지 못하는 경우가 발생하게 된다. 또한 신호를 전송할 수 있는 경우에도 BIS신호에 의한 간섭이 발생하여 패킷오류율을 저하시켜 신뢰성 있는 통신을 보장하지 못하는 경우가 발생하게 된다.

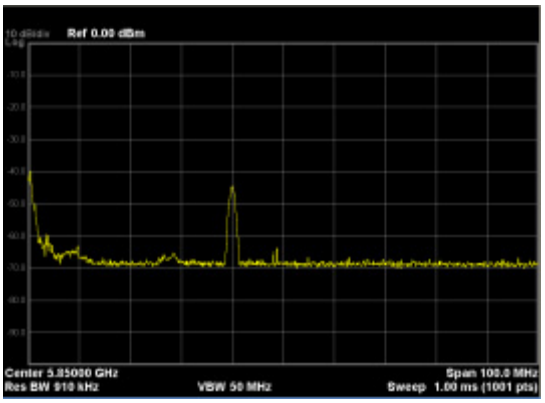

그림 4. 수신스펙트럼 마스크(노변기지국이 모두 꺼져있을 경우)
Fig. 4 Receiving spectrum mask(All infrastructures' power is off)

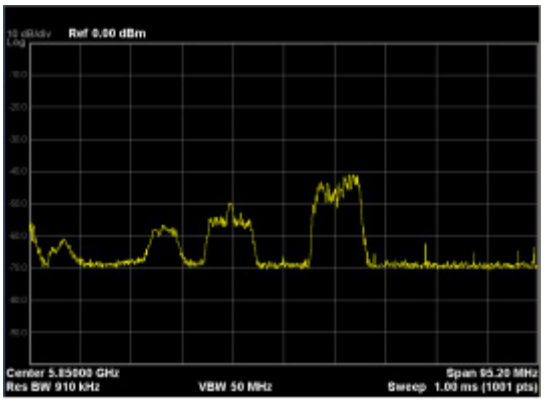

그림 5. 수신스펙트럼 마스크(노변기지국이 모두 켜져있을 경우)
Fig. 5 Receiving spectrum mask(Infrastructures' power is on)

그림 5는 노변기지국이 켜져있을 경우 수신된 스펙트럼을 나타내는데, 노변기지국 5번과 6번 사이에서 측정된 스펙트럼을 나타낸다. 노변기지국 5번에서는 5.86GHz의 중심주파수를 사용하였으며, 노변기지국 6번에서는 5.84GHz의 중심주파수를 사용하였다. 그림에서 알 수 있듯이 5.86GHz의 중심주파수를 사용하는 신호와 5.84GHz의 중심주파수를 사용하는 신호가 동시에 수신됨을 확인 할 수 있다. 또한 두 신호의 중간 부분에서 서로의 신호가 겹칠 수 있음을 예상할 수 있다. 이를 방지하기 위해서는 노변기지국간의 거리와 수신신호세기를 조절하여 신호 서로 간에 간섭을 주

지 않도록 조절하는 것이 필요함을 확인할 수 있다. 그렇지 않을 경우 실제 서비스 구현시 서로간의 간섭에 의해 심각한 문제를 야기할 수 있다. 또한 앞부분에서 설명한 BIS의 신호도 수신되어 나타남을 확인할 수 있는데 이 또한 5.84GHz의 중심주파수를 가지는 신호에는 간섭신호로 작용되어 전체시스템의 성능을 저하 시킬 수 있다.

Ⅳ. 구현이슈

도심환경에서 실제시스템을 설치하여 서비스를 제공하고 할 경우에는 앞 장에서 측정된 전파환경측정 결과를 충분히 고려하여야 한다. 측정된 결과에서 알 수 있듯이 서비스 제공을 위해 가장 중요한 점은 RF 특성을 파악하여 신호를 신뢰성 있게 전송할 수 있는 기반을 구축해야 한다. 전송거리를 늘이기 위하여 높은 이득을 가지는 안테나를 이용할 수 있으나, 안테나의 수직편파 특성이 좋지 않게 되어 전체적으로 신호를 송수신할 때 문제가 될 수 있음을 확인하였다. 즉, 약간의 수직각이 변경되더라도 신호의 성능에 차이가 많이 남을 확인할 수 있었다. 이는 실제 시스템 설치시 물리적인 어려움을 야기할 수도 있다. 따라서 제공하고자 하는 서비스의 특성 및 요구사항을 파악하여 필요한 서비스에 부합하는 안테나의 설치 및 출력 전력의 적절한 조절이 필요함을 알 수 있다.

다른 한 가지는 주파수의 할당을 효과적으로 분배해야 함을 확인할 수 있었다. 노변기지국을 여러 개 사용하여 서비스를 구현 할 시에는 인근 노변기지국에 간섭을 야기할 수 있으므로 유용한 주파수 채널을 적절히 사용하여 간섭을 최소화 하여야한다. 이는 현재 사용되고 있는 이동통신시스템과 유사한 개념으로 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 노변지지국간의 간섭뿐만 아니라 시스템이 설치되는 주변 환경을 고려하여야 함을 확인할 수 있었다. IEEE 802.11p를 사용하는 시스템은 5.9GHz대의 주파수를 사용하기 때문에 주위에 이와 유사한 주파수대를 사용하는 시스템과 간섭을 일으키지 않는 신호를 사용해야 함을 확인 할 수 있었다.

이와 같은 사항을 고려하여 실제 서비스를 위해 할당된 주파수를 그림 6에 나타내었다. 그림에서의 주파수는 중심주파수를 나타내며 각 채널은 10MHz의 대역폭을 가진다. 실제 서비스를 구현하기 위해 사용 가능한 채널은 5개(5.835GHz~5.885GHz)가 있었으나 차량간통신용으로 2개의 채널(5.855GHz~5.865GHz, 5.875GHz~5.885GHz)을 할당하였고, 실제로는 나머지 3개의 채널로 차량-노변기지국간 통신을 가능하도록 주파수를 할당하였다. 그림 6에서 알 수 있듯이 노변기지국에서는 5.85GHz와 5.87GHz의 중심주파수를 가지는 두 개의 채널을 사용하였다. 인접 기지국간에는 20MHz의 채널공간을 둠으로써 서로간의 간섭을 최소화 하도록 하였다. 또한 전파특성 측정시 사용되었던 5.84GHz의 신호는 사용하지 않았는데, 이는 앞장에서 언급 했듯이 BIS신호가 차량-노변기지국간통신에 간섭을 야기할 수 있기 때문이다.

그림 6. 노변기지국 주파수 할당
Fig. 6 Frequency allocation of infrastructure

앞장에서 잠시 언급하였듯이 도심환경에서의 신호수신 특징 중 하나는 동일한 위치에서 동일한 신호를 이용하여 통신성능을 측정하더라도 주변 환경에 따라 신호의 성능이 매우 다른 현상을 확인할 수 있었는데, 이를 보완하기 위해서는 수신단에서의 기능향상이 필요함을 의미한다. 본 측정에 사용된 수신기는 수신되는 신호 하나만을 이용하여 신호를 복조하였는데, 좀 더 신뢰성 있는 통신환경을 보장하기 위해서는 수신 다이버시티 기법을 적용하여 다양한 경로로부터 수신되는 신호를 결합하여 신호를 복조할 필요가 있다. 이를 통해 전체적인 통신성능을 향상 시킬 수 있을 것으로 예상되므로 이에 대한 연구와 실제 시스템의 적용을 통한 성능 검증에 대한 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 도심환경에서의 차량통신시스템의 전파환경 측정결과를 패킷오류율과 수신스펙트럼 측정을 통하여 확인하였으며, 이를 기반으로 하여 실제 시스템 구현시 고려해야할 사항에 대하여 논의하였다. 안정성 있는 서비스를 위해서는 RF 및 안테나의 특성을 고려한 융통성 있는 시스템구현이 필요하며, 간섭을 최소화 시킬 수 있는 효과적인 채널분배가 필요함을 확인하였다. 또한, 신뢰성 있는 통신환경을 보장하기 위해서는 다이버시티 기법을 통한 수신단에서의 성능향상기술 개발 및 검증이 필요함을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 한국전자통신학회 춘계 종합학술대회 우수논문을 확장한 논문입니다.

References

[1] K. Dar, M. Bakhouya, J. Gaber, M. Wack, and P. Lorenz, "Wireless communication technologies for ITS applications," *IEEE Commun Mag.*, vol. 48, no. 5, 2010, pp. 156-162.

[2] B. J. Kenny, "Dedicated short-range communications (DSRC) standard in the united states," *Proc. of IEEE*, vol. 99, no. 7, 2011, pp. 1162-1182.

[3] R. A. Uzcategui and G. Acosta-Marum, "WAVE : A tutorial," *IEEE Commun Mag.*, vol. 47, no. 5, 2009, pp. 126-133.

[4] W. Cho, "Physical layer issues in vehicular communications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 5, 2012, pp. 1229-1234.

[5] J. A. Fernandez, K. Borries, L. Cheng, B. V. K. V. Kumar, D. D. Stancil, and F. Bai, "Performance of the 802.11p physical layer in vehicle-to-vehicle environments," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 16, no. 1, Jan. 2011, pp. 3-14.

[6] P. Alexander, D. Haley, and A. Grant, "Cooperative intelligent transport systems : 5.9-GHz field trials," *Proc. of the IEEE*, vol. 99, no. 7, 2011, pp. 1213-1235.

[7] W. Cho, "Usage of RSSI in WAVE Handover," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1449-1454.

[8] W. Cho, "Service Realization of WAVE based Vehicular Communication Systems in the Testbed," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, 2013, pp. 1589-1594.

저자 소개

조 웅(Woong Cho)

1997년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과학과 졸업(공학석사)

2003년 Univ. of Southern California 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)

2007년 Univ. of Florida 대학원 전기컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2008년 2월~2011년 2월 한국전자통신연구원

2012년 3월~현재 중원대학교 컴퓨터시스템공학과 교수

※ 관심분야 : 무선통신, 협력통신, ITS