Regular paper

Journal of the KIECS. pp. 755-762, vol. 12, no. 5, Oct. 31 2017, t. 85, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2017.12.5.755

테스트베드상에서 LTE기반 철도 무선통신시스템의 성능 측정

김범곤* · 권병희** · 조한벽*** · 조웅****

Performance Measurement of LTE based Railway Wireless Communication Systems in the Testbed

Bum-Gon Kim* · Byung-Hee Kwon** · Han-Byeog Cho*** · Woong Cho****

요 약

철도통신에서 데이터의 전송속도를 향상시키고 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 LTE기반 철도 무선통신시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 LTE기반의 철도 무선통신시스템의 테스트베드에 대해 소개한다. 테스트베드상에서 무선통신시스템을 이용하여 전계강도, 통신 도달거리, 통화설정시간, 핸드오버 성공률, 데이터 전송속도 등과 같은 기본적인 통신성능 측정결과에 대해 소개한다. 이 결과를 바탕으로 향후 시스템 상용화에 필요한 사항들에 대해 논의한다.

ABSTRACT

In railway communication, LTE based railway wireless communication systems have been developed to support high data rate and reliable communication link. In this paper, the testbed of LTE based railway wireless communication systems is introduced. Then, we describe measurement results of communication performance such as radiation strength, communication coverage, call setup time, handover success rate, and data transmission rate in the testbed. We also consider requirements for commercialization based on measurement results.

키워드

Railway Wireless Communication, LTE-R, Performance Measurement, Testbed
철도 무선 통신, LTE-R, 성능 측정, 테스트베드

Ⅰ. 서 론

현재 우리나라의 철도 무선통신시스템은 지역에 따라 다양한 통신방식 (VHF, TRS-ASTRO, TRS-TETRA)이 사용되고 있다. 유럽에서는 GSM을 기반으로 한 GSM-R방식이 사용되고 있다. 기존의 통신방식보다 안정적인 통신환경을 제공하고 멀티미디어와 같은 대용량의 데이터 전송을 위해서 LTE를 기반으로 한 LTE-R방식에 대한 연구가 국내외에서 진행되고 있다 [1-3]. LTE를 기반으로 한 철도 무선

* 한국철도공사(marky3552@korail.com)
** 한국철도시설공단(kwon3577@kr.or.kr)
*** 한국전자통신연구원(hbcho@etri.re.kr)
**** 교신저자 : 중원대학교 컴퓨터시스템공학과
· 접 수 일 : 2017. 08. 14
· 수정완료일 : 2017. 09. 13
· 게재확정일 : 2017. 10. 18
· Received : Aug 14, 2017, Revised : Sep 13, 2017, Accepted : Oct 18, 2017
· Corresponding Author : Woong Cho
Dept. of Computer System Engineering, Jungwon University,
Email : wcho@jwu.ac.kr

통신시스템에 대한 구조 및 장점 그리고 일부 실제 시스템에 적용하여 측정한 결과들이 소개 되었다 [4-7]. 국내에서는 기존의 다양한 통신방식과 LTE-R을 도입했을 경우 서로 다른 통신방식간의 원활한 통신을 위한 상호연동에 관한 방안이 제시되었다 [8-9]. 또한 LTE를 기반으로 한 철도 통신시스템에 대한 요구사항 및 구조에 대한 표준이 제정되었다[10-11]. 본 논문에서는 LTE를 실제 철도 무선통신시스템에 적용하여 기본적인 통신성능을 측정한 결과에 대해 소개한다. 먼저 LTE기반의 무선 통신시스템을 적용한 테스트베드의 구조에 대해 소개한 후 기본적인 통신시스템의 성능인 전계강도, 통신 도달거리, 통화설정시간, 핸드오버 성공률, 데이터전송속도 등의 측정 결과에 대해 논의한다. 마지막으로 측정된 결과를 바탕으로 실제 상용화시 고려해야 할 사항에 대해 논의한다.

II. 테스트베드 구축현황

LTE기반의 철도 무선통신시스템의 성능 측정을 위해 테스트베드를 구축하였는데, 구축장소는 정읍역 부근의 시험센터 및 익산에서 정읍 간 34.4km의 철로 구간에 LTE를 기반으로한 통신시험치가 설치되었다. 그림 1은 테스트베드의 구성도를 나타낸다. EPC (Evolved Packet Core)는 정읍센터에 구축되어 있으며 각 DU (Digital Unit)과는 광케이블로 연결되며 RRU (Remote Radio Unit)은 DU와 연결된다.

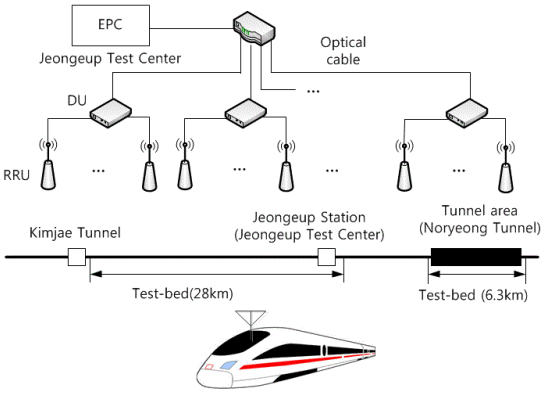

그림 1. 테스트베드 구성도
Fig. 1 Testbed architecture

그림 2. 철로주변의 실제 시험 구성 사진
Fig. 2 Practical testbed picture in the railroad

EPC는 3GPP표준에 부합되게 구성되었다. 철도통신시스템은 통신에 장애가 발생되면 긴급한 상황이 발생될 수 있으므로 일반 이동통신시스템의 LTE망과는 차이가 나게 구성된다. 즉 EPC, DU 및 RRU가 이중화 되어있다. EPC는 하드웨어의 장애를 지속적으로 감지하여 장애가 발생할 시 통화의 단절이 발생하지 않는 시간내에 다른 EPC장치로 절체할 수 있도록 구성되어 있다. DU의 경우에도 이중화된 대기 상태의 DU를 설치하여 두 개의 DU중 하나에 장애가 발생하더라도 다른 DU를 통해 지속적인 서비스를 제공할 수 있는 기능을 제공한다. RRU의 경우에도 이중화된 셀구성을 지원하여 인접한 RRU가 동작하지 않더라도 통신의 음영이 발생하지 않는 기능을 지원하여 연속적인 통신이 가능할 수 있도록 구성되었다.

실제 테스트는 개활지 28km구간과 터널지역 6.3km 구간으로 나누어서 진행되었으며 철도차량내부에는 이동단말기와 차상단말기를 구비하여 RRU와의 통신이 수행되었다. 본 논문에서는 RRU와 이동단말기 간의 통신을 기준으로 한 측정결과에 대해 소개하는데, 차상단말기와 RRU간 통신의 차이점은 철도내부에서 수신하게 되면 수신신호의 세기가 감소하는 것 이외에는 동일하다. 철도차량의 이동속도는 250km/h 이상 300km/h 이하이고 상향링크와 하향링크는 각각 718~728MHz 및 773~783MHz의 주파수 대역을 사용하였다. 즉, 각각의 채널은 10MHz의 대역폭을 차지한다. 그림 2는 개활지역에서 철로주변의 실제 시험 구성을 나타낸다. 철로를 따라 RRU 및 안테나가 설치되었음을 확인할 수 있다. 터널 내부에서는 터널 벽면을 따라 RRU 및 안테나가 설치되었다.

III. 통신시험결과

이 장에서는 앞 장에서 설명한 테스트베드를 이용하여 수행된 기본적인 통신성능시험 방법 및 결과에 대해 소개한다. 시험은 전계강도, 통신 도달거리, 통화설정 시간, 핸드오버 성공률, 데이터 전송속도 등의 항목에 대해 수행되었다.

3.1 전계강도

전계강도는 RRU의 출력값을 나타내는 값으로서 안테나 끝단에서 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정한다. 검증 기준은 RRU송신전력 46dBm (기준값) ± 2dBm 이내로 정의된다[12]. 그림 3에 측정된 전계강도 값이 46.63dBm을 나타내고 있는데 검증 기준 값의 범위 내에 포함되어 적합한 값이 출력됨을 확인할 수 있다.

그림 3. RRU 출력값
Fig. 3 RRU output value

3.2 통신 도달거리

통신 도달 거리는 RRU가 출력한 값을 시험용 이동단말기를 이용하여 측정하였다. 검증 기준은 통신 커버리지가 98% 이상이고 RSRP (Reference Signal Received Power)값이 -110dBm보다는 큰 값을 나타내는 것으로 정의 한다[13]. 표 1과 2는 각각 개활지와 터널지역에서 RRU간격에 따른 RSRP값을 나타내고 있다. 표 1에서 알 수 있듯이 검증 기준 값을 만족하는 RRU간의 거리는 2km이내여야 함을 알 수 있다. 터널지역에도 RRU간의 거리가 2km이내의 거리에서는 검증 기준 값을 만족함을 확인할 수 있다.

표 1. 개활지 에서의 RSRP값
Table 1. RSRP value in open area

Distance between RRU and RRU	Average measured value	Satisfaction rate
1km	-76.10dBm	100%
2km	-88.26dBm	98.8%
3km	-97.18dBm	81.9%
4km	-97.60dBm	77.7%

표 2. 터널지역 에서의 RSRP값
Table 2. RSRP value in tunnel area

Distance between RRU and RRU	Average measured value	Satisfaction rate
0.5km	-72.58dBm	100%
1km	-79.05dBm	100%
1.5km	-84.31dBm	100%
2km	-86.61dBm	100%

3.3 통화설정 시간

통화설정 시간은 긴급통화 및 PTT (Push To Talk), 및 그룹통화에 대해 통화설정 시 시간을 정의하고 이 값을 만족하는지를 측정하였다. 통화설정 시간 값은 시험용 단말기를 이용하여 측정 되었다. 긴급 및 PTT통화는 2대의 단말을 이용하여 1대 1통화, 그룹통화는 그룹통화 모드를 통하여 2대의 단말을 통한 1대 1통화에 대한 통화설정 시간 값을 측정하였다. 표 3에 시험 항목 및 결과를 나타내었다. 각 통화방식에 대한 성공률 기준값과 통화설정시간을 제시하고 측정된 값을 나타내었는데, 세 가지 방식 모두 기준값을

만족하는 것을 확인할 수 있다. 여기서 기준값은 LTE기반 철도통신 기능 및 요구사항 표준에 제시된 값을 이용하였다[10-11].

표 3. 통화설정 시간 측정값
Table 3. Measurement value of call setup time

Test condition	Reference value	Measured value
Emergency call success rate	> 99%	100%
PTT call success rate	> 99%	100%
Group call success rate	> 99%	100%
Emergency call setup time	less than 2 sec	0.109 sec
PTT call setup time	less than 2.5 sec	0.108 sec
Group call setup time	less than 2.5 sec	0.151 sec

3.4 핸드오버 성공률

핸드오버는 이동환경에서 핸드오가 원활히 이루어지는지를 확인 하였다. 핸드오버 성공률 검증 기준 값은 99%로 정의 하였으며[10-11], 개활지와 터널지역으로 나누어서 핸드오버 실험이 진행되었다. 개활지와 터널지역에서의 RRU간의 간격은 RSRP를 측정할 때와 동일한 값을 사용하였다. 개활지와 터널지역에서 각각 6번과 2번의 핸드오버를 실험하였다. 표 4와 5에 핸드오버를 수행한 결과값을 나타내었다. 지역에 상관없이 핸드오버 성공률이 100%임을 확인할 수 있다. 본 실험에서는 하나의 단말기를 사용하여 실험을 수행하였는데, 향후에 실용화 구간에서는 여러 대의 단말기가 동시에 핸드오버가 시행되는 환경이 구축될 것이다.

표 4. 개활지 에서의 핸드오버 성공률
Table 4. Handover success rate in open area

Distance between RRU and RRU	# of trial	# of success	Success rate
1km	6	6	100%
2km	6	6	100%
3km	6	6	100%
4km	6	6	100%

표 5. 터널지역 에서의 핸드오버 성공률
Table 5. Handover success rate in tunnel area

Distance between RRU and RRU	# of trial	# of success	Success rate
0.5km	2	2	100%
1km	2	2	100%
1.5km	2	2	100%
2km	2	2	100%

3.5. 데이터 전송속도

표 6. 개활지 에서의 데이터 전송속도
Table 6. Transmission rate in open area

Distance between RRU and RRU	Down Link (Mbps)	Up Link (Mbps)
1km	41.39	17.57
2km	38.45	17.31
3km	32.44	11.77
4km	24.41	10.67

표 7. 터널지역 에서의 데이터 전송속도
Table 7. Transmission rate in tunnel area

Distance between RRU and RRU	Down Link (Mbps)	Up Link (Mbps)
0.5km	41.78	17.07
1km	39.61	16.75
1.5km	37.80	14.07
2km	37.72	13.97

데이터 전송속도는 상향링크와 하향링크로 나누어서 측정하였다. 검증 기준 값은 하향링크 및 상향링크 각각 2Mbps이상 및 1Mbps이상으로 설정하였다. 표 6과 7에 개활지와 터널지역에서의 데이터 전송속도 측정값을 나타내었는데 지역에 상관없이 검증 기준 값을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 상용화시 고려사항

본 논문에서는 LTE,기반의 철도 무선통신시스템 테스트베드에 대해 소개하고 통신성능을 나타내는 여러 항목들에 대한 실험수행 및 이에 대한 결과에 대해 기술하였다. 실험결과를 통해 테스트베드가 기본적인 통신성능을 제공하는 것을 확인하였다. 그러나 실제 상용화를 위해서는 좀 더 실질적인 환경에서의 실험이 필요하다. 현재까지의 실험은 차량이동국 및 휴대단말기가 별도로 시험된 결과이며, 향후 휴대단말과 차량이동국 간의 시험데이터를 심층 분석하여 연구할 예정이다. 철도 무선통신시스템이 음성서비스 제공을 주목적으로 하지만 음성서비스 외에도 멀티미디어에 대한 서비스 실험도 필요할 것으로 예상된다. 이와 더불어 더 중요한 사항은 주파수를 공유하여 사용 예정인 PS-LTE와의 연계기술은 재난상황 발생시 관계기관 간의 망연계 시나리오 정립이 선행되어야 한다. 즉, 현실과 유사한 시험환경을 구축하여 예정된 시나리오대로 시험하는 것이 가장 바람직하나, 현재 구축된 테스트베드 환경 내에서 실행 가능한 PS-LTE 망과의 전파간섭 회피 방안 강구 및 PLMN ID 구분방안의 현실성 등에 대한 검증 등이 우선적으로 필요할 것으로 검토된다.

V. 결 론

본 논문에서는 LTE기반의 철도 무선통신시스템의 테스트베드에 대해 소개하고 테스트베드를 이용하여 다양한 항목에 대해 측정된 통신 성능 값을 소개하였다. 측정결과에 비춰볼 때 LTE를 이용한 철도통신은 성능 기준 값을 만족하는 것으로 나타났다. 다양한 서비스를 위해서는 좀 더 다양한 조건에서의 실험을 통해 통신성능을 안정화시킬 필요가 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업(17RTRP-B093246-04)의 일환으로 수행하였음.

References

[1] C. Kim, B. Kim, and S. Lee, “A study on the necessity of integrated radio networks for domestic railways,” In *Proc. Fall Conf. of the Korea Society for Railway,* Jeju, Korea, Oct. 2011, pp. 2808-2813.

[2] Y. Song, Y. Kim, and J. Baek, “Development of integrated wireless network for railway,” *J. of the Korean Society for Railway*, vol. 16, no. 6, 2013, pp. 551-557.

[3] B. Kim, “The operation conditions of domestic railway wireless communication networks and those technical trends,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 4, 2016, pp. 379-385.

[4] J. Calle-Sanchez, M. Molina-Garcia, J. I. Alonso, and A. Fernandez-Duran, “Long Term Evolution in high speed railway environments: feasibility and challenges,” *Bell Labs Technical J.*, vol. 18, no. 2, 2013, pp.

237-253.
[5] T. Zhou, C. Tao, S. Salous, L. Liu, and Z. Tan, "LTE-based channel measurements for high-speed railway scenarios," In *Proc. IEEE Global Communications Conf.*, San Diego, USA, Dec. 2015, pp. 1-6.
[6] K. Guan, Z. Zhong, and B. Ai, "Assessment of LTE-R using high speed railway channel model," In *Proc. Third Int. Conf. on Communications and Mobile Computing*, Qingdao, China, Apr. 2011, pp. 461-464.
[7] A. Sniady and J. Soler, "LTE for railways: Impact on performance of ETCS railway signaling," *IEEE Vehicular Technology Mag.*, vol. 9, no. 2, 2014, pp. 69-77.
[8] W. Cho, H. Choi, and H. Cho, "A study on integration scheme of wireless communications in railway wireless network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 9, 2015, pp. 659-664.
[9] W. Cho, "Comparison study of interoperability of railway wireless communication networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 8, 2016, pp. 729-734.
[10] TTAK.KO-06.0437, *LTE based railway communication system requirements (Conventional and high speed railway)*. Telecommunications Technology Association, Seongnam, South Korea, 2016.
[11] TTAK.KO-06.0438, *LTE based railway communication system architecture (Conventional and high speed railway)*. Telecommunications Technology Association, Seongnam, South Korea, 2016.
[12] 3GPP TS36.101 *E-UTRA; User Equipment (UE) radio transmission and reception*. 3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, France, 2017.
[13] 3GPP TS36.304 *E-UTRA; User Equipment (UE) procedures in idle mode*. 3rd Generation Partnership Project, Sophia Antipolis, France, 2017.

저자 소개

김범곤(Bum-Gon Kim)

1997년 2월 서울시립대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2005년 2월 및 2010년 8월 서울시립대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학부 졸업(공학석사 및 공학박사)
1999년 3월~2003년 1월 ㈜한국SHARP 개발부(주임)
2010년 8월~현재 한국철도공사 연구원(차장)
※ 관심분야 : 일반·고속철도 무선통신(LTE-R), 철도분야 IoT기술, ICT 융합기술

권병희 (Byung-Hee Kwon)

1997년 시립인천대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1996년 7월~현재 : 한국철도시설공단(차장)
2016년 3월~현재 : 일반고속철도무선제어연구단
※ 관심분야 : 일반·고속철도 무선통신(LTE-R), 기술적용 및 활용, 철도정보통신기술

조한벽(Han-Byeog Cho)

1981년 아주대학교 산업공학과 졸업(공학사)
1983년 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학석사)
1992년 한양대학교 대학원 산업공학과 졸업(공학박사)
1984년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
※ 관심분야 : 텔레매틱스/ITS 서비스 및 표준화, 차량간 통신기술, 차량-인프라통신기술, 협력주행기술, 철도무선통신기술

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