

Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 24, No. 9: 1172~1179, Sep. 2020

철도통합무선망(LTE-R) 환경에서 무선통신 안정성과 기용성 향상을 위한 방안 연구

최민석^{1*} · 오상철² · 이숙진² · 유병식² · 김동준³ · 성동일³

A study on the reliability and availability improvement of wireless communication in the LTE-R

Min-Suk Choi^{1*} · Sang-Chul Oh² · Sook-Jin Lee² · Byung-Sik Yoon² · Dong-Joon Kim³ · Dong-Il Sung³

^{1*}Senior Member of Research Staff, Communications&Media Research Lab, ETRI, DaeJeon, 34129 Korea
²Principal Member of Research Staff, Communications&Media Research Lab, ETRI, DaeJeon, 34129 Korea
³Deputy Genenal Manager, Technology Research Division, KR Network, DaeJeon, 34618 Korea

요 으

철도통합무선망(LTE-R) 환경이 구축되었고, 이를 활용한 무선통신 기반의 열차제어 데이터 및 음성, 영상 등 다양한 형태의 서비스 인프라 관련 연구개발이 진행되고 있다. 이러한 서비스가 원활하게 제공되기 위해서는 안정성 및 가용성 높은 무선통신 환경 구성이 중요하며, 지속적인 철도통합무선망의 성능 개선이 요구된다. 본 논문은 철도통합무선망 안정성 및 가용성 등의 무선통신 성능개선을 위해 철도통합무선망 무선통신 환경을 측정하여 결과를 분석하고 시뮬레이션을 위한 무선 환경 모델을 구축하였다. 또한, 구축된 모델을 기반으로 안정성 향상을 위해 열차를 제어하기 위한 향상된 무선접속 알고리즘을 제안하여 열차 운행 시 발생하는 핸드오버에 대해 안정성을 향상 시킬수 있는 방법을 제안하였고 가용성 향상을 위해 주파수 자동천이 알고리즘을 제안하여 망 장애로 인한 패킷 손실을줄이고자 한다. 시뮬레이션을 위해, 철도통합무선망 무선통신 환경의 실측 데이터를 측정할 수 있는 철도시설공단(대전), 만종역-강릉역 KTX 노선에서 다양한 무선 환경 파라메터를 수집하였으며 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능이 기존 방식보다 우수함을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

With the establishment of the railway integrated radio network (LTE-R) environment, radio-based train control transmission and reception and various forms of service are provided. The smooth delivery of these services requires improved performance in a highly reliable and available wireless environment. This paper measured the LTE-R radio communication environment to improve radio communication performance of railway integrated wireless network reliability and availability, analyzed the results, and established the wireless environment model. Based on the built-up model, we also proposed an improved radio-access algorithm to control trains for improved reliability, suggesting a way to improve stability for handover that occur during open-air operation, and proposed an algorithm for frequency auto-heating to improve availability. For simulation, data were collected from the Korea Rail Network Authority (Daejeon), Manjong-Gangneung KTX route, which can measure the actual data of LTE-R wireless environment, and the results of the simulation show performance improvement through algorithm.

키워드: 철도통합무선망, 안정성, 가용성, 시뮬레이션모델 **Keywords**: LTE-R, Reliability, Availability, Simulation Model

Received 21 July 2020, Revised 22 July 2020, Accepted 26 July 2020

* Corresponding Author Min-Suk Choi (E-mail: yerocker@etri.re.kr, Tel: +82-42-860-5864)
Senior Member of Research Staff, Communications&Media Research Lab, ETRI, DaeJeon, 34129 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.9.1172

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

철도통합무선망은 VHF(Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency), TRS(Trunked Radio System) 을 시작으로, LTE 기술에 철도 전용 주파수를 할당한 철 도통합무선망(LTE-R)에 이르기까지 지속적인 발전을 진행해 왔다[1]. 특히, 철도통합무선망은 대불선과 호남 선에 시험망을 구축하여 다양한 연구를 완료하였다. 철 도통합무선망에서 관제통화, 비상통화, 열차제어 등의 철도전용통신망에서 제공되어야 하는 기능 및 성능 요 구조건을 만족해야 하며 이러한 요구조건을 만족하려 면 철도통신에서 안정성과 가용성의 성능 개선이 우선 되어야 한다. 본 논문에서는 철도통합무선망 성능을 향 상시키는 방법으로, 안정성 및 가용성 고도화 알고리즘 을 제안한다. 안정성 향상을 위해 무선접속 알고리즘을 제안하여 안정적인 핸드오버 지연 시간을 통한 성능 향 상을 확인하고[2], 가용성 향상을 위해 주파수 자동천이 알고리즘을 개선하여 철도통합무선망에서 장애 발생 시 예비로 준비된 상용 LTE 망으로 트래픽 전환을 통해 데이터 손실을 감소시켜 가용성 성능 향상을 확인한다. 완성도 높은 시뮬레이션을 위하여 강릉선 KTX 구간의 실측데이터를 수집하였다. 또한, 이를 적용한 철도통합 무선망에 최적화된 시뮬레이션 모델을 개발하여 제안 한 알고리즘의 성능 검증을 진행하였다.

Ⅱ. 철도통합무선망 무선통신 환경 모델

철도 무선통신 성능을 개선하기 위해서는 현재 구축 되어 있는 무선통신 환경을 측정하여 도출한 결과 데이 터를 네트워크 시뮬레이션에 적용시킨다면 실제적인 성 능 향상을 기대할 수 있다[2][3]. 따라서 본 절에서 제안 하는 철도통합무선망을 위한 무선통신 환경 모델은 실제 철도통합무선망 환경에서 측정한 실측값을 기반으로 모 델링에 적용하였다. 적용 주파수는 철도통합무선망에 할 당된 700MHz (718~728 MHz, 773~783 MHz) 대역폭 20MHz을 적용하였으며[4], RRU 안테나 간 간격, RRU 안테나와 열차 선로 간 간격, 열차 구간 정보를 이용한 토 폴로지 구성을 실제 환경에 가깝게 구축하였다.

2.1. 무선통신 측정 환경 구축

철도통합무선망 무선통신 환경을 측정하기 위해서는 철도전용통신망 전용 주파수를 수신할 수 있는 단말기와 단말기에서 측정한 데이터를 수집하고 분석할 수 있는 분석기가 필요하다. 본 연구를 위해 LTE-R 단말기 2대와 네티마이저(Netimizer) 분석기를 확보하였다. Netimizer 분석기는 DML(Diagnostic Monitor Logger)와 DMA (Diagnostic Monitor Analyzer)로 구성되어 있으며 DML을 이용하여 단말기와 USB를 통신을 통해 현재 단 말기로 수신되고 있는 전파 특성과 무선 환경 데이터를 수집하였고 DMA를 이용하여 수집된 데이터를 분석하였다.

2.1.1. 무선통신 환경 측정

철도통합무선망 무선통신 환경을 측정하기[5] 위해 실제 열차에 탑승하여 시험을 진행하였다. 측정 장소는, 강릉선 KTX 구간에 구축되어 있는 철도통합무선망 무선통신 환경을 측정하였으며 다양한 데이터 수집 및 분석을 위해 한국철도공사 협조를 얻어 KTX 운전실(상행) 및 승객실(하행)에서 각각 왕복 1회 측정하였다.



Fig. 1 KTX driving room test(Gangneung Line)

측정한 결과 데이터를 기반으로, 운전실 및 승객실에서 측정한 Link access information을 분석하였고 추가적으로 Signaling Quality를 분석하였다. 그림 2는 승객실에서 측정한 네 가지 Signaling Quality를 나타내고 있다.

그림 1은 시험을 진행한 사진으로, 시험한 데이터 기반으로 측정결과를 살펴보면, 운전실과 승객실에서 RLF(Radio Link Failure)가 각각 1회 발생하였으며 운전실이 승객실에 비하여 평균적으로 RSRP(Reference Signal Received Power) signal quality(2dBm)가 조금 더높은 것으로 측정되었다. 상행선과 하행선의 평균 RSRP signal quality는 비슷하게 측정되었으며 측정 위치(창측, 내측, 열차의 앞/뒤)에 따라 편차가 있음을 보였다. KTX 열차의 이동에 따른 단말기의 핸드오버 성공률은 100%를 보였다.

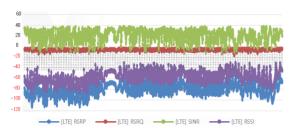


Fig. 2 Signal Quality of passenger compartment

SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)은 노이 즈 및 간법 대비 유효수신 신호세기를 나타내며 -15 ~ 40 dB 넓은 분포를 나타내었다. RSRQ(Reference Signal Received Quality)는 수신된 reference signal의 품질을 나타내며 -19 ~ -9 dB 분포를 나타내었다. RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 단말이 수신하는 모드 신호의 수신 전력을 나타내며 -85 ~ -24 dBm 넓은 분포를 나타내었다. 평균적으로 계산했을 때 네 가지 신호 모두양호하게 측정되었다.

2.2. 무선통신 모델 제작

철도통합무선망의 안정성과 가용성 향상을 위한 알고리즘의 성능을 측정하기 위해서는 분석 대상인 철도통합무선망 현황을 분석하고, 기존 OPNET 라이브러리에 있는 장비 모델을 이용하여 장비를 설치한 후 LTE 프로토콜 설정을 하여 각 노드 간 링크모델로 제작하였다. 본 장에서는 2.1장에서 수집한 데이터를 기반으로 네트워크 모델링을 설계하고 네트워크 모델에 실제 전송할트래픽 모델링을 구축하여 최종적으로 시뮬레이션 환경 모델링을 구축하였다. 3장에서는 구축된 네트워크환경에서 안정성과 가용성 성능향상을 위한 알고리즘의 시뮬레이션을 수행하여 성능 결과를 도출하였다. 무선통신 모델 제작에 필요한 일련의 모델 제작 과정은 다음의 절차로 수행된다.

장비 모델은 통신 장비의 내부와 외부를 연결하는 인 터페이스를 OPNET 노드 모델로 설계 및 제작한다. LTE와 비교하여 LTE-R에서 변경된 부분(주파수, 채널 모델, 기지국 간 거리, 기지국과 단말기 거리 등)은 수정 작업을 거친 후 알고리즘에 이식시켰다. 프로세스 모델 제작은 실제 LTE-R에서 동작하는 프로토콜 동작 절차 를 OPNET에서 동작하는 프로세스 모델로 설계 및 제작 한다. OPNET의 PMM(Process Modeling Methodology) 및 LTE 라이브러리를 활용하여 LTE 프로토콜을 적용

하였다. 다음으로, 링크 모델 제작은 OPNET에서 BER (Bit Error Rate), FER(Frame Error Rate), Fading, Shading, 패킷 충돌 등 무선통신 채널 특성을 모델링하는 기술이 다. 링크를 통한 신호 전달 과정을 송수신기 간 연결된 파이프를 통해 신호를 전달하여 시뮬레이션 하는 과정 에서 필수적인 물리적 특성을 제공하는 파이프라인 모 델로 제작하였다. 네트워크 모델은 네트워크를 구성하 는 통신 장비 배치 및 연결을 표현하며 해당 통신망을 OPNET에서 장비 간 연결을 통한 모델링을 의미한다. 본 연구에서는 철도통합무선망 기반 열차제어 통신 화 경에 최적화된 신규 모델을 제작하였다. 트래픽 모델은 트래픽의 송수신자 (통신장비) 및 발생 특성(발생 크기 및 빈도 등) 정보를 기록하기 위한 모델이다. 실제 열차 제어 신호에 맞는 전송속도와 데이터 량을 적용하여 트 래픽 모델을 제작하였으며 알고리즘 시뮬레이션에 활 용하였다. 마지막으로 환경 모델은 통신장비가 배치된 지역의 지형을 디지털 지도로 이용하여 표현하는 작업 이다. GIS(Geographic Information System) 정보를 OPNET 에서 활용할 수 있도록 설정해야 하며 앞서 철도통합무 선망 환경 측정을 실시했던 강릉선 지형 환경을 구축하 기 위해 만종역과 강릉역 간 KTX 노선의 GIS 정보를 수 집하여 모델 제작에 활용하였다.

2.3. 시뮬레이션 수행

무선 환경 측정 결과 값과 이를 기반으로 제작한 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 수집할 통계를 설정하고 시뮬레이션 환경에서 Duration, Update Interval, Simulation Kernel 등을 설정하였다. 시뮬레이션이 완료되면 Result Browser가 활성화 되고 수집된 통계를 확인하였다. 그림 3은 강릉선 KTX 노선에

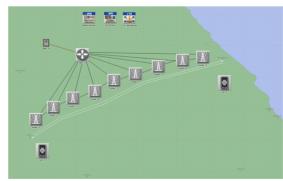


Fig. 3 Gangneung line simulation environment

서 측정한 값을 기반으로 제작된 모델과 실측값을 통해 나온 그림이다. LTE-R 망의 토폴로지 구성은 강릉선 특 정 구간을 대상으로 샘플링하여 구축하였다.

Ⅲ. 열차제어 무선접속 알고리즘 고도화

3.1. 열차제어 무선접속 알고리즘 설계

열차 제어 무선접속 알고리즘 성능 개선을 위하여 열차 운행 시 발생하는 핸드오버를 분석하고 안정적인 핸드오버가 진행될 수 있는 알고리즘을 설계하였다. 제안한 무선접속 알고리즘은 OPNET 시뮬레이션을 통하여성능 향상을 확인하였다. Intra-RAT 핸드오버와 관련된 event는 A1 ~ A5까지 정의되어 있지만 강릉선에서 발생하는 모든 핸드오버 event는 A3인 것을 실측을 통한 Signaling message 분석을 통하여 확인하였다. A3 event의 각 entering 조건과 leaving 조건은 아래 수식과 같다.

Inequality A3-1(Entering condition)

$$Mn + Ofn + Ocn - Hys > Mp + Ofp + Ocp + Off$$
 (1)

Inequality A3-2(Leaving condition)

$$Mn + Ofn + Ocn + Hys < Mp + Ofp + Ocp + Off$$
 (2)

Mn: intra-RAT neighbour cell RSRP/RSRQ

Ofn: intra-RAT neighbour cell frequency specific offset

Ocn: intra-RAT neighbour cell specific offset

Hys: hysteresis Parameter

Mp: intra-RAT serving cell RSRP/RSRQ

Ofp: intra-RAT serving cell frequency specific offset

Ocp: intra-RAT serving cell specific offset

Off: A3 event offset

위수식과 관련된 파라메터 값의 동적 제어를 통해 안 정된 핸드오버 지연을 제공하여 열차 제어 무선접속 알고리즘 성능 개선을 보인다. 그림 4의 3GPP TS 36.331 RRC (Radio Resource Control) 문서에 기술된 바와 같이 event A3의 offset 값을 열차무선통신 환경에 최적화된 값으로 설정한다[6]. Offset은 그림 4에 나타나 있는 a3-offset 값의 범위를 가지며, RSRP를 적용한 offset과 RSRQ(Reference Signal Received Quality)를 적용한 offset 값으로 분류할 수 있다[7~10].

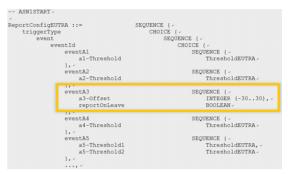


Fig. 4 A3 event offset(Report Config EUTRA)

위 그림에서 event A3의 offset 조정을 통한 핸드오버지연 측면에서 성능향상을 나타내는 지표를 나타내는 수식은 아래와 같다.

$$PER_{HD} = \frac{T_{HD} - T_{HD(offset)}}{T_{HD}} \times 100\%$$
 (3)

PER(Performance Enhancement Rate)은 핸드오버 지연 시간에 대한 성능 향상 지표를 나타내며, PER_{HD} 는 PER의 평균값을 나타낸다. T_{HD} 는 offset을 적용하지 않은 핸드오버 지연 값을 의미하며 $T_{HD(offset)}$ 는 RSRP 혹은 RSRQ의 offset값을 -30에서 30까지 변화시키며, 시뮬레이션을 통하여 결정된 핸드오버 지연시간의 평균을 나타낸다.

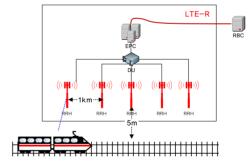


Fig. 5 Simulation Structure for Reliability Analysis

그림 5와 같이 안정성 분석을 위한 시뮬레이션 구조를 보면, 지상 장치는 선로변 기계실에 DU(Data Unit)가 위치하고 RRU는 철도 선로 옆 전차선 기둥에 설치되어 있다. 전차선 기둥에 설치된 안테나는 지상으로부터 3m 높이로 설정하였다. 열차 선로와 기지국의 RRU(Remote Radio Unit) 간 간격은 5m로 설정하였고 기지국의 RRU 간 거리는 약 1km로 설정하였다. 열차의 속도는 150km/h,

250km/h, 350km/h로 설정하였으며[11] 각각의 속도로 열차 이동 시 *PER_{HD}*을 계산하였다. 시뮬레이션을 실행 한 결과 값은 표 1과 같다.

Table. 1 RSRP/RSRQ@Average of PER

SPEED	RSRP(Average of PER)	RSRQ(Average of PER)
150km/h	-2.04%	-3.5%
250km/h	-16.04%	-4.84%
350km/h	32.12%	17.93%

PER 결과를 보면, 350km/h 속도에서는 Off(RSRP) 제어의 경우 32.12%, Off(RSRQ) 제어의 경우 17.93%의 성능향상을 보였으나 150km/h와 250km/h 환경에서는 성능이 오히려 떨어졌다. 또한, 그림 6과 같이 핸드오버 지연측정 결과 역시 350km/h에서는 성능이 우수했지만, 250km/h이하에서는 미비하였다. 결론적으로 350km/h 고속 환경에서만 Off값 동적제어를 통한 성능향상을 보였다.

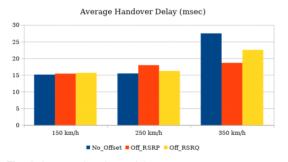


Fig. 6 Average handover delay

Ⅳ. 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 고도화

4.1. 열차제어 주파수 자동천이 알고리즘 설계

주파수 자동 천이는 단말기가 현재 통신하고 있는 기지국 Carrier Frequency f1이 간섭 등의 원인으로 통신품질이 떨어지는 경우, 내부 알고리즘에 의해 자동으로 타겟 기지국 Carrier Frequency f2로 변경하는 것을 의미한다. 즉, LTE-R 기지국에 접속되어 있는 열차가 장애로 인해 통신 단절이 발생되면 상용 LTE 기지국에 핸드오버 하는 경우이다[10][12-13]. 이러한 주파수 천이는 가용성을 향상시키기 위한 기술이며 천이 가능한 후보주파수 자원이 많을수록 가용성이 높아질 수 있다. 그림 7은 서로 다른 밴드의 주파수 f1과 f2를 할당받은 기지

국 간 주파수 자동천이 하는 예를 보여주고 있다.

그림 7에서 보여주는 주파수 천이는 Inter-RAT 핸드 오버이며 이를 위한 이벤트는 event B1과 B2 이다. 각각 의 entering 조건과 leaving 조건은 수식 (4), (5), (6), (7) 과 같다.

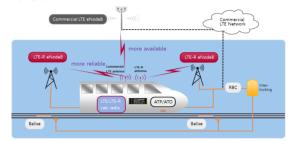


Fig. 7 Frequency automatic switching

Inequality B1(Entering condition)
$$Mp + Ofn - Hys > Thresh1$$
(4)

Inequality B1(Leaving condition) Mp + Ofn + Hys < Thresh1(5)

Inequality B2(Entering condition)
$$Mp + Hys < Thresh2$$
(6)

Inequality B2(Leaving condition) Mp - Hys > Thresh2(7)

Mn: inter-RAT neighbour cell RSRP/RSRQ

Ofn: inter-RAT neighbour cell frequency specific offset

Hys: hysteresis parameter

Thresh 1,2 값은 상수로 결정된 값이 아니라, 셀 환경에 따라 경험적으로 결정되는 값으로 적용한다.

가용성 성능 향상을 위한 주파수 자동천이 시뮬레이션 시나리오를 살펴보면, 열차가 주파수 fl 기지국에 접속되어 있고, 해당 기지국이 장애가 발생했을 경우 열차는 주파수 f2 기지국으로 핸드오버를 실행하였고 그때, PLR(Packet Loss Rate) 값을 분석하였다.

시뮬레이션 구조는 그림 8과 같다. 지상 장치는 선로변 기계실에 DU(Data Unit)가 위치하고 RRU는 철도 선로 옆 전차선 기둥에 설치되어 있다. 전차선 기둥에 설치된 안테나는 지상으로부터 3m 높이로 설정하였다. 열차 선 로와 기지국의 RRU(Remote Radio Unit) 간 간격은 5m

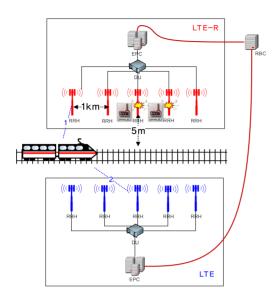


Fig. 8 Simulation Structure for Availability Analysis

로 설정하였고 기지국의 RRU 간 거리는 약 1km로 설정 하였으며, 열차의 속도는 250km/h와 350km/h으로 설정 하였다. 가용성 테스트를 위해 RBC(Radio Block Center) 는 LTE-R, LTE 망 모두 연결된 것으로 가정하였다.

현재 열차가 접속되어 있는 LTE-R 기지국은 jamming 공격을 받는 상태로 설정하여 전파 환경이 열화된 환경에서 열차의 속도 별로 PLR을 계산하였다. 열차의 속도가 250Km/h 일 때, LTE-R 기지국 장애 발생 시 전체 구간에 대한 PLR의 평균값은 11 packets/sec이며 장애구간에서 최고 264 packets/sec까지 PLR이 증가되는 것을확인하였다. 이 경우 주파수 자동 천이 알고리즘을 이용하여 inter-RAT 핸드오버를 적용한 결과 PLR은 33

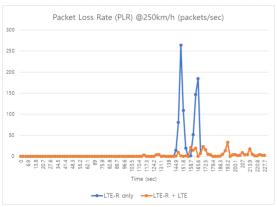


Fig. 9 PLR@250km/h

packets/sec으로 감소하는 것을 확인하였다. 그림 9는 속도 250km/h 일 때, PLR를 계산한 결과를 보여준다. LTE-R + LTE 일 때, jamming 공격으로 인한 장애 발생시 데이터 전환을 통한 데이터 손실이 낮다는 것을 확인하였다.

표 2는 LTE-R 환경일 때와 LTE-R과 LTE를 이중화 했을 경우 성능향상을 비교하였다.

Table. 2 PER@250km/h

KPI(PLR)	LTE-R	LTE-R + LTE	PER
average	10.50	2.45	76.67%
max	263.91	33.04	87.48%

Average 측면에서의 PLR은 76.66% 의 성능 향상을 보였고, max 측면에서 87.48%의 성능 향상을 보였다.

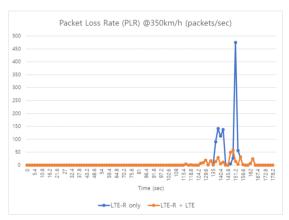


Fig. 10 PLR@350km/h

다음으로 같은 환경에서 열차가 350km/h 속도로 이동 할 때 결과를 분석하면 그림 10과 같다. LTE-R 장애발생 시 PLR의 평균값은 250km/h 속도일 때와 같은 11 packets/sec이며, 장애구간에서 최고 475 packets/sec까지 PLR이 증가하는 것을 확인하였다. 이동 속도가 더 빠를수록 장애로 인한 PLR은 증가하였고 자동천이 알고리즘을 적용했을 때 최고 58 packets/sec까지 PLR을 줄일수 있다는 것을 확인하였다.

표 3은 350km/h 일 때, 성능향상 지표를 보여준다. Average 측면에서의 PLR은 73.86%의 성능 향상을 보 였고, max 측면에서의 PLR은 87.84%의 성능 향상을 보 였다.

Table. 3 PER@350km/h

KPI(PLR)	LTE-R	LTE-R + LTE	PER
average	11.69	3.06	73.82%
max	475	57.78	87.48%

PLR 측면에서 LTE-R과 LTE에 대해 자동 천이를 알고리즘을 적용했을 경우, 열차 이동 속도 250km/h와 350km/h 모두 비슷한 수준의 성능 향상을 보였다. 결과를 통해 현재 단말기가 접속된 기지국에서 심각한 통신장애가 발생하더라도 열차제어 주파수 자동천이를 통해 원활한 서비스를 제공 받을 수 있다. 그 결과 철도통합무선망에 상용 LTE를 이용하면 무선통신의 가용성을향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

Ⅴ. 결 론

철도전용 무선 통신 환경인 철도통합무선망이 구축 되어 이를 이용한 다양한 인프라 서비스가 제공되고 있다. 이러한 서비스가 원활하게 제공되기 위해서는 무선 통신망의 성능 개선이 필요하다. 안정적인 철도통합무 선망 서비스가 제공되기 위해서는 안정성과 가용성이 높은 무선 통신 환경이 제공되어야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 철도시설공단 및 강릉선 KTX 구간에 전파환경을 측정하여 철도통합무선망의 무선통신 환경에 적합한 시뮬레이션 모델을 구축하였 고, 측정한 데이터를 적용하여 열차제어 무선접속 알고 리즘을 통해 안정적인 핸드오버 지연에 대한 결과 값을 도출하여 안정성의 성능 향상을 보였으며, 가용성 향상 을 위한 주파수 자동 천이 알고리즘을 적용하여 패킷 손 실 비율에 대한 성능 향상을 확인 하였다. 다만 가용성 향상을 위하여 상용 LTE을 이용하기 위해서는 열차제 어신호의 높은 수준의 암호화가 요구되고, 표준유관 기 관(TTA), 통신 3사, 코레일 등 유관 기관과의 협의가 필 요하다. 향후 연구 아이템으로 열차 속도에 따른 핸드오 버 성능 열화를 극복하기 위해 RSRP, RSRQ 등의 오프 셋 값을 최적화 하는 과정을 통해 고속(350km/h)뿐만 아니라 저속(250km/h 이하)에서도 균등한 성능 향상을 도출하기 위한 연구가 필요하다. 또한 철도통합무선망 장애 시 대안으로 철도통합무선망에 구축된 상용 LTE 망을 활용하여 가용성 효율을 높일 수 있으나 향후 다양

한 대체 망에 대한 기술 및 자원의 적극적인 지원이 이루어진다면 보다 다양하고 높은 품질의 서비스에 대한연구 개발이 추진될 수 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (ETCS L3 Train Control System - 18RTRP-B145983-01) from the Railway Technology Research Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport of Korea government.

REFERENCES

- [1] B. S. Yoon, J. S. Kim, S. K. Lee, K. H. Kim, Y. K. Kim, and D. K. Park, "Technologies and standards of future railway mobile telecommunication," *Journal of the Korean Society* for Railway, vol. 16, no. 6, pp. 519-527, Dec. 2013.
- [2] E. A. Ibrahim, E. F. Badran, and M. R. M. Rizk, "A Powerdistance based Handover Triggering Algorithm for LTE-R using WINNERII-D2a Channel Model," *Asia- Paci* fic Conference on Communications (APCC) IEEE, Aug. 2016.
- [3] K. Guan, Z. Zhong, and B. Ai, "Assessment of LTE-R Using High Speed Railway Channel Model," *IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, pp. 461-464, Apr. 2011.
- [4] Y. S. Song, Y. K. Kim, and J. H. Baek, "Development of Interated Wireless Network for Railway," *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 16, no. 6, pp. 551-557, Dec. 2013
- [5] Y. S. Won, and S. C. Kim, "LTE-R LinkBudget Analysis for channels interference in the case of sharing the Integrated Public Network Frequency," *Journal of the Korea Institute* of Information and Communication Engineering, vol. 21, no. 10, pp. 1833-1839, Oct. 2017.
- [6] Y. S. Won, "A Study on LTE-R Performance Analysis in the Case of Sharing the Integrated Public Network Frequency," Ph. D. dissertation, Woosong University, Daejeon, 2018.
- [7] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN); Overall description; Stage 2," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.300, Sep. 2018.

- [8] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification", 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.331, Sep. 2018.
- [9] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN); X2 Application Protocol (X2AP)," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.423, Sep. 2018.
- [10] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer Procedures," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.213, Sep. 2018.
- [11] Y. K. Shin, and H. J. Jung, "A Study on the Characteristics of Urban Re-Organization regarding as an Establishment of New High-Speed Railway Stations focused on JR Kyushu's Main Stations," Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology, ISSN: 2383-5312, vol. 6, no. 7, pp. 427-437, Jul. 2016.
- [12] S. J. Song, K. H. Chang, C. H. Yoon, and J. M. Chung, "Special Issue on 5G Communications and Experimental Trials with Heterogeneous and Agile Mobile networks," *ETRI Journal*, vol. 40, no. 1, pp. 7-9, Feb. 2018.
- [13] D. He, B. Ai, K. Guan, Z. Zhong, B. Hui, J. Y. Kim, H. S. Chung, and I. G. Kim, "Stochastic Channel Modeling for Railway Tunnel Scenarios at 25 GHz," *ETRI Journal*, vol. 40, no. 1, pp. 39-50, Feb. 2018.



최민석(Min-Suk Choi)

2007년 동의대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 학사 2009년 부산대학교 컴퓨터공학과 석사 1996년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원 ※관심분야: 이동통신, 철도통신



오상철(Sang-Chul Oh)

1995년 광운대학교 전자통신공학과 학사 1997년 광운대학교 전자통신공학과 석사 1997년 ~ 2000년 대우통신(주) 2000년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원 ※관심분야: SDR, LTE, 5G, 핸드오버, 유무선 프로토콜



이숙진(Sook-Jin Lee)

1990년 경북대학교 전자공학과 학사 2000년 충남대학교 전자공학과 석사 2008년 충남대학교 전자공학과 박사 1990년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원 ※관심분야: 이동통신, 철도통신



윤병식(Byung-Sik Yoon)

1990년 경북대학교 전자공학과 학사 1992년 경북대학교 전자공학과 석사 2012년 한양대학교 전자공학과 박사 1992년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원 ※관심분야: 이동통신, 철도통신



김동준(Dong-Joon Kim)

1996년 동의대학교 전자통신공학과 학사 1996년 ~ 현재 한국철도시설공단 선임연구원 ※관심분야: 이동통신, 철도통신



성동일(Dong-II Sung)

1996년 조선대학교 전기공학과 학사 2017년 우송대학교 철도공학과 석사 1995년 ~ 현재 한국철도시설공단 책임연구원 ※관심분야: 정보경영, 정보통신