

무선통신기반 열차제어시스템의 통신성능평가를 위한 로밍시뮬레이터 개발에 관한 연구

The Study on developing on the Roaming simulator to estimate of the communication performance of Communication-Based Train Control system

이강미* 조현정** 신경호** 김종기** 김백현**
Kang-mi Lee Hyun-jeong Jo Kyung-ho Shin Jong-ki Kim Baek-hyun Kim

ABSTRACT

This paper assesses communication performance using a roaming simulator when roaming occurs between onboard and ground wireless communication devices for communication based train control system (CBTC). Generally, CBTC is defined as the system regularly collecting location and speed data from each train, transmitting distance information to a train, and optimizing train speed according to train performance. When a train is moving, roaming is also performed to continuously transmit and receive train control information between the ground controller and the train. To operate CBTC, packet loss rate should be less than 1%, roaming time less than 100ms during roaming. We developed a roaming simulator to check communication performance before installing ground and onboard equipments on actual wireless sections. The roaming simulator to be introduced in this paper is for roaming simulation before conducting CBTC field test, which is the project to develop Urban Rail Signaling System Standards, being conducted in KRRI. The simulation consists of one onboard wireless communication device and three ground wireless communication devices, and the roaming simulator estimate packet loss rate occurring during roaming process of the two devices. Therefore, if you use the roaming simulator before the field test, you can predict various problems to occur in actual environment and reduce time, cost and people necessary to resolve these problems.

(국문요약)

본 논문에서는 무선통신기반 열차제어시스템을 위한 지상무선통신장치와 차상무선통신장치사이에 로밍시 통신성능을 평가하기 위해 개발한 로밍시뮬레이터를 소개한다. 일반적으로 무선통신기반 열차제어 시스템이라 하면 지상에 위치하는 제어장치가 각 열차로부터 위치와 속도를 주기적으로 수집하고, 선행 열차와 속도 제한 지점까지의 거리정보를 열차로 전송하고, 차상의 제어장치가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 수행하는 시스템으로 정의된다. 열차의 이동시 지상의 제어장치와 열차제어정보 송수신을 위하여 연속적으로 통신을 하기 위해 로밍이 이루어진다.

* 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부

E-mail : kmlee246@krri.re.kr

TEL : (031) 460-5433 FAX : (031) 460-5449

** 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부

무선통신기반 열차제어시스템의 운영을 위해서는 로밍시 통신성능은 패킷손실율은 1%이하, 로밍타임 100ms이하 등을 만족해야한다. 따라서 무선통신기반 열차제어시스템을 위한 지상장치 및 차상장치를 실제 무선구간에 설치하기 전에 통신성능을 확인하기 위해 로밍시뮬레이터를 개발하였다.

본 논문에서 소개하는 로밍 시뮬레이터는 한국철도기술연구원에서 수행중인 도시철도 신호시스템 표준화 과제의 무선통신기반열차제어 시스템의 필드 테스트 전 로밍 모의시험을 위한 것이다. 모의시험은 차상무선통신장치 1대, 지상무선통신장치 3대 그리고, 로밍시뮬레이터로 구성되며, 로밍시뮬레이터를 통해 차상무선통신장치와 지상무선통신장치사이의 로밍시 발생하는 통신성능을 평가할 수 있다. 즉, 로밍 시뮬레이터를 이용한 통신성능 평가로 필드 테스트 전에 통신장비의 성능을 평가할수 있고, 더불어 실제 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 예측할 수 있어 인적, 시간적, 경제적 효과를 얻을 수 있다.

1. 서론

철도에 있어서 주행중인 열차와 지상간의 열차무선통신네트워크는 종래의 음성통화를 주축으로 하는 열차무선의 기능에 차량상태 정보나 동영상 정보의 차량-지상간 양방향 전송을 더하여, 무선통신 기반 열차제어시스템(CBTC : Communication Based Train Control System) 등에 확대 및 응용되고 중요성은 점점 더 증가하고 있는 추세에 있다.

무선통신기반 열차제어시스템을 위해서는 열차의 이동시 지상의 제어장치와 열차제어정보 송수신을 위하여 차상무선통신장치와 지상무선통신장치사이에 연속적으로 통신을 하기 위해 로밍이 이루어진다. 또한 로밍시 통신성능은 패킷손실율은 1%이하, 로밍타임 100ms이하 등을 만족해야만 무선통신기반 열차제어시스템의 운영이 가능하다(CBTC 표준사양안). 따라서 무선통신기반 열차제어시스템을 위한 지상장치 및 차상장치를 실제 무선구간에 설치하기 전에 통신성능을 확인하기 위해 로밍시뮬레이터를 개발하였다.

본 논문에서는 로밍시뮬레이터의 사양 및 개발한 로밍시뮬레이터를 이용한 통신성능 평가를 소개한다.

2. 본문

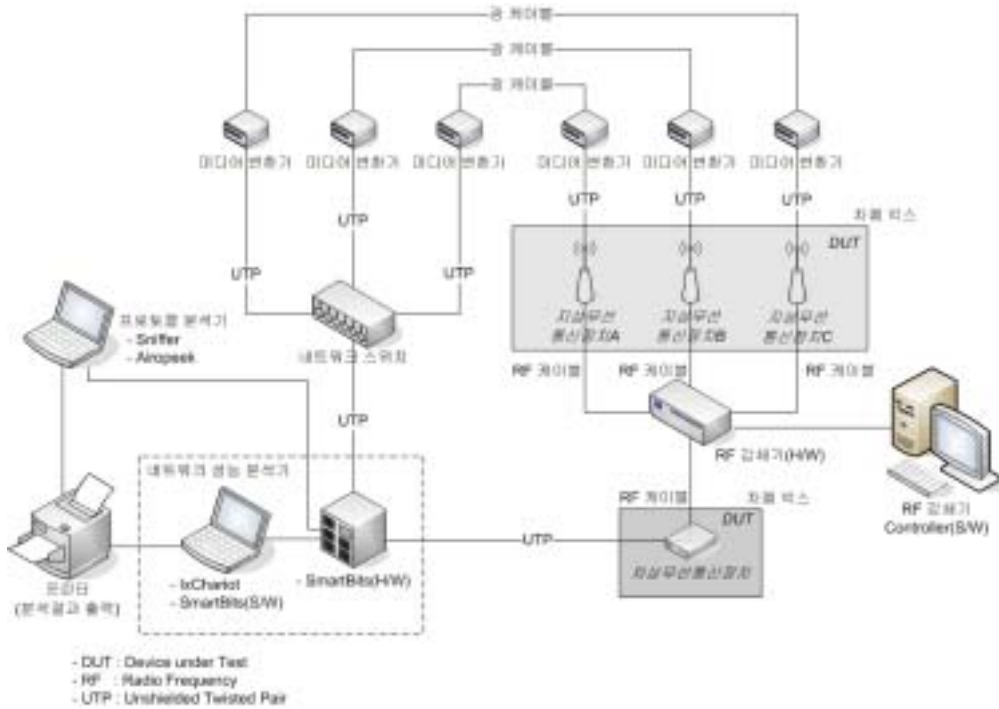
열차제어를 위해 사용되는 무선통신시스템은 한정된 대역 및 출력의 주파수를 사용하여야 하므로 다수의 지상무선통신장치가 선로변에 설치되어야 하며, 선로를 주행하는 열차는 이동중에 수신되는 전파의 출력이 적절한 지상무선통신장치로 절체되어야 한다. 이러한 해당 지상무선통신장치의 절체 기능을 로밍(Roaming) 또는 핸드오버(Handover)라 한다.

본 논문에서 소개하는 로밍 시뮬레이터는 한국철도기술연구원에서 수행중인 도시철도 신호시스템 표준화 과제의 무선통신기반열차제어 시스템의 필드 테스트 전 로밍 모의시험을 위한 것이다. 모의시험은 차상무선통신장치 1대, 지상무선통신장치 3대로 구성되며, 로밍시뮬레이터를 통해 차상무선통신장치와 지상무선통신장치의 로밍시 통신성능을 평가한다. 로밍시뮬레이터는 필드 테스트 전에 사용하여 실제 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 예측하여 인적, 시간적, 경제적 효과를 얻을 수 있다.

2.1 로밍시뮬레이터의 구성

로밍 모의시험장비는 무선통신 송수신기, 무선통신장치, 이동환경을 위한 RF 감쇄기 및 측정 장치등으로 구성되었다. 무선통신 송수신기는 지상무선통신장치와 차상무선통신장치로 구성된다. 지상무선통신장치 AP는 지상의 제어설비로부터 전해진 데이터를 차상으로 전송하기 위해 무선출력으로 변환하고, 차상으로부터 전송되는 데이터를 지상의 제어시스템으로 전송한다. 또한 차상무선통신장치 SA는 차상의 제어기가 지상으로 전송하고자 하는 데이터를 무선출력으로 변환하여 지상의 AP로 전송하고 지상으로부터 전송되는 데이터를 수신한다. 무선이동통신 환경을 위한 RF감쇄기는 AP와 SA의 거리가 가까워지면 수신되는 전파가 강해지고, 반대로 AP와 SA의 거리가 멀어지면 수신전파의 세기가 약해지는 무선통신환경을 설정한다. 또한 무선통신열차제어시스템에서 로밍 모의실험을 위한 시스템 구성은 그림1과 같

고, 각 장치의 특성은 표1과 같다.



[그림1] 무선통신열차제어시스템 로밍 모의시험장비 구성도

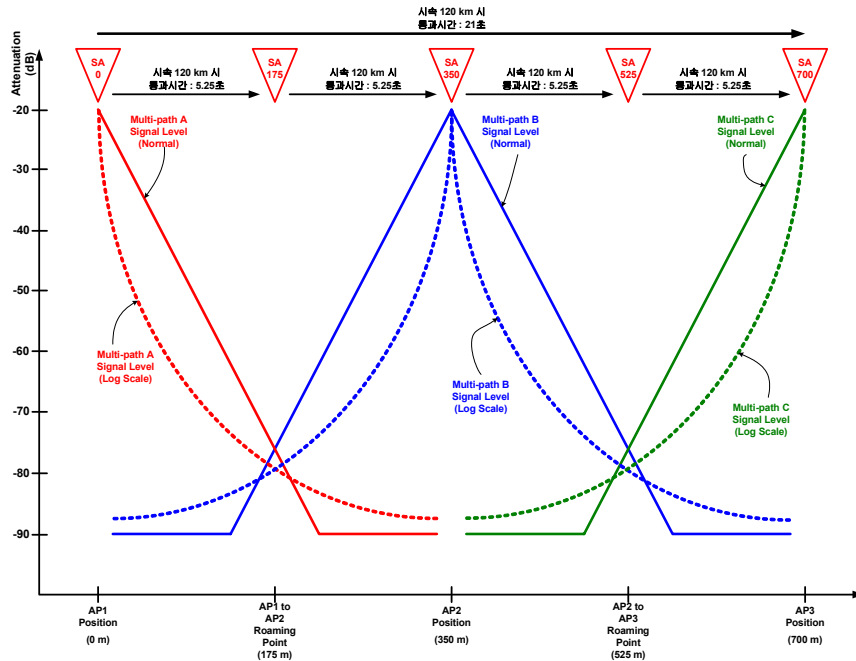
[표1] 무선통신열차제어시스템의 로밍모의시험장비의 구성장치

장치명	모델명	비고
RF 감쇄기	-	H/W 및 S/W
SmartBits	SmartBits600 및 LAN3101B/SVC-1010	네트워크 성능분석 H/W 및 S/W
IxChariot	-	네트워크 성능분석 H/W
Sniffer	-	프로토콜 분석기
Airopeek	-	무선LAN 프로토콜 분석기
네트워크스위치	MS3124-4	산업용 Ethernet 네트워크 스위치
미디어 변환기	RT2-TX/FX	산업용 Ethernet 미디어 변환기
차폐박스		주파수 간섭 차폐
광 케이블		
RF 케이블		
UTP 케이블		
프린터		분석결과 출력

2.2 로밍시플래이더 모의시험환경

이동하는 열차의 무선통신환경을 AP A에서 AP B로의 로밍을 구현하기 위해 GPIB port를 이용하여 attenuator A의 감쇄를 속도와 거리의 함수를 이용하여 점차적으로 크게 하고, attenuator B의 감쇄를 동일한 방법으로 감소시키는 방법으로 지상무선통신장치 AP의 출력을 제어한다. 마찬가지로 AP B에서 AP C로의 로밍을 구현할 수 있다. 실제로 그림 2는 SA의 이동에 따른 AP의 수신감도 특성을 나타낸 것이다. SA와 AP의 거리가 가까울수록 AP이 수신감도는 높음을 알 수 있다. 이때 실험실 환경에서는 동일대역 또는 인접대역 전파의 간섭영향이 없고, 전파의 단일경로만은 가정하였으므로 수신 레벨 특성이 선형적으로 변화한다. 하지만, 실제 필드에서 이동체로 인한 로밍이 발생했을 경우에는 동일대역 또

는 인접대역 전파의 간섭영향을 받고, 전파가 다중경로로 진행하므로 AP의 수신감도특성은 비선형적인 예측할 수 있다. 따라서 그림2와 같이 SA의 이동에 따른 AP의 수신감도 특성을 이용하여 이동통신환경을 구성하였다.



[그림2] 로밍시 SA와의 거리에 따른 AP수신감도특성

이와 같은 원리로 개발된 로밍시뮬레이터를 이용하여 한국철도기술연구원에서 수행중인 도시철도 신호 시스템 표준화 과제의 무선통신열차제어시스템의 로밍 모의시험을 그림1의 구성으로 아래와 같은 항목을 시험하였다.

무선열차제어시스템의 로밍 모의시험을 위한 조건은 다음과 같다.

- ▶ 무선대역 : ISM band(2.4~2.4835GHz)
(동일/인접대역의 전파영향이 없음을 가정함)
- ▶ 데이터전송방식 : DSSS
- ▶ 데이터전송속도 : 11Mbps
- ▶ 수신감도 : -89dBm
- ▶ SA의 이동속도 : 120km/h
- ▶ AP간 거리 : 300m
- ▶ 로밍순서
: SA→AP A → AP B→AP C→AP B→AP A
- ▶ 실험시간 : 30분

2.3 로밍시뮬레이터 모의시험

무선통신기반 열차제어시스템을 위해서는 열차의 이동시 지상의 제어장치와 열차제어정보 송수신을 위하여 차상무선통신장치와 지상무선통신장치사이에 연속적으로 통신을 하기 위해 로밍이 이루어진다. 로밍시 통신성능은 패킷손실율은 1%이하, 로밍타임 100ms이하 등을 만족해야만 무선통신기반 열차제어시스템의 운영이 가능하다(CBTC 표준사양안). 따라서 무선통신기반 열차제어시스템을 위한 지상장치 및 차상장치를 실제 무선구간에 설치하기 전에 통신성능을 확인하기 위해 개발된 로밍시뮬레이터를 이용하여, 패킷손실율, 로밍타임을 시험하였다.

▶ 패킷손실율

열차의 이동으로 인한 SA와 AP사이에 발생하는 로밍으로 패킷의 손실이 생긴다. 패킷손실이 많을 경우 통신이 불가하므로 고신뢰성을 요구하는 열차제어시스템에서는 1%의 패킷손실율을 만족해야한다.

	Events	Events		
	1-01 LAN-3101B	1-04 LAN-3101B		
Tx Frames:	44,327	44,327		
Rx Frames:	44,203	44,142	loss frames:	185
Tx Bytes:	6,383,088	6,383,088	loss bytes:	27643
Rx Bytes:	6,359,047	6,355,445	PL(AP-SA)	0.4330663
Rx Triggers:	0	0		
Collisions:	0	0	loss frame:	124
CRC Errors:	0	4	loss bytes:	24041
Alignment Errors:	0	0	PL(SA-AP)	0.3766359
OverSize:	0	0		
Frag/UnderSize:	0	2		

[그림 3]로밍시뮬레이터를 이용한 송수신 패킷데이터

그림 3은 로밍 모의시험 중 송수신한 패킷데이터이다. 패킷손실율을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

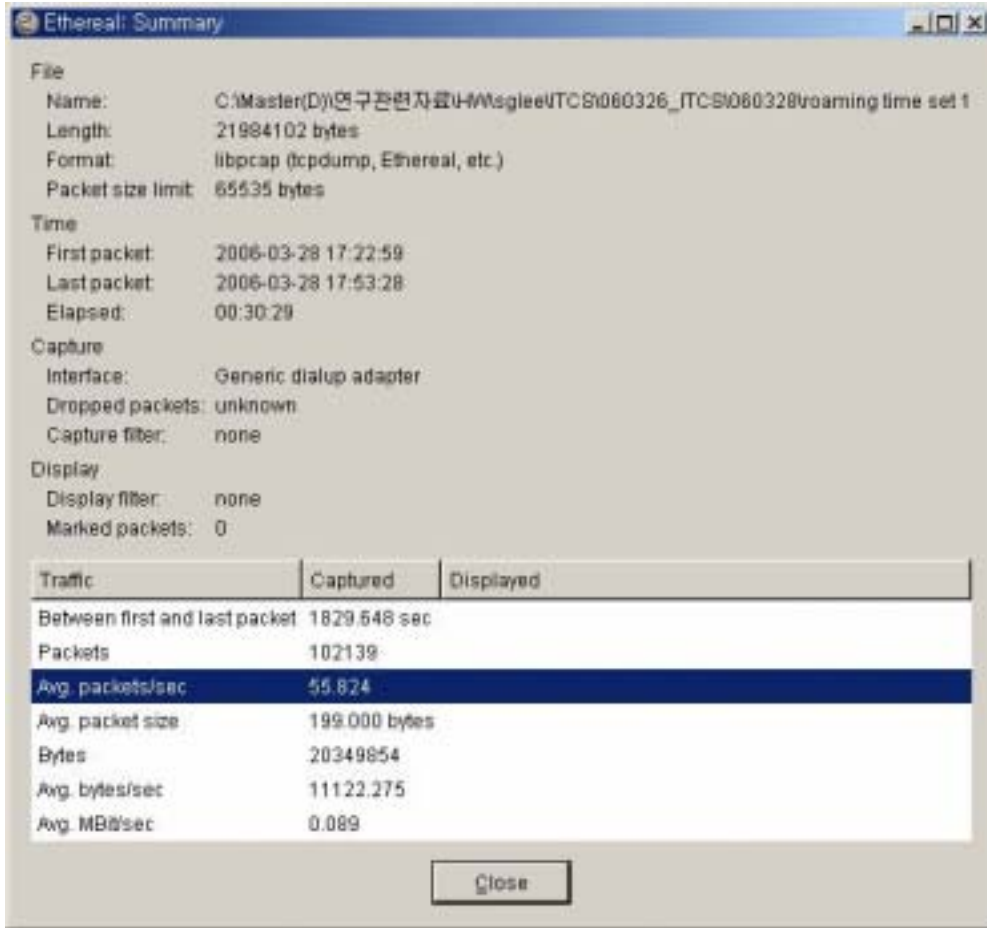
$$AP \rightarrow SA : 100 \times (1 - (SA \text{ Frams(Bytes) Received} / AP \text{ Frams(Bytes) Sented}))$$

$$SA \rightarrow AP : 100 \times (1 - (AP \text{ Frams(Bytes) Received} / SA \text{ Frams(Bytes) Sented}))$$

위 식을 이용하여 패킷손실율을 계산하면 AP-->SA의 프레임과 바이트 손실은 185, 27643이고, 손실율은 약0.43이다. SA-->AP의 프레임과 바이트 손실은 124,24041이고, 손실율은 약 0.38이다. 계산결과 패킷손실율을 약 0.0045이므로 도시철도 표준화사업의 패킷손실 요구사항 1%를 충분히 만족하므로, 무선구간의 로밍기능이 충분히 수행됨을 확인하였다.

▶ 로밍타임

열차의 이동으로 인한 AP사이에 로밍시간을 측정하는 시험이다. 로밍타임은 100ms 이하를 만족해야 한다.



[그림 4] 로밍시뮬레이터를 이용한 로밍타임

그림4는 로밍시뮬레이터를 이용한 로밍타임 값이다. 초당 평균 패킷전송율이 55.824이므로, 역산하여 로밍타임은 약 18ms임을 알 수 있다. 따라서 무선통신기반 열차제어시스템의 요구조건이 100ms이하를 충분히 만족함을 알 수 있다.

3. 결 론

철도에서의 무선통신시스템은 철도선로를 따라 일차원적으로 구성되기 때문에 그 구성이 간단한 반면, 열차제어시스템과 같이 높은 신뢰성 및 안전성을 요구로 하는 고신뢰성 통신네트워크의 구성은 특히 문제가 된다. 무선통신열차제어시스템의 고신뢰성 통신 네트워크 구성을 위한 필드테스트 전 로밍 모의시험이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 차상무선통신장치 1대, 지상무선통신장치 3대와 로밍 시뮬레이터를 통해 차상무선통신장치와 지상무선통신장치의 로밍시 통신성능이 패킷손실율이 1%이하이고, 로밍타임이 100ms이하를 만족함을 확인할 수 있었다.

로밍시뮬레이터는 RF 무선 인터페이스를 사용하는 통신장비의 성능 특성을 측정 및 분석하는 장비로서, 로밍 모의 환경을 구축하기 위해 사용된 RF 감쇄기는 DC에서 18GHz 대역의 주파수에 대하여 로밍 환경을 모의로 구축할 수 있으며, 로밍 성능 시험 및 네트워크 분석을 위한 네트워크 성능 분석기 및 프로토콜 분석기는 현재 개발된 대부분 일반 유무선 네트워크 시스템(WLAN, GSM, Ethernet,

CDMA, TDMA 등)의 프로토콜을 분석/측정할 수 있다. 따라서, 무선 LAN 방식의 CBTC 시스템뿐만 아니라, GSM-R 방식의 ETCS 시스템 등의 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템에서의 로밍 기능에 따른 네트워크의 성능 시험 및 검증에 활용이 가능하다.

향후 로밍시플래이터를 이용하여 지상무선통신장치의 특성, 거리에 따른 무선통신성능을 예측할 수 있고, 뿐만 아니라 선로환경에 따른 안테나의 최적거리를 예측할 수 있으므로 새롭게 도입되는 무선열차제어시스템의 구축의 효율성을 증가시키고, 인력소요등의 비용을 절감할 수 있는 점이 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, “도시철도 신호시스템 표준화”, 도시철도표준화사업 연구결과보고서, 2004.12.
- [2] 한국철도기술연구원, “경량전철 신호제어시스템 기술개발”, 경량전철 기술개발사업 최종보고서, 2004.12.
- [3] I. Watanabe, "위성-이동체 통신을 이용한 철도시스템“, RRR pp.10-13, 1999.9.
- [4] H. Moody, "North American View of Future Communication Systems Need", pp.67-72, Proc. of WCRR '99.
- [5] N. Wunscher, "Common wave train radio : Optimizing reliability and expenditure by use of a new adjustment process", Signal+ Draht, pp.37-41, June 2004.