

철도 무선통신망 연동 방안 연구

조웅* · 최현균** · 조한벽***

A Study on Integration Scheme of Wireless Communications in Railway Wireless Network

Woong Cho* · Hyun-Kyun Choi** · Han-Byeog Cho***

요 약

현재 철도전용 무선통신망은 운행구간에 따라 각기 다른 무선통신방식을 사용하고 있어 차상 내에서 관제국과의 통신을 위해서는 각 구간별로 별도의 통신장치가 필요하다. 철도통신에서 데이터 전송율을 향상시키고 다양한 서비스 제공을 위해 차세대 철도전용 무선통신망으로 LTE-R(Long Term Evolution-Railway)에 대한 연구가 진행되고 있다. 차상 내에서 기존의 통신방식과 LTE-R방식을 사용하기 위해서는 다양한 통신방식을 수용할 수 있는 연동 방안이 필요하다. 본 논문에서는 기존 철도통신방식의 현황 및 LTE-R방식의 필요성에 대해 알아보고, 차상 내에서 하나의 단말기를 사용하여 다양한 통신방식을 연동하기 위한 방안에 대해 소개한다. 또한 무선통신망 연동을 실제시스템에 적용하기 위해 고려해야 할 사항에 대해서도 분석한다.

ABSTRACT

The current railway wireless network uses various communication scheme depending on the section of railway. Therefore, in the train, it is required a specific communication device for the corresponding communication scheme to communicate and exchange data with the control center. To enhance data rate and support various services, LTE-R scheme has been developed for the next generation railway communications. To use both the existing communication and LTE-R schemes, it is required an integration method for encompassing all communication schemes. In this paper, we overview existing railway communications and LTE-R scheme. Then, we develop a network integration method which can be applied by using one terminal in the train. In addition, implementation issues for the integration are also considered.

키워드

Wireless Communications, Railway Wireless Network, Railway Communication, Integration, LTE-R
무선통신, 철도 무선통신망, 철도통신, 연동, LTE-R

1. 서 론

철도에서의 신호는 열차의 위치를 파악하여 철도를 제어하는데 사용되며 [1-2], 통신은 열차를 운용, 유지 및 보수하는 사람들 간의 정보 송수신에 사용된다. 현재 국내의 철도에 사용되고 있는 무선통신 방식은 구

간별로 서로 다른 기술을 사용하고 있다. 철도통신에 사용되고 있는 통신방식은 VHF(Very High Frequency), TRS-ASTRO(Trunked Radio System-ASTRO), TRS-TETRA의 세 가지 방식이 사용되고 있으며 구간별 무선통신 방식은 표 1과 같다 [3-4].

* 중원대학교 컴퓨터시스템공학과(wcho@jwu.ac.kr)

** 한국전자통신연구원(choihk@etri.re.kr)

접수일자 : 2015. 05. 08

*** 교신저자(corresponding author): 한국전자통신연구원(hbcho@etri.re.kr)

심사(수정)일자 : 2015. 06. 13

게재확정일자 : 2015. 06. 23

표 1. 철도 구간별 통신방식

Table 1. Communication method depending on railway section

Items		Communication method		
		VHF	TRS-ASTRO	TRS-TETRA
Conventional railway	All section		○	
Kyoungbu high-speed railway	1 st Step	Seoul~Kwangmyeong	○	
		Kwangmyeong~Daejeon		■
		Deajeon city section	○	
	2 nd Step	Daejeon~Dongdaegu		■
		Daegu city section	○	
		Dongdaegu~Busan		◎
Honam high-speed railway	1 st Step	Osong~Kwangju		◎
	2 nd Step	Kwangju~Mokpo		◎
Metropolitan area high-speed railway	-	Suseo~Pyeongtaek		◎

각 구간별로 각기 다른 통신방식을 사용하여 기관사, 관제사 및 유지보수자간의 소통이 원활하지 않고, 특히 기관사가 여러 개의 단말기를 소지하여 각 구간별에 해당 되는 단말기로 통화를 해야 하는 불편함이 있다. 서로 다른 통신방식으로 인한 통신 단절과 같은 상황은 긴급한 연락이 필요한 경우에 큰 문제를 일으킬 수 있다. 이와 같은 통신 단절을 없애고 통신의 음영지역을 해소를 위해 철도 무선통신망의 통합이 필요하다. 이를 해결하기 위해 철도 전용 무선통신기술로 LTE 통신을 적용하는 LTE-R 방식이 제안되었으며[5] 무선 메쉬(Mesh)를 이용한 열차제어시스템 데이터 전송 기술에 대한 연구가 진행되었다[6]. 유럽에서는 현재 철도통신망으로 사용되고 있는 GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railway) 방식을 LTE-R 방식으로 대체되는 방안도 고려되고 있다[7]. 현재 사용되고 있는 철도통신망을 사용하면서 새로운 통신망인 LTE-R 방식을 수용하기 위해서는 단기적으로는 다양한 철도 통신망을 수용하면서 장기적으로 LTE-R 방식으로 진화해 나가는 방안이 필요하다. 이를 위해서는 기존의

통신방식과 LTE-R 방식간의 망 연동이 필수적이다.

본 논문에서는 먼저 기존 철도무선통신망의 특성에 대해 분석하고 LTE-R 통신방식의 특징에 대해서 소개한다. 이를 바탕으로 하여 기존 무선통신망과 LTE-R방식의 연동 방안에 대해 분석하고 망 연동시 고려해야 할 사항에 대해서 논의한다.

II. 철도 무선통신망 현황

이장에서는 앞 장에서 언급한 기존 철도 무선통신망 및 LTE-R 기술의 현황에 대해 소개한다.

2.1 기존 통신망 기술

VHF는 국내 일반철도에서 열차 운행 시 관제실 또는 기지국과 차량 이동국의 열차 승무원간 또는 휴대 이동국 상호간 통화를 가능하게 하는 설비로 점대점(Point-to-Point)방식의 통신방식을 사용하고 있다. 153MHz의 대역에서 4개의 채널을 사용하여 정보를 주고받는다. 전파의 통달거리 만큼 무전기로 음성 호

출에 의해 통화를 하는 방식이기 때문에 상호간 통화에 사전 약속이 필요하다. VHF의 일대일 통신방식은 다양한 통화(그룹통화, 우선순위 통화 등)방식을 이용할 수 없으며, 철도 무선통신망의 주요 요구사항인 안전성/신뢰성/보안성을 보장 할 수 없다.

TRS는 기존 VHF방식의 주파수 효율, 혼신 및 간섭, 긴급통화 기능을 해결하기 위한 기술로서 아날로그 TRS에서 디지털TRS로 발전하였다. TRS의 기본 서비스는 사용자간 일대일 통화, 일대다 통화, 동적그룹 설정, 긴급통화, 우선순위 통화, 통화 내용 녹음 등의 기능이 있으며, 북미방식인 TRS-ASTRO와 유럽 방식인 TRS-TETRA 두 가지 방식이 있다.

TRS-ASTRO 방식은 2단계로 개발되었는데 1단계는 12.5KHz 당 단일 채널만을 사용하는 FDMA(Frequency Division Multiple Access) 방식을 사용하였으나, 2단계에서는 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식을 도입하고 변조방식을 변형하여 주파수 효율을 향상시켰다. 표 2는 단계별 TRS-ASTRO 기술을 나타낸다[8].

표 2. TRS-ASTRO 단계별 기술 비교

Table 2. Comparison of TRS-ASTRO depending on the development stage

Property	Stage 1	Stage 2
Channel Access	FDMA	TDMA(including FDMA)
Bandwidth	12.5KHz	6.25KHz
Data rate	9.6kbps	9.6kbps
Modulation scheme	C4FM	CQPSK

TRS-TETRA 방식은 1995년 25KHz의 대역폭으로 4채널을 제공하는 Release 1(R1)과 2006년 R1에 데이터 서비스기능을 향상시킨 Release 2(R2)의 두 가지 방식이 있다. R2는 기존 R1과의 호환성을 보장하기 위해 네트워크 구조 변경 없이도 간단하게 R2로 업그레이드가 가능하도록 설계되었다. 표 3에 R1과 R2의 기술을 비교하여 나타내었는데, R2 기술은 기존의 R1 방식이 사용하는 대역폭 및 채널접속 방식을 수용하면서 다양한 변조방식을 적용하여 데이터 전송율을 향상시킨 것을 확인할 수 있다[8].

표 3. TRS-TETRA Release별 기술 비교

Table 3. Comparison of TRS-TETRA depending on the release

Property	Release 1	Release 2
Frequency range	380MHz, 800MHz	Multi-band (up to 1GHz)
Channel Access	TDMA	TDMA
Data rate	7.2~36kbps	54~690kbps
Modulation scheme	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK, 4QAM/16QAM/64QAM

TRS-TETRA 방식은 개별통화, 그룹통화, 전화접속통화, 일제통화, 비상통화 및 직접통화와 같은 음성 서비스를 제공하며, 메시지 및 패킷 전송과 같은 데이터 서비스도 제공한다. 서비스의 제공이 가능한 속도 측면에서는 R1은 300km/h의 이동속도를 지원하고 R2는 400km/h 이상의 속도를 지원하도록 되어있다. TRS-TETRA 방식은 VHF나 TRS-ASTRO 방식에 비해 다양한 통화 방식 및 부가 서비스를 제공하며 철도 무선통신으로 활용가치가 높다. 그러나 열차제어 시스템 미적용, 국외기술독점으로 인한 국산화의 한계, 고속 데이터 서비스의 어려움이 있다[9].

2.2 LTE-R

현재 유럽에서는 GSM-R 기술을 이용하여 철도 무선통신에 적용하고 있으나 GSM-R은 전송 용량이 제한적이며, 메시지 전송지연이 400ms여서 실시간 적용에 부적합하며, 약 7초의 긴 셋업 시간(setup time)을 가지는 단점이 있다. 물리계층 측면에서 볼 때 LTE-R 방식은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 및 64QAM변조 방식을 지원하고 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기술을 적용할 수 있어 데이터 전송율을 향상시킬 수 있다. 또한 LTE-R기술은 GSM-R방식에 비해 망의 유용성을 높일 수 있으며 QoS(Quality of Service)전송이 가능함에 따라 철도와 같이 안전에 민감한 시스템에 적용할 수 있다. 또한 패킷 지연을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다[10]. 따라서 UIC(International Union of Railways)에서는 2011년부터 GSM-R의 진화 기술로

LTE-R에 대한 논의를 시작하였다. 기존의 철도 무선 통신방식의 단점을 해결하고 고속운행지원, 기능성(그룹통화, 데이터 서비스, 통화품질 등), 안전성을 기반으로 다양한 무선통신기술을 고려해본 결과 LTE-R 방식이 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 이를 기반으로 하여 국내에서는 LTE-R방식의 일부기술을 개발하여 시연하였다[5],[8].

III. 철도 무선통신망 연동 방안

이 장에서는 기존 철도 무선통신망들과 LTE-R 망을 연동하기 위한 방안을 차상 내 장치에 초점을 맞추어 분석한다. 차상 내에서 기존의 무선통신방식과 LTE-R 방식을 동시에 수용하기 위해서는 기본적으로 모든 통신방식을 송수신할 수 있는 장치가 필요하다. 이 장치는 단말장치 혹은 게이트웨이 형태로 구현될 수 있으나, 단말장치 형태로 구현될 경우 여러 가지 통신방식을 동시에 수용하기 위해서는 단말기의 하드웨어 복잡도가 증가하고 단말기의 크기가 증가하는 단점이 있다. 따라서 차상에 게이트웨이를 설치하고 이 게이트웨이를 통해 차상 내에서 하나의 단말기를 사용하여 신호를 송수신 하는 형태를 고려한다. 본 논문에서는 게이트웨이를 사용하는 형태를 이용하여 두 가지 연동방안을 제시한다.

3.1 망 연동 방안 1

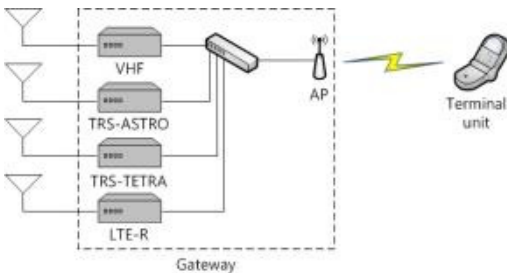


그림 1. 무선통신 연동 방안 1

Fig. 1 Integration of wireless communications: Integration method 1

그림 1에 첫 번째 연동방안을 나타 내었다. 게이트웨이에 모든 통신방식(기존 방식 및 LTE-R)을 수용

할 수 있도록 하고 게이트웨이에서는 여러 개의 수신 신호 중 하나를 선택하여 AP(Access Point)로 보낸다. AP는 단말장치와의 통신을 이용하여 정보를 송수신 한다. 이와 같은 형태에서는 단말장치는 AP와의 통신만 가능하도록 구현될 수 있다.

3.2 망 연동 방안 2

그림 2에 두 번째 연동 방안을 보여준다. 여기서는 게이트웨이에서 기존의 통신방식(VHF, TRS-ASTRO, TRS-TETRA)만 수용하여 여러 개의 수신신호 중 하나를 선택하여 AP로 보낸다. AP에서의 신호는 단말기와 정보를 송수신 한다. LTE-R신호는 게이트웨이를 거치지 않고 직접 단말기와의 통신을 통해 정보를 송수신 한다.

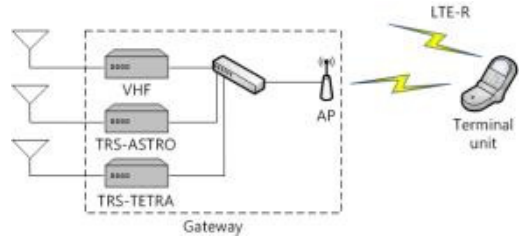


그림 2. 무선통신 연동 방안 2

Fig. 2 Integration of wireless communications: Integration method 2

연동 방안 1과 2의 차이점을 살펴보면 연동 방안 1의 게이트웨이는 모든 통신방식을 수용하는 반면 단말기는 AP와의 통신만 지원한다. 연동 방안 2에서는 게이트웨이가 기존 통신방식만 지원을 하는 반면 단말기는 AP 및 LTE-R 방식과의 통신 두 가지를 동시에 지원한다. 연동 방안 1은 단말기가 AP와의 통신만 지원하기 때문에 단말기 구조가 간단해지는 장점이 있다. 하지만, 기관사나 사용자가 차상을 벗어나 AP의 통신반경을 넘어서게 되면 통신이 불가능하게 되는 단점이 있다. 연동 방안 2는 단말기의 구조는 방안 1에 비해 복잡해지지만, 추후 전체 철도 무선통신망이 LTE-R로 구성될 경우 단말기의 교체 없이 사용이 가능하다. 또한 차상 외에서도 LTE-R 망을 이용하여 통신이 가능한 장점이 있다.

IV. 구현 이슈

이 장에서는 앞 장에서 제시한 망 연동 방안 및 LTE-R 방식 구현 시 고려해야 하는 사항에 대해 논의한다.

4.1 망 연동시 고려사항

가장 먼저 고려해야 할 사항이 앞 장에 언급 되었던 단말기의 구조이다. 단말기 자체가 LTE-R 방식의 수용 여부에 따라 게이트웨이의 구조와 단말기/게이트웨이의 기능이 달라질 수 있다.

다른 고려사항 중 하나는 통신방식의 우선순위 결정이다. 즉 LTE-R 방식이 추후 전체 철도 무선통신망으로 바뀐다 하더라도 LTE-R 망과 기존망의 신호가 동시에 수신되는 경우 어느 신호에 우선순위를 두고 통신을 해야 할지 결정해야 한다. 우선순위를 수용하여 신호를 선택하는 기능은 방안 1은 게이트웨이에서 방안 2는 단말기에서 수행하게 된다.

또 다른 고려 사항은 철도의 특수성에 따른 차상장치의 결합에 따른 통신신호의 처리방식 여부이다. 철도 운행시 차상장치가 빈번하게 결합 및 분리가 가능한데 이러한 경우의 데이터 처리에 대한 고려가 필요하다. 새로운 차상장치가 결합했을 때 단말기가 새로운 차상장치로 이동하는 경우에도 통신이 끊김 없이 가능해야 한다. 이를 위해서는 차상장치 간에 데이터를 송수신 할 수 있는 장치가 필요하다.

4.2 LTE-R 구현시 고려사항

철도통신에서는 무선통신기술을 음성이나 데이터를 송수신하는 통신목적과 더불어서 열차 및 신호를 제어하는데도 사용한다. 유럽의 GSM-R에서는 ETCS(European Train Control System) 메시지를 정의하여 사용하고 있는데, ETCS 메시지는 아래와 관련된 요구사항을 만족하도록 정의하고 있다.

- 수신 신호 세기
- End-to-End 지연
- 데이터 전송율
- 연결실패 확률
- 핸드오버중 최대 단절
- 비트 오류율
- 열결설정 지연
- 연결설정 실패 확률

LTE-R 구현 시에도 ETCS에서 정의된 항목들의 요구사항을 LTE-R 기술에 맞게 재정의하여 안전에 민감한 철도 응용사항에도 적용할 수 있도록 하여야 한다.

이와 더불어 국내에서 고려해야 할 사항은 재난망 및 기존 망과의 간섭여부이다. 현재 국내에서는 국가 재난에 대비하여 PS-LTE(Public Safety-LTE)를 구축할 계획을 가지고 있는데, PS-LTE와 LTE-R이 동일한 주파수를 사용하는 경우 이를 어떻게 해결할지에 대한 방안이 필요하다. 국가 재난과 같은 긴급상황시 혹은 철도 운행 중 긴급 상황 발생시 동일 주파수의 사용으로 인한 간섭은 자칫 또 다른 큰 사고를 일으킬 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 철도 무선통신망의 연동 방안에 대해 분석하였다. 먼저 기존의 철도 무선통신 방식의 특징에 대해 조사하였으며, 차세대 철도 무선통신 방식으로 논의되고 있는 LTE-R에 대해 소개하였다. 이를 바탕으로 하여 두 가지 망 연동방안에 대해 소개하였는데, 첫 번째 방안은 하나의 게이트웨이로 기존 통신방식과 LTE-R을 모두 수용하는 방안이며, 두 번째 방안은 기존의 통신방식은 게이트웨이를 통해서 수용하고 LTE-R방식은 독자적으로 단말기와 LTE-R 통신망 간에 통신을 하는 방식이다. 이를 바탕으로 하여 실제 시스템 구현시 고려해야 할 사항들에 대해서도 논의하였다. 본 논문에서 소개된 연동 방안은 실제 망 연동 시스템 구현시 참고가 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업 (14RTRP-B088444-01)의 일환으로 수행하였음.

References

[1] H. Jung, Y. Ko, C. Li, and K. Lee, "Study on precise positioning using hybrid track circuit

system in metro," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 471-477.

- [2] D. Yang, C. Li, Z. Jin, K. Lee, and Y. Ko, "A study on hybrid track circuit tag recognition enhancement," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 537-542.
- [3] 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.
- [4] J. Choi, K. Kim, Y. Kim, S. Kim, and Y. Choi, "Review of domestic foreign integrated wireless network for railways," In *Proc. Spring Conf. of the Korea Society for Railway*, Mokpo, Korea, May 2012, pp. 1320-1324.
- [5] 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.
- [6] H. Yun, K. Lee, D. Yang, S. Oh, H. Jung, and S. Ryou, "A study on the development of train control system data transmission technology using a wireless mesh," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2011, pp. 149-156.
- [7] M. Liem and V. B. Mendiratta, "Mission critical communication networks for railways," *Bell Labs Technical J.*, vol. 16, no. 3, 2011, pp. 29-46.
- [8] J. Gu, S. K. Jeong, C. H. Jeong, W. M. Nam, J. Y. Seo, H. Y. Yu, and J. S. Kim, *A study on standard and method that frequency reassignment of telecommunication operators*. Seoul, Korea, Korea Radio Promotion Association, 2010.
- [9] S. Lee and S. Kim, "A study of wireless communication network constructing policy plan for a efficient railroad system infrastructure," *J. of the Korean Society for Railway*, vol. 16, no. 4, 2013, pp. 262-271.
- [10] A. Sniady and J. Soler, "Performance of LTE in high speed railway scenarios impact on transfer delay and integrity of ETCS messages," *Lecture Notes on Computer Science* 7865, 2013, pp. 211-222.

저자 소개

조 응(Woong Cho)



1997년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1999년 한양대학교 대학원 전자통신공학과 학과 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

최현균(Hyun-Kyun Choi)



1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2015년 2월 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1997년 1월~2000년 5월 대우전자 주임연구원

2000년 6월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원 재직

※ 관심분야 : 차량간통신, ITS, PON 통신

조한벽(Hanbyeog 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