

# 무선통신 무결성 확보를 위한 LTE-R 기반 MIMO 시스템 구성 및 분석

## Configuration and analysis of LTE-R based MIMO system for ensuring radio communication integrity

선상혁\*<sup>†</sup>, 심재만\*, 이덕환\*\*

Sanghyeok Sun\*<sup>†</sup>, Jaeman Shim\*, D.H Lee\*\*

**초 록** 국내 주요 철도기관들이 현재 4세대 LTE 기술을 활용한 무선기반 열차제어시스템에 대하여 국내 철도 운영 효율화와 해외시장 진출 교두보 마련 등을 목표로 적극적으로 기술 확보를 위해 노력하고 있다. 이와 같이 무선 기반의 열차제어시스템 LTE-R은 철도 미래의 결정적인 기술로서 반드시 확보가 필요하다. 일반적으로 LTE-R를 구축하는데 있어서 업링크의 MIMO 구성과 변조방식은 다운링크에 비하여 제한적이다. 철도통신에서는 음성외 열차를 자동 운행케 하는 신호설비 등의 중요한 데이터들은 양방향 무선 환경에서 생존성 즉 무결성 확보가 필수적이다. 본 논문은 양방향 무선통신에서 STC 기술을 적용하여 공간 다중화 경로 수에 따른 무선 품질 개선과 무선망 다중화 구현의 생존성 극대화를 통한 무결성 확보 방안을 제안한다.

**주요어** : LTE-R, MIMO, STC, Diversity, BER Curve, Radio Network Redundancy

### 1. 서 론

LTE-R은 철도기술연구원이 주축이 돼 2010년부터 개발한 LTE 기반 철도 무선망이다. 외산 기술 일색인 철도 통신을 국산화하고 국내 환경에 최적화된 통신망 구축에 목적이 있다. 기존 통신망에서 볼 수 없는 고속 이동통신과 데이터통신, 그룹통화 등 철도 통신에 필요한 기능을 정의하였다. 한국형 열차제어 시스템(KRCS)의 핵심 통신 기술로 지속적 활용 예정이며 현재 부산교통공사, 인천공항철도, 한국철도공사 등에서 구축 후 운영 중이다. 그러나 주로 열차 자동 운행과 관련 없는 음성 및 영상신호에만 적용되어 제한적으로 운영 중이며 열차 자동운행을 위한 신호설비의 데이터 통신 운용 상용화는 지연되고 있다. 따라서 본 논문에서는 신호설비에 적용하기 위한 무선 성능의 무결성 확보 및 개선 방안을 제안하고자 한다.

### 2. MIMO 구성 및 Simulation

#### 2.1 MIMO 설명 및 운용 현황

##### 2.1.1 MIMO 설명

MIMO 기술은 Multi Input Multi Output 의 약어로서 Capacity(용량) 향상을 위한 공간 다중화 기술이다. 송신기는 소스에 의해 출력된 직렬 비트 스트림을 다수의 병렬 서브 스트림들로 변환하고 동일한 시간 슬롯 및 동일한 주파수 대역을 사용하여 서로 다른(다중) 전파 (공간) 경로를 통해 서로 다른(동일한) 데이터를 전송한다. 이를 공간적 다양성(공간 다중화) 이라고 한다. 수신기는 송신에서 다중 경로에 의해 야기되는 다중 수신 신호의 비 상관을 사용하여 혼합 신호로부터 원래의 서브 스트림을 분리한다. MIMO 기술은 무선 자원의 공간 재사용 및 다양성을 가능하게 하여 스펙트럼 활용도를 크게 향상하고 높은 품질의 링크 가용성을 제공하는 기술이다. 그림1과 같이 송수신 안테나의 수량 설계에 따라 기본(1×1, SISO(single Input Single Output))과 비교하여 2×2(송신안테나 수량 ×수신안테나 수량)는 2배, 3×3은 3배,

<sup>†</sup> 교신저자: 네오트랜스(주) 지상시스템팀

\* 네오트랜스(주)

\*\* (주)휴니드테크놀러지스 연구소/통신전자개발팀

4×4는 4배 까지 용량이 증가 한다. 따라서 다중 경로 구성 개수 M에 의해 통화용량이 선형적으로 증가한다.

$$\text{통화용량} = BW \times M \times \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

BW : 채널대역폭

S/N : Signal과 Noise 크기 차이(dB)

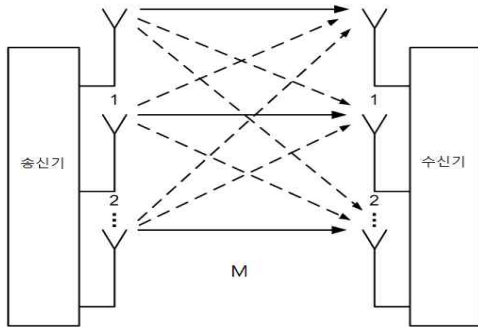


Fig. 1 MIMO 기술 구현을 위한 공간 다중화

MIMO 기술을 구체적으로 나누어 보면 공간 다중화 기술을 전송 속도 향상 기술에 적용한 방안이 Spatial Multiplexing 기술이며 속도보다는 무선 통신의 품질 향상 기술인 STC(Space & Time diversity Coding) 기술로 구분된다. (본 논문에서는 빔포밍 기술(Array Antenna)은 제외) 아래 그림2와 같이 본 논문에서는 LTE-R 무선설비의 양방향 통신을 상기 두 개의 기술을 활용하여 효율적으로 무선자원이 가용되도록 그 성능을 검증 및 분석하였다.

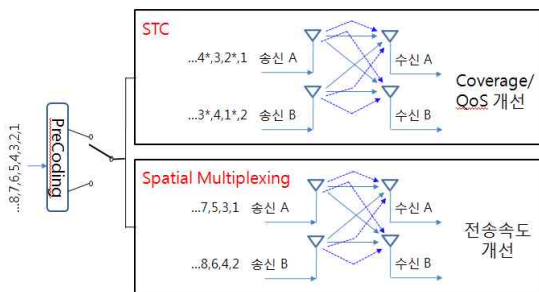


Fig. 2 MIMO 기술의 구분

### 2.1.2 MIMO 기술의 운용 현황

실제 현장에서 운용되고 구성은 기지국

에서 단말기로의 다운링크는 커버리지에 자유롭기 때문에 전송속도 향상을 위한 공간다중화 안테나를 다수 설치할 수 있다. 그러나 단말기에서 기지국으로의 업링크는 단말기의 공간 다중화 구현을 위한 다수 송신 증폭기 설계가 필요하므로 전력 소모 문제와 상반된다. 일반적으로 휴대용 단말기는 2개의 안테나로 구현되지만 1개는 송수신 겸용이며 1개는 수신전용으로 구현되어 사용되고 있다. 결국 단말기 송신은 다중화에 제한적이며 다운로드 전송속도가 업링크 전송속도보다 항상 크게 정의된다.(하기 표1 참조) 또한 업링크는 기지국내 서비스 커버리지를 결정짓는 중요 요소이므로 전송속도 향상을 위하여 표 1과 같이 변조 방식도 제한적이다. 그러나 철도에 적용되는 단말기는 열차에 설치되므로 공간 다중화를 위한 안테나의 설치 공간과 각 다중 경로 구현을 위한 증폭기 설계 등 전력소모에 자유롭다. 따라서 MIMO 기능이 적극 적용 가능하다. 다운링크 뿐만 아니라 업링크 또한 균형적으로 개선시킬수 있다. 그림2를 보면 공간다중화 설계는 모뎀 이후 설비들을 각각 독립적인 경로로 구현되어야만 한다. 따라서 시스템 다중화에 의한 안정성도 구현되며 동일한 데이터가 다중 공간으로 전송되기 때문에 무선망 이중화(2×2)도 가능하고 다중화(3×3 이상)도 가능하여 시스템 안정화 및 생존성을 극대화하는 방안으로 고려할 수 있다. 또한 반면에 철도 통신에서는 단말기(열차)가 기지국(지상설비)으로 송신해야 할 데이터가 기존 이동 통신과는 다르게 대용량(객실내 영상 등) 전송도 필요하다. 이 경우 Spatial Multiplexing 기술도 요구 된다. 채널 품질과 무선 상태는 전송속도에 영향을 준다. MCS(Modulation and Coding Scheme)와 CQI(Channel Quality Indicator)를 기반으로 전송속도가 결정된다. 이러한 기능을 자동 적응변조 기술이라 하며 다양한 디지털 변조방식과 Coding 방법에 의하여 정의된 MCS Table에 따라 데이터를 전송하고 무선환경에 따라 실시간 지속 가변한다. 따라서 전송 데이터의 중요도에 따라 임의로 MIMO방식 선정이 고정 및 자동으로 설정 될 수 있다.

LTE UE Category Data Rates (RF CH BW : 10MHz)

Category	1	2	3	4	5	12
Down-link (Mbps)	5	25	50	75	150	300
Up-Link(Mbps)	2.5	12.5	25	25	37.5	50

LTE UE Category Modulation formats supported (RF CH BW : 10MHz)

Category	1	2	3	4	5	12
Down-link	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM					
Up-Link	QPSK, 16QAM			QPSK 16QAM 64QAM		

LTE UE Category Modulation formats supported

Category	1	2	3	4	5	12
2Rx Diversity	Assumed in performance requirements across all LTE UE categories.					
2X2 MIMO	Not supported		Mandatory			
4X4 MIMO	Not supported				Mandatory	

표. 1 UE(단말기=(열차설비)) Specification

## 2.2 STC 기술과 Simulation

### 2.2.1 STC 기술 설명

MIMO 중 STC 기술은 Coverage 향상 기술이다. 동일한 Coverage내에서는 무선 전파 품질을 향상시킨다. 변조 심볼들을 시간영역 및 공간영역을 통해 매핑(코딩)시키는 다중 안테나 전송 기술을 말한다. 송신안테나에 동일한 신호를 코딩하여 전송하기 때문에 송신 다이버시티에 의한 신호대 잡음비가 향상되어 데이터 전송의 신뢰도를 향상시킨다. 신호를 코딩하는 방법에 따라 2가지 형태의 STC가 있다. 격자코드를 사용하면 Space-time trellis code (STTC), 블록코드를 사용하면 Space-time block code(STBC) 라고 한다.

### 2.2.2 STC Simulation 및 분석

하기의 그림들은 mathwork사의 matlab version 2012b 버전으로 simulation을 수행한 결과물이다. 하기 그림3과 그림4는 변조방식 16QAM /64QAM 전송 조건과 AWGN과 Multi-Fading 환경 조건하에 1안테나 (1×1, SISO)에서 4 안테나 (4×4, MIMO)의 STC에 대한 각 Eb/No 조건의 Constellation Diagram 이다. 공간 다중화를 위한 안테나 수가 많을수록 각각 좌표값내 중앙으로 집중됨을 알 수 있다. 이는 수신기 측면에서 EVM(Error Vector Magnitude)이 개선된다.

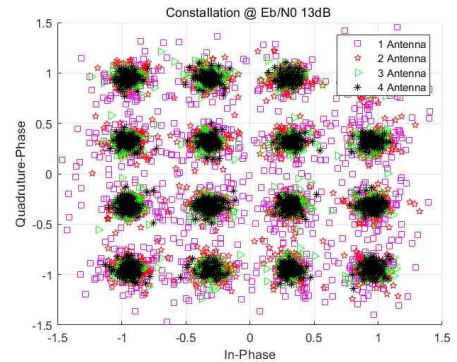


Fig. 3 16QAM Constellation Plot

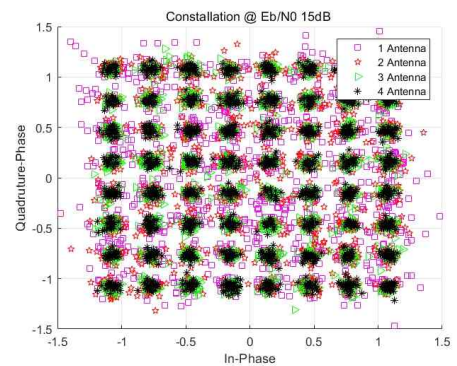


Fig. 4 64QAM Constellation Plot

그림5와 6은 변조방식 16QAM/64QAM 변조 조건과 AWGN 및 Multi-Fading 환경 조건하에 1안테나 (1×1, SISO)에서 4안테나 (4×4, MIMO) STC의 Eb/No와 BER 관계를 보여주고 있다. 흑색 가로라인으로 분석해보면 동일한 BER 10<sup>-3</sup> 조건에서 변조방식 16QAM 인 경우 1안테나는 요구되는 Eb/No 값이 존재하지 않고 2안테나는 약 18dB, 4안테나는 약 14dB이고 동일한 BER 10<sup>-3</sup> 조건에서 변조방식 64QAM 인 경우 1안테나는 요구되는 Eb/No 값이 존재하지 않고 2안테나는 약 21dB, 4안테나는 약 18dB로서 디지털 변조방식과 코딩율과 상관없이 공간 다중화 구현은 무선링크의 신뢰성이 향상됨을 확인할 수 있다. 이는 최종적으로 수신기 측면에서 수신감도가 개선되어 무선링크의 무결성 확보 및 개선이 이루어진 것이다.

## 4. 후 기

(주)휴니드 테크놀로지스 연구소 통신전자 개발팀이 본 논문의 분석 및 연구에 공동 참여함. (상기사는 Mathwork사 matlab 2012b 버전 라이선스 보유)

## 참고문헌

- [1] Lucian Andrei Perișoară, BER Analysis of STBC Codes for MIMO Rayleigh Flat Fading Channels (2012), Telfor Journal, Vol. 4, pp 78-82.
- [2] Erk Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, 조봉열역, LTE/LTE-A 완벽가이드(2015), 홍릉과학출판사, pp. 263-313, 350-378, 493-500
- [3] 이상근, Easy LTE(2015), 한빛아카데미, pp 52-150

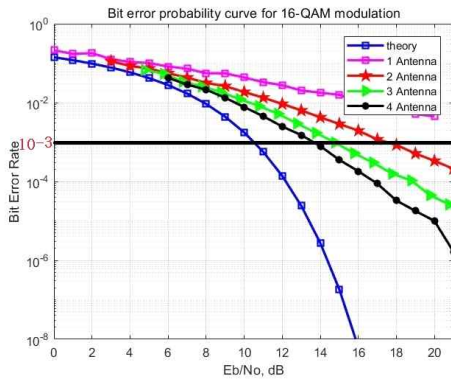


Fig. 5 BER Probability Curve for 16QAM

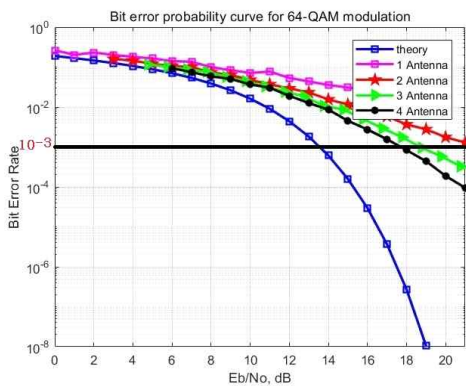


Fig. 6 BER Probability Curve for 64QAM

## 3. 결 론

일반적으로 LTE를 구축하는데 있어서 업링크의 MIMO 구성은 제한적이다. 그러나 철도 통신에서 음성을 위한 휴대용 단말기를 제외하고 열차에 실장되는 단말기는 설치공간과 전력소모에 자유롭다. 따라서 MIMO 기술이 적극 적용 가능하다. 본 논문에서 제안하는 내용은 다운링크 뿐만 아니라 업링크를 포함한 양방향 무선통신에서 중요도가 높은 데이터는 공간 다중화 경로 수에 따른 무선 품질 개선과 무선망 다중화 구현의 생존성 극대화를 통한 무결성 확보를 위하여 STC 기술을 적용하고 영상과 같은 중요도가 비교적 낮은 대용량 데이터는 Spatial Multiplexing 기술이 신호/통신 설비에 적용 가능하도록 그 성능을 분석 및 검증하였다.