

재밍 환경에서 LTE DM-RS 검출 성능 분석

김광열*, 오선애, 김경진 (솔리드윈텍)

*kimky@solidwt.co.kr (교신저자)

Analysis of LTE DM-RS Detection Performance in Jamming Environments

Kwang-Yul Kim, Wu Shanai, and Kyoung-Jin Kim (SOLiD WiNTECH)

요약

본 논문은 군에 LTE (Long-Term Evolution)/5G (Generation) 상용 이동통신을 적용 시 고려해야 하는 사항 중 하나로써 재밍 환경에서 DM-RS (Demodulation Reference Signal) 검출 성능을 모의실험을 통해 분석하였다.

I. 서론

LTE는 4세대 상용 이동통신 기술로서 5G 이동통신의 물리계층 기술과 유사하며, 군에서는 상용 이동통신 기술을 활용하기 위해 노력하고 있다 [1]. LTE 상향링크는 제어 채널인 PUCCH (Physical Uplink Control Channel)와 데이터 채널인 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)로 구성되며, PUCCH와 PUSCH에는 동기 및 채널 추정을 위한 DM-RS (Demodulation Signal)가 한 슬롯당 4번째 심벌 시간에 위치하고 있다. 재밍 전략은 제한된 재밍 전력과 시간으로 통신 신호를 효율적으로 교란하는 것으로써 전송 시스템의 파라미터를 추정하여 교란하는 방식이 연구되고 있다[2]. 따라서 적군이 DM-RS 수신 시간에 맞춰서 재밍을 수행할 경우 상향링크 신호에 대한 동기 검출이 불가능하고 채널 추정에 심각한 오류를 일으켜 수신 성능의 열화가 급격하게 발생될 수 있다. 이에, 본 논문은 LTE/5G를 군에 적용 시 고려해야 하는 사항의 하나로써 재밍 환경에서 DM-RS 검출 성능을 모의실험을 통해 분석한다.

II. 시스템 모델

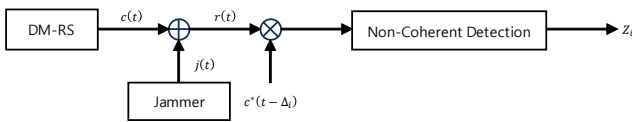


그림 1. DM-RS 송수신 및 재머 모델

그림 1은 본 연구에서 고려하는 시스템 모델로서 DM-RS 송신기와 검출기, 그리고 적군의 재머로 구성된다. DM-RS의 대역폭은 PUSCH 전송 대역폭과 동일하며, LTE는 1.4, 3, 5, 10, 15, 20MHz 채널 대역폭을 지원한다. DM-RS는 CAZAC (Constant Amplitude Zero Auto-Correlation) 특성이 있는 Zadoff-Chu 수열 (Sequence)을 사용한다[3]. DM-RS 검출기는 일반적인 비동기 검출 (Non-coherent Detection) 방식을 사용하며, 출력값 Z_i 은 식 (1)과 같이 표현된다[4].

$$Z_i = \left| \frac{1}{\sqrt{T_p}} \int_0^{T_p} r(t) \cdot c(t - \Delta_i)^* dt \right|^2, \quad (1)$$

여기서 T_p 는 DM-RS 전송 시간, $r(t)$ 는 수신 신호, $c(t)$ 는 전송된 DM-RS, 그리고 Δ_i 는 탐색 윈도우 W 에서 i 번째의 시간 오프셋이다. 식 (2)는 오경보율 P_{FA} 와 윈도우 길이 W 에 따른 임계치를 표현한 것으로 Z_i 가 임계치 η 보다 높을 때 검출로 판정한다[4].

$$\eta = -N_0 \log(1 - (1 - P_{FA})^{(1/W)}), \quad (2)$$

여기서 N_0 는 잡음 전력 스펙트럼 밀도이며, 재밍 환경에서는 일반적으로 잡음을 고려하지 않기 때문에 재밍 전력 스펙트럼 밀도 N_j 로 치환한다. 이때 적군의 재머는 광대역, 부분대역, 그리고 다중 톤 재머를 가정한다.

III. 모의실험 결과 및 결론

모의실험을 통해 DM-RS 검출 성능을 측정하였다. 모의실험을 위한 주요 파라미터로 DM-RS 전송 대역폭은 18MHz이며, 수신기에서의 오경보율 P_{FA} 는 10^{-2} , 탐색 윈도우 길이 W 는 100, 안테나는 1개이다. 재머에서의 부분대역 재밍 비율 ρ 와 다중 톤 재밍 비율 μ 는 각각 0.1 (1.8MHz)과 0.01 (180kHz)로 설정하며, 무선채널 환경은 Rayleigh 페이딩 채널이다.

그림 2는 모의실험 결과를 도시한 것이다. 광대역 재밍은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)의 특성과 동일하기 때문에 [4]에서의 이론적인 성능에 수렴하였으며, 이를 통해 시스템 모델이 검증되었다고 할 수 있다. 부분대역 재밍은 상향링크와 동일한 SC-FDMA (Single Carrier Frequency-Division Multiple Access)로 생성하였으며, 다중 톤 재밍은 각 톤이 SC-FDMA의 각 주파수 오프셋을 교란시키도록 하였다. 모의실험을 통해 부분대역 및 톤 재밍의 비율이 0.01일 때 재밍 대역폭은 좁지만 유효 재밍 전력 스펙트럼 밀도가 커짐으로써 DM-RS 검출 성능이 저하되었고, 특히 $E_p/N_j=6$ dB가 보장되어야 90%의 검출이 가능함으로써 광대역 재밍보다 약 20dB의 성능 열화가 발생된 것을 볼 수 있다. 이를 보완하기 위한 방법으로는 각 슬롯당 전송되는 DM-RS를 누적하는 방법을 고려할 수 있다. 추후에는 다양한 재밍 환경에서의 검출 성능을 이론적으로 분석하고, DM-RS가 교란 받았을 때에도 채널 추정을 할 수 있는 방법에 대해 연구를 수행할 예정이다.

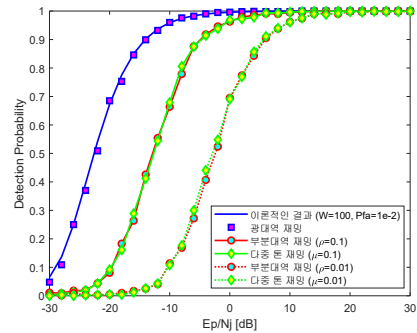


그림 2. 재밍 환경에서의 DM-RS 검출 성능

참고 문헌

- [1] 한명수, 안병오, "5세대(5G) 이동통신 기술의 군사적 활용 방안," 국방논단 제1859호(21-27), 2021년 7월 5일.
- [2] H. Pirayesh and H. Zeng, "Jamming attacks and anti-jamming strategies in wireless networks: A comprehensive survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 24, no. 2, pp. 767-809, March 2022.
- [3] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *4G: LTE/LTE-advanced for mobile broadband*. Academic press, 2013.
- [4] H. Moon and S. Choi, "Channel-adaptive random access for TDD-based wireless systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 6, pp. 2730-2741, July 2011.