

# LTE-TDD 시스템에서 혼합 ARQ 응답을 이용한 적응적 변조 코딩 구성 선택 알고리즘

백정연\*, 박지혜\*, 홍인기<sup>o</sup>

## An adaptive Modulation and Coding Scheme Selection Algorithm Using Hybrid ARQ Acknowledgments in LTE-TDD Systems

Jung-yeon Baek\*, Ji-hye Park\*,  
Een-kee Hong<sup>o</sup>

### 요약

본 논문은 TDD(Time division duplex) 시스템에서 CQI(Channel quality indicator)뿐만 아니라 HARQ(Hybrid-ARQ) 응답을 고려한 MCS 선택 알고리즘을 제안한다. LTE/LTE-A 시스템에서 사용되는 AMC(Adaptive modulation and coding scheme)는 단말로부터 전송된 CQI에 의해서만 결정된다. 하지만 채널 상태에 부적절한 CQI가 보고될 경우 BLER과 Throughput의 성능이 낮아질 수 있으며, CQI 전송 주기 사이에는 채널 변화가 고려될 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 CQI 뿐만 아니라 HARQ 응답을 이용한 적응적 MCS 선택 방법을 제안한다. 실험을 통해 제안하는 방식이 기존 MCS 선택 알고리즘에 비하여 목표 BLER 성능에 우수하게 도달하는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Time division duplex, Link adaptation, Adaptive modulation and coding scheme, Channel quality indicator, Hybrid-ARQ

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new modulation and coding scheme(MCS) level selection algorithm in TDD system that utilize block error rate as well as channel quality indicator(CQI). The conventional MCS selection is carried out with only CQI received from user and inappropriate MCS selection might be occurred due to inaccurate channel estimation and channel variation. To cope with channel variation, an adaptive MCS selection algorithm is proposed. As a result of simulation analysis, the proposed algorithm shows a better BLER performance and coverage to the target BLER successfully.

### 1. 서론

기하급수적으로 증가하는 무선 데이터 수요를 대비하기 위하여 한정된 주파수를 효율적으로 이용할 수 있는 TDD 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. LTE/LTE-A 시스템에서는 FDD와 TDD를 같은 규격에 포함하여 공통적으로 링크 적응 기법 중 하나인 AMC(Adaptive modulation and coding scheme)가 사용된다<sup>1,2</sup>. 기지국은 주기적으로 피드백 되는 CQI(Channel Quality Indicator)를 기반으로 하향링크 데이터 전송을 위한 변조 차수(Modulation order), 코딩률(Code rate) 그리고 전송 비트 크기(Transmit bit size)를 결정한다. 그러나 채널 추정의 오류로 부적절한 CQI가 전송된다면 목표했던 성능보다 BLER(Block error rate)이 높아지거나 수율(Throughput)이 낮아지는 문제가 발생할 수 있다. 또한 CQI 피드백 주기 동안에는 기지국에서 같은 MCS(Modulation and coding scheme)를 유지하기 때문에 그 사이의 채널 변화를 고려할 수 없다.

본 논문에서는 CQI뿐만 아니라 블록 에러를 보고하는 HARQ(Hybrid automated repeat request) 응답을 함께 고려한<sup>3</sup> LTE TDD 시스템에서의 MCS 선택 알고리즘을 제안한다. 이를 통해 기존 AMC 기술이 갖는 단점을 보완하고, 평균 BLER에 미치는 영향을

\* "본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2017-2016-0-00291)

♦ First Author : KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, hi369hi@khu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, ekhong@khu.ac.kr, 종신회원

\* KyungHee University Department of Electronic and Radio Engineering, ppjh1632@khu.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2017-05-134, Received May 1, 2017; Revised May 19, 2017; Accepted May 19, 2017

실험을 통해서 확인한다.

$$P_{NACK} = \lambda \tag{2}$$

## II. 제안된 알고리즘

### 2.1 LTE TDD HARQ 응답 보고 모드

TDD는 FDD와 달리 상향, 하향링크 전송이 모든 서브프레임에 전송되지 않고 정해진 서브프레임 configuration에 따라 시간을 나누어 전송이 이루어진다. 때문에 하향링크 전송 후 항상 8ms 뒤에 이에 대한 HARQ 응답을 보고 받게 되는 FDD와 달리 TDD는 고정된 시간에 HARQ 응답 보고가 이루어질 수 없다. TDD의 경우 하향링크 서브프레임 비율이 상향링크 서브프레임 비율보다 높은 경우 하나의 상향링크 서브프레임에서 복수 개의 하향링크 HARQ 응답을 보고 해주어야 하는 경우가 발생한다. 3GPP 규격에 따라 하향링크 HARQ 응답 보고 방식에는 multiplexing과 bundling이 있다.

Multiplexing은 각 하향링크 서브프레임에 대한 HARQ 응답을 개별적으로 전송한다. 하나의 상향링크 서브프레임에서 보고 해주어야 하는 하향링크 HARQ 응답이 n개인 경우, n bits 응답이 보고된다.

Bundling은 각 하향링크 서브프레임에 대한 HARQ 응답을 개별적으로 전송하지 않고 logical-AND 연산 후에 보고하는 방법으로 하나의 응답만 NACK가 되어도 함께 보고되는 모든 서브프레임에 대한 HARQ 응답은 NACK로 보내진다.

### 2.2 제안 LTE TDD 시스템 MCS 선택 알고리즘

CQI뿐만 아니라 HARQ 응답을 이용한 새로운 MCS 선택 알고리즘은 ACK/NACK가 보고될 때마다 MCS를 적응적으로 계산한다<sup>4)</sup>. ACK가 보고 될 경우에는 채널 상태가 좋다고 판단하여 MCS 레벨을  $\Delta MCS_{up}$  만큼 증가시키고, 이와 반대로 NACK가 보고 될 때에는 채널 상태가 좋지 않다고 판단하여 MCS 레벨을  $\Delta MCS_{down}$  만큼 감소시킨다. 따라서 임의의 두 step size( $\Delta MCS_{up}, \Delta MCS_{down}$ )를 설정하면, 각 HARQ 응답들에 따른 MCS index는 식 (1)과 같이 결정될 수 있다.

$$MCS(i) = \begin{cases} MCS(i-1) + \Delta MCS_{up}, & \text{for ACK} \\ MCS(i-1) - \Delta MCS_{down}, & \text{for NACK} \end{cases} \tag{1}$$

MCS index가 채널 상태에 적절하게 선택되었다면 NACK가 보고될 확률은 목표 BLER( $\lambda$ )과 같다.

총 보고된 HARQ 응답 개수를 M이라고 할 때 ACK( $F_j = 1$ )와 NACK( $F_j = 0$ )의 개수는 식 (3),(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1}^M F_i = (1-\lambda) \cdot M \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^M (1-F_i) = \lambda \cdot M \tag{4}$$

따라서 목표 BLER( $\lambda$ )을 만족하였을 때, MCS 레벨을 유지하기 위한 식은 다음과 같다.

$$(1-\lambda) \cdot M \times \Delta MCS_{up} = \lambda \cdot M \times \Delta MCS_{down} \tag{5}$$

식 (5)를  $\Delta MCS_{down}$ 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta MCS_{down} = \frac{1-\lambda}{\lambda} \cdot \Delta MCS_{up} \tag{6}$$

우리는 위 식을 이용하여  $\Delta MCS_{up}$ 과  $\Delta MCS_{down}$ 을 설정할 수 있다.

따라서 제안 MCS 선택 알고리즘은 다음과 같다.

#### 2.2.1 HARQ 응답 보고 multiplexing의 경우

TDD configuration에 따라 상향링크 서브프레임에서 보고받는 하향링크 HARQ 응답의 개수가 다르기 때문에 M을 가변적인 HARQ 응답 개수로 정의할 때 식 (7)과 같이 MCS를 결정할 수 있다.

$$\overline{MCS(i)} = \left\lfloor \begin{aligned} &MCS(i-1) + \Delta MCS_{up} \sum_{i=1}^M F_i \\ &+ \Delta MCS_{down} \sum_{i=1}^M (F_i - 1) + 0.5 \end{aligned} \right\rfloor \tag{7}$$

여기서  $\lfloor \cdot \rfloor$ 는  $\cdot$ 를 넘지 않는 최대 정수를 의미한다. HARQ 응답이 CQI와 함께 보고될 경우 식 (7)에서 결정한  $\overline{MCS(i)}$ 와 CQI로 결정된  $MCS(CQI)$ 를 둘 다 고려하여  $MCS(i)$ 를 계산한다. 여기서 K는 0~1의 가중치를 의미한다.

$$MCS(i) = \left\lfloor \begin{aligned} &K \cdot \overline{MCS(i)} \\ &+ (1-K) \cdot MCS(CQI) + 0.5 \end{aligned} \right\rfloor \tag{8}$$

2.2.2 HARQ 응답 보고 bundling의 경우

Bundling은 상향링크 서브프레임에서 단 하나의 HARQ 응답이 보고되는 방식이다. 즉 복수개의 하향 링크 전송이 모두 성공일 경우에만 ACK가 전송된다. 따라서 식 (9),(10)과 같이 ACK와 NACK가 올 확률을 정의할 수 있다.

$$P_{ACK/Bundling} = (1-\lambda)^M \tag{9}$$

$$P_{NACK/Bundling} = 1 - (1-\lambda)^M \tag{10}$$

따라서 목표 BLER( $\lambda$ )을 만족하였을 때, MCS 레벨을 유지하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\frac{P_{ACK/Bundling} \cdot M \times \Delta MCS_{up}}{P_{NACK/Bundling} \cdot M \times \Delta MCS_{down}} \tag{11}$$

식 (11)에 식 (9),(10)을 대입하면 다음과 같다.

$$\Delta MCS_{down} = \frac{(1-\lambda)^M}{1-(1-\lambda)^M} \cdot \Delta MCS_{up} \tag{12}$$

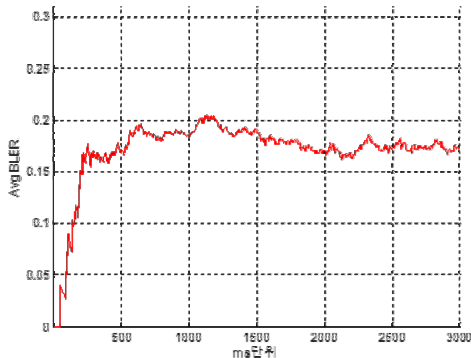
이후에 HARQ 응답만 보고받는 경우와 HARQ 응답과 CQI가 함께 보고받는 경우의 MCS 선택 알고리즘은 식 (13),(14)와 같이 계산된다.

$$\overline{MCS}(i) = \left[ \frac{MCS(i-1) + \Delta MCS_{up} \cdot F_i}{+ \Delta MCS_{down} \cdot (F_i - 1) + 0.5} \right] \tag{13}$$

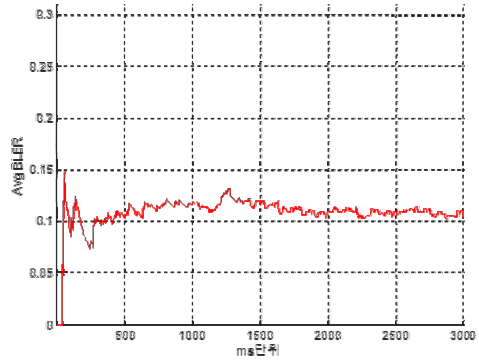
$$MCS(i) = \left[ \frac{K \cdot \overline{MCS}(i)}{+(1-K) \cdot MCS(CQI) + 0.5} \right] \tag{14}$$

III. 실험 결과 분석 및 결론

본 장에서는 제안 알고리즘을 사용하여 기존 MCS 선택 기법과의 평균 BLER 성능을 비교 분석한다. 실험에는 TDD configuration 1(UL:DL=4:6)이 사용되

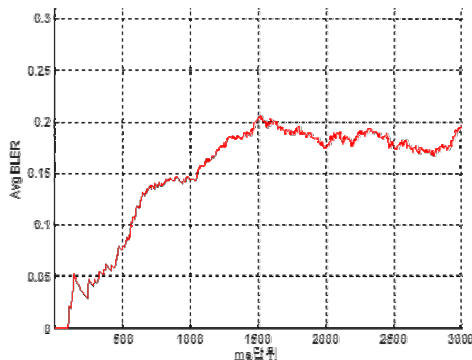


(a) Conventional

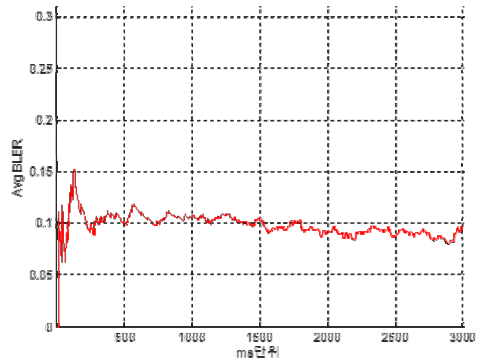


(b) Proposed MCS 선택 알고리즘 ( $\Delta MCS_{up}=0.8$ )

그림 1. 평균 BLER (Multiplexing HARQ 응답)  
Fig. 1. Average BLER (Multiplexing HARQ feedback)



(a) Conventional



(b) Proposed MCS 선택 알고리즘 ( $\Delta MCS_{up}=0.8$ )

그림 2. 평균 BLER (Bundling HARQ 응답)  
Fig. 2. Average BLER (Bundling HARQ feedback)

었고, HARQ 응답을 이용한 MCS 결정은 5ms 마다, CQI 전송 주기는 80ms로 가정하였다.  $\Delta MCS_{up}$  크기는 0.3~1.0 중 가장 좋은 성능을 갖는 결과를 보였다. 그림 1은 multiplexing모드를 적용하였을 때 평균 BLER을 나타낸 그래프이다. (a) 기존 CQI만을 고려한 MCS 선택 방법을 적용하였을 때와 비교해 (b) HARQ 응답과 CQI를 함께 이용한 제안 MCS 선택 알고리즘을 사용한 경우 평균 BLER 성능이 향상하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 제안 알고리즘은 목표 BLER인 0.1에 거의 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 bundling모드를 적용하였을 때의 평균 BLER을 나타낸 그래프이다. Config.1의 경우 5ms내에 두 개의 상향링크 서브프레임을 갖고 각각 2개, 1개에 해당하는 하향링크 HARQ 응답을 보고한다. Multiplexing 결과와 마찬가지로 제안 알고리즘 적용시 평균 BLER이 낮아지고 목표 BLER에 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

## References

- [1] A. J. Goldsmith and S.-G. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 46, no. 5, pp. 595-602, May 1998.
- [2] C. W. Lee and G. J. Jeon, "An efficient adaptive modulation scheme for wireless OFDM systems," *ETRI Journal*, vol. 29, no. 4, pp. 445-451, Aug. 2007.
- [3] Z. He and F. Zhao, "Performance Of HARQ with AMC Schemes in LTE Downlink," *IEEE Commun. and Mob. Comput. (CMC)*, pp. 1-5, May 2010.
- [4] J. Park, J. Bang, J. Ha, J. Baek, and E.-K. Hong, "A new MCS selection technique according to packet error rate and CQI," in *Proc. KICS Winter Conf. Commu, 2016*, pp. 244-245, Korea, Jan. 2016.