

LTE 하향링크에서의 트래픽에 따른 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시 성능 분석

유향선, 이다운, 상영진, 강민규, 최수용, 김광순
연세대학교 전기전자공학부

sssun@dcl.yonsei.ac.kr, storge@yonsei.ac.kr, yjmich@dcl.yonsei.ac.kr,
kangys8@dcl.yonsei.ac.kr, csyong@yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

Performance analysis of LTE Downlink Systems with Adaptive Modulation and Coding Scheme

Hyangsun You, Dawoon Lee, Young Jin Sang, Mingyu Kang, Sooyong Choi, Kwang Soon Kim

Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

198 Seongsan-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-749, Korea

요 약

본 논문에서는 3GPP LTE (long term evolution) 시스템의 시뮬레이터를 통해 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시 하향링크 (downlink) 의 성능을 분석한다. 시뮬레이터는 3GPP 의 표준에 따라 전송 채널과 물리 채널을 구현하며, Rayleigh fading 채널 환경을 가정한다. 서로 다른 QoS (quality of service)를 지니는 다양한 트래픽에 대해 목표 FER (frame error rate)을 다르게 하여 LTE 표준안에서 주어진 MCS (Modulation and Coding Scheme) 옵션에 따라 적응 변조 및 부호화 방식을 적용 하였을 때 얻을 수 있는 전송률 분석을 통해 트래픽의 특성을 고려한 적응 변조 및 부호화 방식이 향상된 성능을 얻을 수 있음을 보인다.

I. 서론

차세대 이동 통신 시스템에서는 고품질의 다양한 서비스 지원을 위해 고속의 데이터 통신을 요구하고 있다. 이에 따라 3GPP (3rd Generation Partnership Project) 에서는 4 세대 이동통신의 강력한 후보기술인 LTE (Long Term Evolution)의 표준 기술 연구를 2004 년 말부터 추진하기 시작하여 현재 완성 단계에 이르렀다 [1][2].

3GPP LTE 시스템의 하향링크에서는 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access), MIMO (multiple input-multiple output) 등을 도입하여 100Mbps 의 초고속 데이터 전송을 가능하게 하고 있다. 초고속 데이터 전송과 함께 고품질 서비스를 위하여 다양한 서비스 트래픽 별로 QoS (quality of service)의 보장이 요구된다. 이를 위해서는 H-ARQ (hybrid-automatic repeat request) 등의 재전송 기법과 함께 적응 변조 및 부호화 방식 (adaptive modulation and coding) 을 적용하고 있다 [3][4]. 적응 변조 및 부호화 방식은 MS (mobile station) 에서 전달해준 CQI (channel quality information) 에 따라 BS (base station) 에서 현재의 채널 상태에 적합한 변조 방식 및 부호율을 변화시켜 전송함으로써 QoS 를 보장하고 전송률의 향상을 얻고자 하는 방식이다.

본 논문에서는 LTE 표준에서 정의된 하향링크 [3] 및 전송 채널 (transport channel) [5] 을 기반으로 한 링크 레벨 시뮬레이터를 구현하고 성능을 분석한다. VoIP, 비디오, 이메일의 세 가지 트래픽에 대해 목표 FER (frame error rate) 을 다르게 설정하여 LTE 하향링크에서 적응 변조 및 부호화 방식을 트래픽 마다의 QoS 에 보다 적합하게 적용한다. 이 때의 성능을

실험적으로 보이고, 실험 결과를 바탕으로 하여 적응 변조 및 부호화 방식의 성능을 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 일반적인 LTE 하향링크 및 전송 채널의 시스템 및 트래픽 모델에 대해 살펴본다. III 장에서는 본 논문에서 수행하고자 하는 트래픽 종류 별 목표 FER 을 달리 한 적응 변조 및 부호화 방식에 대해 살펴본다. IV 장에서는 적응 변조 및 부호화 방식에 필요한 AWGN 에서의 트래픽 별 FER 성능을 보이고, 여러 환경에서의 적응 변조 및 부호화 방식의 실험 성능을 분석한다. 마지막으로 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 모형

본 논문에서는 일반적인 LTE 하향링크 시스템을 고려하였다. LTE 하향링크 시스템에서는 OFDMA 를 사용하며, MIMO 를 지원한다. 하향링크 물리 채널로 전송되는 데이터들은 전송 채널을 거쳐 만들어 지게 되는데, 전송 채널에서는 전송 되는 데이터의 크기가 일정 범위 이하가 되도록 데이터가 여러 그룹으로 나누어지고 오류를 검출하기 위한 패리티 비트들이 붙여지게 된다. 이러한 데이터들은 부호율을 조절하기 위한 레이트 매칭 (rate matching) 과정을 거치게 된다. 이렇게 생성된 데이터들은 하향링크 물리 채널을 거쳐 단말에 전송된다 [5].

1. 전송 채널 과정

LTE 에서의 일반적인 전송 채널 과정은 그림 1 과 같이 나타낼 수 있다. LTE 전송 채널에서는 먼저 보내고자 하는 데이터에 생길 수 있는 오류 검출을 위해 CRC 패리

터 비트를 붙인다. 본 논문에서는 실험을 위해 24bit 의 패리티 비트를 가지는 CRC 코드를 사용하였다. 큰 길이의 데이터의 경우 여러 개의 블록으로 나누어지며, 나누어진 각각의 데이터에는 또 다시 24bit 의 CRC 패리티 비트가 붙게 된다. 이 데이터들은 그 후 채널 부호화 과정을 거치게 되는데, LTE 에서 사용되는 채널 코딩 기법으로는 길쌈 코드와 터보 코드가 있다. 그 중 데이터의 전송을 위해서는 터보 코드가 사용되며, LTE 시스템에서는 그림 2 와 같은 1/3 부호율을 가지는 터보 코드를 사용한다. 채널 코딩 과정을 거친 데이터는 레이트 매칭 과정을 통해 부호율이 조절된다 [5].

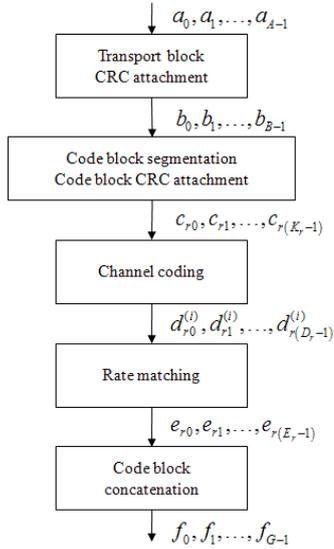


그림 1. 일반적인 LTE 시스템의 전송 채널 과정 [5]

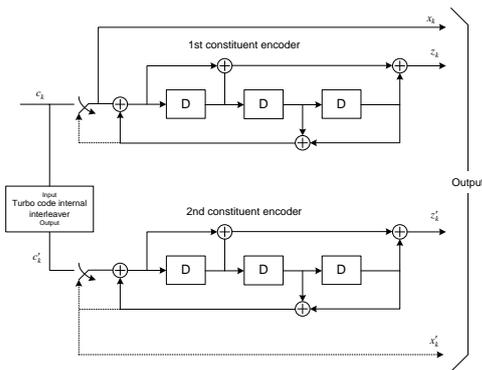


그림 2. LTE 표준에서 사용되는 터보 코드 구조 [5]

2. 하향링크 물리 채널 과정

OFDMA 방식을 사용하는 LTE 하향링크의 자원은 그림 3 과 같이 자원할당의 단위가 되는 여러 개의 RB (resource block)로 이루어져 있다. 하나의 RB 는 여러 개의 부반송파로 구성되며, 여러 개의 RB 가 모여 하나의 서브프레임을 이룬다. 10 개의 서브프레임은 하나의 10ms 프레임을 구성한다 [3].

LTE 하향링크에서 MIMO 를 통해 데이터를 전송하는 방식은 다이버시티 (diversity) 와 공간 다중화 (spatial multiplexing) 의 두 가지로 나뉘어 지는데, 본 논문에서는 공간 다중화 방식을 고려하였다. LTE 하향링크에서는 1,2,4 개의 전송 안테나를 지원한다. 사용 가능한 코드워드의 개수는 최대 2 개로 제한되어 있다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 MIMO 수신기로 zero-forcing (ZF) 수신기를 가정하였다.

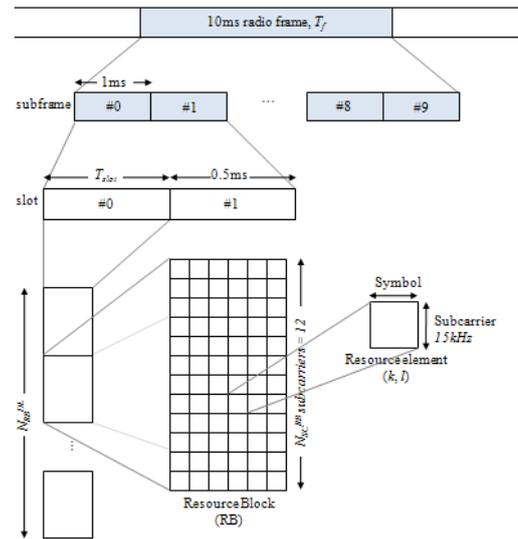


그림 3. LTE 하향링크에서의 자원 구조

3. 트래픽 모델

	VoIP	비디오	이메일
전송률	4~25 kbps	20~384 kbps	< 80 kbps
End-to-End Delay	< 150 ms	< 10 s	Med†
지터	< 1 ms	< 100 s	Not available
정보손실률	< 3% FER	< 1% FER	Zero
평균 블록 크기	40 bytes	10 bytes	100 bytes

표 1. 트래픽에 따른 QoS 파라미터 [6][7][8]

	VoIP	비디오	이메일
정보손실률, $FER^{traffic}$	< 3% FER	< 1% FER	Zero
블록 크기	40 bytes	10 bytes	100 bytes
최대 전송 횟수, N^{trans}	2	3	8
목표 FER, FER^{target}	0.17	0.21	0.10

표 2. 트래픽에 따른 실험 파라미터

일반적으로 무선 채널에서 전송되는 트래픽은 크게 conversational, interactive, streaming, background의 네 가지 클래스로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 세 가지 대표적인 트래픽을 고려하여 시뮬레이션을 진행하였다. Conversational 클래스에 속하는 VoIP, streaming클래스의 비디오, background 클래스의 이메일을 고려하였으며, 각 트래픽에 대한 QoS 특성은 표 1 과 같다 [6][7][8]. 이 값들을 바탕으로 트래픽 종류에 따른 최대 정보손실률, 블록 크기, 최대 전송 횟수, 최초 전송 시 목표 FER을 정하였으며 그 값이 표 2 에 나타나 있다. 트래픽의 정보손실률의 한계를 $FER^{traffic}$ 이라 할 때, 최대 전송 횟수 N^{trans} 에 따른 최초 전송 시 FER^{target} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^N (FER^{target})^{i-1} (1 - FER^{target}) \geq 1 - FER^{traffic},$$

$$1 - (FER^{target})^N \geq 1 - FER^{traffic}, \quad (1)$$

$$FER^{target} \leq (FER^{traffic})^{-N}.$$

III. 적응 변조 및 부호화 방식 기법

CQI index	Modulation	Code rate × 1024
0	-	-
1	QPSK (Q _m =2)	78
2	QPSK (Q _m =2)	120
3	QPSK (Q _m =2)	193
4	QPSK (Q _m =2)	308
5	QPSK (Q _m =2)	449
6	QPSK (Q _m =2)	602
7	16QAM (Q _m =4)	378
8	16QAM (Q _m =4)	490
9	16QAM (Q _m =4)	616
10	64QAM (Q _m =6)	466
11	64QAM (Q _m =6)	567
12	64QAM (Q _m =6)	666
13	64QAM (Q _m =6)	772
14	64QAM (Q _m =6)	873
15	64QAM (Q _m =6)	948

표 3. LTE 하향링크의 MCS [4]

LTE 시스템에서 기지국은 다양한 변조방식 및 부호율을 포함하고 있는 적응 변조 및 부호화 방식 표를 가지고 있으며, 일반적인 LTE 하향링크에서 사용하는 MCS (modulation and coding scheme) 는 표 3 과 같다 [4]. 기지국은 단말에서 전달해주는 CQI 를 통해 목표 FER 을 만족하는 옵션을 여러 옵션들 중에서 선택하여 단말로 신호를 전송하게 된다. 위 과정을 위해 트래픽 종류별로 각각의 AWGN 환경에서 적응 변조 및 부호화 방식에 대한 FER 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있다. 또한 시뮬레이션을 통해 얻은 FER 성능은 수신 SNR 에 따른 지수 함수로 근사화할 수 있는데 이는 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다 [9].

$$FER(\gamma) = \begin{cases} a \exp(-b\gamma) & \gamma \geq \gamma^{th} \\ 1 & \gamma < \gamma^{th} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 γ 는 한 심볼에 주어지는 신호 에너지와 잡음 분산의 비를 나타낸 SNR 값을 나타내고, a , b 는 커브 피팅을 이용해서 얻어낸 상수, γ^{th} 는 FER 값이 1 이 되는 SNR 의 임계값을 나타낸다.

적응 변조 및 부호화 방식을 수행하는 최소 단위는 RB 이며 여러 묶음의 RB 에 대해 같은 MCS 를 선택하여 적용할 수 있다. 본 논문에서는 하나의 RB 별로 각각 다른 MCS 를 적용하여 적응 변조 및 부호화 방식을 구현하였다. 이를 위해서는 AWGN 환경에서 MCS 별로 SNR 에 따른 FER 성능을 바탕으로 하여 SNR 구간 별 MCS 를 정하게 된다. 하지만 AWGN 에서의 실험 결과를 바탕으로 한 MCS 기준을 페이딩 채널 환경에 적용하는 과정에서 오차가 발생하게 된다. 따라서 오차를 줄이기 위해서 다음과 같은 방법으로 AMC 를 수행하게 된다.

하향 링크 2 x 2 MIMO OFDM 에서 n 번째 RB 에서 i 번

째 CQI index 에 해당하는 MCS 를 사용했을 경우의 FER 인 $FER_i(k)$ 는 식 (3)와 같이 나타낼 수 있다.

$$FER_i(n) = E_{k,l} \{ FER_i(\hat{\gamma}_{k,l}^n) \}$$

$$= E_{k,l} \{ a_i \exp(-b_i \hat{\gamma}_{k,l}^n) \} \quad (3)$$

여기서 $\hat{\gamma}_{k,l}^n$ 는 n 번째 RB 의 (k, l) 번째 resource element 에서 추정된 SNR 이고, a_i , b_i 는 i 번째 CQI index 에 해당하는 상수, $E_{k,l} \{ \cdot \}$ 은 n 번째 RB 에 있는 모든 RB 에 대해 평균을 취하는 함수이다. 식 (3)의 FER 값을 이용하여 n 번째 RB 의 MCS 는 식 (4)과 같이 정할 수 있다.

$$MCSindex(n) = \arg \max_i \{ i : FER_i(n) < FER^{target} \} \quad (4)$$

즉, n 번째 RB 의 MCS 는 각 트래픽 별 목표 FER 을 만족하는 MCS 중에서 가장 높은 전송률을 가지는 MCS 옵션을 선택하게 된다.

본 논문에서는 FER^{target} 이 각 트래픽 별로 다르게 주어진다. VoIP, 비디오, 이메일의 세가지 트래픽에 대한 FER^{target} 은 II.3 에 주어졌으며, 이 값들은 표 2 에 나타난 $FER^{traffict}$ 과 최대 전송 횟수 N^{trans} 를 이용하여 (1)을 통해 계산되었다.

하향링크 MIMO 환경에서 위와 같은 식을 이용하기 위해서는 각 수신 안테나에서 추정된 SNR 을 구할 필요가 있다. MIMO 수신기로 zero-forcing 수신기를 사용했다고 가정했을 때, r 번째 수신 안테나에 관련된 추정 SNR 은 식 (5)와 같다 [10].

$$\hat{\gamma}_r = \frac{E_s}{M_T N_0} \frac{1}{[(\mathbf{H}^H \mathbf{H})^{-1}]_{rr}} \quad (5)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 다양한 트래픽 종류에 대해 적응 변조 및 부호화 방식을 적용 시 성능을 얻기 위해 사용된 파라미터는 표 4 와 같다. LTE 에서 지원하는 15 가지의 MCS 옵션 중 7 가지의 옵션만을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

트래픽	VoIP, 비디오, 이메일
물리 채널	2x2 MIMO 하향링크
MIMO 수신기	ZF 수신기
CQI 인덱스	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
복호 기법	터보 코드
채널 모델	VehA 3km/hr, 60km/hr, 150km/hr

표 4. 적응 변조 및 부호화 방식 실험 파라미터

적응 변조 및 부호화 방식을 적용 하였을 시 전송률을 얻기 위해 AWGN 채널에서 각각의 MCS 옵션에 따른 FER 성능을 시뮬레이션을 통해 얻었으며, 이 성능 곡선의 근사치를 구하였다. 그리고 이 결과를 이용하여 LTE 하향링크에서 적응 변조 및 부호화 방식을 적용한 성능을 얻었다.

1. 트래픽 종류에 따른 FER 성능

채널 상황과 목표 FER 에 따라 알맞은 적응 변조 및 부호화 방식을 사용하기 위해 먼저 AWGN 채널에서 트래픽에 따른 LTE 하향링크에서의 시뮬레이션을 진행하였다. 2 개의 전송 안테나와 2 개의 수신안테나를 사용하는 MIMO 채널에서 이 결과를 얻기 위해 첫 번째 송수신 안테나 그룹과 두 번째 송수신 안테나 그룹 간에 서로 간섭이 없는 환경을 만들어 실험을 진행하였다. 이렇게 시뮬레이션 결과를 얻은 뒤 식 (2)을 이용하여 근사화된 성능곡선을 얻었다. 각각의 MCS 옵션에 따른 VoIP, 비디오, 이메일 트래픽에 대한 FER 성과 그 근사값이 그림 4,5,6 에 나타나있다.

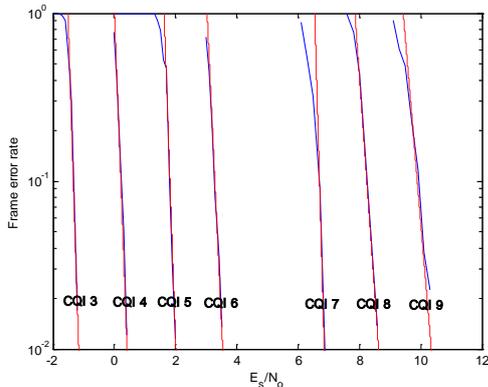


그림 4. VoIP 트래픽의 FER 성능 곡선. 실선: 실제 FER 성능, 점선: 근사화된 성능 곡선

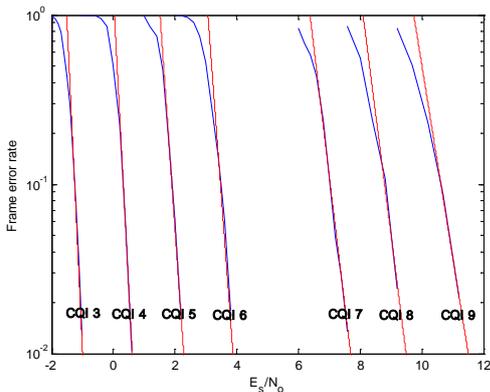


그림 5. 비디오 트래픽의 FER 성능 곡선. 실선: 실제 FER 성능, 점선: 근사화된 성능 곡선

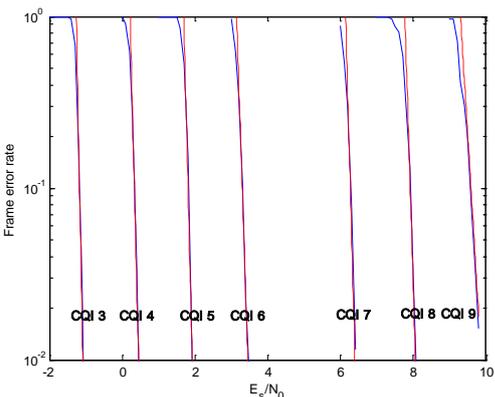


그림 6. 이메일 트래픽의 FER 성능 곡선. 실선: 실제 FER 성능, 점선: 근사화된 성능 곡선

2. 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시의 성능

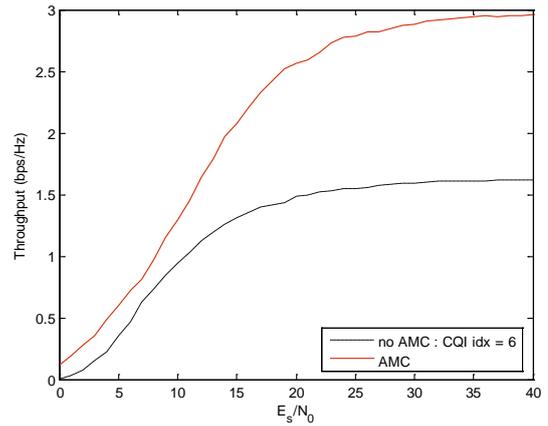


그림 7. 이메일 트래픽의 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시와 비적용 시 전송률 곡선

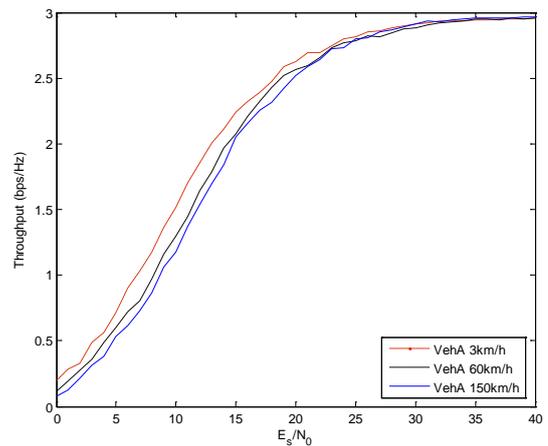


그림 8. 이메일 트래픽의 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시와 채널 속도에 따른 전송률 곡선

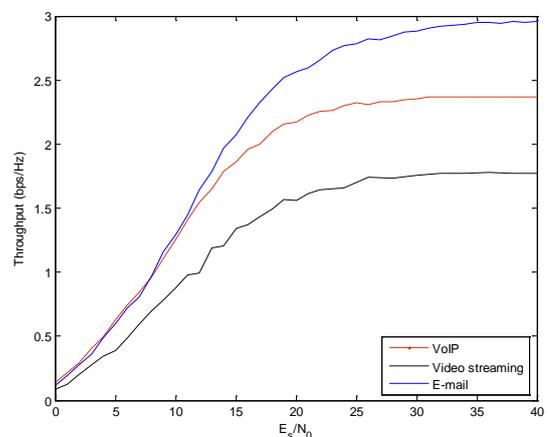


그림 9. 적응 변조 및 부호화 방식 적용 시 트래픽에 따른 전송률 곡선

적응 변조 및 부호화 방식이 사용되면 수신된 채널 정보를 통해 목표 FER 을 만족하는 최대 전송률을 지닌 MCS 옵션이 선택되어 전송된다.

그림 7 은 목표 FER 이 0.1 인 이메일 트래픽에 대해 VehA 60km/시 채널 상황에서 7 개의 MCS 옵션에 따른 적

응 및 부호화 방식 적용 시와 비적용 시의 전송률을 보여준다. 적응 변조 및 부호화 방식은 비적용 시에는 CQI 인덱스 6에 해당하는 QPSK 변조와 0.5879의 부호율을 사용하였다. 이 결과로부터 적응 변조 및 부호화 방식을 사용함으로써 고정 변조 및 부호화 방식보다 향상된 전송률을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

속도가 3km/시, 60km/시, 150km/시로 다른 VehA 채널에 대해 이메일 트래픽을 적응 변조 및 부호화 방식을 사용하여 전송하였을 때 얻은 전송률이 그림 8에 나타나 있다. 적응 변조 및 부호화 방식을 사용함으로써 인체 채널 상황이 급격하게 변할 경우에도 비교적 높은 전송률을 얻는 것을 볼 수 있다. 하지만 채널의 변화 속도가 느릴 때 비교적 더 좋은 성능을 얻을 수 있다.

표 2에서 나타난 것과 같은 세 가지 트래픽 모델에 대해 각각의 파라미터를 사용하여 적응 변조 및 부호화 방식을 적용하였을 경우의 전송률을 그림 9에서 볼 수 있다. 이 때 채널은 VehA 60km/시를 사용하였다. 세 트래픽에서 전송되는 블록 크기가 다르기 때문에 블록 크기가 가장 큰 이메일의 경우가 가장 높은 전송률에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 또한 각각의 트래픽에 대해 전송률이 수렴하는 SNR의 값에 차이가 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 3GPP LTE 시스템의 전송 채널과 물리 채널을 구현한 시뮬레이터를 통해, 다중경로 Rayleigh 페이딩 채널에서 트래픽 종류 별로 다른 목표 FER을 적용하여 적응 변조 및 부호화 방식을 적용하였을 때의 전송률을 알아보았다. 시뮬레이션을 위해 2x2의 MIMO 환경에서 공간 다중화 방식이 사용되었으며, VoIP, 비디오, 이메일의 세 가지의 트래픽 모델에 대해 실험을 진행하였다. 서로 다른 QoS를 지니는 트래픽들은 그 특성에 따라 한 번 전송 시의 목표 FER 값이 서로 다르므로 트래픽의 종류 별로 다른 목표 FER을 사용하여 적응 변조 및 부호화 방식을 적용하였다. 이 방식을 사용함으로써 전송률, end-to-end delay, 정보손실률 등 트래픽마다 서로 다른 QoS를 고려한 전송을 할 수 있게 된다. 이러한 전송 방식을 이용하여 LTE 하향링크 시스템에서 다양한 트래픽의 종류와 전송 환경에 대해 적응 변조 및 부호화 방식을 적용하였을 경우의 성능을 살펴보았으며, 이를 통해 트래픽의 QoS를 고려한 적응 변조 및 부호화 방식으로 향상된 성능을 얻을 수 있음을 보았다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1021-0011)).

참고 문헌

- [1] 노상민, 조준영, 이주호, "LTE Uplink Physical Layer 표준 기술 동향," 한국통신학회지 (정보와통신) 제25권 제9호, 2008. 8, pp. 24 ~ 31
- [2] 윤영우, 노동욱, 서동연, 이정훈, 김은선, "LTE 하향 링크의 물리 계층 주요 요소 기술 소개,"

- 한국통신학회지 (정보와통신) 제25권 제9호, 2008. 8, pp. 9 ~ 23
- [3] 3GPP 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and Modulation"
- [4] 3GPP 36.213, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures"
- [5] 3GPP 36.212, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding"
- [6] R. A. Cacheda et al, "QoS Requirements for Multimedia Services," Resource Management in Satellite Networks, Springer US, 2007.
- [7] Y. Chen, T. Farley, N. Ye, "QoS Requirements of Network Applications on the Internet," Information-Knowledge-Systems Management, Vol. 4, No.1., p55-76, Jan. 2004.
- [8] TSG-SA WG1 #32, S1-060605
- [9] Duho Rhee, Jung Hyung Kwon, Hae Kwang Hwang, and Kwang Soon Kim, "Adaptive modulation and coding on multipath Rayleigh fading channels based on channel prediction," ICACT 2006, Volume 1, pp. 195-199
- [10] D. Gore, R. W. H. Jr., and A. Paulraj, "On performance of the zero forcing receiver in presence of transmit correlation," n Proc. *IEEE Inter. Symp. Inform. Theory (ISIT)*, p. 159, Lausanne, Switzerland, June/July 2002