

논문 2011-48TC-1-11

Rician 페이딩 채널에 적합한 새로운 LTE 하향링크 코드북 (A Novel LTE Downlink Codebook for Rician Fading Channels)

염 지 비*, 김 영 주**

(Zhi Fei Yan and Young Ju Kim)

요 약

LTE (long-term evolution) Rel-10 시스템은 하향링크에서 1Gbits/s 상향링크에서 500Mbits/s 데이터 송신율을 목표로 하므로 넓은 대역폭을 사용할 뿐만 아니라 상향 및 하향링크에서 선부호화 MIMO (multiple-input multiple-output) 기법을 적용해야 한다^[1]. 최근에는 스마트 중계기의 도입으로 협력통신을 통한 용량 개선이 가능해지면서 페이딩 채널에 LoS (line-of-sight) 성분을 고려하고 있다^[2]. 본 논문에서는 라이시안 페이딩 채널의 LoS 지표인 *K-factor*가 증가함에 따라 기존의 코드북보다 우수한 성능을 보이는 새로운 LTE 시스템용 코드북을 제안한다. 기존 LTE 코드북의 생성 원칙을 유지하면서 코드북의 코드워드 사이의 최소 chordal distance를 최대화하는 방법을 라이시안 채널에 적용한다. LTE 하향링크의 시스템 파라미터로 링크레벨 시뮬레이터를 제작하여 기존과 동일한 사이즈로 더 우수한 성능을 보임을 증명한다.

Abstract

LTE Rel-10 aims at peak data rates of 1Gbits/s for the downlink and 500 Mbits/s for the uplink, which can be accomplished by not only wide spectrum but also advanced MIMO techniques such as precoded MIMO and cooperative relays^[1]. Considering some relays can have more direct signal paths than mobile stations do, LoS components are examined to build more efficient codebooks for Rician channels^[2]. The proposed codebooks perform better than the existing LTE codebooks as the criterium of LoS, *K-factor* increases. Conserving the advantages and max-min chordal distance of the existing LTE codebooks, the proposed ones also maximize the minimum chordal distances between codewords over Rician fading channels. Link-level simulation with LTE system parameters confirm the performance improvements as the value of *K* increases.

Keywords : LTE, Codebook, Rician fading, MIMO-OFDM, Relays

I. 서 론

차세대 이동통신 시스템의 표준안으로 주목받고 있는 LTE 시스템에서는 주파수 및 시스템 전송 효율과

셀 용량 증대를 위해 하향링크 시스템에서 MIMO-OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 전송기술을 채택 하였다^[1~2]. 송신 안테나 포트수는 LTE Rel-8에서 2 또는 4개^[3], Rel-10에서 8개까지 지원한다.

LTE 하향링크 시스템에서 제안된 MIMO 기술은 크게 2가지로 분류되는데, 수신단에서 채널 상태 정보(channel state information, CSI)를 송신단으로 피드백 전송하지 않으면서 다이버시티 (diversity) 또는 멀티플렉싱(multiplexing) 이득을 얻을 수 있는 개회로(open-loop) 전송방식과 피드백 전송을 통한 폐회로(closed-loop) 전송 방식이 있다^[4]. 폐회로 전송방식은 각각의 기지국(NodeB)에서 신호를 수신단으로 전송하기 전에 단말기(uesr equipment, UE)에서 추정된PMI,

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 정보통신공학과 (Division of Information & Communication Engineering, Chungbuk National University)

※ 이 논문은 2010년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단).

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0016839).

접수일자: 2010년10월5일, 수정완료일: 2011년1월14일

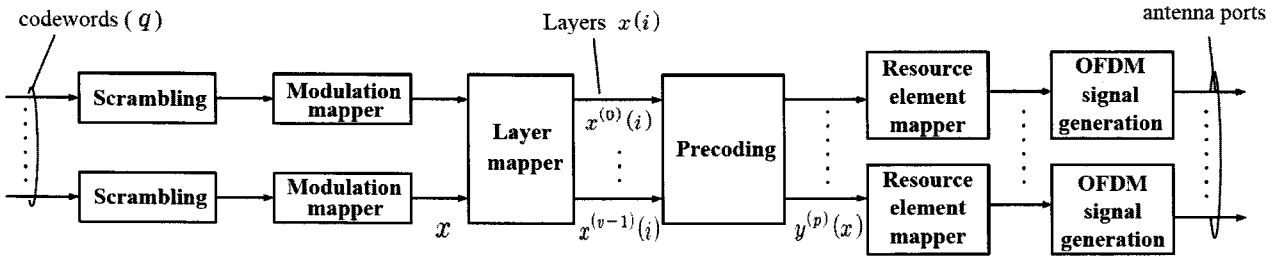


그림 1. LTE 하향링크 MIMO 시스템 모델
Fig. 1. LTE Downlink MIMO System Model.

RI 그리고 CQI 등의 채널 정보를 피드백 받아 선부호화 (precoding) 과정을 수행한다. 일반적으로 전체 채널 정보를 피드백하는 것은 대역폭 측면에서 비효율적이기 때문에 상용시스템에서는 채널 정보가 임의의 선부호화 행렬로 양자화된 코드북을 이용, 송수신단에서 피드백 및 선부호화 과정이 수행된다^[5].

상기 과정을 통해서 기지국과 단말기에 사전에 정해진 코드북의 인덱스(index)만 피드백 전송하게 되면 기지국에서 최적한 빔 형성을 통해 시스템의 성능 향상을 이룰 수 있다.

레이리 (Rayleigh) 페이딩 채널을 적용한 MIMO 전송방식에 적합한 코드북 구조는 이미 많은 연구가 활발히 연구되어 왔다^[6]. 그러나 실제적인 실외 통신 환경에서 지리적으로 분산된 기지국과 단말기 사이에는 레일리 페이딩에 의한 반사파 성분만이 존재하는 것이 아니라 직접파 성분 (line-of-sight, LoS)도 존재한다. 즉, 라이시안 페이딩 채널에 적합한 코드북을 이용한다면 직접파 성분이 많은 경우 레일리 페이딩 채널 기반의 코드북보다 링크레벨(Link Level) 성능이 개선된다^[2, 6].

본 논문에서는 라이시안 페이딩 채널에서 기존 LTE 하향링크 시스템에서 송신 안테나 포트수가 4 개인 경우 16개 선부호화 행렬 벡터 성분으로 구성된 기존 LTE 코드북과 동일한 크기를 가지면서 더 우수한 성능을 얻을 수 있는 새로운 코드북 및 그 설계 방법을 제안한다. 그리고 컴퓨터를 이용한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 코드북의 성능을 측정 및 분석을 통해 기존 LTE 코드북보다 제안된 코드북의 성능이 더 우수함을 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 LTE 하향링크 시스템 모델과 라이시안 페이딩 채널 모델에 대해 설명한다. III장에서 기존 LTE 코드북의 생성 원칙과 방법을 간략히 기술한다. IV장에서는 본 논문에 제안한 라이시안 페이딩 모델에 적합한 코드북 및 그 생성 방

법을 제시한다. V장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 라이시안 페이딩 채널의 LoS 성분을 결정짓는 K-factor 값을 변경하면서 기존 LTE 코드북의 BER (bit error rate) 성능을 분석한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

그림 1은 LTE 하향링크 시스템에서 MIMO 전송을 위한 신호 생성 과정의 전반적인 블록도를 나타낸 것이다^[1].

물리채널에서 입력신호인 q 번째 코드워드, $b^{(q)}(0), \dots, b^{(q)}(M_{bit}^{(q)}-1)$ 는 먼저 스크램블링(scrambling)되며, 이때 코드워드 q 안의 비트 수가 $M_{bit}^{(q)}$ 이다. Modulation mapper 블록에서 $x = I + jQ$ 로 QPSK, 16QAM, 64QAM 변조된다. Layer mapping 블록에서는 변조된 심볼이 $x(i) = [x^{(0)}(i) \dots x^{(v-1)}(i)]^T$ 로 매핑된다. 이 때 v 는 레이어의 수, $i = 0, 1, \dots, M_{symp}^{layer} - 1$, M_{symp}^{layer} 은 레이어 당 변조 심벌 수이다. 매핑된 심볼은 안테나 포트에 전송되기 전 precoding 블록에서 단일 안테나 포트를 위한 선부호화 되어 $y^{(p)}(x)$ 를 얻는다. 이때 $p = 0 \dots P$ 는 송신 안테나 포트 인덱스이다. 코드북을 이용한 선부호화는 이 블록에 적용된다. 선부호화된 신호는 안테나 포트 별로 매핑된 후 OFDM 신호를 생성한다^[1, 3, 7].

일반적으로 송신 안테나수 M_T 가 송신 안테나 포트 수 P 와 동일하며, 수신 안테나 수가 M_R 일 때 수신 신호 \mathbf{Y} 는 식 (1)과 같다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{w}\mathbf{s} + \mathbf{n} \tag{1}$$

여기서 \mathbf{s} 는 송신단에서 송신된 신호이고 \mathbf{w} 는 식 (2)와 같이 송신 가중치 벡터 성분이고 \mathbf{n} 은 수신 안테나

에서 평균이 0이고 분산이 0.5인 AWGN (additive white Gaussian noise) 잡음이다. \mathbf{H} 는 MIMO에서 송신단과 수신단 간 $M_R \times M_T$ 크기를 가진 채널 벡터로 식 (3)과 같다.

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_{M_T} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M_T} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{M_R1} & h_{21} & \cdots & h_{M_R M_T} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 h_{mi} 는 1번째 ($1 \leq i \leq M_T$) 송신 안테나와 m 번째 ($1 \leq m \leq M_R$) 수신 안테나 간의 채널 값이다. 식 (2)와 식 (3)을 이용하여 식 (1)은 다시 행렬 표시법으로 아래 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{M_R} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \cdots & h_{1M_T} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{M_R1} & h_{21} & \cdots & h_{M_R M_T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_{M_T} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ \vdots \\ n_{M_R} \end{bmatrix} \quad (4)$$

본 논문에서는 라이시안 페이딩 모델을 고려하므로 식 (4)의 h_{ij} 는 식 (5)와 같이 LoS 성분과 레일리 페이딩 성분을 갖는다. 식 (5) 중의 h 는 식 (4)의 h_{ij} 이다.

$$h = \sqrt{\frac{K}{1+K}} h_{LoS} + \sqrt{\frac{1}{1+K}} h_{NLoS} \quad (5)$$

$$h_{LoS} = [e^{j\theta} \quad e^{j2\theta} \quad \cdots \quad e^{jM_T\theta}] \quad (6)$$

$$\theta = \frac{2\pi d \cos \alpha}{\lambda} = 2\pi \Delta \cos \alpha \quad (7)$$

여기서 d 는 수신 안테나 사이의 간격이고 λ 는 반송파의 파장이다. α 는 수신단의 신호 입사각도를 의미한다.

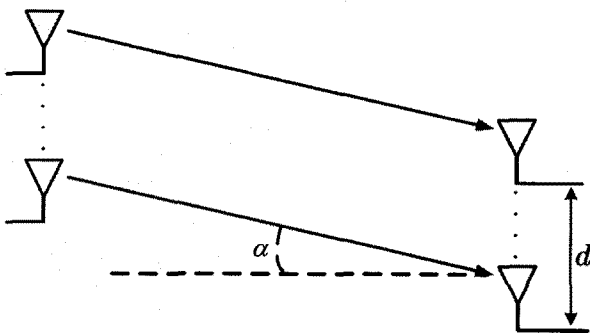


그림 2. 수신 신호 각도
Fig. 2. Angle of arrival orientation.

III. 기존 LTE 코드북 생성 방법

LTE 시스템의 코드북은 다음 세 항목을 기본적으로 고려한다^[8-12].

- 코드북의 chordal distance를 크게 한다.
- Precoding 수행시 매트릭스(matrix) 계산량을 낮춰야 한다.
- Precoding으로 인해 송신안테나의 각 포트의 송신 전력은 크게 증가하지 않도록 한다.

기존의 LTE 표준안 문서에 정의된 송신 안테나 포트 수가 4개, 피드백 비트 수가 4인 코드북은 표 1과 같다^[1]. 이 코드북은 아래의 세 가지 성질을 가지며 본 논문에서 제안한 코드북도 동일하게 이 원칙을 지킨다^[9].

- Complexity reduction: 코드북의 모든 원소는 $\left\{ \pm 1, \pm j, \frac{\pm 1 \pm j}{2} \right\}$ 에 포함되어 있어서 행렬 계산량이 크게 감소한다.
- Nested property: lower rank 코드북이 high rank 코드북의 일부로 포함되므로 rank adaptation을 할 때 low rank 코드북을 재사용할 수 있다.
- Constant modulus property: LTE 코드북은 각 안테나 포트의 송신 전력에 영향을 주지 않도록 각 송신 안테나 별로 동일한 전력 이득을 주도록 설계한다.

일반적으로 코드북을 설계할 때 Lloyd algorithm이 많이 사용하게 된다. Lloyd algorithm에 따라, 주어진 채널 통계값을 통해서 채널 매트릭스를 랜덤으로 생성하는 동시에 최초의 코드북이 생성된다^[11]. 최초의 코드북의 각 코드워드에 대응한 채널 매트릭스의 중심점을 찾아서 다시 새로운 코드북이 생성된다, 이런 과정을 반복해서 최종적으로 최적의 코드북이 생성할 수 있다. 하지만 Lloyd algorithm을 이용한 코드북 생성과정이 복잡도가 높아서 찾는 시간이 상당히 길고 또한 채널 매트릭스를 랜덤으로 생성하므로 생성된 코드북의 원소 값이 생성할 때마다 조금씩 변함이 있어서 일정하지 않다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 기존 LTE 코드북의 구조를 분석하고 더욱 쉬운 생성방법을 제안한다.

표 1. 기존 LTE 시스템의 4 bit 피드백 코드북
Table 1. Conventional 4 bit-feedback codebook of LTE system.

Index	Codebook
0	$u_0 = [1 \ -1 \ -1 \ -1]^T$
1	$u_1 = [1 \ -j \ 1 \ j]^T$
2	$u_2 = [1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$
3	$u_3 = [1 \ j \ 1 \ -j]^T$
4	$u_4 = [1 \ (-1-j)/\sqrt{2} \ -j \ (1-j)/\sqrt{2}]^T$
5	$u_5 = [1 \ (1-j)/\sqrt{2} \ j \ (-1-j)/\sqrt{2}]^T$
6	$u_6 = [1 \ (1+j)/\sqrt{2} \ -j \ (-1+j)/\sqrt{2}]^T$
7	$u_7 = [1 \ (-1+j)/\sqrt{2} \ j \ (1+j)/\sqrt{2}]^T$
8	$u_8 = [1 \ -1 \ 1 \ 1]^T$
9	$u_9 = [1 \ -j \ -1 \ -j]^T$
10	$u_{10} = [1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$
11	$u_{11} = [1 \ j \ -1 \ j]^T$
12	$u_{12} = [1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$
13	$u_{13} = [1 \ -1 \ 1 \ -1]^T$
14	$u_{14} = [1 \ 1 \ -1 \ -1]^T$
15	$u_{15} = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$

$$W^1 = \begin{bmatrix} w_1^1 \\ w_2^1 \\ w_3^1 \\ w_4^1 \\ w_5^1 \\ w_6^1 \\ w_7^1 \\ w_8^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$W^2 = \begin{bmatrix} w_1^2 \\ w_2^2 \\ w_3^2 \\ w_4^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & e^{j\pi/4} & e^{j\pi/2} & e^{j\pi/4} \\ 1 & e^{j3\pi/4} & e^{j3\pi/2} & e^{j9\pi/4} \\ 1 & e^{j5\pi/4} & e^{j5\pi/2} & e^{j15\pi/4} \\ 1 & e^{j7\pi/4} & e^{j7\pi/2} & e^{j21\pi/4} \end{bmatrix} \quad (9)$$

우선 LTE 시스템에서 사용하는 4비트 피드백용 코드북의 구조를 분석한다. 위에 언급한 첫 번째 생성 원리를 적용하여 8-PSK 성운의 값만으로 구성이 된다. 그 중 ±1로만 구성되는 8개의 코드워드들을 식 (8)과 같이 선택한다. 나머지 8개의 코드워드들은 컴퓨터를 이용하여 최소 chordal distance를 최대화하는 코드북으로 exhaustive search로 찾는 것이다. 그 결과, 식 (9)와 같

이 매트릭스 W^2 에 $[1, j, 1, -j]$ 를 곱해지는 방식으로 4 비트 피드백 전송을 위한 기존 LTE 코드북이 생성된다.

IV. 제안하는 코드북 및 생성 방법

본 논문에서 제안하는 새로운 코드북을 표 2에 나타낸다. 이 코드북은 그림 3처럼 4 단계를 거쳐 생성한다.

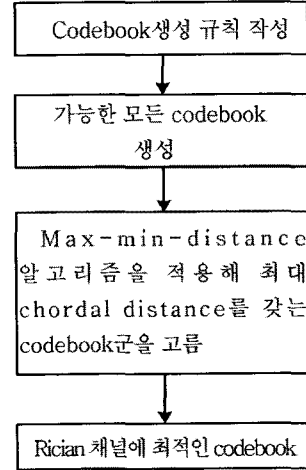


그림 3. 제안된 코드북의 생성과정
Fig. 3. Creating the proposed codebook.

- 1) LTE 코드북의 생성원리 분석에서 찾아진 벡터 $[1, j, 1, -j]$ 를 대신에 $[1, -1, j, -j]$ 를 이용하여 가능한 모든 후보 1×4 벡터 중 첫 성분이 1로 시작된 64 개의 벡터를 생성한다.
- 2) 이 64개 벡터를 이용하여 LTE 코드북을 생성하는 방법으로 각각 한번씩 대입하면서 곱해지면 64 개 코드북이 생성된다.
- 3) 다시 이 64가지 코드북은 식 (10)의 최소 chordal distance를 최대화하는 알고리즘을 이용해 최대값이 큰 코드북 군을 선택한다. Distance 값이 가장 큰 코드북 8개를 선택한다.

$$W = \arg \max_{W \in \text{set of codebooks}} \left\{ \min_{w_k \neq w_l \in W} \sqrt{1 - |w_k^H w_l|^2} \right\} \quad (10)$$

- 식 (10)에서 w_1 은 두 벡터의 거리를 계산할 때 기준으로 사용된 벡터 이고 w_k^H 는 코드북 중 k 번째 ($1 \leq k \leq 16$) 코드워드의 conjugation transposition이다.
- 4) 8개 코드북을 라이시안 페이딩 채널에 적용하여 LTE 하향링크에서 가장 우수한 링크레벨 성능을 보이는 코드북을 고른다. 4×1 MIMO 채널에서 코

드북을 생성시키기 위해서 중간에 곱해진 벡터가 $[1, j, -1, -j]$ 임을 알 수 있다. 표 2가 제안하는 코드북이며, LTE 시스템의 코드북의 설계조건을 모두만족시킴을 알 수 있다.

표 2. 본 논문에서 제안하는 코드북
Table 2. Proposed codebook.

Index	Codebook
0	$u_0 = [1 \ -1 \ -1 \ -1]^T$
1	$u_1 = [1 \ j \ -1 \ -j]^T$
2	$u_2 = [1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$
3	$u_3 = [1 \ -j \ -1 \ j]^T$
4	$u_4 = [1 \ (1+j)/\sqrt{2} \ j \ (-1+j)/\sqrt{2}]^T$
5	$u_5 = [1 \ (-1+j)/\sqrt{2} \ -j \ (1+j)/\sqrt{2}]^T$
6	$u_6 = [1 \ (-1-j)/\sqrt{2} \ j \ (1-j)/\sqrt{2}]^T$
7	$u_7 = [1 \ (1-j)/\sqrt{2} \ -j \ (-1-j)/\sqrt{2}]^T$
8	$u_8 = [1 \ -1 \ 1 \ 1]^T$
9	$u_9 = [1 \ j \ 1 \ j]^T$
10	$u_{10} = [1 \ 1 \ 1 \ -1]^T$
11	$u_{11} = [1 \ -j \ 1 \ -j]^T$
12	$u_{12} = [1 \ -1 \ -1 \ 1]^T$
13	$u_{13} = [1 \ -1 \ 1 \ -1]^T$
14	$u_{14} = [1 \ 1 \ -1 \ 1]^T$
15	$u_{15} = [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$

표 3. 시스템 파라미터
Table 3. System Parameters.

Parameters	Values
Modulation/Demodulation	QPSK
FFT/IFFT size	512, 2048
Cyclic prefix configuration	Normal
Number of transmitter antenna	4
Number of receiver antenna	2
Channel bandwidth[MHz]	5, 20
Sampling time	50ns
Rician K -factor	1, 3, 6, 8
Channel model	ITU-R (Pedestrian A)
Number of multi-path	4
Relative delay [ns]	0, 110, 190, 410
Average power [dB]	0, -9.7, -19.21, -22.8
Feedback bit	4

V. 시뮬레이션 결과

표 2에 나타낸 LTE 하향링크 코드북을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 무선 채널 모델은 국제 표준으로 사용되는 ITU-R Pedestrian A 다중경로 모델을 이용한다^[10]. LTE 표준화 문서에 따라 MIMO-OFDM 링크레벨 시뮬레이터를 제작하였고, 시뮬레이터의 시스템 파라미터는 LTE 표준인 채널 대역폭이 5MHz이면 DFT/IDFT size는 512가 되고 채널 대역폭이 20MHz이면 DFT/IDFT size는 2048로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 기존 LTE 4 비트 피드백 코드북과 본 논문에서 제안된 코드북의 성능을 비교 분석한다. 라이시안 페이딩 채널의 K 값을 각 1, 3, 6, 8 로 증가시키면서 시스템의 BER 성능을 분석한다. 그림 4은 4x2 MIMO 시스템에서 채널 대역폭이 5MHz이고 K 값이 1, 3일 때 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다, K 값이 1 일 때 기존 LTE 4 비트 피드백 코드북보다 제안된 코드북을 이용한 LTE 하향링크 시스템의 성능이 0.2dB 향상된다. K 값이 3일 때 약 0.5dB 개선된다. 그림 5는 그림 4와 같은 통신환경에서 라이시안 채널의 K 값만 6과 8로 변경하여 시뮬레이션한 결과를 나타낸 것이다. 이 두 경우에 제안된 코드북의 성능이 각 0.7dB와 0.8dB 정도 향상된다. 그림 6, 7은 채널 대역폭 20MHz로 증가시켰을 때 K 값이 1, 3과 6, 8인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 이 때 성능차이는 채널 대역폭이

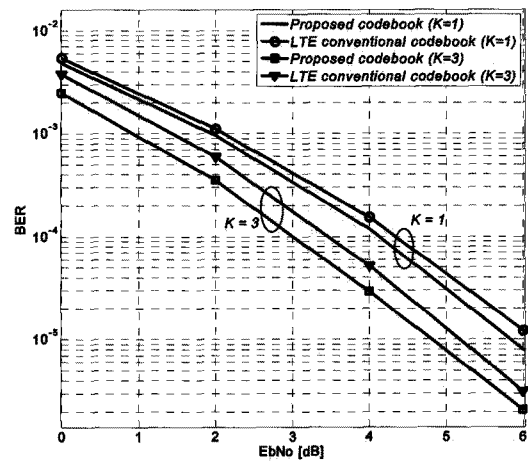


그림 4. Bandwidth 5MHz이고 K 값이 1, 3일 때 각 코드북을 이용해서 4x2 MIMO에서 BER 성능
Fig. 4. BER performance comparison with each codebook when Bandwidth is 5MHz and K values are 1 and 3 in 4x2 MIMO.

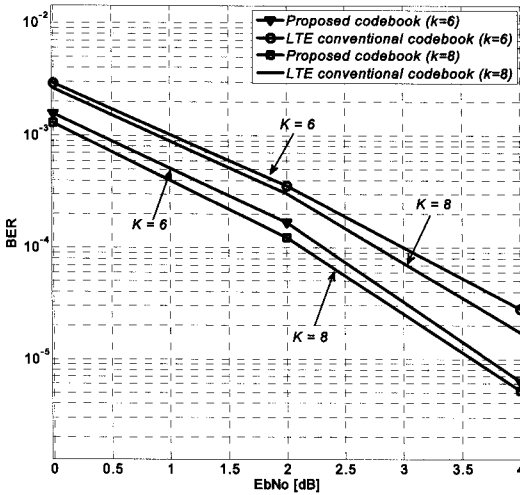


그림 5. Bandwidth 5MHz이고 K 값이 6, 8일 때 각 코드북을 이용해서 4x2 MIMO에서 BER 성능
 Fig. 5. BER performance comparison with each codebook when Bandwidth is 5MHz and K values are 6 and 8 in 4x2 MIMO.

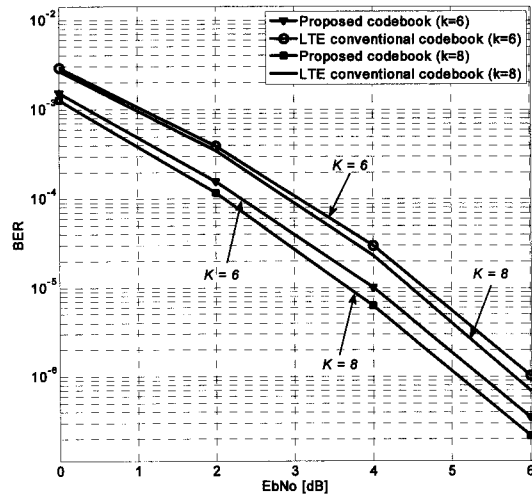


그림 7. Bandwidth 20MHz이고 K 값이 6, 8일 때 각 코드북을 이용해서 4x2 MIMO에서 BER 성능
 Fig. 7. BER performance comparison with each codebook when Bandwidth is 5MHz and K values are 6 and 8 in 4x2 MIMO.

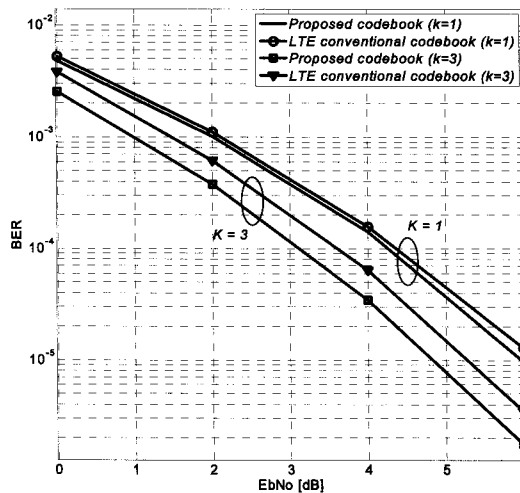


그림 6. Bandwidth 20MHz이고 K 값이 1, 3일 때 각 코드북을 이용해서 4x2 MIMO에서 BER 성능
 Fig. 6. BER performance comparison with each codebook when Bandwidth is 5MHz and K values are 6 and 8 in 4x2 MIMO.

5MHz일 때와 거의 동일하다. 기존의 LTE 4 bit 코드북보다 제안된 코드북을 이용하면 레일리 채널에서 거의 성능 감소가 없으면서, 라이시안 채널에서 LTE 하향링크 시스템의 성능이 개선되었음을 확인할 수 있고 특히 K 값이 클수록 성능개선이 더 큼을 보인다.

VI. 결 론

선부호화 기법을 이용한 LTE 하향링크 시스템에서 송신 안테나 포트 수가 4개인 경우의 코드북을 라이시안 채널에서 설계하였다. 기존 LTE 코드북에 대한 생성 원칙과 그 특성을 유지하면서 새로운 코드북 및 그 생성 방법을 제시하였다. 링크레벨 시뮬레이션에서는 LTE의 시스템 파라미터를 적용한 MIMO-OFDM 시스템을 구현하였다. 라이시안 채널 K 값이 1부터 8까지 증가할 때 제안된 코드북은 기존 LTE 4 비트 피드백 코드북보다 10^{-3} BER에서 최소 0.2dB부터 최대 0.8dB 까지 성능이 개선되었다.

참 고 문 헌

- [1] "3GPP TS 36.211 v9.1.0", 3GPP, Mar. 2010.
- [2] Jontae Kim, DongJo Park, "Constrained Codebook Design for a MISO Beamforming System in a Rician Channel," VTC 2009-Spring, Barcelona, Spain, Jun. 2009.
- [3] Faroop Khan, "LTE for 4G Mobile Broadband and Air Interface Technologies and Performance," Cambridge University Press, 2009.
- [4] 조용수, 김재권, 양원영, "MIMO-OFDM 무선통신과 MATLAB", 홍릉과학출판사, 2008.

[5] J. G. Andrews, A. Ghost and R. Muhamed, "Fundamentals of WiMAX understanding broadband wireless network," Prentice Press, 2009.

[6] Bruno Clerckx, YongXing Zhou, Sungjin Kim, "Practical Codebook Design for Limited Feedback Spatial Multiplexing," IEEE, ICC'08, pp. 3982-3987, Beijing, China, May 2008.

[7] 이상근, 조봉열, 여운영, "쉽게 설명한 3G/4G 이동통신시스템(개정판)," 홍릉과학출판사, 2009.

[8] "Codebook Design for E-UTRA MIMO Pre-coding," 3GPP TSG-RAN WG1 Meeting 46 R1-062016, Tech. Rep., Tallinn, Estonia, September 2006.

[9] Gilberto Berardinelli, Troels B.Srensen, Preben Mogensen, Kari Pajukoski, "SVD-Based vs. Release 8 Codebooks for Single User MIMO LTE-A Uplink," VTC 2010-Spring IEEE 71st, Taipei, Taiwan, Jun. 2010.

[10]. Min Wu, Chao Shen, Zhengding Qiu, "Limited Feedback Based on Tree-structured Codebook for MIMO Systems over Time-varying Channels", ISIP'09, pp. 79-82, Huangshan, China. August 21-23 2009.

[11]. Xiaofei Song, Heung-No Lee, "Near Optimal Adaptive Limited Rate Feedback Codebook Design for MIMO Systems", IEEE Trans. on Signal Processing, May, 2008.

[12] "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000," Recommendation ITU-R M.1225, 1997.

저 자 소 개



염 지 비(정회원)
 2009년 충북대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.
 2009년 2월~현재 충북대학교 대학원 정보통신공학과 석사과정

<주관심분야 : 이동통신 시스템, LTE, OFDM>



김 영 주(정회원)
 1988년 고려대학교 전자전산 공학과 학사 졸업.
 1996년 한국과학기술원 정보통신 공학과 석사 졸업.
 2001년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

1987년 11월~1993년 12월 (주)금성사 평택연구소
 1996년 2월~1997년 2월 동경공업대학교 연구원
 2000년 4월~2000년 12월 ETRI 위촉연구원
 2001년 1월~2003년 8월 (주)엘지전자 UMTS 시스템연구소
 2003년 9월~현재 충북대학교 전자정보대학 교수
 <주관심분야 : 이동통신 시스템, MIMO>