

논문 2011-48TC-1-10

LTE 하향 링크 시스템에서 양자화된 동 이득 전송 기법의 개선된 코드북 인덱스 탐색 기법

(Enhanced Codebook Index Search Scheme for Quantized Equal Gain
Transmission over LTE Down Link Systems)

박 노 윤*, 이 신*, 김 영 주**

(Noe Yoon Park, Xun Li, and Young Ju Kim)

요 약

LTE 하향링크 시스템에서 새로운 동 이득 전송 코드북 인덱스 탐색기법을 제안한다. 제안하는 탐색기법은 QEGT 코드북을 Q 개의 인덱스들로 구성된 M 개의 그룹으로 분할한 후, 선택된 최적의 그룹 내 인덱스들 중에서 최적의 인덱스를 결정하는 것으로 기존 탐색기법에 비해 인덱스 결정을 위한 전체 계산량이 감소하면서 링크레벨 성능은 유지가 되는 장점이 있다. TI사의 TMS320C6713 DSP보드를 이용한 인덱스 탐색 알고리즘의 구현을 통해 송신 안테나 수가 4인 경우 최적의 피드백 인덱스 결정을 위한 전체 clock-cycle 수가 기존보다 약 25%로 감소됨을 확인한다.

Abstract

A novel QEGT codebook index searching algorithm for long term evolution (LTE) system is proposed. The proposed algorithm divides the Q precoding vectors into M groups, and selects the optimal precoding vector from the selected group at the receiver. This algorithm reduced the calculation for searching the optimal precoding vector index compared to the previous algorithms. The index searching algorithm is implemented for TI's TMS320C6713 DSP board. When the number of transmit antenna is 4, the number of clock cycles is reduced to 25%.

Keywords: MIMO-OFDM, Precoding, Codebook, QEGT, LTE

I. 서 론

3GPP (3rd generation partnership)에서 확고한 경쟁력 확보를 위해 3세대 이동 통신 시스템의 무선 접속 표준안으로 추진 중에 있는 LTE (long term evolution) 시스템은 2004년 11월 캐나다 토론토에서 개최된 워크샵을 시작으로 최근 2010년 7월 독일 드레스덴에서 개

최된 61번째 워크샵에 이르기까지 각 세부기술들에 대한 논의가 계속 이어지고 있으며, 국내에서는 스마트폰의 보급 확산에 따른 이동 통신 시장에서 데이터 통신에 대한 수요를 충족시키기 위해 관련 장비 및 통신 시스템에서 기술 성능 테스트를 진행 중에 있다^[1~3].

LTE 시스템의 물리 채널은 MIMO-OFDM (multiple-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexing) 기법을 기본으로 하며, 특히 선부호화 (pre-coding) 기법을 채택하고 있다. 단말 (user equipments, UE) 에서 기지국 (NodeB)으로 MIMO 송신단의 선부호화 행렬을 잘 설정할 수 있도록 코드북 (codebook)의 프리 코딩 행렬 인덱스 (precoding matrix index, PMI, 이하 인덱스라 명함)를 피드백하여

* 학생회원, ** 정회원, 충북대학교 정보통신공학과 (School of Information and Communication Engineering, Chungbuk National University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0002702).

접수일자: 2010년10월21일, 수정완료일: 2011년1월14일

기지국에서의 선부호화 과정을 수행하도록 한다.

다양한 코드북 기법 중에서 David J. Love에 의해 제안된 양자화된 동 이득 전송 (quantized equal gain transmission, QEGT) 기법은 최대 비 전송 (maximum ratio transmission, MRT) 기법보다 송신단에서 비선형 증폭기를 사용하는 모델에서 좀 더 개선된 성능을 제공한다. 이는 MRT 기법 사용 시 송신 신호의 진폭을 가변시켜 성능 열화가 발생하지만, QEGT 코드북은 항상 일정한 진폭의 선부호화를 수행하기 때문이다. 즉, 상대적으로 가격이 저렴한 비선형 증폭기를 사용하여 다이버시티 이득을 제공할 수 있는 장점이 있다^[4~10].

그림 1은 QEGT 코드북의 인덱스 탐색기법과 관련하여 기존 논문에서 제안한 기법과 본 논문에서 제안하는 기법을 블록 다이어그램을 통해 비교한 것이다. 그림 1(a)의 기존 알고리즘보다 그림 1(b)의 본 논문의 알고리즘에서 피드백 인덱스 결정을 위한 계산량이 크게 감소하면서도 이상적인 QEGT 성능을 보인다. 기존 논문에서는 실제 채널 정보 및 코드북 인덱스의 선부호화 계수에 간단한 매트릭을 동일하게 적용하여 상호 근접 위상도를 계산, 특정 근접 위상 조건을 만족하는 인덱스 중에서 피드백 인덱스를 결정하였다. 그 결과, 전체 인덱스 탐색시간은 감소하면서 기존 QEGT 코드북 탐색기법과 링크 레벨 시스템 성능이 거의 동일함을 확인하였다^[11].

본 논문에서는 QEGT 코드북을 M 개의 그룹으로 적

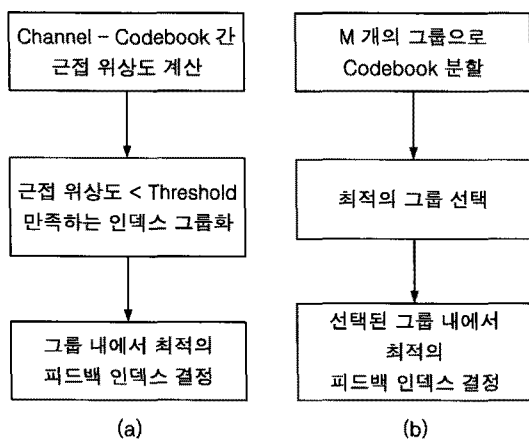


그림 1. QEGT 코드북 인덱스 탐색기법 비교
(a) 기존 인덱스 탐색기법
(b) 제안하는 인덱스 탐색기법

Fig. 1. Comparison of QEGT codebook index search schemes.

- (a) conventional search scheme
- (b) proposed search scheme.

절히 분할하여 최적의 그룹을 선택한 뒤, 선택된 그룹 내 인덱스 중에서 피드백 인덱스를 결정하는 개선된 탐색기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존에 [11]에서 제안된 인덱스 탐색기법보다 피드백 인덱스 결정을 위한 계산량이 크게 감소하면서도 이상적인 QEGT 코드북 성능과 동일한 링크 레벨 시스템의 성능을 보인다. Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 QEGT 코드북을 이용한 폐회로 방식의 MIMO 기술을 LTE 시스템에 적용하였을 경우, 기존 인덱스 탐색기법과 제안하는 개선된 인덱스 탐색기법에서의 symbol error rate (SER) 성능을 비교·분석하며, 특히 TMS320C6713 DSP 보드상에서의 clock-cycle 수 측정을 통해 전체적인 연산량이 정확하게 어느 정도 감소하는지 또한 비교·분석하여 제안하는 개선된 인덱스 탐색기법의 우수함을 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 LTE 하향링크 시스템에서 코드북을 이용한 선부호화 기법을 설명한다. III장에서는 제안하는 개선된 인덱스 탐색기법에 대해 그 절차를 상세히 기술하며, IV장에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 그 성능을 비교·분석하며, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

LTE 하향링크 시스템에서 선부호화된 MIMO 시스템을 그림 2에 보인다. 송신단과 수신단 사이에 채널 행렬 H 의 정보를 이용하여 선부호화 행렬 (precoding matrix) 이 결정되어야 하는데, 최적의 선부호화 행렬은 채널 행렬 H 의 특이 값 분해 (singular value decomposition, SVD) 방법으로 결정될 수 있다^[12]. 그러나 선부호화를 위한 피드백 정보의 양은 채널의 랭크 수, 안테나 포트의 개수 및 사용자 수가 증가함에 따라 선

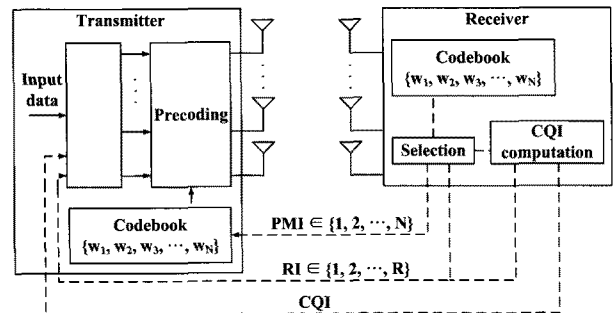


그림 2. LTE MIMO 시스템에서의 선부호화 과정

Fig. 2. Block diagram of precoded LTE MIMO system.

형적으로 증가하여 전체 시스템에 오버헤드로 작용한다. 이를 해결하기 위해 성능 열화가 발생하지 않는 범위 내에서 피드백 정보를 최소로 압축하여 전송하기 위해 양자화된 선부호화 행렬들의 집합인 코드북을 이용한다^[13]. 그림 2에서 MIMO 수신단은 채널 행렬 \mathbf{H} 를 RS (reference signal)를 통해 추정한 이후, 코드북의 인덱스 PMI (precoding matrix indicator)를 송신단으로 피드백한다.

임의의 코드북 \mathbf{W}_{CB} 는 식 (1)로 표기하며, 이 때 N 은 코드북 내 전체 인덱스 수를 의미한다. 각각의 선부호화 행렬은 $P \times v$ 크기를 갖는데, P 는 송신 안테나 포트 수, v 는 공간 영역에서 독립적인 데이터를 전송하는 가상의 층을 의미하는 layer 수이다. 본 논문에서는 layer 수가 1임을 가정하여 선부호화 행렬은 \mathbf{w}_k 인 $P \times 1$ 의 벡터이다.

$$\mathbf{W}_{CB} = [\mathbf{w}_1 \mathbf{w}_2 \cdots \mathbf{w}_{N-1} \mathbf{w}_N]^T \quad (1)$$

그리고 $k (1 \leq k \leq N)$ 번째 코드북 인덱스에서 첫 번째 송신 안테나 포트부터 M_T 번째 송신 안테나 포트까지 지정된 임의의 선부호화 행렬 벡터는 식 (2)와 같다. 이 때, k 는 정수이다.

$$\mathbf{w}_k = [w_{1,k} w_{2,k} \cdots w_{M_T,k}] \quad (2)$$

QEGT 코드북은 David J. Love 등에 의해 장점 및 단점이 자세히 연구된 코드북으로서 6 가지 단계를 통해 생성된다^[4]. 이 때, 코드북 생성 시 사용되는 계수로서 각 위상 각도를 코드화시키기 위해 사용된 비트 수가 B , 송신단의 송신 안테나 포트 수인 M_T 일 때, 코드북 인덱스는 $L = B \times (M_T - 1)$ 비트의 크기를 가진다. QEGT 코드북은 $C(M_T, L)$ 로 표기하기로 한다. 표 1은 M_T , B 에 따른 다양한 QEGT 코드북을 보인다.

수신단에서 추정된 채널 정보 \mathbf{H} 를 이용하여 최적의

표 1. 송신 안테나 수 (M_T)와 B 값에 따른 QEGT 코드북 크기, N/L
Table 1. QEGT codebook size, N/L according to M_T and B .

	$B=1$	$B=2$	$B=3$	$B=4$
$M_T=2$	2 / 1	4 / 2	8 / 3	16 / 4
$M_T=3$	4 / 2	16 / 4	64 / 6	256 / 8
$M_T=4$	8 / 3	64 / 6	512 / 9	4096 / 12

코드북 인덱스 벡터 k_{opt} 는 식 (3)에 의해 결정된다^[4].

$$k_{opt} = \arg \max_{\substack{\mathbf{H} \in \Omega \\ k \in \{1, \dots, M\}}} |\mathbf{H} \mathbf{w}_k| \quad (3)$$

III. 제안하는 개선된 인덱스 탐색 기법

QEGT 코드북의 첫 번째 송신 안테나 포트에 해당하는 모든 선부호화 계수는 복소수가 아닌 실수 값을 갖는다. 그리고 두 번째 송신 안테나 포트부터 실수가 아닌 복소수로 구성된 값을 갖는데, 동일 이득을 갖는 QEGT 코드북 특성상 두 번째 송신 안테나 포트부터 모든 선부호화 계수들의 크기는 동일하며 위상만 서로 다른 값을 갖는다. 그림 3은 임의의 QEGT 코드북에서 전체 인덱스에 대해 두 번째 송신 안테나 포트에 해당하는 선부호화 계수인 $w_{2,k} (k=1, \dots, 64)$ 를 좌표평면 상에 나타낸 것으로, 첫 번째 송신 안테나 포트를 제외한 나머지 송신 안테나 포트에 지정되는 선부호화 행렬 벡터는 모두 단위 원 형상을 갖는다. 본 논문에서 제안하는 인덱스 탐색기법은 단위원 형상을 갖는 QEGT 코드북의 특성을 이용, QEGT 코드북을 M 개의 그룹으로 인덱스를 균등하게 분할하여 최적의 그룹을 선택하는 단계, 선택된 그룹 내 인덱스 중에서 피드백 인덱스를 결정하는 단계로 이루어진다.

한편, LTE 하향링크 시스템에서는 송신 안테나 포트 수를 표 2에 나타낸 바와 같이 2 또는 4로 정의한다. 송신 안테나 포트 수가 2인 경우 PMI는 2 비트이므로 전체 인덱스 탐색이 가능하나, 안테나 포트 수가 4인 경우 인덱스 수가 16 또는 64로 증가하여 전체 인덱스 탐

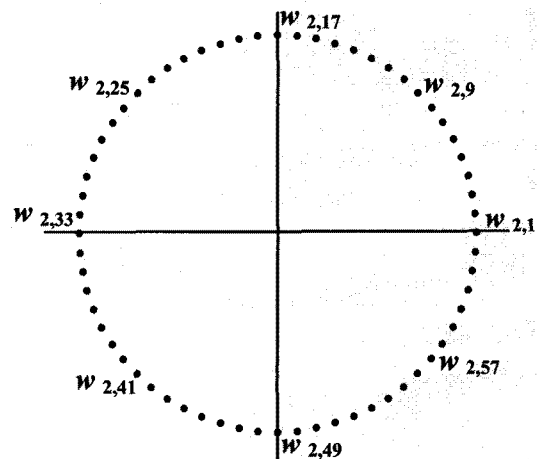


그림 3. QEGT 코드북 선부호화 행렬의 단위원 형상
Fig. 3. Unit circle representation of QEGT codebook.

표 2. LTE Release 8 기반 시스템에서 상·하향 링크 안테나 수

Table 2. The number of DL & UL antennas for LTE Release 8 system.

	NodeB ports 수	UE ports 수
Down Link	1, 2, 4	2, 4
Up Link	2	1

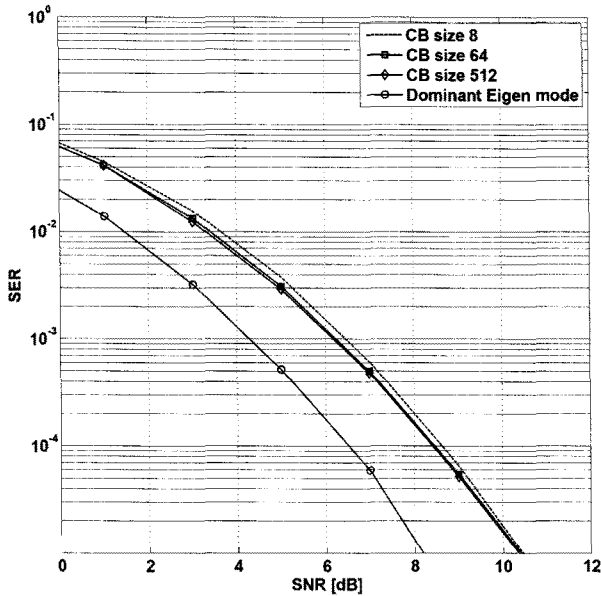


그림 4. MIMO-OFDM 시스템에서 $M_T=4$, $M_R=2$ 인 경우 QEGT 코드북 크기에 따른 QPSK 변조 성능 비교

Fig. 4. Comparison of the QPSK modulation performances using QEGT codebooks with dominant eigenmode transmission for $M_T=4$, $M_R=2$ based MIMO-OFDM system.

색을 위한 계산량이 지수함수적으로 증가하는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 송신 안테나 포트 수가 4인 경우 적용 가능한 개선된 인덱스 탐색 기법에 대해 상세히 기술한다.

그림 4는 MIMO-OFDM 시스템에서 송신 안테나 포트 수가 4, 수신 안테나 포트 수가 2인 경우 표 1에 나타난 QEGT 코드북 크기에 따른 QPSK 변조 시 그 성능을 비교한 것이다. 일반적으로 코드북을 구성하는 선부호화 계수들이 다양한 채널에서 오류 발생 없이 성공적으로 동작하기 위해서는 양자화 오차율이 감소될 수 있도록 충분한 수의 선부호화 계수들이 구성되어야 한다. 따라서 6 비트로 구성된 QEGT 코드북이 3비트로 구성된 QEGT 코드북을 이용하는 경우보다 시스템 성능이 상대적으로 향상되는 것을 확인할 수 있다. 상기 이유로 본 논문에서 제안 하는 개선된 인덱스 탐색 기

법은 6비트로 구성된 QEGT 코드북을 대상으로 한다. 한편, 표 1에서 제시된 9 비트 이상의 QEGT 코드북은 6비트 코드북에 비해 그 성능 차이가 작고, 피드백 비트 증가에 따른 피드백 효율성이 저하되기 때문에 본 논문에서는 다루지 않는다.

QEGT 코드북에서 두 번째 송신 안테나 포트에 해당하는 선부호화 계수인 $w_{2,k}$ 의 k 인덱스 순서가 그림 3과 같이 반시계 방향이 되도록 순차적으로 나열되어 있을 때, 최적의 그룹 선택을 위해서는 미리 그룹을 지정해야 한다. M 개의 그룹으로 인덱스들을 그룹핑하는 규칙은 다음을 따른다.

Grouping rule : n 비트의 인덱스로 구성된 QEGT 코드북에서 전체 인덱스 수 N 은 2^n 이다. 그룹 구성을 위해 결정 가능한 M 및 Q 는 N 의 약수 (divisor) 이어야 한다. 이를 통해 $N=M \times Q$ 관계가 성립한다. 이때, $M \approx Q$ 인 정수일 때, 가장 빠른 인덱스 탐색을 할 수 있다.

증명 : 각 그룹 내의 대표자 인덱스 (representatives index)라 명명된 u_m ($1 \leq m \leq M$)이 주어질 때, 전체 대표자 인덱스 벡터 \mathbf{u} 는 식 (4)와 같다. 이 때, $u_m = 1 + (m-1)Q$ 이며, m 은 정수이다.

$$\mathbf{u} = \{u_1, u_2, \dots, u_M\} = \{1, 1 + (2-1)Q, \dots, 1 + (M-1)Q\} \quad (4)$$

식 (5)는 각 그룹 내의 대표자 인덱스 u_m 을 포함한 m 번째 그룹을 구성하는 인덱스를 나타낸다.

$$\begin{cases} [w_{2,(N+2-Q/2)} \dots w_{2,N} w_{2,1} \dots w_{2,(1+Q/2)}]^T, & u_m = 1, Q \neq 2 \\ [w_{2,1} w_{2,2}]^T, & u_m = 1, Q = 2 \\ [w_{2,(u_m+1-Q/2)} \dots w_{2,u_m} \dots w_{2,(u_m+Q/2)}]^T, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

제안하는 기법의 첫 번째 단계는 상기 그룹핑 규칙에 의해 M 개의 그룹으로 인덱스가 균등하게 분할된 QEGT 코드북에서 최적의 그룹을 선택하는 것이며, 식 (6)에서 m_{opt} ($1 \leq m \leq M$)번째 그룹이 최적의 그룹으로 선택된다.

$$m_{opt} = \arg \max_{\substack{\mathbf{H} \in \Omega \\ m \in \{1,2,\dots,M\}}} |\mathbf{H} w_{2,u_m}| \quad (6)$$

제안하는 기법의 두 번째 단계는 상기 선택된 m_{opt} 번째 그룹 내 인덱스만을 식 (3)에 적용하여 PMI 피드백을 위한 최적의 인덱스를 결정하는 것이다. 이 때, $w_{2,u_{m_{opt}}}$ 는 식 (6)을 통해 이미 계산되었기 때문에 이 단

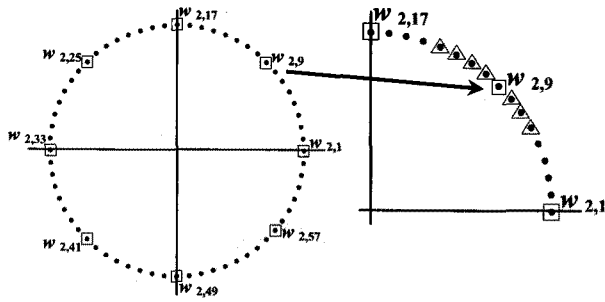


그림 5. 코드북 인덱스들 중 하나의 그룹 생성 예시
Fig. 5. Example of a group of codebook indices.

표 3. 최적 인덱스 선택을 위한 인덱스 계산량 비교
Table 3. Comparison of index searching complexity for choosing the optimal index.

M_T	M	Q	Conventional (N)	Proposed ($M+Q-1$)
4	2	32	64	33
	4	16		19
	8	8		15
	16	4		19
	32	2		33

계에서는 계산을 생략한다. 즉, 이 두 번째 단계에서 계산되는 그룹 내 인덱스 수는 $Q-1$ 이 된다.

상기 결과로부터 제안하는 탐색기법에서 최적의 피드백 인덱스를 결정하기 위해 계산된 전체 인덱스 k 는 $M+Q-1$ 개가 필요하다. 이는 기존 탐색기법에 의한 전체 인덱스 수 N 보다 그 수가 매우 작아진다 ($N > M+Q-1$).

표 3은 송신 안테나 포트 수가 4인 경우 6비트 QEGT 코드북에서 그룹핑을 구성할 수 있는 M 과 Q 값, 그리고 각 구성에 대해 제안하는 탐색기법에 의해 실제로 계산되는 전체 인덱스 수를 나타낸다. 이 때, 전체 인덱스 계산량이 가장 작은 경우는 $M=Q$ 즉, $M=8, Q=8$ 로서 $64 \rightarrow 15$ 로 감소한다. ■

그림 5는 $M=8, Q=8$ 인 경우 본 논문에서 제안한 인덱스 탐색기법을 적용한 예를 나타낸다. 식 (4)에 나타난 대표자 인덱스 u_m 을 좌표평면에 각각 □로 나타내었다. 만약 $w_{2,9}$ 즉, QEGT 코드북 내의 대표자 인덱스 9 가 포함된 그룹이 최적의 그룹으로 선택된다면, 이 때 생성되는 그룹은 $[w_{2,6} w_{2,7} w_{2,8} w_{2,9} w_{2,10} w_{2,11} w_{2,12} w_{2,13}]$ 이 되며, 이를 좌표평면에 △로 나타내었다. 이후, 상기 8 개의 인덱스 중에서 최적의 인덱스가 식 (3)에 의해 결정, 송신단으로 피드백이 수행된다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 새로운 인덱스 탐색 기법의 성능을 정확히 측정하기 위해 Texas Instruments (TI)社의 TMS320C6713 DSP 보드를 통한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하여 기존 QEGT 코드북 인덱스 탐색 기법과의 clock cycle 수 및 SER 성능을 분석하였다. 표 4는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 여러 가지 가정 및 파라미터를 정리한 것이다. 다중 경로 채널을 위한 PDP (power delay profile)은 ITU-R 모델의 Pedestrian B를 이용한다^[14].

표 4에 나타난 바와 같이 무선 채널 모델은 $CM(0,1)$ 분포로써 준정적 플랫 페이딩을 가지며, 심벌 전송에 있어 채널 특성이 일정하다고 가정한다. 즉, 무선 채널 모델에서의 페이딩 현상은 각 심벌마다 독립적으로 발생한다. 채널 추정 (channel estimation) 및 동기화 (synchronization) 그리고 안테나 사이의 상관관계 (antenna correlations) 는 모두 이상적이라고 가정하며, 잡음은 $CM(0, N_0)$ 의 분포를 가지는 가산성 백색 가우시안 잡음 (additive white gaussian noise, AWGN)을 이용한다.

표 4. 링크 레벨 시뮬레이션 파라미터
Table 4. Link level simulation parameters.

Parameters	Values
DSP Board	TMS320C6713
Board clock time [ns]	4.44
Modulation/Demodulation	QPSK
Bandwidth [MHz]	5
Sampling rate [MHz]	7.68
IDFT/DFT size	512
Number of occupied subcarriers	300
Number of slots	2
Cyclic prefix mode	Normal
Number of layers	1
Number of transmitter antennas	4
Number of receiver antennas	1, 2
Fading model	Quasi-static rayleigh fading
Channel model	ITU-R (Pedestrian B)
Number of multi-paths	6
Relative delay [ns]	[0 200 800 1200 2300 3700]
Average power [dB]	[0 -0.9 -4.9 -8.0 -7.8 -23.9]
Number of iterations	$> 10^6$

표 5. MISO 시스템에 $C(4,6)$ QEGT 코드북을 적용한 경우 정규화된 clock-cycle 수 비교

Table 5. Comparison of normalized index searching clock cycles for $C(4,6)$ QEGT codebooks.

M_T	M	Q	Conventional	Proposed	decreasing rate (%)
4	2	32	1	0.55	55
	4	16		0.32	32
	8	8		0.25	25
	16	4		0.32	32
	32	2		0.55	55

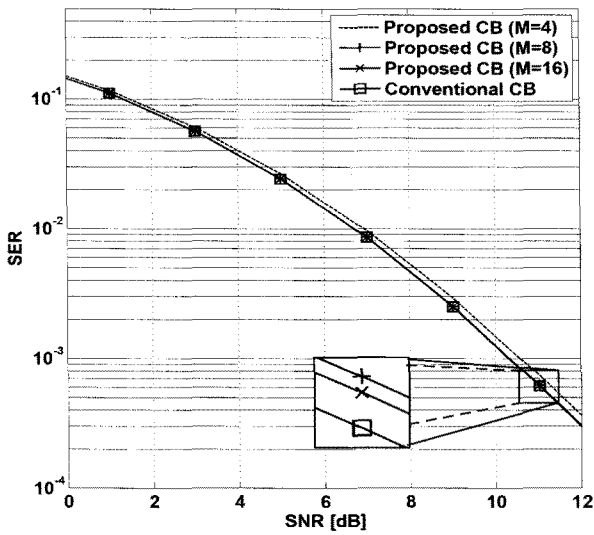


그림 6. 제안하는 인덱스 탐색 기법을 이용한 QEGT 코드북의 SER 성능 곡선 (M_T, M_R) = (4, 1)

Fig. 6. SER performances of QEGT codebook using proposed index search scheme (M_T, M_R) = (4, 1).

표 5는 본 논문에서 제안하는 인덱스 탐색 기법에 대해 MISO 시스템에 $C(4,6)$ QEGT 코드북을 적용한 경우 TMS320C6713 DSP 구현을 통한 clock-cycle 수를 측정된 것이다. 기존 인덱스 탐색 방법에 의해 측정된 clock-cycle 수를 C , 제안하는 인덱스 탐색 방법에 의해 측정된 clock-cycle 수를 P 라 할 때, 그 감소율 (decreasing rate) 은 C/P 로 정의하고 약 25~55% 감소됨을 보인다. 이 때, DSP 구현에 있어 최적화된 상태가 아니기 때문에 기존 인덱스 탐색 기법에 대한 clock-cycle 수를 1로 정규화한 뒤, 제안하는 인덱스 탐색 기법에 대한 clock-cycle 수 역시 정규화하여 이를 비교하였다.

그림 6, 7은 Monte-Carlo 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 LTE 하향링크 시스템을 이용하여 본 논문에서 제안하

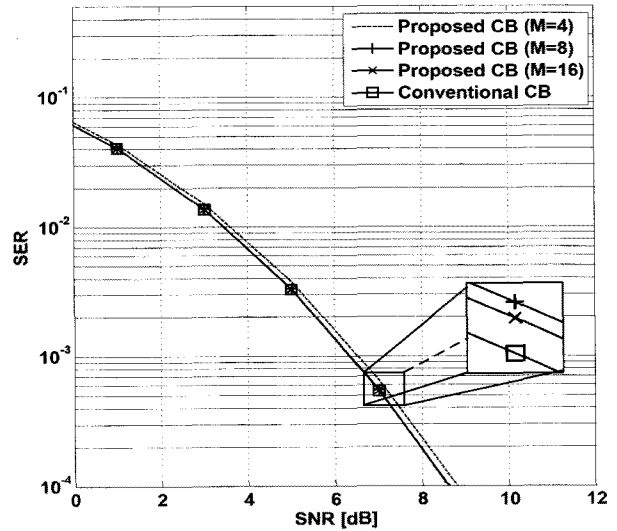


그림 7. 제안하는 인덱스 탐색 기법을 이용한 QEGT 코드북의 SER 성능 곡선 (M_T, M_R) = (4, 2)

Fig. 7. SER performances of QEGT codebook using proposed index search scheme (M_T, M_R) = (4, 2).

는 QEGT 코드북 인덱스 탐색 기법과 기존 코드북 인덱스 탐색 기법의 SER 성능곡선을 나타낸다. 그림 6은 송신 안테나 포트 수가 4, 수신 안테나 포트 수가 1인 MISO 시스템에서의 성능을 나타낸 것으로 M 이 4 인 경우는 기존 인덱스 탐색기법보다 성능이 저하되는 것을 보이며, M 이 8, 16 인 경우는 기존 인덱스 탐색기법과 동일한 성능을 보인다. 그림 7은 송신 안테나 포트 수가 4, 수신 안테나 포트 수가 1인 MIMO 시스템에서의 성능을 나타내며 그림 6의 MISO 시스템과 마찬가지로 M 이 4 인 경우는 기존 인덱스 탐색기법보다 성능이 저하되는 것을 보이며, M 이 8, 16 인 경우는 기존 인덱스 탐색기법과 동일한 성능을 보인다.

상기 결과로부터 $M \geq Q$ 인 경우만이 기존 인덱스 탐색기법과 동일한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한 표 3에서 보인 바와 같이 $M=8, Q=8$ 인 경우의 전체 인덱스 계산량은 15로서 $M=16, 32$ 에 비해 가장 낮은 계산량을 보이는데, 이를 통해 최적의 피드백 인덱스를 결정하기 위해 필요한 M 과 Q 의 조건으로 $M \approx Q$ 가 성립됨을 보인다.

IV. 결 론

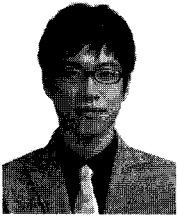
본 논문에서는 단위원 형상을 갖는 QEGT 코드북의 특성을 이용하여 M 개의 그룹으로 코드북을 적절히 분

할하여 최적의 그룹을 선택한 뒤, 선택된 그룹 내 인덱스 중에서 피드백 인덱스를 결정하는 개선된 탐색기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 피드백 인덱스 결정을 위한 전체 시스템에서의 계산량이 크게 감소하면서도 이상적인 QEGT 코드북 성능과 동일한 링크 레벨 시스템의 성능을 보인다. LTE 하향링크 기반의 MIMO 시스템을 기반으로 TI 社의 DSP 보드를 통한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 수행하여 기존 인덱스 탐색 방법과 비교, 송신단의 선부호화 기법을 위한 최적의 피드백 인덱스를 찾기 위해 필요한 clock-cycle 및 인덱스 탐색 수가 크게 감소되는 것을 보였다. 또한 제안하는 인덱스 탐색 기법과 기존 QEGT 코드북 인덱스 탐색 기법의 에러 발생 확률 측정을 통해 SER 성능이 서로 동일함을 확인하였으며, 이를 통해 전체 시스템 복잡도가 크게 개선됨을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 3rd Generation Partnership Project, <http://www/3gpp/org>
- [2] 3rd Generation Partnership Project, 3GPP TS 36.211 - *Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation (Release 8)*, Dec. 2008.
- [3] 3rd Generation Partnership Project, 3GPP TR 25.913 - *Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN) (Release 8)*, Dec. 2008.
- [4] D. J. Love and R. W. Heath, "Equal Gain Transmission in Multiple-Input Multiple-output Wireless Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 7, pp. 1102-1110, July 2003.
- [5] D. G. Brennan, "Linear diversity combining techniques," *Proc. IRE*, vol. 47, pp. 1075-1102, June 1959.
- [6] M. A. Najib and V. K. Prabhu, "Analysis of equal-gain diversity with partially coherent fading signals," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, pp. 783-791, May 2000.
- [7] A. Annamalai, C. Tellambura, and V. K. Bhargava, "Equal-gain diversity receiver performance in wireless channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 1732-1745, Oct. 2000.
- [8] Q. T. Zhang, "Probability of error for equal-gain combiners over Rayleigh channels: Some closed-form solutions," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 270-273, Mar. 1997.
- [9] Q. T. Zhang, "A simple approach to probability of error for equal gain combiners over Rayleigh channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, pp. 1151-1154, July 1999.
- [10] Xun Li, Y. J. Kim, "Performance analysis of equal gain transmission technique for SC-FDMA system," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 46, no. 9, Sep. 2009.
- [11] N. Y. Park, Xun Li, K. S. Lee, and Y. J. Kim, "A fast index search algorithm for codebook-based equal gain transmission beamforming system," *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 45, no. 12, Dec. 2008.
- [12] D. J. Love and R. W. Heath, "Limited Feedback Unitary Precoding for Orthogonal Space-time Block Codes," *IEEE Trans. Signal. Proc.*, vol. 53, no. 1, pp. 64-73, Jan 2005.
- [13] D. J. Love, R. W. Heath, Jr., V. K. N. Lau, D. Gesbert, B. D. Rao, and M. Andrews, "An overview of limited feedback in wireless communication systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 26, no. 8, pp. 1341 - 1365, Oct. 2008.
- [14] Recommendation ITU-R M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997.

— 저 자 소 개 —



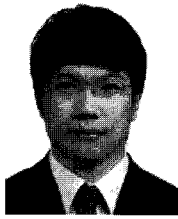
박 노 운(학생회원)
 2007년 충북대학교 정보통신공학과
 학사 졸업.
 2009년 충북대학교 정보통신공학과
 석사 졸업.
 2009년~현재 충북대학교
 정보통신공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 이동통신시스템, LTE, MIMO>



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

1987년11월~1993년12월 (주)금성사 평택연구소
 1996년 2월~1997년 2월 동경공업대학교 연구원
 2000년 4월~2000년12월 ETRI 위촉연구원
 2001년 1월~2003년 8월 (주)엘지전자 UMTS
 시스템연구소
 2003년 9월~현재 충북대학교 전자정보대학 교수
 <주관심분야 : 이동통신 시스템, MIMO>



이 신(학생회원)
 2004년 중국 산둥대학교
 정보시스템학과 학사 졸업.
 2008년 충북대학교 바이오정보기술
 학과 석사 졸업.
 2008년~현재 충북대학교
 정보통신공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 이동통신시스템, MIMO, OFDM>