

논문 2009-46TC-5-3

체이스 결합기반 재전송에서 성상점 재배치에 따른 성능 분석

(Performance Analysis of Constellation Rearrangement for Retransmission Scheme Based on Chase Combining)

박수원*, 이현석*

(Suwon Park and Hyunseok Lee)

요약

본 논문은 물리 계층에서의 HARQ 방식에서 사용하는 체이스 결합 기반의 재전송 방법에서 재전송시 신호 성상점 재배치 방법에 따른 성능 분석 결과를 제시한다. 성능 분석은 16QAM 변조 방식에 국한하여 가산형 백색 가우스 잡음(AWGN) 환경에서 모의실험을 통해 이루어진다. 터보 부호와 길쌈 부호의 두 가지 채널 부호화 방법에 따른 성능 분석 결과를 제시한다.

Abstract

In this paper, the constellation rearrangement method for retransmission based on Chase combining, is introduced. And the effectiveness of the recommended constellation rearrangements is analyzed with statistics. Their performance for turbo-coded or convolutional coded bit streams is evaluated with simulation under additive white Gaussian noise environment.

Keywords: HARQ, Chase Combining, Constellation Rearrangement (CoRe), 체이스 결합, 성상점 재배치

I. 서론

무선 통신에서는 송신측에서 수신측으로 전송된 비트열은 불가피하게 간섭, 잡음 및 페이딩의 무선 채널의 영향에 의하여 확률적으로 손상된다. 이러한 비트열의 확률적 손상을 최소화하기 위하여 블록 부호화(Block Coding) 또는 격자 부호화(Trellis Coding)와 같은 채널 부호화를 송신측에서 사용하고, 수신측에서는 역과정인 채널 복호화를 사용하여 비트오류율(BER: Bit Error Rate)과 같은 품질 지표를 일정한 값으로 유지하기 위해 요구되는 신호대 간섭 및 잡음비(SINR: Signal to Interference and Noise Ratio) 또는 신호대

잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)를 낮추고자 한다. 이러한 채널 부호화 방법을 순방향 오류 정정(FEC: Forward Error Correction)이라고 한다. 지연이 민감한 비트열에 대해서는 순방향 오류 정정 방법을 사용하는 것이 불가피하다. 그러나 지연에 민감하지 않은 서비스를 위한 비트열의 경우에는 재전송에 의한 오류 정정 방법을 사용한다. 이 방법은 수신측에서 비트열내에 포함된 CRC(Cyclic Redundancy Check) 부호 등을 이용하여 오류 발생 여부를 판단하고(Error Detection) 송신측에 그 결과를 귀환 채널(Feedback Channel)을 통하여 전달하여 오류가 발생되었을 때 재전송(Retransmission)을 하는 것으로 자동 재전송 요구(ARQ: Automatic Repeat Request)라고 한다. ARQ 과정은 물리(PHY: Physical) 계층이 아니라 매체 접근 제어(MAC) 계층이상에서 이루어지기 때문에 상대적으로 지연이 증가하여 현재의 무선 및 이동통신시스템에서는 상대적 지연 감소를 목적으로 물리 계층에서

* 평생회원, 광운대학교 전자통신공학과
(Kwangwoon University)

* 이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

접수일자: 2009년2월10일, 수정완료일: 2009년4월16일

채널부호화와 연계하여 ARQ과정을 수행한다. 이 방법을 HARQ (Hybrid ARQ)라고 한다.

ARQ과정과 HARQ과정의 차이는 수행 계층의 차이도 있지만 수신측에서 이전에 수신된 오류 발생이 검출된 신호의 재사용 여부에도 차이가 있다. ARQ는 이전에 수신된 오류 발생이 검출된 신호는 폐기하고, 재전송을 통해 새로 수신된 신호만을 이용하지만 HARQ는 이전에 수신된 오류 발생이 검출된 신호와 재전송을 통해 새로 수신된 신호를 결합하여 채널 복호기의 입력값을 생성한다. 또 한 가지 차이는 ARQ는 오류 검출 부호화는 필수적이지만 오류 정정 부호화는 선택적이다. 그러나 HARQ는 오류 검출 부호화 및 오류 정정 부호화가 필수적이다.

HARQ방법은 두 가지로 분류된다. 오류 검출 부호화 및 오류 정정 부호화를 포함한 채널 부호기의 출력 비트열을 매 전송마다 동일한 것을 사용하고 수신측에서 이를 결합하여 채널 복호기의 입력으로 사용하는 체이스 결합 (Chase Combining) 방법과 매전송마다 동일하지 않을 수 있는 점진적 부가 (IR: Incremental Redundancy) 방법이 있다. 본 논문에서는 두 방법중에서 16QAM 변조신호의 성상점 재배치(CoRe: Constellation Rearrangement)에 따른 효과에 초점을 맞추기 위하여 체이스 결합에 한정하여 성능 분석을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 성능 분석 대상인 송신측에서의 16QAM 변조 방법과 수신측에서 채널 복호기에 입력될 연판정 입력값 생성 방법에 대하여 알아본다. 또한 현재 규격에 규정되어 있는 재전송 시 사용되는 16QAM 성상점의 재배치 방법에 대하여 살펴보고, 많은 후보 성상점 재배치 방법중에서 규격에 규정된 방법의 유효성에 대하여 통계값을 이용하여 분석한다. III장에서는 모의실험을 통하여 길쌈부호 또는 터보부호가 사용되는 경우에 대한 성능 평가를 한다. 마지막으로 IV장에서 본 연구 결과에 대한 요약과 향후 연구 주제를 제시한다.

II. 본 론

본 논문에서는 16QAM 변조신호의 성상점 재배치에 따른 효과를 보기 위하여 성능 분석 대상 시스템으로 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 표준화한 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)를

표 1. HSDPA를 위한 변조 및 부호 방식
Table 1. Modulation and Coding Scheme for HSDPA.

MCS	Modulation	Code Rate	#Tx Bits/(3TS*50C)
6	16QAM	3/4 (=6/8)	7200 = 900B
5	16QAM	5/8 (=5/8)	6000 = 750B
4	16QAM	1/2 (=4/8)	4800 = 600B
3	QPSK	3/4 (=3/4)	3600 = 450B
2	QPSK	1/2 (=2/4)	2400 = 300B
1	QPSK	1/4 (=1/4)	1200 = 150B

*TS=Timeslot, OC=Orthogonal Codeword, B = Byte

위한 표 1의 6개의 변조 및 부호 방식 (MCS: Modulation and Coding Scheme)에서 16QAM을 사용한다.^[1]

1. 16QAM 변조방식을 위한 신호 성상점

그림 1은 HSDPA의 16QAM의 신호 성상점(Signal Constellation Point)을 도시한 것이다. 16QAM 신호 성상점은 인접한 성상점 사이에는 한 비트의 차이만 있는 그레이 (Gray) 부호화되어 있다.

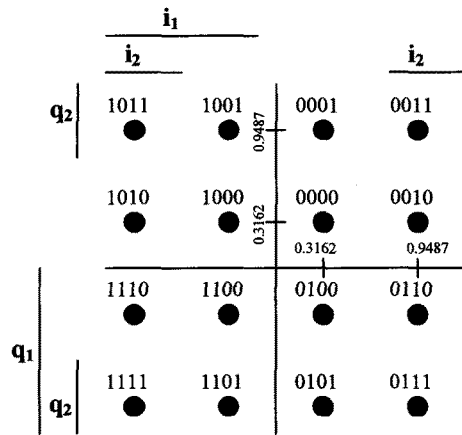


그림 1. 16QAM 변조용 신호 성상점
Fig. 1. Constellation Points for 16QAM.

2. 채널 복호기의 연판정 입력값 생성 방법

수신측에서는 수신된 16QAM 신호 z로부터 채널 복호기의 i번째 연판정 입력값 $\Lambda(i)(z)$ 을 대수 우도비 (Log-Likelihood Ratio) 함수를 근사화하여 식 (1)과 같이 생성한다.^[1]

$$\Lambda^{(i)}(z) = K_f \left[\underset{j \in S_i}{\text{Min}} \{d_j^2\} - \underset{j \in \bar{S}_i}{\text{Min}} \{d_j^2\} \right] \quad (1)$$

$$i = 0,1,2, \dots, \log_2 M - 1$$

단, M 은 변조 알파벳 크기이고, 16QAM에서는 $M=16$ 이다. 수신된 신호 $Z = A_d A_p \alpha \hat{\alpha} e^{-j(\theta - \hat{\theta})} \chi + n$ 이고, x 는 송신된 QAM 심벌, A_d 는 트래픽 채널의 이득, A_p 는 파일럿 채널의 이득, $\alpha e^{j\theta}$ 는 복소 페이딩 채널 이득이고, $A_p \hat{\alpha} e^{j\hat{\theta}}$ 는 파일럿 채널로부터 얻은 페이딩 채널 추정값이다. K_f 는 수신 신호대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)에 비례하는 크기 조절 상수이고, d_j 는 수신 신호 z 와 QAM 신호 성상점과의 유클리드 거리(Euclidean distance)이다. 채널 복호기의 $i(=0,1,2,3)$ 번째 연판정 입력값 $\Lambda(i)(z)$ 은 변조시 i 번째 값이 "0"인 신호 성상점 y_j ($j = 0, 1, 2, \dots, 15$)의 집합 $S_i = \{y_j | \text{변조된 심벌 } y_j \text{의 } i\text{번째 값} = 0\}$ 와 변조시 i 번째 값이 "1"인 신호 성상점의 집합 $\bar{S}_i = \{y_j | \text{변조된 심벌 } y_j \text{의 } i\text{번째 값} = 1\}$ 에 속하는 신호 성상점 중에서 각각 가장 짧은 거리를 가진 두 거리 사이의 차에 비례한다. 거리는 $d_j^2 = |A_p z - y_j A_d \gamma|^2$ 로 계산된다. 단, $y_j \in S_i$ 또는 $y_j \in \bar{S}_i$ 이고, $\gamma = A_p \hat{\alpha}$ 은 파일럿 채널을 채널 추정 여파기를 통과시켜 얻은 채널 추정값이다. 파일럿 채널과 데이터 채널의 이득은 수신기에서 안다고 가정한다.

3. 규격에 규정된 16QAM 성상점의 재배치 방법

16QAM 변조 심벌 생성을 위한 입력 비트 시퀀스를 차례대로 $i_1 i_2 q_1 q_2$ 라 하자. 터보 부호에서 i_1 과 i_2 는 동위상 성분에서 각각 고신뢰도 비트 및 저신뢰도 비트이고, q_1 과 q_2 는 직교위상 성분에서 각각 상대적 고신뢰도 및 저신뢰도 요구 비트를 나타낸다. 터보 부호기 출력에서 상대적 고신뢰도 요구 비트는 정보 비트(Systematic Bit)를 의미하고, 상대적 저신뢰도 요구 비트는 부가 비트(Parity Bit)를 의미한다.^[1]

4. 16QAM 성상점의 재배치 방법

입력 비트 시퀀스에 배타적 논리합 (XOR: eXclusive OR) 연산하는 방법인 마스크(masking)의 개수는 $2^4 = 16$ 이다. 가능한 순서바꿈(permutation)의 개수는 $4! = 24$ 이다. 따라서 최초 전송대비하여 1차 재전송시 가능한 성상 재배치 경우의 수는 $384(=16 \times 24)$ 이고, 그 다음 전송시에도 동일한 수의 경우가 존재한다. 따라서 최대 재전송 횟수가 N 이라면 전부 조사(exhaustive search)해야 하는 경우의 수는 $384N-1$ 이다.

표 2. 3GPP 규격에 규정된 순서바꿈과 마스크 조합
Table 2. Combination of Permutation and Masking Specified in 3GPP Specification.

b	출력	연산
0	$i_1 q_1 i_2 q_2$	무변화
1	$i_2 q_2 i_1 q_1$	i_1 과 i_2 및 q_1 과 q_2 의 자리바꿈
2	$i_1 q_1 i_2 q_2$	0011로 배타적 논리합 (XOR)
3	$i_2 q_2 i_1 q_1$	i_1 과 i_2 및 q_1 과 q_2 의 자리바꿈 0011로 배타적 논리합 (XOR)

본 논문에서는 최대 재전송 횟수 $N=2$ 로 제한하여 성능분석을 하였다. 최적의 순서바꿈(permutation)과 마스크(masking)의 조합을 찾기 위하여 연판정 입력값에 대한 다음의 통계값을 계산하였다.

1차 적률 (1st moment)은 식 (2)와 같다.

$$E[\Lambda] = \frac{\sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{\log_2 M - 1} |\Lambda^i(y_j)|}{M \cdot \log_2 M} \tag{2}$$

2차 적률 (2nd moment)는 식 (3)와 같다.

$$E[\Lambda^2] = \frac{\sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{\log_2 M - 1} |\Lambda^i(y_j)|^2}{M \cdot \log_2 M} \tag{3}$$

분산 (variance)는 식 (4)와 같다.

$$\sigma_A^2 = E[\Lambda^2] - \{E[\Lambda]\}^2 \tag{4}$$

변동 계수(Coefficient of Variation)은 식 (5)와 같다.

$$CV = \frac{\sigma_A}{E[\Lambda]} \tag{5}$$

표 3은 최대 재전송 횟수 $N=2$ 인 경우에 대하여 384가지의 순서바꿈과 마스크 조합에 대하여 네 가지 통계값을 조사하여 찾은 각 통계값의 최대값과 최소값이다.

표 3. 순서바꿈과 마스크 조합에 의한 통계값 범위
Table 3. Range of Statistic Based on Combinations of Permutation and Masking.

통계값	최대값	최소값
1차 적률	1.40001	0.70000
2차 적률	3.03994	1.15995
분산	1.07993	0.23992
변동계수	1.36721	0.16660

표 4. 통계값 기반의 순서바꿈과 마스크링 조합
Table 4. Combination of Permutation and Masking Based on Statistic.

통계값	최대값		최소값	
	순서바꿈	마스킹	순서바꿈	마스킹
1차적률	0123	xxxx	2301	xx11
2차적률	0123	xx00	2301	xx11
분산	0132	xxxx	1023	xx11
변동계수	2301	xx11	1023	xx11

x : don't care

표 5. 3GPP 규격에 규정된 순서바꿈과 마스크링 조합
Table 5. Combination of Permutation and Masking Specified in 3GPP Specification.

b	순서바꿈	마스킹	비고
0	0123	0000	1차/2차 적률 최대
1	2301	0000	다른 통계값 분석 필요
2	0123	0011	1차 적률 최대
3	2301	0011	변동계수 최대 1차/2차 적률 최소

표 5는 최대 재전송 횟수 N=2일 경우에 각 통계값이 표 4와 같이 최대값 또는 최소값을 가질 경우의 순서바꿈(permutation)과 마스크링(masking)의 조합을 컴퓨터 모의실험을 통하여 찾은 것이다. 마스크링에서 "x"로 표시된 것은 "0" 또는 "1" 어느 것이어도 동일한 결과를 얻음을 표시한다.

표 5는 표 2에 주어진 터보 부호에 대하여 3GPP에서 권고하는 4가지의 순서바꿈 및 마스크링의 조합이 네 가지의 통계값의 관점에서 어떤 특성을 가지는지를 파악한 것이다. b=1인 경우에 대해서는 앞의 네 가지 통계값의 관점에서 해석되지 않기 때문에 좀 더 고차의 적률에 대한 분석이 필요할 것으로 생각된다.

III. 모의실험 결과

모의실험은 체이스 결합에 기반한 HARQ에 대하여 수행한다. 채널부호는 3GPP 규격에 명시된 길쌈부호와 터보부호를 사용하며, 모의실험 환경은 다음과 같다.

1. 채널 부호가 길쌈 부호일 때

표 6과 같은 모의실험 환경에서 길쌈 부호에 대하여 12가지의 순서바꿈과 마스크링 조합에 대하여 모의실험한 결과가 그림 2와 같다.

그림 2의 모의실험 결과는 최대 전송 횟수 N=2로

표 6. 모의실험 환경 (길쌈부호)
Table 6. Simulation Conditions. (Convolutional Code)

채널 부호	길쌈 부호
구속장 길이 (K)	9
부호율 (R)	1/2
복호 알고리즘	(연관정 입력) 비터비
원천 비트수	172
CRC 비트수	12
꼬리 비트수	8
부호화된 심벌수	384
데이터 변조	16QAM
변조 심벌수	96
채널	AWGN
최대 전송 횟수 (N)	2

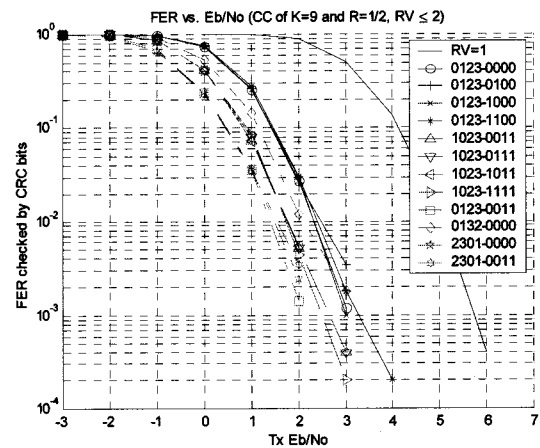


그림 2. 모의실험 결과 (길쌈 부호)
Fig. 2. Simulation Result. (Convolutional Code)

제한했을 경우의 프레임 오류율 (FER: Frame Error Rate) 결과이다. 표 6의 3GPP규격에 규정된 순서바꿈과 마스크링 조합인 b=1, 2, 3에 해당하는 2301-0000(오각별 심벌), 0123-0011(네모 심벌), 2301-0011(육각별 심벌)의 성능이 가장 좋음을 알 수 있다. 재전송시 순서바꿈과 마스크링을 하지 않는 것과 등가인 b=0에 해당하는 0123-0000(원심벌)에 비하여 1dB가량의 Eb/N0이득을 얻는다.

2. 채널 부호가 터보 부호일 때

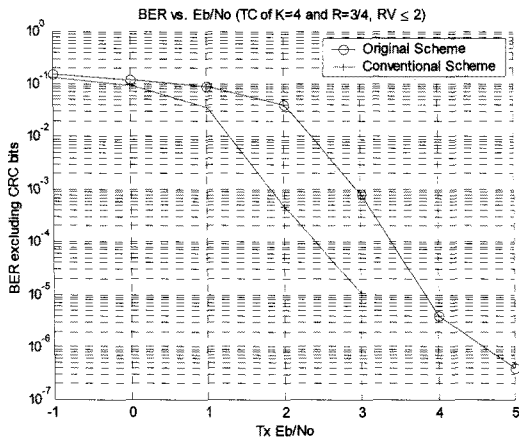
표 7과 같은 모의실험 환경에서 터보 부호에 대하여 순서바꿈과 마스크링 조합 b=2에 대하여 모의실험한 결과가 그림 3, 4, 5와 같다.

그림 3은 최대 전송 횟수 N=2 또는 N=3일 때 재전송시 성상점 재배치(CoRe)가 없는 경우(b=0, Original)와 있는 경우(b=2, Conventional)의 Eb/N0에 대한 비트

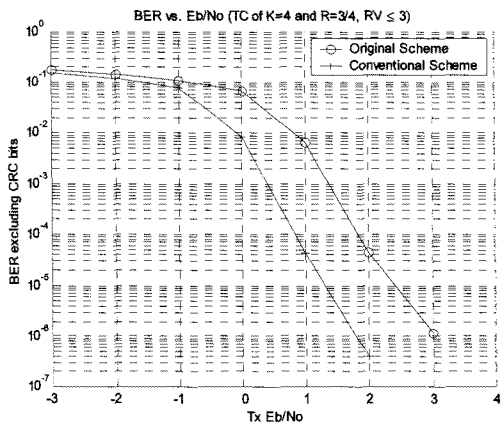
표 7. 모의실험 환경 (터보부호)

Table 7. Simulation Conditions (Turbo Code)

채널 부호	터보 부호
구속장 길이 (K)	4
부호율 (R)	3/4
복호 알고리즘	(연관정 입력) MAP
최대 반복 복호 횟수	5
원천 비트수	1024
CRC 비트수	16
종료 비트수	12
데이터 변조	16QAM
채널	AWGN
최대 전송 횟수 (N)	2 또는 3



(a) N = 2

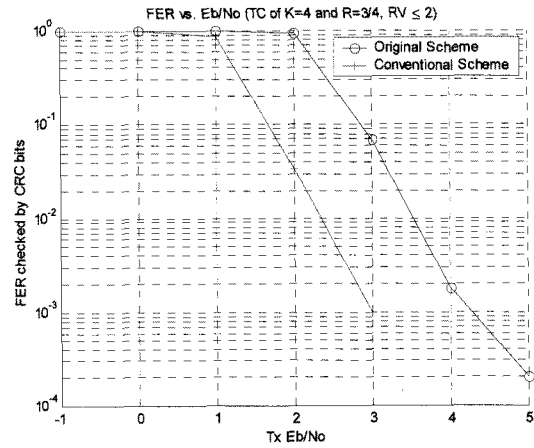


(b) N = 3

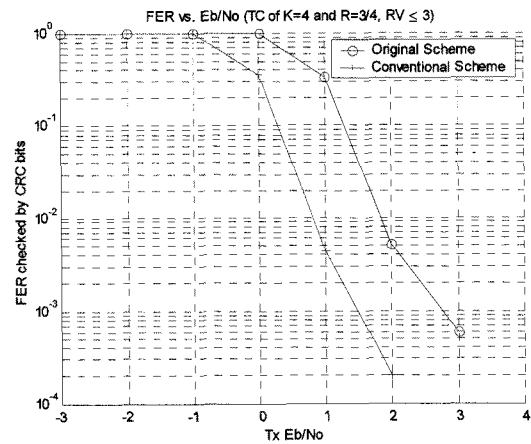
그림 3. Eb/No에 대한 BER (CRC비트 에너지 제외)
Fig. 3. BER vs. Eb/No (excluding CRC bit energy).

오류율(BER: Bit Error Rate) 결과이다. 정상점 재배치가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 요구 BER=10⁻⁴(=0.01%)기준으로 최대 전송 횟수 N=2 및 N=3일 때 모두 약 1dB의 Eb/No이득을 얻는다.

그림 4는 최대 전송 횟수 N=2 또는 N=3일 때 재전



(a) N = 2

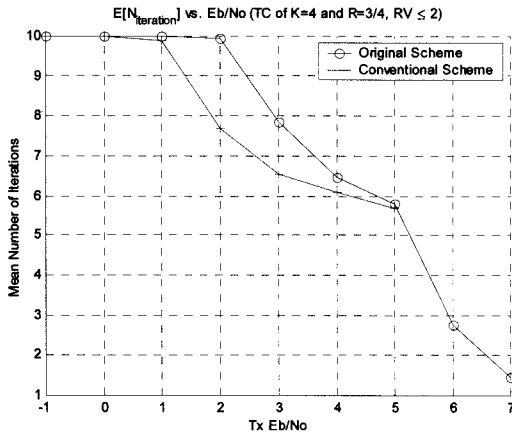


(b) N = 3

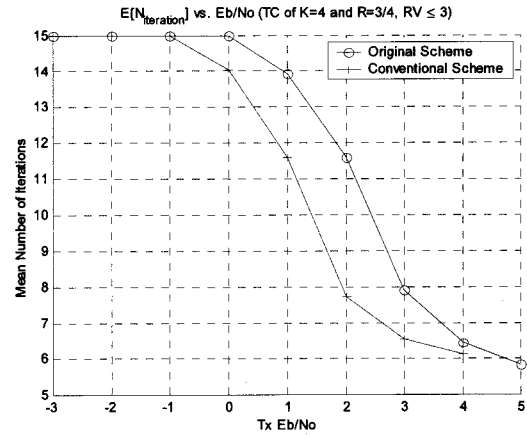
그림 4. Eb/No에 대한 FER (CRC비트로 확인)
Fig. 4. FER vs. Eb/No (checked by CRC bits).

송시 정상점 재배치(CoRe)가 없는 경우(b=0, Original)와 있는 경우(b=2, Conventional)의 Eb/No에 대한 프레임 오류율(FER: Frame Error Rate) 결과이다. 정상점 재배치가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 요구 FER=10⁻²(=1%) 기준으로 최대 전송 횟수 N=2일 때 약 1.2 dB가량의 Eb/No이득을, N=3일 때 약 1dB의 Eb/No이득을 얻는다.

그림 5는 최대 전송 횟수 N=2 또는 N=3일 때 재전송시 정상점 재배치(CoRe)가 없는 경우(b=0, Original)와 있는 경우(b=2, Conventional)의 Eb/No에 대한 터보 복호기의 평균 반복 복호 횟수 측정 결과이다. 특이한 사항은 정상점 재배치가 있는 경우와 없는 경우 모두 Eb/No=5dB일 때 터보 복호기의 평균 반복 복호 횟수가 동일해 짐을 알 수 있다. 그림 3과 그림 4의 결과로부터 BER과 FER의 차이는 존재하지만 터보 복호기의 평균 반복 복호 횟수에는 차이가 거의 없다.



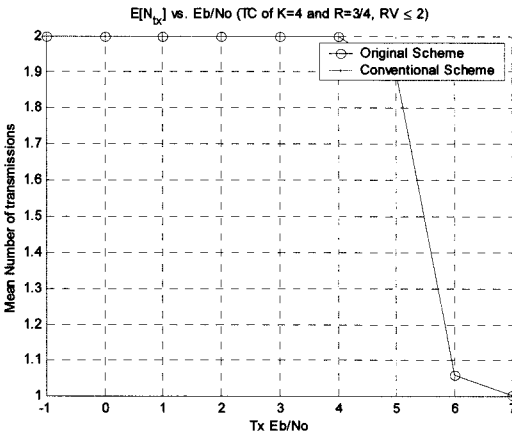
(a) N = 2



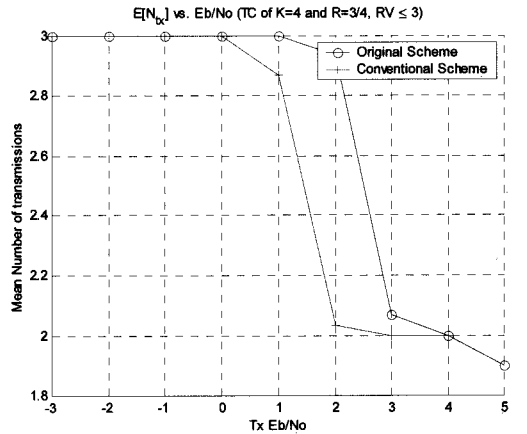
(b) N = 3

그림 5. Eb/NO에 대한 평균 반복 복호 횟수

Fig. 5. Mean number of iterations vs. Eb/NO.



(a) N = 2



(b) N = 3

그림 6. Eb/NO에 대한 평균 전송 횟수

Fig. 6. Mean number of transmissions vs. Eb/NO.

그림 6은 최대 전송 횟수 N=2 또는 N=3일 때 재전송시 성상점 재배치(CoRe)가 없는 경우(b=0, Original)와 있는 경우(b=2, Conventional)의 Eb/NO에 대한 평균 전송 횟수 측정 결과이다. 특이한 사항은 최대 전송 횟수 N=2인 경우에는 성상점 재배치가 있는 경우와 없는 경우 모두 동일한 평균 전송 횟수를 가진다는 것이다.

최대 전송 횟수 N=3인 경우에는 Eb/NO=0dB이상에서 성상점 재배치가 있는 경우가 없는 경우에 비하여 평균 전송 횟수가 적지만 Eb/NO=4dB이상에서는 동일한 평균 전송 횟수를 가진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 물리 계층에서의 HARQ방식에서 사

용하는 체이스 결합 기반의 재전송 방법에서 재전송시 신호 성상점 재배치방법에 따른 성능 분석 결과를 제시 하였다. 성능 분석은 16QAM 변조방식에 국한하여 가산형 백색 가우스 잡음(AWGN) 환경에서 모의실험을 통해 이루어졌다. 채널 부호로 많이 사용되는 터보 부호와 길쌈 부호의 두 가지 채널 부호화 방법에 따른 성능 분석 결과를 제시하였다.

전수 조사를 하지 않고 연판정 입력의 평균(mean), 분산(variance), 변동계수(coefficient of variation)와 같은 기본 통계값에 기초하여 최적의 순서바꿈 및 마스크 조합을 찾으려고 했으나 규격에서 규정된 특정 조합의 경우에는 추가적인 통계값이 필요할 것으로 예측되었다. 따라서 이에 분석이 완료되기 전에는 전수 조사의 의해 최적의 조합을 찾을 필요가 있다.

조직 부호(systematic code)인 터보 부호와 달리 모든 채널부호화된 심벌들간에 가중치가 없다고 판단되는 비조직 부호인 길쌈 부호의 경우에도 3GPP 표준 규격에 규정된 순서바꿈과 마스크가 가장 좋은 성능을 보임을 확인했다.

향후 체이스 결합뿐만 아니라 점진적 부가(IR: Incremental Redundancy) 기반의 HARQ에 대한 연구가 필요하다. 더불어 OFDM기반의 시스템에서 많이 사용하는 64QAM 등의 고차 변조방법에 대하여 재전송시 정상점 재배치에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Technical specification 25.212, multiplexing and channel coding (FDD)", v. 5.0.0, March 2002. ftp://www.3gpp.org/specs/2002-03/rel-5/25_series/25212-500.zip
- [2]. Panasonic, "16-QAM HARQ method with signal constellation rearrangement", 3GPP TSG RAN WG1, March 2001. ftp://www.3gpp.org/tsg_ran/wg1-r11/tsgr1-19/docs/zips/R1-01-0237.zip
- [3]. Martin Döttling, Thomas Grundler and Alexander Seeger, "Incremental Redundancy and Bit-Mapping Techniques for High Speed Downlink Packet Access", Global Telecommunications Conference. GLOBECOM '03. IEEE., pp. 908-912, vol. 2, Dec. 2003.
- [4]. 3GPP2, Physical layer standard for cdma2000 spread spectrum systems (release D). C.S0002-D Version 1.0, Feb 13, 2004.
- [5] Panasonic, "Enhanced HARQ method with signal constellation rearrangement," 3GPP TSG RAN WG1, March 2001. ftp://www.3gpp.org/tsg_ran/wg1_r11/tsgr1_19/docs/zips/R1-01-0237.zip
- [6] Panasonic, "16-QAM HARQ bitmapping scheme," 3GPP TSG RAN WG1, January 2002. ftp://www.3gpp.org/tsg_ran/wg1_r11/tsgr1_23/docs/zips/R1-02-0151.zip
- [7] 802.16m-07/292r1, ITRI, "Enhanced HARQ technique using Constellation Rearrangement".
- [8] R1-01-0237, Panasonic, "enhanced HARQ method with signal constellation rearrangement," 3GPP TSG RAN WG1, Las Vegas, USA February 27-March 2, 2001.
- [9] IEEE 802.16m-08/771r1 "Enhanced HARQ scheme with Signal Constellation Rearrangement".

저 자 소 개



박 수 원(평생회원)
 1994년 2월 KAIST
 전기및전자공학과 공학사
 수학과 (복수전공)
 1996년 2월 KAIST 전기및전자
 공학과 공학석사
 2003년 2월 KAIST 전자전산학과
 학박사

1994년 3월~1998년 9월 삼성전자 전임연구원
 1998년 9월~1999년 2월 한국과학기술원
 전일제 위촉연구원
 1999년 3월~2002년 5월 한국전자통신연구원
 시간제 위촉연구원
 2002년 6월~2006년 2월 삼성전자 통신연구소
 책임연구원
 2006년 3월~2007년 2월 광운대학교
 전자통신공학과 전임강사
 2007년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과
 조교수

<주관심분야 : CDMA/OFDM/OCHM/ORHM 무선접속기술, 전력제어, SDR/CR 기술, 간섭/공존 문제, PAPR완화기술, 부호이론>

이 현 석(평생회원)



1992년 KAIST
 전기및전자공학과 공학사
 1995년 POSTECH
 전자전기과 공학석사
 2007년 University of Michigan,
 Ann Arbor, Computer
 Science and Engineering
 Ph.D.

1992년 2월~2008년 8월 삼성전자 통신연구소
 수석연구원
 2008년 9월~현재 광운대학교
 전자통신공학과 조교수

<주관심분야 : Software Defined Radio, 통신용 DSP구조, 임베디드 시스템, VLSI>