DBpia

새로운 비대칭 구조를 갖는 터보부호의 Flattening Effect의 성능향상에 관한 연구

정회원 정 대 호*, 정 성 태**, 정 경 택***, 김 환 용*

Performance Improvement of the Flattening Effect of the new Asymmetric Turbo Codes

Dae-ho Jeong*, Sung-tae Jung**, Kyung-taek Chung***, Hwan-yong Kim* ***Regular Members***

요 약

터보부호는 반복복호 수와 인터리버 크기가 증가할수록 AWGN 채널환경에서 BER 성능이 향상된다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그러나 반복복호 수와 인터리버 크기가 증가하면 상대적으로 복호 과정에서 복호지연과 계산량이 증가하게 된다. 또한 임의의 SNR에서는 더 이상 BER 성능의 향상이 없는 flattening effect 현상이 발생하기 때문에 오류정정 능력의 한계에 도달하는 큰 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 터보부호의 flattening effect 현상을 개선시키기 위해서 두 구성부호기의 구속장 뿐만아니라 생성다항식 자체도 서로 다르게 구성한 새로운 비대칭 구조를 갖는 터보부호를 제안한다. 제안된 비대칭 터보부호는 각각의 구성부호기의 생성다항식을 원시다항식과 소수다항식을 혼합한 형태로 구성하였고 구속장도 서로 다르게 구성하여 다양한 구조와 다양한 유효자유거리(effective free distance)를 갖도록 구성하였다. 제안된 비대칭 터보부호는 부호율이 1/3일 때 log-MAP 복호방법을 이용하여 상대적으로 작은 프레임(128, 256)과 큰 프레임(512, 1024)으로 인터리버 크기를 조절하면서 그 성능을 분석하였다. 모의실험 결과, 기존의 터보부호에 비해서 10^{-4}의 BER 영역에서 작은 프레임의 경우에 1.7dB~2.5dB 이상의 우수한 성능을 나타냈으며 큰 프레임의 경우에 2.0dB~2.5dB 이상의 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었고 flattening effect 현상의 개선 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

It is well known the fact that turbo codes has better performance as the number of iteration and the interleaver size increases in the AWGN channel environment. However, as the number of iteration and the interleaver size are increased, it is required much delay and computation for iterative decoding, and caused the flattening effect phenomenon which is very littel BER performance improvement at the arbitrary SNR. In this paper, We proposed the new asymmetric turbo codes, which consist of parallel concatenated turbo codes that use mixed types of component codes with different not only constraint length but also generate polynomial and analyzed its BER performance for log-MAP decoding algorithm with frame size of 128, 256, 512 and 1024 bits, and coding rate of 1/3. As a results of simulation, proposed asymmetric turbo codes verify that its BER performance is superior to conventional symmetric turbo codes. It can be also observed that the flattening effect phenomenon is very reduced by applying the proposed asymmetric turbo codes. It gains respectively 1.7dB~2.5dB and 2.0dB~2.5dB SNR improvements in the case of short frame(128, 256) and large frame(512, 1024) size for the BER 10^{-4} region.

* 원광대학교 전자공학과(hykim@wonkwang.ac.kr), ** 원광대학교 컴퓨터공학과, *** 군산대학교 전자정보공학부

논문번호 : 020122-0314, 접수일자 : 2002년 3월 14일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00330-0) 지원으로 수행되었음

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

디지탈 이동통신 시스템은 무선채널의 특성상 데이터를 전송하는 경우 여러가지 원인에 의해서 비트 오류가 발생할 확률이 매우 높다. 그러므로 비트오류를 정정하기 위해서 사용되는 채널부호는 매우 중요한 요소기술이다. 최근 ITU 등에서 IMT-2000 차세대 이동통신 시스템의 고속 데이터 전송용 채널 부호의 표준으로 채택된 터보부호는 RSC(recursive systematic convolutional) 부호를 병렬로 연접(parallel concatenation)하여 부호화하며 반복복호를 통하여 복호 동작을 수행하게 된다.

기존의 터보부호는 두 개의 구성부호기에 대해서 모두 다 동일한 구성부호(identical component code)를사용하고 구속장(constraint length) 또한 동일하게 사용하는 특징을 가지고 있다. 이러한 터보부호는 인터 리버의 크기가 크고 반복복호가 충분히 수행되었을 때 비트 에러율 관점에서 샤논 한계에 근접하는 우수한 오류정정 능력을 가지는 것으로 알려져 있다.[1] 그러나 반복복호 수와 인터리버 크기가 증가하면 상대적으로 복호 과정에서 복호지연과 계산량이 증가하게 되며 임의의 SNR에서는 더 이상 BER 성능의 향상이 없는 flattening effect 현상이 발생하기 때문에 오류정정 능력의 한계에 도달하는 큰 단점을 가진다.[2]

터보부호의 flattening effect 현상이 나타나는 영역을 성능곡선 상에서 살펴보면 water fall 영역과 error floor 영역으로 크게 나눌 수 있는데 error floor 영역에서 BER 성능을 향상시키기 위한 기법으로는 직렬연접(serial concatenation) 터보부호나 원시구성부호(pri- mitive component codes)를 생성다항식으로 사용하는 병렬연접(parallel concatenation) 터보부호등이 있으며 두 개의 구성부호기에 대한 생성다항식을 비대칭(asymmetric)으로 구성한 기법이 발표되었다.[2-4] 그러나이러한 기법들은 기존의 터보부호와 비교하면 water fall 영역에서의 BER 성능은 오히려 나빠지는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 제거하기 위해서 water fall 영역과 error floor 영역의 모든 영역에서 BER 성능을 향상시킬 수 있는 기법으로 생성다항식 뿐만아니라 구속장도 서로 다르게 구성한 새로운 비대칭 구조를 갖는 터보부호를 제안하였다. 제안된 비대칭 터보부호는 부호율이 1/3일 때 log-MAP 복호방법을 이용하여 128, 256, 512, 1024비트의 4가지 프레임 크기에 대해서 AWGN(additive white gaussian noise) 채널을 통해서 그 성능을 비교 분석하였다.

Ⅱ. 터보부호의 부호화 및 복호화

그림 1은 인터리버와 두 개의 RSC 부호기로 구성된 부호율(R)이 1/2이고 구속장(K)이 5인 터보부호기를 나타낸다. 여기서 d_k는 입력 정보비트이고 X_k는 출력 정보비트이고 y_{1k}과 y_{2k}는 RSC 부호기의 이중의 패리티 비트를 의미한다.

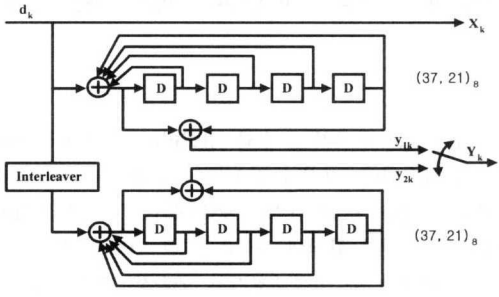


그림 1. 터보부호기(R=1/2, K=5인 경우)

터보부호기는 구조적(systematic)인 형태이므로 한 프레임의 입력 정보비트 d_k는 부호화 과정을 수행하지않고 정보비트 X_k를 출력한다. 첫 번째 부호기는 정보비트 원래의 입력 순서에 따라 패리티(parity)정보 y_{1k}를 출력하고 두 번째 부호기는 인터리버에 의해서순서가 재배열된 정보비트의 순서에 따라 두번째 패리티(parity)정보 y_{2k}를 출력하게 된다. 터보부호의 출력은 정보비트(X_k)와 인터리버를 통해서 변형된 출력으로 인해서 상관관계(correlation)가 작아지는 이중의 패리티 정보(y_{1k}, y_{2k})를 지니게 된다. 이러한 부호화 과정은 프레임 단위로 이루어지며 한 번에 부호화되는 정보 프레임의 길이는 부호기의 내부에서사용되는 인터리버의 크기와 같다. 그림 2는 2개의 log-MAP 복호기와 인터리버, 디인터리버로 구성된log-MAP 터보복호기를 나타낸다.

BPSK 변조된 수신신호를 $R_1^N=(R_1, R_2, \cdots, R_N)$이라 하면 $R_k=(X_k, Y_k)$는 시간 k에서 수신된 심볼을 나타내며 X_k와 Y_k는 각각 MAP 복호기의 입력으로서 다음과 같다.

$$X_k = (2d_k-1) + n_k \quad (1)$$

$$Y_k = (2p_k-1) + m_k \quad (2)$$

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

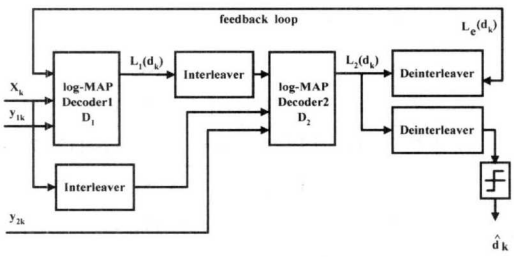


그림 2. log-MAP 터보복호기

여기서 d_k, p_k는 각각 부호기의 출력값이며 n_k, m_k는 각각 평균(mean)이 0(zero)이고 분산(variance)이 σ^2인 백색 가산성 가우시안 잡음이다.

MAP 알고리즘은 R_1^N값이 수신된 후 수신된 심볼에 대하여 유사도(likelihood ratio)를 구하여 정보비트 d_k를 결정하는 것으로 정보비트 d_k에 대한 LLR (log likelihood ratio) Λ_k값은 식(3)과 같다.

$$\Lambda_k(d_k) = \log\left(\frac{P_r(d_k=1 \mid R_1^N)}{P_r(d_k=0 \mid R_1^N)}\right) = \log\left(\frac{\sum_{m=0} \alpha_k^1(m)\,\beta_k^1(m)}{\sum_{m=0} \alpha_k^0(m)\,\beta_k^0(m)}\right) \quad (3)$$

식(3)에서 $i=0,1$ 일 때 $\alpha_k^i(m)$값은 순방향 상태 매트릭(forward state metric)이라 하며 이것은 정보비트 i의 천이 비트를 가지고 시간 k와 그 때의 상태 $S_k(m)$에서 다음 상태로의 천이를 위한 상태 매트릭 값을 나타낸다. $\beta_k^i(m)$값의 계산은 $\alpha_k^i(m)$값의 계산 과정과 유사하게 나타나며 단지 계산의 진행 과정이 $\alpha_k^i(m)$과는 반대인 역방향 상태 매트릭(backward state metric)값을 나타낸다. 식(3)에서 $P_r(d_k=i \mid R_1^N)$는 수신심볼 R_1^N에 대한 $d_k=i$의 APP(a posteriori prob- ability)이며, 복호기는 식(4)와 같은 $\Lambda_k(d_k)$에 대한 임계값 $\hat{d_k}$을 통하여 다음과 같은 정보비트 d_k를 결정하게 된다.

$$\hat{d_k} = \begin{cases} 1, & \Lambda_k(d_k) \geq 0 \\ 0, & \Lambda_k(d_k) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

위의 결과식을 터보부호의 복호기에 적용하면 출력 $\Lambda_k(d_k)$는 다음과같은 표현식으로 나타낼 수 있다.

$$\Lambda_k(d_k) = \Lambda_c x_k + \Lambda_a(d_k) + \Lambda_e(d_k) \quad (5)$$

식(5)에서 $\Lambda_c x_k$는 시간 k에서 수신된 구조적(systematic)인 심볼에 대한 것만을 나타내며 $\Lambda_a(d_k)$는 입력비트 d_k에 대한 사후확률인 APP(a posteriori probability)를 나타낸다. 그리고 $\Lambda_e(d_k)$는 입력비트 d_k와 관계하여 나타나는 새로운 정보인 외부정보(extrinsic information)로서 시간 k에서 구조적(systematic)인 데이터를 제외한 모든 데이터와 패리티 비트들에 대한 정보를 가지게 된다. 이 외부정보 $\Lambda_e(d_k)$는 첫 번째 복호기에서 사용된 후 다시 인터리빙(interleaving)되며 이 정보는 입력비트 d_k에대한 사전확률인 APP(a priori probability)로서 두 번째 복호기에 입력된다. 두 번째 복호기에서 사용된 후 디인터리빙(deinterleaving) 하여 첫 번째 복호기에 입력될 부가정보를 생성한다. 이러한 일련의 과정을 설정된 반복복호 횟수만큼 반복하여 BER 성능을 향상시키게 되고 원래의 정보에 가까운 값을 얻게 된다.

Ⅲ. 제안된 비대칭 터보부호기

O. Y. Takeshita에 의해서 소개된 비대칭 터보부호(asymmetric turbo codes)는 기존의 터보부호와 구속장은 동일하면서 단지 구성부호기의 생성다항식만을 비대칭(asymmetric)으로 구성한 특징을 가진다. 구속장 자체가 동일하고 구속장 길이도 한정되어 있는 기법이기 때문에 이것을 그대로 디지탈 이동통신 시스템에 적용하기에는 한계가 있으며 water fall 영역에서는 오히려 나쁜 BER 성능을 나타낸다.

본 논문에서는 water fall 영역과 error floor 영역의 모든 영역에서 BER 성능을 향상시킬 수 있는 기법으로 생성다항식 뿐만아니라 구속장도 서로 다르게 구성한 새로운 비대칭 구조를 갖는 터보부호를 제안하였다. 제안된 비대칭 터보부호는 각각의 구성부호기의 생성다항식을 원시다항식과 소수다항식을 혼합한 형태로 구성하였고 구속장도 서로 다르게 3에서 5까지 독립적으로 선택하여 터보부호기가 다양한 구조와 다양한 유효자유거리(effective free distance)를 갖도록 설계 하였다.

표 1은 본 논문에서 제안된 새로운 비대칭 터보부호의 조합을 나타낸다. 표 1에서와 같이 첫 번째 구성부호기와 두 번째 구성부호기의 구속장에 따라서 9가지의 조합을 구성할 수 있으며 각 조합에 따라 생성다항식을 조합하는 방법을 사용하여 4가지의 경우로 다시 재구성할 수 있다. 제안된 터보부호의

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

표 1. 새로운 비대칭 터보부호의 조합 (P : primitive polynomial, NP : prime polynomial)

구 분	(NP, P)	(P, NP)	(P, P)	(NP, NP)
K_1=3, K_2=3	G_1=[5, 5], G_2=[7, 5]	G_1=[7, 5], G_2=[5, 5]	G_1=[7, 5], G_2=[7, 5]	G_1=[5, 5], G_2=[5, 5]
K_1=3, K_2=4	G_1=[5, 5], G_2=[15,17]	G_1=[7, 5], G_2=[17,17]	G_1=[7, 5], G_2=[15,17]	G_1=[5, 5], G_2=[17,17]
K_1=3, K_2=5	G_1=[5, 5], G_2=[23,35]	G_1=[7, 5], G_2=[37,21]	G_1=[7, 5], G_2=[23,35]	G_1=[5, 5], G_2=[37,21]
K_1=4, K_2=3	G_1=[17,17], G_2=[7, 5]	G_1=[15,17], G_2=[5, 5]	G_1=[15,17], G_2=[7, 5]	G_1=[17,17], G_2=[5, 5]
K_1=4, K_2=4	G_1=[17,17], G_2=[15,17]	G_1=[15,17], G_2=[17,17]	G_1=[15,17], G_2=[15,17]	G_1=[17,17], G_2=[17,17]
K_1=4, K_2=5	G_1=[17,17], G_2=[23,35]	G_1=[15,17], G_2=[37,21]	G_1=[15,17], G_2=[23,35]	G_1=[17,17], G_2=[37,21]
K_1=5, K_2=3	G_1=[37,21], G_2=[7, 5]	G_1=[23,35], G_2=[5, 5]	G_1=[23,35], G_2=[7, 5]	G_1=[37,21], G_2=[5, 5]
K_1=5, K_2=4	G_1=[37,21], G_2=[15,17]	G_1=[23,35], G_2=[17,17]	G_1=[23,35], G_2=[15,17]	G_1=[37,21], G_2=[17,17]
K_1=5, K_2=5	G_1=[37,21], G_2=[23,35]	G_1=[23,35], G_2=[37,21]	G_1=[23,35], G_2=[23,35]	G_1=[37,21], G_2=[37,21]

두 구성부호기에 대한 생성다항식을 조합하는 방법은 구성부호기의 feedback 다항식을 원시구성부호와 소수 구성부호를 각각 사용하여 구성이 가능하며 조합 가능한 경우의 수는 총 4가지로서 (NP, P), (P, NP), (P, P), (NP, NP)와 같이 구성할 수 있다. 여기서 P는 원시다항식을, NP는 소수다항식을 의미하며 각 구성부호기의 첫 번째 부호기와 두 번째 부호기의 feedback 다항식에 대한 조합을 각각 표기한 것이다. 즉, (NP, P)와 (P, NP)는 두 구성부호기의 feedback 다항식을 원시구성부호와 소수구성부호를 조합하여 구성한 경우이고 (P, P)는 feedback 다항식을 모두 원시구성부호로 구성한 경우이며 (NP, NP)는 feedback다항식을 모두 소수구성 부호로 구성한 경우로서 기존의 터보부호의 feedback 다항식을 구성하는 방법과 동일한 경우이다.

그림 3은 부호율(R)이 1/3이고 구성부호기를 $(37,21)_8$부호와 $(7,5)_8$부호로 구속장과 생성다항식을 비대칭으로구성한 새로운 비대칭 터보부호를 나타낸다.

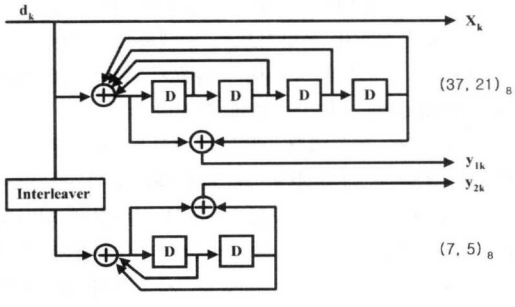


그림 3. 제안된 비대칭 터보부호(K_1=5, K_2=3, R=1/3)

Ⅳ. 모의실험 및 결과

본 논문에서는 두 구성부호기의 구속장을 3에서 5까지 독립적으로 선택하여 터보부호기가 비대칭 구조가 될 수 있도록 설계하였다.

생성다항식이 각각의 구속장에 따라서 원시다항식과소수다항식 구조를 혼합한 형태로 구성하였으며 부호율이 1/3인 터보부호에 대해서 log-MAP 복호기를 MATLAB으로 구현하여 성능을 분석하였다. 성능을 분석하기 위한 파라미터를 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 성능 분석을 위한 파라미터

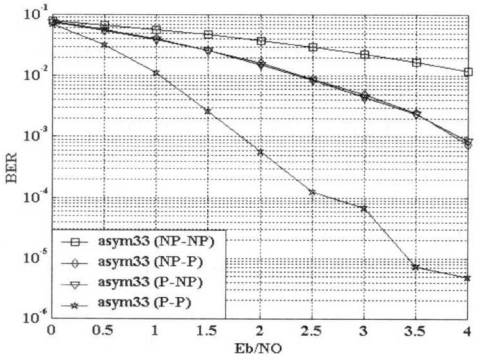
채 널	AWGN
구속장(K)	K=3, 4, 5
부호율(R)	R = 1/3
인터리버	랜덤 인터리버
프레임 크기	128, 256, 512, 1024
반복복호 수	8회
변조방식	BPSK
Tools	MATLAB

그림 4는 구속장을 K_1=3, K_2=3으로 설정하고 프레임 크기가 128과 1024 비트인 경우의 성능분석 곡선을 나타낸 것으로 기존의 터보부호와 구속장을 동일하게 설정한 경우이다.

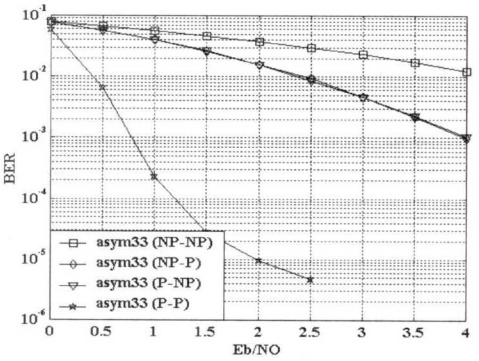
모의실험 결과 터보부호의 feedback 다항식을 모두 원시다항식으로 사용한 (P, P)의 경우가 성능은 가장 우수하나 error floor 영역이 존재하며

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

feedback 다항식을 소수다항식으로 사용하는 기존의 터보부호인 (NP, NP)의 경우와 비교하여 원시다항식과 소수다항식을 조합하여사용하는 비대칭 터보부호인 (NP, P)와 (P, NP)의 경우가 10^{-3}의 BER 영역에서 1.5dB 이상의 우수한 성능을 나타내었다.



(a) 프레임 크기 128일 때



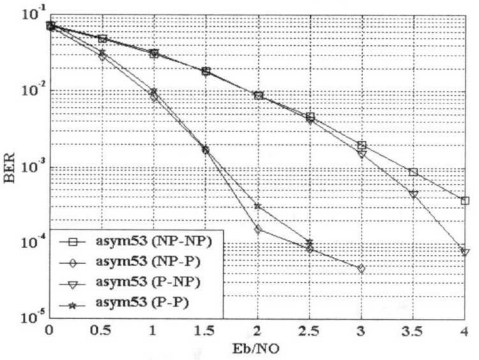
(b) 프레임 크기 1024일 때

그림 4. 기존의 터보부호의 BER 성능분석 곡선
(K1=3, K2=3, R=1/3, iter=8)

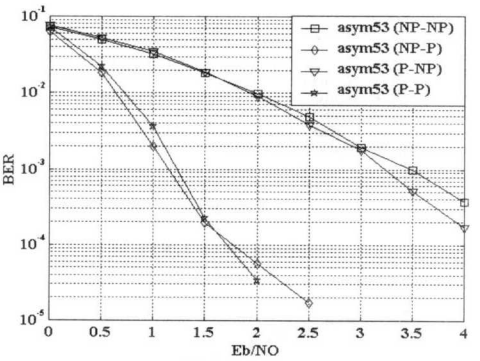
그림 5는 구속장을 K_1=5, K_2=3으로 설정하고 프레임 크기가 128과 256 비트인 경우로서 모의실험 결과 water fall 영역과 error floor 영역에서 모두 (P, P)와 (NP, P)의 경우가 (NP, NP)와 (P, NP)의 경우보다 우수한 성능을 보였다. 프레임 크기가 128 비트인 경우 10^{-4}의 BER 영역에서 1.7dB 이상의 우수한 성능을 보였으며 프레임 크기가 256 비트인 경우 2.0dB 이상의 우수한 성능을 보였다.

그림 6은 구속장을 K_1=4, K_2=5로 설정하고 프레임 크기가 128과 256 비트인 경우로서 모의실험 결과 water fall 영역과 error floor 영역에서 모두 (P, NP)와 (P, P)의 경우가 (NP, P)와 (NP, NP)의 경우보다 우수한 성능을 보였다. 프레임 크기가 128 비트인 경우 10^{-4}의 BER 영역에서 1.7dB 이상의 우수한 성능을 보였으며 프레임 크기가 256 비트인 경우 2.5dB 이상의 우수한 성능을 보였다.

그림 7은 각각 프레임 크기가 128과 512 비트인 경우, (NP, P)에 대한 경우로서 모의실험 결과 K_1=5인 경우가 다른 부호에 비해서 우수한 성능을 보였다. 프레임 크기가 128 비트인 경우 10^{-4}의

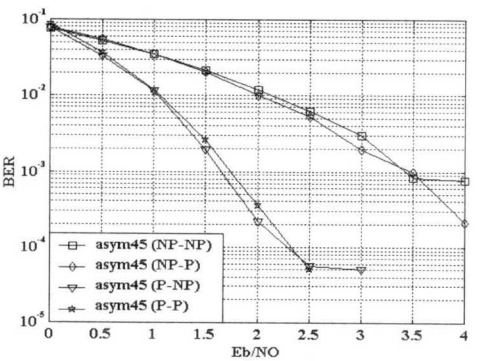


(a) 프레임 크기 128일 때



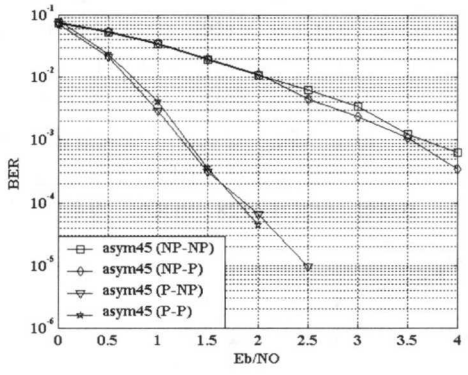
(b) 프레임 크기 256일 때

그림 5. 제안된 비대칭 터보부호의 BER 성능분석 곡선
(K_1=5, K_2=3, R=1/3, iter=8)



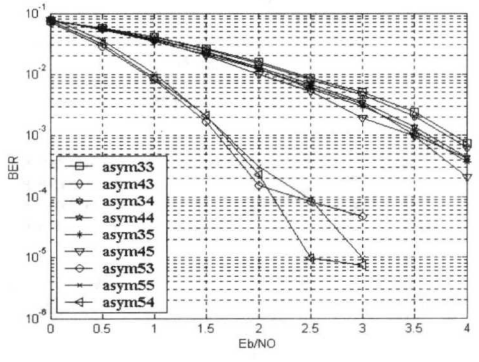
(a) 프레임 크기 128일 때

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

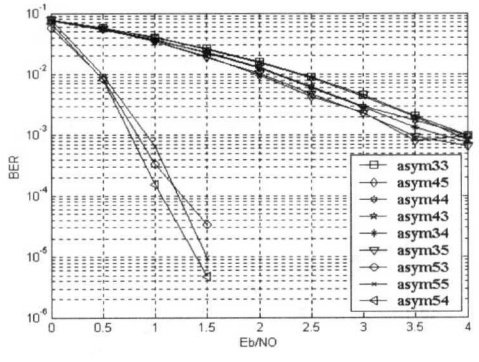


(b) 프레임 크기 256일 때

그림 6. 제안된 비대칭 터보부호의 BER 성능분석 곡선 (K_1=4, K_2=5, R=1/3, iter=8)



(a) 프레임 크기 128일 때



(b) 프레임 크기 512일 때

그림 7. 제안된 비대칭 터보부호의 BER 성능분석 곡선 (NP-P인 경우)

BER 영역에서 2.0dB 이상의 우수한 성능을 보였으며 프레임 크기가 512 비트인 경우 2.5dB 이상의 우수한 성능을 보였다. 각각의 구속장에 대해서 K_1=5인 경우가 K_1=3이나 K_1=4인 경우에 비하여 10^{-4} BER 영역에서 2.5dB 이상의 우수한 성능을 보였으며 K_1=5, K_2=4인 경우가 K_1=5, K_2=3인 경우와 K_1=5, K_2=5인 경우에 비해서 더 우수한 성능을 보였다.

V. 결 론

본 논문에서는 구성부호기의 생성다항식 및 구속장을 동일하게 사용하는 터보부호의 water fall 영역과 error floor 영역에서의 BER 성능을 개선시키기 위해서 생성다항식과 구속장이 비대칭 구조를 갖는 새로운 비대칭 터보부호를 제안하였다. 현재 사용되는 대칭 터보부호는 BER 성능곡선의 error floor 영역에서 flattening effect 현상을 보이는 단점을 가지는데 비해서 본 논문에서 제안된 비대칭 터보부호는 생성되는 부호어가 다양한 유효자유거리를 생성하는 특성을 가짐으로써 flattening effect 현상이 개선됨을 모의 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

비대칭 터보부호의 생성다항식을 구성하는데 feedback 다항식으로 원시다항식과 소수다항식을 교대로 사용함으로써 water fall 영역과 error floor 영역에서의 BER 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

모의실험 결과, 기존의 터보부호에 비해서 10^{-4}의 BER 영역에서 작은 프레임(128, 256)의 경우에 1.7dB ~2.5dB 이상의 우수한 성능을 나타냈으며 큰 프레임(512, 1024)의 경우에 2.0dB~2.5dB 이상의 우수한 성능을 나타냄을 확인할 수 있었고 flattening effect 현상의 개선효과가 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," Proc. of the ICC, pp. 1064-1070, 1993.

[2] L. C. Perez, J. Seghers, and D. J. Costello, Jr., "A Distance Spectrum Interpretation of Turbo Codes," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 42, pp. 1698-1709, Nov. 1996.

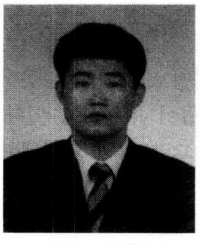
[3] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, and F. Pollara, "Serial Concatenation of Interleaved Codes : Performance Analysis,

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

Design, and Iterative Decoding," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, pp. 909-926, May. 1998.

[4] O. Y. Takeshita, O. M. Collins, P. C. Massey, and D. J. Costello, Jr., "A Note on Asymmetric Turbo Codes," IEEE Comm. Letters, vol. 3, No. 3, pp. 69-71, Mar. 1999.

정 대 호(Dae-ho Jeong) 정회원



1995년 2월 : 원광대학교 전자공학과 공학사
1997년 2월 : 원광대학교 전자공학과 공학석사
1997년 3월~현재 : 원광대학교 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 오류정정부호, 채널코딩, VLSI 구현, CAD & ASIC Design, 회로 및 시스템 설계

정 성 태(Sung-tae Jung) 정회원

현재 : 원광대학교 컴퓨터공학과 교수

<주관심 분야> 오류정정부호, 채널코딩, VLSI 구현, 동기 및 비동기 회로설계

정 경 택(Kyung-taek Chung) 정회원

한국통신학회 논문지 제 25권 11A호 참조

현재 : 군산대학교 전자정보공학부 교수

<주관심 분야> 병렬처리 컴퓨터, ATM 스위치, 채널 코딩, 오류정정부호

김 환 용(Hwan-yong Kim) 정회원

한국통신학회 논문지 제 26권 9B호 참조

현재 : 원광대학교 전자공학과 교수

<주관심 분야> 채널코딩, CAD & ASIC Design, VLSI 구현, 디지탈 신호처리

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr