

SOVA 복호방법을 이용한 비대칭구조 터보부호의 성능분석

정희원 신한균*, 강수훈*, 최희동*, 노종선**

Performance Analysis of Asymmetric Turbo Codes Using SOVA Decoding Algorithm

Han-Kyun Shin*, Su-Hoon Kang*, Hoi-Dong Choi*, Jong-Seon No** *Regular Members*

요 약

터보부호의 일반적인 성능은 높은 SNR에 대해 부호기의 유효자유거리에 따른 근사적인 error-floor bound를 따르는 것으로 알려져 있지만, 낮은 SNR인 water-fall 영역에서의 성능에 대한 연구는 그다지 많이 수행되지 않았다. 본 논문에서는 두 개의 구성부호기의 구속장이 다른 비대칭구조의 터보부호를 제안하고, SOVA(soft output Viterbi algorithm) 복호방식을 이용하여 구속장이 3에서 5까지 가질 수 있도록 설계된 비대칭구조의 터보부호에 대하여 작은 프레임 크기에서 그 성능을 분석하였다.

ABSTRACT

It is known that turbo codes have an error-floor bound according to the effective free distance at high SNR. But the performance for turbo codes in the water-fall area at low SNR has not been studied yet. In this paper, asymmetric turbo codes that consist of RSC(recursive systematic convolutional) codes with different constraint length are proposed and their performance is analysed for SOVA decoding algorithm.

1. 서론

지금까지의 이동통신서비스는 음성위주의 서비스에 간단한 데이터전송을 부가적으로 제공하였지만, 현대사회가 고도로 정보화 되어감에 따라 기존의 음성서비스뿐 아니라 영상 및 데이터 등의 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 커지게 되었다. 특히, IMT-2000의 차세대 이동통신시스템에서는 ISDN 및 위성망과 연동하여 유선망 품질 수준의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 보다 높은 성능을 갖는 통신 시스템이 요구된다.

디지털 이동통신시스템은 무선채널의 특성상 대

이터를 전송하는 경우 비트 오류가 발생하기 쉬우며, 이러한 이동통신시스템의 채널에서 발생하는 비트 오류를 정정하기 위해 사용되는 채널부호는 매우 중요한 요소기술이다. 최근에는, 이동통신시스템의 채널부호로 성능이 우수한 터보부호(turbo code)가 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 특히, IMT-2000의 차세대 이동통신시스템에서는 길쌈부호와 함께 고속의 데이터전송을 위한 채널부호로 채택되었다.

터보부호의 복호방법으로 SOVA방식은 MAP(Maximum a Posteriori)방식에 비해 성능이 뒤지지 만^[1], 더 낮은 복잡도로 인해 하드웨어 구현이 용이 하며, 또한, SOVA에 기반한 복호의 성능을 높이는

* 건국대학교 전자·정보통신공학과

** 서울대학교 전기공학부

논문번호: 99492-1217, 접수일자: 1999년 12월 17일

※ 본 연구는 한국과학재단(97-0100-0501-3)의 지원하에 수행된 연구과제의 결과물임.

것은 앞으로의 터보부호 응용에 매우 중요하다. 터보부호는 프레임의 크기가 클때는 매우 우수한 성능을 나타내지만¹¹⁾, 작은 프레임에 대해서 SOVA 복호방법의 성능분석과 향상에 대한 연구는 여전히 필요한 실정이며, 한편으로 구성부호기의 구성장이 다른 비대칭구조의 터보부호를 제안하고 이에 SOVA 복호방법을 적용한 성능분석은 의미 있는 연구 일 것이다.

본 논문에서는 두 구성부호기의 구성장을 3에서 5까지 독립적으로 선택하여 터보부호기가 다양한 구조를 갖도록 설계하였고, 부호율이 1/3일 때 SOVA 복호방법을 이용하여, 24, 192 비트의 짧은 프레임 크기에 대해서 가산성 가우시안잡음 채널에서의 성능을 분석하였다. 이때, 구성장에 따른 발생기의 생성다항식은 각각 (7,5), (13,15), (23,35)이다. 본 논문의 구성은, 2장에서는 비대칭구조의 터보부호기를 제안하고, 3장에서는 터보 복호기의 구성 복호기로 쓰이는 SOVA 복호방식에 대해서 설명하였다. 4장에서는 모의실험과 그 결과를 논의하였고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 비대칭 터보부호기

터보부호의 부호기는 무한 임펄스 응답을 갖는 귀환 구조적 길쌈부호기를 두 개 또는 그 이상의 개수를 병렬 연결하여 사용하며, 이때 두 부호기의 구성장 K 을 다르게 함으로서 비대칭구조의 터보부호기를 구성할 수 있다. 그림 1은 구성장이 각각 4와 3을 갖고 부호율 $R=1/3$ 인 비대칭구조의 터보부호기를 나타낸 것이고, 이때, 첫 번째 부호기의 발생기는 $G1=[13,15]$ 이고 두 번째 부호기의 발생기는 $G2=[7,5]$ 이다.

귀환 구조적 길쌈부호기에서 시프트 레지스터의 입력변수 a_k 은 d_k 와 동일한 확률특성을 가지며, 반복적으로 아래의 식처럼 계산된다.

$$a_k = d_k + \sum_{i=1}^{K-1} g_{1bi} a_{k-i} \text{ mod } 2 \quad (1)$$

여기서 g_{1bi} 는 첫 번째 구성 부호기의 귀환발생기 다항식의 계수이다.

무선통신채널을 통하여 전송하려는 이진 정보비트들의 발생확률이 1/2을 갖는다면 변수 a_k 의 확률도 1/2을 갖는다.

시간 k 에서 부호기의 입력 정보비트는 d_k 이고

부호어 C_k 는 이진 (X_k, Y_{1k}, Y_{2k}) 로 구성된다.

$$X_k = d_k \quad (2)$$

$$Y_{1k} = \sum_{i=0}^{K-1} g_{1ri} a_{k-i} \text{ mod } 2 \quad (3)$$

$$Y_{2k} = \sum_{i=0}^{K-1} g_{2ri} a_{k-i} \text{ mod } 2 \quad (4)$$

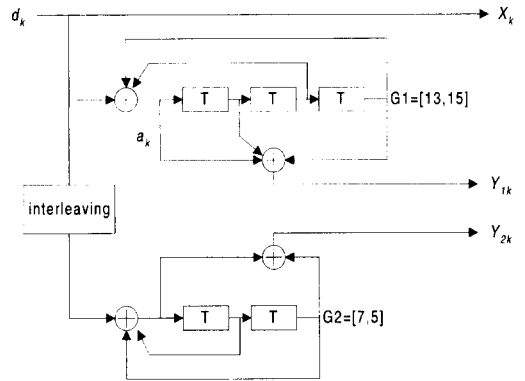


그림 1. 비대칭 터보부호의 부호기.

여기서 g_{1ri}, g_{2ri} 는 각각 첫 번째와 두 번째 부호기의 패리티 발생기 다항식의 계수이다.

각 부호기의 입력은 같은 비트열 $\{d_k\}$ 을 사용하지만 인터리버가 있기 때문에 서로 다른 순서를 갖는 비트열이 복호기에 입력된다. 각 부호기에 입력되는 비트열은 서로 상관관계가 적을수록 성능이 우수해지므로 적은 상관관계를 갖는 인터리버의 설계가 필요하다.

표 1은 첫 번째 부호기와 두 번째 부호기의 구성장에 따른 조합을 나타내며, 9가지의 조합의 터보부호기를 구성할 수 있다. 터보부호의 성능은 큰 프레임 크기를 갖는 경우, 높은 SNR에 대해 부호기의

표 1. 구성장의 조합에 따른 터보부호기.

첫 번째 부호기(G1)와 두 번째 부호기(G2)의 생성 다항식			
G2 \ G1	K=5	K=4	K=3
K=5	G1=[23,35] G2=[23,35]	G1=[13,15] G2=[23,35]	G1=[7,5] G2=[23,35]
K=4	G1=[23,35] G2=[13,15]	G1=[13,15] G2=[13,15]	G1=[7,5] G2=[13,15]
K=3	G1=[23,35] G2=[7,5]	G1=[13,15] G2=[7,5]	G1=[7,5] G2=[7,5]

유효자유거리에 따른 수학적인 error-floor bound를 따르는 것으로 알려져 있지만⁷⁾, 작은 프레임 크기에 대해서 유효자유거리에 따른 성능분석은 미미한 실정이다. 위의 표에서와 같이 부호기의 구속장을 달리함으로써 다양한 유효자유거리를 갖는 터보부호기를 설계할 수 있고 그에 따른 성능을 SOVA 복호방식을 이용하여 분석하였다.

III. 터보부호의 복호기

터보부호의 복호기는 사전확률을 포함하는 연성 입력과 연성채널성분, 사전입력성분과 잉여정보성분으로 구성되는 연성출력을 만들어 낸다. 잉여정보성분은 다음 반복 복호시에 사전확률로 사용된다²⁾³⁾.

무기억 전송채널을 가정하고 비터비 알고리즘을 사용했을 때, 정보 시퀀스 u 가 통계적인 독립을 유지할 경우, 시간 k 일 때 i 번째 경로 메트릭에 대해 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M_k(s^{(i)}) = M_{k-1}(s^{(i)}) + \frac{1}{2} L(u_k)u_k^{(i)} + \frac{1}{2} \sum_{\nu=1}^2 L_{c,\nu} y_{k,\nu} x_{k,\nu}^{(i)} \quad (5)$$

여기서 $s^{(i)}$ 는 시간 k 일 때 i 번째 경로의 상태이고 $u_k^{(i)}$ 는 정보비트, 그리고 $x_{k,\nu}^{(i)}$ 는 시간 k 일 때 경로 i 의 부호화된 비트이다.

구조적 부호에 대해서 다음과 같이 표현할 수 있으며, 메트릭의 변형은 정보비트의 확률에 대해서 사전정보를 포함한다.

$$M_k(s^{(i)}) = M_{k-1}(s^{(i)}) + \frac{1}{2} L_{c,y_{k,1}} u_k^{(i)} + \frac{1}{2} L(u_k)u_k^{(i)} + \frac{1}{2} \sum_{\nu=2}^2 L_{c,\nu} y_{k,\nu} x_{k,\nu}^{(i)} \quad (6)$$

그림 2에서와 같이 δ 만큼의 지연 후에 비터비 알고리즘이 결정하는 비트 \hat{u}_k 의 연성출력을 구할 경우, 비터비 알고리즘은 식 (6)을 이용하여 i 번째 경로의 메트릭을 계산하는 일반적인 방법을 수행한다. 각 상태에 대해서 이것은 더 큰 메트릭 값 $M_k(s^{(i)})$ 를 갖는 경로를 선택하며, 시간 $k + \delta$ 에서 비터비 알고리즘은 인덱스 i_δ 를 갖는 ML(maximum likelihood) 경로를 선택하고 이 상태에서 인덱스 i'_δ 를 갖는 다른 경로를 제외시킨다.

비트 \hat{u}_k 로 복호된 ML경로 i_δ 가 확정되는 동안에 인덱스 $l = 0, \dots, \delta$ 를 갖는 $\delta + 1$ 개의 제거

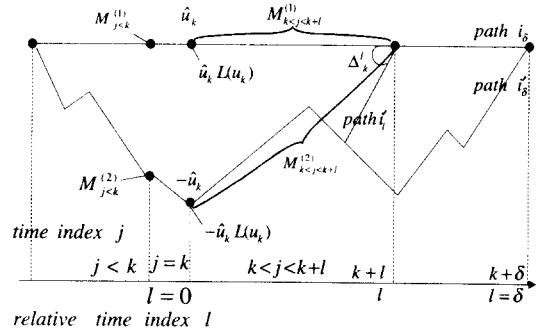


그림 2. SOVA 알고리즘의 연성출력.

경로 i'_δ 는 제외된다. 다음과 같은 메트릭 차를 정의하자.

$$\Delta_k^l = M_{k+1}(s^{(i)}) - M_{k+1}(s^{(i')}) \geq 0 \quad (7)$$

비터비 알고리즘의 연성출력은 식(8)과 같이 판정값 \hat{u}_k 와 다른 판정값을 갖는 비생존 경로의 메트릭 차 중에서 가장 작은 값의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$L(\hat{u}_k) \approx \hat{u}_k \sum_{l=0}^{\delta} \Delta_k^l \approx \hat{u}_k \cdot \min_{i=0, \dots, \delta} \Delta_k^l \quad (8)$$

SOVA 알고리즘에서 복호기의 메트릭을 계속해서 사용하기 위해 연성출력에서 입력 값을 빼고의 부정보를 얻는다.

IV. 컴퓨터 모의실험 결과

본 논문에서는 두 구성부호기의 구속장을 3에서 5까지 독립적으로 선택하여 터보부호기가 비대칭구조가 될 수 있도록 설계하였다. 발생기가 각각 (7, 5), (13,15), (23,35)이며, 부호율이 1/3을 갖는 터보부호에 대해 SOVA 복호기를 구현하여 짧은 프레임인 24, 192 비트의 프레임 크기에 대해서 그 성능을 분석하였다. 채널환경으로는 가산성 백색 가우시안잡음 채널이 사용되었다. 24비트 프레임 길이에 대해 BER성능은 전체적으로는 (5,5), (5,4), (4,5), [(3,5), (5,3), (4,4)]군, [(4,3), (3,4)]군, (3,3)의 순서에 따라 BER성능이 좋은 것으로 나타났다. 또한, 대칭구조인 (3,3), (4,4), (5,5)의 water-fall 모양이 부드러운데 반해, 비대칭구조인 나머지 구조는 성능 커브의 굴곡이 심한 것으로 나타났다. 또한 FER성

능도 BER 성능과 유사한 성능순서를 갖는 특성을 나타내었다. 192비트 프레임 길이에서의 BER 성능은 낮은 E_b/N_0 에서는 (3,3), (3,4), (3,5) 성능이 순서에 따라 좋게 나타났으며, 다른 나머지는 이보다 나쁜 성능을 보였다. 또한, 보다 높은 E_b/N_0 에서는 (4,4), (4,5)의 성능과 (3,3), (3,4), (3,5) 성능이 교차하며, (4,4), (4,5)의 성능이 약간 좋았다. 한편으로, (5,3), (4,3), (5,4)의 순서에 따라 큰 성능열화를 보였다. FER 성능은 (3,4), (3,5)의 성능이 가장 좋고, (5,3), (4,3)의 성능이 가장 나쁘게 나타났다.

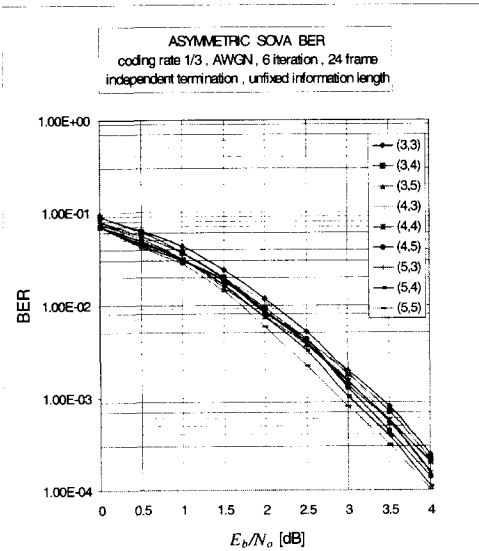


그림 3. 24비트 프레임길이에서 BER 성능

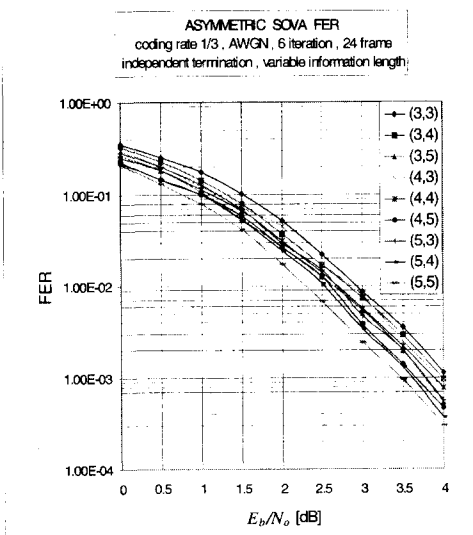


그림 4. 24비트 프레임길이에서 FER 성능

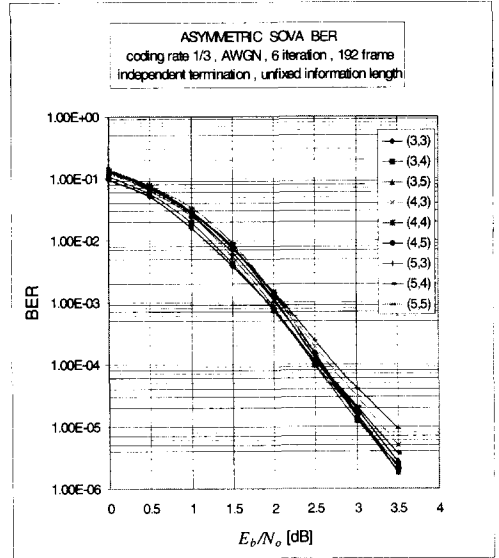


그림 5. 192비트 프레임길이에서 BER 성능

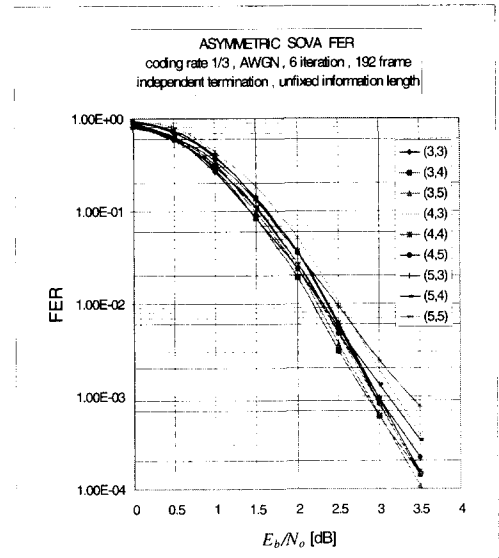


그림 6. 192비트 프레임길이에서 FER 성능

V. 결론

본 논문에서는 비대칭 구조를 갖는 터보 부호의 부호기를 제안하였고 이의 복호에 사용되는 알고리즘을 IBM-PC Pentium에서 GNU-C-Compiler를 이용하여 구현하였으며, 구현된 알고리즘을 디지털 통신 시스템에서 사용되는 음성 데이터에 대해서 그 성능을 분석하였다. 본 연구는 IMT-2000의 채널부호로서 높은 데이터 전송율에서 터보부호를 채택하게 된 이유를 설명하는데 많은 도움을 줄 수 있을

것이라고 생각되며, SOVA 복호방식의 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 본다. 또한, 작은 크기의 프레임 길이에서 SOVA 복호방식의 성능향상 연구 및 인터리버의 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo Codes(1)," in *Proc., IEEE Int. Conf. on Communications* (Geneva, Switzerland, May 1993), pp. 1064-1070.

[2] J. Hagenauer and P. Robertson, "Iterative ('Turbo') Decoding of Systemtic Convolutional Codes with the MAP and SOVA Algorithms", *ITG-Fachberichte*, v. 130, pp. 21-29, 1995.

[3] J. Hagenauer, E. Offer, and L. Papke, "Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes", *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. 42, no: 2, pp.429-445, Mar, 1996.

[4] L.Lin and R. Cheng, "Improvements In SOVA-Based Decoding For Turbo Codes", *Proc. of ICC*, pp. 1473-8, June, 1997.

[5] P. Jung and M. Nasshan, "Performance Evaluation Of Turbo Codes For Short Frame Transmission Systems", *Electronics Letters*, vol. 30, no: 2 pp. 111-13, Jan, 1994.

[6] L. Lin and Roger S. Cheng, "On The Tail Effect of SOVA-Based Decoding For Turbo Codes," *Proc. of GLOBECOM'97*, pp. 644-648, 1997.

[7] S. Benedetto, and G. Montorsi, "Unveiling turbo codes: Some results on parallel concatenated coding schemes," *IEEE Trans. on Inform. Theory*. vol.42, pp. 409-429, Mar. 1996.

강 수 훈(Su-Hun Kang)



1997년 2월 : 건국대학교 전자공
학과 공학사
1999년 2월 : 건국대학교 대학원
전자공학과 공학석사
1999년 9월~현재: 건국대학교
대학원 박사과정

<주관심 분야> 오류정정부호, 이동통신

최 회 동(Hoi-Dong Choi)

제24권 제3A호, pp. 406-411

노 증 선(Jong-Seon No)

제25권 제2A호, pp. 265-270

신 한 균(Han-Kyun Shin)



1997년 2월 : 건국대학교 전자공
학과 공학사
2000년 2월 : 건국대학교 대학원
전자공학과 공학석사
1999년 12월~현재: 성미전자
연구소 연구원

<주관심 분야> 오류정정부호, IMT-2000, 이동통신