

다중 사용자 CDMA 통신 시스템에서 MAP 알고리즘 기법을 사용한 인터리버 설계

Design of Interleaver using the MAP Algorithm Scheme in the Multi-User CDMA Communication System

김 동옥*, 오 정균**

한국정보통신기술대학 이동통신설비과*,

KIM DONG OK*, OH CHUNG GYUN**

Korea Information & Communication Polytechnic College

Abstract

In the recent digital communication systems, the performance of Turbo Code using the error correction coding depends on the interleaver influencing the free distance determination and the recursive decoding algorithms that is executed in the turbo decoder. However, performance depends on the interleaver depth that needs many delays over the reception process. Moreover, turbo code has been known as the robust coding methods with the confidence over the fading channel. International Telecommunication Union(ITU) has recently adopted it as the standardization of the channel coding over the third generation mobile communications(IMT-2000). Therefore, in this paper, we proposed the interleaver that has the better performance than existing block interleaver, and modified turbo decoder that has the parallel concatenated structure using MAP algorithm. In the real-time voice and video service over third generation mobile communications, the performance of the proposed two methods was analyzed and compared with the existing methods by computer simulation in terms of reduced decoding delay using the variable decoding method over AWGN and fading channels for CDMA environments.

Keywords :

IMT-2000, Interleaver, Digital Communication

I. 서론

터보 부호는 낮은 E_b/N_0 에서 강력한 오류정정 능력을 갖는 코딩 기법임에도 불구하고 너무 긴 복호 지연시간으로 인해 성능에 영향을 초래하므로 이를 해결하기 위한 노력의 일환으로 복호가 완료되면 반복 횟수를 중단시킴으로서 긴 복호 지연의 단점을 극복하기 위한 연구가 수행 되었다[3]. 본 논문에서는 짧은 프레임 단위의 블록 인터리버의 성능을 개선한 인터리버와 반복 복호 횟수를 감소시킨 MAP 기반 병렬 구조의 4단 터보 부호기를 제안하고, 이를 CDMA 채널 환경에서 컴퓨터 모의실험을 통해 성능 분석을 하고 기존 방법과 비교하였다.

II. Turbo Encoder

그림 1에 나타낸 것처럼 본 논문에서 사용한 터보 부호기는 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호와 이 두 RSC 부호를 연결시켜 주는 인터리버로 구성된다. 여기서 RSC 부호란 길쌈 부호의 일종으로 피드백이 존재하는 systematic 부호로서 구속장의 길이(constraint length) $K=3$ (메모리 $m=2$), 부호화율이 $1/3$, parity polynomial $g_1(D) = 1 + D^2$, feedback polynomial $g_0(D) = 1 + D + D^2$ 인 부호어를 생성시키는 부호기이다.

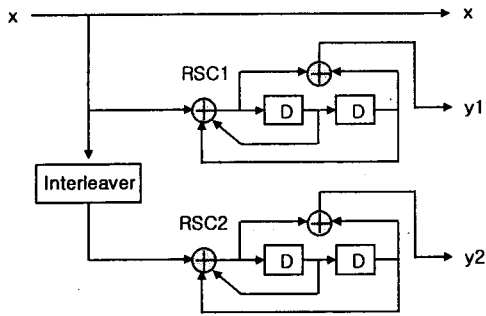


그림 1. 터보 부호기의 구조

프레임 길이 L 을 갖는 각 입력 데이터 $x = \{x_0, x_1, \dots, x_{L-1}\}$ 에 대하여 RSC1은 메시지 비트의 원래 입력 순서에 따라 부호화 과정을 수행하여 첫 번째 parity sequence

$y_1 = \{y_{1,0}, y_{1,1}, \dots, y_{1,L-1}\}$ 을 출력하고, x 의 인터리버 된 출력을 받는 RSC2는 인터리버에 의해 순서가 재배열된 메시지 비트의 순서에 따라 부호화 과정을 수행한다. 두 번째 parity sequence

$y_2 = \{y_{2,0}, y_{2,1}, \dots, y_{2,L-1}\}$ 를 출력하므로 그림 1로부터 생성되는 부호어의 부호화율은 $1/3$ 이 된다.

터보코드가 우수한 성능을 내기 위해서는 그림 1의 인터리버가 비균일(non-uniform)구조를 갖어야 하는데, 이는 RSC 부호의 특성상 최대한 거리 특성이 우수한 부호어를 생성하기 때문이다[2,3]

따라서 본 논문에서는 이러한 인터리버 설계 특성에 기인하여 기존의 블록 인터리버를 변형하여 최소 유클리드 거리를 최대화한 인터리버를 제안한다. 이를 위해 2개의 터보 부호에 사용된 구성부호로는 생성 다항식이 $(7, 5)_8$ 인 4 상태 코드를 사용하였는데, 이 코드는 메모리가 2개일 때 가장 효과적인 거리를 제공하는 것으로 알려져 있다. 모의 실험에 사용된 부호기는 그림 1과 같고, 제안한 인터리버 구조는 그림 3과 같다.

III. 제안한 인터리버

RSC의 재귀 구조(Recursive Structure)에 의한 IIR(Infinite Impulse Response) 특성 때문에 터보 부호기에 들어오는 입력 시퀀스는 두 가지 타입으로 분류할 수 있는데, L 개의 정보 시퀀스를 부호화한 후 어떤 trellis termination technique 없이 메모리를 모두 제로 상태로 만드는 self-terminating method와 L 개의 정보 시퀀스의 끝에서 강제로 메모리를 모두 제로 상태로 만들기 위해 tail bits를 추가하는 non-self terminating method가 있다[5]. 본 논문에서는 입력 시퀀스의 타입을 non-self terminating method를 가정하였다.

어떤 임의의 시간에 데이터중 한 프레임을 복호할 때 프레임의 끝 가까이 있는 비트들은 정확한 신뢰값을 추정하지 못하게 되는 상태를 tail effect라 한다. 이 tail effect는 인터리버가 터보 코드에 사용될 때 성능을 제한하게 되는 중요한 요인이 되므로, 이 tail effect를 제거하고, 최소 유클리드 거리(minimum Euclidean distance)를 최대화하면 터보 부호기의 성능 향상을 기할 수 있다. 일반적인 블록 인터리버의 정방행렬 형태를 고려하면 그림 2와 같다.

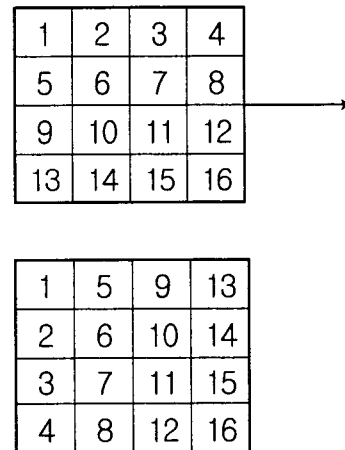


그림 2. 일반적인 블록 인터리버의 구조

이러한 블록 인터리버는 행과 열이 $M \times M$ 형태를 가지는데, 데이터를 행 방향으로 쓰고 열 방향으로 읽는 형태이다. 또한 부호어간의 최소 유클리드 거리 $h=4$ 이고, 입력 프레임에 대한 tail bits는 인터리버 된 후 출력 프레임의 끝 주변에 여전히 남아 있게 된다. 이를 응용하여 본 논문에서 제안하는 인

터리버는 입력되는 시퀀스에 따라 행 방향으로 일정한 $d=3$ 만큼 skip 한 후 쓰고, 열 방향으로 bottom에서 top으로 읽는 형태로 구현한다. 이렇게 함으로써 부호어간의 유클리드 거리(Euclidean distance) 분포가 $h=6$ 이 되어 기존의 블록 인터리버보다 최소 유클리드 거리를 증가시키고, tail bits가 프레임 내부에 위치하게 됨으로서 복호시 tail bits에 의한 영향을 최소화하여 성능을 향상시키는 요인이 된다.

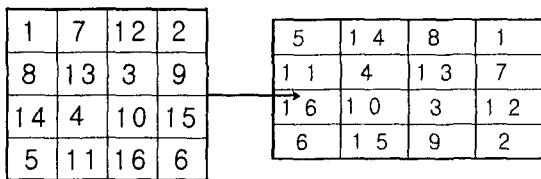


그림 3. 제안한 인터리버의 구조

IV. 실험 및 결과

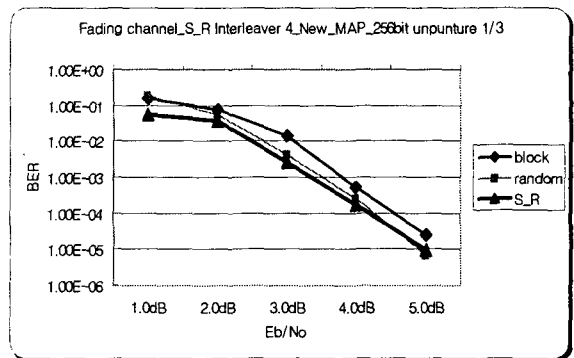
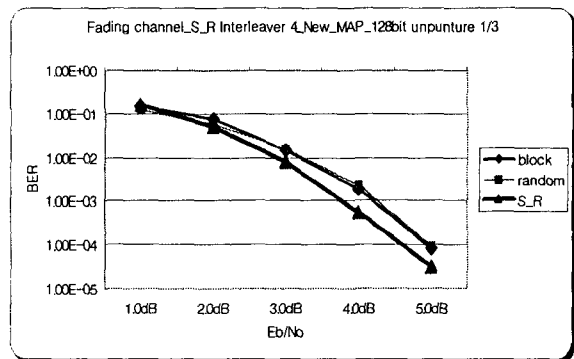
본 논문에서는 CDMA 통신 채널 환경에서 잡음의 영향으로부터 전송된 신호를 복원하기 위해 필수적인 오류 정정 부호 중 IS-95 및 cdma 2000에서 채택한 터보 부호에 대해 인터리버 및 병렬 구조 복호화기를 제안하고 이의 이론적 고찰과 모의실험을 통한 분석을 하였다.

복호화 알고리즘은 MAP를 사용하였고, 터보 부호화기는 동일한 2개의 RSC 부호화기를 사용하였다. BPSK 변조를 가정하였으며, 구속장의 길이 $K=3$, 구성 부호화기의 생성 다항식은 $(7, 5)_8$, 부호율은 평처링(puncturing)을 사용하지 않은 $1/3$ 이 사용하였다. CDMA 채널 환경에서의 성능 분석을 위해 제안한 인터리버의 채널 모델은 플랫 페이딩 모델을 적용하였고, 제안한 복호화기를 위한 채널 모델은 AWGN과 플랫 페이딩 모델을 사용하였다. 반복 복호 횟수는 최대 5회를 적용하여 가변 복호화도록 하였으며, 정보 시퀀스의 프레임 크기 L 은 128, 256, 512, 1024, 4096 비트인 경우에 대하여 모의 실험하였다.

그림 4은 각각의 프레임에 대해 제안한 S-R 인터리버와 기존 인터리버와의 성능을 비교한 것이다.

각 프레임에 대해 기존의 블록 인터리버에 비해 제안한 인터리버가 $BER=10^{-5}$ 에서 평균 약 0.4 dB의 이득을 보였으며, 프레임의 크기가 증가할수록 랜덤 인터리버와의 성능 차이가 더욱 커짐을 알 수 있다. 여기서 S_R은 제안한 인터리버에 대한 성능을 나타낸다.

또한 그림 5과 그림6은 제안한 방식의 4 New 복호기와 기존의 유사한 터보 복호기들의 오차성능(BER)을 비교한 것인데, 성능에 커다란 변화가 있음을 알 수 있다. AWGN 채널 환경에서 각 프레임 길이 128, 256, 512비트에 대한 평균 이득은 약 0.4dB 정도의 성능 향상을 보였고, 1024, 4096비트는 약 0.8 dB 정도의 이득을 보여 프레임 사이즈가 증가할수록 제안한 복호화기의 성능 향상이 두드러지게 개선됨을 알 수 있다. 그리고 페이딩 채널 환경에서도 약 0.5~0.85dB 정도의 꾸준한 성능 개선이 이루어지며, 프레임 사이즈가 증가될수록 점점 뚜렷한 성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다.



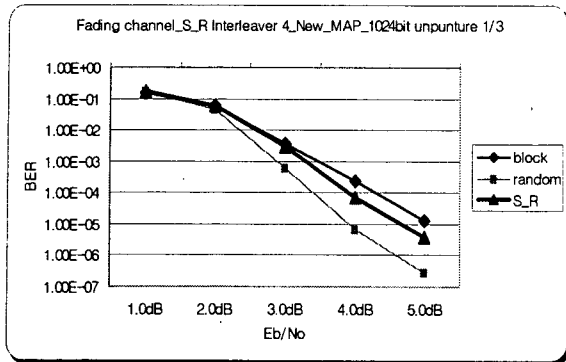


그림 4. 제안한 인터리버에 대한 성능 비교

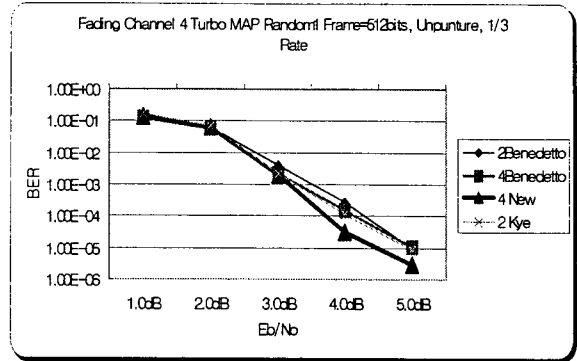


그림 6. 페이딩 채널 환경에서 제안한 복호화기에 대한 성능 비교

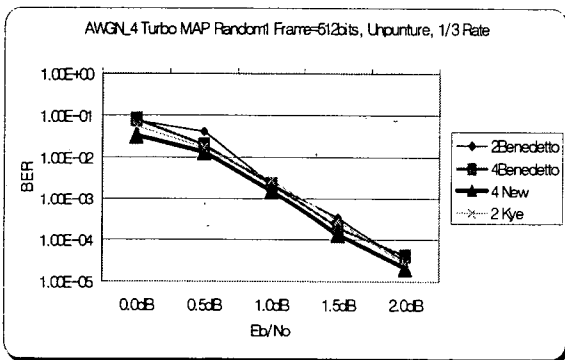
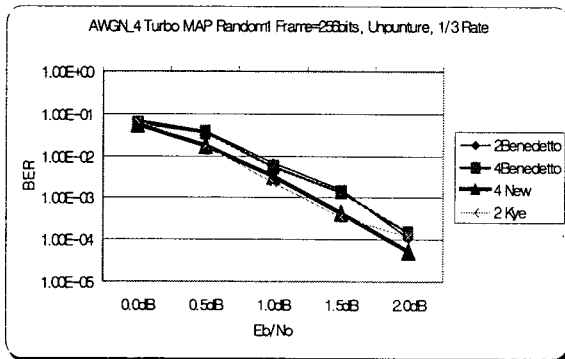
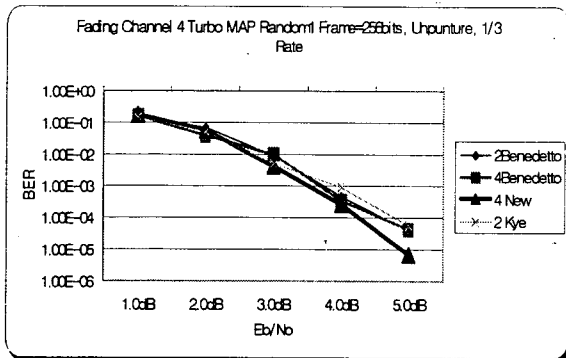


그림 5. AWGN 채널 환경에서 제안한 복호화기에 대한 성능 비교



V. 결론

본 논문에서는 CDMA 채널 환경에서 사용되는 Turbo Code에 대해 기존의 블럭 인터리버를 변형한 인터리버를 제안하고, 복잡도는 2배로 증가하나 성능을 개선하고 복호 지연을 감소시킨 4단 병렬 터보 복호화기를 제안하였다. 이를 통해 제안한 인터리버를 사용한 경우 짧은 프레임 사이즈에 주로 적용하는 블럭 인터리버보다 성능이 개선되었으며 프레임 사이즈가 큰 경우에는 랜덤 인터리버보다 낮은 성능을 보였다. 또한 제안한 복호화기 구조는 기존의 유사한 터보 복호화기와 비교하여 하드웨어의 복잡도는 2배로 증가하나 BER 성능과 복호 지연을 개선함으로써 실시간 통신 및 신뢰성이 요구되는 통신 시스템에 적용할 수 있으리라 본다.

참고문헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima. "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," in ICC, pp.1064-1070, 1993.
- [2] Peter Jung, "Comparison of Turbo Code Decoders Applied to Short Frame Transmission Systems," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 14, No. 3, April 1996.
- [3] Matthew C. Valenti, Iterative Detection and Decoding for Wireless Communications, *Ph.D. Dissertation*, Virginia Polytechnic Institute and State Univ, Sept .1998
- [4] D. Wang and H. Kobayashi, "On Design of Interleavers

with Practical Size for Turbo Codes," International Conference on Communications, Vol. 2, pp. 618-622, 2000.

- [5] P. Jung and M. Nasshan, " Designing Turbo-Codes for Speech Transmission in Digital Mobile Radio Systems," in Proc. ICT95, Bali, pp.180-183, 1995.