

표준으로 채택된 여러 터보 인터리버의 성능비교

진의수*

Performance Comparisons of Various Turbo Interleavers Adopted as a Standard

Ik Soo Jin*

본 논문은 2003년도 경남대학교 학술논문제재 연구비 지원으로 이루어졌음

요약

본 논문에서는 IMT2000 및 위성 DVB등 여러 규격에서 표준으로 채택된 터보 부호에서 사용되는 터보 인터리버의 성능에 대하여 비교분석하였다. BER 성능평가를 위해 레일리 페이딩 채널에서 고정소수점방식으로 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 공정한 비교를 위해 가능한한 인터리버의 크기를 같게 설정하였다. 모의실험결과 인터리버의 크기가 클수록 W-CDMA에서 사용하는 인터리버가 CDMA2000 및 위성 DVB용으로 사용하는 터보 인터리버에 비해 성능이 우수하다는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 인터리버의 크기가 증가할 수록 더욱 두드러졌다.

ABSTRACT

In this paper, we investigate the performance comparisons of various turbo interleavers which are adopted as a standard such as IMT-2000 and satellite DVB(digital video broadcasting). The bit error rate performance is calculated by the fixed point computer simulations over Rayleigh fading channels. For a fair comparison, the simulation is performed on the basis of equal the interleaver size as we can. From the results, it is shown that the turbo interleaver in W-CDMA outperforms the turbo interleavers in CDMA2000 and satellite DVB. The performance gains are even larger as the interleaver size is increased.

키워드

Turbo Interleaver, Turbo Code, IMT-2000, DVB

I. 서 론

터보 부호는 인터리버로 연결된 2개의 길쌈 부호로 데이터를 부호화하여 전송하고, 복호기에서는 반복적인 복호방법을 사용하여 데이터의 신뢰성을 높이는 오류제어기법이다. 최근들어 터보 부호의 복호방법과 복호기를 구성하는 여러요소 및 파라미터에 관한 연구가 폭넓게 진행되어왔다. 제3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000 규격은 3GPP(the 3rd generation

partnership project)의 비동기식 W-CDMA[1]와 3GPP2의 동기식 CDMA2000규격[2]으로 나뉜다. W-CDMA와 CDMA2000규격에서 오류제어기법중의 하나로 터보 부호가 표준으로 채택되었다. 한편 디지털 TV방송의 표준은 크게 유럽의DVB(digital video broad-casting)와 미국의ATSC(advanced television systems committee)방식으로 나눌 수 있다. 특히 지난 1994년 ETSI (European telecommunication standards institute)에서 디지털 위성 방송과 관련된

*경남대학교 정보통신공학부 조교수

접수일자 : 2003. 7. 22

표준 규격인 DVB[3]가 공표된 이래 세계각국에서 방송과 통신을 융합한 디지털 위성방송 서비스가 활성화되는 추세이다. 위성 DVB에서 표준으로 채택된 터보 부호는 원통형 트렐리스 구조를 갖고 순환상태를 이용하여 트렐리스의 시작 상태와 종료 상태를 일치시키고 있다.

본 논문에서는 IMT2000 및 위성 DVB등 여러 규격에서 표준으로 채택된 터보 부호에서 사용되는 터보 인터리버를 중심으로 페이딩채널에서 고정소수점 연산방식으로 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 가능한 같은 조건에서 인터리버의 성능을 비교하였다.

II. 여러 표준에서 사용되는 터보인터리버

터보 부호에서는 첫번째 복호기에서 연집오류에 의해 바르게 복호되지 않은 출력이 두번째 복호기의 입력에 그대로 들어가게 되면 역시 올바른 복호를 하지 못하게 되고, 이것은 다음단계의 반복복호 과정에서도 정정이 되지 않는다. 상관 관계를 지닌 정보가 다음 단의 반복적인 복호기의 입력으로 사용된다면, 만족할 만한 성능을 얻을 수 없게 된다. 그러므로, 상관 관계가 있는 정보를 효과적으로 상관 관계가 없는 정보로 전환하기 위해서는 한 프레임내에서 연집오류를 잘 분산 시킬수 있는 인터리버를 사용하는 것이 매우 중요하다.

인터리빙 기법들은 터보부호의 충분한 성능을 얻고 효율적인 구현을 위하여 여러 형태의 터보인터리버들이 연구되어 왔다[1-3].

2.1 기본적인 터보인터리버

다양한 종류의 터보인터리버가 있으나 가장 기본적으로 고려되는 것에는 블록인터리버, 핸드인터리버, S-랜덤인터리버[4]등이 있다.

2.2 W-CDMA의 터보인터리버

W-CDMA에서 사용하는 터보 부호의 인터리버는 그림1과 같이 Mother 인터리버와 Pruning과정이 합쳐진 구조를 이루고 있으며 크게 세가지 단계로 인터리버가 수행되게 된다[1].

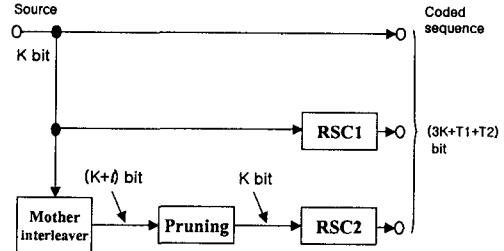


그림 1. W-CDMA 터보 부호기.
Fig. 1. Turbo encoder in W-CDMA.

먼저 인터리버 크기에 의해 정의된 행과 열의 개수를 결정한 후 inter-row에 데이터를 섞은 후 intra-row에서 데이터를 다시 한번 더 섞어주게 된다. 그리고 마지막으로 Mother 인터리버의 출력을 인터리버 블록 크기에 맞추기 위해 pruning 과정을 거쳐 나온 비트가 최종 RSC(recursive systematic convolutional)부호기의 입력 주소로 사용하게 된다. 터보 인터리버의 읽기주소 생성방법을 요약하면 다음과 같다.

step 1 : $R \times C$ 행렬의 R 을 식(1)에 의해 결정한다.

$$R = \begin{cases} 5, & \text{if } (40 \leq K \leq 159) \\ 10, & \text{if } ((160 \leq K \leq 200) \text{ or } (481 \leq K \leq 530)) \\ 20, & \text{if } (K = \text{any other value}) \end{cases} \quad (1)$$

step 2 : $R \times C$ 행렬의 C 를 결정한다.

이과정에서 솟수 p 가 사용된다.

step 3 : $R \times C$ 행렬을 구성한다.

step 4 : intra-row 간 섞기를 수행한다.

step 5 : inter-row 간 섞기를 수행한다.

step 6 : intra-row와 inter-row 간 섞기과정이 끝나면 인터리빙 된 매트릭스 값 y'_k 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} y'_1 & y'_{(R+1)} & y'_{(2R+1)} & \dots & y'_{((C-1)R+1)} \\ y'_2 & y'_{(R+2)} & y'_{(2R+2)} & \dots & y'_{((C-1)R+2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y'_R & y'_{2R} & y'_{3R} & \dots & y'_{C \times R} \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 행렬에 포함된 값은 입력 시퀀스에 존재하지 않는 비트가 있으므로 식(3)의 l [bit] 만큼 제거하게 되

면 실제 입력 비트와 같은 크기의 주소가 생성된다. 여기에서, R은 행, C는 열의 개수이다.

$$I = R \times C - K \quad (3)$$

2.3 W-CDMA의 터보인터리버

그림 3은 CDMA2000에서 사용하는 터보 인터리버의 블록다이어그램을 나타내고 있다[2]. CDMA 2000의 인터리버는 블록의 크기(N_{block})에 따라 파라미터 n이 주어진다. 이 값은 $2^{n+5} > N_{\text{block}}$ 을 만족하는 가장 적은 정수이며 최종 (5+n)비트의 인터리버 출력은 비교기를 통하여 입력 비트 크기에 맞추게 된다. 입력 인터리버 크기에 따라 결정된 n값을 비트 카운터 한 후 MSB n 비트와 LSB 5비트로 나누어 비트 연산을 수행한다. 이때 n 값을 결정하는 루업테이블은 표 1과 같다. 표 1에서 알 수 있듯 최소 인터리버 크기는 378 (18.9kbps)이다.

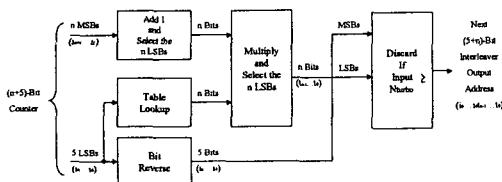


그림 2. CDMA2000 터보 인터리버
Fig. 2. Turbo interleaver in CDMA2000.

표 1. CDMA2000 터보 인터리버의 파라미터
Table 1. Turbo interleaver parameter in CDMA2000.

N_{turbo}	378	402	570	762	786	1146	1530	1554	2298
n	4	4	5	5	5	6	6	6	7
N_{turbo}	2322	3066	3090	3858	4602	6138	9210	12282	20730

2.4 위성 DVB의 터보인터리버

그림3에 나타낸 위성DVB에 사용되는 터보부호는 double binary CRSC(circular recursive systematic convolutional) 부호[3]이며 순환상태를 이용하여 트렐리스의 시작상태와 종료상태를 일치시키는 일종의 tail-biting 부호이다[5].

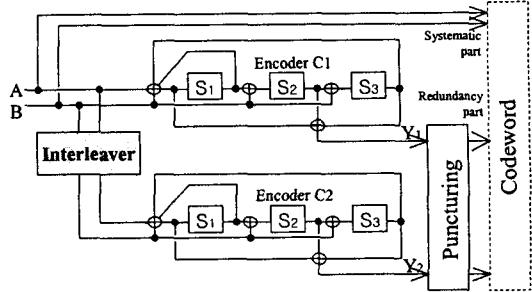


그림 3. 위성DVB용 터보 부호기
Fig. 3. Turbo encoder in satellite DVB.

그림3의 터보부호기는 IMT-2000 등에서 사용되는 터보부호기는 다른 구조를 가지고 있다. 먼저 순환상태 S_{C1} 에 의해 초기화된 후 N 커플에 대한 입력데이터를 받는다. 그후 순환상태 S_{C2} 에 의해 초기화된 후 인터리빙된 N 커플에 대한 입력데이터를 받게된다.

터보인터리빙과정은 다음과 같이 2단계를 거친다.

1단계: 커플내에서 이루어진다.

if $j \bmod 2 = 0$, let $(A, B) = (B, A)$

2단계: 커플간에 이루어진다.

- if $j \bmod 4 = 0$, then $P = 0$
- if $j \bmod 4 = 1$, then $P = N/2 + P_1$
- if $j \bmod 4 = 2$, then $P = P_2$
- if $j \bmod 4 = 3$, then $P = N/2 + P_3$

$$i = (P_0 * j + P + 1) \bmod N$$

여기서 P 값은 표 2와 같다.

표 2. 위성DVB 터보 인터리버의 파라미터

Table 2. Turbo interleaver parameter in Satellite DVB.

Frame size in couples	P_0	$\{P_1, P_2, P_3\}$
$N = 48$ (12 bytes)	11	{24, 0, 24}
$N = 64$ (16 bytes)	7	{34, 32, 2}
$N = 212$ (53 bytes)	13	{106, 108, 2}
$N = 220$ (55 bytes)	23	{112, 4, 116}
$N = 228$ (57 bytes)	17	{116, 72, 188}
$N = 424$ (106 bytes)	11	{6, 8, 2}
$N = 432$ (108 bytes)	13	{0, 4, 8}
$N = 440$ (110 bytes)	13	{10, 4, 2}
$N = 848$ (212 bytes)	19	{2, 16, 6}
$N = 856$ (214 bytes)	19	{428, 224, 652}
$N = 864$ (216 bytes)	19	{2, 16, 6}
$N = 752$ (188 bytes)	19	{376, 224, 600}

III. 모의실험 및 결과

모의실험에 사용된 시스템모델은 그림 4와 같다. 이때 사용된 모의실험조건은 표 3에 나타나 있다. 송신기에서 채널인터리버가 채널에서의 상관을 충분히 제거하게되면 수신기의 채널인터리버에 의해 페이딩 샘플들은 서로 통계적으로 독립이라고 말할 수 있다. 그러나 실제시스템에

표 3. 모의실험 파라미터
Table 3. Simulation parameters.

채널 모델		Rayleigh Fading
변조 방식		BPSK
터보코드 인터리버 사양		W-CDMA 규격[1], CDMA2000 규격[2], 위성 DVB 규격[3]
복호화 알고리즘		Log MAP
부호율(R)		1/3
인터리버크기	W-CDMA (K)	402, 3066, 9210
	CDMA2000 (N_{sub})	402, 3066, 9210
	위성 DVB (N)	128, 424, 1728
시플레이션 비트수		10^4 [bits]
입력 양자화 비트수(qI)		4, 6, 8[bits]
메트릭 연산 비트수(qM)		입력 양자화 비트수(qI)
Extrinsic Information(qex)		입력 양자화 비트수 + 0, 1, 2, 3 [bits]

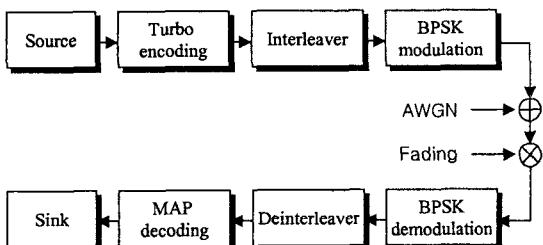


그림 4. 시스템모델
Fig. 4. System model.

서는 그러한 가정은 유효하지않다. 특히 정규화된 페이딩을 $f_d T$ 가 작아질수록 충분히 인터리빙을 하기위해서는 채널인터리빙에 의한 지역은 길어지게 된다. 그림 4에서 채널인터리버는 블록인터리버를 사용하였다. 페이딩 채널에서 수신된 신호는 fast 페이딩 채널로 설정하였고, $f_d T$ 는 0.01과 0.001로 정규화 하였으며, 또한 수신단에서는 완벽한 채널 추정이 되었다고 가정하였다. 페이딩 신호의 발생은 Jakes 모델[6]을

사용하였다.

터보 부호는 반복복호를 많이 하면 할수록 성능이 좋아지지만 일정횟수를 넘어서면 테이터의 상관관계가 증가하여 error floor 현상이 발생하게 된다. 본 논문은 반복복호횟수를 5회로 제한하여 성능 평가를 수행하였다. W-CDMA에서 사용되는 인터리버의 크기는 규격자체가 유연성이 있으나, CDMA2000이나 위성 DVB사

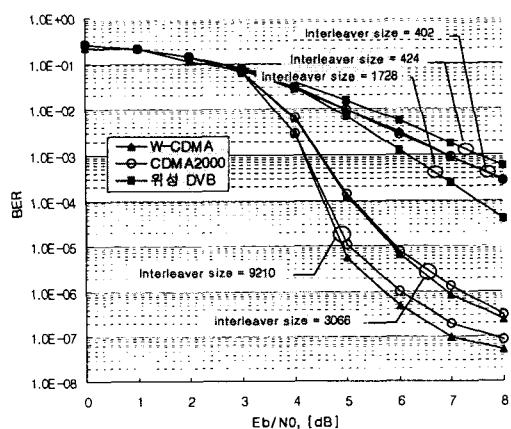


그림 5. 인터리버크기에 따른 BER 성능비교.
(Rayleigh, $f_d T=0.01$, 반복복호횟수=5)

Fig. 5. BER comparisons according to the interleaver size.

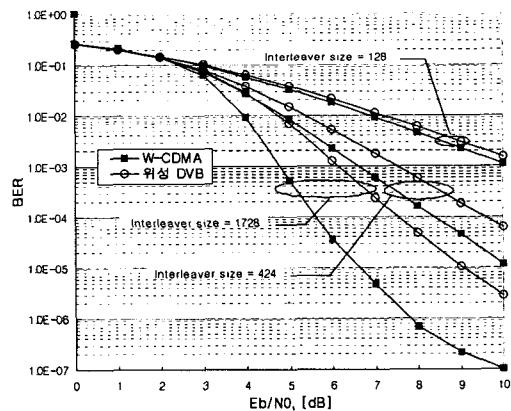


그림 6. 인터리버크기에 따른 BER 성능비교.
(Rayleigh, $f_d T=0.01$, 반복복호횟수=5)

Fig. 6. BER comparisons according to the interleaver size.

용되는 인터리버의 크기는 미리 정해진 경우가 많아 일치시키기가 어렵다. 하지만 주어진 규격내에서 가능한 일치시키기 위해 노력하였다.

그림 5와 그림 6은 인터리버의 크기가 변화할 때 각 인터리버의 성능을 비교한 그림이다. 프레임 크기가 클수록 W-CDMA의 성능 차이가 증가함을 볼 수 있다. 하지만 프레임의 크기

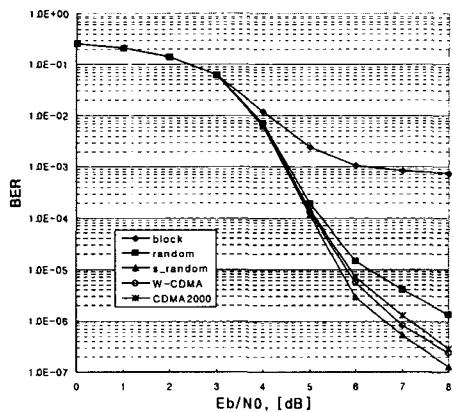


그림 7. 인터리버 종류에 따른 BER 성능비교.
(Rayleigh, $f_d T=0.01$, 반복복호횟수=5, N=3066)
Fig. 7. BER comparisons according to the interleaver.

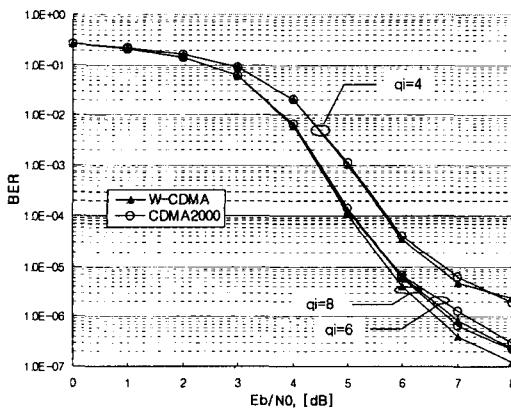


그림 8. 양자화입력비트수에 따른 BER 성능비교.
(Rayleigh, $f_d T=0.01$, 반복복호횟수=5, N=3066)
Fig. 8. Performance comparisons according to the number of quantization input data.

가 작은 경우에는 프레임 크기에 따른 성능 차이는

크게 볼 수 없었다. 또한 위성 DVB용으로 사용되는 인터리버 중 크기가 424인 것이 IMT2000에서 인터리버가 402인 인터리버에 비하여 BER이 10^{-3} 에서 약 0.6 dB 차이를 보이는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 인터리버 종류에 따른 성능(인터리버 크기=3066으로 고정)으로 S 랜덤 인터리버, W-CDMA의 인터리버가 우수한 성능을 나타냈다. 상대적으로 순수한 랜덤인터리버와 블록인터리버는 다른 인터리버에 비해 성능이 좋지 않았다.

그림 10은 실제 H/W 구현시 입력신호의 양자화 비트수에 따른 성능을 비교하였다. 그 결과 양자화 비트수를 4 비트에서 6 비트로 변화시켰을 때가 6 비트에서 8 비트로 변화시켰을 때보다 BER이 10^{-5} 에서 성능이 약 1 dB 가량 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 양자화 비트수의 적절한 선택이 성능에 큰 영향을 미친다는 것이다. 하지만 양자화 비트수의 증가는 메모리량의 증가를 의미한다. 즉, 양자화 비트수가 6 비트에서 8 비트로 증가 했음에도 성능차는 크지 않음을 볼 때, 양자화 비트수가 더 크더라도 성능은 크게 개선되지 않을 것이라는 것을 알 수 있다. 따라서, 6 비트 정도의 양자화 비트수를 고려하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IMT2000 및 위성 DVB 등 여러 규격에서 표준으로 채택된 터보 부호에서 사용되는 터보 인터리버의 성능에 대하여 비교분석하였다. BER 성능평가를 위해 래일리 페이딩 채널에서 고정소수점 방식으로 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 공정한 비교를 위해 가능한한 인터리버의 크기를 같게 설정하였다. 모의실험결과 인터리버의 크기가 클수록 W-CDMA에서 사용하는 인터리버가 CDMA2000 및 위성 DVB용으로 사용하는 터보 인터리버에 비해 성능이 우수하다는 것을 확인하였다. 이러한 현상은 인터리버의 크기가 증가할 수록 더욱 두드러졌다. 또한 H/W 구현시 고려 할 입력 양자화 비트수는 6비트가 적당한 값으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] Multiplexing and channel coding (FDD) 3GPP, TS 25.212 V5.4.0(2003-03), Release 5.
- [2] Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems Release C 3GPP2 C.S0002-C, May, 2002.
- [3] ETSI, 'Draft ETSI EN 301 790', v1.3.1, November, 2002.
- [4] S. Dolinar and D. Divsalar, "Weight Distributions for Turbo Codes Using Random and Nonrandom Permutations", The JPL TDA Progress Report 42-122, Aug. 15, 1995.
- [5] M. Tuchler, C. Weiss, A. Dholakia and J. Hagenauer, "Application of High-Rate Tail-Biting Codes to Generalized Partial Response Channels", Globecom 2001, pp.2966-2971, 2001.
- [6] W. C Jakes, Jr. "Microwave Mobile Communications", John Wiley & Sons, New York, 1974

저자 소개



진익수(Ik Soo Jin)

1987년 2월 : 연세대학교 전기공학과 공학사
1989년 2월 : 연세대학교 전기공학과 공학석사
1995년 8월: 연세대학교 전기공학과 공학박사
1995년 11월~2000년 2월 : 전자통신연구원
IMT-2000개발본부 선임연구원.
2000년 3월~2001년 8월 : 위덕대학교 정보통신공학
과 전임강사
2001년 9월~현재: 경남대학교 정보통신공학부 조교
수
※관심분야: 변복조, 채널코딩, 이동통신