

Rayleigh 페이딩 채널에서 터보부호화 병렬간섭제거기의 성능 분석

Performance Analysis of Turbo Encoded Parallel Interference Canceller on Rayleigh Fading Channel

박재오, 이정재

Jae-O Park, Jeong Jae Lee

요약

본 논문에서는 DS-CDMA 이동통신 시스템에서 발생하는 다중 사용자 간섭과 Rayleigh 페이딩의 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 터보 부호기와 병렬 간섭 제거기를 결합한 새로운 방식을 제안하였다. Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용하여 AWGN과 Rayleigh 페이딩 환경에서 사용자수와 신호 대 잡음비의 변화에 따라 이 시스템의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션의 결과로부터 제안된 방식은 AWGN과 같이 Rayleigh 페이딩에서도 통상적인 CDMA 수신 시스템에 비하여 성능이 우수함을 보였다.

Abstract

In this paper a new scheme combining the turbo coder with parallel interference canceller, which effectively mitigates the effects of multiple access interferences and Rayleigh fades in the DS-CDMA mobile communication systems, is proposed. Using the Monte-Carlo simulation, the performance of this scheme in terms of the number of users and signal to noise ratio under AWGN and Rayleigh fading environment, is analyzed. The results of simulations show that the proposed scheme outperforms conventional CDMA receiver systems over Rayleigh fading as well as AWGN.

Key words: CDMA, Turbo code, PIC, MUD, MAI.

I. 서론

대역확산(spread spectrum)기술은 여러 가지 장점들 때문에 현재 디지털 통신시스템에서 가장 많이 이용되고 있다. 이 기술을 이용한 대표적인 방식인 DS-CDMA (direct sequence code division multiple access)시스템은 현재 셀룰러 및 PCS(personal communication service)에서 이용되고 있으며[1] 제 3세대의 이동통신인 IMT-2000의 핵심 기술방식의 하나로 되어있다. 그러나, 현재 운용되고 있는 협대역 DS-CDMA인 IS-95시스템은 사용자수가 증가함에 따라서 발생하는 다중사용자간섭(MAI: multiple access interference)의 영향으로 시스템의 성능

저하에 따른 사용자 수의 제약을 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 1986년 S.Verdu[2,3]에 의해서 최적화 다중사용자 검출기(optimal MUD: multi-user detection)가 제안되었으나 제안된 최적화 다중사용자 검출기는 그 복잡성으로 인하여 실제 하드웨어 구현이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 따라서 최적화 검출기의 성능에 접근하려는 준 최적화 다중사용자 검출기(suboptimal MUD)에 대한 연구가 활발하게 진행이 되고 있다. 그리고 직렬간섭제거 방식은 약한 사용자 신호의 검출에는 큰 이득을 얻을 수 있으나 초기데이터의 추정이 완벽하지 못하면 성능이 떨어지며 각 단마다 한 명의 사용자의 데이터만을 검출하므로 많은 지연시간이 발생하게된다[4,5]. 한편 Berrou[6] 등은 AWGN과 페이딩의 영향에 따른 오류를 정정하기 위하여 인터리브와 콘볼루션 코드를 적절하게 사용함으로써 Shannon의 용량한계[8]에 접근할 수

있는 터보코드를 제안하였으며[7] 제 4세대 이동통신시스템에서는 우수한 구조의 부호기와 낮은 복잡도를 갖는 특성 때문에 오류정정을 위한 채널코드의 주류를 이룰 것으로 예상하고 있다.

본 논문에서는 이러한 간섭제거기가 갖는 지연시간을 최대한 줄일 수 있는 준 최적화 병렬간섭제거기(PIC : parallel interference canceller)를 이용한 다단 간섭제거기와 AWGN과 페이딩 채널에 대한 영향에 따른 오류를 최소화 하기 위한 터보부호기를 결합한 새로운 검출방식인 터보부호화 병렬간섭제거기를 제안하고 그 성능특성을 분석한다. 이를 위하여 제 II장에서는 터보부호화 병렬간섭제거 방식에 대하여 설명하고, 제 III장에서는 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통하여 AWGN과 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 제안된 시스템의 성능을 분석하고, 마지막으로 제 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 터보 부호화 병렬 간섭 제거 시스템

그림 1은 지연에 따른 단점을 보완하고 준 최적화 간섭제거를 수행할 수 있는 병렬 간섭 제거기와 오류를 정정하기 위한 터보 부호기를 결합한 터보 부호화 병렬 간섭제거기의 구성모델을 보여 준다.

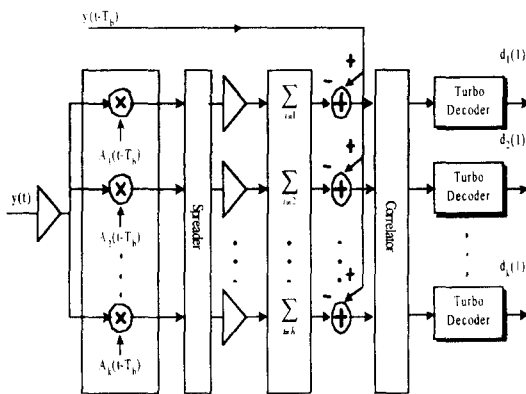


그림 1. 터보부호화 병렬간섭제거기.
Fig. 1. Turbo encoded PIC.

그림 1에서 AWGN과 Rayleigh 페이딩 채널을 통과한 K명 사용자의 인코딩 된 신호가 수신되고, 이들 수신된 신호는 먼저 적절한 진폭추정을 거친 후 역확산기를 거쳐 각 사용자에 대한 추정 신호로 검출된다. 검출된 사용자의 추정신호는 부분 합산기에서 원하는 사용자의 수신신호를 제외한 나머지 사용자의 신호, 즉 MAI 성분을 합하게 된다. 다음 단계로 수신신호에서 MAI 성분을 제거한 후 상관기를 거쳐 MAI가 제거된 사용자의 연판성 (soft decision) 데이터가 검출되고 이들 데이터는 터보

복호기를 통과함으로써 최종적으로 에러가 정정된 데이터로 복원된다.

여기서 수신신호 $y(t)$ 는 다음 식 (1)과 같이 정의 할 수 있다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) \alpha(t) + \sigma n(t) \quad (1)$$

$$= y_k(t) + \sigma n(t)$$

단, $y_k(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) \alpha(t) \quad (2)$

$$\|s_k\|^2 = \int_0^T s_k(t) dt = 1$$

A_k 는 k번째 사용자의 수신신호 진폭, b_k 는 k번째 사용자의 부호화된 정보, s_k 는 k번째 사용자의 확산코드, $n(t)$ 는 AWGN, 신호 대 잡음비는 A_k/σ 로 주어지며 $\alpha(t)$ 는 Rayleigh 페이딩 신호다.

완전한 진폭과 지연의 추정을 가정하면 MAI 성분을 제거한 사용자 k에 대한 병렬 간섭제거기의 출력신호는 다음 식 (3)과 같이 표현된다[9].

$$y(t - T_b) - \sum_{i \neq k} \hat{y}_i(t - t_b)$$

$$= d_k(t - \tau_k - T_b) s_k(t - \tau_k - T_b)$$

$$+ n(t - t_b) + \sum_{i \neq k} (d_i(t - \tau_i - T_b)$$

$$- \hat{d}_i(t - \tau_i - T_b)) A_i(t - \tau_i - T_b)$$

$$\cdot s_i(t - \tau_i - T_b)$$

여기서 $\hat{y}_i(t)$ 는 사용자 $i(i \neq k)$ 에 대한 추정된 수신신호를 나타낸다. 식 (3)에서 모든 K 사용자의 N비트에 대한 PIC 검출기의 m+1 단 출력은 다음 식 (4)와 같이 행렬벡터로 표현할 수 있다.

$$\hat{\mathbf{d}}(m+1) = \mathbf{y} - \mathbf{QA} \hat{\mathbf{d}}(m)$$

$$= \mathbf{A} \mathbf{d} + \mathbf{QA} (\mathbf{d} - \hat{\mathbf{d}}(m)) + \mathbf{z} \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{QA} \hat{\mathbf{d}}(m)$ 은 추정된 MAI 성분을 나타내고 \mathbf{Q} 는 확산부호 $s_k(t)$ 간의 상호상관 행렬에서 대각원소가 제거된 행렬이며 \mathbf{z} 는 K-벡터 잡음이다. 그림 2는 RSC (recursive systematic convolution) 인코더와 랜덤인터리브를 사용하여 구성되는 터보부호기를 보여준다[10]. 터보부호기는 두 개의 RSC 부호기를 병렬로 연결한 구조로 되어 있으며 한 개의 부호기는 인터리브를 거친 후 부호화가 이루어진다. 이 인터리브는 패리티 가중치를 증가시키고 입력 시퀀스를 분산시켜 연립오류에 대한 복호를 더욱 효율적으로 하게 함으로써 높은 오류정정효과를 얻

도록 한다.

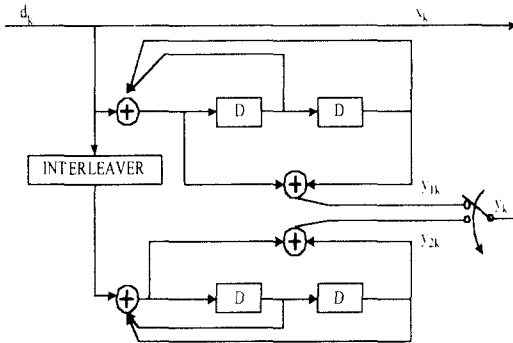


그림 2 . 터보 부호기.
Fig. 2. Turbo encoder.

터보 복호 알고리즘은 MAP(maximum a posteriori)알고리즘과 SOVA알고리즘이 있으나 비교적 하드웨어가 덜 복잡하고 낮은 전송지연이 요구되는 통신시스템에서는 SOVA 알고리즘이 많이 이용된다. 그림 3은 SOVA (soft output viterbi algorithm)알고리즘을 이용한 터보 복호기의 구성도를 보여준다.

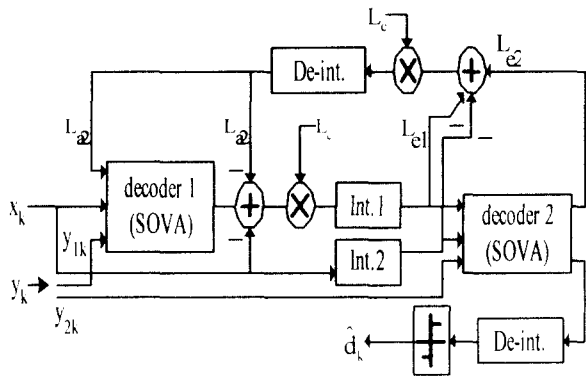


그림 3 . 터보 복호기
Fig. 3. Turbo decoder

터보복호기에서 복호지연이 없다고 가정하면 복호기 1은 조직적 데이터(systematic data) x_k , 부호기 1의 부호화 정보 y_{1k} 그리고 사전정보 L_{a2} 로부터 소프트 출력(soft-output)을 출력한다. 이 출력에서 조직적 데이터 x_k 와 사전정보 L_{a2} 를 뺀다. 그 결과는 채널신뢰도(channel reliability)라 부르는 스케일링 인자 L_c 와 곱하여 찌그러

짐을 보정한 뒤 인터리브되어 x_k 와 상관성이 없는 복호기 1으로 부터의 외부데이터(extrinsic data) L_{e1} 이 된다. 복호기 2는 입력으로 L_{e1} , 부호기 2의 부호화 정보 y_{2k} 그리고 인터리브된 체계적 데이터를 입력으로 갖는다. 복호기 2의 출력 L_{e2} 에서 인터리브된 체계적 데이터와 사전정보를 뺀 다음 찌그러짐을 보정하기 위하여 채널 신뢰도 L_c 가 곱해진다. 이러한 순서로 연판정 복호기는 각각 복호된 비트에 대하여 LLR(log-likelihood ratio)를 출력할 수 있다. 정보 비트 d_k 의 수신된 심볼 x_k 에 대한 조건부 LLR은 다음 식 (5)와 같이 정의된다.

$$L(d_k|x_k) = \log \frac{P(d_k=+1|x_k)}{P(d_k=-1|x_k)} \quad (5)$$

$$= \log \frac{p(x_k|d_k=+1)}{p(x_k|d_k=-1)} + \log \frac{P(d_k=+1)}{P(d_k=-1)}$$

잡음의 평균과 분산을 고려하여 아래의 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$L(d_k|x_k) = L_c x_k + L_a(d_k) \quad (6)$$

여기서 L_c 는 채널 신뢰도(channel reliability)로서 AWGN의 경우 다음 식 (7)과 같이 정의된다.

$$L_c = 4 \frac{E_s}{N_0} \quad (7)$$

그리고 $L_a(d_k)$ 는 정보 비트 d_k 에 대한 사전(a priori)값으로 다음 식 (8)과 같이 정의된다.

$$L_a(d_k) = \log \frac{P(d_k=+1)}{P(d_k=-1)} \quad (8)$$

모든 관측된 시퀀스에 대한 조건부 정보비트 d_k 의 LLR값은 다음 식 (9)와 같이 정의된다.

$$L(d_k) = \log \frac{P(d_k=1|observation)}{P(d_k=0|observation)} \quad (9)$$

$$= L_c x_k + L_a(d_k) + L_e(d_k)$$

$L_c(d_k)$ 는 모든 y_k , 그리고 모든 x_j , $L_a(d_j)$, $j \neq k$ 로부터 복호과정에서 얻어지는 외부(extrinsic) 정보이며 이 정보는 다음 단계의 복호를 위한 사전 정보 $L_a(d_k)$ 로 사용된다. 이러한 반복을 하면서 정보비트 d_k 가 0인지 1인지를 예측하게 된다.

III. 시뮬레이션

그림 4는 Monte-Carlo 시뮬레이션을 위한 터보부호화 송신과 다중사용자 수신시스템의 구성도를 보여준다. 송신부는 정보데이터의 터보부호화와 CDMA 시스템으로 구성된다. AWGN과 Rayleigh 페이딩 채널을 통과한 뒤 수신부에서는 터보복호화 병렬간섭제거기를 이용하여 정보신호를 추출하는 시스템이다. Monte Carlo 시뮬레이션을 위하여 10^6 개의 입력 정보비트, 대역확산을 위하여 길이가 64인 Walsh 코드, 프레임 길이 128, 변조방식은 BPSK, 부호화기의 생성다항식은 $g=[7, 5]$, 코드를 1/2를 적용하였으며 데이터의 인터리브는 성능향상을 위하여 랜덤 인터리브를 사용하였다.

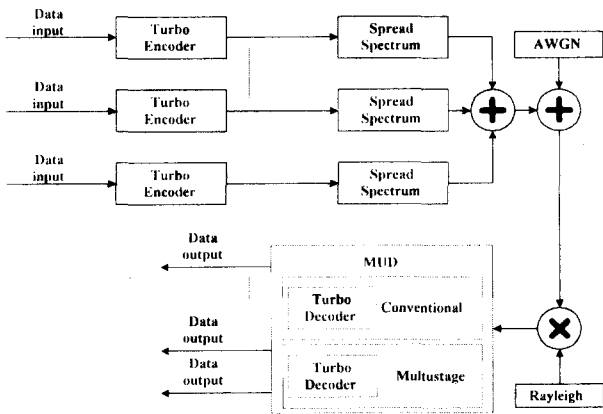


그림 4. 터보 부호화 다중 사용자 검출 시스템.
Fig. 4. Turbo encoded multiuser detector.

그림 5는 AWGN 및 Rayleigh 페이딩 채널 환경 그리고 그림 6은 터보부호화 채널환경에서 단일 사용자 일 때 기존의 DS-CDMA의 검출기의 성능을 각각 분석한 결과를 보여준다. 성능 분석결과 예측할 수 있는바와 같은 신호 대 잡음비에 대한 BER을 보여주며 부호화를 하지 않았을 경우의 기존 검출기의 성능보다 터보부호화를 하였을 경우 대략 7dB이상의 SNR 이득개선효과가 있음을 알 수 있다.

그림 7은 AWGN 채널 환경에서 10^6 개의 입력 비트, 길이가 64인 Walsh 코드를 이용하여 직접대역 확산을 하고, 사용자를 각각 1명, 5명, 10명, 15명, 20명일 경우로 달리 하였을 경우 병렬간섭제거기의 성능을 분석하였다. 성능 분석결과 사용자 수가 증가함에 따라 성능이 떨어지는 기존의 검출기와는 달리 사용자의 수가 증가하여도 성능 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

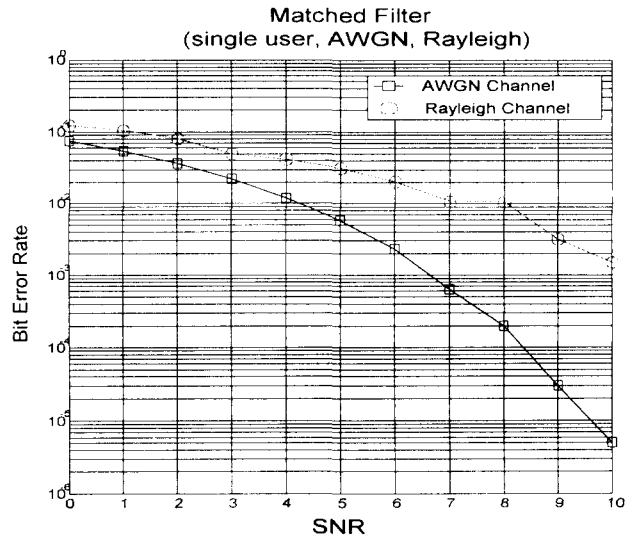


그림 5. AWGN 및 Rayleigh 페이딩 채널에서의 기존 검출기 성능 분석
Fig.5. Performance analysis of conventional detector over AWGN, Rayleigh fading channel.

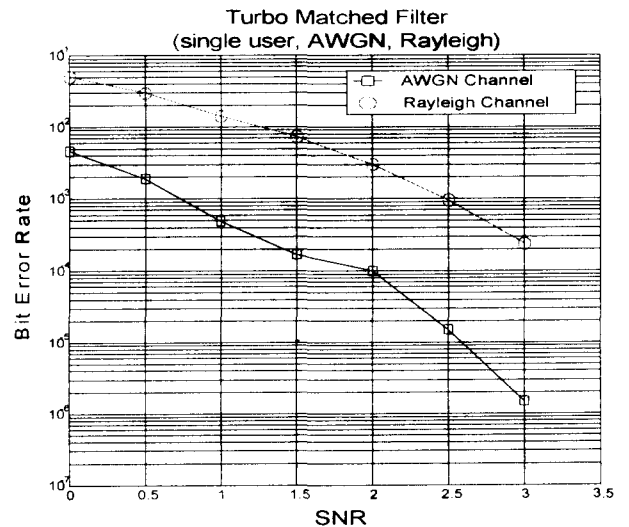


그림 6. AWGN, Rayleigh 페이딩 채널에서 터보부호화 기존 검출기 성능 분석
Fig. 6. Performance analysis of Turbo encoded conventional detector over AWGN, Rayleigh fading channel.

그림 8은 Rayleigh 채널 환경에서 사용자를 각각 1명, 5명, 10명, 15명, 20명으로 달리 하였을 경우 병렬간섭제거기의 성능을 분석한 결과를 보여준다. 그림 7의 AWGN 채널의 경우와 그림 8의 Rayleigh 페이딩 채널일 경우의 분석결과를 비교하였을 때 SNR에 대한 BER은 나빠지지 만 두 경우 사용자 수의 증가에 따른 성능의 차이가 매우 적음을 알 수 있다.

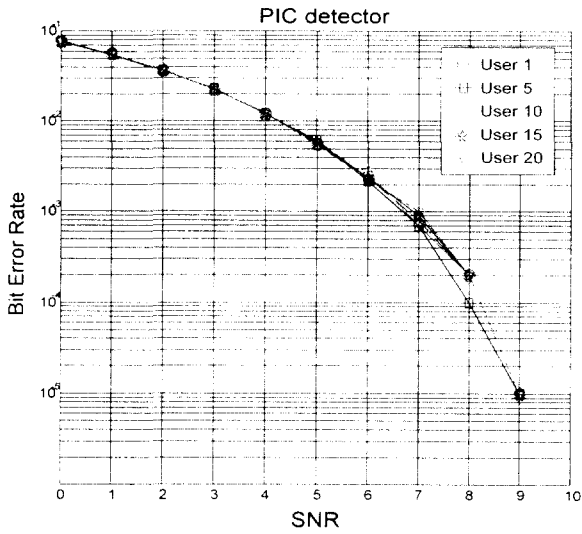


그림 7. AWGN 채널에서 병렬간섭제거기의 성능 분석
Fig.7. Performance analysis of PIC over AWGN.

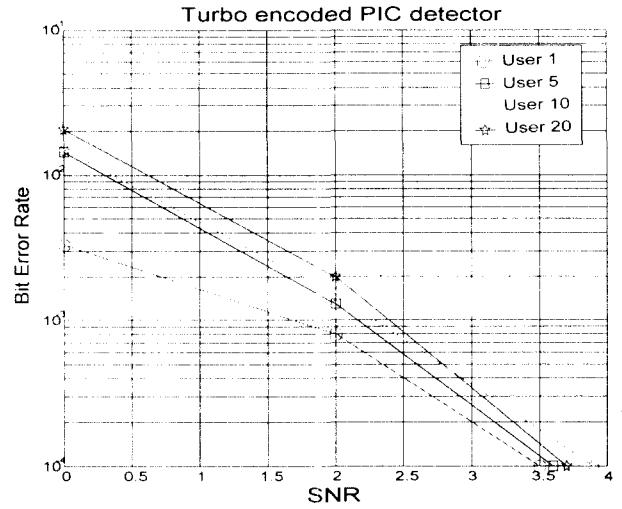


그림 9. AWGN 채널에서 터보부호화 병렬간섭제거기의 성능 분석
Fig. 9. Performance analysis of Turbo encoded PIC over AWGN channel.

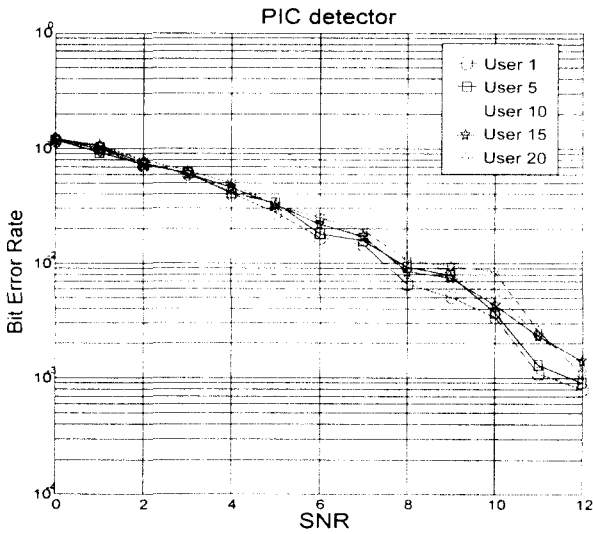


그림 8. Rayleigh 페이딩 채널에서 병렬간섭제거기의 성능 분석
Fig. 8. Performance analysis of PIC over Rayleigh fading channel.

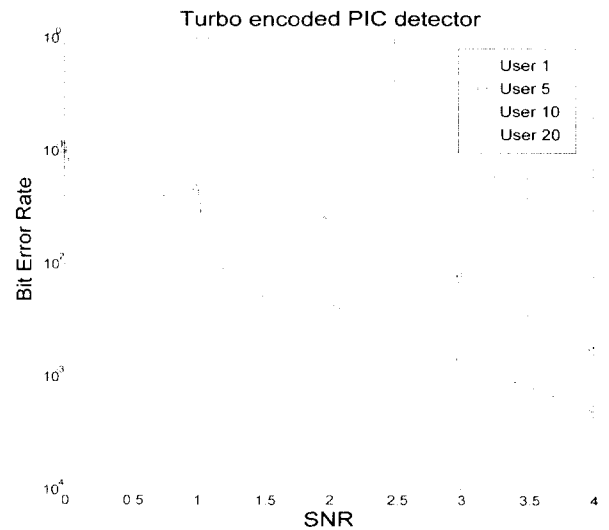


그림 10. Rayleigh 페이딩 채널에서 터보부호화 병렬간섭제거기의 성능 분석
Fig. 10. Performance analysis of Turbo encoded PIC over Rayleigh fading channel.

그림 10은 Rayleigh 페이딩 채널에서 터보부호화 PIC 검출기를 이용하였을 경우 사용자의 수에 따른 시스템의 성능을 분석한 결과다. 부호화를 하지 않았을 경우 그림 8의 PIC 검출기의 성능과는 달리 사용자 수가 증가함에 따라서 성능이 나빠지지만 터보부호화에 따른 성능개선 효과가 매우 큼을 알 수 있다.

그림 11은 길이 64인 Walsh 코드, 128비트의 입력 프레임을 설정하고 Rayleigh 페이딩 조건에서 다단 PIC 검출기를 사용하였을 경우 터보 부호화가 인터리버의 반복 횟수에 따른 시스템의 성능을 분석한 결과를 보여준다. 그림 11에서 알 수 있는바와 같이 반복횟수를 1회에서 4회까지 변화를 주었을 때 성능의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

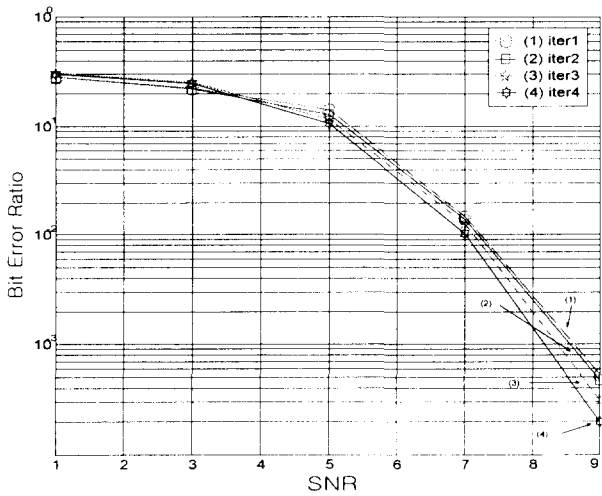


그림 11. 반복횟수에 따른 BER
Fig. 11. BER for iterative decoding.

시뮬레이션 결과를 종합하면 통상적인 DS CDMA에 비하여 터보부호기를 사용하였을 때 단일 이용자의 경우 대략 SNR 7dB 이상의 개선효과를 얻을 수 있었으며 PIC를 사용하였을 경우 단일 사용자에서 사용자가 20명으로 증가하더라도 이용자의 수 변화에 따른 성능감소가 대략 SNR 0.5dB이하로 매우 적음을 알 수 있었다. 그리고 제안된 터보부호화 병렬간섭제거기를 사용하였을 경우 Rayleigh 페이딩 채널에서 사용자가 20명일 때 통상적인 DS CDMA의 단일 사용자와 비교하였을 때 대략 SNR 6dB 이상의 성능개선효과를 확인할 수 있었다.

IV. 결론

본 논문에서는 MAI 제거와 오율 정정을 위하여 터보부호화를 적용한 병렬간섭제거 시스템을 제안하고 AWGN, Rayleigh 페이딩 채널조건에서 성능을 분석하였다. 분석결과로부터 제안된 다단 병렬간섭제거 시스템은 단일 사용자 시스템 성능과 비교하였을 때 이용자 수의 증가에 따른 성능 감소가 매우 적음을 알 수 있었다. 또한 다단 간섭제거기의 출력 데이터를 터보부호기에 입력하여 오류를 제거하게 함으로서 검출성능을 더욱 개선할 수 있음을 보였다.

따라서 제안된 터보부호기를 결합한 병렬제거시스템은 기존 DS-CDMA의 검출 방식에 비하여 매우 높은 성능 개선효과 뿐만 아니라 다중 이용자를 위한 전력제어의 정확성에 따른 복잡성의 개선효과도 기대 할 수 있다.

접수일자 : 2001. 7. 18 수정완료 : 2001. 10. 5

참고문헌

[1] R. Prasad, CDMA for Wireless Personal Communication, Norwood, MA ; Atech House, 1996

[2] S. Verdu, "Minimum Probability of Error for Asynchronous Gaussian Multiple Access Channels," IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT 32, pp. 85-96, Jan. 1986.
 [3] S. Verdu, Multiuser Detection Cambridge Univ. Press, 1998.
 [4] Shiom Moshavi, "Survey of Multi-User Detection for DS CDMA Systems," Bellcore pub. IM 555, Aug, 1999
 [5] Shimon Moshavi and Bellcore "Multi user Detection for DS-CDMA Communications," IEEE Commun. Magazine, vol. 3, no. 4, pp. 124-136, Oct. 1996
 [6] C. Berrou, "Turbo codes : General principles and applications," in roc. Tierrenia Int. Workshop on Digital Commn, Sept. 1993.
 [7] Claude Berrou, Alain Glavieux and Punyathitimajshima "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding:Turbo Code(1)", in Proc. IEEE ICC, May, 1993, pp. 1064-1070
 [8] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," Bell Sys. Tech. J., Vol. 27, pp. 379 423 623-656, 1948
 [9] Mahesh K. Varanasi and Behnaam Aazhang "Multistage Detection in Asynchronous Code-Division Multiple Access Communications " IEEE Trans. on communications. vol. 38, No.4, April 1990
 [10] J. Hokfelt and T. Maseng, "Methodical interleaver design for turbo codes," in Proc., Int. Symp. on Turbo Codes and Related Topics, pp. 212 215, Sept. 1997.



이정재 (Jeong Jae Lee)

正會員

1973.2 서강대학교 전자공학과 졸업

1990.8 한양대학교 전자통신공학과
(공학박사)

1997.9-1998.8 미국 켈리포니아 주립대
CICTR 교환교수

1987.3 현재 동의대학교 정보통신공학과 교수



박재오 (Jae-O Park)

準會員

1998.2 동의대학교 정보통신공학과
(공학사)

2001.2 동의대학교 정보통신공학과
(공학석사)

2001.2 현재 미래통신(주)이동통신그룹
CDMA팀 H/W(주임연구원)