

Rayleigh 페이딩 채널에서 터보부호화 병렬간섭제거기의 성능 분석

박재오*, 이정재**

*,** 동의대학교 정보통신공학과

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

Jae-O Park*, Jeong Jae Lee**

*,**Dept. of Information & Communication., Dongeui University

E-mail : jjlee@hyomin.dongui.ac.kr

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 이동통신 시스템에서 발생하는 다중 사용자 간섭 현상과 Rayleigh 페이딩의 영향을 효과적으로 제거하기 위하여 터보 부호화 병렬간섭제거기를 제안하였으며, Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 AWGN, Rayleigh 환경에서 사용자수에 따른 신호 대 잡음비의 변화에 따라 제안된 시스템의 성능을 분석하였다.

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

I. 서론

대역확산(Spread Spectrum)기술이 가진 여러 가지 장점들 때문에 현재 이동통신시스템에서 가장 많이 이용이 되고 있다. 이 기술을 이용한 대표적인 방식인 DS-CDMA(direct sequence code division multiple access)시스템은 현재 셀룰러 및 PCS(personal communication service)에서 이용이 되고 있다. 그러나, 현재 운용되고 있는

IS-95시스템은 사용자의 수가 증가함에 따라서 발생하는 MAI(다중사용자간섭 : multiple access interference), 원근(near-far)문제 등의 현상에 대하여 고려되지 않고 설계가 되었으며, 이로 인해 시스템의 성능과 용량에 중대한 영향을 끼치게 되었다.

본 논문에서는 MAI를 제거하기 위하여 오류 정정코드인 터보코드를 이용한 터보부호화 병렬 간섭제거방식을 제안하였다. II절에서는 터보부

호화 병렬간섭제거 방식에 대하여 설명하고, III 절에서는 제안된 방식을 AWGN(Additive White Gaussian Noise), Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 Monte Carlo 시뮬레이션을 통하여 시스템의 성능을 분석하고, IV에서 결론을 맺는다.

II. 터보부호화 병렬 간섭제거 시스템

1986년 S. Verdu에 의해서 최적화 다중사용자 검출기(Optimal MUD)가 제안되었다. 제안된 최적화 다중사용자 검출기는 그 복잡성으로 인하여 실제 하드웨어 구현이 어렵다는 단점을 가지고 있어서, 현재는 최적화 검출기에 준하는 준최적화 검출기(Suboptimal MUD)에 대한 연구가 활발하게 진행이 되고 있다.^[1] Berrou에 의해서 제안된 터보코드는 용량한계에 근접하는 성능을 보였다.^[2] 본 논문에서는 준최적화를 위한 병렬간섭제거기(PIC : Parallel Interference Canceller) 방식의 다단 간섭제거기 응용하였다. 병렬간섭제거 방식은 직렬간섭제거방식의 간섭제거기가 갖는 지연시간을 최대한 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있으며^[3], AWGN, 페이딩 채널에 대한 영향을 제거하기 위하여 오류정정부호인 터보부호를 이용한 다중사용자 검출기를 구성하였다. 그림 1은 터보부호화 병렬간섭제거기의 수신기 모델이다.

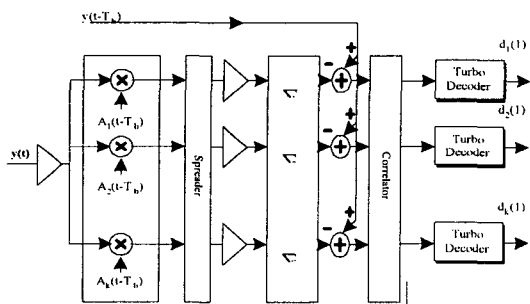


그림 1. 터보부호화 병렬간섭제거기 수신기
Fig. 1. Turbo encoded PIC

AWGN, Rayleigh 페이딩 채널을 통과한 K명 사용자의 인코딩 된 신호가 수신이 되고, 이들 수신된 신호는 먼저 적절한 진폭추정을 거친 후 역확산기를 통과하면서 각 사용자에 대한 추정신호로 검출된다. 검출된 사용자의 추정신호는

다시 재확산 과정을 거친 후, 부분합산기에서 원하는 사용자의 수신신호를 제외한 나머지 사용자의 신호, 즉 MAI 성분을 합하게 된다. 다음 단계로 수신신호에서 MAI 성분을 제거한 후 상관기를 거쳐 역확산을 시킴으로서 MAI가 제거된 사용자의 연판정(soft decision) 데이터가 검출되고 이들 데이터는 터보 복호화기를 통과함으로써 최종적으로 에러가 정정된 데이터로 복원이 된다. 여기서 수신신호 $y(t)$ 는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) r(t) + \sigma n(t) \quad (2.1)$$

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

$$y_k(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k s_k(t) r(t) \quad (2.2)$$

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

A_k 는 K번째 사용자의 수신신호 진폭이며, b_k 는 K번째 사용자의 부호화된 정보, s_k 는 확산 코드, $n(t)$ 는 AWGN이다. 그리고, $r(t)$ 는 레일리 페이딩 신호이다. 병렬 간섭제거기에서 K 사용자의 N 비트에 대하여 행렬-벡터의 형태로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{d}(m+1) = y - QA \hat{d}(m) \quad (2.3)$$

$$= Ad + QA(d - \hat{d}(m)) + z$$

그림 2는 입력데이터가 터보부호화기를 통과시키면서 데이터를 부호화하는 시스템이다. RSC(recursive systematic convolution)인코더를 사용하였고, 인터리브는 랜덤인터리브를 사용하였다.

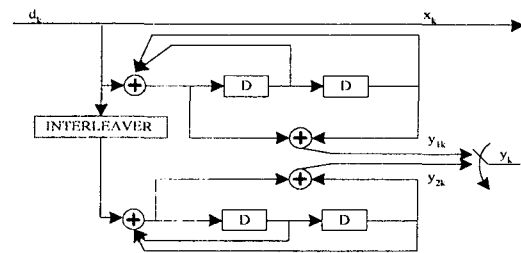


그림 2. 터보 부호기
Fig. 2. Turbo encoder

그림 3은 터보 복호기를 나타내었다. 터보 복호 알고리즘은 MAP(Maximum A Posteriori) 알고리즘과 SOVA(Soft Output Viterbi Algorithm) 알고리즘이 있다. 본 논문에서 이용된 복호화기는 하드웨어가 덜 복잡한 SOVA 알고리즘을 사용하였다. 두 개의 복호기가 각 구성 코드의 복호를 수행하는데 첫 번째 복호기는 인터리브를 거치지 않고 채널의 신뢰도와 곱해진 x_k 값과 $L_a(d_k)$ 가 더해져 첫 번째 복호기 입력되고 복호 후 새로운 정보만 출력으로 내보내게 된다. 두 번째 복호기는 x_k 값과 $L_e^1(d_k)$ 가 더해져서 인터리브되고 두 번째 복호기에 의해 복호된 후 복호기의 입력으로 사용된 값을 빼고 원래의 정보비트의 순서로 디인터리빙하게 된다. 이러한 순서로 연관성 복호기는 각각 복호된 비트에 대하여 LLR(log-likelihood ratio)를 출력할 수 있다. 여기서 x_k 는 정보 비트의 채널 출력이고 y_{1k} 와 y_{2k} 는 패리티비트의 채널 출력을 나타낸 것이다.

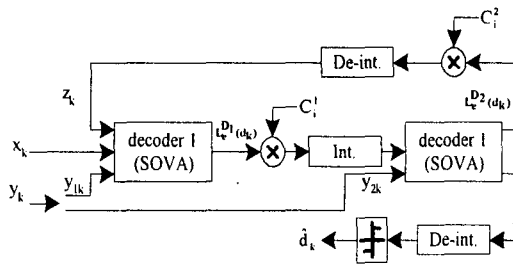


그림 3. 터보 복호기
Fig. 3. Turbo decoder

정보 비트 d_k 의 수신된 심볼에 대한 조건부 LLR로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(d_k|x_k) = \log \frac{P(d_k=+1|x_k)}{P(d_k=-1|x_k)} \quad (2.4)$$

잡음의 평균과 분산을 이용하여 아래의 식이 유도된다.

$$\log \frac{P(d_k=+1|x_k)}{P(d_k=-1|x_k)} = \frac{2}{\sigma^2} x_k = 4 \frac{E_s}{N_0} x_k \quad (2.5)$$

정보 비트에 대한 사전 값은 다음과 같다.

$$L_a(d_k) = \log \frac{P(x_k|d_k=+1)}{P(x_k|d_k=-1)} \quad (2.6)$$

$$L(d_k|x_k) = L_c x_k + L_a(d_k) \quad (2.7)$$

$$L_c = 4 \frac{E_s}{N_0}$$

정보비트 d_k 의 전체 시퀀스에 대한 조건부 LLR값을 이용하여 정보비트 d_k 가 0,1인지를 예측한다.

$$L(d_k) = \log \frac{p(d_k=1|observation)}{p(d_k=0|observation)} \quad (2.8)$$

$L_e(d_k)$ 는 패리티 비트 y_k 로부터 얻은 부가정보이며 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

시뮬레이션은 터보부호화 병렬간섭제거기를 이용하여 프레임 길이 128, 반복횟수 2회로 고정하여 수행하였다. 부호화기의 생성다항식은 $g=[7,5]$, 코드율 1/2를 적용하였으며, 데이터를 인터리브하기 위해 성능이 좋은 랜덤 인터리브를 사용하였고, 대역확산을 위하여 PN 코드는 길이가 64인 Walsh 코드를 이용하여 직접대역확산을 하였고, BPSK 변조를 적용하였다. 다중사용자 검출기는 병렬간섭제거기를 이용하였으며, AWGN, Rayleigh 페이딩 채널 조건에서 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 성능 분석을 하였다. 그림 4는 터보부호화를 이용한 채널에서 시뮬레이션을 했을 경우 정합필터의 BER이다. 그림 5는 Rayleigh 페이딩 채널 환경에서 사용자 수에 따른 병렬간섭제거기의 성능 분석 결과를 보인다. 그림 6는 터보부호화 병렬 간섭제거기를 이용하였을 경우 Rayleigh 페이딩 채널에서 사용자의 수에 따른 오류를 분석한 것이다. 분석결과 터보부호화를 하였을 경우 성능이 크게 개선됨을 알 수 있다.

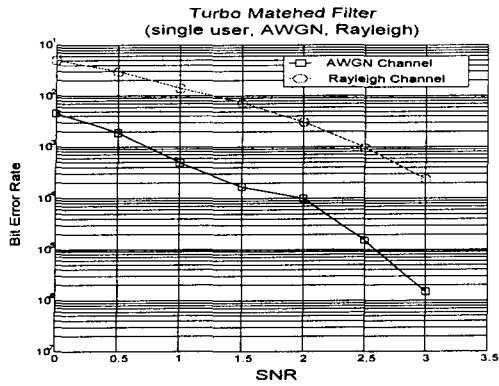


그림 4. 터보부호화 정합필터의 오율
Fig. 4. BER of turbo encoded matched filter

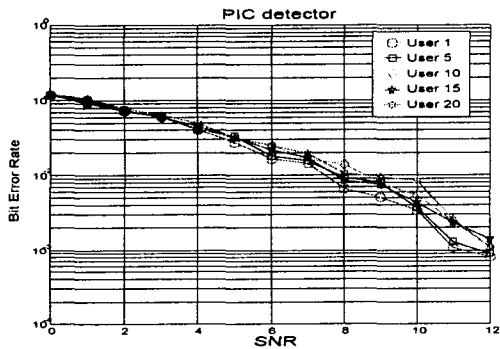


그림 5. 병렬간섭제거기의 오율
Fig. 5. BER of PIC

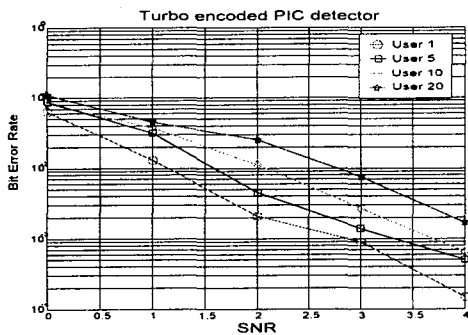


그림 6. 터보부호화 병렬간섭제거기의 오율
Fig. 6. BER of Turbo encoded PIC

IV. 결론

본 논문에서는 MAI 제거와 오류정정을 위하여 터보부호화 병렬간섭제거 시스템을 제안하고 AWGN, Rayleigh 페이딩 채널 조건에서 성능을 분석하였다. 분석 결과 기존의 정합필터를 이용한 검출기보다 병렬간섭제거기를 이용한 다중 사용자 검출기는 사용자수가 증가하였을 경우 단일 사용자에서의 시스템 성능과 유사한 특성을 나타내었다. 또한 오류정정을 위하여 터보부호화를 하였을 경우에는 훨씬 뛰어난 성능개선효과를 보였다. 향후 연구의 진행은 다양한 신호 변조방식과 터보부호화 형식이 적용된 시스템에 대하여 수행될 것이다.

참고문헌

- [1] Shimon Moshavi and Bellcore "Multi-user Detection for DS-CDMA Communications," IEEE Commun, Magazine, vol. 3, no. 4, pp. 124-136, Oct. 1996
- [2] Claude Berrou, Alain Glavieux and Punyathi-timajshima "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding:Turbo-Code(1)", in Proc. IEEE ICC, May, 1993, pp. 1064-1070
- [3] 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