

하이브리드 위너 필터링 간섭제거 기법을 이용한 다중 데이터 율 DS/CDMA 시스템의 성능 분석

정재필, 최원태, 박상규
한양대학교 전자전기공학부

전화 : (02) 2290-0365 / 팩스 : (02) 2281-9912

Performance of GHICW(Group-wise Hybrid Interference Cancellation Scheme based on Wiener filtering) in Multi Rate DS-CDMA System

Jae Pil Chung, Won Tae Choi, Sang Kyu Park
Division of Electrical and Computer Engineering
Hanyang University
E-mail : pilly@hymail.hanyang.ac.kr

Abstract

This paper presents the performance of a GHICW(Group-wise Hybrid Interference Cancellation scheme based on Wiener filtering) receiver for the multi-rate DS-CDMA system. Our scheme has a small processing delay and a simple hardware complexity compared to ordinary interference cancellation schemes by grouping users with the same data rate.

The performance improvement of the low rate user is obtained by using a Wiener filter which precisely estimates the high rate users' bit.

I. 서론

제 3세대 IMT-2000시스템은 2세대 시스템과는 달리 음성뿐만 아니라 고속의 데이터와 멀티미디어 서비스까지 지원하게 된다. 따라서 수신기에서도 다양한 데이터 율을 처리할 수 있는 능력을 요구한다[1].

CDMA 시스템은 원근 문제에 따른 불균등한 수신신호의 세기와 사용자들간의 확산부호의 비직교성으로 인해 다중접속간섭(Multiple Access Interference : MAI)이 생기게 되는데, 여러 데이

터 율을 지원하는 시스템에서는 높은 데이터 율 사용자에게 의한 간섭이 더욱 심화되므로 낮은 데이터 율 사용자에게 대한 성능 개선이 필요하다. CDMA 통신 시스템은 이러한 다중접속간섭에 의해 검파의 성능과 시스템의 용량이 제한된다[2].

MAI를 줄이는 방식 중 하나로 간섭제거(interference cancellation)기법을 들 수 있고, 근래에는 여러 개선된 간섭제거기법에 대한 연구가 진행되고 있다[3][4].

본 논문에서는 상대적으로 전력이 큰 높은 데이터 율 사용자의 다중접속간섭을 줄여, 낮은 데이터 율 사용자의 성능을 향상시킨 위너(Wiener) 필터에 근거한 그룹형 혼합 간섭 제거기법(GHICW)을 이용한 수신기를 제안한다. 이 수신기는 일반적인 간섭제거기보다 복잡도와 처리 지연이 낮은 특성을 갖는다.

II. 시스템 모델링

2.1 다중 처리이득 시스템

가변 확산 계수(variable spreading factor)시스템, 또는 단일 칩 율 시스템으로도 말할 수 있는 다중 처리이득 시스템은 동일한 칩 율을 모든 다

른 데이터 율에 적용한다. 그러므로 이 시스템은 처리이득 $N_j = R_c/R_j$ (여기서 R_j 는 데이터 속도, R_c 는 칩 속도)이 데이터의 전송율에 따라 바뀌는 시스템이다. 본 논문에서는 모든 사용자가 BPSK 변조방식을 사용하고 동일한 칩 주기 (T_c)를 사용하며, 동일한 비트 에너지를 갖고 완벽한 전력제어가 이루어지는 다중 데이터 율 DS/CDMA 시스템에 대하여 고려한다.

2.2 송수신 모델

저속 데이터 율이 R_0 Kbps 와 고속의 데이터 율이 R_1 Kbps인 두 개의 부 시스템이 존재하며 데이터 전송비 $L = R_1/R_0$ 은 정수인 비동기 DS/CDMA 시스템을 고려한다. j 번째 부 시스템 ($j=0,1$)의 k 번째 사용자의 송신 신호, $s_k^{(j)}(t)$, 는 식 (2.1)과 같다.

$$s_k^{(j)}(t) = \sqrt{2P_j} b_k^{(j)}(t) a_k^{(j)}(t) \cos(\omega_c t + \theta_k^{(j)}) \quad (2.1)$$

식(2.1)에서 ω_c 는 반송파 주파수, $\theta_k^{(j)}$ 는 j 번째 부 시스템의 k 번째 사용자 신호의 위상이다. $a_k^{(j)}(t) = \sum_q a_{k,q}^{(j)} P_{T_j}(t - \zeta T_j)$ 는 j 번째 부 시스템의 k 번째 사용자에게 할당된 확산 부호의 ζ 번째 칩으로 $a_{k,q}^{(j)} \in \{-1, +1\}$ 이고, P_j 는 j 번째 부시스템의 송신전력이며, T_j 는 칩 주기를 나타내고 $P_{T_j}(\cdot)$ 는 T_j 주기를 갖는 단위 사각파를 나타낸다. 그리고 $b_k^{(j)}(t) = \sum_q b_{k,q}^{(j)} P_{T_j}(t - \zeta T_j)$ 는 정보신호로 j 번째 부 시스템의 k 번째 사용자 정보의 ζ 번째 비트로, $P_{T_j}(\cdot)$ 는 j 번째 부 시스템의 비트 주기 T_j 를 갖는 단위 사각파이다.

기지국이 수신하는 수신신호는 식 (2.2)와 같다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{j=0}^1 \sum_{k=1}^{K_j} s_k^{(j)}(t - \tau_k^{(j)}) + n(t) \\ &= \sum_{j=0}^1 \sum_{k=1}^{K_j} \sqrt{2P_j} b_k^{(j)}(t - \tau_k^{(j)}) a_k^{(j)}(t - \tau_k^{(j)}) \times \cos(\omega_c t + \phi_k^{(j)}) + n(t) \end{aligned} \quad (2.2)$$

여기서 $\tau_k^{(j)}$ 는 j 번째 부 시스템의 k 번째 사용자의 시간 지연을 나타낸 것으로 $[0, T_j]$ 범위에 균일하게 분포한다. 그리고 $\phi_k^{(j)}$ 는 위상 변이를 나타낸 것으로서 $[0, 2\pi]$ 사이의 균일 분포 값을 갖고

$\phi_k^{(j)} = \theta_k^{(j)} - \omega_c \tau_k^{(j)}$ 와 같이 정의되고 $n(t)$ 는 양측 전력 스펙트럼 밀도가 $\eta_0/2$ 인 AWGN이다.

III. 다중 데이터 율 GHICW 시스템

그림 1은 위너 필터에 근거한 GHIC 기법을 이용한 수신기를 나타내고 있으며, 이중 높은 데이터 율의 l 번째 사용자 신호를 재생하는 위너 필터의 구조는 그림 2와 같다. 여기서 $r'(t)$ 는 역확산된 기저대역 신호이다.

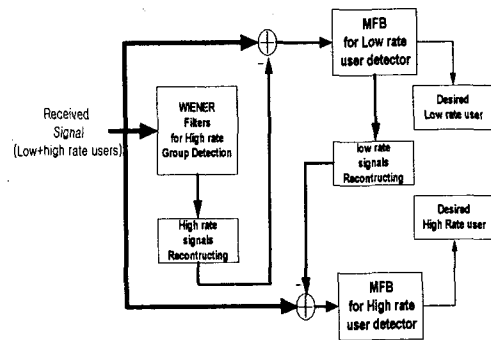


그림 1 GHICW수신기 구조
Fig. 1 Block diagram of GHICW receiver

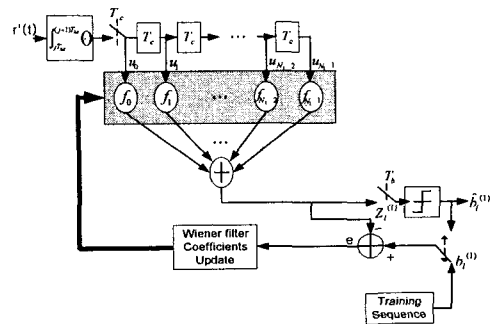


그림 2 N-tap FIR Wiener 필터
Fig. 2 N-tap FIR Wiener filter

수신된 신호를 그림 2의 필터에 통과시키면 식 (3.1)이 된다.

$$U_i^{(1)} = \int_{iT_c}^{(i+1)T_c} r(t) a_i^{(1)}(t) \cos(\omega_c t) dt \quad (3.1)$$

식 (3.1)에서 적분 구간에 따라 $U_i^{(1)} = \{u_i^{(1)}\}$ 이고, $i = 0, 1, 2, \dots, N_1 - 1$ 의 값을 가지며 i 는 필터를 통과 후 각각 칩 주기 (T_c)만큼 지연 시

간을 나타낸다. $u_i^{(l)}$ 을 데이터 신호, 간섭 신호 그리고 잡음신호 성분으로 분리하여 나타내면 식 (3.2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$u_i^{(l)} = b_i^{(l)} + I_i^{(l)} + \eta_i \quad (3.2)$$

수신기에서 수신한 사용자의 정보 신호 $b_i^{(l)}$ 는 한 비트 동안 일정하므로 $b_i^{(l)} = \sqrt{\frac{P_k^{(l)}}{2}} b_{i,0}^{(l)} T_c$ 이고, η_i 는 평균은 0이고 분산은 $\frac{\eta_0 T_c}{4}$ 이다.

식 (3.2)의 간섭 성분 $I_i^{(l)}$ 은 식 (3.3)과 같이 표현된다.

$$I_i^{(l)} = \sum_{k \neq l}^{K_1} \sqrt{\frac{P_k^{(l)}}{2}} \int_{iT_c}^{(i+1)T_c} b_k^{(l)}(t - \tau_k^{(l)}) a_k^{(l)}(t - \tau_k^{(l)}) \times a_i^{(l)}(t) \cos(\phi_k^{(l)}) dt \\ + \sum_{k \neq l}^{K_0} \sqrt{\frac{P_k^{(0)}}{2}} \int_{iT_c}^{(i+1)T_c} b_k^{(0)}(t - \tau_k^{(0)}) a_k^{(0)}(t - \tau_k^{(0)}) \times a_i^{(l)}(t) \cos(\phi_k^{(l)}) dt \quad (3.3)$$

그림 2에서 위너 필터계수 f_w 는 식 (3.4)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_w = (\mathbf{I} + \mathbf{B}\mathbf{B}^T)^{-1} \mathbf{B} \quad (3.4)$$

여기서 $f_w = [f_0, f_1, \dots, f_{N_1-1}]^T$ 이고 T 는 합수의 전치를 의미한다. $N_1 \times N_1$ 행렬 \mathbf{I} 와 $N_1 \times 1$ 행렬 \mathbf{B} 는 아래와 같이 정의한다.

$$\mathbf{I} = E[\mathbf{I} \mathbf{I}^T] + \frac{\eta_0 T_c}{4} \mathbf{I}_{N_1, N_1} \quad (3.5)$$

$$\mathbf{B} = \left[\sqrt{\frac{P_1}{2}} T_c, \sqrt{\frac{P_1}{2}} T_c, \dots, \sqrt{\frac{P_1}{2}} T_c \right]^T \quad (3.6)$$

식 (3.5)에서 \mathbf{I}_{N_1, N_1} 은 $N_1 \times N_1$ 항등행렬 (identity matrix)이고, $\mathbf{I} = [I_0, I_1, \dots, I_{N_1-1}]^T$ 이다.

높은 데이터 율 사용자중 l 번째 사용자의 결정 변수는 식 (3.7)과 같고 재생된 신호는 식 (3.8)과 같다.

$$Z_i^{(l)} = \sqrt{\frac{P_k^{(l)}}{2}} b_{i,0}^{(l)} T_c \sum_{i=0}^{M-1} f_i + \sum_{i=0}^{M-1} I_i^{(l)} f_i + \sum_{i=0}^{M-1} n_i f_i \quad (3.7)$$

$$\hat{s}_i^{(l)} = \frac{2}{T} a_i^{(l)} \cos(\omega_c t + \phi_i^{(l)}) \sum_{q=-\infty}^{\infty} Z_{i,q}^{(l)} P_{T_1}(t - qT_1) \quad (3.8)$$

여기서, 식 (3.8)은 높은 데이터 율 l 번째 사용자의 재생된 신호로 송신신호에 재생된 정보신호

$\hat{b}_i^{(l)} = Z_i^{(l)} / |Z_i^{(l)}|$ 와 전력 $\hat{P}_i^{(l)} = 2(Z_i^{(l)} / T)^2$ 의 대입을 통해서 얻을 수 있다.

수신신호에서 K_1 명의 높은 데이터 율 사용자 신호들을 제거하면 식 (3.9)와 같다.

$$r^{(0)}(t) = r(t) - \sum_{k=1}^{K_1} \hat{s}_k^{(1)}(t - \tau_k^{(1)}) \\ = \sum_{k=1}^{K_0} s_k^{(0)}(t - \tau_k^{(0)}) \\ + \sum_{k=1}^{K_1} [s_k^{(1)}(t - \tau_k^{(1)}) - \hat{s}_k^{(1)}(t - \tau_k^{(1)})] + n(t) \quad (3.9)$$

식 (3.9)는 낮은 데이터 율 신호들과 제거되고 남은 높은 데이터 율 신호들과 잡음으로 구성된다.

식 (3.9)의 신호를 정합필터뱅크에 통과시키면 원하는 l 번째 낮은 데이터 율 사용자 신호의 비트 오류 확률은 식 (3.10)이 된다.

$$P_e^{(0)} = Q \left(\frac{\sqrt{\frac{P_k^{(0)} T_0^2}{2}}}{\sqrt{\text{var}[I_i^{(0)}] + \frac{\eta_0 T_0}{4}}} \right) \quad (3.10)$$

여기서 간섭신호의 분산은 식 (3.11)이다.

$$\text{var}[I_i^{(0)}] = \sum_{k \neq l}^{K_0} \frac{P_k^{(0)} \eta_0^2 T_c^3}{6 T_0} + \frac{L \eta_0^2 T_c^3}{6 T_0} \\ \left[\sum_{k=1}^{K_1} \left(\frac{P_k^{(1)} (N_1 - 2 \sum_{j=0}^{M-1} f_j)}{N_1} \right) \right. \\ \left. + \frac{P_k^{(1)} T_c^2 \left(\sum_{j=0}^{M-1} f_j \right)^2 + 4(N_1 - 1)}{T_1} \right] \quad (3.11)$$

IV. 수치해석 및 성능 분석

본 논문에서는 32Kbps의 낮은 데이터 율 사용자 와 256Kbps의 높은 데이터 율 사용자에 대해 3.84Mcps의 고정된 칩 율을 이용하여 확산 대역 폭은 5MHz로 하고, 낮은 데이터 율 사용자와 높은 데이터 율 사용자의 처리이득을 각각 15, 120으로 한다. 그러면, 낮은 데이터 율 사용자에 대한 높은 데이터 율 사용자의 처리이득 비율은 8이 된다.

그림 3은 32Kbps의 낮은 데이터 율 사용자 10명, 256Kbps의 높은 데이터 율 사용자 10명일 경우 AWGN채널에서 상용검파기, 정합 필터뱅크에 근거한 GHIC와 본 논문에서 제시한 GHICW의 성능을 신호대 잡음비(E_b/η_0 ;dB)에 따른 비트 오류 확률을 낮은 데이터 율 사용자에 대해 나타낸 그림이다. GHICW기법을 사용하면 성능은 상용검

과기보다 좋을 뿐만 아니라 GHIC 보다도 음성 신호의 기준 비트 오류 확률 10^{-3} 에서 약 1dB의 성능개선과 데이터 신호의 기준 비트 오류 확률 10^{-6} 에서는 2dB이상의 성능 개선이 이루어진다.

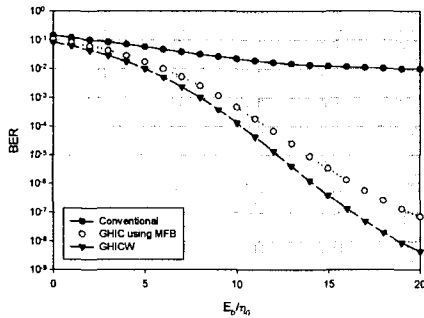


그림 3 AWGN 채널에서 E_b/η_0 변화에 대한 낮은 데이터 사용자의 비트오류 확률

Fig. 3 BER vs E_b/η_0 in AWGN channel

그림 4는 신호대 잡음비 10dB에서 32Kbps의 낮은 데이터 율 사용자를 10명으로 고정시키고 간섭 제거가 되는 256Kbps의 높은 데이터 율 사용자를 최대 50여명까지 증가시킬 경우에 AWGN채널에서 낮은 데이터 율 사용자에 대한 비트 오류 확률을 나타낸 그림이다. 상용접과기나 정합필터를 이용한 GHIC에 비해 본 논문에서 제시한 GHICW수신 기법이 고정된 비트오류확률에서 많은 사용자를 수용할 수 있다는 것을 보여준다.

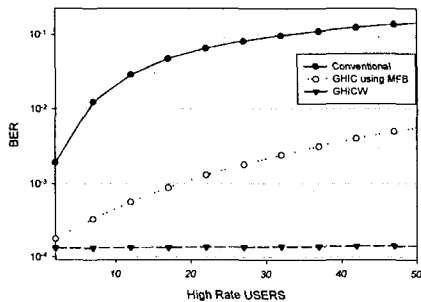


그림 4 AWGN 채널하에서 높은 데이터 율 사용자수에 대한 낮은 데이터 율 사용자의 비트오류확률

Fig. 4 BER vs the number of high rate users in AWGN channel

V. 결론

본 논문에서는 다중처리 이득 기법으로 다중 데이터 율을 지원하는 DS/CDMA 시스템에서 낮은 데이터 율 사용자에 대한 높은 데이터 율 사용자의 간섭 영향을 줄이기 위한 수신 기법으로 GHICW를 새롭게 제시하였고, 이를 이용하여 AWGN 채널에서 성능을 분석하였다. 제시한 수신 기법에서는 동일한 데이터 율 사용자를 하나의 그룹으로 묶어 처리함으로써 시스템 처리 시간 지연이 작아지고, 상대적으로 간섭량이 큰 높은 데이터 율 사용자의 신호를 워너 필터를 이용해 재생한 후 수신시 이 간섭의 양을 줄여 수신기의 성능이 향상된다.

참고문헌

- [1] Ramjee Prasad, Werner Mohr and Walter Konhauser, *Third Generation Mobile Communication System*, Artech House, 2000
- [2] N.R. Patel and T. O'Farrell, "Achieving MAI Cancellation In An Asynchronous DS/CDMA System by Optimum Single User Detection", *PIMRC'98*, Vol 2, pp. 900-904, 1998
- [3] Ann-Louise Johansson and Lars K. Rasmussen, "Linear Group-Wise Successive Interference Cancellation in CDMA", *Proc. IEEE 5th International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications*, Vol. 1, pp. 121-126, Sept. 1998
- [4] S. Sun, L. K. Rasmussen, H. Sugimoto and T. J. Lim, "A Hybrid Interference Cancellation in CDMA", *Proc. IEEE 5th International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications*, Vol. 1, pp. 150-154, Sept. 1998