

다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 적응다단병렬간섭제거수신기

다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 적응다단병렬간섭제거수신기

한 승 희, 이 재 홍

서울대학교 전기공학부

전화 : 02-880-7045 / 팩스 : 02-882-4657

Adaptive Multi-stage Parallel Interference Cancellation Receiver for a Multi-rate DS-CDMA System

Seung Hee Han, Jae Hong Lee

School of Electrical Engineering, Seoul National University

E-mail : shhan75@snu.ac.kr

Abstract

In this paper, adaptive multi-stage parallel interference cancellation (PIC) receiver is considered for a multi-rate DS-CDMA system. In each stage of the adaptive multi-stage PIC receiver, multiple access interference (MAI) estimates are obtained using the sub-bit estimates from the previous stage and the adaptive weights for the sub-bit estimates. The adaptive weights are obtained by minimizing the mean squared error between the received signal and its estimate through a least mean square (LMS) algorithm. It is shown that the adaptive multi-stage PIC receiver achieves smaller BER than the matched filter receiver, multi-stage PIC receiver, and multi-stage partial PIC receiver for the multi-rate DS-CDMA system in a Rayleigh fading channel.

I. 서론

차세대 이동통신 시스템의 특징은 음성을 비롯한 저속 데이터 서비스부터 동영상과 같은 고속 데이터 서비스에 이르기까지 다양한 멀티미디어 서비스를 하나의 전송 구조 하에서 유연하고 신뢰성있게 제공한다는 것이다. 전송률이 서로 다른 다양한 서비스들을 하나로 통합하여 제공하기 위해서는 다중전송률을 지원하는 다원접속기술이 요구되는데, 유력한 후보 기술의 하나로 직접시퀀스부호분할

다원접속(DS-CDMA)기술이 제안되었다. DS-CDMA에서 다중전송률을 지원하기 위한 기법의 하나인 다중처리이득기법에서는 고정된 대역폭내에서 전송률에 따라서 처리이득이 변화되어, 고속 데이터 서비스에는 작은 처리이득이 부여되고 저속 데이터 서비스에는 큰 처리이득이 부여된다 [1].

다중전송률 DS-CDMA시스템은 다중접속간섭, 원근효과, 상이한 전송률의 사용자간의 상이한 송신전력등에 의해 심각한 성능 열화가 일어날 수 있다. 이를 극복하기 위해서 다중사용자수신기들이 제안되었다 [2]-[3]. 이 중에서 비선형간섭제거수신기에 속하는 다단병렬간섭제거수신기는 기존의 정합필터수신기와 비교하였을 때 적당한 복잡도와 지연시간으로서 큰 성능 향상을 가져올 수 있다 [4] 그러나 다단병렬간섭제거수신기에서 사용자가 DS-CDMA 시스템의 확산이득에 근접하게 되면 단 수를 증가시켜도 성능의 향상을 얻지 못할 수 있다. 이를 극복하기 위해 매 단마다 부분간섭제거인자를 도입하여 간섭신호의 일부만을 제거하는 방법이 제안되었다 [5]. 이 방법의 발전된 형태인 적응다단병렬간섭제거수신기도 제안되었는데 이 수신기의 각 단에서는 다중접속간섭의 추정치가 전 단에서의 비트 추정치와, 비트에 대한 적응인자를 이용해서 만들어진다 [6]. 이 수신기는 DS-CDMA 시스템에 대해서 정합필터수신기, 다단병렬간섭제거수신기보다 우수한 성능을 보였다 [6].

본 논문에서는 다중처리이득기법이 적용된 다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 다중사용자수신기로서 적응다단병렬간섭제거수신기를 적용하고, 다른 비선형간섭제거

수신기들과 성능을 비교 분석한다. 다양한 전송률에 대한 수신기의 비트 오류를 레일레이 페이딩 환경하에서 모의 실험을 통해 구하고 비교 분석한다.

II. 시스템 모델

다중채리이득기법을 적용한 다중전송률 DS-CDMA 시스템을 고려한다. 사용자들은 전송률에 따라서 N 개의 그룹으로 구분된다. n 번째 그룹의 사용자수와 전송률, 그리고 비트주기를 각각 K_n , R_n , T_n 으로 표시한다. R_n 은 R_1 의 정수배로 $R_n = M_n R_1$ 으로 주어지며, 여기서 $1 = M_1 < M_2 < \dots < M_N$ 을 만족한다고 가정한다. 그룹 1 사용자의 1비트구간동안 그룹 n 사용자는 M_n 비트를 전송하고 각 비트의 주기는 $T_n = T_1/M_n$ 으로 주어진다. 모든 사용자의 칩주기를 T_c 라고 하면 그룹 n 사용자의 처리이득은 $L_n = T_n/T_c = L_1/M_n$ 이 된다. 그룹 n 의 k 번째 사용자의 기저대역 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$s_{k,n}(t) = P_n(t) \sum_m b_{k,n}[m] a_{k,n}(t - mT_n) \quad (1)$$

여기서 $P_n(t)$ 는 그룹 n 사용자의 신호 세기이고, $b_{k,n}[m] \in \{-1, 1\}$ 은 그룹 n 의 k 번째 사용자의 m 번째 비트를 나타내며, $a_{k,n}(t)$ 는 그룹 n 의 k 번째 사용자의 확산신호를 나타낸다. $a_{k,n}(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$a_{k,n}(t) = \sum_{l=0}^{L_n-1} a_{k,n}[l] p_{T_c}(t - lT_c) \quad (2)$$

여기서 $p_{T_c}(t)$ 는 $[0, T_c]$ 에서 1의 값을 가지고 나머지 구간에서는 0의 값을 가지는 구형파이고, $a_{k,n}[l] \in \{-1, 1\}$ 은 그룹 n 의 k 번째 사용자의 확산신호의 l 번째 칩을 나타낸다. 그룹 n 의 k 번째 사용자가 전송한 신호는 $\alpha_{k,n}(t)$ 의 이득을 가지는 페이딩 채널을 통해 수신기에 도달하게 되며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} x_{k,n}(t) &= \alpha_{k,n}(t) s_{k,n}(t - \tau_{k,n}) \\ &= A_{k,n}(t) \sum_m b_{k,n}[m] a_{k,n}(t - mT_n - \tau_{k,n}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 $\tau_{k,n}$ 과 $A_{k,n}(t) = \alpha_{k,n}(t) P_n(t - \tau_{k,n})$ 는 각각 그룹 n 의 k 번째 사용자의 지연시간과 수신신호세기를 나타낸다. 기저대역 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} x_{k,n}(t) + n(t) \\ &= \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} A_{k,n}(t) \sum_m b_{k,n}[m] a_{k,n}(t - mT_n - \tau_{k,n}) + n(t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $n(t)$ 는 전력스펙트럼밀도가 $N_0/2$ W/Hz인 AWGN이다. 그룹 n 의 k 번째 사용자의 정합필터수신기에서 m 번째 비트에 대한 출력값은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{b}_{k,n}[m] = \int_{mT_n + \tau_{k,n}}^{(m+1)T_n + \tau_{k,n}} r(t) a_{k,n}(t - mT_n - \tau_{k,n}) dt \quad (5)$$

그룹 n 의 k 번째 사용자의 m 번째 비트에 대한 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{b}_{k,n}[m] = \text{sgn}(\hat{b}_{k,n}[m]) \quad (6)$$

여기서 $\text{sgn}(\cdot)$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\text{sgn}(u) = \begin{cases} 1, & u \geq 0, \\ -1, & u < 0 \end{cases} \quad (7)$$

III. 적응다단병렬간섭제거수신기

본 논문에서는 다중채리이득기법이 적용된 다중전송률 DS-CDMA 시스템에 적응다단병렬간섭제거수신기를 확장하여 적용한다. 이를 위해 각 그룹에 속하는 사용자들의 비트를 그룹 N 사용자의 비트주기인 T_n 의 길이로 가지는 서브비트로 나누어 생각한다. 그림 1에 적응 S 단병렬간섭제거수신기의 s 번째단의 블록도를 나타내었다.

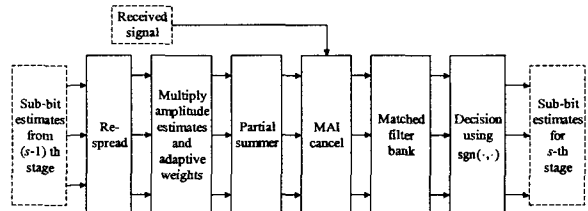


그림 1. 적응 S 단병렬간섭제거수신기의 s 번째단의 블록도

우산 정합필터뱅크를 사용해서 모든 사용자들에 대한 서브비트의 초기 추정치를 구하는 것으로 가정하고 이 단계를 0번째 단으로 부른다. 다단병렬간섭제거수신기는 0번째 단에서는 다음과 같이 i 번째 서브비트에 대한 정합필터의 출력값을 구한다.

$$\tilde{d}_{k,n}^{(i)}[i] = \int_{iT_n + \tau_{k,n}}^{(i+1)T_n + \tau_{k,n}} r(t) a_{k,n}(t - \left\lfloor i \frac{M_n}{M_N} \right\rfloor T_n - \tau_{k,n}) dt \quad (8)$$

여기서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 를 넘지 않는 최대의 정수를 나타낸다. 0번째 단에서 그룹 n 의 k 번째 사용자의 i 번째 서브비트에 대한 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{d}_{k,n}^{(0)}[i] = \text{sgn}(\tilde{d}_{k,n}^{(0)}[i]) \quad (9)$$

$(s-1)$ 번째 단으로부터 나온 그룹 n 의 k 번째 사용자에 대한 서브비트의 추정치가 주어져 있다면, 여기에 확산신호 $a_{k,n}(t)$ 를 곱하고, 신호세기의 추정치인 $\hat{A}_{k,n}(t)$ 와 서브비트에 대한 적응인자를 곱하여 s 번째 단에서의 그룹 n 의 k 번째 사용자에 대한 수신신호의 추정치를 얻어내게 된다. 이 수신신호의 추정치는 다음과 같이 주어진다.

다중전송률 DS-CDMA 시스템을 위한 적응다단병렬간섭제거수신기

$$\hat{x}_{k,n}^{(s)}(t) = \hat{A}_{k,n}(t) \sum_j \lambda_{k,n}^{(s-1)}[j] \hat{d}_{k,n}^{(s)}[j] a_{k,n}(t - \left\lfloor i \frac{M_n}{M_N} \right\rfloor T_n - \tau_{k,n}) \quad (10)$$

$$\times p_{T_n}(t - iT_n - \tau_{k,n})$$

여기서 $p_{T_n}(t)$ 는 $[0, T_N]$ 에서 1의 값을 가지고 나머지 구간에서는 0의 값을 가지는 구형파이고, $\lambda_{k,n}^{(s)}[i]$ 는 그룹 n 의 k 번째 사용자의 i 번째 서브비트에 대한 적응인자이다. 적응인자를 구하기 위해 수신신호를 칩율로 샘플링한다. 각 사용자의 지연시간이 칩구간의 정수배라고 가정하자. 즉 어떤 정수 $\xi_{k,n}$ 에 대해서 $\tau_{k,n} = \xi_{k,n} T_c$ 이다. 샘플링된 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$r[j] = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} A_{k,n}(jT_c) b_{k,n} \left[\left\lfloor (j - \xi_{k,n}) / L_n \right\rfloor \right] \quad (11)$$

$$\times a_{k,n} \left[(j - \xi_{k,n}) \bmod L_n \right] + n[j]$$

여기서 $n[j]$ 는 AWGN의 샘플이다. s 번째단에서 샘플링된 수신신호의 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{r}^{(s)}[j] = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K_n} \hat{A}_{k,n}(jT_c) \hat{d}_{k,n}^{(s-1)} \left[\left\lfloor (j - \xi_{k,n}) / L_n \right\rfloor \right] \quad (12)$$

$$\times a_{k,n} \left[(j - \xi_{k,n}) \bmod L_n \right]$$

수신신호와 수신신호추정치 사이의 평균제곱오차 $E[|r[j] - \hat{r}^{(s)}[j]|^2]$ 를 최소화하는 적응인자를 구하기 위해 정규최소평균제곱오차 알고리즘을 서브비트구간동안 칩 단위로 적용한다. s 번째 단에서 그룹 n 의 k 번째 사용자의 i 번째 서브비트에 대한 적응인자를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\lambda_{k,n}^{(s)}[l+1] = \lambda_{k,n}^{(s)}[l] + \frac{\mu^{(s)}}{\sum_{n=1}^N K_n} \hat{A}_{k,n}((lN + l - \xi_{k,n})T_c) \quad (13)$$

$$\times \hat{d}_{k,n}^{(s-1)}[i] a_{k,n}[l] e^{(s)}[iL_N + l - \xi_{k,n}], \quad l = 0, 1, \dots, L_n - 2$$

여기서 $\lambda_{k,n}^{(s)}[l][i]$ 은 l 번째 연산후의 적응인자값이고, $\lambda_{k,n}^{(s)}[i][0] = 1$ 로 주어지며, $e^{(s)}[j] = r[j] - \hat{r}^{(s)}[j]$ 는 수신신호와 수신신호추정치사이의 오차이고, $\mu^{(s)}$ 는 s 번째 단에 대한 스텝 크기이다. $\lambda_{k,n}^{(s)}[i][L_n - 1]$ 을 $\lambda_{k,n}^{(s)}[i]$ 의 값으로 사용한다

사용자마다 자기 수신신호의 추정치를 제외한 나머지 수신신호의 추정치들을 더해서 다중접속간섭의 추정치를 구한다. 각 사용자마다 각자의 다중접속간섭추정치를 수신신호에서 빼서 s 번째 단에서의 간섭이 제거된 수신신호를 얻게 된다. 다중접속간섭을 뺀 그룹 n 의 k 번째 사용자의 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$r_{k,n}^{(s)}(t) = r(t) - \sum_{(j,n) \neq (k,n)} \hat{x}_{j,n}^{(s)}(t) \quad (14)$$

s 번째 단에서 그룹 n 의 k 번째 사용자의 i 번째 서브비트에 대한 정합필터의 출력값은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{d}_{k,n}^{(s)}[i] = \int_{iT_N + \tau_{k,n}}^{(i+1)T_n + \tau_{k,n}} r_{k,n}^{(s)}(t) a_{k,n}(t - \left\lfloor i \frac{M_n}{M_N} \right\rfloor T_n - \tau_{k,n}) dt \quad (15)$$

그룹 n 의 k 번째 사용자의 i 번째 서브비트에 대한 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{d}_{k,n}^{(s)}[i] = \text{sgn}(\hat{d}_{k,n}^{(s)}[i]) \quad (16)$$

정리하면, 각 단에서는 이전 단에서 서브비트의 추정치를 받아 업데이트된 새로운 서브비트의 추정치를 만들어 내는 과정을 수행하게 된다.

마지막 S 번째 단에서는 한 비트에 해당하는 서브비트들에 대한 정합필터의 출력값들을 더해서 비트값의 추정치를 구한다. 그룹 n 의 k 번째 사용자의 m 번째 비트에 대한 추정치는 다음과 같이 구한다.

$$\hat{b}_{k,n}[m] = \text{sgn} \left(\sum_{i=m(M_n/M_k)}^{(m+1)(M_n/M_k)-1} \hat{d}_{k,n}^{(s)}[i] \right) \quad (17)$$

IV. 모의실험결과

세 종류의 전송률을 가지는 다중확산이득기법이 적용된 다중전송률 DS-CDMA 시스템을 고려한다. 사용자들을 전송률에 따라 고속(high rate: HR), 중속(medium rate: MR), 저속(low rate: LR)으로 나눈다. 변조방식은 BPSK가 사용되었고, 각 사용자에게는 길이 31인 골드코드가 할당되었으며, 골드코드는 고속, 중속, 저속 사용자의 한 비트구간동안 각각 1번, 4번, 16번 반복해서 사용된다. 각 사용자의 채널은 독립된 주파수 비선택성 레일리 페이딩을 겪는 것으로 가정한다. 칩 동기는 이루어져 있으며 각 사용자의 지연시간은 칩 주기의 정수배라고 가정한다. 수신기는 모든 사용자의 확산신호를 알고 있으며 슬로우 페이딩과 경로손실은 보상되어 있는 것으로 생각한다. 각 사용자의 채널이득은 정합필터의 출력값으로부터 추정하였다. 고속, 중속, 저속 사용자가 각각 2명, 4명, 8명 존재하는 것으로 가정한다.

그림 2는 레일리 페이딩 환경하에서 적응2단병렬간섭 제거수신기(Adap, 2s)와 적응3단병렬간섭제거수신기(Adap, 3s)의 성능을 보이고 있다. 비교를 위해 정합필터수신기(MF)와 2단병렬간섭제거수신기(Conv, 2s), 3단병렬간섭제거수신기(Conv, 3s), 2단부분병렬간섭제거수신기(Part, 2s), 3단부분병렬간섭제거수신기(Part, 3s)의 성능도 같이 보였다.

그림 2의 a)는 저속 사용자에 대한 성능 그래프이다. 모든 간섭제거수신기들이 정합필터수신기에 비해 큰 성능향상을 보인다. 2단부분병렬간섭제거수신기는 2단병렬간섭제거수신기와 거의 비슷한 성능을 보이고, 적응2단병렬간섭제거수신기는 위의 두 수신기보다 더 낮은 비트 오류를 달성한다. 적응2단병렬간섭제거수신기는 3단병렬간섭제거수신기보다도 낮은 비트 오류를 달성하며, 3단부분병렬간섭제거수신기와 비슷한 성능을 나타낸다. 적응3단병렬간

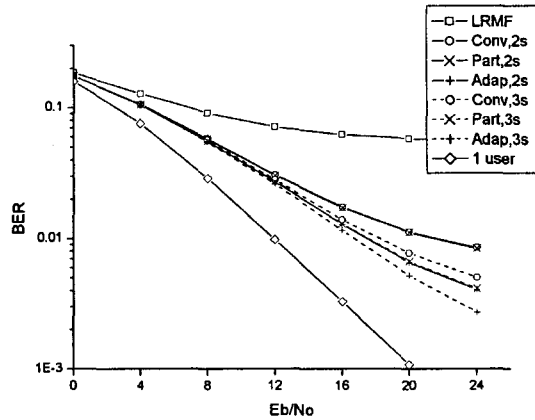
섭제거수신기는 고려된 모든 수신기중에서 가장 낮은 비트 오류율을 달성한다. 그림 2의 b)는 중속 사용자에 대한 성능 그래프이다. 성능의 경향이 저속 사용자의 경우와 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 2의 c)에서는 고속 사용자에 대한 성능을 보이고 있다. 역시 저속, 중속 사용자의 경우와 비슷한 경향을 볼 수 있다. 그림 2의 a), b), c)를 종합해 보면 모든 그룹의 사용자들에 대해서 적응2단병렬간섭제거수신기가 다른 3단수신기와 비슷한 성능을 보여주었고, 적응3단병렬간섭제거수신기가 가장 좋은 성능을 나타내었다.

V. 결론

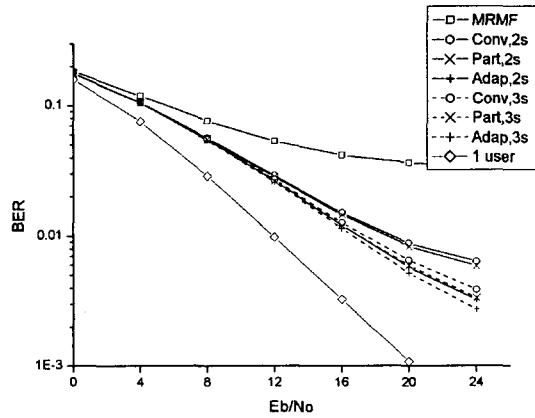
본 논문에서는 적응다단병렬간섭제거수신기를 다중확산이득기법이 적용된 다중전송률 DS-CDMA 시스템에 확장하여 적용하였다. 다양한 전송률에 대한 적응다단병렬간섭제거수신기와 다른 비선형간섭제거수신기의 비트 오류율을 레일레이 페이딩 채널에서 모의 실험을 통해 비교 분석하였다. 모의 실험 결과 적응다단병렬간섭제거수신기가 정합필터수신기에 비해 큰 성능 향상을 나타내었으며, 다른 비선형간섭제거수신기에 비해 개선된 성능을 나타내었다.

참고문헌

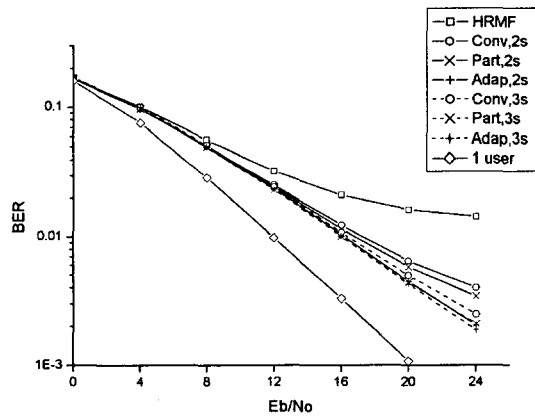
- [1] T. Ottosson and A. Svensson, "On schemes for multirate support in DS-CDMA systems," *Wireless Personal Communications*, vol. 6, no. 3, pp. 265-287, Mar. 1998.
- [2] M. Saquib, R. Yates, and N. Mandayam, "Decorrelating detectors for a dual rate synchronous DS/CDMA system," *Proc. of the IEEE VTC '96*, pp. 377-381, Atlanta, GA, U.S.A., Apr. 28-May 1, 1996.
- [3] C. S. Witjning, T. Ojanpera, M. K. Juntti, K. Kansanen, and R. Prasad, "Groupwise serial multiuser detectors for multirate DS-CDMA," *Proc. of the IEEE VTC '99*, pp. 836-840, Houston, TX, U.S.A., May 17-21, 1999.
- [4] M. K. Varanasi and B. Aazhang, "Multistage detection in asynchronous code-division multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 4, pp. 509-519, Apr. 1990.
- [5] D. Divsalar and M. K. Simon, "Improved CDMA performance using parallel interference cancellation," *Proc. of the IEEE MILCOM '94*, pp. 911-917, Fort Monmouth, NJ, U.S.A., Oct. 2-5, 1994.
- [6] G. Xue, J. Weng, T. Le-Ngoc, and S. Tahar, "Adaptive multistage parallel interference cancellation for CDMA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 47, no. 10, pp. 1815-1827, Oct. 1999.



(a) 저속 사용자



(b) 중속 사용자



(c) 고속 사용자

그림 2. 레일레이 페이딩 환경에서 적응다단병렬간섭제거수신기의 성능