

# MC-DS/CDMA 시스템을 위한 다중 사용자 검출에 관한 연구

우대호\*, 조남현\*, 장병건\*\*, 윤태성\*\*\*, 변윤식\*

\* 인천대학교 전자공학과, \*\* 인천대학교 전기공학과, \*\*\* 창원대학교 전기공학과

## A Study on Multiuser Detector for MC-DS/CDMA System

Dae-Ho Woo\*, Nam-Hyun Cho\*, Byung-Kun Chang\*\*, Tae-Sung Yoon\*\*\*, Youn-Shik Byun\*

\* Dept. of Electronic Eng., University of Incheon, \*\* Dept. of Electrical Eng., University of Incheon

\*\* Dept. of Electrical Eng., Changwon University

E-mail : dhwoo@incheon.ac.kr

byun@incheon.ac.kr

### Abstract

다중 반송파를 사용하는 직접 확산 코드 분할 다중 접속 방식에서는 다중 사용자들에 의해서 시스템의 성능에 영향을 미치는 문제인 다중 사용자 간섭이 발생된다. 이 문제를 해결하기 위해서 사용된 기법이 다중 사용자 검출이다. 기존 방안으로 부공간 최소 평균 제곱 에러 다중 사용자 검출기가 존재한다. 이 검출기는 정확한 타이밍과 채널에 대한 정보가 필요하다. 이에 이 점을 극복하기 위해서 부공간 MMSE 구조에 적응 구조를 더하여 검출 능력을 향상 시키고자 하였다. 모의 실험 결과 제안된 검출기가 기존 검출기 보다 BER  $10^{-3}$  기준에서 약 0.5[dB]의 신호대 잡음 이득을 얻을 수 있음을 나타내고 있다. 따라서 제안된 검출기가 기존 검출기보다 더 나은 성능을 지니고 있음을 알 수 있다.

### I. 도입

최근 이동 통신은 이미 2 세대 통신에서 기술을 인정받은 CDMA 기술을 바탕으로한 기술을 진보 발전 시키

본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터 지원에 의한 것입니다.

는 3세대의 실제적인 서비스를 앞두고 있는 시점이다. 현재 고속의 데이터를 전송하기 위해서는 HDR이라는 기술을 접목한 형태가 상용화되고 있는 실정이다. 그러나 더 많은 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 효율적인 통신 방식이 요구되어진다. 요구되어진 사항으로는 많은 사용자들을 동시에 수용할 수 있고, 동시에 고속 데이터를 다중 사용자에게 전송을 하여야 한다. 이 목적에 준하는 방식이 직교 주파수 다중 분할과 CDMA가 결합된 방식에서 해결 할 수 가 있다. OFDM과 CDMA가 결합된 다양한 형태가 존재한다. 본 연구에서는 Kondo와 Milstein에 의해서 연구되어진 다중 반송파 직접 확산 코드 분할 다중 접속 (MC-DS/CDMA) 방식에 대하여 논의 하고자 한다. MC-DS/CDMA 시스템은 여러 개의 반송파를 지니고 있으므로 시스템의 전체 대역폭은 여러개의 등가 대역폭으로 분리 되어진다. 그런 후에 각 반송 주파수는 칩 주기를 가진 확산 수열에 의해 변조되어진다. 다중 반송파 시스템은 더욱 적은 칩율이 요구되어진다. 다중 반송파 시스템은 느린 속도와 병렬 신호 처리가 요구되어진다. 단일 반송파 시스템은 이와 반대로 빠른 직렬 신호처리가 필요로 한다. 다중 반송파 시스템은 저 전력 소모 장치에 아주 유용한 방식이라 할 수 있다. DS-SS 시스템에서는 다중 접속 간섭이 선형 상관 수신기의 성능을 저하는 시키는 중요한 요인으로 동작

한다. 기지국에서 발생하는 다중 접속 간섭 문제를 원근 효과라고도 한다. 다중 반송파 직접 확산 코드 분할 다중 접속 방식에서는 발생하는 다중 접속 간섭 문제를 해결 하기 위해서 Xu와 Milstein은 최소 평균 제곱 수신기를 제안 하였다. 이 수신기는 각 반송파의 모든 경로를 위한 부분 상관기를 제공한다. 각 상관기들의 출력들은 처리 이득보다 훨씬 적은 탭 수를 가진 MMSE 필터에 의해서 적응적으로 결합되어진다. MC-DS/CDMA는 페이딩과 다양한 간섭 효과를 줄일 수 있는 효율적인 방식이다. 이에 본 연구에서는 MC-DS/CDMA 시스템에서 발생하는 MAI를 억제하기 위하여 부공간 MMSE 다중 사용자 검출기를 더욱 확장하여 적응 부분을 더하여 그 성능을 증가시키고자 하였다<sup>[1][2]</sup>.

## II. MC-DS/CDMA 시스템 모델

MC-DS/CDMA 시스템의 모델을 나타내고자 한다<sup>[3]</sup>. 이 시스템에서 실제적인  $K$ 명의 사용자가 존재한다고 가정을 하자. 그리고 각 사용자는 같은  $M$  반송파를 사용한다.  $k$ 번째 사용자는 데이터 심볼  $b^{(k)}$  스트림을 발생한다. 데이터 심볼은 각각에 대하여 독립적인 랜덤 변수이다. 즉 평균이 0 이고 분산은 1 이다.  $k$  번째 사용자에게 전송된 신호는 다음 식(1)과 같이 주어진다.

$$\text{Re}\left\{ \sum_{m=1}^M \sqrt{2P_k} \{ b_i^{(k)} a_{k,m}(t-iT) \} e^{jw_m t} \right\} \quad (1)$$

여기서  $a_{k,m}(t) = \sum_{l=0}^{N-1} a_l^{(k,m)} \psi(t-lT_c)$  는  $k$ 번째 사용자의  $m$ 번째 반송파의 확산 파형이다.  $T_c$ 는 순환적인 칩들 사이의 간격이다. 식(1)에 나타나 있듯이  $N$ 은 심볼당 칩수이다.  $P_k$ 는  $k$ 번째 사용자 신호의 각 반송파의 전력을 의미한다.  $w_m$ 은  $m$ 번째 반송파의 주파수이다. 여기에서 칩파형  $\psi(t)$ 가 대역 제한이 되었다고 가정을 한다. 그리고 반송파 주파수들은 서로 인접 주파수와 간섭이 없이 분리되어져 있다. 채널을 통과한 후에 수신된 신호는 다음 식(2)와 같이 표현되어진다.

$$r(t) = \sum_{m=1}^M \sqrt{2P_k} \alpha_{k,m} \times \{ b_i^{(k)} a_{k,m}(t-iT-T_k) \} e^{jw_m t} + n(t) \quad (2)$$

여기서  $\alpha_{k,m}$  은  $k$ 번째 사용자의  $m$ 번째 반송파에 대한 위상 이동과 페이딩에 대한 전체 효과를 고려한

것이다.  $T_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 지연을 나타낸다. 그리고  $n(t)$ 는 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 채널 계수  $\alpha_{k,m}$  과  $T_k$ 가 매우 느린 것으로 가정하고자 한다. 아무런 정보 손실이 없다면, 첫 번째 사용자를 검출하고자 하는 사용자로 간주하고 나머지 사용자들을 간섭 사용자 성분으로 고려 하고자 한다. 그림 1에 나타나 있듯이 각 수신기에  $M$  노드가 존재한다. 각 노드는 복조기와 칩 정합 필터로 구성되어 있다. 그리고 반송파도 복조되어진다. 각 노드에서 칩 정합 필터의 출력은 매  $T_c$ 로 샘플링 되어진다.  $2T$  시간 동안 칩 정합 필터의 출력을 관찰하여 보면 원하는 사용자의 심볼을 거의 복원하는 것을 볼 수 가 있다. 우선 첫 번째 사용자의 0번째 심볼의 검출에 초점을 맞추어 보고자 한다.  $m$ 번째 노드에서,  $jT_c$  시간에서 정합 필터의 출력은 식(3)과 같이 주어진다.

$$r_m[j] = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) \psi^*(t-jT_c) e^{-jw_m t} dt \quad (3)$$

$m$ 번째 노드에서 출력 샘플  $r_m[j]$ 는 서로 다른 성분으로 분해되어진다.

$$r_m[j] = \sum_{k=0}^K i_{k,m}[j] + n_m[j] \quad (4)$$

여기서  $n_m[j]$ 는 부가 백색 가우시안에 의해 생긴 성분이다. 그리고  $i_{k,m}[j]$ 는  $k$ 번째 사용자에게 의한 성분이다.

$$i_{k,m}[j] = \sqrt{2P_k} \alpha_{k,m} \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{l=0}^{N-1} \times b_i^{(k)} a_l^{(k,m)} \hat{\psi}((j-l-iN)T_c - T_k) \quad (5)$$

$k$ 번째 사용자에게 의한 성분이다. 식(5)에서  $\hat{\psi}(\cdot)$ 은 정합 필터 출력을 통한 칩 파형의 출력이다. 즉

$\hat{\psi}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(s) \psi^*(s-t) ds$  이다. 칩 동기가 이루어졌을 때 원하는 신호에 대하여 칩간 간섭을 피하기 위하여, 칩 파형은 나이퀴스트 조건을 만족하여야 한다. 즉  $n=0$ 일 때,  $\hat{\psi}(nT_c) = T_c$  이고  $n \neq 0$  일 때,  $\hat{\psi}(nT_c) = 0$  이다.  $2N$  차원 벡터에 의해서 관찰된 신호를 벡터화 시키면 다음과 같다.

$$\mathbf{r}_m = [r_{m[0]}, r_{m[1]}, \dots, r_{m[2N-1]}]^T \quad (6)$$

$$\mathbf{n}_m = [n_{m[0]}, n_{m[1]}, \dots, n_{m[2N-1]}]^T \quad (7)$$

$$\mathbf{i}_{k,m} = [i_{k,m}[0], i_{k,m}[1], \dots, i_{k,m}[2N-1]]^T \quad (8)$$

여기서  $m=1, 2, \dots, M$  그리고  $k=1, 2, \dots, K$ 이다.

$M$  반송파부터  $2MN$  차원 관찰 벡터까지 살펴보기로 한다. 위의 식(4)를 식(9)처럼 다시 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r} = \sum_{k=1}^K \mathbf{i}_k + \mathbf{n} \quad (9)$$

여기서  $\mathbf{n}$ 은 평균이 0 이고 공분산이  $\sigma^2 \mathbf{I}_{2MN}$  인 가우시안 랜덤 벡터이다. 관찰된 벡터는 타이밍 동기화 및 채널 등화가 완벽하게 이루어진 경우 사용하였다.

### III. MMSE 검출기

우선 다음 식(10)과 같은 대각행렬을 고려하자. 수신된 벡터  $\mathbf{r}$ 을 좀더 편리한 방법으로 표현하기 위함이다.

$$\mathbf{D}_k = \text{diag}(d_{k,1}, \dots, d_{k,1}, \dots, d_{k,M}, \dots, d_{k,M}) \quad (10)$$

여기서  $d_{k,m} = \sqrt{2P_k} \alpha_{k,m}$ 은  $k$ 번째 사용자의  $m$ 번째 반송파에 대한 전력, 위상 이동, 페이딩을 의미한다. 그리고 또한 확산 신호에 대한 좌·우 쉬프트에 대한 표현을 나타내기 위하여 다음 식과 같은 표기법을 사용하고 한다.

$$v_{i,k,m} = \sum_{l=0}^{2N-1} \hat{\psi}((l - iN - \gamma_k)T_c - \tau_k) \mathbf{T}_{R^l} \mathbf{a}_{k,m} \\ \times \sum_{l=1}^{N-1} \hat{\psi}(-l - iN - \gamma_k)T_c - \tau_k) \mathbf{T}_{L^l} \mathbf{a}_{k,m} \quad (12)$$

모든 사용자에 대하여  $M$  벡터에 대하여 식(12)를 생각해 보자. 그러면  $2MN$  벡터 차원에 해당하는  $\mathbf{v}_{i,k}$ 를 구할 수 있다.

$$\mathbf{v}_{i,k} = [v_{i,k,1}^T, v_{i,k,2}^T, \dots, v_{i,k,M}^T]^T \quad (13)$$

위에 정의된 표기식을 바탕으로 하여 식(9)를 다음 식(14)에 나타내고자 한다.

$$\mathbf{r} = \sum_{k=1}^K \mathbf{D}_k \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i^{(k)} \mathbf{v}_{i,k} + \mathbf{n} \quad (14)$$

수신기의 성능을 구하기 위해서는 무한개의 정보를 가지고는 수행할 수 없다. 이에 유한개에 해당되는 형태로서 식(14)를 (15)와 같이 근사화 시킬 수 있다.

$$\mathbf{r} = \sum_{k=1}^K \mathbf{D}_k \sum_{i=-L}^L b_i^{(k)} \mathbf{v}_{i,k} + \mathbf{n} \quad (15)$$

식(15)에서 형태를 간단히 표현하기 위하여 다음 식(16)과 같이 나타내고자 한다. 이것은 등가적인 동기 모델의 개념과도 같다.

$$\mathbf{r} = \sum_{k=1}^P b_k \mathbf{p}_k + \mathbf{n} \quad (16)$$

이 모델에서  $b_1$ 은 원하는 심볼  $b_0^{(1)}$ 과  $\mathbf{p}_1 = \mathbf{D}_1 \mathbf{v}_{0,1}$ 에 해당된다. 다른 벡터 성분들은 다중 접속 간섭과 심벌 간 간섭에 해당 된다. 다중 사용자를 검출하기 위해서는 우선 상관 행렬을 구하여야 한다. 이는 부공간을 근거한 채널 추정 기법과 검출기법에 근거한 것이다. 상관 행렬은 식(17)과 같다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{E}[\mathbf{r}\mathbf{r}^H] = \mathbf{S}\mathbf{S}^H + \sigma^2 \mathbf{I}_{2MN} \quad (17)$$

여기서  $\mathbf{S} = [\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_p]$ 이다. 상관 행렬  $\mathbf{R}$ 은 다음 식(18)과 같이 분해 되어진다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{U}\mathbf{A}\mathbf{U}^H = [\mathbf{U}_s \mathbf{U}_n] \begin{bmatrix} \Lambda_s & \\ & \Lambda_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{U}_s^H \\ \mathbf{U}_n^H \end{bmatrix} \quad (18)$$

여기서  $\mathbf{U} = [\mathbf{U}_s \mathbf{U}_n]$ ,  $\Lambda = \text{diag}(\Lambda_s, \Lambda_n)$

$\Lambda_s = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ , 그리고  $\Lambda_n = \sigma^2 \mathbf{I}_{2NM-p}$ 이다. 행렬  $\mathbf{S}$ 의 열에 해당되는 부분이 우리가 원하는 신호에 해당된다. 따라서 쉽게 우리가 원하는 역상관행렬을 구할 수 있다.

$$\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{U}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{U}^H = \mathbf{U}_s \Lambda_s^{-1} \mathbf{U}_s^{H+U} \Lambda_n^{-1} \mathbf{U}_n^H \quad (19)$$

원하는 사용자의 영번째 심볼을 검출하기 위해서는 다음과 같은 최적의 해를 구해서 얻을 수 있다.

$$\mathbf{w}^* = \arg \min_{\mathbf{w}} \mathbf{E}[|b_0^{(1)} - \mathbf{w}^H \mathbf{r}|^2] \quad (20)$$

위의 식으로부터 최적의 해는  $\mathbf{w}^* = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}_1$ 이다. 따라서 (19)식으로부터 해를 얻을 수 있다.

$$\mathbf{w}^* = \mathbf{U}_s \Lambda_s^{-1} \mathbf{U}_s^H \mathbf{p}_1 \quad (21)$$

### IV. 제안된 Adaptive MMSE 검출기

본 논문에서는 기존에 제안된 부공간 MMSE 검출기를 더 확장하여 채널이나 새로운 사용자나 다른 그룹에 속하는 사용자들의 간섭으로 발생하는 문제등에 대처하기 위한 방안으로 적응 처리 부분을 도입하고자 한다. 크게 검출기는 두가지 형태로 동작을 한다. 다중 사용자 신호를 검출하는 부분과 또는 타이밍이나 채널 등이나 간섭에 영향으로 신호를 복원하는 적응 부분으로 나뉘어져 있다. 수신된 신호로부터 반송파를 복조하는 부분

을 지나서 검출기에 도달된 신호는 식(16)과 같은 형태로 나타내어진다. 식(16)에 신호는 두 수신기에 동시에 입력으로 들어간다. 입력 성분을 살펴 보면 일차적으로 부공간 부분에서는 MMSE 검출기가 동작을 한다. 부공간 다중 사용자 검출기는 식(21)과 같은 형태로 동작을 한다. 부공간 다중 사용자 검출기를 통과하게 되면은 원하는 사용자에 대한 심볼을 얻을 수 있을 것이다.

그리고 다시 경판정을 통하여  $\pm 1$  BPSK 정보 신호를 적용 검출기의 검출하고자 하는 정보 신호로 사용한다. 수신된 신호로부터 적용 검출기의 출력은 다음 식(22)와 같다.

$$y_{ad} = \mathbf{w}_{adaptive}^H \mathbf{r} \quad (22)$$

여기서  $H$ 는 복소 전치를 의미한다. 식(22)의 가중치 벡터를 적용 시키기 위해서 다음 식(23)과 같은 평균 제곱 형태를 사용하는 비유함수를 사용하고자 한다.

$$J_{\cos function} = E[|b_k - \mathbf{w}_{adaptive}^* \mathbf{r}|^2] \quad (23)$$

식(23)에서  $\mathbf{w}_{adaptive}$ 를 갱신하기 위해서는 통계 경사 강하 방법을 통하여 적용 계수 갱신식을 얻을 수 있다.

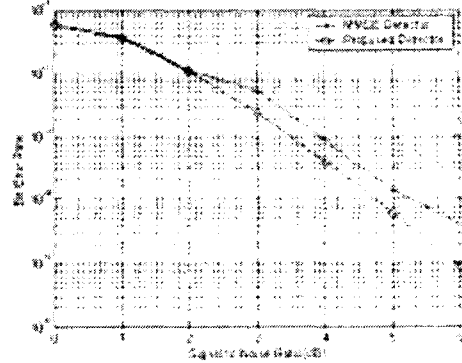
$$\mathbf{w}_{adaptive,k}(n+1) = \mathbf{w}_{adaptive,k}(n) - \mu \hat{\Delta}_{\mathbf{w}_{adaptive,k}} J_{\cos function} \quad (24)$$

여기서  $\mu$ 는 적용 상수이다.  $\hat{\Delta}_{\mathbf{w}_{adaptive,k}} J_{\cos function}$ 은 계수 벡터  $\mathbf{w}_{adaptive,k}(n)$ 에 대한 경사도의 순시 추정치를 나타낸다. 최종식은 다음과 같다.

$$\mathbf{w}_{adaptive,k}(n+1) = \mathbf{w}_{adaptive,k}(n) - \mu 4e_k \mathbf{r} \quad (25)$$

## V. 모의 실험 및 결과 고찰

이번 장에서는 제안된 다중 사용자 검출기의 성능을 분석하기 위하여 Monte Carlo 시뮬레이션 방법을 도입하여 실행하고자 한다. 여기에서 사용된 확산 파형은 바 이너리이고 랜덤하게 발생시켰다. 채널 계수는 평균이 0 이고 분산 1인 가우시안 분포에 의하여 발생되어졌다. 즉 Rayleigh fading 채널로 가정하여 사용하였다. 총 사용자는  $K=4$ ,  $M=4$ ,  $N=8$  이다. 아래 결과 그림 1은 신호대 잡음비를 변화 시켜 가면서 비트 오류를 측정 한 것이다. 그림 1에 나타나 있듯이 기존 검출기인 MMSE 검출기 보다 제안된 검출기가 BER을  $10^{-3}$ 으로 고정된 경우에 약 0.5[dB] 정도의 신호대 잡음비의 이득을 얻을 수 있음을 나타내고 있다.



## VI. 결론

다중 반송파를 사용하는 MC-DS/CDMA 시스템에서 발생하는 다중 사용자 간섭과 심벌간 간섭이 발생한다. 이는 시스템 성능을 상당히 저하시키는 요인으로 동작을 한다. 본 연구에서는 다중 접속으로 발생하는 간섭 문제를 효과적으로 억제하기 위한 방안으로 기존에 연구 되어진 방식의 구조를 더 개선하여 급격한 채널의 변화나 나쁜 상황하에서도 좋은 검출 능력을 지니는 다중 사용자 검출기를 제안하고자 하였다. 모의 실험 결과를 통하여 기존 검출기 보다 제안된 검출기가 더 나은 전력 이득을 지니고 있음을 알 수 있다. 또한 더 나아가서는 다중 반송파 구조에서 발생하는 칩 간 간섭 문제 등에 대하여 더 많은 연구가 이루어져야 겠다.

## 참고 문헌

- [1] S.Kondo, L.B.Milstein, "On the performacne of Multicarrier DS CDMA Systems", IEEE Trans. on Commum., Vol.44, No.2 , pp.238-46, Feb. 1996.
- [2] W.Xu, .B.Milstein, "On the performacne of Multicarrier Rake Systems", Proc. of Globecom 97, Vol.1, pp.259-299, Nov. 1997.
- [3] J. Namgoong, T.F Wong, "Subspace Multiuser Detection for Multicarrier DS-CDMA", IEEE Trans. on Commum., Vol.48, No.11 , pp.1897-1908, Nov. 2000.
- [4] D. H. Woo, T. S. Yoon and Y. S. Byun, A Study on Blind Adaptive Receiver for DS-CDMA Systems, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E83-A, No.6, June 2000.