

동기식 DS-CDMA에서 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자 검파기의 성능평가

준회원 김우성, 정회원곽경섭

Performance Analysis of Blind Adaptive Orthogonal-Decision-Feedback Multiuser Detector in Synchronous DS-CDMA

Woo-sung Kim Associate Member, Kung-sup Kwak Regular Member

요약

CDMA 시스템에 있어서 다중접속간섭(MAI ; Multiple Access Interference)은 시스템 성능과 사용자 용량을 저하시킨다. 최근 다중접속간섭을 제거하는 기법 중에 하나인 부귀환 다중사용자검파기(feedback detector)로 부귀환 직교 다중사용자검파기(ODFD ; Orthogonal decision-feedback detector)와 부귀환 역상관 다중사용자검파기(DDFD ; decorrelating decision-feedback detector)가 연구되어 왔다. 본 논문에서는 부귀환 직교 다중사용자검파기와 블라인드 등화기를 결합한 블라인드 적응형 다중사용자 검파기를 제안하였다. 부가 백색화 가우시안 잡음(AWGN ; additive white gaussian noise) 채널 환경과 레일리(Rayleigh) 페이딩 채널 환경에서 시뮬레이션을 수행하였으며, 본 논문에서 제안한 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기(BA-ODFD)와 블라인드 적응형 부귀환 역상관 검파기(BA-DDFD)을 비교하였다.

ABSTRACT

In the CDMA system, the Multiple access interference(MAI) causes system performance and capacity degradation. One of the MAI cancel method is a feedback detector that orthogonal decision-feedback detector(ODFD) and Deocorrelating decision-feedback detector(DDFD) have been studied by now. In this paper, we propose a blind adaptive ODFD(BA-ODFD) with blind equalizer combined ODFD. Also we simulate the operation of BA-ODFD in AWGN channel and Rayleigh fading channel. and compare blind adaptive ODFD with blind adaptive DDFD.

I. 서론

보편적인 CDMA 시스템에서 상관 수신기는 원근 문제로 적절한 전력제어가 필요하다. 다중사용자 검파기는 CDMA 시스템에서 원근문제를 완화시켜준다.^{[1][2]} 최적 다중사용자 검출기의 알고리즘은 복잡도가 지수함수적으로 증가하기 때문에 구현이 어렵다.^[3] 따라서 준최적 다중사용자 검출 방식 중에서 선형 검출방식인 역상관 검파기(DD ; decorrelating

detector)가 제안되었다.^[4] 이 수신기는 간단하면서 일반적인 상관 수신기보다 향상된 성능을 보여준다. 그러나 이 알고리즘은 역상관 과정에서 잡음 성분이 증가되므로 선형 다중 사용자 검파기(linear multiuser detector)인 최소평균 제곱 오류 (MMSE ; minimum mean square error), 비선형 다중 사용자 검출기(Non-linear multiuser detector)인 병렬 간섭제거기(PIC ; parallel interference canceller), 직렬간섭제거기(SIC ; successive interference canceller), 부귀환 역상관 다중검파기, 부귀환 직교 다

중사용자검파기등을 사용하여 다중접속간섭을 줄인다.^[5] 부귀환은 다중사용자 간섭을 제거 할 뿐만 아니라 최적 검출기와 가까운 성능을 얻을 수 있다.^[4] 또한, 블라인드 적응형 다중사용자 검파기를 이용하여 학습신호 없이 신호의 판정이 가능하도록 하였다.^[6] 부귀환 역상관다중검파기와 부귀환 직교 다중사용자검파기의 성능은 비슷하나, 계산의 양이 부귀환 직교 다중사용자검파기의 경우가 적기 때문에 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기를 제안하였다.^[7]

본 논문은 DS-CDMA 시스템의 다중접속간섭 제거 기법으로 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기(BA-DDFD)와 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기 방식을 비교하고, 부가 백색화 가우시안 잡음 채널과 레일리 페이딩 채널 환경에서 모의실험을 수행하였다.

II. 시스템 모델

1. 시스템의 수신신호

본 논문에서는 부가 백색화 가우시안 잡음을 기본으로 하여 K 명의 사용자가 있는 동기식 DS CDMA를 고려한다. 동기식 CDMA 방식이므로 단일구간의 수신신호만을 분석한다. 단일사용자 정합 필터 검파기의 수신신호를 수식 모델화 하면 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sqrt{w_k} b_k s_k(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

여기에서, $r(t)$ 는 단일사용자 정합필터 검파기에 들어오는 수신신호이고 $s_k(t)$ 는 신호의 파형, $\sqrt{w_k}$ 는 각 사용자 신호의 에너지, $b_k(t) \in (-1, +1)$ 는 각 사용자의 데이터를 각각 나타내고, $n(t)$ 는 가우시안 잡음이다.

2. 역상관 다중사용자 검파기

역상관 다중 사용자 검파기의 가장 큰 장점은 각 사용자 데이터를 검출할 때, 다른 사용자 신호들의 크기에 영향을 받지 않는다는 점이다. [4] 이러한 점에서 역상관 다중사용자 검출기가 단일사용자 정합필터 검파기보다 향상된 성능을 가진다. 그러나 검파단에서 모든 사용자의 코드와 타이밍을 알아야 하므로, 단일사용자 정합필터 검파기보다 많은 채널 정보를 요구한다. 또한, 역상관 과정에서 다중접속 간섭은 제거하며 원근문제를 해결하는데 탁월하지만

동시에 신호 대 잡음성분도 커지므로, 간섭을 일으키는 다른 사용자 신호의 크기가 작을 경우, 단일사용자 정합 필터 검출기보다 성능이 떨어진다는 단점이 있다. 이러한 역상관 다중 사용자 검출기는 초기에 Cholesky 과정을 통해 $R = F^T F$ 를 구한다. 여기서 F 는 하단 삼각행렬(lower triangular matrix)이다. 식 (1)을 행렬로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$r = RWb + n \quad (2)$$

양변에 R^{-1} 을 취하면 식 (3)과 같다.

$$R^{-1}r = Ab + R^{-1}n \quad (3)$$

r 은 $K \times 1$ 수신신호 벡터, R 은 각 사용자 신호들의 상관도를 나타내는 $K \times K$ 상관행렬, W 는 대각행에 $\sqrt{w_k}$ ($k=1, 2, \dots, K$)이 있는 대각행렬 벡터, b 는 각 사용자의 $K \times 1$ 비트 행렬, n 은 $R(n) = \sigma^2 R$ 의 자기 상관 행렬을 가지는 $K \times 1$ 가우시안 잡음 벡터 $n = (n_1 n_2 \dots n_{K-1} n_K)^T$ 이다. 식 (3)에서 잡음 벡터 $R^{-1}n$ 는 $R(n) = \sigma^2 R^{-1}$ 인 자기상관 행렬을 가진다. 그리고 $R < R^{-1}$ 의 관계에 의해 역상관 다중 사용자 검출기에서 단일사용자 정합 필터 검파기보다 잡음성분이 증가함을 볼 수 있다.

3. 부귀환 역상관 다중사용자 검파기

Duel-Hallen이 제안한 부귀환 역상관 다중사용자 검출기는 그림 1 과 같이 두 가지로 구성되어 있다.^[4] 역상관기(decorrelating unit)와 부귀환기(decision feedback unit)로 정방향 역상관 과정 및 잡음 백색화 과정, 부귀환 필터들을 사용하여 다중접속간섭을 효과적으로 제거한다. 사용자는 수신출력이 감소하는 순서대로 정렬하면 부귀환 역상관 다중사용자 검파기는 다중접속간섭을 더욱 제거가 효과적으로 된다. 수신신호가 백색화 필터인 $(F^T)^{-1}$ 을 거친 후의 결과 식은 아래와 같이 표현 가능하다.

$$y = (F^T)^{-1}r = FWb + z \quad (4)$$

z 는 $(F^T)^{-1}n$ 이며 $R(n) = \sigma^2 I$ 인 백색 가우시안 잡음벡터이다.

부귀환 필터, $F \cdot \text{diag}\{F\}$ 에 식 (4)를 대입하여 부귀환 시키면 다음과 같이 전개가 된다.

$$\hat{y} = (F^T)^{-1}r - (F - \text{diag}\{F\})W\hat{b} \quad (5)$$

백색화 필터인 $(\mathbf{F}^T)^{-1}$ 을 거친 식 (2)은 아래 식과 같이 전개된다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11}W_1b_1 \\ F_{21}W_1b_1 & F_{22}W_2b_2 \\ \vdots \\ F_{K1}W_1b_1 & F_{K3}W_3b_3 & \dots & F_{KK}W_Kb_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_k \end{bmatrix} \quad (6)$$

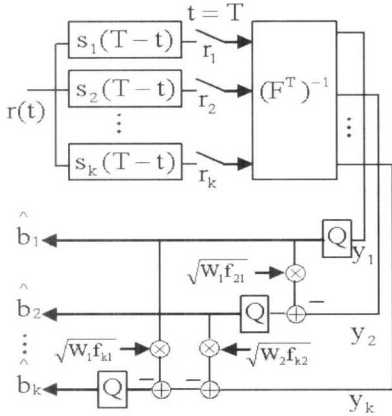


그림 1. 부귀환 역상관 다중사용자 검파기

4. 부귀환 직교 다중사용자 검파기

부귀환 직교 다중사용자 검파기는 부귀환 역상관 다중사용자검파기보다 계산 양이 적고, 행렬 알고리즘의 복잡도의 경우는 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 지수적으로 증가하지만 부귀환 직교 다중사용자검파기는 선형적으로 증가하여, 비슷한 성능이면서 계산 양을 줄일 수 있다. [7] 부귀환 역상관 다중사용자 검파기에서는 백색화를 Cholesky 과정을 통해 이용했지만 부귀환 직교 다중사용자 검파기의 경우는 Gram-Schmidt 직교화 과정을 통하여 직교(orthonormal)한 수식을 얻는다. 즉, QR 과정으로 상관행렬(correlation matrix)을 구한다. 상관행렬은 \mathbf{R} 이고 QR 과정을 구하면 아래와 같다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{Q}\mathbf{U} \quad (7)$$

위의 식에서 \mathbf{Q} 는 직교행렬(orthogonal matrix), \mathbf{U} 는 상단삼각행렬(upper triangular matrix)이다.

그림 2 과 같이 QR과정에 의한 \mathbf{Q}^H 를 구하여 입력신호에 대입하면 다음과 같다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{Q}^H \mathbf{r} = \mathbf{U}\mathbf{w} + \underbrace{\mathbf{Q}^H \mathbf{n}}_{\mathbf{n}} \quad (8)$$

위의 식에서 $\bar{\mathbf{n}}$ 는 평균이 영인 가우시안이고 분산 행렬이 $\mathbf{Q}^H \mathbf{R} \mathbf{Q}$ 와 같다. 따라서 \mathbf{y} 의 잡음성분은 무시 할 수 있다.

이를 이용하여 결정된 데이터는 다음과 같다.

$$\hat{b}_k = \begin{cases} \text{sgn}(y_k) & k=K \\ \text{sgn}(y_k - \sum_{n=k+1}^K u_{k,n} \sqrt{W_n} \hat{b}_n) & k \neq K \end{cases} \quad (9)$$

부귀환 직교 다중사용자검파기에서는 잡음성분을 제거하여 다중접속간섭을 줄일 수 있다. 그러나 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 부귀환(decision feedback) 백색 잡음화로 인하여 잡음성분이 어느 정도 이상에서는 떨어지지 않게 된다.

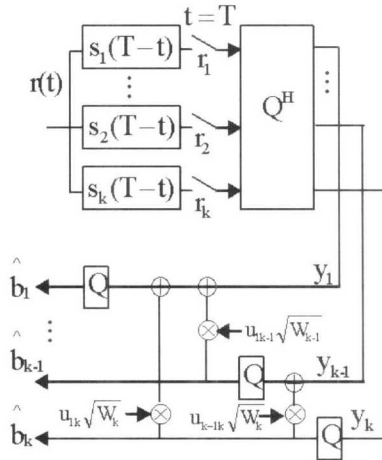


그림 2. 부귀환 직교 다중사용자 검파기

5. K명 사용자에서 부귀환 역상관 다중사용자검파

기과 부귀환 직교 다중사용자검파기의 복잡도 부귀환 직교 다중사용자검파기는 부가적인 변환 행렬이 없기 때문에 부귀환 역상관 다중사용자검파기보다 간단하다. 또한 승산(multiplication)의 경우 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 정합필터에서 부호의 값이 +1, -1로만 나오기 때문에 부호의 역연산에 의해 -1의 승산이 구현되므로 따로 승산이 필요 없다. 그러나 부귀환 직교 다중사용자검파기의 경우는 정합필터에서 직교한 함수가 나오기 때문에 실수 값이 나와 승산이 필요하다. 이런 부귀환 직교 다중사용자검파기는 단지 정합필터에서만 연산이 일어난다. 가산(addition)의 경우는 부귀환 역상관 다중사용자검파기나 부귀환 직교 다중사용자검파기 모두 다 각각의 정합필터에 모두 필요로 한다. 표 1에

부귀환 역상관 다중사용자검파기와 부귀환 직교 다중사용자검파기 사이에 복잡도를 비교하였으며 만약 사용자수가 8명인 경우 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 92번의 승산이 필요하고 부귀환 직교 다중사용자검파기의 경우는 64번의 연산이 수행된다. 사용자의 수가 증가할 경우에는 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 부귀환 직교 다중사용자검파기보다 많은 승산이 필요하게 된다.

표 1. K명사용자에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 부귀환 직교 다중사용자검파기의 복잡도 비교

	부귀환 역상관 다중사용자검파기	부귀환 직교 다중사용자검파기
승산 회수	$\frac{K(3K-1)}{2}$	K^2
가산 회수	K^2	$\frac{K(3K-1)}{2}$
역행렬 계산	유	무
행렬 알고리즘의 복잡도	지수적	선형적
행렬의 재계산	유	무
최적시스템과 성능비교	근사	근사
원근문제 해결	거의 완벽	거의 완벽

6. 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자 검파기

앞에서 언급한 부귀환 역상관 다중사용자검파기에서 그림 3와 같이 블라인드 적응형 알고리즘을 적용한다.^[6] 신호의 세기가 작아지는 순서대로 신호를 정렬하면 첫번째 사용자는 가장 큰 신호를 가지

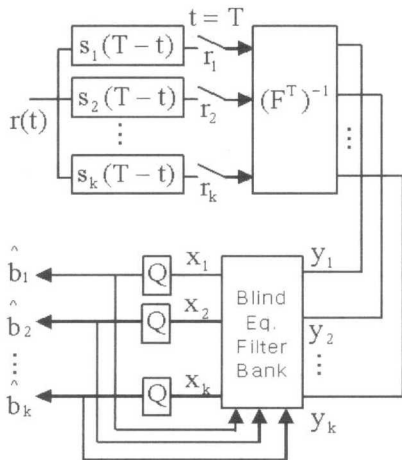


그림 3. 블라인드 적응형 부귀환 역상관

고 마지막 사용자 신호는 가장 작게된다.

따라서 첫번째 사용자는 Cholesky 과정에 의해 다중접속간섭이 제거되어진다. 따라서 다음과 같이 데이터가 판정된다.

$$\hat{b}_1(i) = \text{sgn}(x_1(i)) = \text{sgn}(y_1(i)) \quad (10)$$

두번째 사용자는 첫번째 사용자에서 구해진 데이터는 블라인드 등화기로 부귀환시켜 데이터를 구한다.

$$x_2(i) = c_{21} \hat{b}_1(i) + c_{22} y_2(i) \quad (11)$$

식 (11)에 연산된 데이터로 원하는 사용자의 데이터를 판정한다.

$$\hat{b}_2(i) = \text{sgn}(x_2(i)) \quad (12)$$

이와 같이 반복적으로 블라인드 등화기로 부귀환시켜 데이터를 구하면 아래와 같이 된다.

$$x_k(i) = c_{k1} \hat{b}_1(i) + c_{k2} \hat{b}_2(i) + \dots + c_{kk}(i) y_k(i) \quad (13)$$

$$= \mathbf{C}_k^T(i) \hat{\mathbf{Y}}_k(i), \quad k=2,3,\dots,K$$

여기서 $\hat{\mathbf{Y}}_k(i)$ 일반화하면 다음과 같이 전개된다.

$$\hat{\mathbf{Y}}_k(i) = (\hat{b}_1(i) \hat{b}_2(i) \dots \hat{b}_{k-1}(i) y_k(i))^T \quad (14)$$

또한 K번째 사용자의 데이터를 결정하면,

$$\hat{b}_k = \text{sgn}(x_k(i)), \quad k=1,2,\dots,K \quad (15)$$

채널적용 위한 블라인드 등화기 알고리즘식은 다음과 같다.

$$\mathbf{C}_k(i+1) = \mathbf{C}_k(i) - \mu \frac{\partial J(x_k(i))}{\partial \mathbf{C}_k(i)} \quad (16)$$

$$k=1,2,\dots,K$$

μ 는 스텝 크기이다. 이고 $J(x_k(i))$ 는 식 (17)과 같은 기대값을 가진다.

$$J(x_k(i)) = \frac{1}{4} E[(x_k^2(i) - 1)^2] \quad (17)$$

$$k=1,2,\dots,K$$

식 (17)을 식 (16)에 대입하여 전개하면 다음과 같은 블라인드 적응형 알고리즘 식이 나온다.

$$C_k(i+1) = C_k(i) - \mu \widehat{Y}_k(i) x_k(i) (x_k^2(i) - 1) \quad (18)$$

$k=1, 2, \dots, K$

III. 제안된 모델

1. 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자 검파기 위에 언급한 부귀환 직교 다중사용자검파기에서 그림 4와 같이 블라인드 적응형 알고리즘을 적용한다. 블라인드 검파기는 적응 검파기와는 달리 학습 신호를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다. 그리고 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자 검파기와 다른점은 신호의 세기가 커지는 순서대로 놓여지기 때문에 마지막 사용자가 가장 세기가 큰 신호이며 다중접속간섭이 존재하지 않기 때문에 직접 데이터를 판정하여 K번째 사용자가 원하는 데이터를 식 (19)과 같이 얻을 수 있다.

$$\widehat{b}_k(i) = \text{sgn}(x_k(i)) = \text{sgn}(y_k(i)) \quad (19)$$

K-1번째 사용자는 식 (19)과 같이 K번째 사용자 데이터가 귀환하여 식 (20)에 대입한다.

$$x_{K-1}(i) = c_{K-1K} y_K(i) + c_{KK} \widehat{b}_K(i) \quad (20)$$

식(20)을 이용하여 K-1번째 사용자의 원하는 신호가 식 (21)와 같이 판정된다.

$$\widehat{b}_{K-1}(i) = \text{sgn}(x_{K-1}(i)) \quad (21)$$

이런 방법대로 첫번째 사용자까지 반복하면 아래와 같이 $x_k(i)$ 가 결정된다.

$$x_k(i) = c_{k1} y_1(i) + \dots + c_{k,k-1}(i) \widehat{b}_{k-1}(i) + c_{kk}(i) \widehat{b}_k(i) = C_k^T(i) \widehat{Y}_k(i), \quad k=2, 3, \dots, K \quad (22)$$

일반화된 $\widehat{Y}_k(i)$ 는 식 (23)과 같이 전개된다.

$$\widehat{Y}_k(i) = (y_1(i) \widehat{b}_2(i) \dots \widehat{b}_{k-1}(i) \widehat{b}_k(i))^T \quad (23)$$

블라인드 적응 검파기를 거친 식 (22)의 K사용자가 원하는 신호는 아래와 같이 판정된다.

$$\widehat{b}_k = \text{sgn}(x_k(i)), \quad k=1, 2, \dots, K \quad (24)$$

복잡도는 기존의 K명 사용자에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 부귀환 직교 다중사용자검파기

와 비슷하되 단, 블라인드 등화기에 의한 복잡도가 공통으로 추가되므로 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자 검파기가 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자 검파기에 비해 상대적으로 복잡도가 작다.

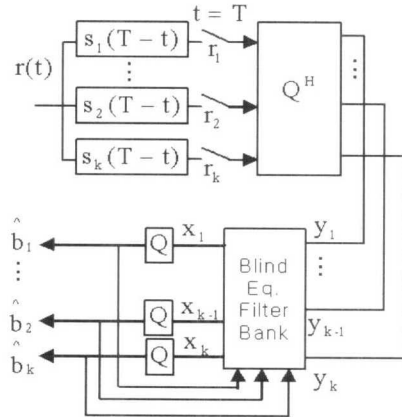


그림 4. 블라인드 적응형 부귀환 직교 검파기

IV. 모의 실험

모의 실험에서는 동기식 DS-CDMA 시스템에서 블라인드 적응형 기법을 이용하여 초기 학습신호 없이 다중접속간섭을 제거하는 기법으로 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기를 부가 백색화 잡음 채널에서 모의실험을 수행하였다. 완벽한 전력제어를 가정하였으며, 4명의 다중사용자를 고려하였고 이득이 3인 Gold코드를 사용하였다.

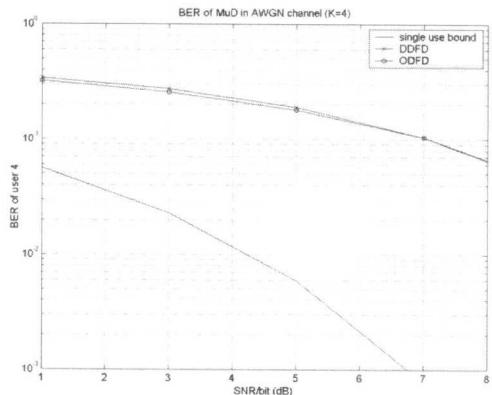


그림 5. 부가 백색화 잡음 채널환경에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 부귀환 직교 다중사용자검파기의 오율비교 (K=4)

그림 5는 부가 백색화 잡음 채널환경에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 부귀환 직교 다중사용자검파기를 비교하였다. 모든 신호 대 잡음비에서 부귀환 직교 다중사용자검파기와 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 성능의 차이는 없다.

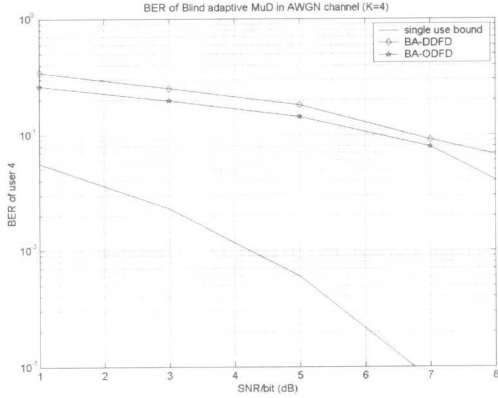


그림 6. 부가 백색화 잡음 채널환경에서 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기의 오율비교 (K=4)

그림 6는 부가 백색화 잡음 채널환경에서 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 부귀환 직교 다중사용자검파기를 비교하였다. 전 구간에서 약 1dB정도 성능 향상이 있고, 7dB에서는 약 0.5dB 성능이 향상되었다.

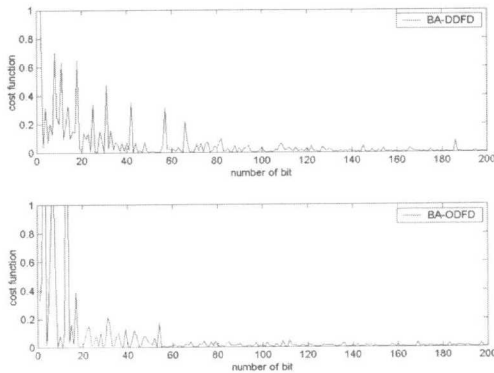


그림 7. 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기의 수렴도 비교 (K=4, SNR=5dB)

그림 7은 수렴특성을 비교하였고, 시간평균 비용함수를 사용하였다. 시간평균 비용함수 \bar{J} 는 다음식과 같다.

$$\bar{J} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_k^2(i) \quad (25)$$

또한 스텝의 크기 (μ)는 10^{-6} , 신호 대 잡음비는 5dB를 사용하였다. 수렴 특성의 모의 실험 비교에서 신호의 세기가 가장 작아 다중접속간섭을 가장 많이 받는 사용자를 대상으로 수렴 성능을 비교 분석하였다. 비용함수를 0.2 기준으로 하면 수렴은 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 67회에서 수렴하였고 부귀환 직교 다중사용자검파기의 경우는 54회에서 수렴되어 약 13회 정도 앞서 부귀환 직교 다중사용자검파기는 수렴되었다.

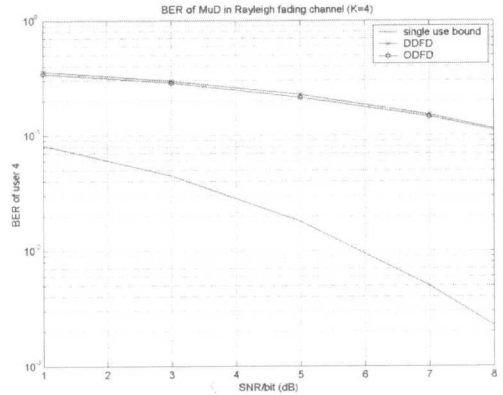


그림 8. 레일리 페이딩 채널환경에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 부귀환 직교 다중사용자검파기의 오율비교 (K=4)

그림 8은 레일리 페이딩 채널환경에서 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 부귀환 직교 다중사용자검파기를 비교하였다. 레일리 페이딩 채널환경에서는 부가 백색화 잡음 채널보다 성능은 감소하였지만 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 부귀환 직교 다중사용자검파기는 같은 성능을 나타내고 있다.

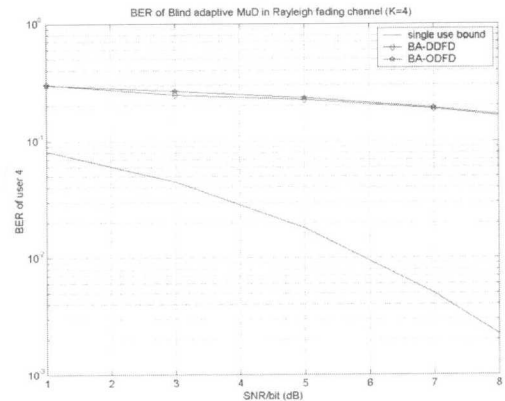


그림 9. 레일리 페이딩 채널환경에서 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 블라인드 적응형 직교 다중사용자검파기의 오율비교 (K=4)

그림 9는 레일리 페이딩 채널환경에서 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기, 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기를 비교하였다. 1~8dB에서 두 시스템이 성능의 차이는 없다.

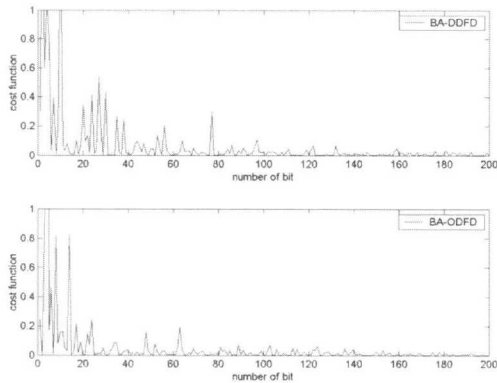


그림 10. 레일리 페이딩 채널환경에서 수렴도 비교 (K=4, SNR=5dB)

그림 10은 레일리 페이딩 채널환경에서 수렴성을 비교하였다. 비용함수 0.2를 기준하면 페이딩 환경에서도 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기는 79회에서 수렴을 보였고 부귀환 직교 다중사용자검파기는 63회에서 수렴을 보였으며 약 16정도 부귀환 직교 다중사용자검파기가 앞서는 것을 볼 수 있다.

그림 11은 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기의 복잡도를 승산의 회수로 비교하였다. 사용자의 수는 1~40명까지 증가시켜보았다. 부귀환 직교 다중사용자검파기의 승산 회수 현저하게 차이가 난다.

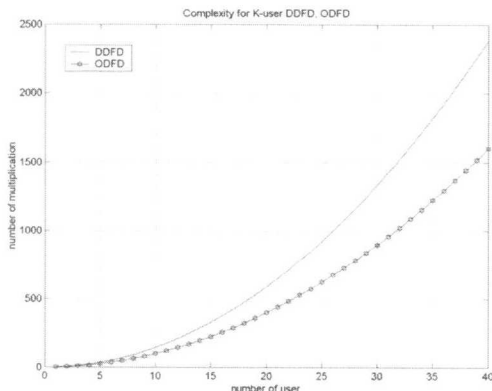


그림 11. 부귀환 직교 다중사용자검파기, 부귀환 역상관 다중사용자검파기 곱하기연산의 회수

V. 결론

본 논문에서는 부가 백색화 잡음 채널환경에서 동기식 DS-CDMA 시스템의 용량 증대를 위한 다중접속간섭제거 기법과 학습신호 없이 채널을 적응하는 블라인드 등화기를 연구하였다.

제안된 다중사용자검파기는 블라인드 등화기로 채널을 예측하고 부귀환 직교 다중사용자검파기 방식으로 각 사용자의 값을 부귀환 시키면서 추정하는 방식인 블라인드 적응형 다중사용자 검파기를 제안하고 성능을 비교한 결과 약 1dB 우수함을 확인하였다. 부가 백색화 잡음 채널 환경과 레일리 페이딩 채널 환경에서 모의 실험을 통해 성능을 분석하였고 수렴치를 확인하였다. 수렴도는 시간평균 비용함수를 이용하여 블라인드 적응형 부귀환 역상관 다중사용자검파기와 블라인드 적응형 부귀환 직교 다중사용자검파기를 비교 분석하였다.

동일한 환경에서 유사한 성능을 나타내면서 복잡도나 계산면에서는 부귀환 역상관 다중사용자검파기 보다 간단한 부귀환 직교 다중사용자검파기가 유리함을 그림 5~11에서 확인하였다.

단, 초기에 역상관 과정을 위한 Cholesky방식이 직교화 과정을 위한 Gram-Schmidt 보다 연산이 간단하다는 단점이 있으나 전체적인 시스템의 성능에서는 직교 다중사용자검파기가 전체적으로 1dB 향상과 수렴 속도의 유리함을 확인할 수 있었다.

향후에는 비동기 DS-CDMA를 이용하여 비동기 환경에서도 부귀환 직교 다중사용자검파기와 부귀환 역상관 다중사용자검파기의 성능을 비교 할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Verdu. "Minimum probability of error for asynchronous gaussian multiple-access channels," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol IT-32, No. 1, pp.85~96, January 1986.
- [2] R. Lups and S. Verdu. "Linear multiuser detectors for synchronous code-division multiple-access channels," *IEEE Trans. on Inform. Theory*, Vol. IT-34, pp.123~136, January 1989.
- [3] S. Verdu, "Multiuser detection," Cambridge Univ. Press 1998.

[4] Alexandra Duel-Hallen, "Decorrelation Decision Feedback Multiuser Detector for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channel", *IEEE Tran. Commun.* Vol. 41, No. 2, pp. 285~290, February 1993.

[5] Dimitris Koulakiotis, A. Hamid Aghvami, "Data Detection Techniques for DS/CDMA Mobile System", *IEEE Personal Commun.* pp.24~34, June 2000

[6] Michael Hoing, Upamanyu Madhow and Sergio Verdu, "Blind Adaptive Multiuser detection", *IEEE Tran. on Inform. Theory*, Vol. 41, No. 4, July 1995.

[7] X.H.Chen and H.K.Sim, "Novel synchronous CDMA multiuser detection scheme: orthogonal decision feedback detection and its performance study", *IEEE Proc.-Commun.* Vol. 144, No. 4, pp.275~280, August 1997

1990년 3월~2000년 2월 : 인하대학교 전자공학과 교수

2000년 2월~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 원장 <주관심 분야> 위성 및 이동통신, 멀티미디어 통신

김 우 성(Woo-sung Kim)

준회원



2000년 2월 :인하대학교 전자공학과 학사

2002년 2월 :인하대학교 정보통신대학원 정보 통신공학과 석사

<주관심 분야> 다중사용자검파기, 다중 접속방식

곽 경 섭(Kyung-sup Kwak)

정회원



1977년 2월 : 인하대학교 전기공학과 학사

1979년 2월 : 인하대학교 전기공학과 석사

1981년 12월 : 미 Univ. of So. Calif. 전자공학 석사

1988년 2월 : 미 Univ. of Calf. 통신 이론 및 시스템 박사

1988년 2월~1989년 2월 : 미 Hughes Network Systems 연구원

1989년 3월~1990년 3월 : 미 IBM Network Analysis Center 연구원

1990년 1월~현재 : 본학회 총무이사