

멀티 레이트 CDMA 환경에서의 홉필드 신경망 알고리즘을 이용한 다중 사용자 검출기법

정희원 주양익*, 김용석*, 고한석*, 차균현*

Multiuser Detection Using Hopfield Neural Network Algorithm in Multi-rate CDMA Communications

Yang-Ick Joo*, Yongsuk Kim*, Hanseok Ko* and Kyun Hyon Tchah* *Regular members*

요약

본 논문에서는 멀티 레이트 부호분할 다중접속(Code Division Multiple Access: CDMA) 방식에서의 효과적인 다중 사용자 검출 기술을 제안한다. 최적 다중 사용자 검출 기술이 최적의 비트 오류 확률(Bit Error Rate: BER) 성능을 보이긴 하지만, 실제 구현을 위해서는 계산상의 복잡도 측면에서의 문제가 있다. 따라서, 본 논문에서는 멀티 레이트 CDMA 환경에서 비교적 낮은 계산상의 복잡도를 갖는 준최적의 다중 사용자 검출기 구조를 제안하며, 기존의 정합필터(matched filter)와 멀티 레이트 환경에서 제안된 다른 다중 사용자 검출기와의 성능 비교를 수행한다. 레일리 페이딩 환경에서의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 홉필드(Hopfield) 신경망(neural network) 알고리즘을 이용한 다중 사용자 검출기법의 성능이 우수함을 검증한다.

ABSTRACT

In this paper, we consider efficient multiuser receiver structures using Hopfield neural network algorithm focused to construct a synchronous multi-rate code division multiple access (CDMA) system. Although the optimum receiver for multiuser detection can be realized attaining the best BER performance, it is too complex for practical implementation. Therefore, we propose near-optimal receivers of relatively low computationally complex multiuser detection structures for realizing multi-rate CDMA system and their performances are compared with conventional matched filter and other prominent multi-rate multiuser detectors. Computer simulations show that the Hopfield neural network based multiuser receiver achieves substantially better BER performance in Rayleigh fading environments.

1. 서론

CDMA 방식은 동일한 채널을 공유하는 여러 사용자가 정보를 주파수 효율적인 방식으로 전송하는 기술로서 개발되었다. 이 주파수 효율성은 안티재밍(antijamming) 및 다른 여러 특성과 더불어 많은 통신 시스템에서의 전송기술에서 CDMA가 유용한 전송기술로 각광 받도록 하여 왔다. 하지만, CDMA 기술은 여러 가지 제한 사항을 안고 있으며, 이 중

에서도 사용자 간의 간섭으로 인한 원근문제(near-far problem)가 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 기존의 정합필터는 간섭 사용자의 상대적인 전력이 증가함에 따라 큰 성능 저하를 가져오므로 이를 극복하기 위한 보다 효율적인 수신기의 필요성이 대두되고 있다.

기존의 직접확산(Direct Sequence) CDMA (DS/CDMA) 시스템의 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 다중 사용자 검출기술이 제안되어왔다. 정합필터와는 달리 다중 사용자 수신기는 간섭 신호를 원하

*고려대학교 대학원 전자공학과(yiju@korea.ac.kr)
논문번호: 010242-0908, 접수일자: 2001년 9월 8일

는 사용자의 신호를 복구하는 데에 이용하게 된다. Verdú [1]에 의해 제안된 최대 우도(maximum likelihood) 수신기의 구조를 이용한 최적 다중 사용자 검출 알고리즘은 비록 비트 오류 확률을 최소화 하긴 하지만 사용자 수에 따라 지수적으로 증가하는 복잡도와 수신 신호 에너지 레벨에 대한 정보가 필요하다는 단점이 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 비교적 복잡도가 낮은 준최적의 성능을 갖는 수신기의 구조가 제안되었다. 참고문헌 [2]에서는 정합필터뱅크 출력의 선형변환에 근거한 선형 다중 사용자 검출 기술을 제안하였으며, [3], [4]에서는 다중 사용자들 간의 간섭을 제거하는 구조를 제안하였다. 한편 Miyajima [5]는 단일 레이트 CDMA 환경에서 홉필드 신경망 알고리즘을 이용한 간단한 구조의 다중 사용자 검출기법을 제안하였다.

무선 시스템이 발전함에 따라 음성, 데이터, 영상 등의 다양한 멀티 레이트 데이터 소스에 대한 무선 전송이 요구된다. 이러한 멀티 레이트 데이터에 대한 DS/CDMA 시스템의 전송방안은 여러 가지가 제안되었으며, 이 중에서 가변확산이득(Variable Spreading Gain: VSG) 방식은 3세대 이동통신 시스템인 WCDMA와 cdma2000에서 지원되고 있다.

이러한 멀티미디어 전송 서비스를 위한 멀티 레이트 CDMA 시스템에서 다중 사용자 검출방식을 지원하기 위한 여러 가지 알고리즘이 최근에 연구되고 있다. 참고문헌 [6]에서는 멀티 레이트 지원을 위한 멀티 코드(multi-code)와 다중 변조(multiple modulation) 방식에서의 선형(linear) 순차 간섭 제거기(successive interference canceller)가 연구되었으며, VSG 방식을 적용한 멀티 레이트 시스템에서 간섭 제거기의 구조가 [7]에서 제안되었고, [8]에서는 이중 레이트(dual-rate) 역상관기의 구조가 분석되었다.

본 논문에서는 시간동기가 이루어진 경우(synchronous)에서의 멀티 레이트 CDMA 환경에서 홉필드 신경망 알고리즘을 적용한 다중 사용자 검출 방식을 제안하였다. 신경망 알고리즘은 크게 포워드(forward) 방식과 반복적(recurrent) 신경망 방식으로 분류된다. 최근 [9]에서 포워드 신경망 알고리즘을 이용한 다중 계층(multi-layer) 구조의 다중 사용자 검출 시스템이 제안되었다. 하지만, 다중 계층 구조의 신경망 알고리즘을 사용하게 되면 사용자 수의 증가에 따라 은닉층(hidden layer)에서 요구되는 노드의 수가 지수적으로 증가하며, 약속된 훈련 시퀀스(training sequence)와 가중치(weight) 갱신을 관찰

하기위한(supervising) 메모리가 필요하며, 훈련 과정(training period)에서 최적의 결정 경계(decision boundary)를 결정하는 가중치의 갱신을 위해 2^K 의 계산량이 요구된다. 이에 반해, 홉필드 신경망 알고리즘과 같은 반복적 구조의 알고리즘은 에너지 함수가 갖는 단조감소의 특성으로 인해 반복과 갱신을 통해 자연적으로 최소값으로 수렴되므로, 관찰되지 않는(unsupervised) 구조를 가질 수 있고, 가중치 행렬(weight matrix)를 만드는 데에 단지 $K(K+1)/2$ 의 계산량이 요구된다. 게다가 새로운 사용자가 추가될 경우 다중 계층 구조의 신경망 알고리즘을 적용할 경우 추가적인 2^K 의 계산량이 필요하지만, 반복구조의 신경망 알고리즘은 단지 $(K+1)$ 의 추가적인 연산이 요구된다. 이러한 계산상의 복잡도는 멀티 레이트 CDMA 환경에서 더욱 증가하게 된다. 또한 반복구조의 신경망 알고리즘에서 요구되는 대칭적인 가중치 행렬이 확산 코드 간의 상관행렬(correlation matrix)을 통해 쉽게 구현될 수 있으므로 홉필드 신경망 알고리즘이 쉽게 단일 레이트(single-rate) 및 멀티 레이트의 다중 사용자 수신기에 적용될 수 있다. 시간 동기가 맞춰진 경우, 단일 레이트 CDMA 시스템에서 홉필드 신경망 알고리즘을 적용한 다중 사용자 수신기의 성능은 최적 수신기에 가까운 성능을 보인다 [5]. 따라서, 본 논문에서는 다양한 무선 멀티미디어 서비스를 위해, 이 시스템을 멀티 레이트 CDMA 환경으로 확장시켜 준 최적의 성능을 갖는 다중 사용자 수신기를 제안하며, 레일리 페이딩 환경에서 그 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 홉필드 신경망 알고리즘의 다중 사용자 검출기법에의 적용 방안을 설명하고, 3장에서는 제안된 시스템 모델에 대해 기술하며, 4장에서 시뮬레이션 결과를 분석하여 성능을 검증하고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 홉필드 신경망 알고리즘을 이용한 다중 사용자 검출기법

본 장에서는 홉필드 신경망 알고리즘에 대한 개략적인 설명과 함께 알고리즘의 다중 사용자 검출기법에의 적용방안, 그리고 최적 다중 사용자 검출기법과의 관계에 대해 논한다.

2.1 홉필드 신경망 알고리즘

그림 1은 홉필드 신경망의 구조를 나타낸다. 일반

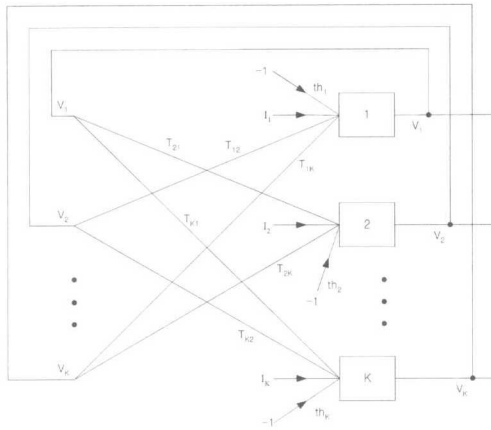


그림 1. 홉필드 신경망 구조

적으로 0의 문턱값(th_i)을 갖는 K 개의 뉴런(neuron)으로 구성되며, 각 i 번째 유닛, 즉 뉴런에 대한 피드백 입력은 다른 유닛의 출력 V_j (이 때, $j = 1, 2, \dots, K$ 이고 $i \neq j$)의 가중치가 부여된 합(weighted sum)으로 이루어진다. 뉴런 j 에서 뉴런 i 로의 연결 강도(가중치) T_{ij} 는 출력 요소들 간의 상관값을 의미한다 [11]. 일반적으로 이 상관값에 대한 행렬 \mathbf{T} 가 하삼각 행렬(lower triangular matrix)이라면, 다중 계층 구조의 신경망 알고리즘이 적용되고, 대칭 행렬(symmetric matrix)의 형태라면, 위와 같은 반복적 구조인 홉필드 신경망 알고리즘이 적용된다 [11]. CDMA 시스템의 경우에 있어서는 확산 코드 간의 상관행렬이 대칭구조를 띠므로, 홉필드 신경망 알고리즘의 적용이 보다 용이하다. i 번째 뉴런의 입력은 식 (1)과 같다.

$$u_i = \sum_{j=1, j \neq i}^K T_{ij} V_j + I_i - th_i, \text{ for } i = 1, 2, \dots, K. \quad (1)$$

만약 특정 뉴런의 전체 입력이 뉴런의 문턱값 이하라면, 뉴런은 휴지상태인 -1로 이동하거나 현재 상태를 유지하게 된다. 하지만, 그 이상의 값을 가지게 되면 뉴런은 흥분상태인 +1로 이동하게 된다 [10].

홉필드 신경망의 에너지 함수는 이차식의 형태를 가지며, 문턱값이 일반적인 0의 값을 갖는다면, 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$E = -\sum_{i=1}^K V_i I_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K T_{ij} V_i V_j. \quad (2)$$

이 에너지 함수에 경도(gradient)를 적용하면 [10], 에너지 증분은 다음과 같다.

$$\Delta E = -\Delta V_i u_i. \quad (3)$$

앞서 언급된 바와 같이, u_i 의 부호가 V_i 를 결정하므로 $u_i < 0$ 이면 $\Delta V_i < 0$ 이고, $u_i > 0$ 이면 $\Delta V_i > 0$ 이다. 따라서, 에너지 함수의 변화, ΔE 는 항상 양이 아닌 값을 갖는다. 그러므로 반복되는 갱신의 결과, 홉필드 신경망의 에너지 변화는 그 에너지가 감소하거나 유지되는 방향으로만 발생한다. 또한 에너지 변화 ΔE 는 관련된 V_i 와 V_j , 두 출력에 의해 영향을 받는 것이 아니라, 단지 i 번째 출력의 변화에만 영향을 받는다. 즉, 비동기적인 갱신(asynchronous update)을 통해 에너지 함수의 단조감소가 일어나며, 만약 동시에 두 출력이 갱신된다면(synchronous update) ΔE 의 단조감소를 보장할 수 없게 된다.

$\mathbf{V}^T \mathbf{T} \mathbf{V}$ 가 임의의 대칭행렬 \mathbf{T} 에 대해 이차식의 형태를 띠고, 그 대각성분(diagonal)이 0으로 이루어져 있으므로 가중치 행렬(weight matrix) \mathbf{T} 는 부정(indefinite)이고, 따라서 에너지 함수는 제한되지 않은(unconstrained) 출력 공간(output space)에서 최대나 최소의 값을 갖지 않는다. 하지만, 에너지 함수 E 는 K -차원 공간으로 제한되므로, 갱신을 통해 최소값으로 수렴될 수 있고 [10], 따라서 홉필드 신경망 알고리즘을 다중 사용자 검출방식의 성능향상을 위해 적용하고자 한다.

2.2 다중 사용자 검출기법의 홉필드 신경망 알고리즘 적용

K 명의 사용자에게 대하여 페이딩을 겪고, 잡음이 더해진 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k b_k c_k(t) + n(t), \quad (4)$$

여기서 A_k 는 사용자 k 의 수신 신호의 진폭이며, $b_k \in \{+1, -1\}$ 는 k 번째 사용자의 정보를 포함한 비트이며, $c_k(t)$ 는 k 번째 사용자에게 할당된 확산 코드이고, $n(t)$ 는 부가 백색 가우시안 잡음(additive white Gaussian noise: AWGN)이다.

정합필터의 출력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_k = \int_0^T r(t) c_k(t) dt, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (5)$$

여기서 T 는 비트 주기를 나타낸다. 정합필터의

경우 그 출력에 의한 비트 결정값은 다음과 같다.

$$\hat{b}_k = \text{sgn } y_k, \quad (6)$$

최적 다중 사용자 검출 알고리즘[2]에서는 다음의 우도함수(likelihood function)를 최대화하는 \hat{b}_k 를 선택한다.

$$L = \sum_{i=1}^K 2y_i A_i \hat{b}_i - \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K h_{ij} A_i A_j \hat{b}_i \hat{b}_j, \quad (7)$$

여기서 h_{ij} 는 확산 코드 간의 교차상관값이며, 식 (8)과 같이 정의된다.

$$h_{ij} = \int_0^T c_i(t)c_j(t)dt. \quad (8)$$

여기서 식 (2)와 (7)을 비교해보면, 우도함수 (likelihood function) L 의 최대화는 에너지 함수 E 의 최소화화와 동일한 과정임을 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 최적 다중 사용자 검출 알고리즘은 홉필드 신경망 알고리즘과 대체될 수 있다 [5]. 그러므로 두 식을 동일한 과정으로 간주한다면, 아래와 같이 각 변수간 매핑이 가능하다.

$$I_i = 2y_i A_i, \quad (9)$$

$$T_{ij} = -2h_{ij} A_i A_j, \quad (10)$$

$$V_i = \hat{b}_i. \quad (11)$$

참고문헌 [5]에서 시간동기가 맞춰진 상태에서의 단일 레이트 CDMA 시스템의 홉필드 다중 사용자 검출기 구조를 제안하여 AWGN 채널 환경에서 분석하였고 그 성능이 최적 다중 사용자 검출기법과 거의 동일함을 검증하였다. 따라서, 다음 장에서는 “멀티 레이트” CDMA 시스템을 위한 홉필드 다중 사용자 검출기 구조를 제안하고, 그 성능을 레일리 페이딩 채널에서 검증할 것이다.

III. 시스템 모델

최근 멀티 레이트 환경에서 다양한 다중 사용자 검출 알고리즘이 제안되었다. 그 중, 참고문헌 [8]에서는 이중 레이트(dual-rate) 환경에서의 역상관계 구조가 제안되었는데, 이 장에서는 그 구조를 응용한 새로운 효과적인 이중 레이트 환경에서의 홉필드

신경망 다중 사용자 검출기 구조를 제안한다.

이중 레이트 VSG CDMA 시스템을 가정하면, 수신된 기저대역(baseband) 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{j=1}^{K_L} A_{j,d} b_{j,d} c_{j,d}(t) + \sum_{k=1}^{K_H} \sum_{n=1}^N A_{k,h}^{(n)} b_{k,h}^{(n)} c_{k,h}^{(n)}(t) + n(t), \quad (12)$$

여기서 K_H 와 K_L 은 각각 고속 레이트 사용자의 수와 저속 레이트 사용자의 수를 나타내며, 저속 레이트 데이터의 비트 주기는 고속 데이터보다 N 배 길다.

우선 이중 레이트 환경에서의 고속 레이트 홉필드 다중 사용자 검출기(high rate Hopfield multi-user detector: HHMUD) 구조를 그림 2에 도시하였다. 저속 사용자의 비트 주기를 NT 로 가정하였고, 고속 사용자의 비트 주기를 T 로 가정하였다. 고속 사용자의 비트 주기동안, 각 저속 사용자는 한 명의 고속 사용자로 취급된다. 따라서 확산 코드 간의 교차상관은 다음과 같다.

$$h_{ij,HH}^{(n)} = \int_{(n-1)T}^{nT} c_i(t)c_j(t)dt. \quad (13)$$

고속 사용자에 대해 비트 결정은 매 비트 주기 T 마다 이루어지지만, 저속 사용자의 데이터는 각 고속 비트 주기 T 마다의 합에 의해 결정된다. 이 구조는 빠른 비트 결정이 가능하고, 계산상의 복잡도가 낮은 장점이 있다. 이 구조에서의 에너지 함수는 다음과 같다.

$$E_{HHMUD} = -\sum_{i=1}^{K'} V_{i,HH} I_{i,HH} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{K'} \sum_{j=1}^{K'} T_{ij,HH}^{(n)} V_{i,HH} V_{j,HH}, \quad (14)$$

여기서 전체 사용자 수는 $K' = K_L + K_H$ 이며, 각 사용자는 다음과 같이 정렬되어 있음을 가정한다.

$$\underbrace{(1, \dots, K_L)}_{K_L \text{ low rate users}}, \underbrace{(K_L + 1, \dots, K_L + K_H)}_{K_H \text{ high rate users}},$$

$V_{i,HH}$ 는 고속 사용자의 경우 \hat{b}_{in} , 저속 사용자의 경우 $\hat{b}_i^{(n)}$ 에 해당되며, 연결 강도는 $T_{ij,HH}^{(n)} = -2h_{ij,HH}^{(n)} A_i A_j$ 와 같으며, 외부 입력은

$I_{i,HH} = 2y_{i,HH} A_i$ 이고 이 때 $i = 1, 2, \dots, K'$ 에 대해 $y_{i,HH}^{(n)} = \int_{(n-1)T}^{nT} r(t)c_i^{(n)}(t)dt$ 로 정의된다.

$$h_{ij,LH} = \int_0^{NT} c_i(t)c_j(t)dt, \quad (15)$$

이 때 고속 사용자에게 대해서는 $c_i(t)$ 와 $c_j(t)$ 가 위에서 설명된 수정된 형태의 확산 코드로 대체된다. 그러므로, LHMUD에서 고속 사용자의 경우 N 비트의 지연이 수반되며, 계산상의 복잡도 또한 N 에 따라 증가한다.

에너지 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$E_{LHMUD} = -\sum_{i=1}^{K'} V_{i,LH} I_{i,LH} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{K'} \sum_{j=1}^{K'} T_{ij,LH} V_{i,LH} V_{j,LH} \quad (16)$$

여기서 $V_{i,LH} = \hat{b}_i$ 이고, 연결 강도는 $T_{ij,LH} = -2h_{ij,LH} A_i A_j$ 이며, 외부 입력은 $I_{i,LH} = 2y_{i,LH} A_i$ 이고, 이 때 $y_{i,LH} = \int_0^{NT} r(t)c_i(t)dt$, $i = 1, 2, \dots, K''$ 으로 정의된다. 또한 전체 사용자는 다음과 같이 정렬되었음을 가정한다.

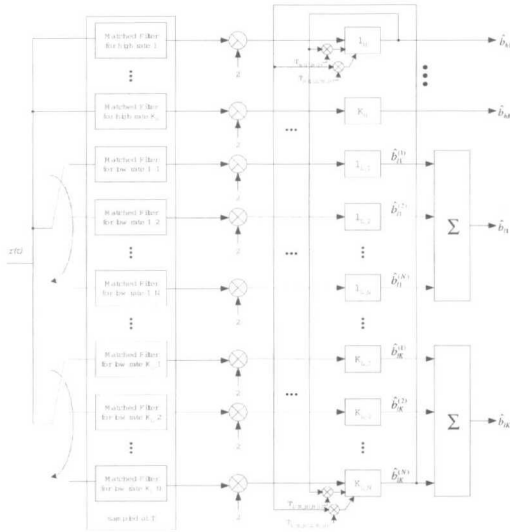


그림 2. 고속 홉필드 다중 사용자 검출기 (High Rate Hopfield Multiuser Detector: HHMUD)

저속 홉필드 다중 사용자 검출기(Low rate Hopfield multiuser detector: LHMUD)는 그림 3과 같다. 고속 사용자에게 대해 각 사용자는 N 명의 서로 다른 사용자로 간주되며, 각 확산 코드는 $(N - 1)T$ 개의 0이 덧붙여진다. 즉, 기존의 고속 사용자의 확산 코드가 단순히 시간 전이된 형태를 띠게 된다. 따라서 상관 행렬은 $K'' \times K''$ 의 크기를 갖고, 이 때 수신기 구조의 측면에서 본 전체 사용자 수는 $K'' = K_L + NK_H$ 으로 정의된다. 확산 코드 간의 교차상관은 다음과 같이 정의된다.

$$\underbrace{(1, \dots, K_L)}_{K_L \text{ low rate users}}, \underbrace{(K_1^{(1)}, \dots, K_H^{(1)}, \dots, K_1^{(N)}, \dots, K_H^{(N)})}_{K_H \text{ high rate users}}$$

식 (2)로부터 연결 강도 T_{ij} 와 전체 사용자 수만 바뀌었고, 멀티 레이트 환경에서의 우도함수 [8]는 단일 레이트의 경우와 거의 동일하므로, 두 모델 모두 홉필드 신경망의 에너지 함수를 최소화할 수 있다. 단지 에너지 함수의 최소화 과정에서, 유닛의 갱신되는 값은 다른 값의 변화에 즉각적으로 반영되어야 한다. 즉, 다시 말해서 에너지 함수를 감소시키기 위해 유닛의 값들은 비동기적으로(asynchronously) 갱신되어야 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

이 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 성능 분석이 수행되었다. 기존의 정합필터와 고속 레이트 역상관기(High Rate Decorrelator: HRD) [8], 저속 레이트 역상관기(Low Rate Decorrelator: LRD) [8], HHMUD와 LHMUD의 성능이 비교 분석되었다. 고속 레이트 사용자 두 명과 네 명의 저속 레이트 사용자를 가정하고, 그들의 확산 코드를 각각 길이가 16, 32인 확장된 골드 시퀀스(extended Gold sequence)로 할당하였다. 시간 동기화 맞추어졌다고 가정하고, 두 경로의 레일리 페이딩 채널에서 도식

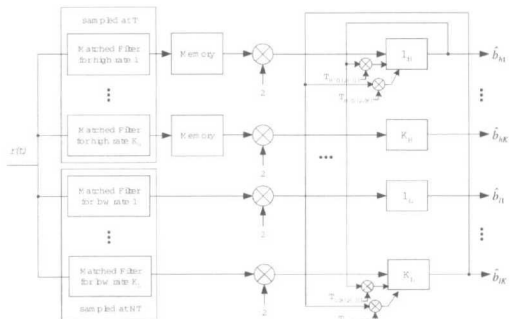


그림 3. 저속 홉필드 다중 사용자 검출기 (Low Rate Hopfield Multiuser Detector: LHMUD)

보행자 환경을 가정하여 성능을 평가하였다.

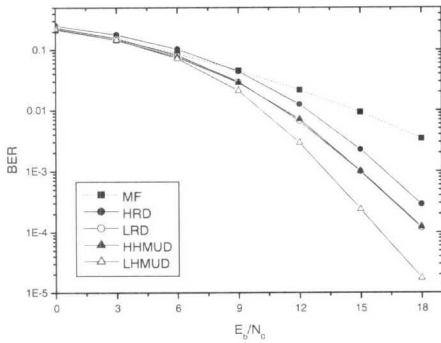


그림 4. 고속 데이터 사용자의 BER 성능

먼저 고속 및 저속 레이트 사용자별 BER 성능을 살펴보면, 그림 4에서 고속 사용자의 BER 성능을 나타내었다. 두 명의 고속 사용자의 BER 성능의 평균을 취한 분석에서 기존의 정합필터의 성능이 가장 좋지 않음을 관찰할 수 있다. 홉필드 신경망 알고리즘을 적용한 경우 최상의 성능을 보였으며, 특히 LHMUD가 HHMUD보다 나은 성능을 보임을 알 수 있다. 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)가 높은 경우, LRD가 HHMUD보다 약간 성능이 좋음을 관찰할 수 있다. 그림 5에서는 저속 사용자들이 평균된 BER 성능을 살펴보았다. 저속 사용자들의 성능 역시 홉필드 알고리즘을 적용한 경우 보다 나은 성능을 보였다. 또한 고속 사용자와는 달리 HHMUD가 LRD보다 나은 성능을 보임을 관찰할 수 있다. 전반적으로 LHMUD가 HHMUD보다 우수한 성능을 보이지만, 구조적인 복잡도 측면이나 데이터 처리과정의 지연문제 측면에서는 HHMUD의 성능이 우수하다고 평가할 수 있다.

LHMUD는 저속 데이터 길이를 기준으로 한 전

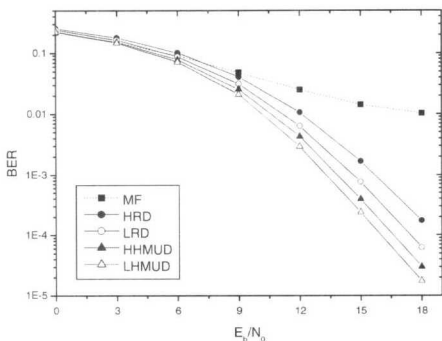


그림 5. 저속 데이터 사용자의 BER 성능44

체 상관(full correlation)을 수행하므로, 저속 확산 코드 간의 교차상관 특성이 기본적으로 좋고 서로 다른 레이트 간의 교차상관값 또한 비교적 낮은 값을 갖는다. 반면 HHMUD는 고속 데이터 길이를 기준으로 하므로 부분 상관(partial correlation)을 수행하게 되고, 이는 우수한 교차상관 특성을 보장할 수 없다. 따라서 LHMUD의 성능이 HHMUD의 성능보다 우수하게 나타나는 것이다.

그림 6은 원근 강도 성능을 나타낸다. 즉, 기준 사용자가 고속 사용자이고 신호 레벨이 10 dB인 경우, 다른 나머지 사용자들의 상대적인 신호 레벨에 따른 BER 성능을 도시한 것이다. 기존의 정합 필터는 다른 사용자와의 간섭을 잡음으로 간주하여 무시하므로, 간섭 사용자의 에너지가 증가함에 따라 BER 성능이 저하된다. 반면 HRD, LRD, HHMUD와 LHMUD 구조에서는 비교적 일정한 BER 성능을 보였고, 홉필드 다중 사용자 검출기가 역시 보다 나은 성능을 보이며, 역상관기와 마찬가지로 홉필드 다중 사용자 검출기 역시 원근문제에 강한 장점이 있음을 알 수 있다. 저속 데이터 사용자에 대한 그림 7 역시 거의 동일한 결과를 보인다.

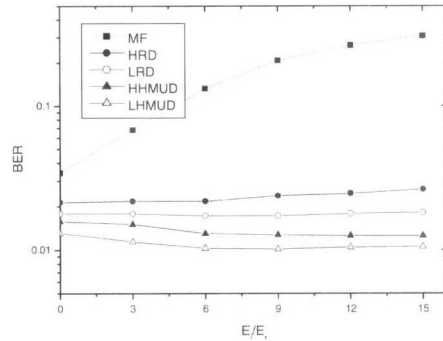


그림 6. 고속 데이터 사용자에 대한 원근 강도

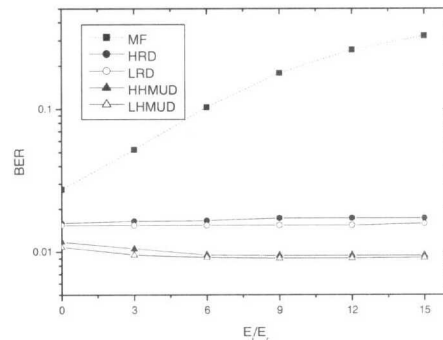


그림 7. 저속 데이터 사용자에 대한 원근 강도

V. 결론

본 논문에서는 새로운 멀티 레이트 홉필드 다중 사용자 수신기 구조가 제안되었고, 레일리 페이딩 환경에서 멀티 레이트 구조에 적용된 홉필드 신경망 알고리즘을 응용한 제안된 다중 사용자 검출기의 성능이 우수함을 검증하였다. 그 결과, BER 성능의 관점에서 LHMUD 구조가 최적의 성능을 보였고, HHMUD 구조는 비교적 우수한 성능을 띠며 처리시간 지연문제 및 계산상의 복잡도를 낮추는데에 적합하였다.

결론적으로 말하면, 제안된 홉필드 신경망 알고리즘을 이용한 멀티 레이트 다중 사용자 검출 기술은 기존의 정합필터나 다른 멀티 레이트 다중 사용자 검출기에 비해 보다 우수한 성능을 갖는다. 따라서 본 논문에서 제안된 다중 사용자 검출 알고리즘은 멀티 레이트 CDMA 환경에서 효과적인 다중 사용자 수신기 구조라 할 수 있고, 사용자 간의 간섭이나 원근문제를 극복하여 시스템 용량을 증대시키는 데에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] S. Verdú, *Multi-user Detection*, Cambridge University Press, 1998.

[2] R. Lupas and S. Verdú, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-Division Multiple-Access Channels," *IEEE Trans. on Inf. Theory*, Vol. 35, No. 1, pp. 123-136, Jan. 1989.

[3] M. K. Varanashi and B. Aazhang, "Near-Optimum Detection in Synchronous Code-Division Multiple-Access Systems," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 39, No. 5, pp. 725-736, May 1991.

[4] M. K. Varanashi and B. Aazhang, "Multistage Detection in Asynchronous Code-Division Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 38, No. 4, pp. 509-519, April 1990.

[5] T. Miyajima, T. Hasegawa and M. Haneishi, "On the Multiuser Detection Using a Neural Network in Code-Division Multiple-Access Communications," *IEICE Trans. on Commun.*,

Vol. E76-B, No. 8, pp. 961-968, Aug. 1993.

[6] A. L. Johansson and A. Svensson, "Successive Interference Cancellation Schemes in Multiple Data Rate DS/CDMA Systems," in *Proc. of IEEE VTC 95*, Chicago, Illinois, pp. 704-708, July 1995.

[7] S. H. Hwang and C. G. Kang, "Interference Cancellation Schemes for Dual-rate Variable Processing Gain DS/CDMA System," in *Proc. of IEEE Int. Conf. on Universal Personal Commun.*, San Diego, California, pp. 465-469, Oct. 1997.

[8] M. Saquib, *Quality of Service for Multi-Rate DS/CDMA Systems with Multi-User Detection*, Ph. D. Thesis, The State University of New Jersey, USA, 1998.

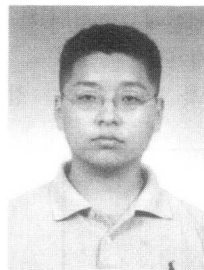
[9] B. Aazhang, B. P. Paris and G. C. Orsak, "Neural Networks for Multiuser Detection in Code-Division Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 40, No. 7, pp. 1212-1222, July 1992.

[10] J. M. Zurada, *Introduction to Artificial Neural Systems*, West Publishing Company, 1992.

[11] J. P. Coughlin and R. H. Baran, *Neural Computation in Hopfield Networks and Boltzmann Machines*, Associated University Presses, 1995. Z

주 양 익(Yang-Ick Joo)

정회원



1998년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
 2000년 8월: 고려대학교 전자공학과 석사
 2000년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> Spread Spectrum, OFDM, 블루투스, 무선 ad hoc 네트워크

김 용 석(Yongsuk Kim)

정회원

1989년 2월: 고려대학교 전자공학과 학사
 1995년 2월: 경기대학교 멀티미디어 통신공학 석사
 1998년 9월~현재: 고려대학교 전자공학과 박사과정

