

DS/SS 이동 통신에서 반복적 최소 자승 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기

Performance of Adaptive Correlator using Recursive Least Square Backpropagation Neural Network in DS/SS Mobile Communication Systems

정 우 열*, 김 환 용**
(Woo-Yeol Jeong*, Hwan-Yong Kim**)

요 약

본 논문은 CDMA 이동 통신 시스템에서 직접 순차 확산 스펙트럼의 협대역 간섭 신호를 억압하기 위해 다계층 퍼셉트론을 기본으로 한 역전과 신경망을 이용하여 적응 상관기 모델을 제시하였다. 적응 상관기 구조는 빠른 수렴 속도와 보다 좋은 성능을 제공하기 위해 역전파된 에러를 가진 반복적 최소 자승 역전과 알고리즘을 도입하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과는 동일 채널 간섭과 협대역 간섭을 고려한 신호 잡음비와 전송 전력비에 대해 직접 순차 확산 스펙트럼 적응 횡단선 필터의 비트 에러율보다 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기의 비트 에러율이 개선됨을 보였고, 특히 간섭 대 신호비가 5dB인 곳에서 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기가 적응 횡단선 필터의 비트 에러율보다 약 10^{-1} 정도 감소되었다.

ABSTRACT

In this paper, adaptive correlator model using backpropagation neural network based on complex multilayer perceptron is presented for suppressing interference of narrow-band of direct sequence spread spectrum receiver in CDMA mobile communication systems. Recursive least square backpropagation algorithm with backpropagation error is used for fast convergence and better performance in adaptive correlator scheme.

According to signal noise ratio and transmission power ratio, computer simulation results show that bit error ratio of adaptive correlator using backpropagation neural network improved than that of adaptive transversal filter of direct sequence spread spectrum considering of co-channel and narrow-band interference. Bit error ratio of adaptive correlator using backpropagation neural network is reduced about 10^{-1} than that of adaptive transversal filter where interference versus signal ratio is 5 dB.

I. 서 론

CDMA 이동 통신에서 직접 순차 확산 스펙트럼의 수신기에서 수신되는 간섭 신호는 광대역 신호와 비교할 때 협대역이며 주파수 영역에서 간섭 신호를 제거하기 위해서 선형 평가 기법을 사용하며, 간섭을 제거하는데 보다 효율적인 직접 순차 확산 스펙트럼 확산 방식은 고의적인 반향해 전파와 다중 경로 또는 동일 대역폭에 존재하는 다중 사용자들로부터 발생하는 간섭을 줄이기 위해 사용된다. 이러한 직접 순차 확산 스펙트럼의 특성은

간섭에 대해 면역성이 증가한다는 것이며 간섭에 대한 시스템 면역성의 증가는 시스템 처리 이득에 비례한다. 그러나 역전 자기적 환경에서 직접 순차 확산 스펙트럼의 처리 이득은 간섭을 제거하는데 충분치 못하다. 최근에는 적응 횡단선 필터를 이용하여 협대역 간섭과 부가적인 가우시안 잡음을 포함한 여러 가지 열 잡음을 제거하기 위해 지속적으로 연구되고 있다. 특히 직접 순차 확산 스펙트럼에서 반향해 전파로써 중시되어온 협대역 간섭을 제거하는 것은 매우 중요하고 더욱이 처리 이득이 높지 않은 경우에 더욱 중요하다[1][2][3][4][5].

CDMA 이동 통신의 발달 때문에 직접 순차 확산 스펙트럼의 적응 필터의 처리 방법이 주목을 받아 왔고, 채널 할당시에 발생하는 간섭을 보다 효율적으로 제거하기 위

*한려산업대학교 정보통신학과

**원광대학교 전자공학과

접수일자: 1996년 2월 26일

해 직접 순차 확산 스펙트럼의 수신기가 일반적으로 사용되었다. CDMA 이동 통신에서 적응 횡단선 필터를 사용한 수신기는 직접 순차 확산 스펙트럼의 수신기의 비트 에러율을 어느 정도 개선하였으나 여러 가지 채널의 시간에 대한 필터와의 최적의 상태가 되지 않아 보다 나은 적응 상관기의 필요성이 대두되었다.

최근, 패턴 인식을 이용한 신경망의 응용은 디지털 통신에서뿐만 아니라 디지털 신호 처리에서도 지속적으로 연구되어져 왔다. 또한 CDMA 이동 통신 시스템에서 신경망은 비 확산 함수를 결합하지 않으면서 다 경로 페이딩과 페이딩에 의한 간섭에 대처하기 위해 적응 등화기에 적용되어 왔다.

본 논문에서는 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기를 기본으로 하여 다계층 퍼셉트론이 직접 순차 확산스펙트럼 이동 통신 시스템에서 수신된 신호의 간섭을 보다 효율적으로 억압할 수 있다는 것을 소개하였으며, 역전파 알고리즘과 최소 자승 평가 기법을 조합한 새로운 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘 방식을 제시하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과는 이러한 알고리즘을 이용한 적응 상관기가 직접 순차 확산스펙트럼의 수신기에서 적응 횡단선 필터를 이용한 수신기보다 비트 에러율이 적음을 알 수 있고, 단일 톤, 다중 톤과 협대역 간섭이 존재하는 곳에서 부가적인 간섭 억압 필터가 없이 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기가 보다 효율적으로 간섭을 억압할 수 있었다.

II. 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기 모델

직접 순차 확산 스펙트럼 시스템에서 입력되는 신호는 분산되지 않으며 데이터 대역폭에서 필터 된다. 의사 잡음 코드를 곱하는 비확산 동작은 방해전파 전력의 일부만이 필터를 통과하기 위해 반방향 전파 에너지를 넓은 대역폭에서 분산한다. 일부를 제외한 협대역 방해 전파 전력은 데이터 대역폭에 대한 확산 스펙트럼 대역폭의 비와 같다. 즉 처리 이득에 비례하는 전력 요소에 의해 증가되는 신호대 반방향 전파 평균 전력비이다. 이진 위상 변조를 이용하는 직접 순차 확산 스펙트럼에서 처리 이득은 비트당 칩 수로 나타내며 칩은 이진 값 펄스이다[4][5][6]. 부가적인 백색 가우시안 잡음만 있는 곳에서 확산 스펙트럼 신호 검출을 위해 최적화된 상관 수신기는 그림 1에 나타냈다. 그러나 그림 1에서 나타낸 상관 수신기는 협대역 간섭이 존재할 때는 최적화 되지 않는다.

협대역 간섭 조건하에서 선형 적응 횡단선 필터를 이용한 직접 순차 확산 스펙트럼 시스템은 비트 에러율을 개선시킨다. 에러 정정 코드는 직접 순차 확산 스펙트럼에서 간섭을 측정하기 위해 이용된다.

협대역 간섭을 제거하기 위해 그림 1에서 나타낸 수신기를 변형하여 간섭 억압 횡단선 필터를 의사 랜덤 코드

발생기 이전에 위치하는 수신기를 그림 2와 같이 나타내며 억압 필터는 직접 순차 신호를 삭제하지 않고 협대역 간섭을 억압한다.

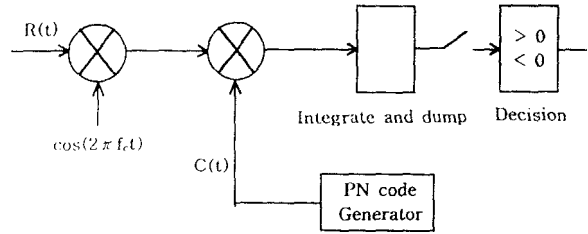


그림 1. 직접 순차 수신기

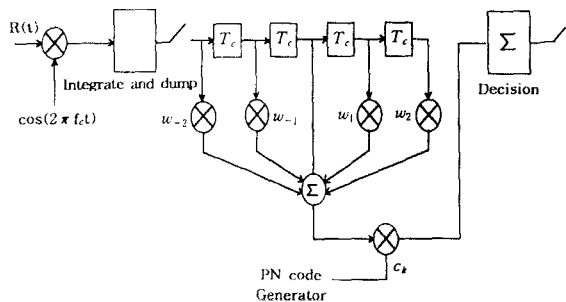


그림 2. 적응 횡단선 필터

적응 횡단선 필터를 이용한 직접 순차 확산 스펙트럼의 입력 신호는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R(t) = Ad(t)PN(t)\cos(2\pi f_c t) + i(t) + n(t) \quad (1)$$

위 식에서 A는 수신된 신호의 진폭을 나타내고, d(t)는 단위 진폭과 펄스를 가진 랜덤 이진 순차이며, i(t)는 협대역 간섭, n(t)는 부가적인 백색 가우시안 잡음을 나타낸다. 그림 2의 구조에 L 사용자를 가진 CDMA 이동 통신 수신기에서 역전파 신경망 알고리즘을 이용한 모델은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다.

이러한 구조는 복잡한 다계층 퍼셉트론의 구조와 비슷하다[8][9][10][13]. 역전파 신경망 구조에서 수신된 신호 R(t)는 적응 횡단선 필터를 이용한 수신기에서 수신된 신호 식(1)을 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R(t) = \sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^{J-1} g_{ji}(t-iT_s)u_i(t-jT_s) + i(t) + n(t) \quad (2)$$

위 식에서 첫번째항 우측부분식 $u_i(t-jT_s)$ 은 식(3)과 같다.

$$u_i(t-jT_s) = b_j^{(i)} \sum_{m=0}^{M-1} p_{mk}(t-mT_c-iT_s) \quad (3)$$

식(3)에서 $\{g_{ji}, j=0, \dots, J-1\}$ 와 J 는 선택적 페이딩

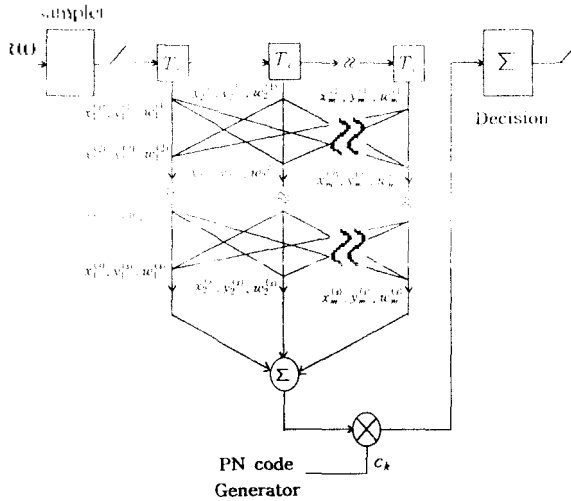


그림 3. 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기 구조

채널 모델 주파수에서 탭 이득 계수와 탭수를 정의하고 $u(t)$ 는 전송된 기저대역 신호, $b_i^{(l)}$ 는 사용자 L의 i 번째 정보 심볼로 정의한다. P_m 은 PN 코드의 m 번째 칩 값이고, 코드의 길이는 M으로 나타내고, $k(t)$ 는 칩 파형, T_s 와 T_c 는 각각 칩과 심볼의 주기를 나타낸다.

P_m 과 $k(t)$ 가 실수인 반면에 $R(t)$, a_{ji} , $u_i(t)$, $b_i^{(l)}$, $i(t)$ 와 $n(t)$ 는 모두 복소수이다. 역전파 신경망을 이용한 적응행단선 구조에서 입력 벡터 X 는 식(4)와 같이 나타내며, T_c 에서 샘플링 수신 신호 $R(t)$ 로 정의한다. 출력 신호는 T_s 즉 MT_c 비율로 복원된 심볼이다.

$$X' = (R(T_c), R(2T_c), \dots, R(MT_c)) \quad (4)$$

역전파 신경망을 이용한 적응행단선의 입력은 식(5)와 같이 나타내고

$$x_j^{(s)} = \sum_{i=0}^{m^{(s-1)}} w_{ij}^{(s-1)} y_i^{(s-1)} \quad s=2, \dots, S \quad (5)$$

출력은 식(6)과 같이 나타낸다.

$$y_j^{(s)} = \begin{cases} F(x_j^{(s)}), & j=1, \dots, m^{(s)}, s=2, \dots, S \\ x_j^{(s)}, & j=1, \dots, m^{(s)}, s=1 \end{cases} \quad (6)$$

여기서, $m^{(s)}$ 은 s층에서 노드 갯수이고, $w_{ij}^{(s)}$ 는 s층의 노드 i와 s+1 층의 노드 j 사이의 연결 강도를 나타낸다. 입·출력과 연결강도는 복소수이고 전이함수 $F(\cdot)$ 는 비선형 함수로서 식(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$F(Z) = f(u) + if(v) \quad (7)$$

식(7)에서 Z는 실수 u와 허수 v의 복소수이고 전이함수는 로그-시그모이드 함수 $f(\cdot)$ 를 나타낸다. 역전파 신경망의 출력에서 원하는 출력과 실제 출력 사이에서의

차이는 규칙에 따른 연결강도를 조절함으로써 발생됨을 알 수 있다.

III. 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘

역전파 알고리즘의 형식에 따른 각 계층의 연결강도는 급경사 하강 규칙에 의해 조절되며, 은닉층의 연결강도는 빠른 수렴 비율을 얻기 위해 반복적 최소 자승 알고리즘에 의해 조절된다. 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘은 반복적 최소 자승 알고리즘의 실수영역에서 복소수 영역까지 확장되며, 연결강도를 조절하기 위해 필요한 오차는 수정된 역전파 에러에 따라 전파된다[9][12][13].

역전파 신경망을 이용한 적응 상관기 구조의 출력층에서 $n^{(S)}$ 가 있다고 가정하면 역전파 신경망 적응 상관기 구조의 출력 면적 오차는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \sum_{k=1}^{n^{(S)}} e_k e_k^* \quad (8)$$

여기서, e_k 는 원하는 출력 d_j 와 실제 출력 $y_j^{(S)}$ 사이의 j 번째 신호의 차이점이고, 기호 "*"는 공액 복소수를 표현한다. 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기 구조에서 연결강도는 모두 복소수임을 제시하였으며, 역전파 알고리즘에 따라 조정될 수 있다. 연결 강도를 조절함으로써 역전파 되는 에러 신호는 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$e_j^{(s)} = \begin{cases} F'(x_j^{(s)}) \otimes (d_j - y_j), & s=S \\ \delta_j^{(s)} \otimes F'(x_j^{(s)}), & s=1, \dots, S-1 \end{cases} \quad (9)$$

위 식에서 $\delta_j^{(s)}$ 은 s+1번째 에러 신호와 s번째 연결강도의 공액복소수 곱을 의미하며 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_j^{(s)} = \sum_{k=1}^{n^{(s-1)}} e_k^{(s+1)*} w_{jk}^{(s)} \quad (10)$$

s번째 연결강도의 공액복소수는 s번째 연결강도에서 스템의 크기와 연결강도의 실수부와 허수부를 편미분한 곱의 차와 같으며, 연산자 "⊗"는 식(11)과 같이 정의된다.

$$Z_1 \otimes Z_2 = r_1 \cdot r_2 + iq_1 \cdot q_2 \quad (11)$$

역전파 알고리즘을 기본으로 하여 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘은 역전파 알고리즘을 이용한 적응 상관기 구조에서 연결강도와 역 상관행렬을 초기화하여 식 (5)와 (6)에 따라 적응 상관기의 출력 값을 계산한 후 연결강도를 조절함으로써 이끌어 낼 수 있다. 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘에서 역전파된 에러신호는 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{e}_s^{(s+1)} = \begin{cases} F^{-1}(d_s) - x_s^{(s)} & s = S \\ e_s^{(s)} & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (12)$$

그림 4는 직접순차 확산 스펙트럼 적응 상관기 구조에서 반복적 최소 자승 역전파 신경망을 이용한 상태의 평균 자승 에러와 학습율을 나타내는데 수렴은 100번 정도 학습을 반복함으로써 이루어 질 수 있음을 알 수 있다.

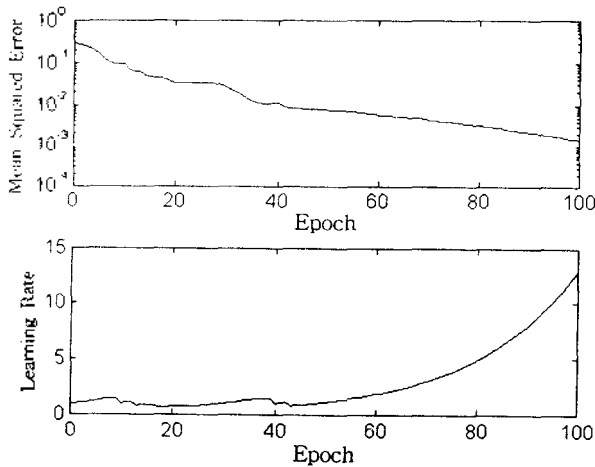


그림 4. 평균 자승 에러의 수렴과 학습율

IV. 시뮬레이션 결과

협대역 간섭을 억압하고 수신된 확산 스펙트럼 신호의 간섭을 보다 효율적으로 제거하기 위해 직접 순차 확산 스펙트럼 적응 상관기에 역전파 신경망을 이용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 기존에 발표되었던 이상적인 이진 위상 천이의 결과치, 적응 횡단선 필터만을 이용한 결과와 적응 횡단선 구조에 역전파 신경망을 이용한 성능을 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 CDMA 이동 통신 시스템에서 사용자 5명, 9채를 가진 선택적 주파수 페이딩 채널을 고려한 상태에서 원하는 사용자는 1명, 각각의 정보 심볼은 길이가 31인 PN코드 할당에 의해 변조가 된다는 것을 가정하였다.

다계층 퍼셉트론에서 각 층의 노드 수 선택은 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기의 실행에 영향을 미칠 것이며, 알고리즘 계산의 복잡성이 증가하거나, 신경망을 이용한 적응 상관기의 성능을 줄이지 않기 위해 31개의 입력 노드와 9개의 은닉층, 한개의 출력 노드를 가진 상관기를 구현하기 위해 3계층의 퍼셉트론을 선택하였다.

컴퓨터 시뮬레이션에 사용되는 매개 변수 SNR_i 는 i 번째 사용자의 잡음비와 동일한 신호로, $\frac{E_2}{E_1}$ 는 사용자 1에 대한 사용자 2의 전송 전력 비로, f_d 는 최대 주파수 천이로 T_s 는 정보 심볼의 주기로 정의하며, 채널의 시변수율을 나타낸다. f_s 는 정보 심볼의 비, f_c 는 이동주파수로부터

절단된 간섭주파수, B_i 는 협대역 간섭의 대역폭으로 정의한다.

적용 횡단선 필터를 이용한 직접순차 확산 스펙트럼의 수신기의 신호 간섭비와 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기의 신호 간섭비에 따른 비트 에러율을 그림 5에 나타내었다.

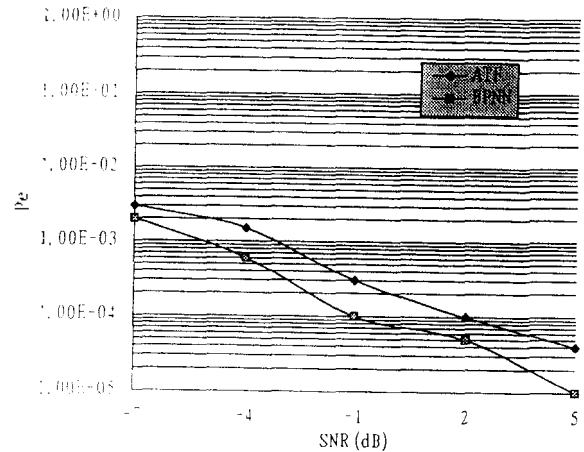


그림 5. 신호 잡음비에 따른 비트 에러율

그림 5의 시뮬레이션 결과에 사용된 매개변수는 사용자 5로 $f_d T_s$ 를 3.0×10^{-3} 으로 하여 시뮬레이션 했으며, 시뮬레이션 결과에 나타낸바와 같이 반복적 최소 자승 역전파 알고리즘으로 학습시킨 비트 에러율이 적응 횡단선 필터만을 이용한 비트 에러율보다 적응을 알 수 있다. 그림 6은 위 그림에서 사용된 매개변수를 이용하여 사용자 1과 사용자 2에 대한 전송 전력비의 결과를 나타내고 있다.

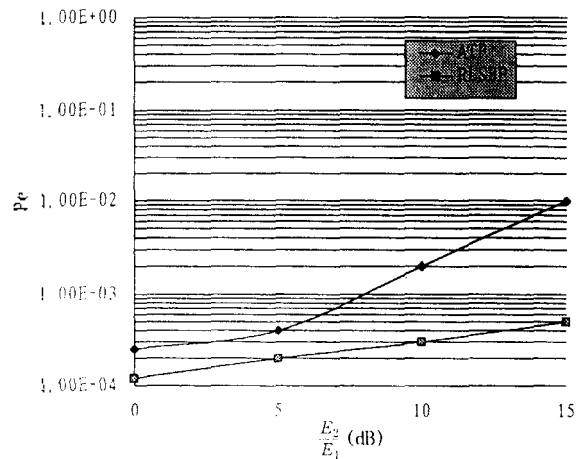


그림 6. $\frac{E_2}{E_1}$ 전송 전력비에 따른 비트 에러율

그림 5에서 적응 횡단선 필터와 역전파 신경망을 이용한 적응 상관기의 신호대 간섭비가 증가함에 따라 비트

에러율이 점점 감소한 반면에 그림 6의 전송 전력비가 증가함에 따라서 비트 에러율은 증가함을 알 수 있다. 또한 전송 전력비가 일정한 상태에서 역전과 신경망을 이용한 비트 에러율이 적응 횡단선 필터를 이용한 비트 에러율보다 적응을 알 수 있다. 그림 7은 적응 횡단선 필터를 이용한 수신기와 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기에서 매개변수를 사용자 5, f_c 를 3.0×10^{-3} , f_s 를 10kHz로 B_s 는 4kHz, f_b 를 30ks/s로 하여 단일 톤과 다중 톤에 대해 간섭대 신호비에 따른 간섭 억압 능력을 나타내고 있으며, CDMA 이동 통신 시스템에서 협대역 간섭이 존재한 경우 간섭대 신호비에 따른 간섭 억압 능력을 나타내고 있다.

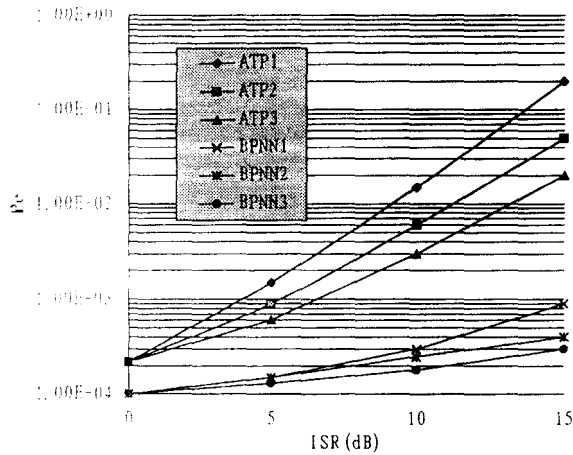


그림 7. 간섭 대 신호비에 따른 비트 에러율

적용 횡단선 필터를 이용한 수신기에서 곡선 1은 협대역 간섭, 곡선 2는 다중 톤, 곡선 3은 단일 톤을 적용한 비트 에러율을 나타내는 반면에 곡선 4, 5, 6은 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기에서의 비트 에러율을 나타내고 있다. 간섭대 신호비가 5dB인 곳에서 적응 횡단선 필터의 비트 에러율을 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기가 약 10^{-1} 비트 에러율 정도 감소시킴을 알 수 있다.

V. 결 론

CDMA 이동 통신 시스템에서 반복적 최소 자승 알고리즘과 역전과 알고리즘을 결합한 반복적 최소 자승 역전과 알고리즘이 동일 채널 간섭, 다 경로 페이딩에 의해 발생하는 협대역 간섭 그리고 다중 사용자에 의해 발생하는 간섭을 보다 효율적으로 억압 할 수 있었다.

역전과 신경망을 이용한 적응 상관기에서 연결강도를 적절하게 조절함으로써 보다 빠른 수렴과 반복 학습율을 개선시켰으며, 또한 신호 잡음비와 전송 전력비에 대한 비트 에러율을 줄임으로서 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기의 간섭 억압능력이 직접 순차 확산 스펙트럼

적용 횡단선 필터보다 뛰어난 성능을 입증하였다. 특히, 간섭대 신호비가 5dB인 곳에서 적응 횡단선 필터의 비트 에러율보다 역전과 신경망을 이용한 적응 상관기 비트 에러율이 약 10^{-1} 정도 감소되었다.

향후 CDMA 마이크로 셀룰라 이동 통신 시스템에서 결성 제한 방식을 이용한 직접 순차 확산스펙트럼 적응 횡단선 필터 수신기에 역전과 신경망 알고리즘을 사용함으로써 채널 할당시 발생하는 동일채널 간섭, 협대역 간섭, 다중 사용자에 의한 간섭과 선택적 다중 경로 페이딩 간섭을 보다 적극적으로 억압하여 비트 에러율을 감소시키는 연구가 이루어 질 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

1. E. A. Geraniotis and M. B. Pursley, "Error Probability for Direct-sequence Spread-spectrum Multiple-access Communications-Part II: Approximations," IEEE Trans. Commun., Vol. Com-30, pp. 985-995, May 1982.
2. M. B. Pursley, D. V. Sarwate, and W. E. Stark, "Error Probability for Direct-sequence Spread-Spectrum Multiple-Access Communications-Part I: Upper and Lower Bounds," IEEE Trans. Commun., Vol. Com-30, pp. 975-984, May 1982.
3. G. J. Saulnier, P. Das and L. B. Milstein, "An Adaptive Digital Suppression Filter for Direct Sequence Spread Spectrum Communication", IEEE Select. Areas Commun., Vol. Sax-3, No. 5, pp. 676-686, Sept. 1985.
4. J. W. Ketchum and J. G. Proakis, "Adaptive Algorithms for Estimating and Suppressing Narrow-band Interference in PN Spread Spectrum Systems". IEEE Trans. Commun., Vol. Com-30, pp. 913-924, May 1982.
5. Z. D. Stojanovic, M. L. Dikic and S. Stojanovic, "A new Method for Narrow-band Interference Rejection in the Direct Sequence Spread Spectrum Systems using Transversal Filters," Presented at the IEEE MELECON conf., Rome, Mar. 1987.
6. L. Li and L. B. Milstein, "Rejection Analysis of Narrowband Interference in PN Spread Spectrum Systems using Transversal Filters", IEEE Trans. Commun., Vol. Com-30, pp. 925-928, May 1982.
7. R. Ziemer, R. Peterson, "Digital Communications and Spread Spectrum Systems," Chapter 9.10. Macmillan, 1985.
8. H. Leung and S. Haykin, "The Complex Backpropagation Algorithm," IEEE Trans. on Signal Processing Vol. 39, No. 9, Sept. 1991.
9. B. Aazhang, B. P. Paris and G. C. Orsak, "Neural Network for Multiuser Detection in Code Division Multiple Access Communications," IEEE Trans. on Communication, Vol. 40, No. 7, July 1992.
10. M. Brady, R. R. Aghavan, and J. Slawny, "Backpropagation Fails to Separate Where Perceptrons Succeed."

- IEEE Trans. Circuit Syst., Vol. 36, pp. 665-674, May 1989.
11. R. P. Lipmann, "An Introduction to Computing with Neural Nets," IEEE ASSP. Mag. Vol. 4, pp. 4-22, Apr. 1987.
 12. B. P. Paris, G. Orsak, and B. Aszhang, "Neural Networks in Multiple-access Communications," Tech. Rep. Tr-9020, Elect. Comput. Eng., Rice University, Houston, TX, 1990.
 13. S. M. Lee and D. S. Hong, "Rapid Acquisition by Neural Networks in DS/SS Communication System," Proceedings of 94'ICONIP, Oct 17-20, Seoul Korea, Vol II of 3, pp. 993-998.
 14. R. S. Scalero and N. Tepedelenlioglu, "A Fast New Algorithm for Training Feedforward Neural Networks," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 40, No. 1, Jan. 1992.
 15. R. Lupas and S. Verdu, "Near-far Resistance of Multi-user Detection in Asynchronous Channels," IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 38, pp. 496-508, Apr. 1990.
 16. H. V. Poor and S. Verdu, "Single-User Detectors for Multiuser Channels," IEEE Trans. Commun. Vol. 36, pp. 50-60, Jan. 1988.

▲정 우 열(Woo Yeol Jeong)

정회원

1982년 2월 : 원광대학교 전자공학과
공학사1984년 8월 : 경희대학교 대학원 전자
공학과 공학석사1994년 8월 : 원광대학교 대학원 전자
공학과 박사수료1995년 3월~현재 : 한려산업대학교 정
보통신학과 전임강사※주관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리 VLSI, 대역확
산통신, 신호 대 잡음비 개선

▲김 환 용(Hwan Yong Kim)

정회원

1973년 2월 : 전북대학교 전기공학 공
학사1978년 2월 : 전북대학교 전자공학 공
학석사1984년 8월 : 전북대학교 전자공학 공
학박사1986년~1987년 : CANADA MAN-
ITOBA University
객원교수

1994년 11월~현재 : 대한전자공학회 전북지부 지부장

1979년~현재 : 원광대학교 공과대학 전자공학과 교수

※주관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리 VLSI, 이동통
신 회로설계, 대역확산통신