

CDMA System에서 사용자 검파를 위한 Blind 적용 알고리즘에 관한 성능 비교 분석 (A comparative analysis on Blind Adaptation Algorithms performances for User Detection in CDMA Systems)

조 미 령* 윤 석 하**
(Mee-Ryoung Cho) (Suk-Ha Yun)

요 약

DSSS(Direct-Sequence Spread-Spectrum) CDMA 시스템에서 MAI(Multiple Access Interference)와 원근 문제를 해결할 수 있는 단일-사용자 검파에 적합한 알고리즘으로 Griffiths' 알고리즘과 LCCMA(Linearly Constrained Constant Modulus Algorithm)에 제안되었으며 MMSE 검파기에 적합한 다중-사용자 알고리즘인 MOE 알고리즘 또한 제안되었다.

본 논문은 training sequence의 요구 없이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 이 세 가지 Blind 적합 알고리즘을 가지고 간섭 사용자의 수나 원하는 사용자의 데이터 업데이트율에 따라 각각의 알고리즘별 성능을 비교 분석하였다.

시뮬레이션 결과 간섭 사용자수와 원하는 사용자의 업데이트율의 변화에 따라 모두 LCCMA 알고리즘이 뛰어난 성능을 보였다. Blind 적용은 하나의 training sequence의 필요성을 없앴으로써 더욱 융통성 있는 네트워크 디자인을 가능케 했다.

ABSTRACT

Griffith's and LCCMA which are Single-user detection adaptive algorithm are proposed for mitigate MAI(multiple access interference) and the near-far problem in direct-sequence spread-spectrum CDMA system and MOE Algorithm is proposed for MMSE(Minimum Mean-Square Error).

This paper pertains to three types of Blind adaptive algorithms which can upgrade system functionality without the requirements from training sequence. It goes further to compare and analyze the functionalities of the algorithms as per number of interfering users or data update rate of the users.

The simulation results was that LCCMA algorithm was superior to other algorithms in both areas. Blind application enabled a more flexible network design by eliminating the necessity of training sequence.

1. 서론

기존 수신기의 문제(Bit-error-Rate이 원하는 사용자의 수신된 에너지의 차이에 매우 민감해서 확실한 복조는 엄격한 power control의 예비운용 없이는 불

가능)를 해결하기 위한 방법으로 다중 사용자 검파와 단일 사용자 검파 기술이 있다. 근거리·원거리 문제는 CDMA 방식이 기본적으로 간섭에 의해서 채널

* 정희원 : 광운대 일반대학원 전자공학(박사) 재학

** 정희원 : 현대정보기술 연구원

논문접수 : 2001. 5. 9.

심사완료 : 2001. 5. 26.

용량이 결정되는 시스템이기 때문에 발생하는 것으로 전자파의 전파 특성이 CDMA 방식의 채널 용량에 영향을 주게 되어 나타나는 CDMA 방식의 고유한 문제이다. 비동기 다중 액세스 가우시안 채널에 대한 최적의 단일, 다중 사용자 검파기는 채널에서 다른 간섭의 존재를 판단하는 더욱 정교한 수신기에 의해 발전된 기존의 CDMA 수신기에 의해서 제공되는 near-far 문제를 통해 얻어질 수 있다.[1]

이 수신기는 다음을 필요로 한다.

- (1) 원하는 사용자 신호의 웨이브 형태
- (2) 간섭하는 사용자들의 웨이브 형태
- (3) 원하는 사용자의 타이밍(bit-epoch와 carrier 위상)
- (4) 간섭 사용자들 각각의 타이밍(bit-epoch와 carrier 위상)
- (5) 간섭하는 사용자들(원하는 사용자와 대응하는)의 수신되는 진폭

기존의 수신기는 단지 (1)과 (3)을 요구했으나 그것은 near-far 문제에 의해서 엄격히 제한되고 비록 완벽한 power control이 존재해도 그것의 bit-error-rate는 최상의 성능으로부터 멀어진다. 단일 사용자 검파기는 혼잡 거부를 수행하고 원근 문제에 대한 해결책은 기존의 수신기보다 더 큰 용량과 더 좋은 BER을 성취한다. 알고리즘은 일반적으로 방향성있게 이끌어지는 sequence를 가져야만 하도록 제한하고 NLMS(Normalized Least Mean Square)와 LMS(Least Mean Square) 그리고 [3]알고리즘의 RLS(Recursive

Least Square)를 이용한다.

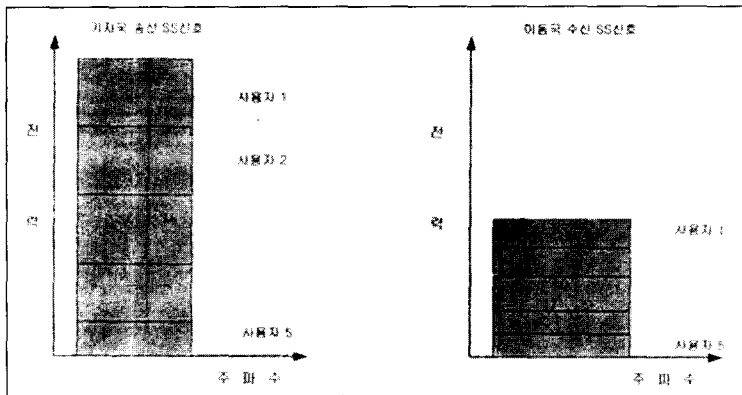
본 논문에서는 Griffiths' 알고리즘, LCCMA, MOE 등 세 알고리즘 모두 DSSS-CDMA 시스템 검파 영역에서 보지 못한 세 개의 blind 적합 알고리즘별 성능을 비교·분석하였다. 시뮬레이션 결과는 세 개의 blind 적합 알고리즘별 간섭 사용자수와 데이터 업데이트율에 따른 시스템 성능에 따른 결과를 나타내고 있다.

2. DSSS-CDMA System

2.1 순방향 링크 방식

전력 제어는 이상적으로는 순방향에서는 필요하지 않다. 왜냐하면 기지국이 동일한 무선 주파수로 모든 채널의 동기를 맞추어서 송신하기 때문이다. [그림 1]에서 보듯이 단일 열 잡음 및 배경 잡음이 매우 적다면 모든 사용자들이 동시에 페이딩을 받고 합성된 신호가 이동국으로 수신된다. 그러나 실제로는 특정 이동국이 간섭원에 매우 근접하여 배경 잡음이 매우 크든지 또는 거리에 따른 감쇠가 심하여 수신된 신호가 열 잡음 정도로 작게 될 수 있다. 그러므로 순방향 전력 제어는 필요하다. 일반적으로 순방향에 대한 전력 제어 요구는 역방향에 비하여 그다지 엄격하지 않다.

IS-95 표준 규격에는 이동국이 순방향 링크의 품질을 기지국에 보고하도록 되어있다. 이동국은 순방향 프레임 오류를 계속하여 측정하고 있다가, 전력 측정



[그림 1] 합성된 확산 신호의 페이딩

[Fig. 1] Fading of convex spread signal

보고 메시지(PMRM ; Power Measurement Report Message)라고 하는 메시지로 기지국에 보고한다. 이 메시지는 다음과 같은 두 가지 방법으로 보고한다. 첫 번째로 이동국은 주기적으로 전력 측정 보고 메시지를 전송한다. 두 번째 방법으로 이동국은 프레임 오류율이 임계치를 넘을 때만 보고하는 방법이 있다. 기지국은 순방향 링크의 품질을 파악한 후 해당 이동국으로 보내는 송신 전력을 조정한다. 정확한 전력 할당 알고리즘은 역시 각 제조사에 따라 다르다.

2.2 역방향 링크 방식

전력 제어에서 가장 먼저 해결해야 할 문제는 이동국의 초기 송신 전력이다. 이동국이 기지국과 통화를 설정하기 전에는 기지국으로부터 전력 제어를 받지 않는다. 그러므로 이동국이 처음으로 기지국을 액세스할 때 이동국은 초기에 어떤 전력 레벨을 송신할까 하는 문제가 생긴다.

이때 기지국은 이동국과 연결이 되지 않았고 또한 이동국의 위치도 파악하지 못하고 있다. 이동국이 초기에 기지국을 액세스할 때에는 2가지 방법이 있는데 첫 번째로 이동국이 매우 큰 전력을 기지국으로 송신하는 경우이다. 이동국이 큰 전력으로 송신하면 기지국은 이동국의 액세스를 수신할 확률이 매우 커지게 된다. 그러나 이동국이 송신하는 액세스 초기의 큰 전력은 현재 기지국과 통화하고 있는 다른 사용자에게 간섭을 발생시키게 된다. 두 번째 방법은 이

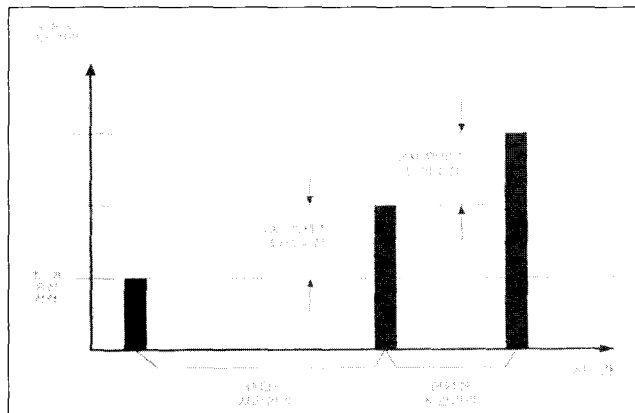
동국이 기지국으로 적은 전력을 송신함으로써 기지국을 액세스하는 방법이 있다. 적은 전력을 송신하면 기지국이 이동국의 액세스 요청을 수신할 확률은 낮아진다. 그러나 이동국의 송신 전력은 다른 사용자들에게 큰 간섭을 발생시키지는 않는다.

이동국이 기지국에 처음 액세스를 요청할 때의 방법이 IS-95 표준 규격에 규정되어 있는데 연속적인 액세스 탐색(Access probe)을 하게 된다. 액세스 탐색이라 함은 점진적으로 높은 전력을 송신하는 방법이다. 이동국은 처음에는 비교적 낮은 전력으로 액세스 탐색을 한 후 기지국으로부터의 응답을 기다린다. 만일 이동국이 랜덤한 기간동안 기지국으로부터의 응답을 받지 않으면 이동국은 조금 더 높은 전력으로 두 번째 액세스 탐색을 시도한다. 현재 액세스 탐색시의 전력과 이전 액세스 탐색시의 전력의 차이는 탐색 수정(Access probe correction)이라고 부르며 [그림 2]에 나타내었다.

표준 규격에는 이동국의 초기 전송 전력을 예측하기 위하여 기지국으로부터 수신한 전력 레벨을 사용해야 한다는 것을 규정해 놓고 있다.

2.3 PN(Pseudo random Noise) 코드

앞에서 살펴본 바와 같이 CDMA 방식이 사용하는 대역 확산 통신 방식은 확산 코드로 완전 잡음과 같은 신호를 확산 신호로 사용해야 한다. 그러나 단지 잡음과 같은 확산 코드로는 각 가입자마다 서로



[그림 2] 역방향 시스템 액세스 탐색

[Fig. 2] Access probe of reverse system

다른 코드를 사용해야 하므로 다중 접속 방식으로 적절하지 않다. 따라서 IS-95 방식에서는 순방향 채널에 대해서는 직교 확산 방식을 사용한다. IS-95 방식에서는 순방향 채널에 대해서는 직교 확산 방식을 사용한다. IS-95 방식에서 사용하는 코드는 3가지를 사용한다.

첫 번째 코드로는 순방향 채널에서 이동국이 기지국이 송신하는 각 채널을 구분하기 위해 사용하는 직교 확산 코드인 Walsh 함수가 있다. 두 번째로는 역방향 채널에 사용하는, 즉 기지국이 각 가입자를 구별하는데 사용하는 긴 코드(Long Code)가 있고 세 번째로는 이동국이 각 기지국을 구별하는데 사용하는, 즉 기지국이 사용하는 짧은 코드(Short Code)가 있다.

IS-95 방식에서 사용하는 Walsh 함수는 64비트로 구성되어 64개 종류가 있다. 이를 W1, W2, W3, ...로 구분한다. Walsh 함수는 서로 다른 코드를 곱하면(Exclusive OR), 0(또는 -1)과 1이 섞여서 나오고 이를 모두 평균하면 0 이 되도록 되어 있고, 같은 코드를 곱하면 모두 1이 나와서 확산 신호에 숨어 있는 데이터를 복구할 수 있게 된다.

짧은 코드는 기지국에서 사용하는 215 길이를 가지는 PN 코드이다. 만일 기지국마다 다른 PN 코드를 사용하면 이동국이 기지국의 PN 코드를 일일이 재생하거나 모두 기억하기가 곤란하므로 이동국이 기지국에 쉽게 접근할 수 있도록 하기 위하여 기지국에 사용하는 PN 코드는 모두 같은 코드를 사용한다. 현재 IS-95 방식에서는 이 PN 코드를 각 기지국마다 발생하여 전송하는데 각 기지국은 동일한 코드를 사용하지만 서로를 구별하기 위해 기지국마다 일정한 간격으로 time shift 되어 발생시킨다. 즉, 이동국에서는 각 기지국에서 오는 이 time shift를 가지고 각각의 기지국을 구별한다. 이로서 이동국은 모든 위상에 대해서 한 번의 검색을 가장 유력한 기지국과 시스템 동기를 맞출 수 있다.

현재 기지국용 PN 코드의 길이는 215 주기를 가지고 있으며 이 215 주기가 Walsh 코드마다 시간 오프셋을 가져야 하므로 $215/64=512$ 하여 시간 오프셋은 512개가 존재한다. 이 512개의 시간 오프셋을 각 기지국마다 적당히 분배해야 하는데 인접 기지국과의 시간 오프셋 간섭을 고려하여 분배 간격을 설정해야 한다. 이 분배 간격(PILOT-INC)은 기지국 사

이의 거리, pilot 신호를 검출하기 위한 C/I 값, 경로 손실등에 의해서 결정되며 대개 10~12 사이의 값을 가진다. 따라서 실제로 인접 기지국에 분배할 수 있는 시간 오프셋 수는 41~52개 정도이므로 이를 각각 기지국에 주파수 채널 할당과 비슷한 방법으로 적절히 할당해야 한다.

각 단말기용 PN 코드는 단말기 장치 번호를 이용하여 242-1의 주기를 가진다. 이 주기는 약 41.125일로 매우 긴 주기를 가지고 있다. 이 Long 코드를 이용하여 각 이동국마다 비화 특성을 얻을 수 있다.

2.4 전력 제어

전력 제어는 CDMA 시스템의 원만한 운용을 위해서 필수 불가결하다. CDMA 시스템의 모든 사용자들에게는 불규칙한 잡음과 같이 보이는 PN 코드를 각각 사용할 뿐만 아니라 동일한 무선 주파수를 사용한다. 그러므로 각 사용자의 전력은 동일한 주파수를 사용하는 타 사용자에게 불필요한 간섭을 주지 않도록 매우 주의하여 조정되어야 한다. CDMA에서 전력 제어의 중요성을 설명하기 위하여 동일한 셀내에 2개의 사용자가 있다고 가정하자. CDMA에서는 역방향 링크가 시스템의 용량을 좌우하므로 역방향 링크에 대하여 고려하자. 사용자2는 사용자1보다 기지국에 더 가까이 있다고 가정하자. 만일 전력 제어를 하지 않는다면 두 사용자는 각각 고정된 송신 전력 P를 송신할 것이다. 그러나 기지국과의 거리가 각각 다르기 때문에 사용자2로부터 기지국이 수신한 전력 P_2 는 사용자1로부터 수신한 전력 P_1 보다 훨씬 클 것이다. 떨어진 거리가 달라서 P_2 가 P_1 의 10배가 된다고 가정하면 사용자1은 매우 불리할 것이다. 만일 필요한 신호 대 잡음비(S/N)가 1/10이라면 두 사용자의 SNR값이 매우 다르다는 것을 직감적으로 알 수 있다. 만일 셀내에 P의 송신 전력을 갖는 새로운 사용자를 첨가한다면 새로운 사용자의 신호 대 잡음비는 필요로 하는 신호 대 잡음비에 도달하지 못할 것이다. 더욱이 새로운 사용자를 시스템에 첨가하였을 때 새로운 사용자는 필요로 하는 신호 대 잡음비에 도달하지 못할 뿐만 아니라 사용자2의 신호 대 잡음비를 필요로 하는 신호 대 잡음비 이하로 떨어뜨리게 된다. 전력 제어는 원근 문제를 해결할 뿐만 아니라 용량을 최대화한다.

3. Blind 적합 Algorithms

$$W(m+1) = W(m) + \mu (s_1^* \cdot r^*(m) y_1(m)) \quad (5)$$

$$W(0) = S_1 \quad (6)$$

3.1 Griffiths' Algorithm

Griffiths' 알고리즘의 유도는 LMS(Least Mean Square) 알고리즘과 유사하다.[9] 두 알고리즘은 주어진 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기준에 가장 부합되는 시스템 알고리즘이다.

$$W(m+1) = W(m) + \mu (p - RW(m)) \quad (1)$$

R이 입력 신호 벡터의 상관 관계 행렬일 때

$$R = E[r^*(m)r^T(m)] \quad (2)$$

그리고 P는 입력 벡터와 원하는 출력 사이의 cross 상관 관계이다.

$$P = E[r^*(m)d_1(m)] \quad (3)$$

LMS 알고리즘이 R과 P에 대해 순간적인 추측에 사용되어 지는데 반하여 Griffiths' 알고리즘은 Cross 상관 관계 벡터 P가 알려져 있는 것으로 가정한다. 그 결과는 어떤 training sequence가 적용에 대해 요구되어지지 않는 것이다. 이러한 알고리즘이 blind 알고리즘이다.

선형적인 경우에 Cross 상관 관계 벡터 P는 원하는 사용자에 대한 켈레의 유도되는 벡터와 같고 DSSS-CDMA 단일 사용자 검파의 경우에 벡터 P는 다음에서 유도하는 것처럼 켈레의 원하는 사용자의 확장 코드와 같다.

그 유도는 복조된 데이터 symbol $d_1(m)$ 이 간섭 혹은 배경 잡음과 관계가 없다는 사실에 기반을 두고 있다. 상관 관계 행렬 R에 대해 순간적인 판단을 가정할 때,

$$R = r^*(m)r^T(m) \quad (4)$$

그리고 P에 대해 유도된 값, Griffiths' 알고리즘은 DSSS-CDMA 단일 사용자 알고리즘에 적합한 것은 다음과 같다.

3.2 LCCMA Algorithm

LCCMA는 CMA(Constant Modulus Algorithm)로부터 유도된다. 그 CMA는 변조된 신호의 일정한 전력의 하락에 따른 하나의 손실 함수를 최소화한다.

하나의 Training sequence 대신에 이 알고리즘은 상수 로그 계수 특성과 이 특성의 유지/복귀를 위하여 필터를 적합시키는데 사용된다.

CM(Constant Modulus) 손실 함수는 다음과 같다.

$$CM = 1/4 E [(|y_1(m)|^2 - \delta^2)^2] \quad (7)$$

$\delta=1$ 이라 가정하고 δ 는 원하는 사용자의 수신 신호 전력에 대한 기대 혹은 추측값일 때 그 CMA Weight Update은 다음과 같다.

$$W(m+1) = W(m) - \mu (|y_1(m)|^2 - 1)r^*(m)y_1(m) \quad (8)$$

CMA의 손실은 원하는 신호와의 다른 하나의 constant modulus 신호를 얻을지 모르는 것이다. CM 손실함수로부터 막을 수 있는 문제는 하나의 유일한 최소를 가지고 있지 않고 이것은 어떤 constant modulus 필터 출력에 대해 최소화할 것이다.

하나의 CDMA 시스템안에 모든 MAI 신호가 BPSK로 변조되고 하나의 constant modulus를 가지기 때문에 CMA를 이용한 하나의 잡음 대신 그리고 원하는 사용자의 신호 검파에 대해서 실패할지도 모른다.

LCCMA는 선형성을 실행하는 적합한 Antenna 배열의 경우에 CMA의 동작 관리에 대한 방법으로 제안되었다.[11]

beamforming과 유사성을 사용함에 의해 DSSS-CDMA 단일 사용자 검파에 적용할 수 있다. LCCMA 적용의 경우에 weight 벡터는 선형적 제약의 하나의 집합안에 있다.

$$C^H W = f \quad (9)$$

C가 $N_p \times L$ 차원의 일정한 행렬일 때, f가 하나의 길이 L의 열 벡터 상수이고, L은 선상의 제약의 숫자이고, $L < N_p$ 이다.

CM 손실 함수를 최소화함의 강요되는 문제는 GSC(Generalized Sidelobe Canceller)로 알려진 전체의 프로그램의 사용에 의해서 자유로운 최소의 그 전체의 프로그램을 강요되는 요소와 자유로운 요소로 weight vector를 분할하고, 다음과 같다.

$$W = W_q - W_{wa} \tag{10}$$

W_q 는 weight 벡터의 강요되는 고정되는 고정된 부분이고, 다음과 같다.

$$W_q = C(C^H C)^{-1} f \tag{11}$$

그리고 W_a 는 $N_p \times L$ 길이의 적합한 부분이다. 약분된 행렬 W는 그것의 열이 의미없는 부분 C의 왼쪽에 놓여야 한다.

$$C^H W = 0 \tag{12}$$

그리고 이것의 범위는 $N_p \times (N_p - L)$ 이다. 이것은 [11]에서 볼 수 있고 (11)과 (12)에서 주어진 W_q 와 W는 (9)의 직선상의 제약을 만족한다. 이것은 또한 (9)식이 W_q 의 어떤 선택의 범위에 대해서 만족함을 보이고, 이것은 weight 벡터의 적합한 부분의 자유롭다는 것을 의미한다. DSSS-CDMA 단일 사용자 검파에 대해 선형적 강제의 정확한 선택은 유일한 이득 그리고 가치없는 잡음 신호들을 가지고 원하는 사용자의 신호를 지나칠지 모른다.

제약된 수 L은 사용자의 수 K와 동일한 것이다. 간섭의 확장 코드는 알려지지 않았기 때문에, 단지 처음 제약은 주어진 식을 사용할 수 있다.

$$S_1^* W = \|S_1\|^2 = 1 \tag{13}$$

이것은 원하는 사용자의 확장 waveform이 단일 에너지를 가지기 위해 정상상태로 돌아간다고 가정한다. (13)식에 주어진 제약은

$$W = S_1 + W_{adapt} \text{ where } S_1^* W_{adapt} = 0 \tag{14}$$

선형적-제약 최소 출력 에너지 적용에 대한[12]에서 사용한 제약과 동등하다. 이것은 단허진 제약 weight 벡터가 원하는 사용자의 신호의 검파에 원인이 되는 하나의 성분을 가지도록 강요하고, 하나의 성분은 간섭의 거부하는 원인이 되는 것과 직교성이었다.

이것은 원하는 신호 대신에 하나의 간섭을 얻는 필터에 대해 불가능하다. $C = S_1$, $f = 1$, 그리고 $L = 1$ 일 때 (13)식의 제약은 (9)식 형식의 행렬로 쓸 수 있다. (11)에 근거하여, weight 벡터의 제약 부분은 $W_g = S_1$ 이고, W_a 는 (14)와 일치하는 원하는 사용자의 확장 코드와 같다.

환산 행렬 W는 다음을 선택한다.

$$W = [e_1, e_2, \dots, e_{N_p-1}] \tag{15}$$

e_1 은 $N_p \times N_p$ 의 영역에서 다음과 같이 주어지는 행렬 A의 zero eigenvalue에 대응하는 1번째 eigenvector이다. 환산 행렬 W에 대한 하나의 선택은 (12) 조건을 만족한다.

LCCMA는 그 때 다음과 같다.

$$W_a(0) = [00 \dots 0] \tag{16}$$

$$W(m) = S_1 - W_{wa}(m) \tag{17}$$

$$y_1 = W^T r(w) \tag{18}$$

$$r_a(m) = W_r(m) \tag{19}$$

$$W_a(m+1) = W_a(m) + \mu (|y_1(m)|^2 - 1) r_a^*(m) y_1(m) \tag{20}$$

3.3 MOE Algorithm

논문에서는 평균 출력 에너지를 최소화한(모든 x_1 과 s_1 이 직교성을 갖는다고 하고) 기준의 형식 $x_1 + s_1$ 에서 선형적 검파기를 고려한다.

$$y(t) = \sum A_k b_k s_k(t) + \sigma n(t) \quad t \in [0, T] \tag{21}$$

$$E[(\langle y, s_1 + x_1 \rangle)^2] \tag{22}$$

입력 y가 식(21)에 의해 주어졌을 때 앞에 서술한 "출력 에너지"는 [13]에서 연구가 계속된다. 그러므로 우리는 연관 출력 waveform인 $y(t)c_1(t)$ 의 에너지보다 시간 T에서 연관 출력의 에너지를 알아봄에 주의하자.

다른 방법으로 출력 에너지가 $c_1=0$ 에서 평범하게 최소화되는 기준의 형식을 가진 검파기를 제한하는 것이 중요함을 주의하라.

[13]에서 접근한 고정된 최소 출력 에너지로부터 전술한 동기는 제외하고 우리는 기준 선형 검파기의 최소화하는 출력 에너지가 알 수 있게 접근할 것이라는 것을 인식함을 기대할 수 있다.

이것은 출력에서 에너지가 원하는 신호가 알 수 있는 x_1 의 범위에서 간섭하는 에너지(잡음에 다중 액세스 혼잡을 가진 배경)가 원하는 신호 양의 에너지 함으로 사용되어질 수 있기 때문이다. 즉, 중요 동기는 최소 출력 에너지를 가진 기준의 선형 검파기가 대부분 평범한 인식을 보일 때 MMSE 검파기이다.

$$\langle x, y \rangle = \int_0^T x(t)y(t)dt \quad (23)$$

제안1 : 식(23)의 기준 형식에서 사용자1에 대하여 하나의 선형 다중 사용자 검파기를 고려하자. MOE(Mean-Output-Energy)를 각각 표시하면

$$MOE(x_1) = E[\langle y, s_1+x_1 \rangle^2] \quad (24)$$

$$MSE(x_1) = E[\langle A_1 b_1 - \langle y, s_1+x_1 \rangle \rangle^2] \quad (25)$$

$$MSE(x_1) = MOE(x_1) - A_1^2 \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \text{증명} : MSE(x_1) &= A_1^2 + MOE(x_1) \\ &\quad - 2 A_1^2 \langle s_1, s_1+x_1 \rangle \end{aligned} \quad (27)$$

그리고 그 사실로부터 얻어지는 결과 s_1 은 x_1 과 직교하고 단일 에너지를 갖는다. 제안1을 얻기 위해서 우리가 식(21)에서 간섭의 구조를 이용하지 않았음을 주의하라. 이것은 원하는 신호와 상관없다고 주장하기에 충분하다.

MSE 그리고 출력 에너지를 간단히 보면 검파의 적합한 수단을 위해 결론의 수단을 가진 선형적 검파기의 기준 서술의 형태에서 하나의 상수에 의해서 달라진다. 두 함수의 최소화에 대한 논쟁은 같은 것이다.

이 방법들은 (MMSE의 기준에 대조되는) MSE의 최소화에 대하여 하나의 하락 경사 알고리즘을 위하여 데이터를 알 필요가 없다. 이것은 training sequence의 사용을 회피하고 blind 적용 방법을 이끈다. 또한 내부 심벌간에 좌우되는 단일 사용자 채널의 MMSE 균등에서 training sequence에 대한 필요성을 제거할

수 있는 것은 s_1 의 대응하는 것이 알려지지 않은 채널의 impulse 응답이기 때문에 부정적이다.

MOE(x_1) 함수가 s_1 과 직교하는 신호의 set에 정확히 일치함을 쉽게 볼 수 있다.

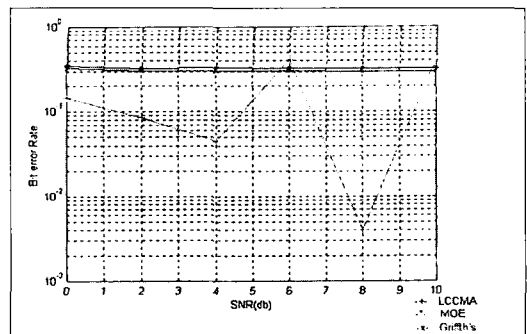
$$\begin{aligned} MOE(a x_1 + (1-a) x_2) &= a MOE(x_1) \\ &\quad + (1-a) MOE(x_2) - a(1-a) E[\langle y, x_1 - x_2 \rangle^2] \\ C_{MMSE} &= WR[RWR + \sigma^2 R]^{-1} = [R + \sigma^2 W]^{-1} \end{aligned} \quad (29)$$

(28)식의 마지막 구간에서 기대치가 $\sigma^2 \|x_1 - x_2\|^2$ 과 같거나 클 때이다. 적용하기 위하여 대부분 원하는 속성을 우리가 식(29)로부터 추정할 수 있을 때 만약 $\sigma > 0$ 이면 MMSE 문제가 항상 발생하기 때문에 최소 출력 에너지 solution은 s_1 이 간섭에 의해서 추정할 경우에 발생한다.

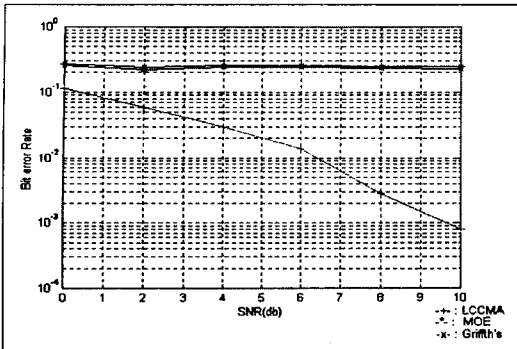
4. 시뮬레이션

4.1 원하는 사용자의 업데이트율에 따른 시뮬레이션

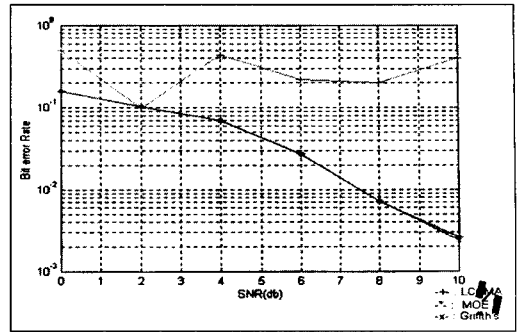
본 논문에서 시뮬레이션은 AWGN 채널하에 원하는 사용자가 한명이며 간섭 사용자의 파워 레벨이 7db인 조건하에 시뮬레이션 되었다. AWGN 채널하에 원하는 사용자가 한명이라고 가정했을 때 원하는 사용자의 업데이트율(mu)을 변화시켜가며 시뮬레이션한 결과는 다음과 같다.



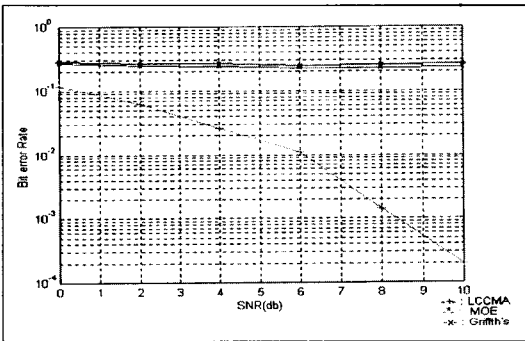
[그림 3] 업데이트율 0.000008
[Fig. 3] Update rate 0.000008



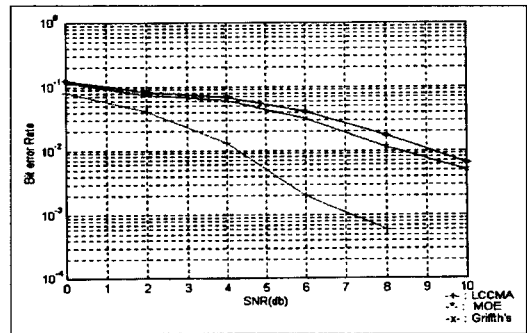
[그림 4] 업데이트율 0.000009
[Fig. 4] Update rate 0.000009



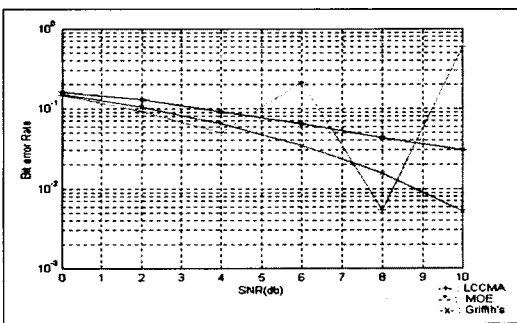
[그림 7] 업데이트율 0.00005
[Fig. 7] Update rate 0.00005



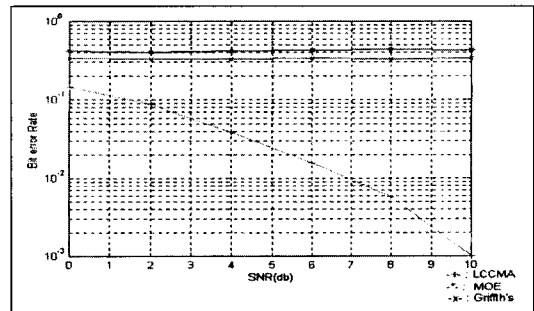
[그림 5] 업데이트율 0.00001
[Fig. 5] Update rate 0.00001



[그림 8] 간섭 사용자수 2인 경우
[Fig. 8] 2 number of interference user

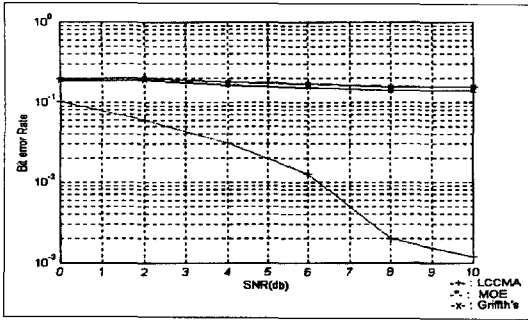


[그림 6] 업데이트율 0.00003
[Fig. 6] Update rate 0.00003

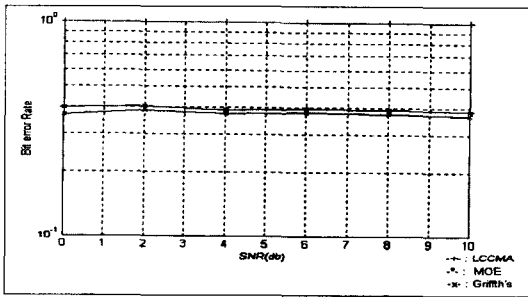


[그림 9] 간섭 사용자수 5인 경우
[Fig. 9] 5 number of interference user

4.2 간섭하는 사용자의 변화에 따른 시뮬레이션



[그림 10] 간섭 사용자수 11인 경우
[Fig. 10] 11 number of interference user



[그림 11] 간섭 사용자수 14인 경우
[Fig. 11] 14 number of interference user

5. 결론

시뮬레이션 결과 원하는 사용자가 한 명이라고 가정했을 때 원하는 사용자의 업데이트율에 따른 시뮬레이션에서 업데이트율이 0.000009~0.00001인 사이에서는 LCCMA 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여주며 MOE와 Griffith's 알고리즘은 모든 변화율에서 서로 비슷한 성능을 보였다.

또한 간섭하는 사용자의 변화에 따른 시뮬레이션은 간섭 사용자의 수가 10명을 넘지 않는 조건하에서는 LCCMA 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보여준다. 간섭 사용자수의 변화에 따른 시뮬레이션에서도 MOE, Griffith's 두 알고리즘은 비슷한 성능을 보인다. 간섭 사용자의 수가 14명인 시뮬레이션에서 볼 수 있듯이 10명을 넘어서면 LCCMA 알고리즘은 수렴하여 원하는 사용자를 검파하지 못함을 볼 수 있다.

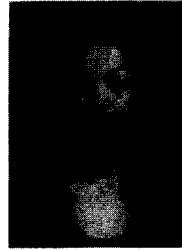
따라서 업데이트율이 0.00001을 넘을 때 간섭 사용자의 수가 10명을 넘는 조건하에서도 우수한 성능을 유지할 수 있는 세 알고리즘의 적절한 조화를 이룬 알고리즘의 제시가 필요하다.

※ 참고문헌

- [1] S. Verdu', "Adaptive Multiuser Detection", Proc. IEEE 3rd International Symposium on Spread Spectrum Technique and Applications, Vol. 1, pp.43-50, 1994.
- [2] U. Madhow, M. L. Honig, "MMSE Interference Suppression for Direct-Sequence Spread-Spectrum CDMA", IEEE Transactions on Communications, Vol. 42, No. 12, pp.1339-1343, December. 1994.
- [3] P. Monogioudis, R. Trafazolli, B. G. Evans, "Autonomous CDMA Multipath Spectrum Techniques and Applications, Vol. 2, pp.430-434, 1994.
- [4] V. Aue, J. H. Read, "An Interference Robust CDMA Demodulator that User Spectral Correlation Properties", IEEE Vehicular Technology Conference, pp.563-567. 1994.
- [5] R. T. Compton, Adaptive Antennas: Concepts and Performance, Prentice Hall, New Jersey, 1988.
- [6] J. R. Treichler, "Adaptive Algorithms that Restore Signal Properties", IEEE Proceedings of the Int. Conf. on ASSP, 1984.
- [7] M. Abdularahman, A. U. H. Sheikh, D. D. Falconer, "decision Feedback Equalization for CDMA in Indoor Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 12, No. 4, pp.698-706, May. 1994.
- [8] S. Verdu', "Minimum probability of error for asynchronous gaussian multiple access channels", IEEE Trans, Inform. theory. Vol. IT-32, pp.85-96, Jan. 1986.

- [9] J. R. Treichler, C. R. Johnson, Jr., M. G. Larimore, Theory and Design of Adaptive Filters, John Wiley & Sons, 1987.
- [10] R. Lupas and S. Verdu', "Linear multiuser detectors for synchronous channels", IEEE Trans, Inform. Theory. Vol. 35, pp.123-136, Jan. 1989.
- [11] M. J. Rude, L. J. Griffiths, "Incorporation of Linear Constraints into the Constant Modulus Algorithm ", IEEE Proceedings of the Int. Conf. on ASSP, pp.968-971, 1989.
- [12] M. L. Honig, U. Madhow, S. Verdu', "Blind Adaptive Interference Suppression for Near-Far Resistant CDMA", Proc. IEEE GLOBECOM, pp.379-384, December 1994.
- [13] S. Verdu', B. D. O. Anderson, and R. Kennedy, "Blind equalization without gain identification", IEEE Trans, Inform. Theory, Vol. 39. pp.292-297, 1993.
- [14] M. L. Honig, "Orthogonally anchored interference suppression using the Sato cost criterion", in 1995 IEEE Int. Symp, on Information theory, to be published.
- [15] M. L. Honig, and D. G. Messerschmitt, Adaptive Filters: Structures, Algorithms and Applications. Boston, MA: Kluwer. 1984.

조미령



1997년 2월 방송통신대(독학사)
전자계산학 학위 취득
1997년 8월~1999년 8월
광운대 일반대학원 전자공학
(석사) 졸업
2000년 3월 광운대 일반대학원
전자공학(박사) 재학

윤석하



1992년 3월~1998년 2월
순천향대학교(전자공학과)
1998년 8월~2000년 8월
광운대학교 대학원
(전자공학과)
2000년 9월 현대정보기술
연구원