

다중 사용자 신호 검출을 위한 여러 개의 적응 상수를 사용한 적응 최소 평균 자승 알고리즘에 관한 연구

학생회원 최 병 구*, 정회원 박 용 완*

The Adaptive Least Mean Square Algorithm Using Several Step Size for Multiuser Detection

Byung-Goo Choi* *Student member*, Yong-Wan Park* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는, 적응 간섭 제거기(AIC : adaptive interference canceller)에 사용되는 적응 알고리즘 중 계산량이 적고, 하드웨어적 복잡성이 낮은 최소 평균 자승(LMS)알고리즘의 적응화 상수(constant step size)를 여러 개 사용하여 빠른 수렴 속도와 낮은 평균 자승 에러를 가지는 방법을 제안한다. 최소 평균 자승 알고리즘에서 적응화 상수는 수렴속도와 평균 자승 에러를 제어하는데, 적응화 상수가 증가할수록 수렴속도가 빨라지는 반면, 평균 자승 에러는 증가하게 된다. 이 논문에서는 수렴속도를 증가하는 동시에 평균 자승 에러를 줄이기 위해, 최소 평균 자승 알고리즘에서 세개의 적응화 상수를 가지는 새로운 검출기를 제안한다. 이 구조에서, 매 반복횟수에 따른 각 그룹 출력 값들을 가지고, 선택(selection)부분에서 평균 자승 에러들을 비교하며, 가장 작은 평균 자승 에러를 나타내는 그룹의 에러 값과 필터 계수 값들이 선택되어져 여러 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘(several step size LMS algorithm)부분에서 각 그룹의 필터 계수를 갱신하는데 필요한 정보로 이용된다.

ABSTRACT

In this paper, we introduce an LMS algorithm with a modified step size for adaptive filtering. An adaptive feedback constant step size in the LMS algorithm controls the convergence rate of the filter coefficients and determines the final mean-square error. Since convergence time is inversely proportional to step size, a large step size is generally selected for fast convergence. This selection, however, results in increase of mean square error. The proposed detector uses the LMS algorithms with three different step size to reduce mean square error and to obtain fast convergence. In this structure, square errors obtained from each group are compared, and the minimum square error is applied to the selection block. In LMS algorithm, filter coefficients for each group are upgraded using the output information of the corresponding selection block.

1. 서 론

FDMA, TDMA 무선접속방식보다 훨씬 많은 용량을 가지고 있는 DS/CDMA(Direct Sequence-Code Division Multiple Access) 통신방식은 멀티미디어 이동통신 등에 많이 응용되어지고 있다. 그러나 다중사용자 통신 시스템에서 CDMA 시스템의

용량과 비트 오류 성능은 다중 처리 간섭(Multiple Access Interference :MAI)에 의해서 제한되어지므로 다중 처리 간섭을 감소시키기 위한 방법으로 다중 사용자 검출기가 연구되었다^[1-3].

최적의 다중사용자 수신기(optimum multi user receiver)는 사용자수 k 에 비례하여 시스템 구현의

* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신 연구실(ywpark@ynucc.yeungnam.ac.kr)

논문번호 : 00373-0927, 접수일자 : 2000년 9월 27일

* 이 논문은 2000년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF 98-005-E00019).

복잡도가 2^k 만큼 증가하여 실제적인 구현이 불가능 하였으며^[1], 이 수신기의 복잡도를 극복하기 위해 준 최적의 다중 사용자 수신기(sub-optimal multi user receiver)가 연구되었다^[4-6]. 그러나 이 수신기 들은 사전에 다른 사용자들의 정보 즉 다른 사용자 들의 시간, 코드열, 수신 전력 등을 알고 있어야 하는 단점이 있었으며, 이 단점들을 극복하기 위해서 적응 동화기(adaptive equalizer)에 기초를 둔 적응 화 간섭 제거기(AIC : adaptive interference canceller)에 관한 연구가 수행되었다. 적응 알고리 즘을 이용한 간섭 제거기는 사전에 다른 사용자에 대한 정보(시간, 코드열, 수신 전력)를 가지고 있지 않더라도 적응 알고리즘에 의해 원하는 사용자의 신호를 검출해 낼 수 있다^[7].

적응 알고리즘 중 계산량이 적고, 하드웨어적 복잡성이 낮은 최소 평균 자승 알고리즘이 있으며, 이 최소 평균 자승 알고리즘에서 적응화 상수는 수렴 속도와 최적 평균 자승 에러를 제어한다. 즉 적응화 상수가 증가할수록 수렴속도가 빨라지는 반면, 최적 평균 자승 에러가 증가하게 된다^[8]. 본 논문에서는 수렴속도를 증가하는 동시에 최적 평균 자승 에러를 줄이기 위해, 최소 평균 자승 알고리즘에서 세 개의 적응화 상수를 가지는 새로운 검출기를 제안 한다. 이 구조에서, 매 반복횟수에 따른 각 그룹 출력 값들을 가지고, 선택(selection)부분에서 평균 자 승 에러들을 비교하며, 가장 작은 평균 자승 에러를 나타내는 그룹의 에러 값과 필터 계수 값들이 선택 되어져 여러 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘 (several step size LMS algorithm)부분에서 각 그 룹의 필터 계수를 갱신하는데 필요한 정보로 이용 된다. 이 구조는 하나의 적응화 상수를 사용하는 최소 평균 자승 알고리즘과는 달리 세 개의 적응화 상수를 동시에 이용한다. 즉 같은 정보들(에러값, 필터 계수 값)을 가지는 상황에서 적응화 상수만을 달 리하여 세 개의 다른 필터 계수 값들을 갱신하는 것이다. 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 관계하는 큰, 중간 적응화 상수는 각각 빠른 수렴속도를 위해 이용되는 것이고, 세 번째 그룹에 관계하는 작은 적응화 상수는 작은 평균 자승 에러를 얻기 위해 이 용되는 것이다. 그러므로 수렴 속도가 빨라지는 동 시에 평균 자승 에러가 작아지게 된다.

논문 구성은 II부분에서 최소 평균 자승 알고리즘 에 대해 설명하고, III부분에서 제안 간섭제거기의 구조와 그 특징을 설명한다. IV와 V부분에서는 제 안된 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해

서 수렴 속도와 평균 자승 에러에 대해 다른 알고 리즘과 비교 분석하고 결론을 내린다.

II. 최소 평균 자승 알고리즘

최소 평균 자승 알고리즘은 필터링과정과 적응화 과정의 두 과정으로 이루어진 선형 적응 필터링 알 고리즘이다. 최소 평균 자승 알고리즘의 신호 흐름 도는 그림 1과 같다.

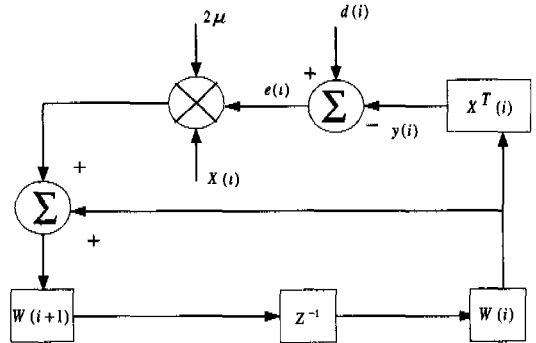


그림 1. 최소 평균 자승 알고리즘 신호 흐름도

그림1에서, 위의 i 번째 유한 임펄스 응답 필터의 출력은 식(1)과 같다.

$$y(i) = X^T(i)W(i) \tag{1}$$

여기서 $W(i)$ 는 필터 계수 벡터, $X(i)$ 는 입력 데이 터 벡터이고, X^T 는 X 의 전치 행렬을 의미한다. 출력 에러 $e(i)$ 는 식 (2)와 같으며

$$e(i) = d(i) - y(i) \tag{2}$$

여기서 $d(i)$ 는 원하는 출력 신호이다. 최소 평균 자승 알고리즘은 식(3)과 같이 나타내어 진다.

$$W(i+1) = W(i) + 2\mu e(i)X(i) \tag{3}$$

여기서 μ 는 적응화 상수이다. 식(3)의 알고리즘이 안정되기 위해서 적응화 상수 값의 범위는

$$0 < \mu < \frac{1}{\lambda} \approx \frac{1}{n \times (\text{signal power})} \tag{4}$$

내에 있어야 하며, 여기서 n 은 필터 계수의 개수가 다^[9].

평균 자승 에러는 스텝 사이즈가 증가 할수록 증가하고, 감소 할수록 작아지는 특성을 가진다. 이 성질은 식(5)와 식(6)에서 보여진다^[10].

$$J = J_{ex} + J_{min} \quad (5)$$

여기서 J 는 평균 자승 에러, J_{min} 은 최적 위너 값 그리고 J_{ex} 는 초과 자승 에러이다.

$$J_{ex} = J_{min} \sum_{i=1}^n \frac{\mu \lambda_i}{2 - \mu \lambda_i} \quad (6)$$

여기서, $\lambda_i, i=1,2,3,\dots,n$ 는 상관 행렬 $R = X^T X$ 의 고유치들이다.

■. 제안 알고리즘의 구조

최소 평균 자승 알고리즘에서 적응화 상수는 수렴속도와 평균 자승 에러를 제어하는데, 적응화 상수가 증가할수록 수렴속도가 빨라지는 반면, 평균 자승 에러가 증가하는 성질을 가진다. 이 논문에서 제안한 간섭제거기는 빠른 수렴 속도를 얻는 동시에 평균 자승 에러를 줄이기위해 세 개의 적응화 상수를 가지는 최소 평균 자승 알고리즘을 사용하며, 그 구조는 그림 2와 같다.

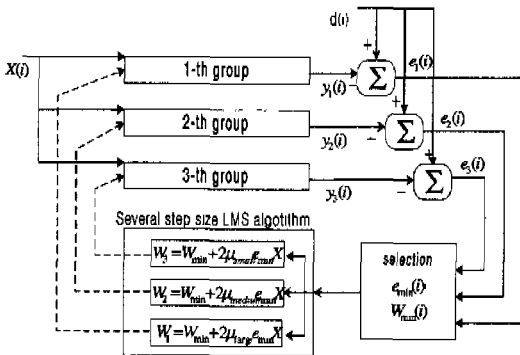


그림 2. 제안 간섭 제거기의 구조

제안 간섭 제거기의 구조 내에서 그룹내 처리는 그림3과 같다.

이 구조에서, 매 반복횟수에 따른 최소 자승 에러를 나타내는 필터 계수 값을 구하기 위해, 각 그룹 출력 값들을 가지고, 선택(selection)부분에서 평균 자승 에러들을 비교한다. 가장 작은 평균 자승 에러를 나타내는 그룹의 에러 값과 필터 계수 값들을 선택하여 여러 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리

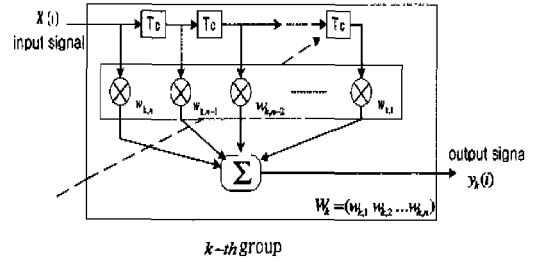


그림 3. 제안 간섭 제거기의 그룹내 처리 (Tc : 칩 주기)

즘(several step size LMS algorithm)부분에서 각 그룹의 필터 계수를 갱신하는데 필요한 정보로 이용한다. 이 구조는 하나의 적응화 상수를 사용하는 최소 평균 자승 알고리즘과는 달리 세 개의 적응화 상수를 동시에 이용한다. 즉 같은 정보들(에러값, 필터 계수 값)을 가지는 상황에서 적응화 상수만을 달리하여 세 개의 다른 필터 계수 값들을 갱신하는 것이다. 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 관계하는 큰(large), 중간(medium) 적응화 상수는 각각 빠른 수렴속도를 위해 이용되는 것이고, 세 번째 그룹에 관계하는 작은(small) 적응화 상수는 작은 평균 자승 에러를 얻기 위해 이용되는 것이다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다. 먼저 각 그룹으로부터 얻어지는 출력 신호와 원하는 출력 신호의 관계로부터 각 그룹의 에러는 식(7)과 같이 구해진다.

$$e_k(i) = d(i) - y_k(i), k=1,2,3 \quad (7)$$

식(7)에서 값의 평균 자승 에러들은 선택(selection)부분에서 비교 되어지고, 그 중에 가장 작은 평균 자승 에러를 나타내는 그룹의 에러값과 필터 계수값들은 여러 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘에서 각 그룹의 필터 계수 값을 갱신하는데 필요한 정보로 이용되며 식(8)과 같이 나타내어진다.

$$W_k(i+1) = W_{min}(i) + 2 \mu_k e_{min}(i) X(i) \quad (8) \quad k=1,2,3$$

여기서 $\mu_{k=1} = \mu_{large}$, $\mu_{k=2} = \mu_{medium}$, 그리고 $\mu_{k=3} = \mu_{small}$ 이다.

위의 식들을 이용해서 제안한 알고리즘을 흐름도로 표현하면 그림4와 같이 나타내어진다.

처음에는 적응화 상수가 높은 쪽의 필터 계수 값으로부터 얻어지는 정보들(에러, 필터 계수값)이 선택되어지지만 반복횟수가 증가함에 따라 작은 적응

화 상수에 의해서 얻어지는 정보들이 선택되어진다. 이러한 방법으로 반복횟수에 따른 평균 자승 에러 값이 구해지므로 수렴 속도가 빨라지는 동시에 평균 자승 에러가 작아지게 된다.

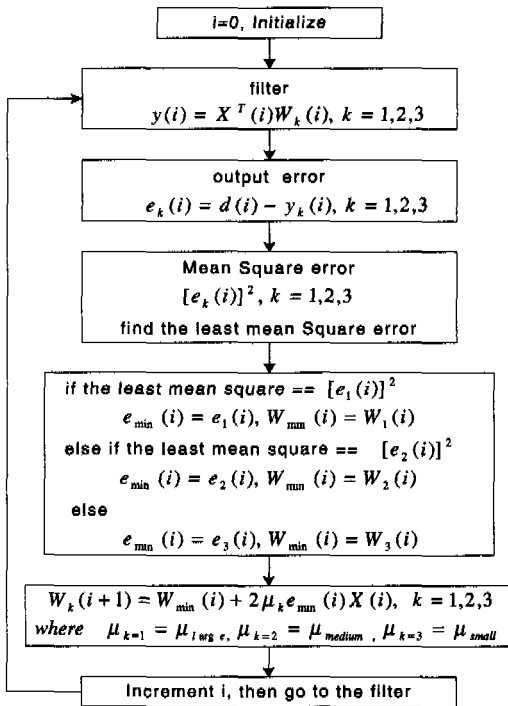


그림 4. 제한 알고리즘의 흐름도

IV. 시뮬레이션

이 부분에서는 제한 시스템과 다른 시스템들 사이의 수렴 속도와 평균 자승 에러(MSE)를 비교한다. 채널환경은 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN)을 사용하였으며, 최대 사용자 수는 28명, 확산 코드가 31인 동기 시스템을 고려한다. 사용자들의 전력은 0dB에서 30dB 사이에 분포를 한다고 가정했으며, 이 알고리즘이 수렴 하기 위한 적응화 상수의 범위는 0에서 0.0012 사이이며, 제한 시스템에서 사용하는 세 개의 적응화 상수는 0.001, 0.0005, 0.0001이다. 제한 시스템의 성능을 비교하기 위해 변하는 적응화 상수 최소 평균 알고리즘(variable step size algorithm)을 이용한다. 변하는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘은 세 개의 그룹으로 구성되며 각 그룹은 다른 적응화 상수값을 가지는 최소 자승 알고리즘으로 이뤄진다. 각 그룹은 독립적으로 실행되어지고 매 반복횟수 마다 구해지는 각 그룹

의 자승에러들은 비교되어져 가장 작은 자승에러를 나타내는 그룹의 자승에러값이 선택되어진다. 각 그룹 내에서 반복횟수에 따른 자승에러는 이전 필터 계수 값과 이후 필터 계수 값으로부터 각각 얻어지는 자승에러들을 더한 것이다. 이 방법은 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 MSE 사이의 성능교환(trade off)의 문제 점을 해결하는 장점을 가지지만 이전, 이후 자승에러를 구해야하는 추가적인 계산 과정이 필요하다^[11].

그림 5는 사용자가 20명일 때 적응화 상수에 따른 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 평균 자승 에러를 비교한다.

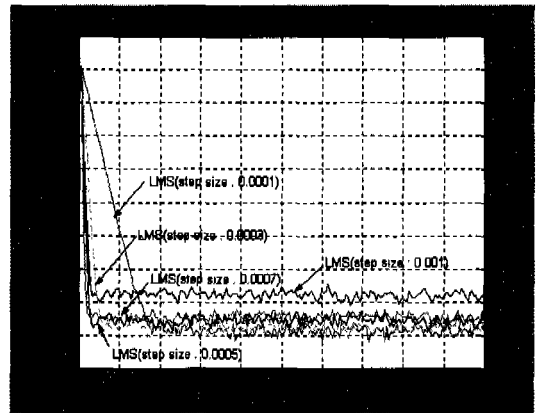


그림 5. 적응화 상수에 따른 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 평균 자승 에러

적응화 상수가 0.001일 때, 수렴 속도가 가장 빨랐지만 평균 자승 에러는 가장 크다. 그리고 적응화 상수가 0.0001일 때, 수렴 속도는 가장 느리지만 평균 자승 에러는 가장 작다.

그림 6에서는 제한 시스템, 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘, 그리고 변하는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 평균 자승 에러를 비교한다. 제한 시스템은 수렴 속도 측면에서 보았을 때 적응화 상수가 0.001인 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 거의 비슷한 수렴 속도를 나타내는 동시에 평균 자승 에러 측면에서 자승 에러가 가장 낮은 적응화 상수가 0.0001인 최소 평균 자승 알고리즘의 값과 비슷하였다. 그리고 변하는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘의 평균 자승 에러와 거의 비슷한 값을 나타내었는데, 수렴속도 면에서는 제한 시스템의 수렴 속도가 변하는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도보다 훨씬 빠름을 알 수 있었다. 그러므로 세 개의 적응

화 상수를 가지는 제안 시스템은 수렴 속도가 빠른 동시에 낮은 평균 자승 에러를 가진다.

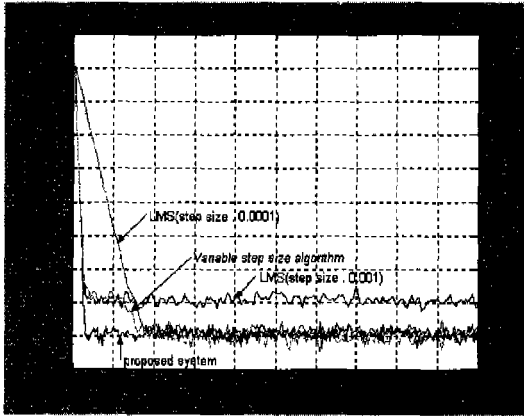


그림 6. 제안 시스템, 적응화 상수에 따른 최소 평균 자승 알고리즘 그리고 변하는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘의 수렴 속도와 평균 자승 에러 비교

표 1에서는 제안 시스템과 다른 시스템들이 수렴 되었을 때, 그때의 시스템들간 평균 자승 에러와 수렴 속도에 대한 비교를 한다. 제안 시스템을 제외하고 표1로부터 수렴 속도와 평균 자승에러 측면 둘 다 고려했을 시, 적응화 상수가 0.0005일 경우가 가장 좋은 특성을 가진다. 하지만 시스템 환경에 따라서 표1의 특성이 변하므로 가장 좋은 특성을 가지는 값을 예측 할 수는 없다.

수렴되는 곳에서 얻어진 필터 계수 값을 가지고, 제안 시스템과 다른 시스템들의 사용자 수에 따른 비트 오류 성능을 그림 7에서 비교한다.

표 1. 제안 시스템과 다른 시스템들의 평균 자승 에러와 수렴 속도에 대한 비교

	Convergence time	MSE(dB)
LMS(0.001)	9	-19
LMS(0.001)	10	-22.5
LMS(0.001)	11	-23
LMS(0.001)	16	-24
LMS(0.001)	50	-24.5
Variable Step size	45	-25
Proposed system	9	-25

적응화 상수가 커질수록 수렴 속도는 빨라지지만 비트 오류 성능은 나빠지게된다. 0.0001 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘을 이용한 시스템, 변하

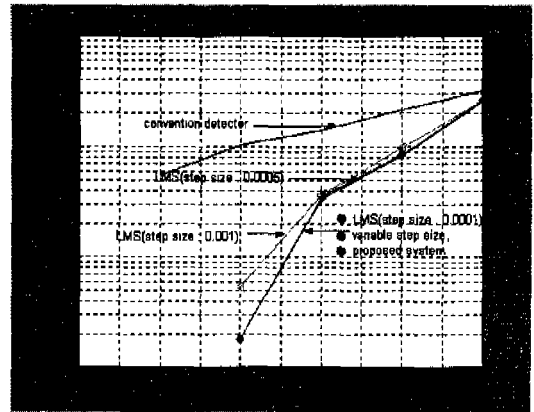


그림 7. 제안 시스템과 다른 시스템들의 사용자 수에 따른 비트 오류 성능 비교

는 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘을 이용한 시스템, 제안 시스템들은 같은 비트 오류성능을 가지지만, 제안 간섭 제거기의 수렴 속도가 가장 빠르다. 이는 표1로부터 알 수 있다.

V. 결론

최소 평균 자승 알고리즘에서 적응화 상수는 수렴속도와 평균 자승 에러를 제어하는데, 적응화 상수가 증가할수록 수렴속도가 빨라지는 반면, 평균 자승 에러가 증가하는 성질을 가진다. 이 논문에서는 수렴속도를 증가하는 동시에 평균 자승 에러를 줄이기 위해, 최소 평균 자승 알고리즘에서 세개의 적응화 상수를 가지는 새로운 검출기를 제안한다. 이 구조에서, 매 반복횟수에 따른 최소 자승 에러를 나타내는 필터 계수 값을 구하기 위해, 각 그룹 출력 값들을 가지고, 선택(selection)부분에서 평균 자승 에러들을 비교한다. 가장 작은 평균 자승 에러를 나타내는 그룹의 에러 값과 필터 계수 값들을 선택하여 여러 적응화 상수 최소 평균 자승 알고리즘 (several step size LMS algorithm)부분에서 각 그룹의 필터 계수를 갱신하는데 필요한 정보로 이용한다. 이 구조는 하나의 적응화 상수를 사용하는 최소 평균 자승 알고리즘과는 달리 세 개의 적응화 상수를 동시에 이용한다. 즉 같은 정보들(에러값, 필터 계수 값)을 가지는 상황에서 적응화 상수만을 달리하여 세 개의 다른 필터 계수 값들을 갱신하는 것이다. 첫 번째 그룹과 두 번째 그룹에 관계하는 큰(large), 중간(medium) 적응화 상수는 각각 빠른 수렴속도를 위해 이용되는 것이고, 세 번째 그룹에 관계하는 작은(small) 적응화 상수는 작은 평균 자

승 에러를 얻기 위해 이용되는 것이다 그러므로 수렴 속도가 빨라지는 동시에 평균 자승 에러가 작아지게 된다

이 제안 시스템은 빠른 수렴 시간을 가지는 동시에 낮은 평균 자승 에러를 가지며, 같은 비트 오율 성능을 가지는 조건하에서 다른 시스템 보다 훨씬 빠른 수렴 시간을 가진다.

참 고 문 헌

[1] S. Moshavi, "Multi-User Detection for DSCDMA Communications", *IEEE Communication Magazine*, vol. 34, no.10, pp.124-136, Oct . 1996

[2] S. G. Glisic, P. A. Leppanen, *Code Division Multiple Access Communications*, Kluwer Academic Publishers, 1995

[3] S. C. Yang, *CDMA RF System Engineering*, Artech House Publishers, pp.83-85, 1998

[4] R. Lupas, S. verdu, "Linear Multiuser Detectors for Synchronous Code-Division Multiple Access Channels", *IEEE trans. on Information theory*, vol. 35, no. 1, Jan. 1989

[5] M.K Varanasi, B. Aazhang. "Near-Optimum Detection in Synchronous Code Division multiple Access System", *IEEE trans. on Information theory*, vol. 39, no. 5, pp 725-736, May. 1991

[6] Byung Goo Choi, Yong Wan Park, "The reduced delay time of Successive Interference Canceller in CDMA System", *MPRG Symposium on Wireless Personal Communication of V- erginia Tech*, U.S.A, pp341-350, June, 2000

[7] M. Honig, U. Madhow, and W. Verdu, "Blind Adaptive Multi-User Detection ", *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 41, no. 4, pp.944-960, July. 1995

[8] Tyseer Aboulnasr, Member, IEEE, and K. Mayyas, "A Robust Variable Step-Size LMS-Type Algorithm: Analysis and Simulations" , *IEEE tans. on signal processing*, vol. 45, no. 3, March. 1997.

[9] Bernard Widrow, Samuel D. Stearns, *ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

[10] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1986

[11] S.C. Ng, C.Y. Chung, S.H. Leung, A. Luk, "A Variable Step Size Algorithm Using Evolution Strategies for Adaptive Filtering", *proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation*, vol. 1, pp 542-545, July. 1999.

최 병 구(Byung-goo Choi)

학생회원



1999년 2월 : 영남대학교
전자공학과 졸업(학사)
1999년3월~현재 : 영남대학교
정보통신 공학과
석사과정

박 용 완(Yong-wan Park)

정회원



1982년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업 (학사)
1984년 2월 : 경북대학교
전자공학과 졸업 (석사)
1989년 2월 : 뉴욕주립대
전자공학과 졸업(석사)
1992년 2월 : 뉴욕주립대
전자공학과 졸업(박사)

1992년 10월~1993년 12월 : 캘리포니아 공과대학
Research Fellow
1994년 1월~1996년 8월 : 한국이동통신 PCS 기술
연구팀장
1996년 9월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 부교
수