

Complex Signed-Signed CMA 알고리즘을 이용한 간섭 제거 중계기

Interference Cancellation System in Wireless Repeater Using Complex Signed Signed CMA Algorithm

한 용 식*

Yong Sik Han*

Abstract

In the paper, we propose a new CSS(Complex Signed-Signed) CMA(Constant Modulus Algorithm) algorithm for ICS(Interference Cancellation System). When the repeater get the feedback signal, the CSS CMA algorithm is proposed at the ICS repeater using DSP(Digital Signal Processing) for the removal of interfering signals from the feedback paths. The proposed CSS CMA algorithm improved performances and hardware complexity by adjusting step size values. the steady state MSE(Mean Square Error) performance of the proposed CSS CMA algorithm with step size of 0.00043 is about 4dB better than the conventional CMA algorithm. And the proposed Complex Signed Signed CMA algorithm requires 1950 ~ 2150 less iterations than the LMS(Least Mean Square) and Signed LMS(Normalized Least Mean Square) algorithms at MSE of -25dB.

요 약

본 논문에서 ICS(Interference Cancellation System) 중계기에서 간섭제거를 위한 새로운 CSS(Complex Signed-Signed) CMA(Constant Modulus Algorithm) 알고리즘을 제안한다. 중계기가 제한 신호를 가질 때 CSS CMA 알고리즘은 제한 경로로부터 간섭 신호를 제거하기 위한 디지털 신호 처리를 사용한 ICS 중계기에 대해 제안한다. 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘은 스텝 사이즈를 조절함에 따라 하드웨어 복잡도와 성능이 개선된다. 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘에서 스텝사이즈가 0.00043인 경우 수렴상태에서 평균 자승 에러는 기존 CMA 알고리즘보다 약 4dB정도 더 낮다. 그리고, 평균 자승 에러 -25dB를 기준으로 LMS(Least Mean Square)와 Signed LMS(Normalized Least Mean Square)보다 수렴회수가 1950 ~ 2150회 정도 줄어든다.

Key words : Constant Modulus Algorithm, Complex Signed Signed CMA, Least Mean Square, Repeater, Interference Cancellation System(ICS).

1. 서론

최근 정보화의 발달로 무선 통신에 대한 수요 증가

* Dept. of Information & Communications, Gumi University, Korea
yshan12@gumi.ac.kr, +82-54-440-1464
Manuscript received Apr. 23, 2013; revised Jun. 05, 2013 ; accepted Jun 10. 2013

로 인해 통신을 원활하게 하기 위해 RF(Radio Frequency) 중계기를 많이 사용하고 있다. 중계기는 광 중계기를 비롯하여 RF중계기를 크게 들 수 있다. 광 중계기의 경우 기지국과 광케이블을 연결해 전파가 불안정하거나 통화품질이 미약한 산과 도로에 원활한 통화가 이루어지도록 하지만, 초기 설치비용과 유지 보수비가 많아 대부분의 중계기는 RF중계기를 사용하는 것이 효율적이다. 특히 중계기의 RF 중계기는 광 중계기에 비해 설치가 간단하고, 운용 비용면에서 효율적이지만 중계기의 송신안테나와 수신 안테나가

근접해 있고, 동일한 주파수를 사용함으로써 결국 송신 안테나의 신호 일부가 수신 안테나로 유입되는 케환 잡음이 발생하고, 열화가 발생하게 된다. 이러한 케환 간섭 문제를 해결하기 위해 RF중계기 내의 간섭제거기(ICS : Interference Cancellation System)를 결합한 ICS 중계기를 사용하게 된다. 초기 설치 시 무선 환경의 예측으로 간섭 제거를 자동적으로 수행토록 해야 하며, 설치 후에도 주변 환경 변화에 지속적이고, 안정적으로 적용하여 실시간으로 간섭신호가 제거되는 것이 중요한 기술이다[1-3].

RF 중계기에 적용하는 대표적인 알고리즘으로는 LMS(Least Mean Square)와 CMA(Constant Modulus Algorithm) 방식이 주로 사용되고 있다 [2-7].

본 논문은 곱셈 연산이 필요 없어 수식이 간단하고, 하드웨어 구현이 간단하는 것을 특징으로 기존 고정계수 방식인 CMA 알고리즘보다 효과적인 방법으로 스텝 사이즈를 고려하고, SS-CMA 알고리즘의 수렴 속도를 해결하고, 더욱 정확성과 낮은 에러율을 가지는 CSS-CMA(Complex Signed-Signed CMA)을 제안한다.

2장에서는 간섭제거 중계기 시스템 모델과 기존 CMA 알고리즘에 대해 알아보고, 3장에서는 제안된 Complex Signed-Signed CMA 알고리즘에 대해 알아본다. 4장에서는 모의실험을 통하여 성능을 분석하고, 다른 알고리즘과 비교하였다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 간섭제거 중계기 시스템 모델과 기존 CMA 간섭제거

무선 이동통신 시스템의 효율성과 유지보수 등을 고려할 때 가장 이상적인 중계기는 현재 RF 중계기라 할 수 있다. 하지만 페이딩, 케환 간섭신호에 의해 시스템 내부로 유입되는 신호에 대한 격리를 확보되지 못하여 중계기내에 발진 및 채널 간섭이 발생하게 된다. 중계 신호의 발진을 억제하기 위한 방법으로 첫 번째로는 송수신 안테나 사이의 거리를 물리적으로 최대한 떨어뜨림으로써 안테나간의 격리(Isolation)를 확보하는 방법이 있으나, 일정한 거리를 이격해야 되고, 다중 경로의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 두 번째는 중계기 내부에서 디지털 필터와 디지털 신호처리 방식을

이용하여 케환 간섭신호를 제거하는 방법으로써 본 논문에서 RF 중계기에 제안한 ICS 시스템이 이러한 방식 중에 하나이다. 적응형 ICS는 케환 간섭 잡음을 제거

하기 위해 케환 간섭 신호를 실시간으로 인지하여, 적응 알고리즘을 통해 간섭 제거 파라미터, 즉 지연 시간, 위상, 진폭 등의 값을 결정하고, 계산된 값을 새로운 케환 신호에 가중치(Weighting)를 주어 지속적인 케환 간섭 잡음을 제거하는 구조를 갖는다.

그림 1은 본 논문에서 간섭중계기와 케환되고 있는 시스템 모델이다. 실제 무선 통신 환경에 적용하도록 수신 단으로 입력되는 케환 간섭신호인 n_k 에 대해 지연 시간 (τ), 위상 (ϕ), 진폭 (A) 등의 가변 값을 시간의 변화에 따라 적응적으로 실시간 보상해 줄 수 있도록 해준다. 이러한 적응 알고리즘은 실시간으로 변화하는 케환 간섭 신호를 제거로 인해 ICS 블록에서 변화하는 시변 케환 간섭 잡음을 효율적으로 제거하

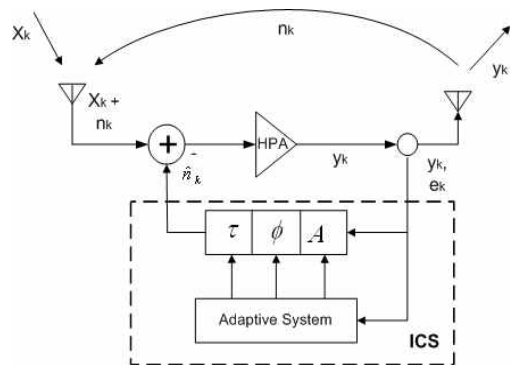


Fig. 1. Feedback interference system model and ICS(Interference Cancellation System)
그림 1. 간섭제거 중계기와 케환 간섭 시스템 모델

기 위한 적응성 알고리즘을 사용하여 간섭 제거를 수행한다.

기존 알고리즘의 대표적 알고리즘으로서 CMA는 고정계수 알고리즘으로서 송신측에서 훈련 순열(Training sequence)을 보내지 않고, 사용자의 확산코드와 타이밍 정보만 제공해 주면 원신호를 추정해 주는 방식이다. CMA 알고리즘과 관계된 관계식을 살펴보면 다음과 같다. k 번째 반복 후의 출력 신호 y_k 와 에러 신호 e_k 는 각각 식 (1)과 식 (2)와 같이 나타내어진다[5].

$$y_k = W_k^T X_k \tag{1}$$

$$e_k = y_k (|y_k|^2 - R_2) \tag{2}$$

여기서 R_2 는 고정계수로서 식 (3)과 같이 주어지며, s_k 는 송신측에서 생성되는 신호이다.

$$R_2 = \frac{E[s_k^4]}{E[s_k^2]} \quad (3)$$

적용 필터에 적용한 CMA의 비용함수(Cost function) J_k 는 다음 식 (4)와 같다.

$$J_k = \frac{1}{2} E[(|y_k|^2 - y_0^2)^2] \quad (4)$$

여기서 y_k 는 출력신호이고, y_0 는 간섭이 없을 때의 신호이며, E는 기대값을 의미한다. N 탭 채널 임펄스 응답을 가진 FIR 필터의 적응적 가중치 벡터를 $W_k = [w_1, w_2, \dots, w_N]^T$ 라 할 때, 가중치는 비용함수를 최소화시키는 방향으로 갱신하면 식 (5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k - \mu g(W_k) \\ &= W_k - 2\mu \cdot e_k \cdot X_k \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 μ 는 스텝사이즈이고, $g(w_k)$ 는 비용함수의 경사 측정치이고, e_k 는 에러 신호, X_k 는 입력 신호를 나타낸다.

III. 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘

제안된 CSS-CMA 적응 알고리즘은 적응필터의 k 번째 갱신된 i번째 복소 계수 $W_{i,k}$ 에 대하여

$$W_{i,k+1} = W_{i,k} + \mu \cdot \text{csgn}(e_k) \cdot \text{csgn}(X_{k-i}) \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 이 때 csgn은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{csgn}(x) = \begin{cases} 1+j1 & \text{Re}(x) \geq 0, \text{Im}(x) \geq 0 \\ 1-j1 & \text{Re}(x) \geq 0, \text{Im}(x) < 0 \\ -1+j1 & \text{Re}(x) < 0, \text{Im}(x) \geq 0 \\ -1-j1 & \text{Re}(x) < 0, \text{Im}(x) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

본 논문에서 제안된 CSS-CMA 알고리즘은 적응고정계수 방식인 CMA 알고리즘을 개선한 것으로 적응 스텝사이즈를 적응필터 계수의 실수부와 허수부에 따라 설정하고, μ 값이 계수에 따라 변화하도록 변형된 CSS-CMA 알고리즘은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{i,k+1,R} &= W_{i,k,R} + \mu_{i,k,R} \text{Re}\{\Delta_{i,k}\} \\ W_{i,k+1,I} &= W_{i,k,I} + \mu_{i,k,I} \text{Im}\{\Delta_{i,k}\} \\ \Delta_{i,k} &= \frac{1}{2} c \text{sgn}(e_k) c \text{sgn}(X_{i-k}^*) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $\Delta_{i,k}$ 는 k번째 계수의 현재 상태에서 최적계수(weight)를 위한 비용함수의 경사치(Gradient)로써 식의 실수, 허수부분에 대한 값이고, e_k 는 에러 신호이고, X_k 는 입력 신호이다.

여기서 μ 는 스텝 사이즈로서, 이 값에 따라 빠른 수렴과 낮은 평균 자승 에러(MSE : Mean Square Error)값을 얻을 수 있다. 식 (8)에서 스텝 매개변수 $\mu_{k,R} = \mu_{k,I} = \mu_{SS}$ 로 상수이면 식 (8)은 식 (6)에 나타난 CSS-LMS 알고리즘이 된다. 정상상태일 경우 M값이 충분히 클 때 근사식은 다음 식 (9)과 같이 나타낸다.

$$\mu_{SS} \approx \frac{\mu_0}{\sqrt{\pi M}} \quad (9)$$

여기서 i 번째 시점에서 직전 과거 M회 횡수이고, μ_0 는 초기 스텝사이즈이다. 알고리즘 반복 동안의 (1)(2)와 같이 나온 e_k 와 y_k 는 식(8)에 적용하여 계수를 구할 수 있다.

과도상태일 경우 과도 상태 스텝 매개변수 μ_{tran} 은

$$\mu_{tran} = \frac{\mu_0}{2} = \mu_{CSS} \quad (10)$$

와 같이 된다. CSS-CMA 알고리즘의 간섭제거 개선비 k[dB]라 할 때

$$k = 10 \log(\sqrt{\pi M}/2)[dB] \quad (11)$$

의 k번째 최적계수상의 값을 얻을 수 있다.
 제안된 알고리즘은 스텝 크기를 적응필터의 상태에 자동 조절되어 적응필터의 계수가 최적 상태인 Wiener Solution이 아닌 경우 스텝의 크기를 늘려 빠른 속도로 최적 해에 접근하며 최적 상태의 경우 미조정(Misadjust)에 의한 오차를 줄이기 위해 스텝의 크기를 최소화 한다.

IV. 전산모의실험

Complex Signed Signed CMA 알고리즘의 성능을 최적화하기 위하여 통계적으로 분석하였으며, 제안된 알고리즘의 성능을 기존 CMA, LMS, Signed LMS 알고리즘과 비교하였다.

표 1은 현재 상용되고 있는 시스템 조건으로 입력신호는 WCDMA 신호를 사용하였으며, 케환 채널 모델은 JAKE 모델의 하나의 경로이며, 케환되는 신호의 크기는 10dB로 10dB내외의 신호를 제거하는데 있다. 여기서, 중계기에서 수신단과 송신단 사이는 Jake 페이딩 채널과 케환 신호가 시간의 함수로 변화된다.

Table 1. Simulation conditions.
 표 1. 시뮬레이션 조건

항목	내용
Multiple access	WCDMA
Frequency range	Forward: 2,130~2,150 MHz Reverse: 1,940~1,960 MHz
System bandwidth	10 MHz
Sampling frequency	10 MHz
Fast fading	Jake's 1 path fading
Feedback signal	10 dB
System time delay	8 μS 이하
Signal to noise ratio	10~15 dB

그림 2는 시스템 구성도로서 필터 계수 w_k 는 입력 신호를 사용하여 갱신하고, 에리 신호는 Complex Signed Signed CMA 알고리즘으로 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 사용하였다.

실험에서 케환 신호 10dB일 때 각각의 알고리즘은 동일한 스텝사이즈를 줄 경우 발산되어 버린다. 따라서 각각의 알고리즘에 대해 안정적으로 적용될 수 있는 스텝사이즈를 단계적으로 값을 넣어 변화와 비교된 성능을 분석하였다. 특히 기존 LMS, CMA 알고리즘의 경우 케환간섭 신호 10dB의 영향으로 인하여 0.0001 이하의 너무 낮은 스텝사이즈일 경우 발산되

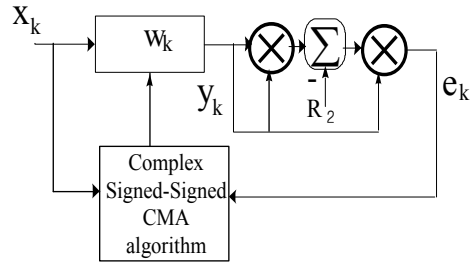


Fig. 2. System configuration
 그림 2. 시스템 구성도

는 현상이 있어 0.01과 0.001부터 단계적으로 증가시키며 안정적으로 실험을 진행하였다.

위의 그림 3의 (a)에서 케환간섭 신호를 10dB이하의 크기에서 스텝 사이즈 값을 0.0001로 하였을 때 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘과 다른 알고리즘과의 분석으로서 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘은 기존 CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러율에서 25dB이상 낮고, Signed LMS 알고리즘에 비해 수렴속도가 2000회 내외의 정도 빠르게 나타난다. (b)에서 스텝 사이즈 값을 0.0002로 높였을 때 제안된 Complex Signed Signed CMA의 수렴속도는 (a)에 비해 -25dB기준으로 200회 정도 빨라지는 것을 볼 수 있다. 기존 LMS, Signed LMS 알고리즘의 경우 0.002 스텝 사이즈값 일 때 제안 알고리즘보다 수렴속도가 3000~ 4000회 정도 늦게 진행된다.

(c)에서는 스텝 사이즈 값을 0.00035로 하였을 때 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘의 수렴율은 (b)에 비해 -25dB기준으로 약 100회 정도로 빠르게 되었으며, 에러율은 거의 변화가 없으며, CMA 알고리즘보다 에러율 5dB 가량 낮게 나타났으며, Signed LMS, LMS의 수렴율보다 1000회 이상 빠르게 나타났다. 기존 알고리즘에 대해서는 단계적으로 스텝사이즈를 조정해 알고리즘을 구현하였다. (d)의 경우 스텝 사이즈 값을 0.00043일 경우 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘은 (c)에 비해 -25dB기준으로 약 50 정도 수렴 속도율이 향상되고, 평균자승 에러에는 거의 변화가 없었으며, 더 이상의 수렴속도가 변화하지는 않았다.

CMA 알고리즘보다 수렴속도에서는 다소 느리지만 에러율이 반복 횟수 1000일 때 3dB 우수하게 나타났다. 평균 자승 에러 -25dB 기준으로 보았을 때 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘은 LMS와 Signed LMS 보다 수렴속도가 약 2000회 빠른 결과값을 가졌다. 전체 실험한 결과 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘은 스텝사이즈가 증가

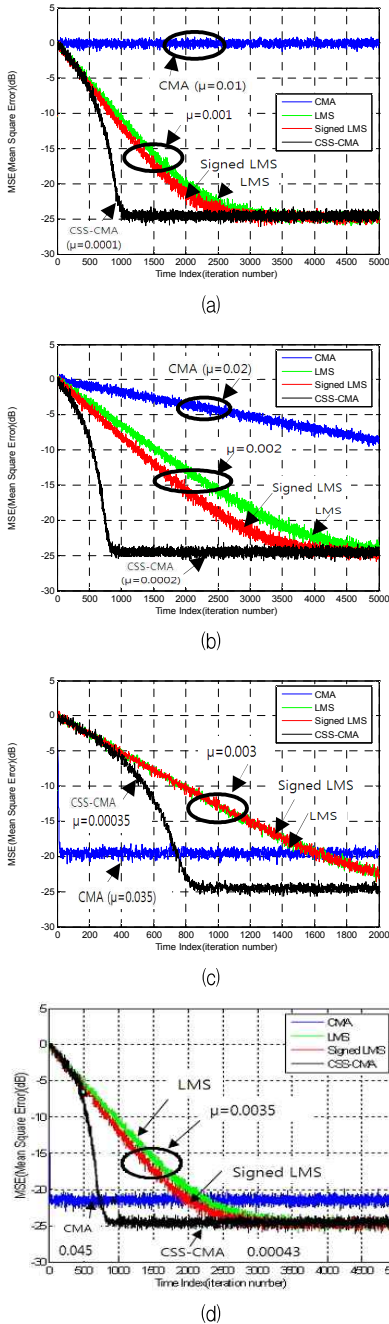


Fig. 3. When 10dB the size of the feedback signal, comparison of the performance other adaptive algorithms in with step sizes
 그림 3. 케환 신호 10dB일때 스텝사이즈에 따른 다른 적응 알고리즘과의 성능 비교

함에 따라 오차값은 -25dB로 떨어져 다른 알고리즘에 비해 에러율이 우수하며, 수렴속도가 점점 빠르다는 것을 알 수 있었으며, 스텝사이즈를 너무 작게 하거나 0.0005이상 할 경우 발산해 버린다.

아래의 그림 4에서는 케환 되어오는 신호의 크기가 1dB로 낮추어 스텝사이즈의 크기 0.0004 값으로 정한 다음 기존 Sign-LMS알고리즘과 제안된 Complex Signed Signed CMA 알고리즘의 수렴 속도를 비교하였으며, LMS, CMA는 발산으로 인해 제외시켰다. 수렴속도 측면에서 제안한 Complex Signed Signed CMA 알고리즘이 800회 빠르게 성능이 우수함을 알 수 있었다. 결국 케환신호의 크기가 1dB이하로 작아지면 기존 Signed LMS 알고리즘과 수렴속도가 점점 가까워지고 있다는 것을 알 수 있었다.

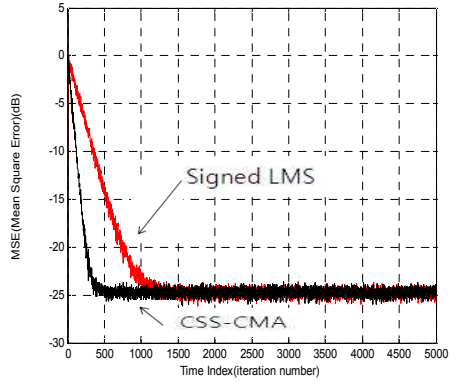


Fig. 4. Comparison of the results between the proposed algorithm and Sign LMS algorithms in case of 1dB of feedback signal.
 그림 4. 케환 신호의 크기 1dB일 경우 제안 알고리즘과 Sign LMS 알고리즘과의 성능 비교

그러나 기존 알고리즘의 경우 실제 환경에서는 케환 신호가 커지기 때문에 수렴속도가 느려져 처리율이 떨어져 DSP(Digital Signal Processor) 칩 하드웨어에 무리를 줄 수 있지만 제안된 CSS-CMA 알고리즘은 10dB이내의 케환 간섭에 강한 특성과 적응성에서도 크게 변화가 없음을 보임으로 하드웨어상 안정된 시스템을 구동할 것으로 보인다.

V. 결론

수학적 연산을 줄이면서 필터링에 대한 동일한 성능으로 수렴할 수 있는 알고리즘으로 케환신호를

주었을 때 기존 CMA, LMS와 Sign LMS 알고리즘을 이용하여 스텝사이즈에 따른 Complex Signed Signed CMA 알고리즘을 제안하였다. 그림 3에서 제안한 알고리즘은 스텝 사이즈를 0.00043로 설정할 때 가장 우수한 성능을 보였으며, 더 이상 높일 경우 발산되는 현상을 보인다. 또한 기존 알고리즘의 경우에도 너무 낮은 값이나 큰 값일 경우 발산하는 경향을 보인다. 제안 알고리즘은 평균 자승 에러 -25dB 기준으로 기존 LMS, Signed LMS보다 1950 ~ 2150번 빠른 수렴속도를 보였으며, CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러가 반복 횟수 1000회 기준으로 4dB 더 좋은 성능을 보였다. 즉 에러를 추정하는데 있어 훨씬 빠른 속도로 정밀하게 오차값을 낮추어 주고, 스텝사이즈의 과도상태일 경우에도 안정적으로 빠르게 수렴된다.

최근 LTE 중계기에 적용하는 알고리즘의 경우 더욱 정교하고, 적용도 높은 빠른 수렴율을 요구하고 있으며, 하드웨어적으로도 복잡하지 않은 알고리즘에 적합하다. 특히 표준 DSP(Digital Signal Processor) 칩과 같이 실시간으로 빠르게 처리하고, 열악한 무선 환경에 원활하게 대처하는 것이 중요하다.

앞으로 제안된 Complex Signed Signed CMA 적용 알고리즘 구동을 위해 도플러 환경 하에서 실제적인 하드웨어 실험과 현장 실험과 병행해 더욱 더 안정적인 성능을 가질 수 있도록 연구를 진행할 것이다.

References

- [1] A. H. SAYD, "Fundamentals of Adaptive Filtering", Wiley, pp 284
- [2] Lattice Semiconductor Corporation, "LMS adaptive filter," *Reference Design RD 1031*, Dec. 2006
- [3] P. Y. Haghghat, Ali Ghayeb, "Trickle-Based Interference Cancellation Schemes for CDMA Systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no.1, pp.13-17, January, 2009
- [4] S. C. Chan, Y. Zhou, "On the Convergence Analysis of the Normalized LMS and the Normalized Least Mean M-Estimate Algorithms," *IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, vol. 49, no.1, pp.1048-1053, 2007
- [5] R. Mendoza, J. H. Reed, "Interference Rejection Using the Time-Dependent Constant Modulus Algorithm(CMA) and the Hybrid CMA/Spectral Correlation Discriminator," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 39, no. 9, pp.2108~2111, 1991
- [6] Rui Chen, Zhifeng E and Jiawen Hu, "Adaptive Filter by using Proportionate Frequency Domain Extended Correlation LMS Algorithm in the Double Talk Condition," *ICS2008 Proceedings*, pp.2826-2829, 2008
- [7] W. Karen Egiazarian and Pauli Kuosmanen, "Variable step-size LMS adaptive filters for CDMA multiuser detection," *IEEE TELSIKS Serbia and Montenegro*, 1-3, pp259-264, Oct. 2003

BIOGRAPHY

Han Yongsik (Member)



1994 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungil University.
 2003 : MS degree in information&communication Engineering, Youngnam University.
 2011 : PhD degree in Electronics Engineering, Incheon University.
 2010~2012 : Senior Research Engineer, R&D Center of Information Technology System.
 2012~Present : Professor in Dept. of Information & Communications, Gumi University