

논문 2011-48TC-10-8

# Complex Singed-Singed LMS 적응 알고리즘을 사용한 간섭제거 중계기(ICS)연구

( ICS(Interference Cancellation System) in Wireless Repeater Using  
Complex Singed Singed LMS Algorithm )

이 성 재\*, 박 용 완\*\*, 홍 승 모\*

( Seongjae Lee, Yongwan Park, and Seungmo Hong )

## 요 약

최근 들어, 이동통신 서비스가 광범위가 사용되고 서비스 지역이 확대됨에 따라 서비스 품질 유지를 위한 서비스 영역의 확장이 요구 되어 집에 따라 중계기의 역할은 계속적으로 증가하고, 비교적 설치가 용이하고 위치 제약이 적으며, 비용 측면에서 운영 비용이 절감되는 ICS(Interference Cancellation System) 중계기가 요구되어진다.. 하지만 적용되어지는 적응 알고리즘의 필터 업데이트 시 연산량의 증가로 인해 하드웨어 복잡도가 증가하게 되어 구현 시 많은 어려움이 따른다. 본 논문에서는 제한되는 경로가 존재하는 경우. 기저대역 신호처리를 활용한 ICS 중계기에서 제한 간섭 신호를 제거를 위한 연산량이 대폭줄여 하드웨어 복잡성을 감소시키는 Complex Signed sign LMS 적응 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 Static 채널 환경 하에서 WCDMA 신호를 이용하여 ICS 시스템에 대한 알고리즘을 모의 실험 한 결과, 수렴속도 및 수렴 오차 측면에서 우수한 성능을 통해 구현시 요구되어지는 연산량을 크게 줄여 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있는 효과를 볼 수 있게 되었다.

## Abstract

In recent years, mobile communication service is used extensively as a larger service area for the maintenance of quality of service required by the expansion of service areas and As the ever-increasing role in relays, and the location is relatively easy to install and less constrained costs, operating cost savings in terms of ICS(Interference Cancellation System) repeaters are required. However, an adaptive algorithm that is applied when updating the filter due to the increase in volume of operations increase the complexity of hardware implementation is fraught with many difficulties. In this paper, if there is a path that feedback. ICS repeater utilizing baseband signal processing for the removal of interfering signals from the feedback operation, significantly reducing the amount of reducing hardware complexity Complex Singed Signed LMS adaption algorithm is proposed. Proposed algorithm for evaluating the performance of Static channel WCDMA signal environment for the ICS , the results of the simulation algorithm, convergence speed and better performance in terms of convergence errors that are required through the implementation of the operation greatly reduces the amount of hardware complexity able to reduce the effect was visible.

**Keywords :** Interference Cancellation, Feedback Interference, Multipath Channel, WCDMA, Channel Estimation

## I. 서 론

\* 정회원, (주) 알에프윈도우(RFWindow)

\*\* 평생회원, 영남대학교 정보통신공학과  
(Department of Information& Communication,  
Yeungnam University)

접수일자: 2011년7월11일, 수정완료일: 2011년10월19일

정보통신 서비스에 대한 지속적인 수요와 주파수 자원의 수요가 점차 늘어가면서 도심 건물 등으로 인해

음영 지역이 많이 발생하게 된다.

이러한 음영 지역 해소 및 시스템 용량 증대를 위한 방법으로 설치 비용이 기지국보다 싼 중계기가 사용되어 진다. 동일 채널 RF 중계기가 주파수 효율 측면에서 효율적이어서 많이 사용되지만 송수신 안테나 간 isolation이 충분히 크지 않는 경우 중계기의 송신 신호가 수신 안테나로 케환되어 간섭신호로 작용하는 문제가 있다. 즉 출력의 케환 신호 간섭에 의한 출력 신호의 왜곡과 발진 가능성으로 인해 중계기 성능을 저하 시키 뿐만 아니라 발진의 우려가 있어 중계기의 출력을 필요한 만큼 증가 시키지 못하는 상황이 생긴다.<sup>[1~3]</sup>

최근 이러한 케환 신호를 디지털 신호 처리에 의해 제거하는 간섭 제거 시스템 (Interference Cancellation System,ICS)이 개발되어 진다. 간섭 제거 시스템은 입, 출력 신호를 바탕으로 케환 채널 응답 특성을 추정하여 반향 신호를 예측 계산하여 입력단으로 들어오는 반향 신호를 제거하는 구조로 되어 있다.<sup>[2~3]</sup>

중계기의 기존 안테나 간의 반향 신호를 디지털 신호 처리를 기술을 통해 능동적으로 제거하여 송신 채널과 수신 채널간의 격리(Isolation)를 극대화 하여 중계기의 성능 향상과 발진을 방지한다.

반향 성분을 제거하는 적응 알고리즘 필터로 사용하는 것이 일반적이다. 적응 필터 알고리즘으로는 LMS (Least Mean Square),RLS(Recursive Least Square) 등이 있으나 안정되고 계산량이 비교적 적은 LMS 적응 필터 알고리즘이 가장 널리 사용된다.LMS 알고리즘은 오래된 역사에 걸맞게 여러 응용 분야에 따라 많은 파생 알고리즘이 나왔으며, 이 중에서 많이 이용되고 있는 적응 필터 알고리즘 중 비교적 상대적으로 연산량이 적으면서 성능이 좋은 nLMS(Normal Least Mean Square) 적응 필터 알고리즘이 많이 이용 되어진다.<sup>[4]</sup> 그러나 현 시점의 이동 통신 환경 하에서 적용되어지는 중계기는 여러 개의 FA(Frequency Allocation) 대해 동시에 신호를 받아 중계하여야 하므로 곱셈기가 내장되어 있는 고가의 FPGA를 여러 개 사용하여야 하며, 또한 반향 성분 제거를 위해서 충분한 수의 필터 탭을 가진 적응 필터를 설계하여 필터 탭 수만큼 반향 경로의 최대 지연 시간 이상이 되도록 설정하면 완전하게 반향 성분 제거가 가능하다.<sup>[5~7]</sup>

그렇지만 이런 경우 적응 필터의 구조가 복잡해지며, 연산 부담이 증가하게 된다. nLMS 적응 필터 알고리즘이 상대적으로 연산량이 적은 편이나 적응 필터계수 업

데이트 시 곱셈과 덧셈 연산기가 필터탭이 증가 할수록 많이 필요하게 된다. 이러한 부분을 줄이기 위해 Sign-Error,Sign-data LMS 알고리즘을 사용하며 적응 필터 업데이트 시 소요되는 곱셈 연산수를 줄일 수 있어 보다 간단하게 구현 할 수 있다.

본 논문에서는 곱셈 연산이 필요 없는 Complex Sin-Signed LMS 적응 알고리즘을 제안하여 성능을 평가하고자 한다. 제안한 알고리즘은 저렴한 디지털 소자를 이용하여 쉽게 실내 및 가정용 WCDMA ICS(Interference Cancellation System) 적용되어 졌다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 ICS(Interference Cancellation System) 중계기 통신 시스템의 모델과 그에 관한 주요 파라미터 및 신호들 및 단일&다중 경로 채널에 대하여 기술하고 III장에서는 본 논문에서 제안하는 Complex Signed-Signed LMS 알고리즘에 대해 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능 실험을 통하여 비교 평가하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. ICS 시스템 및 주요 파라미터

다중 케환 간섭 신호가 존재하는 WCDMA 중계기 시스템은 그림 1과 같다.

ICS 중계기는 기지국과 단말기 사이에 약해진 신호를 증폭해서 보내어 coverage 넓히는 기능을 하며 공간의 특성으로 인하여 다양한 간섭신호가 발생한다.

일반적으로 RF중계기는 송신측 안테나의 신호가 수신측 안테나의 신호에 유입되지 않도록 매우 높은 격리

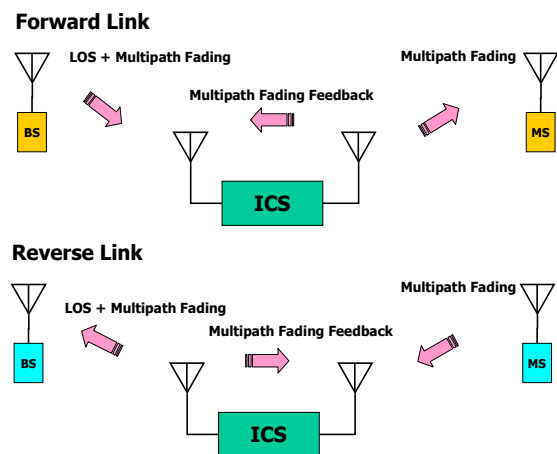


그림 1. ICS 시스템의 Forward/Reverse Link 환경  
Fig. 1. ICS Forward/Reverse Link Environment.

(Isolation)을 이루도록 설계하고 배치한다. 그러나 주위 환경의 건물이나 지형으로 인해 궤환 경로가 발생하며 궤환 신호의 크기가 Isolation 레벨보다 크면 중계기는 발진을 일으킨다. 또한 단말기가 이동 할 경우 매우 심한 다중 간섭(Multipath Fading)을 겪는다. 그림 1의 Reverse link 경우 중계기 주위에 단말이 없는 경우는 전혀 입력이 안 들어오고, call setup 과정에 있는 경우 상대적으로 매우 큰 입력을 중계기는 받게 된다.

2.1 ICS 시스템의 Feedback 채널 모델과 간섭 제거

ICS 시스템의 기저대역 복소 입력 신호  $S_i(t)$ 는 기지국 또는 단말기로부터 들어오는 입력 신호  $S_b(t)$ 와 출력 신호  $S_o(t)$ 의 일부가 궤환 되어 들어오는 신호  $S_{FB}(t)$ 가 더해진 형태로 식(1)과 같이 표현되어지며 그림 2와 같은 구조로 되어있다.

$$S_t(t) = S_b(t) + S_{FB}(t) \tag{2-1}$$

궤환되어 오는 신호  $S_{FB}(t)$ 는 다중 경로 페이딩 효과에 의해 식(2) 형태로 나타내어진다.

$$S_{FB}(t) = \sum_{k=0}^{k-1} c_k(t) S_o(t - \tau_k(t)) \tag{2-2}$$

$\tau_k(t)$ 는 다중 경로에 의한 지연을 나타내며, 복소수  $c_k(t)$ 는 경로를 거치는 동안 얻어지는 진폭 감쇠 및 위상 변화를 나타낸다. 무선 환경에 의해 시간에 따라 변동하며, 환경의 변화가 충분히 느리면  $\tau_k(t)$ ,  $c_k(t)$ 는 상수  $\tau_k, c_k$  가정 할 수 있다.

ICS 중계기는 Feedback 채널의 특성에 의해 발생하는 궤환 신호를 추정하여 입력 신호로부터 제거한 후 신호를 증폭하여 Feedback 간섭 제거 기능을 수행한다. 추정된 궤환 신호  $\widehat{S}_{FB}(t)$  다음과 같다.

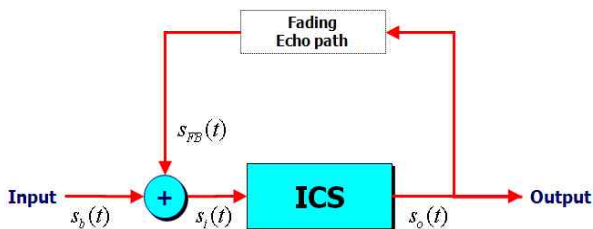


그림 2. ICS 시스템의 Feedback 채널 모델  
Fig. 2. Feedback channel model of the ICS system.

$$\begin{aligned} \widehat{S}_{FB}(t) &= \sum_{k=0}^{k-1} \widehat{c}_k(t) S_o(t - \widehat{\tau}_k(t)) \\ &\simeq \sum_{k=0}^{k-1} \widehat{c}_k S_o(t - \widehat{\tau}_k) \end{aligned} \tag{2-3}$$

따라서 입력 신호와 출력 신호 관계는 다음과 같다.

$$S_o(t) = G(S_b(t - \tau_s) + S_{FB}(t - \tau_s) - \widehat{S}_{FB}(t - \tau_s)) \tag{2-4}$$

식(1)~(4)으로부터 다음과 같은 관계식을 얻게 된다.

$$S_o(\omega) = \frac{Ge^{-j\omega\tau_s}}{1 - GU(\omega)} S_b(\omega) \tag{2-5}$$

궤환된 신호 간섭 제거 항  $U(\omega)$ 는 다음과 같은 관계가 성립된다.

$$U(\omega) \cong \sum_{k=0}^{k-1} c_k e^{-j\omega\tau_k} - \widehat{c}_k e^{-j\omega\tau_k} \tag{2-6}$$

궤환 추정 신호가 궤환 신호와 같은 때  $U(\omega) = 0$  식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$S_o(\omega) = Ge^{-j\omega\tau_s} S_b(\omega) \tag{2-7}$$

원 신호  $S_b(\omega)$ 만 증폭되어 출력된다.

III. Complex Signed Signed LMS 적응 알고리즘

현재 WCDMA ICS 중계기 시스템에서 궤환되어 오는 신호 제거를 위해 적응 필터 알고리즘 계열의 nLMS 알고리즘이 널리 사용 되고 있으며 만족스러운 성능을 보이고 있다. 하지만 구현 시 연산량이 많아 하드웨어 복잡도가 증가하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 Complex Signed Signed LMS 적응 알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘은 필터 계수 업데이트 시 곱셈 연산의 필요성 없어서 매우 간단한 구조로 쉽게 구현되어진다.

제안된 알고리즘을 수식으로 표현하면 다음과 같이 나타내어진다.

$$W_i(k+1) = W_i(k) + \mu \cdot csgn[e(k)] \cdot csgn[X^*(k-i)] \tag{3-1}$$

식(3-1)에서  $csgn$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$csgn(x) = \begin{cases} 1+j1 & \text{Re}(x) \geq 0 & \text{Im}(x) \geq 0 \\ 1-j1 & \text{Re}(x) \geq 0 & \text{Im}(x) < 0 \\ -1+j1 & \text{Re}(x) < 0 & \text{Im}(x) \geq 0 \\ -1-j1 & \text{Re}(x) < 0 & \text{Im}(x) < 0 \end{cases} \quad (3-2)$$

적용 필터에 들어오는 입력 데이터의 2의 보수로 표현된 수의 부호만을 사용하고 신호의 차 여러 신호도 부호만을 사용하기 때문에 곱셈 연산이 필요 없게 된다. 식(3-1)에서 integer 표현하기 위해서는  $\overline{W}_n = \text{int}(2^{N_1} W_n)$ ,  $\overline{\mu} = \text{int}(2^{N_1} \mu_n)$  와 같이 된다.

따라서 complex signed LMS 적응 알고리즘 표현은 다음과 같다.

$$\frac{\overline{W}_{n+1}}{2^{N_1}} = \frac{\overline{W}_n}{2^{N_1}} + \frac{\overline{\mu} csgn(e[n] csgn(X[n]))}{2^{N_2}} \quad (3-3)$$

$$e[n] = d[n] - \frac{\overline{W}_n X[n]}{2^{N_1}}$$

식(3-3)에서 정수 계수  $\overline{W}$ 가 16비트(signed) 최대값  $(2^{15} - 1)$ 이고 원 계수  $W$ 의 최대값이 16이면 이는 들어오는 신호  $d[n]$ 과 케환되어 오는 신호와의 correlation 관계를 비교 했을 때 두 신호와의 관계가 같을 때는 1이며 케환되어 오는 신호의 크기 즉 amplitude가 2배인 경우 원 신호와의 비교 시  $\sqrt{2}$ 가 되며 10배인 경우는  $\sqrt{10}$ , 20배인 경우  $\sqrt{20}$  값을 가진다.

따라서 파워이기 때문에 16 값을 가지게 된다. 정수 계수가  $\overline{W}$ 가 16비트이고 원 계수  $W$  최대값이 16일 경우  $N_1 = \log_2[\frac{2^{15} - 1}{2^4}] \approx 11$  값을 가지게 된다.

마찬가지로  $\overline{\mu}$ 가 16비트이고 원래  $\mu$ 의 최대값이 0.01 이라고 하면  $N_2 = \log_2[\frac{2^{15} - 1}{0.01}] \approx 18$  값을 가지게 된다.

표 1에서  $M$ 은 적응 필터의 차수를 나타내며 데이터가 복소수 일 경우, 매 회 업데이트 되어지는 적응 필터 계수를 얻기 위해 요구되어지는 곱셈과 덧셈의 연산수를 비교하였다. 제안 되어 진 Complex Signed Signed LMS 알고리즘을 사용 할 경우 다른 LMS 적응 알고리즘에 사용되어지는 곱셈연산이 필요 없이 단지 여러

표 1. 업데이트되는 필터 계수 연산 시 소요되는 곱셈, 덧셈 수 비교

Table 1. Comparison of multiplication and addition number when operating with updating filter coefficient.

Algorithms	Multiplication (곱셈)	Addition (덧셈)
LMS with constant step-size	8M+2	8M
LMS with time-variant step-size	8M+2	8M
nLMS	8M+6	8M+4
Sign-error LMS	6M	6M
Complex signed signed LMS	0	2M

신호와 데이터의 부호를 입력으로 하는 네 개의 입력 LUT(Look Up Table)로 2M 덧셈만 필요하게 된다.

또한 일정한 스텝 사이즈 크기를 2의 멱승 형태로 표현함으로써 쉽게 구현되어진다.

#### IV. 성능 평가

제안한 Complex Signed Signed 적응 알고리즘과 nLMS알고리즘 성능을 비교하기 위해 모의실험을 하였다.

사용된 신호 WCDMA 대역폭 3.84MHz, Data Rate 7.68MHz I/Q신호를 사용 하였고 60000개의 Data 채취 하여 실험결과를 비교하였다.

그림 3은 Complex Signed Signed 적응 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험 구성도이다. 데이터 수

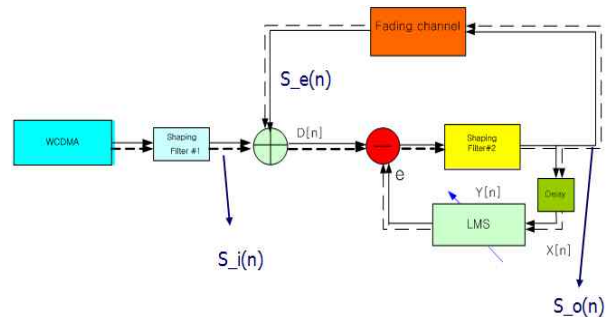


그림 3. 제안한 알고리즘이 적용된 ICS 구조  
Fig. 3. The structure of ICS with proposed algorithm.

60000개 중 20000개를 가지고 입력 신호  $S_i(n)$ , 케환 신호  $S_e(n)$  적응 필터 출력 신호  $S_o(n)$  관계를 이용하여 Error Ratio는 다음과 같다.

$$Error\ Ratio = \sum_{k=1}^{20000} \frac{|S_o(n+k) - S_i(n+k)|^2}{|S_i(n+k)|^2} \quad (4-1)$$

케환되어 오는 신호의 관계 Ratio은 다음과 같다.

$$Echo\ Ratio = \sum_{k=1}^{20000} \frac{|S_e[n+k]|^2}{|S_i[n+k]|^2} \quad (4-2)$$

static 케환 채널 환경 하에서 케환되는 신호의 이득이 -5,0,5,10dB 이고 위상  $\pi/4$  스텝 사이즈  $\mu$ 의 크기가 0.001인 경우 nLMS 적응 알고리즘과 제안한 complex signed sign 적응 알고리즘의 Error Ratio를 비교한 표이다.

위의 표의 결과와 같이 두 알고리즘의 에러 신호의 SNR를 보면 수렴 오차의 차이가 적음을 알 수 있다.

표 2. nLMS 적응 알고리즘과 제안한 Complex Signed Signed LMS 적응 알고리즘 Error Ratio 비교

Table 2. Error Ratio Comparison the proposed Complex Singed Signed LMS and adaptive nLMS.

케환된 신호 이득	스텝 사이즈	nLMS 알고리즘	제안한 알고리즘
-5dB	0.0001	-23.35dB	-23.12dB
0dB	0.0001	-22.78dB	-21.62dB
5dB	0.0001	-21.85dB	-21.23dB
10dB	0.0001	-19.24dB	-18.97dB

#### 4.1 static 케환 신호 일 때 스텝 사이즈에 따른 수렴 오차

그림 4는 static 케환 채널 환경 하에서 케환되어 오는 신호의 크기가 0dB인 경우 스텝 사이즈의 크기에 따라 수렴오차의 크기의 결과를 보여준다. 그림 5는 같은 채널 환경 하에서 케환 되어 오는 신호의 크기가 10dB인 경우의 결과를 나타낸 그림이다.

적응 필터 알고리즘에서 스텝 사이즈의 값이 커지면 수렴 속도는 늦고 작으면 수렴속도가 빨리 수렴오차로 가는 것을 관측 할 수 있다.

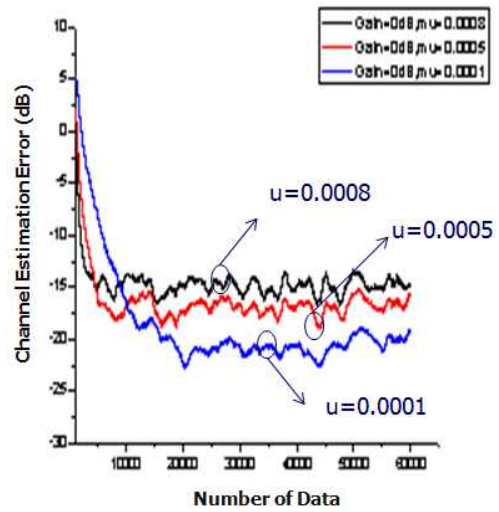


그림 4. 케환 신호의 크기가 0dB일 때 스텝 사이즈에 따른 학습곡선(Learning Curve)

Fig. 4 0dB when the size of the feedback signal in accordance with step size compared to the learning curve.

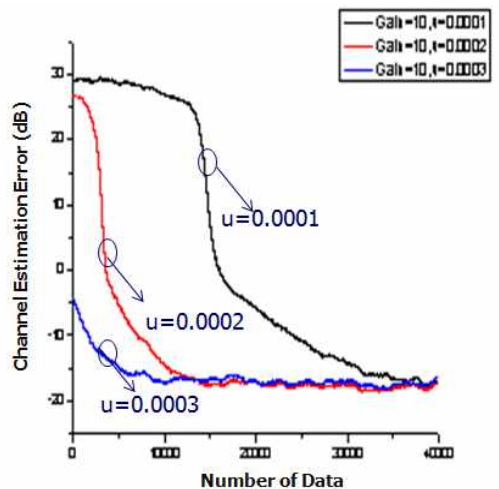


그림 5. 케환 신호의 크기가 10dB일 때 스텝 사이즈에 따른 학습곡선

Fig. 5 10dB when the size of the feedback signal in accordance with step size compared to the learning curve.

#### 4.2 Static 케환 신호 일 때 제안한 적응 알고리즘과 nLMS 적응 알고리즘 성능 평가

그림 6.7은 각각 케환 되어 오는 신호의 크기가 -6,10dB 인 경우 스텝 사이즈의 크기 0.0001값으로 정하고 기존의 nLMS와 제안한 알고리즘의 수렴곡선의 특성을 비교하였다. 케환 되어 오는 신호의 이득이 0dB 이하 인 경우 수렴속도 및 수렴 오차 측면에서 비교했을 때 제안한 complex signed sign LMS 적응 알고리



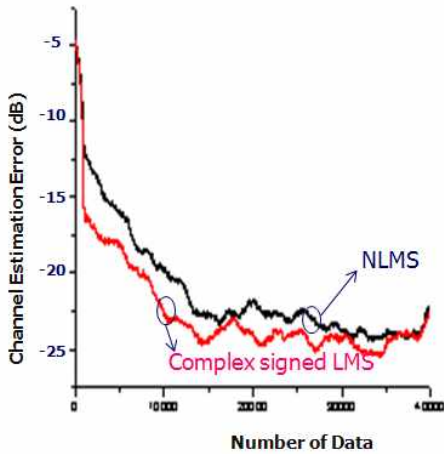


그림 6. 궤환 신호의 크기가 -6dB일 때 nLMS & Complex Signed Signed 적응 알고리즘 비교

Fig. 6. Comparison of results between nLMS and Complex Signed Signed algorithm in case of -6dB of feedback signal.

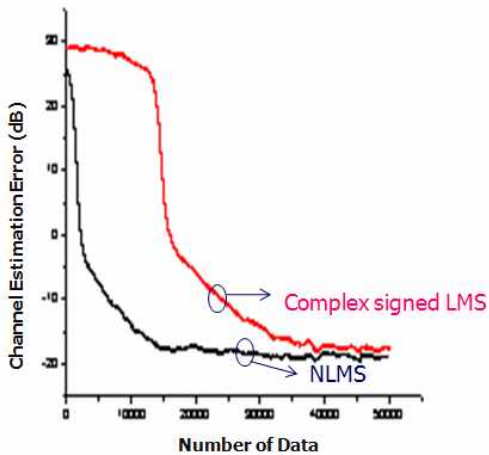


그림 7. 궤환 신호의 크기가 10dB일 때 nLMS & complex signed signed LMS 적응 알고리즘의 비교

Fig. 7. Comparison of results between nLMS and Complex Signed Signed algorithm in case of 10dB of feedback signal.

즘의 성능이 우수했으나 0dB 이상인 경우는 nLMS 적응 알고리즘 성능이 제안한 적응 알고리즘보다 더 우수함을 알 수 있다.

### V. 결 론

중계기에서 송신신호가 다중 경로 채널을 거쳐 수신 안테나로 궤환 되는 신호로 인하여 성능 열화가 나타난다. 본 논문에서는 WCDMA ICS 중계기에 적용되어 지

는 적응 필터 알고리즘에서 필터의 탭 수의 증가로 발생하는 연산량의 증가로 하드웨어 복잡도가 증가하게 되는데 이러한 부분을 크게 줄 일 수 있는 complex signed sign LMS 적응 알고리즘을 제안하였다. 제안한 Complex Signed Signed 적응 알고리즘의 필터 업데이트 방정식에 다양한 스텝 사이즈를 적용하여 모의실험을 실시한 결과, 스텝 사이즈가 증가함에 따라 수렴 오차는 커지지만 수렴 속도가 빠르다는 것을 알 수 있었으며, 스텝 사이즈가 너무 작거나 클 경우 수렴하지 못하고 그대로 발산해 버리는 것을 알 수 있다. 다음으로 본 논문에서 제안한 적응 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 static 환경 하에서 궤환 되어지는 신호의 크기를 변화시켜 nLMS 적응 알고리즘과 성능 비교 모의실험을 실시한 결과, 제안된 적응 알고리즘을 사용하였을 경우 궤환되어 오는 신호의 이득이 0dB이하일 경우 오차 벡터 크기가 nLMS 적응 알고리즘 성능과 비교했을 때 수렴속도 및 수렴 오차 측면에서 우수한 성능을 나타내었다.

향후 제안한 Complex Signed Signed 적응 알고리즘의 성공적인 구현을 위해서 도플러 환경 하에서 실험 결과와 실제 구현을 통해 실험을 실시하고 최적의 파라미터를 구하기 위한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] Ramjee Prasad, *OFDM for Wireless Communications Systems*, Artech House, 2004.
- [2] L. J. Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 33, no. 7, pp. 665-675, Jul. 1985.
- [3] M. Alard and R. Lassalle, "Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers," *EBU Review Technical*, no. 224, pp. 168-190, Aug. 1987.
- [4] J. R Treichler, C.R. Johnson Jr., M.G Larimore, "Theory and Design of Adaptive Filters", Prentice Hall, pp 107
- [5] A.H Sayed, "Fundamenatals of Adaptive Filtering", Wiley, pp24.
- [6] S.Haykin, "Adaptive Filter Theory", 4th Ed, Prentice Hall, pp 96~100
- [7] Tyseer Aboulnasr and K. Mayyas "A Robust Variable Step-Size LMS Type Algorithm Analysis and Simulation", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.45, No.3, Mar. 1997.

저 자 소 개



이 성 재(정회원)  
 1984년 영남대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1991년 고려대학교 정보통신  
 공학과 석사졸업.  
 2002년 영남대학교 멀티미디어  
 통신과 박사과정 수료  
 1991년~2000년 SK Telecom 기술개발 본부장  
 2000년~2004년 SK INNOACE 사장  
 2004년~현재 (주) RF Widow 회장  
 <주관심분야 : 이동통신, 디지털 신호처리, 근거  
 리통신망, Picocast >



박 용 완(평생회원)  
 1982년 경북대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1984년 경북대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1989년 뉴욕주립대학교  
 전기공학과 석사 졸업  
 1992년 뉴욕주립대학교 전기공학과 박사 졸업  
 1992년~1993년 California Institute of  
 Technology 전자공학 Research Fellow  
 1996년~현재 영남대학교 정보통신공학과 교수.  
 <주관심분야 : 이동통신,무선멀티미디어 설계기  
 술, 텔레매틱스, 차세대 위치기반 기술>

홍 승 모(정회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 제 47권 TC편 제 9호 참조