

논문 2010-47TC-9-6

가변 스텝 Complex Sign-Sign LMS 적응 알고리즘을 사용한 WCDMA 간섭제거 중계기

(WCDMA Interference Cancellation Wireless Repeater Using Variable
Stepsize Complex Sign-Sign LMS Algorithm)

홍 승 모*, 김 중 훈**

(Seungmo Hong and Chonghoon Kim)

요 약

간섭제거 무선중계기는 미약한 기지국/단말의 RF신호를 곧바로 증폭해서 송출하여 기지국과 단말간의 연결범위를 확장하는 중계기로 송출된 신호의 일부가 주위환경에 의해 반사되어 입력되는 간섭신호를 제거하는 기능이 필수적이다. 본 논문에서는 궤환 신호 제거를 위한 채널 추정 알고리즘으로 Variable Stepsize Complex Signed-Signed(VSCSS) LMS 적응 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 곱셈/나눗셈 연산이 없이 구현할 수 있어 FPGA 구현시 소요되는 논리 자원(Resource)을 획기적으로 줄일 수 있다. 알고리즘의 성능을 CSS-LMS 알고리즘과 비교 분석하였으며 모의실험을 통해 얻어진 학습곡선(Learning Curve)으로부터 분석의 유효성을 검증하였다. 또한 페이딩 궤환 채널 환경에서 WCDMA 신호에 대한 모의실험으로 널리 사용되고 있는 NLMS 알고리즘 과 수렴 속도 및 오차 측면에서 거의 같은 성능을 보임을 입증하였다.

Abstract

An Interference Cancellation Wireless Repeater transmits directly amplified the RF signal input to extend the coverage of the base station. Such a repeater inevitably suffers from the feedback interferences due to the environment and the adaptive Interference Cancelling System(ICS) is necessary. In this paper, the Variable Stepsize Complex Sign -Sign(VSCSS) LMS algorithm for ICS is presented. The algorithm can be implemented without multiplication/division arithmetic operation so that the required logic resources can be dramatically reduced in FPGA implementation. The performance of the proposed algorithm was analyzed in comparison with CSS-LMS algorithm and the learning curves obtained from simulation showed an excellent agreement with the theoretical prediction. The simulation result with ICS in fading feedback channel environment showed the performance of the proposed algorithm is compatible with NLMS algorithm.

Keywords : Inference Cancellation, Adaptive Filter, Multipath Fading Channel

I. 서 론

이동통신 시스템의 확장을 위해서는 도심 건물이나

지하철 등의 음영지역 해소가 중요한 문제가 되며 이를 위해 기지국의 증설보다 비용이 저렴한 유무선 중계기가 설치되고 있다. 이러한 환경에서 기지국 과 단말기의 신호들을 직접 증폭하는 무선중계기는 유선 선로자원이나 별도의 무선 주파수 자원에 대한 비용이 없으므로 대단히 유용하다. 그러나 이러한 무선중계기는 동일 RF 채널의 신호를 증폭하여 송출하게 되므로 송 수신 안테나간의 격리(isolation)가 필요하며 송신 안테나로부터 송출된 신호가 건물, 지형 또는 자동차 등의 주위

* 정희원, (주)RFWINDOW 선행연구개발팀
(RFWINDOWS)

** 정희원, 숭실대학교 정보통신전자공학부
(School of Electronic Engineering, Soongsil
University)

접수일자: 2010년5월25일, 수정완료일: 2010년9월15일

환경으로부터 반사되어 수신안테나로 들어오는 다중경로(Multi Path) Fading 형태의 케환 간섭신호로부터 원신호를 분리하는 간섭제거 기능이 구현된 간섭 제거중계기가 필수적으로 요청된다.

WCDMA 신호는 제한 대역 (Band-Limited)의 백색잡음(AWGN) 신호로 간주할 수 있으며 따라서 자기 상관관계 (Auto-Correlation)의 특성을 사용해 원 신호와 지연된 케환 간섭신호를 분리할 수 있다. 이때 케환 간섭신호가 시변 (Time varying)인 관계로 적응필터 간섭제거 알고리즘이 사용된다. 상용화된 WCDMA 간섭제거 중계기는 RF 신호를 기저대역의 고속의 디지털 신호로 변환하고 간섭제거과정을 거쳐 다시 RF로 변환, 증폭된 후 송신하게 되며 간섭제거를 위한 적응 알고리즘은 비교적 구현하기 용이한 LMS(Least Mean Square) 계열의 알고리즘이 사용되고 있으며 다수의 FA(Frequency Allocation)에 대해 각각의 채널별로 간섭제거가 요청되어 이러한 고속, 대량의 디지털 신호처리를 위해서 FPGA를 사용하여 구현하고 있다.

한편 LMS 적응 알고리즘은 오래된 역사에 걸맞게 여러 응용 분야에 따라 많은 파생 알고리즘이 나왔으며, 이 중에서 많이 이용되고 있는 적응 필터 알고리즘 중 상대적으로 연산량이 적으면서 성능이 좋은 NLMS (Normalized Least Mean Square) 적응 알고리즘이 상용화된 간섭중계기에서 널리 사용되고 있다. NLMS 알고리즘은 다수의 곱셈 연산이 필요하며 구현에 있어서 많은 논리 자원이 소요되어 곱셈기가 탑재된 고속 대용량의 FPGA가 소요된다. 연산량이 적고 간단한 LMS 계열의 알고리즘으로는 복소수 Sign-Sign LMS (또는 Complex Sign-Error Sign-data LMS) 알고리즘이 대표적인데 이러한 CSS-LMS 알고리즘은 곱셈 연산이 없고 매우 간단하다는 장점이 있으나 스텝을 크게 수렴 속도를 빠르게 하면 Misadjustment에 의한 오차^[1]로 잡음이 크고 잡음을 감소하도록 스텝크기를 줄이면 수렴 속도가 대단히 느려지는 단점이 있어 도플러 페이딩에 의한 케환 간섭제거가 요구되는 간섭중계기에 사용되기에는 한계가 있다.

본 논문에서는 CSS-LMS 알고리즘의 수렴 속도 문제를 해결하고 곱셈이 없는 장점을 유지할 수 있는 곱셈 연산이 없는 가변 스텝(Variable Stepsize) CSS-LMS 알고리즘 (VSCSS-LMS)를 제안한다. 제안된 알고리즘은 스텝 크기를 적응필터의 상태에 자동으로 조절되어 적응필터의 계수가 최적 상태인 Wiener Solution 이

아닌 경우 스텝의 크기를 늘려 빠른 속도로 최적 해에 접근하며 최적 상태의 경우 Misadjust에 의한 오차를 줄이기 위하여 스텝의 크기를 최소화 한다. 다양한 가변스텝 LMS 알고리즘^[2~3]이 이미 제안된 바 있으나 본 논문에서 제안된 가변스텝 알고리즘은 곱셈이 포함되지 않는 하드웨어로 구현할 수 있어 CSS-LMS와 결합할 경우 하드웨어 구현이 매우 간단하고 연산자원이 최소화 될 수 있다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 간섭제거 중계기의 구성과 모델을 소개하고 III장에서 제안된 VSCSS-LMS 알고리즘을 분석하며 CSS-LMS 알고리즘과의 관계 및 성능 분석을 수행한다. 또한 가변 스텝 알고리즘을 곱셈/나눗셈이 없는 하드웨어 구조로 구현할 수 있는 방안을 제시한다. IV 장에서는 모의실험을 통하여 분석된 성능을 검증하며 Rayleigh Fading 케환 채널 환경에서의 ICS 성능을 NLMS 알고리즘과 비교하였으며 V장에서 결론을 맺었다.

II. 간섭제거 중계기(ICS) 시스템 모델

그림 1은 간섭중계기 와 케환 간섭 환경의 모델을 나타낸다. 신호 $s_i(n)$ 은 하향링크(Down link)인 경우 기지국으로부터 중계기에 수신된 신호이며 상향링크(Up Link)일 경우 단말기로부터 수신된 신호를 나타낸다. 중계기 입력에는 원 신호 $s_i(n)$ 과 함께 중계기 출력 $s_o(n)$ 에 케환 채널을 거쳐 입력되는 신호 $y_{FB}(n)$ 이 더해져 중계기 입력 신호 $d(n)$ 은

$$d(n) = s_i(n) + y_{FB}(n) \quad (1)$$

으로 표현된다. 케환 신호 $y_{FB}(n)$ 는 시스템 출력 $s_o(n)$ 으로부터

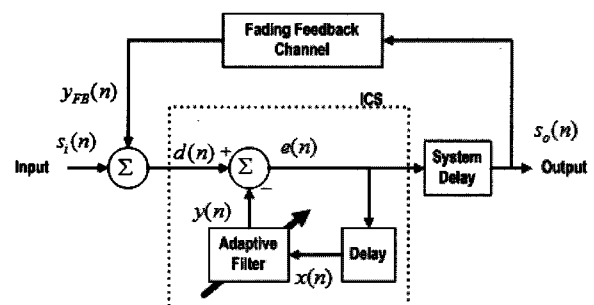


그림 1. 간섭제거 중계기와 케환 간섭 환경
Fig. 1. Feedback interference environment and Interference Cancellation System(ICS).

$$y_{FB}(n) = \sum_{k=1}^N \sqrt{g_k} e^{j\phi_k} s_o(n - \tau_k) \quad (2)$$

로 나타낼 수 있으며 이 때 $\sqrt{g_k}, \phi_k, \tau_k$ 는 각각 k 번째 궤환 경로에 의한 이득, 위상 변이 및 지연 시간을 나타낸다. 시스템 출력 신호 $s_o(n)$ 는 입력신호 $d(n)$ 으로부터 궤환 성분 추정 신호 $y(n)$ 을 뺀 오차신호 $e(n)$ 으로부터 시스템 지연시간 τ_s 만큼 지연된 신호이며 적응필터의 입력신호 $x(n)$ 역시 $e(n)$ 으로부터 $\tau_x (\geq \tau_s)$ 만큼 지연된 신호이다.

$$s_o(n) = e(n - \tau_s), \quad x(n) = e(n - \tau_x) \quad (3)$$

적용 필터는 N 개의 복소 계수 $\{w_k\}$ 을 갖는 FIR(Finite Impulse Response) 필터로 구성되며 출력 $y(n)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} w_k^* x(n-k) \quad (4)$$

적용 필터 알고리즘은 오차 $e(n)$ 과 입력신호 $x(n)$ 가 직교(Orthogonal) 하도록 계수를 조정하며 최적 계수인 Wiener Solution 이 될 때 $y(n)$ 과 궤환 신호간의 오차가 최소가 되어 궤환 간섭을 제거한다. 최적 계수 일 때의 적응필터 출력을 $y_{opt}(n)$ 라 하면

$$y_{opt}(n) = y_{FB}(n) + \epsilon_{\min} \quad (5)$$

으로 나타낼 수 있다.^[4~7]

III. 제안된 간섭제거 적응 알고리즘

일반적인 CSS-LMS 적응 알고리즘^[4]은 적응필터의 n 번째 갱신된 k 번째 복소 계수 $w_k(n)$ 에 대하여

$$w_k(n+1) = w_k(n) + \frac{\mu_{css}}{2} \text{csgn}(e(k)) \text{csgn}(x^*(n-k)) \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 이 때 함수 $\text{csgn}(\cdot)$ 는 복소수 signum 함수이나 하드웨어 구현의 편의를 위해 다음과 같이 정의한다.

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

본 논문에서 제안하는 VSCSS-LMS 알고리즘은 식 (6)의 스텝 크기 매개변수 μ 를 적응필터 계수의 실수부와 허수부에 따라 다르게 설정하고 각각의 μ 값이 계수에 상태에 따라 변화되도록 별도의 추가 알고리즘을 추가한 것이다. 먼저 변형된 CSS-LMS 알고리즘은 적응필터의 k 번째 계수를 $w_k(n) = w_{k,R}(n) + jw_{k,I}(n)$ 라 할 때

$$\begin{aligned} w_{k,R}(n+1) &= w_{k,R}(n) + \mu_{k,R}(n) \text{Re}\{\Delta_k(n)\} \\ w_{k,I}(n+1) &= w_{k,I}(n) + \mu_{k,I}(n) \text{Im}\{\Delta_k(n)\} \\ \Delta_k(n) &= \frac{1}{2} \text{csgn}(e(k)) \text{csgn}(x^*(n-k)) \end{aligned} \quad (8)$$

로 정의한다. 여기서 $\Delta_k(n)$ 는 k 번째 계수의 현재 상태에서 최적 계수를 향한 Gradient의 부호만을 취한 것으로 해석할 수 있으며 실수 및 허수 부분은 각각 $\{-1, 0, 1\}$ 중 한 값으로 나타난다. 식 (8)에서 스텝 매개변수 $\mu_{k,R}(n) = \mu_{k,I}(n) = \mu_{css}$ 로 상수 이면 식 (8)은 식 (6)에서 술된 일반적인 CSS-LMS 알고리즘이 됨을 알 수 있다. 다음으로 본 논문에서 제안하는 VS 알고리즘은 $\Delta_k(n) = \Delta_{k,R}(n) + j\Delta_{k,I}(n)$ 이라 할 때

$$\mu_{k,R}(n) = \frac{\mu_0}{M} |v_{k,R}(n)|, \quad \mu_{k,I}(n) = \frac{\mu_0}{M} |v_{k,I}(n)| \quad (9)$$

$$\begin{aligned} v_{k,R}(n+1) &= v_{k,R}(n) + \Delta_{k,R}(n) - \Delta_{k,R}(n-M) \\ v_{k,I}(n+1) &= v_{k,I}(n) + \Delta_{k,I}(n) - \Delta_{k,I}(n-M) \end{aligned} \quad (10)$$

로 정의되며 식 (10)은 다음과 같은 표현과 동등함을 보일 수 있다.

$$\begin{aligned} v_{k,R}(n) &= \sum_{i=1}^M \Delta_{k,R}(n-i) \\ v_{k,I}(n) &= \sum_{i=1}^M \Delta_{k,I}(n-i) \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)은 n 번째 시점에서 직전 과거 M 회의 알고리즘 반복 동안의 Gradient 부호의 합을 의미하며 이 식 으로부터 각 계수의 상태에 따른 스텝 매개변수의 변화를 해석할 수 있다.

1) 정상상태 (Steady State)

k 번째 계수가 최적 계수 상에 있을 때 LMS 알고리즘은 정상 상태에 있게 되므로 Orthogonality 원리^[5]가 적용되어 $\Delta_{k,R/I}(n-1), \dots, \Delta_{k,R/I}(n-M)$ 은 각각 IID (Independent and Identically Distributed) 프로세스로 가정할 수 있다. 식 (8)의 $e(k)$ 및 $x^*(n-k)$ 의 실수 및

허수부의 부호가 1 또는 -1 일 확률이 각각 1/2 임을 가정할 때 $\Delta_{k,R/I}(n-k)$ 의 확률 분포는

$$\begin{cases} P[\Delta_{k,R/I}(n-k) = 1] = \frac{1}{4} \\ P[\Delta_{k,R/I}(n-k) = -1] = \frac{1}{4} \\ P[\Delta_{k,R/I}(n-k) = 0] = \frac{1}{2} \end{cases} \quad (12)$$

으로 표현 된다. 식 (11)로부터 랜덤 변수 $v_{k,R/I}(n)$ 는 M 개의 IID 랜덤 변수 $\Delta_{k,R/I}(n-k)$ 의 합이므로 식 (12)의 확률 분포로부터 $v_{k,R/I}(n)$ 의 확률 분포를 계산하면 다음과 같은 결과를 얻는다.

$$\begin{aligned} P[v_{k,R/I}(n) = K] &= P[v_{k,R/I}(n) = -K] \\ &= \frac{M! \Gamma\left(M + \frac{1}{2}\right)}{\sqrt{\pi} (M-K)! (M+K)!} \end{aligned} \quad (13)$$

여기서 $0 \leq K \leq M$ 이며 $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수이다. 식 (13)의 결과를 사용하여 식(9)로부터 계산된 스텝 매개 변수의 기대치는 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \mu_{k,R}(n) &= \mu_{k,I}(n) = \mu_{ss} \\ \mu_{ss} &= \mu_0 \frac{\Gamma\left(M + \frac{1}{2}\right)}{\sqrt{\pi} M!} \end{aligned} \quad (14)$$

식(14)에서 Stirling 근사화^[6]을 통하여 M 값이 충분히 클 때 근사식

$$\mu_{ss} \approx \frac{\mu_0}{\sqrt{\pi M}} \quad (15)$$

를 얻을 수 있다.

2) 과도상태 (Transient State)

k 번째 계수가 최적 계수 (Wiener Solution)에서 멀리 떨어져 있을 경우 LMS 알고리즘은 최적 계수의 방향으로 향하게 되므로 과도 상태가 계속 되는 동안 $\Delta_{k,R/I}(n)$ 은 $\{1,0\}$ 또는 $\{-1,0\}$ 의 값을 가지게 되며 따라서 식 (11)의 $v_{k,R}(n)$ 및 $v_{k,I}(n)$ 의 값은 $M/2$ 또는 $-M/2$ 이 되어 식 (9)로부터 과도 상태 스텝 매개변수 μ_{tran} 은

$$\mu_{tran} = \frac{\mu_0}{2} \quad (16)$$

이 된다.

3) VSCSS-LMS 와 CSS-LMS 알고리즘 비교

과도 상태일 때 식(8), (16) 으로부터 $\mu_{tran} = \mu_{css}$ 이면 VSCSS-LMS와 CSS-LMS 알고리즘은 같은 수렴 속도를 가지게 된다. 그러나 정상 상태에 이르면 VS-CSS 알고리즘의 스텝 크기는 식 (15), (16)으로부터 $2/\sqrt{\pi M}$ 만큼 줄어들게 되며 Misadjustment 에 의한 오차도 그만큼 줄어든다^[1]. 따라서 정상상태 일 때 VSCSS-LMS 알고리즘의 간섭제거 개선비를 κ [dB]라 하면

$$\kappa = 10 \log_{10}(\sqrt{\pi M}/2) \text{[dB]} \quad (17)$$

을 얻을 수 있다.

4) VS 알고리즘의 효율적인 하드웨어 구현

식 (9), (10)의 VS 알고리즘은 $M=2^K$ (K 는 정수)의 형태로 선택하면 식 (9), (10)의 $\mu_{k,R/I}(n)$ 은 다음과 같은 형태로 다시 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_{k,R/I}(n) &= |u_k(n)| \\ u_k(n+1) &= u_k(n) + \frac{\mu_0 \Delta_{k,R/I}(n) - \mu_0 \Delta_{k,R/I}(n-M)}{2^K} \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18) 으로부터 VS 알고리즘은 그림 2 와같이 곱셈/나눗셈 연산이 없는 하드웨어로 구현할 수 있다. $\Delta_{k,R/I}(n)$ 은 $\{-1,0,1\}$ 의 값만을 가지고 있으므로 2-bit 의 길이 2^K 인 Shift Register 을 이용하여 $\Delta_{k,R/I}(n-M)$ 을 구할 수 있고 곱셈 대신 $\{-1,0,1\}$ 값에 따라 $\{-\mu_0, 0, \mu_0\}$ 값을 MUX를 통해 선택하고 누산기를 사용하여 $u_k(n)$ 을 구하며 나눗셈은 K-bit Truncation 으로 대체될 수 있다.

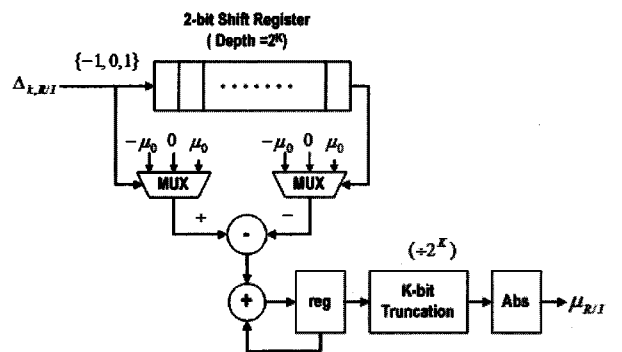


그림 2. VS 알고리즘의 하드웨어 구현
Fig. 2. Implementation hardware of vs algorithm.

IV. 모의 실험

1) 학습곡선(Learning Curve)를 통한 성능 비교

그림 3은 제안된 알고리즘과 타 알고리즘과의 성능 비교를 위한 모의실험 구성도이다. 두 개의 AWGN 신호 $s_1(n), s_2(n)$ 를 발생하여 더한 다음 적응 알고리즘을 사용하여 $s_2(n)$ 을 제거한 후 $s_1(n)$ 와 비교하여 간섭제거 성능을 관찰 하였다. 이 때 $s_2(n)$ 의 전력은 $s_1(n)$ 보다 10[dB] 크게 설정하였으며 간섭제거 오차 C 는

$$C = \frac{E\{|s_1(n) - s_2(n)|^2\}}{E\{|s_1(n)|^2\}} \quad (18)$$

로 정의 하였고, 600회의 시뮬레이션을 반복하여 그 평균을 구해 학습곡선(Learning Curve)을 얻었다. 그림 4는 $M=64$ 인 VSCSS-LMS 알고리즘과 CSS-LMS 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 먼저 $\mu=0.006$ 인 CSS 알고리즘과 VSCSS-LMS 알고리즘은 과도 상태에서 같은 수렴도를 보이고 있으며 식 (15),(16) 으로부터

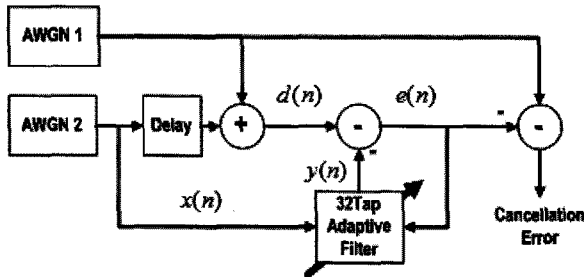


그림 3. Learning Curve를 얻기 위한 모의실험 구성
Fig. 3. Test configuration of obtaining learning curve.

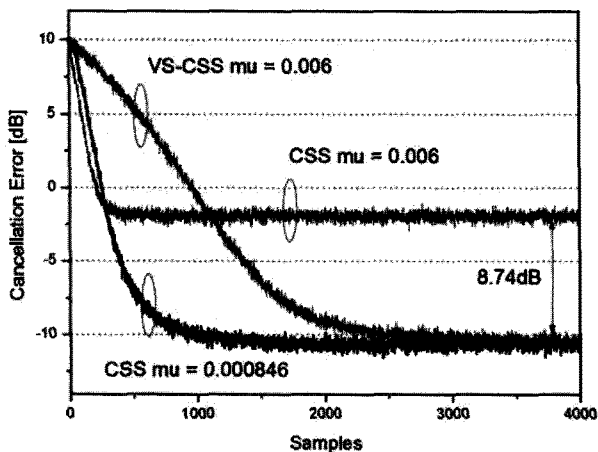


그림 4. VSCSS-LMS 와 CSS-LMS 알고리즘 비교 (Learning Curve)
Fig. 4. Comparison of results between VSCSS-LMS and CSS-LMS algorithm.

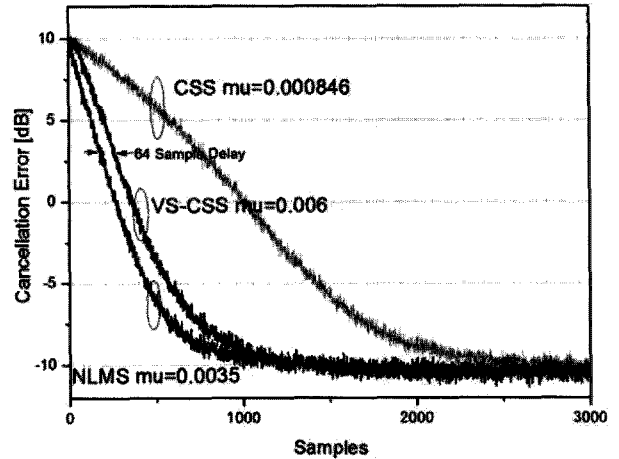


그림 5. VSCSS-LMS 와 NLMS 알고리즘 비교
Fig. 5. Comparison of VSCSS-LMS and NLMS algorithm.

$\mu = 2\mu_{tran} / \sqrt{\pi M} = 0.000846$ 인 CSS-LMS 알고리즘에서 얻어지는 간섭제거 오차와 일치함을 확인하였다. 또한 $\mu = 0.006$ 인 CSS-LMS 알고리즘에 비해 8.74 [dB]의 간섭제거 개선을 보이고 있는데 이는 식 (17)에 $M=64$ 을 대입하여 얻어지는 개선비 8.5[dB]와 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

그림 5는 VSCSS-LMS 알고리즘과 NLMS 알고리즘의 성능을 비교한 것이다. 동일한 간섭제거 성능을 얻는 NLMS ($\mu_{NLMS} = 0.0035$)에 대해 VSCSS-LMS 알고리즘은 수렴도의 기울기는 거의 동일하나 유효한 μ_{trans} 값을 얻기 위해 $M=64$ 샘플만큼의 초기 지연이 일어남을 관찰하였다.

2) ICS 환경에서의 성능 비교

제안된 VSCSS-LMS 알고리즘과 기존의 NLMS 알고리즘과의 성능 비교를 위해 그림 1의 간섭제거 시스템을 구성하여 모의실험을 수행하였다. 입력신호는 WCDMA 신호를 사용하였으며 채널 모델은 Rayleigh Fading을 모델링한 Jakes' 모델^[7]을 사용하였으며 평균 채널 이득이 5dB 가 되도록 설정하였다. 샘플 속도는 6 MSPS 이며 VSCSS-LMS 와 NLMS의 μ 값은 각각 0.004 와 0.0008 을 사용하였고 채널의 도플러 주파수 10Hz 및 50Hz 에 대해 채널 간섭 제거도를 계산하였다. 입력 WCDMA 신호를 $s(n)$ 간섭이 제거된 신호 (ICS 출력)을 $\hat{s}(n)$ 이라 할 때 n 번째 샘플 시간에서의 간섭제거 오차 $C(n)$ 은

$$C(n) = \frac{\sum_{k=1}^N |s(n-k) - \hat{s}(n-k)|^2}{\sum_{k=1}^N |s(n-k)|^2} \quad (19)$$

으로 구하였으며 $N=8192$ 을 선택하였다.

그림 6은 Fading 도플러 주파수가 10Hz일 때 VSCSS-LMS 및 NLMS 알고리즘의 간섭제거 모의실험 결과를 그린 것이다. 점선으로 표현된 그래프는 ICS의 출력이 Fading 채널을 거쳐 왜곡된 입력과 원 신호 입력과의 전력비를 나타낸 것이며 아래 두 가지 그래프는 각각 VSCSS-LMS 및 NLMS를 사용했을 때의 식 (19)로 정의된 간섭제거오차를 그린 것이다. 두 알고리즘이 거의 같은 간섭제거도를 보임을 알 수 있다. 그림

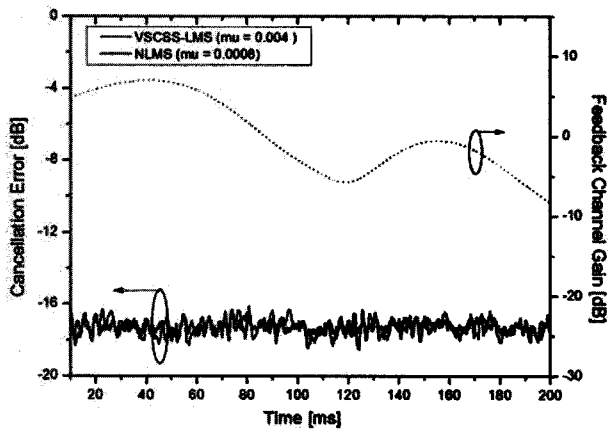


그림 6. 왜곡채널 Fading주파수 10[Hz] 일 때 ICS 성능 비교

Fig. 6. ICS performance comparison of fading frequency 10Hz in feedback channel.

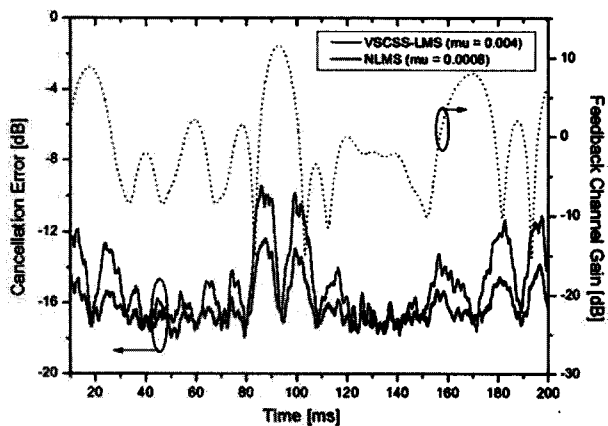


그림 7. 왜곡채널 Fading주파수 50[Hz] 일 때 ICS 성능 비교

Fig. 7. ICS performance comparison of fading frequency 50Hz in feedback channel.

7은 Fading 도플러 주파수가 50 Hz 일 때의 그래프이다. 채널 왜곡 이득이 급격히 변함에 따라 VSCSS-LMS 알고리즘의 성능이 열화 됨을 관찰할 수 있는데 이는 급격한 Fading으로 인해 최적 계수의 위치 변동이 심해짐에 따라 Gradient의 평균 값 계산의 유효성이 떨어지기 때문으로 해석할 수 있다.

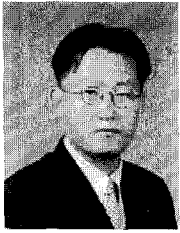
V. 결 론

본 논문에서는 ICS 중계기에 간섭제거 적응 알고리즘을 위하여 VSCSS-LMS 알고리즘을 제안하였다. 가변 스텝 알고리즘을 적용하여 CSS-LMS 알고리즘의 단점을 극복하고 NLMS와 거의 같은 성능을 가질 수 있음을 모의실험을 통해 검증하였고 CSS-LMS의 장점인 곱셈이 없는 구조를 그대로 유지할 수 있는 하드웨어 구현 방안을 제시하였다. 이러한 결과로 제안된 알고리즘이 저가 저용량의 FPGA로 구현할 수 있음을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] A. H. Sayd, "Fundamentals of Adaptive Filtering", Wiley, pp 284.
- [2] R. W. Harris, D. M. Chabries: 'A Variable Step (VS) Adaptive Filter Algorithm', IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-34, No. 2, Apr. 1986.
- [3] 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.
- [4] J. R. Treichler, C. R. Johnson Jr., M.G. Larimore, "Theory and Design of Adaptive Filters", Prentice Hall, pp 107.
- [5] S. Haykin, "Adaptive Filter Theory", 4th Ed., Prentice Hall, pp96-100.
- [6] Arfken, "Mathematical Methods for Physicists", 3rd Ed. Academic Press, pp555-557.
- [7] W. C. Jakes, "Microwave Mobile Communications", John Wiley & Sons.

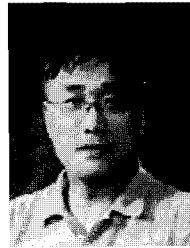
저 자 소 개



홍 승 모(정회원)
 1999년 숭실대학교 정보통신
 공학과 학사 졸업.
 2001년 숭실대학교 정보통신
 공학과 석사 졸업.
 2008년 숭실대학교 정보통신
 공학과 박사 졸업.

2009년~현재 (주)RFWINDOW 선행연구개발팀
 책임연구원

<주관심분야 : 무선통신 시스템, 고속 신호처리 회
 로 설계, 통신신호처리 >



김 종 훈(정회원)
 1984년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업
 1986년 서울대학교 전자공학과
 석사 졸업
 1993년 미국 Northwestern
 Univ. EECS 박사 졸업

1996년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 부교수

<주관심분야 : 무선통신 시스템, 고속 신호처리 회
 로 설계>