

그룹화 CMA 알고리즘을 이용한 RF 중계기의 적응 간섭 제거 시스템(Adaptive Interference Cancellation System)에 관한 연구

A Study on Adaptive Interference Cancellation System of RF Repeater Using the Grouped Constant-Modulus Algorithm

한 용 식 · 양 운 근

Yong-Sik Han · Woon-Geun Yang

요 약

본 논문에서는 RF(Radio Frequency) 중계기에서 그룹화 CMA(Constant Modulus Algorithm)와 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 이용하여 적응 필터를 적용시킨 새로운 혼합 간섭 제거기를 제안한다. 송신 안테나에서 수신 안테나로 케환되는 신호는 수신 시스템의 성능을 저하시킨다. 제안한 간섭 제거기는 그룹화 CMA 알고리즘 간섭 제거 기법을 적용시키기 때문에 기존 구조보다 나은 채널 적응 성능과 낮은 MSE(Mean Square Error)를 가진다. 이 구조는 기존 비선형 간섭 제거기에 비해 같은 MSE(Mean Square Error)에 대한 반복수와 하드웨어 복잡도를 줄여준다. 즉, 제안한 알고리즘은 LMS 알고리즘에 비해 평균 자승 에러가 적응 상수에 따라 2.5 dB 또는 4 dB 정도 낮은 값을 보였다. 또한, VSS(Variable Step Size)-LMS 알고리즘에 비해 수렴 속도가 빠르고, 비슷한 평균 자승 에러를 가진다.

Abstract

In this paper, we proposed a new hybrid interference canceller using the adaptive filter with Grouped CMA(Constant Modulus Algorithm)-LMS(Least Mean Square) algorithm in the RF(Radio Frequency) repeater. The feedback signal generated from transmitter antenna to receiver antenna reduces the performance of the receiver system. The proposed interference canceller has better channel adaptive performance and a lower MSE(Mean Square Error) than conventional structure because it uses the cancellation method of Grouped CMA algorithm. This structure reduces the number of iterations for the same MSE performance and hardware complexity compared to conventional nonlinear interference canceller. Namely, MSE values of the proposed algorithm were lower than those of LMS algorithm by 2.5 dB and 4 dB according to step sizes. And the proposed algorithm showed fast speed of convergence and similar MSE performance compared to VSS(Variable Step Size)-LMS algorithm.

Key words : Adaptive Interference Cancellation System, CMA(Constant Modulus Algorithm), LMS(Least Mean Square), RF(Radio Frequency) Repeater

I. 서 론

최근 정보화 사회의 급속한 진전으로 다양한 멀티미디어 수요가 급증하고 있으며, 이에 따라 초고

속 및 대용량 정보 전송 매체의 필요성이 대두되고 있다. 방대한 정보의 원활한 전달을 위해 무선망으로는 디지털 RF(Radio Frequency) 중계 장치, 유선망으로는 광 통신 장치가 이용되고 있다. 본 논문은

인천대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, University of Incheon)

· 논문 번호 : 20080828-112

· 수정완료일자 : 2008년 9월 11일

송신 안테나를 통하여 방사된 무선 송신 신호가 수신 안테나로 케환함으로써 발생되는 간섭 잡음을 제거하고, 발진 현상을 방지하는 기능을 가지는 RF (Radio Frequency) 중계기 시스템에 대해 기술한 것이다^{[1][2]}.

특히 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 대역(Forward: 2,130~2,150 MHz, Reverse: 1,940~1,960 MHz)에서 운용하는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식의 RF 중계기에 입력되는 주 신호와 결합된 간섭 신호, 여러 가지 페이딩 신호와 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 신호, 출력에서 나오는 신호 중 진폭, 위상 및 시간 지연을 가지는 케환 신호(feedback signal)들이 있다. 이러한 간섭 신호들을 효율적으로 제거하고, 민감한 전파 환경에 잘 적응하며, 주 신호를 출력하기 위한 간섭 제거 방법으로써 기존의 협대역 아날로그 방식이 아닌 광대역 디지털 방식의 간섭 제거에 사용한 적응 간섭 제거 알고리즘이다^[1].

따라서, 본 논문에서는 효율적인 케환 신호와 페이딩 신호를 제거하여 발진 현상을 방지할 수 있는 적응 알고리즘을 개발하고자 한다. 이러한 케환 간섭 신호를 제거하기 위해서는 실시간으로 다양한 실제 전파 환경에 적응할 수 있어야 한다. 이에 대한 해결 방안으로 케환 간섭과 페이딩에 강한 필터 구조를 갖는 알고리즘과 수렴 특성을 도출해 내는 것이 중요한 요소이다. 최근 연구되고 있는 형태를 보면 LMS(Least Mean Square) 알고리즘보다 수렴 특성이 좋고, 페이딩에 강한 알고리즘 구조로 LMS 알고리즘 변형 형태 또는 다른 알고리즘과의 혼합된 구조로 진행이 되고 있다^{[3]~[6]}. 이에 본 논문에서 적응 케환 간섭 제거 알고리즘으로 LMS 알고리즘과 비슷한 형태의 알고리즘인 CMA(Constant Modulus Algorithm)를 그림화하여, LMS 알고리즘과 동시에 결합한 GCMA-LMS(Grouped Constant Modulus Algorithm-Least Mean Square) 알고리즘을 제안한다. 이렇게 함으로써 결합에 따르는 손실을 방지할 수 있으며, 효율적으로 케환 간섭과 페이딩을 제거시켜 원하는 신호를 구현시킬 수 있다. 이러한 실시간 환경의 모의 실험을 위해 신호 처리가 가능한 DSP(Digital Signal Processing)를 이용하고, 직접 DSP 모듈을 제작함으로써 적응형 RF 중계기에 적용성을 제시할 수 있다

^[2]. 2장에서는 기존 간섭 제거 알고리즘에 대해 기술하고, 3장에서는 RF 중계기 시스템 및 제안하는 알고리즘에 대해 기술하고, 4장에서는 각 알고리즘에 따른 전산 모의 실험을 실행하고, DSP 모듈을 제작한다. 그리고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 간섭 제거 알고리즘

2-1 LMS(Least Mean Square) 알고리즘

LMS는 최소 평균 자승 알고리즘으로써 적응성 선형 필터기의 출력 여러 자승 평균값이 최소가 되도록 적응 상수를 조절하여 탭 가중 계수에 의해 처리되며 채널 값을 추정하게 된다.

즉, 수신된 신호와 판정된 신호 간 오차의 MSE (Mean Square Error)를 최소화하는 기법으로 RLS(Recursive Least Square) 알고리즘보다 수식이 간단하고, 하드웨어적으로 복잡하지 않으나, 채널 적응 속도가 느리다. 여기서 사용되는 필터기는 FIR(Finite Impulse Response) 필터기를 적용한다. LMS 알고리즘과 관계된 관계식을 살펴보면 다음과 같다^{[2][3]}.

$$e(i) = d(i) - y(i) \quad (1)$$

$$y_k = W_k^T X_k = W_k X_k^T \quad (2)$$

$$e(i) = d(i) - W_k^T X(i) \quad (3)$$

$$e_k^2 = d(i)^2 - W_k^T X(i) \cdot X(i)^T W_k - 2d(i)X_k^T W_k \quad (4)$$

$$W_{k+1} = W_k + \mu \cdot e(i) \cdot X_k \quad (5)$$

여기서 y_k 와 $e(i)$ 는 각각 필터기 출력과 시간 i 에서의 오차를 나타내고, $d(i)$ 는 기준 신호, W_k 는 탭 (Tap) 계수에 대한 행벡터, $X(i)$ 는 시간 i 에서의 입력 신호 벡터이다. 또한 여기서 μ 는 적응 상수이다. LMS 알고리즘은 계산량이 적고, 하드웨어의 복잡도도 그렇게 높지 않은 편이다.

2-2 CMA(Constant Modulus Algorithm)

CMA 알고리즘은 blind 알고리즘의 하나로써 송신측에서 훈련 순열(training sequence)을 보내지 않고, 송신측 특정 사용자의 확산 코드와 타이밍에 관한 정보만 제공해 주면 원 신호를 추정해 주는 방식

이다. 적응 필터에 적용된 CMA의 비용 함수는 식 (6)에 의해

$$J(i) = \frac{1}{2} E(y(i)^2 - y_0^2)^2 \quad (6)$$

와 같고, 이것은 비용 함수를 최소화시키는 방향으로 weight를 갱신하면 식 (7)과 같이 표현한다^{[6],[8]}.

$$W(i+1) = W(i) - \mu g(w(i)) \quad (7)$$

여기서 y_0 는 간섭이 없을 때의 바람직한 신호의 크기가 되고, $g(w(i))$ 는 비용 함수(cost function)의 gradient 측정치를 의미한다. 밑의 식은 LMS 알고리즘에서 weight를 계산할 때 사용했던 식과 같은 식이다. 여기에서 i 번째 반복후의 출력은 식 (8)과 같이 나타내어진다.

$$y(i) = W^T(i)X(i+1) \quad (8)$$

LMS 알고리즘과 유사하게 CMA는 참값의 gradient의 값 대신에 순간의 값으로 대치함에 의해서 gradient의 측정치를 사용한다. 이것에 관한 것을 식으로 표현하면 식 (9)에 의해

$$g(w(i)) = 2e(i)x(i+1) \quad (9)$$

와 같다. 탭 계수 갱신 수식은 LMS 알고리즘의 식 (1), (2)와 동일하고, 에러 함수를 생성하는 수식은 식 (10)에 의해

$$e(i) = (y_k^2 - R_c^2) \cdot y_k \quad (10)$$

과 같다. 식 (11)은 적응 상수 R_c , 신호 $s(t)$ 는 송신측에서 생성되는 신호이다^[6].

$$R_c^2 = \frac{E[s(t)^4]}{E[s(t)^2]} \quad (11)$$

III. RF 중계기의 시스템 및 제안하는 알고리즘 구조

3-1 시스템 개요

본 논문에서 디지털 간섭 제거 적용이 용이한 기본 중계 시스템을 바탕으로 하여 초기 수렴 속도가 빠르고, 오차를 최소로 하는 알고리즘으로 고안해냈다. 간섭 신호 제거를 위한 DSP부 간섭 제거 모듈을 설계하였으며, RF 중계기의 간섭 제거 시스템의

구성도를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이들 구성도는 기본 중계 시스템에서 부가된 간섭 제거 DSP부의 DSP 모듈과 그에 따른 하드웨어로 구성되었으며, 송수신부로 다음과 같이 이루어진다^[5].

3-1-1 구성 : RF(Radio Frequency) 수신단, 디지털 신호 처리부, RF 송신단으로 구성

3-1-2 기능 : RF 송수단의 기능은 다음과 같다.

- ① RF 수신단: 수신된 RF 신호를 IF(Intermediate Frequency) 신호로 내림.
- ② RF 송신단: 간섭 제거된 신호를 RF 신호로 올리고 출력함, 안테나에서 출력되는 신호를 기준(Reference) 신호로 사용하기 위하여, 신호분배기를 통하여 다시 down converting시킨다. 송신 안테나 단에서 신호 분배기를 통하여 받으므로써 실제적인 Air 공간상에서의 계환 신호에 근접한 모델링을 할 수 있는 신호를 얻게 된다.

3-1-3 디지털 간섭 신호 제거부

IF단 신호를 DSP(Digital Signal Processing) 처리하기 위하여 ADC(Analog Digital Converter)를 거쳐 Digital 신호로 변경된다. 디지털 신호 처리부에서는 수신 신호와 송신단에서 입력된 기준 신호를 입력받아 검출부에서 두 신호를 비교하여, 간섭 신호의 유/무를 판단하게 된다. 간섭 신호가 없을 시는 Bypass 경로를 통하여 출력되고, 간섭 신호 검출 시는 간섭 신호 제거부(ICS)에서 간섭 제거기가 적용될 중계기 구조 적응성 알고리즘을 통하여 간섭 신호를 제거한 신호가 이득(gain) 조정 후 D/A를 통하여 RF 송신단으로 출력하게 된다. 시스템 조절기(system controller)에서는 수신 신호와 기준 신호의 위상 및 지연 시간을 조정하고, 신호의 이득(gain), Bypass 명령들을 각 부에 전달하는 역할을 한다.

3-2 제안하는 알고리즘의 구조

적응형 간섭 제거기의 대표적 LMS(Least Mean Square) 알고리즘의 초기 수렴 속도의 단점을 보완하기 위해 CMA(Constant Modulus Algorithm) 알고리즘과 결합함으로써^{[6]~[8]} 성능을 향상시킬 수 있다. 또

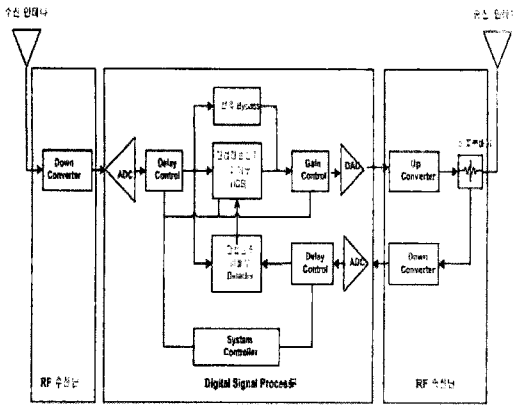


그림 1. RF 중계기의 간섭 제거 시스템 구성도
Fig. 1. The block diagram of the interference cancellation system of RF repeater.

한, CMA 알고리즘의 수렴 속도와 에러율을 향상시키기 위해 그룹화한 GCMA(Grouped Constant Modulus Algorithm) 알고리즘을 사용하였다. 여기서 CMA 알고리즘의 적응 상수값은 수렴 속도와 평균 자승 에러를 조절하는 것으로써, 적응 상수가 증가하면, 수렴 속도가 빨라지고, 평균 자승 에러가 증가한다. 제안하는 간섭 제거기는 빠른 수렴 속도를 갖는 것과 동시에 평균 자승 에러를 줄이기 위해 두 개의 적응 상수를 가지는 CMA 알고리즘을 사용하여 LMS 알고리즘과 결합하였으며, 그 구조는 그림 2와 같다.

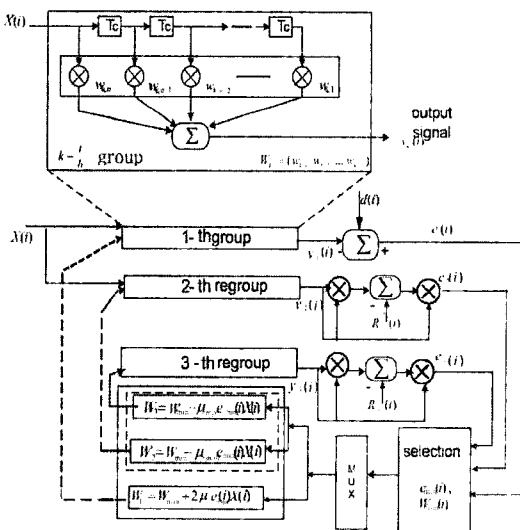


그림 2. 제안한 간섭 제거기 구조
Fig. 2. The structure of the proposed interference canceller.

이것을 수학식으로 나타내면 다음과 같다. 증가하는 탭 계수는 식 (12)와 같이 나타낼 수가 있다.

$$W_{k+1} = W_k - \mu \cdot e_k(i) \cdot X(i) \quad (12)$$

여기서 μ 는 적응 상수이고, W_k 는 탭 계수이다. 위의 수식을 그룹화 CMA를 적용하여 구하면 각 그룹에서의 출력 오차는 다음 식 (13)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} e_2 &= (y_2^2 - R_2^2) \cdot y_2 \\ e_3 &= (y_3^2 - R_3^2) \cdot y_3 \end{aligned} \quad (13)$$

식 (12)에서 가변적인 적응 상수 μ 값의 크기를 비교하여 μ 가 큰 값과 작은 값으로 나누어 적용하고, 탭계수 W 와 오차값 e 를 최소화하여 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} W_2 &= W_{\min} - \mu_{\text{large}} \cdot e_{\min}(i) \cdot X(i) \\ W_3 &= W_{\min} - \mu_{\text{small}} \cdot e_{\min}(i) \cdot X(i) \end{aligned} \quad (14)$$

여기서, 적응 상수 μ 값이 크면 적응 속도는 빨라지나, 평균 자승 에러는 높은 단점이 있으며, 적응 상수 μ 값이 작으면 적응 속도는 느려지나, 평균 자승 에러는 낮은 장점이 있다. 그러므로, 각각의 큰 값과 작은 값의 적응 상수값이 포함되어 있는 전체 갱신 계수부를 그룹화하여 적응 상수 μ 를 비교하여 하나를 선택하여 초기에 출력한다. 이렇게 함으로써 채널의 초기 적응 속도를 빠르게 하고, 에러율을 최소로 할 수 있다. 식 (1)과 (10)에 의해 생성된 LMS와 CMA 알고리즘의 에러 함수는 MSE의 기준값에 의해 선택기로 선택된다. 즉, MSE값이 0.5 이상이면 그룹화 CMA 알고리즘의 에러 함수를 선택하여 동작하고, 차츰 적응 후 MSE값이 0.5 이하이면 LMS 알고리즘의 에러 함수를 선택하여 동작하게 된다. 이렇게 함으로써 초기 채널의 적응 속도를 빠르게 하고 에러율을 낮출 수 있다.

IV. 전산 모의 실험 및 제작

시뮬레이션 채널 환경은 입력되는 신호를 기준으로 백색 잡음(AWGN)이 약 10 dB이고, 3개의 페이딩 경로와 1개의 케환 신호 경로를 갖는 환경으로 가정하였다. 그림 3은 CMA 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 여기서 적응 상수 μ 를 0.001

로 설정한 경우의 CMA 알고리즘의 시뮬레이션 결과이고, 그림 4는 그룹화의 결과로 적응 상수 큰 값은 0.005이고, 작은 값은 0.001로 설정했다.

그림 3, 4의 실험 결과에 의해 반복 횟수가 40일 때 평균 자승 오차는 CMA 알고리즘의 경우 약 3.5인 반면 그룹화 CMA 알고리즘의 경우 0.35로서 기존의 LMS 알고리즘에 비해 평균 자승 오차를 약 10배 정도 감소시킬 수 있다.

표 1은 CMA와 그룹화 CMA 알고리즘의 수렴 속도와 평균 자승 에러에 대한 비교를 나타냈다. 이 결과와 같이 그룹화 CMA 알고리즘은 단독 CMA 알고리즘보다 비슷한 수렴 속도를 가지면서, 평균 자승 오차는 훨씬 낮아진다.

그림 5에서 LMS 알고리즘은 적응 상수값을 낮은

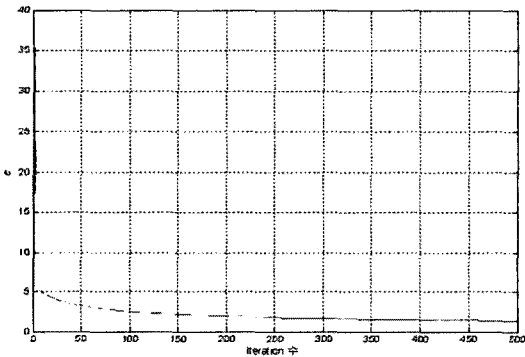


그림 3. CMA 알고리즘의 평균 자승 에러와 수렴 속도
Fig. 3. Mean square error and speed of convergence of CMA algorithm.

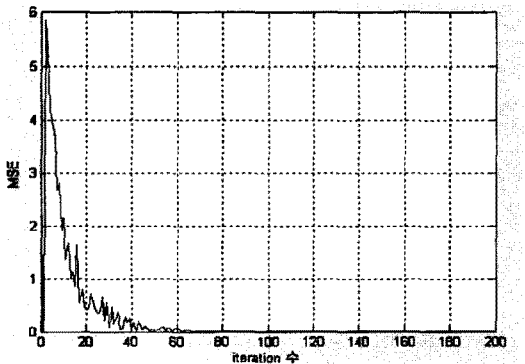


그림 4. 그룹화 CMA 알고리즘의 평균 자승 에러와 수렴 속도
Fig. 4. Mean square error and speed of convergence of grouped CMA algorithm.

표 1. CMA와 그룹화 CMA 시스템의 평균 자승 에러와 수렴 시간에 대한 비교

Table 1. Comparison of the mean square error and convergence time between CMA and Grouped CMA system.

	CMA ($\mu=0.001$)	그룹화 CMA (large $\mu=0.005$) (small $\mu=0.001$)
Convergence time (sec)	8	9
MSE(dB)	2.2	0

값으로 주었기 때문에 초기 평균 자승 에러값이 0이하로 낮아지고 있지만, 실제적으로 적응 상수값이 높은 값으로 주어지게 되면, 초기 평균 자승 에러값이 나빠지게 된다. 이에 본 논문이 제안한 LMS-GCMA 알고리즘은 적응 상수값 0.001과 0.005인 LMS 알고리즘에 비해 수렴 속도가 빠르거나, 조금 느리지만 대체로 빠른 수렴 속도를 보였다. 반복 횟수가 3,000일 때 기준으로 평균 자승 에러는 각각 4 dB 또는 2.5 dB 정도 낮은 값을 나타내었다. 또한, 다른 시스템인 VSS-LMS와 비교해서도 수렴 속도면에서 빠르고, 평균 자승 에러면에서는 거의 비슷하게 나왔다.

표 2에서는 다른 시스템과 제안 시스템의 평균 자

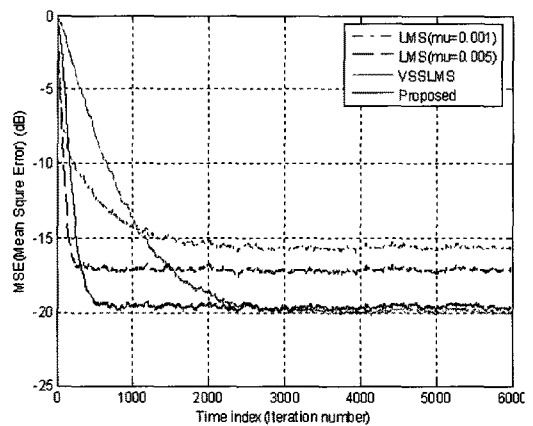


그림 5. 제안한 시스템과 다른 적응 상수를 가진 LMS 알고리즘과 VSS-LMS 알고리즘의 평균 자승 오차와 수렴율
Fig. 5. The mean square error and convergence performance of the proposed system and LMS algorithm with different step sizes and VSS(Variable Step Size)-LMS algorithm.

표 2. 제안 시스템과 다른 시스템과의 평균 자승 에러와 수렴 속도 비교

Table 2. Comparison of the mean square error and convergence time between proposed system and other systems.

	LMS (0.001)	LMS (0.005)	VSS- LMS	Proposed system
Convergence time(sec)	18	13	42	14
MSE(dB)	-15.5	-17	-20	-19.5

승 에러와 수렴 시간을 비교하였다. 수렴 시간 측면에서는 LMS 알고리즘을 적용할 때보다 다소 느리거나 빠르며, 평균 자승 에러 측면에서는 약 -20 dB 정도로써 에러율을 낮출 수 있으므로 케환 신호나 잡음 등에 의한 간섭 신호를 더 확실하게 제거할 수 있다.

이상과 같이 제안한 알고리즘은 이용하여 그림 6 과 같이 DSP 모듈을 제작할 수 있으며, 사용된 DSP 칩은 TI(Texas Instrument)사의 150MIPS(Million Instructions Per Second)의 성능을 갖는 TMS320F2812 를 사용하여 제작하였다.

특히 DSP 모듈은 DSP 블록 가중치의 계산 및 간섭 제거 모듈 전반의 제어 및 관리를 위해 Controller 로 DSP를 사용할 수 있으며, DSP 블록은 시스템 제어 모듈과의 인터페이스를 위해 GPIO(General Purpose Input Output)를 통한 신호 전송 및 제어 신호를 관리하는 기능을 지원하며, 기타 간섭 제거 모듈 전반의 제어 및 관리를 한다. 따라서 앞으로 실제 Field 상에서 간섭 제거와 신호 처리 효율을 보완하기 위

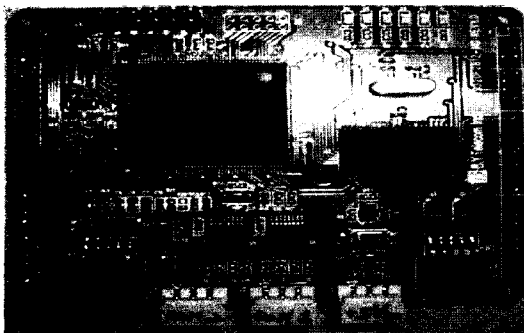


그림 6. 제작한 DSP 모듈 사진
Fig. 6. Photograph of fabricated DSP module.

한 실험과 연구가 필요할 것이다.

V. 결 론

본 논문은 간섭 제거 CMA, LMS 알고리즘을 이용한 RF 중계기의 적응 간섭 제거 시스템이다. LMS 알고리즘의 초기 채널 적응 속도를 향상하기 위해 CMA 알고리즘과 결합하였다. 또한, CMA 알고리즘의 적응 상수 값에 따른 최소 평균 자승 에러를 줄이고, 수렴 속도를 높이기 위해 그룹화 CMA 알고리즘을 사용하였으며, 이 전체를 결합한 그룹화 CMA-LMS 알고리즘의 간섭 제거기를 제안한다.

여기서 그룹화 CMA와 LMS 알고리즘을 동시에 사용함으로써 채널 적응 성능을 향상시킬 수가 있다. 즉, 다시 말해서 수신된 신호와 판정된 신호간의 오차의 제곱을 가지고 기준 값에 따라 처음에는 그룹화 CMA 알고리즘을 적용하고, 이후에는 LMS 알고리즘을 적용하여 선택하는 방법을 사용하였다. 이 제안 시스템으로 인해 빠른 수렴 시간을 가지면서 낮은 평균 자승 에러를 가지게 되며, 채널에 적응하는 성능을 향상시킬 수가 있다.

이상과 같이 본 논문은 그룹화 CMA와 LMS를 혼합한 Hybrid Grouped CMA-LMS(HGCL) 알고리즘을 사용함으로써 첫째, 기지국 시스템에서 송신 신호의 제한에 의한 간섭 잡음 및 기타 다양한 무선 환경에서 발생하여 수신 안테나로 정보 신호와 함께 들어오는 간섭 잡음을 제거할 수 있다. 둘째, 단독 LMS 알고리즘을 사용할 때보다 불안한 초기 채널에 적응 속도가 훨씬 뛰어나며, 일정 시간이 지난 후에도 빠른 수렴 속도와 낮은 평균 자승 오차(MSE)를 가짐으로써 전체적인 발진 현상 등을 없앨 수 있어, 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있다. 셋째, 각각의 알고리즘을 서로 연동하기 쉽고, 구성이 간단하여, 간섭 제거 모듈에서 손쉽게 사용할 수 있으면서도 무선 전파 환경에 강한 특성을 가지고 있다. 마지막으로, 적응하는 속도가 빠르고, 출력되는 신호의 케환 신호와 페이딩을 효과적으로 제거함으로써, 대용량, 고속 처리에 적합하여, 이를 응용한 다양한 서비스 시스템에 적용시킬 수가 있다. 따라서 환경의 변화가 심한 field 상에서 효과적으로 잘 적응하면서 케환 간섭 제거 성능을 보완하기 위해 앞으로 RF 중계

기에 대한 field 실험과 더불어 지속적인 연구가 있어야 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 김선진, 이제영, "적응성 궤환방식을 이용한 간섭 잡음제거기", 한국전자과학회논문지, 14(2), pp. 183-191, 2003년 2월.
 [2] 김민수, 안성수, "LMS 알고리즘을 이용한 RF 중계기의 궤환 간섭 신호 제거 시스템", 대한전자공학회논문지, 45(1), pp. 38-43, 2008년 3월.
 [3] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communications", *IEEE Communication Magazine*, vol. 34, pp. 124-136, Oct. 1996.
 [4] S. C. Ng, C. Y. Chung, S. H. Leung, and A. Luk, "A variable step size algorithm using evolution strategies for adaptive filtering", *Proc. IEEE Int. Conf.*

Evolutionary Computation, vol. 1, pp. 542-545, Jul. 1999.

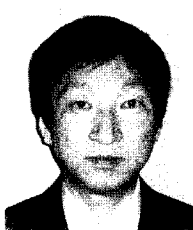
[5] 이종현, 차재상, "DTV-OCR의 궤환 간섭 신호 제거용 DSP 모듈 및 SW 개발", 한국방송공학회논문지, 8(2), pp. 116-124, 2003년 2월.
 [6] 전영섭, 선우명훈, 김경호, "CMA 알고리즘을 이용한 고속 DFE 등화기 설계", 대한전자공학회논문지, 39(4), pp. 9-15, 2002년 4월.
 [7] Byung Goo Choi, Yong Wan Pak, and Jeong Hee Choi, "The adaptive least mean square algorithm using several step size for multiuser detection", *Vehicle Technology Conference, IEEE 52nd*, vol. 6, pp. 2822-2825, Sep. 2000.
 [8] 염순진, 박용완, "간섭 제거 기법을 사용한 적응형 간섭 제거기에 관한 분석", 한국통신학회논문지, 26(8A), pp. 1291-1297, 2001년 8월.

한 용 식



1994년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2006년 9월~현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 이동무선통신 시스템, 간섭 제거 중계기, 전자파

양 윤 근



1983년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 교수
 1997년 3월~2001년 12월, 2004년 2월~2005년 1월: (주) LG전자 (구 (주)LG정보통신 포함) 자문교수
 2000년: 한국통신학회 산하 부호 및 정보이론연구회 위원장
 2001년 5월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소 초빙연구원
 2002년 3월~현재: (주)JT 기술자문교수
 2003, 2004, 2005년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in the World" 등재
 2005년~2006년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in Science and Engineering" 등재
 [주 관심분야] 이동 통신 단말기, 안테나, 전자파 비흡수율