논문 2008-45IE-1-6

LMS 알고리즘을 이용한 RF 중계기의 궤환 간섭신호 제거 시스템(Interference Cancellation System)

(Feedback Interference Cancellation System of RF Relay Utilizing the LMS Algorithm)

김 민 수*, 안 성 수**

(Minsoo Kim and Sungsoo Ahn)

요 약

본 논문은 RF 중계기에서 발생되는 궤환 신호로 인한 발진현상을 제거하는 간섭제거 방법을 제시한다. 본 논문에서는 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 이용하여 궤환 신호를 추정하고, 그에 상응하는 감쇄신호를 만들어 간섭을 제거하도록 하였다. 본 제안 방법을 이용하여 도플러(Doppler) 주파수를 변화시키면서 성능시험을 수행한 결과 궤환 신호를 상쇄시키는 -30dB의 감쇄신호를 발생시켜 발진을 방지할 수 있었다.

Abstract

This paper presents a new interference cancellation method to remove the oscillation due to feedback signal of RF relay. In this paper, we estimate the feedback signal using to LMS(Least Mean Square) algorithm and remove the interference through attenuation signal arbitrary corresponding to feedback signal. From the various performance analysis for various doppler effects, a proposed method prevents from oscillation using -30dB attenuation signal as a cancellation value of feedback signal.

Keywords: ICS, LMS Algorithm, RF Relay, Oscillation

I. 서 론

현재 일반적인 무선 통신환경에서는 통신을 원활하게 하기 위해 RF(Radio Frequency) 중계기를 일반적으로 사용하고 있다. 이는 기지국을 사용하는 무선통신 환경에서 존재하는 통신 음영지역을 해소하기 위한 해결책이라 할 수 있다. 그러나 RF 중계기의 신호 송신 시 높은 송신 출력으로 인해 송신 전력 일부가 중계기의 입력단에 유입되는 loop back signal이 발생된다. 이는 수신단의 입장에서 보면 궤환(feedback) 잡음으로 입력되게 되는 결과가 된다. 궤환 잡음 즉 loop back signal은 일종의 간섭(interference)로 작용하게 되며 이는 중계기에 의해 증폭되어 또 다른 궤환 간섭 잡음이 되고 그 간섭량이 점점 증가하여 중계기를 발진(oscillation)시키고 이는 수신 성능이 현저히 떨어지는 결과를 가져오게 된다. 이러한 발진에 의한 간섭 즉 궤환 잡음을 제거할 수 있는 기술을 ICS(Interference Cancellation System)라 한다.

궤환신호(loop back signal)는 RF중계기 입력단에 간섭(interference)로 유입되어 증폭기를 거쳐 원하는 신호(desired signal)와 같이 증폭되어 출력된다. 이 출력된 신호는 다시 궤환신호로 RF중계기의 입력단에 유입되어 증폭/증가된 간섭으로 작용하게 되고, 이 현상이

* 정회원, 국방과학연구소 KHP MEP 개발단
(Development PMO of KHP MEP, Agency of Defense Development)
** 정회원, 명지전문대학 정보통신과
(Dept. of Information Communication, Myongji College)
※ 이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2005-003-D00215).
접수일자: 2007년11월14일, 수정완료일: 2008년2월29일

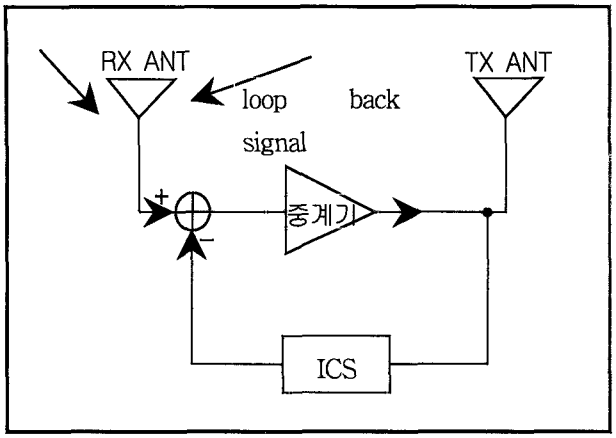

그림 1. ICS를 이용한 RF중계기 구성도
Fig. 1. Block diagram of RF relay using to ICS.

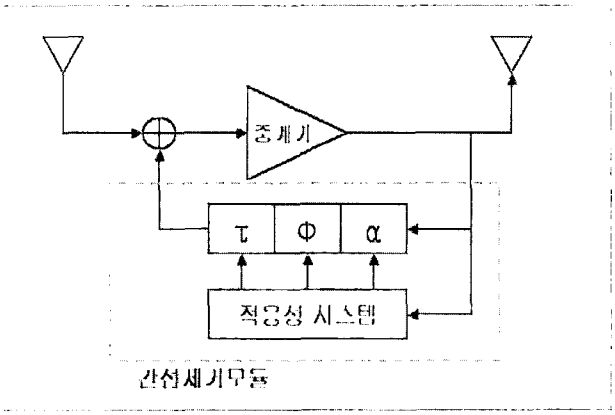

그림 2. 적응성 시스템을 사용하는 적응형 ICS
Fig. 2. Adaptive ICS using to adaptaion system.

반복되면서 RF중계기는 발진(oscillation)을 일으키게 된다. 이러한 궤환신호를 제거하기 위해, 그림 1에서 보는 것처럼 ICS를 증폭기에 병렬로 연결하여, 증폭기로 유입된 간섭을 상쇄시킨다. 그러므로 ICS는 중계기 수신 안테나의 간섭 제거를 통해 수신 성능을 향상 시켜주어 통신 음영 지역을 해소 할 수 있어 신뢰성 있는 데이터 송수신 뿐 만 아니라 통신 용량을 증대 시켜주는 무선통신의 핵심기술이다. 실제의 무선통신 환경에 적용 가능토록 하려면 수신단으로 입력되는 궤환신호에 대해 지연 시간(τ), 위상(ϕ), 진폭(α) 등의 가변 값을 시간의 변화에 대해 적응적으로 실시간 보상이 되어야 한다. 이러한 목적을 위해 설계된 시스템이 적응형 ICS이다. 적응형 ICS는 수시로 변화하는 시변 궤환 간섭 잡음에 효율적으로 대응할 수 있도록 적응성 알고리즘[1~2]을 사용하여 간섭 제거를 수행 한다. 그림 2는 적응형 ICS 블록도로 적응형 시스템에서 구해진 지연 시간, 위상, 진폭 등이 시간 변화에 따라 실시간으로 보상해 줄 수 있도록 해준다. 따라서 적응형 ICS는 시불변 고정 변수 사용 ICS 보다 설계상의 복잡도와 적응 알고리즘의 구현에 어려움이 있으나, 시간적으로 규칙적이지 못한 무선통신 환경에 능동적으로 대응할수 있는 장점을 가지고 있다.

본 논문에서는 효율적인 궤환 잡음 제거가 가능한 적응형 ICS에 적용 할 수 있는 적응 알고리즘을 개발하고자 한다. 적응형 ICS는 궤환간섭 잡음을 제거하기 위해, 우선적으로 궤환 간섭 신호를 실시간으로 인지하여, 적응 알고리즘을 통해 간섭 제거 파라메터, 즉 지연시간, 위상, 진폭등의 값을 결정하고 이 계산된 값을 새로운 궤환신호에 가중치(weighting)를 주어 지속적인 궤환 간섭 잡음을 제거하는 구조를 갖는다. 따라서 적응형 ICS의 핵심 기술은 본 논문에서 개발하고자 하는 시변 환경에서 실시간으로 변하는 궤환 간섭 잡음을 적응적으로 제거할 수 있는 적응 알고리즘이다. 이러한 적응 알고리즘은 실시간으로 변하는 궤환 간섭 신호를 제거해야 하므로, 실시간 환경의 신호처리가 가능한 DSP (Digital Signal Processing)를 이용한 시뮬레이션을 수행하여 적응형 ICS에 적용성을 제시하고자 한다.

Ⅱ. LMS(Least Mean Square) 알고리즘

ICS는 기본적으로 중계기의 수신 안테나와 송신 안테나 사이의 채널을 추정해서 궤환되는 간섭신호를 제거하는 시스템이다. 채널을 추정하기 위한 알고리즘으로 LMS(Least Mean Square)와 CGM(Conjugate Gradient Method)[3, 8]이 대표적이다. 실제 각각의 알고리즘들의 시뮬레이션 결과와 연산량 계산을 통해서 CGM이 LMS보다 채널을 추정하는 가중치 수렴을 2배 정도 빨리하고, 채널의 분산(variance)에 대해 LMS보다 성능이 좋지만, 매 반복 횟수(iteration)마다 연산량이 많아 하드웨어 구현 시 상당한 어려움이 있다. 또한, RF 중계기의 수신 안테나와 송신 안테나는 그 위치가 상대적으로 고정되어 있기 때문에 CGM을 사용할 필요

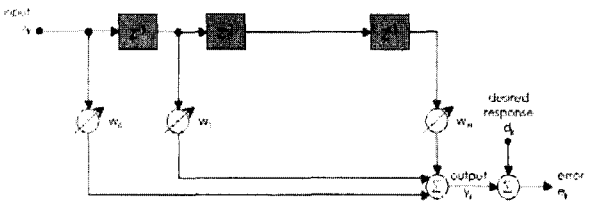

그림 3. LMS Algorithm의 블록도
Fig. 3. Block diagram of LMS Algorithm.

가 없다고 판단하여 채널을 추정하기 위한 알고리즘으로 LMS 알고리즘을 적용하였다.

그림 3에서 보는 것처럼, LMS 알고리즘은 디지털 여파기(Digital Filter)의 출력과 desired signal과의 오차를 최소화하는 방향의 가중치를 구해줌으로써 squared error를 최소화 시키는 것이다. 오류에 대한 수식은 다음과 같다.

$$e_k = d_k - W_k^H X_k \tag{1}$$

포물선 e_k^2의 기울기가 0이 되면, squared error가 최소가 된다.

$$\nabla_k = \frac{\partial e_k^2}{\partial w} = \frac{\partial}{\partial w}\left(d_k - W_k^H X_k\right)^2 = 2e_k X_k \tag{2}$$

즉, $\nabla_k = 0$일 때 squared error가 최소가 된다. $\nabla_k = 0$이 되게 하는 가중치를 갱신(update)하는 수식은 다음과 같다.

$$W_{k+1} = W_k + \mu(-\nabla_k) = W_k + \mu(2e_k X_k) = W_k + 2\mu e_k X_k \tag{3}$$

위 (3)식에서 μ는 step size로 가중치를 갱신하는 간격에 대한 상수값이다. 수렴하기 위한 μ에 대한 범위는 다음과 같다.

$$1 < \mu < \frac{1}{\lambda_{\max}} \tag{4}$$

여기서 $\lambda_{\max}$는 input signal x_k로 구성된 자기상관 행렬의 maximum eigenvalue이다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 분석

이번에는 페이딩 채널(fading channel) 환경[4~5] 하에서 C 프로그램을 이용해 LMS 알고리즘을 적용한 ICS 시뮬레이션의 결과에 대해 알아본다. 본 시뮬레이션에 적용된 channel 모델링 수식은 다음과 같다.

$$h(t) = \sum_{i=1}^{L} e^{j2\pi\left[f_c \cos\psi_i t - f_c \tau_i\right]} \tag{5}$$

L은 scatter의 수이고, f_d는 최대 도플러 주파수인데 $f_d = \frac{v}{\lambda} = v \cdot \frac{f_c}{c}$로 정의된다. ψ_i는 산란(scatter)의 방향이고, τ_i는 다중경로지연을 의미한다[6]. 본 절에서는 위 channel 모델링[7]을 이용하여 궤환되는 간섭신호의 경로(path)가 5개 일 경우에 대해 도플러 주파수(f_d)별 LMS 알고리즘의 Mean Square Error, 감쇄비, 그리고 궤환신호와 상쇄신호의 진폭과 위상차가 얼마나 일지하는 지를 살펴봄으로써 ICS Module을 장착한 RF 중계기의 성능에 대해 분석해본다.

그림 4는 본 논문에서 제안한 ICS 구조이다. 채널환경을 추정[10]하기 위해서는 채널환경을 겪은 desired signal(αS * h)이 필요하다. 그림 4를 보면 desired signal(αS * h)을 얻기 위해 송신 단에서 Training signal을 삽입[9]하여 채널 환경 정보를 획득하고 이를 알고리즘의 desired signal로 활용하여 궤환신호를 제거한다는 ICS의 기본적인 동작을 나타내고 있다.

LMS 알고리즘을 이용해서 채널을 추정하는 가중치를 구하기 위한 필터의 차수는 알고리즘의 연산량에 비례하므로, 하드웨어 구현을 고려할 때 중요한 부분이다. 본 연구의 초점을 CDMA 2000 1x(3FA) 환경에서의 ICS Module 개발에 맞췄으므로, 대역폭이 5MHz인 신호를 처리하기 위해서는 샘플링 레이트가 10Mhz이어야 한다. 따라서 LMS 알고리즘 필터 Tap의 길이는 100ns가 된다. 필터 한 Tap의 길이가 100ns이므로 가정된 delay spread 범위 10ns ~ 3,000ns 내에 궤환되는 신호들에 대해서 가중치를 적용할 수 있는 필터 tap의 차수는 30taps이 된다.

상기된 구조로 도플러 주파수가 각각 $0Hz$, $12.9Hz$, $222.22Hz$, $555.56Hz$인 페이딩(fading) 환경에서 다중경로(multipath)가 1개 일 때와 5개 일 때 ICS Module의 구조로 실제 하드웨어를 구현하기 위해

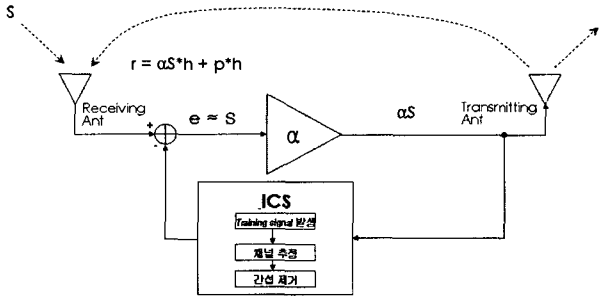

그림 4. Training signal을 삽입하여 채널환경을 추정하는 방법에 대한 블록도

Fig. 4. Block diagram for the channel estimation method using to training signal.

Fixed point 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고자 한다. 실제 ICS Module에는 ADC를 통해 하향 주파수 변환된(down converted) 16bits의 Digital 신호들이 입력되는데, 이 때 양자화 오류(Quantization error)가 발생하게 된다. 이 오류 때문에 ICS Module 동작 초기, 즉 가중치가 수렴하기 전에 궤환신호를 제대로 감쇄시키지 못해 출력신호가 발산하게 된다. 이 같은 문제점을 해결하기 위해 가중치가 수렴하기 전에는 중계기의 Amp를 Off시켰다가, 가중치가 수렴하면 ICS Module에서 control 신호를 중계기에 보내 Amp를 On시키는 Amp On/Off Switching 방법을 택하였다. 이와 같은 구조로 도플러 주파수가 각각 $0Hz$, $12.9Hz$, $222.22Hz$, $555.56Hz$인 페이딩 환경에서 다중경로가 1개 일 때와 5개 일 때 시뮬레이션을 하였고 LMS(Mean Square Error)를 통해 얻은 가중치가 도플러의 영향을 받는 채널을 적응적으로(adaptive) 추정하도록 한다.

표 1. ICS Module 시뮬레이션의 parameters
Table 1. Parameters for ICS simulation.

구 분		Parameters
Fading Parameters	L (# of scatters)	50
	f_c (carrier freq.)	2GHz
	Mobile Speed (km/sec)	0, 7, 120, 300
	chip rate	1.2288Mcps
	Sampling period	100ns
Simulation Parameters	Ensembles	200
	Simulation time	20,000(time per 100ns)
	# of filter taps	30
	Amp gain	95dB
	Level of Rx signal	-50dBm
	Level of Pilot signal	-15dBm
	Antenna seperation	-75dB
	Adaptive gain (μ)	0.358

그림 5는 고정 점(Fixed point) 시뮬레이션에서 각 f_d별 MSE를 나타낸 것이다. f_d가 커질수록 MSE의 크기가 커지나 그 변화폭이 상대적으로 작은 것을 알수있다. 이 이유는 고정 점 시뮬레이션에서는 f_d보다 앞에서 언급한 양자화 오류가 더 지배적인(dominant) 하기 때문이다.

그림 6은 고정 점 시뮬레이션에서 각 f_d별 감쇄비를 나타낸 것이다. 수신 안테나로의 입력은 일반적으로 -50dB이고 이 입력신호가 95dB 이득의 증폭기를 거치면 45dB이 되며, 이 신호가 송신 안테나를 거쳐 궤환되어 송수신 안테나 거리 이득인 -75dB를 거치면 -30dB

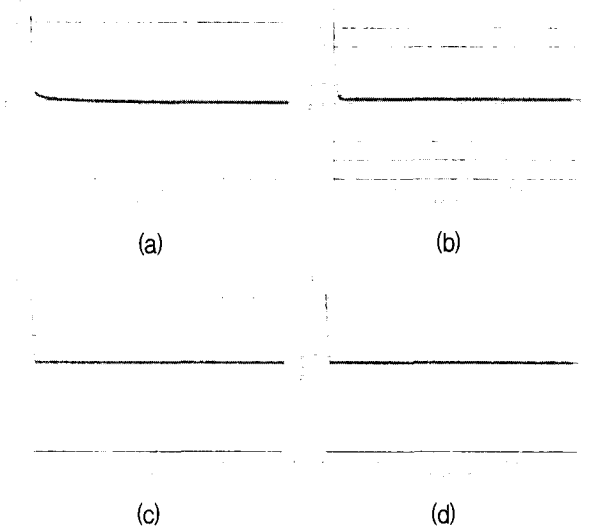

그림 5. Fixed point 시뮬레이션 : LMS 알고리즘의 MSE
Fig. 5. Fixed point simulation : MSE of LMS algorithm.
(a) Mobile speed = 0km/h, f_d = 0Hz
(b) Mobile speed = 7km/h, f_d = 12.9Hz
(c) Mobile speed = 120km/h, f_d = 222.22Hz
(d) Mobile speed = 300km/h, f_d = 555.56Hz

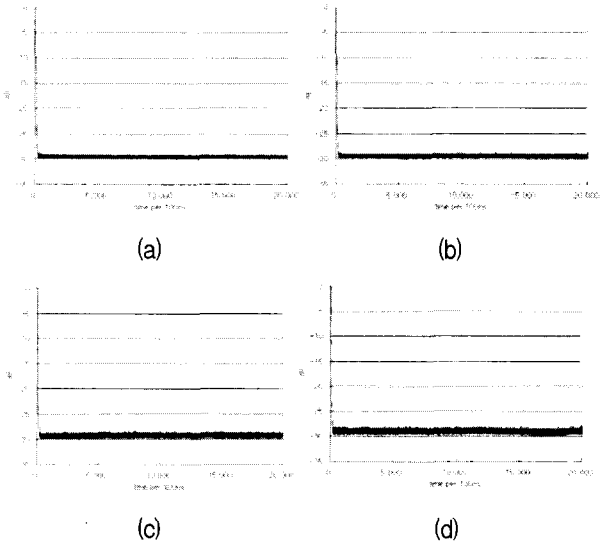

그림 6. Fixed point 시뮬레이션 : 감쇄비
Fig. 6. Fixed point simulation : Attenuation.
(a) 단말기 속도 = 0km/h, f_d = 0Hz
(b) 단말기 속도 = 7km/h, f_d = 12.9Hz
(c) 단말기 속도 = 120km/h, f_d = 222.22Hz
(d) 단말기 속도 = 300km/h, f_d = 555.56Hz

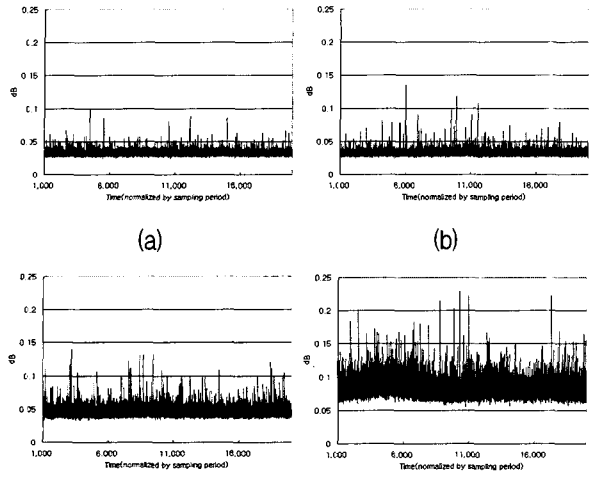

그림 7. 상쇄신호 대 궤환 간섭신호 진폭 비
Fig. 7. Amplitude ration of cancelation signal vs. feedback interference signal.

(a) 단말기 속도 = 0㎞/h, f_d = 0Hz
(b) 단말기 속도 = 7㎞/h, f_d = 12.9Hz
(c) 단말기 속도 = 120㎞/h, f_d = 222.22Hz
(d) 단말기 속도 = 300㎞/h, f_d = 555.56Hz

이 된다. 궤환된 신호값 -30dB은 새로운 수신입력 신호 -50dB과 합쳐서 큰 값인 -30dB이 증폭기로 입력되어 65dB, 수신안테나로 되돌아오면 -15dB이 되어 점점 궤환신호 값이 커지게 되어 발진하게 된다. 따라서 발진을 없애기 위해서는 궤환신호를 감쇄시켜줄 수 있는 감쇄비가 -30dB 정도가 되어야 한다. 그림 26을 보면 도플러 주파수와 관계없이 감쇄비가 -30dB가 됨을 알 수 있다.

이번에는 궤환 간섭신호와 LMS 알고리즘에 의해 생성된 궤환 간섭 상쇄신호 간의 정밀도 성능평가에 대해 기술한다. 그림 7은 상쇄신호 대 궤환 간섭신호 진폭비로 수식은 다음과 같다.

$$\left|20\log_{10}10\frac{\text{상쇄신호진폭}}{\text{궤환간섭신호진폭}}\right|(dB)$$

위 그림에서 f_d가 커짐에 따라 상쇄신호와 궤환 간섭신호의 차이가 커짐을 알 수 있다. 그리고 상쇄신호의 진폭과 궤환 간섭신호의 진폭의 차이가 ±1dB 이내임을 알 수 있다.

그림 8은 상쇄신호와 궤환 간섭신호의 위상차이며, 수식은 다음과 같다.

|궤환신호위상 – 상쇄신호위상|(°)

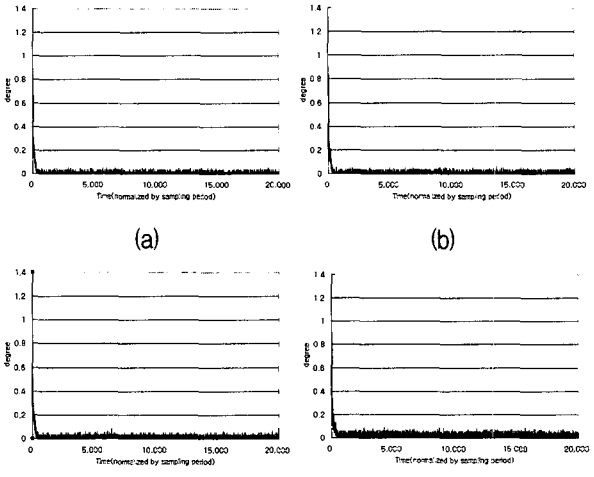

그림 8. 상쇄신호 대 궤환 간섭신호 위상차
Fig. 8. Phase difference of cancelation signa vs feedback interference signal.

(a) 단말기 속도 = 0㎞/h, f_d = 0Hz
(b) 단말기 속도 = 7㎞/h, f_d = 12.9Hz
(c) 단말기 속도 = 120㎞/h, f_d = 222.22Hz
(d) 단말기 속도 = 300㎞/h, f_d = 555.56Hz

위 그림에서 f_d가 커짐에 따라 상쇄신호와 궤환 간섭신호의 위상차가 조금씩 커짐을 알 수 있으나 상쇄신호의 진폭과 궤환 간섭신호의 위상차가 ±2° 이내임을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

중계기를 통해 증폭하고자 하는 신호에 간섭을 일으키는 궤환신호를 제거하기 위해 본 논문에서는 중계기의 송신신호에 pilot signal을 삽입하여 채널을 추정하는 간섭제거 시스템 구조를 제시하였다. 제시된 구조에서 채널을 추정하기 위해 LMS 알고리즘을 적용하였다. 본 제안 방법을 이용하여 도플러을 변화시키면서 성능시험을 수행한 결과 궤환신호를 상쇄시키는 -30dB의 감쇄신호를 발생시켜 발진을 방지할 수 있었다. 상쇄신호와 궤환 간섭신호의 진폭과 위상차는 거의 없는 것으로 판명되어 정확한 감쇄가 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Sungsoo Ahn, Minsoo Kim "Research of Smart Antenna System Using a Novel Beamforming Algorithm in the IS2000 1X

Channel" *IEICE Transactions* Vol. E87-B. No.4, Apr. 2004.
[2] Minsoo Kim, Sungsoo Ahn, Seungwon Choi, and Tapan K. Sakar "An Adaptive Beam-Forming Algorithm for Smart Antenna System in Practical CDMA Environments" *IEICE Transactions* Vol. E86-B, No.3, Mar. 2003.
[3] H. Chen, T. K. Sakar, S. A. Dianat and J. D. Brule', "Adaptive spectral estimation by the conjugate gradient method", *IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc.*, Vol. ASSP-34, No. 2, Apr. 1985.
[4] I. Ziskind and M. Wax, "Maximum likelihood location of multiple sources by alternating projection", *IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Proc.*, Vol. ASSP-36, No. 10, Oct. 1988.
[5] J. G. Proakis, and J. H. Miller, "An adaptive receiver for digital signaling through channels with intersymbol interference", *IEEE Trans. Information Theory*, Vol. IT-15, July 1969.
[6] 김민수, 이원철, 최승원 "고유공간 스마트 안테나 시스템의 적응 빔 형성 기술", *한국전자파학회 논문지*, VOL 13, 10호, 2003년 1월
[7] G. V. Tsoulos, "Smart Antennas for Mobile Communication Systems", *Electronics and Communication Enginnering Journal*, Vol. 11, No. 2. pp. 84-94, Apr. 1999.
[8] S. Choi, D. Shim and et al, "A New Blind Adaptive Beamforming Procedure Based on Conjugate Gradient Method for CDMA Mobile Communications," *ETRI Journal*, Vol. 22, No. 2, pp. 133-148, June 1998.
[9] J. H. Winters, "Smart Antennas for Wireless Systems", *IEEE Person. Commun. Mag.*, pp.23-27, February 1998.
[10] S. Choi and D. Yun, "Design of Adaptive Antenna Array for Tracking the Source of Maximum Power and Its Application to CDMA Mobile Communications," *IEEE Trans on Antenna and Propagations*, Vol. AP-45, No. 9, pp. 1393-1404, Sep. 1997.

저 자 소 개

김 민 수(정회원)
1987년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
1990년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
2002년 한양대학교 전자통신과 박사 졸업.
2001년~2006년 한중대학교 정보통신과 조교수
2006년~현재 국방과학연구소 항공전자체계부 선임연구원
<주관심분야 : 스마트 안테나, 의용공학 신호처리, MIMO, OFDM>

안 성 수(정회원)
1987년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
1990년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
2001년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.
1990년~1997년 국방과학연구소 연구원
2002년~현재 명지전문대학 정보통신과 부교수
<주관심분야 : 스마트 안테나, DSP 신호처리, 이동통신>