

논문 2009-46TC-3-4

# ICS 중계기를 위한 적응형 채널추정 알고리즘 설계

(A Design of Adaptive Channel Estimate Algorithm for ICS Repeater)

이 석 희\*, 송 호 섭\*, 방 성 일\*\*

(Suk-hui Lee, Ho-sup Song, and Sung-il Bang)

## 요 약

본 논문에서는 이동통신채널에서 발생하는 간섭현상을 제거하기 위한 적응형 채널추정(adaptive channel estimate) 알고리즘을 제안하였다. 기존 LMS 알고리즘은 입출력사이 오차를 줄이기 위해 사용하는 첫 기준신호의 선택에 따라 수렴속도와 오차정확도에 많은 영향을 받는다. 본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘은 간섭신호와 유사한 기준신호를 정하기 위해 LMS 알고리즘을 수행하기 전에 병렬의 컨볼루션 연산을 수행한다. 컨볼루션 연산을 통해 출력된 신호는 채널의 지연시간과 진폭특성을 가지고 있어 간섭신호와 유사한 특성을 가진다. 제안된 알고리즘의 성능평가는 이동통신환경과 유사한 Jake's 모델에 Doppler 주파수는 130 Hz, Random한 5개의 경로가 존재하는 Rayleigh 다중경로 채널환경에서 실험하였다. 모의실험결과 기존 LMS 알고리즘은 데이터 150개를 반복 수행함으로써 약 -40 dB의 제곱오차수렴을 보였고 제안한 적응형 채널추정 알고리즘은 데이터 200개를 반복 수행함으로써 약 -80 dB의 제곱오차수렴을 보였다. 데이터의 반복연산에 따른 수렴속도는 다소 증가하였으나 제곱오차정확도는 약 40 dB의 우수한 개선특성을 보였다.

## Abstract

In this thesis, design effective elimination interference algorithm of ICS repeat system for repeater that improve frequency efficiency. Error convergence speed and accuracy of LMS Algorithm are influenced by reference signal. For improve LMS Algorithm, suggest Adaptive channel estimate algorithm. For using channel characteristic, adaptive channel estimate algorithm make reference signal similar interference signal by convolution operation and complement LMS algorithm demerit. For make channel similar practical channel, apply Jake's Rayleigh multi-path model that random five path with 130Hz Doppler frequency. LMS algorithm and suggested adaptive channel estimate algorithm that have 16 taps apply to ICS repeat system under Rayleigh multi-path channel, so simulate with MATLAB. According to simulate, ICS repeat system with LMS algorithm show -40dB square error convergent after 150 datas iteration and ICS repeat system with adaptive channel estimate algorithm show -80dB square error convergent after 200 datas iteration. Analyze simulation result, suggested adaptive channel estimate algorithm show more three times iteration performance than LMS algorithm, and 40dB accuracy.

**Keywords :** Interference cancellation, Repeater, Convolution, Channel estimation, LMS algorithm

## I. 서 론

현대의 디지털 이동통신 기술은 단말기와 개인의 이동성 및 Service Portability를 구축하여, 궁극적으로는 개인다중통신(Universal Personal Communications)을

추구한다. 이동무선 인터넷과 같은 서비스를 제공하기 위해서는 초고속의 데이터 전송이 필요할 뿐만 아니라, 향후 가입자의 수가 증가하고 서비스 지역이 확장할 경우 가입자가 요구하는 서비스의 품질을 수용하기 위해서는 서비스 지역에 많은 중계 시스템이 필요하다<sup>[1]</sup>.

특히, 대도시와 같이 가입자가 많은 지역에서는 전파 전파(Electro magnetic propagation)환경이 열악하여 양질의 초고속 데이터를 전송하기 위해서는 서비스 지역 곳곳에 중계 시스템을 설치하여야 한다. 그러나 대도시에서 중계 시스템을 설치할 경우에는 많은 건물 등에 의

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 단국대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronics Eng. Dankook University)

※ 본 논문은 2008학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

접수일자: 2008년12월9일, 수정완료일: 2009년3월9일

하여 중계기의 위치와 크기가 많은 제약을 받는다. 즉 중계기의 송·수신 안테나간의 이격도(Isolation) 부족으로 인하여 송신 안테나의 신호가 수신 안테나로 재입력(Feedback)되어 발생하는 발진(Oscillation) 및 간섭(Interference)으로 인해 중계기의 특성에 많은 문제를 일으킨다<sup>[2]</sup>.

ICS 중계 시스템은 합성된 입력신호 중에서 귀환되는 귀환간섭신호를 제거하는 것으로써, 기존의 ICS 중계기는 한정된 채널을 고려하여 귀환되는 간섭신호를 예측하여 신호를 생성한 다음, 생성된 신호의 위상을 180도 반전시켜 원신호와 예측한 간섭신호를 합성하여 간섭을 제거한다. 즉, ICS 중계기는 귀환간섭신호를 예측 생성하는 LMS(Least Mean Square) 방식이 주로 사용되고 있다. LMS 알고리즘은 기지국과 중계기 사이에 주변환경 및 전파전파 환경이 시간에 따라 천천히 변화하는 준평활지 채널특성에 적합한 방식이다. 하지만 실제 도심지의 중계기 주변에서 이동체가 빠르게 움직이는 Fast Rayleigh Fading 환경에서는 적합하지 않다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 다중경로와 빠른 속도로 이동하는 단말기에 의해서 발생하는 전파환경에 적합한 ICS 중계기용 적응형 채널추정 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 디지털 기준신호(Reference Signal)와 중계 시스템의 수신 안테나로 입력된 간섭신호와의 자기상관 관계를 이용하여 간섭신호의 진폭과 위상을 추정하여 간섭신호를 제거하는 기법이다. 중계 시스템의 역방향 링크(Reverse Link)에서는 단말기가 빠르게 이동하는 경우, 페이딩이 심하게 발생함으로써 전계강도의 변화가 심하고, 다중경로 페이딩에 지연확산과 진폭변화가 심하여 간섭신호와 역위상이 되는 간섭제거신호를 실시간으로 유지하기 힘들다. 이에 실시간으로 빠른 수렴속도를 얻기 위해 병렬의 비교기를 두어 채널에 의한 간섭의 영향을 줄이도록 하였으며, 간섭신호 시간지연을 범위를 정확하게 검출하여 간섭제거신호가 간섭신호와 항상 역위상을 유지하도록 하였다.

## II. ICS 중계시스템 및 채널추정 알고리즘

### 1. ICS 중계시스템

기지국을 이용한 무선 통신환경에서는 통신이 원활하게 되지 않는 통신 음영지역이 존재하기 때문에 주로 RF 중계기를 일반적으로 사용하고 있다. 그러나 RF 중계기는 높은 송신 출력으로 인해 송신된 신호가 수신단

으로 다시 귀환되고, 귀환된 신호는 새로 들어오는 수신신호에 간섭신호로 작용하게 된다. 이 간섭신호가 중계 시스템에 의해서 점점 증폭이 되고 반복이 되면서 간섭량이 증가하게 된다. 이런 현상이 반복된다면 중계 시스템은 발진이 되고 중계 시스템의 수신성능이 현저히 떨어지게 된다<sup>[4]</sup>.

귀환 간섭신호를 제거하기 위해서는 송신 안테나에서 수신 안테나의 수신단으로 들어오는 귀환 간섭신호와 진폭의 크기가 동일하고 위상차가  $\pi$ 이며 동일한 시간지연의 특징을 가지는 신호를 생성하여야 한다. 귀환 간섭신호를 제거하기 위한 대응신호(제거신호, 상쇄신호)를 생성하는 일반적인 간섭잡음 제거기의 블록도는 그림 1과 같다.

수신된 신호로부터 귀환 간섭신호를 제거하는 시스템을 ICS(Interference Cancellation System)이라 하며, ICS 중계 시스템은 기존의 RF 중계 시스템에 이 ICS를 적용하여 수신 안테나로 입력되는 귀환 간섭신호를 제거하여 중계시스템의 효율을 높인다<sup>[5]</sup>. 그림 2는 ICS 중계기의 블록도이다.

ICS에서 간섭신호를 상쇄시키는 방법은 귀환 간섭신

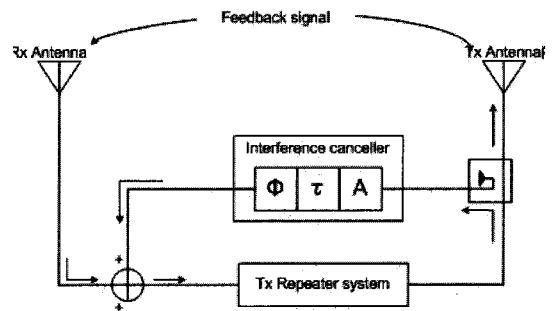


그림 1. 일반적인 간섭제거기의 블록도  
Fig. 1. A block diagram of general interference cancellation system.

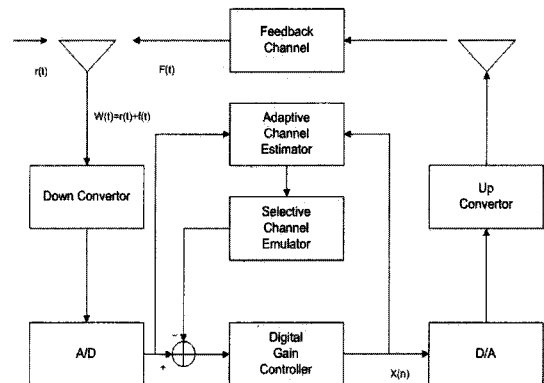


그림 2. ICS 중계기 블록도  
Fig. 2. A block diagram of ICS repeater.

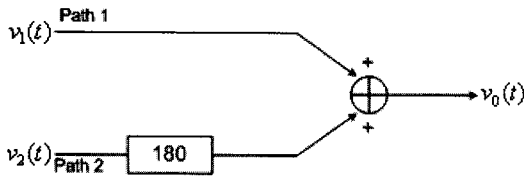


그림 3. 간섭신호 상쇄 원리  
Fig. 3. A principle of interference cancellation.

호와 똑같은 신호를 생성하여 궤환 간섭신호와 합성하는 방식이다. 궤환 간섭신호를 주 입력으로 하고 궤환 간섭신호와 똑같은 신호는 주 입력에 대하여 위상을 반전시키고 크기를 동일하게 하여 신호결합의 결합점에서 더해 두 입력신호가 결합점에서 상호 상쇄되어 출력신호가 나타나지 않은 효과를 이용한 것이다<sup>[6~7]</sup>.

그림 3에서와 같이 주경로와 보조경로의 입력신호를 각각  $v_1$  및  $v_2$ 로 정의하는 경우, 출력신호  $v_0$ 가 동일 진폭과 역위상의 조건을 만족하면 식 (1)과 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} v_1(t) &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \\ v_2(t) &= A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \\ v_0(t) &= v_1(t) + v_2(t) \\ &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) + A_2 \cos(\omega t + \theta_2) \quad (1) \\ &= A_1 \cos(\omega t + \theta_1) - A_1 \cos(\omega t + \theta_1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

where,  $A_2 = A_1, \theta_2 = \theta_1 + 180^\circ$

하지만 궤환 간섭신호는 채널특성에 따라 페이딩이 발생된 랜덤한 신호이기 때문에 궤환 간섭신호를 정확하게 예측하여 만들어내기 힘들다. 따라서 ICS는 궤환 간섭신호를 제거하기 위해 우선적으로 궤환 간섭신호를 실시간으로 인지하여 상쇄신호를 생성하여야 한다. 적응 알고리즘을 통해 간섭 제거 파라미터, 즉 지연시간, 위상, 진폭 등의 값을 결정하고 이 계산된 값을 이용하여 간섭제거 신호를 생성한 후 새로운 궤환 신호와 음의 합성을 하여 궤환 간섭신호를 제거하는 구조를 갖는다.

## 2. LMS 알고리즘

ICS의 핵심 기술은 시변환경에서 실시간으로 변하는 궤환 간섭신호를 적응적으로 제거할 수 있는 채널 추정 알고리즘이다. 궤환 간섭신호를 제거하기 위해 궤환 간섭신호의 위상과 진폭을 실시간으로 예측하기 위하여 주로 LMS(least mean square)알고리즘을 사용한다. 이 알고리즘은 탭 가중치 정리에 많이 쓰이는 방법 중 하

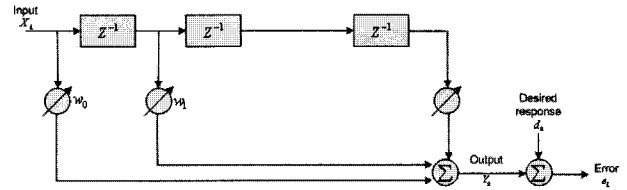


그림 4. LMS 알고리즘의 블록도  
Fig. 4. A block diagram of LMS algorithm.

나이고 출력 값과 입력사이의 mean square가 최소화되도록 하는 방법이다<sup>[8~9]</sup>. 그림 4는 LMS 알고리즘의 블록도이다.

LMS 알고리즘은 디지털 필터의 출력과 원하는 신호와의 오차를 최소화 하는 방향의 탭 가중치를 구해줌으로써 제곱에러를 최소화 시킨다. 에러에 대한 수식은 식 (2)와 같다.

$$e_n = d_n - W_n^H X_n \quad (2)$$

$e_n$ 는 에러,  $d_n$ 는 원하는 신호,  $W_n$ 는 웨이트 벡터,  $X_n$ 는 입력신호를 나타낸다. 포물선  $e_n^2$ 의 기울기가 0이 되면, 제곱 에러가 최소가 된다. 포물선  $e_n^2$ 의 기울기는 식 (3)과 같다.

$$\nabla_n = \frac{\partial e_n^2}{\partial w} = \frac{\partial}{\partial w} (d_n - W_n^H X_n)^2 = -2e_n X_n \quad (3)$$

즉,  $\nabla_n = 0$ 일 때 제곱 에러가 최소가 된다.  $\nabla_n = 0$ 이 되게 하는 웨이트를 갱신하는 수식은 식 (4)와 같다.

$$W_{n+1} = W_n + \mu(-\nabla_n) = W_n + 2\mu e_n X_n \quad (4)$$

탭계수를 계속 갱신하여 에러가 0이 될 때까지 반복한다. 이와 같은 LMS 알고리즘을 RF 중계시스템에 적용하면 그림 5와 같은 중계시스템을 구성할 수 있다.

그림 5에서 보는 바와 같이 LMS 알고리즘을 적용한

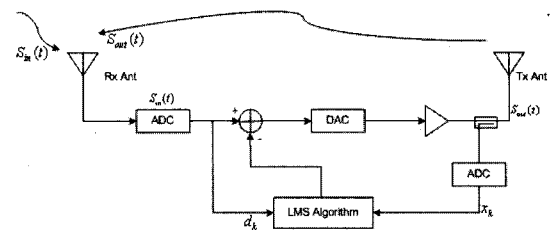


그림 5. LMS 알고리즘을 적용한 ICS 중계 시스템  
Fig. 5. A block diagram of ICS repeater with LMS algorithm.

ICS 중계시스템에서는 수신부에서 원수신신호  $S_{in}$ 와 케환되는 신호  $S_{out}(t)$ 가 들어오게 된다. RF 신호를 디지털 프로세싱 하기 위하여 기저대역으로 변환시키기 위해 ADC를 이용하여 고속으로 디지털신호  $d_n$ 로 변환시킨다. 이 변환된 디지털 신호는 LMS 알고리즘에 인가된다. 동시에 LMS 알고리즘으로 커플링 된 출력신호를 기준신호  $x_n$ 로 인가하여 오차를 최소화하기 위한 LMS 알고리즘 연산을 반복한다. 다음 인가되는 신호는 원신호와 이전 입력에 의한 케환간섭신호로 구성된다. LMS 알고리즘에 의한 이전 입력에 의한 케환간섭신호와 동일한 신호가 생성되고 이 신호는 인가된 입력신호와 차동신호로써 상쇄되고, 두 번째 인가된 신호의 원신호만 출력된다. 출력된 디지털 신호는 송신하기 위하여 DAC를 통하여 아날로그 신호로 변환되어 안테나를 통해 송신된다. 이러한 과정이 지속적으로 이루어지면서 케환 간섭신호를 지속적으로 제거하게 된다. LMS 알고리즘은 연산량이 적어 실시간으로 적용 가능한 알고리즘으로 여러 시스템에서 널리 사용되고 있지만 수렴속도가 느리고 step-size와 신호의 크기에 따라 수렴성이 떨어지는 단점이 있다<sup>[10-11]</sup>.

### III. 적응형 채널추정 알고리즘 설계

LMS 알고리즘의 첫 입력신호로 사용되는 임의의 신호는 원하는 신호와 많은 오차를 가진 신호이다. 따라서 LMS 알고리즘이 수행될 때 많은 시행착오를 가진다. 처음 입력신호가 원하는 신호와 유사하다면 즉 채널특성을 가진 신호라면 에러가 '0'이 되는 시간이 단축될 뿐만 아니라 정확도도 높아지게 된다.

기지국에서 수신되는 원신호를  $S_{in}(t)$ , 원신호를 증폭하여 출력되는 중계기 출력 신호를  $S_{out}(t)$ , 중계기 출력단에서 송신되는 출력 신호의 일부분을 커플링한 기준 신호를  $S_{ref}(t)$ , 그리고 중계기 출력신호가 중계기에 재입력되는 간섭신호를  $S'_{out}(t)$  라 하면 중계기 총 입력 신호  $S'_{in}(t)$ 는 원신호  $S_{in}(t)$ 와 간섭신호  $S'_{out}(t)$ 의 합이 된다. 기준신호  $S_{ref}(t)$ 는  $AS_{out}(t)$ 로 표현할 수 있다. 여기서  $A$ 는 감쇄값을 의미한다. 또한 중계기의 송·수신안테나간의 채널모델을  $F(t)$ 로 가정하면 재입력되는 간섭 신호  $S'_{out}(t)$ 를  $F(t)S_{out}(t)$ 로 표현할 수 있다.  $F(t)$ 는 식 (5)와 같다.

$$F(t) = \sum_{i=1}^n a_i \delta(t - T_i) \quad (5)$$

여기서  $n$ 은 다중경로 수,  $a_i$ 는  $i$ 번째 경로의 수신된 임펄스의 진폭, 그리고  $T_i$ 는  $i$ 번째 도착한 임펄스의 시간지연이다. 따라서 간섭신호  $S'_{out}(t)$ 와 중계기 입력신호  $S'_{in}(t)$ 를 다시 표현하면 각각 식 (6)과 식 (7)과 같다.

$$S'_{out}(t) = \sum_{i=1}^n a_i S_{out}(t - T_i) \quad (6)$$

$$S'_{in}(t) = S_{in}(t) + \sum_{i=1}^n a_i S_{out}(t - T_i) \quad (7)$$

기준신호  $S_{ref}(t)$ 를 이용하면 입력신호  $S'_{in}(t)$ 와 상관관계는 식 (8)과 같다.

$$Z(t) = S_{ref}(t) * S'_{in}(t) = AS_{out}(t) * S_{in}(t) + A \sum_{n=1}^n a_i \delta(t - T_i) [S_{out}(t) * S_{out}(t)] \quad (8)$$

즉, 위 상관관계 식의 첫 번째 항  $S_{out}(t) * S_{in}(t)$ 는 서로 상관관계가 적어 '0'에 가까운 값을 가지며 두 번째 항의  $S_{out}(t) * S_{out}(t)$ 는 서로 상관관계가 크기 때문에 1에 가깝다. 따라서 첫 번째 항을 생략하면 상관관계식은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(t) = S_{ref}(t) * S'_{in}(t) = A \sum_{n=1}^n a_i \delta(t - T_i) \quad (9)$$

식 (9)와 같이 추정된 시간 지연과 진폭을 이용하여 기존 LMS 알고리즘에 입력하게 되면 케환 간섭신호와 비슷한 신호와의 오차이기 때문에 에러가 '0'이 되는 시

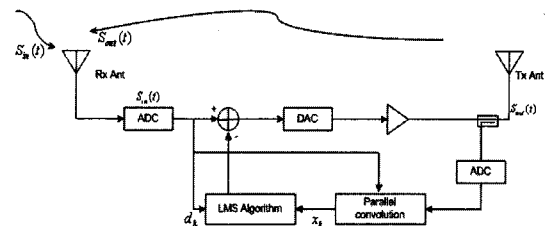


그림 6. 적응형 채널추정 알고리즘을 적용한 ICS 중계 시스템

Fig. 6. A block diagram of ICS repeater with adaptive channel estimation algorithm.

간은 단축이 된다. 또한 컨볼루션기를 병렬로 두어 기준신호와 새로 들어온 신호를 나누어 연산을 하면 더욱 빠른 간섭제거를 할 수 있다. 본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘을 적용한 RF 중계시스템의 블록도는 그림 6과 같다.

그림 6에서 보는 바와 같이 적응형 채널추정 알고리즘을 적용한 ICS 중계시스템과 기존 LMS 알고리즘을 적용한 ICS 중계시스템의 가장 큰 차이점은 병렬의 컨볼루션기를 이용하여 LMS의 오차를 최소화하는 것이다. 수신부에서 원수신신호  $S_{in}$ 와 궤환되는 신호  $S_{out}(t)$ 가 들어오게 된다. 수신된 RF 신호를 고속의 ADC를 이용하여 디지털신호  $d_n$ 로 변환한다. 디지털신호  $d_n$ 는 LMS 알고리즘 블록과 병렬 컨볼루션 블록으로 인가된다. 병렬 컨볼루션 블록에서는 인가된 디지털신호  $d_n$ 와 송신단에서 커핑되어 디지털화된 기준신호와 컨볼루션 합성을 한다. 이 컨볼루션 결과 궤환되는 신호의 채널특성과 유사한 신호를 얻을 수 있다. 채널특성과 유사한 신호를 LMS에 적용함으로써 LMS의 초기 오차를 줄일 수 있다.

#### IV. 모의실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘을 중계기 모델에 적용하여 Matlab을 이용해 모의실험을 하였다. 일반적으로 도심환경에서는 송신기에서 수신기로 직접 전달되는 신호는 없는 것으로 알려져 있으며 이 경우 수신된 신호의 포락선은 Rayleigh 분포, 위상은 균일 분포를 가진다.

따라서 실제 환경과 비슷한 채널환경에서 모의실험

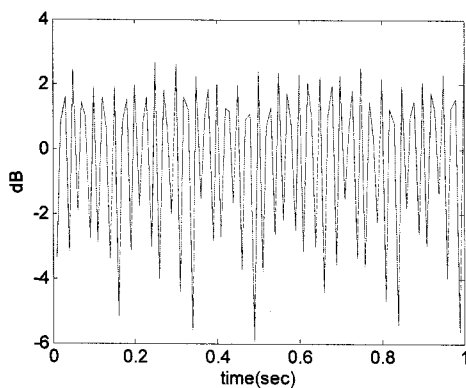


그림 7. 모의실험에 적용된 채널환경  
Fig. 7. A channel environment of simulation.

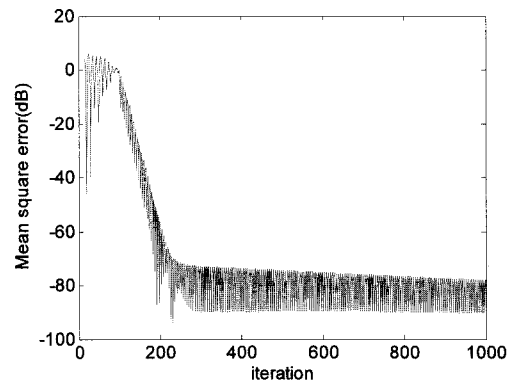


그림 8. 적응형 채널추정 알고리즘의 제곱오차  
Fig. 8. A square error of adaptive channel estimate algorithm.

하기 위해 본 논문에서는 Rayleigh 다중경로 페이딩 채널환경의 Jake 모델을 모의실험 환경으로 사용하였다. 모의실험에 적용한 Rayleigh 다중경로 채널모델은 그림 5.2와 같다.

Rayleigh 다중경로 채널환경에서의 모의실험 한 결과 적응형 채널추정 알고리즘의 제곱 오차는 그림 8과 같다.

그림 8에서 보는 바와 같이 Rayleigh 다중경로 채널 환경에서 정현신호 1000개의 데이터를 모의실험 하여 얻은 정규화 시킨 제곱오차를 나타낸다. 제곱오차가 제로가 될 때 오차가 최소가 되므로 제곱오차, 즉 오차의 기울기가 제로에 가까워질수록 알고리즘의 오차는 줄어든다. 그림에서 200개의 데이터를 반복했을 때 제곱오차는 제로에 가까운 수렴을 보였다.

적응형 채널추정 알고리즘과 동일 파라미터로 기존

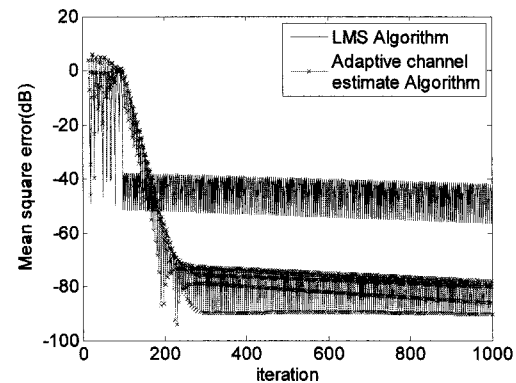


그림 9. 적응형 채널추정 알고리즘과 LMS 알고리즘의 제곱오차  
Fig. 9. A square error of adaptive channel estimate algorithm and LMS algorithm.

LMS 알고리즘을 구현할 때 발생하는 제공오차를 비교 분석하였다. 적응형 채널추정 알고리즘과 기존 LMS 알고리즘의 제공오차는 그림 9와 같다.

그림 9에서 보는 바와 같이 적응형 채널추정 알고리즘이 기존 LMS 알고리즘에 비해 알고리즘의 반복 수렴속도는 개선되지 않았지만 정확도가 높아졌다. 기존 LMS 알고리즘은 약 -40 dB에서 수렴한 반면 본 논문에서 제안한 알고리즘은 약 -80 dB에서 수렴하였다.

또한 LMS 알고리즘의 정확도는 탭 계수의 변화로 나타낼 수 있다. LMS 알고리즘에서 탭 계수는 오차를 줄이기 위하여 계속 갱신된다. 즉, 오차를 최소로 수렴하기 위해 LMS 알고리즘에서는 제공오차의 탭 계수에 대한 기울기를 0으로 수렴시킨다. 탭 계수의 값이 일정한 상수 값을 가진다면 이는 입력신호에 합성된 출력계 환신호와 동일한 신호를 생성한 것이다. 기존 LMS 알고리즘과 본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘의 탭 계수의 수렴도는 각각 그림 10과 그림 11과 같

다. 이 때 각각의 알고리즘에 사용된 탭 계수의 수는 16 개이다.

그림 10과 그림 11에서 보는 바와 같이 기존 LMS 알고리즘은 적은 반복횟수를 통하여 수렴하고자 하는 각각의 탭 계수에 근접하지만 오차가 존재하기 때문에 탭 계수가 계속 변하는 특성을 보였다. 그러나 제안된 적응형 채널추정 알고리즘의 탭 계수는 수렴하고자 하는 각각의 탭 계수에 접근하기 위하여 초기에 급격한 탭 계수 변화가 있으나 한 번 수렴되고 나면 거의 탭 계수가 변화지 않는 특성을 보였다.

모의실험 결과로부터 본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘은 기존 LMS 알고리즘에 비해 우수한 오차정확도와 탭 계수의 수렴도를 보였다.

### V. 결 론

본 논문에서는 이동통신 시스템에서의 다중경로 환경에서 일반적인 LMS 알고리즘을 개선하기 위하여 제안한 적응형 채널추정 알고리즘을 이론적으로 고찰하였고, LMS 알고리즘과 제안한 적응형 채널추정 알고리즘을 RF 중계기에 적용하여 모의실험을 통하여 성능평가를 하였다. 일반적인 LMS 알고리즘을 적용한 경우에는 제공오차가 약 -40 dB에서 수렴을 하였고, 본 논문에서 제안한 적응형 채널추정 알고리즘은 제공오차가 약 -80 dB에서 수렴하여 정확도는 40 dB 개선됨을 알 수 있었다. 시뮬레이션 분석 결과 오차의 수렴속도는 다소 지연되었으나 지연된 수렴속도에 비해 수렴 정확도는 매우 우수하였다.

제안된 적응형 채널추정 알고리즘의 수렴속도는 step-size,  $\mu$ 의 조정을 통하여 기존 LMS 알고리즘보다 개선된 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 앞으로는 고속의 LMS 알고리즘 처리를 위하여 적응형 채널추정 알고리즘의 수렴속도를 향상시키기 위한 연구가 이루어진다면 효율적인 ICS 중계 시스템을 구성할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

[1] S.Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice Hall, 2002.  
 [2] Allen L. Davidson, Crystal Lake, "Method and Means of Preventing Oscillation in a Same-

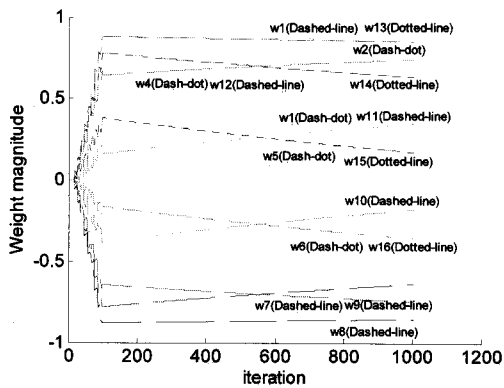


그림 10. LMS 알고리즘의 탭 계수 수렴도  
 Fig. 10. A tap coefficient of LMS algorithm.

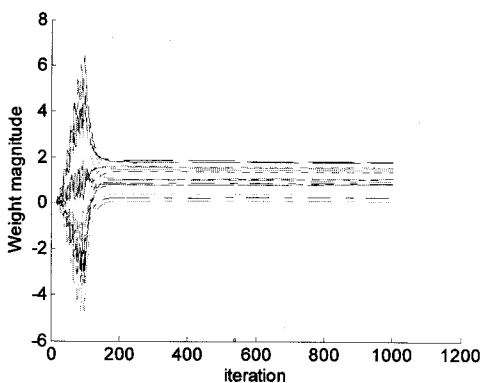


그림 11. 적응형 채널추정 알고리즘의 탭 계수 수렴도  
 Fig. 11. A tap coefficient of adaptive channel estimation LMS algorithm.

Frequency Reporter”, *U.S.Patent*, P.N.4,383,331, May, 1983.

[3] Simon Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1996.

[4] V. S. Kaunismaa, “On frequency radio(OFR) repeater as fade filler”, *Vehicular Technology Conference*. 1989, IEEE 39th. vol. 2, pp. 528-531, 1989.

[5] S. J. Kim, J. Y. Lee, J. H. Kim, B. Lee, N. Y. Kim, “Adaptive Feedback Interference Cancelling System” *IEEE MTT-S International*, 2003.

[6] R. N. Ghose, *Interference Mitigation Theory and Application*, IEEE Press Inc., pp. 24-38, 1996

[7] Mao-Ching Chiu, Chic-chao Chao “Analysis of LMS-adaptive MLSE equalization on Multipath fading channels” *IEEE Transaction on communication*, vol. 44, No. 12, pp. 1684-1692, 1996.

[8] Mao-Ching Chiu, Chic-chao Chao “Analysis of LMS-adaptive MLSE equalization on Multipath fading channels” *IEEE Transaction on communication*, vol. 44, No. 12, pp. 1684-1692, 1996.

[9] Yonghai Gu, Tho Le-Ngoc “Adaptive combined DFM/MLSE techniques for Japanese personal digiter cellular” *IEEE Transaction on communication*, vol. 44, No. 7, pp. 847-857, 1996.

[10] Dual-Hallen A. “Delayed Decision-Feedback Sequence Estimation” *IEEE Transaction on communication*, vol. 37, No. 5, 1989.

[11] Alexander, S. T., *Adaptive Signal Processing*, Springer-Verlag, 1986.

저 자 소 개



이 석 희(학생회원)  
 2004년 단국대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2006년 단국대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 2008년 단국대학교 전자공학과  
 박사과정 수료.  
 <주관심분야 : RF Amplifier, 디지털 이동통신,  
 Digital Pre-distorter, UWB, RFID>



송 호 섭(학생회원)  
 1998년 Teradyne.Inc 입사.  
 2006년 안양대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 2007년 단국대학교 전자공학과  
 석사과정.  
 <주관심분야 : RF, Embedded  
 S/W, RFID>



방 성 일(평생회원)  
 1984년 단국대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1986년 단국대학교 전자공학과  
 석사 졸업.  
 1992년 단국대학교 전자공학과  
 박사 졸업.  
 1997년~2001년 (주)엘씨텍 연구소장  
 1997년 현재 단국대학교 전자전기공학부 교수  
 <주관심분야 : RF Amp, UWB, OFDM, 디지털  
 이동통신, RFID>