

# DS/SS에서의 웨이트 테스트 방식을 적용한 적응형 코드 동기 획득 방법

정회원 류탁기\*, 권종형\*, 전형구\*\*, 이정구\*\*\*, 홍대식\*, 강창언\*

## Adaptive Code Acquisition Scheme using Weight Test Mechanism in DS/SS Systems

Takki Ryu\*, Jonghyung Kwun\*, Hyounggoo Jeon\*\*, Jeonggoo Lee\*\*\*, Daesik Hong\*, and Changeon Kang\* *Regular Members*

### 요약

적응형 필터를 사용하는 코드 동기 획득 방법(code acquisition)은 기존의 방법에 비해 적은 동기 획득 시간을 갖지만, 적응 알고리즘의 특성 때문에 동기 획득 테스트를 함에 있어서 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 수렴후의 최대 웨이트값을 테스트 변수로 사용하는 웨이트 테스트를 제안한다. 제안된 방법으로 테스트 시간도 단축할 수 있을 뿐 아니라 동기 획득 여부를 더욱 효율적으로 구별할 수 있어서, 에러확률을 감소시키고 평균 동기 획득 시간을 줄일 수 있다. 모의 실험을 통해 기존의 테스트 방법에 비해 AWGN 채널에서 3-4dB, 페이딩 채널에서 1-4dB의 평균 동기 획득시간상의 성능 향상 효과를 확인하였다.

### ABSTRACT

Adaptive code acquisition scheme offers fast acquisition over conventional schemes. However, it takes much time to test whether the acquisition is acquired or not. In this paper, we propose an adaptive code acquisition scheme with weight test method. In the proposed method, a maximal tap weight after adaptation is used as a test variable. Using this method, two states(in-phase state(Hypothesis1) and out-of-phase state(Hypothesis0)) can be efficiently discriminated in short test time. Therefore, both error probability and mean acquisition time can be reduced. Simulation results show that the proposed method improves a mean acquisition time performance by 3-4dB in AWGN channel, 1-4dB in fading channel compared to conventional MSE test method.

### I. 서론

DS/SS 시스템은 대역 확산 코드를 사용하기 때문에, 수신단에서는 원하는 정보를 검출해내기 이전에 확산 코드의 동기를 먼저 획득해야 한다. 코드 동기를 정확히 얻지 못하면 통신이 불가능하기 때문에, 초기의 빠르고 정확한 코드 동기는 매우 중요한 과정이다. 코드 동기를 얻는 과정은 동기 획득(acquisition)과 동기 추적(tracking)의 두 단계로 진

행되는데, 동기 획득은 수신 신호 코드와 내부 발생된 코드사이의 위상차가 일정 구간 이내로 되게 하는 과정이고, 동기 추적은 일정 구간 이내로 맞춰진 위상차를 정확하게 일치시키는 과정이다.

동기 획득 방법은 여러 가지가 있는데, 주로 상관값을 이용하는 방식과 순차 추정에 의한 방식이 연구되어 왔다. 전자는 수신 코드와 내부 발생된 코드와의 상관값을 임계치와 비교하여, 내부 발생 코드의 위상을 변화시켜가며 수신 코드의 위상을 알아

\* 연세대학교 전기전자공학과 (eyas@catseye.yonsei.ac.kr)

\*\* 동의대학교 정보통신공학과

\*\*\* (주)서두인칩

논문번호: 00139-0501 접수일자: 2000년 5월 1일

\* 이 논문은 2001년도 두뇌한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었으며, ETRI의 부분적인 연구 지원하에 이루어 졌습니다.

내는 방법이다. 이 방법은 현재의 이동 통신 표준안에 맞게 성능이 분석되었고<sup>[1]</sup> 현재 상용으로 사용되는 방식이다. 그리고 후자는 확산 코드 발생기의 내부 레지스터의 값을 예측하여 위상을 알아내는 방법이다. 이 방법은 채널 추정기를 첨가한 형태의 개선된 구조도 제안되었으나<sup>[2]</sup> 채널환경이 나빠지면 성능이 급격히 열화된다.

최근에는 적응형 필터를 사용하여 동기를 획득하는 방법이 제안되었다. 최초로 제안된 적응형 시스템은 코드 길이와 같은 탭 수를 가정하였고, 이에 따라 좋지 않은 채널 환경에서는 수렴 시간이 너무 길고 구조가 복잡하다<sup>[3]</sup>. 이러한 단점을 극복하기 위한 실제적인 접근으로 코드 길이보다 작은 탭 수를 사용하여 새로운 구조를 제시하고 성능을 분석하였다<sup>[4]</sup>. 이 방법을 사용함으로써 기존의 하이브리드 동기 획득 방법에 비해 평균 동기 획득 시간상의 성능개선과 동기 추적단까지 하나의 공통된 구조로 구현 가능하다는 장점을 제시하였다<sup>[4][5]</sup>. 그러나 작은 동기 획득 시간에 비해서, 동기 획득 여부를 구별하는 테스트 시간이 너무 오래 걸리는 단점이 있다. 즉, 적응 알고리즘의 특성 때문에 수신 코드와 내부 발생 코드의 위상차가 테스트 위상 중에 있는지 없는지, 즉 탭 수이내(가정1, in-phase 상태) 인지 아닌지(가정0, out-of-phase 상태)를 구별하는데 너무 많은 시간이 소요된다.

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 기존의 MSE 테스트 대신 수렴후의 최대 웨이트값으로 가정1과 가정0을 구별하는 웨이트 테스트를 제안한다. 최대 웨이트값은 MSE에 비해 가정0과 가정1에서의 값 차이가 크고, 변화가 크지 않아 안정된 테스트 변수로 사용될 수 있다.

2장에서 웨이트 테스트를 적용한 시스템에 대한 설명과 MSE 테스트와의 비교를 하고, 3장에서는 에러확률과 검출확률, 그리고 평균 동기 획득 시간을 수식적으로 분석한다. 4장에서는 수식적인 결과와 여러 가지 채널에서의 시뮬레이션 결과를 살펴보고 웨이트 테스트, MSE 테스트, 기존의 정합필터를 사용한 방식을 서로 비교해본다. 끝으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 웨이트 테스트를 적용한 동기 획득 시스템

적응형 코드 동기 시스템은 수신코드를 적응형 필터의 탭 수만큼 입력으로 받고, 내부 발생코드를 기대(desired) 신호로 하여, 적응 알고리즘을 통해

적용시킨다. 만약 수신 코드와 내부 발생 코드의 위상차가 필터의 탭 수 이내일 경우(가정1), 위상차에 해당하는 위치의 탭 웨이트는 1에 가까운 피크값을 갖게 되고 나머지는 0으로 수렴한다. 수렴 후의 웨이트들을 비교하여 피크값을 갖는 웨이트의 위치를 위상차로 추정하면 된다. 위상차가 탭 수 이상이면(가정0) 모든 웨이트 값은 거의 0으로 수렴하므로 탭 수만큼 내부발생 코드의 위상을 천이시켜 다시 검색한다.

기존의 적응형 시스템은 MSE를 관찰하는 테스트 방법으로 가정1과 가정0을 판단하였다. MSE를 테스트 변수로 사용할 때에는, LMS 알고리즘의 근사적인 특성으로 인해 수렴후에도 MSE가 순간적으로 많이 변하기 때문에 일정 구간동안 평균을 취하여 테스트 변수로 사용하여야 하고, 신뢰성을 높이기 위해 여러 번 테스트해야 한다.

이러한 MSE 테스트 방법은 너무 테스트 시간이 오래 걸리고, 가정1과 가정0을 효과적으로 구별하지 못한다. 이것을 보완하기 위해 더 효율적인 테스트 변수로서 수렴후의 최대 웨이트값을 사용할 것을 제안한다. 웨이트 테스트를 사용하는 적응형 동기 획득 시스템의 블록 다이어그램이 그림 1에 나와 있다. 그림에서 블록으로 표시한 부분이 기존의 MSE 테스트 방식과 다른 부분인데, 기존의 적응형 시스템<sup>[4]</sup>의 복잡한 블록이 간단하게 대체되었다.

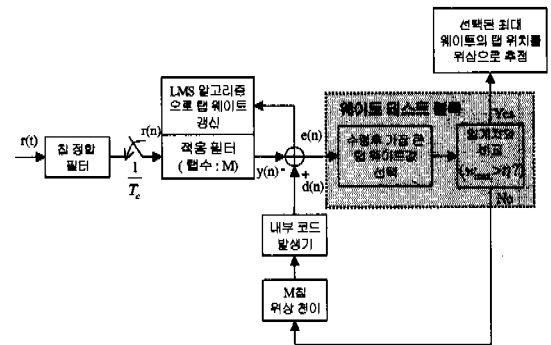


그림 1. 웨이트 테스트를 적용한 적응형 동기 획득 시스템의 블록 다이어그램

하드웨어적인 단순화외에도 웨이트 테스트는 두 가지 측면에서 MSE 테스트보다 더욱 효율적이다.

첫째로 웨이트 테스트는 MSE 테스트보다 가정1과 가정0을 효과적으로 구별할 수 있다. 적응형 동기 획득 시스템은 탭 웨이트 값에서 특정한 패턴(하나의 피크와 나머지 0)이 나타나기 때문에, 일반적인 LMS의 수렴 기준인 얼마나 기대 신호를 잘 따

라가나(MSE 조건) 보다는 탭웨이트의 분포가 어떤 패턴을 나타내는가로 가정1과 가정0을 잘 구별할 수 있다. 두 상태의 웨이트 패턴 차이를 대표할 수 있는 값은 수렴후의 최대 웨이트값이다. 그러므로 수렴후의 최대 웨이트를 테스트 변수로 사용할 때 가정1과 가정0을 쉽게 구분할 수 있다. 그림 2는 각각의 테스트 방식에서의 테스트 변수인 최대 웨이트값과 MSE의 STTA(Short Term Time Average) 분포도를 가정1과 가정0의 경우에 대해서 같이 그린 것이다.  $SNR_c=0dB$ , LMS 알고리즘의 스텝크기는 0.001, 탭 수는 16으로 하여 실험한 결과인데, 테스트 변수값이 0에서 1까지 분포하도록 정규화하고 전체 넓이도 1이 되도록 정규화한 분포도이다. 이 그림을 통해 각각의 테스트 변수의 두가지 상태 구분 능력을 알 수 있다. 그림을 보면 웨이트 테스트의 경우 두 상태가 확실히 구분되지만 MSE 테스트의 경우 겹치는 부분이 발생하여 잘못 판단할 확률이 높다. 그러므로 웨이트 테스트의 상태 구분 능력이 뛰어나다.

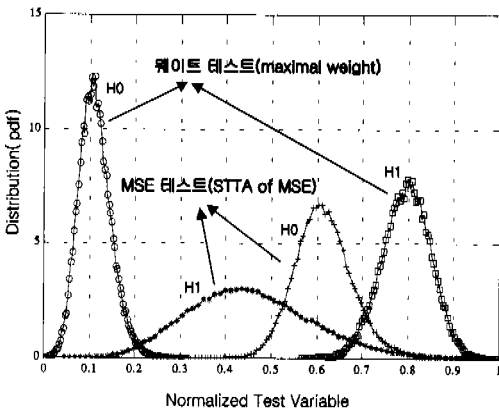


그림 2. 웨이트 테스트와 MSE 테스트에 대한 테스트 변수의 분포도(탭 수=16, SNR=0dB, 스텝 크기=0.001, 발생 샘플수=50000)

두 번째 측면으로, 웨이트 테스트는 MSE 테스트와는 달리 별도의 테스트 시간이 필요치 않다. 탭 웨이트 값은 적응 기간 동안 조금씩 갱신되기 때문에, 순간적인 입력값과 기대 신호에 의해 크게 좌우되는 MSE와는 달리 전체 적응 시간동안의 수렴 특성을 잘 나타낸다. 그러므로 MSE를 평균하여 사용하는 방식과는 달리 평균을 취하지 않고 수렴후의 최대 웨이트값만으로 별도의 테스트 시간 없이 테스트할 수 있다.

이 두가지 특성으로 인해 웨이트 테스트를 사용

할 경우 에러확률과 평균 동기 획득 시간을 줄일 수 있다.

### III. 시스템 확률과 평균 동기 획득 시간의 수식 분석

동기 획득 시스템의 성능은 시스템 확률, 평균 동기 획득 시간으로 평가된다. 성능 분석을 위해 웨이트 테스트를 적용했을 때의 검출확률(detection probability), 내부 오보 확률(in-phase false alarm probability), 외부 오보 확률(out-of-phase false alarm probability), 평균 동기 획득 시간을 수식적으로 분석해보자. 반송파를 먼저 정확히 복원했다고 가정하고, 한 칩 이내로 동기를 얻는 동기 획득 시스템을 고려한다. 이 때 AWGN 채널에서 LMS 알고리즘으로 필터를 적용시키면, 탭 웨이트들은 다음과 같은 평균과 분산을 가지는 가우시안 분포로 나타난다<sup>[6]</sup>.

$$E(\mathbf{w}) = \begin{cases} \frac{SNR_c}{SNR_c+1} \Omega & : \text{가정1} \\ 0 & : \text{가정0} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sigma_w^2 = \begin{cases} \frac{\mu}{2} \frac{1}{SNR_c+1} & : \text{가정1} \\ \frac{\mu}{2} & : \text{가정0} \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $SNR_c$ 는 칩당 신호대 잡음비  $(\frac{1}{\sigma_n^2})$ 이고  $\mu$ 는 LMS 알고리즘에 사용된 스텝 크기이다.  $\Omega$ 는 필터 탭 수의 길이를 갖는 벡터로서 수신코드와 내부 발생 코드와의 위상차에 해당하는 원소만 1이고 나머지는 모두 0의 값을 갖는다.

검출확률은 가정1에서 정확한 위상을 검색할 확률로서, 웨이트 테스트의 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_D = (1 - P_e) \int_{\eta}^{\infty} f_{\rho w1-H1}(x) dx \quad (3)$$

윗식에서  $P_e$ 는 가정1에서 잘못된 위치의 탭 웨이트를 피크값으로 선택할 확률이고,  $\eta$ 는 선택된 최대 웨이트와 비교되는 임계치이다. 그리고  $f_{\rho w1-H1}$ 는 가정1에서 정확한 위치의 최대 웨이트 확률 분포이다. 식 (1),(2)를 이용하면  $P_e$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_e = 1 - \int_{-\infty}^{\infty} \left[ 1 - Q\left(\frac{x}{\sigma_{wl}}\right) \right]^{M-1} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{wl}^2}} e^{-\frac{(x-m_w)^2}{2\sigma_{wl}^2}} dx \quad (4)$$

where  $m_w = \frac{SNR_c}{SNR_c + 1}$ ,  $\sigma_{wl}^2 = \frac{\mu}{2} \frac{1}{SNR_c + 1}$

여기서 M은 탭수이다. (3)식에서 윗식의  $P_e$ 를 사용하고, 식 (1),(2)를 이용하면 전체적인 검출 확률식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_D = (1 - P_e) \int_{\eta}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{wl}} e^{-\frac{(x-m_w)^2}{2\sigma_{wl}^2}} dx \quad (5)$$

내부 오보 확률은 가정1에서 잘못된 최대 웨이트를 선택하여 테스트를 통과함으로써 잘못된 위상이 검출될 확률로서 다음과 같다.

$$P_{Fi} = P_e \int_{\eta}^{\infty} f_{pw0-H1}(x) dx \quad (6)$$

$f_{pw0-H1}(w)$ 는 가정1에서 최대값으로 잘못 선택된 웨이트의 확률 분포이다. 잘못 선택된 웨이트는 평균이 0인 가우시안 분포를 나타내므로,

$$P_{Fi} = P_e \int_{\eta}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{wl}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{wl}^2}} dx \quad (7)$$

외부 오보 확률은 가정0에서 최대 웨이트가 테스트를 통과하여, 잘못된 위상이 검출될 확률인데, 비슷한 방법으로 구할 수 있다. 가정0에서 모든 웨이트들이 최대값으로 선택될 확률이 같고, 독립적으로 다음과 같다.

$$P_{Fo} = \int_{\eta}^{\infty} f_{pw-H0}(x) dx \quad (8)$$

가우시안 분포를 대입하면,

$$P_{Fo} = \int_{\eta}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{w0}^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{w0}^2}} dx \quad (9)$$

where  $\sigma_{w0}^2 = \frac{\mu}{2}$

검출확률, 내부 오보 확률, 외부 오보 확률을 이용하면, 본 시스템의 평균 동기 획득 시간을 얻을 수 있다. 적응형 동기 획득 시스템의 평균 동기 획득 시간은 상태 천이도를 이용하여 구할 수 있는데, 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

$$E[T_{acq}] = \frac{1}{P_D} \left\{ \left[ 1 + \frac{(q-1)(2-P_D)}{2} \right] (K_a + K_d) + \left[ P_{Fi} + \frac{P_{Fo}(q-1)(2-P_D)}{2} \right] K_p \right\} \quad (10)$$

where  $q = \lceil \frac{L}{M} \rceil$  (전체 검색구간 개수)

윗식은 칩단위의 시간으로 표현된 것으로, 여기서  $K_a$ 는 적응시간,  $K_d$ 는 테스트시간,  $K_p$ 는 페널티 시간, L은 코드 길이, M은 필터의 탭 수를 나타낸다. 페널티 시간은 잘못된 동기 획득으로 동기 추적 단계로 넘어갔다 다시 동기 획득 단계로 돌아오기까지의 시간이다. 적응 시간은 수렴 곡선을 단일 지수 함수로 근사화 하여 시상수의 4배로 근사화할 수 있는데 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

$$K_a = \frac{2}{\mu \lambda_{avg}} \quad (11)$$

여기서  $\lambda_{avg}$ 는 필터 입력의 평균 고유치이다. 테스트 시간은 따로 필요치 않으므로  $K_d$ 를 1로 둘 수 있다. 그리고 MSE 테스트와 동기 획득단에서만 공정한 비교를 위해 기존의 논문에서 설정한 페널티 시간<sup>[4]</sup>을 똑같이 적용하자. 따라서 웨이트 테스트를 사용했을 때의 평균 동기 획득 시간은 다음과 같고 (5),(7),(9)에서 얻은 확률식을 대입하면 된다.

$$E[T_{acq}] = \frac{1}{P_D} \left\{ \left[ 1 + \frac{(q-1)(2-P_D)}{2} \right] \left[ \frac{2}{\mu(1+\sigma_w^2)} + 1 \right] + q \left[ P_{Fi} + \frac{P_{Fo}(q-1)(2-P_D)}{2} \right] \left[ \frac{2}{\mu(1+\sigma_w^2)} + 10 \right] \right\} \quad (12)$$

#### IV. 수식 해석 및 모의 실험 결과

3장에서 얻은 수식들을 그래프로 해석하고, 모의 실험을 수행하여 성능을 검증해보자. 실험 환경은 표1과 같다.

앞서 살펴보았듯이 평균 동기 획득 시간은 검출 확률 및 에러 확률에 관한 함수이고, 각각의 확률 함수들은 스텝 크기와 임계치의 설정에 크게 좌우된다. 스텝크기와 임계치의 변화에 따른 확률들의 변화가 그림 3,그림 4,그림 5에 나타나 있다.

SNR<sub>c</sub>이 -5dB일때의 결과이다. 검출 확률의 경우 임계치가 작아질수록 확률이 커지는데, 이것은 테스트 조건이 약해짐에 따라 최대 웨이트 값이 작게 나타나는 경우에도 가정1 상태를 놓치는 경우가 줄

표 1. 시뮬레이션 환경

PN 코드	i) 주기 : 127 칩 ii) 생성 다항식 : 10001001
변조 방식	BPSK
채널	AWGN
	Uniform delay profile을 갖는 주파수 선택적 다경로 레일리 페이딩 채널 (경로수:3개, 최대 delay:6칩 이내, 채널의 변화율:384칩 구간에 한번씩 변화)
	주파수 비선택적 레일리 페이딩 채널 (채널의 변화율:384칩 구간에 한번씩 변화)
적용 알고리즘	LMS 알고리즘
*필터의 적응시간	$K_o = \frac{2}{\mu \lambda_{avg}}$ ( $\mu$ :스텝 크기, $\lambda_{avg}$ :필터 입력 자기 상관 행렬의 평균 고유치)

(\*) 필터의 적응시간은 MSE 곡선을 단일 지수함수로 근사화하여 시간 상수의 4배로 설정하였다<sup>7)</sup>. 실험적으로 시뮬레이션 할 때에는 필터 입력의 자기 상관 행렬을 구함에 있어서 SMI(Sample Matrix Inversion) 방법을 사용하였고<sup>8)</sup>, 얻어진 자기 상관행렬을 사용하여 고유치를 구했다.

어 들기 때문이다. 스텝 크기의 변화에 의한 경향은 임계치의 설정에 의존한다. 가정1에서 임계치가 최대 웨이트값의 평균인  $\frac{SNR_c}{SNR_c+1}$  (약 0.24)보다 작은 경우에는 스텝크기의 증가에 따라 검출 확률이 줄어들고 임계치가 그 값보다 큰 경우에는 반대의 현상이 나타난다. 이것은 식(5)로부터 설명될 수 있다. 스텝 크기가 증가하면 검출 확률 분포의 분산이 커지게 되는데, 임계치가 평균보다 크면 분산의 증가가 구간내의 적분값을 증가시키지만, 임계치가 평균보다 작으면 분산의 증가가 오히려 구간내의 적분값을 감소시키기 때문이다. 내부 오보 확률과 외부 오보 확률의 그래프는 비슷한 경향을 나타내는데 임계치가 작아질수록, 테스트 조건이 약해지므로 잘못된 최대 웨이트값이 테스트를 통과하는 경우가 많아져서 두가지 확률 모두 증가한다. 그리고 스텝 크기가 증가함에 따라 확률 분포의 분산이 증가하므로 역시 두가지 확률이 모두 증가한다. 이와 같이 스텝 크기와 임계치는 본 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 요소이고, 동기 획득 시간을 최소화 하도록 최적화 되어야 한다.

AWGN 환경에서, 수식적으로 최적화된 임계치와

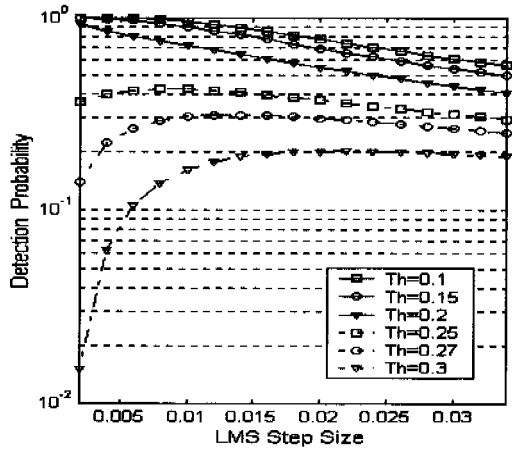


그림 3. 웨이트 테스트 적용시 스텝 크기와 임계치에 따른 검출 확률 ( $SNR_c = -5dB$ ,  $Th$ :임계치)

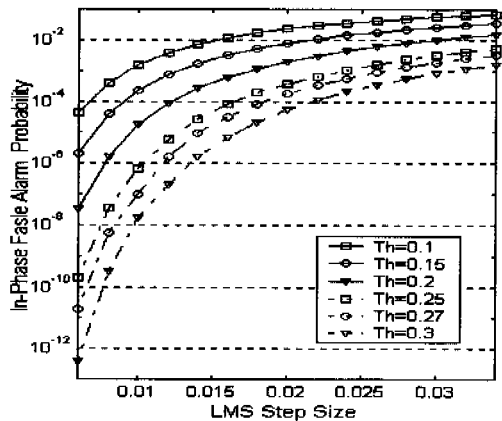


그림 4. 웨이트 테스트 적용시 스텝 크기와 임계치에 따른 내부 오보확률 ( $SNR_c = -5dB$ ,  $Th$ :임계치)

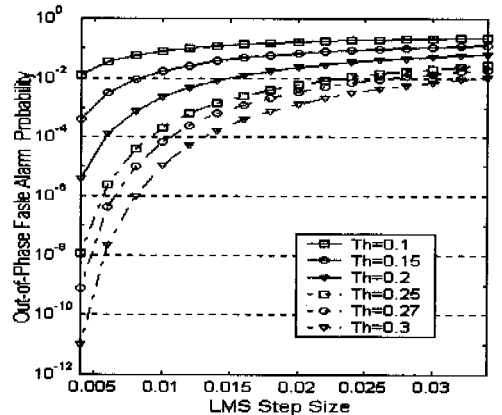


그림 5. 웨이트 테스트 적용시 스텝 크기와 임계치에 따른 외부 오보 확률( $SNR_c = -5dB$ ,  $Th$ :임계치)

모의 실험상에서 실험적으로 최적화된 임계치에 대한 각각의 평균 동기 획득 시간이 그림 6에 나타나 있다. 그림 6에서 MSE 테스트를 사용했을 때의 그래프와 같이 나타내었는데, 탭 수가 16일 때의 결과이다. 그림을 보면 웨이트 테스트가 3-5dB의 성능 향상을 보임을 알 수 있다. 수치적으로 얻은 그래프와 모의 실험상에서 얻은 그래프를 비교해보면, 대체로 비슷한 경향을 나타내지만 약간의 성능 차이가 나타나는데 이것은 수치적으로 구한 최적값과 실험적으로 구한 최적값의 차이 때문이다.

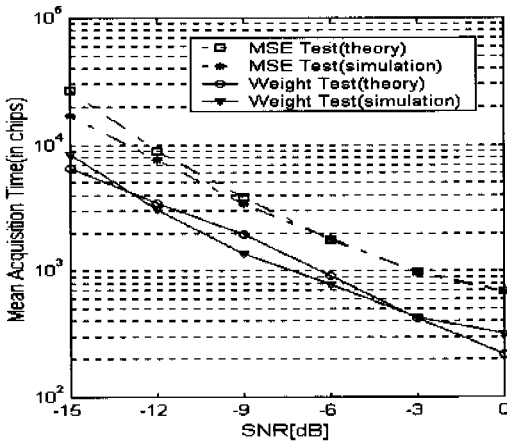


그림 6. 수치 분석과 모의 실험에 의해 최적화된 두가지 테스트 방법의 평균 동기 획득 시간(탭 수=16)

다른 방식의 동기 획득 시스템과의 비교를 위해서, 정합 여파기를 사용한 동기 획득 시스템과 비교해보자. 정합 여파기를 사용한 시스템은 탭 수만큼의 부분적인 상관값을 임계치와 비교하여 동기 획득 여부를 판단하는데 비교적 좋은 성능을 보임이 알려져 있다<sup>9)</sup>. 적응형 동기 획득 시스템에서 탭 수의 증가에 따른 평균 동기 획득 시간의 이득은 점차 줄어들는데, 16탭 이상이면 큰 이득이 없으므로, 16탭의 적응형 동기 획득 시스템을 고려하였다. 그리고 비교를 위해 똑같은 수인 16탭 정합 여파기를 사용한 시스템을 모의 실험하였다. 또한 하드웨어적인 복잡도 때문에 실제로 사용하지는 않지만, 사용되는 PN 코드의 주기에 해당하는 탭 수를 갖는 127탭 정합 여파기를 사용한 경우도 모의 실험하였다. 정합 여파기에서 동기 검사 모드의 파라미터는 기존에 제시된 최적의 값<sup>10)</sup>을 사용하였다. 그리고 16탭과 127탭 모두에 대하여 임계치는 신호대 잡음비에 따라서 평균 동기 획득 시간을 최소로 하는 최적의 값으로 설정하였다.

그림 7은 AWGN 환경에 대하여 모의 실험한 결과이다. 그림에서 MF는 정합 여파기 시스템을 뜻한다. 결과를 보면 비교적 채널이 양호한 -6dB 이상에서는 127탭 정합 여파기의 경우 자신이 가질 수 있는 최소의 동기 획득 시간으로 수렴함을 알 수 있다. 16탭 정합 여파기의 경우 이보다는 성능이 떨어지지만 -4dB 이상의 좋은 환경에서는 MSE 테스트 적응형 시스템보다 좋은 성능을 나타낸다. 그러나 0-15dB의 전구간에서 웨이트 테스트 적응형 시스템은 16탭 정합 여파기보다 좋은 성능을 보인다(3000칩의 동기 획득 시간을 기준으로 약 6dB의 성능향상). 웨이트 테스트 방식이 MSE 방식에 비해서는 3-4dB 정도의 성능 향상을 갖는다.

그림 8은 주파수 선택적 레일리 페이딩 환경에서 실험한 결과이다. 그림에서 웨이트 테스트 방식, MSE 테스트 방식, 127탭 정합 여파기, 이 세가지는 16탭 정합 여파기에 비해 큰 성능향상을 보인다(20000칩을 기준으로 약 12dB 성능 향상). 세가지를 비교해보면, 웨이트 테스트 방식이 MSE 테스트 방식에 비해 1-3dB의 성능 향상을 갖고, -7dB 이하의 채널에서는 오히려 127탭 정합 여파기보다도 좋은 성능을 나타낸다.

그림 9는 주파수 비선택적 레일리 페이딩 환경에서 실험한 결과이다. 결과를 보면, 웨이트 테스트가 MSE 테스트보다 1.5-4dB의 성능 향상이 있고 16탭 정합 여파기보다는 9-12dB 우수하다. 그림 7,8,9에서 MSE 테스트의 결과와 기존 논문<sup>11)</sup>의 결과를 비교하면, 스텝크기와 임계치의 최적값에 대한 오차와 채널의 변화율의 차이를 감안하면 거의 같은 결과이다.

그림 8과 그림 9를 비교하면, 16탭이나 127탭 정합 여파기의 경우, 경로수가 1개인 주파수 비선택적 페이딩 채널에서 상관 특성을 크게 얻을 수 있기 때문에 경로수가 여러개 일때보다 좋은 성능을 보인다. 그러나 적응형 동기 획득 시스템은 경로수가 여러개일 경우 경로 다양성(path diversity)를 활용할 수 있기 때문에 더욱 성능이 향상된다. 즉, 경로수에 해당하는 만큼의 피크값을 갖게 되어, 동기 획득의 가능성을 높여준다. 이러한 이유로 그림8이 그림 9에 비해서 16탭 정합 여파기와 적응형 동기 획득 시스템의 성능 차이(세로축의 평균 동기 획득 시간 간격)가 크게 나타난다.

결과적으로 본 논문에서 제안한 웨이트 테스트를 적용한 적응형 동기 획득 시스템은 모든 채널 환경에서 뛰어난 성능을 보이는데, 특히 SNR<sub>c</sub>이 낮은

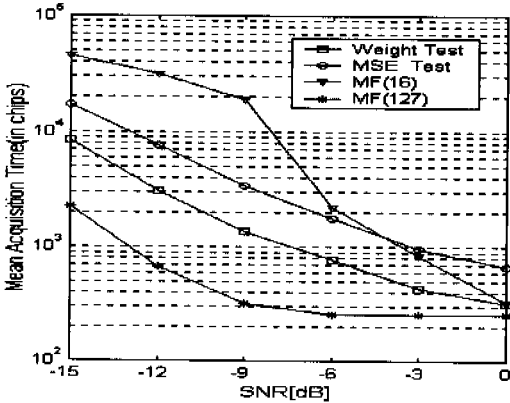


그림 7. AWGN 채널에서 정합 여파기 시스템, MSE 테스트 적용형 시스템과의 평균 동기 획득 시간 비교

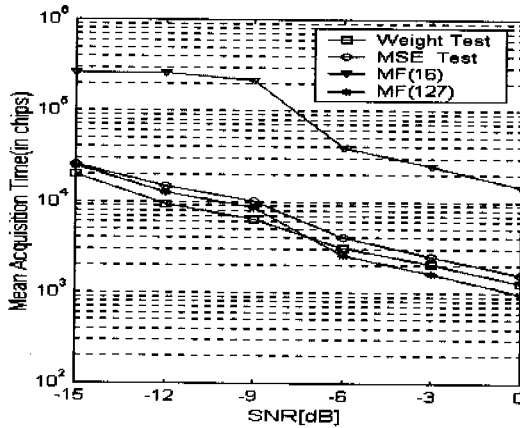


그림 8. 주파수 선택적 레일리 페이딩 채널에서의 평균 동기 획득 시간 비교 (경로수=3, 채널 변화율=384칩)

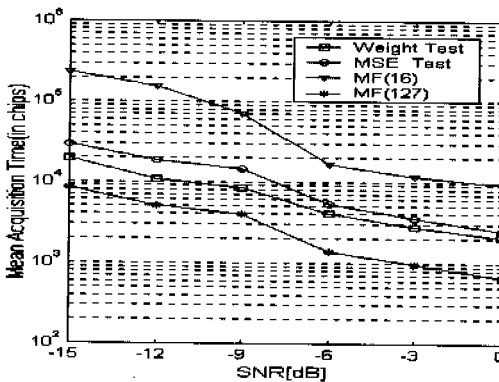


그림 9. 주파수 비선택적 레일리 페이딩 채널에서의 평균 동기 획득 시간 비교 (채널 변화율=384칩)

채널 환경과 경로수가 여러개인 채널 환경에서 다른 동기 획득 시스템에 비해 더 좋은 성능 향상을

보여준다. AWGN 환경과 레일리 페이딩 환경 모두에서 정합 여파기를 사용한 동기 획득 시스템에 비해 탁월한 성능 향상이 있을뿐 아니라, MSE 테스트 방식을 적용한 기존의 적응형 시스템에 비해서도 상당한 성능 향상 효과가 있다. 그러므로 빠른 동기 획득을 필요로 하는 DS/SS 시스템에는 웨이트 테스트를 적용한 적응형 코드 동기 획득 방식이 가장 적합하다.

### V. 결론

본 논문에서는 DS/SS 시스템에서의 빠른 동기 획득을 위해, 기존의 적응형 동기 획득 시스템의 단점을 보완하는 웨이트 테스트를 적용한 적응형 동기 획득 방법을 제안하였다.

제안된 시스템에 대해 수식적인 성능 분석한 결과, 기존의 MSE 테스트 방식에 비해 개선된 검출 능력과 짧은 테스트 시간으로 인한 평균 동기 획득 시간의 단축 효과를 확인하였다. AWGN 환경에서는 수식적으로 3-5dB의 성능 개선을 얻을 수 있었다.

성능의 검증을 위해 16탭의 적응형 동기 획득 시스템에 대하여 모의 실험한 결과, MSE 방식에 비해 AWGN 채널에서 3-4dB, 페이딩 채널에서 1-4dB의 성능 향상 효과를 확인하였다. 그리고 16탭 정합 여파기 시스템에 대해서는 페이딩 환경에서 9-12dB의 성능 향상을 얻을 수 있었다.

결과적으로 웨이트 테스트를 적용한 적응형 동기 획득 시스템은 모든 채널 환경에서 안정되고 우수한 성능을 보인다. 기존의 정합여파기를 사용한 시스템은 물론이고, MSE 테스트 방식의 적응형 동기 획득 시스템에 비해 적은 평균 동기 획득 시간을 얻을 수 있었다. 이외에도 동기 추적단도 동일한 적응형 필터를 사용하여 구현할 수 있다는 하드웨어적인 단순화의 장점을 고려한다면 웨이트 테스트 방식의 적응형 동기 획득 시스템은 앞으로의 활용성이 기대되는 효율적인 동기 시스템이라 할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] 강범주, 박형래, 손정영, 강창언 "IS-95 역방향 링크에서 단일 적분 및 이중 적분 검색방식의 성능 분석", 한국 통신학회 논문지, 제 21권, 2호, pp. 383-393, 2월 1996.
- [2] 이상목, 유철우, 홍대식, 강창언 "신경망을 이용한 DS/SS 시스템의 PN 코드의 초기 동기", 대

한 전자공학회 논문지, 제33권,A편, 제 7호, 7월 1996.

[3] R. Smith and Miller, "Coarse acquisition performance of the minimum mean squared error receiver," IEEE MILCOM, San Diego, USA, pp. 1186-1189, 1995

[4] M. G. El-Tarhuni and A. U. Sheikh, "Adaptive synchronization for spread spectrum systems," IEEE 46th Vehic. Tech. Conf., Atlanta, USA, pp. 170-174, April 1996

[5] M. G. El-Tarhuni and A. U. Sheikh, "On code tracking in direct sequence spread spectrum systems using adaptive filtering techniques," The Seventh IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications(PIMRC'96), Taiwan, ROC, pp. 858-862, October, 1996.

[6] Nei J.Bershad and Lian Zuo 卞 "On the probability density function of the LMS adaptive filter weights," IEEE Trans. on Acou.,Speech,and Signal Proc., vol. 37, no. 1, pp 43-56, 1989

[7] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 2nd. ed., Prentice-Hall, New Jersey, 1991

[8] R. T. Compton. Jr., Adaptive Antennas : Concepts and Performance, Englewood Cliffs. Prentice-Hall, 1998

[9] Y.Su, "Rapid code acquisition algorithms employing PN matched filters," IEEE Trans. Comm.,vol COM-36,No.6, pp. 724-733, June 1988

[10] E. Sourour and S. Gupta, "Direct sequence spread spectrum parallel acquisition in a fading mobile channel," 39th IEEE Vehic. Tech. Conf., San Francisco, California, pp. 774-779, May 1989

[11] M. G. El-Tarhuni and A. U. Sheikh, "Adaptive filtering based DS/SS acquisition in frequency selective and flat rayleigh fading channels," IEEE 47th Vehic. Tech. Conf., Phoenix, USA

류 탁 기(Takki Ryu) 정회원  
1999년 2월 : 연세대학교 전자공학 공학사  
2001년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 석사  
2001년 3월~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사  
과정  
<주관심 분야> 이동통신, 신호 처리, 통신공학

권 종 형(Jonghyung Kwun) 정회원  
한국통신학회 논문지 제23권, 제10호 참조

전 형 구(Hyounggoo Jeon) 정회원  
한국통신학회 논문지 제22권, 제5호 참조

이 정 구(Jeonggoo Lee) 정회원  
1983년 2월 : 연세대학교 전자공학 공학사  
1985년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학 석사  
1995년 5월 : University of Illinois at Chicago  
Electrical Engineering&Computer science,  
Ph. D.  
1985년~2000년 : 한국전자통신연구원 책임연구원  
2000년 7월~현재 : 서두인칩 상무  
<주관심 분야> 이동통신, 디지털 통신

홍 대 식(Daesik Hong) 종신회원  
한국통신학회 논문지 제21권, 제8호 참조

강 참 언(Changeon Kang) 종신회원  
한국통신학회 논문지 제23권, 제2호 참조