

적응형 확산 코드 동기획득 시스템에서의 병렬 부필터 탐색 구조와 파라미터 결정기법

준회원 한 명 수*, 정회원 류 탁 기*, 종신회원 홍 대 식*, 강 창 언*

Parallel Sub-filter Searching Structure and Parameter Decision Technique in Adaptive PN Code Acquisition Systems

Myeong-Su Han*, Tak-Ki Yu*, Dae-Sik Hong*, and Chang-Eon Kang*

요 약

본 논문에서는, 적응형 필터를 이용한 동기획득 시스템을 실제 환경에 효과적으로 사용하기 위해 두 가지 알고리즘을 제안한다. 첫째, 하나의 필터를 여러 개의 부 필터로 나누어 적응시키는 병렬 부필터 탐색 구조를 제시하여 실제 환경에서 요구되는 빠른 동기 획득 성능을 얻는다. 둘째, 적응 파라미터들을 수신 신호의 전력에 따라 조절해주는 파라미터 결정기법을 제안하여 이상적인 성능에서 큰 열화없이 실제 환경에서 효율적으로 동작 가능하도록 한다. 제안된 시스템에 대해 통계적인 분석을 수행하고 모의 실험을 통해 평균 동기 획득 시간 성능을 검증한다. 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템은 기존의 전체 필터 탐색 구조에 비해 16탭에서 1~1.5dB, 64탭에서 5~6dB의 성능 이득을 보이며, 제안된 파라미터 결정기법을 적용한 시스템은 16탭과 32탭에서 이상적인 성능에서 약 1~2.5dB 정도의 열화만으로 실제 환경에서 효과적으로 동작함을 보여준다.

Key Words : code synchronization, acquisition, adaptive filter, CDMA

ABSTRACT

In this paper, the parallel sub-filter searching structure to be adapted that divides a filter into several sub-filters and the parameter decision technique to control adaptive parameters with power of received signal in the code acquisition system using adaptive filter are proposed. The numerical results for the system probabilities are derived that the code acquisition system using parallel sub-filter searching structure is statistically analyzed. Also, characteristic of the parameters in adaptive code acquisition system is analyzed by simulations and the parameter decision technique through SNRC estimation is explained. The system with parallel sub-filter searching structure outperforms by 1~1.5 dB for 16taps, 5~6 dB for 64 taps. And the system with parameter decision technique works efficiently with the reasonable degree of degradation about 1~2.5dB for 16 and 32 taps.

I. 서 론

DS/SS 시스템에서 각 사용자의 신호는 PN (Pseudo-Noise) 코드에 의해 확산 (송신단)과 역 확산 (수신단)이 이루어진다. 따라서 수신된 확산 PN 코드와 수신단에서 발생된 코드간의 동기를 맞

추는 것은 DS/SS 시스템의 성능을 결정짓는 가장 중요한 요소 중의 하나이며, 이를 코드 동기화 과정이라 한다 [1]. 일반적으로 코드 동기화 과정은 동기 획득(code acquisition)과 동기 추적(code tracking)의 두 단계로 수행되며, 본 논문에서는 동기 획득 과정만이 고려된다.

* 연세대학교 전기전자공학과 정보통신 연구실 (eyas@tl.yonsei.ac.kr)

논문번호: 030019-0113, 접수일자: 2003년 1월 13일

※ 본 연구는 한국 산업 기술 평가원의 지원으로 수행되었습니다.

기존의 동기 획득 방법은 대부분 코드의 상관값을 이용하는 방식이 연구되었으나, 최근에는 적응형 필터를 사용한 동기 획득 방법이 R. Smith에 의해 제안되었다 [2]. 이 기법은 El-Tarhuni에 의해 실제적인 통신 환경에 적합하게 연구되었고 [3], 웨이트 테스트 방법을 이용한 향상된 적응형 동기 획득 기법 및 넌코히런트 환경에서 동작 가능한 알고리즘이 제안되었다 [5].

적응형 코드 동기 획득 시스템은 필터의 탭 수만큼 동시에 탐색 구간을 검사할 수 있고, 검출 확률과 평균 동기 획득 시간 면에서 기존의 상관기를 사용한 시스템보다 좋은 성능을 보여준다. 또한, 동일한 시스템을 동기 추적 과정에서도 사용할 수 있기 때문에 하드웨어 구조를 간단하게 할 수 있는 장점이 있다 [4].

그러나, 적응형 동기 획득 시스템을 실제 환경에 적용할 경우 두 가지 문제점이 발생한다. 첫째, 실제 환경에서 요구되는 빠른 동기 획득 성능을 얻기 위해서는 필터 탭 수의 증가가 불가피하지만, 필터 탭 수가 늘어날 경우 적응형 동기 획득 시스템의 성능 이득 효과가 감소한다. 둘째, 적응형 동기 획득 시스템의 이상적인 성능을 얻기 위해서는 적응 파라미터들을 채널 상태에 따라 최적화 시켜야 하는데, 실제 환경에서 사용 가능한 파라미터 결정 기법이 제안되지 않았다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 문제점을 해결하고자 한다. 먼저, 첫 번째 문제를 해결하기 위해 탭 수가 늘어날 경우, 하나의 필터를 부필터로 나누어 적용시키는 병렬 구조를 제안한다. 두 번째 문제를 해결하는 방법으로는 수신 신호의 칩당 신호대 잡음 전력비를 추정하여 적응 파라미터들을 조절해주는 파라미터 결정 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DS/SS 시스템에서 적응형 코드 동기 획득 기법에 대해서 살펴본다. III장에서는 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템의 구조를 설명하고 시스템 확률을 유도하며, 모의 실험을 통해 평균 동기 획득 시간 성능을 검증한다. IV장에서는 신호대 잡음 전력비 추정에 기초한 파라미터 결정 기법을 설명하고, 실험 결과를 통해 이상적인 성능과 비교·분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. DS/SS 시스템의 적응형 코드 동기 획득

AWGN 채널 환경에서 적응형 동기 획득 시스템에 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$x(t) = \sqrt{2P}b(t-\tau)c(t-\tau)\cos(2\pi f_c t + \phi) + n(t) \quad (1)$$

여기서 P 는 수신 신호의 전력, $b(t)$ 는 정보 신호, $c(t)$ 는 PN 신호, f_c 와 ϕ 는 각각 반송파 주파수와 위상이다. τ 는 수신 단에서 추정되어야 하는 시간 오프셋을 나타내며, 코드 주기에서 균일한(uniform) 분포를 갖는다고 가정한다. $n(t)$ 는 송신 신호가 채널을 통과할 때 더해지는 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 부가 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

칩 동기화(chip-synchronous) 환경에서 동기 획득 과정 동안 전송되는 정보 신호가 없고 코히런트하게 반송파가 복원된다고 가정하자. 이 때, 수신 신호의 전력이 정규화 되었다고 하면, 칩 정합 필터를 통과한 기저대역 이산 신호는 다음과 같다.

$$x(i) = c(i-\tau) + n(i) \quad (2)$$

여기서 i 는 이산 시간지수(discrete time index), $n(i)$ 는 평균이 0, 분산이 $\sigma_n^2 = \frac{N_0}{2T_c}$ 인 이산 가우시안 랜덤변수이다. 칩당 신호대 잡음 전력비를 SNR_c 로 정의하면, $SNR_c = 1/\sigma_n^2$ 이다. 수신 신호를 필터 탭 수만큼 입력으로 받고, 내부 발생 코드를 목적 신호(desired signal)로 하여 적응 알고리즘을 통해 필터를 적용시킨다. 초기에 필터 탭 수만큼 입력을 받고, 적응 시간 T_a 샘플 구간 동안 적용시킨다.

적응형 필터의 적응 특성은 수신 코드와 내부 발생 코드의 오프셋 차이가 얼마인가에 따라 달라지게 되며 크게 두 가지 상태로 나누어 볼 수 있다. 만약 수신 코드와 내부 발생 코드의 오프셋 차이가 필터의 탭 수 이내일 경우(가설 1, H_1 상태)에는 필터가 수렴하고 오프셋 차이에 해당하는 위치의 탭 웨이트가 피크값을 갖게 된다. 따라서 피크 값을 갖는 탭 웨이트의 위치를 통해 수신 코드의 오프셋을 알 수 있다. 반면에, 두 코드 간 오프셋 차이가 필터의 탭 수 이상일 경우(가설 0, H_0 상태), 필터는 발산하고 적응 후의 탭 웨이트는 모두 거의 0의 값을 갖는다. 그러므로, H_0 상태일 경우에는 내부 발생 코드의 오프셋을 필터 탭 수만큼 천이시켜서 다음 검색 구간을 검사하여야 하며, 이러한 과정은 H_1 상태에 들어가서 피크 값을 선택할 때까지 반복

된다. 그러므로 필터 적응이 끝난후 현재 상태가 H_1 인지 H_0 인지를 구분하는 것은 동기 획득 시간 성능에 큰 영향을 미치게 되며, 두 가지 상태를 구분하는 과정을 가설 시험이라 한다.

III. 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 적응형 코드 동기 획득

앞서 언급한 적응형 코드 동기 획득 방법의 두 가지 문제점 중 첫 번째 문제를 해결하기 위해, 본 장에서는 병렬 부필터 탐색 구조를 제안한다.

1. 시스템 모델

병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템의 블록도는 그림 1과 같다. 전체 적응형 필터의 탭 수를 M 이라고 했을 때, 시스템 구성 편의상 M_s 탭 부필터들을 N 개로 시스템을 구성한다 ($NM_s = M$).

각 부필터는 M_s 개의 입력 신호를 사용하여 개별적으로 적응 알고리즘을 통해 동작하게 되는데, 이때 목적 신호는 모든 부필터에 동일하게 적용된다.

j 번째 부필터의 입력 신호 벡터와 탭 웨이트 벡터를 각각 $x_j(i)$, $\omega_j(i)$ ($j = 1, 2, \dots, N$) 라고 하면 각 부필터의 출력신호는 다음과 같다.

$$y_j(i) = \omega_j^T(i)x_j(i) \quad (3)$$

여기서, T 는 행렬 전치 연산을 의미한다.

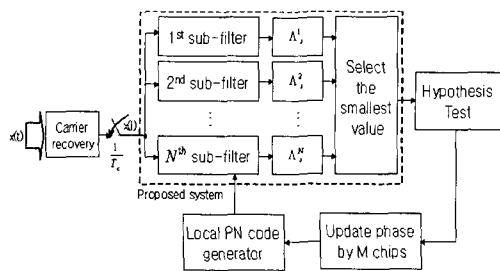


그림 1 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템의 블록도

이때 각 부필터의 오류 신호는 다음과 같다.

$$e_j(i) = d(i) - y_j(i) \quad (4)$$

여기서 $d(i)$ 는 목적 신호이며, 제안된 시스템의 탭 웨이트는 적응 기간동안 다음과 같이 LMS 알

고리즘을 통해 갱신된다.

$$\omega_j(i+1) = \omega_j(i) + \mu x_j(i)e_j(i) \quad (5)$$

여기서 μ 는 스텝 크기이다. 적응시간이 끝난 후, 필터의 수렴 여부를 판단하기 위해, 일정한 크기의 윈도우를 취하여 평균 제곱 오류 값을 구하는데, 이를 WASE (Window Average Square Error)라고 정의하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_s^j = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S e_j^2(i) \quad (6)$$

여기서 S 는 윈도우 크기이다. 모든 부필터의 A_s^j 중에서 최소값을 선택하여, 임계치보다 작으면 수렴으로 판단한다. 이러한 시험을 수렴 테스트라고 하며 이를 A 번 수행하여 B 번 이상 수렴이 선언되면 H_1 으로 판단하고, 그렇지 않으면 H_0 로 판단한다. 여러 번의 수렴 테스트를 통해 H_1 과 H_0 를 구분하는 이러한 과정을 가설 시험이라 한다.

2. 수렴 테스트 통과 확률

제안된 시스템의 성능 분석에서 기존의 시스템과 다른 점은 수렴 테스트 통과 확률의 분석이며, 나머지는 동일하다. 따라서, 제안된 시스템에 대한 수렴 테스트 통과 확률만 주어지면 전체 시스템 성능 분석이 가능하므로 이를 유도한다.

전체 시스템이 H_1 상태와 H_0 상태에 있는 각각의 경우에 대해 수렴 테스트 통과 확률을 분석한다. 먼저 전체 시스템이 H_1 상태인 경우, 부필터의 관점에서는 1개의 부필터만이 H_1 상태이고, 나머지 $N-1$ 개 부필터들은 H_0 상태가 된다. 전체 시스템이 H_1 상태에서 H_1 상태인 부필터를 정확히 선택하는 확률이 시스템 확률과 평균 동기 획득 시간에 영향을 미치게 된다. 이것은 H_1 상태에 있는 부필터의 WASE가 나머지 모든 부필터의 WASE보다 작은 확률로서 이것을 P_{cs} 라고 표현하면 다음과 같다.

$$P_{cs} = P(\Lambda_s | H_1 < \text{all } \Lambda_s | H_0) = \left\{ \int_0^\infty f_{\Lambda_s | H_1}(x) \left(\int_x^\infty f_{\Lambda_s | H_0}(y) \right)^{N-1} dx \right\} \quad (7)$$

여기서 $f_{\Lambda_i|H_1}(x)$ 와 $f_{\Lambda_i|H_0}(y)$ 는 각각 H_1 상태와 H_0 상태에서 WASE의 확률 밀도 함수이며, [4]에서 유도된 확률분포와 동일하게 카이 제곱 분포를 갖는다. 이 결과를 이용하여 H_1 상태에서 수렴 테스트를 통과할 확률을 P_{s1} 이라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{s1} = P_{cs} \cdot \int_0^n f_{\Lambda_i|H_1}(x) dx + (1 - P_{cs}) \cdot \int_0^n f_{\Lambda_i|H_0}(x) dx \quad (8)$$

H_0 상태에서 수렴 테스트를 통과하는 확률을 P_{s0} 라고 하면, 이것은 H_0 상태의 N개 모든 부 필터들 중 하나의 WASE라도 임계치(η)보다 작을 확률로서 다음과 같다.

$$P_{s0} = 1 - \left[\int_{\eta}^{\infty} f_{\Lambda_i|H_0}(x) dx \right]^N \quad (9)$$

따라서, H_1 상태와 H_0 상태에서의 수렴 테스트 통과확률인 P_{s1} 과 P_{s0} 를 이용하면 시스템 확률과 평균 동기획득 시간을 구할 수 있는데, 이후 유도과정은 [4]와 동일하므로 생략한다.

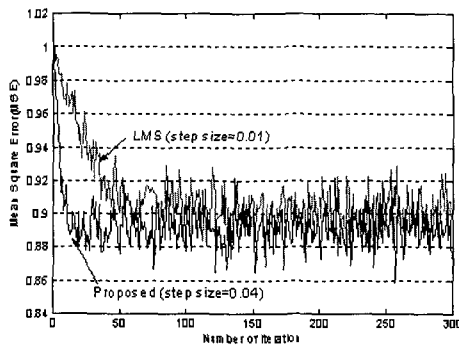


그림 2 병렬 부필터 탐색 구조 시스템의 수렴속도

3. 실험 결과 및 고찰

평균 동기 획득 시간은 필터의 적응 시간에 크게 영향을 받는데, 적응 시간은 스텝 크기에 반비례한다. 기존의 시스템은 전체 필터 탭을 수렴시키므로 스텝 크기가 허용한도 이상이 되면 MSE 값이 발산하고 수렴이 불가능하다. 그러나, 제안된 시스템

은 부필터로 나누어 더 적은 필터 탭을 적응시키게 되므로 더 큰 스텝 크기를 적용할 수가 있기 때문에 더 빠른 수렴특성을 얻을 수 있다. 이러한 수렴 특성은 빠른 동작을 요구하는 동기 획득 시스템에 적합하며, 평균 동기 획득 시간을 줄일 수 있게 한다. 그림 2는 $SNR_c = -3.0dB$, 탭 수 16에서 수렴 가능한 최대 스텝 크기를 적용했을 때의 MSE 학습곡선을 비교한 것이다. 여기서 제안된 시스템은 부필터 수와 부필터의 탭 수를 같게 하였다. 그림을 보면, 제안된 시스템은 부필터로 나눔으로서 큰 스텝 크기를 가질 수 있고, 이로 인해 수렴 속도가 2배정도 빨라져서 동기획득 시간의 이득을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

제안된 시스템에서 부 필터와 부 필터 탭 웨이트의 개수를 여러 형태의 구조로 적용할 수 있다. 먼저 부 필터 수와 부 필터 내 탭 수를 같게 하고, 전체 탭 수 증가에 따른 평균 동기 획득 성능을 실험해 보면 그림 3과 같다. 기존의 시스템은 64탭의 성능 향상이 16탭에 비해 미미하지만, 제안된 시스템은 64 탭을 썼을 경우 확인한 성능 향상 이득이 있음을 알 수 있다. 성능 비교 결과, 탭 수 16에서 1~1.5dB, 탭 수 64에서 5~6dB의 성능 향상을 얻는다.

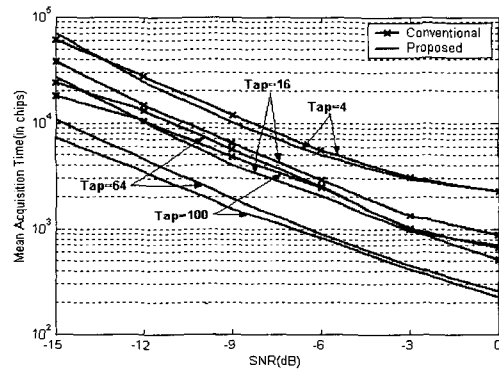


그림 3 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템의 평균 동기획득 시간 비교

하지만 탭 수를 100으로 하게 되면 기존의 시스템에서 나타나는 현상과 비슷하게 성능향상 폭이 줄어들게 된다. 이것은 부필터의 탭 수를 더 작게 해야 병렬 부필터 탐색 구조의 장점을 최대한 얻을 수 있음을 의미한다. 고정된 전체 탭 수에 대해 부 필터의 탭 수를 변화시켜가며 실험한 결과가 그림 4에 나타나 있다. 결과를 보면, 전체 탭 수를 작은 탭 수의 부필터로 많이 나눌수록 큰 스텝 크기를

사용할 수 있으므로 동기 획득 시간 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 그러나 부필터로 너무 많이 나누게 되면 계산상의 복잡도가 증가하게 된다. 또한 부필터의 탭 수가 어느 정도 이하가 되면 성능 향상 폭이 줄어들게 된다. 그러므로 주어진 전체 탭 수에 따라 적절한 부필터 탭 수를 결정하면 계산상의 복잡도를 크게 늘리지 않는 범위에서 최적화된 성능을 얻을 수 있다.

IV. 적응형 동기 획득 시스템에서의 파라미터 결정 기법

본 장에서는 적응형 동기 획득 시스템의 두 번째 문제점을 해결하기 위해 SNR_c 추정 방식에 기초한 파라미터 결정 기법을 제안한다.

1. 시스템 구조 및 적응 파라미터 특성

가. 시스템 구조

적응형 동기 획득 시스템은 최적의 성능을 얻기 위해 채널 상태에 따라 최적화된 파라미터를 사용해야 한다. 즉, 채널 상태 별로 가장 낮은 평균 동기 획득 시간을 갖게 하는 스텝 크기와 임계치를

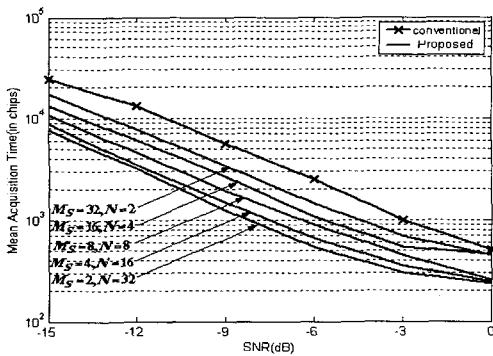


그림 4 병렬 부필터 탐색 구조를 적용한 시스템의 부필터와 필터 내 탭 수 변화에 따른 평균 동기 획득 시간 변화

찾아서 적용해야 한다. 앞 장에서 살펴본 평균 동기 획득 성능 또한 각각의 SNR_c 에 따라 최적의 파라미터를 실험으로 얻은 결과이다. 그러나 실제 환경에서는 채널 상태를 모르기 때문에, 최적의 평균 동기 획득 시간 성능에 근접하기 위해 채널 상태를 추정하여 파라미터들을 적절히 조절해야 한다.

채널 상태 추정에 따른 파라미터 결정기법을 적용한 전체적인 코드 동기 획득 과정은 그림 5와 같이 간단히 나타낼 수 있다. 필터의 적응 시간 동안

SNR_c 추정을 동시 수행하고, 이 결과를 이용하여 시스템 파라미터들을 채널 상태에 알맞게 조절한다.

나. 시스템 파라미터 특성

추정된 SNR_c 에 따라 스텝 크기를 결정해주기 위해서는 우선 최적의 스텝 크기가 갖는 경향을 알아야 한다. 각각의 SNR_c 에 따라 평균 동기 획득 시간을 최소로 만드는 최적의 스텝 크기를 실험적으로 구해보면, 그림 6과 같다. 결과를 살펴보면, 최적의 스텝 크기는 dB단위의 SNR_c 에 따라 선형적인 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, dB단위의 SNR_c 추정과 선형 변환을 통해 최적에 가까운 스텝 크기 결정이 가능하다.

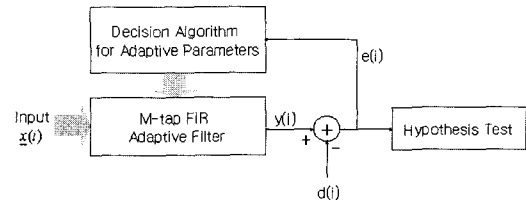


그림 5 파라미터 결정기법을 적용한 시스템의 블록도

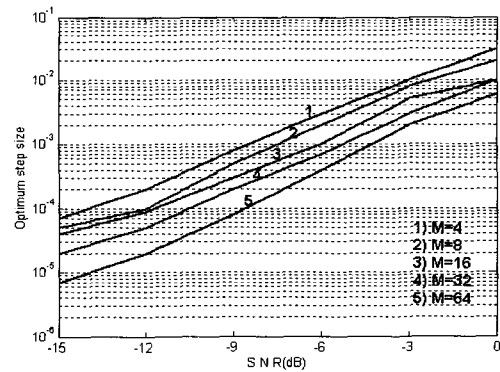


그림 6 최적화된 스텝 크기 변화

그림 7은 평균 동기 획득 시간을 최소로 만드는 수렴 테스트에서의 최적 임계치를 나타낸 것으로서, 이것 또한 전체적인 경향이 선형적인 특성을 나타냄을 알 수 있다. 따라서, 임계치 값도 스텝 크기의 경우와 마찬가지로 SNR_c 추정과 선형 변환을 통해 결정 가능하다.

2. SNR_c 추정기법

가우시안 환경에서 코히런트 동기 획득 시스템을

고려할 경우, PN 코드의 크기를 1이라고 했을 때 수신 신호의 분산은 다음과 같다.

$$\sigma_x^2 = 1 + \sigma_n^2 \quad (10)$$

여기서 σ_n^2 는 잡음 신호의 분산을 의미한다. 따라서 제안된 시스템에서 수신신호의 분산을 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$\sigma_x^2 \approx \hat{\sigma}_x^2 = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T \{x(n)\}^2 \quad (11)$$

여기서 T는 추정 과정에 사용된 샘플 수를 나타낸다. 즉, 일정 구간 샘플들의 제곱을 평균하여 수신 신호의 분산을 근사화하게 되며, T가 어느 정도 큰 값을 가지면 실제 값에 근접해진다. 이를 이용하여 SNR_c 는 다음과 같이 추정 가능하다.

$$\hat{SNR}_c = \frac{1}{\hat{\sigma}_x^2(T) - 1} \quad (12)$$

이것은 dB 단위로 다음과 같이 표현할 수 있다.

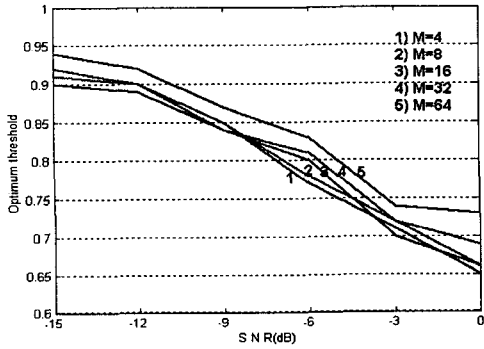


그림 7 최적화된 임계치 변화

$$\Psi_{SNR_c}^A(i) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\hat{\sigma}_x^2(T) - 1} \right) \quad (13)$$

이렇게 추정된 채널 정보를 이용하여 선형 변화를 거쳐 시스템 파라미터들을 결정할 수 있다.

3. 파라미터 결정기법

가. 스텝 크기 결정 기법

추정된 채널 정보를 사용하여 스텝 크기를 결정할 때, 수신신호가 클 경우 잘못 근사화된 스텝 크기에 의해 적응 여려가 커질 가능성이 있다. 따라서, 이런 문제점을 방지하기 위해 NLMS 알고리즘을 적응 알고리즘으로 사용한다. NLMS 알고리즘에서 탭 웨이트를 갱신하는 식은 다음과 같다 [6].

$$\underline{h}(i+1) = \underline{h}(i) + \frac{\zeta}{\|\underline{x}(i)\|^2} e(i)\underline{x}(i) \quad (14)$$

여기서 ζ 는 양의 실수 값을 갖는 비례요소 (scaling factor)를 의미한다.

NLMS 알고리즘에서는 비례 요소를 입력 신호 벡터의 에너지로 정규화한 요소가 스텝 크기의 역할을 한다. 따라서 채널 상태에 따라 스텝 크기를 최적화하는 문제는 비례 요소를 최적화하는 문제로 바뀌게 된다. 앞서 살펴본 바와 같이 최적화된 스텝 크기는 SNR_c 에 대해 선형적인 특성을 갖는데, 비례 요소의 최적 값도 같은 경향을 보인다.

따라서 비례요소를 추정된 SNR_c 의 선형 함수로 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$\zeta(i) = \zeta_{\max} + \zeta_g \Psi_{SNR_c}^A(i + M) \quad (15)$$

여기서 i 는 적응시간 동안의 시간 인덱스 ($i = 1, 2, \dots, T_d$)이고, $\Psi_{SNR_c}^A(i)$ 는 dB 단위의 추정된 SNR_c 이다. 그리고 ζ_g 는 비례요소의 선형 변화에 따른 기울기 (gradient of scaling factor)로서 다음과 같다.

$$\zeta_g = \frac{\zeta_{\max} - \zeta_{\min}}{SNR_{\max} - SNR_{\min}} \quad (16)$$

여기서, SNR_{\max} 과 SNR_{\min} 은 시스템에서 고려하는 최대, 최소 SNR_c 동작지점을 의미하며, ζ_{\max} 과 ζ_{\min} 는 각각 최대, 최소 SNR_c 상태에서 실험적으로 얻을 수 있는 최적의 비례 요소이다.

나. 수렴 테스트의 임계치 결정 기법

스텝 크기의 비례 요소를 결정하는 것과 동일한 방법으로 임계치 또한 SNR_c 의 선형 함수로 다음과 같이 결정할 수 있다.

$$\eta_g = \eta_{\min} + \eta_g \mu_{SNR_c}(T_a + M) \quad (17)$$

여기서 η_g 는 임계치의 선형 변화에 따른 기울기 (gradient of threshold)를 의미하며, 다음과 같다.

$$\eta_g = \frac{\eta_{\max} - \eta_{\min}}{SNR_{\max} - SNR_{\min}} \quad (18)$$

여기서 η_{\max} , η_{\min} 는 각각 최대, 최소 SNR_c 환경에서 최적화된 임계치이며, 두가지 값은 주어진 동작 환경에 따라 실험을 통해 정해지는 값이다. η_g 은 음수의 값을 갖는다.

다. 적응 시간 결정 기법

앞에서 제안한 파라미터 결정 기법을 사용할 경우, 스텝 크기가 가변적이므로 전체 적응 시간 설정에 어려움이 있다. 본 논문에서는 추정된 채널 상태 및 스텝 크기를 이용하여 적응 시간을 결정하는 방법을 제안한다.

기존의 동기획득 시스템에서 적응시간은 다음과 같이 설정된다 [4][6].

$$T_a = \frac{2}{\mu\lambda_{av}} \quad (19)$$

여기서 λ_{av} 는 입력신호의 평균 고유값이다. 제안된 시스템에서 평균 고유값은 수신신호의 평균 전력을 다음과 같이 구하여 근사화 한다.

$$\lambda_{av} \approx \sigma_x^2(T) = \frac{1}{T} \sum_{n=1}^T \{x(n)\}^2 \quad (20)$$

그러나, T가 작을 때에는 정확한 추정이 불가능하여 적응시간이 정확히 계산되지 않을 가능성이 있다. 따라서, 최소한의 초기 적응시간을 설정하면 잘못 추정된 적응시간으로 인해 제대로 수렴하지 않는 것을 방지할 수 있고, 평균 고유값을 적절히 근사화할 수 있다. 이러한 기본적인 초기 적응시간을 T_{init} 이라고 하고, 초기 T_{init} 시간 동안은 무조건 적응 과정이 진행되도록 시스템을 구성한다.

T_{init} 시간 동안 적용한 뒤 근사화된 고유값과 스텝 크기를 이용하여 실제 필요한 적응시간을 계산하면 다음과 같다.

$$\mu_a = \frac{2}{\mu_{av}(T_{init} + M)\sigma_x^2(T_{init} + M)} \quad (21)$$

T_{init} 시간 동안 적용한 뒤, 식 (21)과 같이 실제 필요한 적응시간을 계산하여 그 차이만큼 시스템을 더 적응시키게 된다. 즉, 추가 적응시간 T_{add} 는 다음과 같다.

$$T_{add} = \mu_a - T_{init} \quad (22)$$

4. 실험 결과 및 고찰

제안된 파라미터 결정기법을 사용하여 평균 동기 획득 시간에 대해 실험한 결과는 그림 8과 같다. 탭 수가 8개인 경우에는 작은 탭 수로 인해 처음에 수신신호의 전력을 정확히 측정하지 못해서 초기 스텝크기를 정확하게 적용하지 못하므로 성능이 불안정하나, 16이상이 되면 어느 정도 안정된 성능을 보인다. 그런데, 탭 수가 커져서 64가 되면 좋지 않은 채널 상태에서는 긴 필터 탭으로 수신신호의 정보를 좀 더 정확히 계산할 수 있으므로 안정된 성능을 보이지만, 채널 상태가 좋아지면, 상대적으로 더 긴 필터 탭 수로 인해 수렴시켜야 하는 시간이 더 증가하므로 오히려 성능이 열화된다.

그림 9는 탭 수가 16과 32일 경우에 이상적인 최적의 성능, 즉 채널 상태에 따라 최적의 파라미터를 적용한 성능과 비교한 결과이다. 동일한 탭 수를 사용한 경우에서 제안된 시스템은 이상적인 성능에 비해 1~2.5dB 정도의 비교적 크지 않은 성능열화가 발생함을 알 수 있다. 따라서, 제안된 파라미터 결정기법을 사용하여 비교적 큰 성능열화 없이 적응형 동기획득 기법을 실제 환경에서 사용 가능하다.

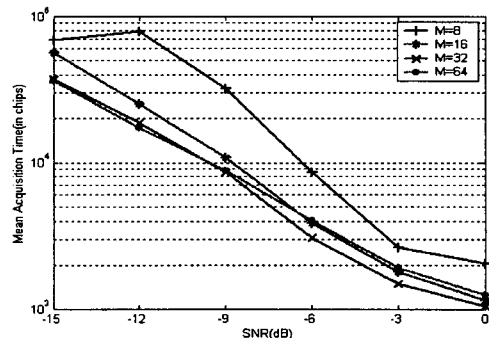


그림 8 파라미터 결정기법을 적용한 시스템의 평균 동기획득 시간

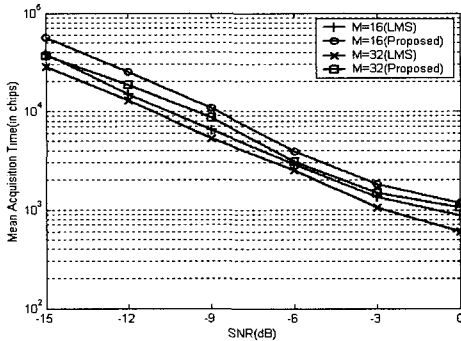


그림 9 파라미터 결정기법을 적용한 시스템의 성능

V. 결 론

본 논문에서는, 적응형 코드 동기획득 시스템을 실제 시스템에 사용할 경우 발생하는 두 가지 문제점을 해결하기 위한 방법을 제안하였다.

첫째, 필터 탭 수의 증가에 비해 성능이득 폭이 감소하는 문제점을 해결하기 위해 부필터를 사용한 병렬 구조 시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 통계적인 특성 및 시스템 확률을 분석하였고, 실험 결과를 통해, 16 탭에서 1~1.5 dB, 64 탭에서 5~6 dB의 성능이득을 확인하였다.

둘째, 적응형 코드 동기획득 시스템이 채널 상태에 따라 적응 파라미터들을 최적화 시켜야 하는 문제로 인해 실제 시스템에서 사용하기 어려운 단점을 해결하기 위해 SNR_c 를 추정하여 파라미터를 결정하는 기법을 제안하였다. 제안된 파라미터 결정기법을 적용한 시스템에 대해 실험한 결과, 16 탭과 32 탭에서 최적의 성능에 비해 1~2.5 dB 정도의 비교적 큰 성능열화 없이 실제 환경에 사용 가능함을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 두 가지 기법을 통해 적응형 동기 획득 시스템을 실제 환경에서 사용 가능하며, 빠른 동기 획득을 요구하는 차세대 이동 통신 시스템에 활용할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] M.K. Simon, J.K. Omura, R.A. Scholtz, and B.K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, Mcgraw-Hill : NewYork, 1994.
 [2] Harri Holma and Antti Toskala, *WCDMA for*

UMTS, Revised Edition, John Wiley & Sons : England, 2001.

[3] R. Smith and S. Miller, "Coarse acquisition performance of the minimum mean squared error receiver," MILCOM'95, pp. 1186-1189, 1995.
 [4] M.G. El-Tarhuni and A.U. Sheikh, "Adaptive synchronization for spread spectrum systems," VTC'96, pp. 170-174, April 1996.
 [5] Takki Yu, Jonghyung Kwun, Daesik Hong and Changeon Kang, "Noncoherent adaptive code synchronization for DS/CDMA systems," GLOBECOM'01 vol. 6, pp. 3311-3315, November 2001.
 [6] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 4th Edition, Prentice-Hall, 2002.

한 명 수(Myung-Su Han)

준회원



1994년 3월 : 해군사관학교
 기계공학 공학사
 1994년 3월 ~ 2001년 2월 :
 해병대 통신 장교 임관/복무
 2003년 2월 : 연세대학교
 전기전자공학과 석사

2003년 3월 ~ 현재 : 해병대 사령부 근무중

<주관심분야> 이동통신, 신호처리, Ad-hoc

류 탁 기(Tak-Ki Yu)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권, 제3호 참조

홍 대 식(Dae-Sik Hong)

종신회원

한국통신학회 논문지 제21권, 제8호 참조

강 창 언(Chang-Eon Kang)

종신회원

한국통신학회 논문지 제23권, 제2호 참조