

# DS/SS 통신 시스템에서 가산성 백색 정규 잡음의 확률분포와 의사 잡음 부호의 주기성을 이용한 초기 동기 방안

준희원 김 태 훈\*, 정희원 박 용 완\*\*

## Code Acquisition Method Using Periodic Property of PN Code and Probability Distribution of AWGN in DS/SS System

Tae-hoon Kim\*, Yong-wan Park\*\* *Regular Members*

### 요 약

이 논문에서는 DS/SS (Direct sequence/spread spectrum) 통신 시스템에서 대역 확산에 사용되는 의사 잡음 부호의 주기성과 가산성 백색 정규 잡음의 확률 분포를 이용한 효율적인 초기 동기 방법을 제안하였다. 파일럿 신호의 주기성을 동기 획득에 이용하기 위하여 의사 잡음 부호의 주기성에 관해 시간영역에서 고찰하였고 이를 토대로 수신된 가산성 백색 정규 잡음성분을 줄일 수 있는 간단한 구조의 평균값 여파기를 제안하였다. 제안된 평균값 여파기를 일반적으로 많이 사용되는 직렬 탐색 형태의 초기 동기 시스템과 신호대잡음비가 높을 때에 가장 우수한 성능을 보이는 순차 추정 방식에 적용하는 방법 및 기지국간 비동기방식에 의한 부호분할 다중접속 시스템에서 순차 추정 방식의 사용 가능성을 기술하였다. 제안된 여파기를 적용한 초기 동기 시스템은 특히 낮은 신호대잡음비에서 기존의 초기 동기 시스템보다 빠른 초기 동기를 이루는 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

An effective code acquisition method using the periodicity property of PN codes and probability of AWGN is proposed in DS/SS system. In this paper, the method of utilizing this periodic property of spreading signal in a pilot channel is investigated and a simple averaging filter suitable to AWGN channel is derived. In addition, we describe the method of composing proposed averaging filter to the conventional acquisition system and the capability of using sequential estimation in CDMA system with asynchronous mode. The simulation results show that the mean acquisition time is reduced with the proposed acquisition system, especially in low SNR region.

### I. 서 론

직접 수열 부호 분할 다중 접속 시스템은 이동 통신 시스템 및 개인 휴대 통신 시스템에 적합한 다중 접속 방식으로 인정받고 있다. 이는 부호 분할 다중

접속 시스템이 대역 확산 전송 기술을 이용하여 채널 할당의 유연성과 항 재밍 (anti-jamming) 능력 및 협대역 간섭 제거 능력 등이 우수하기 때문이다 [1][2]. 부호 분할 다중 접속 시스템에서 대역 확산을 하기 위해서는 의사 잡음 부호가 사용되는데 IS-95의 순방향 링크에서는  $2^{15}-1$ 길이의 의사 잡음 부호

\* (주)윌텍정보통신 통신 연구소(eltro@juno.willtech.co.kr)

\*\* 영남대학교 정보통신공학과 (ywpark@yucc.yeungnam.ac.kr)

논문번호: 99013-0119, 접수일자: 1999년 1월 19일.

가 사용되고 있다. 대역 확산 시스템에서는 신호를 복조하기 위해 수신 신호를 역확산 해야 하고, 이를 위해 수신 신호의 의사 잡음 신호에 대한 초기 동기가 선행되어야 한다.

대역 확산 전송 시스템에서의 초기 동기는 전형적으로 초기 동기와 동기 추적 과정을 통하여 이루어진다. 수신된 의사 잡음 부호 열과 국부 발생된 의사 잡음 부호 열사이의 부호 위상 차이를 한 칩 이내로 접근시키는 것을 초기 동기이라 하고, 초기 동기가 이루어진 뒤 부호위상 차이를 좁히고 계속 유지하는 과정을 동기 추적이라 한다<sup>[3]</sup>.

초기 동기 방법은 크게 직렬 탐색, 병렬 탐색, 혼합 탐색, 순차 검출기, 순차 추정 방식 등으로 구분할 수가 있다. 그런데 대부분의 초기 동기 방식들은 일정 신호대잡음비 구간에서 일정한 초기 동기 시간을 가지게 되다가 특정한 신호대잡음비 이하에서부터 초기 동기 시간이 급격히 증가하는 특성이 있어 특정한 신호대잡음비 이하에서는 초기 동기가 불가능하다. 순차 추정 방식은 가장 빠른 초기 동기를 수행할 수 있으나 신호대잡음비가 낮아지게 되면 다른 초기 동기 방식에 비해 초기 동기 시간이 급격히 증가하게 되어 실제로 사용되지 않는다<sup>[3][10]</sup>.

이러한 초기 동기 방식은 확산 신호가 반복적으로 사용되어야만 초기 동기가 가능하며 확산에 사용되는 의사 잡음 부호가 너무 길다면 사전에 전파지연에 관한 정보 없이는 초기 동기는 사실상 불가능하다. 이러한 이유 때문에 IS-95에서는 긴 부호는 디시메이션을 (decimation) 통하여 데이터 혼화에만 (scrambling) 사용되며 초기 동기는 짧은 부호를 이용하여 이루어지게 된다<sup>[11]</sup>. 국내의 광대역 부호 분할 다중 접속을 이용한 무선가입자망에서는 2<sup>32</sup>길이의 의사 잡음 부호를 20msec 구간만 사용하는 짧은 부호만으로 확산을 수행하게 되며 순방향 링크의 파일럿 채널에서는 빠른 초기 동기를 위해 데이터를 실지 않고 의사 잡음 부호 열만 전송하게 된다<sup>[12]</sup>.

이 논문에서는 의사 잡음부호가 반복적으로 사용되는 곧 주기성을 가지고 있다는 것을 이용한 초기 동기 방법을 제안 하고자 한다. 대역 확산 기술을 이용한 부호분할다중접속방식 등의 통신 시스템에서 파일럿 채널로 수신되는 확산 신호는 반복 주기에 따라 반복되므로 반복 주기에 따라 특정 시점에서 관찰하면 언제나 같은 값 또는 파형을 가지게 된다. 이러한 확산 신호의 주기성과 가산성 백색 정규 잡음의 평균은 일정하게 된다는 확률 특성을 이용하여

의사 잡음 부호의 주기에 따라 개별적으로 칩의 평균을 구하는 평균값 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기는 다른 적용 여파기들에 비해 간단한 구조로 되어 있으며 계산량이 적으므로 실시간 처리에 적합한 것이 특징이다.

## II. 시스템 모형

### 2-1 의사 잡음 부호 열의 초기 동기

BPSK 데이터 변조 방식을 이용한 DS/SS 통신 시스템에서의 이진 정보 신호를 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$b(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} b_i p_T(t-iT) \quad (1)$$

여기서  $b_i \in \{-1, 1\}$ ,  $p_T = \begin{cases} 1, & -T/2 \leq t < T/2 \\ 0, & \text{그밖의구간} \end{cases}$

이진 정보 신호  $b(t)$ 를 대역 확산하기 위한 신호  $g(t)$ 는 주기가  $N$ 인 의사 잡음 부호에 의해 생성되며 다음과 같이 표현된다.

$$g(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} c_j p_{T_c}(t-jT_c) \quad (2)$$

여기서  $c_j \in \{-1, 1\}$ ,  $c_j = c_{j+N}$ ,  $T_c$  는 칩 간격을 나타낸다.

파일럿 신호는 무변조 신호이므로  $b_i=1$ 이 되어 송신기에서 전송하는 신호는 다음과 같다.

$$s(t) = \sqrt{2S}g(t+kT_c)\cos(\omega_0 t + \varphi), \text{ for some } k \quad (3)$$

여기서  $S$ 는 전송 전력,  $\omega_0$ 는 반송파 주파수,  $\varphi$ 는 반송파의 위상,  $k$ 는 특정한 부호 위상을 나타낸다.

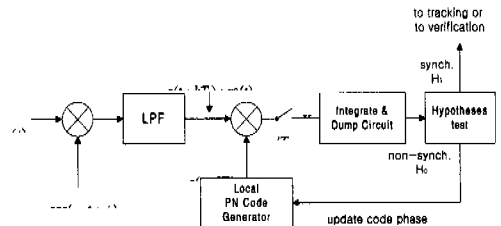


그림 1. 능동 상관기를 이용한 반송파 동기 초기 동기 시스템

수신기에서 수신된 신호  $r(t)$ 는 다음과 같다.

$$r(t) = \sqrt{2S}g(t + kT_c - \tau_d)\cos(\omega_0 t + \phi) + n(t) \quad (4)$$

여기서  $n(t)$ 는 채널 잡음을,  $\tau_d$ 는 전파지연율,  $\phi = \varphi - \omega_0 \tau_d$ 는 위상지연율을 나타낸다. 수신기에서 입력신호의 칩 타이밍을 안다고 가정하면  $\tau_d$ 를 아는 것이므로  $\tau_d = 0$ 로 둘 수 있다.

따라서 식(4)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sqrt{2S}g(t + kT_c)\cos(\omega_0 t + \phi) + n(t) \quad (5)$$

실제의 초기 동기 과정에서는 신호가 확산되어 있는 상황이므로 신호대잡음비가 낮아 반송파의 동기를 이루기 어렵기 때문에 동기 복조는 일반적으로 고려되지 않지만 분석을 쉽게 하기 위해서 수신되는 신호의 반송파의 위상을 안다고 가정한 동기 복조를 고려한 수신기를 고려한다. 능동 상관기를 이용한 초기 동기 구조는 그림 1에서 보여준다. 수신된 신호  $r(t)$ 는 국부 발진기를 통해 동기 복조가 되어 저역 통과 여파기를 거치게 되면 기저 대역 신호  $\tilde{x}(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{x}(t) = \sqrt{\frac{S}{2}}g(t + kT_c) + n_0(t) \quad (6)$$

여기서  $n_0(t)$ 는 저역 통과한 정규 잡음이다.

기저대역 신호  $\tilde{x}(t)$ 는 국부 발생된 의사 잡음 부호 열에 의해 역확산이 이루어지며  $T_c$ 마다 표본화 되어 초기 동기 시스템의 적분 구간 동안 적분이 이루어진다. 적분기에  $t = iT_c$ 마다 입력된다고 하면 역확산된  $i$ 번째 표본 신호  $x_i$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_i = \theta_i + n_{0i}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } \theta_i &= \sqrt{\frac{S}{2}}g[(i+k)T_c]g[(i+d)T_c] \\ n_{0i} &= n_0(iT_c)g[(i+d)T_c] \end{aligned} \quad (7)$$

$\theta_i$ 는  $iT_c$ 에서 표본화된 신호성분이고  $n_{0i}$ 는  $iT_c$ 에서 표본화된 잡음 성분이다. 만약  $i \neq j$ 일 때  $c_i$ 와  $c_j$ 가 분포가 같고 서로 독립이고, 사용되는 저역 통과 여파기는 차단 주파수가  $f_{co} = 1/(2T_c)$ 인 이상적인 저역 통과 여파기라면 잡음 성분  $n_{0i}$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_0^2$ 인 정규 확률 변수라고 할

수 있다.

수신된 의사 잡음 부호와 국부 발생된 의사 잡음 부호간의 동기가 이루어졌는지 검사하기 위하여 두 가지 가설을 정한다. 두 부호 열간의 부호 위상이 일치하지 않을 경우(i. e.,  $l \neq k$ )를  $H_0$ 라 두고 두 부호 열간의 부호 위상이 일치할 경우(i. e.,  $l = k$ )를  $H_1$ 로 둔다. 상관기 출력을  $h(x)$ 라 할 때, 동기의 여부를 결정하기 위한 결정 변수는 아래와 같이 표현한다.

$$\lambda = \int_0^{N_w T_c} h(x) = \sum_{i=1}^{N_w} h(x_i) \quad (8)$$

여기서  $N_w$ 는 초기 동기 시스템의 적분 구간과 일치하는 칩들의 수를 나타낸다.

오보 확률을  $\alpha$ 로, 검출 확률을  $\beta$ 라 할 때 dismiss 확률은  $1 - \beta$ 로 나타내고, 오보가 일어난 후 궤환 시간(false alarm penalty time)을 적분 구간에 따라 표현하면  $qN_w$ 로 되고, 이때  $q$ 는 적분 구간과 궤환 시간의 비를 의미한다. 의사 잡음 부호 발생기에서 부호 위상을 변화시킬 때 지연이 없다고 가정하면, 능동 상관기를 사용한 평균 초기 동기시간은 식(9)과 같이 주어진다<sup>[7]</sup>.

$$\begin{aligned} \bar{T}_{acc, act} &= \left[ \frac{N}{2\Delta} + \frac{\alpha a}{(1-a)^2} \right] MT_c \\ &+ \frac{1-\beta}{\beta} \left[ \frac{N}{\Delta} + \frac{\alpha a}{(1-a)^2} \right] MT_c \end{aligned} \quad (9)$$

능동 상관기 대신에 정합 여파기를 사용할 경우를 그림 2에 나타내었다. 정합 여파기의 지연 탭의 길이를 능동 상관기를 이용한 초기 동기 시스템의 적분 구간과 동일한  $N_w$ 로 두고, 정합 여파기에 의한 자기 잡음 등의 외란을 모두 무시한다면 간략하게 식(10)과 같이 표현할 수 있다.

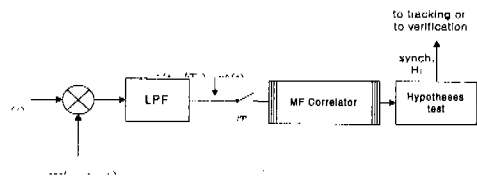


그림 2. 정합 여파기를 이용한 반송파 동기 초기 동기 시스템

$$\bar{T}_{acc, pas} = \frac{1}{N_w} \bar{T}_{acc, act} \quad (10)$$

2-2 의사 잡음 부호 열의 주기성

파일럿 채널의 송신 신호  $s(t)$ 는 데이터 변조를 하지 않고 의사 잡음 부호가 주기적으로 반복되어 사용되므로 의사 잡음 부호 열만이 송신된다. 이때 송신기에서 정확한 타이밍에 따라 신호가 만들어진다면 수신된 신호  $r(t)$ 는 의사 잡음 부호의 반복 주기  $N$ 에 또는 프레임에 따라 반복된다. 따라서 식 (6)으로부터 기저 대역 신호  $\tilde{r}(t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{r}_i(t) \cong \tilde{r}_{i+N}(t), \text{ for all } i \quad (11)$$

곧, 시점  $iT_c$ 에서의 표본값과 시점  $(i+N)T_c$ 에서 표본값은 같은 값을 가지게 되는 주기가  $NT_c$ 인 신호가 된다.

$(i+mN)T_c$ 번째  $\tilde{r}(t)$ 를  $\tilde{r}_{i,m}(t)$ 로 두면 식(12)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \tilde{r}_{i,m}(t) &\cong \tilde{r}_{i+mN}(t) \\ &\cong \tilde{r}(t+(i+mN)T_c) \end{aligned} \quad (12)$$

여기서,  $0 \leq i \leq N-1$ ,  $0 \leq m < \infty$  이다.

$\tilde{r}(t)$ 를  $i$ 번째 이후로 의사 잡음 부호의 반복 주기  $N$ 번째마다의 신호를  $M$ 번 표본화하여 평균을 낸 것을  $\hat{r}_{i,M}(t)$ 라 하면 식(13)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{r}_{i,M}(t) &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \tilde{r}_{i+(m-1) \times N}(t) \\ &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sqrt{\frac{S}{2}} g(t+(i+(m-1) \times N)T_c) \\ &\quad + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_0(t+(i+(m-1) \times N)T_c) \\ &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sqrt{\frac{S}{2}} g_{i,m}(t) + \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_{0i,m}(t) \end{aligned} \quad (13)$$

이 논문에서 고려하는 잡음은 평균이 0인 넓은 뜻에서 정상인 가산성 백색 정규 잡음이므로  $\hat{n}_{0i,m}(t)$ 를 무한한 시간 동안의 평균을 구하면 0으로 되게 되므로 식(12)에서의 잡음 성분  $\hat{n}_{0i,m}(t)$ 의 평균은 식(14)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{n}_{0i,M}(t) &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M n_{0i,m}(t) \\ &\approx 0 \end{aligned} \quad (14)$$

수신 신호의 전파지연이 없다고 가정하면,  $i$ 번째 수신신호는 송신신호의 코드 위상을 나타내게 되

로 식(3)의  $k$ 를  $i$ 로 바꾸면 식(13)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{r}(t)_{i,M} \approx \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sqrt{\frac{S}{2}} g(t+(i+(m-1) \times N)T_c) \approx s(t) \quad (15)$$

III. 가산성 백색 정규 잡음을 줄이기 위한 여파기를 포함하는 초기 동기 시스템

3-1 의사 잡음 부호열의 주기성을 이용하여 가산성 백색 정규 잡음을 줄이기 위한 여파기 구조

일반적인 통신 시스템의 수신기는 수신되는 신호의 부가 잡음의 영향을 줄이기 위해 정합 여파기를 사용하게 되나 대역 확산 시스템의 수신기에 수신되는 확산 신호는 그 전력이 배경 잡음 전력 이하에서 수신 될 수 있으므로 정합 여파기는 한계가 있다. 잡음이 인가된 신호를 개선하기 위한 여러 종류의 적응 알고리즘들이 연구되고 있으나 평균제곱 오차를 이용한 방법이 주류를 이루고 있어 낮은 신호대잡음비에서 동작되는 대역 확산 시스템의 초기 동기에 사용하기에는 무리가 있으며, 계산량이 많고 지연 시간을 필요로 하므로 빠른 처리 시간을 요구하는 초기 동기에서 사용하기가 힘들다.

식(15)에서 수신된 확산 신호를 무한한 시간동안 평균을 취하게 되면 가산성 백색 정규 잡음성분이 제거될 수 있음을 보였다. 잡음은 상관성이 없으므로 오랜 시간 동안 관찰하면 그 평균이 일정한 값으로 수렴하게 되는 성질을 가지게 되나 인접하는 잡음사이에 상관성이 없다고 보기가 어려우며 잡음간의 충분한 거리가 주어질 때 상관성이 없다고 할 수 있다<sup>[3]</sup>. 확산 신호의 반복 주기가 각 칩에 인가되는 잡음의 상관성이 없을 정도로 충분히 길다고 하면 각 칩별의 잡음은 상관성이 없다고 할 수 있으며 이때 잡음의 통계적 성질을 이용할 수 있다. 수신된 확산신호의 신호대잡음비가 평균을 구하는 시간이 짧아도 무방할 정도로 충분히 높을 경우에는 짧은 관찰 시간이 필요로 하며 신호대잡음비가 낮을 경우에는 긴 관찰 시간이 필요하다. 그러므로 수신되는 확산 신호의 신호대잡음비의 변화에 따라 평균을 구하는 시간이 조정 될 수 있도록 하기 위하여 연속 평균을 구하는 것이 필요하다. 확산 신호의 반복 주기에 따른 칩 개별의 연속 평균은 식(16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{r}_{i,m}(t) = \frac{r_i(t) + \hat{r}_{i,m-1}(t)(m-1)}{m}$$

$$= \frac{r_i(t)}{m} + \hat{r}_{i,m-1}(t) - \frac{\hat{r}_{i,m-1}(t)}{m}, m=1,2,3,\dots\infty$$

(16)

식(16)의  $m$ 은 수신되는 확산 신호의 반복된 회수를 의미하며 첫 번째 수신되는 신호에서는  $m$ 을 1로 두며 이후 수신되는 확산 신호의 두 번째 주기에 해당되는 신호에서는  $m$ 은 2로 증가시키게 된다.  $m=1$ 일 경우에는 이전의 확산 신호의 평균값이 0이 되므로  $\hat{r}_{i,1}(t) = r_i(t)$ 이 되어 평균이 취하지 않으며  $m$ 이 2이상이면서부터 평균이 취하여지게 된다.

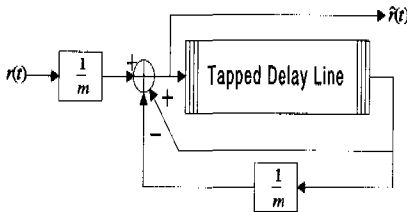


그림 3. 평균값 여파기

그림 3은 식(16)을 이용하여 수신되는 확산 신호의 칩 개별의 연속 평균을 구하기 위한 것으로 칩 개별적으로 평균을 구하게 되므로 지연 탭의 수와 상관없이 계수가 하나만 필요로 하며 계수  $m$ 을 확산 신호의 반복 회수에 따라 단순히 증가시키는 것만으로도 충분하므로 계산량이 적어진다.

평균값 여파기를 이용하면 식(15)과 같이 이론 상으로 가산성 백색 정규 잡음채널에서 완벽한 가산성 백색 정규 잡음의 제거가 가능하므로 매우 낮은 신호대잡음비에서도 시간만 충분히 주어진다면 확산 신호의 복구가 가능하다. 따라서 초기 동기 시스템에 평균값 여파기를 사용할 경우 낮은 신호대잡음비에서 성능이 우수 할 것으로 보이며 또한 평균을 취하게 되므로 발산할 확률이 없어 시간만 충분히 주어진다면 반드시 초기 동기를 수행 할 수 있다. 제안된 평균값 여파기는 가산성 백색 정규 잡음을 제거하게 되므로 이후 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기로 표기한다.

### 3-2 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기(평균값 여파기)를 적용한 직렬 탐색 구조

그림 4는 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 정합 여파기를 이용한 직렬 탐색 초기 동기 시스템

에 적용한 것이다. 수신된 신호가 역확산 되기 전에 저역 통과 여파기와 상관기 사이에 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 추가하여 확산 신호의 주기성을 이용할 수 있는 구조로 되어 있으며 다른 초기 동기 구조에서도 마찬가지로 적용될 수 있다. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 이용한 제안된 초기 동기 시스템의 초기 동기 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

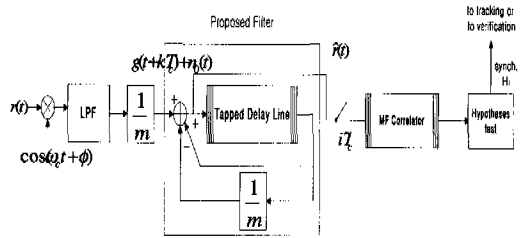


그림 4. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 적용한 직렬 탐색 초기 동기 시스템

1) 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기의 지연 탭 초기값은 0(혹은 설정하지 않아도 무방함)으로 두어 첫 번째 수신되는 확산 신호는 그대로 출력될 수 있도록 한다.

2) 먼저 확산 신호의 한 주기 동안은  $m=1$ 로 두어 여파기의 지연 탭에 수신된 의사 잡음 부호 열이 그대로 저장되도록 한다. 이때에도 초기 동기는 계속 이루어지게 되므로 시간 손실은 발생하지 않는다.

3) 두 번째 확산 신호의 주기동안은  $m=2$ 로 되어 지연 탭에 먼저 입력된 확산 신호와 두 번째 수신되는 확산 신호의 평균이 지연 탭에 입력이 되고 동시에 출력이 되어 초기 동기 단으로 입력이 된다.

4) 2), 3)의 과정에서 출력되는  $\hat{r}(t)$ 를 이용하여 초기 동기 과정을 수행하게 된다.

5) 만약 초기 동기가 선언되지 않으면 계속적으로 초기 동기 과정이 수행되고 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기는 수신되는 확산신호의 주기의 반복 회수에 따라  $m$ 값을 증가시키며 계속적으로 현재까지 수신된 신호의 칩 단위 별 평균을 구하게 된다.

6) 만약 오보가 발생했을 경우에는 페널티 시간이 경과한 후 지연 탭의 값들을 0으로 두고 계수  $m$ 을 1로 두어 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 초기화시키고 초기 동기 과정을 재시작 한다.

7) 만약 초기 동기가 선언되었을 경우에는 확인

과정이나 동기 추적 과정으로 전환되게 된다.

초기 동기 시에 초기 동기 시간을 증가시키는 가장 큰 요인으로는 확산 신호의 신호대잡음비가 떨어져 오보와 dismiss에 의한 시간 손실에 기인된다. 오보가 발생하여 탐색 과정에서 검증 과정이나 동기 추적 과정으로 전환된 뒤 다시 탐색 과정으로 전환되기 위해서 탐색 과정의 검색 속도에 비해 긴 시간이 필요로 하게 되며, dismiss가 발생할 경우에는 전체 탐색 구간을 처음부터 다시 검색해야 하므로 시간의 낭비가 있다. 평균값 여파기는 미리 정하여진 반복 회수에 따라 평균을 구하는 것이 아니므로 초기 동기가 진행되면서 확산 신호가 반복된 회수에 따라 dismiss 확률과 오보 확률이 감소하게 된다. 그러므로 전체 탐색 구간(uncertainty region)에서 찾고자 하는 셀(correct cell)이 마지막에 위치하는 셀일 경우에는 탐색 과정에서 능동 상관기를 사용하게 되면 적분 구간만큼 확산 신호가 반복되게 되며, 정합 여파기를 사용하게 되더라도 확인 과정이 있으면 확산 신호가 여러 번 반복 될 수 있다. 그러므로 찾고자 하는 셀이 전체 탐색 구간에서 첫 번째에 위치할 경우에 비해 마지막에 위치할 경우 dismiss나 오보가 발생할 확률이 적음을 알 수 있다.

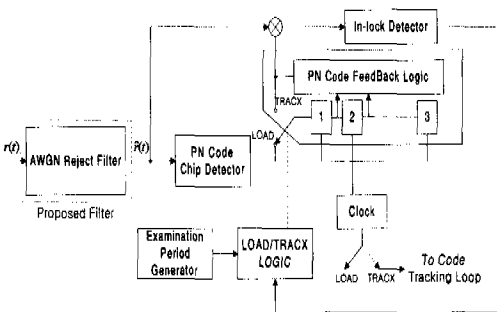


그림 5. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 적용한 순차 추정 방식

### 3-3 가산성 백색 정규 잡음제거 여파기를 적용한 순차 추정 방식

그림 5는 순차 추정 방식에 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 적용한 그림이다. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기에서 출력된  $\hat{x}(t)$ 는 간단한 1bit A/D 변환기로 구성된 칩 검출기에서 칩을 추정 후 의사 잡음 부호 발생기를 통해 의사 잡음 부호 열이 생성이 되어 신호  $\hat{x}(t)$ 와 곱해져 신호의 유무를 판

단하게 된다.

국내 무선가입자망의 경우 같은 다항식의  $2^{32}$ 길이의 긴 부호 중 20msec에 해당되는 부분만 사용하는 짧은 부호를 사용하여 확산을 하게 되며 이 부호는 파일럿 채널을 통해 그대로 전송하게 된다<sup>[12]</sup>. 무선 가입자망에서의 기지국 탐색과정을 살펴보면, 각 기지국마다 시드(seed)를 할당받게 되므로 한 기지국의 탐색 과정이 끝나고 다음 기지국을 찾기 위해서 다음 시드를 가지고 다시 탐색을 해야 한다. 만약 8.912Mcps의 칩 율을 가지는 무선가입자망에서 탐색해야할 기지국의 수가 256개이고 기지국의 시드가 마지막에 할당될 경우 능동 상관기로는 약 22분의 탐색 시간이 걸리게 되며, 정합 여파기 또는 다른 알고리즘을 사용하게 되더라도 2-3분의 시간이 걸리게 된다.

순차 추정 방식은 기지국을 순차적으로 검색하는 것이 아니라 가장 강한 파일럿신호를 전송하는 기지국을 선택하게 되므로 순차적으로 기지국을 검색할 필요가 없으므로 한 번의 탐색과정만을 필요로 한다. 순차 추정 방식은 칩에 대한 정확한 판정이 있어야만 사용이 가능하므로 순차 추정 방식이 그대로 사용되기는 곤란하지만 칩에 대한 정확한 판정을 할 수 있다면 사용할 수 있을 것이다. 순차 추정 방식에서 칩에 대한 판정의 정확도를 높이기 위한 방법으로 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기가 쓰일 수 있다. 표 1은 순차 추정 방식이 실제로 기지국간 비동기 시스템에 적용될 수 있는지를 알아보기 위해 무선가입자망시스템에서 직렬 탐색 초기 동기 시스템을 사용할 경우와 순차 추정 방식의 초기 동기 시스템을 사용할 경우의 초기 동기시간을 간단히 비교한 것이다.

표 1. 무선가입자망시스템에서 기지국수에 따라 직렬 탐색구조 초기 동기 시스템과 순차 추정 방식을 이용한 부호획득 시스템간의 초기 동기 시간 비교

찾고자 하는 기지국의 탐색 순서	직렬 탐색구조 (64칩 길이의 능동 상관기 사용)	순차 추정 방식 (32칩 길이의 칩 추정기와 64칩 길이의 능동 상관기 사용)
1	$20\text{msec}(16384\text{칩}) \times 64 = 1.28\text{sec}$	$20\text{msec} \times ((32+64)/16384\text{칩}) = 0.114 \text{ msec} (-> 20\text{msec})$
10	$20\text{msec}(16384\text{칩}) \times 64 \times 10 = 12.8\text{sec}$	$20\text{msec} \times ((32+64)/16384\text{칩}) = 0.114 \text{ msec} (-> 20\text{msec})$

표 1에서는 수신된 확산 신호가 충분한 신호대잡

음이 제공되어 칩에서의 에러가 없을 경우를 고려한 것이다. 표 1에서 보듯이 순차 추정 방식은 찾아야 할 기지국의 수는 상관없이 언제나 동일한 성능을 보이게 되며 직렬 탐색 구조의 능동 상관기의 적분 구간만큼의 초기 동기 속도가 증가하게 되며 검색해야 할 기지국의 수가 많을수록 직렬 탐색 구조에 비해 초기 동기 속도가 빨라지는 효과를 얻을 수 있다. 만약 수신되는 확산 신호에 잡음이 증가되어 순차 추정 방식 자체의 초기 동기 시간이 길어지더라도 직렬 탐색 구조에서 모든 기지국을 찾는 데 필요한 시간 보다 작다면 순차 추정 방식이 더 우수한 성능을 보인다고 할 수 있으며 수신되는 확산 신호의 칩이 빠른 시간 내에 정확히 추정된다면 순차 추정 방식은 매우 우수한 초기 동기 시스템이 될 수 있다.

#### IV. 모의 실험

이 장에서는 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 적용한 초기 동기 시스템의 성능을 가산성 백색 정규 잡음 채널에 대하여 모의 실험을 통해 해석하였다. 직렬 초기 동기 시스템을 위한 모의 실험의 주요 매개변수는 아래와 같다.

- 1) 의사 잡음 부호 길이 :  $L=1023$
- 2) 생성 다항식 :  $x^{10} + x^3 + 1$
- 3) 탐색 스텝 크기 :  $\Delta=1$
- 4) 탐색 과정 : 256칩 길이의 지연 탭을 가지는 정합 여파기
- 5) 확인 과정 : 2046칩 길이의 적분 구간을 가지는 능동 상관기
- 6) 오보로 인한 탐색 과정로의 전환 시간 :  $25000 T_c$

평균 초기 동기 시간을 구하기 위하여 수신되는 확산 신호의 전파지연은 균일한 분포를 가진다고 가정하여 발생시키며 평균 초기 동기 시간은  $LT_c$ 로 정규화 하여  $E T_{Acqd}/LT_c$ 로 나타내므로 단위를 필요로 하지 않는다.

그림 6은 잡음이 첨가된 확산 신호를 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기로 여파 할 때 그 반복 회수에 따른 확산 신호의  $E_c/N_0$ 의 변화를 보여주고 있다. 이때,  $E_c/N_0$ 는 확산 신호의 한 주기에 포함되는

칩들의  $E_c/N_0$ 의 평균을 의미하며 초기  $E_c/N_0$ 가 -15dB와 -25dB일 때를 고려한다. 여파기의 반복 회수가 5회일 때는  $E_c/N_0$ 가 약 7.5dB 개선되었고, 10회일 경우  $E_c/N_0$ 가 약 10dB 개선되며 40회일 경우 약 15dB 개선됨을 알 수 있다. 여파기의 반복 회수가 많지 않더라도 상당한  $E_c/N_0$ 의 개선 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있는데 이는 여파가 진행되면서 각 칩에 포함되는 잡음의 평균값이 0으로 수렴되거나 그렇지 않고 오히려 다른 값으로 진행 될 수도 있지만 가산성 백색 정규 잡음의 특성상 평균값 가까이 잡음이 많이 분포하게 되므로 칩의 잡음 평균이 0으로 수렴되는 경우가 많기 때문이다.

그림 7은 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 직렬 탐색 구조에 적용했을 경우로, 무한한 시간 동안의 수신된 신호의 평균을 구하는 것이 불가능하므로 여파기에서 칩 개별의 연속 평균을 구하기 위한 반복 회수(5, 10, 20회)에 제한을 둘 경우와 두지 않을 경우 그리고 기존 방식의 평균 초기 동기 시간을 보여주고 있다. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기의 반복 회수가 5회로 제한되었을 경우에 약 -16dB에서부터 평균 초기 동기 시간이 급격히 증가되나 기존의 초기 동기 시스템보다는 많이 개선됨을 알 수가 있으며 여파기의 최대 반복 회수가 커질수록 낮은  $E_c/N_0$ 에서 평균 초기 동기 시간이 확연히 줄어들음을 알 수가 있는데, 이는 그림 6에서 보여주듯이 여파기가 몇 번만 반복되더라도 잡음 성분이 감소되는 칩들의 수가 증가하게 되어 오보나 dismiss가 일어날 확률이 낮아지기 때문이다. 만약 초기 동기 도중 dismiss가 일어나게 되면 의사 잡음 부호의 길이 만큼의 시간을 더 소비해야하며 오보가 일어날 경우 전환 시간만큼 초기 동기 시간의 손해를 보게 되므로 오보나 dismiss가 일어나게 되면 초기 동기 시간은 급격히 증가하게 된다. 이러한 이유 때문에 기존의 초기 동기에서는 일정한 잡음 레벨 이하에서 평균 초기 동기 시간이 급격히 증가하게 되나 제안된 초기 동기 방식에서는 신호의 개선이 계속 진행되므로 실령 dismiss가 일어났더라도 두 번째 dismiss가 일어날 수 있는 확률이 줄어들기 때문에 평균 초기 동기 시간의 급격한 증가가 보이지 않는다.

그림 8은 기존의 순차 추정 방식에 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기를 적용했을 경우의 평균 초

기 동기 시간을 나타내었다. 순차 추정 방식에서는 칩 추정기에서 정확한 칩의 추정이 이루어져야 초기 동기가 가능하므로 충분히 여파를 할 필요가 있어 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기의 반복 회수에 제한을 두지 않고 오보가 일어났을 경우에만 여파기를 초기화시킨다. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기에 의한  $E_c/N_0$ 의 증가율이 기존의 순차 추정 방식에서  $E_c/N_0$ 에 따른 평균 초기 동기 시간의 증가율 보다 빨라 평균 초기 동기 시간의 감소를 보인다.

부호 분할 다중 접속에서는 다중 사용자에게 의한 간섭이 채널 용량을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 그러므로 MAI(Multiple Access Interference)문제가 반드시 고려가 되어야 한다. 그림 9는 사용자의 수에 따른 평균 초기 동기 시간을 나타낸 것으로 사용자의 수가 증가할수록 기존의 초기 동기 시스템에 비해 제안된 초기 동기 시스템의 성능이 우수함을 알 수가 있다.

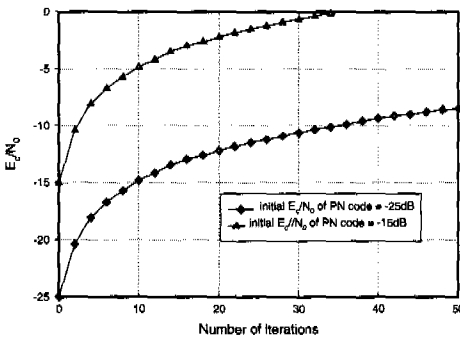


그림 6. 가산성 백색 정규 잡음 제거 여파기의 반복 회수에 따른 의사 잡음 부호의  $E_c/N_0$ 의 변화

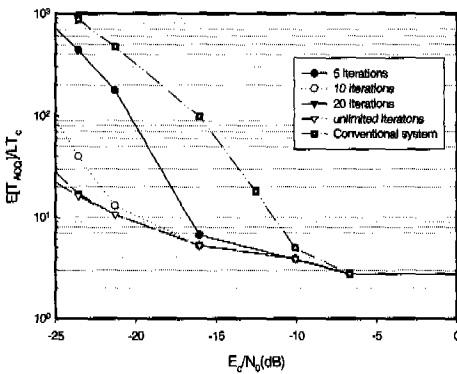


그림 7. 평균값 여파기를 적용한 직렬 탐색 구조에서 평균 초기 동기 시간의 비교

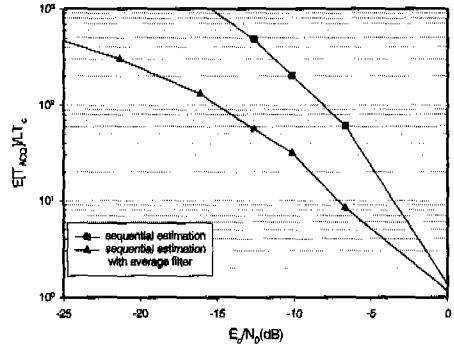


그림 8. 순차 추정 방식에서의 평균 초기 동기 시간

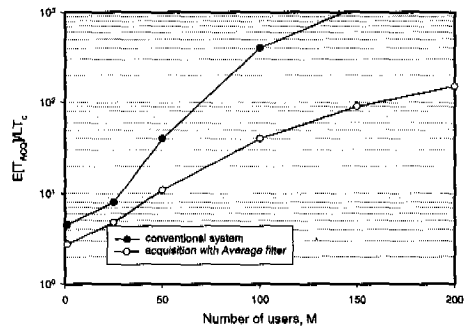


그림 9. 사용자 수에 따른 평균 초기 동기 시간의 비교

## V. 결론

이 논문에서 DS/SS 통신 시스템에서 대역 확산에 사용되는 의사 잡음 부호가 주기적으로 반복되어 사용되는 점과 가산성 백색 정규 잡음은 평균이 0이라는 점을 이용하는 초기 동기 방법을 소개하였다. 2장에서는 이상적인 가산성 백색 정규 잡음이 첨가된 수신된 주기 신호  $x(t)$ 를 주기에 따라 평균을 구하면 잡음간의 비상관성에 의해 평균이 0이 되어 수신 신호의 잡음성분이 감쇄되어 원 신호  $s(t)$ 가 됨을 유도하였다. 이러한 성질은 의사 잡음 부호의 주기성에 기인한 것으로 이를 이용하여 가산성 백색 정규 잡음 환경에 적합한 간단한 구조와 계산량이 적은 평균값 여파기를 제안하였다.

그리고 제안된 평균값 여파기를 사용하는 초기 동기 시스템에 대해 기술하고 평균 초기 동기 시간을 통해 기존의 시스템과 비교 분석하였는데, 평균값 여파기를 이용한 초기 동기 시스템은 가산성 백색 정규 잡음의 확률 분포를 그대로 적용하게 되므로 우수한 성능을 보이게 되며 특히 평균 초기 동기 시간



이 급격히 증가하는 지점이 나타나지 않았다. 또한 확산 신호의 칩을 빠른 시간 내에 정확히 추정할 수 있다면 기지국간 비동기 방식에서 순차 추정 방식이 사용될 수 있음을 보였고 칩 추정의 정확성을 높이기 위한 방법으로 평균값 여파기를 사용하였다.

이 논문에서 제안된 초기 동기 방법은 낮은  $E_c/N_0$ 에서도 성능이 우수하므로 대역 확산 기술을 이용하는 협대역 부호분할다중접속 방식, 광대역 부호분할다중접속 방식 및 무선가입자망 등에서 초기 동기 시스템을 구현하는데 이용할 수 있을 것이다. 앞으로 더 진행되어야 할 연구는 이상적인 가산성 백색 정규 잡음 환경이 아닌 잡음의 평균이 유동적으로 변할 경우와 감쇄 환경에서의 대처 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, A. Weaver. Jr., and C. E. Wheelley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.

[2] R. Kohno, R. Meidan, and L. B. Milstein, "Spread spectrum access methods for wireless communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no. 1, pp. 58-67, Jan. 1995.

[3] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial spread-spectrum code acquisition- part I: General theory," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 5, pp 542-549, May 1984.

[4] A. Polydoros and C. L. Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum code acquisition-Part: 2 A matched filter receiver," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 5, pp. 550-560, May 1984.

[5] J. K. Holmes and C. C. Chen, "Acquisition time performance of PN spread spectrum systems", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 25, pp. 778-783, Aug. 1977.

[6] Y. H. Lee and S. Tantaratana, "Sequential acquisition of PN sequences for DS/SS communications : design and performance," *IEEE, J. Select. Areas Commun.*, vol 128, no. 4, pp. 211-214, Aug. 1981.

[7] B. B. Ibrahim and A. H. Aghvami, "Direct sequence

spread spectrum matched filter acquisition in frequency-selective Rayleigh fading channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 12, no. 5 pp. 885-890. June 1994.

[8] W. A. Krzymien, A. Jalali and P. Mermelstein, "Rapid acquisition algorithms synchronization of bursty transmission in CDMA microcellular and personal wireless systems," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 10, no. 3, pp. 570-579, May 1984.

[9] G. E. Corazza, "On the MAX/TC criterion for code acquisition and application to DS-SSMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 9, pp. 1173-1182, Sep. 1996

[10] R. B. Ward, "Acquisition of pseudonoise signals by sequential estimation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 13, pp. 475-486, Dec. 1965

[11] TIA/EIA IS-95 Intersim standard, TIA, July 1993.

[12] TTA, 2.3 GHz대역의 WLL 시스템을 위한 광대역 CDMA 무선접속 잠정표준안, 1997년 12월

[13] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, New Jersey: Prentice Hall, 1995

김 태 훈(Tae-hoon Kim)

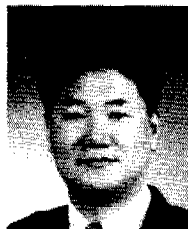
준회원



1997년 2월 : 영남대학교  
전자공학과 학사  
1999년 2월 : 영남대학교  
전자공학과 석사  
1999년 1월~현재 : (주)윌텍정보  
통신 연구원

<주관심 분야> 이동통신시스템, Mobile IP,  
Wireless LAN, LMDS

박 용 완(Yong-wan Park)



1982년 2월 : 경북대 전자공학과  
졸업  
1984년 2월 : 경북대 전자공학과  
석사  
1989년 2월 : 뉴욕 주립대  
전자공학과 석사  
1992년 6월 : 뉴욕 주립대  
전자공학과 박사

1992~1993년 : 캘리포니아 공과대학(Caltech)

Research Fellow

1994~1996년 8월 한국이동통신 PCS기술연구팀장

1996년 9월~현재 : 영남대학교 정보통신공학과 교수

<주관심 분야> 이동통신, 간섭제거기술, OFDM,  
Software Radio, IMT-2000시스템