

## 주파수도약 통신의 적응동기 방법

# Adaptive Synchronization Method of Frequency Hopping Communications

한성우, 김용선, 박대철, 전병민

Sung-Woo Han, Yong-Sun Kim, Dae-Chul Park, Byung-Min Jun

### 요 약

주파수도약 대역확산 통신은 열악한 채널조건하에서도 송수신기간 서로 약속된 의사 불규칙적인 캐리어 주파수의 도약을 위한 정확한 주파수동기가 요구된다. 기존의 주파수도약 통신의 초기동기는 몇 개의 주파수 셀이 정해진 기간 동안 여러 번 반복하여 전송되는 다중주파수도약 동기방법(MFHS)이 사용되었다. 그러나, 동기주파수 전송시간이 길기 때문에 수신기의 동기획득시간이 길고 의도하지 않은 사용자에게 동기정보가 쉽게 누출될 우려가 있었다.

이러한 문제를 풀기 위하여 본 논문에서 적응동기 방법이 제안되었다. 적응동기 방법은 동기주파수의 개수와 반복 전송 횟수를 채널 상태에 따라 가변적으로 변경시킴으로서 동기소요시간을 줄이고 동기정보의 노출가능성을 최소화하는 방법이다. 성능분석을 통해 동기소요시간을 0.5초 수준에서 0.2초 수준으로 줄이고 재밍이나 간섭 영향을 46%까지 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

In frequency hopping spread spectrum(FHSS) communication systems, exact frequency synchronization is required due to the random hopping of carrier frequencies between transmitter and receiver even under harsh channel conditions.

For synchronization of FHSS communications, multi-frequency hopping synchronization(MFHS) method has been used in which a small set of frequencies are repeatedly sent several times for long duration. But this long duration resulted in being easily detected by the unauthorized users as well as long duration of acquisition time.

In this paper, motivated by these problems, an adaptive synchronization method(ASM) is proposed. ASM is technics to reduce the synchronization time where the number of synchronization frequencies and repetition numbers is adaptively changed (increased or decreased) according to the channel conditions. The performance analysis showed that the time duration of synchronization was reduced to 0.2sec, and the influence of jamming or interference was decreased to 46% in ASM.

**Keywords** : 주파수도약, 적응동기, 초기동기, 동기획득, 초기동기 소요시간

### I 서 론

주파수도약 통신에서 초기동기 시간의 최소화 및 인위적인 동기주파수 포착이 어려운 동기구조 기술이 필수적이다. BFSK 방식으로 구현한 주파수도약(FH) 통신시스템은 약 0.01초의 시간마다 도약주파수를 불규칙하게 변

환시키면서 송수신하는 구조이며, 송신기와 수신기가 서로 약속된 의사불규칙한 도약 패턴으로 통신을 하여야 하므로 서로 도약 시퀀스의 초기동기를 확보하는 것이 필수적이며 시스템의 성능을 결정짓는 주요 항목이다. 동기 주파수가 인가되지 않은 사용자에게 누출되면 통신 보안성이 저하되고, 전파 간섭을 받으면 FH 통신 자체가

이루어지지 않기 때문이다[1].

기존의 FH 초기동기 방식[2]은 수 초간격의 시간 변수에 의해 생성된 몇 개의 동기주파수를 수 차례 반복 전송하고, 수신기는 송신기의 도약홉보다 긴 동기주파수로 수신대기시키는 방식이다. 여러개의 동기주파수를 수 차례 반복 전송하기 때문에 초기동기 시간이 길게 소요되고 동기주파수가 누출될 가능성이 많다. 초기동기 시간이 길면 ARQ(auto repeat request) 방식의 데이터 전송, FH 중계 등이 어려우므로 초기동기 소요시간은 가능하면 짧아야 한다. 그러므로 초기동기 시간 최소화, 동기주파수 및 절차의 누출 방지는 FH 통신에서 중요한 요소이다.

본 논문에서는 동기품질에 따라 동기주파수 수량 및 반복 횟수를 가변 시켜 초기동기 소요시간 및 동기주파수 탐지확률 최소화하는 적응 초기동기(ASM : Adaptive Synchronization Method) [3]을 제안하였다. 적응 동기 방법(ASM)은 8초 간격으로 9단계의 시간을 변수로 사용하여 9개의 동기주파수를 만들며 송신기와 수신기 시간차가 약 30초 이내일 때 송신기와 수신기가 자체적으로 시간을 일치시킨다. 35%의 동기주파수가 간섭받아도 초기동기가 가능한 반면, 동기주파수의 탐지는 어렵게 구현된다. 적응 동기 방법은 통신상태가 양호하면 전송되는 동기주파수의 수량을 최소화하여 동기주파수의 탐지율을 줄이면서 초기동기 소요 시간을 감소시킨다.

본문에서 구체적인 동기주파수 전송 방법과 수신대기 방법을 제안하고 탐지 가능성과 초기동기 소요시간을 감소시키는 방안을 구현한다. 성능 평가는 송신기와 수신기의 동기주파수 일치 확률, 동기주파수 탐지 확률 및 동기확률을 컴퓨터 시뮬레이션 한다. 본 논문의 구성은 II장에서는 초기동기 소요시간을 최소화하면서 동기주파수 탐지 확률을 낮출 수 있는 적응 동기 알고리즘을 제안한다. III장에서는 제안에 대한 실험과 결과를 분석하고 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 적응 동기

FH 통신은 송신기와 수신기가 서로 약속된 의사불규칙 도약패턴을 가지고 매 순간마다 주파수를 변경하면서 통신하는 방식으로서 통신을 시작할 때 상호 도약패턴을 일치시키면서 정보 시작 시점을 맞추는 동기 절차가 필요하다. FH 통신의 초기동기를 위하여 송신기는 정보전송에 앞서 일정 시간동안 초기동기 정보를 전송하며, 수신기는 초기동기 절차를 수행하는데 있어서 주파수, 비트, 정보의 초기동기 및 비트 추적 과정에 시간이 소요된다. 초기동기 시간 최소화, 동기주파수 및 절차의 누출 방지는 FH 통신에서 중요한 요소이다. 본 논문에서는 기존의 초기동기 방식보다 초기동기 소요시간을 줄이고 초기동기 확률을 높이며 오동기 확률을 줄일 수 있는 새로운 적응동기 방법(ASM)을 제안하였다.

### 2.1 현재의 초기동기 방법

주파수도약 동기는 기술발전에 따라, 고정주파수로 초기동기를 확보한 후 FH 통신을 하는 방법, 한 개의 동기주파수와 여러 개의 의사 동기주파수를 송신하여 동기주파수를 인식하기 어렵게 하는 방법, 여러 개의 동기주파수를 반복하여 전송하며 시간을 동기주파수 발생변수로 사용하는 방법 순으로 발전하였다. 현재 알려진 방법은 여러 개의 동기주파수를 반복하여 전송하면서 의사 동기주파수들을 혼합하여 송신하여 동기주파수를 인식하기 어렵게 하는 MFHS 방식이다[2].

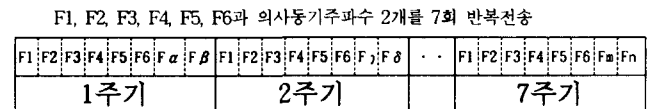


Fig. 1 Current synchronization frequency transmission  
 그림 1. 기존의 동기주파수 전송

그림 1은 MFHS 초기동기 방법이며 송신기에서 시간을 변수로 생성된 동기주파수 6개에 초기동기용 정보를 실어 7회 반복해서 전송하면서 더불어 14개의 의사 동기주파수를 추가하여 총 56홉을 송신한다. 동기주파수 발생은 그림 2와 같이 시간의 변화에 따라 의사 불규칙성을 갖는 동기주파수를 생성시킨다. 동기주파수에 실려있는 동기정보 구성은 동기홉 순서, 10msec~1분의 시간정보, 동기품질, 동기형식 등에 대한 내용을 포함하며 오류정정을 위해 각 정보들은 여러번 반복된다. 그림 2에서 기존 방식에서는 시간이 30일~1분의 시간을 변수로 활용하여 F1~F6의 6개 동기주파수를 만들지만, 다음 항에서 설명되는 적응도약 방식은 30일~30초의 시간을 변수로 활용하여 F1~F9의 9개 동기주파수를 생성시킨다. 수신기의 초기동기 절차는 그림 3과 같이 송신기의 동기주파수와 같은 6개의 수신대기용 동기주파수로 송신기의 도약홉 길이의 9배에 해당하는 시간에 걸쳐 동기가 될 때까지 순환적으로 대기한다.

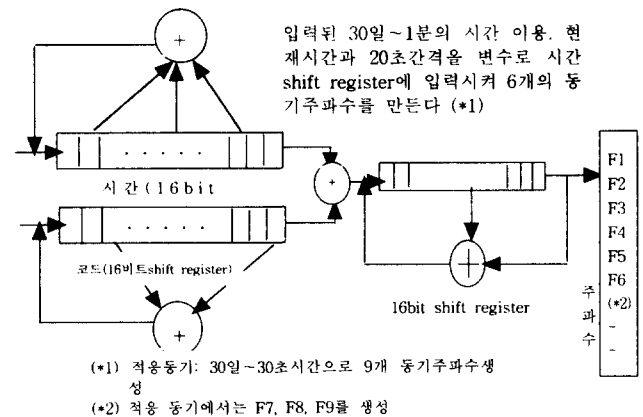


Fig. 2 Synchronization frequency generation  
 그림 2. 동기주파수 생성 원리

수신기의 도약홉 시간은 송신 도약동기 1주기보다 약간 길어서 간섭이 없는 조건에서 적어도 한 개의 동기주파수는 송신기와 일치되는 구조이다. 동기주파수가 일치되면 비트 동기 및 상관기로 정확한 초기동기를 이루고 동기추적과정을 거쳐 정보수신이 시작되는 정보 데이터 홉에 맞추어 통신이 이루어진다.

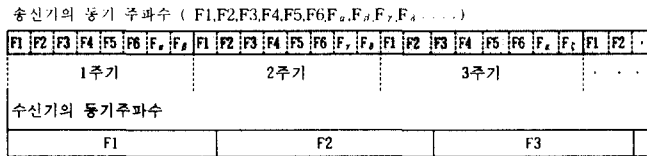


Fig. 3 Waiting structure for synchronization frequencies on receiver  
그림 3 수신기의 동기주파수 대기 구조

현재의 초기동기 구조는 송신기에서 8개의 동기주파수를 7회 전송하며, 한 개의 동기주파수 전송시간이 약 9.5msec이라고 가정하면 초기동기 소요 시간은 약 532msec이다. FH 통신에서는 초기동기 시간 소요는 당연하지만 도약 데이터 전송, 도약 중계, ARQ(Auto Repeat reQuest) 방식의 데이터 전송 등을 어렵게 하는 요인이 된다.[4],[5].

**2.2 적응동기 방법 제안**

적응동기 방법은 8초 간격으로 9단계의 시간을 변수로 사용하여 9개의 동기주파수를 만들며 송신기와 수신기간 시간차가 약 ±30초 이내일 때 송신기와 수신기가 자체적으로 시간을 도약홉 단위의 시간으로 일치시키면서 초기동기가 가능하도록 하였다.

기존방법은 그림 2에서 시간변수로 생성된 6개의 동기주파수를 7회 반복하면서 추가로 의사동기주파수를 그림 1과 같이 분산시켜 전송하지만, 적응도약방식은 의사 동기주파수는 사용하지 않고 최대 9개의 동기주파수를 생성하여 통신환경에 따라 그림 4와 같이 72개 주파수에서 최소 16개의 주파수를 전송하는 가변적인 동기방식이다. 즉, 통화 빈도가 증가하면 동기주파수 수량과 반복 횟수를 단계적으로 감소시켜 초기동기 소요 시간을 줄이고, 통화 빈도가 낮아지면 동기주파수의 수량과 반복횟수를 점진적으로 증가시킨다. 그리고 처음 통신망에 가입하거나 무선채널의 간섭으로 인한 동기품질의 저하가 있어도 초기동기를 가능하게 하면서 동기주파수의 탐지가 어렵게 하였다. 동기품질에 동기주파수 수량 및 반복 횟수가 가변된다.

적응동기 방법의 동기주파수 발생은 기존의 방법과 비슷하나, 그림 2에서 시간이 32초~30일, 생성된 동기주파수가 9개이며 기존 시스템의 시간과 비교하여 -32, -24, -16, -8, 0(현 시각), +8, +16, +24, +32초의 시간을 변수로 사용하여 동기주파수 F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9를 각각 생성한다. 그리고 8초가 경과되면 새로운 시간

에 해당하는 주파수를 만들고 가장 오래된 시간에 해당하는 도약주파수는 제거시킨다. 수신기에서 현재 시간을 기준으로 ±32초 내에서 동기주파수를 생성하기 때문에 송신기와 수신기간 시간오차는 약 30초 이내 이어야 정상적인 초기동기 과정이 이루어진다. 수신대기 구조는 그림 3과 같이 수신 도약홉 길이는 송신 동기주파수 1주기보다 1도약홉이 길다. 초기동기용 도약홉의 동기정보에 동기형식 요소가 추가되며, 시간정보는 10msec~32sec가 된다. 수신기에서 초기동기 절차는 비트동기, 정보동기, 시간동기를 이루고 동기품질과 동기주파수 형식을 알아낸다. 송신기의 동기주파수 전송형식은 시스템에 내장된 시계와 시간차 -32, -24, -16, -8, 0(현 시각), +8, +16, +24, +32초의 시간으로 생성된 동기주파수 F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9를 이용하여 그림 4의 5가지로 구성된다. 동기품질이 낮을 때는 동기주파수 수량과 반복횟수가 많은 동기주파수 전송형식을 선택하고, 동기품질이 높아지면 한 단계씩 형식을 증가시켜 동기주파수 수량과 반복횟수를 줄여서 높은 숫자의 동기주파수 전송형식을 선택하고 간섭 등의 요인으로 인해 동기품질의 저하가 감지되면 한 단계씩 형식을 낮춘다. 증감의 판단은 수신되는 동기정보로부터 동기 품질을 결정하며 비중에 따라 서서히 동기주파수 전송형식을 변경한다. 그림 4에서 1형의 동기주파수 전송형식은 동기주파수 F1~F9로 구성되며 동기주파수 수량을 줄이기 위하여 F5는 제외하고 8개의 주파수를 9회 반복 전송한다. 2형~5형은 그림 4와 같이 구성되며, 5형은 동기주파수 F3~F6을 5회 반복 전송한다.

송신기에서는 최초에 1형을 선택한다. 자신보다 높거나 같은 형식의 동기주파수 전송형식이 일정 횟수만큼 수신되면 동기품질이 개선된 것으로 판단하여 한 단계씩 개선하며 최고 수준은 5형, 최저 수준은 1형이다. 1형에서 2형으로 변경은 자신과 같거나 높은 동기 형식을 연속 4회 수신, 2형에서 3형은 8회, 3형에서 4형은 16회, 4형에서 5형은 24회 수신하면 한 단계씩 상향조정한다. 형식의 감소 방법은 자신보다 낮은 동기주파수 전송형식을 8회 수신했을 때 한 단계 낮춘다. 또한, 4시간 이상 통신이 없으면 동기 저하가 된 것으로 판단하여 전송형식을 한 단계 낮추고 이후 16시간마다 한 단계씩 낮추어 동기 저하에 따라 전송형식을 변경한다.

수신기의 동기주파수 수신대기 형식은 그림 5와 같이 4가지 형식을 가지며, 1형이 동기주파수 F2~F8의 7개 주파수를 이용하여 순환적으로 수신대기를 한다. 2형은 동기주파수 F2~F7의 6개, 3형은 동기주파수 F3~F7의 5개, 4형은 동기주파수 F3~F6의 4개의 주파수로 순환 대기하는 형식이다. 송신기와 달리 수신기에서는 F1과 F9가 없다. 사용되는 동기주파수가 많을 경우 초기동기 시간이 길어지고, 4형식보다 짧은 형식을 가지면 초기동기가 되지 않는 경우가 발생한다. 수신대기에서 한 동기주

파수의 길이는 송신 형식의 동기주파수 9개의 길이에 해당한다.

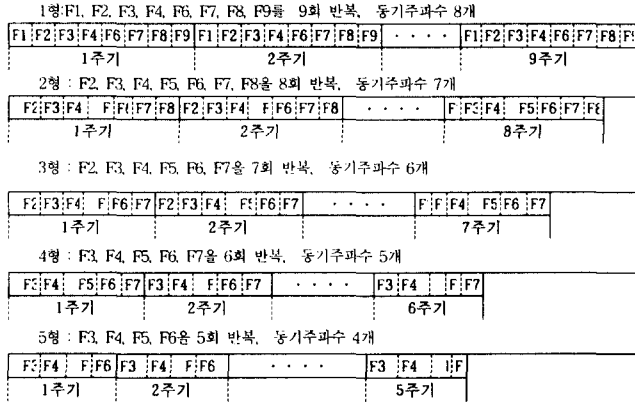


Fig. 4 Transmission type of synchronization frequencies  
그림 4. 동기주파수 전송형식

송수신기는 송신 형식과 수신 형식이 같은 동기주파수 형식으로 적응 초기동기 절차를 수행하며, 송신기가 5형인 경우에는 수신은 4형을 사용한다. 수신기는 초기동기를 수신하는 횟수로 동기상태(동기확률 저하, 동기확률 향상)를 결정한다. 처음 통신을 시작할 때는 송신과 수신 형식을 모두 1형식을 취한다. 수신된 전송형식이 자신과 같거나 높으면, 수신 횟수인 카운터 1을 점검하여 전송형식을 결정한다. 그리고 4시간동안 수신이 없으면 타이머를 점검하여 전송형식을 한 단계 낮추고, 그 다음은 16시간마다 한 단계씩 낮춘다. 전송형식이 5형식일 때는 송신은 5형식을 취하고 수신은 4형식을 취한다. 송신기와 수신기가 32초 이하 시차를 일치시키는 방법은 송신기와 시간이 틀린 경우, 송신기의 동기주파수 전송 형식이 자신과 같거나 높으면 수신시마다 8초씩 접근시키며, 시간차가 8초보다 작으면 송신기의 시간에 일치시킨다. 수신된 신호의 동기주파수 전송 형식이 자신보다 낮으면 송신기의 시간을 사용한 후 자신의 시간은 그대로 유지한다.

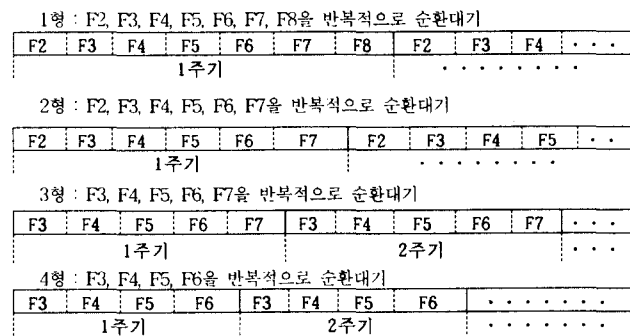


Fig. 5 Waiting type of synchronization frequencies  
그림 5. 수신기의 동기주파수 대기 형식

적응 초기동기 절차에서 초기동기 성능은 송신기와 수신기의 동기주파수의 일치 확률과 동기확률, 오동기 확률로 판단된다. 오류는 Binomial 분포이므로 전체 동기주파수  $L$ 에서  $i$  개 주파수가 오류일 확률 [6]  $P_e$ 는 식(1)과 같다

$$P_e = {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (1)$$

이 때 동기가 되지 않을 확률  $P_{miss}$ 는 식(2)와 같다.

$$P_{miss} = {}_L C_k \left(\frac{1}{2}\right)^L \quad (2)$$

임계치  $th$ 이상의 동기주파수가 오류 확률  $P_{fd}$ 는 식(3)으로 주어진다.

$$P_{fd} = \sum_{i=th}^L {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (3)$$

이 때 올바른 동기가 될 확률  $P_c$ 는 식(4)가 된다.

$$P_c(th) = 1 - \sum_{i=th}^L {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (4)$$

오동기가 발생할 확률  $P_{fa}$ 는 식(5)가 된다.

$$P_{fa} = \sum_{k=th}^L {}_L C_k \left(\frac{1}{2}\right)^L \quad (5)$$

### III 실험 및 결과 분석

적응동기 방법(ASM)은 동기주파수 35% 간섭, 비트 오류확률 10%, 도약흡 시간 9.5msec 조건에서 초기동기 소요시간, 송신기와 수신기의 동기주파수 일치, 초기동기 확률, 동기주파수 탐지확률을 분석하였다. 형식별 초기동기 소요시간은 송신기에서 각 형식의 동기주파수들이 전송되는데 소요되는 시간이므로 송신기에서 초기동기 주파수의 전송 시간을 측정하면 된다. 본 시험에서는 동기주파수 한 개가 전송되는 시간에 동기주파수 수량을 곱하여 계산하였다. 송신기와 수신기간 동기주파수 일치하는 송신기에서 각각의 동기주파수 전송형식에 따라 동기주파수가 생성되어 전송채널을 통하여 수신기에 전달될 때, 수신기도 각각의 동기주파수 수신대기형식 중에서 한 형식을 택하여 자신과 동일한 동기주파수가 수신되는지 시험하여 송신기와 수신기의 형식별 일치수량을 구하는 원리이다. 일치 수량은 컴퓨터 시뮬레이션으로 얻었다.

초기동기 확률과 동기주파수 탐지확률은 식(4)와 식(5)를 사용하여 구한다.

#### 3.1 송신기 동기주파수 전송 형식별 초기동기 소요시간

전송 형식별 초기동기 소요시간은 전송되는 총 동기주파수의 전송시간이므로 동기주파수 수량×한 흡의 시간이다.

표 1에서 1형식은 기준보다 길지만 통신이 많아지는 5형은 최고 190msec로 단축된다. 시간당 5회 동기주파수를 수신, 10회 불규칙하게 동기저하 요인이 발생하고 야간 6시간동

안 통신이 없는 경우를 가정하면, 총 80회 수신하는 경우이므로 하루동안 동기주파수 수신 횟수가 62회보다 많으므로 5형식이 된다. 그리고, 야간에 1단계 감소하게 된다. 따라서, 정상적으로 송수신할 경우 전송형식은 4단계~5단계를 유지한다. 그러므로 평균 초기동기 소요시간은 238msec이며 MFHS 방식보다 295msec이 단축된다.

Table 1 Time duration for synchronization  
표 1 형식별 초기동기 소요시간

송신기 형식	전송 HOP수	초기동기 시간
1형	72 HOP	684msec
2형	56 HOP	532msec
3형	42 HOP	399msec
4형	30 HOP	285msec
5형	20 HOP	190msec
MFHS 방식	56 HOP	532msec

### 3.2 송신기와 수신기의 동기주파수 일치

송신기와 수신기의 동기주파수 전송형식별 일치되는 수량은 송신기에서 그림 5에 표시된 각 형식의 동기주파수를 전송할 때, 수신대기 동기주파수 형식으로 그림 3과 같이 수신대기를 하면서 일치되는 동기주파수를 시뮬레이션으로 구하였다. 표 2와 같이 대부분 3개 이상 일치하였으며 송신 4형식과 수신 4형식의 경우만 2회 일치되었다. 동기주파수가 35%를 간섭받더라도 초기동기가 가능하였다.

Table 2 matched numbers between Tx&Rx synchronization frequencies

표 2 송신과 수신 동기주파수의 일치된 수량

수신 \ 송신	1형	2형	3형	4형
1형	7	5	5	3
2형	7	6	5	4
3형	6	5	4	3
4형	4	4	4	2
5형	3	3	3	3

### 3.3 초기동기 확률

송신기와 수신기의 동기주파수가 일치되었을 때, 한 도약홉이 정확하게 동기가 될 확률과 오동기가 발생될 확률은 표 3과 같다. 적응동기 방법은 간섭이 없는 경우 100% 정확한 동기확률을 가지며, 동기주파수가 35% 간섭받더라도 오동기 확률이  $10^{-21}$ 이하로서, 정확한 초기동기가 되었다.

### 3.4 동기주파수의 탐지확률

송신 동기주파수 1형식은 기존의 방식과 비교하여, 동기주파수의 수량이 6개에서 9개 증가하였으므로 간섭확률이 33% 감소되었으며, 송신 5형식은 동기주파수의 수량은 6개에서 4개로 감소하여 동기주파수 측면의 간섭확률은 50% 증가하였으나, 반복횟수를 줄여 총 56홉에서 20홉으로 감소되어 초기동기 시간 측면에서 64% 감소되었으므로 전체적으로 동기주파수가 누출될 확률을 46%까지 감소시켰다. 따라서, 초기동기 소요시간이 최대 190ms 단축되었으며, 35% 간섭을 받는 초기동기 조건에서 초기동기가 가능하였다. 전송형식에 따라 동기주파수의 수량과 반복횟수를 변경되므로 실험 결과와 같이 동기주파수가 간섭 및 탐지될 확률도 크게 줄어들었다.

Table 3 Synchronization probabilities on each Tx type  
표 3 송신 형식에 대한 동기확률

송신 형식	간섭이 없을 때			35% 간섭이 있을 때		
	홉 수량	동기 확률	오동기 확률	홉 수량	동기 확률	오동기 확률
1	52	1	0	39	1	0
2	59	1	0	47	1	0
3	39	1	0	26	1	0
4	16	1	0	13	1	0
5	9	1	$6 \times 10^{-32}$	6	1	$1.5 \times 10^{-21}$

## IV 결론

FH 통신에서는 송신기와 수신기간의 도약시퀀스를 동기 시키는 초기동기 과정에 소요되는 동기시간이 길고 데이터 전송이 어려운 문제점들이 있었다. 본 논문에서 동기 소요시간 최소화를 위하여 동기주파수 수량과 전송 횟수를 통신환경에 따라 능동적으로 변화시키는 적응동기(ASM) 방법으로 기존의 동기 방법보다 동기주파수 발생 시간 간격을 좁히고 동기주파수 수량을 증가시킨 구조를 가지며, 채널 상태에 따라 동기주파수의 수량과 반복 전송 횟수를 능동적으로 변환시켜 동기주파수의 탐지 가능성을 줄이고 동기 소요시간이 단축되도록 하였다. 기존 방식의 약 0.5초에 비해 초기 동기 소요시간이 0.2초 수준으로 단축되고, 동기주파수가 누출될 확률을 46%까지 감소시키면서 초기동기 확률을 높일 수 있었다.

본 논문의 연구결과는 주파수도약 기술을 사용하는 FH/CDMA 기법을 비롯하여 위성통신 및 차세대 통신시스템의 대전자전 능력 향상에 적용이 가능하다.

참고 문헌

- [1] Don J. Torrieri, Principles of secure communication systems, Artech House INC., 1985.
- [2] 한성우 외 2, "주파수도약 무전기의 주파수 동기 방법" 특허 제 121303호 '97. 8. 26.
- [3] 한성우, 주파수도약 통신을 위한 적응초기동기와 블록반복부호화, 충북대 박사학위논문, 2000.2.
- [4] W. H. Sheen, C. Tseng, "Code acquisition with diversity combining for FFH/MFSK spread spectrum systems," *IEE Proc. on comm.* Vol. 145, Dec. '98.
- [5] Lloyd J. Mason, "Estimation of fine-time synchronization error in FH FDMA satcom systems using the early-late filter technique," *IEEE Trans. on comm.* Vol. 42, No2/3/4, '94.
- [6] Rodger E. Ziemor, Roger L. Peterson, Digital communications & spread spectrum systems, Macmillan, New York, '85.



박대철(Dae-Chul Park)

正會員

1977년 서강대 전자공학과  
1985년 미국 Univ. of New Mexico  
전기공학과(공학석사)  
1989년 미국 Univ. of New Mexico  
전기공학과(공학박사)

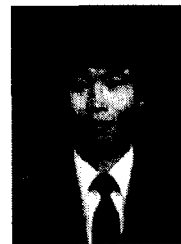
1991년 8월 - 1992년 7월: 미국 Columbia 대학 CTR  
직원 교수

1977년 3월 - 1982년 12월: 국방과학연구소 연구원

1989년 5월 - 1993년 8월 : 한국전자통신연구소  
선임연구원

2000년 3월 - 2001년 2월 : 미국 Univ. of Texas at  
Arlington 직원교수

1993년 9월 - 현재 : 한남대학교 정보통신공학과 부교수  
주관심분야 : 디지털 통신신호처리, 영상처리, 위성통신



전병민(Byoung-min Jun)

正會員

1976년 한국항공대학교 전자공학과  
1978년 연세대학교 대학원 전자공학과  
(공학석사)  
1988년 연세대학교 대학원 전자공학과  
(공학박사)

1978년 8월-1982년 3월 공군사관학교 교수부 전자공학과  
전임강사

1982년 4월-1986년 2월 동양공업전문대학 통신과 조교수

1986년 2월-현재 충북대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부  
교수

관심분야 : 신호처리 및 영상처리, 패턴인식



한성우(Sung-Woo Han)

正會員

1978년 경북대학교 물리학과  
1980년 경북대학교 물리학과  
(이학석사)  
2000년 충북대학교 컴퓨터공학과  
(공학박사)

1982년 10월 - 현재 : 국방과학연구소 책임연구원  
관심분야 : 주파수도약 통신, 위성통신,  
디지털 신호처리



김용선(Yong-Sun Kim)

正會員

1977년 성균관대학교 전자공학과  
1981년 충남대학교 전자공학과  
(공학석사)  
1999년 충북대학교 컴퓨터공학과  
(공학박사)

1977년 3월-현재 : 국방과학연구소 책임연구원(팀장)  
관심분야 : 디지털 신호처리, 영상처리, 위성통신