

# 주파수도약 통신시스템을 위한 적응동기 기법

정회원 한성우\*, 전용억\*\*, 전병민\*\*\*

## Adaptive synchronization method for frequency hopping communication system

Sung-Woo Han\*, Yong-Uk Chun\*\*, Byung-Min Chun\*\*\* *Regular Members*

### 요약

주파수도약 통신시스템은 전파간섭 및 무선채널상태가 극한조건인 전술통신 환경에서 무선간섭 및 도청을 회피하면서 정보를 전송할 수 있는 무선통신용 송수신기이다. 본 논문에서 주파수도약 통신시스템을 설계하고, 극한통신 상황에서도 정보의 간섭과 탐지를 회피하는 새로운 초기동기 기법인 적응초기동기 알고리즘을 제안하였다. 기존의 초기동기 알고리즘과 달리 초기동기 주파수 전송시간과 횟수를 통신환경에 따라 가변시켜 초기동기에 소요되는 시간을 줄이면서 초기동기 확률도 높이고 초기동기 정보의 탐지 확률을 낮추었으며 초기동기로 인한 시간지연을 최소화하였다. 적응동기 알고리즘은 초기동기시간을 최소화하고 무선간섭상황에서도 주파수도약 동기를 유지하며 또한 오동기도 발생하지 않음을 시뮬레이션을 통해 입증하였다.

### ABSTRACT

The frequency hopping(FH) communication system could transmit the information through the air under the heavy jamming or monitoring conditions. In this paper, we designed the FH communication system, and proposed the adaptive initial synchronization algorithm on the FH communication system, which can avoid the jamming or monitoring for the transmitting information under the lowest communication condition. This algorithm, different from conventional methods, can change the sending duration and number of the frequency for initial synchronization according to the communication conditions.

Therefore, we could reduce the duration of synchronization and get the high synchronization probability and the low detection possibility of information. Consequently we could minimize the delay time on the initial synchronization.

Through the simulation, this adaptive synchronization algorithm has proved that get the FH synchronization and doesn't have the false alarm under the heavy jamming condition.

### I. 서론

대역확산 통신시스템은 전송 신호의 주파수 대역폭이 메시지 신호의 주파수 대역폭보다 훨씬 넓은 무선통신의 간섭, 탐지, 도청으로부터 정보를 보호하기 위한 통신시스템이다. 대역확산 기술은 직접확산(direct sequence : DS), 주파수 도약(frequency

hopping : FH), 칩(chirp), 시간도약(time hopping : TH), FH/DS 복합(FH/DS hybrid) 기술 등이 있다. 이 중에서 주파수 도약(FH) 대역확산방식은 방해신호의 영향을 제거하기 위한 시스템, 다수의 사용자가 공통의 채널을 공유하는 CDMA 통신 시스템에서 주로 사용된다. 주파수도약 대역확산 방식은 직접확산(DS) 방식에 비해 정확한 동기를 요구하지

\* 국방과학연구소(hansu79@sunam.kreonet.re.kr)

\*\* 대덕대학전자계산기과

\*\*\* 충북대학교 컴퓨터공학과

논문번호 : 98276-0630, 접수일자 : 1998년 6월 30일

않으며 고주파 회로 부분이 협대역이며 Near-Far problem도 거의 없다. 주파수도약 대역확산 방식은 직접대역확산 방식처럼 간섭신호를 상관(correlation)에 의해 제거하는 것이 아니라 송수신기의 주파수가 의사잡음 코드발생기에 의해 불규칙하고 아주 빠른 속도로 바뀌면서 송신기와 수신기가 서로 약속된 도약주파수로 통신하여 적어 주파수를 예측할 수 없도록 방해 및 감청을 회피하는 통신방식이다.<sup>[1]</sup>

전술상황에서 지휘통신은 통신정보의 감청, 방해가 없이 극한통신조건에서도 가능한 양질의 정보를 실시간으로 전달할 수 있어야한다. 본 논문에서 제안한 주파수 도약 통신시스템은 30~88MHz의 VHF 대역에서 2진 주파수변조(FM) 방식의 디지털 주파수 도약 송신/수신기로서 송신기와 수신기가 약 0.01초의 시간마다 서로 일치되는 주파수를 불규칙하게 바꾸면서 통신하기 때문에 도청이 안되고 간섭도 거의 받지 않는다.

본 주파수 도약시스템에서는 트래픽 채널과 동기 채널의 구분이 없이 동기용 채널을 별도로 사용하지 않으며 정보전송에 앞서 상당한 길이의 초기동기용 프리앰블을 전송한다. 초기동기용 프리앰블은 주파수동기, 비트동기, 정보동기 및 동기 추적에 필요한 정보를 전송한다. 디지털 통신 시스템에서 초기동기 시간을 최소화하면서 초기동기 주파수 및 초기동기 절차가 외부에 누출되지 않도록 하는 것이 주파수 도약 통신뿐만 아니라, 고속 데이터 전송, 중계, 패킷 데이터 전송 등에서 중요한 요소이다.

주파수도약 통신시스템의 초기동기에 대해서는 공개적으로 알려진 것은 거의 없으며 주파수도약 초기동기절차는 도약동기주파수의 분포가 의사불규칙하고 전대역에 걸쳐 균일하게 분포되어 도약주파수의 도청, 방해가 되지 않아야하며 또한 초기동기에 소요되는 시간이 짧아야한다.

본 연구에서는 주파수 도약 통신 시스템의 초기동기방식에서 도약동기주파수가 의사 불규칙하게 전대역에 걸쳐 분포하며, 높은 초기동기 확률을 유지하고 오동기 확률이 거의 없으며 초기동기 소요시간을 최소화할 수 있는 새로운 주파수도약 초기동기방법을 제시하였다.

## II. 주파수도약 통신시스템의 설계.

주파수도약 통신시스템은 그림 1과 같이 설계하였다. 주파수도약 시스템은 음성 및 데이터를 전송

하기 위하여 CVSD 회로에서 음성을 양자화 하여 디지털 신호(16Kbps)로 변환하며 저속 데이터는 16Kbps 디지털 데이터로 부호화한 후, 비트 및 정보동기화 회로에서 동기용 프리앰블을 만든다.

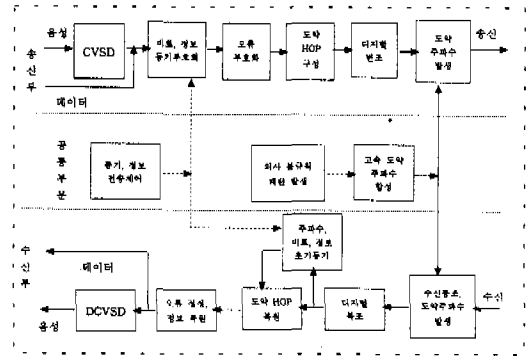


그림 1. 주파수 도약 통신시스템 설계  
Fig. 1 Frequency hopping communication system design

구성된 정보 스트림은 도약 주파수가 한 주파수에서 다른 주파수로 바뀌는 시간의 불연속으로 인한 정보손실을 막기 위해 표준 데이터 전송속도보다 빠른 속도로 변환하여 정보 데이터 흐름을 구성하여 주파수가 안정되었을 때 정보를 전송하고 주파수가 전환되는 시간에는 정보의 전달이 없도록하여 정보 손실이 없도록 설계하였다. 정보 데이터 흐름이 구성되면 정보 데이터는 이진 FSK 신호로 변조되며 의사 불규칙 시퀀스 발생기에서 생성된 의사 불규칙 신호에 맞추어 고속 주파수 합성기에서 매 순간마다 다른 주파수로 불규칙하게 생성되어 무선 채널로 고주파 신호가 전송된다. 수신기는 송신기와 약속된 초기동기 주파수로 신호를 도약주파수를 동조시킨다. 수신된 캐리어 주파수의 정보를 분석하여 신호유무 판단, 비트 동기, 상관기(CORRELATOR), 동기 정보 디코더 등을 거쳐 주파수 및 데이터 비트 정보 데이터의 정확한 초기동기를 이룬다. 초기동기가 확보되면 계속적으로 동기 추적을 하여 동기 상태에서 이탈되지 않도록 주파수 도약 상태를 유지한다. 정보 데이터가 수신되는 시점이 되면 주파수도약에 필요한 변수를 이용하여 불규칙하게 주파수 도약하면서 정보 데이터를 수신하고 데이터의 오류를 정정한다. 이때 수신된 데이터가 본래 음성 정보이면 DCVSD 회로에서 D/A 변환하여 음성으로 바꾸고 디지털 정보이면 도약 블록 디인터리빙 및 오류 정정 및 저속변환하여 본래의 데이터로 바꾸어 운용자에게 전달한다.

주파수도약 통신 시스템 설계에서 주파수도약 동

기, 비트 동기, 정보데이터 동기 및 동기 추적, 도약 채널 오류 정정 및 데이터 속도 변환 기법, 의사불규칙 주파수 패턴 고속생성 기법 및 고속 주파수 합성기 설계가 핵심 설계기술이다. 이들 중, 초기동기 기술 및 초기동기 소요시간 최소화가 디지털 주파수 도약 통신 시스템의 성능을 좌우한다.

송수신 공통 부분 중 동기 및 정보전송 제어부는 송신부가 주파수동기, 비트동기, 정보 동기 및 주기적 비트동기 보정과 정보 재동기를 위한 부호화를 수행토록 하며, 수신부는 이들 동기 신호를 검출할 수 있도록 주파수 제어, 비트동기, 데이터 상관 등을 수행하도록 제어한다. 주파수 도약동기는 주파수동기, 비트동기, 정보동기로 구분되며, 알고리즘은 일단 초기동기가 이루어지는 절차와 초기동기 상태를 계속 유지하는 동기추적과정으로 나누어진다. 또한 동기시점으로 볼 때, 초기동기와 정보 전송 중 동기 손실을 보정하는 재동기가 있다.

주파수 도약 동기는 수신기가 정보수신을 위해 송신기의 전송 패턴에 도약주파수와 디지털 시퀀스의 프레임을 일치시키는 절차로서 도약 동기 주파수를 적어 인식할 수 없도록 도약주파수가 주파수대역 및 시간 축 상에서 무작위 분포를 이루어야 하며, 통신 시점이 바뀌거나 도약 변수가 변하면 새로운 도약 동기주파수를 생성하여야 한다. 또한, 초기동기 소요 시간이 매우 짧아서 시간지연이 적고 동기주파수의 인식이 어려워야 하고, 적외전파를 방해하는 불량한 채널 상태에서도 초기동기가 이루어져야 한다. 또한 1대의 송신기와 다수의 수신기간 초기동기가 될 수 있어야하며 도약 동기주파수는 의사불규칙성을 가져 약속된 통신시스템을 제외하고는 인식할 수 없어야 한다.

### III. 주파수도약 시스템의 초기동기

#### 1. 현재의 초기동기 구조

주파수도약 무전기의 초기동기 방법은 기술의 발전에 따라, 고정주파수로 초기동기를 확보한 후 의사 불규칙 시퀀스로 주파수도약통신을 하는 방법, 한 개의 동기주파수와 여러 개의 의사 주파수를 송신하여 적외 동기용 주파수를 인식하기 어렵게 하는 방법, 여러 개의 동기주파수를 반복하여 전송하며 시간을 동기주파수 발생변수로 사용하는 방법으로 발전하였으며, 현재 알려진 주파수도약 초기동기 방법은 여러 개의 도약동기주파수를 반복하여 전송하면서 거짓 동기주파수들을 혼합하여 송신하여 동

기주파수를 인식하기 어렵게 하는 도약동기 방법 등으로 발전하였다.<sup>[2]</sup> 이 방법은 정보를 전송할 때마다 다른 시퀀스의 도약동기 주파수가 전송되도록 사용자 변수와 시스템에 내장된 시각을 의사 불규칙 도약동기 주파수 발생 변수로 사용하여 정보를 전송할 때마다 도약 동기주파수가 바뀌며 동기주파수의 갯수를 많이 사용하면서 이들 시퀀스를 여러 번 반복하여 전송하는 알고리즘이다.

수신기에서는 송신기의 도약 주파수 신호를 수신하고, 수신된 신호를 분석하여 무작위 도약 패턴을 분석하며 별도의 동기제어 시스템을 할당하지 않고 주파수도약 통신시스템이 다수의 시스템간 자체적으로 상대적인 주파수동기 방법을 사용하며, 송수신기 모두 도약동기주파수가 의사 불규칙하게 도약을 하면서 주파수동기를 이룬다. 동기용 도약주파수 패턴은 송신기에서 여러 가지 변수로 의사 불규칙한 도약동기 주파수를 생성시켜 여러개의 동기주파수를 수 차례 반복 전송하는 구조이며 수신기에서는 송신기와 1분 이내로 시간이 일치되어 있으면 주파수동기가 될 수 있게 시간을 보정하며 송신기에 맞추어 동기추적 주파수를 발생시키고 동기용 도약주파수가 수신되면 HOP내에 포함된 동기정보를 분석하여 데이터의 시작점을 찾는다.

도약동기 주파수 생성의 변수인 시간의 정확도는 주파수 도약 HOP 이내로 일치되어야 하지만 사용자가 시스템에 설정하는 시각의 오차와 적에게 도약통신 시스템의 시간정보의 노출 최소화를 감안하여 사용자가 시스템에 입력시키는 시간은  $\pm 1$ 분 이내로 송신기와 수신기의 시간이 근접되어 있고 통신망 식별 번호가 같으면 송신기와 수신기는 자동적으로 서로 약속된 프로토콜로 하나의 도약 HOP 이내(약 0.01초)의 정확도를 갖도록 시간을 일치시킨다.

도약주파수 HOP을 단위로 정보 데이터를 구성하여 매 HOP마다 주파수가 무작위로 바뀌면서 데이터가 송수신 된다. 수신기는 송신기에서 전송되는 도약주파수의 신호에 동기를 일치시켜 수신된 동기 정보로부터 불규칙하게 도약하는 정보데이터 패턴의 시작점을 찾아 송신기에 맞추어 주파수 도약통신을 한다. 따라서 송신기와 수신기는 상호 짧은 시간간격으로 주파수를 변환하면서 서로 약속된 주파수로 통신하므로 빠른 속도로 서로 주파수를 일치시키고, 주파수가 일치되면 정보 데이터의 동기를 맞추어야 한다.

현재의 방법은 시간을 변수로 생성된 초기동기주

파수 6개에 초기동기용 정보를 실어 7회 반복해서 전송하면서 14HOP의 불규칙한 위상동기주파수를 포함하여 총 56HOP을 송신하며 초기동기주파수 발생은 그림 3의 원리와 같이 의사불규칙 패턴발생 변수로 시간을 이용하여 동기주파수를 만들며, 시간의 변화에 따라 의사불규칙하게 초기동기 도약주파수가 생성시킨다. 수신기는 송신기의 초기 동기 패턴과 비슷한 구조를 가지며 초기동기 정보수신시 송신기의 주파수도약 패턴에 맞춰 초기동기 시키는 데 필요한 데이터를 얻으며, 수신기는 자체의 시간을 변수로 사용하여 발생된 6개의 수신대기 초기동기주파수로 송신기의 9Hop 전송에 해당하는 시간에 걸쳐 동기가 될 때까지 순환적으로 대기한다. 도약 동기 주파수를 수신하면 비트 동기 및 상관기를 통해 초기동기를 이루고 동기추적과정을 거쳐 정보수신이 시작되는 정보 데이터 HOP에 맞추어 도약통신이 이루어진다. 그러나 현재의 초기동기 구조는 초기동기에 소요되는 시간이 길어지고 동일한 동기 주파수가 여러번 전송되어 도약동기주파수의 탐지 가능성이 증가하는 문제점이 있다.

2. 적응도약 초기동기 알고리즘 설계

현재의 주파수도약 초기동기방법은 열거된 문제점과 더불어, 초기동기에 소요되는 시간지연으로 인한 패킷 데이터 전송, 도약 중계통신 등에 어려움이 있다. 디지털 통신에서 정보동기용 프리앰블을 갖는 주파수도약통신 시스템은 동기확률을 유지하면서 초기동기 시간을 최소화하는 것이 중요하다.

본 연구에서 제안한 적응 도약동기방법은 8초 간격으로 9단계의 시간을 초기동기용 도약주파수 발생 변수로 사용하여 9개의 초기동기용 도약주파수를 만들며 송신기와 수신기간 시간차는 약 ±30초 이내에서 초기동기가 가능하도록 하였으며 통화 빈도가 증가하면 초기동기용 도약주파수 수량과 반복 횟수를 단계적으로 감소시켜 초기동기 소요 시간을 줄이고, 통화 빈도가 낮아지거나 간섭으로 인해 초기동기 확률이 저하되면 초기동기용 도약주파수의 수량과 반복횟수를 점진적으로 증가시킨다. 또한, 시간 설정 후 처음 통신망에 가입하거나 무선채널의 간섭으로 인한 동기품질의 저하가 있어도 초기동기가 유지되고 적으로부터 초기동기용 도약주파수의 탐지가 어렵게 하였다. 따라서 적응도약 초기동기 알고리즘은 동기 소요시간 및 초기동기용 도약주파수 탐지 확률 최소화, 동기품질에 따라 사용되는 초기동기 도약주파수 수량 및 반복 횟수를 가변

시키는 기능을 갖는다. 시간 인지를 이용하여 의사 불규칙성 초기동기용 도약주파수들이 생성되며, 송신기와 수신기간 정확한 시간일치, 동기품질 결정, 정보데이터의 시작 시점에 관한 정보를 갖는다.

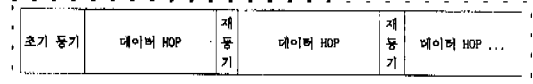


그림 2. 송신주파수도약 HOP 구성  
Fig. 2. Transmission frequency hopping HOP structure

송신기의 전송 스트림은 그림 2와 같이 초기동기 과정, 정보 데이터 전송 과정, 재동기 과정 순으로 정해지며 초기동기용 도약주파수 발생은 30초~30일의 시간, 코드를 변수로 사용하여 그림 3의 원리에 따라 도약주파수를 발생시키며, 초기동기용 도약주파수는 현 시간을 기준으로 약 ±30초 이내의 시간을 8초 간격으로 나누어 최대 9개의 주파수를 만들어 초기동기용 도약주파수로 사용하고 8초가 경과하면 새로운 시간 변수에 해당하는 주파수를 만들고 가장 오래된 시간 값에 해당하는 도약주파수는 제거시킨다. 송신기와 수신기의 시간 오차는 그림 4의 1형에서 최대 ±30초까지 차이가 있어도 초기동기가 될 수 있도록 설계하였다.

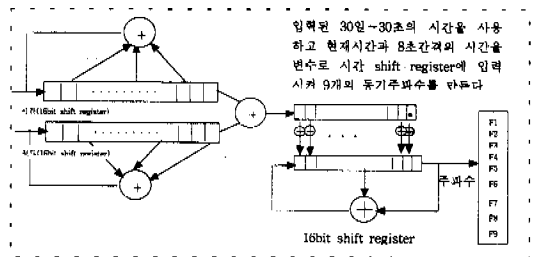


그림 3. 동기주파수 발생 알고리즘  
Fig. 3. Synchronization frequency generation algorithm.

초기동기 주파수는 시간을 변수로 사용하여 송신기 시스템의 시간과 비교하여 -32, -24, -16, -8, 0 (현 시각), +8, +16, +24, +32초의 시각을 변수로 초기동기주파수 F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9를 만든다. 이때 초기동기주파수 Fn은 시간 t와 코드 C의 변수가 되며 ΔT는 1주파수 HOP 시간이며 8의 배수, n은 정수이다.

$$t = n \Delta T \tag{1}$$

$$F_n = f(t, C) \tag{2}$$

초기동기 주파수의 전송형식은 그림 4와 같이 1형~5형으로 구분하여 전송채널 조건에 따라 해당 형식이 선택된다.

- 1형 : F1, F2, F3, F4, F6, F7, F8, F9을 9회 반복
- 2형 : F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8을 8회 반복
- 3형 : F2, F3, F4, F5, F6, F7을 7회 반복
- 4형 : F3, F4, F5, F6, F7을 6회 반복
- 5형 : F3, F4, F5, F6을 5회 반복

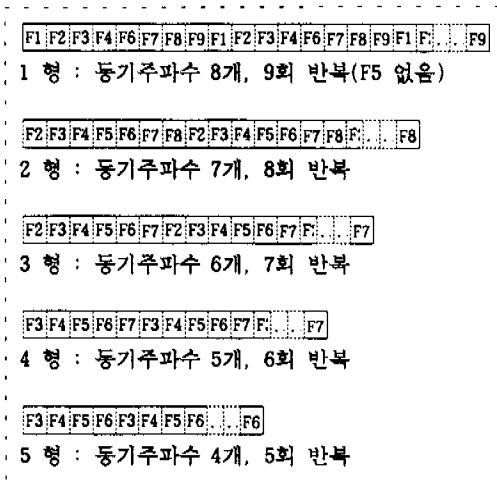


그림 4. 초기동기 도약주파수 전송형식  
Fig. 4 Initial sync. hopping frequency transmission type

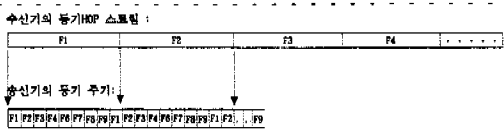


그림 5. 도약동기주파수 HOP 수신대기 구조  
Fig. 5 The receiving structure for hopping Sync. HOP on acquisition mode.

동기주파수 수신 구조는 간섭신호가 없는 상태에서 서 최초로 수신기와 송신기가 시간이 약30초 이내로 근접해 있으면 초기동기가 되도록 송신기의 초기동기주파수와 같은 순서로 순차적으로 전환하면서 초기동기용 도약주파수가 수신되는지 탐색한다. 수신기의 동기 HOP 스트립 길이는 1형은 송신 신호의 초기동기용 도약주파수 1주기에 해당하는 시간에 하나의 초기동기용 수신대기 도약주파수로 탐색하며 신호가 수신되지 않으면 순차적으로 다음 도약주파수로 전환한다. 2형, 3형, 4형은 그림 5와 같이 수신대기 도약 HOP길이는 송신 도약동기주파수 1주기보다 1 HOP 많은 시간 길이를 갖는다.

동기 HOP의 동기용 정보 구성은 그림 6과 같이 비트 동기 데이터, 상관기(CORRELATER), 동기분석 데이터 순으로 구성되며, 동기분석 데이터는 동기 HOP 순서 및 정보 데이터의 시작 시점, 10mSec~30초의 시간정보, 동기 형태(Type)에 대한 내용을 전송하며 오류정정을 위해 정보를 매 HOP 내에서 반복 전송한다.

수신된 초기동기용 도약주파수 HOP의 동기정보는 그림 6과 같이 구성되므로 수신기에서는 비트동기 데이터를 분석하여 비트동기를 맞추며 비트동기에 실패하면 최초의 초기동기용 도약주파수 수신상태로 전환한다. 비트동기가 이루어지면 상관기로 동기정보 데이터에 대한 시작점을 찾는데, 이경우도 동기가 실패하면 최초상태로 전환되며 상관이 이루어지면 동기정보 데이터의 오류정정과 동기정보 분석을 통해 송신기의 정확한 시간, 도약 시퀀스 및 도약 HOP 위치, 상대방의 동기품질 및 동기 형태를 인식하여 정확한 초기동기용 도약주파수 형을 결정하여 전체적인 초기동기를 완료하고 송신 데이터 HOP에 맞춰 정보 데이터 HOP을 수신한다.

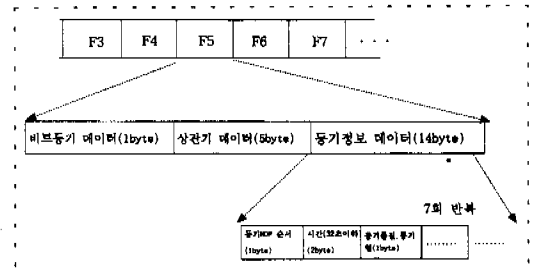


그림 6. 도약동기 HOP의 동기정보 구성  
Fig. 6 The information structure of the synchronization HOP

적용 동기 알고리즘에서 초기동기는 그림 3과 같이 자신의 동기 품질에 따라 약 8초 간격의 시간을 변수로 사용하여 5가지 초기동기 전송 형태를 생성하고 동기품질이 낮을 때는 초기동기용 도약주파수 수량과 반복횟수를 많이 전송하고 통화 횟수의 증가로 동기품질이 높아지면 한 단계씩 형식을 증가시켜 초기동기용 도약주파수 수량과 반복횟수를 줄여 초기동기 소요시간을 줄이며, 새로운 통신 가입자가 있거나 동기 품질이 저하되는 상황이 감지되면 한 단계씩 형식을 낮추어 초기동기용 도약주파수 및 반복 횟수를 증가시킨다. 증감의 판단은 수신되는 동기정보로부터 동기품질을 결정하며 비중에 따라 서서히 동기형태를 변경한다.

송신기에서 초기동기용 도약주파수 전송형식 결정은 통신 시스템에 시간 변수를 지정한 후 처음 도약 통신을 할 때 그림 4의 1형을 선택하여 초기 동기용 도약주파수를 송신한다. 형식을 증가시키는 방법은 자신보다 높거나 같은 형식의 초기동기 전송 형태가 일정 횟수만큼 수신되면 동기품질이 개선된 것으로 가정하여 한 단계씩 개선하며 최고 수준은 5형, 최저 수준은 1형이다. 그림 7의 도약동기 형식 결정방법과 같이 1형에서 2형은 초기동기용 도약주파수를 4회 수신, 2형에서 3형은 8회 수신, 3형에서 4형은 16회 수신, 4형에서 5형은 24회 자신과 같거나 높은 초기동기 형식의 송신도약주파수 패턴이 수신되면 한 단계씩 상향조정한다. 자신보다 낮은 형의 신호를 연속하여 8회 수신하면 한 단계씩 낮추며 최저 단계는 1형이다. 또한 4시간 이상 통신이 없으면 동기품질을 한 단계 낮추고 이후 16시간마다 한 단계씩 낮추어 서로 동기 품질을 조정하며 동기 품질에 따라 형을 변경한다.

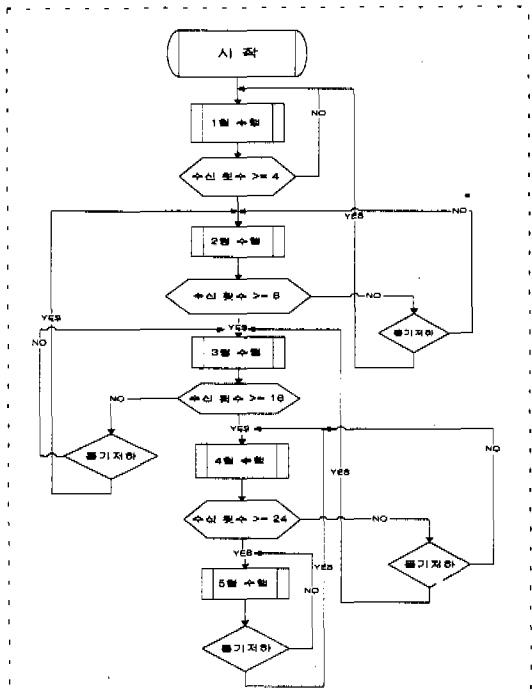


그림 7. 도약동기 형식 결정  
Fig. 7 The method of synchronized Hopping type decision

수신기에서 초기동기용 도약주파수를 수신대기하는 방법은 송신과 비슷하며 그림 8과 같이 초기동기 수신대기 형식 1~4형을 가진다.

- 1형 : F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8
- 2형 : F2, F3, F4, F5, F6, F7
- 3형 : F3, F4, F5, F6, F7
- 4형 : F3, F4, F5, F6

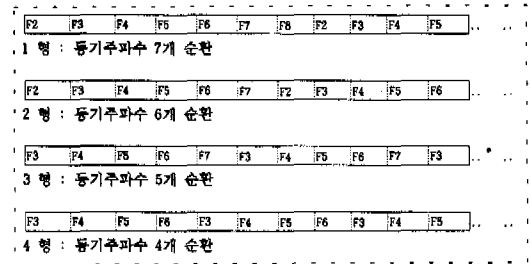


그림 8. 초기동기주파수 수신대기형식  
Fig. 8 waiting type for the received initial sync. frequency

수신기의 초기동기주파수 수신대기 형식은 현재 사용중인 송신 형식과 같은 수준이며, 송신형식이 5형인 경우는 수신기는 4형이며, 1형의 경우는 송신기 형식과 달리 F5를 포함한다. 수신된 초기동기주파수와 일치되면 송신기의 형식에 맞추어 초기동기 추적과정을 수행한다.

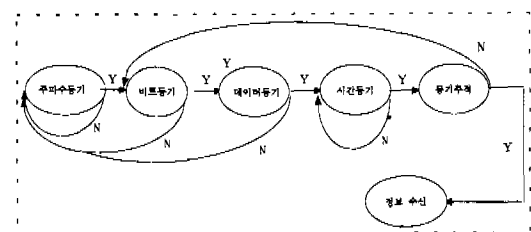


그림 9. 주파수도약 시스템의 초기동기 절차  
Fig. 9 The initial synchronization on FH system.

수신기에서 초기동기를 획득하는 방법은 그림 9와 같이 주파수동기, 비트 동기, 데이터동기, 시간동기, 동기 추적, 정보수신의 순서로 이루어진다. 주파수동기는 송신기의 주파수와 일치되면 동기가 이루어진 것으로 간주하고 주파수에 포함된 정보 분석을 위해 비트 동기 과정으로 전환된다. 비트동기는 1 0 1 0 1 0 1 0의 8비트 신호를 점점하여 일치되면 데이터가 수신된 것으로 판단하고 상관기 40비트중 임계 치(Threshold) 이상 일치되는지 확인하는 데이터 동기 과정으로 전환된다. 데이터동기는 임계치를 높게 설정하면 동기 확률이 낮아지고, 임계치를 낮게 설정하면 거짓동기(False Alarm) 확률이 높아진다. 본 연구에서는 임계 치는 약간 낮추고 시간

동기 및 동기추적 과정에서 검색하여 오동기를 없애도록 하였다. 아울러, 연속하여 2회까지 동기추적이 안되면 초기동기형태를 한 단계 낮추도록 하였다.

송신기와 수신기의 32초 이하 시차를 일치시키는 방법은 송신기와 시간이 틀린 경우, 송신기의 초기 동기 주파수 형식이 자신과 같거나 높으면 수신시마다 8초씩 접근시키며, 시간차가 8초보다 작으면 송신기의 시간에 일치시킨다. 수신된 신호의 초기동기주파수 형식이 자신보다 낮으면 수신된 시간을 사용한 후 자신의 시차는 변경시키지는 않는다.

송신기의 시간정보 수신은 수신된 시간을 오류정정하여 정확한 시간을 얻은 후, 획득된 시간정보를 이용하여 송신기와 정확한 HOP을 일치시킨 후, 송신기와 동일한 패턴으로 도약주파수 신호를 추적하여 신호의 오류를 점점한 후, 정보가 시작되는 지점을 일치시킨다.

적응 주파수도약 동기 시스템에서 초기동기 성능은 송신기와 수신기의 초기동기 도약용 주파수의 일치 확률, 최저 수신 상황에서 데이터 비트의 동기, 30초 이하 시간 정보의 정확도 분석으로 판단하며, 데이터 비트들의 오류 발생은 Binomial 분포이므로 40비트 상관기로 Correlation 취할 때 i비트가 오류일 확률은<sup>(3),(4),(5),(6)</sup>

$$P_i = {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (3)$$

거짓 비트에 상관될 확률은

$$P_k = {}_L C_k \left(\frac{1}{2}\right)^L \quad (4)$$

이며, 임계치 이상의 상관기 비트가 오류일 확률은

$$P_d = \sum_{i=th}^L P_i = \sum_{i=th}^L {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (5)$$

이 되므로 임계치를  $i = th$ 로 두었을 때, 상관기가 올바른 동기가 될 확률은

$$P_c(th) = 1 - P_d(th) = 1 - \sum_{i=th}^L {}_L C_i p^i (1-p)^{(L-i)} \quad (6)$$

상관기의 비트가 잘못 일치될 오동기 확률은

$$P_{fa} = \sum_{k=th}^L {}_L C_k \left(\frac{1}{2}\right)^L \quad (7)$$

이며 여기서  $th$ 는 임계치,  $k, i$ 는 상관기의 비트수,  $L$ 은 상관기의 총 비트수 즉,  $L = 40$ 이다.

시간정보의 정확도는 1HOP내에서 7회 전송하여 majority decoding 방식으로 오류정정을 취하므로 오류율은 다음과 같다.

$$P_e = \sum_{i=1}^7 {}_7 C_i p_b^i (1-p_b)^{(7-i)} \quad (8)$$

따라서 상관기의 정확한 동기 확률, 거짓동기확률, 시간정확도는 식 (6), (7), (8)에 의해 구해진다.

#### IV. 분석 및 결과

주파수도약 통신시스템이 운용되는 전술통신 상황은 초기동기주파수가 30% 간섭, 무선채널이 데이터 비트오류 발생확률 10%의 극한 통신상황에서 송신 1HOP 시간이 9.5msec일 때 초기동기 소요시간, 송신기와 수신기의 동기주파수 일치, 초기동기 확률, 시간동기 정확도 등을 분석하였다.<sup>(7)</sup>

1. 송신기의 초기동기 주파수 전송 형태별 초기동기 소요시간은 전송되는 총 HOP수와 1HOP 전송 시간을 곱하여 얻어지며 다음과 같다.

표 1. 형태별 초기동기 소요시간  
Table 1. The initial synchronization time on each type.

송신기의 전송형식	전송 HOP수	초기동기 소요시간	비 고
1형	72 HOP	684msec	3형 ~ 5형은 기존 형태보다 소요시간이 단축
2형	56 HOP	532msec	
3형	42 HOP	399msec	
4형	30 HOP	285msec	
5형	20 HOP	190msec	
현재 시스템	56 HOP	532msec	

표 1에서 최초 통신이 이루어지는 1형의 경우 기존보다 초기동기 소요시간이 길지만 송신기와 수신기의 통신이 많아지면 최고 190msec로 단축된다.

2. 송신기의 전송형태 1형은 초기동기 소요시간은 약간 증가했으나 초기동기 주파수를 6개에서 9개로 확장하였으므로 초기동기 주파수의 간섭확률은 33% 감소하였으며, 전송형태 5형은 초기동기주파수 종류는 감소했지만 초기동기주파수 HOP를 총 20개 전송하므로 탐지 확률이 36%로 감소되고 초기동기 소요시간도 342mSec 감소된다. 동기주파수 생성 시간 간격은 20초에서 8초로 단축하였으므로 시간측

면에서 동기 주파수 탐지확률은 60% 감소시켰다.

3. 주파수도약 통신은 처음 통신이 이루어진 후 채널조건에 따라 4 또는 5형을 유지한다. 따라서 평균 초기동기 소요시간은 238msec이므로 약 295ms ec의 초기동기 소요시간 단축 효과를 얻을 수 있다.

4. 송신기와 수신기의 초기동기 도약주파수 전송 형태별 일치주파수 종류는 표 2와 같이 대부분 3개 이상의 주파수에서 일치되므로 30% 간섭상황에서도 생존성이 있다.

표 2. 송신과 수신 초기동기 전송 형식간 일치 주파수 수량

Table 2. Number of the consisting frequency between transmitting and receiving initial synchronization types.

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

5. 비트오류율 10%인 극한 상황에서 임계치에 대한 1HOP의 동기확률 및 오동기 확률은 식(6),(7)에서 계산된다. 시스템에서 코릴레이터 길이 40bit, 임계치(threshold) 31bit로 정하였으며 1HOP에서 코릴레이터의 동기 확률  $P_c=0.99$ , 오동기 확률  $P_a=3.4 \times 10^{-4}$ 을 얻는다. 수신기가 4형으로 대기하고 있는 조건에서 송신기의 각 초기동기 형식에 대한 프레임의 적응도약 초기동기의 경우 동기 확률과 오동기 확률은 간섭이 없는 상황과 30% 간섭이 있는 상황에서 표 3과 같다.

표 3. 송신초기동기 형식별 추적가능 HOP 수 및 동기확률

Table 3. Number of the acquisition HOP and The synchronization probabilities on each transmitting initial synchronization types.

송신초기 동기형식	간섭이 없을 때			30% 간섭이 있을 때		
	추적 HOP 수량	동기 확률	오동기 확률	추적 HOP 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	$7 \times 10^{-31}$
4	16	1	$4 \times 10^{-27}$	13	1	$7 \times 10^{-39}$
5	9	1	$6 \times 10^{-32}$	6	1	$1.5 \times 10^{-21}$

기존 시스템의 초기동기 방식은 56HOP을 초기동기 주파수로 사용하며 30% 간섭이 있는 경우 39HOP 수신이 가능하다. 기존시스템은 코릴레이터를 32비트와 8비트를 직렬로 연결하여 사용하고 임계치는 27비트와 7비트이므로 1HOP에서 동기확률  $P_c=0.73$ , 오동기 확률  $P_a=2.0 \times 10^{-6}$  이므로 초기동기의 동기확률 1, 오동기확률 0 이다. 따라서 적응도약 초기동기 시스템의 초기동기 확률은 송신 5형의 경우에도 기존시스템의 성능과 차이가 없다.

6. 초기동기에서 시간동기 확률은 식 (8)에 의해 1HOP에서 비트오율이 0.1인 극한조건( $P_b = 0.1$ )이므로 한 주파수 HOP에서 시간동기 오류율  $P_t$  는

$$P_t = \sum_{i=1}^7 i C_i p_b^i (1-p_b)^{(7-i)} = 2.728 \times 10^{-3}$$

송신기의 초기동기 도약주파수 HOP 전송이 가장 적은 경우(송신기 5형), 30% 간섭시 7HOP 추적이 가능하므로 본 주파수도약 통신 시스템이 극한조건에서 운용되는 초기동기조건에서 시간동기의 오류율은 다음과 같이  $1.12 \times 10^{-18}$ 이므로 시간 오류는 거의 없다.

$$P_{t7} = (2.728 \times 10^{-3})^7 = 1.12 \times 10^{-18}$$

### V. 결론

주파수도약 시스템은 극한 전송통신상황에서도 초기동기 도약주파수 정보의 간섭 및 탐지를 회피하면서, 초기동기소요시간을 축소하여 디지털통신 시스템의 정보전송 시간지연을 최소화하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 전파간섭 및 극한조건에서의 무선통신 환경에서 무선간섭과 도청을 회피하면서 정보를 전송할 수 있는 주파수도약 무선통신 시스템을 설계하고 정보의 간섭과 탐지를 방지할 수 있도록 초기동기 도약주파수 수량과 전송 횟수를 동기 정확도에 따라 변화시켜 동기정확도가 낮을 때는 초기동기 도약주파수 횟수를 늘리고, 높을 때는 적은 수량의 초기동기용 도약주파수를 전송하는 적응초기동기 알고리즘을 제안하였다.

적응초기동기 알고리즘 적용으로 초기동기 정보의 탐지 및 간섭을 회피하고 초기동기로 인한 시간지연을 최소화하였다. 분석결과, 기존시스템에 비해 초기동기 소요시간이 약 0.5초에서 0.2초 수준으로



단축되고 초기동기주파수 탐지확률도 60%를 감소하였다. 송신기 및 수신기의 초기동기주파수 형식별 일치될 확률을 분석한 결과, 간섭상황에서도 생존성을 확인하였으며 의사불규칙 주파수 패턴 발생변수인 시간정보의 정확도는  $10^{-17}$  이하, 초기동기 상관계수의 임계치를 31비트로 설정하였을 때 초기동기 확률 100%를 확인하였다.

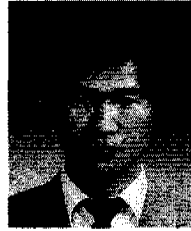
본 적응동기 알고리즘은 주파수도약 기술을 사용하는 FH/CDMA 기법을 비롯하여 위성통신 및 차세대 전술용 통신시스템에 응용할 수 있을 것으로 예상된다.

**참 고 문 헌**

1. R. C. Dixon, "Spread spectrum systems," John Wiley & Sons.
2. 한성우, 김정섭, 최세열, "주파수도약 무전기의 주파수동기방법" 특허 제 121303호 '97. 8. 26.
3. Jhong S. Lee, Robert H, French and Leonard E. Miller, "Probability of error analyses of a bfsk frequency hopping system with diversity under partial band jamming interference- part 1 : Performance of square law linear combining soft decision receiver," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-32 No. 6, June 1984.
4. Timothy Pratt, Charles W. Bostian, "Satellite Communications" John Willy & Sons. 1986.
5. A. Polydoros and C. Weber, " An unified approach to serial search spread spectrum code acquisition-part 2 : A method filter receiver," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-36, pp724-733, June, 1988.
6. Isreal Korn, "Error probability of digital modulation in satellite mobile, land mobile, and gaussian channels with narrow band receiver filter." IEEE Trans. Comm., Vol. COM-40, pp697-707, Apr. 1992.
7. Donald R. J. White, "A handbook series on electromagnetic interference and compatibility." Don white consultants, Inc. Vol. 2. ppl.19.

**한 성 우(Sung-Woo Han)**

정회원



1955년 1월 29일생  
 1978년 2월 : 경북대학교 물리학과 졸업(이학사)  
 1980년 2월 : 경북대학교 대학원 물리학과 졸업(이학석사)  
 1982년 10월~현재 : 국방과학연구소 통신연구실 근무  
 1995년 3월~현재~충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
 <주관심 분야> 주파수도약통신, 위성통신, 디지털신호처리

**전 용 익(Yong-Uk Chun)**

정회원



1955년 12월 2일생  
 1978년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1980년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1979년 11월~94년2월 : LG 정밀(주) 연구소 근무  
 1994년 3월~현재 : 대덕대학 전자계산기과 교수  
 1995년 3월~현재 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
 <주관심 분야> 디지털신호처리, 영상처리

**전 병 민(Byung-Min Chun)**

정회원

현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수  
 제23권 10호 참조