

# HF 통신 시스템을 위한 ALE 신호의 동기

正會員 오 상 균\*

## Synchronization of ALE Signal for HF Communication Systems

Sang-Kyun Oh\* *Regular Member*

요 약

최근 HF 통신은 신뢰성 있는 통화를 자동으로 제공할 수 있는 ALE(Automatic Link Establishment) 기법을 사용함으로써 응급 통신 및 위성 통신의 보조 수단으로 다시금 활용되고 있다. ALE 신호는 Burst 데이터 형태로 전송되며, 다중 경로 페이딩에 의해 왜곡되어 수신된다. 이러한 상황에서 ALE 시스템의 성능은 동기 기법의 성능에 좌우된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 DFT(Discrete Fourier transform)을 이용한 recursive한 형태의 대역 통과 필터뱅크로 M-ary FSK 신호를 검출하고, 병렬 검출 구조의 초기 동기 방법과 early-late-gate 방식을 응용한 동기 추적 기법을 설계하였다. 제안된 동기 기법의 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

ABSTRACT

Recently, by emerging of the ALE techniques that make it possible to provide reliable communications link automatically, high frequency communication is newly used as emergency communication and back-up for satellite communications. ALE signal is transmitted in burst, and the received signal is subject to distortions by detrimental multipath fading channels. In the case of that channel, the performance of ALE system is highly dependent upon that of synchronization techniques. In this paper M-ary FSK signals are detected by a bank of bandpass filter, which is implemented using recursive DFT(Discrete Fourier transform). Also an acquisition and tracking algorithm are designed using parallel structure and early-late-gate methods respectively. Finally, we verify the performance of the proposed synchronization algorithm by the computer simulation.

### I. 서 론

HF 통신은 비교적 간단한 회로 구성과 소 전력으

로 장거리 무선 통신을 할 수 있다는 장점으로 인하여 군 및 민간 통신 분야에서 많이 사용되었으나, 1970년대 위성 통신의 본격적인 등장과 함께 이용도가 격감되었다. HF 통신의 사용이 감소된 원인은 전리층 반사를 이용하는 HF 통신의 전파 특성상 다중 경로 페이딩에 의한 통화품질의 열화와 사용자의 밀

\*국방과학연구소 선임연구원  
論文番號:96137-0503  
接受日字:1996年 5月 3日

침으로 인한 혼신이 심하게 발생하는데 기인한다. 이러한 채널의 특성은 사용 주파수, 시간, 계절, 태양 흑점수에 따라 수시로 변화하기 때문에 경험 있는 숙련된 운용자도 신뢰성 있는 통화로의 확보가 매우 어렵다[1].

그러나 최근 들어 급속히 발전하고 있는 통신 신호 처리 기법 및 디지털 신호 처리용 집적회로 기술의 발달로 인해 ALE(Automatic Link Establishment) 기법[2]의 적용이 가능함에 따라 운용자의 채널에 대한 사전 지식이나 숙련도에 관계없이 자동으로 신뢰성 있는 통화로를 확보할 수 있게 되었다. 이에 따라 HF 통신은 군 통신 분야와 재난시의 응급(Emergency) 통신용이나 위성 통신의 보조 수단으로 다시금 각광 받고 있다.

ALE 기법은 부진기에 예치된 주파수들의 채널 품질을 측정하는 LQA(Link Quality Analysis)기능을 통하여 최상의 주파수를 선택한 다음 이 주파수로 3-way handshake 프로토콜을 이용하여 자동으로 통화로를 설정하며 부진기마다 십진수로 이루어진 3자리 주소를 부여하여 선택적 호출(Selective Call)이 가능하다.

ALE 신호는 하나의 주파수로 Burst 데이터의 형태로 전송되고, 수신측은 예치된 n개의 주파수를 일정 시간 간격으로 탐색하고 있으므로, 채널에서 발생하는 다중 경로 페이딩에 의한 신호 왜곡을 극복하면서 양측의 주파수가 일치하는 동안에 빠른 초기 동기가 필요하며 수시로 변화하는 채널 상태에 적응할 수 있는 동기 추적 기술을 필요로 한다.

본 논문에서는 M-ary FSK 신호의 복조를 DFT를 이용하여 recursive 형태의 필터 뱅크를 사용하고[3], 제안된 초기 동기 방법은 [4]에서와 같이 직접 대역 확산 시스템에서 사용하는 정합필터를 사용하는 병렬회로 구조를 응용하여 심볼 주기 내에서 샘플링 주기 간격으로 심볼을 검출하였다. ALE 신호는 PN 시퀀스와 같이 약정된 신호를 사용하지 않으므로 상관 특성에 의한 동기 획득은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 ALE 신호의 구조가 에러 정정을 위해 1개의 프레임은 3번 반복 전송하고 수신단에서 2/3 majority vote를 하는 신호 구조의 특성을 이용하여, majority vote decoder의 오류 갯수를 기준으로 동기 유무를 판단하는 새로운 방법을 사용함으로써 프레임과 심볼 동기를 동시에 획득하였다.

동기 추적 방법으로는 PSK 데이터 시스템에서 심볼 동기 추적 방식으로 주로 사용하는 early-late-gate 방식[5][6]을 응용하여 현재의 동기 타이밍을 기준으로 빠르거나, 늦은 타이밍의 심볼전력을 비교하여 크기가 큰 쪽으로 타이밍을 교정함으로써 다중 경로에 의한 페이딩을 극복할 수 있도록 설계하였다.

본 논문에서는 M-ary FSK 신호의 검출 방법과 동기 방법에 대하여 살펴보고 제안된 동기 방법에 대한 성능은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

시뮬레이션에서는 HF 대역의 부진기들이 주로 사용하는 SSB(Single-Sideband Modulation)방식을 RF 변조 방식으로 가정하고, 레일라이 페이딩 채널과 AWGN채널에서의 동기 획득율과 동기 타이밍 분포를 구하였다.

## II. ALE 신호의 동기

### 1. ALE 신호의 구성

그림 1과 같이 ALE 신호는 [2]의 규정에 따라 3자리 십진수로 이루어진 주소를 7비트 ASCII 코드로 표현하며, 링크 설정 후의 기능을 나타내는 3비트 기능 코드를 포함하여 24비트의 정보워드를 구성한다. Golay 코딩과 인터리빙을 거쳐 49비트의 기본 워드를 생성한 후 이를 3번 반복하여 147비트의 기본 프레임은 형성한다. 기본 프레임은 수신단의 주파수 탐색 주기를 고려하여 수회 반복하여 전송된다.

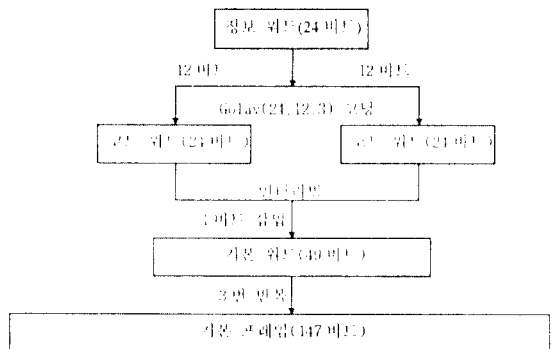


그림 1. ALE 신호의 기본 프레임 구성  
Fig 1. Basic frame structure of the ALE Signal

ALE 신호의 전송을 위한 데이터 변조 방식으로는 8-ary FSK가 사용되며 심볼주기는 8msec이다. MFSK 신호의 톤 주파수  $f_m$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_m = c\Delta f + \Delta f(m-1), m = 1, 2, \dots, 8 \quad (1)$$

여기서  $c$ 는 양의 정수이고  $\Delta f = d/2T_s$  ( $T_s$  = 심볼주기,  $d = 1, 2, \dots$ )이면  $f_m$ 은 직교신호가 된다[5].

2. M-ary FSK 신호의 복조

기저 대역의 수신 신호  $x(n)$ 이 수신되었을 때 단일 주파수  $f_m$ 의 스펙트럼  $s_n(W^{k_m})$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_n(W^{k_m}) = \sum_{m=n-N+1}^n x(m)W^{-(n-m)k_m} \quad (2)$$

식(2)에서  $N$ 은 DFT(Discrete Fourier Transform)의 윈도우 크기로 1심볼의 샘플수와 같고,  $W = e^{j2\pi/N}$ ,  $k_m = Nf_m/f_{sa}$ ,  $f_{sa}$ 는 샘플링 주파수이다. 식(2)를 필터로 구성할 경우 FIR 필터 구조가 되므로 본 본문에서 제안된 초기 동기과 동기 추적시 샘플링 주기 간격마다 복조를 해야함을 고려하여 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하여 구현할 경우 계산량 측면에 효율적인 recursive한 구조로 변환한다.

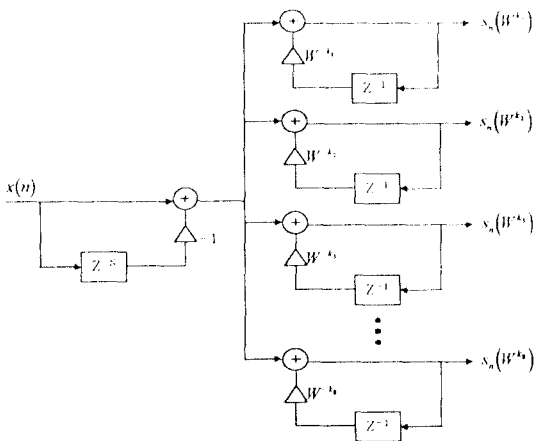


그림 2. 8-ary FSK 신호 복조를 위한 필터 뱅크  
Fig 2. The filter bank for M-ary FSK signal demodulation

$f_m$ 이 직교신호이고  $f_1$ 이 심볼 속도의 정수배라고 가정하면  $k_m$ 은 정수가 되고 따라서  $W^{-Nk_m} = 1$ 이 된다. 식(2)에서  $s_n(W^{k_m})$ 과  $s_{n-1}(W^{k_m})$ 의 관계를 구하고  $W^{-Nk_m} = 1$ 을 대입하면

$$s_n(W^{k_m}) = W^{-k_m} s_{n-1}(W^{k_m}) + x(n) + x(n-N) \quad (3)$$

이 되고 이를 이용하여 구성된 8-ary FSK 신호 복조를 위한 필터 뱅크는 그림 2와 같다.

필터 뱅크는 초기 동기시 매 샘플링 주기마다 출력하고 8개의 스펙트럼의 크기를 비교하여 이중 가장 큰 값을 나타내는 스펙트럼에 해당되는 심볼을 수신한 것으로 판단한다.

3. 초기 동기

ALE를 통한 신뢰성 있는 통화로 제공을 보장하기 위해서는 다중 경로 페이딩, 혼신등 HF 통신의 여러 가지 장애요인[1][5]을 극복할 수 있는 강력한 동기 기법이 요구된다. 본 논문에서는 병렬 구조로 신호를 검출하여 majority vote decoder의 오류 갯수로 동기 유무를 판단하는 강력한 초기 동기 기법을 제안하였다. 초기 동기는 1심볼 주기이내의 오차를 가지며, 이때 발생한 송수신 타이밍 오차는 동기 추적 과정을 통하여 지속적으로 보상한다.

샘플링 인덱스를  $n(1 \leq n \leq N)$ , 심볼 순서를 나타내는 인덱스를  $k$ 라고 할때  $n$ 번째 샘플링 타이밍에서  $k$ 번째 검출된 심볼을  $s_{n,k}$ 로 나타낸다. 그림 3에서와 같이 1샘플링 주기 간격으로  $s_{1,k}, s_{2,k}, \dots$ 의 순으로 심

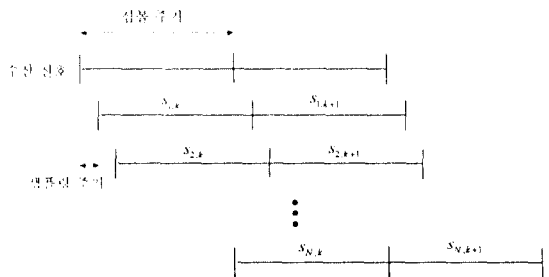


그림 3. 초기 동기시 심볼 검출 방법  
Fig 3. A Method of symbol detection in initial synchronization

불이 검출되며,  $s_{N,k}$ 의 다음 심볼은  $s_{N,k+1}$ 이된다.

그림 4는 초기 동기시 결정된 심볼의 저장 구조를 나타낸 것으로, 하나의 심볼이 검출되면 해당 샘플링 인덱스의 비퍼는 1심볼 시프트하여  $m_{n,k+48}$ 에 저장된 심볼을 버리고 새로운 심볼  $s_{n,k}$ 를  $m_{n,k}$ 에 채워 넣는다. 샘플링 인덱스  $n$ 의 비퍼  $m_{n,k+i}$  ( $0 \leq i \leq 48$ )에 저장된 심볼은 3비트로 구성되었으며, 각각의 비트들을  $b_{n,3i+j}$  ( $0 \leq j \leq 2$ )로 나타낼때  $b_{n,3i+j}$ ,  $b_{n,3i+49}$ ,  $b_{n,3i+98}$ 는 채널의 에러가 발생하지 않았다면 같은 비트이기 때문에 위의 3비트가 모두 같지 않을 경우 에러로 간주하고 카운트한다. 49번의 majority vote 에러 갯수가 미리 설정된 임계값과 비교하여 이를 초과하지 않을 경우 동기 획득이 이루어졌다고 판단한다. 임계값은 초기 동기를 원하는 채널 품질과 false alarm율에 따라 결정된다. 본 논문에서는 임계값을 10으로 설정하였으며 이때의 대략적인 비트오율은  $7.5 \times 10^{-2}$  정도가 되는 것으로 [2]에 언급되어 있다.

임계값 미만의 majority vote 에러 갯수를 나타내는 샘플링 인덱스가 하나 이상일 경우는 최소 에러값을 나타내는 샘플링 인덱스를 동기 타이밍으로 설정하고, 최소 에러가 하나 이상일 경우는 여러 인덱스의

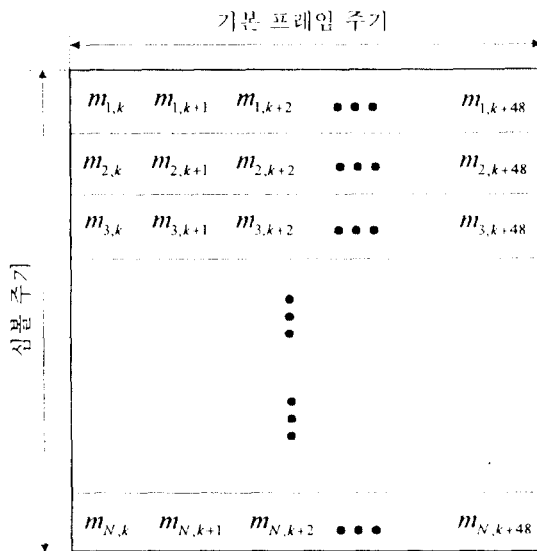


그림 4. 초기 동기시 결정 심볼의 저장 구조  
Fig 4. The structure of detected symbols storage

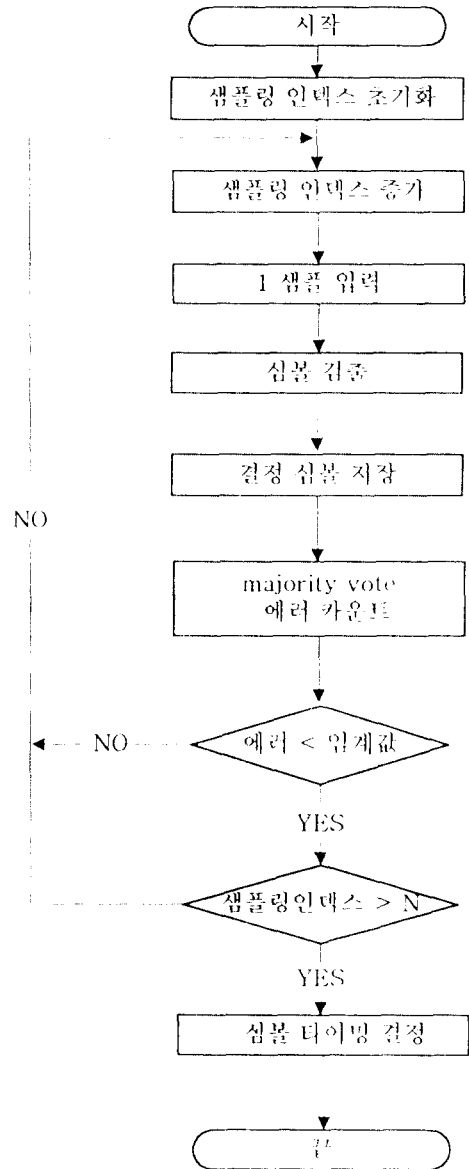


그림 5. 초기 동기 과정의 흐름도  
Fig. 5 Flow chart of initial synchronization process

중간값을 동기 타이밍으로 한다. 그림 5에 초기 동기 과정의 흐름도를 나타내었다.

#### 4. 동기 추적

동기 추적은 초기 동기에서 얻어진 동기 타이밍 오

차를 보정하고, 채널의 지연시간 변화와 송수신 클럭의 차이로 발생하는 동기 타이밍의 변화를 지속적으로 보상하는 과정이다.

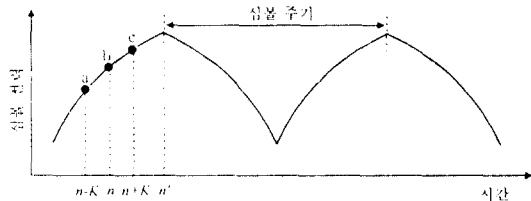


그림 6. 동기 타이밍에 따른 검출된 심볼 전력의 변화  
Fig 6. Power variation of detected symbol by the symbol timing

신호대 잡음비가 무한대인 경우 동기 타이밍에 따라 검출된 심볼의 전력은 그림 6에서와 같이 대칭적인 구조를 나타낸다.  $n-K, n, n+K$ 가 샘플링 타이밍을 나타낼때 각각의 타이밍에서의 검출된 심볼의 전력  $a, b, c$ 는 다음과 같다.

$$a = |s_{n-K}(W^{k_D})|^2, b = |s_n(W^{k_D})|^2, c = |s_{n+K}(W^{k_D})|^2 \quad (4)$$

여기서  $n$ 은 현재의 동기 타이밍을 나타내고,  $k_D$ 는 현재의 동기 타이밍에서 결정된 심볼의 주파수이다. 현재 동기 타이밍  $n$ 이 실제 동기 타이밍  $n'$  보다 과거인 가 또는 미래인가에 따라  $a$ 와  $c$ 는  $a < c$  또는  $a > c$ 의 관계가 성립한다.  $n-K, n+K$  타이밍에서 결정 심볼의 전력은  $Q$ 개의 심볼을 수신할 동안 반복하여 비교되고, 비교 결과중 다수로 나타나는 관계( $a < c$  또는  $a > c$ )의 횟수  $G$ 가  $R$  이상일 경우 동기 타이밍을 교정하며 임계값  $R(\leq Q)$  미만일 경우는 현재의 타이밍을 유지한다. 이는 동기 추적이 정상상태(steady state)에 이른 후에 백색 또는 임펄스 잡음에 의해 심볼전력의 변화를 가져옴으로 인한 지터(jitter)를 줄이기 위함이다. 동기 타이밍의 교정 방법은  $a < c$ 의 관계가 비교 결과중 다수로 나타내면 현재의 동기 타이밍이 실제 타이밍보다 과거에 위치하고 있는 것이므로 현재의 동기 타이밍 위치로부터  $P$ 개의 샘플링 주기 만큼 미래 샘플의 타이밍을 새로운 심볼의 시작점으로 판단한다( $P$ : 타이밍 교정량). 마찬가지로  $a > c$ 의 관계가 다

수일 경우는  $P$ 개의 샘플링 주기 만큼 과거 샘플의 타이밍을 새로운 심볼의 시작점으로 판단한다. 동기 추적 과정의 흐름도를 그림 7에 나타내었다.

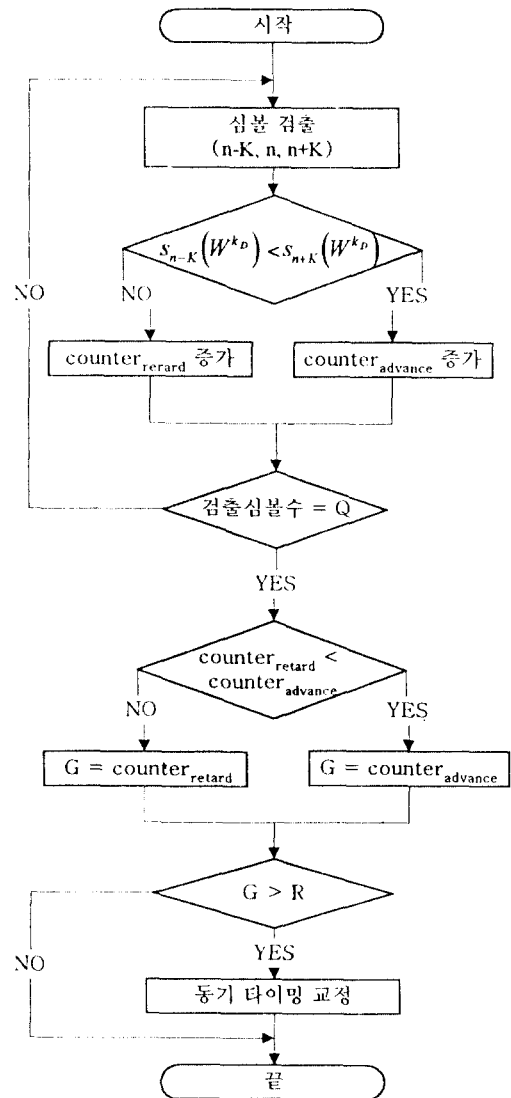


그림 7. 동기 추적 과정의 흐름도  
Fig 7. Flow chart of symbol tracking process

샘플링 주기의 정수배인 타이밍 교정량  $P$ 과 임계값  $R$ 은 동기 추적의 수렴속도를 조절한다. 교정량이 커지고 임계값이 작아지면 수렴속도는 증가하나 정

상상태의 타이밍 지터는 커지게 된다. 신호대 잡음비가 -10 dB인 가우시안 채널에서 Q값이 5일 경우, R과 P값에 따른 동기 타이밍 위치를 시간변화에 따라 그림 8에 나타내었다. ALE 신호는 짧은 시간동안 전송되는 burst 데이터의 형태이므로 본 논문에서는 타이밍 지터보다는 수렴속도를 우선으로 하여 고정량과 임계값을 설정하였다.

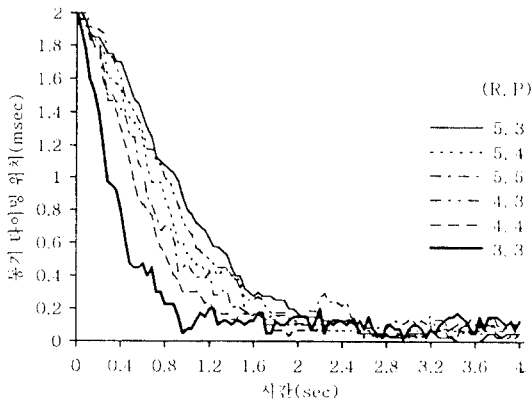


그림 8. 고정량과 임계값에 따른 평균 동기 타이밍 위치 변화  
Fig. 8 The variation of average symbol timing position according to the variation of correction(P) and threshold(R) values

### III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

#### 1. 시뮬레이션

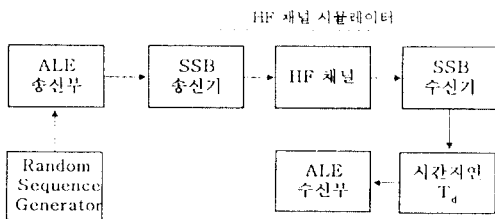


그림 9. 시뮬레이션 구성도  
Fig 9. Block diagram of the simulation

시뮬레이션의 구성은 그림 9와 같으며 HF 채널 시뮬레이터는 HF 부전기가 주로 사용하는 SSB 변복조 방식의 효과도 함께 고려되었으며 시간 지연  $T_d$ 는 송수신 시간차를 나타낸다. HF 채널 환경은 다중경로 페이딩 채널로 나타낼 수 있는데, 본 시뮬레이션에서는 CCIR(International Radio Consultative Committee)에 보고된 두 가지 채널 조건[7]과 가우시안 채널을 사용하였다. 다중 경로 페이딩 채널 조건에서 각각의 경로의 신호 전력은 동일한 것으로 설정하였다. 사용된 채널 조건을 표 1에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 채널 조건  
Table 1. Channel condition used in the simulation

채널 명칭	다중 경로 지연(ms)	도플러 확산(Hz)
가우시안	0	0
CCIR good	0.5	0.1
CCIR poor	2.2	1.0

#### 2. 결 과

초기 동기 성능은 초기 동기 타이밍 분포와 동기 획득율을 통해 평가하였다.

$10^3$ 번의 ALE 신호를 전송하였으며, 수신측의 주파수 탐색 주기를 500 msec로 가정하고 안테나 정합 시간을 10 msec로 하였을 경우, 실제 송수신 주파수가 일치하여 신호를 수신할 수 있는 시간은 490 msec이므로 이 시간 내에 동기를 이루지 못하면 동기 획득을 실패한 것으로 간주하였다

그림 10, 11, 12는 시간지연  $T_d$ 가 4 msec(0.5 심플 주기)일 때 세 가지 채널조건에서 초기 동기 타이밍의 분포수를 동기 획득 성공 횟수로 정규화 하여 나타낸 것이다. 그림 12에서 알 수 있듯이 다중 경로 지연시간이 긴 CCIR poor 채널의 결과가 다른 조건의 결과에 비하여 동기 타이밍의 분포가 분산되어 있음을 알 수 있다.

그림 13은 동기 획득율을 나타내고 있는데 가우시안과 CCIR good 채널은 신호대 잡음비가 -10 dB 이상에서, CCIR poor 채널은 0 dB이상에서 100%의 동기 획득율을 얻을 수 있음을 알 수 있다

그림 14, 15, 16은 동기 추적시 평균 동기 타이밍 위

치 변화를 나타낸 것으로, 그림 15와 16에서는 첫 번째 경로의 타이밍을 기준 타이밍으로 하였을때의 기준 타이밍과 동기 타이밍의 시간차를 동기 위치로 표시하였으며 (a)와 (b)의 시간 축은 동일한 시간을 나타낸다. 초기 동기의 타이밍 오차를 0.25심볼 주기로 가정하고 비교 심볼 수 Q는 5, 임계값 R은 3, 교정량 P는 3을 사용하였다.

수렴속도는 신호대 잡음비가 -5 dB이상에서 약 400 msec(50 심볼 주기) 정도이며, 정상 상태에서의 타이밍 지터는 약 0.1 msec(1.2 샘플링 주기)를 나타내었다. 그림 15와 16은 다중 경로가 존재하고, 시간에 따라 두 경로의 신호 세기가 변화하는 채널에서 신호 세기가 큰 경로의 타이밍을 따라 동기 추적이 이루어

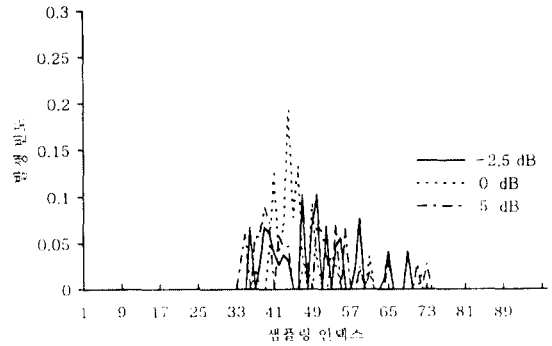


그림 12. CCIR poor 채널에서의 초기 동기 타이밍 분포  
Fig 12. Distribution of the initial synchronization timing on CCIR poor channel

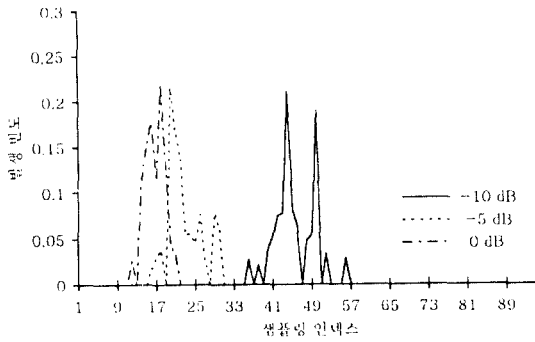


그림 10. 가우시안 채널에서의 초기 동기 타이밍 분포  
Fig 10. Distribution of the initial synchronization timing on gaussian channel

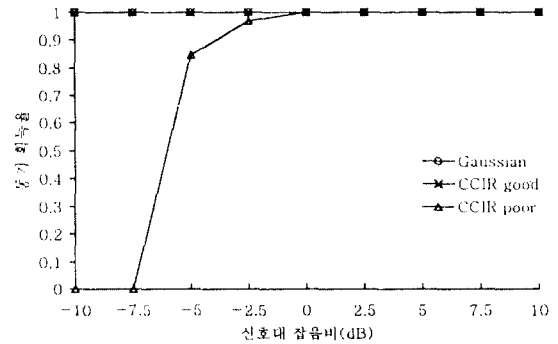


그림 13 동기 획득률  
Fig 13. Acquisition rate

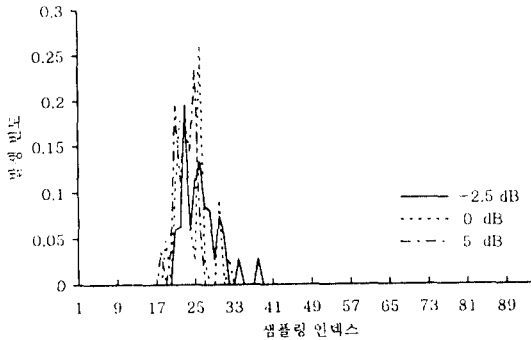


그림 11. CCIR good 채널에서의 초기 동기 타이밍 분포  
Fig 11. Distribution of the initial synchronization timing on CCIR good channel

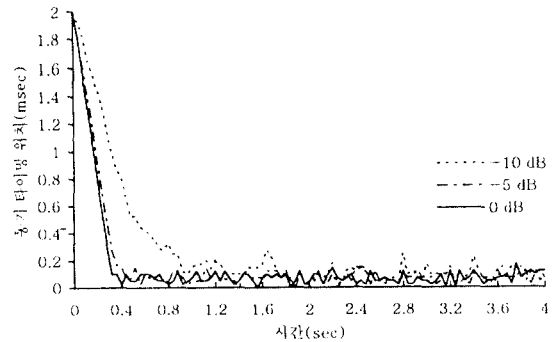
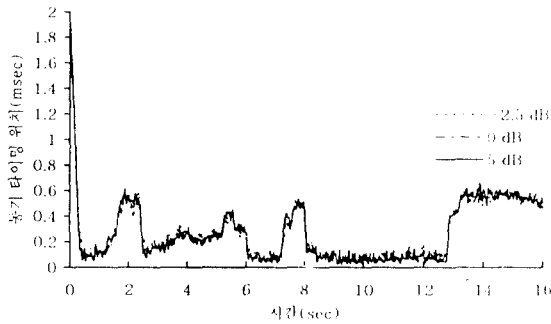
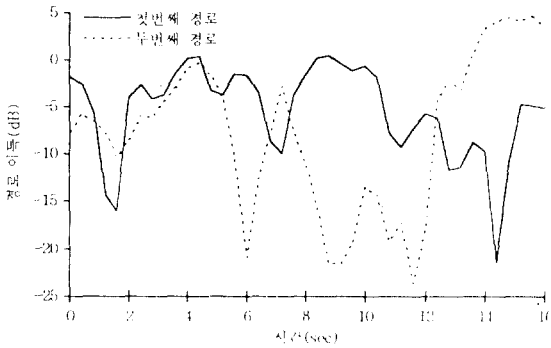


그림 14. 가우시안 채널에서의 평균 동기 타이밍 위치 변화  
Fig 14. The variation of average symbol timing position on gaussian channel



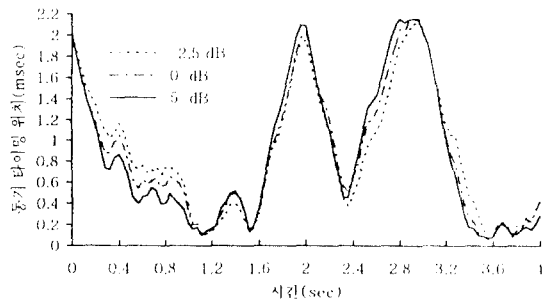
(a) 평균 동기 타이밍 위치



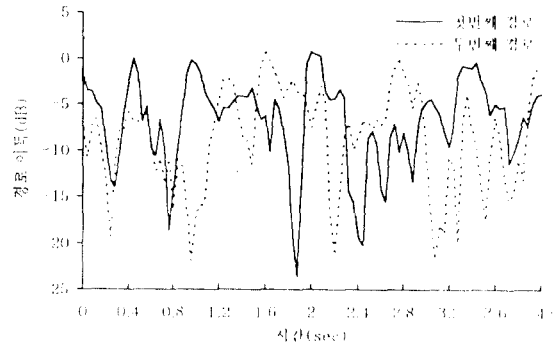
(b) 경로 이득 변화

그림 15. CCIR good 채널에서의 평균 동기 타이밍 위치 변화

Fig 15. The variation of average symbol timing position on CCIR good channel



(a) 평균 동기 타이밍 위치



(b) 경로 이득 변화

그림 16. CCIR poor 채널에서의 평균 동기 타이밍 위치 변화  
Fig 16. The variation of average symbol timing position on CCIR poor channel

집을 보여준다. 예를들면 그림 15의 (b)서 볼 수 있는 것과 같이 시간이 약 7.5초 경과한 시점에서 첫번째 경로의 신호 세기가 두번째 경로의 세기보다 커지기 시작하는데 (a)에서 확인할 수 있듯이 동일한 시점에서 동기 타이밍은 두번째 경로의 동기 위치(0.5msec)에서 첫번째 동기 위치(0msec)로 변화한다. 제안된 동기 추적 방식의 이러한 특성은 무선 채널에서 흔히 발생하는 다중 경로 페이딩 존재 시 여러 경로 중 신호 세기의 감쇄가 적은 경로의 신호를 수신함으로써 데이터의 오류를 줄일 수 있는 이점을 가진다.

## VI. 결 론

HF 통신 시스템에서 신뢰성 있는 동화로를 자동으로 제공하는 ALE 기법의 동기 방법을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 동기 타이밍 오차의 분포, 동기 획득율을 구하여 성능을 평가하였다.

HF 채널과 같은 다중 경로 페이딩 채널에서 Burst 데이터 통신시 신속하고 신뢰성 있는 동기 기법은 시스템 성능을 좌우하는 관건이라 할 수 있다. 본 논문에서는 M-ary FSK 신호의 검출을 위해 DFT를 이용한 recursive한 형태의 필터 뱅크를 사용하였다. 초기 동기 방법으로는 병렬 구조를 사용하여 샘플링 위치를 다중으로 하고, ALE 신호가 PN 시퀀스와 같은 약



정된 신호를 사용하지 않음을 고려하여 majority vote decoder의 오류 갯수를 동기 여부의 판단기준으로 하는 동기 획득 방법을 제안하였다. 동기 추적은 현재의 동기 타이밍을 중심으로 늦거나 빠른 타이밍의 신호 진력을 비교하여 큰 쪽으로 타이밍을 교정하는 방법을 사용하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과 가우시안과 CCIR good 채널에서는 신호대 잡음비 -10 dB이상에서, CCIR poor 채널의 경우는 0 dB 이상에서 1 심볼 주기 이내로 100%의 동기 획득을 하는 강력한 초기 동기 성능을 보였으며, 빠르게 변화하는 다중 경로 페이딩 채널에서도 두 경로 중 이득이 큰 경로의 타이밍을 따라 동기 추적이 이루어져 신호대 잡음비의 개선 효과를 가져옴을 확인할 수 있었다. 제안된 동기 방법은 고정 소수점용 디지털 신호 처리기를 이용하여 실시간 처리가 가능하도록 설계되었으며, 다중 경로 페이딩 채널 환경에서 운용되는 디지털 통신 시스템의 심볼 동기 방법으로도 적용 가능하다.

### 참 고 문 헌

1. Nicholas M. Maslin, *HF Communication: A System Approach*, Plenum Press, pp. 56-80 1987.
2. MIL-STD-188-141A, *Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio equipment*, pp. 37-165, 1988.
3. L. R. Rabiner and B. Gold, *Theory and Application of Digital Signal Processing*, PRENTICE-HALL, pp 381-390, 1975.
4. E. A. Sourour, S. C. Gupta, "Direct Sequence Spread-Spectrum Parallel Acquisition in Nonselective and Frequency-Selective Rician Fading Channel," *IEEE Journal on selected areas in communications*. vol. 10, NO. 3, pp 535-544, April 1992.
5. J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 1983.
6. C. A. Putman, S. S. Rappaport and D. L. Schilling, "Tracking of Frequency-Hopped Spread Spectrum Signals in Adverse Environments," *IEEE Trans. commun.* vol. COM-31, NO. 8, pp 955-964, August 1983.

### 7. HF IONOSPHERIC CHANNEL SIMULATORS, CCIR XIIIth Plenary Assembly, vol. III., pp66-75, 1974



오 상 균(Sang-Kyun Oh) 정회원  
 1974년 3월~1978년 2월: 경북대학교 전자공학과 졸업  
 1978년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
 ※관심분야: 무선통신, 위성통신