

# 주파수도약 통신시스템의 디지털 정보전송 알고리즘 연구

정회원 한성우\*, 김용선\*, 전용억\*\*, 전병민\*\*\*

## Digital information transmission algorithm in the frequency hopping communication system

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

### 요 약

주파수도약 통신시스템은 전파간섭 및 무선채널상태가 극한조건인 전송통신 환경에서 무선간섭 및 도청을 회피하면서 정보를 전송할 수 있다. 무선채널은 유선에 비해 채널이 불량하고 간섭받은 채널의 정보는 모두 손실되므로 주파수도약 통신시스템에서 정보 데이터를 원활히 전송할 수 있는 방법을 필요하다. 본 논문은 음성 및 데이터를 일정한 데이터 프레임으로 변환하여 무선주파수도약 채널로 전송하는 기법을 제안한 것이다. 송신기에서 저속 데이터를 일정한 블록 단위로 반복 프레임을 구성하여 20Kbps 도약용 프레임 셀을 전송하고, 수신기에서는 블록 디코딩 및 Majority 오류정정 기법을 사용하여 연속오류와 불규칙성 오류를 정정하고 처리 시간 및 방법을 단순화시키면서 채널 극복 성능도 개선하였으며 시스템 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

### ABSTRACT

Frequency Hopping(FH) communication could avoid the monitor or the interference against enemy and transmit the information under the worst condition. Because the Wireless communication condition is severer than the wire's, and informations could be interfered and lost by jammer, we need the method to transmit the digital information for FH communication. This paper includes the methods to transmit voice or data on FH communication. In transmitter, low rate data are coded to their majority data blocks, and transmitted repeatedly through FH channel, which are structured to 20Kbps hopping frame cells. In the receiver, the received data are decoded block by block, and taken majority decoding. consequently, channel errors are corrected at the block interleaver and the majority decoder. This algorithm can reduce the coding/decoding time and simplify the data processing method for FH communication. Besides, we reduced the jamming influence and improved the performance of data transmission on FH channel, and proved the performance in the real FH system.

### I. 서 론

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), 주파수도약(frequency hopping),

칩(chirp), 시간도약(time hopping), FH/DS복합(FH/DS hybrid) 기술 등이 있다. 이 중에서 주파수도약 대역확산 방식은 직접확산(DS) 방식에 비해 정확한 동기를 요구하지 않으며 고주파 회로 부분이 협대역이며 near-far problem도 거의 없다. 주파수도약 대역확산 방식은 직접대역확산 방식처럼 간섭신호를 상관(correlation)에 의해 제거하는 것이

\* 국방과학연구소(hansw79@sunam.kreonet.re.kr)

\*\* 대덕대학 전자계산기과

\*\*\* 충북대학교 컴퓨터공학과

논문번호 : 98368-0826, 접수일자 : 1998년 8월 26일

아니라 송수신기의 주파수가 의사잡음 코드발생기에 의해 불규칙하고 아주 빠른 속도로 바뀌면서 송신기와 수신기가 서로 약속된 도약주파수로 통신하여 적외주파수를 예측할 수 없도록 방해 및 감청을 회피하는 통신방식이다.<sup>[1]</sup>

전술상황에서 지휘통신은 통신정보의 감청, 방해를 극복하면서 극한통신조건에서 양질의 정보를 실시간으로 전달할 수 있어야한다. 본 논문은 30~88 MHz의 VHF 대역에서 2진 주파수변조(FM)방식의 이동용 주파수도약 통신 시스템이 약 0.01초의 시간마다 도약주파수를 불규칙하게 바꾸면서 Half duplex 통신방식으로 주파수 도약할 때, 도청과 간섭이 존재하는 무선환경에서 음성 및 디지털 정보를 원활히 전송할 수 있는 방법에 대한 연구이다. 의사 불규칙한 도약주파수가 전 대역에 분포되며, 무선채널에서 기준 전송속도 16Kbps인 디지털 정보를 20 Kbps 데이터 프레임으로 변환하여 주파수도약 무선채널로 전송된다. 전술통신에서 극한조건인 무선채널환경에서 요구되는 데이터 오류율은  $10^{-4}$  수준으로<sup>[2]</sup> 알려져 있으며, 최악의 도약채널 간섭상황에서 통신이 가능한 수준은 도약주파수가 20%까지 간섭받는 조건으로 설정하여 음성, 데이터(0.6Kbps, 1.2 Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps 및 16Kbps)를 전송하는 알고리즘을 제시하였다

기존에 사용하는 FEC 및 비트 인터리빙 방법은 소형경량 다기능을 요구하는 전술통신 시스템 설계에 적용하기에 다소 복잡하고 오류정정 부호화 및 인터리빙 처리를 위해 소요시간이 길며 간섭받은 도약주파수의 연속오류(burst error)를 보정하려면 인터리빙도 한개의 도약주파수에 해당하는 비트수의 제공이 되어야 하므로 버퍼도 커야하고 비트단위로 계산하므로 계산량도 많다. 본 논문에서 제안한 반복 코드(Majority error correction) 블록 인터리빙 기법은 한 개의 도약주파수에 포함된 정보와 비슷한 길이를 단위 블록으로 정하고 블록을 지정된 횟수 만큼 반복해서 전송하고 수신기에서 오류를 정정하는 방법으로서 설계구조와 처리시간도 간단하면서 빨리 처리할 수 있도록 고안하였으며 간섭받은 도약주파수의 정보를 보상할 수 있는 주파수도약 통신시스템에 적절한 디지털 데이터 전송 알고리즘이다. 주파수도약 통신시스템은 디지털정보 전송을 위해 디지털 정보동기, 불규칙오류 및 연속오류 정정 부호화 등의 알고리즘이 필요하다. 무선 간섭 및 감청에 대응할 수 있는 주파수도약 채널환경에 적합한 디지털정보전송 알고리즘을 제시하였으

며 시스템 적용 실험을 통해 성능을 분석하였다.

## II. 주파수도약 통신시스템의 디지털 정보전송 알고리즘 설계

본 연구는 무선채널 간섭이 심한 통신환경에서 주파수도약 통신시스템을 운용할 때 불규칙 오류 및 도약간섭 오류를 제거할 수 있는 데이터 전송 알고리즘에 관한 내용이다. 송신기에서 데이터의 블록 길이를 1HOP 프레임보다 약간 크게 정하고 저속 데이터와 16Kbps 데이터간 전송속도에 비례하여 블록을 홀수 번 반복 전송하고 수신기에서 블록 디코딩을 취하여 정보 비트의 1 또는 0의 개수를 판단하여 많은 쪽의 값을 취하는 majority 오류정정 기법을 사용하였다. FEC 및 비트 인터리빙 방법은 비트 인터리빙을 위해 X축으로 쓰고 Y축으로 읽어 부호화하므로 비트 단위로 처리해야하며 소프트웨어로 수행할 경우 계산량도 많아 실시간 처리를 어렵게 한다. 또한 블록길이가 긴 경우 버퍼도 블록길이의 제곱만큼의 버퍼 용적으로 설계해야하며 수신기에서 디코딩 절차도 그만큼 복잡하다. 그러나 제안한 majority 오류정정 및 블록 디코딩 기법은 도약통신 채널에 맞추어 일정한 길이의 블록을 반복 전송하고 연속적으로 정보를 바이트 단위로 계산하므로 설계구조 및 처리 알고리즘이 간단하다. 따라서 버퍼가 단순하고 프로세서의 정보 처리량과 메모리량을 최소화할 수 있고 연속오류가 많은 상태에서 우수하다. 주파수도약통신 시스템은 기준 데이터 전송속도를 16Kbps, 도약주파수의 정보전송속도 20 Kbps로 변환하여 정보 데이터 흐름을 구성하여, 그림 3에서와 같이 주파수가 안정되었을 때 정보를 전송하고 도약 주파수가 전환되는 시간에는 정보의 전달이 없도록 하여 도약주파수가 바뀌는 시간에 신호의 불연속으로 인한 정보손실이 없도록 하였으며, 수신기에서는 역으로 20Kbps로 수신된 도약주파수의 캐리어를 16Kbps의 연속 데이터로 변환한다.

주파수도약 시스템의 정보전송체제는 음성 및 데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps, 16 Kbps)의 송신과 수신으로 구분된다. 그림 1과 같이 송신절차는, 음성은 보코더에서 양자화 및 음성 압축하여 2.4Kbps로 디지털 데이터로 변환 후, 오류정정 부호화, 블록 반복 코딩하여 16Kbps로 변환한 후, 부호화 하여 20Kbps로 변환하여 고주파회로로 전달한다. 고주파회로에서 정보 데이터는 이진 FSK 신호로 변조되며 의사 불규칙 시퀀스 발생기에서

생성된 의사 불규칙 신호에 맞추어 고속 주파수 합성기에서 매 순간마다 불규칙하게 생성된 도약주파수에 의해 무선채널로 고주파 신호가 전송된다. 데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps)는 오류정정 부호화 및 블록 반복 코딩을 수행하여 16Kbps로 변환하여 음성과 동일한 방식으로 도약 버퍼 및 고주파회로로 전달한다. 16Kbps 데이터는 리던던시가 없으므로 비트 변환을 하여 연속적인 직류성분이 없도록 신호를 구성하여 도약 버퍼로 전달한다.

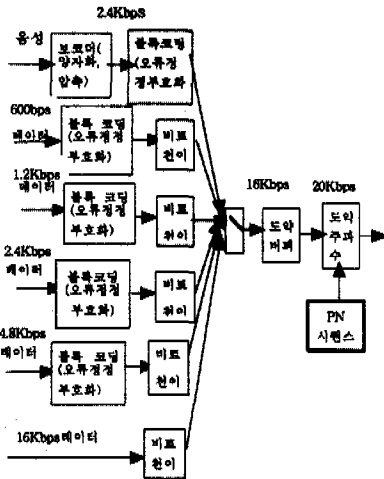


그림 1. 음성 및 디지털 정보의 송신

정보를 수신할 때, 음성은 고주파 회로에서 수신된 도약신호에서 20Kbps 디지털 신호를 복조하여 도약 버퍼로 전달한다. 도약 버퍼에서는 16Kbps 데이터로 변환한 후 디인터리버, 오류정정기에서 연속 오류 및 불규칙오류를 정정하고 도약잡음을 제거시켜 2.4Kbps로 변환되어 보코더로 전달된다. 보코더는 디지털 신호를 복원 및 D/A 변환되어 음성으로 복조한다. 저속 데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps)는 음성과 같은 방법으로 도약 버퍼에서 16Kbps 데이터로 변환된 후, 블록 디코더와 오류정정기에서 연속오류 및 불규칙오류를 정정하여 원래의 데이터율로 정보를 복조 한다. 16Kbps 데이터는 송신기와 동일한 비트 변환기로 변환한 후 단말로 전송된다. 주파수도약 시스템에서 16Kbps로 전송되는 무선채널의 비트 오류율을  $P_b$ 라 하면 오류는 Binomial 분포이므로, majority 오류정정은 반복횟수가  $L$ 일 때  $(L+1)/2$ 회 이상 수신된 정보 비트를 택하는 원리이므로 오류율은 식(1)이 된다. 여기서  $P_r$ 은 오류 정정된 수신데이터의 오류율이다.<sup>[2], [3], [4]</sup>

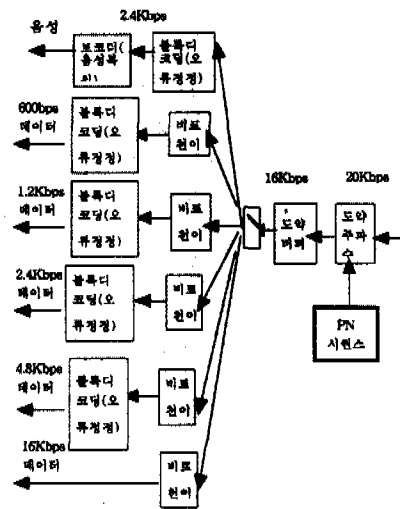


그림 2. 음성 및 디지털 정보의 수신

$$P_r = \sum_{i=\frac{L+1}{2}}^L L C_i P_b^i \times (1 - P_b)^{(L-i)} \quad (1)$$

다음은 전파간섭이 있는 전술통신환경에서 데이터(0.6, 1.2, 2.4, 4.8Kbps) 또는 음성을 주파수도약 채널을 통해 송신 및 수신하면서 오류를 정정할 수 있는 방법과 프로토콜 설계이다. 디지털 정보전송을 위한 조건으로 도약 시스템에서 HOP 프레임의 길이는 25바이트, 기준 데이터 전송율은 16Kbps이며 도약채널에서 전송속도는 20Kbps이다.

불규칙 오류 및 연속오류 정정은 저속 데이터의 데이터율에 따라 표1과 같이 블록 길이와 블록의 반복횟수를 정하여 저속데이터를 16Kbps속도로 블록단위를 반복횟수 만큼 전송하고 전송속도 차이는 공블록을 전송한다. 블록들은 서로 다른 도약주파수로 송신되도록 분포시켜 어떤 주파수가 간섭받더라도 수신부에서 복원되도록 프로토콜을 구성하며 실시간으로 송신한다. 수신부는 반복 전송된 블록의 동일 비트들을 합하여 비트들이 1 또는 0의 개수가 많은 값으로 오류정정(majority decoding)한다. 전술통신 환경에서 도약주파수들이 20%까지 재머에 의해 간섭되는(평균 5개의 도약주파수 중 1개 간섭) 무선채널에서 연속오류(블록 정보 손실)를 정정할 수 있도록 제안된 블록 디코딩 방법을 적용하여 데이터 처리를 간단히 하면서 프로세서의 처리 시간과 메모리 용량도 최소화하였다.<sup>[6]</sup>

표 1에서 데이터율에 따라 블록 길이는  $L_{blk}$ , 반복 전송횟수는  $N$ , 버퍼 프레임 길이는  $L_{frm}$ , 공

블록은  $L_{emp}$ , 정보 프레임 길이는  $L_{dblk}$ ,  $R$ 은  $L_{frm}$ 에 대한  $L_{dblk}$ 의 비율이며 복조 지점은  $T_{decod}$ , HOP 길이는  $L_{hop}$ 이라 하였을 때, 정보 프레임  $L_{dblk}$ 와  $R$ 의 곱이 정수가 되도록 블록길이  $L_{blk}$ 를 설계하여야 하며 각 변수들의 함수관계는 다음과 같다.

표 1. 데이터율에 대한 데이터 전송 변수

전송 속도 Kbps	블록길이 byte $L_{blk}$	반복 횟수 $N$	정보프레임 (byte) $L_{dblk}$	프레임 (byte) $L_{frm}$	공블록 byte $L_{emp}$	블록코드, 디코더 (byte)	전송 비 $R$
0.6	27	25	675	720	45	1440	16/15
1.2	27	13	351	360	9	720	40/39
2.4	27	5	135	180	45	360	4/3
4.8	27	3	81	90	9	180	10/9

$$L_{blk} \geq L_{hop} \quad (2)$$

$$L_{dblk} = L_{blk} * N \quad (3)$$

$$L_{emp} = L_{frm} - L_{dblk} \quad (4)$$

$$T_{decod} = L_{blk} * (N - 1) \quad (5)$$

$$R(N, rate) = L_{frm} \div L_{dblk} \quad (6)$$

데이터 수신처리는 그림 2와 같이 도약주파수 변환기에서 수신된 20Kbps 신호를 도약 버퍼에서 16Kbps로 변환하여 신호의 종류에 따라 복조를 한다. 블록 디코딩과 Majority 오류정정 방법으로 정보의 오류를 제거하고 음성은 보코더로 처리하며 데이터(0.6, 1.2, 2.4, 4.8Kbps)는 반복횟수 만큼 동일 비트를 합하여 1 또는 0의 숫자가 많은 값을 선택하여 불규칙오류 및 연속오류를 정정하며 간섭오류가 발생한 도약 홉 프레임은 블록 디코딩 방법으로 오류를 정정하고 원래의 데이터율로 복원된다. 음성은 2.4Kbps 데이터와 동일하게 처리된 후 보코더에서 음성신호로 복원하며, 16Kbps 데이터는 송신기에서 비트 천이 시킨 시퀀스와 동일하게 역천이 되어 직류성분을 제거하여 복호화 한다.

1. 전송속도 16Kbps 데이터의 전송 방법

1) 송신 과정

주파수도약통신시스템에서 데이터부호화의 표준 전송속도가 16Kbps이므로 오류정정 부호화는 없

며 15비트 PN시퀀스를 이용하여 비트 천이를 시켜 연속적인 동일 비트를 제거하고 도약 버퍼로 보내 진다. 도약버퍼에서는 도약주파수로 무선전송을 위해 25바이트를 한 개의 프레임으로 구성하여 20Kbps의 전송속도로 변환하여 도약주파수에 실는다. 이때, 도약 프레임간에는 도약주파수가 변하는 시간이 있으며, 이 순간은 그림 3과 같이 정보 전송이 없다. 프레임 단위로 구성된 데이터는 PN 시퀀스 발생기에서 생성되는 의사불규칙 도약주파수로 무선채널로 송신된다.

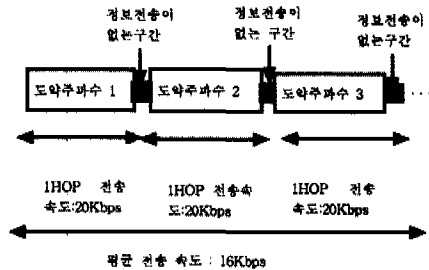


그림 3. 도약통신에서 도약 주파수 구성

2) 수신 과정

수신된 도약주파수로부터 20Kbps 데이터를 복조하여 25바이트씩 한 프레임으로 도약 버퍼로 보내 진다. 도약 버퍼에서 16Kbps로 변환된 후 송신기와 동일한 15비트 PN 시퀀스로 비트 역천이 시켜 단 말로 수신된다.

2. 저속 데이터(4.8, 2.4, 1.2, 0.6Kbps) 전송방법

1) 송신 과정

데이터율 4.8Kbps 저속데이터의 전송을 위한 블록도는 그림 4와 같이 설계하였다. 송신 버퍼 60바이트, 블록 코드 180바이트로 구성하였으며 도약 버퍼, 주파수 도약기 등으로 구성된다. 블록코더 내부의 블록 길이, 공블록 길이는 표 1의 값으로 결정되며, 반복된 블록(블록1-1, 1-2, 1-3)이 정보프레임  $L_{dblk}$ 이며 공블록을 합한 부분이 프레임 길이  $L_{frm}$ 이다. 데이터의 전송절차는 입력되는 데이터를 송신 버퍼의 블록 1부터 한 바이트씩 순서대로 저장하고 블록 2에 대해서 계속한다. 데이터 전송이 완료될 때까지 블록 1과 블록 2를 번갈아 채운다. 블록 코더에서는 송신 버퍼의 블록 1을 3회 복사하여 블록 코더에 채우고 기준 데이터율(16Kbps)과 일치되도록 전송률 조정을 위해 공블록(9 byte)을

지정된 후, 같은 방법으로 블록 2를 3회 복사하여 채우고 공블록(9byte)을 지정하며 전송이 완료될 때까지 번갈아 블록 코더에 채운 후, 16Kbps의 경우와 동일한 방법으로 비트를 천이 시킨다. 도약 버퍼에서는 비트 천이된 데이터를 차례로 읽어 25바이트 프레임을 만든다. 버퍼를 끝까지 읽으면 순환적으로 다시 처음부터 읽으며 전송속도는 20Kbps가 된다. 주파수 도약기는 도약 버퍼의 도약 홉 프레임울 도약주파수에 번조시켜 송신한다.

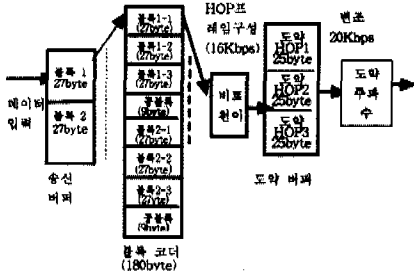


그림 4. 저속(4.8Kbps) 데이터의 전송

2.4~0.6Kbps 데이터의 송신은 4.8Kbps와 같은 구조를 가지며 표 1의 값에 따라 반복횟수, 정보프레임 길이, 프레임 길이, 공블록 길이, 블록 코더의 크기를 결정한다. 데이터의 처리는 4.8Kbps의 경우와 동일하다.

2) 수신 과정

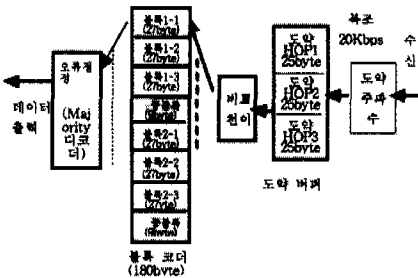


그림 5. 저속(4.8Kbps) 데이터 수신

데이터를 4.8Kbps 저속데이터의 수신은 그림 5와 같이 설계하였다. 주파수 도약기, 도약 버퍼, 블록 디코더, Majority 오류정정기, 수신버퍼 등으로 구성된다. 도약 버퍼는 주파수도약기에서 복조된 신호로부터 20Kbps의 홉 프레임(25바이트)을 수신하여 16Kbps의 연속 데이터로 변환한다. 표 1과 같이 블록 디코더는 180바이트로 구성하였으며 도약 버퍼에서 차례대로 데이터를 읽어 16Kbps의 경우와 동

일하게 비트를 천이 하여 블록 코더의 블록에 차례로 채우고 버퍼가 다 채워지면 다시 처음부터 반복하여 수신된 데이터를 쌓는다. 블록 디코더 내부의 블록 길이, 공블록 길이는 표 1의 값으로 결정되며, 송신부와 마찬가지로 반복된 블록(블록1-1, 1-2, 1-3)이 정보프레임 L\_dblk 이며 공블록을 합한 부분이 프레임 길이 L\_frm 이다. 도약간섭으로 인한 연속오류와 채널의 불규칙 오류정정은 블록 디코더의 블록1-1, 블록1-2, 블록1-3에서 동일위치의 데이터를 한 바이트씩 Majority 디코더에 보내면 비트를 검사하여 1 또는 0의 개수가 많은 값을 취한다. Majority 디코더는 바이트 단위로 3회 값을 입력시킨 후 결과치를 바이트 단위로 읽어 수신버퍼에 보내는 구조로 설계하였다. 블록 디코더에서는 전송속도 조절을 위해 공블록(9 byte)은 읽지 않으며, 블록 1의 수행이 완료되면 블록 2를 수행하며 번갈아 데이터 수신이 종료될 때까지 반복한다. 수신버퍼에 일정량의 데이터가 쌓이면 4.8Kbps 로 데이터를 단말로 전송한다.

전송속도 2.4~0.6Kbps 데이터의 수신은 4.8Kbps와 같이 전송속도에 따라 표 1의 값에 따라 반복횟수, 정보프레임 길이, 프레임 길이, 공블록 길이, 블록 코더의 크기가 정해진다. 데이터의 수신절차는 4.8Kbps의 경우와 같다.

3. 음성신호의 전송 방법

1) 송신 과정

음성신호의 전송은 2.4Kbps 저속데이터의 전송과 유사하며 음성을 양자화하고 압축하는 보코더<sup>[8]</sup>가 판단에 추가된다. 보코더에서는 음성을 16Kbps로 양자화하고 2.4Kbps로 압축하여 2.4Kbps 데이터 처리와 동일하나 비트 천이는 시키지 않는다.

2) 수신 과정

비트천이는 없으며 2.4Kbps 저속데이터의 수신과 유사하며 오류정정된 2.4Kbps의 디지털 신호를 보코더에서 16Kbps로 복원 및 음성신호로 변환하여 출력시킨다.

III. 성능 분석

전송통신환경이 극한조건인 전송채널 오류확률 10<sup>-1</sup>인 주파수도약 통신 조건에서 제안된 시스템의 성능 분석과, 전송채널 환경이 보통인 10<sup>-2</sup>일 경우에 대해 분석하였다. 이때 채널환경은 AWGN 채널

에서 16Kbps 데이터를 Noncoherent FH/BFSK 방식으로 전송하는 조건이다. 또한, 재머에 의해 전체 도약채널의 20%까지 간섭받아, 간섭된 도약채널의 정보가 모두 손실되어 연접 오류가 발생하는 상황에서 제안된 시스템의 성능을 계산과 시스템 측정에서 분석하였다.

표 2. 채널 오류 10<sup>-1</sup>일 때 오류율 개선

데이터 율	채널 오류	오류 정정 (계산치)	오류 정정 (측정치)
4.8Kbps	10 <sup>-1</sup>	2.8 × 10 <sup>-2</sup>	3.6 × 10 <sup>-2</sup>
2.4Kbps		8.6 × 10 <sup>-3</sup>	1.3 × 10 <sup>-2</sup>
1.2Kbps		9.9 × 10 <sup>-3</sup>	2.3 × 10 <sup>-2</sup>
600bps		1.6 × 10 <sup>-1</sup>	0 × 10 <sup>-3</sup> 이하

표 3. 채널 오류 10<sup>-2</sup>일 때 오류율 개선

데이터 율	채널 오류	오류 정정 (계산치)	오류 정정 (측정치)
4.8Kbps	10 <sup>-2</sup>	3.0 × 10 <sup>0</sup>	4.6 × 10 <sup>1</sup>
2.4Kbps		1.0 × 10 <sup>8</sup>	1.0 × 10 <sup>3</sup>
1.2Kbps		1.7 × 10 <sup>18</sup>	0 × 10 <sup>3</sup> 이하
600bps		5.1 × 10 <sup>-33</sup>	0 × 10 <sup>3</sup> 이하

본 논문에서 사용한 Majority 디코딩 및 블록 인터리빙에 의한 오류정정 방법은 FEC 및 비트 인터리빙에 의한 오류정정 방법과 비교하여 채널 오류가 심한 조건에서 시스템 설계와 데이터 처리를 간단히 할 수 있다. 인터리빙의 경우 도약채널이 고려 되도록 코더의 버퍼 크기가 Hop 길이(L\_hop)보다 약간 크게 설계하여 간섭 오류를 보정한다. 제안된 블록 인터리빙 알고리즘은 크기가 27 × 3 바이트가 필요하며 처리도 27바이트를 연속적으로 3회 반복 전송하는 단순한 구조이나, 비트 인터리빙 방법은 27 × 27 바이트의 크기가 필요하며 처리방법도 X축으로 쓰고 Y축으로 비트를 읽어 처리하며 비트 단위로 계산하므로 복잡한 구조를 가지며 계산량도 많아 실시간 처리가 어렵고 수신부의 구조 또한 매우 복잡하다. 따라서 오류가 심한 채널환경에서 성능은 비슷하면서 설계구조가 간단하고 처리량도 단순함을 알 수 있다. 음성의 경우는 기존에는 CVSD에서 16Kbps 디지털 데이터로 변환하여 전송하였으

나<sup>7)</sup> 본 논문에서는 2.4Kbps로 음성 압축하여 5회 반복 오류정정을 수행하였으므로 오류율이 향상되었고 도약간섭 잡음도 제거되었다. 전송채널의 오류확률이 10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup> 인 경우 디지털 데이터의 오류율 개선결과는 표 2 및 표 3과 같다. 음성은 2.4Kbps와 동일하다.

표 4. 채널 간섭이 있을 때 오류율 개선

데이터 율	채널 간섭 20%에서 오류 정정	
	계산치	측정치
4.8Kbps	1.0 × 10 <sup>-1</sup>	2.1 × 10 <sup>-1</sup>
2.4Kbps	7.1 × 10 <sup>-2</sup>	5.7 × 10 <sup>-2</sup>
1.2Kbps	7.6 × 10 <sup>-2</sup>	8.3 × 10 <sup>-2</sup>
600bps	5.2 × 10 <sup>-4</sup>	3.0 × 10 <sup>-4</sup>

계산치는 식 (1)을 사용하였으며 측정치는 그림 6 과 같이 실험 모형을 하드웨어로 구성하였으며, 오류측정기에서 표준이 되는 저속데이터를 송신기로 전송하면 송신기에서 Majority 코딩 및 블록 인터리빙을 수행하여 주파수도약 채널로 전송하게 된다. 전송채널에서는 각각 정해진 수준의 잡음이 가해지며 수신기로 수신된 신호는 블록 디인터리빙 및 Majority 오류정정을 수행한 복조된 저속의 데이터를 오류측정기로 보내진다. 채널오류가 10<sup>-1</sup>와 10<sup>-2</sup> 인 경우 잡음 종류는 AWGN 채널의 불규칙성 잡음이며, 20% 간섭채널은 재머에 의해 연속오류를 발생시키는 잡음 형태로서, 오류측정기에서 최초의 표준 데이터와 비교하여 비트 오류율을 측정하였다.

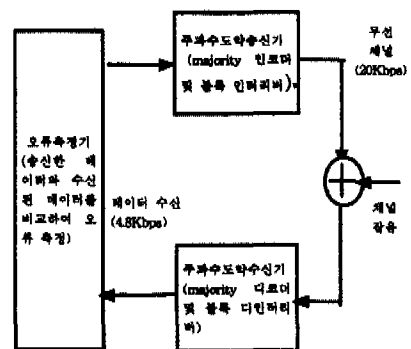


그림 6. 저속(4.8Kbps)데이터를 전송할 때 오류측정

20%의 도약주파수가 간섭받는 극한 통신조건에서 연속오류(burst error) 보정에 대한 성능을 시험

한 결과, FEC 및 비트 인터리빙 방법은 코더의 크기가 충분히 커야 연속오류에 효과가 있으며 이를 처리하기 위한 계산 량도 폭증하게 되나, Majority 복호 및 블록 반복 코딩/디코딩 방법은 코더의 크기를 최적화 하면서 처리시간도 최소화할 수 있었으며 블록 인터리빙 방법으로 보정이 가능함을 알 수 있다. 표 4에서는 전체 도약채널에서 20%까지 도약 주파수 채널이 손실되어도 오류정정 능력이 있음을 보여주었다. 4.8Kbps는  $10^{-1}$ , 2.4Kbps는  $10^{-2}$ , 1.2Kbps는  $10^{-3}$ , 600bps는  $10^{-4}$ 수준을 얻었으며 계산치와 시스템에서 측정결과가 비슷하였다. 그림 7에서는 전송속도에 따른 오류 성능의 계산 결과를 그래프로 도시하였다.

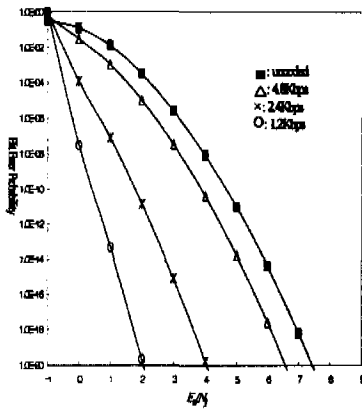


그림 7. 전송속도별 오류정정된 정보의 BER

#### IV. 결론

극한 통신상황에서 간섭 및 탐지를 회피하면서 디지털 정보를 전송하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 전파간섭 및 극한조건의 무선통신 환경에서 무선간섭과 도청을 회피하면서 디지털정보를 전송할 수 있는 주파수도약 통신시스템을 설계하였다. 무선채널은 유선에 비해 간섭잡음으로 인해 채널상태가 불량하고 간섭받은 채널은 정보가 모두 손실되므로 주파수도약 통신에서 채널오류 보정을 위해 음성 및 데이터(16Kbps, 4.8Kbps, 2.4Kbps, 1.2Kbps, 600bps)를 20Kbps 데이터 프레임 셀로 변환하여 무선 전송하였다. 송신기에서 일정한 블록 단위로 데이터를 반복 전송하고 수신기에서 블록 디코딩 및 Majority 오류정정 기법을 사용하여 연속오류와 랜덤오류를 정정하고 처리 시간 및 방법을 단순화시키면서 채널 보상도 할 수 있었다.

제한된 알고리즘은 잡음이 심한 채널환경에서 블록 반복 코딩 및 비트 단위의 Majority 오류정정 방법으로 오류를 복원할 수 있었으며 시스템 구성도 단순하게 설계할 수 있었다.

전체 대역 중 20%까지 주파수 도약 채널이 간섭으로 손실되어도 연속오류를 제거할 수 있었으며, 도약채널이 20%까지 간섭받는 조건에서 4.8Kbps는  $10^{-1}$ , 2.4Kbps는  $10^{-2}$ , 1.2Kbps는  $10^{-3}$ , 600bps는  $10^{-4}$ 수준이었다. 불규칙성 오류를 고려한 전송채널 오류확률  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  일 때 표 2 및 표 3과 같이 오류율을 개선하였으며 계산치와 시스템에서 측정결과가 비슷하였다. 음성은 기존의 CVSD에서 16Kbps 디지털 데이터로 변환하는 방법과 비교하여, 2.4Kbps로 음성 압축하여 5회 반복 오류정정을 수행하였으므로 오류율이 향상되고 도약간섭 잡음도 제거되었다. 따라서 간섭 채널환경에서 코더의 크기를 최적화 하면서 처리시간도 최소화할 수 있었다. 도약시스템에서 데이터 전송을 위해 블록 길이를 도약홉 길이보다 약간 길게 설정하여 도약홉 프레임 내에서 연속적으로 동일 위치에 오류가 발생할 경우를 배제하였고 블록길이는 고정시켰으며 속도에 따라 반복횟수와 공블록 길이를 지정하므로써 데이터처리를 원활히 할 수 있었다. 기존의 설계[6]에 비해 디지털 정보의 직류성분 억제하고 블록 반복 코딩 및 Majority 코딩 기법을 적용하여 버퍼구조 및 관련 프로토콜을 단순화하면서 최적의 알고리즘을 갖도록 설계하여 무선채널 간섭 보상 및 오류정정 효율을 높일 수 있었으며, 제한된 알고리즘은 FH/CDMA, FH/FDMA 기법 등 위성통신 및 차세대 전송용 통신시스템에 응용할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 참고 문헌

- [1] R. C. Dixon, "Spread spectrum systems," John Wiley & Sons. '76.
- [2] 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 '84.
- [3] Timothy Pratt, Charles W. Bostian, "Satellite Communications" John Willy & Sons. '86.

- [4] 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. '92.
- [5] Donald R. J. White, "A handbook series on electromagnetic interference and compatibility." *Don white consultants, Inc.* Vol. 2. ppl.19. '80.
- [6] 한성우 외2, "데이터 어댑터 설계" 국방과학연구소 기술보고서 CESD-517-950967 '95. 12.
- [7] 한성우 외2, "차기FM무전기 기술보고서" 국방과학연구소 기술보고서 CESD-517-93352L, '93. 5.
- [8] Andreas S Spanias, "Speech coding" *Proceeding of the IEEE*, Vol. 82, No. 10 Oct. '94.

한 성 우(Sung-Woo Han)

정회원

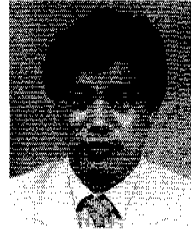


1982년 10월~현재 : 국방과학연구소 통신연구실  
 1995년 3월~현재 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심 분야> 주파수도약통신, 위성통신, 디지털신호처리

김 용 선(Yong-Sun Kim)

정회원



1977년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 기술정보센터근무  
 1994년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심 분야> 영상신호처리, 디지털신호처리

전 용 익(Yong-Uk Chun)

정회원



1980년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)  
 1979년 11월~94년 2월 : 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 Jun)

정회원

현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수  
 제 24권 2B호 참조