

논문-99-4-1-04

주파수도약 통신에 적합한 정보부호화 기법

박대철*, 김용선**, 한성우**, 전용억***, 전병민****

Information Coding Schemes for the Frequency Hopping Communication

Daechul, Park*, Young-Sun Kim**, Sung-Woo Han**, Young-Uk Chun*** and Byung-Min Jun****

요 약

본 논문은 전파의 간섭이 심한 극한통신 상황에서 통신 정보의 감청, 방해를 극복하는 능력을 갖는 주파수도약 통신시스템을 이용하여 음성 및 데이터 정보를 안정적으로 전송할 수 있는 방법을 다루었다. 일반적인 FEC 및 비트 인터리빙 방법을 적용할 경우, 시스템이 복잡해지고 오류 정정 부호화 및 비트 인터리빙 처리에 많은 시간이 소요된다. 본 논문에서는 구조가 간단하면서 극한조건에서의 주파수도약통신 상황에서 음성 및 데이터(16Kbps, 4.8Kbps, 2.4Kbps, 1.2Kbps, 0.6Kbps)를 무선간섭에 대처할 수 있도록 주파수도약 시스템에 적합한 부호화하는 정보 부호화 기법인 다수 오류 정정 (majority error correction) 기법 및 블록 인터리빙 기법이 제안되었다. 송신기에서 저속 데이터를 일정한 블록 단위로 반복 프레임을 구성하여 20Kbps 도약홉 프레임 셀을 전송하고 수신기에서는 블록 디코딩 및 majority 오류 정정 기법을 사용하여 도약채널에서 발생하는 연접 오류 혹은 랜덤 오류를 정정한다. 제안한 방법은 정보부호화/복호화 처리 시간 단축 및 계산 복잡도를 단순화시키면서 채널 극복 성능을 개선하였고 시스템 시험을 통하여 성능을 확인하였다.

Abstract

This paper addresses schemes which securely transmit voice and data information under the worst communication environment using the frequency hopping(FH) communication system to avoid monitoring or interference against enemy. In case of using the conventional FEC and bit interleaving scheme, the processing time for error control coding and bit interleaving due to system complexity is highly demanded. In this paper, the effective information coding scheme of majority error correction and block interleaving compatible to the proposed FH communication system is proposed to transmit voice or data(16Kbps, 4.8Kbps, 2.4Kbps, 1.2Kbps, 0.6Kbps) under the worst FH communication channel. In transmitter, low rate data signals are configured to majority data blocks, and transmitted repeatedly to FH channel which are structured to 20Kbps hopping frame cells. In receiver, the received data are decoded block by block, and taken majority error correction. Consequently, burst or random errors are corrected at the block deinterleaver and the majority decoder. The proposed coder structure reduces the coding/decoding processing time as well as the jamming interferences, and further simplify the data processing complexity for FH communication. Improved performance of the proposed scheme was verified under simulated channel environments.

I. 서 론

대역확산 통신은 전송 신호의 주파수 대역폭이 메시지 신호의 주파수 대역폭보다 훨씬 넓은 무선통신의 간섭, 탐지, 도청으로부터 정보를 보호하기 위한 통신 기술이다. 대역확산 기술은 직접확산(direct sequence : DS), 주파수도약(frequency hopping : FH), 첩(chirp), 시간도약(time

* 한남대학교 정보통신공학과
Dept. ICE, Hannam Univ.

** 국방과학연구소

Agency for Defence Development

*** 대덕대학 전자계산기과

Dept. of CS, DaeDuk Univ.

**** 충북대학교 컴퓨터공학과

Detp. of CE, Chungbuk National Univ.

hopping : TH), FH/DS 복합(FH/DS hybrid) 기술 등이 있다. 이 중에서 주파수 도약(FH) 대역확산 방식은 방해 신호의 영향을 제거하기 위한 통신기술로서, 송수신기의 주파수가 의사잡음 코드발생기에 의해 불규칙하고 아주 빠른 속도로 바뀌면서 송신기와 수신기가 서로 약속된 도약주파수로 통신함으로써 적이 주파수를 예측할 수 없도록 방해 및 감청을 회피하는 통신방식이다.^[1]

본 논문은 전파의 간섭이 심한 극한통신 상황에서 통신 정보의 감청, 방해를 극복하는 능력을 갖는 주파수도약 통신시스템을 이용하여 음성 및 디지털 정보를 원활히 전송할 수 있는 방법을 연구하였다. 주파수도약 통신시스템은 30~88MHz의 VHF 대역에서 약 0.01초마다 주파수를 불규칙하게 바꾸면서 주파수 도약하는 2진 FSK변조 방식이며 표준전송속도 16Kbps의 디지털 정보를 20Kbps 데이터 프레임으로 변환하여 주파수도약 무선채널로 전송한다. 극한 무선채널 환경에서 요구되는 데이터 오류율은 10^{-1} 수준으로^[2] 알려져 있다. 주파수도약 통신에서 도약주파수가 20%까지 간섭받는 조건에서 통신을 유지할 수 있도록 설계조건을 정하여 음성 및 데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps, 16Kbps)를 주파수도약 채널에 부합되도록 부호화하는 알고리즘을 설계하였다.

소형, 경량, 다기능 및 실시간 처리가 요구되는 주파수도약 통신시스템의 데이터 부호화 구조 설계에 일반적인 FEC 및 비트 인터리빙 방법을 적용할 경우, 시스템이 복잡해지고 오류정정 부호화 및 비트인터리빙 처리에 많은 시간이 소요된다. 어떤 도약주파수가 간섭받으면 매우 긴 연속오류(burst error)가 발생된다. 따라서 비트 인터리빙도 해당 비트 수의 제공이 되어야하므로 버퍼가 커지고 계산량이 많아진다. 본 논문에서는 구조가 간단하면서 극한조건인 주파수도약통신 상황에서 우수한 데이터 전송능력을 갖는 반복코드(majority error correction 방법) 및 블록 인터리빙 기법을 적용한 주파수도약 통신 알고리즘을 제안하였다. 블록 인터리빙의 블록길이는 한 도약주파수의 정보 길이와 비슷하게 단위 블록을 정하고 블록은 데이터 전송율에 따라 수회 반복하여 전송한다. 수신기에서 블록단위로 디인터리빙하고 이들 블록들을 majority 오류정정하는 방법이다. 따라서 제안한 알고리즘은 간단한 설계구조, 짧은 처리시간, 빠른 처리속도, 그리고 간섭된 주파수 정보를 보상할 수 있는 주파수도약 통신에 적합한 디지털 데이터 부호화 알고리즘이다.

주파수도약 통신시스템은 디지털 정보전송을 위해 디지털 정보동기, 불규칙 오류 및 연속오류 정정 부호화 등의

알고리즘이 필요하다. 무선 간섭 및 감청에 대응할 수 있는 주파수도약 채널환경에 적합한 디지털 정보전송 알고리즘을 제시하였으며 시스템 실험을 통해 성능을 분석하였다.

II. 주파수도약 통신시스템의 디지털 정보전송 알고리즘 설계

본 연구의 목적은 무선채널 간섭이 심한 통신환경에서 주파수도약 통신채널을 통해 정보를 전송할 때, 불규칙 오류 및 도약간섭 오류를 효율적으로 정정하는 데이터 부호화 알고리즘을 적용한 주파수도약 통신시스템을 설계하는 것이다. 송신기에서 데이터의 블록길이는 한 개의 도약 프레임보다 약간 크게 정하였으며, 저속 데이터와 16Kbps 데이터간 전송속도에 비례하여 블록을 홀수 번 반복 전송한다. 수신기에서는 수신된 정보를 블록단위로 복호화하며 반복 횟수만큼 수신된 정보비트를 점검하여 1 또는 0 중, 많은 값을 취하는 majority 오류정정 기법을 사용하였다.

FEC 및 비트 인터리빙 방법을 적용하면 비트 인터리빙을 위해 X축으로 쓰고 Y축으로 읽어 부호화하므로 비트단위로 처리해야 하고 오류정정 코드의 처리기법도 구현하여야 하기 때문에 계산량이 많아 실시간 처리가 어렵다. 또한 블록길이가 긴 경우, 버퍼도 블록길이의 제공만큼의 버퍼 용적으로 설계해야 하기 때문에 수신기에서 복호화 절차도 그만큼 복잡하다.

그러나 본 연구에서 제안한 방법은 무선간섭 가능성이 상존하는 도약통신 채널과 결부시켜 정해진 길이의 블록을 반복 전송함으로써 블록코딩이 이루어지고 수신기에서는 연속적으로 정보를 바이트 단위로 저장하면서 majority 방식으로 오류를 판단하기 때문에 설계구조 및 처리 알고리즘을 간단하게 할 수 있다. 따라서 버퍼가 단순하고 프로세서의 정보 처리량과 메모리량을 최소화할 수 있고 연속오류의 길이가 긴 경우가 많은 주파수도약 통신에서는 성능이 우수하다.

주파수도약 통신시스템은 기준 데이터 전송속도가 16Kbps이며 도약주파수의 정보 데이터 흡은 20Kbps로 구성한다. 그림 3에서와 같이 주파수가 안정되었을 때 정보를 전송하고 도약 주파수가 전환되는 시간에는 정보의 전달이 없는 구조이며 부호화된 데이터 전송속도와 정보데이터 흡의 전송속도가 매칭될 수 있도록 구성하였다. 역으로 수신기에서는 20Kbps로 수신된 도약주파수의 캐리어

를 16Kbps의 연속 데이터로 변환한다.

정보전송은 음성 및 데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps, 16Kbps)의 송신과 수신으로 구분된다. 송신기에서 음성은 보코더를 통해 양자화 및 음성 압축하여 2.4Kbps로 디지털 데이터로 변환되고 오류정정 부호화 및 블록 반복 코딩하여 16Kbps로 부호화한 후, 20Kbps 도약 데이터 흐름으로 변환하여 고주파 회로로 전달한다. 고주파 회로에서 정보 데이터는 이진 FSK 신호로 변조되며 의사 불규칙 도약주파수에 변조시켜 무선채널로 전송된다.

데이터를 0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps 데이터 송신은 부호화 및 블록 반복 인터리빙을 수행하여 16Kbps로 변환한 후, 도약버퍼 및 고주파 회로로 전달된다. 16Kbps 데이터는 리던던시가 없으므로 비트 변환하여 도약 버퍼로 전달한다.

정보를 수신할 때, 음성은 고주파 회로에서 수신된 도약신호에서 20Kbps 디지털 신호를 복호화하여 도약 버퍼로 전달한다. 도약 버퍼에서는 16Kbps 데이터로 변환한 후, 디인터리버 및 오류정정기에서 오류정정을 수행하고 2.4Kbps로 변환되어 보코더로 전달된다. 보코더는 디지털 신호를 복원하고 D/A 과정을 거쳐 음성으로 변환된다.

데이터를 0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps 저속데이터 수신은 도약 버퍼에서 16Kbps 데이터로 변환된 후, 블록 디코더와 오류정정기에서 오류정정을 수행하여 원래의 저속 데이터로 복원된다. 16Kbps 데이터는 송신기와 동일한 비트 변환기로 변환되어 단말로 전송된다.

주파수도약 시스템에서 오류율은 16Kbps로 전송되는 무선채널의 비트 오류율을 P_b 라 하면 오류는 Binomial 분포이므로 majority 오류 정정할 때, 반복횟수가 L 인 경우 $(L+1)/2$ 회 이상 수신된 정보 비트를 택하는 원리이므로 오류율은 식(1)이 된다. 여기서 P_r 은 오류 정정된 수신데이터의 오류율이다.^{[3][4][5]}

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

다음은 전파간섭이 있는 전술통신환경에서 데이터를 0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps 데이터와 음성을 주파수도약 채널을 통해 송신 및 수신하면서 오류를 정정할 수 있는 방법과 프로토콜 설계이다. 디지털 정보전송 환경은 도약 시스템내에서 HOP 프레임의 길이 25바이트, 표준 데이터 전송을 16Kbps, 도약채널의 전송속도 20Kbps이다.

도약통신 시스템에서 오류정정을 위한 도약 데이터 부호화 구조는 표 1과 같다. 데이터 전송속도에 따라 블록 길이 및 블록의 반복횟수를 설계하였다. 한 프레임을 기준으로 저속데이터를 16Kbps속도로 변환할 때, 단위블록을 반복횟수 만큼 전송하면서 전송속도 차이에 해당되는 부분은 공블록(L_emp)을 전송한다. 블록들은 서로 다른 도약주파수로 송신되도록 분포시켰으며 어떤 주파수가 간섭받더라도 수신기에서 복원이 가능한 프로토콜을 구성하였다. 또한 송신은 실시간으로 이루어 진다. 수신기에서는 전송받은 블록들을 정해진 위치에 저장한 후, 동일 비트들을 합하여 비트들이 1 또는 0의 개수가 많은 값으로 오류정정(majority decoding)을 한다. 극한 통신환경에서 도약주파수들이 20%까지 간섭(평균 5개의 도약주파수 중 1개 간섭) 받는 상황에서 발생하는 연속오류(블록 정보 손실)를 정정할 수 있도록 주파수도약 시스템에 블록 복호화 방법을 적용하였다.^[6]

표 1에서 블록 길이는 L_blk , 반복 전송횟수는 N , 버퍼 프레임 길이는 L_frm , 공블록은 L_emp , 정보 프레임 길이는 L_dblk , R 은 L_frm 에 대한 L_dblk 의 비율, 복조 시점은 T_decod , HOP 길이는 L_hop 이라 지정하였으며 정보 프레임 L_dblk 와 R 의 곱이 정수가 되도록 블록길이 L_blk 를 설계하였다. 각 변수들의 함수관계는

표 1. 데이터 율에 대한 데이터 부호화 인자
Table 1. Data coding parameters on each data rates.

전송속도(Kbps)	블록길이(byte) : L_blk	반복횟수 : N	정보프레임 (byte): L_dblk	프레임(byte) : L_frm	공블록(byte) : L_emp	블록 코더, 디코더 (byte)	전송비 : 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

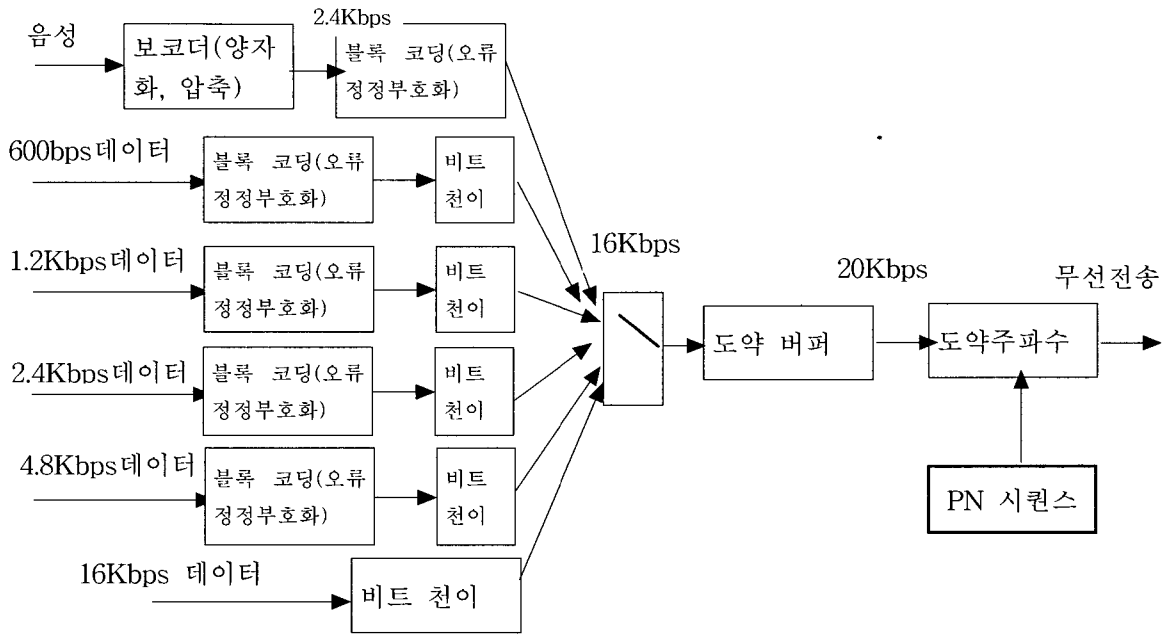


그림 1. 음성 및 디지털 정보의 부호화
 Fig. 1. Coding of voice and digital information

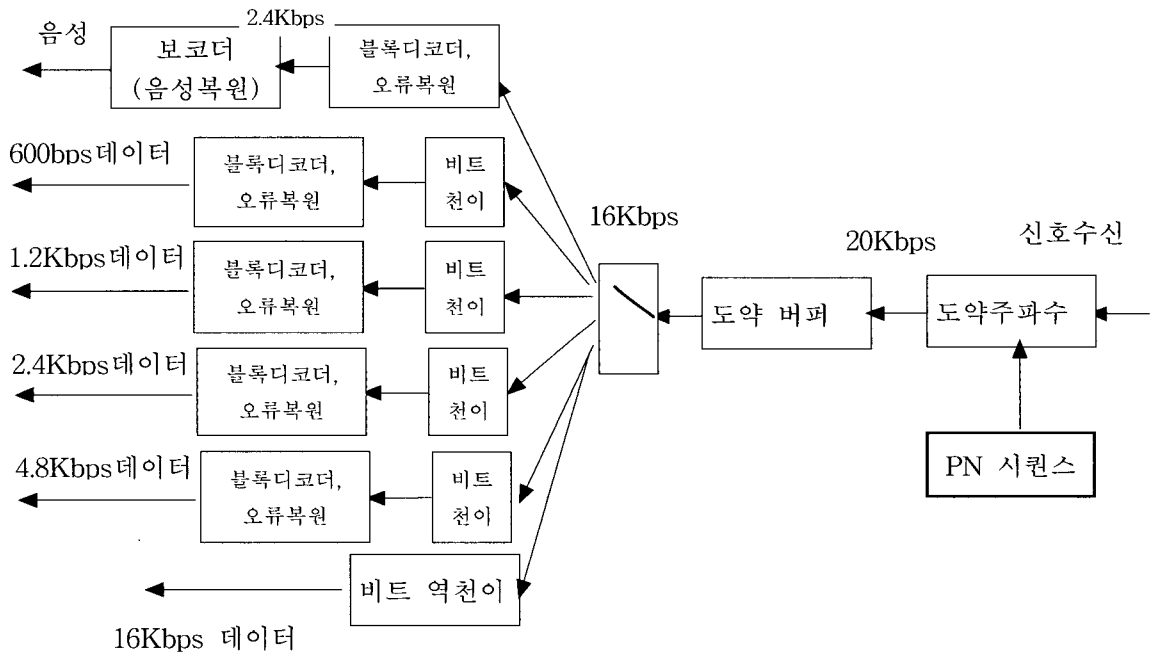


그림 2. 음성 및 디지털 정보의 복호화
 Fig. 2. Decoding of voice and digital information

다음과 같다.

$$L_blk \geq L_hop \quad (2)$$

$$L_dblk = L_blk * N \quad (3)$$

$$L_emp = L_frm - L_dblk \quad (4)$$

$$T_decod = L_blk * (N-1) \quad (5)$$

$$R(N, rate) = L_frm \div L_dblk \quad (6)$$

그림 1과 같이 전송속도별 데이터 송신 부호화 알고리즘을 설계하였다. 음성은 보코더에서 양자화 및 압축 등의 음성코딩을 수행하여 2.4Kbps 디지털 신호로 변환하고 오류정정 및 블록코딩 후 2.4Kbps 데이터와 동일한 방법으로 처리한다. 저속데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps)는 전송속도에 해당되는 오류정정 및 블록 코딩을 수행하고, HOPPER에서 도약 프레임의 구성하여 20Kbps로 변환한 후, 도약 주파수 변환기로 전달되어 무선채널로 전송한다. 16Kbps 데이터는 비트 천이를 시켜 데이터의 직류성분을 제거하고 저속데이터와 동일한 방법으로 전송한다. 블록길이 L_blk는 도약홉 길이 L_hop보다 약간 길게 설계하여 도약홉 프레임 내에서 오류가 동일 위치에 반복되지 않도록 구성하였다. 블록길이는 전부 27바이트로 고정시켰으며 버퍼의 크기를 데이터율에 따라 변화시켰다. 그림 2와 같이 데이터의 수신처리는 도약주파수 변환기의 20Kbps 신호를 도약 버퍼에서 16Kbps로 변환하여 신호의 종류에 따라 복호화한다. 블록 디코딩과 majority 방법으로 오류를 정정한다. 음성은 보코더로 처리하며 저속데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps)

는 간섭오류가 발생한 도약 홉 프레임을 블록단위로 복호화하면서 반복횟수 만큼 동일 비트를 합하여 1 또는 0의 숫자가 많은 값을 선택하여 불규칙오류 및 연속오류를 정정한다.

음성은 2.4Kbps 데이터와 동일하게 처리된 후 보코더에서 음성신호로 복원하며, 16Kbps 데이터는 송신기에서 비트 천이 시킨 시퀀스와 동일하게 역천이 되어 직류성분을 제거하여 복호화한다.

1. 전송속도 16Kbps 데이터의 전송 방법

○ 송신 과정

16Kbps 데이터는 1또는 0이 연속되지 않도록 15비트 PN시퀀스를 이용하여 비트 천이를 시켜 도약 버퍼로 보내진다. 도약 버퍼에서는 도약주파수로 무선전송을 위해 25바이트로 구성된 도약 프레임 단위로 20Kbps의 전송속도로 변환하여 도약주파수에 실는다. 이 때, 도약 프레임 간에는 그림 3과 같이 도약주파수가 변하는 시간에는 정보가 전송되지 않는다. 프레임 단위로 구성된 데이터는 PN 시퀀스 발생기에서 생성되는 의사 불규칙 도약주파수로 무선채널로 송신된다.

○ 수신 과정

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

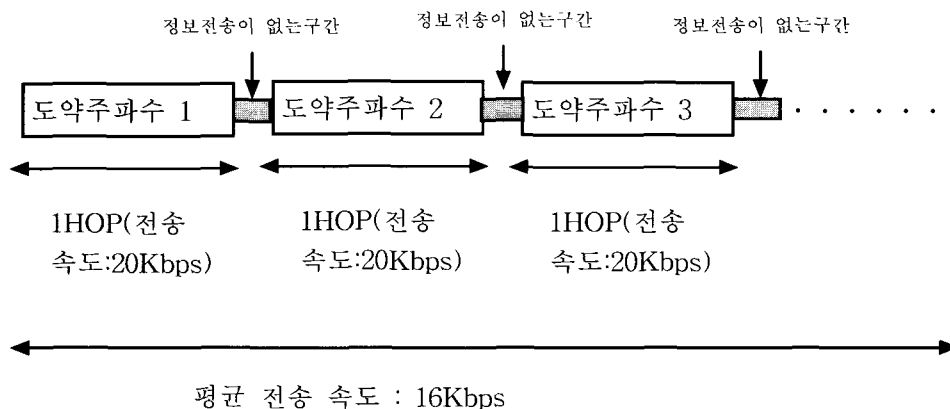


그림 3. 도약통신에서 도약 주파수 구성
Fig. 3. Hopping frequency configuration on FH communication

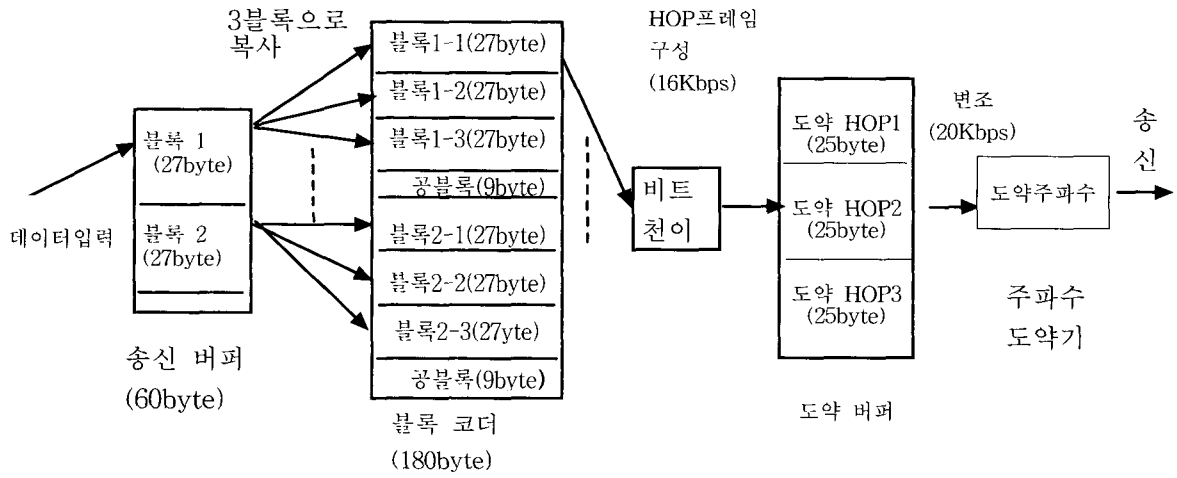


그림 4. 4.8Kbps 데이터의 부호화
Fig. 4. Coding of 4.8Kbps data

2. 저속데이터(0.6Kbps, 1.2Kbps, 2.4Kbps, 4.8Kbps)의 전송 방법

○ 송신 과정

데이터를 4.8Kbps 저속데이터의 전송을 위한 블록도는 그림 4와 같이 설계하였다. 송신 버퍼 60바이트, 블록 코더 180바이트로 구성하였으며 도약 버퍼, 주파수 도약기 등으로 구성된다. 저속 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 지정한 후, 같은 방법으로 블록 2를 3회 복사하여 채우고 공블록(9byte)을 지정하며 전송이 완료될 때까지 번갈아 블록 코더에 채운 후, 16Kbps의 경우와 동일하게 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 프레임을 도약주파수에 변조시켜 송신한다.

데이터를 2.4Kbps 저속데이터는 표 1과 같이 송신 버퍼 크기, 블록 크기, 반복횟수 및 공블록 크기를 60바이트, 27바이트, 5회, 45바이트로 지정한다. 저속 데이터 송신절차는 입력되는 데이터를 송신 버퍼의 블록 1부터 한 바이트씩 차례로 저장하고 블록 2를 채우며 데이터 전송이 완료

될 때까지 블록 1과 블록 2를 번갈아 채운다. 둘째, 블록 코더(360바이트)는 송신버퍼의 블록 1을 5회 복사하여 블록코더에 채우고 기준 데이터율(16Kbps)과 전송률 조정을 위해 공블록(45 byte)을 정한 후, 같은 방법으로 블록 2를 5회 복사하여 채우고 공블록(45 byte)을 지정하며 전송이 완료될 때까지 번갈아 블록 코더를 채운 후 비트 천이 시킨다.

셋째, 도약 버퍼에서는 비트 천이된 데이터를 차례로 읽어 25바이트 프레임을 만든다. 버퍼를 끝까지 읽으면 순환적으로 다시 처음부터 읽으며 데이터율은 20Kbps가 된다. 주파수 도약기는 도약 버퍼의 홉 프레임을 도약주파수에 변조시켜 송신한다.

데이터율 1.2Kbps 저속데이터는 표 1과 같이 송신 버퍼 크기, 블록 크기, 반복횟수 및 공블록 크기는 60바이트, 27바이트, 13회, 9바이트로 지정된다. 송신과정은 동일하며 블록 코더는 블록 크기가 27바이트 13개와 공블록 9바이트인 2개의 버퍼로 구성되며 720바이트이다.

데이터율 0.6Kbps 저속데이터는 표 1과 같이 송신 버퍼 크기, 블록 크기, 반복횟수 및 공블록 크기는 60바이트, 27바이트, 25회, 45바이트로 지정된다. 송신과정은 동일하며 블록 코더는 블록 크기가 27바이트 25개와 공블록 45바이트로 구성되는 2개의 그룹 1440바이트 크기이다.

○ 수신 과정

데이터율 4.8Kbps 저속데이터의 수신은 그림 5와 같이 설계하였다. 주파수 도약기, 도약 버퍼, 블록 디코더,

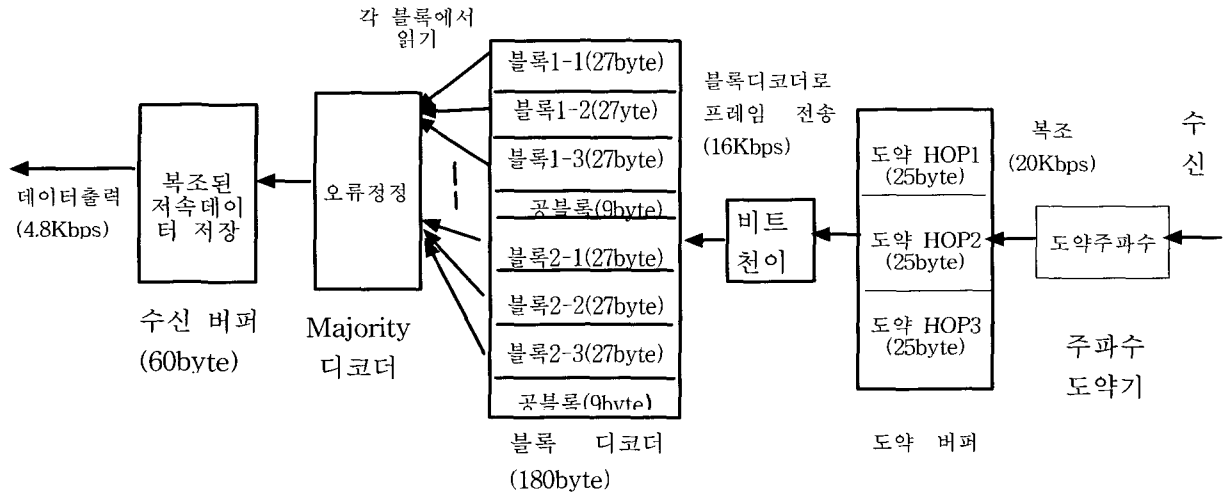


그림 5. 4.8Kbps 데이터의 복호화
Fig. 5. Decoding of 4.8Kbps data

majority 오류정정기, 수신버퍼 등으로 구성되며 도약 버퍼는 주파수도약기에서 복호된 신호로부터 20Kbps의 홉 프레임(25바이트)을 수신하여 16Kbps의 연속 데이터로 변환한다. 블록 디코더는 180바이트로 구성하였으며 도약 버퍼에서 차례대로 데이터를 읽어 16Kbps의 경우와 동일하게 비트를 천이 하여 블록 코더의 블록에 차례로 채우고 버퍼가 다 채워지면 다시 처음부터 반복하여 수신된 데이터를 쌓는다. 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. 수신버퍼에서는 일정량의 데이터가 쌓이면 4.8Kbps로 데이터를 단말로 전송한다.

데이터율 2.4Kbps 저속데이터는 블록 디코더 360바이트, 블록 크기 27바이트를 5개로 구성, 공블록 45바이트인 버퍼가 두 그룹으로 구성된다. 도약 버퍼에서 데이터를 읽어 비트를 천이 시킨 후, 블록 코더의 블록에 채우고 버퍼가 채워지면 다시 처음부터 반복하여 수신된 데이터를 쌓

는다. 도약간섭으로 인한 연속오류와 채널의 불규칙 오류정정은 블록 디코더의 블록1-1, 블록 1-2, 블록 1-3, 블록 1-4, 블록 1-5에서 동일위치의 데이터를 majority 디코더에 보내면 비트를 검사하여 1 또는 0의 개수가 많은 값을 취한다. Majority 디코더에 각 블록에서 한 바이트씩 같은 순서의 데이터를 블록 횟수만큼 5회 입력시켜 결과치를 바이트 단위로 읽어 수신버퍼에 보내는 구조로 설계하였다. 블록 디코더에서는 데이터를 조절을 위해 공블록(45 byte)은 읽지 않으며 블록 1 그룹의 수행이 완료되면 블록 2 그룹을 수행하며 번갈아 데이터 수신이 종료될 때까지 반복한다. 수신버퍼에서는 일정량의 데이터가 쌓이면 2.4Kbps 데이터율로 데이터를 단말로 전송한다.

데이터율 1.2Kbps 저속데이터는 블록 디코더 720바이트, 블록 크기 27바이트를 13개, 공블록 크기가 9바이트이며 두 그룹으로 구성된다. 연속오류와 무선채널의 불규칙 오류의 정정은 블록 디코더의 13개 블록에서 동일위치의 데이터를 한 바이트씩 majority 디코더에서 오류를 정정하며, 수신 버퍼에서는 일정량의 데이터가 쌓이면 1.2Kbps 데이터율로 데이터를 단말로 전송한다.

데이터율 0.6Kbps 저속데이터는 블록 디코더 1440바이트, 블록 크기 27바이트를 25개, 공블록 크기가 45바이트를 2개로 구성된다. 연속오류와 채널의 불규칙 오류 정정은 블록 디코더의 25개 블록에서 동일위치의 데이터를 한 바이트씩 majority 디코더에서 오류정정을 수행하며, 수신

버퍼에서는 일정량의 데이터가 쌓이면 0.6Kbps 데이터율로 단말로 전송한다.

3. 음성신호의 전송 방법

○ 송신 과정

음성신호의 전송은 2.4Kbps 저속데이터의 전송과 유사하며 음성을 양자화하고 압축하는 보코더^[8]가 전단에 추가된다. 보코더에서 음성을 16Kbps로 양자화하고 2.4Kbps로 압축하여 2.4Kbps 데이터 처리와 동일하나 비트 천이는 시키지 않는다.

○ 수신 과정

송신과 마찬가지로 비트 천이를 제외하고 2.4Kbps 저속

데이터의 수신과 유사하며 오류 정정된 2.4Kbps의 디지털 신호를 보코더에서 16Kbps로 복원 및 음성신호로 변환하여 출력시킨다.

Ⅲ. 성능 분석

전술통신환경이 극한조건인 전송채널 오류확률 10^{-1} 인 주파수도약 통신 조건에서 제안된 시스템의 성능 분석과 전송채널 환경이 보통인 10^{-2} 일 경우에 대해 분석하였다. 또한, 도약채널의 간섭이 최대인 20% 간섭 상황에서 제안된 시스템의 성능을 계산과 시스템시험을 통하여 분석하였다.

표 2. 채널 오류 10^{-1} 일 때 오류율 개선

Table 2. Error correction results on the channel error rate 10^{-1}

데이터 율	채널 오류	오류 정정 (계산치)	오류 정정 (측정치)
4.8Kbps	10^{-1}	2.8×10^{-2}	3.6×10^{-2}
2.4Kbps	10^{-1}	8.6×10^{-3}	1.3×10^{-2}
1.2Kbps	10^{-1}	9.9×10^{-5}	2.3×10^{-4}
600bps	10^{-1}	1.6×10^{-7}	0×10^{-5} 이하

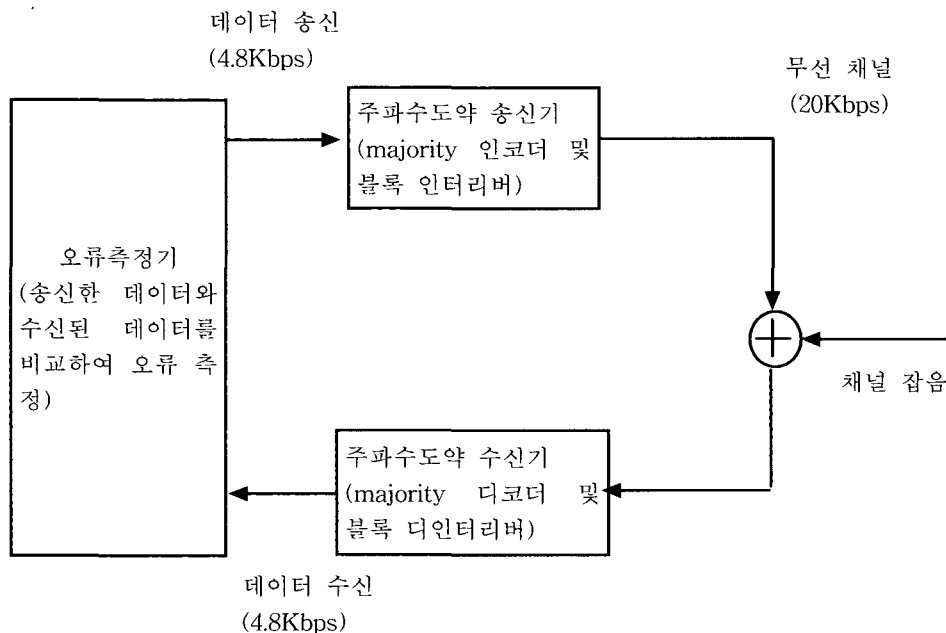


그림 6. 4.8Kbps 데이터의 오류측정

Fig. 6. Bit error rates test for 4.8Kbps d.

본 논문에서 사용한 majority 복호화 및 블록 인터리빙에 의한 오류정정 방법은 주파수도약통신에 적합하도록 설계를 할 수 있었으며 처리가 간단하고 오류율이 높은 통신환경에서 성능이 우수하다. 비트 인터리빙 및 FEC의 경우 도약채널을 고려하여 비트 인터리버의 크기가 Hop

량도 많아 실시간 처리가 어렵다. 또한, 수신부의 구조가 매우 복잡해진다. 그러나 제안된 블록 인터리빙 알고리즘은 버퍼의 크기가 27×3 바이트로서 처리도 27바이트를 연속적으로 3회 반복 전송하는 단순한 구조이므로 설계구조가 간단하고 처리량도 매우 적어지는 장점이 있다.

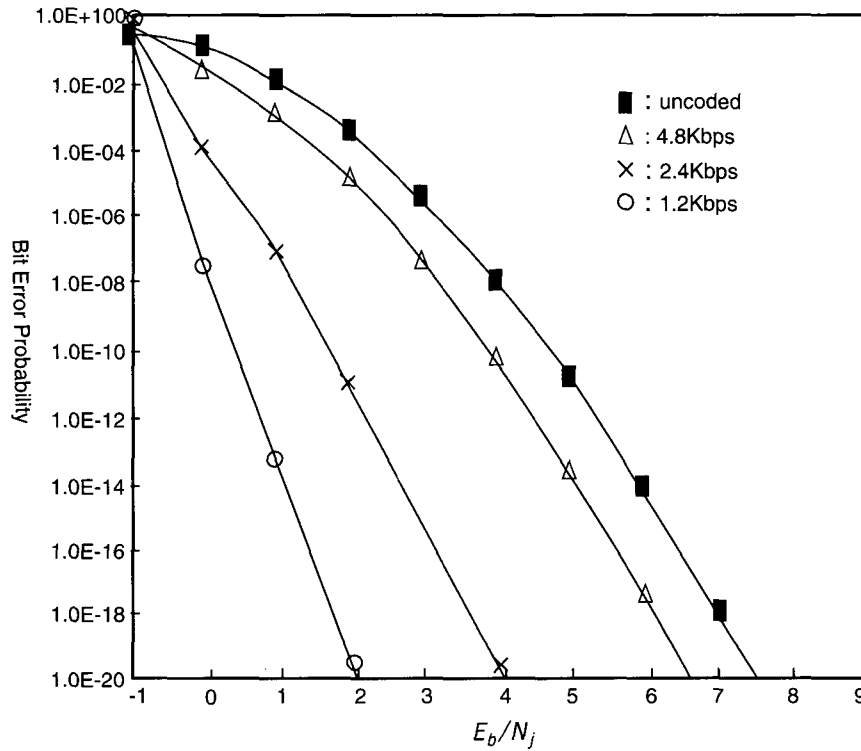


그림 7. 전송속도별 오류정정 결과
Fig. 7. The error correction results for each data rate

표 3. 채널 오류 10⁻²일 때 오류율 개선
Table 3. Error correction results on the channel error rate 10⁻²

데이터 율	채널 오류	오류 정정 (계산치)	오류 정정 (측정치)
4.8Kbps	10 ⁻²	3.0×10 ⁻⁶	4.6×10 ⁻⁴
2.4Kbps	10 ⁻²	1.0×10 ⁻⁸	1.0×10 ⁻⁵
1.2Kbps	10 ⁻²	1.7×10 ⁻¹⁸	0×10 ⁻⁵ 이하
600bps	10 ⁻²	5.1×10 ⁻³³	0×10 ⁻⁵ 이하

길이(L_hop)보다 커야 하므로 27×27 바이트의 크기가 필요하며 처리방법도 X축으로 쓰고 Y축으로 비트 읽어 처리하고 비트단위로 계산하므로 구조가 복잡해지고 계산

음성의 경우는 기존에는 CVSD에서 16Kbps 디지털 데이터로 변환하여 전송하였으나^[7] 본 논문에서는 2.4Kbps로 음성 압축하여 5회 반복 오류정정을 수행하였으므로

표 4. 채널 간섭이 있을 때 오류율 개선
Table 4. Error correction results on the FH channel interference

데이터 율	채널 간섭 20%에서 오류 정정	
	계산치	측정치
4.8Kbps	1.0×10^{-1}	2.1×10^{-1}
2.4Kbps	7.1×10^{-2}	5.7×10^{-2}
1.2Kbps	7.6×10^{-3}	8.3×10^{-3}
600bps	5.2×10^{-4}	3.0×10^{-4}

오류율이 향상되었고 도약간섭 잡음도 제거되었다. 전송채널의 오류확률이 10^{-1} , 10^{-2} 인 경우 디지털 데이터의 오류율 개선결과는 표 2 및 표 3과 같다. 음성인 경우는 2.4Kbps와 동일하다.

계산치는 식 (1)을 사용하였으며 측정치는 그림 6과 같이 실험 모델을 설치하여 오류측정기에서 표준이 되는 저속데이터를 송신기로 전송하면 송신기에서 majority 부호화 및 블록 인터리빙을 수행하여 주파수도약 채널로 전송하게 된다. 전송채널에서는 각각 정해진 수준의 잡음이 가해지며 수신기로 수신된 신호는 블록 디인터리빙 및 majority 오류정정을 수행한 복호화된 저속의 데이터를 오류측정기로 보내진다. 오류 측정기에서는 최초의 표준 데이터와 비교하여 비트 오류율을 측정하였다.

전파간섭으로 20%의 도약주파수가 간섭받는 극한 통신 조건에서 연속오류(burst error) 보정에 대한 성능을 시험한 결과, majority 복호화 및 블록 반복 부호화/복호화 방법은 코드의 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 주파수도약 시스템의 전체 성능을 고려할 때, 계산치와 시스템에서 측정결과가 유사함을 확인하였다. 그림 7과 같이 오류 성능 그래프에서 간섭신호 상황에서 본 시스템에서 제시한 데이터 전송속도 별 오류 성능을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

극한 전송통신상황에서 간섭 및 탐지를 회피하면서 디지털 정보를 전송하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는

무선간섭과 도청이 있는 극한 통신상황에서 디지털 정보의 오류율을 최소화하면서 전송할 수 있는 주파수도약 통신시스템의 디지털 부호화를 설계하였다.

무선채널은 유선의 경우와 달리 무선 간섭으로 인해 채널이 불량하고 간섭받은 채널의 정보가 모두 손실되므로 주파수도약 통신시스템에서 채널간섭의 보정을 위해 음성, 데이터(16Kbps, 4.8Kbps, 2.4Kbps, 1.2Kbps, 600bps)를 20Kbps 데이터 프레임으로 변환하여 의사 불규칙한 도약 주파수로 무선전송 하였다. 송신기에서 일정한 블록 단위로 데이터를 반복 전송하고 수신기에서 블록 복호화 및 majority 오류정정 기법을 사용하여 오류를 정정하고 처리 시간 및 방법을 단순화시키면서 무선채널 보상도 할 수 있었다.

제한한 알고리즘은 도약채널 간섭이 심한 무선통신 조건에서 블록 반복 부호화 및 바이트 단위의 majority 오류 정정 방법으로 간섭받은 도약 주파수의 정보를 복원할 수 있었으며 시스템 구성도 단순하게 설계할 수 있는 장점이 있다.

전체 대역 중 20%까지 주파수 도약 채널이 간섭으로 손실되어도 연속오류를 제거할 수 있었다. 음성은 기존의 CVSD에서 16Kbps 디지털 데이터로 변환하는 방법과 비교하여 2.4Kbps로 음성 압축하여 5회 반복 오류정정을 수행함으로써 오류율이 향상되고 도약간섭 잡음도 제거되었다.

오류개선은 도약주파수가 20%까지 간섭받는 조건에서 4.8Kbps는 10^{-1} , 2.4Kbps는 10^{-2} , 1.2Kbps는 10^{-3} , 600bps는 10^{-4} 수준이었으며 전송채널에 불규칙 오류가 발생하는 경우는 오류확률 10^{-1} , 10^{-2} 일 때, 표 2 및 표 3과 같이 오류율을 개선하였다.

도약시스템에서 데이터 전송을 위해 블록 길이를 도약홉 길이보다 약간 길게 설정하여 도약홉 프레임 내에서 연속적으로 동일 위치에 오류가 발생할 경우를 배제하였

고 블록길이는 고정시켰으며 속도에 따라 반복횟수와 공 블록 길이를 지정함으로써 실시간으로 원활히 데이터처리를 할 수 있었다.

도약 통신 시스템을 위한 제안된 데이터 부호화 알고리즘은 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, 1976.
- [2] Donald R. J. White, *A handbook series on electromagnetic interference and compatibility*, Don white consultants, Inc., vol. 2, pp. 1-19, 1980.
- [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. on Comm.*, vol. COM-32 no. 6, Jun. 1984.
- [4] Timothy Pratt and Charles W. Bostian, *Satellite Communications*, John Wiley & Sons, 1986.
- [5] 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, pp. 697-707, Apr. 1992.
- [6] 한성우 외2, *데이터 어댑터 설계*, 국방과학연구소 기술보고서, CESD-517-950967, 1995. 12.
- [7] 한성우 외2, *차기FM무전기 기술보고서*, 국방과학연구소 기술보고서, CESD-517-93352L, 1993. 5.
- [8] Andreas S. Spanias, "Speech coding," *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, no. 10, Oct. 1994.

저 자 소 개



박 대 철

1977년 2월: 서강대 전자공학과 (공학사)
 1985년 12월: 미국 Univ. of New Mexico 전기공학과 (공학석사)
 1989년 5월: 미국 Univ. of New Mexico 전기공학과 (공학박사)
 1991년 8월 ~ 1992년 7월: 미국 Columbia 대학 CTR 객원 교수
 1977년 3월 ~ 1982년 12월: 국방과학연구소 연구원
 1989년 5월 ~ 1993년 8월: 한국전자통신연구소 선임연구원
 1993년 9월 ~ 현재: 한남대학교 정보통신공학과 부교수
 주관심분야: 디지털 통신신호처리, 입체 영상 디스플레이 및 3-D 영상 영상처리, 위성통신

김 용 선

1977년 2월: 성균관대 전자공학과(공학사)
 1981년 2월: 충남대학교 전자공학과(공학석사)
 1994년 3월 ~ 1999년 6월: 충북대학교 컴퓨터공학과(공학 박사)
 1997년 3월 ~ 1987년 12월: 국방과학연구소 선임연구원
 1990년 12월 ~ 국방과학연구소 선임연구원
 주관심분야: 디지털신호처리, 디지털 통신, 영상처리

한 성 우

1978년 2월: 경북대학교 물리학과(이학사)
 1980년 2월: 경북대학교 물리학과(이학석사)
 1995년 3월 ~ 현재: 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 1982년 10월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임연구원
 주관심분야: 주파수도약 통신, 위성통신, 디지털 신호처리

전 용 역

1978년 2월 : 연세대학교 전자과(공학사)
1980년 2월 : 연세대학교 전자과(공학석사)
1995년 3월 ~ 현재: 충북대학교 컴퓨터공학과 박사과정
1979년 11월 ~ 1994년 2월 : LG 정밀연구소 연구원
1994년 3월 ~ 현재 : 대덕대학 전자계산기과 부교수
주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상처리

전 병 민

1976년 2월 : 한국항공대 전자공학과(공학사)
1978년 2월: 연세대 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 연세대 전자공학과 (공학박사)
1978년 8월 ~ 1982년 3월: 공군사관학교 전자과 전임강사
1982년 4월 ~ 1986년 2월 : 동양공전 통신과 조교수
1986년 3월 ~ 현재: 충북대 컴퓨터공학과 교수
1991년 1월 ~ 1992년 1월: 미국 미시간 대학교 교환교수
주관심분야: 영상처리, 디지털 통신신호처리