

수중 통신에서 다중 밴드 성능 예측 기법 연구

정지원*

A Study on Performance Prediction Methods for Multi-Band Underwater Communication

Ji-Won Jung*

요약 수중통신에서 다중 밴드 기법은 채널 부호화된 동일한 데이터를 여러 주파수 밴드로 나누어 전송하는 기법인데, 이는 수중에서 다중 경로, 도플러 확산 등으로 인한 특정 주파수의 선택적 페이딩 현상을 극복하면서 성능을 향상시키는 기법이다. 이러한 다중 밴드 통신의 단점은 성능이 열악한 특정한 밴드가 전체 성능에 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 다중 밴드 통신에서 각 밴드의 성능을 예측하여 가장 신뢰성이 높은 밴드를 선택함으로써 성능을 향상시키는 데, 본 논문에서는 세 가지 성능을 예측하는 기법을 제시하였으며, 실험을 통하여 프리엠블 오류율을 이용하는 방법이 가장 효율적인 방법임을 확인하였다.

Abstract Multi-band method which allocate the same data to different frequency bands, improves performance by compensating Doppler spreading and selective fading in underwater communications. The drawback of multi-band configuration may have worse performance because performance degradation in a particular band affects the output from the entire bands. It is very important to find which band is superior or inferior band in order to improve performance. Therefore this paper analyzes performance prediction algorithms of each band. This paper proposes three kinds of prediction methods. Through the ocean tests, this paper confirms utilizing the preamble error rates is most efficient algorithm among of them.

Key Words : Multi-band, Underwater acoustic communication, Selective fading, Performance prediction

1. 서론

채널 전달 특성 등의 환경이 매우 빠르게 변하는 수중음향통신 환경에서 다중 경로 페이딩 및 도플러 확산은 특정 주파수에 대한 감쇠가 일어나 성능을 저하시킬 수 있는 매우 중요한 요인이다[1]. 주파수에 따라 특성이 다른 페이딩 채널이므로 동일한 부호화율을 갖는 채널 부호화 방식을 동일한 데이터 스트림을 병렬로 나누고, 각 스트림을 서로 다른 주파수로 변조하여 각 스트림 열을 더하여 전송하는 다중 밴드 통신 방식은 주파수에 따라 수중 채널의 특성이 다른 선택적 주파수 페이딩 성질을 이용하여 동일한 부호화된 비트

열을 병렬로 나누어 서로 다른 주파수로 변조하여 전송하는 방식이다[2][3]. 이러한 수중 통신에서 다중 밴드 전송 기법에 있어서 성능이 가장 좋은 밴드를 선택하는 기술이 가장 중요한 요소 기술이다. 특히 다중 밴드에 있어서 선택적 주파수 페이딩으로 인하여 각 밴드별 성능 차이를 가지고 있으며, 성능에 따른 밴드별 서로 다른 가중치를 주어 성능을 향상시키고자 함이 목적이다 [4]. 본 논문에서는 제시하는 밴드별 성능 예측 모델은 수신 SNR, 등화기에서 수신 신호와 송신 신호의 오류 RMS 값, 그리고 송수신자가 서로 알고 있는 프리엠블 신호의 오류율을 이용하는 세 가지 방식을 설정하여 분석하며, 실험 결과를 통하여 시변 채널을

*Division of Electronics and Electrical Information Engineering, Korea Maritime and Ocean University (jwjung@kmou.ac.kr)
 Received March 20, 2023 Revised March 31, 2023 Accepted April 07, 2023

2. 다중 밴드 통신 모델

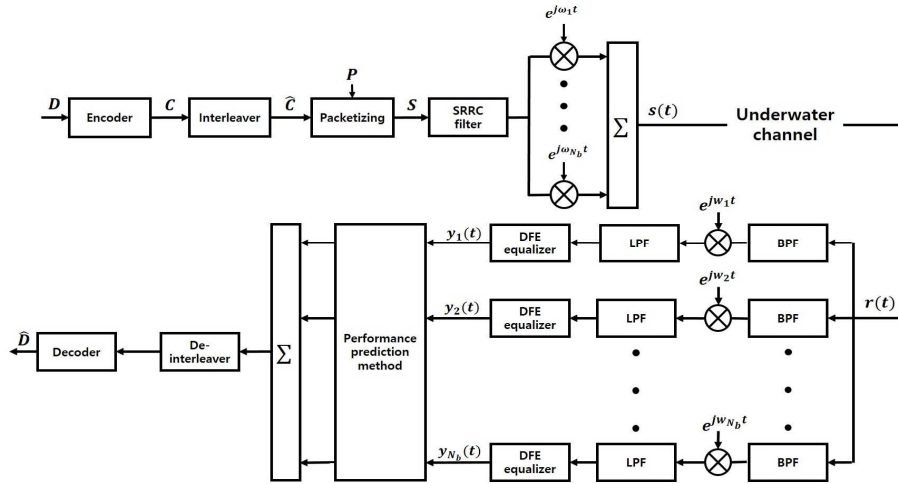


그림 1. 다중 밴드 통신 모델

Fig. 1. Multi-band communication model

가지는 수중 통신 채널에 적합한 방식을 제시한다. 다중 밴드 전송 기법은 전체 대역폭 채널을 여러 개의 작은 대역폭을 갖는 부채널로 분할하여 다수의 협대역 부반송파를 각 부채널로 다중 전송하는 방법이다. 수중음향통신의 채널은 사용되는 주파수에 따라 특성이 다른 페이딩 채널이며 다중 밴드 전송 기법은 인접 심벌간의 간섭과 주파수 페이딩 현상을 극복하면서 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

그림 1은 본 논문에서 밴드별 성능 예측 모델을 제시하기 위한 다중 밴드 송수신 모델을 나타낸다[2]. 송신부는 전송 중 오류를 정정 하기 위한 채널 부호화기, 인터리버로 구성되며, 패킷의 앞 부분에 프리엠블을 추가하여 동기 및 패킷의 성능 판단을 위해 적용된다. 동일한 패킷을 서로 다른 주파수 대역으로 변조하여 전송하면, 수신부에서는 각각의 주파수 밴드에서 복조하여 수신된 프리엠블 신호의 성능을 예측하여 성능이 우수한 밴드에 해당하는 패킷만 채널 복호부로 전달하여 전체적으로 성능을 향상시킨다. 송신부에서 입력되는 K 개의 비트를 D 라고 할 때 입력신호의 집합 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$ 는 (N, K) 채널부호화를 한 뒤, 부호화 벡터 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ 이며, N 은 부호어의 길이를 나낸다.

채널 부호화 과정은 전송 중에 발생하는 오류를 정정하기 위한 과정이며, C 는 군집 오류를 산발 오류로 바꾸기 위하여 인터리버를 통과한다. 인터리버를 수행한 후의 데이터 $\hat{C} = \{\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_N\}$ 는 군집 오류를 산발 오류로 바꾸어 채널 부호의 오류 정정 한계 범위내로 만들어 성능을 향상시키는 역할을 한다[5]. 인터리버를 수행한 데이터 \hat{C} 은 송신부와 수신부에서 서로 알고 있는 프리엠블 비트 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 는 n 개의 Pseudo Noise (PN) 코드를 데이터의 앞단에 위치시켜 하나의 패킷으로 구성하며, 이는 패킷의 동기를 획득하는데 이용된다. 이 때, PN 코드의 비트열 패킷으로 구성된 비트열 S 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \{p_1, p_2, \dots, p_n, \hat{c}_1, \dots, \hat{c}_N\}. \quad (1)$$

패킷화 된 비트열 S 는 SRRC(Square Root Raised Cosine) 필터를 통과한 후, N_b 개의 서로 다른 주파수에 대해 변조되며 다중 밴드 통신의 송신신호 $s(t)$ 는 식(2)와 같다.

$$s(t) = \sum_{k=1}^{N_b} \mathbf{s} e^{j\omega_k t} \quad (2)$$

송신신호 $s(t)$ 는 N_b 개의 서로 다른 밴드에 대해 $e^{j\omega_k t}$ 를 곱해줌으로써 각각의 밴드에 대해 변조과정을 거친 후, 그림 2와 같이 N_b 개의 중심 주파수를 할당하여 전송된다.

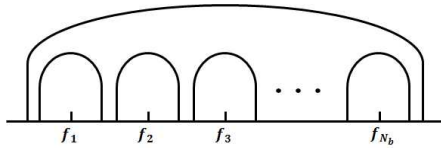


그림 2. 다중밴드의 주파수 분할
Fig. 2. Frequency division of multi-band

이러한 다중 밴드 전송 기법은 동일한 부호화된 비트열을 병렬로 나누어 N_b 개의 서로 다른 주파수를 이용하여 변조된 신호를 합하여 전송함으로써, 다중 경로 및 도플러 확산 등으로 인한 어느 특정한 대역의 주파수 페이딩을 극복하면서 성능을 향상시킨다. 다중 경로 전달에 의해 수신된 신호는 수중음향통신 시스템에서 인접 심벌 간 간섭을 발생시키고, 통신 시스템의 성능 저하를 일으키는 주요 원인 중 하나이다. 이러한 수신신호 $r(t)$ 는 식 (3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^{N_b} \mathbf{s}(t) e^{j\omega_k t} h_l(t) + \eta(t). \quad (3)$$

L 은 전체 다중 경로의 수를 나타내며 l 은 다중 경로의 인덱스이다. $h_l(t)$ 는 l 번째 경로에 있는 채널 응답 계수를 나타내며, $\eta(t)$ 는 가우시안 잡음을 나타낸다. 그림 1의 수신부에서 수신신호는 각 밴드에 대하여 신호를 얻기 위해 N_b 개의 서로 다른 신호에 대해 대역 통과 필터(Band Pass Filter, BPF)를 각각 통과하여 다른 대역의 신호를 제거한다. 그리고 N_b 개의 각 밴드에 대하여 복조와 저역 통과 필터(Low Pass Filter, LPF)를 통과하여 다중 경로 효과를 제거하기

위해 등화기에 입력한다. 이 때, 등화기를 통과한 k 번째 밴드의 출력신호를 $y_k(t)$ 라고 하였을 때 복호기 입력신호 $L(t)$ 는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L(t) = \sum_{k=1}^{N_b} y_k(t). \quad (4)$$

복호기로 입력되는 모든 밴드의 합은 성능이 열악한 특정한 밴드로 인하여 복호가 불가능할 수 있으므로 밴드별 성능을 예측하여 성능이 우수한 밴드만의 합으로 복호기에 입력하면 성능이 향상될 수 있다. 따라서 다음 절에서 밴드별 성능을 판단할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

3. 밴드별 성능 예측 모델

2장에서 설명한 바와 같이 복호기로 입력되는 다중 밴드 수신 신호의 합은 어느 특정한 밴드의 성능 열화로 전체 시스템의 성능 열화를 초래 할 수 있다. 따라서 수신측에서는 각 밴드에서 성능이 우수한 밴드를 선택하여 선택된 밴드의 합만 복호기로 입력하면 성능을 향상시킬 수 있다. 각 밴드의 성능을 예측하는 알고리즘은 다음 각 절에서 제시하는 세 가지 알고리즘으로 제시할 수 있다.

제시한 알고리즘은 송수신간에 서로 알고 있는 신호를 이용하여 채널 부·복호 알고리즘의 비부호화 오류율(uncoded error rate)의 상관도를 이용하여 채널 부호화 알고리즘의 Quasi Error Free(QEF) 조건을 만족하도록 설정하는 방식이다. QEF란 통상적으로 복호 후 오류율이 매우 낮은 영역을 의미한다.

3.1 Effective SNR(ESNR) 추정 방식[6]

ESNR 방식은 송수신간에 서로 알고 있는 pilot 신호 또는 preamble 신호를 이용하여 수신단에서 각 밴드별 SNR을 추정하여 추정된 SNR과 채널 부복호 알고리즘의 비부호화 오류율의 상관도를 이용하여 채널 부호화 알고리즘의 QEF 조건을 어느 밴드에서 만족하는지 알 수 있는 방법이다. ESNR을 산출하기 위

해서는 그림 3과 같이 데이터를 보내지 않는 패킷의 일정한 침묵 구간에서 잡음 전력을 구하고 수신된 신호의 전력과의 상관성을 이용하여 수신 SNR을 구한 후 이에 따른 비부호화 오류율과의 상관성을 이용하여 결정하는 방식이다.

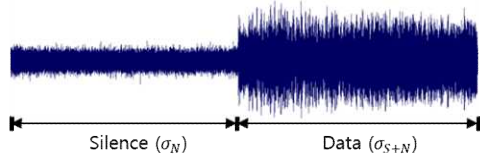


그림 3. ESNR 측정하기 위한 패킷 구간
Fig. 3. Packet interval for measuring ESNR

수신 SNR을 측정하기 위해서는 수신신호의 침묵 구간과 PN 구간을 사용하여 식(5)와 같이 계산 된다.

$$SNR_R = \frac{\sigma_{S+N}^2 - \sigma_N^2}{\sigma_N^2}, \quad (5)$$

여기서 σ_{S+N}^2 은 송수신간의 서로 알고 있는 수신된 PN 신호의 전력이며, σ_N^2 은 수신된 사일런스 구간에서의 잡음신호를 나타낸다. 사일런스 구간에서는 신호가 전송되지 않는 보호 대역 구간으로 이 구간에서 잡음 신호의 전력을 구하며, 데이터 구간에서는 신호와 잡음이 모두 합쳐 수신되므로 이 구간에서는 신호와 잡음이 합친 전력이다. 그림 4는 식 (5)에 따라 입력 SNR에 ESNR 출력값을 나타낸다. 입력 SNR이 높을 수록 잡음 전력이 낮아져 ESNR이 높음을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션 결과이며, 실제 수중 환경에서 도플러 및 다중 경로 등의 영향을 받으므로 정확히 일치하지 않을 수 있다.

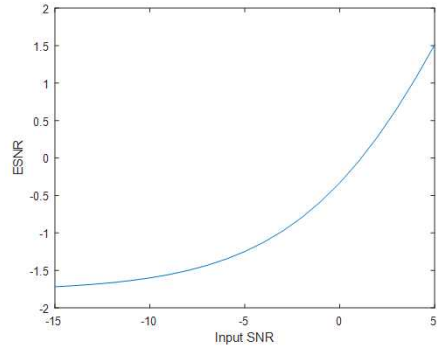


그림 4. 입력 SNR에 따른 ESNR
Fig. 4. ESNR for input SNR

3.2 Post-Equalization SNR(PES) 추정 방식

수중 통신에서는 다중 채널 환경의 특성과 도플러 확산 및 심벌간의 간섭으로 인하여 원활한 통신이 이루어지기 힘들다. 따라서 이러한 오류 값들을 보상하는 등화 기법을 적용하여 이를 보상한다. 등화 기법으로는 Least Mean Square(LMS) 또는 Recursive Least Square(RLS) 방식을 적용하는데 본 논문에서는 LMS 방식을 적용하였다[7]. LMS 알고리즘은 송수신간의 서로 알고 있는 데이터인 프리앰블 비트열을 이용하여 각 밴드에서 다중 경로 및 도플러 등으로 인한 왜곡된 수신 신호와 원 신호간의 오류 성분을 등화기의 탭의 계수를 조정하여 반복을 통해 원 신호로 조정하는 알고리즘이다. 오류 성분이 작은 경우에는 원 신호와 가깝다는 원리를 이용한 PES 방식은 등화기에서 수신 신호와 등화기의 출력의 차이인 오류 성분을 측정하여 ESNR 방식과 마찬가지로 채널 부호화 알고리즘의 QEF 조건을 만족하는 밴드를 설정한다[6]. 그림 1에서 k번째 등화기의 입력 신호를 $x_k(t)$ 이라 할 때, 등화기의 출력 신호 $y_k(t)$ 은 식 (6)과 같다.

$$y_k(t) = \sum_{l=0}^{L-1} \omega_l x(t-l) \quad (6)$$

L은 탭의 개수이며, ω_l 은 각 탭의 계수 값을 나

타낸다. 추정되어진 등화기의 출력 값인 $y_k(t)$ 과 알고 있는 프리엠블 신호열 P 를 이용하여 다음 식 (7)과 같이 오차를 추정한다.

$$e_k = \sum_{i=1}^n (p_i - y_k(i)) / n \quad (7)$$

n 은 프리엠블 비트 수를 의미하며, 그림 5와 같이 입력 SNR에 따른 식 (7)의 등화기 오류를 나타낸다. 등화기 오류는 식 (7)의 절대값이며, 입력 SNR이 높을수록 원 신호와 가까워 오류 성분이 줄어들음을 알 수 있다.

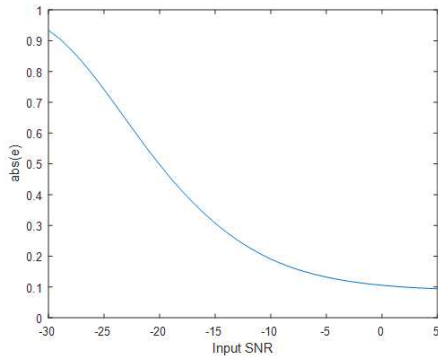


그림 5. 입력 SNR에 따른 등화기 오류
Fig. 5. Equalization error for input SNR

(3) 프리엠블 오류율을 이용한 추정 방식

수중음향통신을 위한 패킷구성은 동기 획득을 위한 비부호화된 프리엠블 비트를 부호화된 데이터와 연결하여 2장에서 설명한 바와 같이 송신한다. 프리엠블 비트의 역할은 주파수 및 위상 정보를 획득하여 이를 데이터 영역의 주파수 및 위상 오차를 보상하는데 적용되었다. 다중 경로 등의 열악한 채널 환경에서는 프리엠블의 비트 수를 수십 ~ 수백 비트로 할당하므로 이의 오류율 또한 데이터 부분의 오류율과 상관성을 가지고 있으므로 그림 1의 수신부와 같이 비부호화된 프리엠블의 오류율을 이용하여 데이터 부분의 오류율을 예측하여 데이터 부분의 복호부에 정보를 제공할

수 있다. 따라서 프리엠블의 오류율을 이용하여 데이터 오류율을 예측하여 복호 후의 QEF 조건을 이용하여 밴드별 성능을 예측하는 방식이다. 프리엠블 오류율과 데이터 오류율의 상관 관계는 그림 6과 같다. 그림 6에서 다섯 가지의 그래프는 임의로 프리엠블 오류율이 10% 미만인 두 가지 경우와 10%이상인 세 가지 경우, 총 다섯 가지에 대한 그래프이며, 그림 6의 가로축의 PNBER(%)는 255비트 중 몇 비트가 오류났는지에 대한 백분율을 나타내며, EQBER(%)는 그림 1의 등화기 후의 오류율, DECBER(%)는 복호 후 오류율을 나타낸다. 성능 분석 결과 336 비트의 부호화어 길이와 부호화율 1/3을 가지는 터보 부호 적용시[8] 비부호화된 프리엠블 오류율이 10% 이하이면 데이터 영역에서 오류를 거의 정정할 수 있기 때문에 프리엠블 오류율을 이용하여 각 밴드별 성능을 예측할 수 있다.

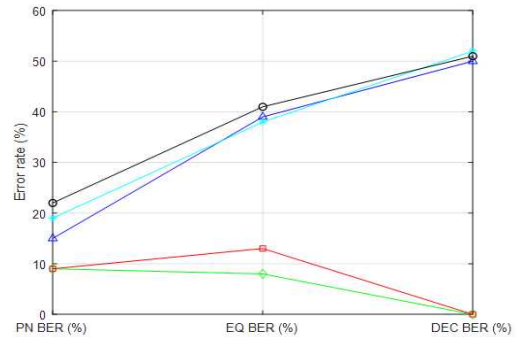


그림 6. 프리엠블 오류율에 따른 데이터 오류율
Fig. 6. Data error rate for preamble error rate

4. 실험 결과

4.1 수중 실험 환경

실험은 네 개의 밴드를 갖는 다중 밴드 PSK 변조 방식을 적용하였다. 송신기로는 Neptune 사의 D/17 모델을 사용하였고, 수신기로는 TC 4032를 사용하였다. 실험은 그림 7과 같이 2021년 10월 한국해양대학교 앞 해역에서 거리는 송신기는 고정시키고 수신기의

위치를 거리 약 100m, 200m, 300m 로 변경하면서 실험하였다. 그림 8에서 는 수중 채널의 지연 프로파일을 나타내며, 수면에 반사되어지는 반사파, 그리고 바닥에서 들어오는 신호들이 있다는 것을 의미하며 아주 큰 다중 경로가 2 개 있음을 알 수 있다.



그림 7. 해양 실험 환경
Fig. 7. Ocean test environment

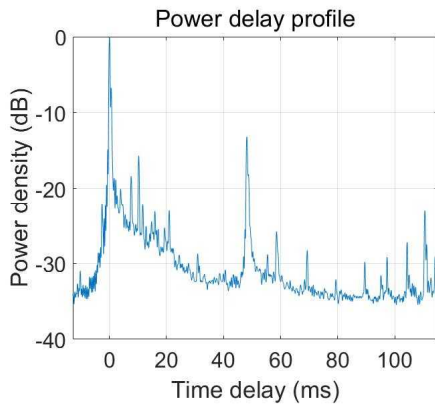


그림 8. 수중 전달 특성
Fig. 8. Underwater transmission characteristic

4.2 실험 결과

실험을 위한 파라미터는 표 1과 같다. 112 비트의 입력 비트를 사용하였다. 터보 부호화기의 부호화 길이는 336 비트이며, 수중 채널의 다중 경로, 도플러 확산 등의 성능 감소 요인을 최소화 하기 위해 짧은 부호화 비트 및 낮은 부호화율을 가지는 터보 부호화 방식을 선택하였다.

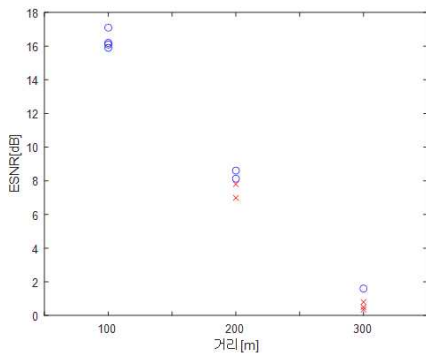
표 1. 실험 파라미터

Table 1. Experiment parameters.

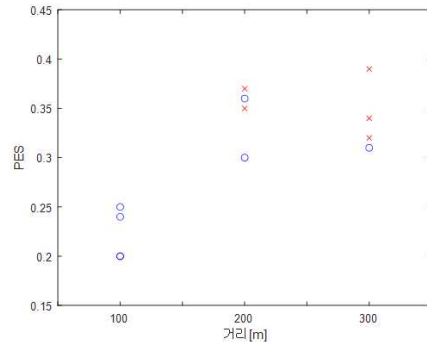
Source	112 bits
Preamble bit	255 bits
Channel coding	Turbo coding(K=112, N=336)
Modulation	BPSK
Equalizer	LMS DFE
Number of bands (N_b)	4
Center frequency of each band	$f_1 = 15000$ Hz $f_2 = 17000$ Hz $f_3 = 19000$ Hz $f_4 = 21000$ Hz
Number of samples (N_s)	1920
Sampling frequency	192000
Bit rate	100 bps

프리앰블 길이는 255비트를 가지는 m-sequence를 사용하였으며, 등화기로는 LMS-DFE를 사용하였다. 15kHz, 17kHz, 19kHz, 21kHz 의 네 개의 밴드를 사용하였으며 변조 방식은 BPSK이다. 전송율은 100bps로 가정하였으며 샘플링 주파수가 192 kHz이기 때문에 심볼 당 샘플 수는 1920 개이다. 그림 9는 3장에서 제시한 세 가지 밴드 성능 예측 모델에 대한 거리에 따른 실험 결과이다. 실험은 밴드별 성능 차이를 두기 위해 거리를 100m에서 300m로 변경하면서 네 개의 밴드에 대해 복호 성공 여부에 따른 실험 결과이다. 그림 9의 “○”표시는 복호 후 오류를 모두 정정한 경우이며, “x”는 복호가 실패한 경우이다. 그림 9(a)와 그림 9(b)는 프리앰블 오류율이 아니라 프리앰블 신호의 수신 SNR 및 등화기 평균 오차를 나타낸다. 그림 9에서 알 수 있듯이 거리가 100m인 경우에는 네 개의 밴드 모두 복호가 성공하였으며, 200m에서는 두 개가, 300m에서는 하나의 밴드만 복호가 성공하였음을 알 수 있다. 알고리즘 별로 성능 예측 기준을 살펴보면, 그림 9(a)는 거리에 따른 ESNR을 나타내며, 식 (5)의 수신 SNR을 dB로 나타내었다. 거리가 길수록 ESNR이 감소됨을 알 수 있으며, 200m, 300m에서 ESNR이 클 때 복호 오류가 성공함을 알 수 있다. 그러

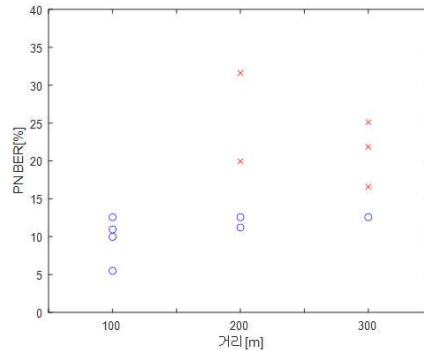
나 복호 성공 가능 여부에 따른 ESNR 값이 밴드별 차이가 나지 않으므로 이를 성능이 좋은 밴드가 어느 것이라고 판단하기가 매우 어렵다. 그림 9(b)는 거리에 따른 등화기 오류인 PES를 나타내며, 식 (7)의 오류치의 절대값으로 나타내었다. 거리가 길수록 PES값이 증가됨을 알 수 있으며, 200m 인 경우에는 PES 값이 작음에도 불구하고 큰 값에 비해 복호가 실패한 경우가 있다. 이 또한 ESNR 값과 같이 밴드별 차이가 나지 않으므로 이를 성능이 좋은 밴드가 어느 것이라고 판단하기가 매우 어렵다. 그림 9(c)는 거리에 따른 밴드별 프리엠블 오류율을 나타낸다. 프리엠블 오류율은 255비트의 프리엠블 비트 중 몇 비트가 오류가났는지에 대한 백분율을 나타낸다. 프리엠블 오류율이 10% 근처 있을 때 정확히 데이터 오류가 모두 복호됨을 알 수 있으며, 그림 6의 시뮬레이션 결과와도 일치성을 보인다. 세 가지 알고리즘에 대한 실험 결과를 종합하여 볼 때 프리엠블 오류율에 의한 밴드 별 성능 예측이 가장 효율적임을 알 수 있다.



(a) 거리에 따른 ESNR



(b) 거리에 따른 등화기 오류



(c) 거리에 따른 프리엠블 오류율

그림 9. 세가지 밴드 성능 예측 모델에 대한 실험 결과
Fig. 9. Experiment results for three band performance prediction model

5. 결론

동일한 데이터 스트림을 서로 다른 주파수로 변조하여 각 스트림 열을 더하여 전송하는 다중 밴드 통신 방식은 수중 통신에서 선택적 주파수 페이딩 및 도플러 확산 등을 극복할 수 있는 성능이 우수한 통신 방식이다. 이러한 다중 밴드 전송 기법에 있어서 각 밴드의 성능이 서로 다르므로 성능이 가장 좋은 밴드를 선택하는 기술이 성능을 좌우하는 척도이다. 본 논문에서는 ESNR, PES, 프리엠블 오류율등의 세 가지 경우의 밴드별 성능 예측 알고리즘을 제시하였으며, 이를 시뮬레이션 및 실험을 통하여 효율적인 알고리즘을 제시하였다. 각 알고리즘의 측정된 결과의 차이를 두기 위

해 100m에서 300m로 거리를 증가하면서 각 알고리즘에 대해 밴드별 로 값을 측정하였다. 밴드별 측정된 결과, ESNR 및 PES 알고리즘은 밴드별 성능 차이가 크지 않아 어느 밴드의 성능이 우수한가에 대한 판단 기준이 어려우며, 프리엠프블 오류율을 이용하는 성능 예측 방식이 가장 정확함을 알 수 있다. 향후 시변 채널을 가지는 수중 통신 채널에서 다중 밴드 전송시 밴드 성능에 따른 가중치를 부여할 때, 각 밴드별 성능을 예측하는 적합한 알고리즘이라 사료된다.

REFERENCES

[1] Milica S. and James P., "Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization," IEEE Communications Magazine, vol. 47, pp. 84-89, 2009.

[2] Paul A. van Walree and Geert Leus, "Robust Underwater Telemetry with Adaptive Turbo Multiband Equalization," IEEE J. Ocean, vol 34, pp. 645-655. 2009.

[3] Hui-Su Lee, Chang-Uk Baek and Ji-Won Jung, "Performance Analysis of Multiband Transmission Technique in Underwater Acoustic Communication," Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, vol. 11, no. 3, pp. 253-258, 2018.

[4] Ji-Won Jung and In-Soo Kim, "A study on threshold detection algorithm for adaptive transmission in underwater acoustic communication," The Journal of the Acoustical Society of Korea, vol. 39, pp. 585-591, 2020.

[5] M.A. Deaett and P.P. Audi, "Interleaver performance for FSK transmission on the acoustic fading channel," Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology, pp. 313-317, 1990.

[6] L. Wan, H. Zhou, X. Xu, Y. Huang, S. Zhou and Z. Shi, "Adaptive modulation and coding for underwater acoustic OFDM,"

IEEE J. Oceanic Eng. vol. 40, pp. 327-336, 2014.

[7] J. Salz, "Optimum mean-square decision feedback equalization," Bell System Tech. J., vol. 52, pp. 1341-1373, 1973.

[8] C. Douillard and C. Berrou, "Turbo code with rate-m/(m+1) constituent convolutional codes," IEEE Trans. on Comm., vol. 53, pp. 1630-1638 2005.

저자약력

정 지원 (Ji-Won Jeong)

[정회원]



- 1995.02: 성균관대학교 통신공학과 공학박사
- 1991 ~ 1992: LG 정보통신 연구소 연구원
- 1995 ~ 1996: 한국통신 위성통신연구실 선임연구원
- 1997 ~ 1998: 한국전자 통신연구원 위성단 초빙연구원
- 2001 ~ 2002: 캐나다 CRC (Communication Research Center) NSERC Fellowship (국외 초빙연구원)
- 1996 ~ 현재: 한국해양대학교 전파융합공학전공 교수

〈관심분야〉 위성통신, 수중통신, 채널 부호화 및 모뎀, FPGA 설계