

---

# 수중음향통신에서 최적의 반복부호 알고리즘 및 성능 실험

박군열\* · 임병수\* · 정지원\*\*

Performance Experimentation and an Optimal Iterative Coding Algorithm for Underwater Acoustic Communication

Gun-yeol Park\* · Byeong-su Lim\* · Ji-won Jung\*\*

---

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2012 - H0301 - 12-2 005)  
방위사업청과 국방과학연구소의 지원(계약번호 UD110101DD)으로 수행되었음

---

## 요 약

수중에서의 통신은 해수면과 해저면 등에 의한 신호의 반사가 생겨 다중경로 현상이 발생한다. 이러한 다중경로의 영향으로 신호는 왜곡되고 원활한 수신을 방해하게 된다. 이러한 다중 경로 환경에서 본 논문에서는 수신신호의 성능을 향상시키고자 수중통신에 적합한 반복부호를 설정하였다. 적용가능한 반복부호로는 터보 부호와 LDPC 부호가 있으며, 성능 및 부호화 길이, 등화기 적용 등의 파라메타를 기반으로 수중통신에서는 터보 부호의 적용이 적합하다는 결론을 얻었다. 따라서 터보 부호 기반으로 다중경로로 인한 위상 오차 추정은 decision directed 방식을 이용하여 위상 추적을 하였다. 실제 동해 바다에서 송수신 거리가 3Km 그리고 데이터 속도를 1Kbps로 설정하여 터보 부호의 성능을 확인하였다.

## ABSTRACT

Underwater acoustic communication has multipath error because of reflection by sea-level and sea-bottom. The multipath of underwater channel causes signal distortion and error floor. In order to improve the performance, it is necessary to employ an iterative coding scheme. Among the iterative coding scheme, turbo codes and LDPC codes are dominant channel coding schemes in recent. This paper concluded that turbo coding scheme is optimal for underwater communications system in aspect to performance, coded word length, and equalizer combining. Also, decision directed phase recovery was used for correcting phase offset induced by multipath. Based on these algorithms, we confirmed the performance in the environment of oceanic experimentation.

## 키워드

수중채널; 위상 추적 알고리즘; LDPC 부호; Turbo 부호; 반복부호

## Key word

Underwater channel; Phase tracking algorithm; Turbo codes; LDPC codes; Iterative codes

---

\* 준회원 : 한국해양대학교 (pgy04@hhu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 06

\*\* 종신회원 : 한국해양대학교

심사완료일자 : 2012. 05. 07

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.11.2397>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서 론

수중 음향 통신 시스템은 과거 군사적 목적을 위해 제한적으로 사용되었다. 수중 음원 탐지나 수중 운동체 추적, 잠수함등과의 통신을 위해 주로 연구되었으나 해양에 관한 관심이 고조되고, 해양 탐사나 해저 자원 탐사가 활발해지면서 그 활용분야가 확대되었다. 하지만 국내의 기술 수준은 해양산업기술의 수요 부족으로 인하여 수중통신 시스템의 개발은 미미한 수준이다.

수중에서 전파는 급격한 감쇠특성을 갖기 때문에 수중에서의 무선통신에는 음파를 이용하여 통신을 하게 된다. 이러한 이유로 수중에서의 무선통신 시스템 연구는 수중음향학과 통신기술의 복합기술로 연구가 이루어지는 분야이다. 음성 채널의 경우 전달 과정에서 잔향 및 다중경로 등에 의해 크게 왜곡되며, 수중에서 고속 데이터 전송을 위하여 수중 음향 통신 채널 특성을 결정하는 해면, 해저, 수심 등의 시공간 변화에 의한 다중경로 특성이나 도플러 확산이 시스템의 설계에 고려되어야 한다. 특히 친해에서의 다중경로는 해면의 시변 산란에 의해 도플러 확산파가 직접파에 혼입되어 통신 채널의 특성을 좌우하게 된다.

이러한 음향 채널 특성의 시공간적인 변화는 디지털 수중음향 통신에서 송신하는 심벌간의 상호간섭(Inter-Symbol Interference : ISI)을 야기하여 통신 시스템의 성능을 저하시키게 된다. 따라서 이러한 비선형 복합 채널을 가지는 수중통신에서, 시간에 따라 채널의 특성이 매우 빠르게 변하는 시변 특성을 가지는 채널이므로, 이를 신뢰성이 있게 올바르게 복조하기 위해서는 송신단에서 여러 특성을 고려한 채널 부호화 방식과 결합된 효율적인 위상동기 알고리즘의 적용이 매우 중요하다.[1][2][3]

이에 본 논문에서는 이러한 다중 경로 환경에서 수신 신호의 성능을 향상시키고자 수중통신에 적합한 반복 부호를 설정하였다. 적용가능한 반복부호로는 터보 부호와 LDPC 부호가 있으며, 성능 및 부호화 길이, 등화기 적용 등의 파라메타를 기반으로 수중통신에서는 터보 부호의 적용이 적합하다는 결론을 얻었다. 따라서 터보 부호 기반으로 다중경로로 인한 위상 오차 추정은 decision directed 방식을 이용하여 위상 추적을 하였다. 실제 동해 바다에서 송수신 거리가 3Km 그리고 데이터

속도를 1Kbps로 설정하여 터보 부호의 성능을 확인하였다.

## II. 수중통신에 적합한 반복부호

### 2.1. 반복부호 알고리즘

DVB-RCS를 기반으로 하는 터보 부호는 기존의 1 bit를 입력하여 출력하는 binary 부호가 아니라 2 bit를 입력하고 출력하는 이중 바이너리(double binary) 부호이다. 이중 바이너리 구조의 CRSC (Circular Recursive Systematic Convolutional)부호는 반복 부호 기법을 이용하여 Shannon이 제시하는 이론적 한계값에 매우 근접하는 우수한 오류정정 능력을 보이고 있다. 하지만 높은 SNR에서는 오류 마루 현상이 존재하여 이를 극복하기 위해 DVB-RCS NG 부호화 방식인 터보 Pi 부호화기 구조를 사용하였다.

이러한 터보 Pi 부호화기는 기존의 이중 바이너리 구조를 이용하는 터보 구조와 동일하며, 단지 16상태를 이용하는 구조이다.[4]

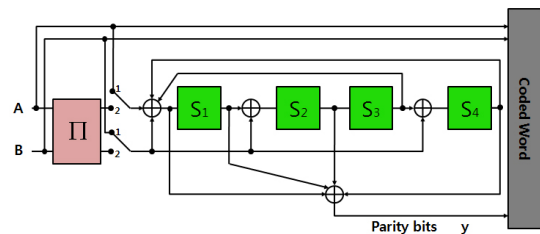


그림 1. 터보 Pi 부호기 구조  
Fig. 1 Structure of Turbo Pi encoder

기존의 터보 부호화기는 3개의 S1,S2,S3 메모리를 가지며 8-state로 구성되어 있다. 본논문에서 적용한 그림 1과 같은 터보 Pi 부호화기는 4개의 메모리를 가지며 16개의 state를 이용하여 각각의 상태가 가지는 해밍거리차이를 더 크게 만들어 오류 마루 현상을 제거할 수 있는 구조이다.

또한 최근 모든 무선 통신 분야에서 관심이 되고 있는 채널 부호화 방식인 LDPC 부호화 방식은 turbo 부호[4]에 비해 복호화의 복잡도가 낮을 뿐 아니라 좋은 거리 특

성으로 오류마루 현상이 나타나지 않고, 완전 병렬 처리로 고속 처리가 가능한 장점이 있다. 실제로 위성 고선명 TV(HDTV) 표준안인 DVB-S2(Digital video Broadcasting - Satellite - Second generation) 시스템과 무선 랜 표준안인 802.11n에서 LDPC 부호를 오류정정부호화 방식을 적용하고 있다[6].

반면에 부호화의 높은 복잡도가 LDPC 부호의 중요한 문제점이었으나 최근에 삼각행렬 분해법, Linear-congruence 방법을 사용하여 부호화를 간단하게 하였다. LDPC 코드는 sparse parity check matrix  $H(n-k) \times n$ 를 가지는 선형 블록 부호이다. 본 논문에서는 802.11n 규격에 제시된 패리티 검사 행렬을 사용하여 시스템적인 부호화 과정을 사용함으로써 저장 용량과 복잡도 문제를 해결하였다[5].

따라서 본 논문에서는 터보부호와 LDPC 부호를 여러 파라미터를 이용하여 분석하였으며, 이는 표 1에 나타내었다.

표 1. 터보 부호와 LDPC 부호 비교  
Table. 1 Comparison between Turbo code and LDPC code

	Turbo Code	LDPC Coder
Performance	Good	Good
Complexity	Decoder	Encoder
Decoding Speed	Up to 20Mbps	Up to 200Mbps
Packet Size (bits)	Up to 2000	Up to 64800
Rate-Compatible	Easy	Difficult
Equalization	Combine Turbo Eq.	Independent Eq.

터보 부호와 LDPC 부호 모두 성능 면에서는 최근의 통신 시스템에서 가장 성능이 우수하며, 복잡도는 터보 부호가 복호기에 있는 반면 LDPC 부호는 부호기에 있다. 속도면에서 LDPC가 고속 통신시스템에 적용되는 반면 터보 부호는 저속 통신시스템에 적용된다. 부호화율의 가변성 측면에서 터보 부호는 천공 패턴을 이용하여 간단하게 가변시킬 수 있지만 LDPC 부호는 각 부호화율 마다 H 매트릭이 다르므로 가변성 측면에서는 터

보부호가 편리하다. 수중통신의 다중경로로 인한 신호 왜곡으로 인해 등화기의 적용이 필수 불가결하며, 최근의 수중통신에서는 터보 등화기의 적용이 우수함이 증명되어 있다.

다음 그림 2는 터보 부호와 LDPC부호의 블록 길이에 따른 성능을 분석한 그림이다. LDPC 부호는 작은 사이즈(802.11n 규격)부터 큰사이즈(DVB-S2규격)DMF를 제공하고 있으며[6], 그림 2에서 알 수 있듯이, 큰 사이즈(19200 비트)에서는 LDPC 부호가 성능이 좋지만 작은 사이즈(1944 비트)에서는 오히려 터보 부호가 성능이 약간 좋을 수 있다. 따라서 수중통신의 패킷에서는 큰 사이즈의 블록길이를 요구하고 있지 않고 등화기와의 결합 편이성이 중요하기 때문에 터보 부호의 적용이 수중 통신에서는 효율적이라는 결론을 얻을 수 있다.

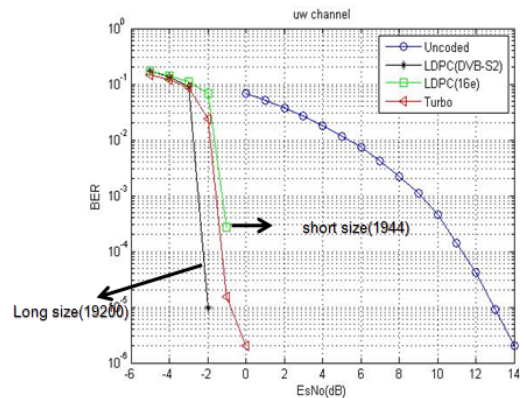


그림 2. 블록 사이즈에 따른 터보 부호와 LDPC 부호의 성능 비교

Fig. 2 Performance between Turbo code and LDPC code according to block size

## 2.2. 위상 추적을 위한 decision directed 복조기

기저 대역 신호에 반송파를 실어서 보내게 되면 수신측에서는 기저 대역 신호를 복원하기 위해서 반송파 신호를 제거할 필요가 있다. 따라서 동기 회로에서는 수신된 반송파의 위상과 자체 국부 발진기에서 재생된 신호와의 위상과의 차이인 위상 지터(jitter)를 최소화하는 것을 목표로 한다. 전송 효율을 극대화하기 위해서는 반송파 복원을 지원하는 preamble 데이터의 수를 가능한 한

작게 유지해야 하므로 빠르게 반송파를 포착할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

그래서 본 논문에서는 반송파 포착 성능 및 추적 성능을 개선함으로써 데이터 전송효율을 증가시킬 수 있는 DD (Decision-Directed) 방식을 사용하였고[7], 이의 구조는 그림 3에 나타내었다.

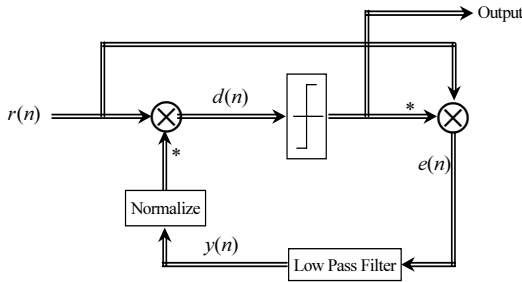


그림 3. DD-CPR의 구조  
Fig. 3 Structure of DD-CPR

QPSK 수신신호는 아래의 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(n) = (a_n + jb_n) \times e^{-j\theta} + \eta(n) \quad (1)$$

여기서  $a_n, b_n$  은 각각 I 채널, Q 채널의 데이터열 ( $\in \{1, -1\}$ )이고,  $e^{-j\theta}$ 는 채널상에서 부가된 잡음이고,  $\eta(n)$ 은 가우시안 잡음이다. 채널상에서 부가된 잡음을 제거하기 위하여 LPF에서 출력되는 보정된 위상 잡음 신호를 Normalize하고 conjugate하여, 그 신호  $e^{j\theta}$ 를 곱하면 식(2)과 같다.

$$d(n) = \{(a_n + jb_n) \times e^{-j\theta} + \eta(n)\} \times e^{j\theta} \quad (2)$$

식(2)의 신호를 decision이 항상 정확하다고 가정하면,  $e(n)$ 은 식(3)과 같다.

$$e(n) = \left\{ \begin{aligned} &(a_n + jb_n) \times e^{-j\theta} + \eta(n) \\ &\times (a_n - jb_n) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$E_b/N_0$ 를 높게 주면 가우시안 잡음은 거의 무시할 수 있으므로, 해석을 용이하게 할 수 있다. 그러므로 용이한 해석을 위해서  $\eta(n)$ 을 무시하면, 식(3)은 아래의 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e(n) = \sqrt{(a_n^2 + jb_n^2)} \times e^{-j\theta} \quad (4)$$

식(4)에서 얻은 잡음 신호의 진폭을 무시하고 AR (Auto-Regressive) LPF에 입력하면 식(5)를 만족한다.

$$y(n) = \beta \times y(n-1) + (1-\beta) \times e^{-j\theta} \quad (5)$$

여기서  $\beta$ 는 LPF의 파라미터이고 1보다 작은 값을 가진다. 식(5)를 전개하면 아래와 같이 일반화 시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} y(1) &= \beta \times y(0) + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ y(2) &= \beta \times y(1) + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ &= \beta^2 \times y(0) + \beta(1-\beta)e^{-j\theta} + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ y(3) &= \beta \times y(2) + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ &= \beta^3 \times y(0) + \beta^2(1-\beta)e^{-j\theta} \\ &\quad + \beta(1-\beta)e^{-j\theta} + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ &\vdots \\ y(k) &= \beta \times y(k-1) + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ &= \beta^k \times y(0) + \beta^{k-1}(1-\beta)e^{-j\theta} \\ &\quad + \beta^{k-2}(1-\beta)e^{-j\theta} \\ &\quad + \dots + (1-\beta)e^{-j\theta} \\ &= (1-\beta)e^{-j\theta}(1 + \beta + \beta^2 + \beta^3 + \dots + \beta^{k-1}) \\ &= (1-\beta)e^{-j\theta} \times \frac{1-\beta^k}{1-\beta} \\ &= e^{-j\theta}(1-\beta^k) \end{aligned} \quad (6)$$

식(6)이 정상 상태에 도달하면 결과적으로 식(7)과 같이 표현할 수 있고, 정확히 위상 에러를 포착함을 알 수 있다.

$$y(n) = e^{-j\theta} \quad (7)$$

### III. 해상 실험 결과

#### 3.1. 패킷 구성

그림 4는 해상실험에서 실험하기 위한 패킷 구성도이다. 실험을 위해 원신호는 984 비트의 텍스트 신호를 이용하였다. 터보 부호화 과정에서 입력 비트수(K)가 984 비트이기 때문에 부호화율이 1/3인 터보 부호에서 부호화된 비트수는 2952비트 이기 때문에 마지막 부분에 dummy 데이터를 삽입하였다. 터보 부호화 과정을 거친 후, 패킷 구성을 할 때, 패킷 내, 데이터 부분을 일정한 길이로 분할 할 때, preamble 부분에는 패킷 구성 시 패킷의 시작점을 알리는 LFM과 일정한 길이의 silence 구간, 동기를 획득하기 위해 sync 신호를 삽입하고 이는 128 심볼의 PN 코드를 삽입하였다. Preamble 데이터 부분에는 수중 통신의 다중 경로로 인한 위상 왜곡을 보상하기 위해 80 비트의 “11111....1”을 삽입하였다.

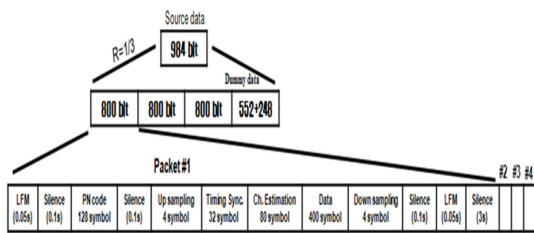


그림 4. 해상 실험을 위한 패킷 구성  
Fig. 4 Packet composition for underwater experiment

실제 해상에서 최종 수신된 신호의 형태는 아래 그림 5와 같다. 처음 수신된 신호는 LFM이며, 이는 패킷의 시작점을 알리는 신호이며, silence 구간 후 두 번째 수신되는 sync 데이터는 수신되는 신호의 정확한 타이밍을 잡기 위해 사용되었으며, preamble 데이터 부분에서 수신 신호의 위상 오차를 보상하여 추정된 위상을 데이터 영역에 적용시킨다.

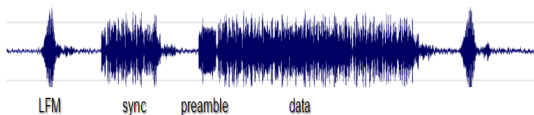


그림 5. 수신신호의 형태  
Fig. 5 The form of received signal

수신단에서는 송신단의 역 과정으로 QPSK 변조된 신호가 수중 채널에서 다중 경로로 반사되어 들어오는 과정에서 위상 및 주파수 오프셋이 발생하는데, 이를 보정해 주는 복조기가 필요하다. 복조부에서 위상 추적기로는 본 논문에서는 DD 알고리즘을 이용하였다.

#### 3.2. 해상 실험 환경

다음 그림 6과 같은 환경에서 실제 해상실험을 수행하였다. 송신기로는 ITC-1001을 사용하였고 수신기로는 8103을 사용하였다. 이 때 preamble 구간의 길이는 24 bit로 하였고 실험은 강원도 동해시 인근 해상에서 수행되었다. 실험 시기는 2011년 6월말로 해상상태는 파도가 소량 있었으며 송수신기 사이의 거리는 최대 3Km로 하였다. 배는 표류를 하였기 때문에 해류의 영향으로 송수신기 거리에 오차가 발생한다. 이렇게 오차가 발생하면 신호가 가까워지거나 멀어지기 때문에 신호가 늘어지거나 줄어드는 현상이 생기게 된다. 그리고 송신기는 수면 아래 100 m, 수신기는 200 m 아래 거의 해저면 가까이 위치하였다. 반송파 주파수와 샘플링 주파수는 각각 6 kHz 및 60 kHz로 하였으며, 전송율은 1 kspss로 하였다.

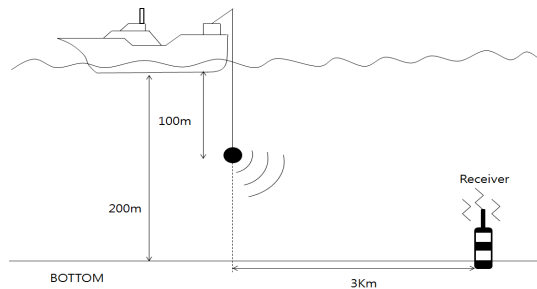


그림 6. 해상 실험 환경  
Fig. 6 underwater experiment environment

그림 7에는 실험 해역에서 측정된 채널 전달 특성을 나타낸 것으로 5분 동안 채널의 전달 지연 특성을 보여 준다. 이 측정을 위해 약 4 kHz 대역폭을 갖는 0.25 sec 길이의 LFM 신호를 주기적으로 약 1200회 가량 송신하였다. 그림은 송수신된 LFM 신호의 상관관계를 이용하여 구한 것으로 다중경로에 따른 영향을 받는 것을 확인할

수 있습니다.[8]. 이는 해수면에 반사되어지는 반사파 그리고 바닥에서 반사되어 들어오는 신호들이 있다는 것을 의미한다.

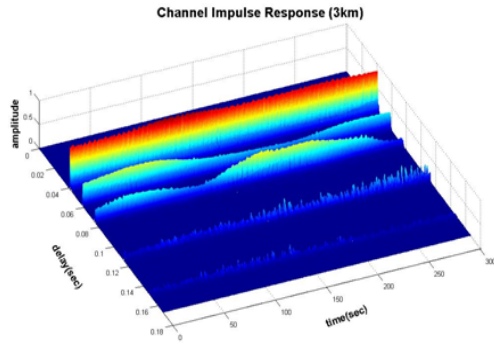


그림 7. 수중채널 지연 특성  
Fig. 7 Delay property in underwater channel

### 3.3. 터보 부호 성능 결과

본 논문에서는 표 2와 같이 데이터 속도는 1kbps, 중심 주파수는 16KHz, 샘플링 주파수는 6배인 96KHz를 적용하였다. 터보 부호화 방식은 앞 장에서 설명 하였듯이 K=984, N=2952 비트인 부호화 율 1/3을 적용하였으며, 변조 방식은 QPSK 변조 방식을 적용하였다.

표 2. 해상실험 파라메타  
Table. 2 underwater experiment parameters

Source	984 bit text	
Channel coding	Turbo code(R=1/3, K=985, N=2952)	
Modulation	Bit rate	1Kbps, 4Kbps
	$f_c$	16KHz
	$f_s$	96KHz
Distance	3Km	
Depth	TX : 100m, RX : 200m	

그림 8은 터보 부호화 방식의 효과를 증명하기 위해 거리 3Km에서 1Kbps신호를 갖은 원신호를 QPSK 변조 후 수신단에서 복조된 결과와 터보 부호화 기법을 적용한 결과를 비교한 그림이다. 그림 8(a)는 해상 실험에서 적용된 원신호이며 이는 터보 부호화 입력인 984 비트

의 텍스트로 구성되며, (b)는 위상동기 알고리즘을 적용하지 않고 수신된 심볼을 터보 복호후 데이터이며, (c)는 위상동기 알고리즘 적용 후 터보 복호 후 데이터이다. 터보 복호 적용시 복조부에서 어느 정도 위상 추적을 하면 오류를 정정 할 수 있음을 알 수 있으며, 위상동기 알고리즘 수중 통신에서 성능 향상을 위해 필요한 요소 기술임을 알 수 있다.

“Underwater Communication / Detection Research Center - Korea Maritime University(2011 UAC Experiment) - Channel coding test”

(a)

“WID? ???E?e?CK?g?G?G?????j|L?????????W?%?????G?O?O???\_RWB????%?\_???-??O?^????????????? ?>?b?%??1? ? )-^!IO?hgGM?Do%?)-”

(b)

“Underwater Communication / Detection Research Center - Korea Maritime University(2011 UAC Experiment) - Channel coding test”

(c)

그림 8. 채널부호화 기법 및 위상동기 알고리즘 적용에 따른 수신 이미지 비교(1Kbps, 3Km, QPSK) (a) 원 신호 (b) 위상동기 알고리즘 적용하지 않고 터보 복호 후 데이터 (c) 위상동기 알고리즘과 터보 복호 후의 데이터

Fig. 8 Comparison of the received image according to channel coding method and phase-locked algorithm (a) Original signal (b) After Turbo decoding data without phase-locked algorithm (c) After phase-locked algorithm and Turbo decoding data

## IV. 결 론

본 논문에서는 수중통신에서 고려되어 지는 반복 기반의 채널 부호화 기법 중 최적의 부호화 기법을 선정하였다. LDPC 부호는 작은 사이즈(802.11n 규격)부터 큰 사이즈(DVB-S2규격)DMF 제공하고 있으며, 큰 블록 사이즈에서는 LDPC 부호가 성능이 좋지만 작은 사이즈에서는 오히려 터보 부호가 성능이 약간 좋음을 알 수 있다. 따라서 수중통신의 패킷에서는 큰 사이즈의 블록길이를 요구하고 있지 않고 등화기와의 결합 편이성이 중요하기 때문에 터보 부호의 적용이 수중 통신에서는 효

울적이라는 결론을 얻을 수 있다. 최적의 부호화 방식이 터보 부호라는 결론 하에 해상 실험을 위한 패킷 구성을 하였다. 실험을 위해 원신호는 984 비트의 텍스트 신호를 이용하였다. 터보 부호화 과정에서 입력 비트수(K)가 984 비트이기 때문에 부호화율이 1/3인 터보 부호를 적용하였고, 패킷 구성 시 패킷의 시작점을 알리는 LFM과 일정한 길이의 silence 구간, 동기를 획득하기 위해 sync 신호를 삽입하고 이는 128 심볼의 PN 코드를 삽입하였다. Preamble 데이터 부분에는 수중 통신의 다중 경로로 인한 위상 왜곡을 보상하기 위상 오프셋 또는 타이밍 오프셋을 보상하기 위해 데이터를 삽입하였다. 실제 해상 실험에서 거리 3Km에서 1Kbps신호를 갖은 원신호를 QPSK 변조 후 수신단에서 복조된 결과와 터보 부호화 기법을 적용한 결과를 비교한 결과 DD 방식을 적용하여 복조부에서 어느 정도 위상 추적을 하면 오류를 정정 할 수 있음을 알 수 있으며, 위상 동기 알고리즘 역시 수중 통신에서 성능 향상을 위해 필요한 요소 기술임을 알 수 있다.

[3] Daniel B. Kilfoyle and Arthur B. Baggeroer (2000), "The state of art in underwater acoustic telemetry," IEEE J. Oceanic Eng., vol.25, no.1, pp.4-27, Jan.

[4] C.Berrou, A.Glavieux, and P.Thitimajshima, "Near Shanon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo-Codes", in Proc. ICC93, 1993.

[5] T. Richardson and R. Urbanke, "Efficient Encoding of Low-Density Parity Check Codes", IEEE Trans. Information Theory, vol. 47, pp.638-656, Feb. 2001.

[6] Z.Cai, J. Hao, P.H.Tan, S.Sum and P.S. Chin "Efficient encoding of IEEE 802.11n LDPC codes", IEEE Electronics Letters, Vol.42, No.25, Dec. 2006.

[7] M.P. Fitz, "Decision-Directed Burst-Mode C-arrrier Synchronization Techniques", IEEE Trans. On Comm., Vol. 40, NO. 10, Nov. 1992.

[8] Paul van Walree, Channel sounding for acoustic communications: techniques and shallow-water examples, FFI(Norwegian Defence Research Establishment) report, Apr.2011

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(NIPA-2012 - H0301 - 12-2 005) 방위사업청과 국방과학연구소의 지원(계약번호 UD110101DD)으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] M. Stojanovic, J. Catipovic, and J. Proakis, "Phase coherent digital communications for underwater acoustic channels.", IEEE J. Ocean. Eng., vol. 19, no. 1, pp.100-111, Jan 1994.

[2] Paul van Walree, Channel sounding for acoustic communications: techniques and shallow-water examples, FFI(Norwegian Defence Research Establishment) report, Apr.,2011

저자소개



박군열(Gun-Yeol Park)

2012년 2월: 한국해양대학교  
진과공학과 (공학사)  
2012년 3월~현재: 한국해양대학교  
진과공학과 석사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술, 채널 코딩, FPGA 기술 등



임병수(Byeong-Su Lim)

2011년 2월: 한국해양대학교  
진과공학과 (공학사)  
2011년 3월~현재: 한국해양대학교  
진과공학과 석사과정

※관심분야: 위성 통신, 이동 통신, 변·복조 기술, 채널 코딩, FPGA 기술 등





**정지원(Ji-Won Jung)**

1989년 2월 : 성균관대학교  
전자공학과(공학사)

1991년 2월 : 성균관대학교  
전자공학과(공학석사)

1995년 2월 : 성균관대학교 정보공학과(공학박사)

1991년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 정보통신연구소 연구원

1995년 9월 ~ 1996년 8월 : 한국통신 위성통신연구실  
선임연구원

1997년 3월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 초빙  
연구원

1996년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 정교수

2001년 8월 ~ 2002년 8월 : 캐나다 NSERC Fellowship  
(Communication Research Center 근무)

※ 관심분야 : 위성 통신, 이동 통신, 변 · 복조 기술, 채널  
코딩, FPGA 기술 등