

# 고전송율 위성통신을 위한 FTN 신호 복호 기법 연구

권해찬\* · † 정지원

\*, † 한국해양대학교

## A Study on FTN Decoding Method for High Throughput Satellite Communication

Hae-Chan Kwon\* · † Ji-Won Jung

\*, † Department of radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 본 논문에서는 위성을 이용한 선박등의 이동중인 물체에 대해 광대역 서비스를 제공하기 위해 고전송율 전송 기법에 대해 연구하였다. 현재 위성 방송의 표준안은 DVB-S3에 근거를 두고 있으며, 항해 통신 등의 무선 장치를 이용하여 위성을 이용한 통신 서비스를 하기 위해서는 DVB-S3의 표준안에 근거를 두고 있다. 따라서 본 논문에서는 DVB-S3에서 제시되고 있는 반복 부호 알고리즘인 LDPC부호에 대해 8-PSK 변조 방식을 적용하고 전송률을 증가시키기 위해 FTN기법을 적용한 뒤, FTN으로 인해 열화된 성능을 반복 복호 기법을 통하여 성능을 향상시키는 방법에 대해 제시한다. 반복 복호 기법은 복호기의 출력값을 경관정하여 수신신호에 대한 새로운 LLR값을 다시 계산한뒤 반복 복호를 함으로써 성능을 향상시키는 방식이다. 본 논문에서는 FTN기법과 8-PSK, 1+7PSK 변조방식이 적용된 DVB-S2 시스템에 BICM-ID기법을 적용하여 가우시안 채널에서 성능 향상을 확인 하였다.

**핵심용어** : 위성통신, 항해 통신, 반복복호, LDPC codes, 8-PSK 변조, 경관정, FTN, BICM-ID

**Abstract** : In this paper, high throughput method is studied to provide floating objects with broadband service as ship by using satellite. In recent, satellite broadcastings standard is based on DVB-S3 for communication service using wireless device on navigation communication by satellite. LDPC codes are iterative coding algorithm proposed in DVB-S3. In this paper, FTN technique is applied to LDPC codes with 8-PSK modulation and then present the method to alleviate performance degradation due to FTN through BICM-ID. BICM-ID is the method to improve performance by calculating a new LLR from hard-decision value of decoder output. DVB-S2 system with 8-PSK modulation and FTN technique based on iterative decoding had a better performance than DVB-S2 with 8-PSK modulation and FTN technique over Gaussian channels.

**Key words** : Satellite communication, Navigation communication, Iterative decoding, LDPC codes, 8-PSK modulation, Hard decision, FTN, BICM-ID

### 1. 서 론

차세대 위성통신은 소형 이동형 지상과 방송 및 고정형 지상과 방송과 위성과의 융합에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 특히 위성을 이용한 이동 중인 선박간의 쌍방향 통신, 즉, 무선 인터넷과의 융합, 선박과 같은 이동체에 대한 위성방송 및 인터넷 통신을 하기 위한 연구가 제안되고 있다. 이러한 멀티미디어 통신을 위해서는 고전송율을 가지는 위성 통신이 요구되는데, 최근의 통신 방식은 고속으로 전송하기 위해 기존의 전력 제어(power control) 보다는 적응형 변조 코딩(AMC, Adaptive Modulation and Coding)을 이용

하여 품질을 보장하고 있으며, 이는 변조 방식을 기존의 QPSK 방식에서 8PSK, 16-QAM, 16-APSK 방식 등으로 확장하면서 채널 상태에 따라 각 변조 방식과 부호율과 조합을 이루면서 전송한다.

기존의 DVB-S2(Digital Video Broadcasting - Satellite - Second Generation)표준안에서는 복호 방식을 LDPC(Low Density Parity Check) 부호화 방식을 적용하고 있으며, 전송율을 증가시키기 위해 8PSK, 16APSK를 적용하고 있으며, 차세대 DVB-S3표준안에서는 MPSK의 M값이 8~256까지 고려되고 있다Mackay(1996)Lee(2006).

이러한 가운데 고차변조 방식을 이용하여 전송률을 증가시

\* 연희원, kxanm100@kmou.ac.kr 051)410-4920

† Corresponding author : 연희원, jwjung@kmou.ac.kr 051)410-4920

키는 방안 보다 FTN(Faster Than Nyquist) 방식을 이용하여 전송률을 높이는 방안 들이 대두되고 있다. 데이터 전송률에 대한 요구는 계속 늘어나고 있는 반면, 대역폭이 제한적이기 때문에 FTN 전송기법은 유용한 방법이라 할 수 있다Prlja(2012)Dasalukunte(2010).

전송율 향상을 위해서 FTN 기법을 고차변조 방식에 적용하고 있으나, ISI(Intersymbol interference)로 인한 성능 저하를 초래해 이를 해결하기 위해 비터비 등화기를 이용하여 LDPC 복호기와 연결한 터보 등화 기법을 시도하고 있다. 비터비 등화기의 적용은 B/QPSK 변조방식에서는 효율적이거나 8PSK 변조방식 이상일 때는 상태수의 증가 및 성능저하로 인해 적용하는데 어려움이 있다.

FTN기법 적용으로 인해 ISI 가 발생하여 성능열화가 나타나므로 이에 대한 대처기법으로 본 논문에서는 BICM-ID(Bit Interleaved coded modulation) 기법을 이용하여 FTN신호에 적용시키는 방식을 제안한다. 본 논문에서는 DVB-S3에서 제안되고 있는 8PSK와 1+7PSK 방식에 중점을 두어 성능 분석을 하였다.

## 2. 시스템 블록도

Fig. 1은 8PSK변조 방식에서 FTN 신호 전송시 본논문에 서 제시하는 BICM-ID기법의 송수신 구조를 나타낸다. 기존의 고차 변조 방식을 사용하는 DVB-S2 기반 LDPC 부호기는 Fig. 1에서와 같이 부호기에 의해 부호화된 비트가 Block interleaver를 통해 심볼로 변환된 후 멀티레벨 변조기에 입력된다. 변조기에서는 이 신호들을 I,Q의 신호로 만들고, 이 신호를 Nyquist이론보다 빠르게 전송하기 위해 SRRC Filter를 사용하는 FTN 기법을 적용하여 채널을 통과 시킨뒤, 복조기에서 I, Q의 신호들을 이용하여 비트로 나누어 반복 복호기의 입력값으로 사용하여 복호한다. 본 논문에서는, 전송률을 증가시키기 위한 FTN 기법과 복호기의 출력값을 경관정 한뒤 새로운 LLR값을 계산하는 반복 복호 방식을 제안한다. 다음 각 절에서는 Fig. 1의 요소 기술을 분석한다.

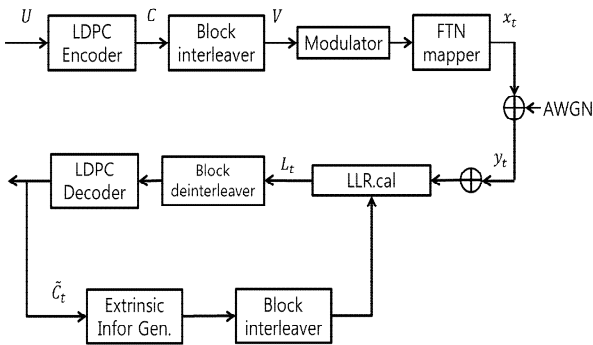


Fig. 1 System block diagram

### 2.1 블록인터리버 방식

DVB-S2 규격에서는 64800 비트 단위로 프레임을 구성하고 있으며, 8PSK 변조 방식 이상의 고차 변조방식 적용시 인터리버 사용을 권고하고 있다. 인터리버는 Fig. 2와같이  $2N/3+i$ ,  $N/3+i$ ,  $i(i=0,1,2, \dots N/3-1)$  의 3비트가 8PSK K의  $i$ 번째 심볼이 된다.

$N$ 개의 비트를 3개의 블록으로 나눈 뒤 세 번째 블록의 첫 번째 비트, 즉,  $2N/3+i$ 번째 비트가 8PSK 정상도의 세 개의 비트 중 최상위 비트가 되며,  $N/3+i$ 번째 비트는 8PSK 심볼의 두 번째 비트, 0번째 비트가 최하위 비트가 되어 하나의  $i$ 번째 심볼을 이루게 된다. 그리고 이것이 row= $N/3$ , column=3인 블록 인터리버이다.

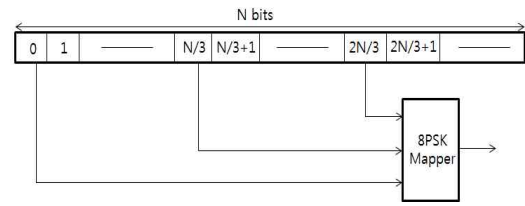


Fig. 2 Interleaver structure

### 2.2 연관성 비트 분리

DVB-S2 시스템은 변조 방식으로 BPSK, QPSK, 8PSK, 16APSK, 32APSK 등을 지원하고 있으며, 변조 방식이 BPSK나 QPSK인 경우에는 반복 복호기로 입력되는 값이 각각 수신 심볼의 I 성분과, Q 성분 값 자체이지만, 8PSK 이상의 멀티 레벨 변조 방식에서는 수신 심볼의 I와 Q성분을 이용하여 비트를 분리하여 복호기로 입력하여야 한다. 채널로부터 수신된 신호  $y$ 를 표현하면 식(1)과 같다.

$$y = s + n \tag{1}$$

여기서  $s$ 는 변조된 신호이고  $n$ 은 Gaussian noise이다. 본 논문에서 적용한 8PSK와 1+7PSK의 변조 신호의 정상도는 Fig. 3과 같다. 수신 신호에 대한 LLR 값은 식(2)와 같다.

$$LLR = \log \frac{P_0}{P_1} = \log \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y-1)^2}{2\sigma^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(y+1)^2}{2\sigma^2}}} \tag{2}$$

$$= \log e^{\frac{(y-1)^2 - (y+1)^2}{2\sigma^2}} = \frac{2}{\sigma^2} \cdot y$$

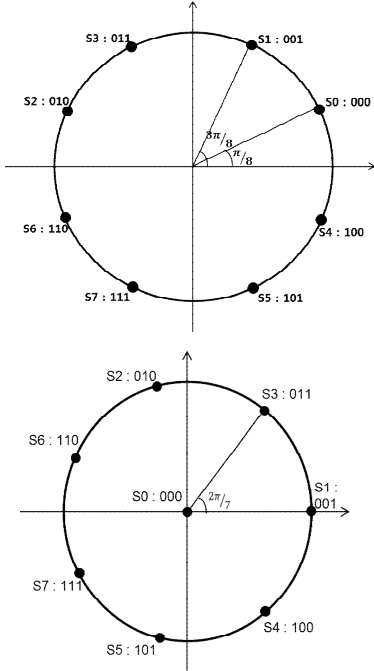


Fig. 3 Constellation of 8PSK and 1+7PSK

수신된 신호는 각각 8개의 심볼에 관하여 잡음이 AWGN이라고 가정하였을 때 최소 오차 확률을 가지는 결정 규칙은 식 (3)과 같이 수신 신호와 원형 신호 벡터 사이의 거리에 의해 구할 수 있다.

$$y = y_{re} + j \times y_m \tag{3}$$

$$\|y - s^i\|^2 = (y_{re} - s_i^{re})^2 + (y_m - s_i^{im})^2$$

$$i = 0, 1, \dots, 7$$

여기서  $y_{re}$ 는 수신 신호  $y$ 의 실수 부분이며,  $y_m$ 은 허수 부분을 의미한다. 마찬가지로  $s_i^{re}$ 는 정상도의  $i$ 번째 지점인  $s_i$ 에서 실수부분,  $s_i^{im}$ 은 허수 부분을 의미한다. 가우시안 잡음 후의 오차 확률  $P$ 는 식(3)으로부터 구한 수신신호와 각 심볼 사이의 거리를 이용하여 식(4)에 의해 구할 수 있다.

$$P_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{\|y - s_i\|^2}{2\sigma^2}}, i = 0, 1, 2, \dots, 7 \tag{4}$$

8개의 오차 확률을 이용하여 3개의 비트를 구하는 방법은 Fig. 2의 각 정상도의 매핑 점을 이용하고 LLR을 계산하여 구할 수 있다.

### 2.2 FTN Mapper

FTN 전송 방법은 주파수 대역에 의해 주어지는 Nyquist rate 보다 빠르게 신호를 전송하는 방법이다. 예를 들어 어느 정해진 시간동안 Nyquist rate에 따라 전송하면 10000개의

데이터를 전송한다고 했을 때, FTN 방식을 사용하여 50%로 축소하면 동일한 시간동안 20000개의 데이터를 전송할 수 있다. 그로 인해 필연적으로 ISI가 발생하게 된다. 간섭된 신호의 형태는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = \sqrt{E_s} \sum a_n h(t - n\tau T), \tau < 1 \tag{5}$$

여기서 수신신호는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(n\tau t) = \sum_k a_k p((n-k)\tau T) + n'(n\tau T) \tag{6}$$

$\tau$ 는 간섭되는 정도를 의미한다. 그리고 이의 간섭은 오류정정 부호화 방식을 적용하여 보상할 수 있다.

Fig. 4는 Oversampling 된 데이터와 Nyquist rate에 맞게 전송되는 데이터, 그리고 FTN을 적용한 데이터를 나타낸다.

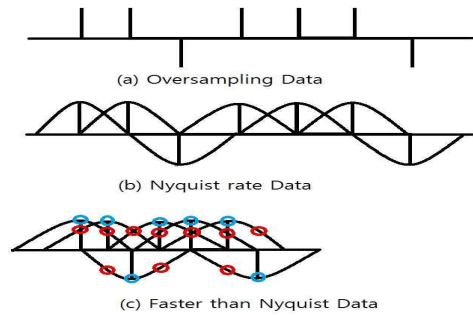


Fig. 4 (a)Oversampling, (b)Nyquist rate, (c)FTN Data

Fig. 4-(b)를 보면 Nyquist rate에 맞추게 되면 ISI가 생기지 않는 것을 알 수 있다. 하지만 Fig. 4-(c)에서는 FTN으로 인해 인접 심볼들이 서로 영향을 주어 데이터의 Decision 시점마다 Fig. 4-(c)의 원으로 표시된 부분이 원 데이터에 첨가 되게 되어 데이터에 영향을 준다.

### 3. BICM-ID 기반의 복호방식

경관정 기반의 8PSK 변조 방식이 적용된 BICM-ID(Bit Interleaved Coded Modulation - Iterative Decoding)의 블록도는 2장의 Fig.1과 같다. BICM-ID방식은 LDPC 복호기의 출력 값을 extrinsic 정보로 활용해 수신단의 입력 값을 조정하여 반복 복호를 통해 성능을 향상 시키는 방식이었지만 경관정 기반의 방식은 복호기의 출력값을 Hard decision 한 뒤 이 값을 이용하여 수신신호를 조정하는 것이 아니라 LLR 출력값을 조정하는 방식이다.Xiaodong(1997)Xiaodong(2002) 송신단에서 LDPC 부호화기로 입력되는 비트 열  $K$  개는 식

(7)과 같다.

$$U = [u_0, u_1, u_2, \dots, u_{k-3}, u_{k-2}, u_{k-1}] \quad (7)$$

부호기의 출력 N비트의 스트림을 C라고 두면 식 (8)과 같다.

$$C = [c_0, c_1, c_2, \dots, c_{N-3}, c_{N-2}, c_{N-1}] \quad (8)$$

부호기의 출력 비트를 블록 인터리버 하여 8PSK 변조 신호로 맵핑하기 위한 비트 스트림은 식 (9)와 같다.

$$V = [v_0^1, v_0^2, v_0^3, v_1^1, v_1^2, v_1^3, \dots, v_t^1, v_t^2, v_t^3] \quad (9)$$

임의의 시점 t에서 변조 신호된 매핑되는 비트 스트림을  $v_t = [v_t^1, v_t^2, v_t^3]$ 라 하면 변조된 신호  $x_t$ 는 식(10)과 같이 표현된다.

$$x_t = \rho(V_t) \quad (10)$$

가우시안 잡음이 첨가된 수신신호  $y_t$ 는 식(11)과 같다. 여기서  $n_t$ 는 가우시안 잡음을 의미한다.

$$y_t = x_t + n_t \quad (11)$$

수신신호  $y_t$ 를 비트 분리 한 출력 신호를  $L_t$ 라 두면 식(12)와 같다.

$$L_t = [\dots, \tilde{v}_t^1, \tilde{v}_t^2, \tilde{v}_t^3, \dots] \quad (12)$$

여기서  $\tilde{v}_t^i$ 는 각 비트별의 LLR 값이며, 다음과 같은 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{v}_t^i = \log P(y_t | v_t^i = b) = \frac{\sum_{b=0} P(y_t | x) - \sum_{b=1} P(y_t | x)}{\sum_{b=1} P(y_t | x)} \quad (13)$$

LDPC 복호기의 출력을 경관정한 복호비트열은 식(14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{C}_t = [\dots, \tilde{c}_0, \tilde{c}_1, \tilde{c}_2, \dots] \quad (14)$$

8PSK의 경우 복호기 출력값을 경관정한 뒤의 값이  $\tilde{c}_t^i (i=0,1,2)$ 라 하고 이 값을 이용하여 다시 계산된 LLR값을  $L_t^i (i=0,1,2)$ 라하면  $L_t^i$ 는 식(15)과 같은 과정으로 구할 수 있다.

$$L_t^i = \frac{\sum P(\rho(\tilde{C}_t^i = 0, \tilde{C}_t^j))}{\sum P(\rho(\tilde{C}_t^i = 1, \tilde{C}_t^j))} (i \neq j, i = j = 0,1,2) \quad (15)$$

여기서  $L_t^i (i=0,1,2)$ 는 t시점에서 3비트를 가지는 한 개의 심볼에 대한 각각의 비트를 나타낸다. 식 (15)에서  $L_t^i$ 를 세 개의 비트로 나눠서 표현하면 식(16)와 같다.

$$\begin{aligned} L_t^2 &= \frac{P(M_p(2^2 \times 0 + 2^1 \times \tilde{C}_t^1 + 2^0 \times \tilde{C}_t^0))}{P(M_p(2^2 \times 1 + 2^1 \times \tilde{C}_t^1 + 2^0 \times \tilde{C}_t^0))} \\ L_t^1 &= \frac{P(M_p(2^2 \times \tilde{C}_t^2 + 2^1 \times 0 + 2^0 \times \tilde{C}_t^0))}{P(M_p(2^2 \times \tilde{C}_t^2 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times \tilde{C}_t^0))} \\ L_t^0 &= \frac{P(M_p(2^2 \times \tilde{C}_t^2 + 2^1 \times \tilde{C}_t^1 + 2^0 \times 0))}{P(M_p(2^2 \times \tilde{C}_t^2 + 2^1 \times \tilde{C}_t^1 + 2^0 \times 1))} \end{aligned} \quad (16)$$

이는 복호기 출력값의 i번째 비트에 0과 1의 값을 주어 해당 t시점에 해당하는 심볼에서 i번째 비트의 0과 1에 대한 확률을 가지고 LLR값을 구하는 과정이다. 여기서  $M_p$ 는 8PSK 정상도에서 변조된 심볼의 정상 포인트를 나타낸다.

8PSK의 예에서 식(16)을 구하기 위한 정상포인트는 Fig. 5와 같다. 최하위비트인 Bit0에서 1과 0에 대한 확률을 구하는 과정을 예로 들면, Bit0을 제외한 같은 값을 가지는 두 개의 비트에 해당하는 복호기 출력값에 경관정이 적용된  $\tilde{c}_t^1, \tilde{c}_t^2$ 를 이용하여 0에 대한 확률을 구할 시,  $\tilde{c}_t^0$ 을 0으로, 1에 대한 확률을 구할 시,  $\tilde{c}_t^0$ 를 1로 두고 계산하여 Bit0에 대한 확률인  $L_t^0$ 을 구하게 된다.

Fig. 4는 LDPC 복호기의 출력값을 경관정한 뒤 각 비트에 대해 새로운 LLR값을 구하기 위한 정상구조를 나타낸다. Bit0을 예로 들면, 한 개의 심볼을 나타내는 세 개의 비트중 Bit0에 해당되는 최하위 비트를 제외한 같은 값을 가지는 두 개의 비트를 경관정된 값으로 두고 식(14)에서 나타낸 방법과 같이 LLR값을 구하게 된다.

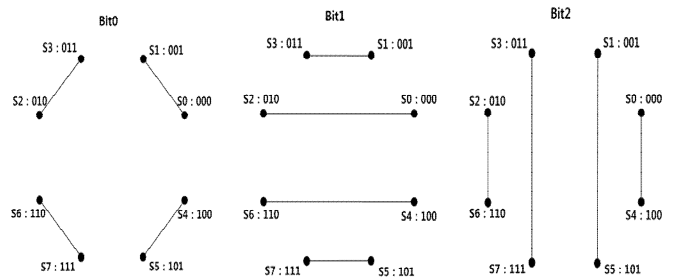


Fig. 5 Constellation structure of each bits for BICM-ID based on hard decision

## 4. 시뮬레이션 결과

Fig. 6는 LDPC 부호기의 부호화율이 2/3에서 FTN 16%, 33%가 적용된 8PSK와 1+7PSK의 성능이다. 16%의 FTN이 적용된 경우 8PSK가 7dB의 성능으로 1+7PSK에 비해 0.3dB

의 성능향상이 있으며, 33%의 FTN이 적용된 경우 8PSK, 1+7PSK 모두 복호를 하지 못하였다.

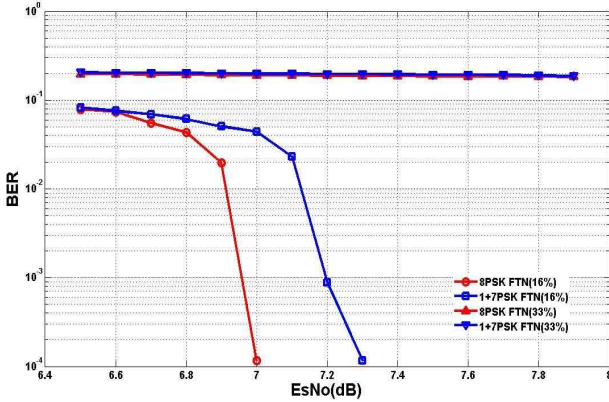


Fig. 6 Performance of 8PSK and 1+7PSK with FTN 16%, 33% for coding rate of 2/3

Fig. 7은 33%의 FTN신호를 사용하는 경우 성능개선이 없으므로 16%의 FTN신호를 사용하는 8PSK와 1+7PSK에 경관정 BICM-ID를 적용했을 경우의 부호화율 2/3에서의 성능을 확인 하였다. 8PSK와 1+7PSK의 경우 BICM-ID가 적용되었을 때 모두 0.2dB의 성능향상이 있으며 BICM-ID적용으로 인한 성능향상을 확인 하였다.

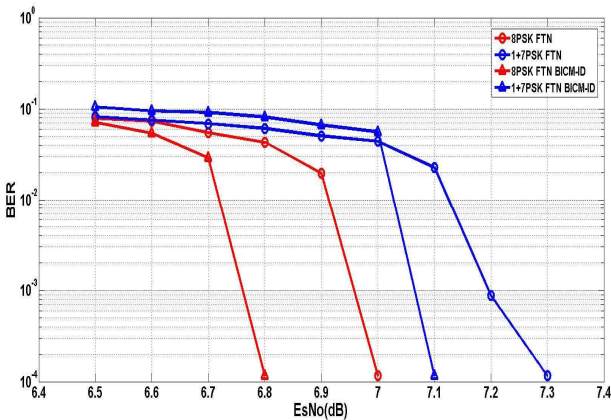


Fig. 7 Performance of 8PSK and 1+7PSK with FTN 16% for coding rate of 2/3

Fig. 8은 16%의 FTN을 사용하는 8PSK와 1+7PSK에 경관정 기반 BICM-ID를 적용한 경우의 부호화율별 전송률을 나타냈으며 FTN이 적용된 경우의 전송률 N은 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 16% FTN의 경우  $\tau$ 는  $\tau = (100 - 16) / 100$ 으로 계산되며 R은 부호화율 M은 변조방식을 나타낸다.

$$\eta = R \times \log_2 M / \tau \quad (17)$$

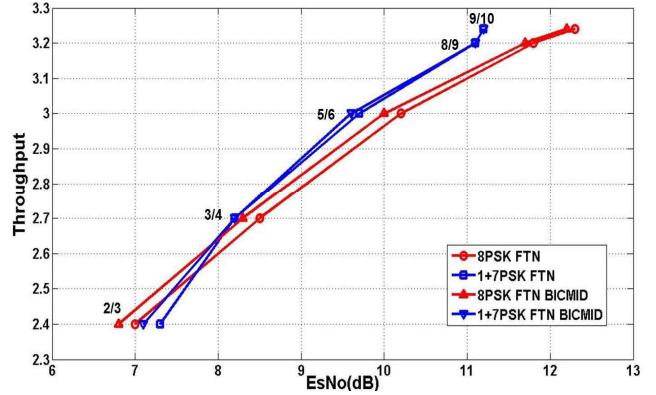


Fig. 8 Throughput of 8PSK and 1+7PSK with FTN 16% at each coding rate

Fig. 8에서 알 수 있듯이 부호화율이 증가할수록 BICM-ID 적용시 전송률 향상을 알 수 있다. Fig. 9은 기존 8PSK와 BICM-ID가 적용된 1+7PSK, FTN과 BICM-ID가 적용된 1+7PSK의 부호화율에 따른 전송률을 나타낸 그림이며, FTN 적용으로 전송률이 증가함을 확인할 수 있다.

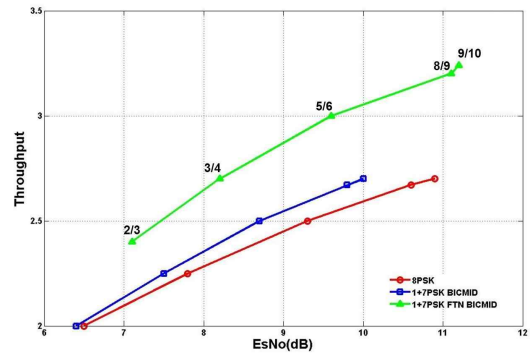


Fig. 9 Throughput of 8PSK, 1+7PSK with BICM-ID, 1+7PSK with FTN and BICM-ID for each coding rate (FTN=16.67%)

## 5. 결 론

위성을 이용한 이동중인 선박간의 쌍방향 통신, 즉, 무선 인터넷과의 융합, 선박과 같은 이동체에 대한 위성방송 및 인터넷 통신을 하기 위해 고전송율을 가지는 위성 통신이 요구되며, DVB-S3에서 제안되고 있는 고전송율 기법으로 성능향상을 위해 고차변조 방식을 적용하고 기존의 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하는 FTN 복호 방식에 대해 연구하였다. 고차변조 방식으로는 DVB-S3에서 제시되고 있는 8PSK와 1+7PSK 변조방식을 적용하였으며, 채널 오류를 정정하기 위한 LDPC 부호화 기법등을 FTN 전송 기법의 적용으로 인한 간섭등을 극복하기 위해 BICM-ID 기법을 적용시켰다.

즉, 기존의 직렬구조의 복호 방식에서 전체적으로 반복하는 구조를 제안하였으며, 성능 열화를 개선하기 위해 반복복호

방식을 적용하여 성능을 확인하였다.

부호화율 2/3에서 FTN을 적용하여 시뮬레이션 한 결과 전 송률이 증가하는 반면 성능열화가 확인되었으며, 열화된 성능을 개선하고자 BICM-ID기법을 적용하였을 경우, 8PSK와 1+7PSK 모두 부호화율 2/3에서 0.2dB의 성능향상을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임

## References

- [1] Dasalukunte, D. and Rusek, F. and Öwall, V.(2010), "An iterative decoder for multicarrier faster-than-Nyquist signaling systems," in Proc. IEEE ICC, , pp. 1 - 5.
- [2] Lee, I. and Chang, D. and Oh, D.(2006) "Multi-Level Modulation LDPC Decoding Algorithm for New Generation DVB-S2 System", in Proc. 24th AIAA International Communications Satellite Systems Conference.
- [3] Mackay, D. J. C. and Neal, R. M.(1996), "Near Shannon Limit Performance of Low-Density Parity-Check Codes," Electron. Letter, Vol. 32, pp. 1645-1646.
- [4] Prlja, A. and Anderson, J. B. (2012) "Reduced-complexity receivers for strongly narrowband intersymbol interference introduced by faster-than-Nyquist signaling," IEEE Trans. Commun., Vol. 60, No. 9, pp. 2591 - 2601.
- [5] Xiaodong Li, and James A. and Ritcey(1997), "Bit-Interleaved Coded Modulation With Iterative Decoding." IEEE communications letters, Vol. 1, No. 6.
- [6] Xiaodong Li and Aik Chindapol(2002), "Bit-Interleaved Coded Modulation With Iterative Decoding and 8PSK Signaling", IEEE Transactions on communications, Vol. 50, No. 8, pp. 1250-1257.

---

원고접수일 : 2014년 2월 26일

심사완료일 : 2014년 6월 24일

원고채택일 : 2014년 6월 26일