

비균일 오류 확률 기반 FTN 전송 기법 연구

백창욱*, 서정현*, 정지원^o

A Study on Transmission Method of FTN Based on Unequal Error Probability

Chang-Uk Baek*, Jung-Hyun Seo*, Ji-Won Jung^o

요약

차세대 위성 방송/통신 및 5G 기반의 이동통신은 한정된 대역폭에서 전송률에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 전송률 향상을 위한 방안들 중 Nyquist 전송 속도보다 더 빠르게 신호를 전송하는 FTN 기법에 대한 연구가 진행 중이다. 그러나 FTN 기법을 적용함으로써 발생하는 인접 심볼에 대한 간섭으로 전송률은 향상되나 성능이 열화 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 비균일 오류 확률 기반 FTN 전송 기법을 제안한다. 우선 순위 알고리즘을 적용하여 채널 부호화기의 부호화된 비트의 중요도에 따라 전송하려는 비트를 그룹을 나누어 중요한 비트가 속하는 그룹은 FTN 간섭량을 적게, 중요하지 않은 비트가 속하는 그룹은 간섭량을 많이 할당함으로써 전체적으로 기존 FTN 전송기법과 동일한 간섭량에서 성능을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 간섭 비율 25%와 37.5%일 때 기존 FTN 전송 기법보다 약 0.2dB의 성능 향상을 확인하였다.

Key Words : Faster than Nyquist, Inter-symbol interference, Unequal error probability, priority

ABSTRACT

In next generation satellite broadcasting system and 5G based mobile communication, requirement of high throughput efficiency has been increasing continuously. FTN method which transmits signals faster the Nyquist rate is representative method for improving throughput efficiency sacrificed performance due to inter-symbol interference. However, performance degrade arising from Inter-symbol interference induced by increasing the interference rate. To overcome this problem, we propose the FTN method based on unequal error probability. Transmits the FTN interference differently applied to each group by priority algorithm. This method, by classifying group depending on the importance of the encoded bits of a channel encoder, improves performance in the same overall interference by allocating less FTN interference to the group to which important bits belong and more FTN interference to the group to which unimportant bits belong. The results of simulation show the performance of proposed method is better than that of conventional FTN method by about 0.2dB when the interference rates are 25% and 37.5%.

* 본 연구는 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초 연구 사업임(NRF-2017R1D1A1A09082161)

• First Author : (ORCID:0000-0002-7656-0800)Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, cubaek@kmou.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-9467-2478)Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, jwjung@kmou.ac.kr, 정회원

* Dept. of Radio Communication and Engineering, Korea Maritime and Ocean University, jk7311@kmou.ac.kr

논문번호 : 201810-344-A-RN, Received October 30, 2018; Revised December 11, 2018; Accepted December 12, 2018

I. 서론

차세대 위성 방송/통신 및 5G 기반의 이동통신은 한정된 대역폭에서 전송률에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다^[1]. 이에 전송률을 높이기 위한 여러 방안들이 연구되어지고 있다. 전송률과 성능의 향상은 서로 trade-off 관계이므로 두 가지를 모두 충족시키는 것은 많은 어려움이 있다. 그러므로 성능을 최대한 유지하며 전송률을 향상시킬 수 있는 방식들을 연구하는 것이 중요하다. Nyquist 전송 속도보다 더 빠르게 전송하는 FTN (Faster Than Nyquist) 방식^[2,3]이 차세대 위성 방송시스템의 표준안인 DVB-S3 (Digital Video Broadcasting - Satellite - Third Generation) 및 지상파 방송의 표준안인 FOBTV(Future of Broadcast Television)의 표준안으로 대두 되고 있다^[4]. 이는 차세대 무선 통신에서 주어진 채널 대역폭에 대해 전송 효율을 향상시키기 위해 사용되었으며, 기존 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하여 동일한 채널 대역폭에서 전송 효율을 극대화 할 수 있다. 그러나 FTN 방식의 적용으로 인접 심볼 간의 간섭 (ISI : Inter-Symbol Interference)을 야기하여 성능 저하가 발생한다. 또한, 전송 효율을 극대화 할 수 있는 한계가 존재한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 인접 채널 간 간섭을 최소화 유지하며 전송 효율을 극대화 할 수 있는 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기법과 FTN 기법을 결합한 MIMO-FTN 송·수신 방법에 대한 연구가 진행되었다^[5-7]. MIMO-FTN 전송 기법은 전송률 향상을 극대화 할 수 있으나, 이에 대한 복호 방식 및 인접 심볼 간의 간섭과 채널간의 간섭을 동시에 제거하기 어려워 이에 대한 연구는 아직 미미한 단계이다. 논문 [7]에서는 MIMO-FTN 전송 기법에 대한 효율적인 복호 방식으로 인접 채널간의 간섭을 제거하기 위해 계층적 시공간 부호화 방식을 적용하여 복호기에서 제거하는 방안과 W-ZF (Weighted-ZeroForcing)를 적용하여 각 송신 안테나로부터 전송되는 신호를 분리하고 FTN으로 발생하는 간섭량을 BCJR (Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv) 복호기를 통하여 제거하는 방안을 제안하였다. 이 또한 성능은 개선할 수 있으나 각 채널간의 채널 추정이 정확해야 하며 여전히 단일 채널에서의 FTN 전송 기법보다는 성능이 개선되지 않는다. 또한, 시공간 부호화 기법의 적용으로 인하여 전송 효율적인 측면에서도 개선되지 않는다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해 단일 채널에서 FTN 전송 기법보다 성능을 개선하기 위

한 송·수신 구조로 FTN 전송 기법에서 부호화된 비트들의 중요도를 우선 순위 알고리즘을 적용하여 FTN 간섭 비율을 중요도에 따라 서로 다르게 할당하여 전송하는 비균일 오류 확률 (UEP : Unequal Error Probability) 기반 FTN 전송 기법을 제안한다. 본 논문에서 적용한 부호화 알고리즘은 DVB-S3에서 제시된 부호화 길이 64800을 갖는 LDPC (Low Density Parity Check) 부호를 적용하였으며, 우선 순위 알고리즘 적용 시 체크 노드에서 계산된 확률 값을 이용하여 비트 노드를 업데이트 한 후 업데이트 된 정보를 이용하여 순차적으로 다음 체크 노드 업데이트를 하는 HSS (Horizontal Shuffle Scheduling) 방식 기반의 LDPC 복호 방식을 적용하였다.

II. FTN 전송 기법

2.1 FTN 신호 모델링

FTN 전송 기법은 주파수 대역에서 효율을 극대화하기 위한 방법 중 하나로 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하는 방법이다^[2,3]. 기존의 Nyquist 속도로 신호를 전송할 경우 인접 심볼 간의 직교성을 유지하여 신호 간의 간섭이 발생하지 않는다. 하지만 FTN 전송 기법을 적용하여 신호를 Nyquist 속도보다 빠르게 전송할 경우 신호의 전송 속도는 증가하나 인접 심볼 간의 간섭으로 인해 성능이 저하된다.

그림 1은 Nyquist 속도로 신호를 전송한 경우와 FTN 전송 기법을 적용하여 전송한 신호를 각 시점 t 에서 나타낸 것이다^[8]. τ 는 FTN으로 인해 Nyquist 속도 보다 얼마만큼 빠르게 보내는 간섭 시점을 나타낸다. 그림 1에서 $\tau=1$ 인 경우, Nyquist 속도에 따라 전송되므로 인접 심볼 간의 간섭이 발생하지 않는다. 그러나 $\tau=0.8$ 인 경우, Nyquist 속도 보다 빠르게 전송

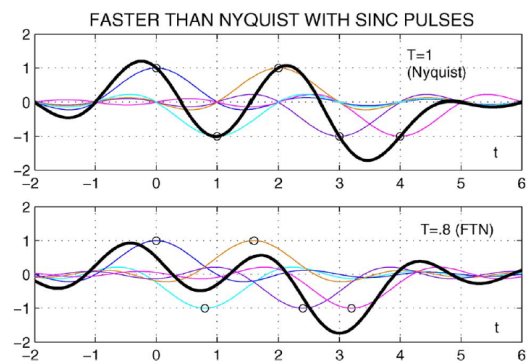


그림 1. FTN 신호
Fig. 1. FTN signaling

하는 FTN 전송 기법으로 인해 인접 심볼들이 서로 영향을 주어 데이터의 결정 시점마다 파형이 변화됨을 알 수 있다. 따라서 인접 심볼 간의 간섭으로 인해 신호가 왜곡되지만 이를 해결할 수 있다면 동일한 시간에 전송률을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

2.2 FTN 송수신 모델

FTN 전송 기법에 대한 송·수신 모델은 그림 2와 같다. d_k 를 입력된 신호라고 할 때 아래의 식 (1)과 같이 D 로 나타낼 수 있다.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_K\} \quad (1)$$

이때, K 는 입력 데이터의 길이를 나타낸다.

C 는 LDPC 부호화기를 통과한 부호어를 나타내며 식(2)와 같다.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\} \quad (2)$$

이때, N 은 부호어의 길이를 나타낸다. \hat{C} 는 부호어가 interleaver를 통과한 후 나오는 데이터로 interleaver를 통해 군집오류 (Burst error)를 산발 오류 (Random error)로 바꾸어준다.

$$\hat{C} = \{\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_N\} \quad (3)$$

FTN 기법은 Nyquist 속도 보다 빠르게 신호를 전송하기 때문에 필연적으로 ISI가 발생하게 된다. 간섭된 신호의 전송 신호 $s(t)$ 는 식(4)와 같다.

$$s(t) = \sum_n \hat{c}_n h(t - n\tau T), \tau < 1 \quad (4)$$

$h(t - n\tau T)$ 는 필터 응답, T 는 주기를 나타낸다. τ 는 Nyquist 속도보다 얼마만큼 신호를 빠르게 보내는 간섭 시점을 나타내며, 간섭 비율 τ' 은 전송률 향상을

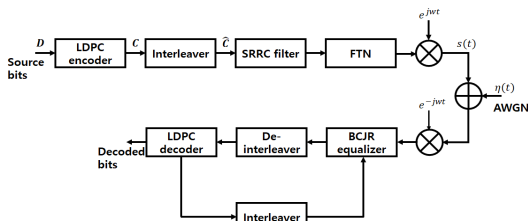


그림 2. FTN 모델 송수신 구조
Fig. 2. The transceiver structure of FTN model

의미하며 식(5)와 같다⁹⁾.

$$\tau'(\%) = 100 \times (1 - \tau) \quad (5)$$

수신된 신호는 BCJR기법을 이용한 비터비 등화기^[10,11]를 통해 FTN기법의 적용으로 인해 발생한 ISI를 보상해준 다음 de-interleaver를 거친 후 복호기를 통해 신호를 복호한다. 그리고 반복을 통하여 성능을 향상시킨다.

III. UEP 기반의 FTN 전송 기법

3.1 송수신 모델

UEP 기반의 FTN 전송기법은 전송되는 신호의 중요도를 판단하는 우선 순위 알고리즘을 이용하여 부호화된 비트의 중요도에 따라 FTN 간섭 비율을 다르게 하여 전송하는 기법이다. 본 논문에서는 각 비트의 중요도를 판단하기 위해 복호 과정에서 사용되는 HSS 기반의 LDPC 복호 방법^[12,13]을 이용하여 전송되는 신호의 중요도를 판단하였다. 논문 [13]에서 HSS 기반의 LDPC 복호 방법은 기존 LDPC 복호 방법 보다 고속화를 위한 방법으로 사용하였으나, 본 논문에서는 HSS 기반의 LDPC 복호 과정을 이용하여 우선 순위 알고리즘을 구성하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 UEP 기반의 FTN 전송기법의 송·수신 모델이다.

그림 3과 같이 UEP 기반의 FTN 전송 기법의 송수신 과정은 송신부에서 source bits를 입력받아 LDPC 부호화 과정을 수행한다. UEP 설정을 위한 우

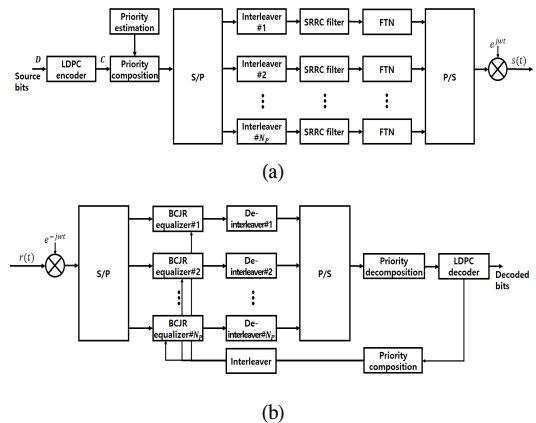


그림 3. UEP 기반의 FTN 모델 송수신 구조, (a) 송신기, (b) 수신기
Fig. 3. The transceiver structure of FTN model based on UEP algorithm, (a) Transmitter, (b) Receiver

선 순위 알고리즘은 송신부의 부호화 과정에서 사용한 LDPC 부호화기의 부호화율과 동일한 H-matrix를 이용하여 수신부에서 HSS 기반의 LDPC 복호 과정에서 우선적으로 사용되는 비트 노드들의 중요도를 판단한 후 사용하고자 하는 간섭 비율의 개수에 맞게 나누어 배치한다. 각각의 부호화된 비트들의 우선 순위에 따라 우선 순위가 높다면 복호 시 성능을 좌우하는 중요한 비트이므로 FTN 간섭 비율을 낮게 설정하고, 우선 순위가 낮은 비트는 성능에 크게 영향을 끼치지 않으므로 FTN 간섭 비율을 높게 설정하여 전체적으로 기존의 FTN 전송 방식의 간섭 비율과 동일하거나 높게 설정한다. 이를 통해 전송 효율을 기존 FTN 전송 방식보다 동일하거나 향상시키면서 성능을 기존 방식보다 향상시키는 알고리즘이다. UEP 설정 시 각각 적용하는 서로 다른 간섭량 $\tau'_1, \tau'_2, \dots, \tau'_{N_p}$ ($\tau'_1 < \tau'_2 < \dots < \tau'_{N_p}$)의 평균값을 기존 FTN 전송 기법의 간섭 비율과 동일하게 설정하였다.

UEP 설정을 위해 각각의 부호화된 비트들의 우선 순위에 따른 부호어의 구성은 그림 4와 같다.

N_p 는 우선 순위 알고리즘을 적용하여 UEP 설정을 수행할 때 사용되는 간섭 비율의 개수이고, 이는 부호화된 비트들을 서로 다른 간섭비율을 적용하기 위해 G_{N_p} 개의 그룹으로 나누게 된다. 이때, $N_p = G_{N_p}$ 가 된다. 예를 들어 $N_p = 4$ 인 경우 64800개의 부호화된 데이터는 4개의 간섭 비율을 적용하기 위해 16200개씩 4개의 그룹이 된다. 각 그룹에 FTN 간섭 비율을 다르게 설정하여 FTN 신호를 생성한다. AWGN 채널을 통과한 송신 신호는 복조 과정을 거친 후 BCJR 등화기를 통해 FTN 간섭량을 제거한다. FTN 간섭량이 제거된 신호는 de-interleaver를 수행하고 우선 순위 알고리즘에 따라 배치된 비트들을 재배치 한 후 HSS 기반의 LDPC 복호 과정을 수행한다. BCJR 기반 비터비 등화기와 LDPC 복호기를 연결하여 서로간의 반복적인 연산을 통하여 성능을 개선한다.

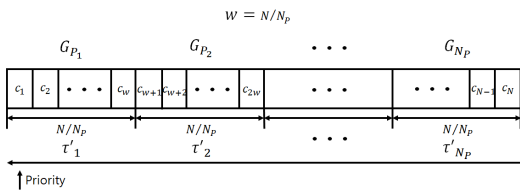


그림 4. 우선 순위에 따른 부호어의 구성
Fig. 4. Composition of code word by priority

3.2 HSS 기반의 LDPC 복호 방식에 의한 UEP 설정 방법

UEP 기반의 FTN 신호를 생성하기 위해선 부호화된 신호를 임의의 개수로 나누는 후 각각의 FTN 간섭 비율을 다르게 할당해야한다. 이 과정에서 각 비트의 중요도를 판단하는 우선 순위 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서 제안하는 비트의 중요도를 판단하는 우선 순위 알고리즘은 LDPC 복호 방법 중 HSS 기반의 LDPC 복호 방법을 이용하여 구성하였다. 그림 5는 HSS 기반의 LDPC 복호 방법의 흐름도를 나타낸다.

그림 5에서 비트 노드들의 초기 값은 수신 신호를 나타내며, step1에서 구한 업데이트된 비트 노드들은 step2에서 다른 체크 노드들의 값을 구하기 위해 사용된다. step3에서 계산되는 체크 노드들의 값들은 이전의 step들에서 업데이트된 비트 노드 값들을 적용하기 때문에 적은 반복으로 성능을 동일하게 도출할 수 있다. 비트 노드의 각 노드 값을 이용하여 각 비트의 값을 아래의 식 (6)과 같이 구하여 결정할 수 있다.

$$S_i = LLR_i + \sum_{i=1}^{d_v} u_i \quad (6)$$

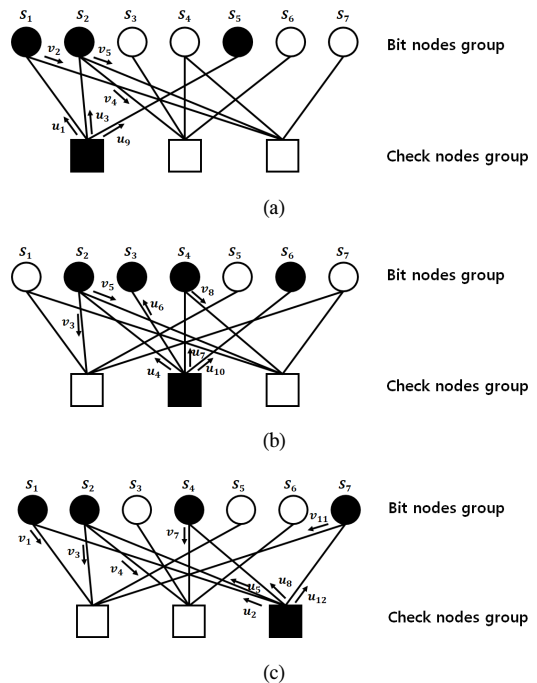


그림 5. HSS 기반 LDPC 복호 방식의 흐름도, (a) 1단계, (b) 2단계, (c) 3단계
Fig. 5. Flow chart of LDPC decoder based on HSS, (a) step1, (b) step2, (c) step3

S_i 는 i 번째 비트 노드의 최종 값을 나타내고, LLR_i 는 i 번째 수신 데이터를 나타낸다. d_i 는 비트 노드에 연결된 가지의 수이고, u_i 는 체크 노드의 업데이트를 통해 얻어진 각 가지의 값이다. 체크 노드 업데이트 값 u_i 는 아래의 식(7)과 같다.

$$u_i = \bigoplus_{k=1, k \neq i}^{d_i} v_k \quad (7)$$

v_k 는 k 번째 비트 노드에서 i 번째 체크 노드로 향하는 가지를 나타내고, d_i 는 i 번째 체크 노드에 연결되는 가지의 수이다. HSS 기반의 LDPC 복호 과정을 통해 최종 비트 노드 값인 S_i 를 구하는 방법이며 그 과정에서 체크 노드 업데이트 값인 u_i 가 필요하게 되고 우선적으로 구해야한다. 따라서 위의 수식들을 통해 HSS 기반의 LDPC 복호 과정은 체크 노드들이 순서적으로 업데이트를 수행하며 반복하게 된다.

그림 6은 UEP 설정을 위한 우선 순위 알고리즘에 대한 비트 노드와 체크 노드의 배치를 예시로 나타내었다. N_{G_c} 는 체크 노드의 개수를 의미하고 N_{G_b} 는 비트 노드의 개수를 의미한다. $N=64800$ 개를 가지는 DVB-S3 표준안의 LDPC 채널 부호화방식에서 부호화율은 1/2이고 한 그룹은 360개의 데이터를 가진다. N_{G_c} 는 체크 노드의 개수가 32400개이므로 90개이며 N_{G_b} 는 parity 부분을 제외한 데이터 부분만을 사용하여 $K=32400$ 이므로 90개이다.

기존의 LDPC 복호 방법에서 각 비트 노드들은 부호화율에 맞는 H-matrix에 따라 체크 노드들과 가지를 통해 연결이 된다. 위의 그림에서 왼쪽 블록은 기

존 방식에서 전송되는 비트 노드들의 순서를 나타낸다. 26, 27, 30, 36, 74번째의 비트 노드들이 1번째 체크 노드들과 연결되게 된다. 그림 5와 같이 HSS 알고리즘을 사용한 LDPC 복호 방법에서는 체크 노드들의 순서대로 복호를 수행하기 때문에 기존의 방법과 같은 순서로 FTN 신호를 전송하게되면 체크 노드들에 들어가는 신호가 각각의 다른 간섭 비율을 가지고 들어오기 때문에 성능에 영향을 받을 수 있다. 따라서 우선 순위 알고리즘을 통하여 오른쪽 블록과 같이 HSS 알고리즘의 LDPC 복호 과정에 따라 순차적으로 복호되는 체크 노드들과 연결되는 비트 노드들을 우선적으로 배치하여 전송한다. 또한, 배치의 순서는 비트 노드들이 중복되지 않도록 설정한다.

예를 들어 UEP 설정을 하지 않았을 경우 전송되는 신호는 비트 노드 그룹들이 순서적으로 전송되어지나, 우선 순위 알고리즘을 통해 UEP 설정을 하여 전송하게 될 경우 그림 6과 같이 1번째 비트 노드 그룹이 아닌 26번째 비트 노드 그룹부터 전송을 하게 된다. 따라서 UEP 설정을 위한 우선 순위 알고리즘은 전송하고자하는 부호화율의 H-matrix에서 체크 노드들과 연결된 비트 노드 그룹들의 위치를 이용하여 N_p 에 맞게 우선 순위를 판정하여 배치한다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 기존의 FTN 전송기법과 제안하는 우선 순위 알고리즘이 적용된 UEP기반 FTN 전송 기법에 대한 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 본 논문에서 적용되는 파라

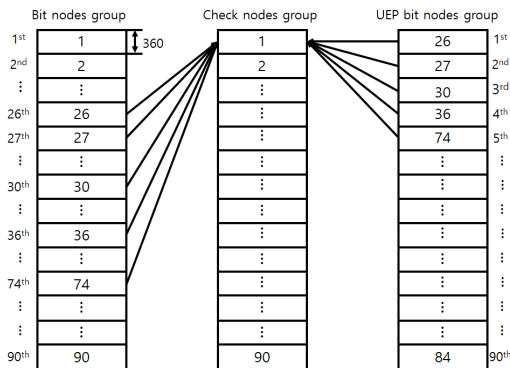


그림 6. UEP 유·무에 따른 비트 노드 그룹의 순서
Fig. 6. The order of bit nodes group with or without UEP algorithm

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Total number of data	10^6
Channel coding	LDPC(HSS algorithm)
Input bit(K)	32,400
Code word(N)	64,800
Coding rate	1/2
Modulation	BPSK
Number of sampling bits(SRRC filter)	32
Roll off factor	0.35
Interference rate(τ')	25%, 37.5%
LDPC inner iteration	60
Number of N_p	4

메타는 기존 방식과 제안하는 방식 모두 LDPC 부호화를 1/2, SRRC 필터의 roll off factor를 0.35로 동일하게 적용하였으며, FTN 간섭 비율 또한 25% 와 37.5%에서 성능을 비교 분석 하였다.

UEP 설정 과정에서 간섭 비율의 개수 $N_p=4$ 로 설정하였으며, $N=64800$ 개인 DVB-S3 표준안에 제시된 LDPC 채널 부호화 기법에서 부호화율 1/2인 H-matrix를 사용하였다. UEP 설정 시 N_p 에 따라 서로 다른 간섭 비율을 설정하였으며, 간섭 비율의 평균은 25% 또는 37.5%로 설정하였다. 기존 FTN 전송 기법의 경우 부호화된 신호에 25% 또는 37.5%의 간섭 비율을 적용하여 동일한 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다.

UEP 기반 FTN 전송 기법 중, 우선 순위 그룹에 할당되는 간섭 비율에 따른 성능을 분석하기 위하여 표 2와 표 3을 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였다.

표 2와 표 3에서 전체 간섭 비율의 평균 값은 25%로 동일하나 표 3의 경우 우선 순위 그룹의 간섭비율의 차의 폭을 크게 한 경우이고 표 2는 우선 순위 그룹의 간섭 비율의 차의 폭을 작게 한 경우이다. 이에 따른 성능을 그림 7에 나타내었다.

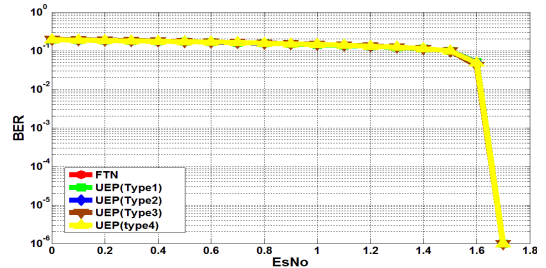
시뮬레이션 결과 표 2를 바탕으로 우선순위 그룹에

표 2. 간섭 비율 차이가 작은 시뮬레이션 파라메타 ($\tau=25\%$)
Table 2. Simulation parameters for small interference rates($\tau=25\%$)

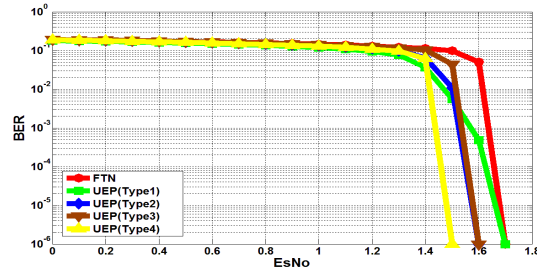
	Interference rate(%)			
	$\tau_{N_p=1}$	$\tau_{N_p=2}$	$\tau_{N_p=3}$	$\tau_{N_p=4}$
Type1	18.75	21.875	28.125	31.25
Type2	18.75	28.125	21.875	31.25
Type3	31.25	28.125	21.875	18.75
Type4	31.25	21.875	28.125	18.75

표 3. 간섭 비율 차이가 큰 시뮬레이션 파라메타($\tau=25\%$)
Table 3. Simulation parameters for large interference rates($\tau=25\%$)

	Interference rate(%)			
	$\tau_{N_p=1}$	$\tau_{N_p=2}$	$\tau_{N_p=3}$	$\tau_{N_p=4}$
Type1	6.25	9.375	40.625	43.75
Type2	6.25	40.625	9.375	43.75
Type3	43.75	40.625	9.375	6.25
Type4	43.75	9.375	40.625	6.25



(a)



(b)

그림 7. UEP 기반의 FTN 전송 기법의 성능 ($\tau=25\%$), (a) 표 2에 따른 성능, (b) 표 3에 따른 성능
Fig. 7. The performance of FTN method based on UEP algorithm ($\tau=25\%$), (a) The performance for Table 2, (b) The performance for Table 3

설정되는 간섭 비율의 폭을 적게 설정하는 방법보다는 표 3을 바탕으로 간섭 비율의 폭을 크게 설정하는 방법이 기존 방식보다 성능이 향상됨을 확인하였다. 이는 FTN 기법의 적용으로 인해 발생하는 인접 심볼 간의 간섭을 제거하는 BCJR 알고리즘에서 간섭량이 클수록 각 트렐리스에 할당되는 branch metric의 차이가 크므로 효율적임을 알 수 있다. 그림 7을 통해 최적의 간섭 비율이 표 3의 Type4라는 것을 도출하였다.

Type4를 바탕으로 FTN 전송 기법의 간섭량 37.5%에 대한 시뮬레이션을 수행하였고 이를 그림 8에 나

표 4. 시뮬레이션 파라메타($\tau=37.5\%$)
Table 4. Simulation parameters($\tau=37.5\%$)

	Interference rate(%)			
	$\tau_{N_p=1}$	$\tau_{N_p=2}$	$\tau_{N_p=3}$	$\tau_{N_p=4}$
Type1	25	28.125	46.875	50
Type2	25	46.875	28.125	50
Type3	50	46.875	28.125	25
Type4	50	28.125	46.875	25

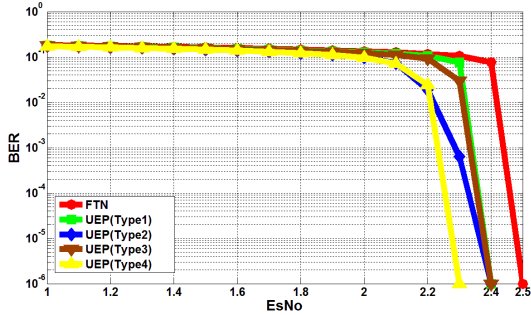


그림 8. UEP 기반의 FTN 전송 기법의 성능 ($\tau = 37.5\%$)
 Fig. 8. The performance of FTN method based on UEP algorithm ($\tau = 37.5\%$)

타내었다. 각 우선 순위 그룹의 간섭비율은 표 4와 같이 설정하였다.

그림 8에서 UEP 기반의 FTN 전송기법의 성능은 기존 FTN 전송 기법보다 성능이 향상됨을 확인할 수 있었으며, Type1과 Type2의 경우 10^{-4} 에서 약 0.1dB 성능이 향상되었고, Type3과 Type4의 경우 10^{-4} 에서 약 0.2dB의 성능이 향상됨을 확인하였다.

시뮬레이션을 통해 우선 순위 알고리즘은 부호화된 비트들의 중요도를 판단하여 간섭 비율을 중요도가 높은 비트들에 적은 간섭 비율을 할당하고, 중요도가 낮은 비트들에는 큰 간섭 비율을 할당함으로써 기존의 FTN 전송 기법보다 성능이 향상됨을 확인하였다.

V. 결 론

위성 또는 지상파 통신에서는 기존의 전송률 향상을 위한 방법으로 고차 변조 방식 또는 부호화기의 부호화율을 크게 함으로써 해결하였으나, 이는 성능 저하를 초래하는 단점을 갖고 있다. 따라서 성능 저하 없이 전송률 향상 시키는 방식 중 FTN 방식이 여러 표준안에 제시되고 있으나 심볼 간 간섭 등으로 인한 성능 저하를 가져온다. 본 논문에서는 기존 FTN 전송 기법보다 성능을 향상시키기 위해 부호화된 비트의 중요도에 따라 간섭율을 다르게 적용하는 UEP 기반의 FTN 전송 기법을 제안하였다. UEP 설정을 위해 우선 순위 알고리즘을 적용하였으며, 이는 LDPC 복호 방식 중 비트노드와 체크 노드의 확률 값을 동시에 계산함으로써 반복횟수를 감소시키는 HSS 방식을 기반으로 하여 부호화된 비트들의 중요도를 판단하여 중요도에 따른 FTN 간섭 비율을 다르게 설정하는 방식이다. 제안한 UEP 기반의 FTN 전송 기법의 성능을 비교 분석하기 위해 부호화 길이 64800을 갖는 LDPC

부호화기를 적용하였으며, 기존 FTN 전송 기법의 간섭 비율 $\tau = 25\%$ 와 $\tau = 37.5\%$ 와 동일한 간섭 비율을 적용시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 UEP 설정 시 간섭 비율간의 폭을 크게 함으로써 성능의 향상을 가져옴을 확인하였으며, 이는 본 논문에서 제시한 수신부 구조에서 간섭량을 보상하기 위한 BCJR 등화 기법에서 간섭량이 클수록 트렐리스의 가지 확률 값이 각 상태에서 큰 값을 가지므로 효과적으로 간섭을 제거함을 알 수 있다. 기존 FTN 전송기법에 비해 BER 10^{-4} 에서 약 0.2dB 성능이 향상됨을 확인하였으며, 이러한 결과를 통해 UEP 기반의 FTN 전송 기법은 차세대 위성 및 방송 통신에서 요구되는 데이터의 고 전송률에 대한 요구를 만족시킬 수 있는 효율적인 시스템이라 사료된다.

References

- [1] L. M. Hwang, B. J. Lee, B. G. Yeo, J. P. Cho, and K. S. Kim, "Link relay H-ARQ mode for throughput improvement in a satellite communication network," *J. Inst. Internet Broadcast. Commun.*, vol. 16, no. 1, pp. 121-127, 2016.
- [2] J. E. Mazo, "Faster than nyquist signaling," *Bell System Technical J.*, vol. 54, no. 8, pp. 1451-1462, Oct. 1975.
- [3] A. D. Liveris, "Exploiting faster-than-nyquist signalling," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 9, pp. 1502-1511, Sep. 2003.
- [4] M. El Hefnawy and H. Taoka, "Overview of faster-than-nyquist for future mobile communication systems," in *Proc. 77th IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1-5, Dresden, Germany, Jun. 2013.
- [5] M. Yuhas, Y. Feng, and J. Bajcsy, "On the capacity of faster-than-nyquist MIMO transmission with CSI at the receiver," in *Proc. IEEE Globecom Workshops*, pp. 1-6, San Diego, CA, USA, Dec. 2015.
- [6] C. U. Baek and J. W. Jung, "A study on turbo equalization for MIMO systems based on LDPC codes," *J. KICS*, vol. 41, no. 5, pp. 504-511, May 2016.
- [7] C. U. Baek and J. W. Jung, "A study on

LDPC coded MIMO Faster-Than nyquist transmission,” *J. KICS*, vol. 42, no. 7, pp. 1325-1332, Jul. 2017.

- [8] J. B. Anderson, F. Rusek, and V. Öwall, “Faster-than-nyquist signaling,” in *Proc. IEEE*, vol. 101, no. 8, pp. 1817-1830, Aug. 2013.
- [9] F. Rusek and J. B. Anderson, “Multistream faster than nyquist signaling,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 57, no. 5, pp. 1329-1340, May 2009.
- [10] T. H. Kim, I. K. Lee, and J. W. Jung, “A study of efficient viterbi equalizer in FTN channel,” *J. KIICE*, vol. 18, no. 6, pp. 1323-1329, Jun. 2014.
- [11] S. W. Kwak, J. I. Yun, and H. S. Lim, “A study on the relation between the number of states and BER performance of the BCJR algorithm for FTN interference cancellation,” in *Proc. Symp. KICS*, pp. 1235-1236, Gangwondo, Korea, Jan. 2016.
- [12] H. C. Kwon, T. H. Kim, and J. W. Jung, “A study on high speed LDPC decoder algorithm based on dc saperation,” *J. KIICE*, vol. 17, no. 9, pp. 2041-2047, Sep. 2013.
- [13] B. S. Lim, M. H. Kim, and J. W. Jung, “A study on horizontal shuffle scheduling for high speed LDPC decoding in DVB-S2,” *J. KIICE*, vol. 16, no. 10, pp. 2143-2149, Oct. 2012.

백 창욱 (Chang-Uk Baek)



2012년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2016년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 석사
 2016년 3월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
 <관심분야> 위성통신, 수중통신, 변·복조기술, 오류정정부호 등

서 정현 (Jung-Hyun Seo)



2017년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2017년 3월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 <관심분야> 위성통신, 수중통신, 변·복조기술, 오류정정부호 등

정 지원 (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 초빙연구원
 1996년 9월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 정교수
 2001년 8월~2002년 8월 : 캐나다 NSERC Fellowship (Communication Research Center 근무)
 <관심분야> 위성통신, 수중통신, 변·복조기술, 채널코딩, FPGA 기술 등