

전송 효율 향상을 위한 다중 밴드 FTN 기법 연구

서정현, 백창욱, 정지원*

A Study on Multiband FTN Method for Improving Throughput Efficiency

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

요약 전송 효율 향상을 위한 방안들 중 Nyquist 전송 속도보다 더 빠르게 신호를 전송하는 FTN(Faster Than Nyquist) 기법이 있다. FTN 기법을 적용함으로써 필연적으로 생기는 인접 심볼에 대한 간섭으로 인해 전송률은 향상되나 성능이 열화된다. 따라서 본 논문에서는 부호화된 비트를 여러개의 밴드로 나누어 각 밴드에서 FTN 방식을 적용하는 다중 밴드 FTN 전송 기법을 제안한다. 제안한 다중 밴드 FTN 전송 기법은 단일 밴드 FTN 전송 기법에 비해 각 밴드에서 각각의 데이터에 할당하는 샘플 수를 증가함으로써 성능을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 간섭 비율 25%일 때 최적의 밴드 수를 확인하였으며, 단일 밴드 FTN 전송 기법과 성능을 비교하여 0.3dB ~ 0.5dB 성능 향상을 확인하였다.

Abstract FTN method which transmits signals faster the Nyquist rate is representative method for improving throughput efficiency sacrificed performance due to inter-symbol interference. To compensate performance loss, in this paper, we propose a multiband FTN method which split the coded bits into several bands and transmits signals applying FTN method. As coded bits are being assigned different bands, number of samples per bit of each band is increased, it induced performance improvement by noise averaging effect. In the simulations, compared the performance of single band FTN method and multiband FTN method when the interference rate is 25%. The results of simulation show the performance of proposed method is better than that of single band FTN one by 0.3dB~0.5dB.

Key Words : FTN, inter-symbol interference, multiband, multiband FTN, throughput efficiency

1. 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. 위성 방송의 경우 서비스의 연속성이 보장되고 효율적으로 채널을 사용할 수 있는 초고화질 방송 서비스를 전국 단위로 제공하기 위한 1 Gbps 이상의 차세대 위성 방송 및 초고속 위성 방송 전송 기술 확보를 위한 기반 기술 개발이 시급한 실정이다. 따라서 고 전송효

율을 갖는 초고속 위성 방송 전송을 위해 고차원 변·복조 및 채널 부·복호화의 고속화 등 전송기술 고도화를 위한 연구를 유럽에서 수행 중에 있으며, 국내에서도 고전송률을 위한 각 모듈의 고속화에 대한 관심이 집중되고 있다. 고전송률을 만족시키기 위해서 변·복조기에서의 다차 변조 방식을 적용시키지만 이는 무선 통신 소자의 비선형성으로 인하여 성능이 열화되며, 채널 부·복호기의 핵심 알고리즘인 LDPC(Low Density Parity Check) 부호[2]의 고속화에 연구에 초점이 맞추어져 있으나 이는 목표로 하

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(NRF-2017R1D1A1A09082161)

*Corresponding Author : Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime and Ocean University (jwjung@kmou.ac.kr)

Received April 16, 2018

Revised April 23, 2018

Accepted May 07, 2018

는 고전송률에 한계를 갖고 있다. 또한, 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 가장 중요하다.

DVB-S2(Digital Video Broadcasting) 기반 위성 통신에서는 전송률 향상을 위한 많은 방안들 중 가장 대표적인 복호 속도를 개선시켜 전송률을 향상시키는 방안은 이미 과포화 상태에 있다. 그러므로 기존의 복호속도를 개선시켜 전송률을 높이는 방안 보다는 Nyquist 전송 속도보다 더 빠르게 전송하는 FTN방식[3]을 이용한 방안이 차세대 DVB-S3 및 지상파 방송의 표준안인 FOBTV(Future of Broadcast Television)의 표준안으로 대두 되고 있다[4]. 이러한 FTN 기법은 1975년 미국의 Bell Labs에서 최초 제안되었으나, 당시 기술력으로는 수신부 구현이 불가능하여 크게 주목 받지 못하다가 21세기에 이르러서야 재조명 받기 시작했다. 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. 다른 방안으로는 여러 개의 송수신 안테나를 이용하여 SISO(Single Input Single Output)방식보다 전송률 향상을 극대화 할 수 있는 MIMO(Multiple Input Multiple Output)방식을 이용하여 MIMO 방식과 FTN 방식을 결합한 MIMO-FTN 송수신 방법이 있다 [5-7].

하지만 MIMO-FTN 전송 기법은 전송률 향상을 극대화 할 수 있으나, 이에 대한 복호 방식 및 인접 심볼간의 간섭을 제거하기 어려워 이에 대한 연구는 아직 미미한 단계이다. 논문 [6]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)을 적용하여 각 송신 안테나로부터 전송되는 신호를 분리하고 FTN으로 발생하는 간섭량을 BCJR(Bahl, Cocke, Jelinek and Raviv)[8] 복호기를 통하여 제거하는 방안을 제안하였으나 이 또한 성능은 개선할 수 있으나 각 채널간의 채널 추정이 정확해야 하며 여전히 SISO-FTN 전송 기법보다는 성능 개선이 되지 않으며, 시공간 부호화

기법의 적용으로 인하여 전송 효율적인 측면에서는 개선되지 않는다. 그러므로 본 논문에서는 5G와 같은 massive 이동 통신망에서 간섭, 다중 경로 등에 취약한 MIMO-FTN 전송 기법이 아닌 여러 개의 밴드를 사용하여 선택적 주파수 페이딩 채널 환경에서 효율적인 다중 밴드 방식[9, 10]을 FTN과 함께 사용한 다중 밴드 FTN 전송 기법을 제안한다. 다중 밴드 전송 기법은 부호화된 비트를 밴드에 균일하게 나누어 할당된 각 밴드의 서로 다른 주파수를 이용하여 전송한다. 본 논문에서는 시물레이션을 통해 다중 밴드 FTN 전송 기법에서 밴드 수를 증가시켰을 때의 최적의 밴드 수를 찾고, 단일 밴드 FTN 전송 기법과 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능을 비교하여 분석하였다.

2. FTN과 결합한 다중 밴드 전송 기법

제한된 대역폭에서 전송 효율을 향상시키기 위해 Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하는 FTN 기법이 있다. FTN 기법을 적용하여 전송 효율을 향상시키기 위해 간섭 비율을 증가시키지만 이는 인접 채널간의 간섭을 야기하여 성능 감소를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 단일 밴드 FTN 전송 기법 적용으로 인한 간섭을 최소화하기 위해 부호화된 비트를 여러 밴드에 나누어 할당하며, 각 밴드에서 샘플 수의 증가로 간섭을 최소화 하여 성능을 향상시키는 다중 밴드 FTN 전송 기법을 제안한다.

2.1 단일 밴드 FTN 전송 기법

단일 밴드에서의 FTN 전송 기법에 대한 송수신 모델은 그림 1과 같다.

d_k 는 입력된 신호라고 할 때 입력 신호의 집합은 아래의 식과 같이 D 로 나타낼 수 있다.

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

K 는 입력 데이터의 길이를 나타내며 N 은 부호화된 데이터의 길이를 나타낸다. C 는 LDPC encoder를 통과한 부호화된 데이터를 나타내며 식(2)와 같다.

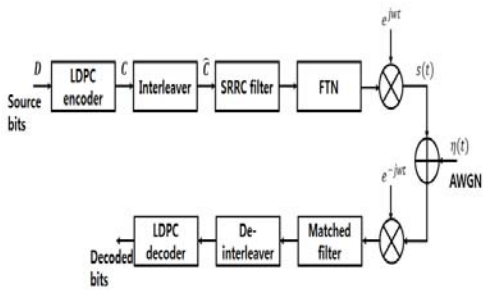


그림 1. 단일 밴드 FTN 송수신 모델
Fig. 1. The structure of single band FTN model

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

$\hat{\mathbf{C}}$ 는 부호화된 데이터가 interleaver를 통과한 후 나오는 데이터를 나타낸다.

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

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

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

$h(t - n\tau T)$ 는 필터 응답, T 는 주기를 나타낸다. τ 은 Nyquist 속도보다 얼마만큼 신호를 빠르게 보내는 간섭 시점을 나타내며, 간섭 비율 τ' 은 전송률 향상을 의미하며 식(5)와 같다[3].

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

수신단에서는 송신된 신호를 정합 필터를 이용하여 deinterleaver 후 복호기에서 복호를 수행한다.

2.2 다중 밴드 FTN 전송 기법

단일 밴드 FTN 전송 기법보다 효율을 향상시키기 위한 방법으로 [5, 6]에서는 MIMO 방식과 FTN을 연접한 MIMO-FTN 전송 기법을 제안하였다. [5]에서는 시공간

격자 부호를 적용하였으나 전송률의 손실을 가져오며, [6]에서는 W-ZF 기법을 적용하여 성능과 전송률의 향상을 가져오나 여전히 단일 밴드 FTN 전송 기법과의 성능 차이가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 단일 밴드 FTN 전송 기법과의 성능 차이를 줄일 수 있는 방법으로 다중 밴드와 FTN 전송 기법을 결합한 다중 밴드 FTN 전송 기법을 제안한다.

그림 2는 다중 밴드 FTN 전송 기법의 송수신 모델을 나타낸다. 입력 신호의 집합 \mathbf{D} 와 부호화된 신호의 집합 \mathbf{C} 는 그림 1의 식(1), 식(2)와 동일하다.

부호화된 데이터는 interleaver를 통과한 후, N_B 개의 밴드에 균일하게 데이터를 나누어 분배하며 식(6)과 같다.

$$\hat{\mathbf{C}}_b = \{\hat{c}_1, \hat{c}_2, \dots, \hat{c}_{N/N_B}\}, (b = 1, 2, \dots, N_B) \dots\dots (6)$$

균일하게 나누어진 데이터는 SRRC 필터를 통과하고 FTN 기법을 적용하여 송신되며, 송신 신호 $s(t)$ 는 아래의 식과 같다.

$$s(t) = \sum_{b=1}^{N_B} \sum_n \hat{c}_b(n) h(t - n\tau T_{N_B}) e^{j\omega_b t}, \tau < 1 \dots\dots (7)$$

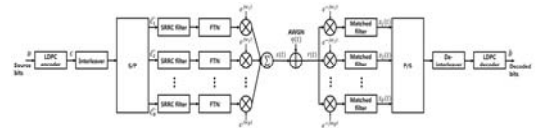


그림 2. 다중 밴드 FTN 송수신 모델
Fig. 2. The structure of multiband FTN model

식(7)은 $N_B > 1$ 인 다중 밴드 FTN 전송 기법의 송신 신호를 나타낸다. 다중 밴드 FTN 전송 기법은 밴드 수 N_B 에 따라 비트 당 샘플 수를 증가시켜 단일 밴드 FTN 전송 기법의 전송 신호 대역폭과 동일하게 전송한다. 따라서 주기 T_{N_B} 는 $N_B=1$ 인 식(4)의 T 보다 밴드의 수 N_B 에 비례하여 증가한다. 각 밴드에서 송신되는 신호의 주파수 영역은 그림 3과 같다. 단일 밴드의 대역폭을 B 라 하였을 때 다중 밴드의 각각의 대역폭은 B/N_B 가 된다.

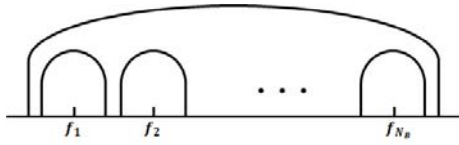


그림 3. 다중 밴드 주파수 영역
Fig. 3. Frequency domain of multiband

수신된 신호는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = s(t) + \eta(t) \quad (8)$$

$$= \sum_{b=1}^{N_B} \sum_n \hat{c}_b(t) h(t - n\tau T_{N_B}) e^{jw_b t} + \tilde{\eta}(t)$$

$\eta(t)$ 은 AWGN을 나타낸다. 정합 필터를 통과한 각각의 밴드 출력을 $z_b(t) (b = 1, 2, \dots, N_B)$ 라 하였을 때, $z_b(t)$ 는 식(9)와 같다.

$$z_b(t) = \sum_n (r(t) e^{-jw_b t}) h^*(t - n\tau T_{N_B}) + \tilde{\eta}(t) \quad (9)$$

P/S(Parallel to Serial) 후의 신호는 deinterleaver를 통과한 후 LDPC decoder를 통해 복호된 데이터 \hat{D} 을 얻는다.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 시뮬레이션은 일반적인 AWGN 채널만이 존재할 때의 환경을 고려하였다. II장에서 제안한 다중 밴드 FTN 전송 기법과 단일 밴드 FTN 전송 기법을 간섭 비율 25%로 설정하여 성능을 비교하였으며, N_B 의 증가에 따른 성능을 확인하였다. 시뮬레이션 파라미터는 아래의 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Total number of data	10^6
Channel coding	LDPC code ($K = 32400$, $N = 64800$, inner iteration : 60)
N_B	1~6
SRRC filter parameters	roll off factor = 0.35
Samples per bit (N_s)	single band : 8 multiband : $8 \times N_B$
τ'	25%
Modulation	BPSK

$N_B=1$ 인 경우는 단일 밴드 FTN 전송 기법을 의미하며, $N_B>1$ 인 경우는 다중 밴드 FTN 전송 기법을 의미한다. 비트 당 샘플 수인 N_s 는 밴드의 개수 N_B 에 비례하여 밴드가 늘어남에도 전송되는 신호의 대역폭은 동일하다.

표 2. 밴드 수에 따른 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능
Table 2. Performance of multiband FTN according to N_B

SNR_R	N_B					
	1	2	3	4	5	6
-0.8	$10^{-1.33}$	$10^{-1.88}$	$10^{-2.24}$	$10^{-2.70}$	$10^{-3.00}$	$10^{-3.40}$
-0.7	$10^{-1.38}$	$10^{-1.99}$	$10^{-2.41}$	$10^{-3.84}$	0	0
-0.6	$10^{-1.42}$	$10^{-2.21}$	$10^{-3.92}$	0	-	-
-0.5	$10^{-1.48}$	0	0	-	-	-
-0.4	$10^{-1.56}$	-	-	-	-	-
-0.3	$10^{-2.11}$	-	-	-	-	-
-0.2	0	-	-	-	-	-

표 2에서 SNR_R 은 수신 신호의 세기 σ_{s+n}^2 와 잡음의 세기 σ_n^2 으로 나타내며 식(10)과 같이 나타낸다.

$$SNR_R = \frac{\sigma_{s+n}^2 - \sigma_n^2}{\sigma_n^2} \dots\dots\dots (10)$$

시뮬레이션 결과 $N_B=1$ 일 때보다 N_B 의 개수가 늘어남에 따라 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 10^6 개의 총 데이터 개수에서 오류율 10^{-4} 에서 살펴보면 $N_B=1$ 인 단일 밴드 FTN 전송 기법의 성능보다 $N_B>1$ 인 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능이 더 우수함을 확인할 수 있다.

표 2는 밴드의 수 N_B 에 따른 성능을 나타낸 표이다. $N_B=1$ 인 단일 밴드 FTN 전송과 비교하여 $N_B=2, 3$ 일 때 성능이 0.3dB 향상되었고, $N_B=4$ 일 때 0.4dB, $N_B=4, 5$ 일 때 0.5dB 성능 향상됨을 확인 할 수 있다. 또한, N_B 의 값이 계속 증가함에 따라 성능이 향상되나 $N_B=5$ 이상 일 때부터 성능 향상은 없음을 확인하였다. 따라서 간섭 비율 $\tau'=25\%$ 인 다중 밴드 FTN 전송 기법에서 최적의 밴드 수는 $N_B=5$ 임을 확인 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 한정된 대역폭에서 전송 효율 향상을 위해 FTN 기법과 부호화된 비트를 여러 개의 밴드로 나누어 할당된 각 밴드의 서로 다른 주파수를 이용하여 전송하는 다중 밴드 전송 기법을 결합한 다중 밴드 FTN 전송 기법을 제안하였다. Nyquist 속도보다 빠르게 신호를 전송하는 기존 FTN 기법은 간섭 비율을 증가시켜 전송률 향상을 가져오나 이는 인접 심볼 간의 간섭을 야기하여 성능이 열화된다. 제안한 다중 밴드 FTN 전송 기법은 인접 심볼 간의 간섭을 줄이기 위해 다중 밴드 FTN 전송 기법의 비트 당 샘플 수를 단일 밴드 FTN 전송 기법에서의 비트 당 샘플의 수에 밴드 수 N_B 만큼 비례하여 증가시켰다. AWGN 환경에서 각 밴드에서의 FTN 간섭 비율 $\tau'=25\%$ 로 설정하여 총 데이터 개수 10^6 개에 대한 시뮬레이션을 통해 단일 밴드 FTN 전송 기법과 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과 오류율 10^{-4} 에서 성능을 비교하였을 때 $N_B=1$ 인 단일 밴드 FTN 전송 기법의 성능과 $N_B=2, 3$ 인 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능 차는 약 0.3dB, $N_B=4$ 일 때 약 0.4dB, $N_B=4, 5$ 일 때 약 0.5dB로 밴드의 수 N_B 가 증가함에 따라 인접 심볼 간의 간섭이 줄어들어 다중 밴드 FTN 전송 기법의 성능이 단일 밴드 FTN 전송 기법의 성능보다 약 0.3dB~0.5dB 향상됨을 확인하였다. 또한, $N_B=1$ 인 단일 밴드 FTN 전송 기법의 성능보다 밴드의 수 N_B 가 증가할수록 성능이 향상되지만 $N_B=5$ 일 때부터 N_B 의 증가에 따라 오류의 수는 줄어들지만 성능 향상의 폭은 없음을 확인하였다. 따라서 간섭 비율 $\tau'=25\%$ 인 다중 밴드 FTN 전송 기법에서의 최적의 밴드 수

$N_B=5$ 임을 확인하였다.

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." The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 16, no. 1, pp. 121-127, 2016.
DOI:https://doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.1.121
- [2] R. G. Gallager, "Low-density parity - check codes," IRE Transactions on information theory, vol. 8, no. 1, pp. 21-28, Jan. 1962.
- [3] J. E. Mazo, "Faster-than-Nyquist signaling," The Bell System Technical Journal, vol. 54, no. 8, pp. 1451-1462, Oct. 1975.
- [4] M. El Hefnawy, and H. Taoka, "Overview of Faster-Than-Nyquist for Future Mobile Communication Systems," In Proceeding 77th IEEE Vehicular Technology Conference, 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," IEEE Globecom Workshops, pp. 1-6, Dec. 2015.
- [6] C. U. Baek, G. W. Park and J. W. Jung, "An Efficient Receiver Structure for Faster-than-Nyquist Signal in MIMO System," Journal of Communications, vol. 12, no. 5, pp. 285-290, May. 2017.
- [7] Y. M. Kim, P. P. Shang, and S. Y. Kim, "Estimation of soft decision channel gain for coded MIMO system," The Journal of the Korean Institute of Communication Sciences, vol. 36, no. 6, pp. 577-586, Jun. 2011.
- [8] J. B. Anderson, A. Prlja and F. Rusek, "New reduced state space BCJR algorithms for the ISI channel," in Proceeding 2009 IEEE International Symposium on Information Theory, Seoul, Korea, pp. 889-893, 2009.
- [9] H. Esmail and D. Jiang, "Review article: Multicarrier communication for underwater acoustic channel," International Journal of Communications, Network and System Sciences, vol.6, pp.361-376, Aug. 2013.
- [10] P. A. van Walree, E. Sangfelt, and G. Leus, "Multicarrier spread spectrum for Covert Acoustic Communications," In Proceeding of MTS/IEEE OCEANS, Quebec City, QC, Canada, pp. 1-8, Sep. 2008.

저자약력

서 정 현(Jung-Hyun Seo)

[학생회원]



- 2017년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정

<관심분야> 위성통신, 수중통신, 변·복조 기술, 채널 코딩 등

백 창 옥(Chang-Uk Baek)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학사
- 2014년 2월 : (주)KTE 기술연구소 연구원
- 2016년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 공학석사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 박사과정

<관심분야> 위성통신, 수중통신, 변·복조기술, 채널코딩 등

정 지 원(Ji-Won Jung)

[정회원]



- 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, 이동통신, 수중통신, 변·복조 기술, 채널 코딩, FPGA 기술 등