

## 채널 용량을 증가시키기 위한 MIMO-FTN 성능 분석

\*조봉균 \*\*박명철 \*\*\*장은정 \*\*\*\*한동석

경북대학교 IT대학

\*jbggg1@gmail.com

## MIMO-FTN Reception Performance Analysis for Improving the Channel Capacity

\*Jo, Bong-Gyun \*\*Park, Myung Chul \*\*\*Jang, EunJeong \*\*\*\*Han, Dong Seog

School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

## 요약

다중 안테나(MIMO, multi-input multi-output) 기법은 채널 용량을 증가시키기 위한 기술로써 최근 많이 연구되어 지고 있으며, DVB-T2, LTE 기술 및 802.11ac 등 방송, 이동통신 및 Wi-Fi 등 여러 분야에서 다양하게 쓰이고 있다. 그러나 다중 안테나 전송 기법은 송·수신 안테나 개수에 비례하여 채널 용량이 증가되므로, 채널 용량을 증가시키기 위해서는 많은 송·수신 안테나가 필요하다는 단점을 가지고 있다. 최근 다중 안테나 전송 기술과는 다른 방법으로 전송량을 증가시키는 기술인 FTN(faster than Nyquist) 전송 기법이 연구되고 있다. FTN 전송 기법은 동일한 대역폭에서 비트 오류 없이 정보를 전송할 수 있는 나이퀴스트(Nyquist) 심벌율보다 빠르게 심벌을 전송하는 기법으로 이론적으로 최대 20%까지 채널 용량을 증가시킬 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 채널 용량을 증가시키기 위하여 다중 안테나 기법과 FTN 송신 기법을 연동하여 기존 다중 안테나 전송 기법의 단점을 보완하는 MIMO-FTN 전송 기법의 성능을 분석한다.

## 1. 서론

최근 전 세계적으로 채널 용량에 대한 관심이 폭발적으로 늘어나고 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 채널 용량을 증가시키는 연구 중에서 가장 대표적인 것은 1998년에 제안된 STBC(space time block code)를 시작으로 활발하게 연구되어지고 있는 다중 안테나 전송 기법이다<sup>[1]</sup>. 다중 안테나 전송 기법은 대역폭을 늘리지 않고 송·수신 안테나 개수에 비례하여 채널 용량을 증가시킨다. 이러한 다중 안테나 전송 기법은 유럽형 방송 표준인 DVB-T2와 이동통신 표준인 LTE(long term evolution) 및 Wi-Fi 표준인 IEEE802.11ac 등 모든 통신 시스템에서 널리 사용되고 있다. 그러나 다중 안테나 전송 기법은 송·수신 안테나 개수에 비례하여 채널 용량이 증가하기 때문에 높은 전송량을 달성하기 위해서는 많은 송·수신 안테나가 필요하다는 단점을 가지고 있다.

이러한 다중 안테나 전송 기법과는 다르게 채널 용량을 증가시키는 전송 기법으로 FTN(faster than Nyquist)이 있다<sup>[2]</sup>. FTN 전송 기법은 선형 변조를 통하여 나이퀴스트 비율보다 빠르게 샘플링하여 대역 효율을 증가시키며, 이론적으로 20% 빠르게 샘플링 하여도 수신 성능에는 큰 변화가 없다. 그 이유는 심벌 간의 유클리드 거리의 변화가 없기 때문이며, 시간 영역 및 주파수 영역에서 동시에 FTN을 적용하였을 경우, 50% 정도의 채널 용량 증대를 기대할 수 있다. FTN 전송 방식은 송신기에서 사용하는 선형 변조의 특성을 파악하여 심벌 간에 직

교성을 유지하지 않고 간섭이 발생하더라도 간섭되는 정도를 수신기에서 알 수 있다. 그러므로 송신 신호는 TCM(trellis-coded modulation)과 같은 효과를 가지는 변조 과정을 이루며, 수신기에서는 전송 심벌에 따른 trellis 상태를 얻을 수 있게 되어 신호 간의 간섭으로 발생하는 오류율을 낮출 수 있다.

본 논문에서는 채널 용량을 극대화하기 위하여 위의 두 가지 전송 기법을 연동한 MIMO-FTN 전송 기법의 수신 성능을 분석한다.

## 2. MIMO-FTN 전송 기법

MIMO-FTN 전송 기법은 여러 개의 송신 안테나를 사용하여 동일한 FTN 신호를 전송한다. 전송된 신호는 수신기에서 MRC(maximum ratio combining)를 통하여 다이버시티(diversity) 이득을 얻어 수신 성능을 향상시킨다. MIMO-FTN 전송 기법의 송신 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sqrt{E_s} \sum_n a_n h(t - n\tau T) \quad (1)$$

식 (1)에서  $k$ 개의 송신 안테나에서 전송되는 신호  $s_k(t)$ 는 심벌 값인  $a_n$ 과 정합필터  $h(t - n\tau T)$ 로 구성되어 있으며,  $\sqrt{E_s}$ 는 심벌의 평균 에너지이다. FTN 신호가 일반적인 나이퀴스트 샘플링 신호 모델링과 다른 점은 정합 필터의  $\tau$ 값이 1보다 작다는 것이다. 이론적으로  $\tau = 0.8$ 이면 기존 나이퀴스트 샘플링 신호 모델링보다 20% 정도 채

1) 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥센터의 ICT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8061-15-1002)

널 용량이 증가된다. FTN 신호 모델링을 송신 안테나 개수가 2개, 수신 안테나 개수가 2개인 MIMO에 적용했을 경우에 수신 신호는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{ch1} & h_{ch2} \\ h_{ch3} & h_{ch4} \end{bmatrix} s_k(t) + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서  $y_1, y_2$ 은 2개의 수신기에서 수신된 신호를 나타낸 것이며,  $h_{ch1}, h_{ch2}, h_{ch3}, h_{ch4}$ 는 송·수신기의 개수가 각각 2개인 경우에 형성되는 채널의 이득을 나타낸다. 또한  $n_1, n_2$ 는 각각의 수신기에 더해지는 열잡음을 의미한다. 다이버시티 이득을 얻기 위하여 MRC 기법을 식 (2)에 적용하면 다음과 같다.

$$\bar{y} = (|h_{ch1}|^2 + |h_{ch2}|^2 + |h_{ch3}|^2 + |h_{ch4}|^2) s_k(t) + \bar{n}(t) \quad (3)$$

식 (3)에서 MRC를 2개의 수신 안테나에 수신된 신호들에 적용하면 모든 채널 이득의 합으로 나타나며, 이를 통하여 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 마지막으로 식 (3)의 과정을 거친 후, 신호 간의 간섭 영향을 최소화하기 위하여 비터비 복호화를 통하여 신호를 검파하게 된다.

### 3. 실험 결과

2절에서 살펴본 MIMO-FTN의 수신 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 검파 기법으로는 경관정 방법을 이용하였으며, SRRC(square root raised cosine)의 롤오프 계수를 변화시키면서 실험하였다. 또한 송·수신 안테나 개수를 각각 2개인 다중 안테나 시스템을 고려하였으며, 평평한 레일리 채널에서 실험하였다. 신호 성상은 BPSK를 이용하였다. 그림 1은 롤오프 계수가 0.5일 경우의 MIMO-FTN 시스템에서의 실험 결과이다.

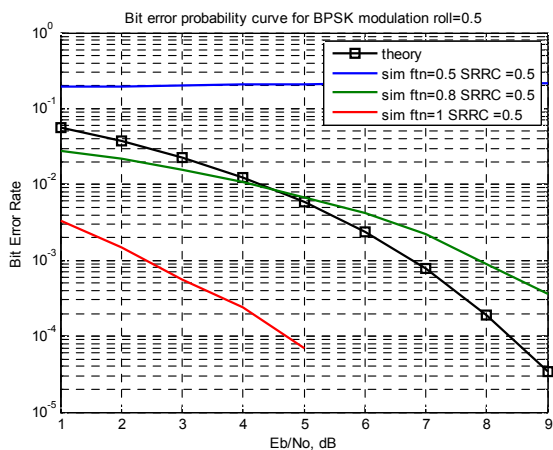


그림 1. 롤오프 계수가 0.5일 경우의 MIMO-FTN 수신 성능

그림 1에서  $\tau$ 가 0.5일 경우에는 성능이 거의 나오지 않는다. 이유는 비터비 계열의 복호를 사용하지 않고 경관정을 사용하였기 때문에

간섭 신호의 영향을 많이 받기 때문이다.  $\tau$ 가 1인 경우에는 나이퀴스트 샘플링된 경우로  $\tau$ 가 0.8인 경우와 수신 성능 차이가 크다. 이 또한 신호간의 간섭 효과가 검파 성능에 영향을 주기 때문이다. 그러나 경관정 검파 방법을 사용하더라도 단일 안테나 시스템의 이론적인 수신 성능과 비슷한 것을 알 수 있다. 다음은 롤오프 계수가 0.7인 MIMO-FTN 시스템에서의 수신 성능 결과이다.

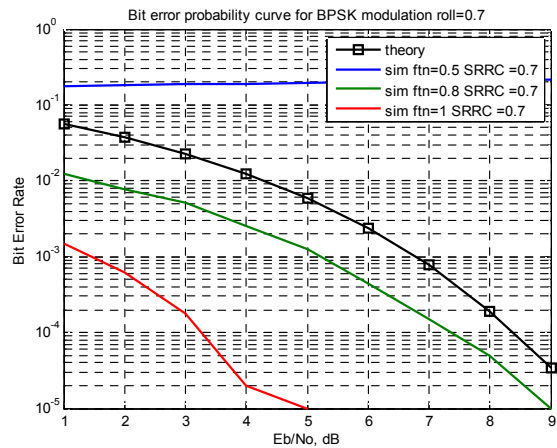


그림 2. 롤오프 계수가 0.7일 경우의 MIMO-FTN 수신 성능

그림 2에서  $\tau$ 가 0.8인 경우에는 단일 안테나 시스템의 이론적인 나이퀴스트 샘플링 모델보다 BER  $10^{-3}$  기준에서 약 2dB 정도의 이득을 가진다. 송신된 신호들 간의 20% 정도의 간섭을 고려하지 않고 검파하더라도 다이버시티 이득만으로도 충분히 낮은 오류율을 가진다. 또한 채널 용량이 기존 Nyquist 신호보다 20% 정도 증가되므로, 기존 단일 안테나 시스템보다는 전송량이 증가된다. 그러나  $\tau$ 가 1인 일반적인 MIMO 전송 기법보다는 수신 성능이 나쁘다. 이것은 본 논문에서 신호간의 간섭을 검파에 고려하지 않았기 때문에 이러한 결과가 나온 것이며, 만약 비터비 계열의 복호 기법을 고려한다면 기존 MIMO 수신 성능과 비슷한 결과가 나올 것으로 예상된다.

### 4. 결론

본 논문에서는 대용량 데이터 전송을 위하여 MIMO-FTN 방식의 수신 성능을 분석하였다. 송·수신 안테나 개수가 각각 2개인 MIMO-FTN 전송 기법은 단일안테나 시스템보다 채널 용량을 20% 정도 증가시키면서 수신 성능도 향상되었음을 보였다. 또한 비터비 복호화 방법을 사용하면 채널 용량을 20% 증가시키면서 기존 MIMO 수신 성능에도 충분히 도달할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] BongGyun Jo and Dong Seog Han, "Performance Analysis and Design of MIMO Systems for Terrestrial Transmission of UHD-TV", Journal of Broadcast Engineering, pp. 547-54, vol. 15, No. 4, July 2010.
- [2] J. B. Anderson, F. Rusek, and V. Owall, "Faster-Than-Nyquist Signaling," Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 8, pp. 1817 - 1830, Aug. 2013.