

# 광대역에서 위상 회전을 이용한 OFDM 중계

허유라, 이민아, 정의림\*  
한밭대학교

1022hu@gmail.com, leemina316@gmail.com \*erjeong@hanbat.ac.kr

## OFDM Relay Using Phase Rotation in Wideband

Heo Yu Ra, Lee Min A, Jeong Eui Rim\*(Corresponding author)  
Hanbat National Univ.

### 요 약

본 논문은 광대역에서 중계기가 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 전송 방식으로 신호를 송신할 시 신호의 부반송파 위상을 무작위로 회전시켜 페이딩 채널을 통과함으로써 시간 다이버시티 이득을 얻는 방법을 제안한다. 무선 통신에서 각 다중경로 페이딩 신호의 시간 지연을 보상 합성하여 통신 성능을 향상시킬 수 있다. 구체적으로 중계 노드의 수를 증가시키면서 노드 수의 증가에 따른 이득과 부반송파의 위상 회전에 따른 이득이 얼마나 발생하는지 평가하기 위해 비트 오류율(Bit Error Ratio, BER)을 확인한다. 모의실험 결과, QPSK 변조 방식을 사용한 경우 약 1dB, 16QAM 변조 방식을 사용한 경우 약 5dB의 성능 개선을 얻는다.

### I. 서 론

무선 통신에서, 다중 경로 전파로 인한 신호의 중첩은 통신 성능을 저하시키는 문제를 야기할 수 있다. 그러나, 이 문제는 시간축 상에서 각기 다르게 전송된 신호들을 합성하여 수신하는 시간 다이버시티 기법을 통해 완화될 수 있다.[1] 기존의 Barrage relay 기법은 협대역에서 반송파의 위상을 회전시켜 신호를 중첩시킨다. 중첩된 신호는 수신 노드에서 시변 채널 특성을 유도하여 시간 다이버시티 이득을 얻는다.[2, 3]

본 논문에서는 모의실험을 통해 광대역 무선 이동 통신 시스템에서 널리 사용되는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 전송 방식으로 신호를 송신할 때 위상 회전을 통한 이득을 확인한다.[4] 페이딩 채널에서 QPSK와 16QAM 데이터 변조 방식을 사용하며, 중계 노드 개수는 1개, 3개, 5개이다. 모의실험 결과 위상 회전을 한 경우 QPSK에서는 약 2dB, 16QAM에서는 약 5dB의 성능이 개선된다.

### II. 시스템 모델

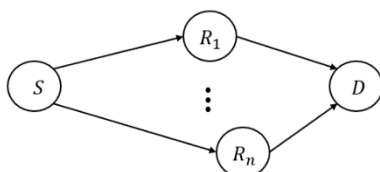


그림 1. 단일 안테나 노드가 있는 두 홉 중계

본 논문에서는 그림 1과 같이 소스 노드(S)와 목적지 노드(D) 사이 중계 노드(R)가 한 개인 단일 안테나 두 홉 중계를 다루는 시스템이다. 소스와 중계 노드 사이는 어떤 간섭과 신호의 손실도 없는 상황으로 가정하고 중계 노드와 목적지 노드 사이 링크의 채널 상태 정보만 고려한다고 가정한다.

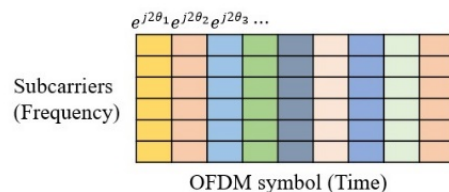


그림 2. OFDM의 전송 구조

그림 2는 OFDM의 전송 구조를 나타낸 그림이다. 중계 노드에서는 신호를 송신할 때 OFDM 심볼마다 위상을 회전시킨다. 한 OFDM 심볼을  $x(t)$ 라고 하면 무작위 하게 위상을 회전시킨 심볼들이 합쳐진 신호  $y(t)$ 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $\theta_t$ 의 범위는  $-\pi$ 에서  $+\pi$ 까지이다.

$$y(n) = \sum_{t=1}^n x(t) * \exp(j2\theta_t) \quad (1)$$

### III. 모의실험 환경 및 결과

광대역에서 부반송파의 위상을 회전할 경우의 성능 확인을 위해 MATLAB을 사용하며 송신 신호의

대역폭은 4MHz로 설정한다. OFDM의 FFT 크기는 512, 파일럿 비율은 1/2, 그리고 CP 길이는 64로 설정한다. 중계 노드에서 목적지로 보내는 신호들의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio, SNR) 변동은 최대 10dB의 편차를 가지며, 중계 노드들과 목적지 사이의 거리들의 편차는 변조 부호화 방식마다 다르게 적용된다. 또한 이동 속도는 20km/h이다. 신호는 레일리 페이딩 채널을 통과하며 최소 평균 제곱 오차(Minimum Mean Square Error, MMSE) 알고리즘을 이용하여 채널을 추정한다.

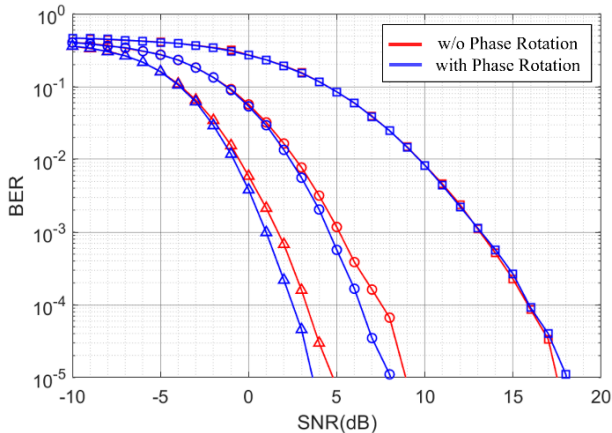


그림 3. QPSK에서 위상 변조에 따른 BER 성능

그림 3은 QPSK에서 부호화율이 1/3일 때 BER 성능이다. 빨간색 선은 부반송파의 위상을 회전시키지 않은 경우이고 파란색 선은 위상을 회전시킨 경우이다. 정사각형 마커(□)는 중계 노드가 1개, 동그라미 마커(○)는 중계 노드가 3개, 삼각형 마커(△)는 중계 노드가 5개인 것을 의미한다. 위상 회전에 상관없이 중계에 참여하는 노드 개수가 1개에서 3개, 5개로 늘어날수록 BER이  $10^{-5}$ 에서 성능이 약 10dB, 15dB 개선되는 것을 확인할 수 있다. 위상 회전을 한 경우와 하지 않았을 경우를 비교하면 중계 노드 개수가 1개일 때는 SNR이 약 18dB인 것에 반해 중계 노드 개수가 3개인 경우 1dB, 5개 경우 2dB 개선된다.

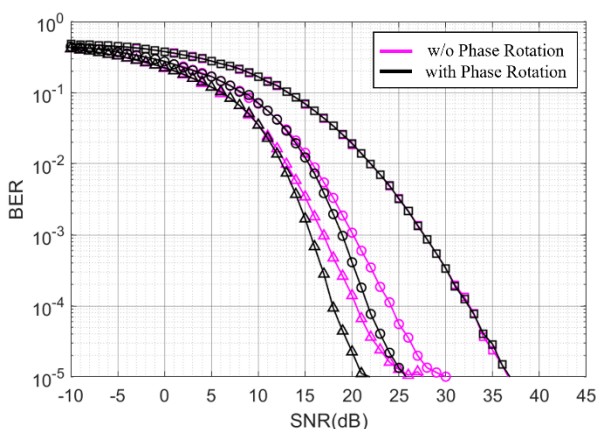


그림 4. 16QAM에서의 BER 성능

그림 4는 16QAM에서 부호화율이 3/4일 때의 BER 성능이다. 분홍색 선은 부반송파의 위상을 회전시키지 않은 경우이고 검은색 선은 위상을 회전시킨 경우이다. 마커는 그림 3과 동일하다. 그림 3과 유사하게 중계에 참여하는 노드의 수가 증가할수록 BER 성능이 향상된다. 구체적으로 중계 노드 개수가 1개에서 3개, 5개로 늘어날수록 BER이  $10^{-5}$ 에서 성능이 약 7dB, 10dB

향상된다. 위상 회전을 한 경우와 하지 않았을 경우를 비교하면 중계 노드 개수가 1개일 때는 차이가 없지만 3개, 5개인 경우 약 5dB 개선된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 협대역에서 우수한 성능을 보이는 Barrage relay 기법을 광대역에 적용하여 성능을 확인하였다. OFDM의 부반송파의 위상을 무작위하게 회전한 결과, QPSK에서 부호화율이 1/3인 경우 약 1dB, 16QAM에서 부호화율이 3/4인 경우 5dB의 성능이 개선되었다. 또한, 중계 노드의 개수가 증가할수록 성능이 개선되었다. 협대역뿐만 아니라 광대역 중계에서도 OFDM 부반송파의 위상 회전을 통해 시간 다이버시티를 얻을 수 있으며 다중 경로 전파 통신 상황에서 신호 중첩으로 인해 통신 성능이 저하되는 문제를 해결하여 통신 성능을 향상시킬 수 있다.

#### 참고 문헌

- [1] Eriksson G., Linder S. and Grönkvist J. "Measurement-Based Analysis of Two-Hop Cooperative Relaying," MILCOM 2013 - 2013 IEEE Military Communications Conference, pp. 538-543, Nov. 2013.
- [2] Halford T. R. and Chugg K. M. "Barrage Relay Networks," 2010 Information Theory and Applications Workshop (ITA), pp. 1-8, Apr. 2010.
- [3] Hammerstrom L., Kuhn M. and Wittneben, A. "Cooperative diversity by relay phase rotations in block fading environments," IEEE 5th Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, pp. 293-297, Jun. 2004.
- [4] Song M. S., Kil H. B., Kim J. S., and Jeong E. R. "Overhead Reduction by Channel Estimation Using Linear Interpolation for SC-FDE Transmission," Proceedings of the Korean Institute of Information and Communication Sciences Conference, pp. 611-613, Oct. 2017.