

# 협력 통신에서 중첩 변조를 활용한 최적의 중계단 선정 및 적응적 전송률 향상 기법

강성진\*

## An Optimal Relay Selection and Adaptive Throughput Enhancement Scheme Utilizing Superposition Modulation

Sung-jin Kang\*

### 요약

본 논문은 협력 통신에서 중첩변조를 활용한 최적의 중계단 선정 및 적응적 전송률 향상 기법을 제안한다. 중첩변조를 활용한 중계단 선정 신호를 활용하여 최적의 중계단을 선정함과 동시에 채널 상태를 추정하여 중첩되는 신호의 수를 결정하여 채널 상태에 따라 적응적으로 전송률을 향상시키는 기법을 제안한다.

**Key Words** : cooperative communication, superposition modulation, relay selection

### ABSTRACT

This paper proposes an optimal relay selection and adaptive throughput enhancement scheme utilizing superposition modulation in cooperative communication. The optimal relay is selected and the channel state is estimated by utilizing superposition modulation. The source determines the number of superimposed signal in accordance with the stated channel state. As a result, throughput is increased in accordance with the channel state.

## I. 서론

무선 통신 환경에서 페이딩의 영향을 극복하기 위해서 다양한 기법이 제안되었으며 그 중 하나로 Multiple-input Multiple-output (MIMO)가 제안되었다. MIMO는 다수의 송신안테나와 수신안테나를 활용하여 통신하는 방식으로, 송신단에서 하나의 신호 또는 다수의 신호를 전송하여, 수신단에서 다이버시티 이득 또는 멀티플렉싱 이득을 얻게 하는 기술이다. 하지만 이러한 MIMO는 안테나의 크기, 비용, 복잡도 등의 한계를 가지고 있는 기술이다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 많은 연구가 진행되었고, 그 중 하나로 협력 통신이 제안되었다<sup>[1]</sup>. 협력 통신은 단일 안테나를 사용하는 각 단말이 가상의 안테나 배열을 형성하여 MIMO와 같은 효과를 가지는 기술이다. 본 논문에서는 중첩 변조를 활용해 최적의 중계단을 선정하고, 선정된 중계단과 송신단 사이의 채널 상태에 따른 적응적 전송 속도를 가지는 협력 통신 기법을 제안한다<sup>[2]</sup>.

## II. 협력 통신 및 중첩 변조

### 2.1 협력 통신

협력 통신은 그림 1과 같이 송신단, 중계단 그리고 수신단으로 구성된다. 단계 1은 송신단이 신호를 브로드 캐스팅하여서 중계단과 수신단으로 신호를 전송한다. 본 논문에서 중계단은 송신단으로 받은 신호를 DF 기법을 적용한다. 중계단은 수신 받은 신호를 디코딩 과정과 재 인코딩을 수행한다. 단계 2에서, 중계단은 재 인코딩한 신호를 수신단으로 전송하게 되며, 수신단은 단계 1과 단계 2를 통해 받은 두 신호를 Maximal Ratio Combining (MRC)를 활용하여 합성한다. MRC 합성 이후, 수신단은 디코딩과 복조를 통해서 송신단으로부터 전송된 신호를 검출하게 된다.

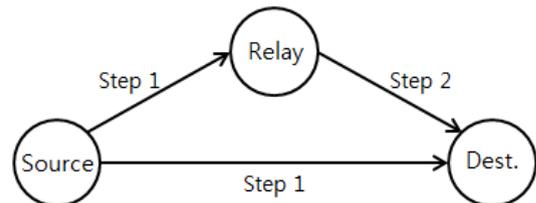


그림 1. 협력 통신 시스템 모델  
 Fig. 1. System model of cooperative communication

\* First Author : Korea University of Technology and Education School of Electrical, Electronics and Communication Engineering, sjkang@koreatech.ac.kr, 중신회원  
 논문번호 : KICS2015-09-317, Received September 24, 2015; Revised October 1, 2015; Accepted October 1, 2015

### 2.2 중첩 변조

중첩 변조는 2개의 신호를 합쳐서 하나의 신호로 생성하는 변조 방식 중 하나이다. 그림 2는 중첩 변조의 인코딩을 나타낸다. UPA 기법은 다른 크기의 두개의 신호를 중첩하는 기법이다. 크기가 다른 두 신호  $QPSK_1$ 과  $QPSK_2$ 를 중첩하여 중첩된 신호  $SM$ 를 생성하게 된다.

중첩 변조의 디코딩은 그림 3과 같이 Successive Interference Cancellation(SIC) 기법을 활용하여 수행한다. 중첩된 신호  $SM$ 에서 큰 크기의 신호인  $QPSK_1$ 를 분리한 후, 작은 크기의 신호  $QPSK_2$ 를 분리하여 2개의 신호를 디코딩한다.

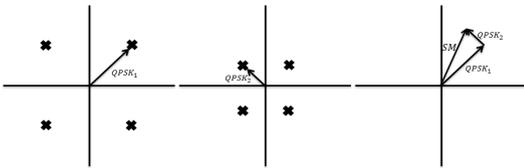


그림 2. 중첩 변조의 인코딩  
Fig. 2. Encoding of superposition modulation

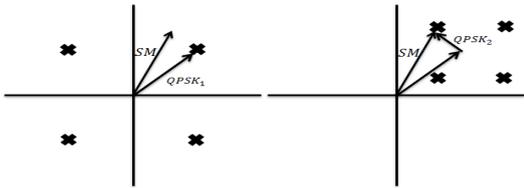


그림 3. 중첩 변조의 디코딩  
Fig. 3. Decoding of superposition modulation

## III. 제안된 중계단 선정 기법 및 협력 통신 기법

### 3.1 제안된 중계단 선정 기법

기존의 중계단 선정 기법은 사전에 Channel State Information (CSI) 또는 그 이외의 채널 정보를 알고 있어야 한다는 문제점을 가지고 있다<sup>3)</sup>. 본 논문에서 제안하는 중계단 선정 기법은 중첩 변조를 활용한 중계단 선정 신호를 생성하고, 생성된 신호의 상관 계수를 활용한 최적의 중계단 선정 기법을 제안한다.

송신단은 동일한 2개의 신호를 중첩하여 중계단 선정 신호를 생성한다. 생성된 중계단 선정 신호는 각 후보 중계단으로 전송되며, 각 후보 중계단은 수신 받은 중계단 선정 신호의 상관 계수 값을 계산한다.

$$\begin{aligned} |\rho_{R_1, R_2}| &= \left| \frac{Cov[R_1, R_2]}{\sqrt{Var[R_1]Var[R_2]}} \right| \\ &= \left| \frac{Cov[R_1, R_2]}{\sigma_{R_1}\sigma_{R_2}} \right| \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)은 상관 계수의 절대값을 구하는 수식이다. 각 후보 중계단은 수신된 중계단 선정 신호를 디코딩하여 신호  $R_1$ 과  $R_2$ 를 검출하고,  $R_1$ 과  $R_2$ 의 상관 계수의 절대값을 계산한다. 만약 송신단과 후보 중계단 사이의 채널 상태가 좋으면  $R_1$ 과  $R_2$  신호의 상관 계수의 절대값은 1에 가까울 것이며, 반대로 송신단과 후보 중계단 사이의 채널 상태가 좋지 않으면  $R_1$ 과  $R_2$ 의 상관 계수의 절대값은 0에 가까울 것이다. 각 후보 중계단은 상관 계수의 절대값의 결과를 송신단에게 전송하며, 송신단은 수신 받은 결과를 통해서 최적의 중계단은 선정하여 협력 통신을 수행하게 된다.

### 3.2 제안된 협력 통신 기법

제안된 협력 통신 기법은 제안된 중계단 선정 기법에서 활용한 상관계수의 절대값을 활용해 중첩되는 신호의 수를 결정하는 기법이다.

표 1은 상관 계수의 절대값에 따른 중첩되는 신호의 개수와 신호 가중치 및 정규화 인자를 나타낸다. N은 중첩되는 신호를 나타내며, 위의 표에 따라 상관 계수의 절대값이 작으면, 송신단과 중계단 사이의 채널 상태가 좋지 않다고 추정하여, 중첩되는 신호의 수가 적은 반면에, 상관 계수의 절대값이 크면, 송신단과 중계단 사이의 채널 상태가 좋다고 추정하여, 많은 신호를 중첩하여 전송하게 된다. 이에 따라 전송률은 추정된 채널 상태에 따라 적응적으로 변하게 된다.

표 1. 상관 계수의 절대값에 따른 중첩되는 신호의 개수와 신호 가중치 및 정규화 인자  
Table 1. The number of superimposed signals according to the comparison result

$ \rho_{R_1, R_2} $	N	Signal weighting	Norm. factor
0~0.25	1	$\pm 1$	$\sqrt{1/2}$
0.25~0.50	2	$\pm 1, \pm 0.5$	$\sqrt{2/5}$
0.50~0.75	3	$\pm 1, \pm 0.5, \pm 0.25$	$\sqrt{8/21}$
0.75~1	4	$\pm 1, \pm 0.5, \pm 0.25, \pm 0.125$	$\sqrt{32/85}$

#### IV. 모의실험 결과 및 결론

본 논문의 모의실험은 256개의 부반송파를 가지는 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 기법의 협력 통신에서 수행된다. 채널 코딩은 Code Rate 1/2인 Convolutional Coding을 사용하며, 각 신호는 독립적인 Rayleigh 페이딩을 겪는다고 가정한다.

그림 4는 제안된 중계단 기법을 활용해 선정된 중계단을 활용했을 때의 성능을 보여준다. 제안된 중계단 선정 기법의 비트 오류 확률은 최적의 중계단 선정 기법으로 알려진 조화 평균을 활용한 중계단 선정 기법과 유사한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

그림 5는 제안된 기법을 활용한 협력 통신 기법의 전송률을 보여준다. 제안된 적응적 협력 통신 기법은 신호 대 잡음비가 커질수록 N=4와 유사해지는 것을 볼 수 있으며, 이는 채널 상태가 좋아짐에 따라 전송률이 향상되는 것을 의미한다.

기존의 중계단 선정 기법은 채널 정보 등이 필요한 반면에, 제안된 중계단 선정 기법은 중첩변조를 활용해 중계단 선정 신호를 선정하고, 송신단과 선정된 중계단 사이의 채널 상태에 따라 중첩되는 신호의 수를 적응적으로 결정하여 협력 통신을 수행하여 전송률을 향상시킨다. 따라서 협력 통신에서 송신단이 사전에 채널 정보 등의 부가적인 정보 없이 최적의 중계단을

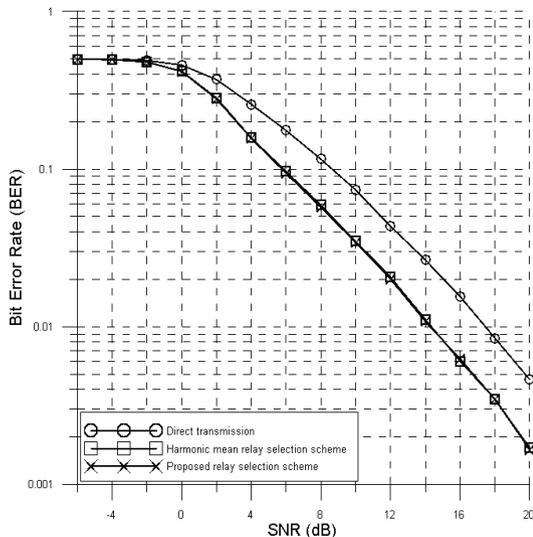


그림 4. 제안된 중계단 선정 기법을 활용한 협력통신의 비트 오류 확률  
Fig. 4. BER performance of cooperative communication utilizing the proposed relay selection scheme

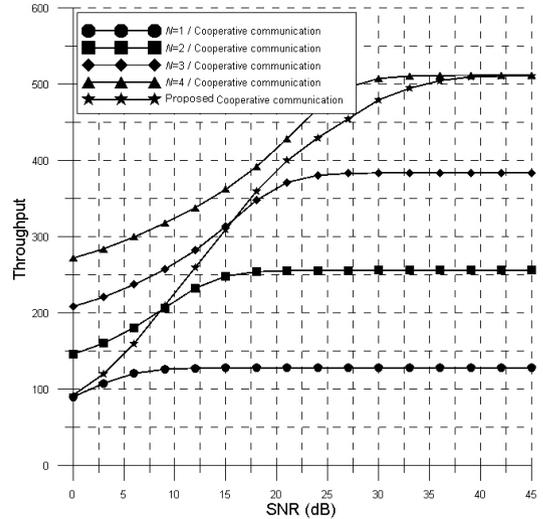


그림 5. 제안된 협력 통신 기법의 전송률  
Fig. 5. Throughput of the proposed cooperative communication

선정하고, 중계단에 의해 발생하는 전송률이 감소되는 문제점을 극복한 본 논문은 무선 통신에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [2] P. A. Hoecher and T. Wo, "Superposition modulation: myths and facts," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 12, pp. 110-116, Dec. 2011.
- [3] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [4] J. K. Choi, C. Y. An, and H.-G. Ryu, "OFDM transmission method based on the beam-space MIMO system," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 425-431, Mar. 2015.