

# 양방향 중계 네트워크에서 다중 중계기를 이용한 협력 중계 기법

## Cooperative Relaying Scheme Using Multiple Relays in Two-Way Relay Network

박 지 환 · 공 형 윤

Ji-Hwan Park · Hyung-Yun Kong

### 요 약

중계기 선택 기반 양방향 중계 기법은 중계기 수에 따른 선택 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며, 기존의 단방향 중계 기법보다 높은 데이터 율을 가진다. 그러나 기존의 중계기 선택 기반 양방향 중계 기법에서는 사용자 간의 직접 통신 링크를 고려하지 않아 협력 통신의 장점인 결합 이득을 얻을 수 없었다. 본 논문에서는 다수의 중계기가 존재하는 네트워크에서 선택 다이버시티 이득과 결합 이득 모두를 얻을 수 있는 기회주의적 협력 양방향 중계 기법과 증분형 협력 양방향 중계 기법을 제안한다. 제안하는 두 기법이 중계기 수에 따른 선택 다이버시티 이득과 결합 이득을 모두 얻음으로써 기존의 양방향 중계 기법보다 우수한 성능을 가짐을 시뮬레이션 결과를 통해 증명한다.

### Abstract

Two-way relaying scheme based on relay selection can not only achieve higher rate but also get the selection diversity gain according to the number of relays. However the scheme can not achieve combining gain because it does not consider the direct link between users. In this paper, we propose, with multiple relays, opportunistic cooperative two-way relaying scheme and incremental cooperative two-way relaying scheme which can achieve both selection diversity gain and combining gain. Simulation results show that proposed scheme outperform the conventional scheme by achieving both combining gain and selection diversity gain according to the number of relays.

Key words : Two-Way Relaying, Cooperative Transmission, Network Coding, Opportunistic Relaying, Incremental Relaying

### I. 서 론

협력 통신(cooperative communication)은 무선 단말기들이 서로간의 안테나를 공유하여 공간 다이버시티(spatial diversity) 이득을 얻음으로써 시스템 용량을 증대시킬 수 있는 기술이다<sup>[1]</sup>. 이후 중계기 협력 방식에 따른 다양한 프로토콜에 제안되었으며<sup>[2]</sup>, 최

근 공간 다이버시티 이득과 링크 성능을 향상시키기 위한 분산 다중 중계 네트워크에서의 협력 통신 시스템이 제안되었다<sup>[3][4]</sup>. 다중 중계기 네트워크에서 협력 통신 시스템은 중계기 수에 따라 다이버시티 이득이 증가되는 장점을 가진다. 그러나 다수의 중계기가 통신에 참여할 경우, 각각의 중계기가 전송에 필요한 부 채널(subchannel)을 할당받아야 하므로

「이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0073895).」

\*울산대학교 전기전자정보시스템공학부(Dept. of Electrical Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20100427-052

· 교신저자 : 공형윤(e-mail : hkong@ulsan.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 6월 22일

주파수 효율이 감소하는 문제점이 있다<sup>[5]</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위하여 참고문헌 [5]에서는 모든 중계기들 중 최적의 중계기를 선택하는 기회주의적 중계(opportunistic relaying) 기법을 제안하였다. 이러한 기법을 통해 선택 다이버시티(selection diversity) 이득을 얻음은 물론 시스템 복잡도를 줄일 수 있었다. 협력 통신의 또 다른 문제점은 다이버시티 이득을 얻기 위해 자원의 추가 할당이 요구되고, 이로 인한 주파수 효율의 감소가 불가피하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 네트워크 부호화를 이용한 양방향 중계 프로토콜이 제안되었다<sup>[6]~[9]</sup>. 양방향 중계 프로토콜에서는 3개 시간 슬롯(time slot) 혹은 2개 시간 슬롯동안 양방향 통신을 할 수 있으므로 기존의 단방향 중계 프로토콜과 같이 중계기가 단방향으로 4개 슬롯에 걸쳐 전송해야 하는 것보다 송신 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 참고문헌 [10]에서는 기회주의적 양방향 AF(Amplify-and-Forward) 중계 기법을 제안하였다. 이러한 기법으로부터 기존의 단방향 중계 기법보다 높은 데이터율을 가지며, 중계기 수에 따른 선택 다이버시티 이득을 얻을 수 있었으나, 사용자간의 직접 통신 링크를 고려하지 않아 협력 통신의 장점인 결합 이득을 얻을 수 없었다.

본 논문에서는 선택 다이버시티와 결합 이득 모두를 얻을 수 있는 기회주의적 협력 양방향 중계(Opportunistic Cooperative Two-Way Relaying: OC-TWR) 기법과 증분형 협력 양방향 중계(Incremental Cooperative Two-Way Relaying: IC-TWR) 기법을 제안한다. 2절에서는 시스템 모델을 보이고, 3절에서는 중계기 선택 기법에 대해 설명한다. 4절에서는 중계기 선택 기반 양방향 협력 중계 기법을 제안하고, 5절에서는 수식적 분석과 시뮬레이션을 통한 제안한 기법의 성능을 분석한다. 끝으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 두 명의 사용자와  $K$  개의 중계기 ( $R_1, R_2, \dots, R_k$ )가 있는 양방향 중계 채널을 가정한다. 두 사용자와 모든 중계기들은 각각 하나의 안테나를 가지며, 전송 프로토콜은 증폭 후 재전송(amplify and forward) 프로토콜을 따른다.

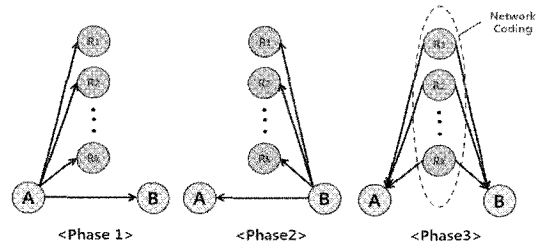


그림 1. 제안하는 시스템의 기본 모델  
Fig. 1. Proposed system model.

또한 노드 간의 전송은 시분할 방식을 통해 이루어지며, 노드 간의 채널은 독립적으로 변하는 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였다.

양방향 중계 채널에서의 협력 통신은 3개 시간 슬롯으로 통신을 하게 된다. 첫 번째 시간 슬롯(phase 1)에서 사용자 A가 모든 중계기와 사용자 B로 자신의 정보를 전송하고, 두 번째 시간 슬롯(phase 2)에서 사용자 B가 모든 중계기와 사용자 A로 자신의 정보를 전송하게 된다. Phase 1, 2 동안 사용자 A, B 그리고 중계기가 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_{AB} = h_{AB}\sqrt{P}x_A + n_B \quad (1)$$

$$y_{BA} = h_{BA}\sqrt{P}x_B + n_A \quad (2)$$

$$y_i = h_{A,i}\sqrt{P}x_A + h_{B,i}\sqrt{P}x_B + n_{i,1} + n_{i,2} \quad (3)$$

여기서  $y_{XY}$ 는 노드 Y가 노드 X로부터 수신한 신호 ( $X, Y \in \{A, B, R_1, R_2, \dots, R_k\}$ );  $h_{XY}$ 는 노드 X와 노드 Y간의 채널 계수;  $P_X$ 는 노드 X에서의 전송 전력;  $x_X$ 는 노드 X의 전송 심벌;  $n_{i,j}$ 는 j번째 시간 슬롯, i번째 노드에서의 평균이 0이고 분산이  $\sigma_X^2$ 인 백색 가우시언 잡음(AWGN: Additive White Gaussian Noise);  $y_i$ 는 i번째 중계기에서 수신한 신호이다. 그리고 세 번째 시간 슬롯(phase 3)에서, 중계기는 사용자 A와 사용자 B로부터 수신한 신호를 네트워크 부호화(사용자 A와 사용자 B 신호의 합)한 후 네트워크 부호화된 신호를 증폭하여 사용자 A, B로 동시에 전송한다. 사용자 A, B가 중계기로부터 수신한 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y_{i,A} &= G_i h_{iA} y_i \\ &= G_i h_{iA} h_{A,i} \sqrt{P} x_A + G_i h_{iA} h_{B,i} \sqrt{P} x_B \\ &\quad + G_i h_{iA} n_{i,1} + G_i h_{iA} n_{i,2} + n_A \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 y_{i,B} &= G_i h_{iB} y_i \\
 &= G_i h_{iB} h_{A,i} \sqrt{P_{A,i}} x_A + G_i h_{iB} h_{B,i} \sqrt{P_{B,i}} x_B \\
 &\quad + G_i h_{iB} n_{i,1} + G_i h_{iB} n_{i,2} + n_B \quad (5)
 \end{aligned}$$

여기서  $G_i$ 는  $i$ 번째 중계기에서의 증폭 계수이며, 다음과 같이 표기한다.

$$G_i = \sqrt{\frac{P_R}{P_A |h_{A,i}|^2 + P_B |h_{B,i}|^2 + \sigma_{i,1}^2 + \sigma_{i,2}^2}} \quad (6)$$

이때 사용자 A, B가 자신의 심벌에 대한 정보를 알고 있다고 가정하면, 다음과 같이 중계기로부터 수신한 신호에서 상대방의 신호만을 검출할 수 있다<sup>[8]</sup>.

$$\begin{aligned}
 Y_{i,A} &= G_i h_{iA} h_{B,i} \sqrt{P_{B,i}} x_B \\
 &\quad + G_i h_{iA} n_{i,1} + G_i h_{iA} n_{i,2} + n_A \quad (7)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_{i,B} &= G_i h_{iB} h_{A,i} \sqrt{P_{A,i}} x_A \\
 &\quad + G_i h_{iB} n_{i,1} + G_i h_{iB} n_{i,2} + n_B \quad (8)
 \end{aligned}$$

최종적으로 사용자 A, B가 수신한 신호는 다음과 같다.

$$Y_A = y_{BA} + Y_{i,A} \quad (9)$$

$$Y_B = y_{AB} + Y_{i,B} \quad (10)$$

### III. 최적의 중계기 선택 기법

단방향 중계(one-way relaying) 통신에서의 기회주의적 중계 기법<sup>[5]</sup>은 사용자와 중계기간의 CSI (Channel State Information)를 기반으로 하여 최적의 중계기를 선택하였다. 본 논문에서도 기존의 기회주의적 중계 기법과 유사한 방법으로 최적의 중계기를 선택한다. 양방향 중계 채널에서는 두 사용자가 소스와 목적지 역할 모두를 하므로 단방향 중계 채널에서 보다 사용자 A-중계기, 중계기-사용자 B간의 경로 균형(balance)이 중요하다. 또한 기존의 단방향 중계 기법에 비해 높은 데이터 유효를 가지는 장점을 부각시키기 위해 데이터 유효를 최대화할 수 있는 중계기를 선택해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 사용자 A와 사용자 B의 순간 Sum-rate(사용자 A와 B 데이터

유효의 합)를 최대화 할 수 있는 중계기를 최적의 중계기로 선택한다<sup>1)</sup>.

#### 3-1 협력 양방향 중계 기법에서의 Sum-Rate

먼저 사용자 A, B와 모든 중계기의 전송 전력과 잡음 분산 값이 동일하다고 가정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

가정. (1)

$$\begin{aligned}
 P_A &= P_B = P_R = P \\
 \sigma_A^2 &= \sigma_B^2 = \sigma_{i,1}^2 = \sigma_{i,2}^2 = \sigma^2
 \end{aligned}$$

또한 사용자 A-중계기, 중계기-사용자 B의 채널이 서로 대칭이라고 가정하면, 각 채널 이득을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

가정. (2)

$$\begin{aligned}
 |h_{Ai}|^2 &= |h_{iA}|^2 = \alpha_{Ai} \\
 |h_{Bi}|^2 &= |h_{iB}|^2 = \alpha_{Bi} \\
 |h_{AB}|^2 &= |h_{BA}|^2 = \alpha_{AB}
 \end{aligned}$$

가정 (1), (2)에 따라 사용자 A와 사용자 B에서의 데이터 유효를 다음과 같이 나타낼 수 있다[Appendix].

$$Rate_A = \frac{1}{3} \log_2 \left( 1 + \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2 + 2} \right) \right) \quad (11)$$

$$Rate_B = \frac{1}{3} \log_2 \left( 1 + \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2 + 2} \right) \right) \quad (12)$$

여기서  $\gamma_0 = \frac{P\alpha_{AB}}{\sigma^2}$ ,  $\gamma_1 = \frac{P\alpha_{Ai}}{\sigma^2}$ ,  $\gamma_2 = \frac{P\alpha_{Bi}}{\sigma^2}$  이다. 또한  $\gamma_1, \gamma_2 \gg 2$ 이고, 사용자 A, B의 수신 SNR이 1보다 크다면 식 (11), (12)를 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$Rate_A \approx \frac{1}{3} \log_2 \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2} \right) \quad (13)$$

$$Rate_B \approx \frac{1}{3} \log_2 \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2} \right) \quad (14)$$

최종적으로 사용자 A, B의 순간 Sum-rate는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1) 순간 sum-rate 기반 최적 중계기 선택 기법은 참고문헌 [10]에서 제안한 것과 유사하다. 참고문헌 [10]에서는 사용자 A와 B간의 직접 통신을 고려하지 않았으나, 본 논문에서는 사용자 A와 B간의 직접통신을 고려한 순간 sum-rate 기반 최적 중계기 선택 기법을 제안하였다.

$$Rate\ r \approx \frac{1}{3} \log_2 \left( \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2} \right) \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2} \right) \right) \quad (15)$$

### 3-2 최적의 중계기 선택

사용자 A, B의 순간 Sum-rate는 식 (15)의 로그 함수 안의 값인 식 (16)에 의존하는 것을 알 수 있다.

$$K_i = \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2} \right) \left( \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2} \right) \\ = \frac{(P^2 |h_{Aid}|^2 |h_{Bid}|^2)^2}{(3P |h_{Aid}|^2 + P |h_{Bid}|^2)(P |h_{Aid}|^2 + 3P |h_{Bid}|^2)} \quad (16)$$

이에 따라, 첫 번째, 두 번째 시간 슬롯에서 두 사용자로부터 데이터를 수신한 K개의 중계기들은 식 (16)을 기반으로 하여 식 (17)과 같은 타이머를 작동시킨다<sup>[5]</sup>.

$$T_i = \frac{\lambda}{K_i} \quad (17)$$

결국 식 (16)이 가장 큰 중계기의 타이머가 가장 먼저 만료되고, 타이머가 가장 먼저 만료된 중계기에서는 자신이 최적의 중계기임을 알리는 flag 패킷을 브로드캐스트하여 나머지 중계기들에게 알린다.

## IV. 양방향 중계 채널에서 협력 중계 기법

본 논문에서는 두 종류(기회주의적 협력 양방향 중계 기법과 증분형 협력 양방향 중계 기법)의 협력 양방향 중계 기법을 제안한다.

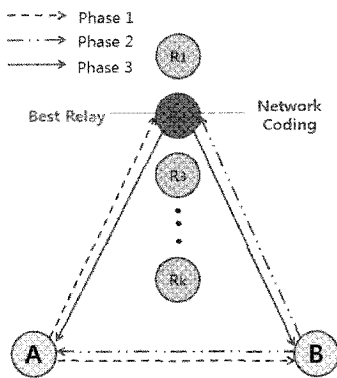


그림 2. 협력 양방향 중계 기법  
Fig. 2. Cooperative two-way relaying scheme.

### 4-1 기회주의적 협력 양방향 중계(OC-TWR) 기법

OC-TWR은 다수의 중계기가 있는 네트워크에서 그림 2와 같이 3개 시간 슬롯 동안 최적의 중계기를 통하여 협력 전송하는 방식이다. 첫 번째 시간 슬롯에서 사용자 A가 K개 중계기와 사용자 B로 데이터를 전송하고, 두 번째 시간 슬롯에서 사용자 B가 K개 중계기와 사용자 A로 데이터를 전송한다. 이후 최적의 중계기에서 사용자 A와 B로부터 수신한 신호를 네트워크 부호화 ( $x_c = x_a + x_b$ )하고, 네트워크 부호화된 데이터를 증폭하여 사용자 A와 B로 전송한다. 최종적으로 다른 사용자와 최적의 중계기로부터 데이터를 수신한 사용자 A와 B는 최대비 결합(Maximum Ratio Combining: MRC) 기법을 이용하여 수신 신호를 검출한다.

### 4-2 증분형 협력 양방향 중계(IC-TWR) 기법

기회주의적 협력 양방향 중계(OC-TWR) 기법은 3개 시간 슬롯 동안 통신이 이루어지므로 4개 슬롯이 요구되는 기존의 단방향 협력 중계 기법보다 높은 데이터 률을 가짐을 예상할 수 있다. 또한 중계기 수에 따른 선택 다이버시티 이득과 MRC 기법을 통한 결합 이득으로부터 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법<sup>[10]</sup>보다 우수한 비트 오류 성능을 가짐을 예상할 수 있다. 그러나 2개 시간 슬롯 동안 통신이 이루어지는 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법에 보다 1개 시간 슬롯이 더 요구되므로 이에 따른 데이터 손실이 발생한다.

이러한 손실을 보완하기 위해 본 논문에서는 각 사용자의 수신 성공 여부에 따라 협력 전송의 여부를 결정하는 증분형 협력 양방향 중계(IC-TWR) 기법을 제안한다. 첫 번째 시간 슬롯에서 사용자 A가 전송한 신호를 사용자 B가 성공적으로 수신하였을 경우 ACK 신호를 브로드캐스트하고, 실패하였을 경우 NACK 신호를 브로드캐스트한다. 두 번째 시간 슬롯에서 사용자 B가 전송한 신호를 사용자 A가 성공적으로 수신하였을 경우 ACK 신호를 브로드캐스트하고, 실패하였을 경우 NACK 신호를 브로드캐스트한다. 이때 사용자 A, B 모두로부터 ACK 신호를 수신한 중계기는 아무런 동작을 하지 않고 다음 신호를 기다린다. 즉, 2개 시간 슬롯으로 통신이 완료

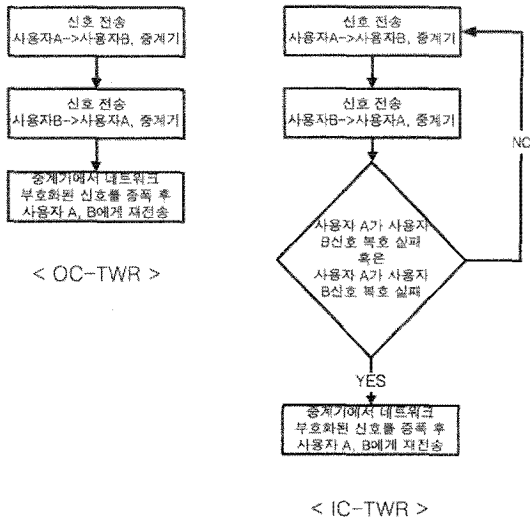


그림 3. OC-TWR과 IC-TWR의 알고리즘  
Fig. 3. Algorithm of OC-TWR and IC-TWR.

된다. 그러나 사용자 A, B 중에서 한 사용자라도 수신에 실패하여 최적의 중계기가 NACK 신호를 수신할 경우, 최적의 중계기는 네트워크 부호화된 신호를 증폭한 후 사용자 A, B로 전송한다. 이후 다른 사용자와 최적의 중계기로부터 데이터를 수신한 사용자 A와 B는 MRC 기법을 이용하여 수신 신호를 검출한다.

그림 3은 OC-TWR과 IC-TWR 알고리즘을 표로 나타낸 것이다.

### V. 성능 분석

각 프로토콜의 성능 비교를 위해 모의 시뮬레이션을 수행하였다. 사용자 A와 B 간의 거리를  $d_{AB}=1$ 로 일반화 하였으며, 사용자 A와 중계기 간의 거리를  $d$ 로 두었다. 경로 손실 지수(path loss coefficient :  $\alpha$ )를 3으로 두었으며 사용자 A와 B 간의 채널 이득을  $|h_{AB}|^2=1$ , 사용자 A와 중계기 간의 채널 이득을  $|h_{AR}|^2=d^{-\alpha}$ , 사용자 B와 중계기 간의 채널 이득을  $|h_{BR}|^2=(1-d)^{-\alpha}$ 로 두었다. 그리고 각 노드의 잡음 분산 값은 모두 1로 가정하였으며, 각 노드의 변조 방식은 BPSK를 사용하였다. 또한 프로토콜들의 공정한 비교를 위하여 모든 프로토콜의 총 전송 전력은  $2P_T$ 라고 가정할 때, 기존의 단방향 통신의 경우 4개 시간 슬롯 동안 통신이 이루어지므로

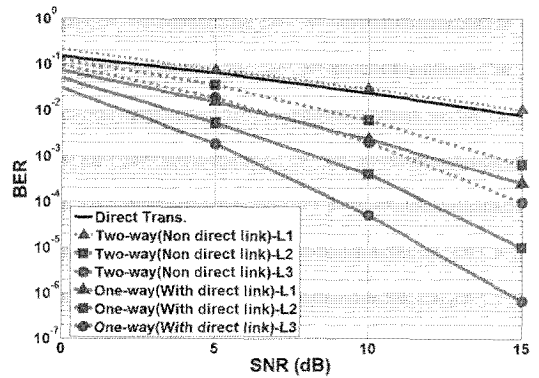


그림 4. 단방향 협력 중계 기법과 기존의 양방향 중계(non direct link) 기법의 BER 성능,  $L$ =중계기 수

Fig. 4. BER performance for cooperative one-way relaying scheme and conventional two-way relaying scheme,  $L$ =The number of relay.

$P_A=P_B=P_R=2P_T/4$ 가 되며, 제안하는 기법에서는 3개 시간 슬롯 동안 통신이 이루어지므로 각 노드의 전송 전력이  $P_A=P_B=P_R=2P_T/3$ 로 된다.

그림 4는 기존의 (사용자 A와 B간의 정보 교환이 없는) 기회주의적 양방향 중계 기법의 성능<sup>[10]</sup>과 단방향 협력 중계 기법의 평균 BER 성능을 비교한 그림이다. 두 기법 모두 중계기 수에 따른 선택 다이버시티(selection diversity) 이득을 얻음으로써 중계기 수가 증가할수록 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법의 경우 결합 이득을 얻을 수 없으므로 단방향 협력 중계 기법에 비해 성능이 매우 열악하다.

그림 5에서는 본 논문에서 제안한 OC-TWR 기법, IC-TWR 기법 그리고 단방향 협력 중계 기법의 평균 BER 성능을 보여주고 있다. 단방향 협력 중계 기법에서는 단일 사용자의 잡음 값을 증폭하여 재전송하는 반면, 양방향 협력 중계 기법에서는 두 사용자의 잡음 값을 더한 후 증폭하여 재전송한다. 그러므로 제안하는 두 기법(OC-TWR과 IC-TWR)이 단방향 협력 중계 기법에 비해 BER 성능이 약간 열악함을 알 수 있다. 그러나 그림 6을 보면 알 수 있듯, 제안하는 두 기법이 선택 다이버시티 이득과 결합 이득을 모두 얻음으로써 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법에 비해 BER 성능이 우수하다.

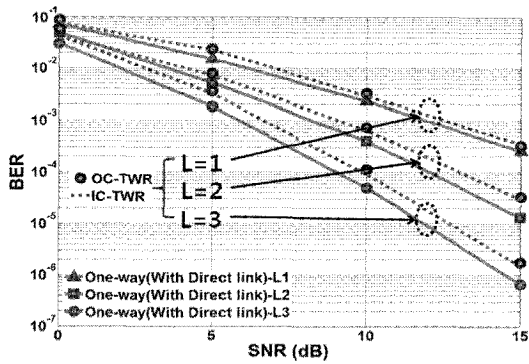


그림 5. 단방향 협력 중계 기법과 OC-TWR, IC-TWR 기법의 BER 성능,  $L$ =중계기 수

Fig. 5. BER performance for OC-TWR, IC-TWR and cooperative one-way relaying scheme,  $L$ =the number of relay.

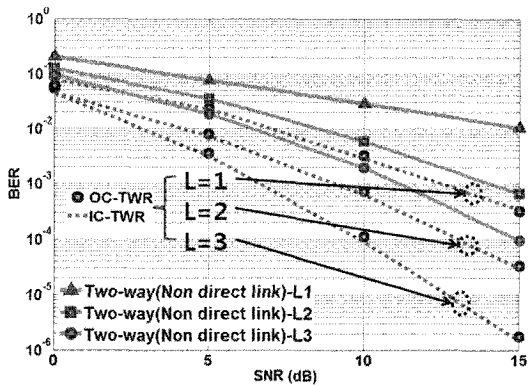


그림 6. 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법과 OC-TWR, IC-TWR 기법의 BER 성능,  $L$ =중계기 수

Fig. 6. BER performance for OC-TWR, IC-TWR and conventional opportunistic two-way relaying scheme,  $L$ =the number of relay.

그림 7은 단방향 협력 중계 기법, 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법과 제안하는 협력 양방향 중계 기법의 평균 Sum-rate 성능을 나타낸다. 첫 번째로 4개 시간 슬롯이 요구되는 단방향 협력 중계 기법보다 2개 슬롯이 요구되는 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법<sup>[10]</sup>의 성능이 우수하다. 두 번째로 3개 시간 슬롯 동안 통신이 이루어지는 OC-TWR의 경우 2개 슬롯이 요구되는 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법보다 데이터 전송 성능이 열악함을 알 수 있다. 세 번째로 적응적으로 두 시간, 3개 슬롯 동안 통신이 이루어지는 IC-TWR의 경우, 기존의 기회주

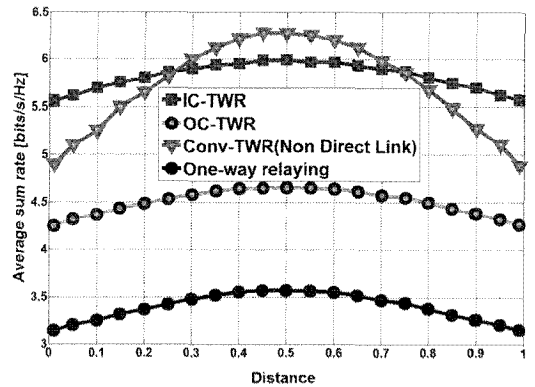


그림 7. 단방향 협력 중계 기법, 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법과 제안하는 협력 양방향 중계 기법의 평균 Sum-rate 성능, SNR=25 dB

Fig. 7. Average Sum-rate performance for cooperative one-way relaying scheme, conventional opportunistic two-way relaying scheme and proposed cooperative two-way relaying scheme, SNR=25 dB.

의적 양방향 중계 기법과 유사한 성능을 가짐을 알 수 있다. 또한 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법의 경우, 중계기의 위치에 따라 성능이 크게 변하는 반면, IC-TWR의 경우, 사용자의 복호 성공 여부에 따라 적응적으로 중계 기법이 이루어지므로, 중계기의 위치에 크게 의존하지 않음을 알 수 있다. 즉, 기존의 중계 기법에서 중계기가 사용자 A 혹은 사용자 B에 가깝게 위치하였을 경우 성능 열화가 나타나지만, IC-TWR에서는 중계기의 위치에 상관없이 거의 일정한 성능을 유지함을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 기존의 단방향 협력 통신보다 높은 데이터율을 얻음은 물론 협력 통신의 장점인 선택 다이버시티 이득과 결합 이득 모두를 얻을 수 있는 협력 양방향 중계 기법을 제안하였다. 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법<sup>[10]</sup>은 단방향 협력 중계 기법에 비해 데이터율이 높은 반면, 비트 오류 측면에서는 열악한 성능을 가진다. 그러나 본 논문에서 제안한 양방향 협력 중계 기법은 단방향 협력 중계 기법에 비해 데이터율이 높을 뿐만 아니라 유사한 비트 오류 성능을 가짐을 알 수 있었다.

또한 본 논문에서 제안한 협력 양방향 중계 기법

중 기회주의적 협력 양방향 중계 기법(OC-TWR)의 경우, 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법에 비해 비트 오류 확률 성능은 우수한 반면 데이터률이 낮은 문제점을 보여 주었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 증분형 협력 양방향 중계(IC-TWR) 기법을 제안하였으며, 제안하는 기법이 기존의 기회주의적 양방향 중계 기법보다 우수한 비트 오류 성능을 가질 뿐만 아니라 유사한 데이터율 성능을 가짐을 알 수 있었다.

## 부 록

### 1-1 사용자 A의 수신 SNR

사용자 A가 중계기로부터 수신한 사용자 B의 신호는 식 (7)과 같으므로 사용자 A가  $i$ 번째 중계기로부터 수신한 수신 SNR은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SNR_{B \rightarrow R \rightarrow A} &= \frac{P_B G^2 \alpha_{iA} \alpha_{Bi}}{G^2 \alpha_{iA} \sigma_{i,1}^2 + G^2 \alpha_{iA} \sigma_{i,2}^2 + \sigma_A^2} \\ &= \frac{P_B P_{\kappa} \alpha_{iA} \alpha_{Bi}}{P_{\kappa} \alpha_{iA} \sigma_{i,1}^2 + P_{\kappa} \alpha_{iA} \sigma_{i,2}^2 + P_{A\alpha} \alpha_{Ai} + P_{B\alpha} \alpha_{Bi} + \sigma_{i,1}^2 + \sigma_{i,2}^2 + \sigma_A^2} \\ &= \frac{P_B P_{\kappa} \alpha_{iA} \alpha_{Bi}}{P_{\kappa} \alpha_{iA} \sigma_{i,1}^2 + P_{\kappa} \alpha_{iA} \sigma_{i,2}^2 + P_{A\alpha} \alpha_{Ai} + P_{B\alpha} \alpha_{Bi} + \sigma_{i,1}^2 + \sigma_{i,2}^2 + \sigma_A^2} \end{aligned} \quad (18)$$

가정 (1), (2)에 따라 식 (18)을 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} SNR_{B \rightarrow R \rightarrow A} &\approx \frac{P^2 \alpha_{Ai} \alpha_{Bi}}{3P \alpha_{Ai} \sigma^2 + P \alpha_{Bi} \sigma^2 + 2\sigma^4} \\ &= \frac{\frac{P \alpha_{Ai}}{\sigma^2} \frac{P \alpha_{Bi}}{\sigma^2}}{\frac{3P \alpha_{Ai} \sigma^2}{\sigma^4} + \frac{P \alpha_{Bi} \sigma^2}{\sigma^4} + 2} \\ &= \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2 + 2} \end{aligned} \quad (19)$$

여기서  $\gamma_1 = \frac{P \alpha_{Ai}}{\sigma^2}$ ,  $\gamma_2 = \frac{P \alpha_{Bi}}{\sigma^2}$  이다.

또한, 사용자 A가 사용자 B로부터 직접적으로 수신한 신호의 수신 SNR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR_{B \rightarrow A} = \frac{P \alpha_{BA}}{\sigma^2} = \gamma_0 \quad (20)$$

최종적으로 사용자 A가 사용자 B와 중계기로부터 수신한 수신 SNR은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SNR_A &= SNR_{B \rightarrow R \rightarrow A} + SNR_{B \rightarrow A} \\ &= \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{3\gamma_1 + \gamma_2 + 2} \end{aligned} \quad (21)$$

### 1-2 사용자 B의 수신 SNR

사용자 B가 중계기로부터 수신한 사용자 A의 신호는 식 (8)과 같으므로 사용자 B가  $i$ 번째 중계기로부터 수신한 수신 SNR은 다음과 같다.

$$SNR_{A \rightarrow R \rightarrow B} = \frac{P_A G^2 \alpha_{iA} \alpha_{Bi}}{G^2 \alpha_{iA} \sigma_{i,1}^2 + G^2 \alpha_{iA} \sigma_{i,2}^2 + \sigma_A^2} \quad (22)$$

가정 (1), (2)에 따라 식 (22)를 다음과 같이 근사화시킬 수 있다.

$$\begin{aligned} SNR_{A \rightarrow R \rightarrow B} &\approx \frac{P^2 \alpha_{Ai} \alpha_{Bi}}{P \alpha_{Ai} \sigma^2 + 3P \alpha_{Bi} \sigma^2 + 2\sigma^4} \\ &= \frac{\frac{P \alpha_{Ai}}{\sigma^2} \frac{P \alpha_{Bi}}{\sigma^2}}{\frac{P \alpha_{Ai} \sigma^2}{\sigma^4} + \frac{3P \alpha_{Bi} \sigma^2}{\sigma^4} + 2} \\ &= \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2 + 2} \end{aligned} \quad (23)$$

최종적으로 사용자 B가 사용자 A와 중계기로부터 수신한 수신 SNR은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SNR_B &= SNR_{A \rightarrow R \rightarrow B} + SNR_{A \rightarrow B} \\ &= \gamma_0 + \frac{\gamma_1 \gamma_2}{\gamma_1 + 3\gamma_2 + 2} \end{aligned} \quad (24)$$

결론적으로 사용자 A와 B의 데이터율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Rate_A = \frac{1}{3} \log_2(1 + (SNR_A)) \quad (25)$$

$$Rate_B = \frac{1}{3} \log_2(1 + (SNR_B)) \quad (26)$$

## 참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaries, E. Erkip, and B. Aazhang, "User

- cooperation diversity part I and part II", *IEEE Commun.*, vol. 51, pp. 1927-1948, Nov. 2003.
- [2] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [3] J. N. Laneman, G. W. Wornell, "Distributed space-time-coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 49, no. 10, pp. 2415-2425, Oct. 2003.
- [4] Y. Jing, B. Hassibi, "Distributed space-time coding in wireless relay networks", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 12, pp. 3524-3536, Dec. 2006.
- [5] A. Bletsas, A. Khisti, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection", *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 659-672, Mar. 2006.
- [6] R. Ahlswede, N. Cai, S. R. Li, and R. W. Yeung, "Network information flow", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 4, pp. 1204-1216, Jul. 2000.
- [7] P. Larsson, N. Johansson, and K. E. Sunell, "Coded bi-directional relaying", in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.(VTC06-Spring)*, Australia, pp. 851-855, May 2006.
- [8] B. Rankov, A. Wittneben, "Spectral efficiency protocols for halfduplex fading relay channels", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379-389, Feb. 2007.
- [9] Y. Han, S. H. Ting, C. K. Ho, and W. H. Chin, "High rate two-way amplify-and-forward half-duplex relaying with OSTBC", in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.(VTC08-Spring)*, Singapore, pp. 2426-2430, May 2008.
- [10] Kyu-Sung Hwang, Young-Chai, and Mohamed-Slim Alouini Ko, "Performance bounds for two-way amplify-and-forward relaying based on relay path selection", in *Proc. IEEE Int. Veh. Technol. Conf.(VTC'09-Spring)*, Barcelona, Spain, pp. 1-5, Apr. 2009.

박 지 환



2009년 2월: 울산대학교 전기전자 정보시스템공학부 (공학사)  
 2009년 3월~현재: 울산대학교 전기 전자정보시스템공학부 석사과정  
 [주 관심분야] 협력통신, 양방향 통신, 릴레이 시스템, MIMO, 무선 센서 네트워크

공 형 윤



1989년 2월: New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)  
 1991년 2월: Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 2월: Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)  
 1998년~현재: 울산대학교 전기전자 정보시스템공학부 교수  
 [주 관심분야] 변조, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력 통신, 센서 네트워크