

논문 2009-5-5

# 양방향 중계채널에서 최대 전송률을 위한 동적 전송 기법

## Active Transmission Scheme to Achieve Maximum Throughput Over Two-way Relay Channel

박지환\*, 공형윤\*\*

Ji-Hwan Park, Hyung-Yun Kong

요 약 양방향 중계 채널에서는 중계기가 복호 후 재전송 혹은 증폭 후 재전송 프로토콜을 기반으로 두 사용자에게 네트워크 부호화된 신호를 전송한다. 이러한 양방향 중계 채널 시스템에서 신호 대 잡음비(SNR)가 낮은 환경에서는 복호 후 재전송 프로토콜이 최대 전송률을 가지고, 신호 대 잡음비가 높은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜이 최대 전송률을 가진다. 따라서 본 논문에서는 양방향 중계 채널에서 중계기가 수신한 신호 대 잡음비에 따라 증폭 후 재전송(Amplify-and-Forward, AF) 혹은 복호 후 재전송(Decode-and-Forward, DF) 프로토콜을 결정하는 능동적인 전송 기법을 제안하였다. 전송 기법이 스위칭(automatic)되는 최적의 임계값을 계산하였고, 제안하는 기법이 기존의 양방향 중계 채널에서의 전송 기법보다 우수한 전송률을 보임을 수식적인 결과를 통해 확인하였다.

**Abstract** In the two-way relay channel, the relay employ Amplify-and-Forward (AF) or Decode-and-Forward (DF) protocol, and broadcast the network-coded signal to both user. In the system, DF protocol provides maximum throughput at low signal to noise ratio(SNR). On the other hand, at high SNR, AF protocol provides maximum throughput. The paper propose active transmission scheme which employ Amplify-and-Forward or Decode-and-Forward protocol based on received SNR at the relay over Two-way relay channel. The optimal threshold is investigated numerically for switching the protocol. Through numerical results, we confirm that the proposed scheme outperforms conventional schemes over two-way relay channel.

**Key Words :** Two-way relay channel, Network coding, AF, DF

### I. 서 론

협력 다이버시티(cooperative diversity) 기법은 무선 통신 네트워크상의 단말기들이 안테나를 공유하여 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 한 쌍의 사용자가 서로 안테나를 공유함으로써 시스템 용량을 증대시킬 수 있음이 처음 제안된 후[1] 중계기의 협력 방식에 따른 다양한 프로토콜과 성능이 제안되었다[2]. 그러나 협력다이버시티 기법을 통해 다이버시티 이득을 얻기 위해서는 자원의 추가 할당이 요구되며, 이로 인한 주파수 효율의 감소

가 불가피하다는 것이 단점으로 지적되고 있다. 네트워크 코딩(network coding) 기법은 이러한 협력 다이버시티 기법의 단점을 극복할 수 있는 방법의 하나로 최근 활발한 연구가 이루어지고 있다. 네트워크 코딩 기법은 독립적으로 수신되는 신호들을 결합하여 부호화 하는 기술로서 자원을 효율적으로 이용함으로써 시스템의 주파수 효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 양방향 중계 채널은 두개의 단말이 중계기를 통해 서로 정보를 주고받는 통신 채널로서 중계기에서 네트워크 코딩 기법을 적용함으로써 단방향 중계채널에 비해 높은 주파수 효율을 얻을 수 있다[3]. 즉, 양방향 중계 채널에서는 3시간 슬롯(time slot) 혹은 2시간 슬롯동안 양방향 통신을 할 수 있

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

접수일자 2009.8.10, 수정일자 2009.9.15

으므로 기존에 제안된[4]와 같은 기법들이 중계기가 양 방향으로 각각 2시간 슬롯에 걸쳐 전송해야 하는 것보다 송신 시간을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 증폭 후 재전송(Amplify-and-Forward, AF) 방식은 복호 후 재전송(Decode-and-Forward, DF) 방식에 비해 하드웨어 장비 측면에서 간단한 이점이 있지만 릴레이에서 수신신한 잡음이 수신국으로 증폭되어 전달된다는 단점이 있다[7]. 반면에 DF 방식은 메시지를 검출하고 재 변조하여 전송하므로 릴레이의 잡음은 전달되지 않지만 릴레이가 메시지를 제대로 복원하지 못하면 릴레이에서 복원 할 때 발생한 오류정보가 수신국에 그대로 전달되어 릴레이를 이용한 최대 다이버시티 이득을 얻을 수 없는 단점이 있다. [2]에서는 한 개의 중계기를 갖는 양방향 중계 채널에서 각 복호 후 재전송 방식과 증폭 후 재전송 방식의 전송을 통해 시스템 전송량(throughput)을 향상시킬 수 있음을 보였다. 이러한 단일 중계기를 갖는 양방향 중계 채널 시스템에서 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜의 성능이 복호 후 재전송 프로토콜과 4배의 전송을 요구하는 단방향 프로토콜에 비해 성능이 떨어진다. 이는 중계기에서의 잡음이 수신국으로 증폭되어 전달되는 증폭 후 재전송 프로토콜의 특성으로 인해 발생하는 성능 열화이다. 반면, 신호 대 잡음비가 높은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜이 가장 우수한 성능을 가진다. 복호 후 재전송 프로토콜의 경우 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜보다 우수한 성능을 가지지만, 신호 대 잡음비가 높은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜의 성능 더 우수하다.[6]

본 논문은 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서는 복호 후 재전송 프로토콜을, 신호 대 잡음비가 높은 환경에서는 증폭 후 재전송 프로토콜을 수행하여 항상 최대 전송량을 가질 수 있는 능동적인 전송 기법을 제안한다. 우선 3번의 전송을 필요로 하는 양방향 복호화 재전송 프로토콜(Two-way Decode and Forward, TDF) 그리고 2번의 전송을 필요로 하는 양방향 증폭 후 재전송 프로토콜(Two-way Decode and Forward, TAF) 에 대하여 각각 설명하고, 본 논문에서 제안하는 능동 전송 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1절에 이어서 2절에서는 시스템 모델을 보이고, 3절에서는 TAF와 TDF기법의 전송량을 계산하였다. 4절에서는 능동 전송 기법 및 최적의 임계점을 분석 하고 5절에서는 수식적 분석을 통해 제

안된 기법의 성능을 분석한다. 끝으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 두 명의 사용자와 하나의 중계기가 있는 양방향 중계 채널을 가정한다. 두 사용자 간에는 직접적인 데이터 전송 경로가 없다고 가정하며, 두 사용자는 그들 사이에 위치하고 있는 중계기의 도움을 받아 서로의 정보를 주고받는다. 두 사용자와 중계기는 하나의 안테나를 가지고 있으며, 반이중(half-duplex)모드를 가정한다.  $h_{AR}, h_{BR}$ 은 각각의 사용자 A, B와 중계기 R간의 채널 계수이다. 각 채널은 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$ 인 추가 백색 가우시언 잡음의 영향을 받는 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였다. 또한 두 사용자와 중계기에서 모든 채널에 대한 정보를 알고 있다고 가정한다. 전송은 시분할 방식을 통해 이루어지며, 각 사용자와 중계기는 직교하는 시간 채널 자원을 사용하여 전송을 수행한다. 전송 프로토콜은 중계기에서의 중계방식에 따라 크게 복호 후 재전송(Decode-and-Forward)방식 및 증폭 후 재전송(Amplify-and-forward)방식으로 나누어진다.

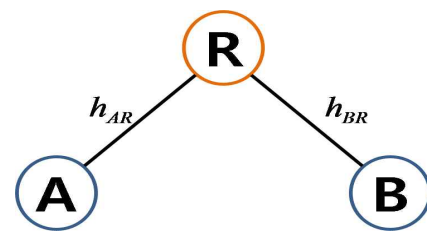


그림 1. 시스템 모델  
Fig. 1. System model

### 1. 양방향 DF 프로토콜(TDF)

TDF 프로토콜에서의 전송 알고리즘은 그림2.(a)와 같이 총 세 개의 시간 슬롯이 필요하다.

- ① 사용자 A는 데이터 패킷  $x_a$ 를 중계기 R로 전송하고, 중계기 R이 복호에 성공 할 때 까지  $x_a$ 를 반복 전송.
- ②  $x_a$ 의 수신이 성공하면, 사용자 B는 데이터 패킷  $x_b$ 를 중계기 R로 전송하고, 중계기 R이 복호에 성

공 할 때 까지  $x_b$ 를 반복전송.

- ③ 중계기에서 수신한 신호를 네트워크 부호화 ( $x_a \oplus x_b$ ) 하여 두 사용자가 수신에 성공할 때까지 반복전송.

## 2. 양방향 AF 프로토콜(TAF)

TAF 프로토콜에서의 전송 알고리즘은 그림 2.(b)와 같다. TAF 프로토콜에서는 중계기에서 수신한 데이터 패킷에 대해 복호화를 수행하지 않고 증폭만 수행하여 사용자에게 전달하므로 두 개의 시간 슬롯이 필요하다.

- ① 사용자 A와 B가 데이터 패킷  $x_a$ 와  $x_b$ 를 각각 중계기 R로 전송하고, 중계기 R이 복호에 성공 할 때까지 반복전송.
- ② 중계기에서 수신한 신호를 네트워크 부호화 ( $x_a + x_b$ ) 하여 두 사용자가 수신에 성공할 때까지 반복전송.

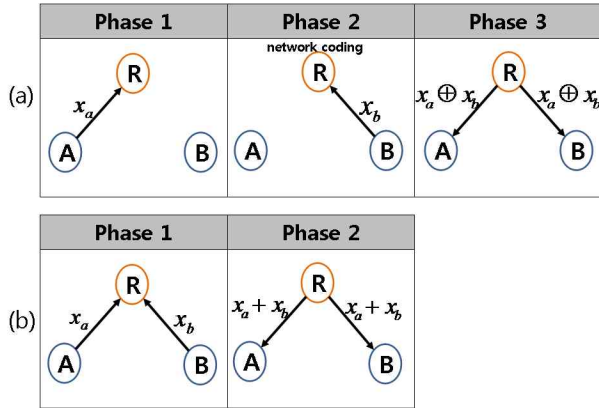


그림 2. (a)양방향 중계 채널에서 TDF 프로토콜, (b)양방향 중계 채널에서 TAF 프로토콜

Fig. 2. (a)TDF Protocol (b)TAF Protocol over Two-way relay channel

## III. 전송량 분석

각 프로토콜의 전송량은 다음과 같다.[6]

$$R_{conv} = \frac{1}{2} R_s (1 - p_{e,conv}) \quad (1)$$

$$R_{DF} = \frac{2}{3} R_s (1 - p_{e,DF}) \quad (2)$$

$$R_{AF} = R_s (1 - p_{e,AF}) \quad (3)$$

$R_s$ 는 패킷 당 데이터율이며,  $p_{e,conv}$ ,  $p_{e,DF}$ ,  $p_{e,AF}$ 는 각각 단방향 전송 프로토콜, TDF프로토콜, TAF프로토콜을 사용하였을 때 사용자 A, B와 중계기 R 간 채널의 패킷 오류(packet error rate)이다. 각 프로토콜의 전송량 분석시 두 사용자의 전송 전력과 중계기의 전송 전력은 모두 동일( $P_A = P_B = P_R$ )하다고 가정한다.

### 1. TDF 프로토콜 전송량 분석

TDF 프로토콜에서 사용자 A, B와 중계기 R간의 심볼당 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{A,DF} = \gamma_A = \frac{P_A |h_{AR}|^2}{\sigma^2},$$

$$\gamma_{B,DF} = \gamma_B = \frac{P_B |h_{BR}|^2}{\sigma^2}$$

$P_A$ 와  $P_B$ 는 동일하다고 가정하였으므로  $\gamma_{A,DF} = \gamma_{B,DF} = \gamma_{DF} = \gamma$ 로 나타낼 수 있다. 또한 두 사용자와 중계기간의 패킷 오류율은 다음과 같다.[6]

$$p_{e,DF} = 1 - (1 - P_b(\gamma))^N \quad (4)$$

여기서  $P_b(\gamma)$ 는 SNR이  $\gamma$ 값일 때의 비트 에러 확률(bit error probability)으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b(\gamma) = \frac{1 - \sqrt{\frac{\gamma}{1+\gamma}}}{2} \quad (5)$$

식 (2), (4), (5)을 이용하여 TDF프로토콜을 사용하였을 때의 전송량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{DF} &= \frac{2}{3} R_s (1 - p_{e,DF}) \\ &= \frac{2}{3} R_s \left( \frac{1 + \sqrt{\frac{\gamma}{1+\gamma}}}{2} \right)^N \end{aligned} \quad (6)$$

2. TAF 프로토콜 전송량 분석

TAF 프로토콜에서 사용자 A, B와 중계기 R간의 심볼당 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{A,AF} = \frac{\beta^2 P_A |h_{AR}|^2 |h_{BR}|^2}{(\beta^2 |h_{AR}|^2 + 1)\sigma^2} = \frac{\gamma_A \gamma_B}{2\gamma_A + \gamma_B + 1}$$

$$\gamma_{B,AF} = \frac{\beta^2 P_B |h_{AR}|^2 |h_{BR}|^2}{(\beta^2 |h_{BR}|^2 + 1)\sigma^2} = \frac{\gamma_A \gamma_B}{2\gamma_B + \gamma_A + 1} \quad (7)$$

여기서 증폭계수  $\beta = \sqrt{\frac{P_{A,B}}{\sigma(\gamma_A + \gamma_B + 1)}}$  이고  $P_A$ 와  $P_B$ 는 동일하다고 가정하였으므로  $\gamma_{A,AF} = \gamma_{B,AF} = \gamma_{AF}$ 으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{AF} = \frac{\gamma^2}{3\gamma + 1}, \beta = \sqrt{\frac{P_{A,B}}{\sigma(2\gamma_{AF} + 1)}} \quad (8)$$

$\gamma \gg 1$ 이라고 가정하면,  $\gamma_{AF} = \frac{\gamma^2}{3\gamma + 1} \approx \frac{\gamma}{3}$ 으로 근사화 할 수 있다. 또한 두 사용자와 중계기간의 패킷 오류율은 다음과 같다.[6]

$$p_{e,AF} = 1 - (1 - P_b(\gamma_{AF}))^N \quad (9)$$

여기서  $P_b(\gamma_{AF})$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_b(\gamma) = \frac{1 - \sqrt{\frac{\gamma}{3 + \gamma}}}{2} \quad (10)$$

또한 식 (3), (9), (10)을 이용하여 TAF프로토콜을 사용하였을 때의 전송량을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{AF} = R_s (1 - p_{e,AF})$$

$$= R_s \left( \frac{1 + \sqrt{\frac{\gamma}{3 + \gamma}}}{2} \right)^N \quad (11)$$

IV. 능동 전송 기법

본 절에서는 중계기에서 수신한 신호 대 잡음비에 따라 전송 프로토콜을 결정하는 능동적인 전송 기법을 제안한다.

1. 능동 전송 기법

본 논문에서 제안하는 능동 전송 기법은 그림 3과 같다. 사용자A와 사용자B가 동시에 중계기로 데이터 패킷을 전송하고 중계기에서는 수신한 신호의 SNR값( $\gamma$ )을 측정한다. 수신신호의 SNR값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_T = \gamma_A + \gamma_B \quad (12)$$

여기서  $\gamma_A = \frac{P_A |h_{AR}|^2}{N_0}, \gamma_B = \frac{P_B |h_{BR}|^2}{N_0}$ 이다.

수신신호의 SNR값이 임계값보다 클 경우 TAF 프로토콜을 행하고, 수신 신호의 SNR값이 임계값 보다 작을 경우 TDF프로토콜을 행한다.

능동 전송 기법에서의 전송 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 사용자 A와 B가 중계기로 데이터 패킷을 동시에 전송한다.
- ② 수신신호의 SNR값이 임계값보다 작을 경우 두 사용자에게 재전송 요청을 한다.
- ③ 중계기에서는 첫 번째 시간 슬롯에서 수신한 신호와 두 번째 시간 슬롯에서 수신한 신호를 결합하여 두 사용자의 신호를 각각 복호하고, 복호한 두 신호를 네트워크 부호화한 뒤 두 사용자에게 네트워크 부호화된 신호를 전송한다.
- ④ 수신신호의 SNR값이 임계값보다 클 경우 기존의 양방향 중계 채널에서의 TAF프로토콜과 동일한 방식을 수행한다.

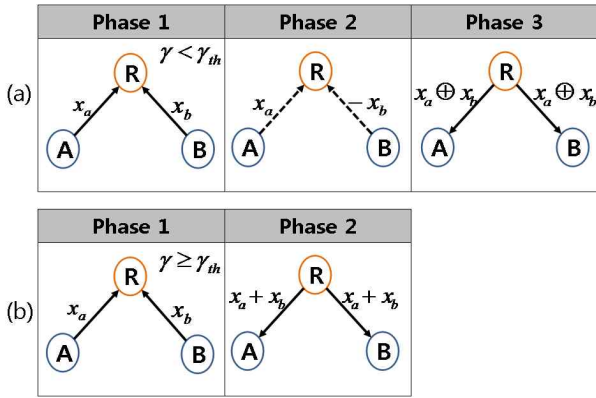


그림 3. (a)능동 전송 기법에서  $\gamma_T < \gamma_{th}$  일 때의 전송 방식, (b)능동 전송 기법에서  $\gamma_T \geq \gamma_{th}$  일 때의 전송 방식.

Fig. 3. (a)Active transmission scheme at  $\gamma_T < \gamma_{th}$ , (b) Active transmission scheme at  $\gamma_T \geq \gamma_{th}$

가.  $\gamma_T < \gamma_{th}$

우선, 첫 번째 시간슬롯에서 중계기 R에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_{R1} = \sqrt{P_A} h_{AR} x_a + \sqrt{P_B} h_{BR} x_b + n_{R1} \quad (13)$$

수신신호의 SNR값이 임계값보다 작을 경우 중계기에서는 두 사용자에게 재전송을 요청하는 피드백 메시지를 보낸다. 피드백 메시지를 받은 사용자 A와 B는 각각 데이터 패킷  $x_a$ ,  $x_b$ 를 전송한다. 최종적으로 두 번째 시간 슬롯에서 중계기 R에서의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_{R2} = \sqrt{P_A} h_{AR} x_a - \sqrt{P_B} h_{BR} x_b + n_{R2} \quad (14)$$

중계기에서는 각 사용자의 신호를 복호하기 위해서 다음과 같은 과정을 거친다. 사용자 A의 신호를 복호하는 과정은 다음과 같다.

$$y_1 = y_{R1} + y_{R2} = 2\sqrt{P_A} h_{AR} x_a + n_{R1} + n_{R2} \quad (15)$$

$$\hat{x}_a = \text{sign}\left(\text{Re}\left\{\sqrt{P_A} h_{AR}^* y_1\right\}/N_0\right) \quad (16)$$

사용자 B의 신호를 복호하는 과정은 다음과 같다.

$$y_2 = y_{R1} - y_{R2} = 2\sqrt{P_B} h_{BR} x_b + n_{R1} - n_{R2} \quad (17)$$

$$\hat{x}_b = \text{sign}\left(\text{Re}\left\{\sqrt{P_B} h_{BR}^* y_2\right\}/N_0\right) \quad (18)$$

중계기에서는 복호한 두 신호를 네트워크 부호화 ( $x_c = \hat{x}_a \oplus \hat{x}_b$ ) 하여 하나의 네트워크 부호화된 패킷을 만든다. 세 번째 시간슬롯에서는 네트워크 부호화된 패킷을 각 사용자에게 동시에 전송하며, 각 사용자가 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_A = \sqrt{P_R} h_{AR} x_c + n_A \quad (19)$$

$$y_B = \sqrt{P_R} h_{BR} x_c + n_B \quad (20)$$

각 사용자는 네트워크 부호화된 패킷  $x_c$ 를 복호한 뒤 자기 자신의 신호와 복호된 네트워크 부호화된 패킷과의 XOR연산 과정 ( $x_c \oplus x_b = x_a$  or  $x_c \oplus x_a = x_b$ )을 거쳐 최종적으로 상대방 사용자의 신호를 검출하게 된다.

나.  $\gamma_T \geq \gamma_{th}$

수신신호의 SNR값이 임계값보다 클 경우 기존의 양방향 중계 채널에서의 TAF프로토콜 과정과 동일한 전송 방식을 따른다.

## 2. 최적의 임계값 결정

그림 4는 TDF 프로토콜, TAF프로토콜, 단방향 프로토콜의 전송량 비교를 나타낸다. 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서는 TDF 프로토콜, 단방향 프로토콜, TAF 프로토콜 순으로 성능이 나아짐을 볼 수 있다. TAF 프로토콜의 경우 중계기에서의 잡음이 중계기의 전송에 영향을 미쳐, 이로 인한 성능의 열화가 채널의 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서 전체 성능에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 신호 대 잡음비가 높은 환경에서는 데이터 패킷 전송에 필요한 시간 슬롯의 수가 전송량에 큰 영향을 미치며 TAF 프로토콜, 단방향 프로토콜, TDF 프로토콜 순으로 성능이 나아짐을 볼 수 있다.

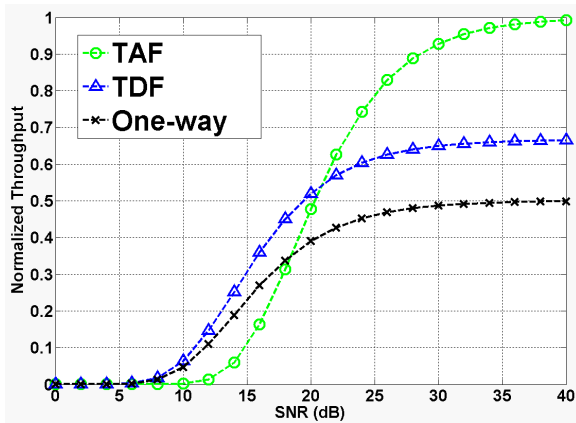


그림 4. TDF, TAF, 단방향 프로토콜의 표준화된 전송량 비교

Fig. 4. Comparison in terms of normalized throughput between TDF and TAF

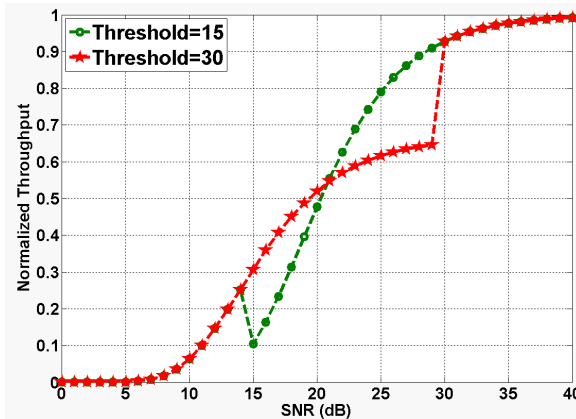


그림 5. 임계값에 따른 능동형 전송 방식의 표준화된 전송량  
Fig. 5. Normalized throughput based on threshold over active transmission scheme

그림 5는 각 임계값에 따른 제안하는 방식의 전송량 성능을 보여주고 있다. 임계값이 낮은 값을 가질 경우에는 낮은 SNR값에서도 TAF전송 방식을 따르므로 전송량 성능에 열화를 가져온다. 또한 임계값이 높은 값을 가질 경우에는 높은 SNR값에서 TDF전송 방식을 따르므로 전송량 성능에 열화를 가져온다. 즉, 양방향 중계 채널에서 최대 전송량을 가지기 위해서는 TDF전송방식을 사용하였을 때의 전송량과 TAF전송방식을 사용하였을 때의 전송량이 교차하는 지점( $R_{DF} = R_{AF}$ )의 SNR값이 임계값으로 결정되어야만 한다. 즉, 식 (6), (11)을 이용하여 다음 조건을 만족하는 SNR( $\gamma$ ) 값이 최적의 임계값이 된다.

$$\frac{2}{3}R_s \left( \frac{1 + \sqrt{\frac{\gamma}{1+\gamma}}}{2} \right)^N = R_s \left( \frac{1 + \sqrt{\frac{\gamma}{3+\gamma}}}{2} \right)^N \quad (28)$$

## V. 수식적 분석 및 결과

본 절에서는 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 수식적 결과로 보여준다. 패킷 당 비트수  $N = 100$ , 변조 기법은 BPSK를 사용하였다.

그림 6은 최적의 임계값에 따른 제안하는 방식 전송량을 나타낸 것이다. 기존의 TDF, TAF방식에서는 임계값 이하에서 TDF프로토콜이 가장 좋은 성능을 가지고 임계값 이상에서는 TAF프로토콜이 가장 좋은 성능을 가졌다. 즉, 능동형 전송 방식은 임계값 이하에서는 TDF 프로토콜 방식으로 전송을 하고, 임계값 이상에서는 TAF 프로토콜 방식으로 전송하므로 양방향 중계 채널에서 최대 전송량을 가짐을 알 수 있다.

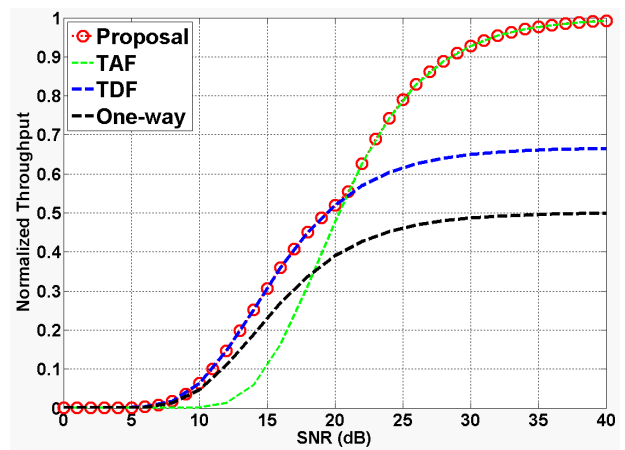


그림 6. 단 방향, TAF, TDF 프로토콜 그리고 능동형 전송 방식의 표준화된 전송량 비교

Fig. 6. Comparison in terms of normalized throughput between one-way, TAF, TDF and active transmission scheme

## VI. 결론

본 논문에서는 양방향 중계 채널에서의 능동형 전송 기법을 제안하였다. 기존의 방식에서 신호 대 잡음비가 낮은 환경에서는 중계기의 잡음이 전송량에 영향을 미치

고, 높은 환경에서는 패킷전송에서 요구되는 시간슬롯의 수가 전송량에 영향을 미친다는 것을 확인 하였다. 또한 제안된 기법은 임계값에 따라 전송방식이 결정됨으로써 최대 전송량을 얻을 수 있음을 볼 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity—Part I: System description," *IEEE Trans. Commu.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927–1938, 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, no. 12, pp. 3062–3080, Dec. 2004.
- [3] B. Rankov and A. Wittneben, "Spectral efficient protocols for half-duplex fading relay channels," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 379–389, Feb. 2007.
- [4] J.N. Laneman, G.W. Wornell, and D.N.C. Tse, "An Efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks," *Proc. IEEE Inter. Symp. Inform. Theory (ISIT)*, Washington D.C., U.S.A., Jun. 2001, pp. 294.
- [5] T. E. Hunter and A. Nosratinia, "Coded Cooperation under slow fading, fast fading and power control" in *Proc. Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput.*, 2002.
- [6] P. Popovski and H. Yomo, "Bi-directional amplification of throughput in a wireless multi-hop network," in *Proc. of IEEE VTC2006-spring*, Melbourne, Australia. May. 2006.

※ 본 연구는 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2007-000-20400-0).

### 저자 소개

#### 박 지 환(준회원)



- 2009년 2월 울산대학교 전기전자정보 시스템공학부 학사
  - 2009년 3월~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정
- <주관심분야 : 협력통신, 양방향 통신, 릴레이 시스템, MIMO, 무선센서 네트워크>

#### 공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 미국 New York Institute of Technology 전자공학과 (공학사)
  - 1991년 2월 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학석사)
  - 1996년 2월 미국 Polytechnic University 전자공학과 (공학박사)
  - 1996년~1996년 LG전자 PCS 팀장
  - 1996년~1998년 LG전자 회장실 전략사업단
  - 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>