

적응형 양방향 중계기 협력 통신의 오수신 확률 분석

Outage Probability Analysis of Adaptive Two-Way Relay Cooperative Communication

이진희 · 공형윤

Jin-Hee Lee · Hyung-Yun Kong

요약

본 논문에서는 사용자와 중계기 간의 채널 환경을 고려하여 동작하는 적응형 양방향 중계기 협력 통신을 제안하며, 오수신 확률을 분석한다. 네트워크 부호화를 이용한 양방향 중계기 통신은 기존의 통신보다 시간 슬롯을 줄여 높은 전송량을 얻을 수 있다. 하지만 기존의 양방향 중계기 통신은 중계기에서 수신 신호를 올바르게 복호한다는 가정을 하며, 만약 사용자와 중계기의 채널 환경이 열악한 경우에는 오류를 발생한다. 본 논문에서는 사용자 A가 사용자 B와 중계기 R에게 신호를 전송하며, 중계기는 복호 유무에 따라 유동적으로 동작하는 적응형 양방향 중계기 협력 통신을 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 적응형 양방향 중계기 협력 통신이 사용자와 중계기의 채널 환경이 열악한 경우 높은 성능을 얻으며, 또한 다이버시티 이득을 얻을 수 있음을 보인다.

Abstract

In this paper, we proposed adaptive two-way relay cooperative communication considering the quality of the user-relay links, and derived outage probability. Network-coding based two-way relay communication can achieve more throughput since it can reduce transmission time compared conventional two-way relay communication. However, Network-coding based two-way relay communication assume that the relay can decode received signal correctly. If relay cannot decode the signal, it leads to error propagation at the relay. In this paper, we proposed adaptive two-way relay cooperative communication scheme. In proposed scheme, the user "A" transmits the signal to relay and another user "B". The relay operates adaptively depend on quality of user-relay links. Simulation result show that proposed scheme has better performance when the quality of the user-relay links are poor. Also it can get diversity order 2.

Key words : Network-Coding, Two-Way Relay Channel, Cooperative Communication, Adaptive Transmission

I. 서론

중계기를 이용한 통신은 송신단의 데이터를 중계기가 수신하여 수신단으로 재전송하는 방식으로써, 시스템의 전송 커버리지를 증대시키며, 전송 신뢰성을 높일 수 있다^{[1][2]}.

양방향 중계기 통신은 두 사용자 사이에 중계기

가 존재하여, 각 사용자의 데이터를 전송 받아 상대 사용자에게 재전송하는 통신이다. 최근 양방향 중계기 통신에서 전송의 신뢰성과 데이터 전송량(capacity)을 증대시키기 위한 연구들이 진행되고 있으며, 중계기에서 두 사용자의 신호를 네트워크 부호화(network-coding)하여 전송하는 네트워크 부호화 기반의 양방향 중계기 통신이 주목을 받고 있다.

「이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2009-0073895).」
울산대학교 전기전자정보시스템공학부(Department of Electrical Engineering, Ulsan University)

· 논문 번호 : 20091207-145

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

· 수정완료일자 : 2010년 2월 23일

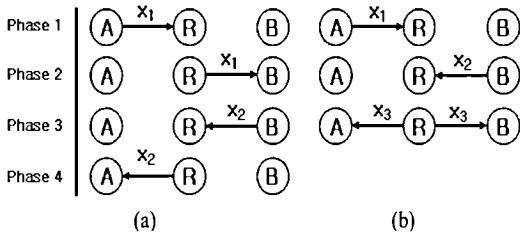


그림 1. (a) 기존 양방향 통신, (b) 네트워크 부호화를 이용한 양방향 통신

Fig. 1. (a) Conventional two-way relay communication, (b) Network-coding based two-way relay communication.

네트워크 부호화(network coding) 기술은 최초 유선 네트워크 환경에서 제안된 기술로써, 패킷 레벨(packet level)에서의 부호화를 통해 네트워크의 주파수 효율과 전송률을 증대시키는 효과적인 기술이다^[1].

그림 1(a)는 기존의 양방향 중계기 통신을 나타내며, 네 단계를 걸쳐 이루어진다. 반면에 그림 1(b)는 네트워크 부호화 기술을 이용한 것으로써 세 번째 단계에서 중계기는 양 신호를 네트워크 부호화 방법으로 결합하여 전송함으로써 데이터 전송시간을 줄일 수 있다. 줄어든 전송시간에 따라 전송률(throughput)과 주파수 효율(spectral efficiency)을 높일 수 있다.

협력 통신(cooperative communication)은 MIMO 시스템의 안테나 사이즈 및 비용의 단점을 보완하면서, 다이버시티 이득(diversity gain)의 장점을 얻을 수 있는 시스템으로써, 중계기의 도움으로 MIMO와 같은 송신 다이버시티 이득을 얻는 기법이다^[4].

협력 통신에서 송신단은 중계기와 수신단으로 신호를 전송하며, 중계기는 수신한 신호를 수신단으로 재전송한다. 수신단에서는 두 신호를 최대비 합성(maximal ratio combining)과 같은 합성기법을 이용하여 복호하며, 최종적으로 수신단에서는 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

최근, 양방향 중계기 통신에서 이러한 협력 통신을 이용하여 높은 전송률뿐만 아니라 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 하는 양방향 중계기 협력 통신에 관한 연구가 있었다^{[5],[6]}.

참고문헌 [5]에서는 양방향 중계기 협력 통신에서 다양한 프로토콜의 가용 전송률(achievable rate)을 구했다. 참고문헌 [6]에서는 양방향 중계기 협력 통신

에서의 중계기 선택과 중계기의 전송 전력을 구하는 알고리즘을 제안하였다.

하지만 이러한 양방향 중계기 협력 통신은 중계기에서 수신 신호 복호 성공을 전제로 하며, 열악한 채널 환경에서 중계기가 수신 신호를 제대로 복호하지 못하였을 경우에는 최종 수신단에서 오류가 발생하게 된다.

따라서 본 논문에서는 사용자와 중계기의 채널 환경을 고려한 적응형 양방향 중계기 협력 통신(adaptive two-way relay cooperative communication)을 제안하며, 여러 채널 환경에 따른 오수신 확률(outage probability)을 구한다. II장에서는 양방향 중계기 협력 통신의 시스템 모델을 소개하고, III장에서 채널 환경에 유동적으로 적응하는 적응형 양방향 중계기 협력 통신의 오수신 확률을 분석한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 여러 채널 환경에서의 오수신 확률 성능을 알아보며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 2와 같이 사용자 A, B, 그리고 중계기 R로 이루어져 있는 양방향 채널 환경을 고려한다. 그림 2(a)는 일반적인 양방향 중계기 통신으로써, 첫 번째 시간 슬롯에서 사용자 A는 중계기로 신호를 전송하며, 두 번째 시간 슬롯에서는 사용자 B가 중계기로 신호를 전송한다. 마지막 세 번째 시간 슬롯에서는 중계기 R이 x_1 과 x_2 신호를 복호하여 비트 단위로 XOR 연산(exclusive OR operation)을 하여 A와 B에게 전송한다.

그림 2(b)는 기존의 양방향 협력 통신으로써, 첫 번째 시간 슬롯에서 사용자 A는 중계기와 사용자 B로 신호를 전송하며, 두 번째 시간 슬롯에서는 사용자 B가 중계기와 사용자 A로 신호를 전송한다. 마지막 세 번째 시간 슬롯에서는 중계기 R이 x_1 과 x_2 신호를 복호하여 비트 단위로 XOR 연산(exclusive OR operation)을 하여 A와 B에게 전송한다. 여기서 각 사용자는 두 신호를 수신하여 최대 비 합성(maximal ratio combining) 기법을 이용하여 결합하며, 복호할 수 있다.

각 사용자 A, B, 그리고 중계기에서 수신한 신호는 다음과 같다.

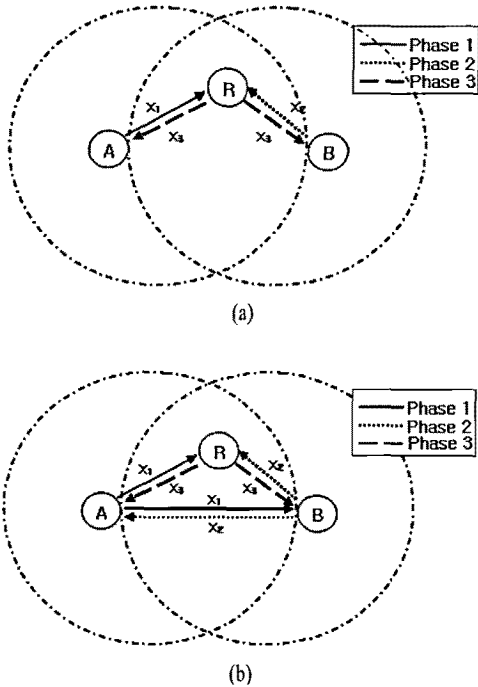


그림 2. (a) 양방향 중계기 통신, (b) 양방향 중계기 협력 통신

Fig. 2. (a) Two-way relay communication, (b) Two-way relay cooperative communication.

$$r_{k,j} = h_{ij}x_i + n_{k,j} \quad (1)$$

여기서 $r_{k,j}$ 는 k 번째 시간 슬롯에서 j 에서 수신한 신호를 의미한다. h_{ij} 는 i 와 j 사이의 채널 환경 계수를 의미하며, 본 논문에서는 평탄 페이딩(flat fading)을 가정한다. x_i 는 i 에서 전송한 신호이다. 기존 양방향 중계기 통신인 그림 2(a) 경우 중계기에서 두 신호를 모두 복호 성공하였을 경우 x_3 가 $x_1 \oplus x_2$ 이 되며, 만약 복호에 실패하였을 경우에는 전송하지 않는다.

본 논문에서 제안하는 적응형 중계기 협력 통신은 중계기의 복호 유무에 따라 다음과 같이 동작한다.

2-1 x_1 복호 성공

중계기에서 x_1 만 복호에 성공한다면 $x_3 = x_1$ 이 되며, 각 사용자에게 전송된다. 이 때 사용자 B는 사용자 A로부터 받은 신호와 중계기로부터 받은 신호를 최대 비 합성(maximal ratio combining) 기법을 통

하여 합성하여 복호한다.

2-2 x_2 복호 성공

중계기에서 x_2 만 복호에 성공한다면 $x_3 = x_2$ 이 되며, 각 사용자에게 전송된다. 이 때 사용자 A는 사용자 B로부터 받은 신호와 중계기로부터 받은 신호를 최대 비 합성(maximal ratio combining) 기법을 통하여 합성하여, 복호한다.

2-3 x_1, x_2 복호 성공

중계기에서 두 신호 모두 복호 성공하였다면 $x_3 = x_1 \oplus x_2$ 가 되며, 각 사용자는 자신의 신호를 이용하여 다음과 같이 복호할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_1 &= x_3 \oplus x_2 \\ x_2 &= x_3 \oplus x_1 \end{aligned} \quad (2)$$

2-4 x_1, x_2 복호 실패

만일 중계기에서 두 신호 모두 복호 실패하였다면 중계기의 동작은 각 사용자에게 오류를 발생시킬 수 있다. 따라서 이때 각 사용자는 중계기가 아닌 다른 사용자의 신호를 수신하여 복호한다.

III. 우수신 확률 분석

우수신 확률(outage probability)은 다음과 같이 정의된다.

$$P_{out} = P\{I_{i,j} < R\} \quad (3)$$

여기서 $I_{i,j}$ 는 i 노드와 j 노드의 상호 정보(mutual information)이며, R 은 주파수 효율(spectral efficiency, [bit/s/Hz])이다.

일반적인 채널 환경인 레일리 페이딩 채널(Rayleigh fading channel)에서 $|h_{ij}|^2$ 은 식 (4)와 같은 지수 분포(exponential distributed)의 확률 밀도 함수(probability density function)를 가진다.

$$f_{\gamma}(x) = \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) \quad (4)$$

여기서 $\gamma = (E_b/N_0)|h_{ij}|^2$ 로써 채널 환경이 포함된 신호 대 잡음비(signal-to-noise ratio)이며, $\bar{\gamma}$ 는 해당 파라미터의 평균값을 의미한다. 따라서 i 와 j 사이의

오수신 확률은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{out}^{i,j} &= P\{I_{i,j} < R\} = P\{\log(1 + \gamma_{i,j}) < R\} \\
 &= P\{\gamma_{i,j} < 2^R - 1\} \\
 &= 1 - \exp\left(-\frac{2^R - 1}{\gamma_{i,j}}\right) \quad (5)
 \end{aligned}$$

3-1 기존 양방향 중계기 통신

기존 양방향 중계기 통신은 중계기에서 두 신호 (x_1, x_2)를 수신하여 XOR 연산을 통해 다시 사용자에게 각각 전송한다. 여기서 중계기가 두 신호 중 한 신호라도 제대로 복호하지 못한다면 전송은 이루어지지 않는다. 따라서 사용자 A의 오수신 확률은 다음과 같다.

$$P_{out}^A = (1 - P_{out}^{AR})(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{RA} + P_{out}^{AR} + P_{out}^{BR} \quad (6)$$

여기서 오수신의 경우는 3가지가 있다. 첫째는 P_{out}^{AR} 로써 사용자 A에서 중계기로 전송 시 복호 실패일 경우이고, 두 번째는 P_{out}^{BR} 로써 사용자 B에서 중계기로의 전송에서 복호 실패할 경우이다. 그리고 마지막으로 중계기에서 두 신호를 복호 성공하였다라도 각 사용자에게 전송 시 복호 실패할 확률인 P_{out}^{RA} 이다.

3-2 양방향 중계기 협력 통신

양방향 중계기 협력 통신의 경우, 각 사용자는 중계기와 상대 사용자에게 신호를 수신하기에, 기존의 양방향 중계기 통신보다 오수신의 가능성이 낮다. 양방향 중계기 협력 통신의 오수신 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{out}^A &= (1 - P_{out}^{AR})(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{BA}P_{out}^{RA} \\
 &\quad + (P_{out}^{AR} + P_{out}^{BR})P_{out}^{BA} \quad (7)
 \end{aligned}$$

3-2-1 중계기에서의 복호 성공

중계기에서 각 사용자의 복호에 성공한 경우, 오수신의 경우는 P_{out}^{RA} 와 같이 다시 각 사용자로 데이터를 전송할 때 복호에 실패하며, 동시에 사용자 B가 사용자 A로 신호 전송 시 복호에 실패하는 P_{out}^{BA} 경우이다.

$$P_{out}^{2.1} = (1 - P_{out}^{AR})(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{BA}P_{out}^{RA} \quad (8)$$

3-2-2 중계기에서의 복호 실패

중계기에서 복호에 실패한 경우, 사용자 A는 오직 사용자 B로부터의 신호에 의지할 수밖에 없으며, 사용자 B로부터 받는 신호의 복호에 실패할 때 오수신이라 판정된다.

$$P_{out}^{2.2} = (P_{out}^{AR} + P_{out}^{BR})P_{out}^{BA} \quad (9)$$

3-3 적응형 양방향 중계기 협력 통신

적응형 양방향 중계기 협력 통신의 경우, 중계기에서 두 신호 중 하나의 신호만 복호 성공하였다라도, 중계기는 해당 신호를 각 사용자에게 신호를 전송한다. 이로 인해 오수신 가능성은 더욱 줄어들며, 오수신 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P_{out}^A &= (1 - P_{out}^{AR})(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{BA}P_{out}^{RA} \\
 &\quad + P_{out}^{AR}P_{out}^{BR}P_{out}^{BA} \\
 &\quad + (1 - P_{out}^{AR})P_{out}^{BR}P_{out}^{BA} \\
 &\quad + P_{out}^{AR}(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{MRC} \quad (10)
 \end{aligned}$$

적응형 양방향 중계기 협력 통신의 경우, 오수신의 경우는 중계기의 복호 유무에 따라 네 가지로 나눌 수 있다.

3-3-1 두 신호 모두 복호에 성공할 경우

만일 중계기에서 두 신호 모두 복호에 성공한다면, 이 경우 오수신이 일어날 경우는 양방향 중계기 협력 통신의 식 (8)과 동일하다.

$$P_{out}^{3.1} = (1 - P_{out}^{AR})(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{BA}P_{out}^{RA} \quad (11)$$

3-3-2 두 신호 모두 복호에 실패할 경우

만일 중계기에서 두 신호 모두 복호에 실패한다면, 사용자 B로부터 받는 신호의 복호에 실패할 경우 오수신이라 판정된다.

$$P_{out}^{3.2} = P_{out}^{AR}P_{out}^{BR}P_{out}^{BA} \quad (12)$$

3-3-3 x_1 신호만 복호에 성공할 경우

만일 중계기에서 x_1 신호만 복호에 성공한다면, 사용자 A는 사용자 B로부터 수신하는 신호의 복호에 실패할 경우 오수신의 경우로 판정된다.

$$P_{out}^{3.3} = (1 - P_{out}^{AR})P_{out}^{BR}P_{out}^{BA} \quad (13)$$

3-3-4 x_2 신호만 복호에 성공할 경우

만일 중계기에서 x_2 신호만 복호에 성공한다면, 사용자 A는 사용자 B뿐만 아니라 중계기로부터 신호를 수신하며, 사용자 A는 두 신호를 합성하여 복호할 수 있다. 따라서 이 경우는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{out}^{3.4} = P_{out}^{AR}(1 - P_{out}^{BR})P_{out}^{MRC} \quad (14)$$

여기서 P_{out}^{MRC} 는 P_{out}^{RA} 와 P_{out}^{BA} 의 최대비 합성(MRC: Maximal Ratio Combining)의 오수신 확률로써, 다음과 같다(부록 참고).

$$P_{out}^{MRC} = \begin{cases} \frac{\gamma_{BA}}{\gamma_{BA} - \gamma_{RA}} \left(1 - e^{-\frac{\gamma_{RA}}{\gamma_{BA}}}\right) + \frac{\gamma_{RA}}{\gamma_{RA} - \gamma_{BA}} \left(1 - e^{-\frac{\gamma_{BA}}{\gamma_{RA}}}\right), & \gamma_{BA} \neq \gamma_{RA} \\ 1 - \left(1 + \frac{2R-1}{\gamma}\right) e^{-\frac{2R-1}{\gamma}}, & \gamma_{BA} = \gamma_{RA} = \gamma \end{cases} \quad (15)$$

IV. 성능 평가

제한하는 시스템의 성능평가를 위해 일반적인 점-대점 통신(point-to-point)과 그림 3과 같은 여러 채널 환경을 고려하였으며, $R=0.5$ [bit/s/Hz]를 가정하였다.

제한하는 시스템의 성능 평가를 위해 일반적인 점-대점 통신(point-to-point)과 기존의 양방향 중계기 협력 통신, 그리고 그림 3과 같은 여러 채널 환경에

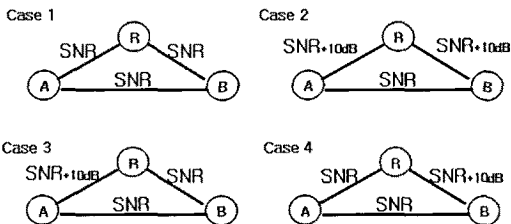


그림 3. 성능 평가를 위한 채널 환경
Fig. 3. Channel environments for simulation.

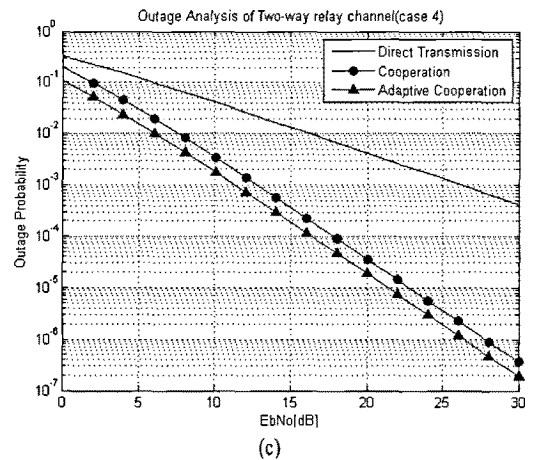
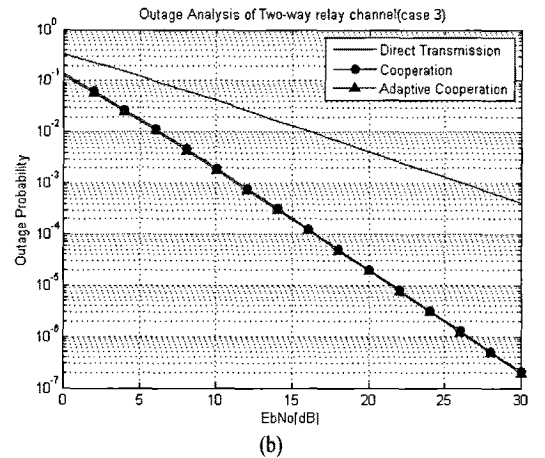
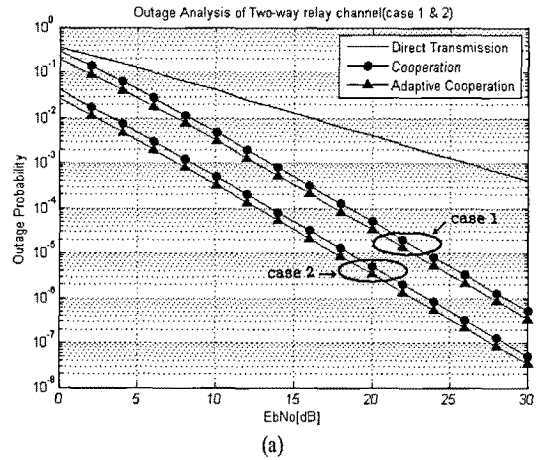


그림 4. 모의 성능 평가
Fig. 4. Simulation performances.

서의 적응형 양방향 중계기 협력 통신을 비교하였다.

그림 4는 각 채널 환경에 따른 모의 성능 결과이다. 일반적으로 양방향 중계기 협력 통신은 각 사용자에서 두 개의 신호를 받아 합성 및 복호하기 때문에 기존의 것보다 높은 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

제안하는 기법은 채널 상태가 동일한 환경(case 1)과 사용자와 중계기의 환경이 10 dB 더 좋은 환경(case 2) 모두 기존의 양방향 중계기 협력 통신보다 우수한 성능을 보인다.

그리고 사용자 A와 중계기 간의 채널 환경이 10 dB 우수한 비대칭 환경(case 3)에서는 기존의 것과 동일한 성능을 보인다. 이러한 결과가 나오는 이유는 case 3의 경우 사용자 A와 중계기 간의 채널 환경이 우수하여 사용자 A가 아닌 사용자 B가 우수한 성능을 보일 수 있는 환경이기 때문이다.

반대로 사용자 B와 중계기 간의 채널 환경이 10 dB 우수한 비대칭 환경(case 4)에서는 사용자 A는 기존의 것보다 2 dB 우수한 성능을 보인다. 중계기에서 x_2 의 신호를 올바르게 복호하고 사용자 A에게 전달할 수 있기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 사용자와 중계기의 채널 환경을 고려한 적응형 양방향 중계기 협력 통신을 제안하였다. 적응형 양방향 중계기 협력 통신은 중계기의 복호 성공 유무에 따라 올바르게 복호된 신호만을 사용자에게 전송하여 오수신 확률을 줄일 수 있다. 또한 각 사용자는 다른 사용자와 중계기로부터 신호를 전송받음으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 성능 분석 결과, 대칭 및 비대칭의 대부분의 채널 환경에서 제안하는 기법이 기존의 양방향 협력 통신보다 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

부 록

최대 비 합성(Maximal Ratio Combining) 기법을 적용한 P_{out}^{MRC} 는 $P\{\gamma_{RA} + \gamma_{BA} < (2^R - 1)\}$ 로 표현할 수 있다. 본 논문에서는 모멘트 생성 함수(moment generating function)를 이용하여 계산한다.

먼저 γ_{RA} 와 γ_{BA} 의 확률 분포 함수(probability density function)는 다음과 같으며, $\gamma_{RA} + \gamma_{BA}$ 의 계

산을 위해 모멘트 생성 함수로 변환한 것은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f_{\gamma_{RA}}(\gamma) &= \frac{1}{\gamma_{RA}} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_{RA}}}, & MGF_{\gamma_{RA}}(s) &= \frac{1}{1 - s\gamma_{RA}} \\ f_{\gamma_{BA}}(\gamma) &= \frac{1}{\gamma_{BA}} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_{BA}}}, & MGF_{\gamma_{BA}}(s) &= \frac{1}{1 - s\gamma_{BA}} \end{aligned} \quad (16)$$

그리고 $P\{\gamma_{RA} + \gamma_{BA} < (2^R - 1)\}$ 은 아래와 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} &MGF_{\gamma_{RA}}(s) \cdot MGF_{\gamma_{BA}}(s) \\ &= \frac{1}{(1 - s\gamma_{RA})(1 - s\gamma_{BA})} \\ &= \begin{cases} \frac{\gamma_{RA}}{\gamma_{RA} - \gamma_{BA}} \left(\frac{1}{1 - s\gamma_{RA}} \right) \\ + \frac{\gamma_{BA}}{\gamma_{BA} - \gamma_{RA}} \left(\frac{1}{1 - s\gamma_{BA}} \right), & \gamma_{RA} \neq \gamma_{BA} \\ \frac{1}{(1 - s\gamma)^2}, & \gamma_{RA} = \gamma_{BA} = \gamma \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{\gamma_{RA}}{\gamma_{RA} - \gamma_{BA}} \left(\frac{1}{\gamma_{RA}} e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma_{RA}}} \right) \\ + \frac{\gamma_{BA}}{\gamma_{BA} - \gamma_{RA}} \left(\frac{1}{\gamma_{BA}} e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma_{BA}}} \right), & \gamma_{RA} \neq \gamma_{BA} \\ \frac{2^R - 1}{\gamma^2} e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma}}, & \gamma_{RA} = \gamma_{BA} = \gamma \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{out}^{MRC} &= P\{\gamma_{RA} + \gamma_{BA} < 2^R - 1\} \\ &= \begin{cases} \frac{\gamma_{BA}}{\gamma_{BA} - \gamma_{RA}} \left(1 - e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma_{RA}}} \right) \\ + \frac{\gamma_{RA}}{\gamma_{RA} - \gamma_{BA}} \left(1 - e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma_{BA}}} \right), & \gamma_{BA} \neq \gamma_{RA} \\ 1 - \left(1 + \frac{2^R - 1}{\gamma} \right) e^{-\frac{2^R - 1}{\gamma}}, & \gamma_{BA} = \gamma_{RA} = \gamma \end{cases} \end{aligned} \quad (17)$$

참 고 문 헌

- [1] M. O. Hasna, M. S. Alouini, "End-to-end performance of transmission systems with relay over rayleigh-fading channels", *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 2, no. 6, pp. 1126-1131, Nov. 2003.
- [2] M. O. Hasna, M. S. Alouini, "Harmonic mean and end-to-end performance of transmission systems with relays", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 52, no. 1, pp. 130-135, Jan. 2004.

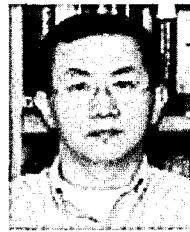
- [3] R. Ahlswede, N. Cai, S. -Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network information flow", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 46, pp. 1204-1216, Jul. 2000.
- [4] Aria Nosratinia, Todd E. Hunter, "Cooperative communication in wireless network", *IEEE Communication Magazine*, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [5] B. Rankov, A. Wittmeben, "Achievable rate regions for the two-way relay channel," *Proc. IEEE Inter. Symp. Inform. Theory(ISIT)*, Seattle, WA, U.S.A., pp. 1668-1672, Jul. 2006.
- [6] J. Hwang, S. L. Kim, "A two-phase algorithm for network coding enabled cellular systems", *Proc. ACM Inter. Wireless Commun. and Mobile Comput.(IWCMC)*, Hawaii, U.S.A., pp. 73-78, Jun. 2007.

이진희



2009년 2월: 울산대학교 전기전자
정보시스템공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 울산대학교 전
기전자정보시스템공학부 석사학
위 과정
[주 관심분야] 협력 통신, 양방향 통
신, 멀티 홉 시스템, MIMO

공형윤



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