

논문 2011-3-8

피드백을 제한하는 Hybrid ARQ를 이용한 증분 협력 중계기법의 최적의 중계기 위치에 관한 연구

Optimal Relay Position of Hybrid ARQ Incremental Cooperative Relaying Scheme with Limited Feedback

김 렬*, 공형윤**

Lyum Kim, Hyung-Yun Kong

요 약 통신 시스템에서 수신 성능을 향상시키는 방법으로 MIMO 기술이 활발히 연구되고 있다. 하지만 최근 소형화되어 가는 대부분의 무선 단말기는 사이즈, 비용, 하드웨어의 복잡성 등의 이유로 적용할 수 있는 안테나의 개수에 한계를 가진다. 이에 따라 개발된 협력통신은 단일 안테나를 가지는 다수의 단말기들이 가상의 MIMO 환경을 구현함으로써 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 하지만 협력통신은 다이버시티를 얻기 위해 스펙트럼 효율성을 저하시키며, 이를 극복할 수 있는 방법으로 증분 중계기법을 이용한다. 본 논문에서는 증분 중계기법을 이용하는 다양한 시스템 모델을 고려하며, 고려된 시스템 모델이 최적의 성능을 얻을 수 있는 중계기 위치를 연구한다.

Abstract Recently, MIMO technology, which can improve data rate, link reliability and diversity order, has been widely studied. However, due to the limitation of size, cost and complexity, it is difficult to equip multiple antennas in mobile devices. To overcome this problem, the cooperative communication scheme has been proposed. In this scheme, each terminal shares its single antenna to form a virtual MIMO environment. However, in conventional cooperative scheme, e.g. decode-and-forward, amplify and forward, the spectral efficiency is decreased if there are many terminals taking part in the cooperation. Therefore, the incremental relaying scheme has been proposed to solve this problem. In this paper, we consider various models using incremental relaying technique. In addition, the position of relay is investigated in order to obtain optimal performance.

Key Words : MIMO, Cooperative Communication, Incremental Relaying, ARQ, Decode-and-Forward

1. 서 론

최근 무선통신 시스템은 이를 사용하는 모든 이들의 목적에 부합할 수 있도록 단말기 간 송·수신의 신뢰성, 보다 넓은 전송 커버리지와 높은 성능을 얻기 위해 끊임 없이 발전하고 있다. 이러한 사용자의 요구를 만족시키

기 위해 제안된 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 기술은 송신기와 수신기에서 안테나의 개수를 늘리는 간단한 방법으로 독립적인 채널을 형성하여, 다이버시티를 얻을 수 있는 기술^[1]이다.

하지만 다중 안테나를 이용하는 MIMO 시스템은 전력이나 휴대성과 같은 제한적인 요소로 인해 셀룰러나 센서네트워크와 같은 소형 단말기에 적용하기가 어렵다. 따라서 단일 안테나를 가지는 단말기 간 가상의 MIMO 환경을 구축하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 협력

*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과

**정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학과(교신저자)

접수일자 2011.4.10, 수정일자 2011.5.22

게재확정일자 2011.6.10

통신(Cooperative communication) 기술이 많은 연구자들에 의해 제안되었다^{[2],[3]}.

협력통신 시스템은 각 노드 간 신호를 협력하여 전송하는 것으로, 전송 노드 자신 뿐 아니라 주변의 다른 노드의 도움을 받아 신호를 전송하는 통신 방식이다. 수신 노드는 협력통신에 참여하는 모든 노드로부터 신호를 수신하고, 이를 결합하여 협력 다이버시티를 얻음으로써 열악한 채널에서 발생하는 페이딩, 왜곡을 극복할 수 있다^[4].

하지만 협력통신은 시스템의 성능을 향상시키기 위해 전체 다이버시티를 요구하며, 일반적으로 Time Division Multiplexing (TDM) 방식으로 동작하기 때문에 협력통신에 참여하는 중계기에 개수만큼 시간슬롯이 늘어난다. 이렇게 늘어나는 시간슬롯은 결국 스펙트럼 효율을 저하시키는 결과를 초래한다.

이렇게 저하되는 스펙트럼 효율을 향상시키는 방법으로 증분(Incremental) 중계기법이 개발되었다^{[5],[6]}. 증분형 중계기법은 송·수신단간 채널상태가 미리 정해놓은 기준치보다 좋을 때, 송신단에서 보낸 신호를 중계기로부터 재 전송받는 과정을 생략하여도 수신단에서 바로 복호가 가능하다고 판단함으로써 스펙트럼 효율을 향상시키는 기법이다.

본 논문에서는 각각 하나의 송신단, 중계기, 수신단으로 이루어지는 시스템 모델을 고려하며 증분형 중계기법을 이용하여 신호를 전송한다. 또한 중계기에서 신호를 전송하는 경우 복호 후 전달(Decode-and-Forward) 프로토콜^[7]을 사용한다. 이 때 수신단이 송신단으로부터 수신한 신호의 신뢰도를 측정하기 위해 임계 SNR(Threshold Signal-to-Noise) 값을 이용하거나, CRC(Cyclic redundancy check)를 통해 신호의 신뢰도를 측정한다. 또한 수신단이 신호의 수신에 실패하는 경우 중계기에만 신호의 재전송을 요청하거나, 송신단-수신단 사이의 채널 환경과 중계기-수신단 사이의 채널 환경을 비교하여 좀 더 나은 채널을 가지는 노드로 신호의 재전송을 요청한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 증분 중계기법이 고려되는 다양한 형태의 시스템 모델의 구성과 동작을 보인다. III 장에서는 고려되는 시스템 모델의 성능을 분석하고, 최적의 중계기 위치를 얻는다. 마지막 IV 장에서는 성능 분석 결과를 토대로 결론을 맺도록 한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서 그림 1과 같이 각각 하나의 송신단(Source), 중계기(Relay), 수신단(Destination)을 가지는 시스템 모델을 고려한다.

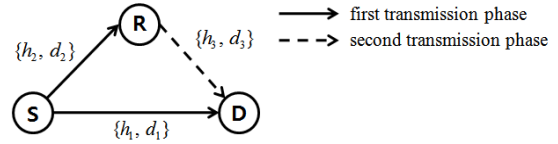


그림 1. 일반적인 협력통신
Fig. 1. General Cooperative Communication

이 때 중계기와 수신단은 송신단의 전송 커버리지 안에 위치하며, 각 노드 간 채널은 모두 독립적이다. 이 때 송신단과 중계기는 반 이중(Half-duplex) 통신방식을 이용한다. 일반적인 협력통신은 하나의 신호를 수신하는데 두 번에 걸친 시간 슬롯을 요구하며, 첫 번째 시간 슬롯에서 송신단이 자신의 신호를 브로드캐스트하면 중계기와 수신단이 이를 수신한다. 두 번째 시간 슬롯에서 중계기가 복호 후 전달(Decode-and-Forward) 프로토콜을 채용했다면 수신된 송신단 신호를 복호하여 수신단으로 재전송하는 과정을 거친다.

식 (1)은 각 시간 슬롯에서 노드 간 수신된 신호를 나타내며, y_{sd} , y_{sr} , y_{rd} 은 각 노드 간 수신 신호이다. 아래 첨자 s 는 송신단 r 은 중계기, d 는 수신단을 의미한다. 또한 P_s 는 송신단 전송 전력, P_r 은 중계기 전송 전력을 나타내며, 이는 각 노드 간 거리(그림 1에서 d)에 따른 경로 손실(Path-loss)를 고려한 값이다. h_i 는 각 채널 계수(Channel coefficient), x 는 송신단에서 최초 전송하고자 하는 신호, \hat{x} 는 중계기에서 복호 한 신호, n_i 는 각 수신단에서 발생하는 AWGN (Addictive White Gaussian Noise)를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{Phase 1 : } y_{sd} &= \sqrt{P_s} h_1 x + n_1 \\ y_{sr} &= \sqrt{P_s} h_2 x + n_2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{Phase 2 : } y_{rd} = \sqrt{P_r} h_3 \hat{x} + n_3$$

수신단에서는 최종적으로 송신단과 중계기로부터 수신한 신호를 SC(Selection Combining), MRC(Maximal

Ratio Combining), EGC(Equal Gain Combining) 등의 신호 결합 기술을 이용하여 다이버시티 이득을 얻음으로써 페이딩(Fading), 섀도잉(Shadowing), 잡음(Noise)의 영향으로 열화되는 수신 성능을 보다 향상시킬 수 있다.

1. 일반적인 ARQ가 적용된 증분 협력 중계기법

기존의 협력통신 기법이 두 번에 걸친 시간 슬롯을 요구하는데 반해, 증분형 중계기법은 첫 번째 시간슬롯에 만족할만한 수신 신호를 수신단에서 얻는다면 중계기로부터 얻는 두 번째 전송과정을 없애므로써 스펙트럼 효율성과 전송 시간의 측면에서 이점을 가진다.

이 때 수신단에서 수신된 신호를 평가하는 대표적인 방법으로 식 (2)와 같이 송신단과 수신단 사이의 채널 상태 정보(CSI : Channel State Information)를 이용하여 임계 SNR(γ_{th})를 설정하고, 수신된 신호의 SNR(γ_{sd})와 비교하는 방법이 있다.

$$\begin{aligned} \text{Success} &: \Pr[\gamma_{sd} \geq \gamma_{th}] \\ \text{Failure} &: \Pr[\gamma_{sd} < \gamma_{th}] \end{aligned} \quad (2)$$

만약 송신단과 수신단간의 γ_{sd} 가 수신단에서 기준으로 정해놓은 γ_{th} 보다 크다면, 수신단에서는 송신 신호를 복호할 수 있다고 판단하고 신호를 복호한다. 또한 ARQ(Automatic Repeat Request)를 적용하여 송신단과 중계기에 ACK (Positive Acknowledgement) 메시지를 전송함으로써 송신단은 다음 신호를 전송하도록 하며, 중계기에서 송신단 신호를 재전송하는 과정을 차단한다. 반대로 γ_{sd} 가 γ_{th} 보다 작다면 수신단은 NACK (Negative Acknowledgement) 메시지를 전송하여, 송신단 신호의 재전송을 요구한다.

본 논문에서는 재전송 요구 방식을 두 가지 고려한다. 첫 번째는 일반적인 방법으로 중계기로부터 재전송을 요구하는 방식이며, 두 번째는 그림 2와 같이 송신기-수신기 간의 SNR(γ_{sd})과 중계기-수신기 간의 SNR(γ_{rd})를 비교하여, 보다 나은 채널을 통해 재전송을 요구하는 방법을 이용한다. 특히 두 번째 방법의 경우, 같은 전력으로 재전송을 시도하지만 상대적으로 페이딩이나 섀도잉의 효과를 덜 받을 수 있는 보다 나은 채널을 선택함으로써 수신 신호의 신뢰성을 높일 수 있는 효과를 기대할 수 있는 장점이 있다. 이 때 재전송 요구는 1 회로 제한하도록 한다. 이는 지속적인 재전송 요구 방식에 비해 정확한 신

호를 수신하고자 하는 관점에서 약점이 될 수 있겠으나, 시스템 동작의 복잡도 및 전송 시간의 관점에서 이점을 얻을 수 있다. 송신단과 중계기로부터 수신한 두 신호를 SC, MRC, EGC 등과 같은 신호 결합 기법을 이용하여 최종 신호를 얻는다.

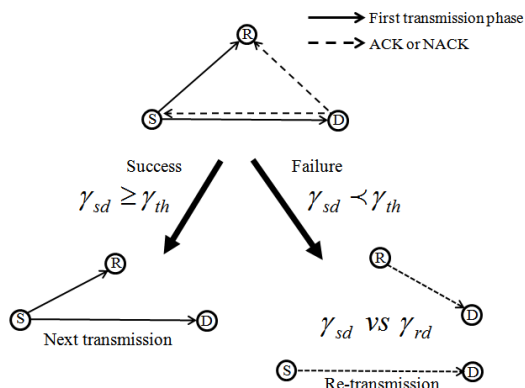


그림 2. 일반적인 ARQ가 적용된 증분 협력 중계기법
Fig. 2. Incremental Cooperative Relaying with General ARQ

2. Hybrid ARQ가 적용된 증분 협력 중계기법

일반적인 ARQ가 적용된 증분 협력 중계기법과 달리, Hybrid ARQ(HARQ)가 적용된 증분 협력 중계기법이 있다. 일반적인 ARQ 방식은 단순히 Timer를 이용하여 특정 시간 내에 신호를 수신하였을 때 ACK 메시지를 전송하는 방법을 이용하거나, γ_{th} 를 이용하여 신뢰할 수 있다고 판단되는 신호에 대해 ACK 메시지를 전송하는 방법을 이용한다.(반대의 경우, NACK 메시지를 전송한다.) 하지만 그림 3과 같은 HARQ의 경우, 첫 번째 시간 슬롯에 송신단으로부터 신호를 수신한 수신단은 각종 어려움 출 방법을 이용하여 정확한 신호를 복원하였을 때 ACK 메시지를 전송한다. 이 때 사용할 수 있는 가장 간단한 방법으로 CRC (Cyclic Redundancy Checking)가 있으며, 이 방식은 일반적인 ARQ 방법에 비해 수신단에서 정확한 신호를 복원하였을 때, ACK/NACK 메시지를 전송하기 때문에 보다 높은 신뢰성을 가질 수 있게 한다. 이 경우에는 수신단에서 신호 복원에 실패하였을 경우, 송신기-수신기 간의 SNR(γ_{sd})과 중계기-수신기 간의 SNR(γ_{rd})를 비교하여, 보다 나은 채널을 통해 재전송을 요구하는 방법을 이용한다. 단지 중계기에 재전송을 요구하

는 방법을 사용하며, 일반적인 ARQ가 적용된 경우와 같은 이유로 재전송 요청은 1회로 제한하도록 한다.

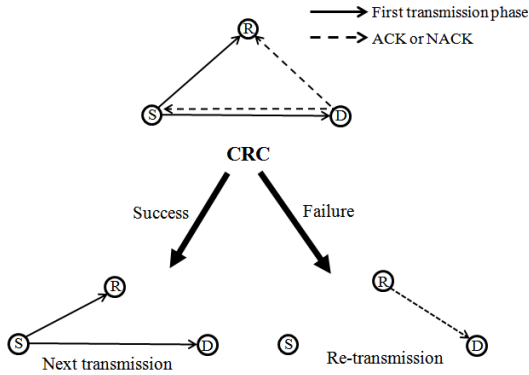


그림 3. Hybrid ARQ가 적용된 증분 협력 중계기법
Fig. 3. Incremental Cooperative Relaying with General Hybrid ARQ

III. 모의실험

본 장에서는 각 시스템 모델의 모의실험을 통해 해당 조건에 대한 SER(Symbol Error Rate) 성능을 비교하고, HARQ가 적용된 시스템 모델이 최적의 성능을 얻을 수 있는 방법을 모색한다. 본 모의실험에서는 다음과 같은 다섯 가지 경우를 고려한다.

- case 1 : 직접 전송
- case 2 : 고정형(Fixed) 복호 후 전달 프로토콜을 이용한 협력통신
- case 3 : 일반적인 ARQ가 적용된 증분형 전송 1, 재전송 시 중계기
- case 4 : 일반적인 ARQ가 적용된 증분형 전송 2, 재전송 시 γ_{sd} 와 γ_{rd} 을 비교하여 우월한 채널 선택
- case 5 : Hybrid ARQ가 적용된 증분형 전송, 재전송 시 γ_{sd} 와 γ_{rd} 을 비교하여 우월한 채널 선택

표 1에는 앞의 각 경우에 공통적으로 적용되는 파라미터를 나타내었다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameter

Fading	Rayleigh fading
distance	$d_1 = 1$ $d_2, d_3 = 0.5$
Path loss	3
Modulation	4QAM
Eb/No	0 ~ 20 dB

이외에도 공정한 SER 성능 비교를 위해, 직접 전송(Direct transmission)시 송신단의 전송 전력을 1이라고 할 때, 나머지 기법들의 송신단 전송 전력을 1/2, 중계기 전송 전력을 1/2로 하여 총 전송 전력을 1로 동일하게 하였다. 또한 직접 전송 시 송신단과 중계기간의 거리를 1로 할 때, 나머지 기법들은 송신단, 중계기, 수신단이 일직선상에 위치한다고 가정하며, 각 노드간 거리는 0.5로 함으로써 총 거리 또한 동일하게 한다. 수신단에서 중계기를 통해 송신단의 신호를 재전송 받았을 경우, 두 신호를 결합하기 위한 방법으로는 MRC 기법을 채택하였다.

1. SNR 변화에 따른 SER 성능 비교

그림 4는 앞서 언급한 다섯 가지 경우의 시스템 모델에 대한 SNR 변화에 따른 SER을 나타내고 있다.

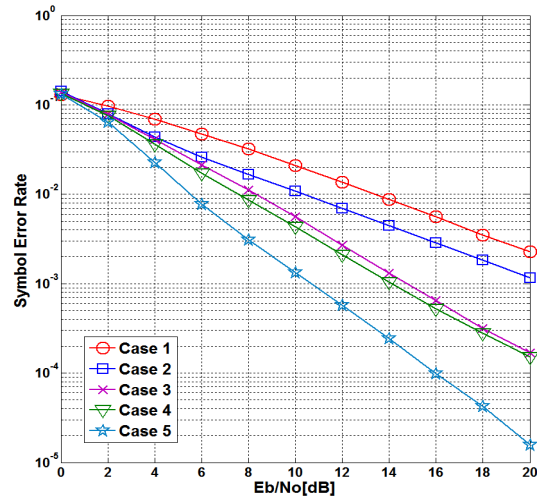


그림 4. SNR 변화에 따른 SER 성능
Fig. 4. SER performance according to SNR value

중분형 중계 방식이 적용된 case 3~5의 경우, 수신단 이 복호에 성공한다는 기준이 되는 γ_{th} 를 5dB로 설정한다. 중분형 중계 방식이 적용된 경우, 일반적인 협력통신 방식을 이용하는 case 2에 비해 전체 전송 횟수를 줄일 수 있는 효과를 얻음과 동시에, 이는 곧 스펙트럼 효율 향상으로 이어질 수 있다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 Hybrid ARQ를 적용하고, 첫 번째 시간 슬롯에 수신 실패 시, 보다 나은 채널을 통해 재전송된 신호를 수신하는 case 5의 경우가 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 하지만 case 3과 4의 성능 차이가 미미한 점으로 미루어볼 때, 시스템의 복잡성을 높이면서까지 좀 더 나은 채널을 선택하는 과정이 수신 성능을 향상시키는데 큰 이득은 되지 않음을 알 수 있다.

2. 중계기 위치에 따른 SER 성능 비교

그림 5, 6, 7은 각 SNR이 5, 10, 15[dB]인 경우에, 송신단과 중계기 간의 거리에 따른 SER 성능 변화를 나타낸다.

SNR=5일 때, case 2, 3의 경우 일정 구간에서 직접 전송보다 낮은 성능을 보인다.

SNR=10일 때, case 2의 경우만 일정 구간에서 직접 전송보다 낮은 성능을 보인다.

SNR=15일 때부터 모든 경우에 직접 전송보다 나은 성능을 보이기 시작함을 알 수 있다.

일반적으로 복호 후 전달 프로토콜을 이용할 시에, 최적의 중계기 위치는 송신단과 수신단의 가운데로 알려져 있다. 하지만 송신단과 중계기의 거리에 따른 성능을 살펴보면, case 4와 5에서 중계기 위치가 중앙($d = 0.5$)에 위치할 때 가장 좋은 성능을 내는 것이 아니라 그 위치가 변화하였다는데 주목할 필요가 있다. case 4의 경우에는 $d = 0.4$ 일 때 가장 좋은 성능을 보이며, case 5의 경우에는 $d = 0.6$ 일 때 가장 좋은 성능을 보이고 있다.

3. 최적의 중계기 위치에서의 SER 성능

그림 8은 앞선 모의실험 결과를 통해 얻은 최적의 중계기 위치에서 성능 변화를 나타내고 있다.

최적의 위치로 중계기의 위치를 변화시켜 모의실험을 한 결과, 약간의 성능 향상은 있었으나 그 변화량이 매우 적음을 알 수 있다. 앞의 모의실험 그림 5, 6, 7에서도 알 수 있듯이, 최적의 위치를 기준으로 ± 0.1 구간에 대해서는 성능의 변화가 거의 없으며, 그 이상의 구간에서 상대

적으로 많은 변화가 발생함을 볼 수 있다.

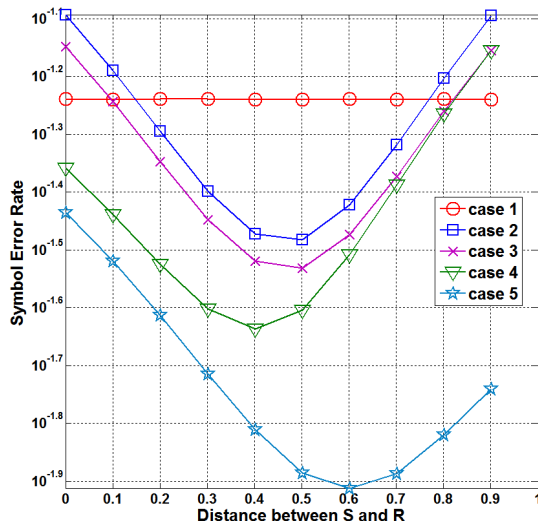


그림 5. SNR=5[dB], 중계기 위치에 따른 SER 성능
Fig. 5. SNR=5[dB], SER performance according to relay position

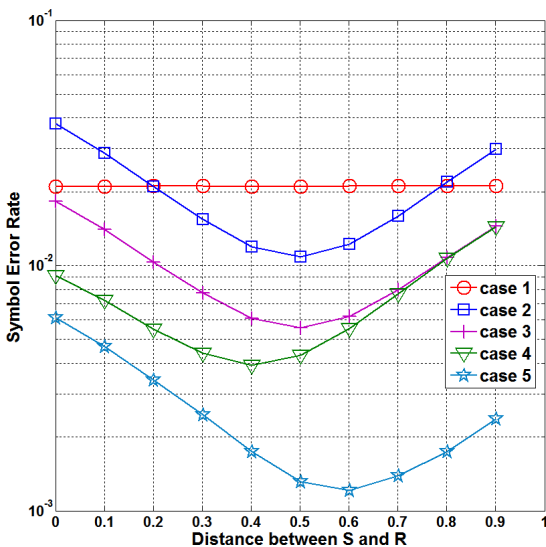


그림 6. SNR=10[dB], 중계기 위치에 따른 SER 성능
Fig. 6. SNR=10[dB], SER performance according to relay position

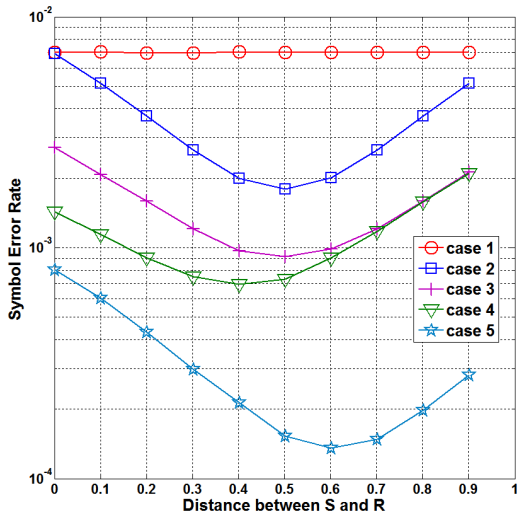


그림 7. SNR=15[dB], 중계기 위치에 따른 SER 성능
 Fig. 7. SNR=15[dB], SER performance according to relay position

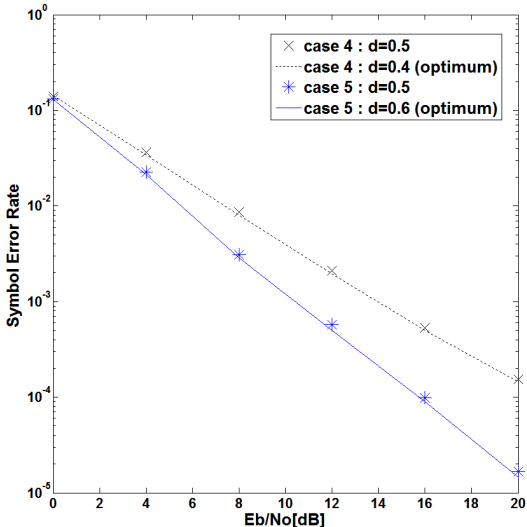


그림 8. 최적의 중계기 위치에 따른 SER 성능
 Fig. 8. SER performance according to optimal relay position

IV. 결론

본 논문에서는 피드백을 1회로 제한하고, 복호 후 전달 프로토콜을 이용하는 Hybrid ARQ를 채용한 중분 협력 중계기법에서 최적의 중계기 위치를 알 수 있었다. 이를 위해 다섯 가지 경우의 무선 통신 모델을 비교하였다.

Hybrid ARQ가 채용된 경우가 가장 좋은 성능을 얻을 수 있다는 것을 증명하였으며, 최적의 중계기 위치는 $d = 0.6$ 를 기준으로 ± 0.1 구간임을 알 수 있다. 이는 일반적인 복호 후 전달 프로토콜을 이용하는 협력 중계기법의 $d = 0.5$ 와 약간의 차이를 보인다.

참고 문헌

- [1] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication : performance criterion and code construction", IEEE Trans. Inform. Theory, pp. 744-765, Mar, 1998.
- [2] Aria Nostatinia, Todd E. Hunter, "Cooperative Communication in wireless network", IEEE Communication Magazine, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [3] M. Abrar, X. Gui, A. Puchinewa, S. Khan, M. Iqbal, "Cooperative Diversity versus Antenna Diversity in Wireless Communication Systems", New Trends in Information Science and Service Science(NISS), 2010 4th International Conference on, pp.260-263, Gyeongju, Korea, May. 2010.
- [4] Aria Nostatinia, Todd E. Hunter, "Cooperative Communication in wireless network", IEEE Communication Magazine, vol. 42, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [5] Qing F. Zhou, Francis C. M. Lau, "Asymptotic Analysis of Opportunistic Relaying Protocols", Signal Processing Letters, IEEE, vol.17, pp. 719-722, Aug. 2010.
- [6] Salama S. Ikki, Mohamed H. Ahmed, "Performance Analysis of Decode-and-Forward Incremental Relaying Cooperative-Diversity Networks over Rayleigh Fading Channels", Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th, pp. 1-6, Apr. 2009.
- [7] A. Sendonaris, E. Erkipis, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity Part II : Implementation aspects and performance analysis" IEEE Trans.

on Comm., Vol. 51, No. 11, pp.1939-1948, Nov.
2003

저자 소개

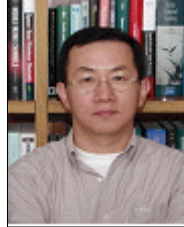
김 렬 (준회원)



- 2010년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 (공학사)
- 2010년 3월~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학과 석사학위 과정

<주관심분야: 협력통신, MIMO, 인지통신, 다중 홉 시스템, 양방향 통신>

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>