중계기 선택 기법이 적용된 증분 협력 통신의 중계기 배치에 따른 성능 분석

Performance Analysis of Incremental Cooperative Communication with Relay Selection Based on The Relays Arrangement

김 렬 · 공 형 윤

Lyum Kim · Hyung-Yun Kong

요 약

본 논문에서는 중계기 선택 기법이 적용된 증분 협력 통신의 단-대-단 성능을 분석한다. 일반적인 협력 통신은 1 phase에 송신단(S)에서 전송하는 신호를 수신단(D)이 한 번 수신하고, 2 phase에 중계기(R)로부터 S에서 전송한 신호를 재 전송받게 된다. 이러한 과정을 통해 D는 다이버시티 이득을 얻음으로써 수신 성능이 향상되지만, 두 번에 걸친 전송은 스펙트럼 효율성을 감소시킨다. 하지만 증분형 중계 기법을 적용한 협력 통신에서 D는 1 phase에 수신한 신호만으로 복호에 성공할 수 있다고 판단되면, 두 번째 전송을 생략함으로써 이러한 단점을 보완할 수 있다. 증분형 중계 기법에서 D는 ACK/NACK 메시지를 전송하는 ARQ(Automatic Repeat reQuest) 기법을 이용한다. 본 논문에서는 D가 첫 번째 시간 슬롯에 수신한 신호를 복호화할 수 있는지를 판단하기 위해 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법과 채널 부호화를 이용한 HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) 기법과 같이 두 가지 방법을 고려한 시스템에 참여하는 중계기 배치에 따른 성능을 분석하고, 중계기 배치가 성능에 미치는 영향에 대해 연구한다.

Abstract

In this paper, we analysis the end-to-end performance of the incremental cooperative communication with relay selection. In the conventional cooperative scheme, the source(S) broadcasts the signal to the relay(R) and the destination(D) at 1st phase, and the R forwards the signal to the D at 2nd phase. Although this scheme can improve performance and provide diversity gain, it suffers from decreasing spectrum efficiency. In order to overcome this problem, the incremental cooperative model can be used. In this paper, we study two incremental cooperative method : the first uses ARQ with threshold SNR and the second uses HARQ with channel coding. we also evaluated performance of the incremental cooperative communication based on the R arrangement by using both methods.

Key words : Cooperative Communication, Incremental Relaying, ARQ(Automatic Repeat reQuest), Relay Arrangement

I. 서 론

무선 통신 시스템은 이를 사용하는 사용자의 QoS (Quality of Service)를 만족시키기 위해 단말기 간

「이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2011-0006043).」
울산대학교 전기전자정보시스템공학과(Department of Electrical Engineering, University of Ulsan)

· 논 문 번 호 : 20110520-043
· 교 신 저 자 : 공형윤(e-mail : hkong@mail.ulsan.ac.kr)
· 수정완료일자 : 2011년 8월 12일

송·수신의 신뢰성, 보다 넓은 전송 커버리지 보장 및 높은 성능을 얻기 위해 끊임없이 발전해왔다. 특히 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 기술은 송신기와 수신기에 다중 안테나를 이용함으로써 발생하는 전송 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 기술로 잘 알려져 있다. 하지만 다중 안테나를 이용하는 MIMO는 셀룰러나 센서 네트워크와 같은 소형 단말기에 적용하기엔 어려움이 있다. 따라서 단일 안테나를 가지는 단말기 간 가상의 MIMO 환경을 구축하여 다이버시티를 얻을 수 있는 협력 통신(cooperative communication) 기술이 개발되었다^{[1]~[3]}.

협력 통신은 송신단(S)과 수신단(D) 사이에 존재하는 노드가 중계기(R) 역할을 함으로써 수신한 S의 신호를 D로 재전송하고, D에서는 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 한다. 하지만 일반적인 직접 통신($S \rightarrow D$)이 하나의 시간 슬롯을 사용하는 것과 달리, 협력 통신은 시스템의 성능을 향상시키기 위해 전체 다이버시티를 요구하며, 일반적으로 time division multiplexing(TDM) 방식으로 동작하기 때문에 협력 통신에 참여하는 중계기에 개수만큼 시간 슬롯이 늘어난다. 이렇게 늘어나는 시간 슬롯은 결국 스펙트럼 효율을 저하시키는 결과를 초래한다.

이를 극복하기 위해 경우에 따라 R로부터 재전송 과정을 생략함으로써 기회적으로 한 번의 시간 슬롯에 전송을 마치고, 이에 따라 스펙트럼 효율을 증가시킬 수 있는 증분(incremental) 중계 기법이 개발되었다^{[4],[5]}. S-D 간 채널 상태가 미리 정해 놓은 기준치보다 좋을 때(복호에 성공할 수 있는 정도의 신호를 수신했을 때), S에서 송신한 신호를 R로부터 재전송 받는 과정을 생략하여도 D에서 바로 복호가 가능하기 때문에 R로부터의 재전송 과정을 생략할 수 있게 된다. D에서의 재전송 시도 유무에 대한 판단을 S와 R에 알리기 위해서는 ARQ(Automatic Repeat reQuest)^{[6],[7]} 기법을 이용하여 각 노드에서 ACK(Positive Acknowledgement)/NACK(Negative Acknowledgement) 메시지를 수신함으로써 이를 판단할 수 있다.

본 논문에서는 S와 D 사이에 R이 존재할 때, R을 배치하는 방법에 따른 성능을 분석한다. R을 배치하는 방법으로는 S-D 중앙에 참여하는 모든 R이 위치하는 경우와 S-D 사이에 일정 간격으로 R이 위치하는 경우에 대해 성능을 비교하고 분석한다. 또한, D

에서 재전송을 요구할 시, 중계기 선택 기법(relay selection scheme)^{[8],[9]}을 이용함으로써 최적의 중계기(best relay)를 선택하여 전송하는 방법을 고려한다. 또한, ACK/NACK 메시지를 전송하는 피드백(feed-back) 횟수를 제한함으로써 일정 이상의 스펙트럼 효율성을 보장할 수 있도록 한다.

II장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 모델을 소개하고, III장에서는 각 시스템의 동작을 상세히 설명한다. IV장에서는 모의 실험을 통해 각 경우에 대해 시스템의 성능을 분석하며, 최종적으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 송신단(source: S)과 수신단(destination: D) 사이에 존재하는 N개의 중계기(relay: R)를 그림 1 및 2와 같이 두 가지 형태로 다르게 배치하고, 이에 따른 시스템의 성능을 분석한다.

그림 1은 복수의 R이 모두 S와 D의 정중앙에 위치하는 경우이며, 그림 2는 복수의 R이 S와 D의 직선상에 일정한 간격으로 위치하는 경우이다.

이 때 $R_1, \dots, R_N$, D는 S의 전송 커버리지 내에 존재하며, 각 노드 간 채널은 모두 독립적(independent)이라고 가정한다. 그림 1, 2에서 $\alpha_i, \beta_i (i=0, \dots, N)$

그림 1. 고려된 시스템 모델 1
Fig. 1. Considered system model 1.

그림 2. 고려된 시스템 모델 2
Fig. 2. Considered system model 2.

$1, \dots, N$)는 해당 노드 간 채널 상태에 따른 채널 계수(channel coefficient)를 나타낸다.

본 논문에서 고려되는 시스템은 다음과 같은 조건하에 동작한다. 기본적으로 시스템은 증분 중계 기법(incremental relaying)을 채용하며, D 는 모든 채널 상태 정보(Channel State Information: CSI)를 알고 있으며, 재전송 요청은 1회로 제한한다. 재전송 요청을 받은 경우, 중계기 선택 기법을 이용하여 선택된 하나의 R 만이 D 로 재전송을 시도하며, 이 때 R 은 DF(Decode-and-Forward) 프로토콜^[10]을 이용한다.

III. 고려된 시스템 모델의 동작

3-1 단-대-단 전송 및 중계기 선택 방법

본 논문에서 고려하는 그림 1과 2의 두 가지 시스템 모델의 동작은 다음과 같다.

첫 번째 시간 슬롯에 S 는 자신의 전송 신호를 모든 노드에 브로드 캐스트하며, 각 R 과 D 에서 수신한 신호 y_{1i} 는 아래 식 (1)과 같다.

$$y_{1i} = \sqrt{P_S} \alpha_i x_S + n_i \quad (i = 0, 1, \dots, N) \quad (1)$$

여기서 P_S 는 S 의 전송 전력(transmission power), α_i 는 S - R 및 S - D 간 채널 계수(channel coefficient), x_S 는 S 가 전송하고자 하는 신호, n_i 는 각 노드(모든 R 과 D)에서 발생하는 AWGN(Addictive White Gaussian Noise)이다. S 의 신호를 수신한 각 R 과 D 는 수신한 S 의 신호를 복호한다.

이 때 D 에서 R 로부터 재전송을 받지 않아도 S 의 신호를 복호하기에 충분한 신호를 수신하였다고 판단되면 모든 R 과 S 에 ACK 메시지를 보내 해당 전송을 마무리하고, 다음 신호의 전송을 유도한다. 하지만 충분하지 않다는 판단을 할 시에는 NACK 메시지를 보내 재전송을 요구하며, 이 때 S - D 사이에 존재하는 R 중에서 가장 좋은 채널 상에 위치하는 하나의 $Best R$ 만을 선택하여 S 의 신호를 재전송 받는다.

$Best R$ 은 다음과 같은 과정을 통해 선택되어진다. D 로부터 NACK 메시지를 수신하는 과정에서 각 R 은 자신과 S 사이, 자신과 D 사이의 CSI를 얻을 수 있으며, 이는 곧 채널 계수(α_i or β_i)를 알 수 있음을 의미한다. 채널 계수를 얻은 각 R 은 자신과 연결된

모든 채널($S-R_i$, R_i-D)에 대한 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 다음 식 (α_i 혹은 β_i)² P/N_0 을 통해 계산할 수 있다. 계산이 끝난 각 R 은 두 개의 SNR 값을 가진 상태가 되며, 이 때 둘 중 작은 값의 SNR을 선택하고, 이를 타이머 T_i/x 의 x 항에 입력한다(타이머는 각 R 에서 선택된 SNR 값이 입력될 때 동작하도록 정의되어 있는 하나의 시스템이며, 이 때 T_i 는 정규화 값으로 모든 중계기에 동일하게 적용된다.). 이 때 x 의 값이 클수록 타이머의 종료가 빠를 것이며, 타이머 동작이 가장 먼저 끝난 R 이 자신의 신호를 브로드 캐스트하게 되면 이를 감지한 나머지 R 은 더 이상 동작을 하지 않음으로써(sleep mode) $Best R$ 이 자연스럽게 선택되어진다. $Best R$ 을 선택하는 과정을 간단히 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\max \left\{ \min \left(\frac{|\alpha_1|^2 P_{S_1}}{N_0}, \frac{|\beta_1|^2 P_{R_1}}{N_0} \right), \min \left(\frac{|\alpha_2|^2 P_{S_2}}{N_0}, \frac{|\beta_2|^2 P_{R_2}}{N_0} \right), \dots, \min \left(\frac{|\alpha_N|^2 P_{S_N}}{N_0}, \frac{|\beta_N|^2 P_{R_N}}{N_0} \right) \right\} \quad (2)$$

선택된 $Best R$ 은 S 로부터 복호한 신호를 D 로 재전송하며, 이 때 D 에서 수신한 신호 y_{2i} 는 아래 식 (3)과 같다.

$$y_{2i} = \sqrt{P_{R_i}} \beta_i \hat{x}_S + n_D \quad (i = 1, \dots, N) \quad (3)$$

여기서 P_{R_i} 는 $Best R$ 의 전송 전력, β_i 는 S - $Best R$ 간 채널 계수, $\hat{x}_S$ 는 $Best R$ 이 복호한 S 의 신호, n_D 는 D 에서 발생하는 AWGN이다. $Best R$ 의 신호를 수신한 D 는 두 번에 걸쳐 수신한 신호 y_{1i} 와 y_{2i} 를 MRC(Maximal Ratio Combining) 기법을 이용하여 결합하고, 최종 신호를 복호한다. 이러한 과정을 통해 수신단에서는 공간 다이버시티 이득을 얻는다.

3-2 수신단의 재전송 요구 방식

본 논문에서는 중계기 선택 기법을 이용하는 증분 협력 통신을 이용하는 시스템에서 참여하는 중계기 배치 방법에 따른 성능을 분석하고 있으며, 이에 따라 보다 다양한 경우를 다루고자 한다. 따라서 본 논문에서는 D 에서 두 가지 재전송 요구(automatic

Repeat reQuest: ARQ) 방식을 적용하여 이에 따른 성능을 비교하고 분석한다. 적용되는 두 가지 재전송 방식은 다음과 같다.

첫 번째로는 D 에서 임계 SNR(Threshold Signal-to-Noise) γ_{th} 을 결정하고, 수신된 신호의 SNR과 비교하여 재전송을 유무를 결정하는 방식이다. D 는 식 (4)에 따라 재전송 시도에 대한 결정을 내린다.

$$\begin{aligned} \text{Success} &: \Pr[\gamma_{sd} \geq \gamma_{th}] \\ \text{Failure} &: \Pr[\gamma_{sd} < \gamma_{th}] \end{aligned} \quad (4)$$

만약 S - D 간의 $\gamma_{sd}(=|\alpha_0|^2 P/N_0)$ 가 D 에서 기준으로 정해 놓은 γ_{th} 보다 크다면, D 에서는 신호를 복호할 수 있다고 판단하고 신호를 복호한다. 또한, ACK 메시지를 모든 노드에 전송하여 S 가 다음 신호를 전송하도록 유도하며, R 에서 S 의 신호를 재전송하는 과정을 차단한다. 반대로 γ_{sd} 가 γ_{th} 보다 작다면 D 는 NACK 메시지를 전송하여, S 신호의 재전송을 R 에 요구한다. 이 때 앞서 설명했듯이 선택된 Best R 만이 D 로 재전송을 시도한다.

본 논문에서 고려하는 두 가지 시스템 모델에 임계 SNR을 이용한 재전송을 요구하는 방식이 적용된 경우의 동작을 그림 3과 4에 나타내었다.

두 번째로는 채널 부호화(coding) 기법을 적용하여 D 에서 신호 복호를 시도하고, 재전송 결정을 하는 방식이다. 데이터링크 계층의 ARQ와 물리 계층의 채널 부호화를 결합한 이러한 방식을 Hybrid-

그림 3. 시스템 모델 1의 동작
Fig. 3. Operation of system model 1.

그림 4. 시스템 모델 2의 동작
Fig. 4. Operation of system model 2.

ARQ(HARQ)^[11]라고 부른다. 본 논문에서는 시스템에서 부호화 동작에 의한 에러는 발생하지 않는다고 가정하며, D 는 수신된 신호의 복호가 가능한 상태라면 완벽히 복호할 수 있고, 가능하지 않다면 재전송을 요구한다고 가정한다. 따라서 모의 실험을 진행함에 있어서 특정 부호율(code-rate)은 결정하지 않는다. D 에서의 복호 성공 여부에 대한 판단 방법이 다를 뿐, 동작 형태는 그림 3, 4와 같다.

IV. 모의 실험

본 장에서는 앞서 설명한 모든 경우에 대하여 MATLAB 프로그램을 이용한 모의 실험을 통해 해당 시스템의 SER(Symbol Error Rate)를 얻음으로써 수신 성능을 분석하였다. 각 시스템 모델은 기본적으로 두 개의 시간 슬롯을 가지는 협력 통신을 기반으로 하며, 1회 전송 시 전송 전력을 1로 정규화하였을 때($P_s + P_{R_i} = 1$), 각 시간 슬롯에 할당되는 전송 전력을 전체 전송 전력의 1/2씩 할당하여 비교한다. 따라서 이는 첫 번째 시간 슬롯에 전송이 마무리되면 전송 전력을 절반으로 줄일 수 있다는 것을 의미하며, 또한 모의 실험 시 S 에서 D 로 직접 전송(direct transmission)하는 방식과 공정한 비교를 위함이다. Fading 환경은 가장 일반적으로 이용되는 Rayleigh fading을 고려하였다. 또한, 거리에 따른 신호 감쇄가 일어나는 경로 손실 모델(path loss model)을 고려하였으며, 초기 기준 값 d_0 와 상대적인 값 d 에 대한 경로 손실(path loss)은 $(d/d_0)^\beta$ 로 나타낼 수 있고, 이 때 경로 손실 지수(path loss exponent) β 를 3으로 하였다. 표 1에는 일반적으로 각각의 환경에서 이용되

표 1. 환경에 따른 경로 손실 지수의 예
Table 1. Path loss exponent according to environments.

Environment		β
Outdoor	Free space	2
	Shadowed urban area	2.7 to 5
In building	Line-of-sight	1.6 to 1.8
	Obstructed	4 to 6

표 2. 모의 실험 파라미터
Table 2. Simulation parameter.

Fading	Rayleigh fading
Path loss exponent β	3
Modulation	4QAM
γ_{th}	5 dB
Transmission power of S and R	1/2
E_b/N_o	0~20 dB
Relay's protocol	Decode-and-forward
The number of relays	1~3

는 경로 손실 지수 β 를 나타내고 있다^[12].

이외에도 변조 방식으로 4QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 이용하였으며, 각 R 은 재전송을 위해서 복호 후 전달(decode-and-forward) 프로토콜을 이용한다. 시스템 모델에 참여하는 R 의 개수는 1~3개까지 고려하였으며, D 에서 복호에 만족할 수 있는 임계 SNR(γ_{th})는 5 dB로 하였다. 이 γ_{th} 값은 수신 시 복호에 성공할 수 있는 최소한의 기준을 정한 것으로 이는 사용자의 요구나 채널 환경에 따라 변화할 수 있는 값이며, 본 논문에서는 일반적으로 이용되는 5 dB를 채택하였다.

이와 같이 본 모의 실험에서 이용되는 각종 파라미터를 표 2에 간략하게 나타내었다.

고려하는 두 가지 재전송 요구 방식은 다음과 같다.

- 1) 임계 SNR(γ_{th})을 이용한 ARQ 기법
- 2) 채널 부호화를 적용한 HARQ 기법

재전송에 참여하는 노드는 앞서 설명한 *Best R*을 이용하는 방법 외에 S 가 재전송하는 경우를 추가한다. 이는 다음과 같다.

- 1) *Best R*만이 재전송을 시도하는 방법(*Best R*)

- 2) S - D 간 채널 상태가 *Best R*의 채널 상태보다 좋다면 S 가 재전송을 하는 방법(S 혹은 *Best R*)

4-1 시스템 모델 1의 성능 분석

먼저 R 이 S - D 의 중앙에 모두 위치하는 경우(S - D 간 거리를 1로 정규화 하였을 때, 모든 R 은 S 로부터 $d=0.5$ 지점을 고려한 시스템 모델 1의 성능을 분석한다. 이 때 R 의 개수는 1~3개까지 변화시킨다.

4-1-1 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법

그림 5는 시스템 모델 1에서 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법을 이용할 때, '*Best R*만이 재전송'에 참여하거나 ' S 혹은 *Best R* 중 선택 후 재전송'할 때의 성능을 나타내고 있다.

'*Best R*'의 경우와 ' S 혹은 *Best R*'의 경우에 성능 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. $R=1$ 일 때, ' S 혹은 *Best R*'의 경우가 '*Best R*'의 경우보다 약간 더 좋은 성능을 보이고 있으나, 그 차이는 매우 작다. $R=2, 3$ 일 때, 8 dB 이후 성능 향상이 눈에 띄게 줄어들고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 채널의 환경이 좋아지면서 S - D 간 채널에서 얻는 SNR(γ_{sd})이 커지게

그림 5. 시스템 모델 1에서 임계 SNR을 이용한 ARQ를 이용한 경우

Fig. 5. Case of ARQ using threshold SNR at system model 1.

되며, 이에 따라 γ_{th} 이상을 확보하게 됨으로써 대부분의 전송이 직접 전송으로 마무리되기 때문이다. γ_{th} 이상을 확보할 수 있다는 말은 곧 이를 설정한 사용자를 만족할 수 있다는 의미가 되기 때문에, 성능 향상 폭이 적다고 해도 문제가 될 부분은 아니다. 만약 사용자가 이 이상 혹은 이하로 성능을 수정하고자 한다면 γ_{th} 를 조정하면 된다. 하지만 γ_{th} 를 증가시킨다면 수신 성능은 증가하겠지만 재전송율의 증가로 인해 시스템의 전체 Throughput은 감소할 것이다. 또한, R 의 개수가 늘어날 때마다 성능 향상 폭이 점점 줄어드는 점에 주목할 수 있다.

4-1-2 채널 부호화를 적용한 HARQ 기법

그림 6은 시스템 모델 1에서 채널 부호화를 적용한 HARQ 기법을 이용할 때, 'Best R'이 재전송하거나 'S 혹은 Best R' 중 선택 후 재전송할 때의 성능을 나타내고 있다. 앞의 경우와 마찬가지로 'Best R'의 경우와 'S 또는 Best R'의 경우에 성능 차이는 거의 없는 것을 알 수 있다. $R=1$ 일 때, 'S or Best R'의 경우가 'Best R'의 경우보다 약간 더 좋은 성능을 보이고 있으나, 그 차이는 매우 작다. γ_{th} 을 이용한 기법

그림 6. 시스템 모델 1에서 채널 부호화를 적용한 HARQ를 이용한 경우

Fig. 6. Case of HARQ using channel coding at system model 1.

에 비해 SER 성능이 대체로 좋으며, R 의 개수가 늘어날수록, 채널 환경이 나아질수록 성능이 크게 향상됨을 알 수 있다.

4-2 시스템 모델 2의 성능 분석

다음으로 R 이 $S-D$ 의 직선상에 일정한 간격을 가지고 위치하는 경우를 고려한 시스템 모델 2의 성능을 분석한다. $S-D$ 간 거리를 1로 정규화 하였을 때, 참여하는 R 이 2개인 경우에 R_1 은 $d=0.33$, R_2 은 $d=0.66$ 에 위치한다. 참여하는 R 이 3개인 경우에 R_1 은 $d=0.25$, R_2 은 $d=0.50$, R_3 는 $d=0.75$ 에 위치한다. R 이 1개만 참여하는 경우는 시스템 모델 1과 동일한 조건이다. 참여하는 R 의 개수는 1~3개까지를 고려한다.

4-2-1 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법

그림 7은 시스템 모델 2에서 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법을 이용할 때, Best R이 재전송하거나 S 혹은 Best R 중 선택 후 재전송할 때의 성능을 나타내고 있다.

본 모의 실험의 경우, 4-1-1의 그림 5의 경우와 거

그림 7. 시스템 모델 2에서 임계 SNR을 이용한 ARQ를 이용한 경우

Fig. 7. Case of ARQ using threshold SNR at system model 2.

그림 8. 시스템 모델 2에서 채널 부호화를 적용한 HARQ를 이용한 경우

Fig. 8. Case of HARQ using channel coding at system model 2.

의 비슷한 성능 그래프를 얻었으며, R 의 증가에 따른 특징이나 재전송 노드 선택에 따른 특징도 거의 비슷하다.

4-2-2 채널 부호화를 적용한 HARQ 기법

그림 8은 시스템 모델 2에서 채널 부호화를 적용한 HARQ 기법을 이용할 때, *Best R*이 재전송하거나 S 혹은 *Best R* 중 선택 후 재전송할 때의 성능을 나타내고 있다.

마찬가지로 본 모의 실험의 경우에도 4-1-2의 그림 6의 경우와 비슷한 성능 그래프를 얻었으며, R 의 증가에 따른 특징이나 재전송 노드 선택에 따른 특징도 거의 비슷하다.

4-3 시스템 모델 1, 2의 성능 비교

중계기가 하나 참여하는 일반적인 DF 프로토콜을 사용하는 협력 통신에서는 가운데에 중계기가 위치할 때 가장 좋은 성능을 낸다^[10]. 본 모의 실험에서의 1-1-1 모델이 이에 해당한다고 할 수 있으며, 그림 9에는 하나의 S , R , D 가 존재하는 1-1-1 시스템에서 본 논문에서 고려된 두 가지 재전송 기법(임계 SNR

그림 9. 1-1-1 증분 협력 통신의 중계기 위치에 따른 성능

Fig. 9. Performance depend on relay position of 1-1-1 incremental cooperative communication.

을 이용한 ARQ 방식과 채널 부호화를 적용한 HARQ 방식)이 각각 적용된 증분 협력 통신에서 항상 R 이 재전송에 참여하는 경우에 거리에 따른 성능을 나타내었다(1-1-1 시스템에서는 시스템 모델 1, 2가 같다). 이 때 E_b/N_0 는 10 dB로 하였다.

모의 실험 결과, 예상대로 그림 9와 같이 R 이 DF 프로토콜을 이용하는 1-1-1 시스템에서는 중계기가 가운데에 위치할 때 가장 좋은 성능을 내며, HARQ를 적용했을 때 더 좋은 성능을 얻을 수 있다.

모의 실험 4-1과 4-2의 결과를 비교해볼 때, R 의 배치를 각각 다르게 한 시스템 모델 1, 2는 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다. 이를 비교하여 그림 10, 11에 나타내었으며, 이 때 재전송은 ‘*Best R*’만 참여하는 것으로 하였다(S 혹은 *Best R*을 모두 고려한 시스템과 성능이 거의 비슷하다는 것을 앞의 모의 실험에서 알 수 있었다). 그림 10은 임계 SNR을 이용한 ARQ가 적용되었을 때, 그림 11은 채널 부호화를 이용한 HARQ가 적용되었을 때를 나타낸다.

$R=1$ 일 때에는 그림 9에서 알 수 있듯이 시스템 모델 1의 경우가 더 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다(그림 10, 11에서는 성능의 비교 자체가 미미할 정도의 차이), 2개 이상일 경우에는 시스템 모델

그림 10. 임계 SNR을 이용한 ARQ가 적용된 시스템 모델 1과 2의 성능 비교

Fig. 10. Performance comparison of system model 1 and 2 with ARQ using threshold SNR.

그림 11. 채널 부호화를 이용한 HARQ가 적용된 시스템 모델 1과 2의 성능 비교

Fig. 11. Performance comparison of system model 1 and 2 with HARQ using channel coding.

2의 경우가 더 좋은 성능을 보이고 있다. 전송에 참여하는 R 들을 모두 최적의 위치에 두었을 때(시스템 모델 1과 같은 경우) 더 좋은 성능을 보일 것으로 예상되었으나, 실제 모의 실험 결과, 예상과 다른 결과

그림 12. 1-2-1 시스템에서 중계기 위치 변화에 따른 성능

Fig. 12. Performance depend on the relays position change at 1-2-1 system.

가 나왔음에 주목할 필요가 있다. 이에 따라 2개의 R 이 참여하는 경우에 위치에 따른 성능을 분석하여, 그림 12에 나타내었다.

그림 12에서 (A, B)는 S - D 간 거리를 1로 정규화 하였을 때, S 로부터 각 R 의 위치를 나타낸다. 각각의 중계기 위치가 중앙($d=0.5$)에서 점점 멀어질수록 SER 성능이 조금씩 증가함을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 증분 협력 통신에 참여하는 중계기의 배치에 따른 성능을 분석하였다. 다양한 분석을 위해 임계 SNR을 이용한 ARQ 기법 및 채널 부호화를 이용한 HARQ 기법과 같이 두 가지 재전송 요청방식을 적용하였으며, 재전송에 참여하는 노드 또한 중계기 선택 기법에 의한 *Best R*만이 재전송하는 방법 외에 S 도 재전송에 참여하는 경우까지 고려하여 해당 시스템의 성능을 분석하였다.

기본적으로 고려된 두 가지 시스템 모델은 협력 통신을 이용하기 때문에 공간 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한, 증분형 중계 방식을 통해 재전송 횟수를 줄일 수 있으며, 이는 곧 스펙트럼 효율성을 향상시킬 수 있는 이점을 가진다. 하지만 D 에서 복

호 성공 여부를 판단함에 있어서 γ_{th} 을 이용하느냐 혹은 채널 부호화를 이용하느냐에 따라 성능 향상의 형태가 달랐다. γ_{th} 을 이용하는 경우, 특정 E_b/N_0 [dB]이상이 되면 성능 향상 폭이 줄어들지만, 이는 채널 환경이 좋아짐에 따라 γ_{th} 이상의 수신율을 충분히 얻을 수 있기 때문에 그 이상의 성능은 큰 의미가 없다고 보아도 무방하다(사용자가 설정한 γ_{th} 이상의 수신 신호라면 문제가 되지 않는다고 판단할 수 있다는 말과 같다.). 채널 부호화를 이용한 방법의 경우, 일반적인 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 모델과 같이 지속적으로 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한, D 로부터 재전송 요청을 받았을 시, 여러 개의 중계기 중 *Best R*이 재전송을 시행하는 경우와 중계기 외에도 S 까지 고려하는 경우에 따른 성능 차는 거의 없었다. 두 가지 재전송 기법을 비교해 볼 때 전체적인 성능은 채널 부호화를 이용한 방법이 더 좋은 성능을 보였다.

시스템 모델 1, 2를 구분하는 기준이 되는 중계기의 배치에 따른 각 시스템의 성능은 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 하나의 R 이 전송에 참여하는 경우에는 S 와 D 의 중앙에 R 이 위치하는 것이 최상의 성능을 나타내었으나, 복수의 R 이 참여하는 경우에는 예상과 달리 전송에 참여하는 R 이 중앙에 위치하는 것보다 각각 다른 곳에 위치하는 것이 더 좋은 성능을 얻을 수 있었다. 하지만 S 와 D 간 중계기의 위치에 따른 성능 변화 폭이 크지 않은 만큼, 참여하는 중계기의 개수에 따른 다이버시티 이득의 증가가 더 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. Sendonaris, E. Erkip, 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.

[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. Punchinewa, S. Khan, and M. Iqbal, "Cooperative diversity versus antenna diversity in wireless communication systems", *New Tr-*

ends in Information Science and Service Science (NISS), 2010 4th International Conference on, pp. 260-263, Gyeongju, Korea, May 2010.

[4] Qing F. Zhou, Francis C. M. Lau, "Asymptotic analysis of opportunistic relaying protocols", *Signal Processing Letters, IEEE*, vol. 17, pp. 719-722, Aug. 2010.

[5] Salama S. Ikki, Mohamed H. Ahmed, "Performance analysis of decode-and-forward incremental relaying cooperative-diversity networks over Rayleigh fading channels", *Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2009, IEEE 69th*, pp. 1-6, Apr. 2009.

[6] T. Issariyakul, E. Hossain, "Performance modeling and analysis of a class of ARQ protocols in multi-hop wireless networks", *Wireless Communications, IEEE Transactions*, vol. 5, no. 12, pp. 3460-3468, 2006.

[7] L. Le, E. Hossain, "An analytical model for ARQ cooperative diversity in multi-hop wireless networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 7, no. 5, pp. 1786-1791, 2008.

[8] T. Q. Duong, V. N. Q. Bao, "Performance analysis of selection decode-and-forward relay networks", *Electronics Letter*, vol. 44, no. 20, pp. 1206-1207, Sep. 2008.

[9] S. S. Ikki, M. H. Ahmed, "On the performance of adaptive decode-and-forward cooperative diversity with the nth best-relay selection scheme", in *Proc. of IEEE Global Communication Conference*, pp. 1-6, Nov. 2009.

[10] Michael R. Souryal, Branimir R. Vojcic, "Performance of amplify-and-forward and decode-and-forward relaying in Rayleigh fading with turbo codes", *ICASSP 2006*, pp. IV-681-684, Toulouse, France, May 2006.

[11] Peng, Xiaoming, F. P. S. Chin, Ying-Chang Liang, and M. Motani, "Performance of hybrid ARQ techniques based on turbo codes for high-speed packet transmission", *Spread Spectrum Techniques and Applications, 2002 IEEE Seventh International Symposium on*, vol. 3, pp. 682-686, 2002.

- [12] Joa Hyoung Lee, Young Tae Jo, and In Bum Jung,
"Availability based scheduling scheme for fair data
collection with mobile sink in wireless sensor

networks", *KIPS Journal*, vol. 16-A, no. 3, pp.
169-180, 2009.

김 렬

2010년 2월: 울산대학교 전기전자
정보시스템공학부 (공학사)
2010년 3월~현재: 울산대학교 전
기전자정보시스템공학과 석사과
정
[주 관심분야] 협력 통신, MIMO 시
스템, 인지통신, 다중 홉 시스템

공 형 윤

1989년 2월: 미국 New York Institute
of Technology 전자공학과 (공학
사)
1991년 2월: 미국 Polytechnic Uni-
versity 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월: 미국 Polytechnic Uni-
versity 전자공학과 (공학박사)
1996년~1996년: LG전자 PCS 팀장
1996년~1998년: LG전자 회장실 전략사업단
1998년~현재: 울산대학교 전기공학부 교수
[주 관심분야] 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기
술, 협력 통신, 센서 네트워크