

적응 재전송을 적용한 협력 하이브리드 ARQ 기법

정회원 강 성 교*, 학생회원 왕 진 수*, 종신회원 김 윤 희*, 송 익 호**

A Cooperative Hybrid ARQ Scheme with Adaptive Retransmission

Seong Kyo Kang* *Regular Member*, Jin Soo Wang* *Student Member*,
Yun Hee Kim*, Ickho Song** *Lifelong Members*

요 약

협력 다양성 기법은 기기마다 다중 송신 안테나를 쓰지 않고 전송 영역을 확장하거나 다양성 차수를 높일 수 있는 기술로 큰 관심을 얻고 있다. 본 논문에서는 원천 단말의 신호대잡음비가 낮을 때 전송률을 더욱 높이는 하이브리드 ARQ (Automatic Repeat reQuest) 릴레이 전송 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 원천 단말이 기지국과 릴레이 단말에게 부호화 패킷을 전송하고, 재전송이 필요한 경우 기지국이 재전송 기법과 재전송 단말을 선택한다. 제안 기법에서는 터보 부호어의 정보 비트 수신 품질에 따라 반복 재전송과 패리티 증가 재전송 가운데 한 기법을 선택하며, 릴레이 단말의 채널 품질 정보가 있을 때 추가적으로 채널 상태가 가장 좋은 단말이 재전송하도록 한다. 모의실험 결과 제안한 방식은 원천 단말의 신호대잡음비가 낮을 때의 전송률을 크게 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다.

Key Words : 협력 다양성, 하이브리드 ARQ, 적응 재전송, 릴레이 전송, 터보 부호

ABSTRACT

Cooperative diversity is a promising technique for range extension and diversity increase without the use of multiple transmit antennas at the user equipment. In this paper, we propose a cooperative hybrid automatic repeat request relay method with adaptive retransmission to increase the throughput when the SNR of a source user is low. In the proposed method, the source user transmits the first segment of a codeword to relay users and a base station. If the base station fails to recover the information from the received packet, it requests the source or some relay users to retransmit the packet previously sent. In addition, the retransmission type of a selected user is chosen from repetition or incremental redundancy according to the quality of systematic bits in a turbo codeword. Simulation results show that the proposed method improves the throughput compared to conventional methods, and the improvement is significant when the source user has a low SNR.

1. 서 론

대역폭이 제한된 무선 통신 시스템에서 전송률을 높이는 방법으로 송신 전력을 높이거나 다중 송신

안테나를 적용할 수 있다^[1]. 그러나, 비용과 크기가 제한된 휴대용 단말은 안테나 수를 늘리거나 송신 전력을 높이는 데 한계가 있다. 이러한 제약 조건에서 상향 링크 성능을 향상시키는 방법으로 다른 단

※ 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원과 (KRF-2008-314-D00311) 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원으로 (IITA-2008-C1090-0804-0007) 수행된 연구 결과입니다.

* 경희대학교 전자전파공학과 (skboy81@airpoint.co.kr, delta310@khu.ac.kr, yheekim@khu.ac.kr)

** 한국과학기술원 전자전신학과 (i.song@ieee.org)

논문번호 : KICS2008-12-557, 접수일자 : 2008년 12월 17일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 3일

말의 송신 경로를 이용하는 협력 (릴레이) 전송 방식이 활발하게 연구되고 있다²⁻¹⁰⁾.

협력 전송의 기본 개념은 Cover의 릴레이 채널에 대한 이론적 연구에서 찾을 수 있으며²⁾, 구현 방법은 크게 DF와 (Decode-and-Forward)⁴⁾ AF (Amplify-and-Forward)⁸⁾ 방식으로 나눌 수 있다. 최근에는 DF 방식의 한 확장으로 기존 DF 방식에서 발생하는 오류 전파 문제를 없애고 협력으로 부호화 다양성 이득을 제공하는 부호화 협력 방식이 제안되었다⁶⁾⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾. 부호화 협력 방식은 부호어의 일부를 원천 단말이 전송하고 다른 일부는 협력 단말이 전송함으로써 한 부호어가 원천 단말과 협력 단말의 두 독립 채널을 겪게 하여 부호화 다양성 이득을 증가시킨다.

이러한 부호화 협력 방식은 패리티 증가 (Incremental Redundancy) 기반의 하이브리드 ARQ (Automatic Repeat reQuest)의¹¹⁾ 연장선으로 볼 수 있다. 즉, 기존 하이브리드 ARQ 방식은 초기 전송과 재전송 모두 원천 단말이 하는 반면, 부호화 협력 전송에서는 재전송을 협력 단말이 수행하는 것이다. 이에 [9]에서는 기존 부호화 협력 방식⁶⁾ 다중 홉 하이브리드 ARQ 협력 전송 방식으로 일반화하고 원천 단말이 하나일 때 그 성능을 분석하였다. 그러나, 기존 방식에서는 패리티 증가 방식만을 고려하고 실제적으로 채널 부호화 기법을 적용할 때 준최적 복호기가 일으키는 문제를 고려하지 않았다.

본 논문에서는 터보 부호를 기반으로 협력 하이브리드 ARQ 전송 기법을 적용할 때 패리티 증가 방식의 단점을 보완하는 적응 재전송 기법을 도입한다. 정보 이론적으로는 패리티 증가 재전송이 반복 재전송보다 성능이 우수하지만¹¹⁾, 준최적 반복 복호를 사용하는 터보 부호의 경우 정보 비트의 오류가 큰 경우 정보 비트가 포함된 패킷을 반복 재전송하는 복호 성공 확률을 높일 수 있다. 따라서, 제안 기법은 원천 단말과 협력 단말의 채널 품질에 따라 부호화 패킷의 재전송 부분을 바꾸고 릴레이 단말의 채널 품질 정보가 있을 경우 재전송 단말 또한 선택하는 적응 재전송 기법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 협력 시스템 모형과 협력 하이브리드 ARQ 절차를 설명하고, III장에서는에서는 신호 모형을 기반으로 한 재전송 기법을 소개한다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안한 방식의 성능 향상을 보이며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모형

그림 1은 협력 전송을 적용하는 셀룰러 시스템의 상향 링크 모형을 보인 것이다. 원천 단말(source) 기지국으로 데이터를 전송할 때 원천 단말이 전송한 패킷을 재전송할 수 있는 단말들을 협력 그룹이라 부른다. 협력 그룹에는 원천 단말을 포함하여 총 M 단말이 있으며, 원천 단말을 제외한 다른 단말들을 릴레이 단말이라 부른다. 원천 단말이 데이터 전송을 요청하면 기지국은 상향 링크에 데이터 채널을 할당하고, 이 대한 응답 메시지를 전달할 피드백 채널을 하향 링크에 할당한다. 협력 그룹 내의 릴레이 단말들은 협력 가능성을 보기 위해 하향링크 피드백 채널을 항상 관측한다.

그림 2는 제안하는 협력 전송을 위한 송수신기 구조를 보여준다. 원천 단말은 협력 전송을 위해 CRC (Cyclic Redundancy Check) 비트를 포함하는 총 K 비트의 정보 데이터 블록 $b = \{b_n, 0 \leq n \leq K-1\}$ 을 부호율이 R 인 터보 부호화기로 부호화하여 길이가 $N = K/R$ 인 부호화 패킷을 만든다. 이 때, 1xEV-DO 시스템처럼¹²⁾ 부호율 R 은 1/3 혹은 1/5로 설정하고 하이브리드 ARQ 전송에 최적화된 인터리빙 방식을 적용하여 최종 전체 부호화 패킷 $c = \{c_n, 0 \leq n \leq N-1\}$ 을 생성한다. 하이브리드 ARQ 전송을 위해 전체 부호화 패킷을 여러 부분 패킷으로 나누고, j 번째 전송에서의 부분 패킷을 $c_j = \{c_{n\%N}, S_j \leq n \leq S_{j+1}\}$, $j = 1, 2, \dots$ 로 둔다. 여기서, %는 나머지 연산자, S_j 는 j 번째 부분 패킷의 시작 비트 색인 ($S_1 = 0$), $L_j = S_{j+1} - S_j$ ($K < L_j < N$)는 부분 패킷 길이다.

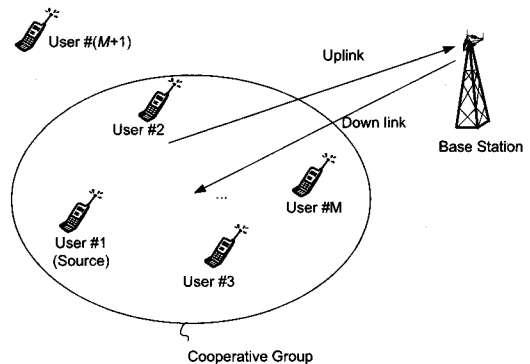


그림 1. 상향 링크 협력 시스템 모형.

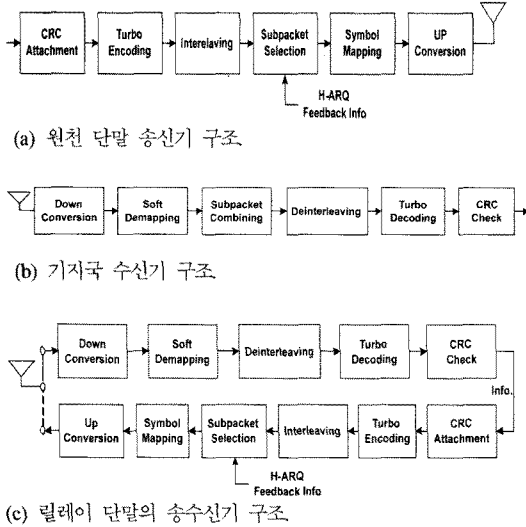


그림 2. 제안하는 협력 전송을 위한 시스템 모형.

먼저 원천 단말은 부호율이 $r_1 = K/L_1$ 인 첫 부분 패킷 c_1 을 변조하여 기지국과 릴레이 단말에게 전송한다. 기지국과 릴레이 단말은 그림 2(b)와 2(c)와 같이 복조와 채널 복조화 과정으로 수신 패킷의 정보를 복원하고 정보 비트에 대한 CRC를 검증한다. 기지국은 CRC 검증이 성공하면 ACK 메시지를, 실패하면 재전송 방법이 포함된 NACK 메시지를 하향 링크 피드백 채널로 전송한다. 릴레이 단말들은 CRC 검증이 성공하면 그림 2(c)의 송신기에서 전체 부호화 패킷 c 를 생성하고, CRC 검증이 실패하면 새로운 패킷 전송이 시작할 때까지 대기한다.

원천 단말과 릴레이 단말들은 하향 링크 피드백 채널을 복조하여, ACK이면 원천 단말은 새로운 데이터 패킷을 전송하고, NACK이면 NACK 정보가 지시하는 특정 단말이 지시하는 재전송 방법에 따라 부분 패킷을 재전송한다. 이러한 재전송 과정은 ACK를 받거나 최대 전송 횟수 I_{max} 에 도달할 때까지 계속된다. 앞에서 설명한 협력 하이브리드 ARQ 송수신 방식의 절차는 그림 3에 요약하였다.

III. 신호 모형 및 적응 재전송 방법

본 절에서는 협력 그룹내의 모든 릴레이 단말이 원천 단말이 전송하는 첫 패킷을 올바르게 복원한다고 가정하고, 한 패킷의 최대 전송 횟수까지 페이딩 값이 바뀌지 않는 블록 페이딩 환경에서 적응 재전송 기법을 제시한다. 변조 방식으로 BPSK를

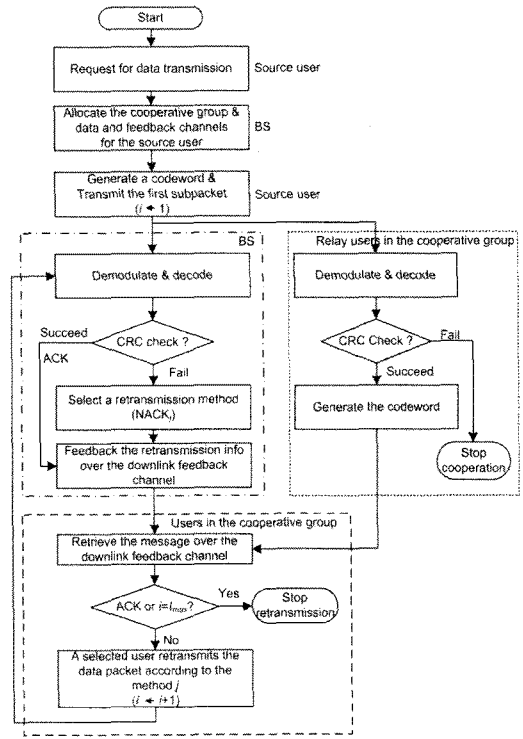


그림 3. 사용자 협력 전송 방식의 순서도

적용할 경우 i 째 전송에서 선택된 부분 패킷에 대한 변조 심볼을 $s_i = \{s_{i,j}, 0 \leq j \leq L_i - 1\}$ 로 두면, 기지국이 i 째 전송에서 수신한 심볼 열은 다음과 같다.

$$r_{i,l} = \sqrt{E_k} \alpha_k s_{i,l} + n_{i,l} \quad (1)$$

여기서, k_i 는 i 째 전송에서 선택된 단말, E_k 와 α_k 는 선택된 단말의 심볼 에너지와 페이딩 이득, $n_{i,l}$ 은 i 째 전송의 l 째 심볼 구간에서의 덧셈 잡음이다.

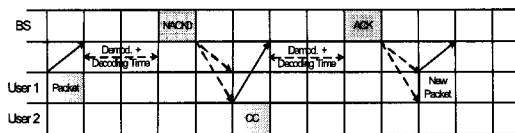
첫 전송에서의 송신 단말은 원천 단말이고 ($k_1 = 1$), 변조 심볼열 s_1 은 부분 패킷 c_1 의 BPSK 변조 값이다. 제안하는 적응 재전송 방법은 $i \geq 2$ 일 때 현재까지 수신된 정보 비트에 대한 결합 신호대 잡음비를 기준으로 s_i 로 대응하는 부분 패킷 c_j 을 결정하고, 단말 채널 품질 정보에 따라 k_i 를 결정한다. 이를 수식화하기 위해 k 째 단말의 수신 신호대 잡음비를 $\Gamma^{(k)} = E_k |\alpha_k|^2 / N_0$ 으로 정의하면, $(i-1)$ 째 전송까지 반복 전송에 의한 정보 비트의 결합 신호대 잡음비는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z_{i-1} = \sum_{m=1}^{i-1} I^{(k_m)} \quad (2)$$

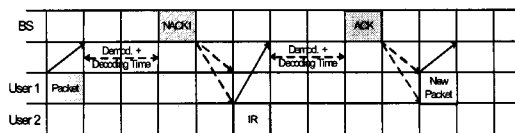
기지국은 Z_{i-1} 가 문턱값 T_{cc} 보다 작으면 반복 전송을 선택하고, 문턱값 T_{cc} 보다 크면 패리티 증가 방식을 선택한다. 여기서, 문턱값 T_{cc} 는 시스템이 적용하는 채널 부호화 기법에 대한 성능 평가로 미리 결정하여 제공한다. 일단 재전송 방법으로 패리티 증가 방식을 선택하면 그 이후 모든 재전송은 패리티 증가 방식으로 선택한다. 기지국이 추가적으로 협력 그룹 단말들의 신호대잡음비 $\{\Gamma^{(k)}\}$ 를 모두 알 경우 재전송 단말은 신호대잡음비가 가장 센 단말로 결정한다.

제안 기법을 구현하는 한 예로 협력 그룹 내의 단말 수가 2이고 ($M=2$), $L_{max}=2$, 피드백 정보가 2 비트일 때의 전송 프로토콜을 그림 4에 도시하였다. 그림에서 User 1과 User 2는 각각 원천 단말과 릴레이 단말에 의한 반복 재전송을 뜻하는 'NACK1' (그림 4(a)), 릴레이 단말에 의한 패리티 증가 재전송을 뜻하는 'NACK2' (그림 4(b)), 원천 단말에 의한 패리티 증가 재전송을 뜻하는 'NACK3'가 있다 (그림 4(c)). 여기서, 두 비트로 제한된 피드백 정보를 가장 잘 사용하기 위해 성능 향상이 거의 없는 원천 단말에 의한 반복 재전송은 제외하였다.

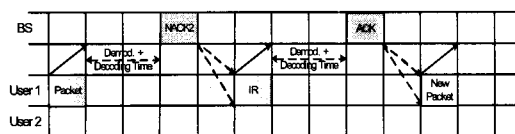
기지국이 두 단말로부터의 수신 신호대잡음비 $\Gamma^{(1)}$ 와 $\Gamma^{(2)}$ 를 모두 아는 경우, $\Gamma^{(1)}$ 와 T_{cc} 을 비교하여 재전송 기법을 결정하고, $\Gamma^{(1)}$ 과 $\Gamma^{(2)}$ 를 비교



(a) 릴레이 단말에 의한 반복 (CC) 재전송.



(b) 릴레이 단말에 의한 패리티 증가 (IR) 재전송.



(c) 원천 단말에 의한 패리티 증가 (IR) 재전송.

그림 4. $M=2$ 일 때 적응 재전송 예.

하여 재전송 단말을 선택한 뒤 'ACK', 'NACK1', 'NACK2', 'NACK3' 가운데 한 피드백 정보를 전달하도록 한다. 기지국이 각 단말의 신호대잡음비를 모르고, 첫 전송으로부터 원천 단말로부터의 수신 신호대잡음비 $\Gamma^{(1)}$ 만을 알 수 있는 경우, $\Gamma^{(1)}$ 와 T_{cc} 을 비교하여 재전송 기법만을 결정하고 항상 릴레이 단말이 재전송하도록 한다. 이 경우 피드백 정보는 'ACK', 'NACK1', 'NACK2'만을 쓴다.

IV. 모의실험 결과

본 절에서는 적응 재전송을 적용한 사용자 협력 하이브리드 ARQ 전송 방식의 성능을 모의실험으로 살펴본다. 하이브리드 ARQ 전송을 위해 1xEV-DO 시스템의^[12] 터보 부호와 인터리빙 방식을 사용하였다. CRC를 포함하여 전체 정보 비트 블록의 크기는 $K=402$ 이고, 첫 전송 부호율은 $r_1=1/2$ 또는 $2/3$ 으로 설정하였다. 수신단에서 채널 상태 정보는 완벽하다고 가정하였으며, 터보 복호의 반복 횟수는 8로 설정하였다.

그림 5는 먼저 반복 재전송과 패리티 증가 재전송을 결정하는 문턱값 T_{cc} 를 얻을 수 있도록, 부호화 패킷의 첫 전송과 재전송에 대한 신호대잡음비를 각각 A_1, A_2 로 할 때 반복 재전송과 패리티 증가 재전송에 대한 패킷오류율을 비교한 것이다. 그림에서 $r_1=1/2, L_1=L_2=804, A_1=-12, -10, -8$ dB로 고정하고 A_2 를 바꾸며 성능을 도출하였다. 첫 부분 패킷의 신호대잡음비가 $A_1=-12$ dB와 같이 매우 낮은 경우 반복 재전송이 ('CC') 패

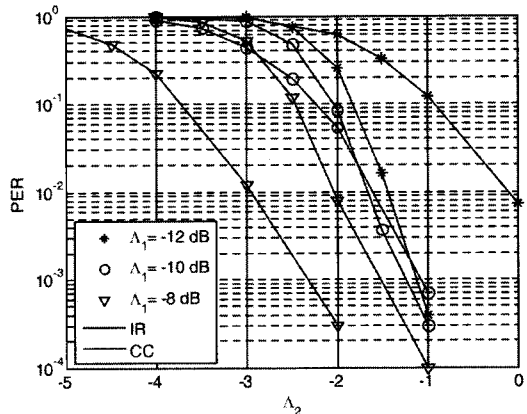


그림 5. AWGN 환경에서 릴레이 단말의 신호대잡음비에 따른 패킷오류율.

리터 증가 ('IR') 재전송보다 성능이 크게 좋아짐을 볼 수 있다. 이는 터보 부호의 반복 복호가 올바른 결과로 수렴하기 위해서는 정보 비트 에너지가 충분히 커야 하기 때문이다. 첫 부분 패킷의 신호대잡음비가 $A_1 = -10$ dB로 증가하면 반복 전송과 패리티 증가 방식의 성능이 교차하는 데, 이로부터 문턱값 T_{cc} 가 약 -10 dB 근처임을 알 수 있다. 또한 논문에 결과 그래프를 보이지 않았지만 $r_1 = 2/3$ 일 경우 문턱값 T_{cc} 는 약 -9 dB로 얻을 수 있었다.

그림 6-9는 협력 그룹에 원천 단말과 릴레이 단말이 하나씩 있는 $M=2$ 인 조건 하에, 레일리 페이딩 채널에서의 평균 전송률을 각각 다른 조건에서 보인 것이다. $\Gamma^{(1)}$ 와 $\Gamma^{(2)}$ 는 원천 단말과 릴레이 단말의 페이딩 채널에서의 순간 신호대잡음비이고 $E\{\Gamma^{(1)}\}$ 와 $E\{\Gamma^{(2)}\}$ 는 그에 대한 평균값이다. 그림에서 'IR only' ('CC only')는 릴레이 단말이 항상 패리티 증가 (반복) 재전송을 할 때의 성능이고, 'Adaptive2'는 $\Gamma^{(1)}$ 만을 알고 있을 때 재전송 기법만 선택한 경우, 'Adaptive3'은 $\Gamma^{(1)}$ 과 $\Gamma^{(2)}$ 를 기반으로 재전송 기법과 재전송 단말을 모두 선택할 때의 성능이다.

그림 6과 7은 첫 전송 부호율이 $r_1 = 1/2$ 이고 최대 전송 횟수가 $I_{max} = 2$ 일 때의 평균 전송률을 보인 것이다. 원천 단말과 릴레이 단말의 평균 신호대잡음비에 따라 'CC only'와 'IR only' 성능이 교차함을 볼 수 있다. 제안한 'Adaptive2' 방식은 $\Gamma^{(1)}$ 에 따라 재전송 기법을 선택함으로써, 'CC only'와 'IR only' 방식 가운데 좋은 성능으로 수렴한다. 한편, 'Adaptive3'을 적용할 경우 그림 6에서는

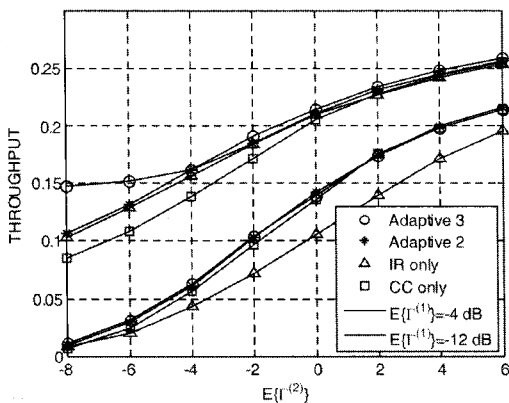


그림 6. $M=2, r_1=1/2, I_{max}=2$ 일 때, 릴레이 단말의 신호대잡음비에 따른 전송률.

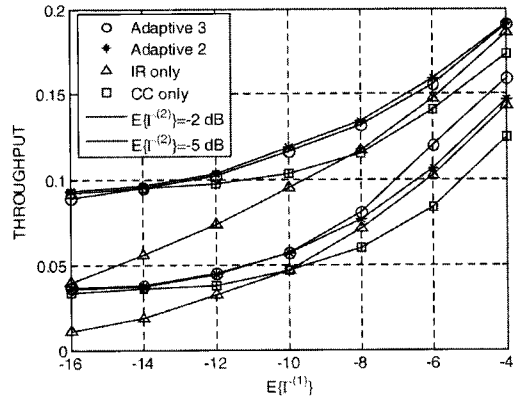


그림 7. $M=2, r_1=1/2, I_{max}=2$ 일 때, 원천 단말의 평균 신호대잡음비에 따른 전송률

$E\{\Gamma^{(1)}\} = -4$ dB, $E\{\Gamma^{(2)}\} < -2$ dB일 때, 그림 7에서는 $E\{\Gamma^{(2)}\} = -5$ dB, $E\{\Gamma^{(1)}\} > -5$ dB일 때 'Adaptive2'보다 성능이 좋다. 즉, 기지국이 릴레이의 순간 신호대잡음비 정보를 알 수 있다면 릴레이 단말이 원천 단말보다 순간 신호대잡음비가 낮은 영역에서 재전송 단말을 효율적으로 선택함으로써 전송률을 더욱 높일 수 있다.

그림 8은 그림 6에서 $r_1 = 2/3, I_{max} = 3$ 으로 바꾸고 원천 단말의 평균 신호대잡음비를 $E\{\Gamma^{(1)}\} = -12$ dB로 할 때의 성능을 보인 것이다. 그림 6에서 $E\{\Gamma^{(1)}\} = -12$ dB인 경우와 비교하면, 그림 8이 첫 전송 부호율은 높지만 지연 시간을 허용하여 재전송 횟수를 늘림으로써 전체 전송률을 향상시킬 수 있다. 한편, $r_1 = 1/2$ 이고 $I_{max} = 2$ 인 그림 6에서는 'CC only'가 'IR only'보다 항상 우수한 성능

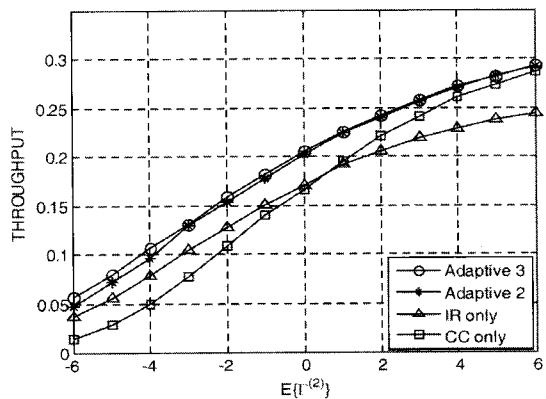


그림 8. $M=2, r_1=2/3, I_{max}=3, E\{\Gamma^{(1)}\} = -12$ dB일 때, 릴레이의 평균 신호대잡음비에 따른 전송률.

을 보인 반면, $r_1=2/3$ 이고 $I_{max}=3$ 인 그림 8에서는 $E\{\Gamma^{(2)}\} < 0.5$ dB이면 'CC only'가 'IR only'보다 성능이 나빠짐을 볼 수 있다. 이는 첫번째 전송에서 부호율이 높을 경우 반복 전송보다 패리티 증가 재전송이 복호 성능 이득에 더 도움이 되기 때문이다.

그림 9-10은 협력 그룹 내의 단말 수가 M 일 때 재전송 시 재전송 기법뿐만 아니라 재전송 단말을 선택할 때의 평균 전송률을 보인 것이다. 원천 단말의 평균 신호대잡음비는 $E\{\Gamma^{(1)}\}$ 이고, 릴레이 단말의 평균 신호대잡음비는 모두 $E\{\Gamma^{(2)}\}$, $i=2,3,\dots,M$ 로 같다고 둔다. 그림 9는 $r_1=1/2$ 이고 $I_{max}=2$ 일 때의 성능, 그림 10은 $r_1=2/3$ 이고 $I_{max}=3$ 일 때의 성능이다.

그림 9와 그림 10에서 볼 수 있듯이 릴레이 단말의 신호대잡음비 $E\{\Gamma^{(2)}\}$ 가 낮더라도 협력 그룹 내의 단말 수가 늘어남에 따라 가장 채널 상태가 좋은 릴레이 단말을 선택함으로써 전송률이 최댓값으로 수렴함을 볼 수 있다. 이러한 성능 향상은 피드백 정보가 $(1 + \lceil \log_2^M \rceil)$ 만큼 증가하고 기지국이 모든 릴레이의 채널 상태 정보를 알아야 하는 오버헤드 및 복잡도 증가로 얻을 수 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 피드백 오버헤드가 한 비트 증가함에 따라 성능 이득은 거의 2배씩 증가함을 볼 수 있다. 또한, 그림 10에서는 재전송 횟수를 늘림으로써 그림 9보다 보다 낮은 $E\{\Gamma^{(2)}\}$ 값에서 전송률이 최댓값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 셀룰러 시스템의 상향 링크에서 단말들이 협력으로 적응 재전송을 수행하는 하이브리드

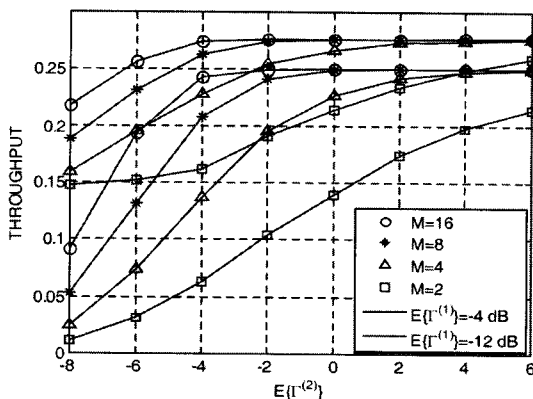


그림 9. 협력 그룹 내 단말 수가 M 이고, $r_1=1/2$, $I_{max}=2$ 일 때 재전송 단말을 선택하는 제안 방법의 전송률.

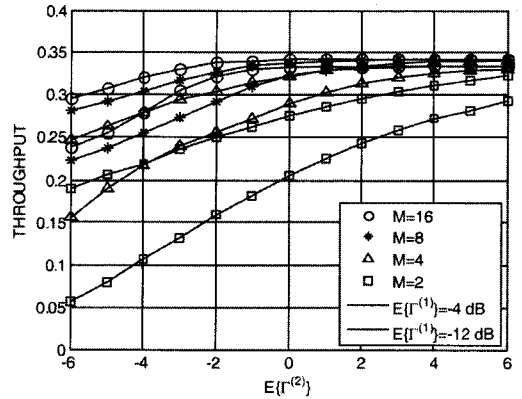


그림 10. 협력 그룹 내 단말 수가 M 이고, $r_1=2/3$, $I_{max}=3$ 일 때, 재전송 단말을 선택하는 제안 방법의 전송률.

리드 ARQ 방식을 제안하였다. 제안하는 방식은 정보 비트의 수신 품질에 따라 반복 또는 패리티 증가 재전송 방식을 결정하는 한편, 협력 그룹 단말들의 채널 상태 정보가 있을 경우 추가적으로 재전송 단말을 선택한다. 제안한 방식을 적용하기 위해 재전송 방식을 결정하는 문턱값을 모의실험으로 얻었으며, 문턱값을 이용한 적응 재전송 기법의 성능을 평가하였다.

제안 방식은 재전송 방식을 알맞게 선택함으로써 특히 원천 단말의 신호대잡음비가 매우 낮을 때의 전송률을 향상시킨다. 추가적으로 각 단말의 채널 상태 정보를 이용하여 재전송 단말을 선택하면 피드백 오버헤드는 증가하지만 넓은 신호대잡음비 범위에서 전송률을 향상시킬 수 있다. 특히, 협력 그룹 단말 수를 2-4로 제한하면 1-2 비트의 피드백 오버헤드로 전송률을 크게 높일 수 있다. 향후 제안 기법의 실제적인 적용을 위해서 단말과 기지국 사이의 채널 품질뿐만 아니라 원천 단말과 릴레이 단말 사이의 채널 품질을 함께 고려한 효율적인 릴레이 선택 방법을 연구할 계획이다.

참고 문헌

- [1] G.J. Foschini and M.J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas," *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.
- [2] T.M. Cover and A.A.E. Gamal, "Capacity theorems for the relay channel," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 25, no. 5, pp. 1927-1948, Sept. 1979.

- [3] B. Zhao and M.C. Valenti, "Distributed turbo coded diversity for relay channel," *Electr. Letters*, vol. 39, no. 10, pp. 786-787, May 2003.
- [4] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part I: System description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1938, Nov. 2003.
- [5] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity-Part II: Implementation aspects and performance analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [6] M. Janani, A. Hedayat, T.E. Hunter, and A. Nosratinia, "Coded cooperation in wireless communications: space-time transmission and iterative decoding," *IEEE Trans. Sig. Process.*, vol. 52, no. 2, pp. 362-371, Feb. 2004.
- [7] A. Nosratinia, T.E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [8] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 50, pp. 3062-3080, Dec. 2004.
- [9] B. Zhao and M.C. Valenti, "Practical realy networks: a generalization of hybrid-ARQ" *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 1, pp. 7-18, Jan. 2005.
- [10] T.E. Hunter and A. Nosratinia, "Diversity through coded cooperation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 1-7, Feb. 2006.
- [11] P. Frenger, S. Parkvall, and E. Dahlman, "Performance comparison of HARQ with Chase combining and incremental redundancy for HSDPA," *Proc. IEEE VTC*, pp. 1829 - 1833, Atlantic City, USA, Oct. 2001.
- [12] 3GPP2 C.S0002-C, v2.0, "Physical layer standard for cdma2000 spread spectrum systems," July 2004.

강 성 교 (Sung Kyo Kang)

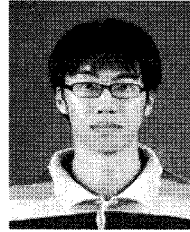
정회원



2005년 2월 경희대학교 전자공학과 공학사
 2007년 2월 경희대학교 전자공학과 공학석사
 2007년 2월~현재 Airpoint 소프트웨어팀 연구원
 <관심 분야> 이동통신, 통신이론

왕 진 수 (Jin Soo Wang)

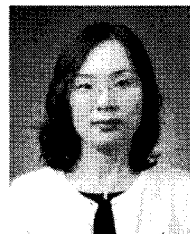
학생회원



2008년 2월 경희대학교 전자정보학부 공학사
 2009년 2월~현재 경희대학교 전자전파공학과 석사과정
 <관심분야> 이동/무선 통신, 협력 다양성 기술, 무선 자원 할당

김 윤 희 (Yun Hee Kim)

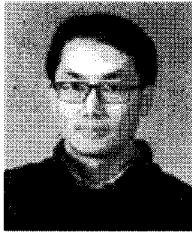
중신회원



1995년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학사
 1997년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 2000년 1월~2000년 4월 UCSD 방문 연구원
 2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사
 2000년 9월~2004년 8월 한국전자통신연구원 선임 연구원
 2004년 9월~현재 경희대학교 전자정보학부 조교수, 부교수
 2006년 1월~현재 IEEE 선임회원, 한국통신학회 논문지 편집위원
 <관심분야> 이동/무선 통신, 통신이론, 통계학적 신호처리, 부호및정보이론

송 익 호 (Ickho Song)

중신회원



1982년 2월 1984년 2월 서울대
학교 전자공학과 공학사 (준
최우등), 공학석사

1985년 8월 1987년 5월 펜실베
니아대학교 전기공학과공학
석사/박사

1987년 3월~1988년 2월 벨 통

신 연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조
교수, 부교수, 교수

1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원

1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상

1993년 11월 한국음향학회 우수연구상

1998년 11월 한국통신학회 LG학술상

1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상

2000년 3월 젊은 과학자상

2000년 11월 한국통신학회 모토롤라학술상

2006년 11월 한국통신학회 해동정보통신 학술상

2007년 1월 영국 공학기술학회 우수업적상

대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회
원, IET 석학회원, IEEE 준석학회원

<관심분야>통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파
와 추정, 이동통신