

# 무선 채널의 협업 통신을 위한 Hybrid ARQ-II 프로토콜 성능 분석

## Performance Analysis of Hybrid ARQ-II Protocol for Cooperative Communication in Wireless Channel

박인혜\*            이성훈\*\*            이형근\*\*\*  
(In-Hye Park)    (Sung-Hun Lee)    (Hyung-Keun Lee)

### 요약

무선 매체로의 전송은 유선 매체로의 전송에 비해 낮은 신뢰성과 전송의 안정성이라는 단점을 갖는다. 이를 위한 하나의 대안으로 협업 통신의 다이버시티 효과와 채널 코딩 방법을 통한 오류 정정 효과를 사용하고자 한다. 본 문에서는 전송의 신뢰성 향상을 위해 RCPC codes와 Hybrid-ARQ type-2 전송 방식을 사용한 협업 통신 시스템을 제안하고 그에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과로 기존의 전송에 비해 제안한 시스템이 낮은 BER값을 가져옴을 보였다. 또한 릴레이 노드와 목적지 노드 사이의 채널 상태보다 소스 노드와 릴레이 노드 사이의 채널 상태가 시스템 성능에 더 중요하다는 사실을 확인하였다.

### Abstract

Wireless media communication has lower robustness and stability than wired communication because of narrow bandwidth and unstable channel state. To make up for the deficient points of wireless communication, we used the diversity effect of cooperation communication and the error correction effect of channel coding schemes. In this paper, the cooperative communication system with RCPC codes and Hybrid ARQ transmission scheme is proposed for improving reliability on wireless communication, and we executed these simulations. From the simulation results, proposed system is showed lower BER performance than legacy system. In addition, we confirm the fact that the channel state of Relay-node and source-node is more important than the channel state of Relay-node and destination-node.

**Key words:** Cooperative communication, RCPC codes, hybrid ARQ type-2

※ 본 논문은 2008년도 광운대학교의 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음

※ 본 논문은 2009년도 서울시 산학연 협력사업의 「나노IP/SoC설계기술혁신사업단」의 지원으로 연구되었음

\* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정

\*\* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정

\*\*\* 공저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 9월 25일

† 논문심사일 : 2009년 11월 19일(1차), 2009년 12월 11일(2차)

† 게재확정일 : 2009년 12월 14일

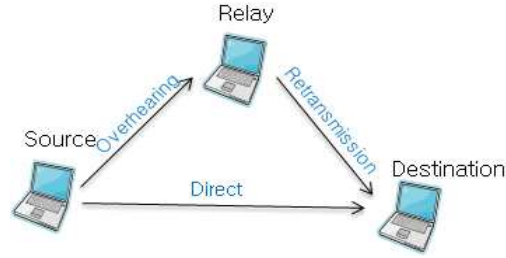
## I. 서론

현재 무선 통신상에 다이버시티(diversity)의 효과를 갖게 하는 방법은 여러 가지가 존재한다. 그 중의 하나로 MIMO의 공간 다이버시티 효과를 낼 수 있는 협업 통신(Cooperative communication)이 있다. 이는 범위 내의 네트워크 안에 단일 안테나를 가진 노드들이 서로 가상 안테나 배열(virtual antenna array)로 작용하여 MIMO 기술과 같은 다이버시티의 효과를 보이게 함으로써 무선 전송에 안정성을 더한다 [1]. 본 논문에서는 협업 통신의 바로 이런 공간 다이버시티 효과와 오류 정정기능을 갖는 채널코딩이 사용된 Hybrid ARQ 재전송 방식의 시스템에 대하여 제안하려고 한다.

협업 통신은 무선 매체에서의 전송이 브로드캐스트 된다는 사실을 이용한 것으로, 릴레이(Relay)는 목적지(Destination) 노드에게 보낼 데이터를 오버허어링(overhearing)하여 재전송 해줌으로써 소스(source) 노드와 목적지 노드 입장에서 가상 안테나처럼 동작한다. 그림 1에 나타난 것처럼 소스 노드가 목적지노드에게로의 전송하는 경우를 보자. 만일, 데이터의 일부가 손실되어 목적지 노드에서 그를 받아들일 수 없을 때, 비교적 나은 조건을 갖는 제 3의 노드인 릴레이 노드가 목적지 노드에게 마치 다중홉 전송처럼 데이터를 재전송 하도록 한다.

통신 시스템 상에서 오류 발견(error detection) 기능이 사용될 시, 수신된 패킷중 하나의 비트라도 오류가 발생할 경우에 그 패킷은 버려지게 된다. 비록 오류가 존재한다고 해도 이미 미디어이라는 자원을 소모하여 전송된 패킷을 다음 재전송 될 패킷과 조합하여 데이터 수신 성공률을 높인다면, 비교적 자원의 사용이 제한적인 무선 전송의 입장에서 효율적일 것이다. 바로 이 개념이 앞으로 설명할 Hybrid ARQ type-2 기법으로, 채널 코딩 기법과 함께 사용되어 특정 개수 이하의 비트 오류를 정정할 수 있게 한다.

본 논문에서는 이런 특징을 지닌 협업 통신과 RCPC (Rate-compatible punctured convolutional) codes 를 사용한 Hybrid ARQ type-2 방식을 접목시켜 데



<그림 1> 협업 통신의 구조

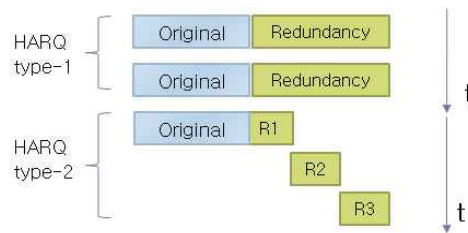
<Fig. 1> Structure of cooperative communication

이터 전송의 효율을 극대화 시키고자 한다 [2]. 2절에서 협업 통신과 Hybrid ARQ(HARQ) 방식을 살펴볼 것이며, 3절에서는 협업 통신과 HARQ 방식을 어떻게 접목 시켰는지에 대해 보다 자세히 소개를 할 것이다. 그리고 마지막으로, 설계된 알고리즘에 따른 시뮬레이션의 결과를 보이고 그에 대해 채널 상태를 기준으로 분석을 진행 할 것이다.

## II. 관련 연구

### 1. RCPC codes를 이용한 HARQ type-2

사용 중인 무선 환경이 피드백이 가능한 채널이라고 한다면, 오류를 발견하고 재전송하는 ARQ 방식과 함께 오류를 정정해주는 기법인 FEC (Forward Error Correction)를 사용하여 신뢰성 있는 전송의 효과를 볼 수 있다[3]. 이처럼 ARQ/FEC를 사용한 기법을 HARQ라고 하며 다시 성격에 따라서 type-1과 type-2로 나눌 수 있다(그림 2). type-1은 언제나 FEC를 위한 잉여데이터를 포함한 전체 코드워드를 모두



<그림 2> HARQ type-1 and type-2

<Fig. 2> HARQ type-1 and type-2

보내는 반면에, type-2는 전체 코드워드에서 데이터를 일부분씩 나눠서 전송하고 목적지 단에서 그 조합을 통해 원본 데이터로 복호 하도록 한다. 이는 언제나 이전 데이터와 현재 데이터가 모두 복호화에 사용되기 때문에, 이 경우에는 비록 원본 데이터로 복호되지 못한 전송 패킷이 버려지지 않고 다음 수신 패킷과 결합하여 복호화 되기 때문에 미디엄 사용에 효율적이다.

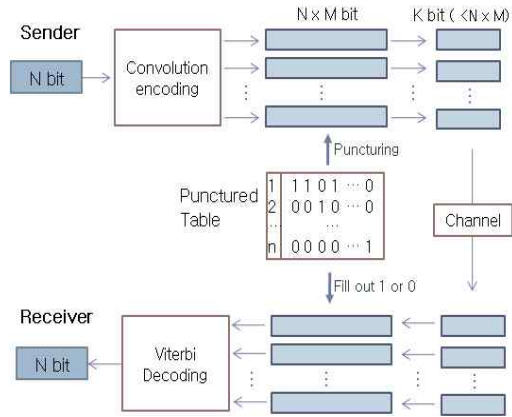
오류 정정을 위한 채널 코딩 중 하나인 컨벌루션(Convolution) 부호화와 비터비(Viterbi) 복호화를 이용한 RCPC codes는 HARQ type-2의 기법에 아주 적절히 사용될 수 있다[2]. RCPC codes는 평처드 표에 의거하여 컨벌루션 부호화 된 전체 코드 워드의 일부를 삭제해 수신 단에게 전송한다. 즉 코드워드의 일부 비트를 삭제해 별도의 코딩 없이도 보다 높은 코드율의 코드워드를 만들어 보낼 수 있는 것이다.

그림 3에 RCPC codes가 적용된 시스템의 개요가 나타나 있다. 송신 단에서 평처드 표를 기준으로 코드 워드의 데이터를 삭제(0) 혹은 보존(1)하여 보내고, 수신 단에서는 동일한 표를 기준으로 보존 위치의 비트는 그대로 두고 삭제된 위치의 비트 자리에 임의의 비트(0 혹은 1)를 채워서 디코딩을 진행한다. 평처링되어 몇 비트가 삭제된 패킷을 수신한다고 해도 보존된 비트를 오류 없이 수신한다면, 원본 메시지의 복호 확률이 높아진다. 만일 평처링된 패킷의 복호화가 실패 한다고 해도 RCPC codes의 특성상 n-1번의 재전송이 이뤄지면 수신단에서는 모든 패킷을 조합하여 평처링되지 않은 원래의 컨벌루션 코드와 유사한 코드워드(전송과정에서 오류가 발생했을 수 있으므로)로 조합하여 원본 메시지의 복호화 할 수 있는 것이다.

2. 협업 통신

협업 통신은 단일 안테나를 가진 노드들 사이에서 가상 안테나 배열을 이용해 MIMO의 공간 다이버시티 효과를 가져 올 수 있는 통신 기법이다. 이는 소스노드와 릴레이(들) 각각으로부터 두 가지 이상의 경로를 가상 안테나 배열로 작용시켜 각기 다른 경

로로부터 발생하는 공간적 다이버시티 효과를 이룬다. MIMO와 같이 PHY 레벨에 별도의 추가적인 장치나 신호 처리가 필요하지 않고 MAC 레벨에서 논리적인 동작 매커니즘의 설계만으로 공간 다이버시티의 효과를 낼 수 있기 때문에 비용적인 장점 역시 취하고 있다 [1, 4].



<그림 3> RCPC codes가 적용된 HARQ type-2 방식의 데이터 전송

<Fig. 3> Data transmission using HARQ type-2 with RCPC codes

본 논문의 시스템에서는 협업 통신을 위한 대표적인 세 가지 릴레이 전달 방식 중 DF [1]방식을 채택하였다. RCPC codes 로 평처링 된 패킷을 릴레이가 성공적으로 복호한 경우에만 그 데이터를 다시 재부호화하고 평처링 하여 전송할 수 있도록 하였다.

3. DF 방식의 협업 통신과 ARQ 및 FEC

[5,6]은 협업 통신에 ARQ를 적용하여 연구했다. 일단 소스 노드의 전송이 지난 후에 일정 시간 동안 목적지 노드로 부터의 ACK가 수신되지 않으면, 데이터를 오버헤어링한 주변의 모든 노드들이 릴레이 노드로서 자동으로 재전송에 참여토록 했다. 특히 [5]에서는 재전송을 위한 원본 데이터를 작은 블록 단위로 나누어 개별적인 랜덤 백오프로 인해 선택된 릴레이가 무작위로 블록을 전송하기 때문에 재전송

의 부담이 덜하고 만약 수신된 블록이 본 데이터 패킷의 오류 부분이었다면 짧은 미디어 점유로 전송 성공을 이뤄내는 효율 역시 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 정확히 오류가 발생한 지점의 블록이 아닌 무작위로 선택된 블록이 전송된다는 점과 명확한 FEC 기능의 부재로 인한 오류 정정의 불확실성으로 링크의 신뢰성을 크게 상승시키기는 어려운 것이다.

[7]에서는 특정 MAC 프로토콜에 ARQ 기법을 적용하여 제안한 것이 아니라 기존의 ARQ 기법을 이용하는 노드들이 서로 협력하여 공간 다이버시티를 얻을 수 있도록 수정하였다. 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 물리 계층 기법인 MRC (Maximal Ratio Combining) 기법이 쓰인 AWGN 채널과 Rayleigh 채널에서 BER 관점에서 수식으로 비교하여 제안한 기법이 MRC보다 우수함을 나타내었다. 또한 제안한 ARQ 기법은 단순한 RF 하드웨어를 사용할 수 있고 소프트웨어 업그레이드를 통해 기존의 시스템을 쉽게 업그레이드 할 수 있기 때문에, 에너지-제한적인 무선 네트워크 (예를 들어, 무선 센서 네트워크)에서 쉽게 사용할 수 있다는 장점을 지닌다.

[8]는 협업 통신에 ARQ와 FEC 모두를 적용하였다. FEC 방식으로는 W-CDM 및 CDAM-2000에 사용되는 MIMO의 주요 아키텍처 STBC(space-time block coding)를 채택하였다. 전송에 있어 시간 슬롯을 2개로 나누어 첫 슬롯에서 소스 노드가 심볼 블록을 보내고 만일 이가 성공적으로 수신되지 않았다면 두 번째 슬롯에서는 STBC의 matrix가 적용된 심볼 블록들을 소스와 릴레이가 동시에 전송토록 하였다. 여기서 이는 두 matrix의 가상 직교성으로 인해 소스 노드와 릴레이 노드의 동시 전송이 가능할 뿐 아니라 통신의 신뢰성 역시 높일 수 있다 [7]. ARQ와 FEC를 지원하므로 오류정정 및 신뢰도 향상의 장점을 갖지만, 그러나 이 논문은 모든 노드들이 반드시 STBC를 지원하는 하드웨어를 갖추어야 한다는 제한적인 하위 호환성을 지원한다.

DF방식을 채택한 협업 통신에서는 각 노드들 사이의 채널 상태가 중요하게 작용한다. 릴레이 선택에 조건에 대하여 서술하고 있는 [9]에서도 소스-목

적지 노드와 릴레이 노드 사이의 각 채널상태가 중요하게 작용하고 있음을 언급한다. 이는 [4]에서 협업 통신은 릴레이가 수신한 데이터를 복호하여 목적지 노드로 재전송을 이뤄야 하기 때문에 릴레이의 채널 값, 특히 소스와 릴레이 노드 사이의 채널 상태가 특정 수준 이상이 되어야 한다는 것을 말하고 있다. 그리하여 본문에서는 [3]의 내용을 기반으로 하여 노드 간 각 채널 상태에 따라서 데이터의 전송 성공률이 어떻게 달라지는지를 알아보고 더욱 나아가 릴레이 선택 알고리즘에 적용될 가장 중요한 요소에 대하여 언급 할 것이다.

### III. 협업 HARQ 통신 시스템

본 절에서 RCPC codes를 이용한 HARQ 협업 통신 시스템을 제안한다. 기존 협업 통신의 연구와 달리 하드웨어적 장치를 추가하지 않고 채널 코딩을 통한 오류 정정효과를 이용해 단순 협업 (ARQ) 기법보다 높은 신뢰성을 지원하는 시스템에 대하여 설명할 것이다.

협업 통신에 RCPC codes를 이용한 HARQ방식을 함께 도입함으로써 낮은 SNR의 채널 환경에서 더욱 효과적으로 전송을 이루는 것이 가능하기 때문에 시스템의 전송 신뢰도는 더욱 높아질 수 있다. 소스 노드에서 보내고자 하는 x-bit의 원본 데이터 메시지를 m이라 하고 이를 컨벌루션 채널 코딩한 y-bit의 코드워드를 C라고 하자. 소스노드는 목적지 노드로 데이터를 전송하기 위하여 C를 평처링하여 코드율(R1, R2, ..., Rn; R1 > R2 > ... > Rn, 단 Rn은 마더코드)을 조절한 평처링된 코드워드(C1, C2, ... Cn; C1UC2U...UCn = C)를 순차적으로 전송한다. 코드율을 결정하는 평처링 테이블은 네트워크 내에 모든 노드들이 같은 내용을 공유하고 있기 때문에 수신된 코드워드를 테이블의 내용대로 모두 조합한다면 결과적으로 목적지 노드에서는 C'를 얻을 수 있고, 이를 통해 오류를 포함한 C'가 조합돼도 m을 복호할 확률이 높일 수 있다.

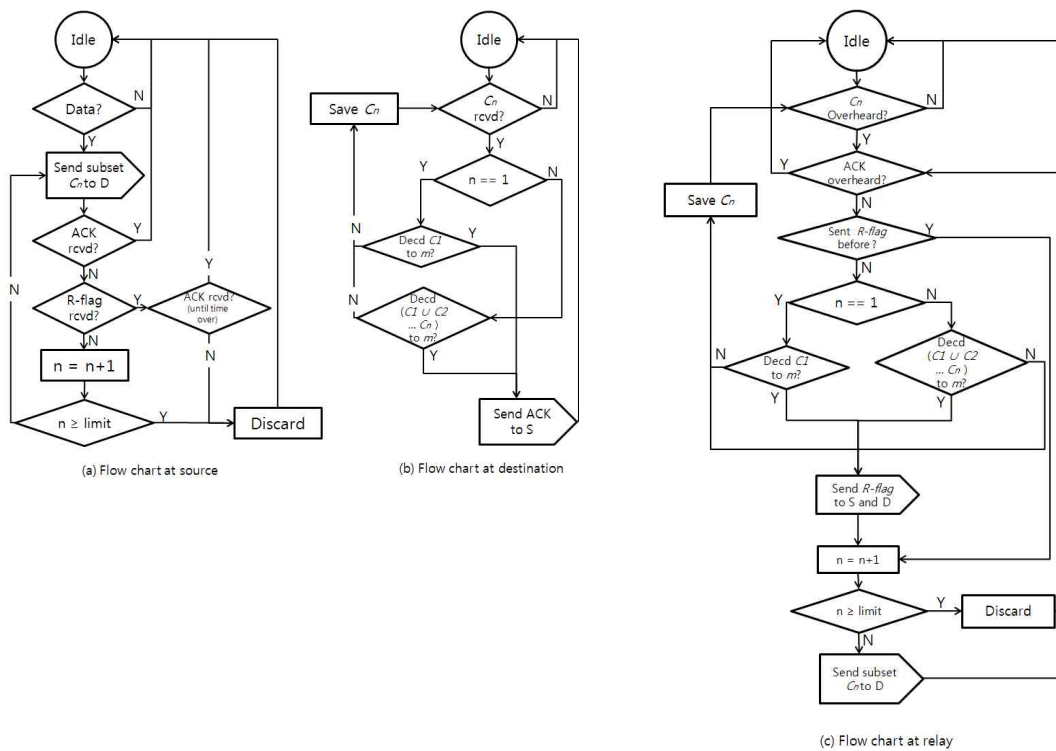
소스 노드는 처음 C1을 목적지 노드로 전송(이때 릴레이 노드는 C1을 오버헤어링 함)하고 이를 목적

지 노드에서  $m$ 으로 복호한다(FEC). 그러나 그렇지 못했을 경우에는  $C_2$ 를 자동 재전송 한다(ARQ). 이는 목적지 노드가  $m$ 을 성공적으로 복호 했거나, 지정된 재전송 제한 횟수에 다다를 때까지 반복된다. 이 때, 만약 릴레이 노드가  $C_1$ 의 데이터를 오버헤어링하여  $m$ 으로 성공적으로 복호한 경우,  $m$ 을 컨벌루션 하고 다시 코드율  $R_2 - R_1$ 의 코드워드, 즉  $C_2$ 로 인코딩하여 목적지 노드로의 재전송을 진행한다. 이 때, 소스 노드와 릴레이 노드는 목적지 노드의 복호화 실패를 ACK 시간 경과를 통하여 알아낸다. 그리고 릴레이 노드가 복호화에 성공하여 재전송 매커니즘에 참여하기 위한 선언으로 크기가 작은 **R-flag** 패킷을 소스와 목적지 노드에게 전송하도록 한다. 즉, 소스 노드는 자신의 데이터를 전송 한 후, ACK 시간 경과 동안 목적지 노드의 ACK를 받지 못하면 아주 짧은 시간동안 릴레이로부터의 **R-flag**를 받기위하여 기다린 후(이는 릴레이노드가 이미 선택되었다는 가정일 경

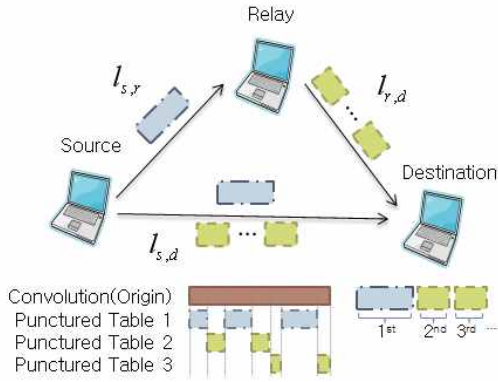
우이다.) 응답이 없을 경우에만 재전송을 시작한다.

다음 그림 4는 제안된 협업 HARQ 시스템의 흐름도이다. 그림 4(a)는 소스 노드, 4(b)는 목적지 노드 그리고 그림 4(c)는 릴레이 노드 각각을 나타낸다. 이 때,  $n$ 은 MAC 헤더의 control 프레임 재전송 비트 값+1을 나타낸다(예를 들어, 최초 전송 시의  $n$ 값은 1이다). 그림 4의 흐름도에 따른 동작을 시스템적인 전송의 모습으로 나타낸 것이 그림 5이다. 총  $u$ 단계 ( $u \geq n$ , 그림5에서  $u=3$ )로 나뉜 테이블에 따라 데이터를 전송하도록 하는데, RCPC codes의 성격에 맞춰  $C$ 의 비트들을 중복되지 않게 펼쳐링하여 패킷을 보내기 때문에 수신 노드에서 모든 재전송 과정 후에 조합된  $C'(C' \neq C$ 라고 해도)를  $m$ 으로 복호화 할 수 있다.

협업 통신의 특성상 릴레이가 전송에 합류하기 위해서는 소스 노드가 보내야 할 데이터를 정확히 지니고 있는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 특히 DF



<그림 4> 각 노드의 흐름도  
 <Fig. 4> Flow charts of each node



<그림 5> HARQ-2 협업 통신 시스템

<Fig. 5> HARQ-2 cooperative communication system

방식을 사용한 협업 통신은 릴레이에서 오버헤어링 한 데이터의 복호화의 성공 여부가 매우 중요하게 여겨진다. 그렇기에 본 통신 시스템 역시 릴레이의 복호화 여부가 협업 통신에 큰 영향을 미친다. 그림 4의(c)를 보면 릴레이가 수신한 패킷을  $m$ 으로 성공적으로 복호화 한 경우에만 협업 통신으로서 참여되도록 한 부분을 확인 할 수 있다. 릴레이의 복원 가능성이 시스템에 미치는 영향에 대하여 관련된 시뮬레이션을 다음 장에서 확인해 볼 것이다.

#### IV. 성능 평가 및 분석

본 논문에서 제안한 시스템의 성능 비교를 위해 시뮬레이션 모델을 설명하고 그 결과를 분석한다. 시뮬레이션에 앞서서 협업 통신에 사용될 릴레이는 전송 이전에 이미 선택 돼있고, 각 노드는 복호화에 실패한 이전 데이터를 저장 해 놓을 수 있는 버퍼를 MAC 레벨에 가지고 있다고 가정하였다.

본 시뮬레이션은 C++ 언어를 이용해 구현하였다. 각 노드당 상태(SNR)를 각각 설정 하도록 구현 하였고, 채널 환경은 AWGN을 사용하였으며, 모듈레이션 방식은 BPSK를 채택했다. RCPC codes 방식의 디코딩에 사용될 Viterbi는 연판정(soft decision)을 적용한 SOVA (Soft- Output Viterbi Algorithm) [10]을 사용하여 데이터 복구 가능성을 높였다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터  
<Table 1> Simulation parameters

Full PT number	Contents	Code rates
1	1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1	8/10
2	1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1	8/12
3	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1	8/14
4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	1/2 (mother code)

Punctured Table	Contents
2nd sending	0 0 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
3rd sending	0 0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
4th sending	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0

RCPC codes 디코딩에 사용될 평처링 전체 표 및 인코딩을 위한 평처링 표를 다음 표1에 나타내었다. 이는 [11]의 가장 적합한 비율의 코드율 표이다. 시뮬레이션 상에서 컨벌루션 부호화 및 복호를 위한 구속장  $K=5$ , 천공 주기  $P=8$ , 원본 데이터  $x=20,000\text{bit}$ 으로 설정하고 마더 코드의 코드율을 (1/2)로 설정했다.

목적지 노드 및 릴레이 노드에서 수신된 패킷에 대하여 완벽한 오류 검출(error detection)이 되도록 하였으며  $m$ 에 CRC의 오류 검출 코드를 헤더에 추가했다. 직접 링크(그림 5에서  $I_{s,d}$ )의 SNR값을 2.0dB로 고정시키고 링크상태  $I_{s,r}$ 를 완벽하다고 가정하고  $I_{r,d}$  링크의 SNR값을 변화시켜 총 100회 시뮬레이션 한 평균 BER 결과 값을 다음 그림 6(b)에 표시하였다.

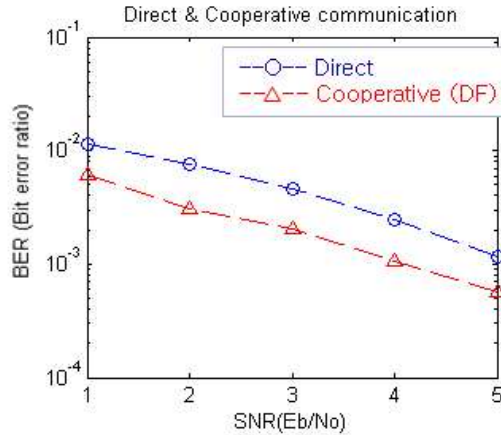
결과 값의 비교를 위하여 그림 6(a)에 단순 전송과 단순 협업 통신을 비교한 그래프를 보였고, 그림 6(b)에 직접 링크 상에서 단순 ARQ를 진행하는 시스템과 단순 협업 통신(DF)에서의 ARQ를 진행하는 시

시스템의 BER을 함께 측정했다. 그림 6(a)는  $l_{s,d}$ 의 SNR값을 x축으로 측정한 것으로, 6(b)의 진행처럼  $l_{s,r}$ 의 상태는 완벽하다고 가정하였고,  $l_{r,d}(\text{dB}) = l_{s,d} + 1$ 의 조건에서 최대 3회 재전송을 실시하도록 하여 도출한 결과이다. 6(a)를 통하여 단순 전송에 비하여 협업 통신의 적용만으로도 시스템의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

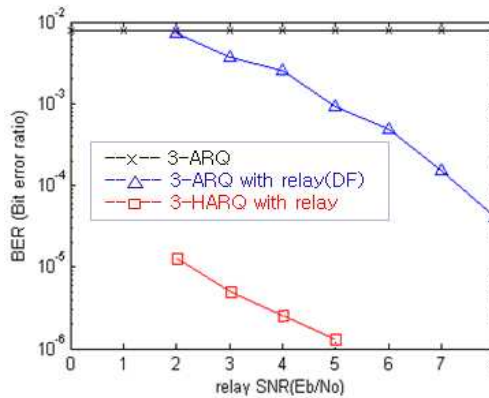
그림 6(b)의 결과로부터,  $l_{s,d} < l_{r,d}$ 를 만족하는 릴레이를 전송에 참여 시켰을 경우에 그렇지 않은 경우에 비하여 낮은 BER 값을 도출해 낸다는 것을 확인할 수 있다. 채널 상태가 좋음에 따라 DF의 적용이 단순 ARQ에 비하여 더 좋은 결과를 내는 것 외에 채널 코딩 방식을 접목시킨 것이 훨씬 좋은 결과를 냈음을 알 수 있기 때문에 이를 적용해 더욱 협업 통신의 신뢰성을 향상 시킬 수 있다.

그림 6과 같은 조건에서 100회 시뮬레이션하여 DF와 HARQ 협업 전송의 성공적인 처리량 비율에 대해 그 평균적인 결과를 그림 7에 나타내었다. 이는 추가적인 비트(패리티비트 등)는 고려하지 않고 올바르게 복호된 데이터 비트의 총 합을 기준으로 계산된 것이다. 결과적으로 협업 HARQ의 처리량이 더욱 좋음을 알 수 있다. 이는 총 3회까지의 재전송을 실시하면 원본을 단순 재전송하는 DF의 경우 총  $4 \times x\text{-bit}$ 가 전송되고, 오류 정정 기능이 없어 버려지는 비트가 많은 반면에, 협업 HARQ는 3회까지의 재전송을 한다고 해도 오직  $y\text{-bit}$ (여기서는  $2 \times x\text{-bit}$ )만이 전송되며, 이에 오류 정정 효과까지 합쳐져 3회 재전송까지 도달하지 않는 경우가 DF전송에 비해 더욱 빈번히 발생한다. 결과적으로 더 적은 비트 전송 및 더 적은 전송 시간과 더 높은 전송 성공률로 더 높은 처리량을 얻을 수 있다.

그림 8은 직접링크  $l_{s,d}$ 의 SNR값을 0.0dB로 고정하고 링크  $l_{s,r}$ 의 SNR값과 링크  $l_{r,d}$ 의 SNR값을 각각 다르게 적용하여 시행한 시뮬레이션 결과이다. 가장 두드러지게 나타나는 특징은  $l_{s,r}$ 의 SNR값이 증가함에 따라서 BER값이 (거의) 비례적으로 감소하는 반면에 같은 조건에서  $l_{r,d}$ 의 SNR의 값이 증가해도 큰 BER의 감소 효과를 볼 수 없다는 점이다. 이는 그림 7에서 점 A와 B는 큰 변화폭을 갖지만 점 B와 C는

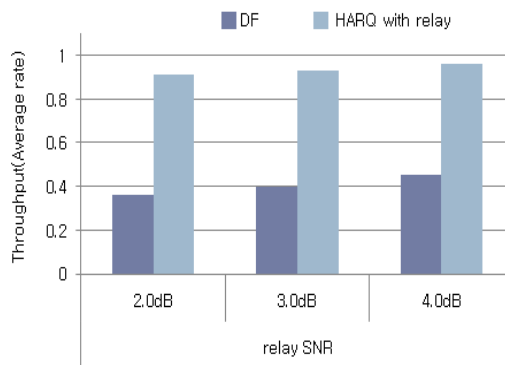


(a)



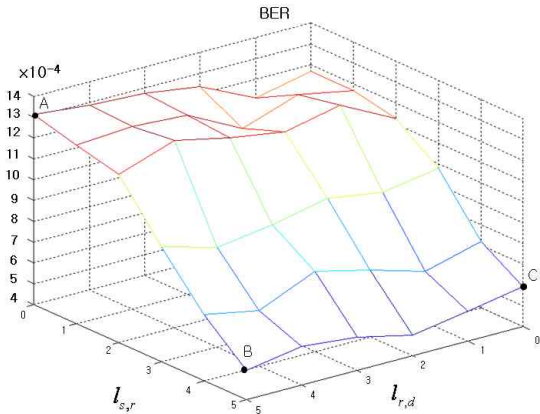
(b)

<그림 6> 직접(a)/릴레이(b) SNR값에 따른 BER  
<Fig. 6> BER followed direct(a)/relay(b) SNR



<그림 7> 평균 처리량 비율  
<Fig. 7> Average rate of throughput

거의 차이가 없다는 것으로 확인 할 수 있다. 이로부 터  $l_{s,r}$ 의 상태가  $l_{r,d}$ 의 채널 상태보다 협업 통신의 성공적인 전송 여부를 결정하는데 중요한 역할을 한다는 것[11]을 확인 할 수 있다.



<그림 8> 다양한 릴레이 채널 상태에서의 BER  
<Fig. 8> BER in various relay channel states

## V. 결 론

본 논문에서는 RCPC codes를 이용한 HARQ type-2 협업 통신 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 실시하였다. 협업 통신과 HARQ 전송의 조합은 목적지노드 입장에서(목적지 노드로의 전송 성공이 통신의 목적이다.) 같은 HARQ 사용 데이터 패킷을 비교적 적은 오류 발생 확률로 수신 할 수 있다는 장점을 갖는다는 것을 확인하였고 또한 기존의 시스템에 비해 좋은 전송 결과 값(낮은 BER)을 도출하여 전송에 신뢰성을 증대시킨다는 것을 확인하였다. 더불어 DF 전송 방식을 사용하는 협업 통신의 특성에 따라 소스와 릴레이 노드 사이의 채널 상태가 릴레이와 목적지 노드의 채널 상태 보다 전송 성공 여부에 큰 영향 미친다는 점을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

[1] P. Liu, Z. Tao, Z. Lin, E. Erkip, and S. Panwar,

“Cooperative wireless communications: A cross-layer approach,” *IEEE Communications Magazine*, pp. 84-92, vol. 13, no. 4, Aug. 2006.

[2] 박인혜, 이성훈, 이형근, “RCPC codes를 이용한 Hybrid ARQ type-2 협업 통신 시스템 성능 분석,” *한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집*, vol. 39, p. 437-439, June 2009.

[3] J. Hagenauer, “Rate-compatible punctured convolutional codes (RCPC codes) and their applications,” *IEEE Trans. Communications*, vol. 36, no. 4, pp. 389-400, Apr. 1988.

[4] A. Sendonaris and E. Erkip, “User cooperation diversity- part 1: system description,” *IEEE Trans. Communications*, vol. 51, no. 11, pp. 1927-1937, Nov. 2003.

[5] S. Shankar N. C. Chou, and M. Ghosh, “Cooperative communication MAC (CMAC) - A new MAC protocol for next generation wireless LANs,” *Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, vol. 1 pp. 1-6, June 2005.

[6] J. Alonso-Zarate and J. Gomez C. Verikoukis, L. Alonso, and A. Perez-Neira, “Performance evaluation of a cooperative scheme for wireless networks,” *Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1-5, Sept. 2006.

[7] J. M. Pozo, J. G. Vidal, and A. I. P. Neira, “Collaborative ARQ in wireless energy-constrained networks,” *Proc. Joint Workshop Foundations of Mobile Computing*, pp. 2-7, Sept. 2005.

[8] S. Moh, C. Yu, S. M. Park, and H. N. Kim, “CD-MAC: cooperative diversity MAC for robust communication in wireless ad hoc networks,” *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, pp. 1-8, June 2007.

[9] Y. Jing and H. Jafarkhani, “Single and multiple relay selection schemes and their achievable diversity orders,” *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 8, no. 3, pp. 1414-1423, March 2009.



- [10] R. M. F. Goodman and A. F. T. Winfield, "Soft-decision minimum distance sequential decoding algorithm for convolutional codes," *IEE Proc.*, vol. 128, Pt. F, no. 3, pp. 179-186, June 1981.
- [11] Y. Yasuda and K. Kashiki, "High-rate punctured convolutional codes for soft decision Viterbi decoding," *IEEE Trans. Communications*, vol. 32, no. 3 pp. 315-319, March 1984.

저자소개



박인혜 (Park, In-Hye)

2008년 3월~현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정 (무선네트워크전공)  
2004년 3월~2008년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사



이성훈 (Lee, Sung-Hun)

2004년 3월~현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정 (무선네트워크전공)  
2002년 3월~2004년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사  
1995년 3월~2002년 2월 : 강남대학교 전자공학과 학사



이형근 (Lee, Hyung-Keun)

2003년 9월~현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수 (무선네트워크전공)  
1987년 1월~1993년 9월 : 삼성전자 선임연구원  
1997년 1월~2002년12월 : Syracuse University 컴퓨터공학과 박사  
1995년 1월~1996년12월 : Syracuse University 컴퓨터공학과 석사  
1983년 3월~1987년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사