

논문 2010-47TC-11-4

# 다중 안테나 시스템에서 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ를 위한 결합 기법

( A Combining Scheme for Partial Incremental Redundancy based Hybrid Automatic Repeat Request in MIMO Systems )

박 상 준\*

( Sangjoon Park )

## 요 약

본 논문에서는 MIMO 시스템에서 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ를 위한 결합 기법을 제안한다. 제안 결합 기법은 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ에서 반복 전송되는 정보 심볼들을 위한 심볼 레벨 결합 기법이다. 본 논문에서는 제안 결합 기법이 반복 전송되는 정보 심볼들뿐 아니라 매 전송마다 새로이 전송되는 패리티 심볼들의 검출 성능 또한 향상시킴을 보인다. 모의실험 결과를 통해 제안된 결합 기법이 특히 Zero Forcing 검출 사용 시에 기존의 비트 레벨 결합 기법보다 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ의 성능을 크게 향상시킴을 확인하였다.

## Abstract

In this paper, we propose a combining scheme for partial IR based hybrid ARQ in MIMO systems. The proposed combining scheme is a symbol-level combining scheme for repeatedly transmitted systematic symbols in partial IR based hybrid ARQ. In this paper, it is shown that the proposed combining scheme can also enhance the detection performance of the parity symbols that are newly transmitted in each retransmission. Simulation results show that the proposed combining scheme significantly improves the performance of the partial IR based hybrid ARQ compared to the cases of the conventional bit-level combining scheme, especially with the ZF detection.

**Keywords :** MIMO, Hybrid ARQ, Partial IR, Symbol-level combining

## I. 서 론

ARQ (Automatic Repeat reQuest) 기법은 열악한 무선 채널에서 빈번하게 발생하는 전송 오류를 극복하기 위한 오류제어 수단으로서, 그 효율성을 극대화하기 위해 순방향 오류 정정 (FEC: Forward Error Correction) 기법과 결합된 Hybrid ARQ 방식이 널리 사용되고 있다<sup>[1~5]</sup>. Hybrid ARQ는 재전송 방법에 따라 크게 두 가지로 나누어지는데, 매 재전송마다 초기 전송과 항상

동일한 비트들을 전송하는 체이스 결합 (Chase Combining) 방식과, 매 재전송마다 그동안 전송되지 않았던 새로운 패리티 비트들을 포함하는 증분 리던던시 (IR: Incremental Redundancy) 방식으로 나눌 수 있다. 증분 리던던시 방식은 다시 두 가지로 나누어지는데, 매 재전송마다 새로운 패리티 비트들만이 전송되는 전체 증분 리던던시 (Full IR) 방식과, 원천 비트들과 새로운 잉여 비트들이 같이 전송되는 부분 증분 리던던시 (Partial IR) 방식으로 나눌 수 있다. 일반적으로, 체이스 결합 방식 Hybrid ARQ는 다른 방식들보다 현저히 낮은 복잡도로 송신단 및 수신단 구현이 가능하다는 장점이 있으며, 전체 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ는

\* 학생회원, 연세대학교 전기전자공학과  
(School of Electrical and Electronic Engineering,  
Yonsei University)  
접수일자: 2010년9월14일, 수정완료일: 2010년11월10일

다른 방식들에 비해 더 많은 부호 이득을 얻음으로 보다 높은 성능이 요구될 때 주로 사용된다<sup>[1~2]</sup>. 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ는 일반적으로 송신단에서 응답 신호 (Acknowledgement Index)의 수신에 실패했을 경우 주로 사용된다<sup>[3]</sup>.

송신단 및 수신단에서 모두 여러 개의 안테나를 사용하는 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output, 다중 안테나) 시스템은 시스템의 수율을 크게 향상시키는 방법이다<sup>[6]</sup>. 따라서 높은 신뢰성을 요구하는 고속 데이터 통신 서비스를 제공할 수 있는 MIMO 시스템에서 Hybrid ARQ 기법의 적용에 대해 널리 연구되고 있으며, 특히 MIMO 시스템에서 Hybrid ARQ의 사용을 위해 여러 가지 심볼 단위 결합 기법이 연구되었다<sup>[4~5]</sup>. 하지만, 이 기법들은 MIMO 시스템에서 체이스 결합 방식 Hybrid ARQ를 사용할 때만 적용 가능하다.

본 논문에서는 MIMO 시스템에서 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ를 위한 재전송 부호어간 결합 기법을 제안한다. 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ는 정보 비트들 (systematic bits)의 변조 과정을 통해 생성된 정보 심볼들이 매 재전송마다 반복 전송되고, 패리티 비트들 (parity bits)의 변조 과정을 거쳐 생성된 패리티 심볼들이 매 재전송마다 새로이 전송된다. 본 논문에서는 제안 결합 기법을 위한 새로운 송·수신 모델을 제안하고, 이를 통해 제안 결합 기법은 정보 심볼들에 대한 심볼 레벨 결합 및 검출, 그리고 패리티 심볼들에 대한 검출을 수행한다.

## II. MIMO 송·수신 모델

본 논문에서는  $N$ 개의 송신 안테나와  $M$ 개의 수신 안테나를 갖는 MIMO 시스템에서 최대 전송 횟수가  $t_{\max}$  이고 매 전송마다 부호율  $c$ 인 부호어를 전송하는 Hybrid ARQ를 가정한다. 총  $K$ 개의 송신 신호 벡터가 한 번의 전송마다 송신되며, 따라서 한 번의 전송마다 총  $NK$ 개의 심볼이 송신되며, 모든 송신 심볼들의 변조 레벨은 동일하다.  $\mathbf{x}_t$ 는  $N \times 1$  벡터로  $t$ 번째 전송의 첫 번째 송신 신호 벡터를 나타낸다. 모든 송신 신호 벡터에서 첫 번째부터  $L$  번째 송신 안테나가 정보 비트들이 변조된 정보 심볼들을 전송하며, 나머지  $N-L$  개의 송신 안테나는 패리티 비트들이 변조된 패리티 심볼들을 전송한다. 따라서 매 전송별 부호율  $c = L/N$  이고,  $\mathbf{x}_t$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{x}_t = [\mathbf{s}^T \mathbf{p}_t^T]^T = [s_1, \dots, s_L, p_{t,1}, \dots, p_{t,N-L}]^T \quad (1)$$

식 (1)에서  $\mathbf{s} = [s_1, \dots, s_L]^T$ 는  $\mathbf{x}_t$ 에 포함되는  $L \times 1$  정보 심볼 벡터이며,  $\mathbf{p}_t = [p_{t,1}, \dots, p_{t,N-L}]^T$ 는  $\mathbf{x}_t$ 에 포함되는  $(N-L) \times 1$  패리티 심볼 벡터이다. 모든 송신 신호 벡터들은 식 (1)과 같은 형태를 취한다.

$\mathbf{y}_t$ 는  $M \times 1$  벡터로  $\mathbf{x}_t$ 에 대한 수신 신호 벡터이다. 이 때  $\mathbf{x}_t$ 와  $\mathbf{y}_t$ 의 관계는 다음과 같이 나타낸다.

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{H}_t \mathbf{x}_t + \mathbf{n}_t \quad (2)$$

식 (2)에서  $\mathbf{H}_t = [\mathbf{h}_{t,1} \dots \mathbf{h}_{t,N}]$ 는  $M \times N$  행렬로 송·수신단 사이의 MIMO 채널을 나타내며 이 때  $\mathbf{h}_{t,n}$ 은  $M \times 1$  열벡터로  $n$ 번째 송신 안테나와 수신 안테나들 사이의 채널을 나타낸다.  $\mathbf{n}_t$ 는  $M \times 1$  열벡터로 가산형 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise) 벡터이다.

## III. 제안 결합 기법

MIMO 시스템에서 Hybrid ARQ의 비트 레벨 결합 기법은 매  $t$ 번의 전송마다 별개의 검출 과정을 거친 후 이를 각 Hybrid ARQ 재전송 방법에 맞게 결합하는 과정으로 요약된다.  $t$ 번째 전송에서 비트 레벨 결합 기법은 먼저 식 (2)의 송·수신 모델을 사용하여 전체 송신 신호 벡터들을 검출하고, 각 송신 심볼을 구성하는 정보 비트들 및 패리티 비트들의 LLR (Log Likelihood Ratio, 로그 우도 비)을 계산한다. 계산된 LLR들은 이전( $t-1$ )번째 전송까지 식 (2)의 송·수신 모델을 통해 각각 계산된 각 비트들의 LLR들과 결합되어 복호된다.

본 논문에서 제안된 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ를 위한 결합 기법은 매 전송별 송·수신 모델을 결합한 후 이에 대한 검출 과정을 진행하는 것으로 요약된다. 이는 반복 전송되는 정보 심볼들에 대한 심볼 레벨 결합 기법이 된다. 이를 위해,  $t$ 번째 전송까지 전송된 모든 첫 번째 송신 신호 벡터들에 포함된 송신 심볼들을 갖는 첫 번째 결합 송신 신호 벡터  $\chi_t$ , 그리고  $t$ 번째 전송까지 수신된 모든 첫 번째 수신 신호 벡터들에 포함된 수신 심볼들을 갖는 결합 수신 신호 벡터  $\lambda_t$ 를 정의한다. 이 때  $\chi_t$ 와  $\lambda_t$ 는 다음과 같이 나타낸다.

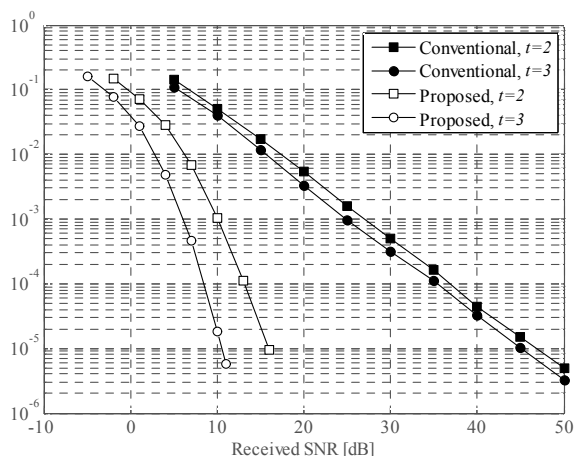


그림 1. ZF 검출 후 정보 비트들의 복호 과정 전 비부호화 비트 오류 비교  
 Fig. 1. Uncoded BERs comparison of systematic bits with the ZF detection.

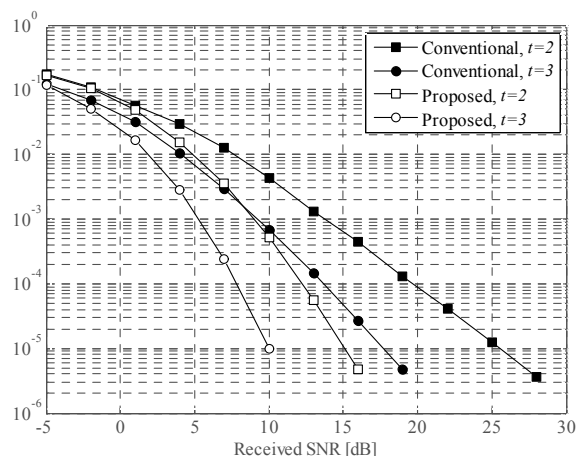


그림 3. MMSE 검출 후 정보 비트들의 복호 과정 전 비부호화 비트 오류 비교  
 Fig. 3. Uncoded BERs comparison of systematic bits with the MMSE detection.

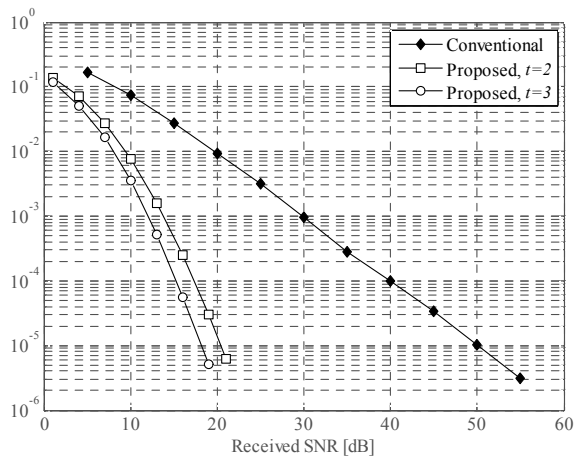


그림 2. ZF 검출 후 패리티 비트들의 복호 과정 전 비부호화 비트 오류 비교  
 Fig. 2. Uncoded BERs comparison of parity bits with the ZF detection.

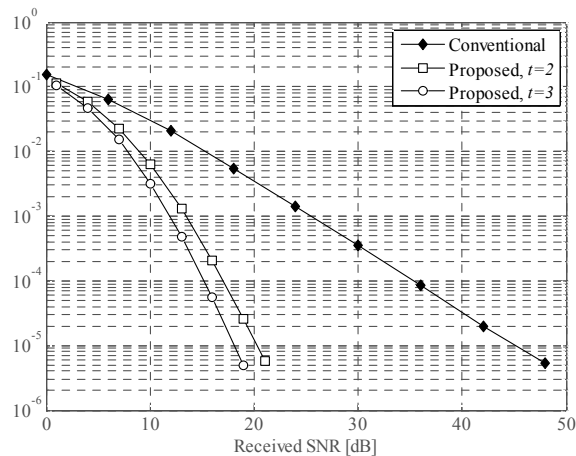


그림 4. MMSE 검출 후 패리티 비트들의 복호 과정 전 비부호화 비트 오류 비교  
 Fig. 4. Uncoded BERs comparison of parity bits with the MMSE detection.

$$\chi_t = [s^T \ p_1^T \ p_2^T \ \dots \ p_t^T]^T \quad (3)$$

$$\lambda_t = [y_1^T \ y_2^T \ \dots \ y_t^T]^T \quad (4)$$

$\chi_t$ 는  $t(N-L)+L \times 1$ 의 크기를 가지는 결합 송신 신호 벡터로  $\mathbf{x}_1$ 부터  $\mathbf{x}_t$ 에 포함된 모든 송신 심볼들을 포함하고 있으며,  $\lambda_t$ 는  $tM \times 1$ 의 크기를 가지는 결합 수신 신호 벡터로  $\mathbf{y}_1$ 부터  $\mathbf{y}_t$ 에 포함된 모든 수신 심볼들을 포함하고 있다. 이 때  $\chi_t$ 와  $\lambda_t$ 의 관계는 다음과 같이 나타난다.

$$\lambda_t = \Theta_t \chi_t + \omega_t \quad (5)$$

식 (5)에서  $\omega_t = [n_1^T \ n_2^T \ \dots \ n_t^T]^T$ 는  $tM \times 1$ 의 크기를 가지는 결합된 가산형 백색 가우시안 잡음 벡터이다.  $\Theta_t$ 는  $tM \times t(N-L)+L$  행렬로  $\chi_t$ 와  $\lambda_t$ 를 위한 결합된 채널 모델이며, 다음과 같이 나타난다.

$$\Theta_t = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_1 & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{O} \\ \mathbf{A}_2 & \mathbf{O} & \mathbf{B}_2 & \dots & \mathbf{O} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}_t & \mathbf{O} & \mathbf{O} & \dots & \mathbf{B}_t \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)에서  $\mathbf{A}_t = [\mathbf{h}_{t,1} \ \dots \ \mathbf{h}_{r,L}]$ 는  $M \times L$  행렬로  $\mathbf{x}_t$ 에 포함된 정보 심볼 벡터  $\mathbf{s}$ 가 겪은 채널을 나타내며,  $\mathbf{B}_t = [\mathbf{h}_{t,L+1} \ \dots \ \mathbf{h}_{r,N}]$ 는  $M \times (N-L)$  행렬로  $\mathbf{x}_t$ 에

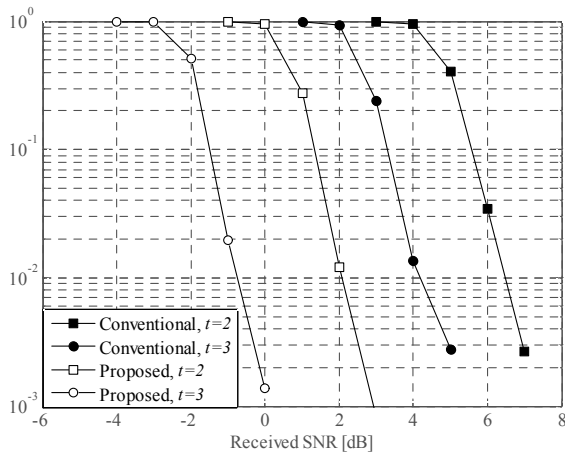


그림 5. ZF 검출 후 터보 부호화된 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ의 패킷 오류 비교  
Fig. 5. Comparison of PERs for turbo coded partial IR based hybrid ARQ with the ZF detection.

포함된 페리티 심볼 벡터  $\mathbf{p}_t$ 가 겪은 채널을 나타낸다.  $\mathbf{O}$ 는  $M \times (N-L)$  영 행렬 (Zero Matrix)을 나타낸다.

식 (3)부터 식 (6)으로 나타나는 제안 결합 기법의 송·수신 모델은 각 전송 시간을 확장된 수신 안테나로 해석한다. 즉,  $t$ 번째 전송을 나타내는 채널  $\mathbf{H}_t$ 는  $\Theta_t$ 에서  $(t-1)M+1$ 번째 수신 안테나부터  $tM$ 번째 수신 안테나를 통한 채널로 표현되며, 이 때  $\mathbf{x}_t$ 에 포함된 정보 심볼 벡터  $\mathbf{s}$ 는 1 번째 송신 안테나부터  $L$  번째 송신 안테나까지,  $\mathbf{x}_t$ 에 포함된 페리티 심볼 벡터  $\mathbf{p}_t$ 는  $(t-1)(N-L)+L+1$  번째부터  $t(N-L)+L$  번째 송신 안테나를 거치게 된다. 식 (3)~(6)은 매 전송별 첫 번째 송·수신 벡터 및 채널 모델에 대해 결합된 모델로, 제안 결합 기법은 모든 송·수신 벡터 및 채널 모델을 식 (3)~(6)과 같은 모델로 결합 후 검출 과정을 거친다.

이러한 제안 결합 기법은 매 전송마다 반복 전송되는  $\mathbf{s}$ 에 대한 심볼 레벨 결합을 위한 송·수신 모델로,  $\mathbf{s}$ 의 검출 성능은 비트 레벨 결합 시에 비해 크게 향상된다. 또한, 각  $\mathbf{p}_t$ 도 자신과 같이 전송된  $\mathbf{s}$ 에 대한 더욱 많은 채널 정보가 사용되므로 제안 결합 기법에서는  $\mathbf{p}_t$ 의 검출 성능 역시 향상된다. 이러한 특성은 다음 장의 모의실험 결과를 통해서 또한 확인할 수 있다.

#### IV. 모의실험 결과

모의실험에서는  $N = M = 4$ 인 MIMO 시스템에서

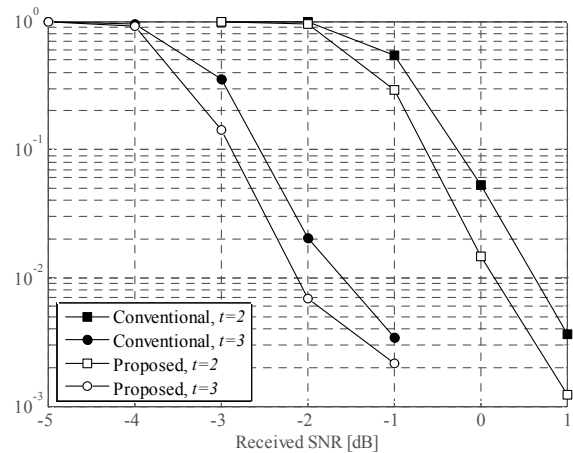


그림 6. MMSE 검출 후 터보 부호화된 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ의 패킷 오류 비교  
Fig. 6. Comparison of PERs for turbo coded partial IR based hybrid ARQ with the MMSE detection.

$L = 3$ 인 경우를 고려하였다. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조가 고려되었으며,  $t_{\max} = 3$ 이다. 독립적 레일리 감쇄 (Independent Rayleigh Fading) 채널이 MIMO 시스템의 채널 환경으로 사용되었다. 본 장에서는 우선 그림 1부터 그림 4까지 제안 결합 기법과 비트 레벨 결합 기법 간 복호 전 비부호화 (Uncoded) 비트 오류 (Bit Error Rate)을 비교하였다. 이 때 이전 전송에서의 오류 여부와 관계없이 재전송이 발생하는 상황을 고려하였다.

그림 1부터 그림 4에 나타난 결과를 통해 제안 결합 기법이 기존의 비트 레벨 결합 기법에 비해 더욱 우수한 검출 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 정보 비트들은 제안 결합 기법의 심볼 레벨 결합을 통해서 검출 성능이 크게 향상됨을 그림 1과 그림 3에서 확인할 수 있다. 그림 2와 그림 4는 페리티 비트들의 비트 오류를 나타내고 있는데, 기존 비트 레벨 결합 기법의 경우 전송 횟수에 관계없이 새로이 전송되는 페리티 비트들은 항상 일정한 비트 오류를 나타내지만, 제안 결합 기법에서는 전송 횟수가 늘어날수록 더욱 많은 채널 정보를 사용한 검출 과정을 통해 비트 오류 성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 특히, 제안 결합 기법에서 정보 비트들과 페리티 비트들 모두 MMSE (Minimum Mean Square Error) 검출 시보다 ZF (Zero Forcing) 검출 시 더욱 큰 성능 향상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6에서는 터보 부호<sup>[7]</sup> (Turbo Code)에 기반한 부분 증분 리던던시 Hybrid ARQ의 패킷 오류 (Packet Error Rate)을 나타내었다. 총 정보 비트들의

수는 552이고, 24 비트 순환 잉여 검사 (Cyclic Redundancy Check) 부호가 사용되었다. 이는 터보 부호기를 거쳐 부호율  $c = 3/4$ 의 부호어로 천공되었으며, 8비트의 테일 비트 (Tail Bit)가 매 전송별로 사용되었다. 따라서 한 번의 전송마다 총 776개의 비트가 전송되며, 총 전송 심볼의 수는 388개이고, 따라서 총 송신 신호벡터 수  $K = 97$ 이다. 8번의 반복 복호 과정 후, 수신단에서 순환 잉여 검사를 통과하지 못하고  $t < t_{max}$ 인 경우 재전송이 이루어진다. 천공 패턴 및 테일 비트 패턴은 [8]의 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ와 동일하다.

그림 5에서 나타나는 ZF 검출의 경우, 제안 결합 기법은 기존 비트 레벨 결합 기법에 비해 패킷 오류  $10^{-2}$ 을 기준으로  $t = 2$ 일 때 약 4.4 dB의 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 이득을,  $t = 3$ 일 때 약 4.9 dB의 SNR 이득을 얻는다. 그림 6의 MMSE 검출의 경우, 제안 결합 기법은  $t = 2, 3$ 일 때 모두 약 0.5 dB의 SNR 이득을 얻는다.

## V. 결 론

본 논문에서는 MIMO 시스템에서 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ를 위한 결합 기법을 제안하였다. 제안 결합 기법은 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ에서 매 재전송마다 반복 전송되는 정보 심볼들을 위한 심볼 레벨 결합 기법이지만, 정보 심볼들뿐 아니라 매 전송마다 새로이 전송되는 패리티 심볼들의 검출 성능 또한 향상시킴을 비부호화 비트 오류에 대한 모의 실험을 통해 검증하였다. 모의실험에서는 또한 터보 부호에 기반한 부분 증분 리던던시 방식 Hybrid ARQ에서 제안 결합 기법이 기존 비트 레벨 결합 기법에 비해 특히 ZF 검출 시 큰 성능 향상을 이룸을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

[1] P. Frenger, S. Parkvall, and E. Dahlman, "Performance comparison of HARQ with chase combining and incremental redundancy for HSDPA," *Proc. IEEE VTC fall*, pp. 1829 - 1833, Oct. 2001.

[2] 김민구, "고속 이동통신 시스템을 위한 오류정정부호 및 Fast Hybrid ARQ," 텔레콤, 대한전자공학회, 제 20권, 제2호, 43쪽-52쪽, 2004년 12월.

[3] C. R. Jeong, H. Y. Park, K. S. Kim, and K. C. Whang, "A partial IR hybrid ARQ scheme using rate-compatible punctured LDPC codes in an HSDPA system," *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E92-B, no. 2, pp. 604-607, Feb. 2009.

[4] E. Onggosanusi, A. Dabak, Y. Hui, and G. Jeong, "Hybrid ARQ transmission and combining for MIMO systems," *Proc. IEEE Int. Conf. Commun., ICC*, pp. 3205 - 3209, May 2003.

[5] E. Jang, J. Lee, L. Song, and J. Cioffi, "An efficient symbol-level combining scheme for MIMO systems with hybrid ARQ," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 8, no. 5, pp. 2443 - 2451, May 2009.

[6] A. Paulraj, R. Nabar, and D. Gore, *An Introduction to Space-Time Wireless Communication*, Cambridge University Press, 2003.

[7] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding: Turbo-codes," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 44, no. 10, pp. 1261-1271, Oct. 1996.

[8] 3GPP, TR 25.848: *Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access*, v.4.0.0, Mar. 2001.

## 저 자 소 개



박 상 준(학생회원)

2004년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업.

2006년 연세대학교 전기전자공학부 석사 졸업.

2006년~현재 연세대학교 전기전자공학부 박사 과정.

<주관심분야 : 무선 통신 시스템, 오류 정정 부호, Hybrid ARQ, 다중 안테나 시스템, 차량 통신>