Journal of the KIMST, Vol. 17, No. 3, pp. 336-341, 2014
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2014.17.3.336

Research Paper 전자 · 통신 부문

변조 차수 변경을 통한 하이브리드 자동 재전송 기법

박 범 수*,1)

1) 국방과학연구소 대지유도무기체계단

A Hybrid ARQ Scheme with Changing the Modulation Order

Bum-Soo Park*,1)

1) *Surface to Surface Missile PEO, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 4 October 2013 / Revised 5 March 2014 / Accepted 11 April 2014)

ABSTRACT

When using a higher-order modulation scheme, there are variations in bit-reliability depending on the bit position in a modulation symbol. Variations of bit-reliability in the codeword block lower the decoding performance. Also, the decoding performance increases as the sum of the bit-reliabilities in the codeword block increases. This paper presents a novel hybrid automatic repeat request scheme that increases the sum of the reliabilities of the transmitted bits by lowering the modulation order, and decreases the variations of bit-reliability in the codeword block by preferentially retransmitting bits with low reliability. The proposed scheme outperforms the constellation rearrangement scheme. Furthermore, the proposed scheme also provides a good solution in cases where the size of the retransmission block is smaller than the size of the initial transmission block.

Key Words : Hybrid ARQ(하이브리드 자동 재전송), Bit Reliability(비트 신뢰도), QAM Modulation(직교 진폭 변조방식), Forward Error Correction(전진 오류 수정), Incremental Redundancy(증분 리던던시), Constellation Rearrangement(성상도 재배치)

1. 서 론

군사위성과 개인 무선기기를 이용한 현대전은 정보전이라 불릴 만큼 군사 작전에 있어서 통신을 기반으로 한 네트워크가 중요시 되고 있다. 또한 정보의 질과 양에 있어서 예전에는 음성통신이 군사 작전의 주요 수단이 되었던 것에 비해 현대전은 영상 정보 등 디지털 데이터가 주를 이루며 이를 위해서 전송 속도의 향상 및 데이터의 무결성이 중요시 되고 있다. 통신 시스템에서 무결성을 보장해 주기 위해서 일차적으로 FEC(Forward Error Correction)를 통해 에러 복구를 수행하며 에러의 복구에 실패하는 경우 ARQ(Automatic Repeat Request)를 통해 패킷이 재전송된다[1]. 기존의 통신에서는 FEC와 ARQ가 서로 독립적으로 수행되었으나 터보 코드와 LDPC(Low Density Parity Check) 코

* Corresponding author, E-mail: bumsoo_park@add.re.kr
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

드 등 소프트 디코딩 기술이 발전함에 따라 FEC와 ARQ가 서로 협력하며 통신을 수행하는 Hybrid ARQ 기술이 발전하게 되었다.

Hybrid ARQ 기법은 3개의 타입으로 구분할 수 있다. 타입 I은 수신기에서 특정 패킷의 디코딩에 실패한 경우 기존의 패킷 데이터를 버리고 송신기에 재전송을 요청한다. 또한 재전송된 패킷을 디코딩 하기 위해 이전 전송의 데이터를 이용하지 않는다. 타입 II의 경우 수신기에서 특정 패킷의 디코딩에 실패한 경우 송신기에 재전송을 요구하며 송신기는 이전에 보냈던 패킷을 그대로 보내는 것이 아니라 약속된 형태로 바꾸어 재전송을 한다. 수신기는 재전송된 패킷 데이터와 이전 전송된 패킷 데이터를 함께 디코딩하여 보다 향상된 디코딩 성능을 얻는다. 추가적인 패러티 비트를 계속하여 재전송 하는 IR(Incremental Redundancy) Hybrid ARQ 기법과 이전에 보낸 패킷과 재전송된 패킷을 최적으로 결합하여 디코딩 하는 CC(Chase Combining) Hybrid ARQ 기법[2]은 타입 II Hybrid ARQ의 대표적인 예이다. 타입 III는 타입 II에 Self-decidability를 추가한 것으로 재전송된 패킷만으로 디코딩 될 수 있어야 하는 조건이 추가로 필요하다. 따라서 타입 III는 재전송된 패킷으로 우선 디코딩을 시도하며 디코딩에 실패하였을 경우 이전에 받았던 패킷과 함께 디코딩을 시도하게 된다[3].

디지털 통신에서 고차 변조 기술은 고속의 전송속도를 달성하는데 중요한 역할을 한다. 하나의 변조 심볼 안에 두 개 이상의 비트를 전송하는 고차 변조 기술을 사용하게 되면 심볼의 2차원 성상도 매핑 제한에 의해 성상도 위치에 따라 비트들의 신뢰도에 차이가 생기게 된다[4,5]. 따라서 패킷내의 비트들간에 비트 신뢰도 차이가 생기게 되고 이로 인해 디코딩 성능에 저하가 발생하게 된다. Wengerter는 이러한 비트 신뢰도의 차이를 재전송시 평준화 시킬 수 있는 CoRe(Constellation Rearrangement) 기법을 소개했다[6]. CoRe 기법은 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 시스템으로도 확장이 가능하다[7]. 또한 Xiao-bing은 재전송 시 초기전송 블록을 모두 보내는 것이 아닌 신뢰도가 낮은 비트만 선택적으로 재전송하는 새로운 Hybrid ARQ 방법을 제안했다[8].

본 논문에서는 고차 변조 기술을 사용하는 경우 생기는 비트 신뢰도의 차이에 의한 디코딩 오류 확률을 재전송시 줄일 수 있는 새로운 Hybrid ARQ 기법을 제안한다. 제안된 기법은 초기 전송에서 낮은 신뢰도를 가지고 전송된 비트들에 대하여 재전송시 저차 변조를 통하여 높은 신뢰도를 부여하고 이전에 전송된 패킷과 함께 디코딩 됨으로써 에러 확률을 줄이게 된다.

2. 비트 신뢰도

QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 변조 방식은 현재 디지털통신에 있어서 가장 널리 사용되는 변조 방식이다. 16-QAM 또는 64-QAM 등의 고차 변조 방식은 비트에러 확률을 줄이기 위해 Fig. 1과 같이 그레이 맵핑을 사용하게 되는데 이 경우 MSB(Most Significant Bit)과 LSB(Least Significant Bit) 간에 신뢰도의 차이가 발생하게 된다.

비트 신뢰도는 LLR(Log Likelihood Ratio)의 절대값 크기에 의해 측정이 될 수 있다. LLR은 식 (1)과 같이 받은 심볼의 특정 비트가 1로 판단될 확률과 0으로 판단될 확률의 로그비 이다. 식 (1)에서 r은 콤플렉스 수신 심볼을 의미하며 b_1은 변조된 비트를 의미한다.

$$LLR[b_1] = \ln[\frac{\Pr\{b_1 = 1|r\}}{\Pr\{b_1 = 0|r\}}] \quad (1)$$

Fig. 1에서의 16-QAM의 경우 MSB i_1와 LSB i_2의 LLR은 각각 식 (2)와 (3)으로 계산 되며 여기서 σ^2는 받은 심볼 $r = x + jy$의 가우시안 채널 잡음의 분산에 해당하며 x와 y는 각각 받은 심볼의 인페이즈 성분과 쿼드러처 성분을 의미한다.

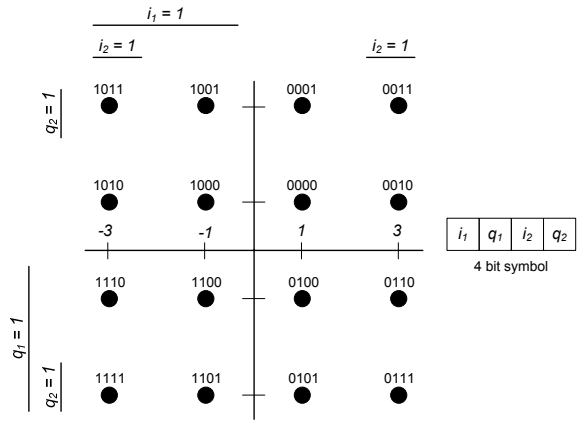

Fig. 1. Square 16-QAM modulation constellation point for Gray mapping

$$LLR[i_1] = \ln[\frac{e^{-\frac{(x+1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x+3)^2}{2\sigma^2}}}{e^{-\frac{(x-1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-3)^2}{2\sigma^2}}}] \quad (2)$$

$$LLR[i_1] = \ln[\frac{e^{-\frac{(x+3)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-3)^2}{2\sigma^2}}}{e^{-\frac{(x+1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-1)^2}{2\sigma^2}}}] \quad (3)$$

QAM 변조 방식의 경우 인페이즈와 쿼드러처 성분이 대칭이므로 LLR 값의 평균은 인페이즈와 쿼드러처가 동일하다. 보낸 심볼의 인페이즈 성분은 “00”, “01”, “10”, “11”이 가능하며 각 경우의 심볼에 따른 MSB i_1과 LSB i_2의 평균 LLR은 각각 식 (4)와 식 (5)로 구해진다. 식 (4)와 식 (5)에서 Ψ는 보낸 심볼의 인페이즈 성상도 위치를 의미한다.

$$E[LLR[i_1]] = \int_{x=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\Psi)}{2\sigma^2}} \ln[\frac{e^{-\frac{(x+1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x+3)^2}{2\sigma^2}}}{e^{-\frac{(x-1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-3)^2}{2\sigma^2}}}]dx \quad (4)$$

$$E[LLR[i_1]] = \int_{x=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\Psi)}{2\sigma^2}} \ln[\frac{e^{-\frac{(x+3)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-3)^2}{2\sigma^2}}}{e^{-\frac{(x+1)^2}{2\sigma^2}} + e^{-\frac{(x-1)^2}{2\sigma^2}}}]dx \quad (5)$$

평균 LLR은 보낸 심볼의 성상도 위치 및 채널 잡음, 즉 SNR(Signal to Noise Ratio)의 함수 이다. Table 1과 Table 2는 각각 16-QAM과 4-QAM에 대하여 SNR을 변화하며 많은 수의 채널잡음을 생성하고 식 (4)와 식 (5)의 컴퓨터 계산을 통해 얻은 LLR의 평균값을 표시하였다. 여기서 평균 LLR 값의 절대값의 크기는 각 비트에 대한 오류가 없을 확률, 즉 비트 신뢰도(Bit reliability)를 의미하며 각 심볼에 대한 비트 신뢰도의 합을 심볼 신뢰도(Symbol reliability)로 정의하였다. 4-QAM의 경우 하나의 심볼을 통해 인페이즈와 쿼드러처 성분에 각각 한 비트의 데이터를 전송하게 되므로 심볼 신뢰도와 비트 신뢰도가 일치한다. Table 1에서 MSB와 LSB의 비트 신뢰도 값의 비는 SNR이 작은 경우가 SNR이 큰 경우에 비하여 커지는 것을 알 수 있으며 Table 1과 Table 2를 비교해 보면 같은 SNR 상황에서 심볼 신뢰도는 4-QAM의 경우가 16-QAM의 경우에 비해 높은 것을 알 수 있다.

Table 1. Statistical measurement of mean LLRs for the 16-QAM Signal constellation

SNR	Symbol (i_1i_2)	Mean LLR for MSB i_1	Mean LLR for LSB i_2	*Symbol reliability*
0 dB	00	-0.67	-0.23	
	01	-2.03	0.28	
	10	0.67	-0.23	
	11	2.03	0.28	
	Bit reliability	*1.35*	*0.255*	*1.61*
3 dB	00	-1.17	-0.58	
	01	-3.68	0.65	
	10	1.17	-0.58	
	11	3.68	0.72	
	Bit reliability	*2.425*	*0.65*	*3.075*
6 dB	00	-1.96	-1.37	
	01	-6.77	1.57	
	10	1.96	-1.37	
	11	6.77	1.57	
	Bit reliability	*4.365*	*1.47*	*5.835*

Table 2. Statistical measurement of mean LLRs for the 4-QAM signal constellation

SNR	Symbol (i_1q_1)	Mean LLR (i_1)
0 dB	$0q_1$	-2.0
	$1q_1$	2.0
3 dB	$0q_1$	-3.99
	$1q_1$	3.99
6 dB	$0q_1$	-7.96
	$1q_1$	7.96

3. 변조 차수 변경을 통한 Hybrid ARQ 기법

터보코드 및 LDPC코드 등 Shannon의 Capacity 한계에 거의 근접한 채널 코드들이 등장함에 따라 FEC 기법은 디지털 통신의 용량 확대와 무결성 확보를 위한 필수 기법으로 쓰여 지고 있다[9,10]. 이러한 FEC 기법들은 소프트 디코딩을 사용한다는 점과 iterative 디코딩을 수행한다는 점을 특징으로 하고 있다.

FEC의 코드워드 패킷안의 비트들은 서로 보완 관계를 가지고 인코딩이 되어 있기 때문에 디코딩 과정에서 소프트 디코딩과 iterative 디코딩을 통해 보다 효율적으로 오류가 난 비트들을 회복시킬 수 있다. 이 과정에서 FEC의 성능은 각 비트들의 신뢰도와 밀접한 관계를 가지게 되는데 신뢰도가 작은 비트들이 많이 있는 경우 FEC 성능은 하락한다. 본 논문에서는 작은 비트 신뢰도에 의해서 디코딩이 실패하여 재전송을 요청하였을 경우 변조차수를 낮추어서 재전송을 함으로써 재전송된 패킷의 디코딩 성공 확률을 높일 수 있는 Hybrid 재전송 기법을 제안한다.

재전송시 변조 차수를 낮추어 전송을 하게 되면 2장에서 살펴본 바와 같이 심볼 신뢰도가 증가하게 되므로 코드워드 패킷 내의 전체 비트들의 신뢰도 총합이 증가하게 된다. 또한 이전 전송에서 낮은 신뢰도를 가지고 전송된 비트들을 우선하여 높은 신뢰도를 부여디코딩을 수행하는 Hybrid ARQ 기법을 사용하게 되면 신뢰도를 고려하지 않고 재전송한 Hybrid ARQ 기법에 비하여 디코딩 성공 확률이 향상된다.

Fig. 2는 제안하는 Hybrid ARQ 기법에 대한 블록 다이어그램을 보여준다. 제안하는 기법은 아래의 절차에 따라 초기 전송 및 재전송이 이루어진다.

1) 전송하고자 하는 디지털 정보비트는 초기 전송에서 FEC를 통하여 마더-코드워드로 인코딩 되며 펑처링을 통해 무작위로 선정된 리던던시 비트들을 제거하여 정해진 패킷 사이즈로 초기 전송이 이루어진다.

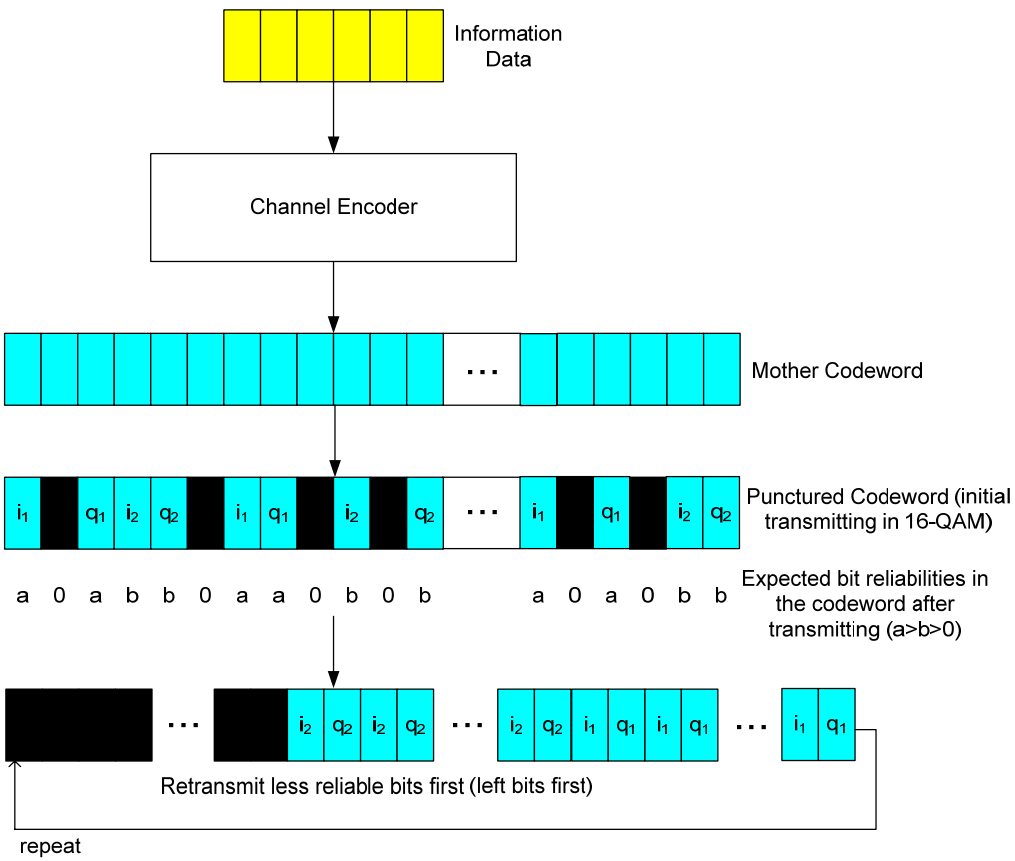

Fig. 2. Proposed Hybrid ARQ scheme

2) 초기 전송된 패킷의 디코딩이 실패하였을 경우 수신기는 송신기에 재전송을 요구하게 되고 송신기는 마더-코드워드의 비트들 중 이전 전송에서 신뢰도가 가장 적은 순서부터 우선하여 변조차수를 낮추어 재전송 한다.

이전 전송에 있어서 비트 신뢰도의 순서는 펑처링 되어 전송되지 못한 비트의 신뢰도가 가장 낮으며 16-QAM 변조 기법의 경우 LSB(i_1,q_1), MSB(i_2,q_2)의 순서로 낮다.

제안하는 Hybrid ARQ 기법은 매 재전송 시점마다 이전 전송에서 신뢰도가 작게 전송된 순위에 따라 재전송 하는 비트들을 결정할 수 있다. 따라서 Wengerter가 제안한 CoRe기법에 비하여 재전송 패킷의 사이즈를 유연하게 변동이 가능하다. 또한 재전송 시 변조차수를 낮춤으로써 Xiao-bing이 제안한 Hybrid-ARQ 기법에 비하여 재전송 비트들의 총 신뢰도를 크게 함으로써 에러 확률을 줄일 수 있다.

4. 시뮬레이션 결과

제안된 기법의 성능 분석을 위해 컴퓨터 시뮬레이션이 IEEE 802.16e 규격을 기반으로 하여 AWGN (Addictive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 수행되었다[11]. 채널 코딩은 터보코드를 사용하였으며 384 비트의 정보 비트 블럭을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 3는 IR(Incremental Redundancy) 재전송 기법을 사용하였을 경우 초기전송을 16-QAM으로 전송한 후 4-QAM으로 재전송 한 경우와 16-QAM으로 재전송한 경우의 BLER(BLock Error Rate)을 비교한 결과이다. 재전송 BLER 성능이 4-QAM으로 변조 차수를 낮추어 전송하는 경우 약 0.2dB 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 4는 제안된 Hybrid ARQ 기법과 CoRe 기법의 재전송 BLER 성능을 비교한 결과이다. 초기 전송은 16-QAM으로 전송을 하며 동일한 성능 비교를 위해 제안된 기법에서도 CC(Chase Combining) 재전송을 사용 하였고 대역폭을 동일하게 유지 하였다. 즉, CoRe의 경우 16-QAM을 사용하는 대신 제안된 기법은 4-QAM을 사용하기 때문에 실제 전송하는 비트의 수는 CoRe의 경우에 비해 1/2만 전송 하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 Hybrid ARQ 기법이 CoRe 기법에 비해 총 3번의 재전송에 걸쳐 모두 BLER 성능이 우수함을 확인하였다.

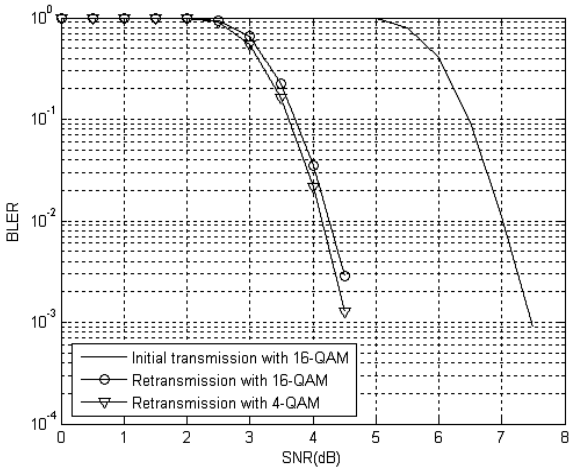

Fig. 3. BLER performance of retransmission with down-grading modulation level

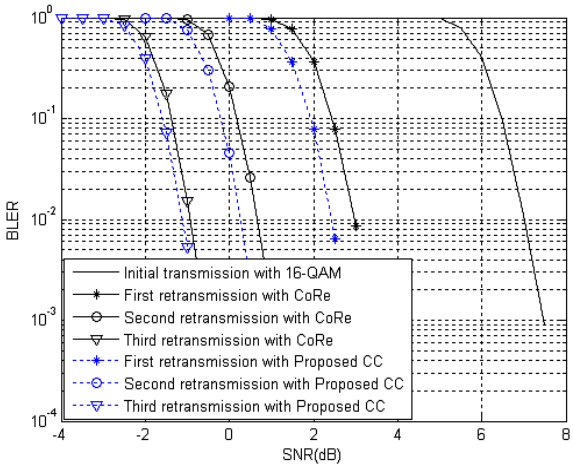

Fig. 4. BLER performance comparison of proposed Hybrid ARQ scheme and Constellation Rearrangement scheme

5. 결 론

본 논문에서는 고차 QAM 변조 기법에 있어서 성상도의 위치에 따른 비트 신뢰도에 차이가 있음을 보이고 변조 차수가 감소함에 따라 심볼 신뢰도가 증가함

을 확인하였다. 이러한 심볼 신뢰도의 증가는 Hybrid ARQ 재전송에서 변조 차수를 낮춤으로써 오류 확률을 줄이는 것을 확인 하였으며, 이를 이용한 새로운 Hybrid ARQ 기법을 제안하였다. 제안된 Hybrid ARQ 기법은 이전 전송에서 낮은 신뢰도로 전송된 비트들을 우선하여 낮은 차수의 변조 기법을 통하여 재전송함으로써 재전송 시 우수한 BLER 성능을 얻을 수 있다. 또한 제안된 Hybrid ARQ 기법은 IR과 CC에 모두 적용이 가능하며 재전송 패킷의 용량에 관계없이 동작할 수 있는 장점이 있다.

References

[1] Shu Lin and Daniel J. Costello, Jr, “Error Control Coding: Fundamentals and Applications,” Prentice Hall, 1984.

[2] D. Chase, “Code Combining - A Maximum-Likelihood Decoding Approach for Combining an Arbitrary Number of Noisy Packets,” IEEE Trans. Commun., Vol. COM-33, pp. 385-393, May 1985.

[3] M. Wissem El Bahri, Hatem Boujemaa and Mohamed Siala, “Performance Comparison of Type I, II and III Hybrid ARQ Schemes over AWGN Channels,” IEEE ICIT ’04, Vol. 3, pp. 1414-1421, Dec. 2004.

[4] S. Le Goff, A. Glavieux, C. Berrou, “Turbo-Codes and High Spectral Efficiency Modulation,” IEEE SUPERCOMM/ICC '94, Vol. 2, pp. 645-649, 1994.

[5] R. Pyndiah, A. Picart, A. Glavieux, “Performance of Block Turbo Coded 16-QAM and 64-QAM Modulations,” IEEE GLOBECOM '95, Vol. 2, pp. 1039-1043, 1995.

[6] Ch. Wengerter, et. al., “Advanced Hybrid ARQ Technique Employing a Signal Constellation Rearrangement,” IEEE VTC 2002 Fall, Vol. 4. pp. 2002-2006, Sep. 2002.

[7] Sung Ho Moon, Hyung Ho Park, Goldsmith, A. and Minseok Oh, “Bit Rearrangement for MIMO Retransmissions,” IEEE GLOBECOM 2007, pp. 3509-3513, 26-30 Nov. 2007.

[8] Tong Xiao-bing, Gong Yuping, Zhang Yuming, “A New Hybrid ARQ Scheme Employing Signal Constellation Rearrangement,” IEEE CMC 2011, pp. 226-229, 18-20 Apr. 2011

[9] C. Berrou and A. Glavieux, “Near Optimum Error Correcting Coding and Decoding: Turbo-Codes,” IEEE Trans. Commun., Vol. 44, pp. 1261-1271, Oct. 1996.

[10] D. J. C. McKay and R. M. Neal, “Near Shannon Limit Performance of Low-Density Parity Check Codes,” Electron. Lett., Vol. 33, No. 6, pp. 457-458, Mar. 1997.

[11] IEEE 802.16-2005: IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Physical Layer and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, Feb. 2006.