

Cross-Layer 부호기법을 이용한 Hybrid-ARQ 기반의 협력통신 시스템 연구

준회원 박 태 두*, 정회원 김 민 혁*, 준회원 김 철 승*, 정회원 정 지 원*

A Cooperative Communication System using Cross-Layer Coding Method base on Hybrid-ARQ

Tae Doo Park* *Associate Member*, Min Hyuk Kim* *Regular Member*,
Chul Seung Kim* *Associate Member*, Ji-Won Jung* *Regular Member*

요 약

통신시스템에서 다수의 안테나를 이용하는 MIMO 기술이 활발히 연구 중에 있다. 그러나 많은 무선 통신 기기들은 사이즈, 비용, 하드웨어의 복잡성으로 인하여 적용 가능한 안테나의 수에 제약을 가진다. 따라서 본 논문에서는 MIMO기술의 장점을 가지면서 새로운 기술로 각광받고 있는 협력통신 시스템을 이용하여 cross-layer 부호기법을 이용한 H-ARQ 기반의 협력통신 시스템을 제안하였다. 본 논문에서 제안하는 협력통신 시스템은 수신 신호의 복호가 완벽할 시에는 ACK 신호를 소스 노드와 릴레이 노드로 전송하여 다음 신호를 요청한다. 만약 복호 후 오류가 있을 시에는 NACK 신호를 전송하여 릴레이 노드에서 생성되어진 새로운 패킷을 요청하여 복호를 하게된다. 제안하는 협력통신 시스템은 일반적인 1:1 통신 시스템보다 신뢰도와 전송효율이 더 좋을 것을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

Key Words : DVB-SSP, Cyclic Redundancy Check, LDPC, RS

ABSTRACT

MIMO system generally requires more than one antenna at the communication device. However, many wireless devices are limited by size, cost or hardware complexity to one antenna. To overcome such restrictions, we used a new technique, called cooperative communication. We propose a new cooperative transmission strategy system using cross-layer coding method base on H-ARQ for optimal communication. Proposed cooperative H-ARQ system that can improve the above problems and can get the better performance. In proposed cooperative system with H-ARQ method, if the received signal from source node is satisfied by the destination preferentially, the destination transmits ACK message to both relay node and source node, and then recovers the received signal. In addition, if ARQ message indicates NACK message, relay node operates selective retransmission. Based on the simulation results in aspect to BER performance and throughput, the proposed method which combined cooperative system with H-ARQ based on cross-layer coding can improve spectral efficiency reliability of system compared with that of general one by one system.

* 본연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호UD100002KD)

* “본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (ITA-2009-C1090-0902-0010)

* 한국해양대학교 전파공학과 위성통신연구실

논문번호 : KICS2010-06-267, 접수일자 : 2010년 6월 11일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 5일

I. 서 론

차세대 무선통신에서는 다양한 서비스, 높은 신뢰도와 함께 빠른 전송속도를 요구한다. 이러한 요구를 만족시키기 위해서는 스펙트럼의 효율성을 높이고 다이버시티 및 부호화 이득을 높을 수 있는 방법이 연구 중에 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 MIMO 시스템은 다이버시티 기술을 사용하여 다수의 송수신 안테나를 갖는 무선 통신 시스템에서 다이버시티 이득과 부호화 이득을 동시에 얻기 위해 제안 되었다.^[1]

하지만 MIMO 시스템은 여러 개의 안테나를 하나의 통신기에 사용하여야 하므로 통신기의 크기, 비용, 전력, 복잡도 따른 문제점에 대한 방안으로 협력통신 시스템이 연구 중에 있다.^[2-4] 협력통신 시스템은 각 이동국 간에 데이터를 협력하여 전송하는 것으로, 즉 이동국이 자신 뿐 만 아니라 주변의 다른 이동국을 이용하여 데이터를 전송하는 통신 방식이다. 협력통신을 하고 있는 모든 이동국으로 부터 기지국으로 수신된 데이터를 결합하여 협력 다이버시티를 얻으므로 열악한 무선채널 환경에서도 시스템의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

또한, 일반적인 협력 통신은 시스템의 성능을 향상시키기 위해 full 다이버시티를 요구한다. 그러나 실제로 각 노드는 time division multiplexing(TDM) 전송 방식으로 데이터를 전송하므로 각기 다른 시간슬롯이 할당되며, 이에 따라 주파수 효율은 릴레이 노드의 수 만큼 저하된다. 그리고 복수의 수신 신호를 결합하기 위해 maximum ratio combining(MRC) 기법을 사용하므로 목적지 노드의 복잡도가 증가한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 H-ARQ 기반의 협력통신 시스템을 제안하였다. 그리고 신뢰도의 향상을 위해 cross-layer의 부호화 방식을 접목시키는 방안을 제안하고 성능을 분석하였다.

II. 협력통신 시스템

기본적인 협력통신의 구성은 전송국(BS), 수신국(DS), 중계국(RS)로 나눌수가 있고 그림 1은 기본적인 협력통신 시스템의 구성도이다.

BS에서는 데이터를 RS와 DS로 같이 전송하고, RS는 BS로부터 수신된 데이터를 DS의 안정적인 수신을 위해 DS로 전송하는 것이 기본적인 협력통신의 이론이다. 이때 각각의 채널 노드들은 독립적이라고 가정한다.

이러한 협력통신은 RS의 중계 기법에 따라서 고정

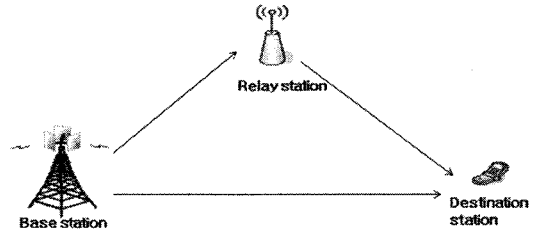


그림 1. 시스템 블록 다이어그램

중계기법과 선택적 중계기법으로 분류할 수 있다. 고정 중계 기법은 RS이 채널의 상황에 대하여 고려없이 항상 BS의 데이터를 수신하여 DS에게 전송해주는 기법으로써 Amplify-and-Forward(AF), Decode-and-Forward(DF), Coded-Cooperation(CC) 기법이 있다. AF기법은 RS에서 수신되는 신호의 파워만 증폭시켜 DS로 재 전송하는 기법으로 구현 측면에서는 간단하지만 부가된 잡음이 증폭되는 단점을 가지고 있다. DF 기법은 RS에서 수신된 신호를 부호화를 거쳐 오류를 수정 후 DS로 전송하는 기법이다. 그리고 CC기법은 DF 기법처럼 RS에서 수신된 신호를 비트 단위까지 부호화하고 이를 다시 재 부호화를 거쳐 다른 Parity Bit를 생성하여 복조 후, DS로 전송하는 방식이다. AF기법이나 DF기법에 비해 연산량 측면에서 복잡하지만 대부분의 통신 단말에 번복조기와 부호화기가 탑재되어 있어 같은 파워를 가지고 전송하였을 때 수신신호의 신뢰도 측면에서 더욱 우수한 기법이다.

중계기법의 다른 방식인 선택적 중계 기법은 RS이 BS로부터 수신된 신호의 전송 여부를 채널 이득을 통하여 결정하는 기법으로 BS와 RS간의 이득관점과 RS과 DS간의 이득 관점에 따라 ARQ 방식을 이용하여 송신단으로 ACKnowledgement(ACK)/ Negative ACKnowledgement(NACK) 신호를 보내어 재전송 여부를 결정하는 방식으로 채널 이득이 좋을 경우 신호의 전송효율을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

III. Cross-Layer 부호기법을 이용한 Hybrid-ARQ 기반의 협력통신 시스템

본 논문에서는 2장에서 설명한 고정 중계 기법의 CC방식과 선택적 중계 기법인 ARQ 방식을 결합하여 신뢰도와 전송효율의 상승을 위해 cross-layer 부호기법을 이용한 H-ARQ 기반의 협력통신을 제안한다.^[5,6]

CC 기법을 위하여 BS에서는 Reed Solomon 부호화를 거친 데이터를 RS와 DS로 전송하게 되고, RS에서는 BS로부터 수신된 데이터를 LDPC 부호화를 통

해 재 부호화를 거쳐 DS로 전송하게 된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 cross-layer 부호기법은 물리 계층 (physical layer; PL)의 LDPC와 결합된 링크 계층 (upper layer; UL)의 RS부호로 결합된 cross-layer 부호화 방식을 적용하였다. 이러한 cross-layer 부호화 방식은 deep fading으로 인해 PL에서 정정하지 못한 오류를 UL에서 정정함으로써 더욱더 오류정정 능력이 뛰어나도록 할 수 있다. 그림 2는 cross-layer 시스템의 개략적인 송신단 구조이다.

선택적 중계 기법을 위해 본 논문에서는 무선 이동통신에서 전송효율의 향상을 위해 사용되어지고 있는 H-ARQ기법을 사용하였다. H-ARQ에는 Type-I, Type-II, Type-III 방식과 여기에서 변형된 형태의 몇 가지 H-ARQ방식이 있다.^[7,8] 그림 3은 본 논문에서

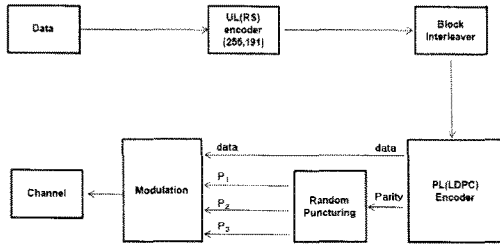
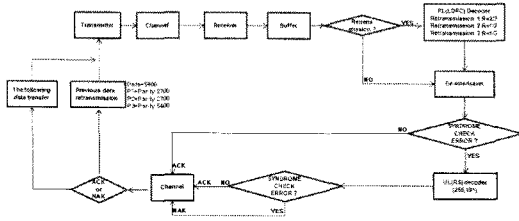
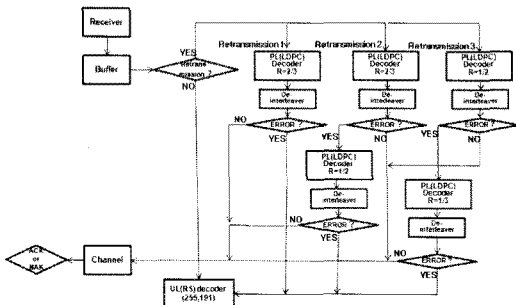


그림 2. Cross layer 시스템의 송신단 블록도



(a) H-ARQ Type-II 시스템 블록도



(b) Type-III 시스템 블록도

그림 3. Cross layer를 이용한 H-ARQ의 각 Type에 따른 블록도

제안하는 cross layer를 이용한 H-ARQ의 각 Type에 따른 블록도이다.

H-ARQ Type-II 방식에서는 재전송에 따른 LDPC 복호시에 오류정정률이 패리티 패킷에 의존해야만 하는데 첫 번째 전송시에 전달하는 데이터가 손실되었거나 잡음의 영향을 많이 받아 심하게 손상 되었을 경우 Type-II 방식은 커다란 성능 열화를 가져온다. 이러한 성능의 열화를 막기 위하여 재전송 되어진 정보 만으로도 복호가 가능하게 하여 좀 더 향상된 성능을 가지게 되는 시스템을 Type-III 방식이라 한다. Type-III 방식은 재전송 시에 패리티 패킷과 함께 UL-FEC만 거친 데이터를 같이 전송함으로써 재전송된 데이터만으로 복호를 거치게 된다. 재전송된 데이터를 복호후 오류가 검출되면 재전송 전에 받은 데이터와 결합하여 다시 복호화를 하게 됨으로써 좀더 낮은 부호화율과 함께 다이버시티 이득을 가짐으로써 BER 성능이 향상되게 된다. 본 논문에서는 이러한 H-ARQ Type에 따라 시뮬레이션하였고, 채널환경에 따라 적합한 Type을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 협력통신 시스템의 프로토콜은 다음과 같은 절차를 따른다. 굵은 선은 데이터 전송을 하는 노드를 말하고 점선은 ACK 또는 NACK 메시지를 전송하는 노드를 뜻한다.

① BS에서 전송하고자 하는 데이터를 Reed Solomon 부호화하여 RS과 DS에 전송한다.

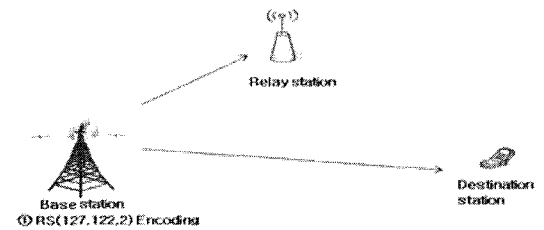


그림 4. 협력 H-ARQ 모델-①

② DS에서는 BS로부터 수신한 데이터를 Reed Solomon 부호화하여 복호된 데이터를 Reed Solom

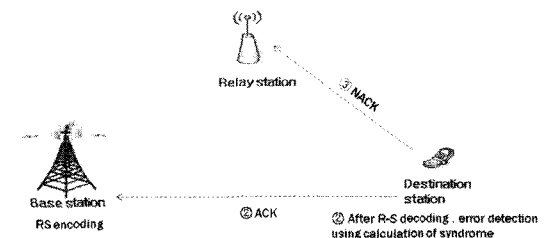


그림 5. 협력 H-ARQ 모델-②

신드롬 계산을 하여 복호된 데이터의 오류 여부를 판단하여 오류가 없을 시 BS에 ACK 신호를 전송하여 다음 데이터를 요청한다.

③ Reed Solomon 신드롬 계산에서 오류가 발생하면 DS는 RS에게 NACK 신호를 전송하게 된다.

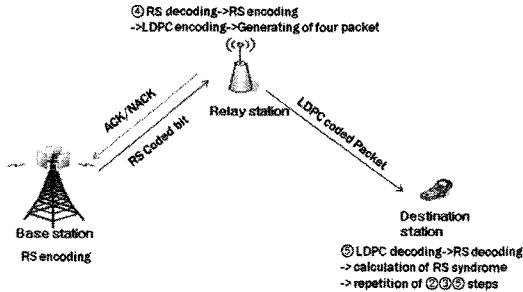


그림 6. 협력 H-ARQ 모델③

④ RS에서는 DS로부터 NACK 신호를 수신하게 되면 BS로부터 받은 Reed Solomon 신호를 복호하여 다시 Reed Solomon 부호화를 거쳐 LDPC 부호화를 하여 Reed Solomon 신호 부분인 Information 패킷과 LDPC 부호로 생성된 Parity 패킷을 생성한다. 그리고 H-ARQ Type에 따라 DS로 패킷을 전송하게 된다.

⑤ DS에서는 RS로부터 수신한 패킷을 이용하여 LDPC 복호후 다시 RS 복호를 거쳐 RS 신드롬 계산을 통하여 오류의 여부를 판단하여 오류가 없을 시에는 BS에 ACK 신호를 전송하여 다음 데이터를 요청한다. 신드롬 계산에서 오류가 발생하였을 시에는 다시 RS로 NACK 신호를 전송하여 RS로부터 LDPC로부터 생성된 다른 패킷을 수신하는 방법을 반복하여 최종적으로 RS에서 생성한 패킷을 모두 수신될 때까지 ②③⑤번과정을수행하게 된다.

IV. 실험결과 및 성능 분석

FEC의 성능기준과는 다르게 H-ARQ 시스템에서는 전송효율 또한 성능의 중요한 기준이 된다. 전송효율의 정의는 다음과 같다.^[9]

$$\eta = \frac{\text{average of the transmitted bit}}{\text{transmitted channel bit}} \quad (1)$$

i번째 재전송된 패킷을 받은 이후에 복호에 성공할 확률을 $p_i(i=0,1,\dots)$ 라 하고, i번째 재전송된 패킷을 받았을 때의 프레임 오율(frame error rate, FER)을 F_i 라

하자. 그러면 $p_i = (1 - F_1) \sum_{j=0}^{i-1} F_j$ 가 되고, 전송효율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \eta &= K_0 / (N_0 + \sum_{i=1}^{\infty} P_i M_i) \\ &= R_0 / (1 + F_0 \sum_{i=1}^{\infty} \frac{M_i}{N_0} (1 - F_i) \sum_{j=1}^{i-1} F_j) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 K_0 는 정보어의 길이, N_0 는 처음 전송된 패킷의 길이, M_i 는 재전송된 패킷의 길이이다.

모의 실험에서는 BS에서 cross-layer의 UL기반으로 오류정정율 $t=2$ 인 Reed Solomon(127,125,2) 부호화기를 사용하였고 PL기반으로 RS에서 IEEE 802.11n 기반의 LDPC 부호화기를 사용하였다. H-ARQ의 Type-II, Type-III를 사용하여 RS에서는 random puncturing을 통하여 서로 겹치지 않는 4개의 패킷을 생성하고, DS로부터 NACK 신호를 수신하면 각각의 전송 프로토콜에 따라 생성한 패킷을 전송한다. DS에서는 최종적으로 4번의 재전송을 RS으로 요청할 수가 있다.

채널 환경으로는 BS-DS, BS-RS, RS-DS의 채널 계수 $h_{ij}(j$:전송 노드, i :수신 노드)는 한 심볼 주기 동안 변하지 않고 심볼 주기에 따라 독립적으로 변하는 레일레이 페이딩과 거리에 따른 경로 손실의 영향을 고려하였다. 레일레이 페이딩 채널의 계수 h 는 정확하게 추정하고, 거리에 따른 경로 손실에 의해 BS-RS, RS-DS의 AWGN을 BS-DS구간의 반으로 가정하였다.

그림 7, 8은 H-ARQ Type-II 방식을 협력통신 시스템에 적용하였을 때의 BER과 throughput 성능이다. 일반적인 1:1 통신에서의 Reed Solomon, Reed Solomon+LDPC 성능과 협력통신 시스템에서의 H-ARQ Type2 BER 성능은 재전송횟수를 최대 4회 까지 제한하였을 때 각각 12dB, 4dB의 성능이 향상되었음을 알 수가 있다. 또한 throughput 관점에서의 성능은 E_s/N_0 -2dB에서 Reed Solomon+LDPC의 성능이 약0.5로 수렴하며 협력통신 시스템에서의 H-ARQ Type-II 성능보다 더 향상됨을 보인다. 하지만 E_s/N_0 2dB에서부터 Type-II 방식의 성능이 throughput 1로 수렴하면서 성능이 전송효율이 좋아짐을 알 수가 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 H-ARQ방식을 이용한 협력통신 시스템이 채널의 상태에 따라서 변화하는 적응형 무선통신에서의 일반적인 1:1 통신을 이용하는 방법보다 더 효율적임을 알 수가 있다.

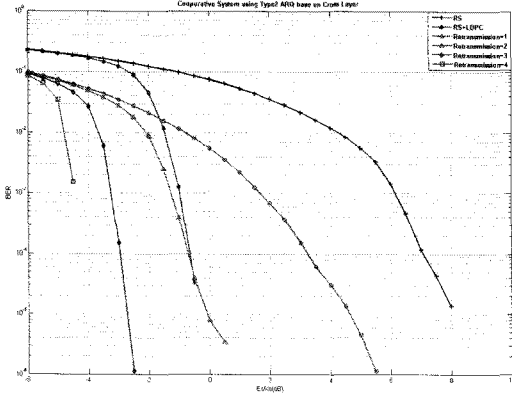


그림 7. 협력 H-ARQ Type-II의 BER 성능

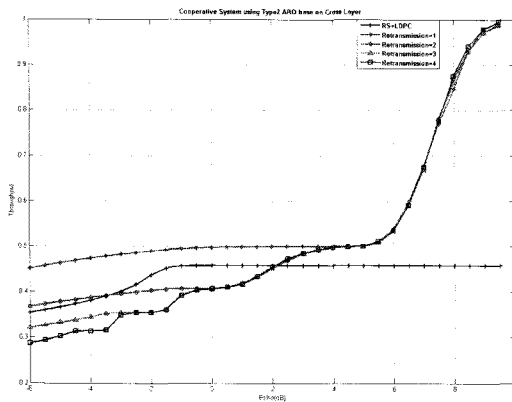


그림 8. 협력 H-ARQ Type-II의 Throughput 성능

그림 9, 10은 H-ARQ Type-III를 이용하였을 때의 BER과 throughput 성능이다. Type-II와의 성능을 비교할 때, 4-1절에서의 결과와 같이 BER 성능면에서 약 1.5dB의 성능향상이 있는 반면에 throughput 관점에서는 약 0.1의 성능이 열화가 있음을 알 수가 있다.

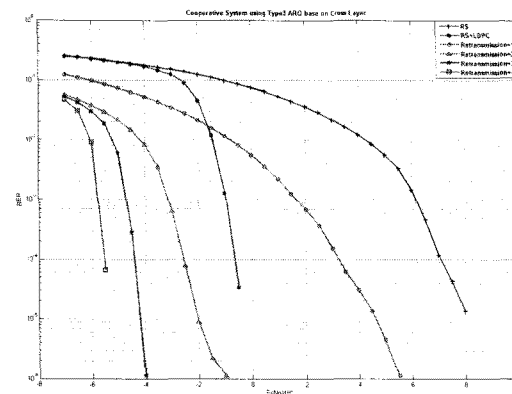


그림 9. 협력 H-ARQ Type-III의 BER 성능

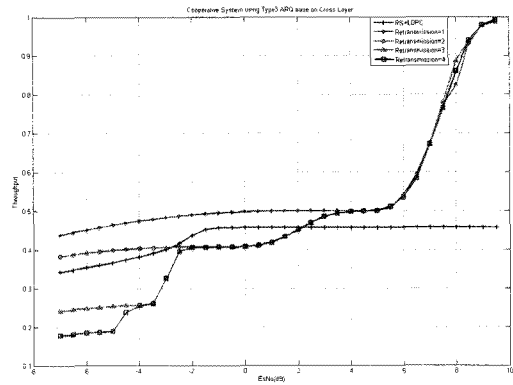


그림 10. 협력 H-ARQ Type-III의 Throughput 성능

그러므로 채널의 환경, 무선 통신에서 요구하는 BER과 throughput의 중요도를 따져, trade-off 관점에서 요구하는 H-ARQ Type을 선택하여야 한다.

V. 결론

4세대 무선 이동통신시스템에서는 복호된 데이터의 신뢰도와 전송효율을 향상시키기 위한 기술이 연구되고 있다. 따라서 전송효율의 향상을 위해 MIMO 시스템에서의 다이버시티 이득과 부호화 이득을 동시에 얻기 장점을 가지면서 단말 크기의 제한과 비용, 하드웨어의 복잡성등의 단점을 개선하면서 하나의 안테나를 갖고 있는 단말이나 기지국에서의 서로 협력하여 데이터를 전송하는 방식인 협력통신 시스템을 제안하였다. 협력통신에서 협력 복합다이버시티를 이용한 H-ARQ 기법을 제시하였고, 일반적인 MIMO 시스템을 이용하여 통신을 하였을 때보다 신뢰도와 전송효율이 향상되며 MIMO 시스템의 단점을 극복함을 알 수가 있었다.

RS(127,125,2)code 와 LDPC(N=1944, K=972, P=971)를 결합한 cross-layer 부호화 기반의 H-ARQ 기법은 협력 통신에 적용시킨 결과 1:1(point to point) 통신 보다 BER 성능면에서는, Type-II 방식에서 최대 10dB, Type-III에서 최대 11dB의 성능 향상이 있음을 알 수가 있고, throughput 면에서는 EsNo가 증가 할 수록 throughput 1로 수렴하면서 전송효율이 좋아짐을 알 수가 있다. 협력통신 시스템에서의 H-ARQ Type은 양호한 채널 환경에서는 Type-II가 더 적합하고, Type-III 방식은 채널 환경이 좋지 못하거나 순간적인 간섭의 증가, 급격한 페이딩의 상황에서 더 적합함을 알 수가 있다.

시뮬레이션 결과를 통하여 본 논문에서 제안하는

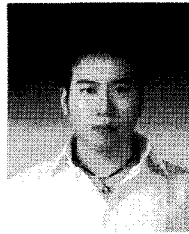
Cross-Layer 부호기법을 이용한 Hybrid-ARQ 기반의 협력통신 시스템은 일반적인 1:1 통신 보다 성능이 더 우수하면서 MIMO 시스템에서의 사이즈, 비용 등의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기술임을 증명하였다.

참고 문헌

- [1] V. Tarokh, N. Seshadri, and A. R. Calderbank, "Space-time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction," IEEE Trans. Inform. Theory, pp.744-765, Mar. 1998.
- [2] A. Nosratinia, A. Hedayat, and T.E. Hunter, "Cooperative communication in Wireless Networks," IEEE Comm. Magazine, Vol.42, Issue10, Oct. 2004, pp.74-80.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity. Part I-II," IEEE Trans. on Comm., Vol.51, Issue11, Nov. 2003, pp. 1927-1948.
- [4] J.N. Laneman, G.W. Wornell, and D.N.C. Tse, "An Efficient Protocol for Realizing Cooperative Diversity in Wireless Networks," Proc. IEEE ISIT, 2001, pp.294.
- [5] G. Faria et al. "DVB-H: Digital Broadcast Services to Handheld Devices", Proc. Of the IEEE, Vol.94, No.1, January 2006.
- [6] ETSI EN 300 744: "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television". (DVB-T)
- [7] S. Lin and D. Costello, Jr., Error Control Coding: Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 1983.
- [8] J. Hagenauer, Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes(RCPC Codes) and their Applications, IEEE Trans. Commun., Vol.36, pp.389-400, Apr. 1988.
- [9] J. Li and K. Narayanan, Rate-Compatible Low Density Parity Check Codes for Capacity-Approaching ARQ Schemes in Packet Data Communications., In Int. Conf. on Comm., Internet, and Info. Tech. (CIIT), Nov. 2002.

박 태 두 (Tae Doo Park)

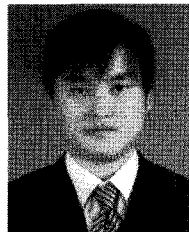
준회원



2008년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2008년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 <관심분야> 위성 통신, 이동통신, 변·복조 기술, 채널 코딩, FPGA 기술 등

김 민 혁 (Min Hyuk Kim)

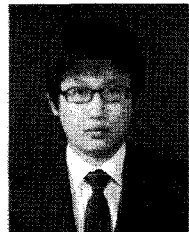
정회원



2006년 2월 한국해양대학교 전파공학과(공학사)
 2008년 2월 한국해양대학교 전파공학과(공학석사)
 2008년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
 <관심분야> 위성통신, 이동통신, 변·복조기술, 채널코딩, FPGA 기술 등

김 철 승 (Chul Seung Kim)

준회원



2009년 2월 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 <관심분야> 위성 통신, 이동통신, 변·복조 기술, 채널 코딩, FPGA 기술 등

정 지원 (Ji-Won Jung)

정회원



1989년 2월 성균관대학교 전자
공학과(공학사)

1991년 2월 성균관대학교 전자
공학과(공학석사)

1995년 2월 성균관대학교 정보
공학과(공학박사)

1991년 1월~1992년 2월 LG

정보통신연구소 연구원

1995년 9월~1996년 8월 한국통신 위성통신연구실
선임연구원

1997년 3월~1998년12월 한국전자통신연구원 초빙
연구원

1996년 9월~현재 한국해양대학교 전파공학과 정교수

2001년 8월~2002년 8월 캐나다 NSERC Fellowship
(Communication Research Center 근무)

<관심분야> 위성통신, 이동통신, 변복조기술, 채널
코딩, FPGA 기술 등