

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2016.16.1.121>

JIIBC 2016-1-17

## 위성통신망에서 Throughput 향상을 위한 Link Relay H-ARQ 방식

### Link Relay H-ARQ mode for Throughput improvement in a Satellite Communication network

황란미\*, 이병진\*, 여봉구\*, 조주필\*\*, 김경석\*\*\*

Lan-Mi Hwang\*, Byung-Jin Lee\*, Bong-Gu Yeo\*, Ju-Phil Cho\*\*,  
Kyung-Seok Kim\*\*

**요약** 위성통신은 상공에 있는 인공위성을 통신의 중계기로 이용한 통신 방법으로 통신 범위가 광범위하고 고속 데이터를 전송할 수 있어 차세대 통신으로 각광받고 있다. 하지만 지상과 위성 간의 거리가 멀어 전파 지연 시간이 매우 길고 패킷이 손상된다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 패킷 손상을 보완하기 위하여 Link Relay H-ARQ 방식을 적용하였다. 또한, 지연 시간을 보완하는 새로운 방식인 Modified Link Relay H-ARQ 방식을 제안한다. 위성통신의 채널 구현을 위해 Markov 채널을 적용하여 성능을 분석해 본 결과, Link Relay H-ARQ 방식을 적용한 경우 BER과 PER 성능이 향상되고, Modified Link Relay H-ARQ 방식을 적용한 경우 Throughput 성능이 향상됨을 확인하였다.

**Abstract** Satellite communication is a communication method using a satellite as a repeater communication on the air and have a communication range is wide and is possible to transmit high-speed data, so Satellite communication has been highlighted as the next generation communication. However, because the distance between the ground and the satellite is far away, there is a disadvantage that propagation delay time is very long and packet is damaged. Therefore, this study was applied to Link Relay H-ARQ system in order to complement the damage to the packet. Furthermore, we propose the Modified Link Relay H-ARQ scheme is a new scheme to supplementation the delay time. By applying the Markov channel for implementing a channel of satellite communications, the results of analyzing the performance, when applying the Link Relay HARQ scheme, BER and PER performance was improved, when applying the Modified Link Relay H-ARQ scheme, Throughput performance was confirmed improvement.

**Key Words** : Satellite communication, Link Relay H-ARQ, Modified Link Relay H-ARQ, Markov channel, BER, PER, Throughput

\*준회원 충북대학교 전파통신공학전공

\*\*정회원, 군산대학교 IT정보 제어공학부 IT융합통신공학전공

\*\*\*정회원 충북대학교 정보통신공학과 부교수(교신저자)

접수일자 : 2015년 11월 3일, 수정완료: 2016년 1월 2일

게재확정일자 : 2016년 2월 5일

Received: 3 November, 2015 / Revised: 2 January, 2016 /

Accepted: 5 February, 2016

\*\*\*\*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University, Korea

## I. 서론

위성통신은 상공에 있는 인공위성을 통신의 중계기로 이용한 통신 방법으로 중계할 수 있는 통신 범위가 매우 광범위하여 지역에 제한 없는 통신 서비스를 제공한다. 그렇기 때문에 지상통신에서 사용하기 힘든 산악, 선박 및 항공기 등 차세대 무선 통신에 매우 유용하게 사용되고 있다. 하지만 위성통신에서는 전파 지연 시간이 매우 길고 위성 링크에서 패킷 손실이 발생되어 성능이 현저하게 저하된다는 단점이 있다. 따라서 무선 통신 시스템에서는 멀티미디어 정보 등 용량이 큰 데이터를 전송하기 위해 높은 신뢰도를 보장하는 기법이 요구된다. 이 기법은 크게 재전송 방식(ARQ; Automatic Retransmit reQuest)과 순방향 오류 정정 부호(FEC; Forward Error Correction)로 분류된다. 재전송 방식의 경우 채널 상태에 따라서 효율적인 전송이 가능하지만 위성통신의 단점인 지연 시간이 발생하게 된다. 오류 정정 부호의 경우는 오류를 정정해 주지만 SNR이 낮거나 채널 상태가 좋지 않은 경우에서 오류 정정이 불가능 한 경우가 발생할 수도 있다. 이러한 재전송 기법과 오류 정정 부호를 상호 보완하도록 두 가지를 결합한 방식이 H-ARQ(Hybrid-Automatic Retransmit reQuest)이다<sup>[1][3]</sup>. 본 논문에서는 H-ARQ 방식 중 오류 정정 부호를 터보코드로 사용하는 터보 H-ARQ 방식을 사용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 위성통신

망에서 사용하는 Relay H-ARQ 시스템의 흐름도를 제시하고, 구조에 대해서 기술한다. 3장에서는 Link Relay H-ARQ 방식과 Modified Relay H-ARQ 방식을 비교하여 제시하고, 4장에서는 시뮬레이션 결과인 BER(Bit Error Rate), PER(Packet Error Rate), 처리량 성능을 SNR(Signal Noise Rate)로 나타내어 결과를 분석하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 제시한다.

## II. 위성통신망에서의 H-ARQ 시스템

본 논문에서 제시하는 위성통신망에서 사용하는 Relay H-ARQ 기반의 시뮬레이션 흐름도는 그림 1과 같다. 입력 데이터는 터보코드를 통해 채널 인코더 되며 BPSK 방식으로 변조시킨다. 송신기를 거친 신호는 실제와 비슷한 위성통신 환경의 시뮬레이션을 구현하기 위해 Rician 80%와 Rayleigh 20%로 구성된 Markov Channel을 통과시키고, AWGN을 추가한다. 채널을 통과된 값은 수신기로 전송된다. 수신기에서 신호는 BPSK 디코더로 신호를 복조한 뒤, 터보 디코더를 실행하여 오류비트를 체크하였다. 오류가 없다면 ACK 신호를 보내 다음 패킷을 수신하고, 오류가 있다면 NACK 신호를 보내 같은 패킷은 재전송 받는다. 일련의 과정을 거친 패킷 결과를 BER, PER, 처리량 값을 통해 통신 성능을 분석한다.

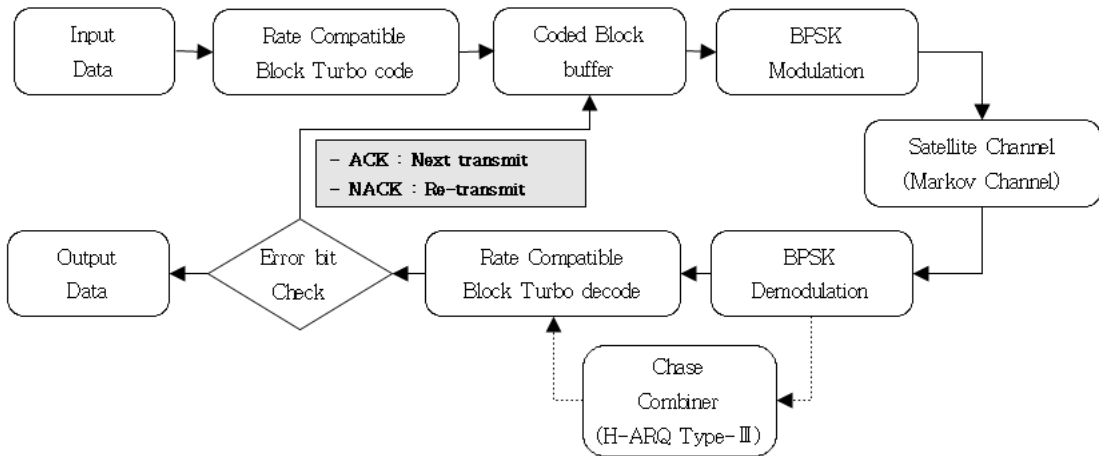


그림 1. 시뮬레이션 흐름도  
Fig. 1. Simulation Flow chart

### 1. 터보코드 기반의 H-ARQ 방식

본 연구에서 사용된 채널 코딩 방식은 터보코드 기반의 H-ARQ 방식으로 재전송 기법과 터보코드를 결합한 방식이다. 재전송에 대한 여부를 판단하는 기법으로 CRC(Cyclic Redundancy Check) 방식을 사용한다. CRC 부호기에서는 CRC 다항식에 의해 각 프레임마다 오류 검출 비트가 추가되고, 터보코드의 인코더에서는 부호율에 따라 부가 비트가 더해진다. 정보 비트는 두 개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 인코더에 입력되는데, 두 번째 RSC에는 인터리빙 된 비트가 입력되며, N비트가 입력되면 3N비트로 출력된다<sup>[4][5]</sup>.

터보 코드에서 출력된 값은 변조되고 채널을 통과하여 수신기로 전송된다. 수신기에서 복호과정을 거친 데이터는 대수우도비(LLR: Log Likelihood Ratio) 값이 계산되어 터보 복호기의 입력으로 사용된다. 터보코드 복호화에서는 반복 복호 과정을 통해 오류를 정정한다<sup>[6]</sup>.

본 연구에서 사용한 채널코드의 종류는 RCPT(Rate Compatible Punctured Turbo code)로서 채널 인코더를 통해서 패리티 비트를 생성한 뒤, 유동적으로 천공시켜 H-ARQ 방식과 결합하여 재전송하는 방식으로 시뮬레이션되어 구축하였다.

### 2. 마르코프 위성 무선채널

무선 통신에서 채널 환경은 Rician 채널, Rayleigh 채널 그리고 Log-normal 채널로 구분된다. 각 채널은 LOS(Line-of-Site)와 NLOS(Non-Line-of-Site)의 성분 값의 비율로 나타낸다. K-factor의 값이 -40dB 이하로 신호보다 잡음 세기가 강한 경우 Rayleigh 채널이고, -40dB 이상 15dB 이하면 Rician 채널이다. 그리고 15dB 이상인 잡음이 거의 없는 무선 채널인 경우 Log-normal fading 채널로 정의한다. 본 연구에서는 위성 채널은 완전한 Rician 채널과 Rayleigh 채널 일 수가 없으므로 두 가지를 모두 고려한 2-State Markov chain을 적용한다. Log-normal 채널은 거의 LOS 채널이므로 고려하지 않았다. 2-State Markov chain은 그림 2와 같으며, 확률은 식 1과 같다.

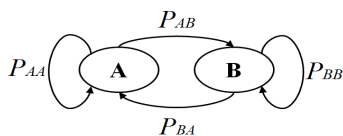


그림 2. 마르코프 체인 채널  
 Fig. 2. Markov chain channel

$$P = \begin{bmatrix} P_{AA} & P_{AB} \\ P_{BA} & P_{BB} \end{bmatrix} \quad (1)$$

## III. Link Relay H-ARQ 방식

### 1. Transparent H-ARQ 방식

기존 위성통신에서 사용하던 방식은 Transparent H-ARQ 방식으로 한 개의 Hop으로 연결되어 있는 방식이다. 송신기에서 수신기로 직접 전파 신호를 보내면 위성을 거쳐 ACK와 NACK 신호를 보낸다.

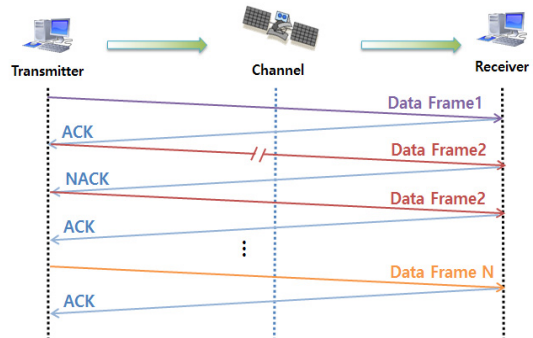


그림 3. Transparent H-ARQ 과정  
 Fig. 3. Process of Transparent H-ARQ

그림 3과 같이 수신기로부터 정확한 Data Frame 값을 수신한 경우, 송신기에서 직접 ACK 신호를 전송하여 다음 Data Frame을 수신한다. 하지만, Data Frame 2와 같이 잘못된 Data Frame을 수신한 경우에 NACK 신호를 수신기에게 보내면, 최대 전송 횟수에 도달 할 때 까지 해당 Data Frame을 송신기에게 보낸다. 이 방식은 간단하게 구현이 가능하지만 송신기와 수신기 사이의 거리가 멀고, 성능이 다소 떨어진다는 단점이 있다.

### 2. 기존 Link Relay H-ARQ 방식

Link Relay H-ARQ 방식은 그냥 중계기 역할만 하던 위성이 송신기와 수신기 사이에서 버퍼 역할을 하는 방식이다.

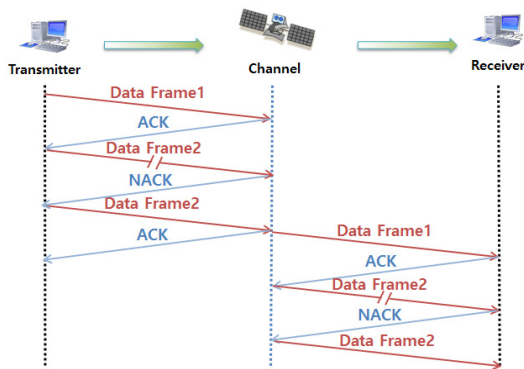


그림 4. Link Relay H-ARQ 과정  
Fig. 4. Process of Link Relay H-ARQ

그림 4처럼 Link Relay H-ARQ 방식은 송신기와 위성, 위성과 수신기 총 2개의 Hop으로 연결되어있다. 이 방식에서 위성은 Relay Function을 수행한다. 송신기에서 위성에 Data Frame을 보낸 후, 위성에서 버퍼를 사용하여 Data Frame을 저장한다. 위성의 버퍼에서 모든 Data Frame이 수신되면 수신기에게 Data Frame을 전송하는 방식이다. 이 때, 송신 과정에서 Data Frame이 손실되면 재전송하기 위해 위성에서 송신기로 재전송을 요청하는 NACK 신호를 전송한다. 여러 번 재전송을 하더라도 프레임이 손실된 버퍼의 경우의 모든 Data Frame은 삭제되고, 재전송을 한다<sup>[7]</sup>.

### 3. 제안하는 Link Relay H-ARQ 방식

기존에 사용한 Link Relay H-ARQ 방식을 사용할 경우 모든 Data Frame이 수신될 때까지 위성과 수신기와의 통신이 진행되지 않는다. 이러한 방식의 경우 같은 시간 내에 송신기에서 수신기까지 시간이 지연되어 처리량의 성능이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 이 방식의 단점을 보완한 Modified Link Relay H-ARQ 방식을 제안한다.

그림 5는 이 논문에서 제안하는 방식으로 기존에 사용된 Link Relay H-ARQ 방식과 달리 송신기로부터 받은 Data Frame이 정확하면 위성은 송신기로 ACK 신호를 보내는 동시에 바로 수신기에게 받은 Data Frame을 전송한다. 또한 위성에서 수신한 프레임이 손상된 Data Frame인 경우 위성은 수신기에게 Data Frame을 전송하지 않고 송신기에게 NACK 신호를 보낸다. NACK 신호를 받은 수신기는 최대 전송 횟수에 도달하기 전까지 위성에게 같은 Data Frame을 위성에게 전송한다. 이 방식

을 사용하면 기존에 위성에서 모든 Data Frame을 받은 다음 수신기로 보내는 방식보다 지연시간이 줄어든다.

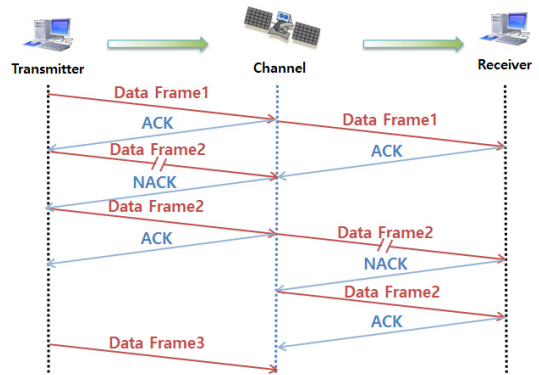


그림 5. Modified Link Relay H-ARQ 과정  
Fig. 5. Process of Modified Link Relay H-ARQ

## IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구의 시뮬레이션을 위해 사용된 파라미터는 국내에서 사용하고 있는 위성인 무궁화 5호를 기준으로 작성되었다.

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. The environment of Simulation

파라미터	값
Satellite Type	KOREASAT 5, Geosynchronous Earth Orbit (GEO)
Frequency	20.7GHz
Information sequence length	$K = 2^{12}(4096)$ bits
Channel coder	RCPT(Rate Compatible Punctured Turbo code)
H-ARQ	H-ARQ Type III Max re-transmission : 6
Modulation	BPSK
Channel	Markov channel (Rician 80%, Rayleigh 20%)
SNR range	-10dB~20dB (Step : 1dB)

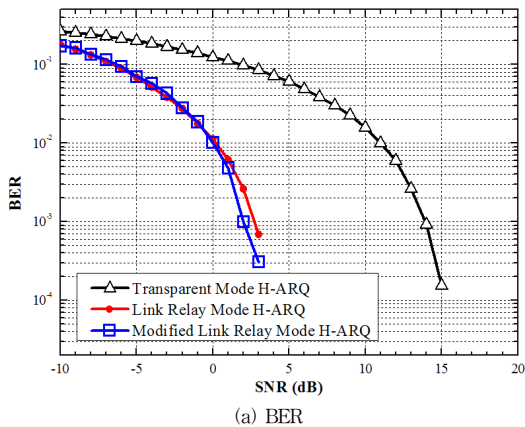
표 1에 주어진 파라미터에 따라 위성통신 기반의 Relay H-ARQ 시뮬레이션을 구성하였다. 송신 주파수는 무궁화 5호에서 가장 높은 20.7GHz를 사용하였고, 패킷의 길이는 4096비트를 사용하였다. 채널코더는 앞에서 제시한 RCPT로 사용하였다. 전송 방식은 무선

통신에서 신뢰성을 확보하기 위하여 H-ARQ Type III 방식을 사용하고, 최대 재전송 횟수를 6번으로 제한하였다. 재전송이 6번에서도 프레임이 제대로 전달이 되지 않으면 재전송을 더 이상 하지 않는다. 잔성 채널은 위성통신 환경을 구성하기 위해 Markov channel을 Rician 80%와 Rayleigh 20%를 통과하고, 기본 열잡음인 AWGN을 더하는 방식으로 구성하였다. SNR 범위는 -10dB에서 20dB 이고, 1씩 증가한다.

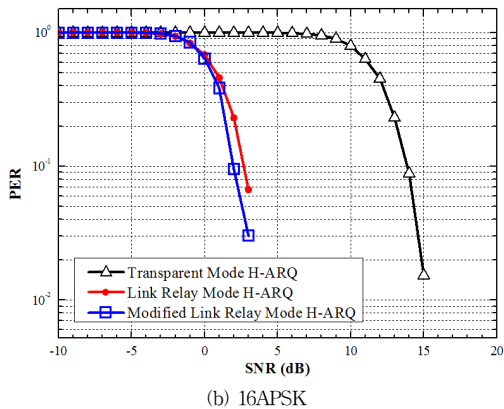
BER, PER과 처리량 시뮬레이션을 통해 전송방식에 대한 성능을 분석하였다.

### 1. BER / PER

4장에서 제시된 표 3의 시뮬레이션 환경을 바탕으로, 위성통신에서 전송 방식에 따라 BER과 PER으로 성능분석 하였다.



(a) BER



(b) 16APSK

그림 6. 전송 방식에 따른 성능비교 (BER, PER)  
 Fig. 6. Performance comparison associated with the transmission method (BER, PER)

그림 6의 (a)는 BER, (b)는 PER의 성능을 각각 비교하였다. PER은 여러 비트로 구성되어 있는 패킷으로 오류율을 비교하는 성능지표로 패킷 안에 있는 비트가 하나라도 손상된 경우 모든 패킷이 손상된다. Link Relay H-ARQ 방식과 Modified Link Relay H-ARQ 방식의 BER과 PER은 거의 일치하지만 Transparent H-ARQ 방식보다 성능이 향상된 것을 볼 수 있다. 따라서 Link Relay H-ARQ 방식을 적용할 경우 오류율 측면에서는 Transparent H-ARQ 방식보다 성능이 향상되며, 제안한 방식 역시 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있다.

### 2. 처리량 (Throughput)

Modified Link Relay H-ARQ 방식에서 기존의 Link Relay H-ARQ 방식보다 개선된 지연시간을 측정하기 위해 처리량을 성능지표로 비교한다. 처리량은 단위시간 당 어느 정도 데이터가 전달되었는지 나타내는 성능지표이다.

$$Throughput = \frac{Data_{send}(1 - BER)}{Delay} \quad (2)$$

본 논문에서는 처리량을 다음과 같은 식 2로 표현하였다. 비트 성공률에 보낸 데이터 값을 곱해 성공적으로 보낸 데이터를 계산한 후 Delay를 주어 처리량을 계산한다.

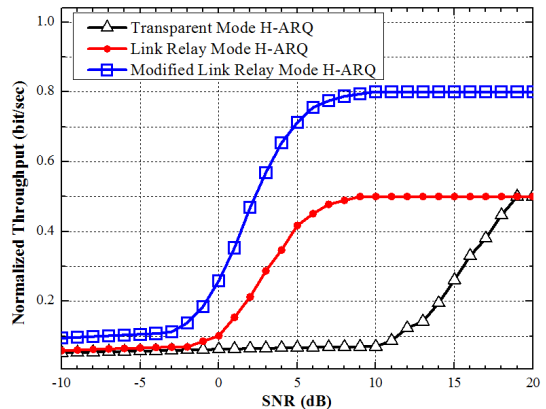


그림 7. 전송 방식에 따른 처리량 성능비교  
 Fig. 7. Throughput performance comparison associated with the transmission method

그림 7은 전송 방식에 따른 처리량을 정규화 하여 SNR로 나타낸 시뮬레이션 결과이다. Transparent H-ARQ 방식의 경우 SNR이 10dB 이하에서 거의 모든 데이터가 수신되지 않아 처리가 되지 않는 것을 볼 수 있다. Link Relay H-ARQ 방식의 경우 0.8bit/sec까지 처리량이 증가하는 Modified Link Relay H-ARQ 방식과 달리 0.5bit/sec 밖에 증가하지 못하는 것을 확인 할 수 있다. 이는 Link Relay H-ARQ 방식의 위성에서 Data Frame의 버퍼를 모두 저장한 뒤 수신기에 보내면서 Delay가 발생하기 때문이다. 위성에서 Data Frame을 수신하자마자 수신기로 전달하는 Modified Link Relay H-ARQ 방식이 처리율 성능이 제일 우수하였다.

## V. 결론

위성통신은 고속으로 데이터 전송이 가능하고, 통신 범위가 매우 광범위하여 차세대 통신으로 필요성이 증대되는 현실이다. 하지만 위성과 지상간의 거리로 인한 지연 문제는 위성통신이 가지고 있는 문제점이라고 할 수 있다.

이를 보완하기 위해 본 논문에서는 위성통신망에서 성능 향상을 위한 Link Relay H-ARQ 방식에 따른 시스템의 성능을 비교하고 분석하였다. BER과 PER 측면에서는 기존 위성통신에서 많이 사용하던 1Hop을 사용하는 Transparent H-ARQ 방식인 경우보다 2Hop을 사용하는 Link Relay H-ARQ 방식에서 성능이 현저하게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한, Link Relay H-ARQ의 단점인 지연시간을 보완하기 위해 제안한 방식인 Modified Link Relay H-ARQ는 Throughput 측면에서 성능이 기존 사용한 방식을 보다 향상된 것을 확인하였다.

본 논문의 연구에서 도출된 연구 결과는 기존 사용하는 Transparent H-ARQ 방식의 BER, PER 성능을 증가한 Link Relay H-ARQ 방식을 분석했을 뿐만이 아닌 지연시간까지 보완하는 Modified Link Relay H-ARQ 방식을 제안함으로써 위성통신망에서 Data Frame의 수신 성능과 주어진 시간 내에 데이터를 정확하고 빠르게 처리하는 처리율을 향상시키기 위해 활용할 수 있으리라 기대된다.

## References

- [1] K. Narayanan, G. Stuber, "A novel ARQ technique using the turbo coding principle", *IEEE Communications Letters*, vol. 1, no. 2, pp. 49-51, Mar.1997.
- [2] E. Uhlemann, T. Aulin, L. Rasmussen, and P. Wiberg, "Hybrid arq based on serially concatenated block codes using iterative decoding for real-time communication", in *Proc. Radio Vetenskap och Kommunikation*, Stockholm, Sweden, pp. 517-521, Jun. 2002.
- [3] S. Kallel, "Analysis of type II hybrid ARQ schemes with code combining", *IEEE Transactions on Communications*, vol. 38, no. 8, Aug. 1990.
- [4] Yeonsoo Jang, "Partial Retransmission Turbo H-ARQ Using the Sign Transitions of A Posteriori Values", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science* 22(8), 768-775 (8 pages), 2011.
- [5] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo codes", in *Proc. ICC '93*, pp. 1064-1070, Geneva, Switzerland, May 1993.
- [6] M. Soleymani, Y. Gao, and U. Vilaipornsawai, *Turbo Coding for Satellite and Wireless Communications*, Kluwer Academic Publishers, pp. 23-50, 2002.
- [7] Zongyang Luo, Zhili Sun, Haitham Cruickshank, "On-Board Link Layer Relay Mechanism to Enhance TCP in Satellite IP Networks", *Mobile and Wireless Communications Summit*, July 2007.

**저자 소개**

**황 란 미(준회원)**



- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사 과정  
 <주관심분야 : MIMO-OFDM, 가시광 통신, 위성통신, 무선 통신 암호화 알고리즘, 채널 모델>

**이 병 진(준회원)**



- 2013년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정  
 <주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선통신, 위성통신>

**여 봉 구(준회원)**



- 2015년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2015년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사 과정  
 <주관심분야 : 위성통신 분석, 무선 통신 암호화 알고리즘 >

**조 주 필(정회원)**



- 2001년 2월 : 전북대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 ~ 2005년 : ETRI 이동통신연구단 선임연구원
- 2006년 ~ 2007년 : ETRI 이동통신연구단 초빙연구원
- 2011년 ~ 2012년 : 미국 USF, 교환교수
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 IT정보제어공학부 IT융합통신공학전공 교수  
 <주관심분야 : LTE-A, 5세대 이동통신, Cognitive Radio, LED-ID>

**김 경 석(정회원)**



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수  
 <주관심분야 : SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선 통신, 가시광 통신, 디지털 라디오, 전파채널분석, 전파감시/관리시스템, 위성망 분석>

※ "이 논문(도서, 작품)은 2015년도 충북대학교 학술연구지원사업의 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음  
 (This work was supported by the intramural research grant of Chungbuk National University in 2015)"