

논문 2008-45TC-4-4

레이리 페이딩 채널에서 LLR 기반의 협력 ARQ 프로토콜

(LLR-based Cooperative ARQ Protocol in Rayleigh Fading Channel)

최 대 규*, 공 형 윤**

(Dae Kyu Choi and Hyung Yun Kong)

요 약

기존의 협력통신은 목적지 노드에서 소스 노드와 릴레이 노드들로부터 독립적인 채널의 동일한 신호를 수신하므로 공간 다이버시티와 경로손실감소 이득을 얻을 수 있다. 하지만, 릴레이 노드의 사용으로 인해 주파수 효율이 저하되고, maximal ratio combining (MRC) 결합 방식을 사용함으로써 수신단의 복잡도가 증가하는 문제를 초래하였다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하는 동시에 우수한 BER 성능을 얻을 수 있는 협력 ARQ 프로토콜을 제안하였다. 이 방식은 소스 노드로부터 수신한 신호를 우선적으로 목적지 노드에서 평가하여 만족되어질 경우, ACK 메시지를 소스 노드와 릴레이 노드로 전송하고 수신한 신호를 복구하므로 기존의 협력통신에 비해 주파수 효율을 높일 수 있다. 또한, ARQ 메시지가 NACK일 경우, 릴레이 노드는 선택적 재전송을 하므로 소스 노드가 재전송하는 일반적인 ARQ 프로토콜에 비해 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다. 제안하는 프로토콜에서의 선택적 전송과 ARQ 메시지의 정보는 각각 소스 노드로부터 수신한 신호의 log-likelihood ratio (LLR) 계산 값과 임의의 문턱 값을 비교하여 결정하므로 기존의 CRC 부호를 위한 대역폭 할당을 요구하지 않으며, 목적지 노드에서 부가적인 결합방식을 사용하지 않음으로써 수신단의 복잡도를 줄일 수 있었다. 레이리 페이딩과 AWGN를 고려한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 주파수 효율과 BER 성능을 검증하였다.

Abstract

Conventional cooperative communications can attain gain of spatial diversity and path loss reduction because destination node independently received same signal from source node and relay node located between source node and destination node. However, these techniques bring about decreased spectral efficiency with relay node and increased complexity of receiver by using maximal ratio combining (MRC). This paper has proposed cooperative ARQ protocol that can improve the above problems and can get the better performance. This method can increase the spectral efficiency than conventional cooperative communication because 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, relay node operates selective retransmission and we can increase reliability of system compared with that of general ARQ protocol in which source node retransmits data. In the proposed protocol, the selective retransmission and ARQ message are to be determined by comparing log-likelihood ratio (LLR) computation of received signal from source node with predetermined threshold values. Therefore, this protocol don't waste redundant bandwidth with CRC code and can reduce complexity of receiver without MRC. We verified spectral efficiency and BER performance for the proposed protocol through Monte-Carlo simulation over Rayleigh fading plus AWGN.

Keywords : Cooperative communication, ARQ, MRC, Rayleigh fading, LLR

* 학생회원, ** 정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

(Dept. of Electrical Engineering, University of Ulsan)

※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2007-000-20400-0).

접수일자: 2008년1월9일, 수정완료일: 2008년4월18일

I. 서 론

다중 경로 페이딩은 무선 채널에서의 전송 신호에 심각한 왜곡과 지연을 일으키므로 통신 시스템의 성능을 현저하게 저하시킨다. 따라서 무선 통신 분야에서는 이를 극복하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으며,

그 중 수신단에서 복수의 동일한 전송 신호를 수신하여 결합하는 다이버시티 기술이 효율적인 방법으로 주목받고 있다. 이와 관련한 Multi-Input Multi-Output (MIMO) 시스템은 시공간 다이버시티 이득과 함께 채널용량 증대의 효과를 얻을 수 있어 4세대 이동통신을 위한 기술로 활발히 연구되고 있다. 그러나 이 시스템은 여러 개의 안테나를 하나의 통신기기에서 사용하여야 하므로 통신기기의 크기, 비용, 전력, 복잡도의 문제를 야기시킨다. 이에 따라 하나의 안테나를 사용하는 통신기기들이 파트너와 가상의 다중 안테나를 구성하는 협력통신이 대두되었다. 이 기술은 소스 노드와 목적지 노드 사이에 위치한 릴레이 노드가 소스 노드의 데이터를 함께 공유함으로써 경로손실을 줄일 수 있다. 또한, 소스 노드와 목적지 노드, 릴레이 노드와 목적지 노드 링크는 독립적인 채널을 형성하므로 목적지 노드는 릴레이 노드의 수와 동일한 공간 다이버시티 차수를 얻을 수 있다. 따라서 무선 네트워크에서의 협력통신은 기존의 통신기기를 교체하지 않고, 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 효과적인 기술이라고 할 수 있다.

현재까지 협력통신을 위한 많은 프로토콜이 제안되었으며, 제안된 프로토콜을 간략히 살펴보면 다음과 같다. 기본적인 협력 프로토콜은 [1]-[4]에서 제안되었으며, Laneman는 fixed relaying modes뿐만 아니라 목적지 노드로부터 제한된 피드백을 사용하는 incremental relaying protocol을 연구하였다. 여기에서 detect-and-forward protocol (DFP)는 bit error rate (BER) 성능과 복잡도를 고려할 때 가장 합리적인 프로토콜임을 검증하였다. DFP는 릴레이 노드에서 복구한 신호를 어떠한 과정 없이 그대로 변조하여 목적지 노드로 재전송하기 때문에 소스 노드와 릴레이 노드 사이의 신뢰성이 프로토콜의 BER 성능을 좌우하게 된다. 따라서 릴레이 노드에서 수신 신호의 signal to noise ratio (SNR)를 이용하여 임의의 에러확률과 비교함으로써 소스 노드와 릴레이 노드 채널이 좋을 경우에만 재전송을 하는 selection relaying protocol (SRP)이 제안되었다^[4]. 이후 [5]에서는 SNR 기반의 SRP가 수신 신호의 에러확률을 오직 채널 계수만을 이용하여 계산하므로 채널 계수보다 더 큰 잡음이 더해질 경우에는 효과적인 방법이 될 수 없다는 단점을 보완한 log-likelihood ratio (LLR) 기반의 SRP가 제안되었다.

대부분의 협력통신 프로토콜은 시스템의 성능을 향상시키기 위해 full 다이버시티를 요구하였다. 그러나 실제로 각 노드는 time division multiplexing (TDM)

전송 방식으로 데이터를 전송하므로 각기 다른 시간슬롯이 할당되며, 이에 따라 주파수 효율은 릴레이 노드의 수만큼 저하된다. 또한, 복수의 수신 신호를 결합하기 위해 maximum ratio combining (MRC) 기법을 사용하므로 목적지 노드의 복잡도가 증가하였다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 목적지 노드에서 제한적인 피드백을 사용하는 incremental relaying protocol (IRP)을 확장하여 목적지 노드와 릴레이 노드에서 소스 노드로부터 수신한 신호의 LLR 에러 확률과 ARQ 메시지를 이용하는 협력 ARQ 프로토콜을 제안하였다. 소스 노드의 데이터는 다음의 과정에 의해 전송되어질 수 있다.

1. 목적지 노드에서 수신한 신호의 LLR 에러 확률 값이 임의의 문턱 값 (P_T^{e1})보다 작을 경우에는 비협력 전송 모드이며, 목적지 노드는 소스로부터 수신한 신호를 복구한다.

2. 목적지 노드에서 수신한 신호의 LLR 에러 확률 값이 임의의 문턱 값 (P_T^{e1})보다 크며, 릴레이 노드에서 임의의 문턱 값 (P_T^{e2})보다 작을 경우, 릴레이 노드는 목적지 노드로 소스 노드로부터 수신한 신호를 재전송하는 협력 전송을 한다. 목적지 노드는 릴레이 노드로부터 수신한 신호만을 이용하여 데이터를 복구한다.

3. 목적지 노드는 2와 동일하며, 릴레이 노드가 임의의 문턱 값 (P_T^{e2})보다 클 경우, 소스 노드가 목적지 노드로 데이터를 재전송한다. 목적지 노드는 소스 노드로부터 수신한 신호만을 이용하여 데이터를 복구한다. 목적지 노드에서 수신 신호의 LLR 에러 확률 값이 문턱 값보다 클 경우, 제안하는 프로토콜은 full 다이버시티를 얻을 수 있으며 목적지 노드에서는 MRC로 인한 복잡도를 고려하여 신호들을 결합하지 않는다. 즉, 첫 번째 시간 슬롯에서 소스로부터 수신한 신호는 제거하고 릴레이 노드 또는 소스 노드로부터 수신한 신호만을 복구한다. 위의 복구 방법은 LLR를 통해 검증한 신호만을 선택적으로 복구하므로 MRC 기법이 필요하지 않음을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 제안한 프로토콜은 목적지 노드로부터 ACK 또는 NACK 메시지를 사용하기 때문에 일반적인 협력 통신 프로토콜과 차이가 있다. 협력 ARQ 프로토콜은 두 번째 시간 슬롯을 필요시에만 사용하므로 항상 릴레이를 사용하는 일반적인 협력 통신에 비해 주파수 효율이 크게 향상된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 프로토콜 모델, 사용한 채널 모델, 제안한 프로토콜의

전송 과정에 따른 신호 해석을 기술하였다. III장에서는 레일리 페이딩 환경에서의 시뮬레이션 결과를 통해 성능을 확인하였다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺었다.

II. 본 론

1. LLR 기반의 협력 ARQ 프로토콜 모델

제안하는 프로토콜은 소스 노드 (S), 릴레이 노드 (R), 목적지 노드 (D)로 그림 1과 같이 구성되어진다. 그림 1에서의 굵은 선은 데이터 전송을 나타내고 점선은 ACKnowledgement (ACK) 또는 Negative ACKnowledgement (NACK) 메시지를 나타낸다. 각 노드간의 데이터 전송과 ACK/NACK 메시지 전송은 time division duplex (TDD) 방식이며, 각 노드들은 전송과 수신을 동시에 할 수 없으므로 time division multiplexing access (TDMA) 방식으로 D에 데이터를

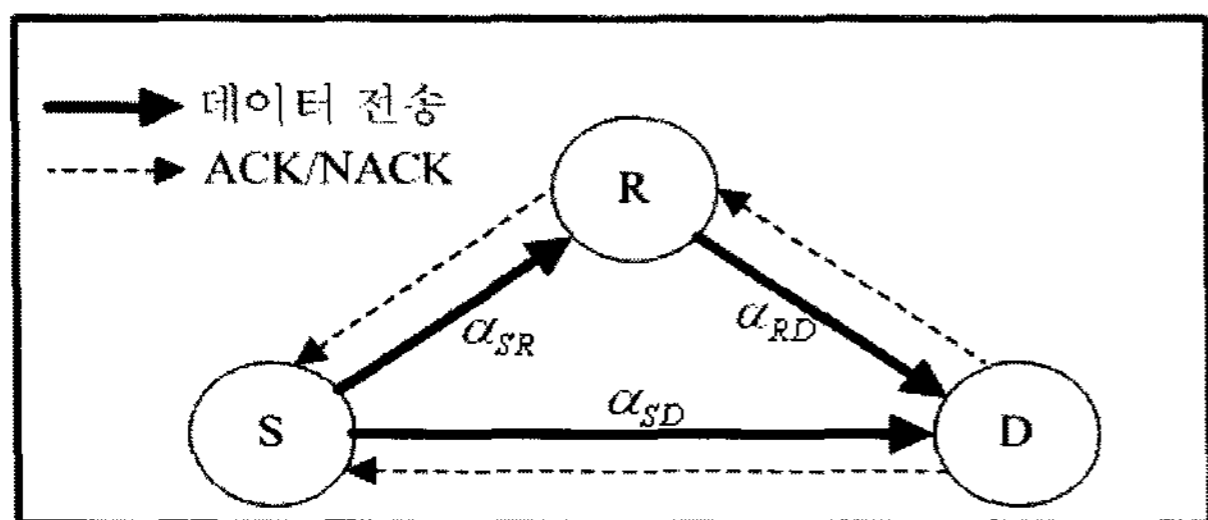


그림 1. 협력 ARQ 프로토콜 모델
Fig. 1. Cooperative ARQ protocol model.

	데이터 슬롯	피드백 슬롯	데이터 슬롯
S	데이터 n		데이터 n
R		ACK/NACK	
D		NACK	
(a)			
S	데이터 n		데이터 n+1
R		ACK/NACK	
D		ACK	
(b)			
S	데이터 n		데이터 n
R		ACK	데이터 n
D		NACK	
(c)			
S	데이터 n		데이터 n
R		NACK	
D		NACK	
(d)			

그림 2. 협력 ARQ 프로토콜의 시간 슬롯 구조 (a) 일반적인 ARQ 프로토콜, (b)-(d) 협력 ARQ 프로토콜의 과정 1, 2, 3

Fig. 2. Time slot structure of cooperative ARQ protocol (a) General ARQ protocol, (b)-(d) First, second and third step of cooperative ARQ protocol.

전송한다. R은 소스로부터 수신한 신호를 복조하고 Maximum likelihood (ML) 규칙에 의해 데이터를 복구하고 재전송시에는 복구한 데이터를 변조시켜 D로 전송하는 detect-and-forward 방식을 사용하였다.

일반적인 ARQ 프로토콜은 S에서 Cyclic redundancy check (CRC) 부호를 사용하여 데이터 n을 전송한다. 소스 노드로부터 수신한 데이터에 오류가 발견되면 목적지 노드는 NACK 메시지를 S로 전송하고 S에서 데이터 n을 재전송 한다 (그림 2. (a)). 제안하는 협력 ARQ 프로토콜은 첫 번째 시간 슬롯에서 S가 R과 D로 데이터 n을 전송한다. D에서는 수신 신호의 LLR 에러 확률 값과 임의로 결정한 문턱 값을 비교하여 R과 S로 ACK 또는 NACK 메시지를 전송한다. D가 ACK 메시지를 전송할 경우 S는 다음 데이터 슬롯에서 데이터 n+1을 전송한다 (그림 2. (b)). S와 R이 NACK 메시지를 수신한다면 S는 대기하고 R은 첫 번째 시간 슬롯에서 소스로부터 수신한 신호의 LLR 에러 확률 값과 문턱 값을 비교하여 재전송 여부를 결정하고 동시에 S로 ACK 또는 NACK 메시지를 전송한다. R로부터 ACK 메시지를 수신하면 S는 계속 대기하고 R은 다음 데이터 슬롯에서 데이터 n을 D로 재전송한다 (그림 2. (c)). NACK 메시지를 수신하면 소스 노드는 데이터 n을 D로 재전송한다 (그림 2. (d)). 최종적으로 S와 R이 D로부터 ACK 메시지를 수신하면 S는 데이터 n+1을 전송한다.

본 논문에서는 데이터의 지연과 시스템의 버퍼 크기를 줄이기 위하여 truncated ARQ 개념^[6]을 사용하여 재전송 최대 횟수를 1회로 가정하였다. 즉, D에서 재전송을 요구하는 동시에 수신 신호를 제거하고 재전송된 신호만으로 데이터를 복구한다.

2. 채널 모델

그림 1에서의 S-D, S-R, R-D의 채널 계수 α_{ij} (i: 전송 노드, j:수신 노드)는 한 심볼 주기 동안 변하지 않고 심볼 주기에 따라 독립적으로 변하는 느린 레일리 페이딩과 거리에 따른 경로 손실의 영향을 고려한 경로 이득을 함께 고려하였다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 프로토콜 모델을 사용하였으므로, 세 개의 채널 (S-D, S-R, R-D)은 상호 독립적이라고 가정할 수 있다. $|\alpha_{ij}|^2$ 은 평균이 λ_{ij}^2 인 지수랜덤함수이며, λ_{ij}^2 은 $(d_{SD}/d_{ij})^\eta$ 으로 d_{ij} 는 i와 j 사이의 거리, η 는 경로손실지수를 나타낸다. 느린 페이딩 채널 환경을 고려하였으므로 각 수

신 노드는 페이딩 계수 α_{ij} 을 정확하게 측정한다고 가정하였다.

3. 신호 해석

가. 첫 번째 시간 슬롯

첫 번째 시간 슬롯에서 S는 R과 D로 BPSK 심볼 a ($-1, 1 \in a$)를 전송한다. R과 D에서의 기저 대역 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_{SR}(n) = \alpha_{SR}(n) \sqrt{P_S} a(n) + z_{R1}(n) \quad (1)$$

$$y_{SD}(n) = \alpha_{SD}(n) \sqrt{P_S} a(n) + z_{D1}(n) \quad (2)$$

여기에서 z_{jn} 는 n 시간 슬롯 j 노드에서 평균이 0인 복소 가우시안 잡음이며, 분산은 ζ_{jn} 로 나타내었다. P_S 는 소스 노드에서의 전송전력이다. 채널을 느린 페이딩이라고 가정하였기 때문에 n 시간 슬롯동안은 변하지 않으므로 이제부터 n 은 사용하지 않을 것이다.

목적지 노드에서 maximum likelihood (ML) 규칙에 의해 원래의 신호를 복구하면 다음과 같다.

$$y_D = \text{Re}(\alpha_{SD}^* y_{SD}) = |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S} a + z_D \quad (3)$$

$$\bar{a} = \text{sign}(y_D) \quad (4)$$

여기에서 $\text{Re}(\cdot)$ 는 \cdot 의 실수 부분을 나타내며 $\text{sign}(\cdot)$ 는 시그넘 함수이다. $z_D = \text{Re}(\alpha_{SD}^* z_{SD})$ 는 평균이 0이고 분산이 $|\alpha_{SD}|^2/2$ 인 가우시안 랜덤 변수이다. 따라서 식 (3)으로부터 BPSK 전송의 순간적인 BER를 Q-함수를 사용하여 계산하면 다음과 같다.

$$P_{SD}^e = Q(\sqrt{2P_S|\alpha_{SD}|^2}) \quad (5)$$

수신 신호의 LLR 에러 확률을 구하기 위해서 식 (3)과 식 (5)을 이용하여 조건부 확률 밀도를 구하면 다음과 같다.

$$p(y_D|a, |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi|\alpha_{SD}|^2/2}} \exp\left(\frac{-(y_D - |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S} a)^2}{2|\alpha_{SD}|^2/2}\right) \quad (6)$$

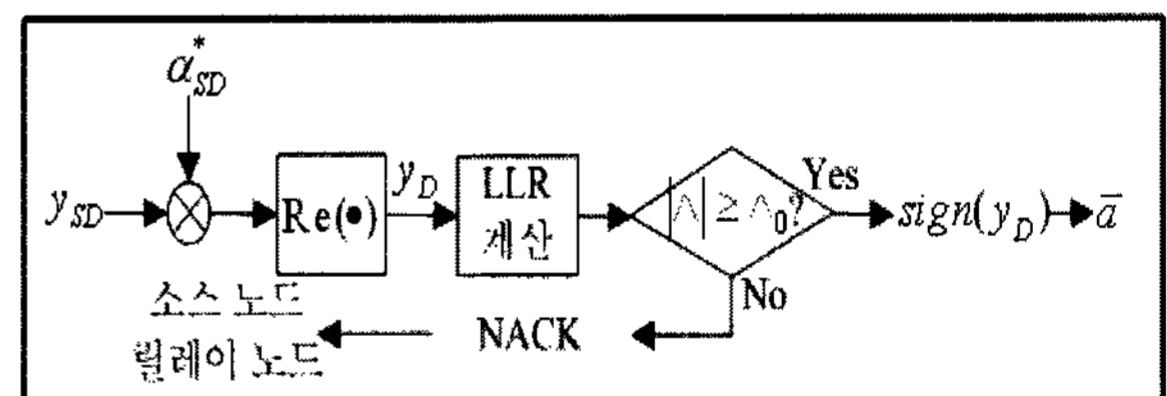
여기에서 a 가 -1 또는 $+1$ 일 확률은 같다고 가정한다면, 목적지 노드에서의 a-posteriori LLR (Λ_{SD})은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Lambda_{SD} &= \ln \frac{p(a=1|y_D, |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S})}{p(a=-1|y_D, |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S})} \\ &= \ln \frac{p(y_D|a=1, |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S})}{p(y_D|a=-1, |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S})} \\ &= \ln \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi|\alpha_{SD}|^2/2}} \exp\left(\frac{-(y_D - |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S}(1))^2}{2|\alpha_{SD}|^2/2}\right)}{\frac{1}{\sqrt{2\pi|\alpha_{SD}|^2/2}} \exp\left(\frac{-(y_D - |\alpha_{SD}|^2 \sqrt{P_S}(-1))^2}{2|\alpha_{SD}|^2/2}\right)} \\ &= 4y_D \sqrt{P_S} \end{aligned} \quad (7)$$

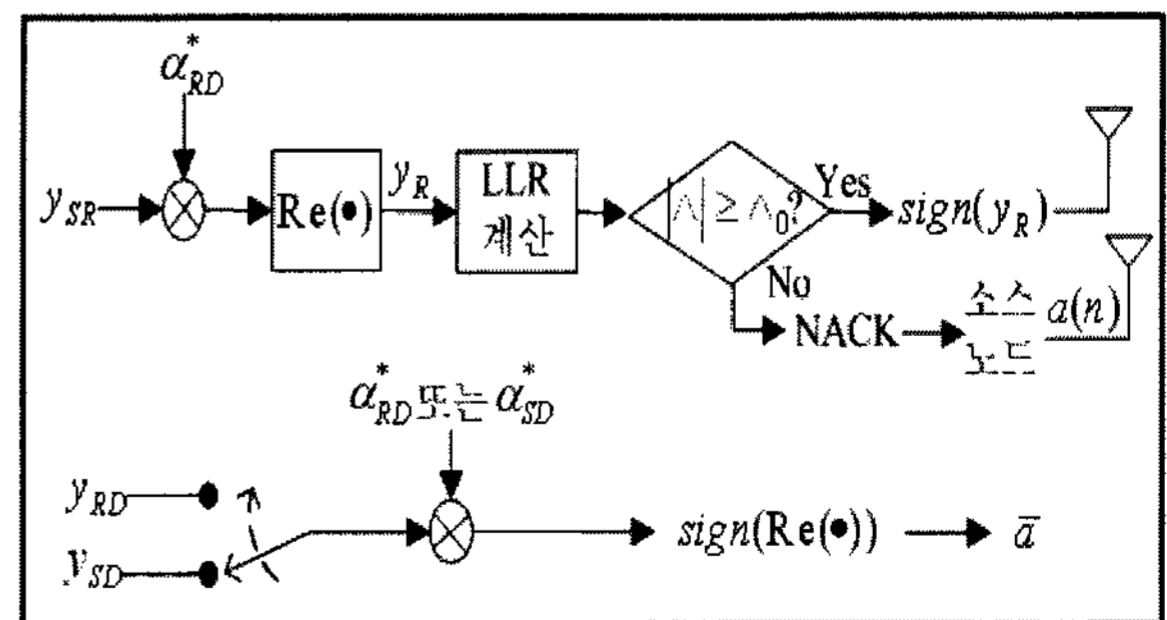
Λ_{SD} 는 수신 데이터의 경판정 (hard decision) 값으로 수신 신호의 채널 계수뿐만 아니라 잡음도 고려되어지기 때문에 LLR은 수신 데이터를 측정하는데 좋은 방법이 될 수 있다. Λ_{SD} 를 사용하여 BER을 구하면 다음과 같다^[7].

$$P_{SD}^e = \frac{1}{1 + e^{|\Lambda_{SD}|}} \quad (8)$$

본 논문에서 제안한 협력 ARQ 프로토콜은 첫 번째 시간 슬롯에서 목적지 노드는 소스로부터 수신한 신호를 복구하기 전에 수신 신호의 LLR 에러 확률 P_{SD}^e 와 임의의 문턱 값 P_T^e 을 비교한다. 다음과 같은 조건일



(a)



(b)

그림 3. LLR 기반의 협력 ARQ 프로토콜 블록 다이어그램(1) 첫 번째 시간 슬롯, (2) 두 번째 시간 슬롯

Fig. 3. Block diagram of cooperative ARQ protocol based on LLR (1) First time slot, (2) Second time slot.

경우 목적지 노드는 ACK 메시지를 소스 노드와 릴레이 노드로 전송한다.

$$P_{SD}^e = \frac{1}{1 + e^{|\Lambda_{SD}|}} \leq P_T^{e1} \quad (9)$$

또는

$$|\Lambda_{SD}| \geq \ln\left(\frac{1}{P_T^{e1}} - 1\right) = \Lambda_D \quad (10)$$

목적지 노드는 ACK 메시지를 전송하는 동시에 식 (3) 과 같은 방법으로 \bar{a} 을 얻을 수 있다.

만약 식 (9)을 만족하지 않으면 목적지 노드는 NACK 메시지를 소스 노드와 릴레이 노드로 전송하고 목적지 노드는 데이터를 제거한다. 위의 과정은 그림 3 (1)에 블록 다이어그램으로 나타내었다.

나. 두 번째 시간 슬롯

소스 노드는 목적지 노드로부터 NACK 메시지를 수신하면 대기 상태에 놓이고 릴레이 노드로부터 ACK 또는 NACK 메시지를 기다린다. 릴레이 노드는 목적지 노드로부터 NACK 메시지를 수신하면 첫 번째 시간 슬롯에서 소스로부터 수신한 데이터를 식 (6)을 이용하여 $|\Lambda_{SR}|$ 을 계산하고 임의로 결정한 Λ_R 와 비교한다. 릴레이 노드는 다음의 조건을 만족해야만 ACK 메시지를 소스 노드와 목적지 노드로 전송하고 수신 데이터는 detect-and-forward의 과정을 거쳐서 목적지 노드로 전송되어진다.

$$|\Lambda_{SR}| \geq \ln\left(\frac{1}{P_T^{e2}} - 1\right) = \Lambda_R \quad (11)$$

목적지 노드에서 릴레이 노드로부터 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_{RD} = \alpha_{RD} \sqrt{P_R} \hat{a} + z_{D2} \quad (12)$$

여기에서 $\hat{a} = \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{SR}^* y_{SR}))$ ($-1, 1 \in \hat{a}$)이다. 목적지 노드는 어떠한 신호의 결합 없이 신호를 복구하고 ACK 메시지를 릴레이 노드와 소스 노드에 전송하여 소스 노드가 데이터 n+1을 다음 시간 슬롯에 전송하도록 한다. 목적지 노드에서 복구한 신호는 다음과 같다.

$$\bar{a} = \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{RD}^* y_{RD})) \quad (13)$$

따라서 목적지 노드는 릴레이 노드와 목적지 노드의

channel state information (CSI)만을 요구하므로 신호 결합을 위해 MRC를 사용하는 경우보다 복잡도를 줄일 수 있다.

릴레이 노드에서 식 (10)을 만족하지 않을 경우 릴레이 노드는 NACK 메시지를 목적지 노드와 소스 노드로 전송하고 수신한 신호를 제거한다. 소스 노드는 NACK 메시지를 수신하면 목적지 노드로 데이터 n을 재전송한다. 목적지 노드는 소스 노드의 데이터만을 이용하여 수신 신호를 복구한다. 그 과정은 식 (12), (13)과 동일하다.

III. 시뮬레이션 결과

제안한 협력 ARQ 프로토콜은 일반적인 협력 전송과 마찬가지로 소스 노드와 목적지 노드 사이의 거리를 $d_{SD} = 1$ 로 일반화하였으며, 소스 노드와 릴레이 노드 사이에 위치시킨 릴레이 노드와 소스 노드간의 거리는 $d_{SR} = 1 - d_{SD}$ 로 나타내었다. 본 논문에서는 경로 손실 $\eta = 3$, 릴레이 노드의 위치 $d_{SR} = 0.6$ 인 경우만을 고려하였다^{[8][9]}. 각 노드의 전송전력은 직접 전송의 경우에 요구되는 전송전력 P_T 을 기준으로 협력 ARQ 프로토콜이 데이터 n을 목적지 노드로 전송하기 위해 필요한 총 전력이 P_T 을 초과하지 않도록 하기 위하여 각 노드의 전송 전력은 $P_S = P_R = P_T/2$ 로 하였다. 제안한 프로토콜은 목적지 노드와 릴레이 노드의 임의의 문턱 값에 의해 전송이 결정되므로 문턱 값이 동일 할 경우 ($P_T^{e1} = P_T^{e2}$)와 동일하지 않을 경우 ($P_T^{e1} \neq P_T^{e2}$)로 시뮬레이션을 하였다. 일반적인 ARQ와 협력 ARQ 프로토콜의 최대 재전송 횟수를 1로 하여 최대 할당되는 시간슬롯을 기존의 협력통신과 동일하게 하였다. 이러한 가정은 ARQ에 따른 지연을 줄이므로 실시간 데이터 전송에도 적합하다. 본 논문에서는 주파수 효율을 비교하기 위해 직접 전송 (DT)은 협력 전송이 0%로 최적의 주파수 효율 '1'을 나타내고, DFP는 협력 정도 100%로 직접 전송에 비해 1/2의 주파수 효율을 가진다고 가정하였다.

그림 4에서는 제안하는 LLR 기반의 협력 ARQ 프로토콜이 문턱 값에 상관없이 다른 프로토콜보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 또한, SNR이 커질수록 그 차이는 더욱 커지며, 그림 5에서와 같이 협력 정도도 현저히 낮아져 직접 전송에 가까워짐을 알 수 있다. 이것은 ARQ 기술과 목적지 노드와 릴레이 노드에서

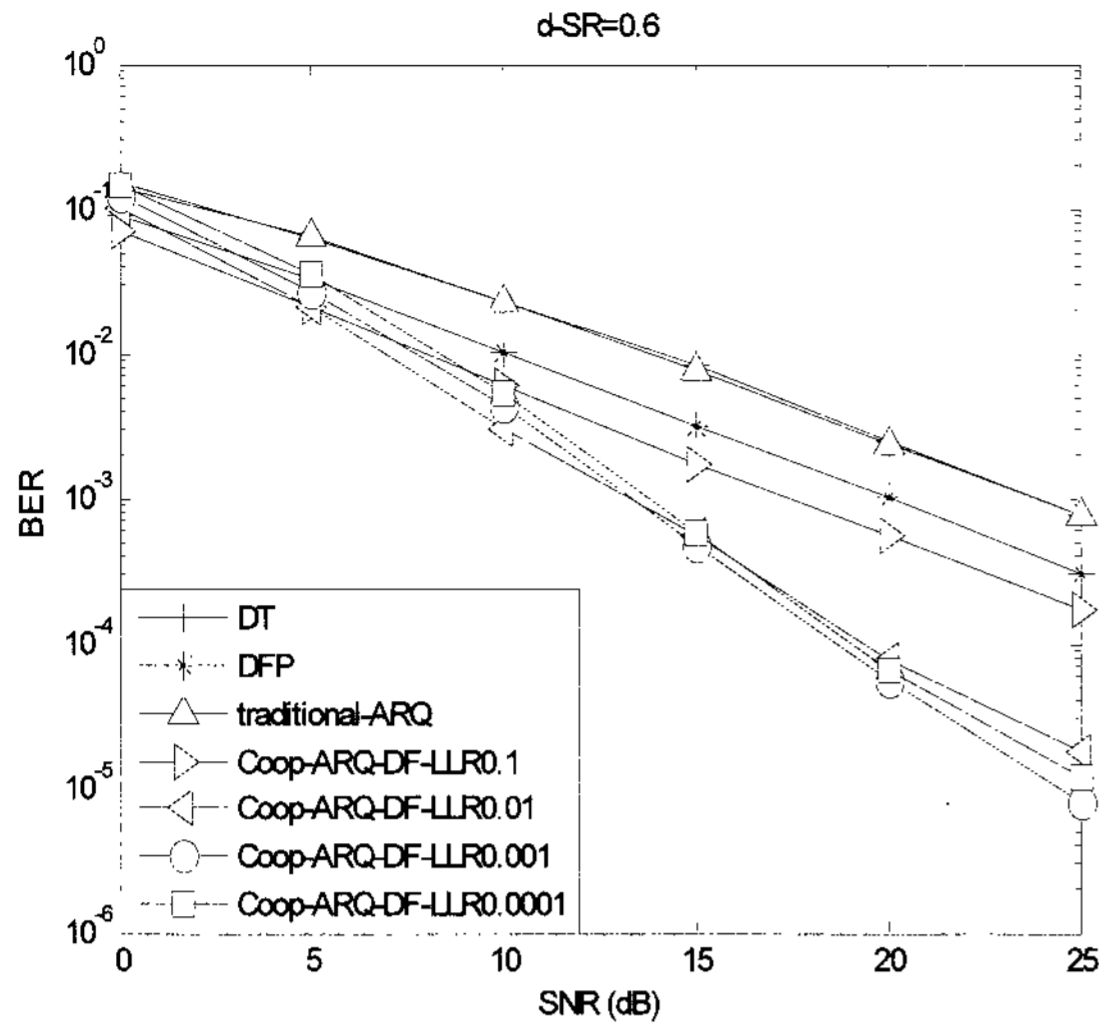


그림 4. 제안하는 협력 ARQ 프로토콜과 여러 프로토콜과의 성능 비교
 Fig. 4. Performance comparison of proposed cooperative ARQ protocol with some protocol.

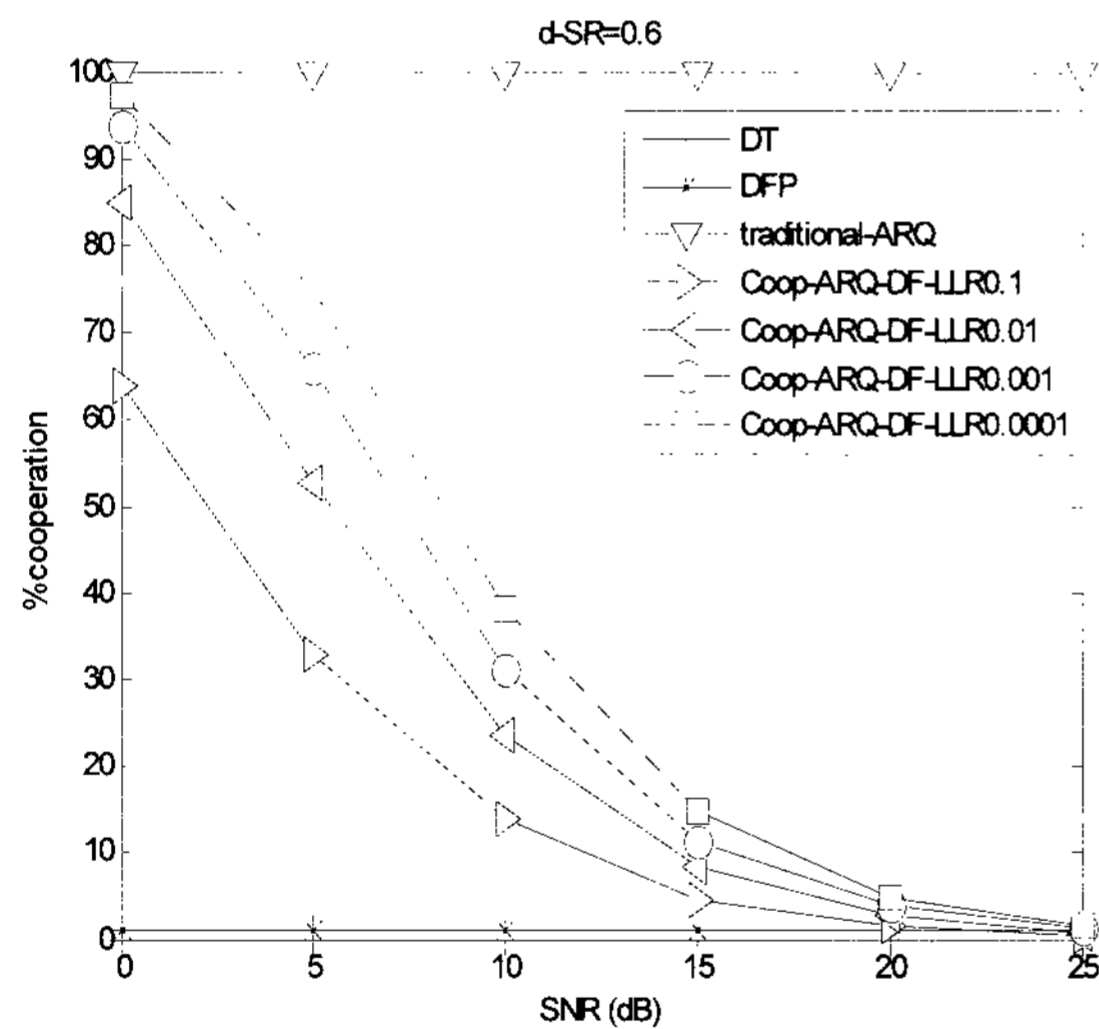


그림 5. 제안하는 협력 ARQ 프로토콜과 여러 프로토콜과의 협력 정도 비교
 Fig. 5. % cooperation comparison of proposed cooperative ARQ protocol with some protocol.

LLR를 통해 수신 신호를 검증하여 좋은 채널의 신호를 선택하는 제안한 프로토콜의 특징 때문에 얻을 수 있는 결과이다.

그림 6은 목적지 노드의 문턱 값 P_T^{e1} 이 10^{-1} 또는 10^{-3} 일 경우에 제안하는 프로토콜의 성능을 비교한 그래프이다. BER이 10^{-2} 인 경우, 협력 ARQ 프로토콜은 일반적인 ARQ에 비해 약 5dB의 전력 이득을 가지며, 모든 SNR에서 문턱 값에 상관없이 항상 좋은 성능을

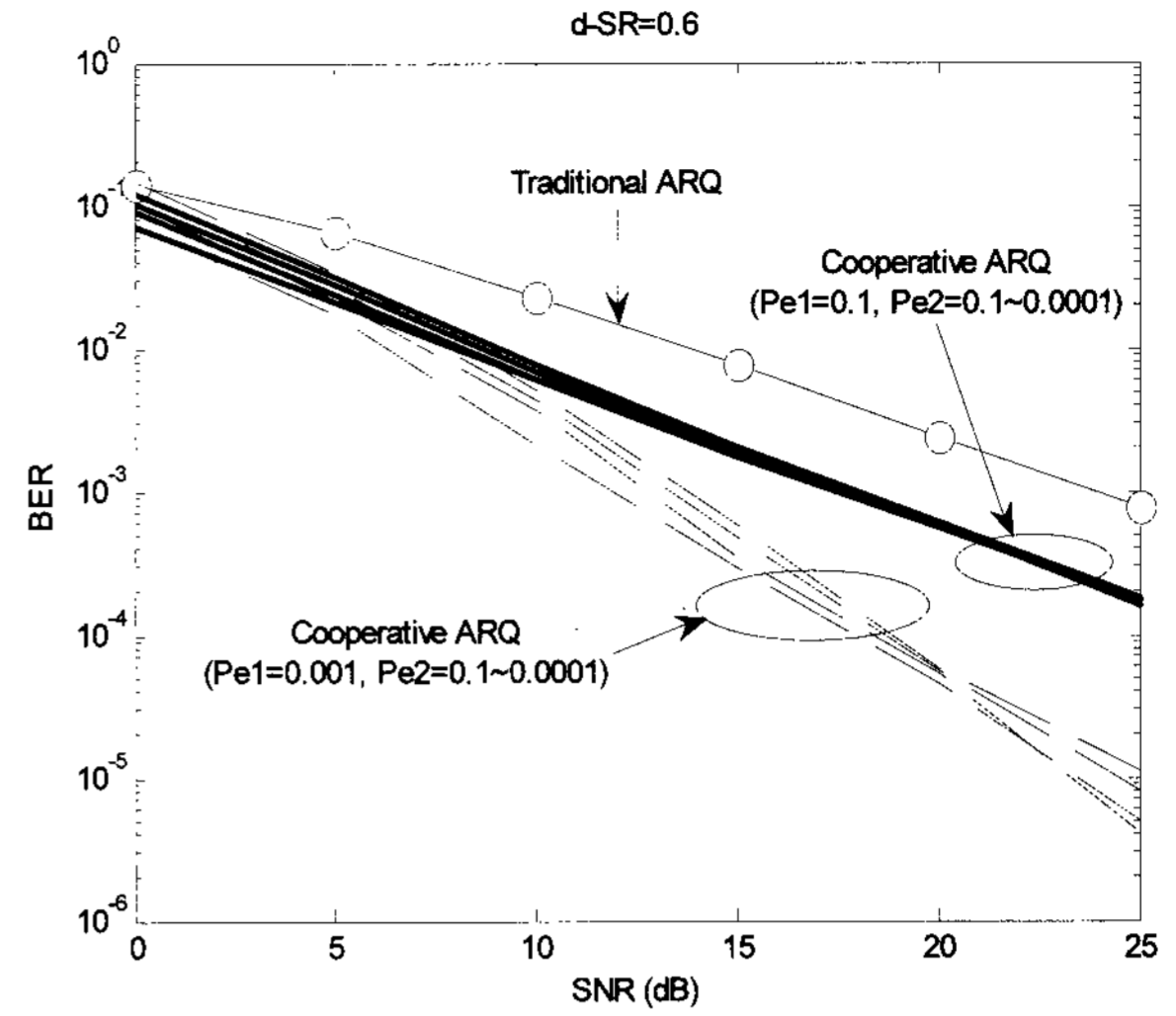


그림 6. 문턱 값에 따른 협력 ARQ 프로토콜의 성능 비교
 Fig. 6. Performance comparison of cooperative ARQ protocol according to threshold values.

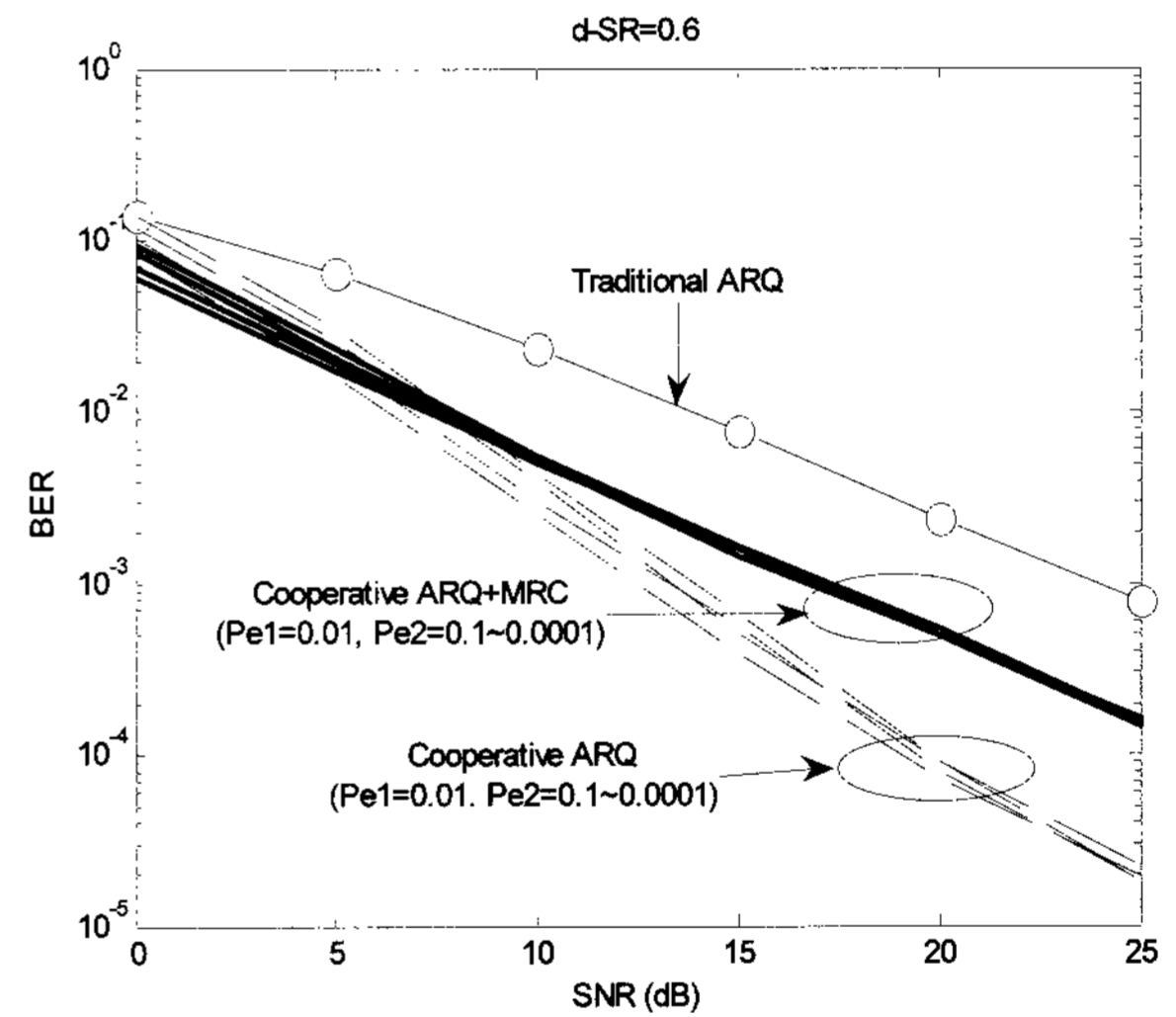


그림 7. MRC 기법의 적용에 따른 성능 비교
 Fig. 7. Performance comparison according to MRC method.

가진다. 이것은 소스 노드와 목적지 노드 사이에 위치한 릴레이 노드를 이용하여 재전송을 하기 때문이다. 또한, P_T^{e1} 이 작을수록 보다 좋은 성능을 얻을 수 있었다.

목적지 노드와 릴레이 노드에서 수신한 신호를 검증하기 위해 LLR 계산을 사용하였다. 이 방식은 협력 ARQ 프로토콜에서 좋은 채널을 선택할 수 있게 하였으며, 그림 7은 그 결과의 그래프이다. MRC 기법을 사용한 경우 보다 제안한 방식이 보다 우수한 성능을 가짐을 알 수 있으며, 목적지 노드의 복잡도 또한 증가하지 않는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 LLR 기반의 협력 ARQ 프로토콜을 제안하였다. 일반적 ARQ 프로토콜에서 오류 검출을 위해서 사용하는 CRC 부호 대신에 순간적인 수신 데이터의 LLR 에러 확률을 이용하여 대역폭의 손실 없이 좋은 성능을 얻을 수 있었다. 또한, 협력 전송에 ARQ 프로토콜을 적용하여 주파수 효율의 증가를 얻을 수 있는 협력 ARQ 프로토콜의 과정을 기술하였으며, Monte Carlo 시뮬레이션 결과를 통해 여러 다른 프로토콜보다 BER 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 협력 ARQ 프로토콜은 목적지 노드에서 NACK 메시지를 전송할 경우 full 다이버시티 차수를 얻을 수 있었으며, 목적지 노드에서 데이터를 결합하지 않아 소스 노드, 릴레이 노드와 동일한 복잡도를 유지할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Nosratinia, T. E. Hunter, and A. Hedayat, "Cooperative Communication in Wireless Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 42, Issue 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results," *IEEE Trans. On Commun.*, Vol. 17, Issue 3, pp. 451-460, March 1999.
- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity Part I-II," *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 51, No. 11, pp. 1927-1948, Nov. 2003.
- [4] Laneman, J. N., Tse, D. N. C., Wornell, and G. W, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *Information Theory, IEEE Transactions on*, Vol. 50, Issue 12, pp. 3062-3080. Dec. 2004.
- [5] Ho Van Khuong and Hyung-Yun Kong, "LLR-based Decode-and-Forward Protocol for Relay Networks and Closed-form BER Expressions," *IEICE*, Vol. E89-A No. 6 pp. 1832-1841. Jun. 2006.
- [6] E. Malkamaki and H. Leib, "Performance of truncated type-II hybrid ARQ schemes with noisy feedback over block fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 48, pp. 1477-1487, Sept. 2000.
- [7] S. W. Kim and E. Y. Kim, "Optimum receive antenna selection minimizing error probability," *WCNC2003*, Vol. 1, pp. 441-447, March 2003.
- [8] H. Hu, Yanikomeroğlu H, Falconer D. D., and S. Periyalwar, "Range extension without capacity penalty in cellular networks with digital fixed relays," *Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '04*, Vol. 5, pp. 3053-3057. Nov. 2004.
- [9] N. Ahmed, M. A. Khojastepour, and B. Aazhang, "Outage minimization and optimal power control for the fading relay channel," *IEEE Information Theory Workshop*, pp. 458-462, Oct. 2004.

저 자 소 개



최 대 규(학생회원)
 2007년 2월 울산대학교 전기전자
 정보시스템공학과 졸업
 2007년 3월~현재 울산대학교 전
 기전자정보시스템공학과
 석사과정

<주관심분야 : MIMO, 릴레이 시스템, 협력통신,
 채널 부호화, 모듈레이션>



공 형 운(정회원)
 1989년 2월 미국 New York
 Institute of Technology
 전자공학과 졸업
 1991년 2월 미국 Polytechnic
 University 전자공학과
 석사

1996년 2월 미국 Polytechnic University
 전자공학과 박사

1996년~1996년 LG전자 PCS 팀장
 1996년~1998년 LG전자 회장실 전략 사업단
 1998년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템
 공학과 교수

<주관심분야 : 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및
 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크>