

논문 2009-1-13

# 무선 센서 네트워크에서 협력-OFDM 프로토콜의 ARQ 기반 중계 노드 선택 기법에 관한 연구

## A Study on the ARQ base Relay Selection Scheme of the Cooperation-OFDM Protocol in the Wireless Sensor Network

홍성욱\*, 공형윤\*\*

Seong Wook Hong, Hyung Yun Kong

요 약 무선 센서 네트워크는 전력 및 주파수 사용이 매우 제한적임에도 불구하고, 고용량의 데이터를 고속으로 전송할 수 있는 통신 시스템 개발이 요구되어지고 있다. 협력 통신 시스템은 공간 다이버시티의 획득을 통해 통신 전력을 감소시킬 수 있다. 기존의 협력 통신 시스템에서 하나의 중계 노드가 하나의 센서 노드의 데이터 전송을 도와주는 것을 대신하여 본 논문에서는 하나의 중계 노드가 M개의 센서 노드의 데이터 전송을 돕는 통신 시스템과 ARQ 기반의 중계기 선택 알고리즘을 제안한다. 제안한 시스템은 기존의 협력통신 시스템보다 높은 다이버시티차수를 획득함과 동시에 주파수 대역, 전력을 낮출 수 있다. 목적지 노드에서는 기존의 협력통신과 같은 신호 결합기법 없이 재전송된 데이터만을 고려하여 원 신호를 복구하기 때문에 목적지 노드에서의 복잡도를 대폭 낮출 수 있다. 마지막으로 제안한 프로토콜을 레일리 페이딩과 AWGN를 고려한 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 BER 성능을 검증하였다.

**Abstract** Wireless Sensor Network (WSN) has limited power and bandwidth. In order to high data rate and high speed communication systems are required. Cooperative communication system can help to decrease power consumption through spatial diversity. In cooperative transmission, one partner node assists one sensor node to transmit their data to destination. Instead of using M partners for M sensor nodes, we propose 1 partner for M sensor nodes. And we proposed relay selection scheme base on ARQ. Proposed protocol offers higher diversity order as conventional one with much less bandwidth and power. The destination will consider the one packets received from the best relay to reduce the complexity of the system. We verified BER performance for the proposed protocol through Monte-Carlo simulation over Rayleigh fading plus AWGN.

**Key Words :** WSN, Cooperative Communication, OFDM, Relay selection, ARQ

### I. 서 론

최근 무선 센서 네트워크는 센서노드가 가진 물리적인 제약에도 불구하고, 대용량 고품질의 서비스가 가능한 통신시스템의 개발이 요구되어지고 있다. 이에 따라, 다중 송·수신 안테나를 이용하여 공간 다이버시티를 획득하여 페이딩 현상을 극복하기 위한 MIMO (Multi-Input Multi-Output)기술과 단일 안테나를 가진 센서노드를 이용하여 가상의 MIMO 환경을 구축함으로써 공간 다이버시티를 획득하는 기술인 협력통신 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 협력통신에서 중계 노드의 빈번한 사용은 센서 네트워크의 수명을 단축시키는 결과를 초래하기 때문에 중계 노드의 선택에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.<sup>[1][3]</sup>

\*준회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

\*\*정회원, 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

접수일자 2008.12.10, 수정일자 2009.2.5

또한, 무선채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우 다중경로 페이딩, 도플러 확산 등의 영향으로 인해 높은 비트 오류율을 갖게 되어 무선채널에 적합한 무선접속방식이 요구된다. 그 중 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술은 상호 직교성을 갖는 반송파를 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)와 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 주파수 이용 효율 및 데이터 처리율을 높이는 기술로 주파수 선택적 페이딩에 강건한 특성을 가지며 높은 스펙트럼 효율 및 낮은 구현 복잡도를 제공하는 장점을 갖는다. 특히 MIMO-OFDM 기술은 4세대 이동통신, IEEE802.16, IEEE802.11n 등의 고속 데이터 전송을 위한 핵심 기술로 각광받고 있다.<sup>[4][5]</sup>

본 논문은 협력통신과 OFDM 기술을 결합하여 다수의 소스 노드가 한 번에 목적지 노드로 데이터를 전송하여 고속 데이터 전송을 가능하게 하고, 기존 협력통신과 다르게 하나의 중계 노드만을 이용함으로써 중계 노드의 빈번한 사용을 대폭 감소하였다. 또한 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 기반으로 한 최적의 중계 노드 선택 알고리즘을 제안함으로써, 각 중계노드와 목적지 노드 사이의 순간적인 채널 환경에 따라 최적의 중계노드를 선택하여 재전송함으로써 프로토콜의 BER성능을 개선한다. 그리고 기존의 협력통신과 다르게 목적지 노드에서 소스 노드와 중계 노드로부터 수신한 신호를 결합하지 않고 재전송된 데이터만을 복구하기 때문에 목적지노드의 복잡도를 대폭 개선한다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안된 프로토콜의 구성 및 동작원리에 대해서 설명한다. 3장에서 신호해석에 관하여 설명하고, 4장에서는 다양한 조건에서 제안한 프로토콜의 성능을 비교·분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안한 프로토콜

### 1. 협력-OFDM 프로토콜

무선 센서 네트워크의 가장 기본적인 전송방식은 직접전송(DT)과 멀티 홉 전송(Multi-Hop Transmission) 방식이 있다. 이러한 기본적인 전송방식으로는 무선 채널 환경의 다양한 신호 왜곡 현상을 극복하기에는 한계가 있다. 협력-OFDM 프로토콜은 직접전송과 멀티 홉

전송과 동일한 전송전력으로 공간 다이버시티를 획득하여 무선채널 환경에 존재하는 페이딩을 극복하여 정보의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 또한 다수의 사용자가 한 번에 목적지 노드로 데이터를 전송함에 따라 데이터 전송률을 높임과 동시에 중계노드의 개수를 감소시켜 전체 네트워크의 수명을 연장하는 장점을 가진다.

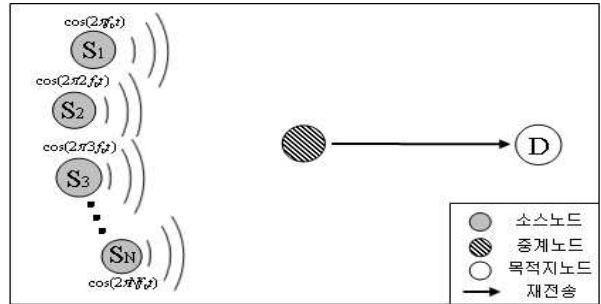


그림 1. 협력-OFDM 프로토콜  
Fig 1. Cooperative-OFDM Protocol

협력-OFDM 프로토콜의 동작은 그림 1과 같다. 첫 번째 시간슬롯에서 N개의 소스 노드는 직교성을 가진 각각의 부 반송파를 포함한 정보를 동일한 목적지로 전송한다. 두 번째 시간슬롯에서 중계 노드는 첫 번째 시간슬롯에서 소스노드로부터 수신한 데이터를 결합하여 목적지 노드로 재전송 한다. 이 때, 하나의 중계 노드만을 이용하여 목적지로 데이터를 전송하기 때문에 소스 노드와 중계 노드의 관계를 N대 1로 만들어 중계 노드의 사용을 대폭 감소시킨다.<sup>[6]</sup>

### 2. 제안하는 프로토콜

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 기존의 협력통신과 동일하게 두 개의 시간 슬롯으로 동작한다. 그림 2와 같이 N개의 센서노드들은 직교성을 가진 서브채널을 사용하고, 각 센서들의 송·수신 동기화가 정확히 이루어짐에 따라 인접 채널 간의 ISI(Inter Symbol Interference) 문제로 인한 시스템 성능 저하는 발생하지 않는다고 가정한다. 또한 시스템은 TDM(time division multiplexing) 방식으로 각 채널에 접속한다. 그리고 기본적인 ARQ 프로토콜은 송신단에서 CRC부호를 사용하여 데이터를 전송하고, 수신단에서는 CRC부호를 이용하여 데이터의 올바른 수신 여부를 판단한다.<sup>[7]</sup>

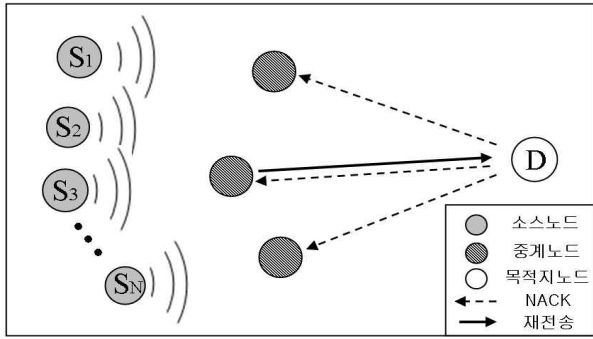


그림 2. 제안하는 프로토콜의 신호전송 과정  
Fig 2. Signal Process of the Proposed protocol

제안하는 프로토콜의 동작은 그림 2와 같다. 첫 번째 시간 슬롯에서 N개의 소스 노드 N개의 직교주파수를 이용하여 중계 노드 및 목적지 노드로 데이터를 전송한다. 목적지 노드에서는 소스 노드로부터 수신한 데이터를 CRC부호를 이용하여 수신 성공/실패 여부를 판별한다. 만약 데이터가 성공적으로 수신되었다면 목적지 노드는 ACK신호를 전송함과 동시에 데이터 전송은 종료된다. 그러나 목적지 노드에서 데이터 수신에 성공적이지 못할 경우 프로토콜의 두 번째 시간 슬롯이 동작한다.

두 번째 시간슬롯에서 기존의 분산식 노드선택 방법에 기반한 ARQ기반의 중계노드 선택 알고리즘을 제안한다. 목적지 노드는 NACK신호를 전송하고, NACK를 수신한 중계 노드들은 목적지 노드와 같은 방법으로 첫 번째 시간 슬롯에 소스 노드로부터 수신한 데이터를 CRC부호를 통해 수신 성공여부를 판별한다. 이때, 소스 노드의 데이터를 성공적으로 수신한 중계 노드가 존재하지 않는다면 중계 노드에서의 재전송은 하지 않고 데이터 전송은 종료된다. 이때는 중계 노드가 목적지 노드로 재전송을 하더라도 더 나은 성능을 얻을 수 없기 때문이다. 성공적으로 데이터를 수신한 각각의 중계 노드들은 NACK신호를 이용하여 중계 노드 자신과 목적지 노드 사이의 순간적인 채널 상태를 측정한다. 그 결과 값에 반비례하도록 자신의 타이머값  $T$ 를 설정하고 동작시킨다.  $T$ 값이 가장 작은 중계 노드의 타이머는 가장 먼저 0이 되고, 그 순간 목적지 노드로 데이터를 재전송한다.

$$h_n = \max(|\alpha_{R_k D}|^2) \quad (1)$$

$$T_n = \frac{\lambda}{|h_n|} \quad (2)$$

$k$ 는 NACK 신호를 수신하고 소스 노드로부터 성공적으로 데이터를 수신한 중계 노드,  $\alpha_{R_k D}$  중계 노드  $k$ 와 목적지 노드 사이의 페이딩 계수이고,  $\lambda$ 는  $h$ 의 값에 따라 변하는 상수이다.<sup>[8]</sup>

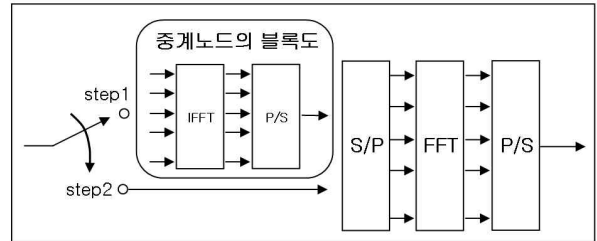


그림 3. 목적지노드 및 중계노드의 블록도  
Fig 3. Block diagram of a Destination and Relay node

중계 노드와 목적지 노드의 블록도는 그림 3과 같다. 중계 노드는 N개의 소스노드로부터 데이터를 수신하여 IFFT를 사용하여 N개의 데이터를 단일 신호로 변조한다. 목적지 노드는 각 시간 슬롯에 따라 수신데이터를 처리하는 방법이 다르게 동작한다. 첫 번째 시간 슬롯에 소스 노드로부터 수신되는 각 데이터를 수신 후, IFFT를 사용하여 단일 신호로 변조한다. 두 번째 시간 슬롯에서의 동작은 선택된 중계 노드로부터 전송되는 데이터는 이미 단일 신호형태이기 때문에 수신된 데이터는 OFDM 복조를 거치게 된다.

기존의 협력통신에서는 소스 노드와 중계 노드로부터 수신한 두 데이터를 MRC, SC, EGC등의 결합기법을 사용하여 원 데이터를 복구한다. 그러나 제안하는 프로토콜에서는 이러한 결합기법 없이 선택된 중계 노드로부터 수신한 데이터만을 이용하여 원 데이터를 복구하기 때문에 수신단에서의 복잡도를 낮출 수 있다. 또한 기존의 협력통신 프로토콜은 중계 노드에서 목적지 노드로의 재전송이 무조건적으로 이루어지는 반면에 제안하는 프로토콜은 중계 노드의 수신 성공/실패에 따라 재전송 여부를 결정함으로써 중계 노드의 전송전력을 절약할 수 있다.

### III. 신호 해석

모든 수신기에서 채널 상태 정보는 정확히 측정되고, 각각의 송·수신기에서의 반송파 동기화는 정확하게 이

루어진다고 가정하였다. 간단한 수식의 표현을 위하여 센서 노드는 S, 중계 노드는 R, 목적지 노드는 D로 표기한다.

첫 번째 시간 슬롯에서 N개의 S는 R과 D로 각각의 데이터를 전송한다. N개의 데이터는 N개의 직교 서브채널을 통해 독립적인 경로를 통하여 전송된다.

$$y_{S_nR} = \alpha_{S_nR} \sqrt{P_S} a_n + n_{S_nR} \quad (3)$$

$$y_{S_nD} = \alpha_{S_nD} \sqrt{P_S} a_n + n_{S_nD} \quad (4)$$

$a_n$ 은 N 번째 S에서 BPSK변조되어 전송한 신호이다.  $P_S$ 는 S의 평균 전송 전력,  $\alpha_{ij}$ 는  $i$ 와  $j$ 사이의 페이딩 계수,  $n_{ij}$ 는  $i$ 와  $j$ 사이의 AWGN이다. 전송 전력은 직접 전송 시 요구되는 전송 전력  $P_T$ 를 기준으로 각 노드의 전송 전력은  $P_S = P_R = P_T/2$ .

R과 D는 그림 2와 같이 S로부터 전송된 신호를 수신하고, 각각 ML(maximum likelihood) 검출기에 의해 복구된 신호는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \hat{a}_{nR} &= \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{S_nR}^* \cdot y_{S_nR})) \\ \hat{a}_{nD} &= \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{S_nD}^* \cdot y_{S_nD})) \end{aligned} \quad (5)$$

여기에서  $\text{Re}(\ast)$ 는  $\ast$ 의 실수 부분을 나타내고  $\text{sign}$ 은 시그넘 함수이다.  $\hat{a}_{nR}$ 과  $\hat{a}_{nD}$ 는 R과 D에서 ML 판정에 따라 복구된 신호이다.

두 번째 시간 슬롯에서  $\hat{a}_{nR}$ 은 R와 D의 OFDM 변조단의 입력이 된다. IFFT를 취하기 때문에 아래의 식과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} a_{RD} &= \sum_{n=1}^N \hat{a}_{nR} \cdot \exp(-jwn) \\ a_{SD} &= \sum_{n=1}^N \hat{a}_{nD} \cdot \exp(-jwn) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)은 신호의 전송·복구를 위해 P/S컨버터를 통과하여 직렬데이터로 변환되고, S/P컨버터를 통과하여 FFT를 취한다.

$$Q_{nD} = \sum_{n=1}^N \hat{a}_n \quad (7)$$

최종적으로 P/S컨버터를 거쳐 수신된 신호는

$$X_n = Q_{nD} = a_1 + a_2 + \dots + a_N \quad (8)$$

이다. D에서 CRC부호를 이용하여 데이터 수신 성공여부를 판별한다. 만약 복구된 신호에 오류가 존재할 경우 두 번째 시간 슬롯이 동작된다.

두 번째 시간 슬롯에서 D가 R로부터 수신한 신호는 다음과 같다.

$$y_{RD} = \alpha_{RD} \sqrt{P_R} a_{RD} + n_{RD} \quad (9)$$

R로부터 수신한 신호는 IFFT를 취한 후, P/S컨버터를 통과한 데이터이다. 그러므로 첫 번째 시간 슬롯에서와 마찬가지로 식 (5), (7), (8)의 과정을 통하여 원 데이터를 복구한다.

#### IV. 실험 및 결과

본 장에서는 제안한 프로토콜의 성능분석을 위하여 직접전송 및 기존 협력통신 방식을 고려한다. 제안한 협력-OFDM 프로토콜은 일반적인 협력 전송과 마찬가지로 소스 노드와 목적지 노드 사이의 거리를  $d_{SD} = 1$ 로 일반화하였으며, 소스 노드와 중계 노드간의 거리는  $d_{SR} = 1 - d_{SD}$ 로 나타내었다. 본 논문에서는 경로 손실  $\beta = 3$ 인 경우를 고려하였다. 성능 그래프에서 S는 동시에 전송하는 소스 노드의 개수, R은 중계 노드 선택시 고려되어지는 중계 노드(k)의 개수이다. R이 증가하더라도 재전송에 참여하는 중계 노드는 선택된 하나의 중계 노드뿐이다.

그림 4에서는 제안한 프로토콜의 중계 노드의 개수에 따른 성능을 직접전송, 기존 협력통신과 비교하였다. 직접전송방식은 4-비트를 하나의 OFDM 심볼로 만들어 전송한 것이다. 협력통신의 경우 고정형 DF방식을 사용하였다. BER이  $10^{-2}$ 인 경우 제안한 프로토콜의 S=4, R=1인 경우와 S=4인 협력통신 프로토콜을 비교하였을 때,

약 1dB가량 성능이 개선된다. 두 프로토콜 모두 하나의 중계 노드를 사용하여 데이터를 전송하지만, 제안한 프로토콜은 중계노드에서 선택적인 재전송과 목적지 노드에서의 결합기법의 사용 여부에 따라 발생한 성능의 차이이다. 또한 S=4, R=2인 경우의 제안한 프로토콜은 기존 협력통신방식에 비하여 약 3dB가량 성능이 개선된다. 제안한 프로토콜은 식(1)의 조건에 따라 두 개의 중계 노드 중 목적지 노드와의 채널환경이 더 좋은 중계노드를 선택하여 재전송함에 따른 결과이다.

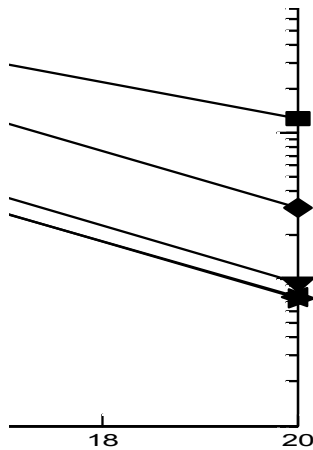


그림 4. 기존 프로토콜과 R의 개수 따른 BER 성능 곡선  
Fig 4. BER performance of the proposed protocol and other protocols(R=1,2,3,4)

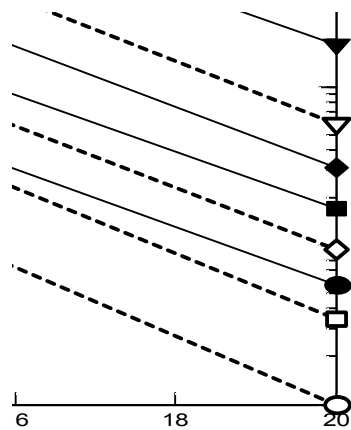


그림 5. S와 R의 개수에 따른 BER 성능곡선  
Fig 5. BER performance of the proposed protocol at various S and R

그림 5는 R=1, R=2로 고정하고 S의 값이 변화할 때 제안한 프로토콜의 성능이다. 한 번에 전송하는 S의 개수가 증가할수록 프로토콜의 성능이 나빠진다. 그림 3에서와 마찬가지로 모든 S에서 R=1일 때에 비하여 R=2일 때 더 좋은 성능 곡선을 얻을 수 있다. 한 번에 전송하는 소스 노드의 개수와 상관없이 제안하는 프로토콜의 노드 선택 알고리즘은 기존의 협력-OFDM에 비하여 약 2dB 가량의 성능이 개선된다.

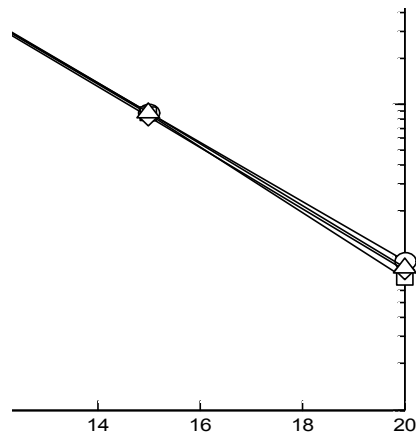


그림 6. 중계 노드에서의 재전송, 목적지 노드에서의 신호결합 여부에 따른 BER 성능 곡선  
Fig 6. Depend on retransmit of Relay node and signal combining technique of Destination node.

그림 6은 제안한 프로토콜에서의 중계 노드에서 재전송 여부와 목적지 노드에서의 데이터 결합 여부에 따른 성능이다. 중계 노드에서의 재전송과 목적지 노드에서 MRC(maximal ratio combining)기법의 사용여부와 관계 없이 모든 프로토콜의 성능은 거의 동일하다. 제안한 프로토콜은 중계 노드에서 수신에 성공한 노드만이 중계 노드의 선택 시 고려되고, 목적지 노드에서 MRC 기법을 사용하지 않은 경우이다. 시뮬레이션 결과를 통해서 중계 노드에서 잘못된 데이터를 수신할 경우의 재전송과 첫 번째 시간슬롯에 목적지에서 성공적으로 수신하지 못한 데이터와 중계노드에서 재전송된 데이터의 결합은 프로토콜의 성능 향상에 영향을 미치지 못한다는 것을 확인할 수 있다. 그렇기 때문에 제안하는 프로토콜은 선택적인 재전송과 단일 중계노드의 사용으로 전체 네트워크의 전송전력을 절약할 수 있고 목적지 노드에서 MRC 결

합 방법을 사용하지 않기 때문에 프로토콜 전체의 복잡도를 낮출 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 기존의 협력-OFDM에 ARQ기반의 중계 노드 선택기법을 결합하여 선택된 하나의 최적 중계 노드를 이용하여 다수의 소스 노드가 전송하는 데이터를 기존의 프로토콜보다 저 전력으로 빠르고 정확하게 전송할 수 있다는 것을 레일리 페이딩과 AWGN이 합해진 채널 상황에서의 시뮬레이션 결과를 통해 증명하였다. 제안한 프로토콜은 소스 노드의 개수와 중계 노드 선택 시 고려되어지는 중계 노드의 개수가 프로토콜의 성능에 영향이 있음을 알 수 있다. NACK를 수신한 중계 노드 중에서 정확히 데이터를 수신한 중계 노드만이 최적의 중계 노드 선택 시 고려되어짐에 따라 정보의 신뢰성을 향상시키고 동시에 센서노드의 전력을 절약할 수 있다. 그리고 목적지 노드에서 기존의 협력통신에서 사용하는 신호 결합기법을 사용하지 않음으로 인해 프로토콜의 복잡도를 낮출 수 있다. 기존의 중계기 선택 알고리즘과 비교하였을 때, 채널정보를 획득하기위한 CTS/RTS를 사용하지 않기 때문에 더욱 효율적이라고 볼 수 있다. 그러나 본 프로토콜은 다수의 소스노드가 동시에 데이터를 전송하므로 중계기 또는 목적지노드에서 데이터를 수신시 동기화 문제가 발생하게 된다. 동기화는 아주 중요한 부분이기 때문에 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

제안하는 프로토콜은 많은 제약을 가진 무선 센서네트워크에 적용이 가능할 것으로 보이며, 셀 기반의 다른 네트워크에도 적용하여 좋은 성능을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] V. Tarokh, H. Jafarkhani and A. R. Calderbank, "Space-time block coding for wireless communications: performance results", IEEE Trans. on Selected Areas in Commun., Vol. 17, Issue 3, pp. 451 - 460, March 1999.
- [2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User

cooperation diversity - Part I: system description," IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1927-1938, Nov. 2003.

- [3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity - Part II: implementation aspects and performance analysis," IEEE Trans. Commun., vol. 51, pp. 1939-1948, Nov. 2003.
- [4] R.v. Nee and R. Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 2000.
- [5] W. P. Siriwongpairat, A. K. Sadek, and K. J. R. Liu, "An efficient cooperative protocol for multiuser-OFDM networks," in Proc. IEEE GLOBECOM, 2006.
- [6] Seong-Wook Hong, Yun-Kyeong Hwang, Hyung-Yun Kong, "Design of Cooperative Communication System based on OSOC-SS to efficient data transmission for USN", KEES Conference, Vol. 17, pp. 661-664, Nov. 2007.
- [7] Z. Lin, E. Erkip, and A. Stefanov, "Cooperative regions and partner choice in coded cooperative systems," IEEE Trans. Commun., vol. 54, pp. 1323-1334, July 2006.
- [8] A. Bletsas, D. P. Reed, and A. Lippman, "A simple cooperative diversity method based on network path selection," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 24, pp. 659-672, Mar. 2006.

저자 소개

홍 성 옥(준회원)



- 2008년 2월 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 학사
- 2008년 3월 : 울산대학교 전기전자정보시스템 공학과 석사과정
- <주관심분야> 변복조 기술, 부호화 기술, 무선센서네트워크, 협력통신, MIMO

공 형 윤(정회원)



- 1989년 2월 : New York Institute of Technology(미국) 전자공학과 학사
- 1991년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자공학과 석사
- 1996년 2월 : Polytechnic University (미국) 전자공학과 박사
- 1996년~1996년 : LG전자 PCS 팀장
- 1996년~1998년 : LG전자 회장실 전략 사업단
- 1998년~현재 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수
- <주관심분야> 모듈레이션, 채널 부호화, 검파 및 추정 기술, 협력통신, 센서 네트워크