

무선 센서 네트워크의 주파수 사용 효율성 향상을 위한 OFDM을 사용한 협력적 M-1-1 프로토콜 설계

Design of Cooperative M-1-1 Protocol Using OFDM to Increase Spectrum Utilization in WSN

황 윤 경 · 공 형 윤

Yun-Kyeong Hwang · Hyung-Yun Kong

요 약

무선 센서 네트워크는 전력 및 주파수 사용이 매우 제한적이지만, 멀티미디어 센서 기술의 발전에 따라 고용량의 데이터를 전송할 수 있는 통신 시스템 개발이 요구되어진다. 협력 통신 시스템은 노드와 중계 노드의 조력을 통해 공간 다이버시티를 획득하고, 이에 따라 통신 전력을 감소시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다. 기존의 협력 통신 시스템은 하나의 중계 노드가 하나의 센서 노드의 데이터 전송을 도와줌에 따라 노드의 동작이 빈번하게 발생한다. 이는 네트워크 수명을 급격히 단축시키는 원인으로 작용한다. 본 논문에서는 하나의 중계 노드가 M 개의 센서 노드의 데이터 전송을 돕는 것을 제안한다. 이를 통하여 제안한 시스템은 기존 시스템과 동일한 다이버시티 효과를 획득하고 동시에 주파수 대역, 전력 및 중계 노드의 수를 감소시킨다. 또한, 센서 네트워크의 특성상 주위에 인접한 노드로 인한 신호 간섭이 발생하는데, 이를 직교성을 가진 부반송파를 이용하여 개선한다. 마지막으로 센서 노드들과 중계 노드의 전력 할당에 따른 시스템 성능을 분석하였다.

Abstract

Conventional wireless sensor network(WSN) has limited power and bandwidth. In order to develop multimedia sensor technology, high data rate 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. Proposed protocol offers similar diversity order as conventional one with much less bandwidth and hardware. It is able to almost reduce scattered nodes interference using orthogonal sub-carriers. In addition, we examined a power allocation between sensor nodes and relay that optimize the system performance.

Key words : WSN, M-1-1 Protocol, OFDM, Cooperative Communication

I. 서 론

현재 무선 네트워크 환경에서 페이딩 현상을 극복하기 위하여 송·수신기에 다중 안테나를 설치하여 다중 접속 이득과 같은 공간 다이버시티 효과를

획득하는 기술이 연구되고 있다^[1]. 하지만 네트워크 장비에 다수의 안테나를 설치할 경우, 시스템의 전체 복잡도와 가격이 증가하게 된다. 또한, 늘어난 안테나의 수만큼 전송 에너지가 증가하게 되어 기기의 수명을 단축시킨다. 더욱이 센서와 같이 크기, 전력,

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.」

울산대학교 전기전자정보시스템공학과(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20070525-057

· 수정완료일자 : 2007년 7월 16일

비용 등 많은 제약점을 가진 기기에서 다중 안테나를 설치하는 것은 특히 에너지 효율적 측면에서 큰 문제점을 발생시킨다^[2]. 축전지의 교체 없이 장시간 동안 작동해야 하는 센서에 있어서 에너지 효율은 중요한 설계조건으로 여겨지고 있다. 최근 다중 안테나 대신 단일 안테나로도 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 방법으로 협력 통신 전송 방식이 활발히 연구되고 있다. 협력 통신 방식은 소스 노드에 인접한 파트너 노드가 소스 노드의 신호를 중계함으로써, 두 노드는 각각의 독립적 경로를 거쳐 목적지 노드로 신호를 전송하게 된다. 이는 물리적인 다중 안테나의 배열 없이도 경로 감소 이득과 함께 공간 다이버시티 이득을 획득한다^[3]. 데이터를 전송할 경우, 단일 소스 노드만 동작하는 직접 전송 방식에 비해 협력 전송 방식은 소스 노드 및 중계 노드가 동작하여 더 많은 전력을 사용할 것이라 예상된다. 하지만 목적지 노드에서는 각각의 독립된 경로를 거친 동일한 신호를 수신하기 때문에 공간 다이버시티를 획득한다. 즉, 협력 통신은 직접 전송 방식과 같은 SNR (Signal to Noise Ratio) 값으로 현저히 적은 오류 확률을 획득할 수 있다는 것이다.

센서의 기능이 단순히 주위의 환경 변화를 감지하는데서 멀티미디어 데이터를 센싱 및 전송하는 기능으로 발전함에 따라, 제한된 대역폭 내에서 고용량의 데이터를 전송할 수 있는 새로운 시스템이 요구되고 있다. 또한, 임의적으로 네트워크 영역에 배치된 센서 노드들은 서로 간섭 현상을 일으키고, 이는 성능 저하 및 불안정한 시스템 동작을 발생시킨다. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기술은 스펙트럼 효율이 좋은 다중 반송파 전송 방식으로써 광대역 신호를 상호 직교성을 갖는 협대역의 서브 채널로 나누고, 이를 중첩시켜 동시에 전송하는 방식이다. 다중 경로 페이딩을 갖는 무선 통신 채널에서 심벌 주기가 짧은 고속 데이터 전송 시 단일 반송파 방식을 사용하게 되면 심벌 간 간섭이 더욱 심해지기 때문에 수신단의 복잡도가 크게 증가한다. 반면, 다중 반송파 방식의 경우에는 데이터 전송 속도를 그대로 유지하면서 각 부반송파에서의 심벌 주기를 부반송파의 수만큼 확장시킬 수 있기 때문에 다중 경로 지연 확산에 의해 발생하는 시간상에서의 상대적인 신호 분산이 감소한다. 또한, 모든 OFDM

심벌 사이에 채널의 지연 확산보다 긴 보호 구간을 삽입하여 심벌 간 간섭을 제거할 수 있다^[4]. 그러나 다중의 서브 채널은 각각 다른 페이딩 현상을 겪게 되고, 몇몇 서브 채널의 신호는 심한 페이딩으로 인해 완전히 손상될 수 있다. 고속의 서비스를 위해 OFDM 기술을 사용하는 경우, 서브 채널 신호의 페이딩을 극복하기 위한 다이버시티 효과는 필수적으로 요구된다^[5]. 따라서 본 논문에서는 OFDM을 사용한 M-1-1 협력 통신 프로토콜을 제안하여 멀티미디어 정보의 전달과 함께 수신율의 향상을 도모한다.

이하 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안된 프로토콜의 구성 및 동작 원리에 관하여 설명하고, 3장에서 수식적 신호 해석을 통해 이해를 돕는다. 4장에서는 다양한 조건하에 제안한 시스템의 성능을 비교·분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 제안한 프로토콜

기존의 협력 전송 방식의 경우, 단일 소스 노드와 단일 중계 노드가 상호 조력하여 각각의 독립적인 경로를 통해 데이터를 전송한다. 만약 M 개의 소스 노드가 데이터를 전송한다면, 동일한 다이버시티 효과의 획득을 위해서는 M 개의 중계 노드가 필요하게 된다. 한편, 기존 센서 네트워크의 프로토콜 방식은 직접 전송 방식(DT: Direct Transmission)과 멀티 홉 전송 방식(MH: Multi-Hop Transmission)으로 분류된다. 하지만 기존의 방식으로 무선 채널 환경의 다양한 신호 왜곡 현상을 극복하는 것은 한계가 있기 때문에 새로운 프로토콜 개발이 필요하다. 더욱이 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)에 기반을 둔 변조 방식은 대역폭 효율성을 저하시킨다. 본 논문에서 제안한 협력 전송 방식의 프로토콜은 DT 및 MH와 동일한 전력으로도 공간 다이버시티를 획득하여 페이딩 현상을 극복하고 정보의 신뢰성을 향상시킨다. 또한, OFDM 기술을 사용하여 M 개의 센서 노드가 단일 중계 노드의 조력만으로 동시에 정보를 전송할 수 있도록 한다. 따라서 기존의 협력 통신에서 M 개 요구된 중계 노드의 수를 단 1개로 줄이고, 중계 노드들의 동작 빈도를 줄여줌으로써 평균 전력 소비를 줄이고 네트워크 수명을 연장시킬 수 있게 된다. 더욱이 주어진 대역폭을 M 개의 서브 채널로

나누어 대역폭 사용 효율성을 증대시키고 이를 증첩 시킴으로써 대역폭 사용 효율성을 극대화 시킨다.

기존의 협력 통신은 전송 방식에 따라 증폭 후 전송(AF: Amplify-and-Forward), 복호 후 재부호화 전송(DR: Decode-and-Reencode) 및 복호 후 전송(DF: Decode-and-Forward)으로 나뉘어진다. 본 논문에서는 센서 네트워크에 적용하기 가장 적합한 방식으로 DF를 채택하였으며, 이유는 수신단의 복잡도가 가장 낮기 때문이다^[6].

일반적인 DF에서는 직접 전송 방식에서 데이터 전송을 위해 사용한 시간 슬롯은 두 구간으로 나누어진다. 첫 번째 구간에서는 센서 노드가 중계 노드와 목적지 노드로 데이터를 전송하고, 중계 노드에서는 센서 노드로부터 수신된 신호를 검파 및 정정한다. 두 번째 구간에서 중계 노드는 정정을 마친 신호를 목적지 노드로 재전송하고, 최종 목적지 노드에서는 두 구간 동안 수신된 신호를 MRC(Maximum Ratio Combining)에 기초하여 원래의 신호를 복구한다.

제안한 프로토콜에서는 그림 1과 같이 M 개의 센서 노드들이 단일 중계 노드의 조력을 통해 목적지 노드로 데이터를 전송한다. M 개의 센서 노드들은 직교성을 가진 서브 채널을 사용한다. 이 경우, 각 센서들의 송·수신 동기화가 정확히 이루어짐에 따라 인접 채널 간의 ISI(Inter-Symbol Interference) 문제로 인한 시스템 성능 저하는 발생하지 않는다고 가정한다. 모든 센서 노드들에는 단일 안테나가 장착되어 있으며, 단일 안테나의 시스템 복잡도를 낮추기 위해 송신과 수신을 동시에 실행할 수 없다. 이러한 이유로 인해 협력 통신에서는 TDM(Time Division Multiplexing)을 채택하여 각 채널에 접속하도록 한

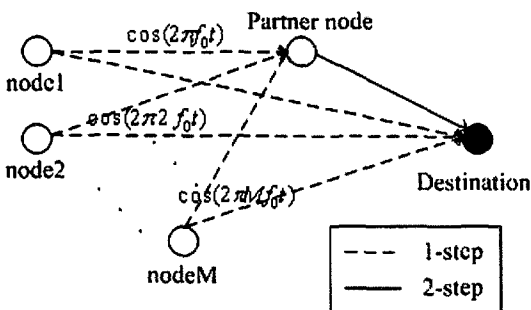


그림 1. 제안한 프로토콜의 신호 전송 과정
Fig. 1. Process of the proposed protocol.

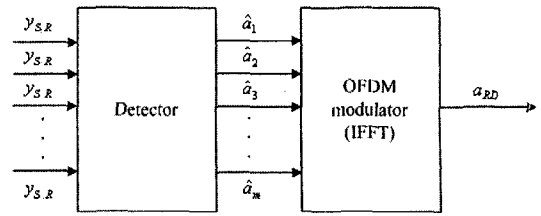


그림 2. 중계 노드의 시스템 블록도
Fig. 2. The block diagram of a relay.

다^[7].

제안한 프로토콜도 기존의 DF 방식과 동일하게 시간 슬롯을 두 구간으로 나누어 동작한다. 첫 번째 구간 동안 M 개의 센서 노드에서 중계 노드 및 목적지 노드로 각각 정보를 전송한다. 이때 기존에 대역폭을 M 개로 나눈 직교 서브 채널을 이용하여 M 개의 데이터 전송이 동시에 이루어지도록 한다.

동일한 구간에 중계 노드는 수신된 M 개의 신호를 검파하고, OFDM의 변조기를 통해 하나의 신호로 변조를 마친다. 본 논문에서 제안한 중계 노드의 시스템은 그림 2와 같이 매우 간단한 동작으로 이루어진다.

그림 2에서 $a_{r,D}$ 는 검파기를 통과한 신호들을 IFFT (Inverse Fourier Fast Transform) 를 사용해 하나의 신호로 변조한 형태를 나타내며, 이것으로써 첫 번째 구간의 동작을 마무리 한다.

다음 구간에서는 변조된 신호를 목적지 노드로 재전송한다. 최종적으로 목적지 노드에서 두 구간 동안 수신된 신호를 MRC를 사용하여 결합하는데, 그전에 중계 노드를 통해 수신된 신호는 복조 과정을 거쳐 M 개의 신호로 분리된다. 다음 절에서는 전체 시스템 및 시뮬레이션에서 고려한 채널 환경에 대해 언급한다.

2-1 채널 모델

센서 노드들은 서로 떨어져 위치하기 때문에 송신 노드와 수신 노드 사이의 채널을 독립적이라고 가정한다. 본 논문에서는 주파수 플랫 레일리 페이딩(frequency-flat Rayleigh fading) 채널 환경을 고려하였다. 따라서 임의의 데이터 심벌 구간 동안에 채널 값이 동일하게 적용된다. α_{ij} 는 송신단 i 와 수신단 j 사이의 채널 상수를 정의하고, 분산은 레일리 함수

를 따르므로, $|\alpha_{ij}|^2$ 은 평균이 λ_{ij} 인 지수 랜덤 상수이다. 한편, 모든 시뮬레이션에서 경로 감소 이득 효과를 획득하기 위해 참고문헌 [8]에서 제안된 $\lambda_{ij} = (d_{SD}/d_{ij})^\beta$ 식을 이용한다. 여기서 d_{ij} 는 송신기 i , 수신기 j 사이의 거리를 나타내고, β 는 경로 감소 계수를 정의한다.

III. 신호 해석

3장부터 논의되는 모든 식은 통신 시스템의 기저 대역 모델을 수식화한 것이며, 복소 이산 신호를 사용하였다. 또한, 모든 수신기에서 채널 상태 정보는 정확히 측정되고, 각각의 송·수신기에서의 반송파 동기화는 정확하게 이루어진다고 가정하였다. 간단한 수식의 표현을 위하여 센서 노드는 S , 중계 노드는 R , 목적지 노드는 D 로 표기한다.

3-1 기존의 복호 후 전송 방식의 프로토콜(DF)

2장에서 언급한 것과 같이 DF는 두 시간 슬롯으로 나뉘어 동작된다. 첫 번째 슬롯에서 S 는 BPSK(Binary Phase Shift Key)로 변조된 신호를 한번에 R 과 D 로 전송하며, R 과 D 에서 수신된 신호의 표현은 각각 아래와 같다.

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

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

여기서 y_{ij} 는 노드 i 에서 노드 j 로 수신된 신호, n_{ij} 는 수신 노드 j 에서 더해진 AWGN(Adapted White Gaussian Noise), P_S 는 S 의 평균 전송 전력을 나타낸다.

동일한 구간에서, R 은 S 로부터 수신된 신호를 검파하고, ML(Maximum Likelihood) 판정에 근거하여 원래의 신호를 복구한다.

$$\hat{a} = \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{SR}^* y_{SR})) \quad (3)$$

$\text{sign}(\cdot)$ 과 $\text{Re}(\cdot)$ 는 각각 시그넘(signum) 함수와 신호의 실수부분을 정의한다.

다음 구간에서, R 은 전 단계에서 복구한 신호인 \hat{a} 를 D 로 재전송한다. D 에서 수신한 신호의 표현은 다음과 같다.

$$y_{RD} = \alpha_{RD}\sqrt{P_R}\hat{a} + n_{RD} \quad (4)$$

P_R 은 R 의 평균 전송 파워를 정의하고, n_{RD} 는 D 에서 더해진 AWGN 값을 나타낸다.

D 는 두 구간 동안 수신된 각각의 신호를 MRC를 사용해 결합 후 원래의 신호인 a 를 되찾는다.

$$\bar{a} = \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{SD}^* y_{SD} + \alpha_{RD}^* y_{RD})) \quad (5)$$

직접 전송(DT)과 동일한 비교를 위하여 협력 통신 시스템에서는 DT 시스템의 전체 전력을 초과하지 않는 범위에서 전력을 소비한다. 따라서 P_T 가 DT의 평균 송신 전력이라면, S 와 R 의 전력은 $P_S = P_R = P_T/2$ 로 결정된다. 최종적으로 송신을 위해 사용하는 전력은 동일하지만, S 와 R 이 각각 독립적인 경로를 통해 목적지 노드로 전송하기 때문에 공간 다이버시티 효과를 획득하게 된다. 즉, 동일한 BER(Bit Error Rate) 성능을 획득하기 위한 DF의 평균 전력은 DT에 비해 현저히 감소하게 된다.

식 (2)와 (4), 그리고 $P_S = P_R$ 라는 가정 하에 식 (5)를 정리하면 아래와 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\bar{a} = \text{sign}(\sqrt{P_S}(|\alpha_{SD}|^2 a + |\alpha_{RD}|^2 \hat{a}) + n) \quad (6)$$

식 (6)에서 n 은 독립적인 각각의 채널에서 더해진 잡음으로 $n = \text{Re}(\alpha_{SD}^* n_{SD} + \alpha_{RD}^* n_{RD})$ 이다.

$$\text{Var}(n) = \frac{|\alpha_{SD}|^2 + |\alpha_{RD}|^2}{2} \quad (7)$$

식 (7)은 n_{SD} 및 n_{RD} 가 각각 독립적인 채널의 AWGN이라는 것에서 증명된 것이다. 기존의 DF에서는 공간 다이버시티 효과를 얻어 전력 소비를 줄이게 되지만, 여전히 멀티미디어 전송을 위한 높은 데이터율을 제공할 수 없으며, 제한된 대역폭의 사용 효율성이 낮다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 M 센서 노드가 직교성을 가진 서브 반송파를 통해 동시에 정보를 전송할 수 있는 M-1-1 프로토콜을 제안한다.

3-2 제안한 M-1-1 프로토콜

제안한 프로토콜에서는 하나의 중계 노드가 M 센서 노드들의 모든 전송을 협력하여 수신기에서 다이버시티 효과를 얻게 한다. 제안 시스템은 기본적으로 단일의 센서 노드 및 목적지 노드와 M 개의 중계 노

드로 구성되며, 기존의 DF와 동일하게 하나의 심벌 전송을 위해 두 시간 슬롯이 소비된다.

첫 번째 구간 동안, M 센서 노드는 R 과 D 에 각각 신호를 전송한다. 이때, 원래 주어진 대역폭을 M 개의 직교 서브 채널로 할당하여 사용하므로 R 과 D 에서는 독립적인 채널을 통해 각각의 신호를 수신하게 된다.

$$y_{S_m R} = \alpha_{S_m R} \sqrt{P_{S_m}} a_m + n_{S_m R} \quad (8)$$

$$y_{S_m D} = \alpha_{S_m D} \sqrt{P_{S_m}} a_m + n_{S_m D} \quad (9)$$

a_m 은 M 번째 S 에서 전송한 신호이며, 이미 BPSK 변조된 상태이다. P_{S_m} 는 M 번째 S 의 평균 전송 전력을 나타낸다.

R 은 그림 2와 같이 S 로부터 전송된 신호를 수신하고, 각각의 신호를 검파기를 통해 원래의 신호로 복구한다.

$$\hat{a}_m = \text{sign}(\text{Re}(\alpha_{S_m R}^* y_{S_m R})) \quad (10)$$

\hat{a}_m 는 ML 판정에 따라 복구된 신호이며, OFDM 변조단의 입력이 된다.

$$a_{RD} = \sum_{m=0}^{M-1} \hat{a}_m \cdot \exp\left(j \frac{2\pi mn}{M}\right) \quad (11)$$

a_{RD} 는 IFFT를 통해 변조된 신호이며, 두 번째 구간 동안 D 로 전송된다.

아래의 식은 D 가 R 로부터 수신한 신호이다.

$$y_{RD} = \alpha_{RD} \sqrt{P_{RD}} a_{RD} + n_{RD} \quad (12)$$

제안한 시스템과 타 프로토콜들과 동일한 비교를 위해 M-1-1 프로토콜의 평균 송신 전력은 $M \cdot P_T$ 를 초과하지 않는다. 위에서 언급한 것과 같이 P_T 가 단일 데이터를 전송하기 위한 DT의 평균 송신 전력이라면, M 개의 데이터를 전송하기 위해 필요한 전력은 $M \cdot P_T$ 이기 때문이다.

기본적으로 식 (13), (14)의 전력 제한에 따라서 시스템을 설계하고, 다음 장에서는 S 와 R 의 전력 할당량에 따른 BER 성능을 비교·분석한다.

$$P_{S_m} = P_T / 2 \quad (13)$$

M 번째 센서 노드 한 개의 평균 송신 전력은 P_T 를

2로 나눈 것과 동일하게 적용된다. 하지만 R 에서는 M 개 신호의 검파 및 변조를 위한 추가 전력이 더 필요하므로 다음과 같이 R 의 송신 전력을 결정하였다.

$$P_R = P_{S_m} \times M = (P_T / 2) \times M \quad (14)$$

결국, M-1-1 프로토콜에서 사용하는 전체 송신 전력은 M 개의 데이터를 전송하기 위한 DT의 전력과 동일하다.

D 는 R 에서 수신된 신호를 복조기를 사용하여 M 개의 신호로 분리한 다음, 두 구간 동안 수신된 신호를 결합한다. 이때 MRC에 근거하여 식 (9)와 식 (12)를 정리하여 다음의 식을 얻는다.

$$r_m = \text{Re}(\alpha_{S_m D}^* y_{S_m D} + \alpha_{R_m D}^* y_{R_m D}) \quad (15)$$

$y_{R_m D}$ R 에서 수신된 신호이며, 복조 후의 상태를 나타낸다.

MRC를 사용한 결합과정은 M 센서 노드들과 중계 노드 사이의 채널 환경이 좋을 경우, 공간 다이버시티를 획득한다. 마지막으로 r_m 은 수신기의 ML 판정에 따라 원래의 신호로 정정되며,

$$\bar{a}_m = \text{sign}(r_m) \quad (16)$$

\bar{a}_m 는 최종적으로 복구된 M 번째 소스 노드의 신호이다.

제안한 프로토콜은 기존의 DF 방식과 동일하게 계수가 2인 다이버시티를 획득한다. 또한, M-1-1 프로토콜은 단일 데이터 전송을 위한 대역폭 소비를 줄이고, 중계 노드의 수를 감축한다. 동시에 M-1-1 프로토콜은 경로 감소 이득으로 인해 평균 전송 전력을 획기적으로 감소시킨다.

IV. 시뮬레이션 결과

제안한 시스템의 비교 분석을 위해 직접 전송(DT) 및 멀티 홉 전송(MH) 방식을 고려한다. 이 세 가지 방식들의 공정한 비교를 위해 각각의 프로토콜에 사용되어진 전체 송신 전력은 동일하다고 가정한다. 제안한 프로토콜에서 중계 노드를 위해 추가적인 전력을 사용한다면 프로토콜 성능이 필연적으로 향상되기 때문에 전력 제한 기준은 엄격히 고려해야 한다(식 (13), (14)). 또한, 경로 감소 이득을 획득하기 위

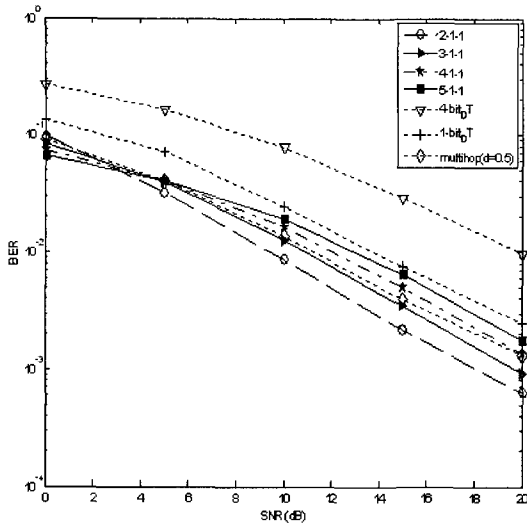


그림 3. 프로토콜 종류에 따른 BER 성능곡선
Fig. 3. BER performance of the proposed protocol and other protocols.

하여 경로 이득 상수 $\beta=3$ 으로 고정한다.

그림 3에서는 제안한 M-1-1 프로토콜의 M 계수 변화에 따른 성능과 타 프로토콜들의 성능을 비교한다. BER이 10^{-2} 인 경우, 2-1-1 프로토콜은 DT에 비해 약 7 dB의 전력을 절약할 수 있음을 알 수 있다. 4-bit DT의 경우는 OFDM을 사용한 직접 전송 방식으로 4개의 데이터를 전송한 것이며, 가장 저조한 성능을 나타낸다. 그에 반해 4-1-1 프로토콜은 동일한 대역폭을 사용하여 약 7 dB 이상의 전력을 절약하였다. 제안한 프로토콜은 DT와 비교하여 BER 성능이 향상되었으며, 반면에 M 의 계수가 2에서 5로 변환에 따라 BER 성능이 저조하게 나타났다. 이는 동일한 대역폭을 사용하는 노드의 수가 증가함에 따른 성능 저하로 간주된다.

첫 번째 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 프로토콜 방식이 다른 프로토콜들에 비하여 BER 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 그림 4에서는 다양한 채널 환경의 변화에 따른 프로토콜들의 성능을 비교한다. 이는 무선 채널 환경이 악화되거나, 주위 인접한 노드들의 간섭으로 인한 신호 왜곡 현상을 예측하여 이루어진 실험 결과이다. 기본적으로 DT 및 MH 전송 방식과 제안한 프로토콜 중에서 2-1-1 프로토콜을 비교하였다. 'var'는 AWGN의 분산 값을 나타내고, 'lamda'는 S 와 D , D 와 R , R 과 D 사이의 독립적인

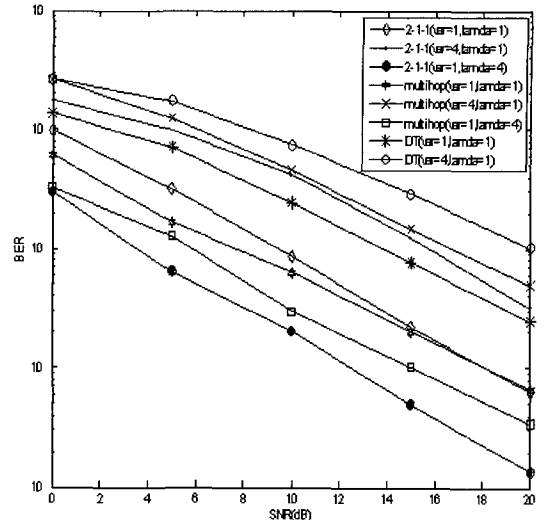


그림 4. 다양한 채널 환경에 따른 BER 성능곡선
Fig. 4. BER performance of the proposed protocol at various channel environments.

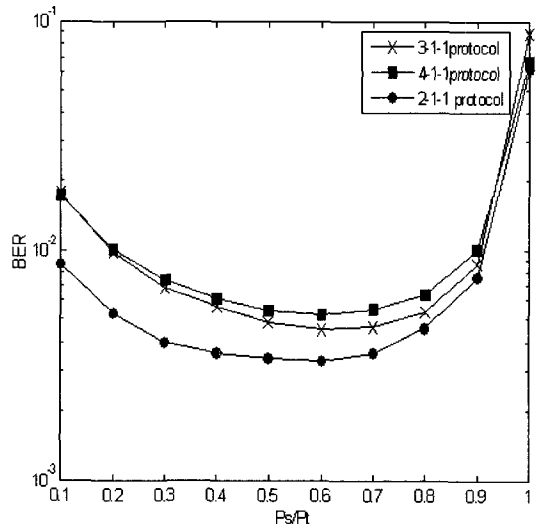


그림 5. 제안한 시스템의 P_S 와 P_R 의 전력 변화에 따른 BER 성능곡선
Fig. 5. BER performance of the power allocation of proposed protocol between P_S and P_R .

페이딩 채널의 분산 값으로 정의한다. 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 어떠한 채널 환경에서도 2-1-1 프로토콜이 가장 우수한 성능을 보여주었으며, AWGN의 분산 값이 4이고 각각의 채널 분산 값이 1인 경우에 가장 저조한 성능이 나타난다. 이는 인접 노드간의 신호 간섭이 심하고, 채널 환경이 가장 악

화된 경우에서 발생된 결과이다.

단일 데이터를 전송하기 위한 DT 방식의 송신 전력을 P_T 로 가정한다면, M-1-1 프로토콜을 위한 송신 전력은 M 개의 데이터를 전송하기 위한 전력과 같아야 하기 때문에 $P_T \cdot M$ 으로 정의된다. 그림 5의 P_S 는 S 의 송신 전력, P_R 은 R 의 송신 전력을 나타낸다. 전체 송신 전력의 범위 내에서 P_S 와 P_R 의 전력 할당에 따른 성능을 비교해 보았다. 각각의 센서 노드를 위한 전력은 P_S 에 할당된 전력을 정확히 M 등분하여 주어진다. 중계 노드를 위한 전력은 전체 전력에서 센서 노드들에 할당된 전력을 뺀 것과 같다. 그림 5에서 x-축은 P_S/P_T 의 비율을 나타내며, 센서 노드의 전력과 전체 송신 전력이 같은 경우 '1'의 값을 가진다. P_S 는 '0'이 될 수 없기 때문에 0.1부터 시작하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면, P_S/P_T 가 '1'인 경우, 중계 노드에 할당된 전력이 없는 경우에서 BER 성능이 가장 저조하였으며, P_S/P_T 비율이 약 0.5, 0.6에서 가장 우수한 성능을 나타내었다. 즉, 센서 노드와 중계 노드에 비슷한 전력이 할당되었을 때 에러 확률이 현저히 감소함을 알 수 있다.

V. 결 론

M-1-1 협력 전송 프로토콜은 중계 노드의 수를 줄이고, 공간 다이버시티 효과로 인해 전송 전력을 감소시킨다. 또한, OFDM 기술을 결합시킴으로써 동시에 M 개 센서 노드의 정보 전달이 가능하고, 주파수 대역의 사용 효율성을 증가시킨다. 제한한 프로토콜은 센서 네트워크의 제약점인 전력문제를 해결함과 동시에 고속의 서비스를 가능하게 한다. 또한, 일반적인 무선 네트워크에 적용하였을 경우에도 다중 경로로 인한 페이딩 현상을 극복하면서 전력 소비 감소, 정보의 신뢰성 향상, 고속의 데이터 전송 등의

이점을 획득한다. 특히 제한된 대역폭의 사용 효율성을 향상시켜 무선 채널을 사용하는 통신 시스템을 위한 다양한 적용 분야를 제공할 것이다.

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, Mar. 1999.
- [2] 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.
- [3] H. Hu, H. Yanikomeroglu, D. Falconer, and S. Periyalwar, "Range extension without capacity penalty in cellular networks with digital fixed relays", *IEEE Globecom*, vol. 5, pp. 3053-3057, Nov.-Dec. 2004.
- [4] R. V. Nee, R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [5] S. Nagaraj, M. Bell, "A coded modulation technique for cooperative diversity in wireless networks", *ICASSP '05*, vol. 3, pp. 525-528, Mar. 2005.
- [6] A. Stefanov, E. Erkip, "Cooperative coding for wireless networks", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 52, Issue 9, pp. 1470-1476, Sep. 2004.
- [7] P. Herhold, E. Zimmermann, and G. Fettweis, "A simple cooperative extension to wireless relaying", *2004 Int. Zurich Seminar on Communications*, Zurich, Switzerland, Feb. 2004.

황 윤 경



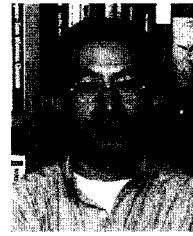
Sensor Network

2006년 2월: 울산대학교 전기전자
정보시스템공학부 (공학사)

2006년 2월~현재: 울산대학교 전
기전자정보시스템공학과 석사과
정

[주 관심분야] 고속 변복조 시스템,
채널 코딩, 협력 통신, Wireless

공 형 윤



1989년: 미국 New York Institute of
Technology 전자공학과 (공학사)

1991년: 미국 Polytechnic University
전자공학과 (공학석사)

1996년: 미국 Polytechnic University
전자공학과 (공학박사)

1996년~1996년: LG전자 PCS 팀장

1996년~1998년: LG전자 회장실 전략 사업단

1998년~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교
수

[주 관심분야] 코딩(LDPC, Turbo) 및 모듈레이션(OFDM,
QAM), 멀티코드, 협력통신, Wireless Sensor Network 등