

논문 2010-6-12

모바일 무선 센서네트워크에서 전송 효율 향상을 지원하기 위한 OFDM을 사용한 클러스터링 기반의 협력도움 라우팅

Clustering-based Cooperative Routing using OFDM for Supporting Transmission Efficiency in Mobile Wireless Sensor Networks

이주상*, 안병구**

Joo-Sang Lee, Beongku An

요 약 본 논문에서는 모바일 무선 센서네트워크에서 전송효율을 증가시키기 위해 OFDM을 사용한 클러스터링 기반의 협력도움 라우팅 방법을 제안한다. 제안된 방법의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 안정적인 전송 서비스를 효과적으로 지원하기 위하여 하부 구조로서 모바일 노드들의 위치 정보를 이용한 클러스터링 방법을 사용한다. 둘째, 데이터 전송 및 신뢰성 효율을 향상시키기 위해 하부구조로 사용된 클러스터링 정보를 이용한 협력전송 방법이 제안 사용된다. 셋째, 채널 효율을 통한 전송효율 향상을 위해서 OFDM 기반의 전송방법이 사용된다. 넷째, 기존의 센서네트워크는 주로 고정된 센서 노드들로 구성된 환경에서 많은 연구가 되어 왔지만, 본 연구에서는 노드들의 이동성을 고려한 모바일 무선 센서네트워크에서 연구가 이루어진다. 제안된 방법의 성능평가는 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 시뮬레이션과 이론적 분석을 통하여 이루어진다. 성능평가를 통하여 제안된 방법은 데이터 전송효율을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

Abstract In this paper, we propose a Clustering-based Cooperative Routing using OFDM (CCRO) for supporting transmission efficiency in mobile wireless sensor networks. The main features and contributions of the proposed method are as follows. First, the clustering method which uses the location information of nodes as underlying infrastructure for supporting stable transmission services efficiently is used. Second, cluster-based cooperative data transmission method is used for improving data transmission and reliability services. Third, OFDM based data transmission method is used for improving data transmission ratio with channel efficiency. Fourth, we consider realistic approach in the view points of the mobile ad-hoc wireless sensor networks while conventional methods just consider fixed sensor network environments. The performance evaluation of the proposed method is performed via simulation using OPNET and theoretical analysis. The results of performance evaluation show improvement of transmission efficiency.

Key Words : Ad-hoc and Sensor Networks, Routing, Cooperative Transmission, Clustering, Cross-Layer, OFDM

I. 서 론

최근 유비쿼터스 환경이 활성화됨에 따라 기존 모바

일 무선 센서네트워크^[1]에서 문제로 지적되었던 부분들을 보완 하고, 센서 노드 상호간에 자율적으로 정보를 교환할 수 있는 모바일 무선 네트워크가 크게 각광 받고 있다. 전송 채널이 무선인 모바일 무선 센서 네트워크에서는 유선과 다르게 많은 변수가 존재한다. 각 노드들은 제한된 전송 범위를 가지고 있으며 높은 BER(Bit Error

*준회원, 홍익대학교 대학원 전자전산공학과

**중신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수일자 : 2010.11.16, 수정완료일자 : 2010.12.10

게재확정일자 2010.12.15

Rate)과 노드의 이동에 따른 링크의 단절과 경로의 변화, 제한된 전송자원(전력 및 bandwidth) 및 네트워크 단절 등의 특징을 나타나게 된다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법들로 최근에 많이 연구되고 있는 기술들은 하부구조로서 클러스터링^[2-4], MIMO^[5-7] 및 협력전송^[8-10] 등이 주요한 기술들로 대두되고 있다.

클러스터링^[2-4]은 계층적으로 하나의 노드가 다수의 노드를 관리하는 구조를 가지고 있다. 따라서 클러스터를 구성함에 있어 클러스터 헤드 선정과 선정된 클러스터 헤드를 통해 클러스터를 유지할 수 있는 방법이 가장 중요하며 클러스터 헤드는 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 이웃노드에게 전송하기 위해서 다른 센서 노드들에 비해 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 이때, 클러스터 헤드의 에너지 소모는 클러스터의 크기와 노드의 수에 따라 달라진다. 따라서 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서 클러스터 헤드의 에너지 소모를 균형 있게 만드는 것이 중요하다. LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)^[2]는 클러스터를 이용하여 센싱된 데이터를 싱크 노드까지 전달하는 가장 널리 알려진 클러스터링 기법중 하나이다. 이 기법이 가정하고 있는 대상은 다음과 같다. 먼저 사용자는 센서 필드와 노드의 수를 알고 있어야 하고 가장 적절한 클러스터 헤드의 수를 지정할 수 있으며, 클러스터 헤드는 클러스터 내의 노드로부터 센싱된 데이터를 정확히 수집하며 수집된 정보를 싱크 노드로 한 번에 전송한다. LEACH에서는 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 선정하고 선정된 클러스터 헤드를 중심으로 클러스터를 구성하기 때문에 모든 노드들이 항상 에너지를 효율적으로 사용한다는 보장을 할 수 없다. 이를 해결하기 위해 LEACH-C(LEACH-Centralized)^[3]가 제안 되었다. CGSR (Clusterhead Gateway Switch Routing)^[4]은 이동 호스트를 중심으로 1 홉 거리에 있는 노드들을 단위 네트워크(클러스터)로 구성한다. 클러스터 마다 클러스터 헤드를 선출하고 두 개 이상의 클러스터와 접하고 있는 노드를 게이트웨이로 정하여 모든 통신이 클러스터 헤드 및 게이트웨이를 통해 수행되는 계층적 구조를 가지며, DSDV 프로토콜을 기반으로 하는 클러스터링 방법이다.

MIMO^[5-7] 시스템은 추가적인 주파수 자원이나 송신 전력의 할당 없이도 시스템 throughput을 선형적으로 증가시킬 수 있는 특성으로 인해 고속 전송 및 높은 신뢰도를 필요로 하는 통신 시스템에서 주목 받고 있는 기술

이다. 채널 정보를 송신단에서 알고 있다면 다양한 프리코딩 기법들은 다중 사용자 MIMO 시스템의 성능 향상을 위하여 사용될 수 있다. 본 연구^[5]에서는 BD(block diagonalization) 기법을 사용하여 각 사용자가 다수의 수신 안테나를 가진 경우, 사용자간 간섭을 제거하기 위하여 제안된 선형 프리코딩 기법이다. BD기법은 사용자의 수와 수신 안테나의 수가 제한적이라는 단점이 존재하며, 이러한 단점을 보완하기 위하여 coordinated Tx-Rx 빔형성 기법^[6]이 제안되었다. Coordinated Tx-Rx^[7] 빔형성 기법은 각 사용자가 pre-receiver를 지니고 있다는 가정하에 수신하는 데이터 스트림 수를 지정하여, 지정된 데이터 스트림 수 만큼의 데이터만을 수신하게 하는 기법이다. 이를 통하여, 각 사용자의 수신 안테나 수와는 관계없이 독립적인 데이터 스트림을 전송할 수 있다. 그러나, co-ordinated Tx-Rx 빔형성 기법에서 사용자당 데이터 스트림 수를 지정하는 알고리즘에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

협력통신은^[8-10] 무선 통신에서 데이터를 전송할 때 데이터가 브로드캐스팅(broadcasting)을 하는 성질을 이용한다. 이는 목적지 노드 외에 타 노드들이 신호를 수신할 수 있는 것으로, 일반적으로 이 신호는 노드들의 간섭으로 작용되지만 협력통신에서는 이 신호를 수신할 수 있는 노드들 중 목적지 노드에 데이터를 대신 전송할 릴레이 노드를 선정한다. 이 릴레이 노드가 소스를 대신하여 데이터를 목적지 노드에 전송 함으로서 소스와 목적지 노드 사이의 낮은 직접 전송 성능대신, 높은 성능을 가지는 소스와 릴레이, 릴레이와 목적지 노드와의 전송률을 이용할 수 있도록 하여 전체 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있는 방법이다. 다음연구^[8]에서는 이론적으로 송신단, 수신단, 그리고 중계기의 3개의 단말이 있는 환경에서 협력 통신의 용량을 이론적으로 얻었다. 그후, 실제로 협력통신을 수행하기 위한 프로토콜과 전송 기법이 제안되었다. DF(decode-and-forward)방식^[9]은 중계기에서 송신단으로부터 수신한 신호를 복원한 뒤 다시 부호화하여 수신단으로 송신하는 방식으로, 만약 중계기에서 복호화(decoding)를 실패하는 경우에는 협력통신이 이루어지지 않기 때문에 성능저하가 발생한다.

본 논문에서는 노드들의 이동성을 고려한 모바일 무선 센서네트워크에서 여러 가지 제약 사항을 극복하고 채널 효율성을 효과적으로 지원하기 위한 라우팅 및 전송전략을 제안한다. 본 논문은 다음처럼 구성되어 있다.

II장에서는 제안된 클러스터링 기반의 협력도움 라우팅 프로토콜 및 구조에 대해 설명하고, III장에서는 제안된 프로토콜의 이론적인 분석에 대해 설명한다. IV장에서는 시뮬레이션 환경과 제안된 프로토콜의 시뮬레이션 결과와 이론적 분석의 결과에 대해 설명하고, 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결과와 향후과제에 대해 살펴보고 결론을 맺도록 한다.

II. OFDM을 이용한 클러스터링 기반의 협력도움 라우팅: OCCR

본 장에서는 제안된 OFDM을 이용한 클러스터링 기반의 협력도움 라우팅(OCCR) 시스템 구조의 기본 개념과 시스템 동작 구조에 대해 설명 한다.

1. 기본개념

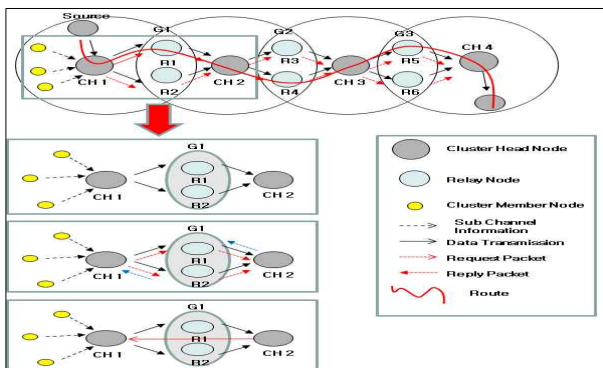


그림 1. OFDM을 이용한 클러스터 기반의 협력전송 라우팅
Fig. 1 Cluster-based cooperative routing using OFDM

그림 1에서 보여주고 있는 것처럼 제안된 CCRO의 기본 구조 및 개념은 다음과 같다.

- **하부구조로서의 클러스터링:** 노드의 이동성을 이용하여 클러스터링을 하고 무선 센서네트워크에서 한-홉 거리에 있는 노드들을 단위 네트워크(클러스터)로 구성한다.
- **클러스터링 정보를 이용한 릴레이 노드 선택:** 협력전송과 채널 효율을 효과적으로 지원하기 위해서 하부구조로 사용되는 클러스터링 정보 중 클러스터가 접치는 노드들을 릴레이 노드로 사용하여 이웃 클러스터 헤드 노드로 데이터를 전송할 때 협력전송에 사용한다.

- **채널 효율을 효과적으로 지원하기 위해 OFDM 개념을 이용하는 라우팅경로 설정방법:** OFDM은 멀티 데이터 전송기술로서 그 개념은 오랫동안 존재해왔지만 최근에 이르러서야 고속 양방향 무선 데이터 전송을 위한 효율적인 기술로써 채택되어 인정받고 사용되어지고 있다. 본 논문에서 사용한 OFDM방법은 클러스터 멤버 노드들이 데이터 전송을 하지 않을 때 자신들이 사용하지 않는 서브채널을 데이터 전송을 하는 노드에게 빌려줌으로써 라우팅 경로 설정 때 채널 효율을 향상시키는 방법이다. 무선 센서 노드 그룹에 클러스터 헤드 제어와 OFDM방법을 사용함으로써 코드분리, 채널접근, 라우팅, 대역폭 할당을 위한 프레임워크가 가능하다.

- **채널 효율을 효과적으로 지원하기 위해 OFDM 개념을 이용하는 데이터 협력전송방법:** 데이터 패킷을 소스에서 목적지로 전송할 때 전송 효율을 증가시키기 위한 클러스터 기반 협력전송과 OFDM을 사용한다. 소스노드에서 클러스터 헤드로 보낸 데이터 패킷을 릴레이 노드를 경유하여 다음 클러스터 내에 있는 클러스터 헤드로 협력통신을 한다. 클러스터 헤드는 협력전송 개념을 사용하여 릴레이 노드로부터 수신신호를 합쳐 신호의 세기를 증가시켜 전송함으로써 보다 높은 SNR 이득을 향상 시킨다. 이러한 협력전송 과정에서 OFDM 기술을 사용하여 데이터 전송에서 빠진 노드들의 서브채널을 데이터 전송을 하는 노드들에게 할당함으로써 데이터 충돌을 최소화 하여 채널 효율을 증가 시킬 수 있다.

2. 동작과정

본 절에서는 제안된 OCCR의 동작 과정을 그림 1을 사용하여 단계별로 설명한다.

Step 1: 모바일 센서네트워크 구성

센서필드 안에 모바일 센서노드들로 구성된 모바일 센서네트워크 환경을 구축한다.

Step 2: 클러스터링

모바일 센서 노드들을 CGSR 및 LCC(least cluster change) 방법을 함께 사용하여 클러스터링을 수행한다. 클러스터링[4] 후에 클러스터들은 각각 클러스터가 존재하게 되며 같은 클러스터 내에 존재하는 모든 노드들은 같은 클러스터 ID를 공유한다. 클러스터 헤드 노드는 같

은 클러스터 내에 있는 모든 노드들의 정보(예: 노드 ID, 서브채널 등)를 저장한다.

Step 3: OFDM을 이용한 클러스터링 기반 라우팅 경로 설정

- 소스 노드는 경로 요청 (Route_Request :RREQ) 메시지를 생성하여 클러스터 헤드 노드들로 전송한다. RREQ 메시지는 소스노드의 ID, 클러스터 ID, 목적지 노드 ID 등이 포함되어 있다.
- 클러스터 헤드 노드는 소스노드의 RREQ 메시지를 수신한 후 이웃의 클러스터 헤드로 메시지를 방송한다. 이때 클러스터 헤드 끼리 직접 통신을 하는 것이 아니라 클러스터 멤버노드들을 이용하여 통신을 하며, 클러스터 헤드 노드가 같은 경로로 전송되지 않은 RREQ 메시지를 받으면 RREQ 테이블에 소스노드 ID와 RREQ 메시지를 송신한 노드 및 시퀀스 넘버(소스 노드로 부터의 홑수)를 저장한 다음 RREQ 메시지를 이웃 노드(클러스터 멤버)들에게 전송한다. 여기서 RREQ 메시지에 포함된 정보는 소스노드 ID 및 현재 노드의 ID, 시퀀스 넘버, 서브채널 등의 정보가 포함된다. 또한, RREQ 메시지를 방송할때 OFDM을 이용하여 RREQ메시지를 받지 않은 노드들은 RREQ메시지를 수신한 노드에게 자신의 서브채널 정보를 줌으로써 포함되지 않은 노드들의 서브채널 대역만큼 채널효율을 향상 시킨다
- 목적지 노드는 RREQ 메시지를 수신하면, 경로 응답 (Route_Reply : RREP) 메시지를 생성하여 RREQ 테이블에 저장되어 있는 루트 정보를 이용하여 RREQ 메시지가 거쳐온 경로(클러스터 헤드 노드, 게이트웨이 등)를 역순으로 하여 RREP메시지를 소스노드로 전송한다. RREP 메시지는 소스노드 ID 및 목적지 노드 ID 정보를 포함하고 있다. RREP메시지를 소스로 전송시 릴레이 노드를 경유하여 보낼수도 있지만, 클러스터헤더에서 클러스터 헤더로 직접 전송하는 방법도 같이 사용하였다.

Step 4: OFDM을 이용한 협력통신 기반 데이터 전송

RREP 메시지를 수신한 소스 노드는 라우팅 테이블 정보를 이용하여 설정된 경로를 경유하여 목적지 노드로 데이터 메시지를 전송한다. 클러스터 헤드 노드는 협력 통신에 의해서 수신된 데이터 메시지를 모두 수신후 두

신호를 합쳐 더 좋은 데이터 메시지를 수신한다. 이때, OFDM 방법을 이용하여 경로에 포함되지 않은 노드들의 서브채널을 경로에 포함된 노드들이 할당 받아 사용함으로써 데이터 전송시 충돌을 줄일 수 있고 그로인해 더 우수한 품질의 데이터 메시지를 수신 할 수 있다.

III. 이론적 분석

1. Throughput Analysis

그림 2에서처럼 임의의 i^{th} cluster-hop (i set) 에서의 Throughput은 식(1)과 같이 정의한다. 여기서 cluster-hop 은 클러스터 헤더와 이웃한 클러스터 헤더 사이를 하나의 클러스터 홑(one cluster-hop)으로 정의한다.

$$T_{Total\ Transmission} = \frac{8L}{T_{(i),CoEstablish} + (T_{CoTransmission} / (M_i \times N_i))} \quad (1)$$

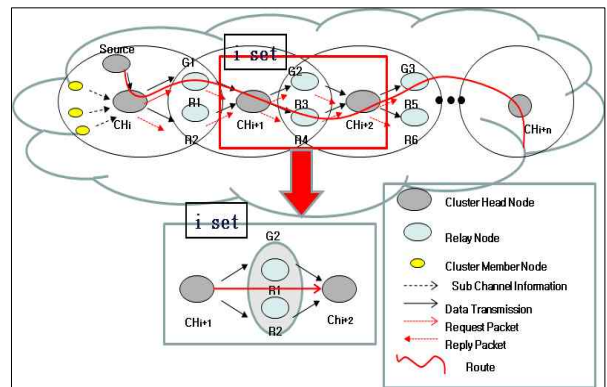


그림 2. 협력전송 라우팅 모델
Fig. 2 Model for Cooperative routing

식 (1)에서 사용된 각 파라미터들에 대한 정의는 다음과 같다.

- L : Transmission Data Size that Source node sends to Destinations Node (L octets of data),
- M_i : No. of cooperative route between CH_i and CH_{i+1}
- N_i : No. of Sub-Channel between CH_i and CH_{i+1}
- $T_{(i),CoEstablish}$: Time of Route CoEstablish

between CH_i and CH_{i+1}

- $T_{CoTransmission}$: Data transmission time between CH_i and CH_{i+1}

IV. 성능 평가

1. 시뮬레이션 시나리오

제안된 프로토콜의 성능평가는 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)을 사용한 시뮬레이션을 통하여 이루어진다. 1 km x 1 km 크기의 사각형 구조의 무선 센서 네트워크에 50개의 노드들로 랜덤 하게 구성되어 있다. 각 노드들은 무한 버퍼(infinite-buffer), 저장 및 전달 큐잉 구조(store-and-forward queuing station)로 구성되어 있으며 GPS 시스템을 사용하여 각자의 위치 정보를 알고 있다고 가정한다. 라우팅시 노드들의 라디오 거리는 최대 250m로 가정한다. 하지만, 협력통신을 사용한 데이터 전송에서는 고정된 라디오 거리는 사용되지 않는다. 본 시뮬레이션에서는 랜덤 이동성 모델(Random Waypoint Model)을 사용하였다. 랜덤 이동성 모델에서 각 이동 노드들의 속력은 $[0, v_{max}]$ km/h의 범위, 방향은 $[0, 2\pi]$ 범위에서 일정하게 분포(uniformly distributed) 되어 있다. 시뮬레이션 time_tick(Δ_t) 구간동안 모든 노드들은 랜덤 속도와 랜덤 방향으로 이동 한다. 본 논문에서 시뮬레이션 time_tick(Δ_t) 구간은 5sec를 사용하였다.

2. 성능측정 파라미터

- PDR(Packet Delivery Ratio) : 소스에서 보낸 데이터 패킷을 목적지에서 받은 비율을 나타낸다.
- Throughput : 소스에서 보낸 데이터 프레임을 목적지에서 받은 비율을 나타낸다.

3. 성능평가 결과

그림 3, 그림 4, 그림 5 는 모바일 노드들에 고정된 이동속도(mobility speed)가 주어졌을 때 SNR함수로서의 PDR 값을 나타내고 있다. 본 성능평가에서는 이론적인 분석 결과와 시뮬레이션 결과를 함께 비교하기 위해서 식 (1)에서 얻어진 Throughput 분석에 대한 결과 값을 다음처럼 $T_{TotalTransmission} = \text{Throughput} \cong \text{PDR}$ 로서

근사 값 정의를 하여 사용한다. 그림들에서와 같이 SNR 값이 커질수록 PDR의 값이 증가함을 볼 수 있다. 그 이유는, SNR 이득이 높으면 목적지에서의 데이터 메시지 수신율이 높아지기 때문이고 이동속도가 증가함에 따라서 PDR 값이 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 이것은 노드들의 이동속도가 증가하면 설정된 경로의 단정 현상이 더 자주 발생하여 패킷 손실이 증가하기 때문이다. 또한, 제안된 CCRO 시뮬레이션과 이론적인 분석 결과가 매우 흡사하게 일치하고, AODV 보다 상대적으로 성능이 우수함을 알 수 있다. 그 이유는 CCRO 는 하부구조로 클러스터링과 그 정보를 이용한 협력전송 및 데이터 전송 향상을 위한 OFDM 방법을 함께 사용하기 때문이다.

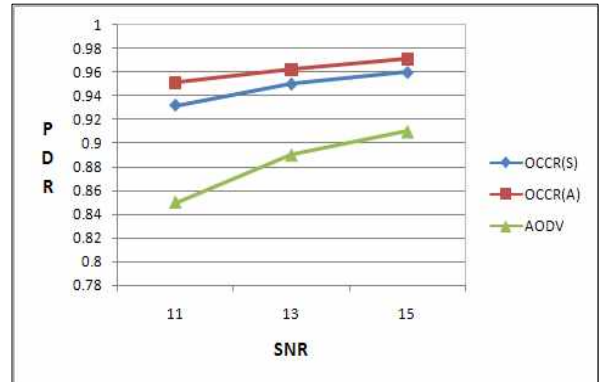


그림 3. SNR 함수로서의 패킷 전달 효율 ($v_{max} = 20$ km/h)

Fig. 3 Packet delivery ratio(PDR) as of a function of SNR when the $v_{max} = 20$ km/h

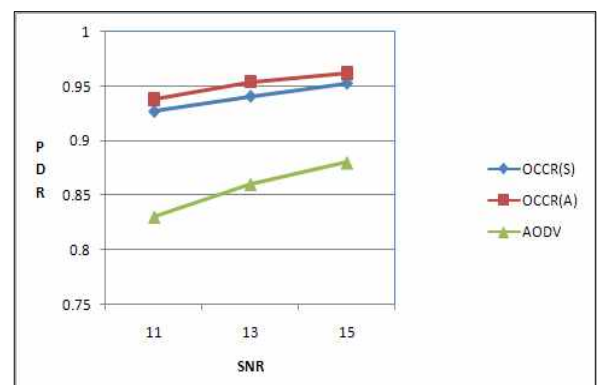


그림 4. SNR 함수로서의 패킷 전달 효율 ($v_{max} = 40$ km/h)

Fig. 4 Packet delivery ratio(PDR) as of a function of SNR when the $v_{max} = 40$ km/h

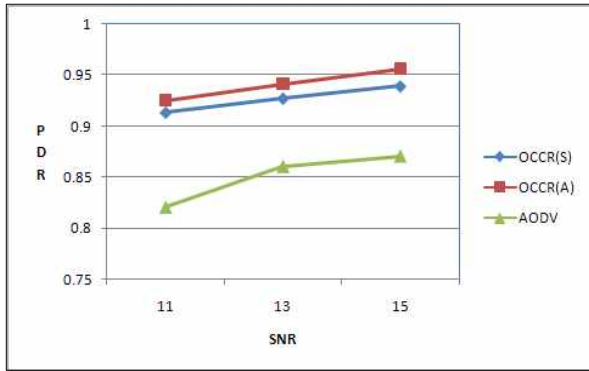


그림 5. SNR 함수로서의 패킷 전달 효율 (v_max = 60 km/h)
 Fig. 5 Packet delivery ratio(PDR) as of a function of SNR when the v_max = 60 km/h

그림 6, 그림 7, 그림 8은 SNR 값이 고정되었을 때 모바일 노드들의 이동속도(mobility speed)의 함수로서 PDR을 보여 주고 있다. 그림들에서와 같이 이동속도가 높아질수록 PDR값이 감소함을 볼 수 있다. 그 이유는, 노드의 이동성이 증가함으로 경로의 단절이 일어나는 횟수가 증가하기 때문에 데이터 패킷 손실이 증가하기 때문이다. 또한, SNR 값이 증가함에 따라서 상대적으로 PDR 값이 증가함을 알 수 있다. 이것은 SNR 이득이 높으면 상대적으로 목적지에서의 데이터 패킷 수신율이 증가하기 때문이다. 그림 5, 그림 6, 그림 7에서 보듯이 제안된 OCCR 시뮬레이션과 이론적인 분석 결과가 매우 일치하고, AODV 보다 상대적으로 성능이 우수함을 알 수 있다. 그 이유는 OCCR 는 하부구조로 클러스터링과 그 정보를 이용한 협력전송 및 데이터 전송 향상을 위한 OFDM 방법을 함께 사용하기 때문이다.

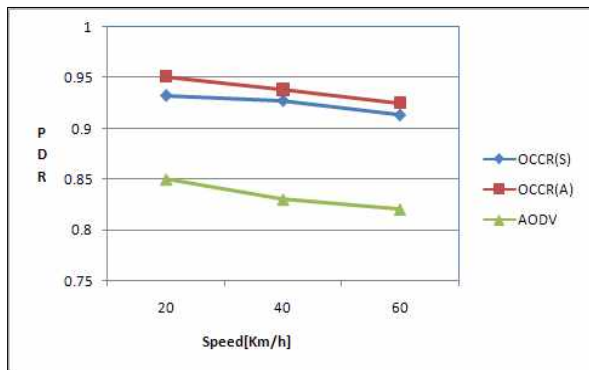


그림 6. 이동성 함수로서 패킷전달효율 (SNR = 11dB)
 Fig. 6 Packet delivery ratio (PDR) as of a function of mobility speed when the SNR = 11dB

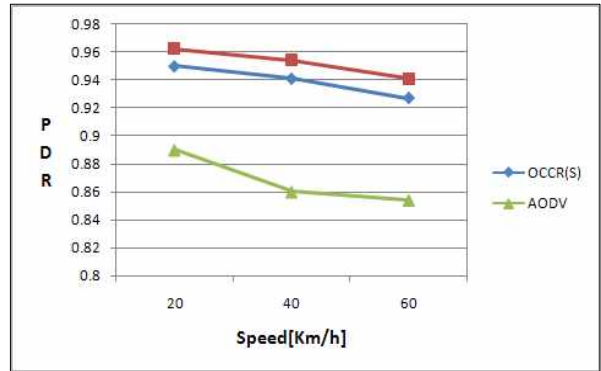


그림 7. 이동성 함수로서 패킷전달효율 (SNR = 13dB)
 Fig. 7 Packet delivery ratio (PDR) as of a function of mobility speed when the SNR = 13dB

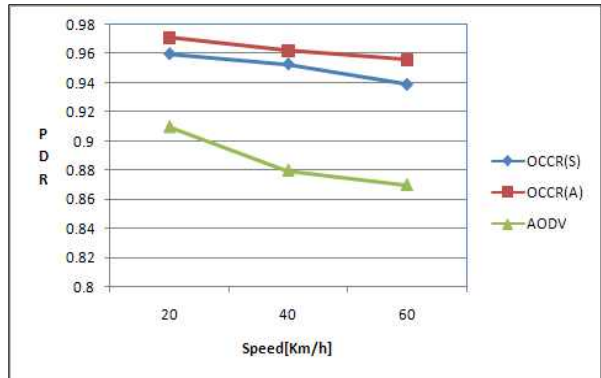


그림 8. 이동성 함수로서 패킷전달효율 (SNR = 15dB)
 Fig. 8 Packet delivery ratio (PDR) as of a function of mobility speed when the SNR = 15dB

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서네트워크에서 채널효율 및 전송효율 서비스를 효과적으로 지원하기 위하여 하부구조로서 클러스터링과 OFDM 기술을 이용한 협력도움 라우팅(CCRO)을 제안한다. 전송 효율 및 채널 효율 향상을 위해서 소스노드와 목적지 노드 사이에 라우팅경로 설정 및 협력전송 할 때 하부구조로 사용된 클러스터링 기반 구조 위에서 OFDM 방법을 사용한다. 제안된 프로토콜의 성능평가는 OPNET(Optimized Network Engineering Tool)을 이용한 시뮬레이션과 이론적인 분석을 통하여 이루어졌다. 성능평가 결과에서 시뮬레이션과 이론적인 분석이 근소한 차이를 보이지만 유사하게 일치하고 기존의 라우팅 프로토콜보다 데이터 전송효율을 효과적으로

증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci Gorgia Institute of Technology, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine August 2002.
- [2] C. C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proc. IEEE SICON'97, pp.197-211, April 1997.
- [3] C. C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proc. IEEE SICON'97, pp.197-211, April 1997.
- [4] Rui Xu and Donald Wunsch, "Survey of Clustering Algorithms," IEEE TRANSACTIONS NEURAL NETWORKS, vol 16, no.3, May 2005.
- [5] R.L.Choi, M.T. Ivrlac, R.D. Murch, and A.Nossek, "Joint Transmit and Receive Multi-user MIMO Decomposition Approach for the Downlink of Multi-user MIMO Systems," Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference, vol.1, pp. 409 -413, October 2003.
- [6] Quentin H. Spencer, A. Lee Swindlehurst, and Martin Haardt, "Zero-Forcing Methods for Downlink Spatial Multiplexing in Multiuser MIMO Channels," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol.52, No.2, pp.461-471, February 2004.
- [7] B. G. Agee, "Exploitation of internode MIMO channel diversity in spatially distributed multipoint communication networks," in Proc. Asilomar Conf., Novmber 2001.
- [8] A. Sendonaries, E. Erkip, and B. Aazhang, "user Cooperation Diversity Part I and Part II," IEEE Commun, vol.51, pp.1927-1948, November 2003.
- [9] J.N. Laneman, D.N.C Tse, and G.W. Womell, "An Efficient protocol for realizing cooperative diversity in wireless networks," Proc. IEEE Inter. Symp. Inform. Theory(ISIT), Washington D. C,

U. S. A, pp.294, June 2001.

- [10] Ivan Maric, Roy D. Yates, "Cooperative Multicast for Maximum Network Lifetime," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on vol.23, pp.127-135, Issue 1, January 2005.

※ Acknowledgements: 이 논문은 2010학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음

저자 소개

이 주 상(학생회원)



- 2006년: 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과(학사)
- 2008년: 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 (공학석사)
- 2008년 3월~현재: 홍익대학교 대학원 전자전산공학과 재학 (박사과정)

<주관심분야 : Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Mobile wireless Networks, Routing, Cooperative Communications, Multicast Routing Protocols, Cross-Layer>

안 병 구(중신회원)



- 1988년: 경북대학교 전자공학과 (BS)
- 1996년: (미)Polytechnic University, Dept. of Computer and Electrical Eng., Brooklyn, New York, USA (MS).
- 2002년: (미)New Jersey Institute of Technology(NJIT), Dept. of Computer and Electrical Eng., New

Jersey, USA.(Ph.D)

- 1989년-1994년: 포항산업과학기술연구원(RIST), 선임연구원
- 1997년-2002년: Lecturer & RA, New Jersey Institute of Technology(NJIT), USA.
- 2003년-현재: 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
- 2005년-2010년: Marquis Who's Who in Science and Engineering was listed. (세계과학기술인명사전 등재)
- 2006년-2010년: Marquis Who's Who in the World was listed. (세계인명사전 등재)

<주관심분야: Wireless Networks, Ad-hoc & Sensor Networks, Multicast Routing, Cross-Layer Technology, Cooperative Communication, QoS, Bio Information Communications, VLC>