논문 2011-1-21

모바일 무선 센서 네트워크를 위한 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조

A Cross-Layer Cooperative Routing Architecture for Mobile Wireless Sensor Networks

이주상*, 안병구**

Joo-Sang Lee, Beongku An

요 약 본 논문에서는 모바일 무선 센서네트워크에서 전송효율을 효과적으로 지원하기 위한 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조를 제안한다. 제안된 구조 및 방법의 주요한 특징 및 기여도는 다음과 같다. 첫째, 모바일 노드들의 위치 정보를 이용한 클러스터링을 하부구조로 사용한다. 둘째, 전송효율 및 채널효율을 효과적으로 지원하기 위해서 네트워크계층, MAC 계층, 물리계층을 이용한 Cross-Layer 협력도움 라우팅 및 전송전략이 사용된다. 셋째, 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 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조는 전송효율을 효과적으로 증가 시킬 수 있음을 알 수 있다.

Abstract In this paper, we propose a Cross-Layer Cooperative Routing(CLCR) architecture to support transmission efficiency in mobile wireless sensor networks. The main features and contributions of the proposed architecture and method are as follows. First, the clustering which uses the location information of nodes is utilized as infrastructure. Second, a cross-layer strategy which uses the technologies of network layer, MAC layer, physical layer together to support transmission efficiency and channel efficiency for cooperative-aided routing and transmission. Third, 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 of the proposed CLCR show improvement of transmission efficiency by the proposed CLCR.

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

Ⅰ. 서 론

최근 무선 센서 네트워크 기술이 빠르게 향상됨으로 이동 무선 센서 네트워크에 대한 응용 범위가 증가하고 있다. 현재 사용되고 있는 무선 센서 네트워크는 크게 두 가지 방법으로 분류된다.

첫째, 기지국이나 AP(Access Point)가 관리하는 영역 안에서 형성되는 네트워크이다. 둘째, 하부구조 없이 이동 단말기로 구성된 ad-hoc 네트워크이다. Ad-hoc 네트워크는 미리 설치된 하부구조 없이 임의로 형성된 네트워크로서 기존 유선망을 사용할 수 없는 경우 즉, 홍수

*준회원, 홍익대학교 대학원 전자전산공학과
**종신회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과
접수일자: 2011.1.8 수정일자; 2011.1.31
게재확정일자; 2011.2.11

및 화재 전쟁지역 및 응급상항 등의 긴급 사태 발생시 사용된다. 센서 네트워크에서 센서는 배포된 환경에서 주위 상황을 측정하고 측정된 정보를 전송한다. 많은 수의 센서가 사용자의 조작을 필요로 하지 않는 응용과 네트워크 형태를 이루는 것이 무선 센서 네트워크이다.

무선 센서 네트워크에서는 노드들이 다수의 안테나를 탑재하기 매우 어렵다. 따라서 전송 효율을 증가시키기 위해 많은 연구가 이루어지고 있는 분야가 협력통신 이다. 최근에 협력전송 프로토콜들, 구현이슈, 성능측정 및 분석 등에 관한 많은 연구가 진행되고 있다[4-7]. 현재까지는 협력통신에 관한 연구가 주로 원-홉(single-hop) 네트워크에서 이루어져왔지만, 센서 네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행되면서 멀티 홉(multi-hop)에 대한 협력통신의 연구 또한 주요한 이슈로 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 모바일 무선 센서 네트워크 관점에서 협력통신에 관한 연구에 초점을 맞춘다[1-7].

유선망에서 사용되는 계층 구조는 구성이 간단하고 표준화하기 쉬운 장점을 가지고 있지만, 무선 환경에서 사용하기에는 적합하지 않다. 이러한 계층 구조의 단점을 극복하기 위해 제안된 개념이 Cross-Layer [8]접근 방법 이다. Cross-Layer 접근방법은 계층 간 정보 교환을 통해 변화하는 네트워크 상황에 적절하게 대처 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 모바일 무선 센서네트워크에서 여러 가지 제약 사항을 극복하고 전송 효율을 증가시키기 위해서 Cross-Layer 협력도움 라우팅 및 전송 전략을 제안 사용한다.

본 논문은 다음처럼 구성되어 있다. Ⅱ장에서는 관련 연구를, Ⅲ장에서는 제안된 Cross-Layer 협력도움 라우팅 및 전송 구조와 방법에 대해 설명하고, Ⅳ장 에서는 제안된 구조 및 방법의 이론적인 분석에 대해 설명한다. Ⅴ장에서는 시뮬레이션 환경과 제안된 구조 및 방법의 시뮬레이션 결과와 이론적 분석의 결과에 대해 설명하고, 마지막으로 Ⅵ장 에서는 본 논문의 결과와 향후과제에 대해 살펴보고 결론을 맺도록 한다.

Ⅱ. 관련연구

무선 센서네트워크에서 전송효율을 효과적으로 지원하기위한 방법은 그동안 지속적으로 연구되어 왔다.

클러스터링[9-10]는 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 소모를균형 있게 만드는 것이 중요하다. LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[9]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 헤더를 선정하고 선정된 클러스터 헤더를 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)[10]은 이동 호스트를 중심으로 한-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 기반 라우팅 방법이다.

협력통신[2-7]은 단일 안테나를 가진 두 개 이상의 무선 노드들이 자신의 자원을 공유함으로써 형성된 다중 경로를 통해 목적지까지 데이터가 도달 할 수 있도록 전송하는 방식이다. 논문[2]에서는 일반적으로 무선채널에서 페이딩 현상의 영향으로 신호에 왜곡이 발생하여 신호의 변형을 야기 시킬 수 있다. 하지만 중계기 등을 이용한 다중 경로는 독립적으로 신호를 전송하기 때문에 공간적 다이버시티 효과를 가질 수 있고 페이딩에 의해 신호가 감쇄되는 것을 막을 수 있다. 따라서 협력통신은 각각의 무선 노드에 대해 다이버시티 효과를 가질 수 있다. 각 모바일 노드는 단일 안테나를 가지고 있어서 각각의 노

드는 공간적 다이버시티 효과를 가질 수 없다. 논문[3-5]에서는 협력통신에서 협력 노드가 자신의 정보를 송신할 수 있고, 또 다른 송신 노드의 정보의 일부 혹은 전부를 포함하여 전송 할 수 있다. 그 이유는 두 노드의 경로는 서로 독립이며 이것으로 인해 공간적 다이버시티 효과를 가질 수 있기 때문이다. 이와 같이 협력 통신으로 인한 다이버시티 이득을 통해 협력 상태에 있는 노드들의 전력을 감소할 수 있고 최대 효율을 이끌어 낼 뿐만 아니라 대역폭 효율역시 증가한다.

Cooperative MAC (CooMAC) 프로토콜에 대해 최근의 연구들은 대부분 현재 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11 무선랜 프로토콜에 근거하고 있다. 또한 모바일 WiMAX로 알려진 IEEE 802.16e 와 최대 54Mbps 속도를 제공하는 IEEE 802.11a 또는 IEEE 802.11g 규격에서는 채널의 품질에 따라 상이한 변복조 기법과 채널코딩 기법을 사용하여 시스템 성능을 향상 시키는 어댑테이션 기법을 사용하고 있다. 논문[11] 에서는 수신노드에서 채널 품질을 측정한 뒤, 송신노드에게 전송하면 송신노드가 이 값을 기반으로 적절한 전송속도를 사용하여 데이터를 전송 할수 있도록 하는 RBAR (receive r-based auto rate) 기법을 제안하였다. 한편 논문[12]에서는 CMAC 프로토콜을 제안하였으며, 오류제어기법과 결합한 FCMAC 프로토콜을 제안하였다. 이 연구 결과는 현재 IEEE 802.11 무선랜 표준을 적게 변경하면서 협력 통신을 지원하는 MAC프로토콜을 제안했지만, 릴레이 노드를 선정하는 방법에 대해 전형 언급하지 않았다. 논문[13-14]는 협력 통신을 지원하기 위한 새로운 ARQ기법을 제안하였다. ARQ 기법의 경우, 송신 노드에서 전송한 프레임을 수신 노드가 전송오류 때문에 제대로 수신하지 못하였을 경우, 수신 노드가 NACK 제어프레임을 전송하여 재전송을 요청한다.

무선 센서 네트워크에서는 각 센서 노드의 에너지 소비를 줄이는 것도 중요하지만, 이와 더불어 네트워크 전체의 라이프 시간(life time)을 늘리는 것이 중요하다. 기존 OSI 7 계층처럼 계층별로 독립되어 연구 되어 왔다. 그러나 독립적으로 개발이 진행된 네트워크 계층(network layer), MAC 계층(MAC layer), 물리계층(physical layer)은 서로 상호 연결을 위해 많은 어려움을 겪고 있지만, 많은 연구가 활발히 진행 중이다.

논문[8]에서는 Cross-Layer를 이용한 통신 프로토콜을 두 가지 방법으로 설계하였다. 첫째는 다른 프로토콜 계층의 변수를 고려하여 해당 계층의 프로토콜을 설계함으로써 성능을 개선하는 방법이다. 이는 다른 계층의 정보를 기반으로 데이터를 처리하는 기법으로 MAC 계층에서 발생한 패킷의 손실률을 물리계층에서 보내 발생된 트래픽을 패킷 손실과 구분 짓는데 사용한다. 또 하나의 Cross-Layer 설계 방식은 여러 계층의 프로토콜을 하나로 병합하는 기법이다. MAC 계층에서 설정된 링크를 바탕으로 네트워크 계층의 라우팅을 수행하는 방법이다.

III. 제안된 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조: CLCR

1. 기본개념

그림 1은 본 논문에서 제안된 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조를 보여주고 있으며, 그림 2는 본 연구에서 제안 사용된 Cross-Layer 전략의 기본 개념을 설명한다.

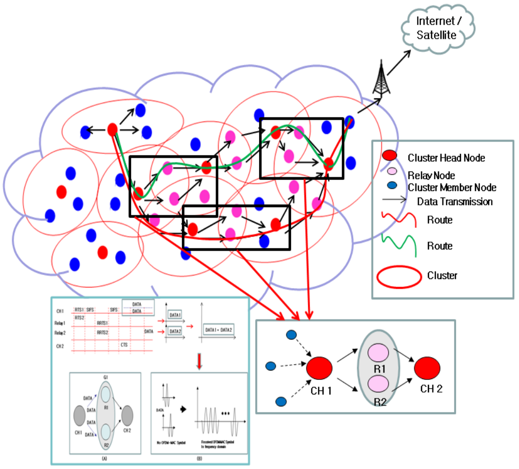

그림 1. 클러스터 기반 협력도움 라우팅
Fig. 1 Clustering-Based Cooperative Routing

먼저 그림 1을 사용하여 제안된 CLCR의 기본 개념을 단계별로 설명하면 다음과 같다.

- 노드의 이동성을 이용하여 클러스터링을 하고 무선센서네트워크에서 한-홉 거리에 있는 노드들을 단위 네트워크(클러스터)로 구성한다. 무선 센서 노드 그룹에 클러스터 헤드 제어와 OFDM방법을 사용함으로써 코드분리, 채널접근, 라우팅, 대역폭 할당을 위한 프레임워크가 가능하다.

- 클러스터링을 하고 난후 라우팅 경로 설정을 위하여 소스 노드에(source node)서 클러스터 헤드 노드, 게이트웨이(릴레이노드) 노드 등을 거쳐서 목적지 노드(destination node)까지 리퀘스트 패킷(request packet)을 브로드캐스트 하고 목적지 노드에서 리퀘스트 패킷을 수신한 후 리퀘스트 라우팅 테이블을 참조 하여 리플라이 패킷(reply packet)을 클러스터 헤드 노드, 게이트웨이노드 등을 거쳐서 소스 노드로 전송 한다.
- 데이터 패킷 전송을 위하여 소스에서 목적지로 전송할 때 전송 효율을 증가시키기 위한 클러스터 기반 협력 전송과 OFDM을 사용하여 채널 효율을 향상시키고 자원(power, bandwidth) 낭비를 최소화 하는 전송 방법을 보여준다. 소스노드에서 클러스터 헤드로 보낸 데이터 패킷을 릴레이 노드를 경유하여 다음 클러스터 내에 있는 클러스터 헤드로 협력통신을 한다. 클러스터 헤드는 릴레이 노드로부터 수신 신호를 합쳐 신호의 세기를 증가시켜 전송함으로써 보다 높은 SNR 이득을 향상 시킨다(즉, 전송 효율의 증가). 또한, 데이터 전송에서 빠진 노드들의 서브채널을 데이터 전송을 하는 노드들에게 할당함으로써 데이터 충돌을 최소화 하여 채널 효율을 증가 시킬 수 있다.

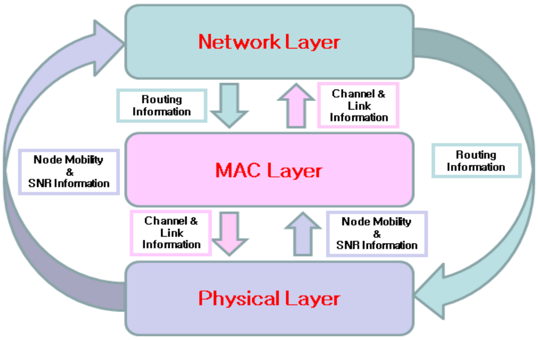

그림 2. 크로스 레이어 시스템 구조
Fig. 2 Cross-Layer System Architecture

그림2는 본 논문에서 제안한 Cross-Layer 전략의 시스템 구조를 보여주고 있다. Cross-Layer 는 계층 간의 상호 협력이라는 새로운 모델을 제시하여 기존 시스템의 성능을 효율적으로 향상 시킬 수 있는 가능성을 내재 하고 있다. 본 논문에서는 기존에 많은 연구가 이루어졌고 이루어지고 있는 두 계층 간의 Corss-Layer 가 아닌 네트워크계층, MAC 계층, 물리계층 세 개 계층을 이용한 Cross-Layer를 이용함으로써 상호 필요한 정보를 공유하여 자원(power, bandwidth)을 절약 하고 불필요한 자원의 낭비를 막는 라우팅 방법 및 데이터 전송방법을 제안한다. 그림 2를 사용하여 제안된 Cross-Layer 의 기본 개념을 설명하면 다음과 같다.

- 네트워크계층에서 MAC 계층으로 라우팅 정보를 제공함으로써 경로에 포함되지 않은 노드의 채널을 고려대상에서 제외함으로써 불필요한 Control Overhead를 감소시킬 수 있다.
- MAC 계층에서 네트워크계층으로 채널상태 정보를 제공함으로써 다중채널을 사용하는 무선네트워크에서 채널상태가 높은 쪽을 선택하여 데이터 패킷을 전송 할 수 있다. 또한 일정 상태 이상의 채널을 선택하여 협력통신을 함으로써 SNR의 이득을 높일 수 있고, 경로에 포함되지 않은 노드들의 채널을 사용함으로 데이터 전송 시 충돌 위험을 줄이고 채널 효율을 증가 시킬 수 있다.
- 네트워크계층에서 물리계층으로 라우팅 정보를 제공함으로써 협력통신을 효과적으로 지원 할 수 있다.
- 물리계층에서 네트워크계층으로 노드 이동성 및 SNR 정보를 제공함으로써 데이터 전송 시 협력통신을 이용하여 채널 효율을 증가 시킬 수 있다.
- MAC 계층에서 물리계층으로 채널상태 정보를 제공함으로써 채널상태에 맞춰 협력통신을 사용 제안할 수 있다.
- 물리계층에서 MAC 계층으로 노드 이동성 및 SNR 정보를 제공함으로써 채널상태에 맞는 코딩 기법을 사용할 수 있다.

2. 동작과정

제안된 CLCR의 동작 과정을 단계별로 설명한다.

Step 1: 모바일 센서네트워크 구성

센서필드 안에 모바일 센서노드들로 구성된 모바일 센서네트워크 환경을 구축한다.

Step 2: 하부구조로서의 클러스터링

그림 1과 같이 모바일 센서 노드들을 CGSR 및 LCC(least cluster change) 방법을 함께 사용하여 클러스터링을 수행한다. 클러스터링 후에 하나의 클러스터는 하나의 클러스터 헤드 노드가 존재하게 되며 같은 클러스터 내에 존재하는 모든 노드들은 같은 클러스터 ID를

공유한다. 클러스터 헤드 노드는 같은 클러스터 내에 있는 모든 노드들의 정보(예: 노드 ID, 서브채널 등)를 저장한다.

Step 3: 클러스터링에 기반 OFDM을 이용한 라우팅경로 설정

그림 1과 같이 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 멤버 노드들을 이용하여 통신을 하며, 클러스터 헤드 노드가 같은 경로로 전송되지 않은 RREQ 메시지를 받으면 RREQ 테이블에 소스노드 ID와 RREQ 메시지를 송신한 노드 및 시컨스 넘버(소스 노드로 부터의 홉수)를 저장한 다음 RREQ 메시지를 이웃 노드(클러스터 멤버)들에게 전송한다. 여기서 RREQ 메시지에 포함된 정보는 소스노드 ID 및 현재 노드의 ID, 시컨스 넘버, 서브채널 등의 정보가 포함된다. 또한, RREQ 메시지를 방송할때 OFDM을 이용하여 RREQ메시지를 받지 않은 노드들은 RREQ 메시지를 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 등등)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, 클러스터 헤드에서 클러스터 헤드로 직접 전송하는 방법도 같이 사용하였다.

Step 4: OFDM과 Cooperative MAC을 이용한 협력 통신 데이터 전송

그림 1과 같이 RREP 메시지를 수신한 소스 노드는 라우팅 테이블정보를 이용하여 설정된 경로를 경유하여 목적지 노드로 데이터 메시지를 전송한다. 클러스터 헤드 노드는 협력통신에 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 할당받아 사용함으로 데이터 전송 시 충돌을 줄일 수 있고 그로인해 더 우수한 품질의 데이터 메시지를 수신 할 수 있다.

클러스터 헤드가 전송한 데이터를 릴레이 노드들은 큐(que)에 복사본을 저장해놓고 전송이 되지 않았을 경우 소스가 다시 재전송을 하는 것이 아니라 릴레이노드에서 일정한 백오프 시간(backoff time)후에 데이터를 재전송함으로써 송신자(클러스터 헤더노드)를 도와준다. 릴레이 노드가 소스로부터 보낸 데이터를 받지 못했을 때는 이웃한 릴레이 노드 혹은 클러스터 헤드노드가 일정한 백오프 시간 후에 재전송을 해준다. 이때 목적지 클러스터 헤드가 데이터를 수신하면 릴레이 노드에게 ACK을 보내는 것이 아니라 직접 데이터를 전송한 클러스터 헤드로 보낸다. 이때, 클러스터 헤드가 ACK을 받으면 릴레이 노드들은 가지고 있던 데이터 복사본을 삭제한다. 이러한 과정을 반복하여 목적지 클러스터 헤드까지 데이터를 전송한다.

Ⅳ. 이론적 분석

1. Throughput Analysis

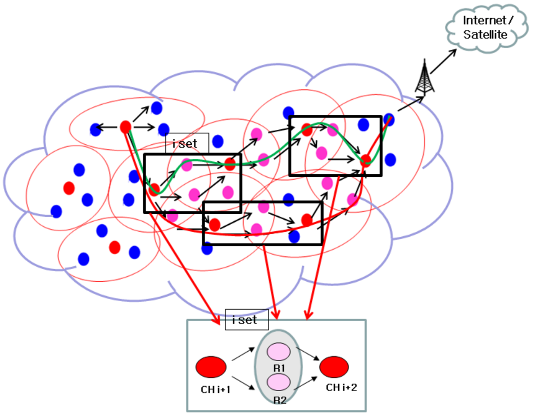

그림 3. Cross-Layer 협력도움 라우팅 및 전송 모델
Fig. 3 Cooperative-aided routing and transmission model

그림 3은 제안된 Cross-Layer 협력도움 라우팅 구조의 이론적인 분석(Throughput, Delay)을 위한 모델을 보

여주고 있다. 그림 3에서 Throughput 은 식(1)과 같이 소스노드(소스 클러스터 헤드노드)에서 목적지 노드(목적지 클러스터 헤드노드)에 전송된 데이터 프레임의 cluster-hop당 평균 전송률(즉, 평균전송률/cluster-hop)로 정의한다. 여기서 cluster-hop 은 클러스터 헤드와 이웃한 클러스터 헤드사이를 하나의 클러스터 홉(one cluster-hop)으로 정의 한다.

$$P_{Average,\ Throughput} = \frac{1}{H}\times\sum_{i=1}^{H}\left[\frac{(T_{(i),CoEstablish}+(T_{CoTransmission}/(M_i\times N_i)))-(T_{FT}\times\frac{1}{M_i})}{T_{(i),CoEstablish}+(T_{CoTransmission}/(M_i\times N_i))}\right] \quad (1)$$

식 (1)에서 사용된 각 파라미터들에 대한 정의는 다음과 같다.

- L: Data size that can be transmitted to destination node by source node (L oclets of data),
- M_i: No. of cooperative route between i^{th} CH and $(i+1)^{th}$ CH
- N_i: No. of subchannel between i^{th} CH and $(i+1)^{th}$ CH
- H: No. of CH over the established route between source CH and destination CH
- T_{FT} : Fail transmission time
- $T_{(i),CoEstablish}$: Delay time for cooperative route construction at i^{th} cluster hop
- $T_{CoTransmission}$: Data transmission time using cooperative transmission

2. Delay Analysis

식 (2)에서처럼 Delay는 소스 클러스터 헤드(CH)에서 목적지 클러스터 헤드(CH) 사이에 라우팅 경로를 설정할 때 필요한 cluster-hop 당 평균시간 시간(즉, 평균 경로설정시간/cluster-hop) 으로 정의하며 식 (2)처럼 나타낸다.

$$P_{AverageDealy} = \frac{1}{H}\times\sum_{i=1}^{H}\left[(T_{Request}\times R_i)+(T_{Reply}\,/\,R_i)\right] \quad (2)$$

식(2)에서 사용된 각 파라미터들에 대한 정의는 다음과 같다.

- $P_{AverageDelay}$: Average route setup time/cluster-hop
- R_i : No. of route between i^{th} CH and $(i+1)^{th}$ CH
- H : No. of CH over the established route between source CH and destination CH

$$T_{Request} = T_{RTS} + SIFS + T_{RRTS} \quad (3)$$

$$T_{Reply} = T_{CTS} + SIFS + T_{RCTS} \quad (4)$$

식(3)은 i^{th} CH and $(i+1)^{th}$ CH 에서의 리퀘스트 시간으로 정의한다.

식(4)는 i^{th} CH and $(i+1)^{th}$ CH 에서의 리플라이 시간으로 정의한다.

V. 성 능 평 가

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 거리(250m)는 사용되지 않는다. 본 시뮬레이션에서는 랜덤 이동성 모델(random mobility model: waypoint mobility model)을 사용하였다. 랜덤 이동성 모델에서 각 이동 노드들의 속력은 [0, v_{max}]km/h의 범위, 방향은[0, 2π] 범위에서 일정하게 분포(uniformly distributed)되어 있다. Pause time 은 0 sec로 정의 하였다. 시뮬레이션 time_tick($\triangle_t$) 구간동안 모든 노드들은 랜덤 속도와 랜덤 방향으로 이동한다. 본 논문에서 시뮬레이션 time_tick($\triangle_t$) 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.
- Delay for route setup : 경로 형성에 요구되는 지연 시간을 나타낸다.

특히, 시뮬레이션 결과와 이론적인 결과를 함께 비교하기 위해서 다음과 같은 근사 값 관계를 다음처럼 정의하여 사용하였다. $PDR \approx Throughput$.

3. 시뮬레이션 결과

그림 4, 그림 5, 그림 6 은 모바일 노드들에 고정된 이동속도(mobility speed)가 주어졌을 때 SNR함수로서의 PDR 값을 나타내고 있다. 그림들에서와 같이 SNR 값이 커질수록 PDR의 값이 증가함을 볼 수 있다. 그 이유는, SNR이득이 높으면 목적지에서의 데이터 메시지 수신율이 높아지기 때문이고 이동속도가 증가함에 따라서 PDR 값이 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 이것은 노드들의 이동속도가 증가하면 설정된 경로의 단절 현상이 더 자주 발생하여 패킷 손실이 증가하기 때문이다. 또한, 제안된 CLCR 시뮬레이션과 이론적인 분석 결과가 매우 흡사하게 일치하고, AODV 보다 상대적으로 성능이 우수함을 알 수 있다. 그 이유는 CLCR 는 하부구조로 클러스터링과 그 정보를 이용한 협력전송 및 데이터 전송 향상을 위한 OFDM 및 Cooperative MAC 방법을 함께 사용하기 때문이다.

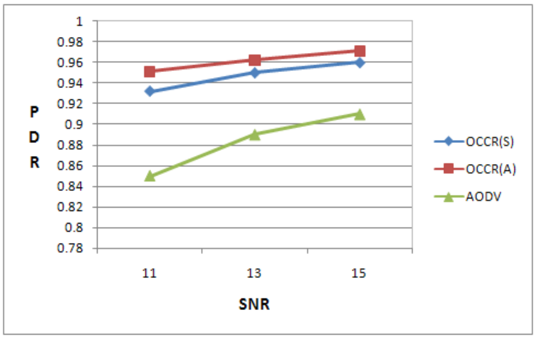

그림 4. SNR 함수로서의 페킷 전달 효율 (v_max=20 km/h)
Fig. 4 Packet delivery ratio(PDR) as a function of SNR when the v_max = 20 km/h

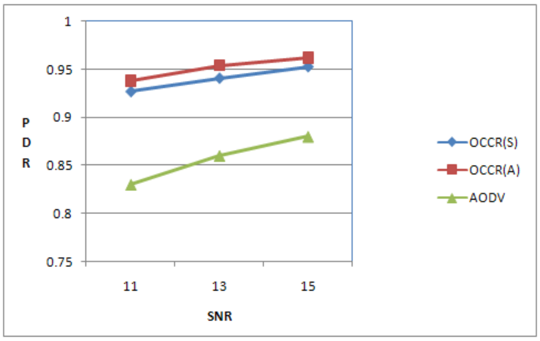

그림 5. SNR 함수로서의 페킷 전달 효율 (v_max = 40 km/h)
Fig. 5 Packet delivery ratio(PDR) as a function of SNR when the v_max = 40 km/h

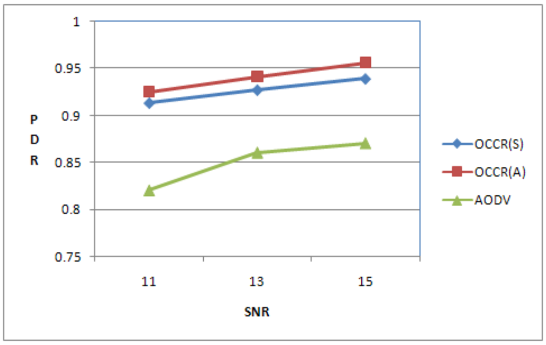

그림 6. SNR 함수로서의 페킷 전달 효율 (v_max = 60 km/h)
Fig. 6 Packet delivery ratio(PDR) as a function of SNR when the v_max = 60 km/h

그림 7, 그림 8, 그림 9는 SNR 값이 고정되었을 때 모바일 노드들의 이동속도(mobility speed)의 함수로서 PDR을 보여 주고 있다. 그림들에서와 같이 이동속도가 높아질수록 PDR값이 감소 함을 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 CLCR은 시뮬레이션과 이론적인 분석 결과가 매우 일치하고, AODV 보다 상대적으로 성능이 우수함을 알 수 있다. 그 이유는 CLCR은 하부구조로 클러스터링과 그 정보를 이용한 협력전송 및 데이터 전송 향상을 위한 OFDM및 Cooperative MAC 방법을 함께 사용하기 때문

이다.

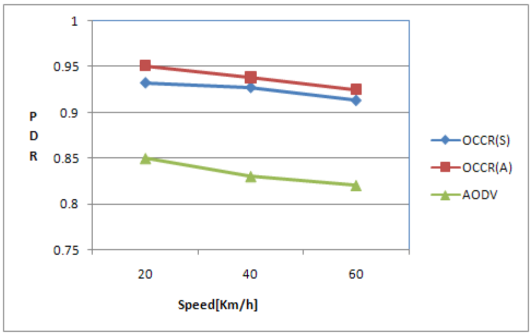

그림 7. 이동성 함수로써 페킷전달효율 (SNR = 11dB)
Fig. 7 Packet Delivery Ratio (PDR) as a function of mobility speed when the SNR = 11dB

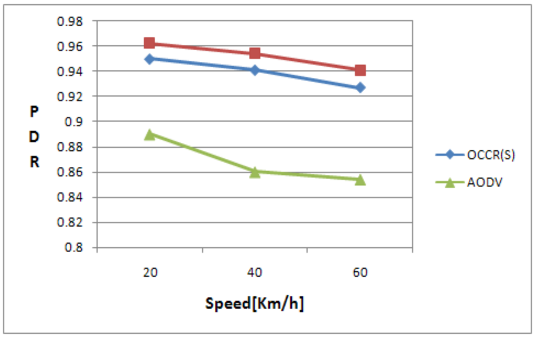

그림 8. 이동성 함수로써 페킷전달효율 (SNR = 13dB)
Fig. 8 Packet Delivery Ratio (PDR) as a function of mobility speed when the SNR = 13dB

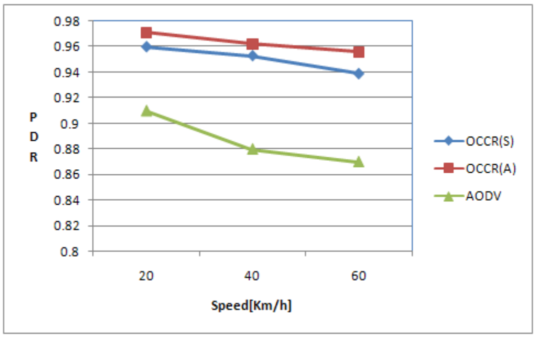

그림 9. 이동성 함수로써 페킷전달효율 (SNR = 15dB)
Fig. 9 Packet Delivery Ratio (PDR) as a function of mobility speed when the SNR = 15dB

그림 10은 경로 설정을 위한 시간지연 (delay for route setup)을 랜덤 이동성 환경에서 모바일 노드들의 이동성 함수로 각각 보여주고 있다. 그림 10에서 보는 것처럼 시간지연은 노드의 이동성이 증가함에 따라서 약간 증가함을 알 수 있다.

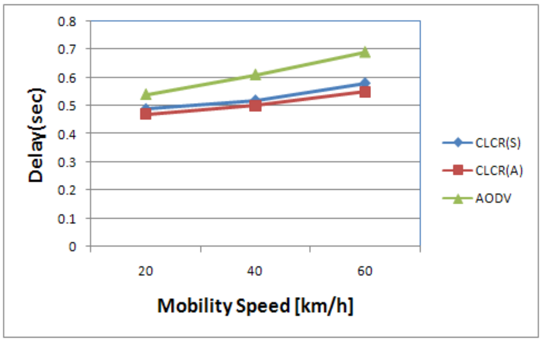

그림 10. 이동성 함수로서 세션당 경로 설정 지연시간 (SNR = 15dB)
Fig. 10 Delay for route setup/session as a function of mobility speed when the SNR = 15dB

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 모바일 무선 센서네트워크에서 채널효율 및 전송효율 서비스를 효과적으로 지원하기 위한 네트워크계층(Routing), MAC 계층(OFDM, Cooperative MAC), 물리계층(Cooperative Transmission)을 함계 사용하는 협력도움 라우팅 구조를 제안한다. 세 개 계층을 이용한 Cross-Layer를 이용함으로써 각 계층별로 상호 필요한 정보를 공유하여 자원(power, bandwidth)을 절약하고, 전송 효율을 효과적으로 지워한다. 이론적인 분석에서 Throughput과 Delay 모델을 각각 제시 전개하였다. 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 우수한 성능을 보여 주었으며, 특히 성능평가를 통하여 제안된 프로토콜은 클러스터링 기반의 안정된 경로 설정 및 OFDM방법과 Cooperative MAC방법 및 협력전송을 함께 이용하여 데이터 전송효율을 효과적으로 증가시킬 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasu -bramaniam, and Erdal Cayirci Gorgia Institute of Technology, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine August 2002.

[2] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity : Part I. System Description," IEEE Transaction on Communications, vol. 51, no. 11, pp. 1927, Nov. 2003

[3] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User Cooperation Diversity : Part II. System Description," IEEE Transaction on Communications, vol. 51, no. 11, pp. 1927, Nov. 2003

[4] 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.

[5] 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.

[6] Pan Zhou, Wei Liu, Kanru Xu, "An Energy-efficient Multihop Cooperative Transmission Protocol Design for Sensor Networks," Proc. of Local Computer Networks 2007, pp.220-222, October 2007.

[7] Zhu Han, Yan Lindsay Sun, Hongyuan Shi, "Cooperative Transmission for Underwater Acoustic Communications," Proc. of ICC 2008, pp.2028-2032, May 2008.

[8] Yung-Sze Gan and Sandrine Masson, Gregoire Guibe, "Cross-Layer Optimization of OLSR with a clustered MAC," Proc. of MILCOM 2006, pp.1-7, October 2006.

[9] Rui Xu and Donald Wunsch, "Survey of Clustering Algorithms," IEEE TRANSACTIONS NEURAL NETWORKS, vol 16, no.3, May 2005.

[10] C. C. Chiang, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," Proc. IEEE SICON'97, pp.197-211, April 1997.

[11] G.Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," Proc. of ACM/IEEE MOBICOM'2001, Italy, June 2001.

[12] Sai Shankar N, Chun-Ting Chou, and Monisha Ghosh, "Cooperative communication MAC(CMAC) -A new MAC protocol for next generation wireless networks," Proc. of IEEE Int. Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Hawaii, June 2005.

[13] M. Dianati, X. Ling, K. Naik, and X. Shen, "A node cooperative ARQ scheme for wireless Ad Hoc Networks," IEEE Trans. on Vehi. Tech, Vol55, No.3, pp. 1032-1044, May 2006.

[14] G. Yu, Z. Zhang, and P. Qiu, "Cooperative ARQ in wireless networks," Proc. of IEEE Int. Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, Hawaii, June 2005.

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0022162).

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(종신회원)

- 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, QoS Routing, Cross-Layer Technology, Cooperative Communication, Network Coding, Bioinformatics, VLC>