

연결도와 에너지 가중치 기반의 라우팅 프로토콜

정윤수

목원대학교 정보통신융합공학부

Routing Protocol based on Connectivity Degree and Energy Weight

Yoon-Su Jeong

Division of Information and Communication Convergence Engineering

요약 이 논문에서는 노드 당 소비 전력의 균형을 달성하기 위해 네트워크 수명의 최적 경로 탐색 과정을 달성하기 위한 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안 프로토콜은 각 중간 노드가 전력 레벨 및 자식 노드의 분기 수를 유지하고 노드에 가장 가까운 이웃 노드로 데이터를 전송한다. 제안 프로토콜은 클러스터내에 존재하는 싱크의 수명을 연장시키기 위해서 각 노드의 에너지 소비를 최소화 한다. 또한, 제안 프로토콜은 노드의 잔류 에너지와 기지국과의 거리를 기준으로 인접한 중계 노드를 선택한다. 실험 결과, 제안 프로토콜은 기존 프로토콜에 비해 네트워크 내 잔존하는 노드들의 수명을 7.5 % 의 높였다.

키워드 : 라우팅, 연결도, 가중치, 프로토콜

Abstract In this paper, we propose an efficient routing protocol to achieve an optimal route searching process of the network lifetime by balancing power consumption per node. The proposed protocols aim at finding energy-efficient paths at low protocol power. In our protocol, each intermediate node keeps power level and branch number of child nodes and it transmits the data the nearest neighbor node. Our protocol may minimize the energy consumption at each node, thus prolong the lifetime of the system regardless of the location of the sink outside or inside the cluster. In the proposed protocol for inter-cluster communication, a cluster head chooses a relay node from its adjacent cluster heads according to the node's residual energy and its distance to the base station. Simulation results show that proposed protocol successfully balances the energy consumption over the network, and achieves a remarkable network lifetime improvement as highly as 7.5%.

Key Words : Routing, Connectivity Degree, energy weight, Protocol

1. 서론

무선 센서 네트워크란 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 전송할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다 [1]. 이들 센서 노드는 주로 배터리를 통하여 전력을 공급 받고 통합 센서 장치로 구성되며 데이터 처리 능력과 단

거리 무선 통신이 가능한 특징을 갖는다[2,3,4].

무선 센서 네트워크에서는 수많은 센서 노드들이 사전 결정된 형태없이 배치될 수 있고 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크

논문접수일 : 2014년 2월 1일 심사완료일 : 2014년 2월 25일 논문게재일: 2014년 3월 31일

*교신저자 : 정윤수(bukmunro@mokwon.ac.kr)

크의 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 특성이 있다.

무선 센서 네트워크는 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점이 있다[5,6,7]. 이러한 무선 센서 네트워크의 문제점을 극복하기 위해서는 개개의 센서 노드에게 집중된 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 방향으로 설계되어야 하며, 동시에 센서 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하여 수집된 정보를 안전하게 전달할 수 있는 방안이 필요하다[8,9].

최근까지의 연구 기법들은 노드의 이동성과 망 변화에 초점을 맞추어 센서 노드의 에너지 효율성을 증가시키기 위하여 MAC(Multiple Access Control) 프로토콜과 라우팅 프로토콜 중심으로 제안되어 왔다. 그러나 대부분의 경우 하나의 노드 입장에서 에너지 효율만을 고려하여 지속적인 다 대 일 트래픽 패턴에 의한 네트워크 생명주기를 확장하지 못하고 있다[10,11,12,13].

이 논문에서는 연결도와 에너지 가중치를 중심으로 네트워크에 존재하는 노드들의 에너지 소리를 최소화하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안 프로토콜은 에너지 효율성을 극대화하기 위해서 노드들의 센싱 정보를 수신할 수 있는 노드 정보와 센싱 파워 정보를 이용하여 센싱 가능한 센서 노드들의 밀도에 따라 제한된 전력을 효율적으로 이용하여 망의 수명을 최대한 확장한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련된 연구들을 살펴보고 3장에서는 연결도와 에너지 가중치 기반의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장은 제안 프로토콜을 시뮬레이션을 통해 평가한다. 마지막으로 5장은 결론 및 향후 연구에 대해 기술한다.

2. 관련연구

2.1 무선 센서 네트워크

컴퓨터와 통신 기술의 최근 발전은 무선 센서 네트워크의 확대를 용이하게 하고 있다. 무선 센서 네트워크는 센서 노드라고 불리우는 초소형 장치를 가지고 필요한 모든 곳에 부착하여 이를 통해 사물의 인식 정보를 기본으로 주변의 환경 정보(온도, 습도, 오염 정보, 위치 정보 등)까지 탐지하여 이를 실시간으로 처리하는 네트워크이다[1].

그림 1의 무선 센서 네트워크는 기존 셀룰러 네트워크와 이동 애드 혹(Ad-hoc) 네트워크와 같은 전통적인 네트워크와는 상당히 다른 특성을 가지고 있다. 제한된 배터리 전력에 따라 각 센서 노드들은 제한된 연산 처리 능력만을 가지고 있을 뿐만 아니라, 기존의 셀룰러 통신망과는 다르게 특정 인프라 구조가 없이 각 센서 노드들이 애드 혹의 형태로서 구성되어 통신을 하게 된다[2,3].

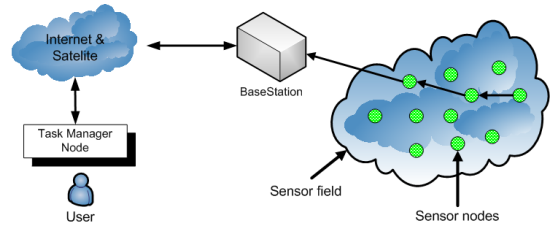


Fig 1. Struct of Wireless Sensor Network

무선 센서 네트워크의 라우팅 기법은 센서 네트워크의 응용 방법에 따라 그 효율성이 영향을 받게 된다. 기존 무선 애드 혹 네트워크의 라우팅 프로토콜은 다음과 같은 이유로 인해서 무선 센서 네트워크에 적용하기에 적합하지 않다.

모든 정보가 관측자로 전송되는 것보다는 네트워크 내부에서의 데이터 통합 기능이 지원되는 것이 자원의 효율성 측면에서 요구된다. 그러므로 센서 네트워크의 성능은 네트워크 내부에서의 데이터 통합 기능 및 그 품질에 크게 영향을 받으며, 이러한 특성에 최적인 프로토콜 구조가 지원되어야 한다. 또한, 중복되거나 상호 연관성이 있는 트래픽이 주로 동시 다발적으로 발생한다는 점은, 공유 채널의 할당을 제어하는 MAC 프로토콜의 구현에 있어 기존 방식과는 전혀 다른 메커니즘을 요구한다.

2.2 연결도 기반의 클러스터링

최상 연결도(highest connectivity) 클러스터링 알고리즘은 클러스터 내 각 노드에서 자신과 자신이 수신한 노드의 리스트를 이웃 노드들에게 브로드캐스트하여 연결도가 가장 높은 노드가 클러스터 헤드가 되도록 한다[7,8]. 그림 2는 최상 연결도 기반 클러스터 구성 모습을 나타낸다.

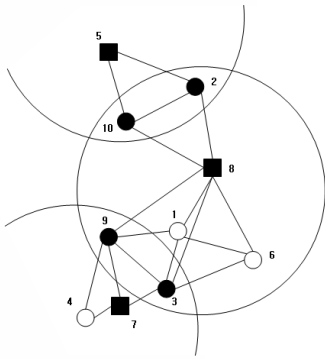


Fig 2. Examples of cluster configurations based on the best connections

클러스터의 변화는 클러스터 헤드 역할이 바뀌는 경우와 일반 노드의 해당 클러스터 헤드가 바뀌는 경우가 있다. 이 같은 클러스터의 변화는 망의 형태가 안정성을 가지고 있는지를 나타내며 안전성을 통해 노드의 식별자 기반 클러스터링이 노드의 연결도 기반 클러스터링보다 노드의 이동성에 보다 안정적인 네트워크 구성을 이루고 있음을 의미한다. 노드의 연결도를 기반으로 한 클러스터 구성이 이동성이 높은 애드 혹 네트워크에서는 망 형태의 안정성을 확보하기는 어렵지만 노드의 이동성이 높지 않은 센서 네트워크에서는 밀집도가 높은 클러스터의 구성을 필요로 하는 기반 휴리스틱이 된다.

2.3 기존 연구

무선 센서 네트워크 라우팅은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들의 정보를 목적지 노드까지 효율적으로 전달하기 위한 경로 설정 기술이다. 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법은 네트워크의 확장성과 낮은 전력을 이용한 효율적인 통신을 위해서 많은 기법들이 제안되어 왔다[9,10,11].

다중경로 기반 라우팅 프로토콜은 네트워크의 효율성, 이용도등의 성능을 향상시키기 위해서 단일 경로대신 다중 경로를 사용한다. 이 프로토콜은 경로가 실패할 경우 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 가용 경로를 통해 경로 이용도에 대한 결함 허용(fault tolerance)을 측정한다. 그러나 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 다중 경로에 대한 유지 보수 때문에 에너지 소비와 트래픽 처리 비용이 증가한다는 단점이 있다.

쿼리 기반 라우팅 프로토콜에서는 소스 노드가 네트워크를 통해 수집한 센싱 업무에 대한 쿼리를 목적지 노

드까지 전달한다. 전달된 쿼리를 수신한 목적지 노드는 정보를 초기화한 후 수정한 쿼리 정보를 소스 노드에게 반환한 후 쿼리 정보에 대응되는 데이터를 소스 노드로부터 수신한다. 이 프로토콜은 발생하는 이벤트들에 대해서 장시간 생존한 에이전트 설정을 사용하여 직접 경로를 생성하는 특징이 있다.

협상 기반 라우팅 프로토콜은 협상을 통해 중복 전달되는 데이터를 제거하고 상위 레벨의 데이터 설명(data description)을 사용한다. 이 프로토콜은 실제 데이터 전송이 시작되기 전에 협상 메시지를 다음 센서나 BS에게 보냄으로써 데이터 중복을 예방할 수 있는 특징이 있다.

QoS 기반 라우팅 프로토콜은 대부분의 노드가 싱크로 향하는 다중 경로를 모두 포함하고 있으며 데이터가 발생되면 경로상의 에너지 자원과 QoS, 패킷의 우선 순위 레벨에 따라 경로를 결정한다. 이 프로토콜은 패킷 우선 순위를 고려하지 않고 에너지 소모만을 최소화하는 기존 프로토콜에 비해 장애로 발생하는 성능 저하를 예방할 수 있다. 그러나 네트워크를 탐색하여 트리를 구성해야 하는 부담이 크고 경로에 대한 정보를 유지해야 한다는 점이 센서 네트워크의 특성과 부합하지 않는다.

3. 센서 노드의 에너지 소비를 최소화 하기 위한 라우팅 프로토콜

이 절에서는 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들의 전체 라이프타임을 연장하기 위한 방법으로 일정 비율로 노드들이 자발적으로 클러스터 헤드에 참여하여 센서 네트워크를 구성하고 게이트웨이 역할을 하는 중간노드가 중간 노드와 가장 가까운 이웃 노드의 연결도를 검색하여 최소 에너지를 가지고 데이터를 안전하게 전송할 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다.

3.1 개요

제안 프로토콜은 그림 3처럼 센서 노드들을 클러스터링한 계층적 센서 네트워크 구조를 나타내고 있다. 센서 네트워크의 클러스터를 구성하고 있는 센서 노드들은 라우팅 과정을 통해 게이트웨이 역할을 하는 클러스터 헤드에게 정보를 전달한다. 정보를 전달받은 클러스터 헤드는 주위의 다른 클러스터 헤드들과 라우팅 과정을 통해 센서 노드로부터 수집된 정보를 베이스 스테이션으로 전달하게 된다.

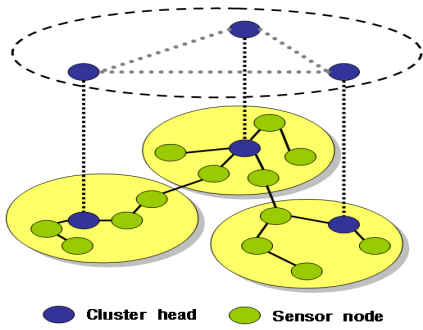


Fig 3. Network Struct of Clustering Sensor Network

그림 4는 제안 프로토콜에 의해 자가 형성한 관리 네트워크의 구조를 나타내고 있다. 클러스터링 과정을 통해 센서 네트워크가 형성된 후에 인터 클러스터링과 인트라 클러스터링 라우팅의 두 가지 측면의 클러스터 기반 라우팅 알고리즘이 동작되며, 인터/인트라 라우팅 알고리즘을 이용하여 센서 네트워크를 확장 운영할 수 있다.

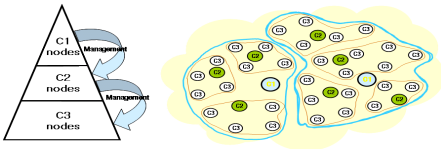


Fig 4. Self-organizing Network Struct for Wireless Sensor Network

3.2 에너지 모델

센서 노드의 생명주기는 크게 2가지 방법으로 측정될 수 있다. 첫째, 동기화된 네트워크에서 수집되는 데이터의 사이클 수와 둘째, 노드의 잉여 에너지가 고갈될 때까지의 추적 행동 시간으로 측정한다.

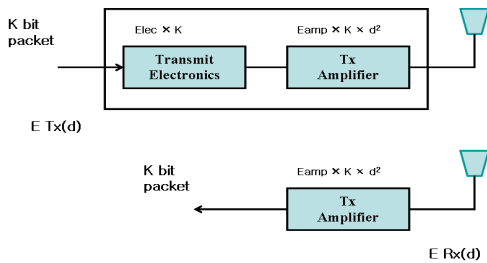


Fig 5. Model Organization of Wireless Energy

그림 5에서는 k 비트 패킷을 거리 d 미터만큼 떨어진 위치에 전송하기 위해 필요한 에너지 소비량을 (식 1) ~

(식 2)와 같이 구한다. (식 1)의 $E_{T_x}(k, d)$ 는 센서 노드가 k 비트 패킷을 생성하기 위해 필요한 에너지 ($E_{T_x-elec}(k)$)와 거리 d 미터만큼 떨어진 위치에 전송하기 위해 필요한 에너지($E_{T_x-amp}(k, d)$)로 구할 수 있다. (식 2)은 패킷 생성에 필요한 에너지(E_{elec})와 생성될 패킷(k)의 곱으로 구한 값($E_{T_x-elec}(k)$)과 패킷 전송에 필요한 에너지(E_{amp}), 전송 패킷 수(k) 그리고 전송 반경(d^2)등을 곱한 값($E_{T_x-amp}(k, d)$)의 합으로도 구할 수 있다.

$$E_{T_x}(k, d) = E_{T_x-elec}(k) + E_{T_x-amp}(k, d) \quad (\text{식 1})$$

$$= E_{elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^2 \quad (\text{식 2})$$

소스 노드에서 송신된 패킷을 수신하기 위한 에너지 소비량은 (식 3)와 같다. (식 3)의 $E_{R_x}(k)$ 는 k 비트의 패킷을 수신하기 위한 에너지($E_{R_x-elec}(k)$)로 구할 수 있다. 또한, $E_{R_x-elec}(k)$ 는 k 비트의 패킷을 수신하기 위해 필요한 에너지(E_{elec})의 곱으로 구할 수 있다.

$$E_{R_x}(k) = E_{R_x-elec}(k) = E_{elec} \times k \quad (\text{식 3})$$

(식 3)에서 에너지 소비를 최소화하기 위해서는 전송 거리를 줄여야 하고 메시지 송·수신의 수를 감소시켜야 한다. 직접 통신 프로토콜을 사용한다면 각 센서 노드는 싱크 노드까지 무선 반경을 증가시켜 데이터를 직접 전송해야 한다. 만약 싱크 노드가 센서 노드로부터 멀리 위치한다면 소모되는 에너지의 양은 매우 커지게 된다. 이는 센서 노드의 배터리 수명을 단축시키고 시스템 수명을 감소시키게 된다.

다중 홉 통신을 이용한다면 센서 노드의 위치와 상관 없이 가장 가까이에 위치한 이웃 노드에게 데이터를 전송하면 되므로 그만큼 에너지 소비량이 줄어들게 된다. (식 4)의 E_{T_x-amp} 는 전송하기 위해 필요한 총 에너지를 의미하고, E_{R_x-amp} 는 수신하기 위해 필요한 총 에너지를 의미한다. (식 4)에서와 같이, 3개 노드 A, B, C

가 평면 네트워크에 존재 할 때, 노드 C가 노드 A의 신호를 수신하기 위해 필요한 에너지는 노드 A에서 노드 B로 전송하는 에너지($E_{T_x-amp}(k, d = d_{AB})$)와 노드 B에서 노드 C로 전송하는 에너지($E_{T_x-amp}(k, d = d_{BC})$)의 합보다 크다. (식 4)와 동일한 방법으로 거리를 이용할 경우 (식 5)에서와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$E_{T_x-amp}(k, d = d_{AB}) + E_{T_x-amp}(k, d = d_{BC}) < E_{R_x-amp}(k, d = d_{AC}) \quad (\text{식 4})$$

$$d_{AB}^2 + d_{BC}^2 < d_{AC}^2 \quad (\text{식 5})$$

다중 홉 통신에서 소요되는 에너지 E 는 (식 3.7)~(식 3.9)와 같이 구할 수 있다.

싱크 노드로부터 nr 거리만큼 떨어진 노드가 거리 r 의 노드에게 n 번 전송하고 $n-1$ 번 수신하기 위해 필요한 에너지는 (식 6)과 같다. (식 7)과 (식 8)는 노드 수 n , 거리 r , k 비트를 생성하기 위해 필요한 에너지 E_{elec} 그리고 k 비트를 전송하기 위해 필요한 에너지 E_{amp} 로 구하고 있다.

$$E = n \times E_{T_x}(k, d = r) + (n-1) \times E_{R_x}(k) \quad (\text{식 6})$$

$$= n(E_{elec} \times k + E_{amp} \times n \times r^2) + (n-1) \times E_{elec} \times k \quad (\text{식 7})$$

$$= k((2n-1)E_{elec} + E_{amp} \times n \times r^2) \quad (\text{식 8})$$

(식 9)에서 P_0 는 하나의 사이클 동안 임계(critical) 노드에 의해 소비된 에너지의 양이며, 동일 셀 P_0^r 내에서 다른 노드의 패킷 릴레이와 자기 자신의 데이터 전송(패킷당 E_0^t)으로 인해 소비된 에너지로 구성된다.

(식 10)의 P_1 은 단일 데이터 수집 사이클 동안 타입 1 노드에 의해 소비된 에너지의 양으로 나타낸다. 이것은 셀 내(패킷당 E_0^r)의 다른 노드로부터 데이터를 수신하고, 수신된 데이터(패킷당 E_f)를 처리/압축하여 베이스 스테이션(패킷당 E_1^t)에게 압축된 데이터를 전송하는데

소비된 에너지로 구성된다.

$$P_0 = E_0^t + P_0^t \quad (\text{식 9})$$

$$P_1 = E[N_v](E_0^r + E_f) + E_1^t \quad (\text{식 10})$$

E_f 는 데이터 융합에 소비된 처리 에너지를 나타낸다. PRML 메커니즘에서는 전형적인 클러스터의 타입 0 노드들의 예상된 수를 $E[N_v]$ 로 표현한다. 타입 0 노드들은 클러스터 헤드와 함께 통신하기 위해 다중 홉핑 방식을 사용하도록 한다. 그러나 클러스터 헤드는 수집이 타입 0 노드들에 의해 수행되지 않으면 각 사이클 동안 많은 $E[N_v]$ 을 수신해야 한다.

3.3 라우팅 프로토콜

모든 노드는 클러스터 헤드 노드의 선정에 필요한 정보를 중앙의 특정 노드로부터 받아들이지 않고 모든 정보는 멀티 홉 반경에 있는 이웃 노드의 검색 과정과 자신의 상태 정보를 확인하는 것으로 수집된다.

3.3.1 이웃 노드 검색 알고리즘

[표 1]은 PRML 메커니즘의 이웃 노드를 검색하는 알고리즘을 의사코드로 표현하고 있다. [표 3-1]에서 각각의 노드는 비콘(beacon) 메시지를 사용하여 이웃 노드를 탐색하는데, 이 때 노드는 응답하는 이웃 노드의 메시지를 받음으로써 이웃 노드에게 정보 전달을 위해 필요한 최소 신호 크기를 알 수 있다.

Table 1. Neighbor Node Search Algorithm

Scan neighbor nodes If be neighbor nodes Send Query message to neighbor nodes If (receive Query message) Reply to sender Write neighbor's information to the NNT(Neighbor Node Table) else Re-send Query message to neighbor nodes else Re-scan neighbor nodes

3.3.2 클러스터 헤드 선정

노드의 통신 비용(Communication Cost)은 현재 네트워크상에 임의로 배치된 노드에서 이웃 노드들에 대한 최소 신호 세기의 합으로 나타낼 수 있다. 노드의 통신 비용을 표현하기 위해서 (식 1)에서는 i , n_r 그리고 $Minimum_Power_i$ 등의 항목을 사용한다. 여기서 파라미터 i 는 네트워크상에 임의로 배치된 노드의 인덱스 번호이고, n_r 은 클러스터 내 노드의 총 수를 나타낸다. 마지막으로 $Minimum_Power_i$ 는 i 번째 이웃 노드에 대한 최소 신호 세기를 의미한다.

$$CC = \sum_{i=1}^{n_r} Minimum_Power_i \quad (\text{식 11})$$

신호 세기의 측정은 노드 u 가 SP_t 의 신호 세기로 데이터를 전송하고 노드 v 가 SP_r 의 신호 세기로 데이터를 수신한 비율로 나타낸다. 이 때 수신된 신호가 의미 있는 신호이기 위해서는 잡음 신호보다 더 큰 세기를 가져야 한다. 이것은 수신된 신호가 잡음 신호보다 작으면 신호를 정확하게 인식할 수 없기 때문이다. 노드의 송(SP_t)·수신(SP_r) 신호와 잡음 신호(SP_{noise})를 가지고 이웃 노드의 신호 세기 측정 방법을 수식으로 표현하면 (식 12)과 같다.

$$Minimum_Power = \frac{SP_t}{SP_r} \times SP_{noise} \quad (\text{식 12})$$

네트워크를 구성하고 있는 특정 노드의 평균 통신 비용(ACC)은 이웃 노드들에 대한 최소 신호 세기의 합 ($\sum_{i=1}^{n_r} Minimum_Power_i$)과 이웃 노드의 개수(n_r)를 이용하여 (식 13)과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$ACC = \frac{\sum_{i=1}^{n_r} Minimum_Power_i}{n_r} \quad (\text{식 13})$$

또한, 이웃 노드의 연결도를 구하기 위해서 PRML 메커니즘에서는 (식 13)에서 계산된 노드의 평균 통신 비용

과 노드의 최대 신호 세기의 비율(P_{max})을 이용하여 (식 14)처럼 나타낸다. (식 14)에 의해 특정 노드의 연결도가 높을수록 개개의 노드보다 네트워크 전체의 에너지 효율이 증가하게 된다.

$$Node\ Connectivity = \frac{ACC}{P_{max}} \quad (\text{식 14})$$

클러스터링 과정을 통해 클러스터를 구성하고 있는 노드들을 관리하는 클러스터 헤드를 선출한다. 이 때, 클러스터 헤드를 선출하기 위해 필요한 에너지는 (식 15)에서처럼 각 노드가 측정한 노드 자신의 잉여 에너지($E_{residual}$)와 초기 에너지(E_{init}) 비율로 나타낸다.

$$E_{CH\ Selection\ Energy} = \frac{E_{residual}}{E_{init}} \quad (\text{식 15})$$

(식 16)에서 P_b 는 전체 노드에서 클러스터 헤드 노드의 비율을 의미하고 E_i 는 i 번째 노드의 잔존 에너지 비율을 의미한다.

$$T_i = \frac{1}{2} \left(\frac{E_i}{E_{init}} + \frac{ACC}{P_{max}} \right) P_b \quad (\text{식 16})$$

T_i 는 0과 1사이의 범위에 있는 임계값을 계산한다. 각 노드는 T_i 의 임계값을 계산한 후에, 0과 1사이의 난수를 생성하여 임계값과 비교한다. 이 때, T_i 의 임계값이 생성된 난수보다 크면 이 노드는 스스로 자신을 클러스터 헤드로 결정한다. 그리고 이웃 노드들에게 자신이 클러스터 헤드라는 사실을 패킷을 통하여 알리게 된다.

4. 성능 평가

4.1 환경 변수

실험에서 설정된 센서 필드의 크기는 $100\ m^2$ 이며 센서 노드의 개수는 100개이다. 소스 노드는 초당 1개의 데이터 패킷을 싱크 노드에게 전송한다. 셀 사이즈는 $20\ m^2$ 으로 설정하고 600초 동안 실험을 수행한다. 그리고

각 센서의 초기 에너지는 1 줄(Joule)의 에너지를 가지는 것으로 가정하고 버퍼의 크기는 100패킷의 크기를 가진다. 만약 노드의 에너지 레벨이 0줄이 되면 노드는 동작되지 않는다. 각 패킷은 패킷 전송동안 매 패킷 에너지를 계산하기 위해 갱신되는 에너지 필드를 가지며, 이때 패킷 드롭 확률은 0.01과 같다. 이 같은 설정은 현실 모델에 맞는 시뮬레이션을 만들기 위한 설정들이다.

4.2 실험 결과

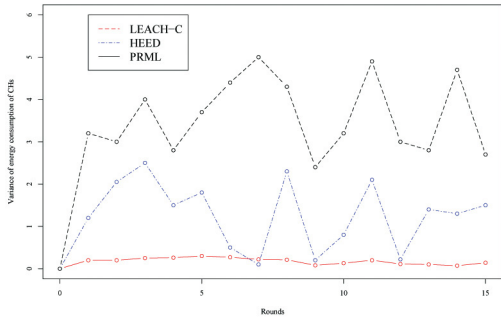


Fig 6. The amount of energy consumed by the cluster head change

그림 6은 임의로 선택된 15개의 라운드에서 클러스터 헤더에 의해 소비된 에너지 량의 변화를 보여주고 있다. 제안 프로토콜은 다른 기법에 비해 클러스터 헤더 사이의 에너지 소비가 균형이 있고, LEACH-C는 소비된 에너지량의 변화가 높게 나타났다.

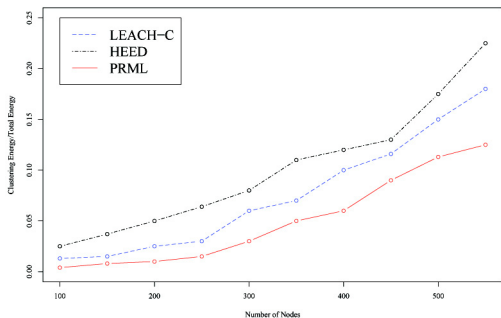


Fig 7. Clustering of total energy consumption compared to the energy consumption ratio

그림 7에서 LEACH-C의 변화는 HEED보다 더 높게 나타나고 있다. 이러한 변화가 나타나게 된 주요 원인은 단일 노드만을 가지는 클러스터가 LEACH-C에 더 존재

하여 클러스터가 비균형적으로 분포되기 때문이다. 이것은 LEACH-C가 핫 스팟 문제로 인해 야기된 클러스터 헤드 사이의 에너지 소비 비균형 문제를 생각하고 있지 않기 때문이다.

그림 8은 클러스터 구성에 따른 오버헤드를 알아보기 위해 소비한 전체 에너지 대비 클러스터 구성에 소비한 에너지의 비율을 보이고 있다. 노드 수가 100개일 경우 클러스터링에 의해 소비한 에너지의 비율은 0.02% 범위 이내로 비슷하지만 노드 수가 증가함에 따라 클러스터링에 의해 소비된 에너지 비율이 모두 증가하였다. 이것은 클러스터의 구성을 유지하지 못했기 때문에 클러스터링 에너지 비율이 증가되는 결과에서 나타나는 현상이다. 노드 수가 증가하더라도 클러스터링 알고리즘은 지속적으로 성능을 유지할 수 있어야 하며, 센서 네트워크의 노드 수는 수백 개에서 수십만 개까지 증가할 수 있으므로 네트워크의 범위성은 매우 중요한 평가 요소이다. 그림 10은 $1km^2$ 내에 분포된 노드들이 네트워크 범위가 0에서 $1km^2$ 까지 증가함에 따라 100개, 200개, 300개, 500개 노드들이 각각 소비하는 평균 에너지량을 평가한다. 이때, 베이스 스테이션은 네트워크 필드 외부에 배치한다. 시뮬레이션 결과 네트워크에는 25개의 서로 다른 네트워크 망이 주어진다.

5. 결론

이 논문에서는 계층적으로 센서 노드를 구성하고 있는 네트워크의 전체 라이프타임을 연장하기 위한 방법으로 일정 비율로 노드들이 자발적으로 클러스터 헤더에 참여하여 센서 네트워크를 구성하고 있는 전체 노드들의 파워 소비를 줄일 수 있도록 최적 경로 검색 프로세스를 수행하는 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

LEACH-C, HEED 기법들과 비교 분석 결과, 제안 프로토콜은 전체 에너지 소비 측면에서 평균 8%, 클러스터 헤더의 에너지 소비 측면에서 평균 6.4%의 효율성을 얻었고, 네트워크 확장성에 다른 에너지 소비 분포는 LEACH-C, HEED 기법보다 7.5%의 효율성을 얻을 수 있었다.

향후 연구에서는 PRML 메커니즘을 실제 환경에 적용하여 확장성을 고려한 에너지 소비 문제를 개선하고 중간 노드의 보안 역할을 강화하여 데이터 전송시 여러 보안 공격에 안전한 메커니즘 연구를 수행할 계획이다.

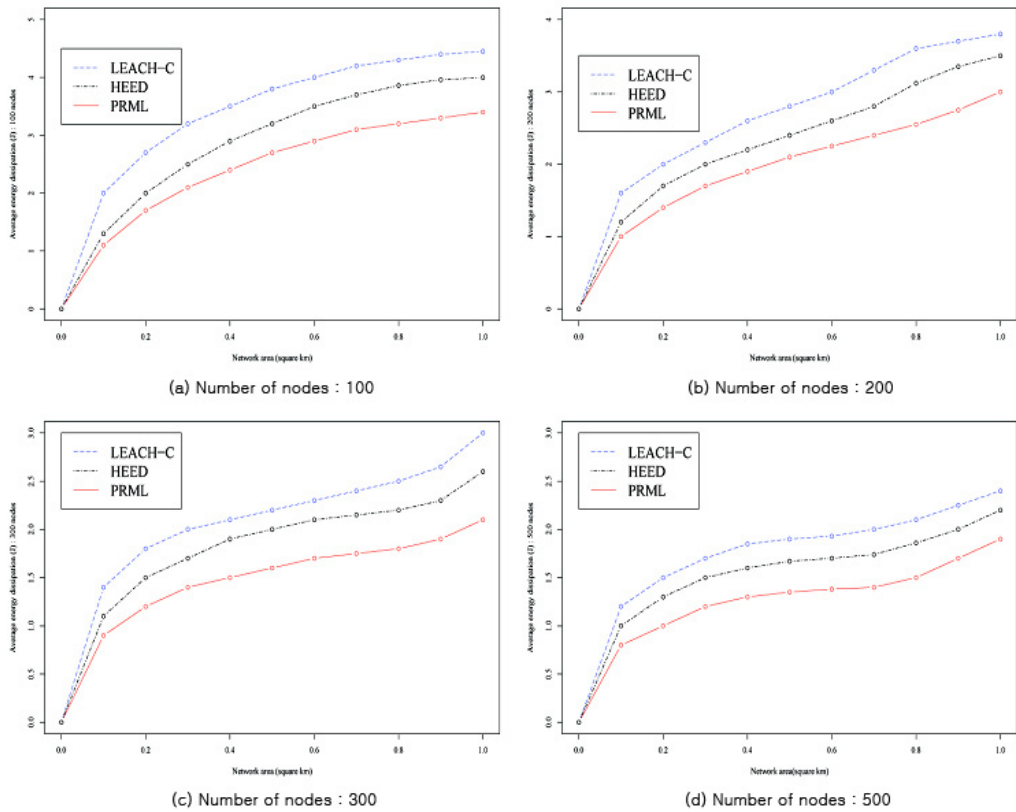


Fig 10. The average energy consumption of network coverage

참고 문헌

- [1] I. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102 - 114, Aug. 2002.
- [2] J. N. Al-Karaki, and A. E. Kamal, "The Correlated Data Gathering Problem in Wireless Sensor Networks," to appear in the Proc. 9th IEEE Symp. Comp. and Commun., Alexandria, Egypt, pp. 226-231, July 2004.
- [3] J. N. Al-Karaki et al., "Data Aggregation in Wireless Sensor Networks - Exact and Approximate Algorithms," Proc. IEEE Wksp. High Perf. Switching and Routing 2004, Phoenix, AZ, pp.241-245, Apr. 18-21, 2004.
- [4] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 1713-1723, 2003.
- [5] J.-H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, pp. 609-619, Aug. 2004.
- [6] H. Chan and A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation," proc. of the First European Workshop on Sensor Networks(EWSN), pp. 154-171, 2004.
- [7] S. Dulman et al., "Trade-Off between Traffic Overhead and Reliability in Multipath Routing for Wireless Sensor Networks," WCNC Wksp., New Orleans, LA, pp. 1918-1922, Mar. 2003.
- [8] Q. Fang, F. Zhao, and L. Guibas, "Lightweight Sensing and Communication Protocols for Target Enumeration and Aggregation," Proc. 4th ACM MOBIHOC, pp. 165-176, 2003.
- [9] G. Jolly, Kuscü, and P. Kokate, "A Low-energy Key Management Protocol for Wireless Sensor Networks," Proc. of the 8th IEEE International Symposium on Computers and Communications, pp. 335-340, June 2003.
- [10] B. Kawadia and P. R. Kumar, "Power Control and clustering in Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 459-465, 2003.
- [11] T. Ohta, S. Inoue, and Y. Kakuda, "An Adaptive Multihop

- Clustering Scheme for Highly Mobile Ad Hoc Networks,”
Proc. of the Sixth International Symposium on
Autonomous Decentralized Systems(ISADS’03), pp.
293-300, 2003.
- [12] O. Younis and S. Fahmy, “Distributed Clustering in
Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient
Approach,” Proc. of IEEE INFOCOM, vol.1, pp.629-640,
Mar. 2004.
- [13] Y. J. Zhao, R. Govindan, and D. Estrin, “Computing
Aggregates for monitoring Wireless Sensor Networks,”
The First IEEE International Workshop on Sensor
Network Protocols and Applications (SNPA’ 03),
Anchorage, AL, USA, pp. 139~148, May 11, 2003.

저 자 소 개

정 윤 수(Yoon-Su Jeong) [정회원]



- 2000년 2월 : 충북대학교 대학원
전자계산학 이학석사
 - 2008년 2월 : 충북대학교 대학원
전자계산학 박사
 - 2009년 8월 ~ 2012년 2월 : 한남
대학교 산업기술연구소 전임연구원
 - 2012년 3월 ~ 현재 : 목원대학교 정보통신공학과 전임
교수
- <관심분야> : 센서 보안, 암호이론, 정보보호, Network
Security, 이동통신보안