

계층형 무선센서네트워크에서 노드 연결성을 이용한 라우팅 프로토콜

정회원 최해원*, 김상진*, 류명춘*^o

Routing Protocol using Node Connectivity for Hierarchical Wireless Sensor Network

Hae-Won Choi*, Sang-Jin Kim*, Myung-Chun Ryoo*^o *Regular Members*

요약

무선센서네트워크(WSN)는 성장성이 높은 미래 IT산업의 중요한 이슈 중에 하나이다. WSN을 위한 다수의 프로토콜들이 개발되었고 그 중 계층형 프로토콜들이 에너지 효율적인 면에서 좋은 평가를 받고 있다. LEACH는 계층구조망을 위한 라우팅 프로토콜 중 가장 대표적이다. 하지만 LEACH관련 프로토콜은 메시지 전송 범위가 네트워크 전체 단위로 통신을 함으로서 에너지 소비가 심한 문제점이 있다. 또한 각 클러스터를 구성하는 멤버노드 수와 헤드 지역분포가 불균형함으로서 부하의 적절한 분산을 만족하지 못하는 문제점도 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 LEACH관련 프로토콜들의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 센서노드의 메모리 임계치를 이용하여 계층구조상에서 라우팅을 구성한다. 성능평가 결과 본 논문에서 제안한 프로토콜은 LEACH에 비해 네트워크에 균등한 부하의 분산을 제시할 수 있었고, LEACH보다 약 1.8배 오랜 네트워크 생존기간을 보였다.

Key Words : WSN, Routing Protocol, Memory restriction, Load Balancing, LEACH

ABSTRACT

There are tendency that wireless sensor network is one of the important techniques for the future IT industry and thereby application areas in it are getting growing. Researches based on the hierarchical network topology are evaluated in good at energy efficiency in related protocols for wireless sensor network. LEACH is the best well known routing protocol for the hierarchical topology. However, there are problems in the range of message broadcasting, which should be expand into the overall network coverage, in LEACH related protocols.

This dissertation proposes a new routing protocol to solve the co-shared problems in the previous protocols. The basic idea of our scheme is using the table for nodes connectivity and node energy information. The results show that the proposed protocol could support the load balancing by distributing the clusters with a reasonable number of member nodes and thereby the network life time would be extended in about 1.8 times longer than LEACH.

1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN)는 센서를 이용해 자동

화된 원격정보 수집을 목적으로 하는 무선 네트워크로서 능동적인 네트워킹을 통해 다양한 유비쿼터스 서비스 환경을 제공하는 역할을 한다. WSN은 다수

*경운대학교 컴퓨터공학과(happychw@ikw.ac.kr, sjkim@ikw.ac.kr, mcryoo@ikw.ac.kr), (^o: 교신저자)
논문번호 : KICS2009-07-310, 접수일자 : 2009년 7월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 16일

의 센서노드로 구성된 네트워크다. 센서노드는 물리적 현상 등의 특정정보를 감지하고 전송하는 역할을 하고, 센서노드가 감지한 데이터는 싱크노드를 통해 기존의 유·무선 네트워크 인프라를 이용해서 사용자에게 전달된다. WSN은 과학적·의학적·군사적·상업적 용도 등에 광범위하게 응용되고 있다¹⁻²⁾. 특히 기존에 네트워크 구성이 어려웠던 유독물질에 감염된 지역이나 지진 피해지역과 같이 사람이 직접 모니터링하기에는 위험하고 접근이 불가능한 지역의 정보수집 등에 설치 운용될 수 있는 강점이 있다.

지금까지 연구된 WSN 프로토콜은 네트워크 구조에 따라 평면 프로토콜(Flat Protocol)과 계층 프로토콜(Hierarchical Protocol)로 분류된다³⁾. 평면 프로토콜은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 센서노드들이 동일한 기능과 역할을 수행한다. 그러므로 네트워크로부터 데이터를 수집하고자 하는 경우 데이터 전송에 참여하는 센서노드 수가 많아지게 되고 이는 많은 에너지 소비를 유발한다. 계층 프로토콜은 센서노드들을 멤버노드와 헤드노드로 구분하여 서로 다른 역할을 수행한다. 멤버노드는 관찰대상이 되는 지역에서 감지한 이벤트를 헤드노드로 전송하는 역할을 수행하고, 헤드노드는 사용자의 요청질의 (Interest)를 멤버노드에게 전달하고 멤버노드들이 전송한 데이터를 조합하여 싱크노드로 전송하는 역할을 한다. 계층 프로토콜에서 네트워크는 클러스터라고 하는 기본단위로 분할되는데 각 클러스터는 한 개의 헤드노드와 다수의 멤버노드로 구성된다. 이와 같은 구조를 통해 계층 프로토콜은 평면 프로토콜보다 메시지의 송수신 횟수를 줄일 수 있으므로 에너지 효율적인 장점이 있다.

계층 프로토콜의 대표적인 연구로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)가 있다⁴⁾. LEACH를 기반으로 성능을 개선한 TEEN(Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network) 그리고 LEACH-C와 MECH(Maximum Energy Cluster-Head Routing) 등이 제안되었으며, 센서노드의 위치정보를 기반으로 계층적 라우팅을 수행하는 Geographic Grid Routing 등이 있다⁵⁻⁷⁾.

일반적으로 WSN의 계층 프로토콜 설계 시 고려할 사항은 안정적인 망의 형태 유지, 노드 연결도(Connectivity), 부하의 적절한 분산(Load Balancing) 등이 있지만 가장 주된 관심사는 에너지 소비의 최소화를 통한 WSN 수명 극대화이다⁸⁻⁹⁾. 이를 위해서는 노드 에너지 소비의 최소화가 필요하다. 노드 에너지 소비의 대부분은 메시지 송·수신시에 발생하며, 에

너지 소비는 전송 메시지 수와 전송거리에 비례해서 증가한다. 그러므로 각 노드의 메시지 전송횟수와 전송거리를 최소화 하도록 설계해야 한다. 또한 최근의 연구결과에 의하면 부하의 적절한 분산은 에너지 소비 감소와 네트워크 안정성에 중요한 요소가 된다. 부하의 적절한 분산은 헤드노드의 지역별 균등분포와 각 클러스터에 속한 멤버노드 수의 균등 분포를 통해 이룰 수 있다. 즉, 각 클러스터에 일정한 수의 멤버노드가 고르게 분포함으로써 클러스터 에너지 소비 균형을 맞출 수 있고 이는 WSN 수명연장으로 연결된다. 또한 네트워크의 일부분에 에너지 소비가 집중되어 네트워크 연결도가 끊어지는 문제와 급격한 전송 지연도 예방할 수 있으므로 네트워크 안정성도 확보된다.

본 논문에서는 이와 같은 속성들이 서로 독립적으로 WSN 에너지 소비에 영향을 미치는 것이 아니라 각 요소들이 서로 유기적인 연대관계를 가질 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 프로토콜은 메모리 제약성이 강한 센서노드의 특성을 역으로 이용한다. 이렇게 함으로서 노드단위의 1홉 메시지 전송을 제시할 수 있고 WSN에 부하의 적절한 분산이 가능하다. 이는 전체 네트워크 단위의 메시지 전송을 수행하면서 헤드 노드가 집중될 수 있는 기존의 LEACH관련 프로토콜들이 갖는 공통적인 문제점을 효율적으로 해결할 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 LEACH에 대한 간략화 된 설명을 제시하고, 이 기법의 문제점을 분석한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법에 대해 상세히 살펴보고, 4장에서는 제안된 기법과 LEACH간 비교 분석을 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

본 장에서는 대표적인 계층 프로토콜인 LEACH에 대해서 살펴보고 이에 대한 문제점을 분석한다.

2.1 LEACH 프로토콜

LEACH는 하나의 시간단위인 라운드를 기반으로 동작한다. 각 라운드는 크게 클러스터를 구성하는 형성과정과 감지(Sensing)된 데이터를 전송하기 위해 여러 개의 TDMA(Time Division Multiple Access) 프레임으로 구성되는 지속상태(Steady)과정으로 구성된다. LEACH의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 클러스터 헤드를 주기적으로 확률에 의해 선택한다.

LEACH의 동작 과정을 step별로 보면 아래와 같다.

step 1: 각 노드는 라운드 시작 시점마다 아래 식에 따라 스스로 클러스터 헤드로 선정될 확률을 구한다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{n - k(r \bmod \frac{n}{k})} : c_i(t) = 1 \\ 0 : c_i(t) = 0 \end{cases}$$

i : 노드 식별자, t : 시작, n : 전체 노드 수,
 k : 클러스터 수, r : 라운드

여기서 $C_i(t)$ 는 지시함수로서 $r \bmod (n/k)$ 라운드 동안 해당 노드가 클러스터 헤드였다면 0으로 아니면 1로 설정된다. 이는 한 번이라도 헤드 역할을 했던 노드를 배제함으로써 모든 노드가 동일한 확률로 클러스터 헤드가 되는 것을 보장하기 위함이다.

step 2: 클러스터 헤드로 결정된 노드들은 멤버노드들에게 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

step 3: 모든 헤드로부터 메시지를 수신한 각 노드들은 메시지의 신호강도를 계산하여 자신에게 가장 가까운 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정한다.

step 4: 각 노드는 자신의 헤드에게 클러스터에 참여하겠다는 연결허락 메시지를 발신한다. 마찬가지로 각 노드는 헤드의 네트워크상의 위치를 모르므로 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

step 5: 각 헤드들은 일반노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다.

step 6: 각 라운드마다 단계1에서 5를 반복한다.

2.2 LEACH 프로토콜의 문제점

LEACH의 두 가지 큰 문제점은 과도한 에너지 소비와 부하의 적절한 분산이 불가능하다는 점이다. step 2에서 제시한 바와 같이 LEACH에서 각 노드 사이의 메시지 전송거리는 네트워크 전체 범주이다. 송신 에너지 소비는 전송거리의 제곱에 비례해서 늘어나므로 LEACH에서 네트워크 전체 범주의 전송은 노드 에너지 소비를 급속하게 진행시키는 문제가 있다. 두 번째 문제점은 step 1에서 제시한 바와 같이 단지 확률계산에 의해 헤드노드를 선출하기 때문에

발행한다. 이러한 기법은 네트워크 한 부분에 헤드노드가 집중될 수 있는 가능성이 있고, 각 클러스터 내의 멤버노드의 수도 일정하지 않게 된다. 결과적으로 멤버노드들의 에너지 소비가 균등하지 못하게 됨으로써 네트워크 수명과 서비스 효율성을 떨어뜨리는 문제점이 있다.

III. 제안하는 라우팅 프로토콜

본 장에서는 LEACH의 문제점을 해결하기 위한 새로운 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜의 기본적인 아이디어는 임계치(Threshold)까지 저장한 노드 연결도 정보와 노드 에너지 정보를 이용해서 계층기반 라우팅을 구성해 나가는 것이다. 즉, 싱크로부터 각 노드 간 한 홉 단위로 메시지를 전송하며 노드의 연결도 정보와 에너지 정보를 구축하고 그 정보의 크기가 메모리의 임계치에 이르는 노드는 구축된 연결정보 중 에너지 보유량이 가장 높은 노드를 클러스터 헤드로 선정하는 과정을 거친다. 클러스터 구성 시 노드 사이의 연결도 정보와 에너지 정보를 이용하므로 네트워크가 적절한 수의 클러스터로 분할되면 각 노드 사이의 최신 라우팅 정보 역시 저장된다.

이러한 수행을 위해서 제안한 프로토콜은 클러스터 경계(Boundary) 형성단계와 클러스터 영역(Range) 구축 및 헤드 선정단계 그리고 센싱 데이터 전송단계의 세 과정을 거친다. 하지만 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜은 일반멤버노드에 비해 헤드노드의 에너지 소비가 상대적으로 더 크므로 각 노드의 균등한 에너지 소비를 위한 헤드노드 재선정을 위한 기법을 추가적으로 제시한다.

3.1 자료구조

제안하는 프로토콜에서 클러스터 구성과 라우팅을 위해 필요한 자료구조는 에너지 테이블(energy table)과 연결도 테이블(connectivity table)의 두 가지 자료구조를 사용한다. 에너지테이블은 노드의 아이디 정보와 잔류 에너지 정보를 저장하고, 연결도테이블은 각 노드 간 연결정보를 1비트 단위로 저장하기 위한 자료구조이다. 본 논문에서 사용하는 자료구조의 메모리 요구량은 네트워크 노드 수와 연계관계를 갖는다. 즉 네트워크 전체 노드 수를 n 이라하면, 에너지테이블을 위해 $n \log n$ 비트가 필요하고 연결도테이블을 위해 n^2 비트가 필요하다. 이때 유의할 것은 네트워크 크기가 커질수록 전체 노드에 관한 모든 연결정보

를 센서노드의 메모리 제약성으로 인하여 한 노드의 메모리에 저장 할 수 없다는 것이다. 본 논문에서는 이러한 노드 메모리의 한계를 역으로 이용하여 클러스터를 구성하기 위한 센서노드의 메모리 임계치를 δ 라 정의한다. 여기서 δ 는 하나의 센서노드에서 에너지테이블과 연결도테이블의 최대 저장 가능 용량을 고려하여 $2klogk+k^2 < \delta$ 로 설정한다. 하지만 임계치 δ 는 네트워크 크기를 고려하지 않고 센서노드의 메모리 크기만 고려된 속성이므로 클러스터 크기의 융통성을 제시하기 위한 추가적인 고려가 필요하다. 이러한 목적으로 본 논문에서는 클러스터 크기의 융통성을 제시하기 위한 추가적인 클러스터 임계치를 a 라 정의하고, a 의 크기는 $\alpha\delta$ 가 되도록 설정한다.

3.2 클러스터 경계 형성 단계

클러스터 경계구축 단계는 제안하는 라우팅 프로토콜의 첫 번째 단계로서, 싱크노드를 중심으로 클러스터 임계치를 반지름으로 하는 하나의 원과 같은 일정한 노드 경계를 형성하는 역할을 수행한다. 여기서 클러스터 경계란 에너지테이블과 연결도테이블의 임계치 a 에 의해 생성된 하나의 영역 단위를 의미한다. 클러스터 경계 구축을 위한 구체적인 단계는 다음과 같다. 먼저 싱크노드가 클러스터공고메시지 $M = \{cluster_rg_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 을 송신하면 각 노드는 다음과 같은 step을 수행한다.

step 1: 메시지에 포함된 정보를 이용하여 다음을 수행한다.

```

if((노드 에너지&연결도테이블 임계치)<a)
  if (노드의 식별자(ID)가 연결도
    테이블에 존재? )
    { 수신된 연결도테이블과 자신의
      연결도테이블을 ID가 동일한 열
      끼리 OR 연산을 수행한다.}
  else
    { ID와 에너지 잔류량을 에너지테
      이블의 마지막 위치 m에 삽입한
      다. 연결도 테이블에 자신의 식
      별자 행과 m번째 열, 자신의 식
      별자 열과 m번째 행을 1로 변경
      한다.}
  end if
else
  { 노드는 현재까지의 정보를 저장하고
    후보경계노드가 된다.
  
```

후보경계노드 중에서 경계노드로 선택된 노드는 자신이 마치 제 2의 싱크 노드와 같이 클러스터 공고 메시지(M)를 송신한다.

}

end if

step 2: 정보 갱신이 완료 된 후, 노드는 클러스터 공고메시지를 단 한번만 송신한다.

step 3: 이미 처리한 메시지를 받은 노드는 step 1에서와 같이 단지 에너지 테이블과 연결도 테이블의 정보만 갱신한다.

step 1에서 노드 간 한 홉 단위의 클러스터 공고메시지를 수신한 각 노드는 자신의 에너지테이블과 연결도테이블을 클러스터 임계치 a 와 비교한다. 자신의 메모리 사용량이 기 설정된 클러스터 임계치보다 적은 노드는 수신된 메시지에 포함된 정보를 이용하여 자신의 에너지테이블과 연결도테이블을 갱신한 후, 이들 정보로 갱신된 메시지를 이웃노드들에게 한번만 송신한다. 만약 노드가 동일한 메시지를 수신할 경우 노드는 연결도테이블의 정보만을 갱신하고 메시지는 재전송하지 않는다. 하지만 메모리 사용량이 클러스터 임계치 보다 큰 노드는 후보경계노드(candidate boundary node)가 되고, 싱크노드를 중심으로 다수의 후보경계노드가 생성된다.

이때 주의해야 할 것은 메모리 임계치를 만족하는 모든 후보경계노드가 헤드노드 선정과 제 2의 싱크노드의 역할을 수행할 경우 필요 이상의 많은 클러스터로 네트워크가 분할된다는 것이다. 그러므로 후보경계노드들은 네트워크 전체 노드의 5%가 헤드노드가 되도록 동전던지기를 수행해서 선택된 경계노드(boundary node)만이 헤드노드 선정과 제 2의 싱크노드 역할을 수행한다. 이에 대한 근거는 헤드노드의 비율이 전체 노드의 5%일 때 네트워크의 효율이 가장 좋은 것이 기존의 연구를 통해 증명되었기 때문이다^[6]. 즉 네트워크 전체 노드 수가 n개일 때 적정 헤드노드 수는 $n \times 0.05$ 개이다. 이를 통해 WSN은 최적의 헤드노드 비율을 만족하면서 클러스터를 구성 할 수 있다.

step 2에서 각 노드는 클러스터 공고 메시지를 한 번만 송신한다. step 3에서 이미 처리한 메시지를 수신한 노드는 이를 무시하고 단지 에너지테이블과 연결도테이블의 정보만 갱신한다. 이를 통해 네트워크에 메시지의 과도한 전송을 막을 수 있다. 하지만 동적인 네트워크의 정보는 수신된 메시지를 통해 테이

블의 정보를 갱신함으로써 유지할 수 있다.

클러스터 경계구축 단계에서 한 개의 경계노드가 클러스터 경계에 포함된 모든 노드의 정보를 알 수 있다면 에너지 잔류량이 가장 큰 노드를 헤드노드로 선택하고 클러스터 경계를 하나의 클러스터 영역으로 쉽게 구축할 수 있을 것이다. 하지만 한 개의 경계노드는 클러스터 경계에 포함된 모든 노드의 연결정보를 갖지 못한다. 이러한 이유 때문에 본 논문에서는 먼저 클러스터 경계를 구축한 후, 이 클러스터 경계를 여러 개의 클러스터영역으로 분할하여 클러스터링을 구축한다. 이는 경계노드가 클러스터 경계에 포함된 모든 노드의 연결정보를 갖지 못하기 때문에 두 단계로 나뉘어서 처리함으로써 명확한 헤드노드로 선정하기 위한 것이다.

3.3 클러스터 영역 구축 및 헤드 선정 단계

클러스터 영역 구축 및 헤드노드 선정단계는 기 구축된 클러스터 경계를 여러 개의 클러스터 영역으로 분할하고 헤드노드를 선출하는 역할을 수행한다. 경계노드 i 는 자신의 에너지테이블에서 ER_i 가 가장 큰 노드를 헤드노드로 선정한 후 헤드 선정 메시지 $M = \{head_rg_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 을 클러스터 경계노드 영역에 송신한다. 메시지를 수신한 각 노드는 아래의 step을 수행한다.

step 1: 각 노드는 가장 먼저 들어온 헤드선정메시지에 저장된 헤드 ID를 클러스터의 헤드로 선택하고 저장한다.

자신의 연결도 테이블과 에너지 테이블의 정보를 갱신한다.

step 2: 정보의 갱신이 완료된 후, 노드는 갱신된 연결도 테이블과 에너지 테이블을 포함한 헤드 선정 메시지를 이웃노드들에게 전송한다.

헤드를 선택한 노드는 헤드를 목적으로 하는 연결 허락 메시지

$M = \{member_join_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 를 연결도 테이블 정보를 이용하여 경로를 구축한 후 송신한다.

step 3: 각 노드는 메시지를 송신 한 후에 수신한 메시지가 자신의 클러스터 ID가 아니면 무시한다.

step 4: 헤드노드는 멤버 노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하고, 자신의 연결도 테이블과 에너지 테이블의 정보를 갱신한다.

step 1에서 경계노드는 자신의 에너지테이블에 저장된 노드 중 가장 에너지 잔류량이 많은 노드를 헤드노드로 선정하고 이에 대한 정보를 각 노드에게 전송한다. 각 노드는 가장 먼저 들어온 헤드노드 선정메시지에 포함된 헤드노드를 자신의 클러스터 헤드노드로 선택함으로써 클러스터 간 중첩된 영역 없이 클러스터 영역을 구축할 수 있다. step 2에서 헤드노드를 선택한 멤버노드는 자신이 선택한 헤드노드에게 연결허락 메시지를 전송함으로써 헤드노드와 멤버노드 사이의 데이터 전송경로를 확립한다. step 3에서 메시지를 송신 한 후에 각 노드는 새로운 메시지를 수신하는 경우, 메시지에 포함된 클러스터ID가 자신의 클러스터ID가 아니라면 무시한다. step 4에서 선출된 클러스터 헤드노드는 각 노드가 보낸 연결도 테이블과 에너지테이블을 유지함으로써 각 멤버노드들에 대한 전송경로와 에너지 잔류량을 확인 할 수 있다.

3.4 센싱 데이터 전송 단계

센싱 데이터 전송 단계에서 클러스터 멤버노드는 클러스터 영역 구축 및 헤드노드선정 단계를 통해 구축된 노드연결정보를 이용하여 센싱한 데이터를 헤드노드를 거쳐서 싱크노드로 전송한다. 즉, 요구사항을 만족하는 새로운 데이터를 감지한 노드는 자신의 연결도 테이블을 기반으로 BFS 알고리즘을 이용하여 목적지까지의 경로를 설정한 후 보고 메시지를 송신한다. 이때 감지된 데이터는 노드 1홉 단위로 전송된다. 클러스터 영역들 간의 연결은 제 2의 싱크노드역할을 하는 경계노드를 통해 수행된다. 경계노드가 이러한 역할을 수행할 수 있는 이유는 새로 생성된 클러스터 영역은 이전 클러스터 영역의 경계노드가 제 2의 싱크노드 역할을 하므로, 각 경계노드는 클러스터 경계구축 단계에서 이웃경계노드까지의 라우팅 정보를 구축할 수 있기 때문이다.

데이터 전송을 위한 구체적인 step은 아래와 같다. 요구사항을 만족하는 새로운 데이터를 감지한 노드는 자신의 연결도 테이블을 기반으로 BFS 알고리즘을 이용하여 목적지까지의 경로를 설정한 후 감지 데이터 보고 메시지 $M = \{sensing_data_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 를 송신한다. 감지 데이터 보고 메시지를 수신한 각 노드는 step 1을 수행한다.

step 1: 각 노드는 메시지를 수신한 후 다음과정을 수행한다.

if(수신 메시지의 전송경로 상에 자신의 ID가 존재?)

{ 저장된 노드연결 테이블을 이용해서 목적지까지의 경로를 BFS를 이용하여 선택한 후 감지데이터 보고메시지를 이웃 노드에게 단 한번만 송신한다.}

else

수신된 메시지를 무시한다.

end if

송신 이후에 수신된 감지데이터 보고 메시지는 무시한다.

step 2: 목적지까지의 경로에 속한 중간노드들은 step 1을 반복하여 소스노드로부터 받은 메시지를 목적지까지 전달한다.

step 3: 헤드노드는 각 멤버노드들이 보낸 감지데이터보고메시지를 수신한 후 데이터를 병합한다.

헤드노드는 싱크노드까지의 경로를 BFS로 선택한 후 병합된 메시지를 단 한번만 송신한다.

step 4: 목적지까지의 경로에 속한 중간노드들은 step 1을 반복하여 메시지를 목적지까지 전송한다.

3.5 클러스터 헤드 재선정

계층형 프로토콜에서 헤드노드로 선택된 노드는 데이터의 병합 등의 임무 수행과 상대적으로 많은 메시지 전송 횟수 때문에 일반 노드에 비해서 에너지의 소비가 많아진다. 그러므로 하나의 노드가 헤드노드의 역할을 계속 할 경우 에너지 소비 과다로 노드의 수명이 빠르게 단축되고 이는 센싱 홀(sensing hole)과 같은 문제의 원인이 된다. 즉 데이터를 전송하기 위한 임계 경로 상에 있는 노드의 수명이 다한다면 그 외 다른 노드의 에너지가 충분하더라도 데이터의 전송이 불가능하게 된다. 이러한 이유로 헤드노드 교체에 관한 문제는 여러 논문에서 중요하게 다루어져 왔고 에너지를 고려한 주기적인 헤드노드의 재선정이 필수적이다.

헤드노드 재선정단계는 현재의 헤드노드가 주체가 되어 자신의 에너지가 임계값 이하로 떨어질 때 에너지테이블의 정보를 이용해서 잔존 에너지가 가장 높은 노드를 다음 헤드노드로 선정한다. 헤드노드 재선정을 위한 구체적인 절차는 아래와 같다. 현재의 헤드노드는 에너지 잔류량이 가장 높은 노드를 새로운 헤드노드로 선택하고 헤드 재선정 메시지 $M = \{head_re_rg_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 를 송신한다. step1에서 메시지를 수신한 각 노드는 새로운 헤드노드에 대한 정보를 자신의 에너지테이블과 연결

도테이블에 저장하고 이 정보가 포함된 메시지를 전송한다. 이와 같은 과정을 반복함으로써 클러스터 전체의 멤버노드는 새로운 헤드에 대한 정보를 유지할 수 있다.

step 1: 각 노드는 헤드 재선정메시지에 저장된 헤드ID를 클러스터의 새로운 헤드로 저장한다. 자신의 에너지 테이블과 연결도 테이블 정보를 갱신한다.

만약 헤드 재선정 메시지를 수신한 카운트 횟수가 전체 클러스터 멤버노드의 수와 같아진다면, 각 노드는 헤드 재선정 기준 에너지 임계치를 일정치 만큼 감소시킨다.

step 2: 정보의 갱신이 완료 된 후, 노드는 갱신된 에너지 테이블과 연결도 테이블을 포함한 헤드 재선정 메시지를 송신한다.

노드는 헤드를 목적지로 하는 연결 허락 메시지 $M = \{member_join_msg, energy(i), connectivity(i)\}$ 를 송신한다.

step 3: 각 노드는 수신한 메시지가 자신의 클러스터 ID가 아니면 무시한다.

step 4: 새로운 헤드노드는 멤버노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신한 후 자신의 에너지테이블과 연결도 테이블의 정보를 갱신한다.

IV. 분석

본 장에서는 제한한 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 LEACH와 PEGASIS-A와의 비교를 제시한다. 프로토콜에 대한 객관적인 비교를 위해 앞서 제시한 계층형 프로토콜 설계 시 고려사항인 에너지 소비 최소화와 부하의 분산을 기준으로 삼는다. 이러한 두 가지 기준은 궁극적으로 WSN 수명을 효과적으로 연장 할 수 있으므로 각 프로토콜을 비교하는 적절한 기준이 될 것이다.

4.1 에너지 소비 모델

에너지 소비를 비교하기위해 기준에 검증된 에너지 소비 모델을 이용하였다¹⁰⁾. 이 모델에서 한 노드가 메시지를 일정한 거리까지 송신할 때 소비하는 에너지 소비량은 식(1)과 같고, 수신할 때 노드가 소비하는 에너지 소비량은 식(2)와 같다.

$$E_{TX}(L, d) = \begin{cases} LE_{elec} + Le_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ LE_{elec} + Le_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{RX}(L) = LE_{elec} \quad (2)$$

- L : 데이터 패킷 길이
- E_{elec} : 송·수신회로 에너지 소모
- e_{fs} : 송신 시 증폭기 소비에너지(자유 경로)
- e_{mp} : 송신 시 증폭기 소비에너지(다중 경로)
- d : 노드 사이의 전송 거리
- d_0 : 전송거리 임계값
- d^{CH} : 노드와 헤드 간 전송거리
- d^{sinker} : 노드와 싱크 간 전송거리
- $d^{Neighbor}$: 노드와 이웃노드 간 전송거리

센서 노드의 에너지 소비는 회로 자체의 소비, 수신과 송신 에너지 소비로 나눌 수 있다. 회로자체의 에너지 소비는 데이터 처리 등을 위해 센서노드가 동작하면서 소모하는 에너지를 의미한다. 이때 소비되는 에너지 소모량은 아주 작다. 메시지를 수신 할 때 발생하는 에너지 소비량 자체도 아주 작고, 이 소비량은 메시지 길이에 영향을 받지만 무시할 정도로 메시지 길이의 차이에 대한 에너지 소모량의 차이는 크지는 않다. 그래서 센서 노드가 소비하는 대부분의 에너지 소비는 메시지를 송신할 때 발생한다. 특히, 송신 에너지 소비량은 전송하고자 하는 메시지의 크기와 전송거리에 비례하여 증가한다.

4.2 성능 분석

본 소절에서는 에너지 소비 모델을 기반으로 각 프로토콜의 성능을 분석한다. 실험을 위한 네트워크 환경은 100m×100m 필드에 한 개의 노드를 중심으로 4개의 노드가 밀집되어 있는 격자구조를 가정하였다. 이는 제안한 프로토콜의 경우 격자구조 네트워크에서 가장 많은 송·수신이 발생하므로 최악의 환경에서 성능을 측정하기 위함이다. 표 1은 실험을 위해 설정된 값이다.

프로토콜의 성능비교에서 가장 중요한 속성인 네트워크 수명은 노드의 에너지 소비와 밀접한 관계가 있다. 노드 에너지 소비를 결정짓는 주요한 두 가지 원인은 송·수신회로의 에너지 소모와 송신 시 증폭기의 에너지 소모이며 이는 메시지 송·수신회수와 전송거리에 영향을 받는다. 특히 송신 시 증폭기의 에너지 소비는 전송거리의 제곱에 비례해서 증가하므로 전송거리를 줄이는 것은 네트워크 전체 에너지 소비를 줄여서 수명을 연장하는데 가장 중요하다.

만약 프로토콜이 네트워크 전체 범주로 메시지를 전송한다면 전송강도는 네트워크 필드의 대각선 거리

표 1. 매개 변수 값

매개 변수	값
센서 네트워크 환경	자유공간
센서네트워크 크기	100m*100m
센서네트워크 구조	격자 구조
센서 노드 수(n)	200개
클러스터 헤드 수(k)	$n*5\%$
싱크 위치	(50, 50)
초기 에너지	1 J
데이터 패킷 길이(L)	2,000 bit
증폭기 소비에너지	0.1nJ/bit/m ²
회로 에너지 소모(E_{elec})	50nJ/bit
d^{CH}	140m
d^{sinker}	140m
$d^{Neighbor}$	40m
전송 충돌 비율	20%

인 140m가 설정된다. LEACH의 모든 메시지 전송과 PEGASIS-A에서 헤드노드와 싱크노드 사이의 메시지 전송은 네트워크 전체 범주이다. 반면에 제안한 프로토콜과 같이 노드 한 홉 단위로 메시지를 전송한다면 전송거리는 10~20m면 충분하지만 노드 배치의 균등성이 최악인 경우를 고려해서 전송거리를 40m로 설정하였다.

각 프로토콜에서 한 라운드는 전체 센서노드 수가 200개인 경우 10초로 설정한다. 즉 한 라운드 동안 각 프로토콜들은 네트워크 전체(n 개 노드)에 라우팅 정보와 클러스터 구성을 완료한 후, 헤드노드(k 개)를 제외한 모든 멤버노드($n-k$ 개)는 1개씩의 메시지(2000 비트 고정 패킷)를 싱크노드에게 전송한다. 이때 각 멤버노드는 0.001~3초 사이의 랜덤 시간을 선택해서 메시지를 전송하고 전송충돌이 일어나는 경우 7번까지 재전송을 허용한다. 만약 네트워크 전체 센서노드 수가 증가한다면 한 라운드 시간도 이에 비례해서 증가시킨다. 그리고 실험에서 각 프로토콜의 헤드노드 비율은 센서네트워크를 구성하는 노드 수의 5%로 하였다. 이와 같은 조건은 센서네트워크를 구성하는 전체 노드 수 n 에 상관없이 모두 동일하게 적용하였다.

WSN에서 각 센서노드의 에너지 소비는 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 기준이다. 그림 1은 센서네트워크를 구성하는 전체 노드수가 200개 인 경우 각 프로토콜의 살아남아 있는 노드 수에 대한 소비 에너지 비율을 보여준다. x 축은 라운드 횟수를 나타내고 y 축은 각 노드들의 남아있는 에너지의 합을 나타낸다. 그림 1에서 제안한 프로토콜(CUCE)이 PEGASIS-A와 LEACH와 보다 더 오랜 라운드 횟수를 보여준다. 그리고 제안한 프로토콜은 각 클러스터

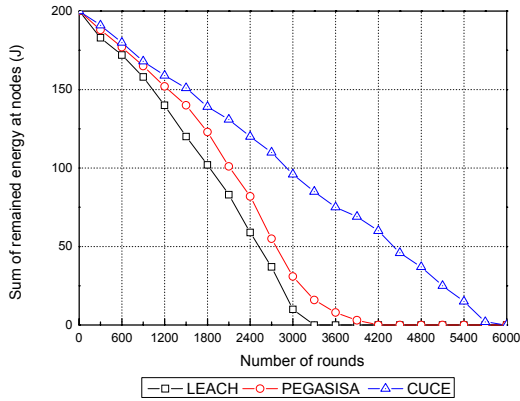


그림 1. 네트워크 전체 에너지 소비 (200개 노드)

간 멤버노드 수의 균등분포를 통해 부하의 균등을 이룸으로서 에너지가 비교적 균형 있게 소비되는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 네트워크를 구성하는 전체 센서노드 수가 커질수록 이에 반비례해서 라운드 숫자는 줄어든다. 그 이유는 네트워크의 노드 밀도가 증가함에 따라 전송 거리는 동일한 반면 전송 메시지 수는 노드 수에 비례해서 증가하고, 전송충돌이 늘어나서 송신에너지 소비가 늘어나기 때문이다.

PEGASISA-A의 경우 클러스터를 구성하는 에너지 소비는 LEACH에 비해 더 적지만 단일체인구조를 가지기 때문에 데이터 전송에 참여하는 노드 수가 아주 많다. 그러므로 LEACH에 비해 메시지 전송횟수가 많고 전송지연도 심하다. 이는 상대적으로 많은 에너지를 소비하는 원인이 된다. 또한 본 논문의 시뮬레이션에서 노드 1홉 당 전송거리를 40m로 설정했기 때문에 전송에너지 소비가 더 심하다. 이와 비교해서 제안한 프로토콜은 클러스터 구성과 데이터 전송 시 비교 대상 프로토콜에 비해 에너지 소비량이 적기 때문에 WSN 수명을 연장하는 중요한 역할을 한다.

그림 2는 각 프로토콜에서 네트워크 전체 노드 수가 100개인 경우에 1000라운드를 수행했을 때 각 노드에 남아있는 에너지 비율을 나타낸다. x 축은 센서 네트워크의 각 노드 ID를 나타내고 y 축은 각 노드의 잔류 에너지량의 비율을 나타낸다. 그림 2(a)는 LEACH이고 (b)는 PEGASISA-A 그리고 (c)는 제안한 프로토콜을 나타낸다. 그림 2(a)에서 LEACH는 각 노드 간에 남아있는 에너지의 편차가 아주 심함을 알 수 있다. 이는 LEACH가 확률에 의해 헤드노드를 선택하고 네트워크 전체 범주의 데이터 전송을 주로 하므로 헤드노드로 선택되는 노드의 경우 상대적으로 에너지 소비가 급증하기 때문이다. 그림 2(b)의

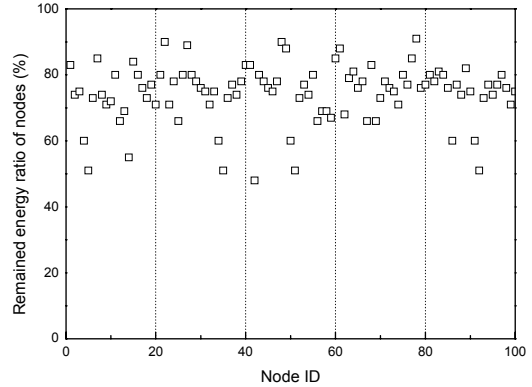


그림 2(a). LEACH에서 각 노드별 남아있는 에너지

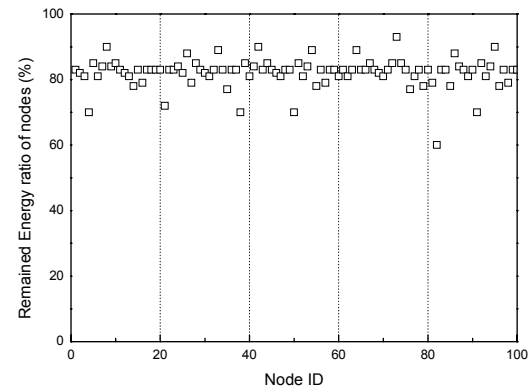


그림 2(b). PEGASISA-A의 각 노드별 남아있는 에너지

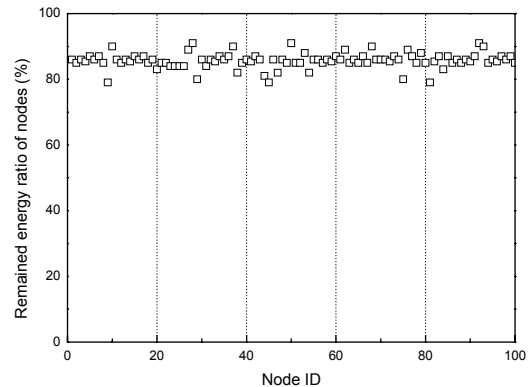


그림 2(c). 제안한 프로토콜의 각 노드별 남아있는 에너지

PEGASISA-A는 단일 체인구조를 사용하고 리더노드가 1개뿐이므로 LEACH보다는 노드의 에너지 소비 편차가 심하지 않다. 하지만 LEACH와 PEGASISA-A는 에너지 소비가 균등하지 못하므로 적절한 부하의 분산을 만족한다고 할 수 없다. 이에 비해 그림 2(c)의 제안한 프로토콜은 각 노드의 에너지 소비가 상대적으로 아주 균등하게 이루어짐을 알 수 있다. 이는 각 클러스터의 멤버노드 숫자가 균등하기 때문이다.

이러한 부하의 분산을 통한 노드들 간의 에너지 균 등 소비는 네트워크의 생존시간을 연장시키는 장점을 제공한다. 또한 제안한 프로토콜에서 현재의 헤드노드는 자신이 속한 클러스터 영역 내의 멤버 노드 정보를 바탕으로 동일 클러스터 영역에서 다음 헤드노드를 선출함으로써 더 균형 잡힌 헤드매치를 얻을 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 LEACH와 같은 기존의 WSN 프로토콜이 가지는 문제점을 해결하고 WSN 효율성을 최대화 할 수 있는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안했다. 본 논문의 궁극적인 목적은 센서노드의 에너지 소비 최소화를 통한 WSN 수명 최대화이다. 이를 위해서는 에너지 소비 최소화와 부하의 적절한 분산이 필요하다. 이들 고려속성을 만족할 수 있는 본 논문에서 제안하는 프로토콜의 기본 아이디어는 노드 연결정보와 에너지 정보를 저장하는 테이블 임계치를 이용하는 것이다. 이러한 아이디어를 기반으로 제안한 프로토콜은 크게 클러스터 경계형성과 클러스터 영역구축 및 헤드노드 선정 그리고 감지 데이터 전송의 세 단계로 구성됨을 보였다. 그리고 상대적으로 더 많은 에너지를 소비하는 헤드노드를 위해 헤드노드 재선정 기법을 고려했다.

WSN 라우팅 프로토콜 설계 시 고려속성 중 에너지 소비 최소화는 메시지 전송 횟수 최소화와 전송거리 최소화를 통해 보장할 수 있었다. 전송횟수 최소화는 동적인 네트워크 변화 정보 수집을 위한 간단한 일괄처리와 동일 클러스터 토폴로지 유지를 통해 만족할 수 있었고, 전송거리 최소화는 모든 메시지를 노드 1홉 단위로 전송함으로써 만족했다.

그리고 두 번째 고려속성인 부하의 적절한 분산은 노드 에너지 테이블과 노드 연결 테이블 임계치를 이용해서 클러스터와 라우팅을 구성함으로써 보장했다. 이를 이용해서 결과적으로 각 클러스터의 멤버노드 수가 균등분포 될 수 있었다. 이러한 클러스터 간 멤버노드 개수의 균형은 센서네트워크에서 노드사이의 에너지 소모 균형을 잡아주기 때문에 기존 연구들보다 네트워크 수명을 늘이는데 매우 효과적임을 보여줬다. 이는 기존 논문에서 다루지 않았던 속성으로 LEACH와 PEGASIS-A 등이 가지는 근본적인 문제점에 대한 해결책을 제시할 수 있었다.

이러한 결과를 입증하기 위한 실험 결과 제안한 프로토콜은 각 클러스터의 멤버노드 수가 균등함을 확

인하였고 이를 통해서 부하가 분산될 수 있었다. 또한 복잡한 계산을 필요로 하지 않는 클러스터 구성과 모든 메시지를 노드 1홉 단위로 전송 그리고 동적인 네트워크 변화 정보 수집을 위한 오버헤드를 줄임으로써 WSN 전체 에너지 소비를 크게 줄일 수 있음을 보였다. 결과적으로 WSN을 구성하는 전체노드수가 200개인 경우에 LEACH 보다 1.8배 그리고 PEGASIS-A에 비해 1.51배 네트워크 수명을 연장할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, and A. Chandrakasan, "Low Power Wireless Sensor Network," *Proceeding of International Conference on VLSI Design*, pp.205-210, 2001.
- [2] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, "Connecting the Physical World with Pervasive Network," *IEEE Pervasive Computing*, Vol.1, No.1, pp.59-69, 2002.
- [3] A. E. Cerpa, J. Elson, M. Hamilton, and J. Zhao, "Habitat Monitoring : Application Driver for Wireless Communication Technology," *ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications*, pp.20-34, 2001.
- [4] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, "Connecting the Physical World with Pervasive Network," *IEEE Pervasive Computing*, Vol.1, No.1, pp.59-69, 2002.
- [5] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proceeding of International Conference Parallel and Distributed Processing Symposium IPDPS 2001*, Vol.15, pp.2009-2015, 2001.
- [6] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp.660-670, 2002.
- [7] R. S. Changn and C. J. Kuo, "An Energy Efficient Routing Mechanism for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of the International Conference on Advanced Informa-*

tion Networking and Applications(AINA06), Vol.2, pp.308-312, 2006.

- [8] 이상학, 김대환, 유준재, “유비쿼터스 센서 네트워크 기술 동향”, *경기테크노파크 기술동향 보고*, 2007.
- [9] M.E. Elhdhili, L.B. Azzouz, F.Kamoun, “CASAN: Clustering Algorithm for Security in Ad hoc Networks,” *Elsevier Science*, vol. 31, pp.2972-2980, Apr. 2008.
- [10] 노태호, 정광수, “무선센서 네트워크에서 에너지 효율적인 토폴로지 구성을 위한 Up-Down Tree 라우팅 알고리즘”, *정보과학회 논문지*, 34(5), pp.360-369, 2007.

최 해 원 (Hae-Won Choi)

정회원



1996년 2월 경일대학교 컴퓨터 공학과 학사
 2000년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2009년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 박사
 2005년 9월~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 유비쿼터스 컴퓨팅, 알고리즘

김 상 진 (Sang-Jin Kim)

정회원



1994년 2월 계명대학교 컴퓨터 공학과 학사
 1996년 2월 경북대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2000년 8월 경북대학교 컴퓨터 공학과 박사
 1999년 9월~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 게임 알고리즘

류 명 춘 (Myung-Chun Ryoo)

정회원



1989년 2월 영남대학교 컴퓨터 공학과 학사
 1991년 2월 영남대학교 컴퓨터 공학과 석사
 2009년 2월 영남대학교 컴퓨터 공학과 박사
 1997년 3월~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 지능정보시스템, Bioinformatics