DOI: 10.3745/KIPSTC.2009.16C.6.731

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 라우팅 트리 구축 알고리즘

김 열 상[†] · 김 현 수[†] · 전 중 남[††]

요 약

무선 센서 네트워크는 여러 개의 센서 노드들이 분산 배치되어 서로 통신하고 중계하여 데이터를 수집한다. 센서 노드에서 수집한 데이터를 싱크까지 전달하는 방식을 정의하는 라우팅 프로토콜은 구성 방식에 따라 센서 네트워크 전체의 수명에 영향을 준다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 단일 플러딩에 의한 라우팅 트리를 구축하는 알고리즘인 RTAF를 제안한다. RTAF는 플러딩 전파 과정에서 정방향 플러딩 패킷으로 노드의 부모 노드를 선택하고, 역방향 플러딩 패킷으로 자식노드들을 결정함으로써 라우팅 트리를 구축한다. 에너지가 많은 노드가 라우팅 트리의 부모 노드가 되도록 만들어 주고, 일정 시간 간격으로 라우팅 트리를 다시 구성하여 부하를 분산한다.

RTAF는 라우팅을 위한 트리를 구성하는 Modified-LEACH와 성능을 NS2 네트워크 시뮬레이션 도구로 실험하여 비교하였다. 라우팅 트리를 구축하는 시간이 짧고, 라우팅 트리 구축 패킷량은 40~80%로 감소하였다.

키워드 : 라우팅 트리, 에너지 효율성, 무선 센서 네트워크

A Routing-Tree Construction Algorithm for Energy Efficiency in Wireless Sensor Network

Yulsang Kim[†] · Hyounsoo Kim[†] · Joongnam Jeon[††]

ABSTRACT

In wireless sensor network, many sensor nodes are distributed in the field. They communicate the sensing data each other and forward it to sink. Routing protocols, which define the delivery methods of sending data, affect to the lifetime of sensor network.

This paper proposes RTAF that is a routing-tree construction algorithm of sensor nodes by a single flooding process in wireless sensor network. A routing tree is constructed by selecting a parent node using the forward-direction flooding packet and gathering children nodes using the reverse-direction flooding packet. In this process, a node with much energy becomes the parent node. And the routing tree is periodically reconstructed in order to distribute the loads of parent nodes.

The proposed algorithm compared performance with Modified-LEACH using NS2 network simulation tool. The simulation result shows that the proposed algorithm constructs a routing-tree faster and reduced 40~80% in routing-tree construction packet.

Keywords : Routing Tree, Energy Efficiency, Wireless Sensor Network

1. 서 론

무선 센서 네트워크란 초소형 센서 노드들로 구성된 네트워크로서 특정 지역에 센서 노드를 설치하여 주변의 데이터를 수집하고 활용하기 위한 서비스 환경을 의미한다.

센서 노드들은 스스로 네트워크를 구성해야 한다는 점과 라우터와 데이터 소스의 두 가지 역할을 수행한다는 점에서 ad-hoc 네트워크의 일종이라고 볼 수 있다. 또한 제한된 처리 용량 및 메모리 크기를 가지며 수많은 노드들로 구성된 센서 네트워크에서는 새로운 노드의 설치, 배터리 수명, 장애에 따른 노드의 생사에 따라 토플로지가 빈번히 바뀌는 특성이 있다. 그래서 무선 센서 네트워크는 토플로지의 빈번한 변화에 대응하기 위한 자율적인 네트워크 구성과 효율적인 데이터 전달이 가능한 라우팅 프로토콜의 개발이 필수적이다[9].

무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 데이터를 싱크 노드에게 전달하는 방식에 따라 크게 평면 라우팅(flat routing)과 계층적 라우팅(hierarchical routing) 프로토콜로 구분된다[9]. 평면 라우팅 프로토콜은 네트워크 내의 최적의 경로를 설정하여 데이터를 전송하는 방법으로 초기에 많은 연구가 이루어졌으며, 대표적인 평면 라우팅 프로토콜에는

※ 이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음 (This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2008)
† 준 회 원 : 충북대학교 전자계산학과 공학석사
†† 종신회원 : 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 교수
논문접수 : 2009년 2월 12일
수 정 일 : 1차 2009년 8월 13일
심사완료 : 2009년 8월 13일

SPIN, directed diffusion[4], GBR[6], AODV[2] 등이 있다[9]. 평면 라우팅 프로토콜은 복잡한 라우팅과 높은 지연시간, 노드들 간의 에너지 불균형 등의 문제점을 가지고 있다. 그래서 데이터 수집을 목적으로하는 무선 센서 네트워크에서는 상위 노드를 정한 뒤 데이터를 병합하여 싱크 노드로 전송하는 계층적 라우팅 프로토콜이 많이 연구되고 있다. 계층적 라우팅 프로토콜에는 클러스터 기반의 LEACH[5], TEEN, PEGASIS 등이 있다[9]. 계층적 라우팅 프로토콜은 노드들을 여러 개의 소규모 집단으로 구성하고, 각각의 집단 내의 선출된 대표 노드가 다른 집단과의 통신을 수행하는 트리 형태의 가상 계층을 형성 방식이다. 가상 계층을 이용한 라우팅 방식은 집단 내에서만 전파가 이루어져 비용이 절감하게 된다. 그러나 계층적 라우팅 프로토콜들은 소규모 집단인 클러스터를 구성하는데 여러 단계가 필요하며, 집단의 대표인 클러스터의 헤드의 위치가 좋지 않은 경우 가상 계층을 구축 비용이 증가하는 문제점이 발생한다[3, 9].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 최소 비용으로 라우팅을 위한 트리를 구축하고, 에너지 소비를 분산시킬 수 있는 RTAF(Routing-Tree construction Algorithm by a single Flooding)를 제안한다. 플러딩 라우팅 프로토콜[3]은 이웃 노드에 대한 테이블을 작성하지 않고, 전파 범위에 있는 모든 노드에 패킷을 전달하며, 패킷을 수신한 노드는 자신이 목적지가 아니면 브로드캐스팅 하여 재전송한다. 이 과정에서 패킷을 정방향과 역방향의 두 가지로 구분할 수 있으며, 정방향 패킷은 새로운 노드에게 전달되는 패킷을 의미하고, 역방향 패킷은 이전에 패킷이 전송한 노드로 되돌아오는 패킷이다. 제안한 RTAF는 플러딩 과정에서 폐기되는 역방향의 패킷을 활용하여 라우팅 트리를 구축한다. 그리고 자식들이 부모를 선정하는데 특정 정보가 필요하지 않도록 에너지가 가장 많은 노드가 라운드 패킷을 브로드캐스팅하고, 수신하는 노드는 가상 먼저 수신한 정방향의 패킷의 노드를 부모를 선정한다. 또한 라운드 방식으로 라우팅 트리를 재구축함으로써 부모를 주기적으로 교체하여 특정 노드에게 집중되는 패킷과 에너지 소비량을 분산시키는 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 라우팅을 위한 트리를 구축하는 라우팅 프로토콜에 대해 알아보며 3장에서는 제안하는 라우팅 트리 구축 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 제안한 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 M-LEACH (Modified-LEACH)[3]와 성능을 비교 평가하고, 마지막으로 5장에서 결론과 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련 연구

관련 연구에서는 라우팅 트리 구축 알고리즘은 트리를 구축에 사용하는 플러딩 라우팅 프로토콜과 트리를 구축하는 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 M-LEACH를 설명한다.

2.1 플러딩 라우팅 프로토콜

플러딩 라우팅 프로토콜은 대부분의 라우팅 기법에서 기본적으로 목적지에 해당하는 노드를 찾고자 할 경우에 공통적으로 사용하는 패킷 배포 알고리즘으로 이웃 노드에 대한 테이블을 작성하지 않고, 전파 범위에 있는 모든 인접한 노드에 패킷을 전달하는 라우팅 프로토콜이다. 플러딩 라우팅 프로토콜을 사용하는 노드가 비콘 패킷을 수신하면 이것을 브로드캐스팅 하여 모든 이웃한 노드에게 전달한다. 패킷은 지정된 홉 수가 될 때까지 모든 가능한 경로를 통하여 전달한다. 이러한 플러딩 프로토콜의 경우 중복된 패킷을 수신하는 implosion 문제가 발생하며, 이 문제를 해결하기 위하여 동일한 패킷에 대하여 한번만 전달하도록 플러딩 프로토콜을 구현한다.

2.2 LEACH

LEACH는 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들 사이에 에너지 부하를 균등하게 분배하기 위하여 제안된 자동 재구성 클러스터 기반의 프로토콜이다.

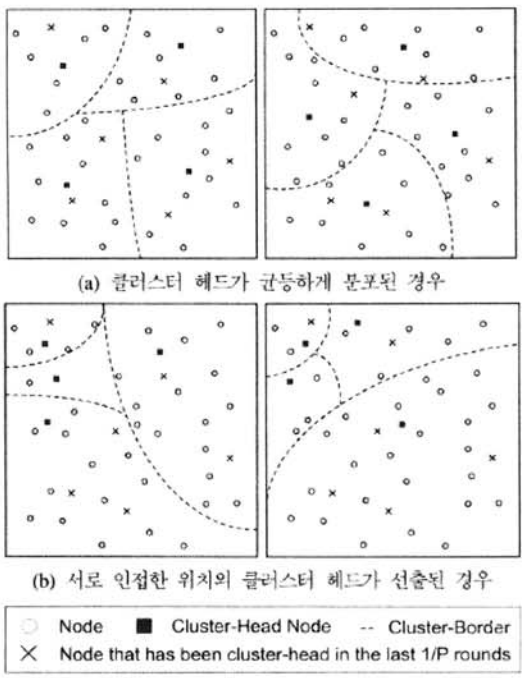
LEACH에서는 주기적으로 클러스터가 재구성되고, 이를 기반으로 한 통신이 이루어지는 시간 구간을 라운드로 정의한다. 각 라운드는 클러스터를 구성하는 set-up 단계와 실제 통신이 이루어지는 steady-state 단계로 구분된다. set-up 단계는 클러스터 헤드가 선출되는 advertisement 단계, 이 헤드를 기반으로 클러스터가 구성되는 cluster set-up 단계, 그리고 클러스터 헤드가 전송할 노드들의 순서를 결정하는 schedule creation 단계로 구성된다.

클러스터 헤드의 선정은 각 라운드의 초기 시점에서 이루어지는데, 이때 각 센서 노드들은 0~1 사이에서 임의의 한 수를 선택한다. n-번째 센서 노드가 임의로 선택한 수가 임계 값 T(n) 보다 작다면 그 노드는 해당 라운드에서 클러스터 헤드로 선출된다. 적절한 클러스터 헤드의 수를 선출하기 위한 임계 값은 다음과 같이 결정한다.

$$T(n)=\begin{cases}\dfrac{P}{1-P*(r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \quad \text{식(1)}$$

여기에서 P는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 헤드의 비율(예를 들어, P=0.05), r은 현재 라운드, 그리고 G는 이전 1/P 번의 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되지 않는 노드들의 집합을 의미한다. 식(1)에 의하면 LEACH는 1/P 라운드 동안에 모든 노드들이 정확히 한번 클러스터 헤드가 되는 것을 보증한다.

식(1)에서와 같이, LEACH는 클러스터의 구성형태는 고려하지 않고, 확률적인 방법에 의하여 모든 센서 노드들이 공평하게 클러스터 헤드로 선출되도록 하고 있다. 이와 같은 방법은 (그림 1) (a)에서와 같이, 클러스터 헤드가 균등하게 분포된 구조로 구성될 경우와, (그림 1) (b)에서와 같이 인접한 노드들로 클러스터 헤드가 선출되는 모든 가능성이 존재한다. (그림 1) (b)의 경우에는 클러스터 헤드와 먼 거리에 있는 노드들은 데이터 전송을 위하여 더 많은 에너지를 소모하게 되어, 에너지 효율이 떨어지게 될 뿐만 아니



(그림 1) LEACH의 클러스터 구성 시나리오

라, 센서 네트워크 내의 센서 노드들 간의 통신 시 출동 발생 확률이 높아지게 된다.

LEACH에서의 비효율적인 클러스터 구성의 문제를 해결하기 위하여 LEACH-C가 제안되었다. LEACH-C에서는 클러스터를 기지국의 주도로 구성하게 된다. 즉, 각 노드들은 자신들의 위치 정보와 잔여 에너지 정보를 기지국에 알리고, 기지국은 이 정보를 다른 모든 노드들에게 알려줌으로써, 최적의 클러스터를 구성 가능하도록 하여 (그림 1) (b)에서와 같은 경우가 발생하는 것을 방지한다. 그러나 이 방법은 매번 각 노드들이 기지국과 통신을 하기 위하여 요구되는 많은 양의 에너지 소비와 자신의 위치 정보에 대한 처리를 해야 하는 부가적인 오버헤드가 생긴다.

2.3 M-LEACH (Modified-LEACH)

M-LEACH는 클러스터 기반의 LEACH를 멀티 홉을 지원하기 위해서 제안된 라우팅 프로토콜이다. 클러스터 헤드는 데이터 수집과 패킷 포워딩을 수행한다. 센서 노드들은 M-LEACH는 확률공식으로 클러스터 헤드를 선출하고, 인접노드들과 클러스터를 형성한다. 클러스터 헤드들은 패킷 포워딩을 위하여 싱크(기지국)를 중심으로 라우팅 트리를 구성한다. M-LEACH의 라운드에서 라우팅 트리를 구축 과정은 advertisement 단계, cluster set-up 단계로 나눌 수 있다. advertisement 단계에서는 라운드의 시작을 알리는 동시에 클러스터 헤드를 선출한다. 라운드는 싱크 노드가 ADV (advertise) 메시지를 브로드캐스팅 하는 것으로 시작하여 ADV 메시지를 플러딩으로 센서 네트워크의 모든 노드에게 새로운 라운드가 시작되었음을 전파한다. (그림 2)는 ADV 메시지의 구조이다.

ADV 메시지의 플러딩 과정에서 새로운 라운드를 알리는 ADV 메시지를 수신한 노드들은 확률공식으로 클러스터 헤드를 스스로 선출하고 재전송한다. 클러스터 헤드로 선출된 노드는 재전송하는 ADV 메시지의 IsClusterHead 필드에 클러스터 헤드임을 설정하여 인접한 노드에게 알린다. 그리고 수신한 ADV 메시지의 노드 정보를 이웃 노드 테이블에 넣어 관리한다. 이웃 노드 테이블에 기록되는 노드 정보는 (그림 3)과 같다.

cluster set-up 단계에서는 이웃 노드 테이블에서 최적의 클러스터 헤드를 부모로 선정한다. M-LEACH는 무선 센서 네트워크에서 제한된 전파거리로 인하여 단절된 클러스터가 발생하고, 클러스터 헤드를 부모로 선정하지 못하는 고아 노드가 생기는 문제들이 발생한다. (그림 4)는 단절된 클러스터와 고아 노드가 발생한 경우이다. 오른쪽의 클러스터 헤드의 전파 범위에는 클러스터 헤드가 없어 부모를 선정하지 못하여 네트워크에서 단절된 클러스터가 되었으며, 두 클러스터 헤드 전파 범위 밖의 노드들은 클러스터 헤드를 찾지 못하는 고아 노드이다. 이를 해결하기 위해 일정한 시간이 지난 이후에도 클러스터 헤드를 부모로 선정하지 못하면 최소 홉의 노드를 클러스터 헤드로 강제로 만든다. M-LEACH는 확률공식으로 클러스터 헤드를 매 라운드 마다 교체하여 에너지 효율성을 얻는다. 그러나 확률공식으로

Addr (2)	NodeID (2)	Round (2)	Hop (2)	IsClusterHead (1)	BecomeClusterHead (1)

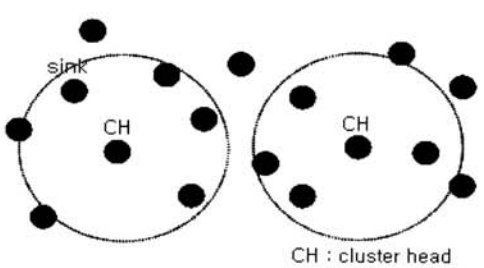
(그림 2) ADV 메시지 구조

- Addr: 인접 노드 중 최소 홉을 가지는 노드 ID
- NodeID: 노드의 ID
- Round: 라운드 순서번호
- Hop: 노드의 홉

NodeID (2)	Hop (2)	IsClusterHead (1)	IsAlive (1)	TimerTick (2)	Strength (4)

(그림 3) 이웃 노드 정보 테이블

- IsClusterHead: 노드의 클러스터 헤드 여부
- BecomeClusterHead: 클러스터 헤드 요청 플래그
- NodeID: 노드의 ID
- Hop: 노드의 홉
- IsClusterHead: 클러스터 헤드 여부
- IsAlive: 노드의 생존여부
- imerTick: ADV 패킷 전송 횟수
- Strength: 전파 수신 감도



(그림 4) 단절된 클러스터와 고아 노드

는 항상 최소한의 에너지를 소비하는 클러스터 헤드를 선출한다는 것을 보장할 수 없으며, 단절된 클러스터와 고아 노드 문제를 해결하는 과정으로 인한 오버헤드가 발생한다.

3. RTAF 라우팅 트리 구축 알고리즘

센서 노드들은 고유한 ID를 가지고 있다. 그리고 임의의 위치에 배치되어 주변에 몇 개의 센서 노드들이 있는 모르는 상황이다. 또한 노드의 이동하지 않으며, 각각의 노드는 자신의 잔존 에너지를 파악할 수 있다. 라우팅 트리를 구축하기 위해 노드들의 ID를 테이블로 작성하여 부모-자식 관계를 관리한다. 라운드 마다 라우팅 트리를 재구축하기 위한 라운드 순서번호와 노드의 홉 수를 변수를 가진다. 라우팅 트리의 구축이 완료되면 데이터 패킷을 전송을 시작한다.

RTAF는 노드 ID, 홉, 라운드 번호, 부모 ID, 자식 노드의 목록이 필요하다. <표 1>은 라우팅 트리를 구축하는데 사용하는 전역 변수들의 목록과 용도이다. ID는 노드를 식별하기 위한 번호이고, Hop은 트리에서 해당 노드의 차수로 홉 설정 및 라운드 패킷 전송한 노드가 하위 노드 여부를 구분하기 위해 사용된다. Round는 해당 노드의 라운드 번호로 새로운 라운드가 시작되었는지 판단하기 위하여 사용된다. PID는 부모의 ID를 기록한다. children[]은 자식 노드를 파악하고 관리하기 위한 노드의 목록이다. 초기 에너지와 잔존 에너지는 에너지 소모량 계산에 사용한다.

(그림 5)는 라운드 패킷의 구조이다. ID는 패킷을 전송한 노드 ID, Hop은 라우팅 트리에서 패킷을 전송한 노드의 홉 그리고 Round는 라운드 순서번호이다. PID는 전송한 노드가 선정한 부모의 ID이다.

먼저 노드들은 전역변수 Round를 0으로 초기화한다. 싱크는 Hop을 0, PID는 자신의 ID를 설정하고 Round를 1증가 시킨다. 라운드 패킷에 노드의 ID, Hop, Round, PID를 설정하고, 브로드캐스팅하여 라우팅 트리 구축을 시작한다. 라운드 패킷 전송할 때에는 일정시간을 지연하여 전송한다. 전송지연시간은 첫 번째 라운드인 경우에는 임의의 수를 이용하고, 두 번째 라운드부터는 잔존에너지가 많은 노드를 부모로 선정하도록 소모된 에너지량을 사용한다. (그림 6)은 라운드 패킷을 수신 하였을 때의 동작과정이다.

노드가 라운드 패킷을 수신하면 라운드 패킷의 Round 필드를 확인하여 새로운 라운드 패킷인지 아닌지를 판단한다. 새로운 라운드를 알리는 정방향의 라운드 패킷이면, 라운드 패킷을 보내온 노드를 부모 노드로 선정한다. 그리고 역방향의 라운드 패킷인 경우는 패킷의 부모 PID를 확인하고 자신의 ID와 같으면 패킷의 ID를 자식 노드로 추가한다. (그림 7)은 라우팅 패킷의 정방향/역방향과 트리 구축과정을 표현한 그림이다. 왼쪽은 역방향이며, 오른쪽은 정방향이다.

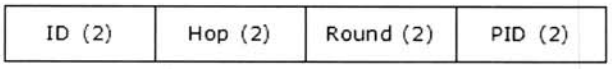
1) 정방향 라운드 패킷 수신: 정방향의 라운드 패킷을 수신한 노드는 자신의 Round와 Hop을 갱신하고, 패킷의 ID를 PID에 설정하여 부모를 선정하고, 자식 테이블을 초기화한다. 그리고 계산한 지연시간 후에 라운드 패킷을 브로드캐스팅 한다.

2) 역방향 라운드 패킷 수신: 역방향의 라운드 패킷을 수신한 노드는 자신의 Hop이 패킷의 Hop보다 작고, 패킷의 PID가 자신의 ID와 같은지 비교를 한다. Hop의 크기가 작고 패킷의 PID가 ID와 같다면 라운드 패킷을 전송한 노드를 자식 테이블에 추가한다.

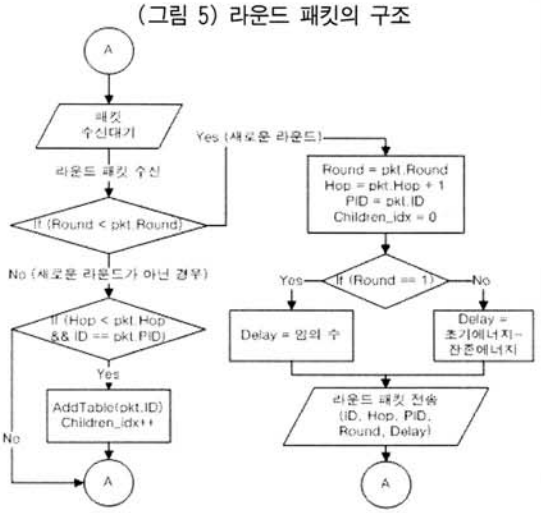
(그림 7)의 RTAF 라우팅 트리 구축은 먼저 싱크의 라운드 패킷의 브로드캐스팅으로 라운드를 시작한다. 싱크에 인접한 1,2번이 라운드 패킷을 수신을 하고, 두 노드 모두 싱크를 부모 노드로 선정하여 라운드 패킷을 브로드캐스팅 한다. 이 때에 1번이 생성한 지연시간이 짧아서 2번 보다 먼저 라운드 패킷을 전송하게 된다. 1, 2번에 인접한 싱크와 3번이 1,2번이 보낸 라운드 패킷을 수신하게 된다. 싱크는 자신을 부모로 선택한 두 노드를 자식으로 추가한다. 그리고 3번은 가장 먼저 라운드 패킷을 보낸 1번을 부모로 선정하여 라운드 패킷을 브로드캐스팅을 한다. 이 때에 1, 2번은 역방향의 라운드 패킷을 수신하게 되는데 3번이 부모로 선정한 1번은 자식으로 등록을 하고, 그렇지 않은 2번은 무시하게 된다. 일정한 시간이 지나 라운드 시간이 만료되면 다시 싱크는 라운드 패킷을 브로드캐스팅을 한다. 이번에는

<표 1> RTAF의 전역변수

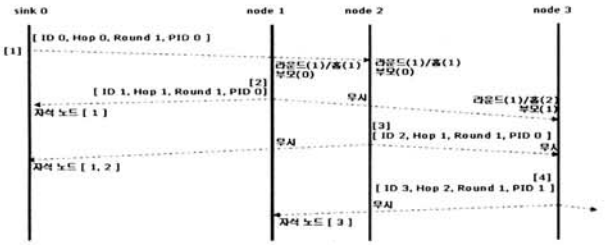
전역변수	용 도
ID (uint16_t)	노드의 식별번호
Hop (uint16_t)	노드 차수
Round (uint16_t)	라운드 순서번호
PID (uint16_t)	부모 식별번호
children[] (uint16_t)	자식 식별번호 목록
initEnergy (double)	초기에너지
remainEnergy (double)	잔존에너지



(그림 5) 라운드 패킷의 구조



(그림 6) 라운드 패킷 수신 시 동작과정



(그림 7) 라운드 패킷의 정방향과 역방향

에너지 소모량이 적은 2번이 라운드 패킷을 전송하게되고, 3번은 2번을 부모로 선정하게 된다.

이와 같이 싱크의 라운드 패킷의 전송을 시작으로 네트워크의 모든 노드가 정방향의 새로운 라운드 패킷을 수신 및 재전송하고, 역방향의 라운드 패킷을 수신하여 자식 노드를 테이블에 추가함으로써 라우팅 트리 구축이 완료된다. 그리고 부모를 선정한 노드는 데이터 전송을 시작한다. 데이터 전송은 유니캐스트로 전송한다. 데이터 전송 과정에서 수신한 데이터 패킷의 ID가 자식으로 등록되지 않은 노드이면 자식 테이블에 넣어 라우팅 트리의 연결을 강화한다. 그리고 라운드 시간이 만료되면, 싱크는 라운드 갱신하고 라운드 패킷을 전송하여 라우팅 트리를 재구축하는 것으로 특정 노드에 집중되는 트래픽을 분산시킨다.

4. 실험 및 성능 평가

4장에서는 NS2 네트워크 시뮬레이터를 사용하여 제안한 RTAF와 기존의 M-LEACH를 시뮬레이션으로 실험하여 성능을 평가하였다. M-LEACH는 RTAF와 같이 데이터를 수집하기 위한 라우팅 트리를 구축한다. 또한 에너지 효율성을 위하여 일정한 주기마다 라우팅 트리를 재구축하기 때문에 비교 대상으로 선정하였다.

4.1 실험환경

실험환경으로 전파모델 IEEE 802.15.4[10], 초기에너지 1J, 전송파워 0.4W, 수신파워 0.3W, 전파거리 20m에 노드를 10m 간격으로 25, 49, 100개를 그리고 싱크를 (0,0)과 중앙에 배치하였다. 그리고 한 라운드는 100초 간격이며 싱크 노드를 제외한 모든 노드는 20초마다 20바이트의 데이터를 전송하도록 설정하여 3,600초 동안 시뮬레이션 하였다. M-LEACH는 클러스터 헤드 선출확률에 따라 라우팅 트리 구축 시간이 달라진다[3]. 라우팅 트리 구축 시간, 네트워크가 생존한 최종 라운드 그리고 생존 노드의 수를 고려하여 가장 효율이 좋은 25%로 설정하여 시뮬레이션 하였다. <표 2>는 노드의 수가 45개인 경우 선출확률 별 성능을 비교한 것이다.

〈표 2〉 M-LEACH의 클러스터 헤드 선출확률 별 성능

확률(%)	10	15	20	25	30	35	40
구축시간(초)	5	3.9	3.1	2.4	2.4	2.3	2.1
최종 라운드	7	7	7	7	6	6	6
생존노드 수	31	36	37	39	39	40	41

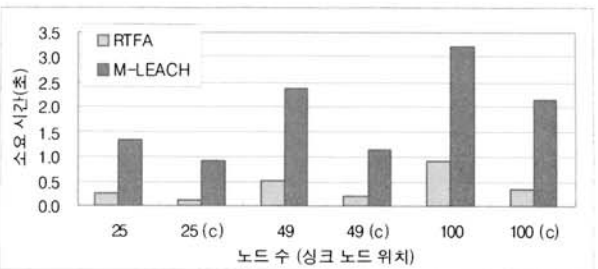
4.2 성능 평가

(그림 8)은 라우팅 트리 구축시간을 노드 수와 싱크 위치로 구분하여 비교한 그래프이다. 그래프에서 (c)는 싱크를 중앙에 배치한 것을 나타낸다. 라우팅 트리 구축 시간은 노드 수와 홉 수가 증가함에 따라 증가하며, RTAF가 빠른 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 M-LEACH가 cluster-setup 단계에서 발생하는 단절된 클러스터와 고아 노드를 해결하는 시간이 추가되기 때문이다.

<표 3>은 라운드 별 라우팅 트리 구축 패킷 발생량의 평균을 비교 분석한 결과이다. 에너지 소비량에 비례하는 패킷 발생량은 RTAF가 M-LEACH 보다 40~80% 정도 적은 것을 확인할 수가 있으며, 노드의 수가 증가함에 따라 그 차이가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 이 차이는 LEACH가 부모를 확률공식으로 선출하여 발생하는 단절된 네트워크와 고아 노드의 문제를 해결하기 때문이다.

(그림 9)는 라운드 마다 네트워크의 잔존 에너지량을 비교한 그래프이다. 잔존 에너지량은 시간이 지날수록 RTAF가 더 많아지는 것을 확인할 수가 있다. 그 이유는 M-LEACH의 라우팅 트리 구축에 발생한 패킷이 더 많기 때문이다.

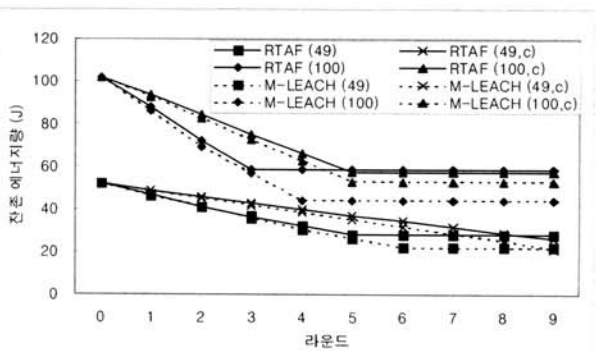
(그림 10)은 라운드 마다 싱크 노드와 라우팅 트리를 구성한



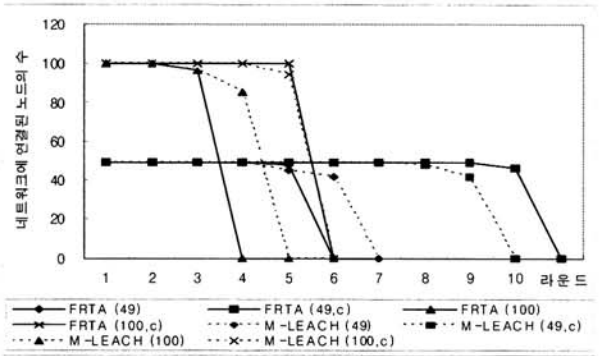
(그림 8) 라우팅 트리 구축시간 비교

〈표 3〉 라우팅 트리 구축 패킷 발생량 평균 비교

프로토콜	노드 수 (싱크위치)					
	25	25(c)	49	49(c)	100	100(c)
RTAF	163	150	352	325	756	739
M-LEACH	910	583	2,606	1,498	8,055	5,013



(그림 9) 라운드 별 잔존 에너지량 비교



(그림 10) 네트워크 수명 비교

노드의 수를 그래프로 표현하여 네트워크 수명을 비교한 것이다. 네트워크 수명은 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

따라서 RTAF는 M-LEACH와 비슷한 네트워크 수명을 유지할 수 있으면서, 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 높일 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론 및 향후 과제

무선 센서 네트워크는 수집한 데이터를 효율적으로 전달하고 네트워크 유지시간을 개선하기 위한 무선 네트워크 기술의 중요성을 인식하여 이에 대한 활발한 연구가 진행 중이다. 기존의 트리 형태의 라우팅 경로를 구성하는 라우팅 프로토콜들은 플러딩과 연결설정의 과정으로 라우팅 경로를 구축한다. 이와 같이 기존의 라우팅 프로토콜 대부분은 라우팅 트리 구축 과정에서 많은 패킷이 생성되어 에너지 효율성에 영향을 준다.

본 논문에서 RTAF 라우팅 트리 구축 알고리즘을 적용함으로써 라우팅 트리를 구축하는데 소모되는 비용을 감소시키고, 기존의 방법 보다 빠르게 라우팅 트리를 구축할 수 있으며, 또한 주기적으로 에너지 소모량을 고려하여 부모 노드를 교체하여 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 분석한 결과 제안한 알고리즘이 M-LEACH의 라우팅 트리를 구축 알고리즘 보다 구축시간이 짧고, 패킷 발생량이 40~80% 감소한 실험 결과로 제안한 알고리즘이 에너지 효율성 측면에서 유리하다는 결론을 도출할 수 있었다.

향후에는 실험 규모를 대규모화하고, 실제환경에 적용한 실험이 필요하다. 그리고 라운드 방식을 적용함으로 발생하는 문제점으로 라운드 중간에 주요 중계 노드가 정지되어 네트워크가 일시적으로 단절되는 현상을 보완할 수 있는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] S. Hedetniemi and A. Liestman, "A survey of gossiping and broadcasting in communication networks," IEEE Networks, Vol.18 No.4, pp.319-349, 1988.

[2] Luke Klein-Berndt, "A Quick Guide to AODV Routing," Ubiquitous Communications Technologies Group, 2001

[3] Geoff Martin "An Evalutaion of Ad-hoc Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," BSc (Honours) Software Engineering, May 2004.

[4] C. Intanagonwiwat, R Govindan and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paragidm for Sensor Networks," MobiCom 2000.

[5] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan "Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks," Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Sciences, Jan. 2000.

[6] J. Faruque and A. helmy, "Gradient-based routing in sensor Networks," Mobile computing and Communication Review, Vol.7(4), 2004, pp.50-52.

[7] Xin Li, Young Jin Kim, Ramesh Govindan, Wei Hong, "Multi-dimensional Range Queries in Sensor Networks", In Proceedings of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2003.

[8] http://www.isi.edu/nsnam/ns

[9] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey", IEEE Wireless Communications, pp.6-28, December 2004.

[10] J. Polastre, R. Szewczyk, C. Sharp and D. Culler, "The Mote Revolution: Low Power Wireless Sensor Network Devices", In proceedings. Hot Chips 16: A Symposium on High Performance Chips, August 2004.

김 열 상

e-mail : terry9c@nate.com
2007년 한밭대학교 컴퓨터공학전공(학사)
2009년 충북대학교 전자계산학과(공학석사)
관심분야 : 임베디드 시스템, 컴퓨터 구조, 센서 네트워크

김 현 수

e-mail : kim_hyounsoo@nate.com
2007년 충북대학교 컴퓨터공학과(학사)
2009년 충북대학교 전자계산학과(공학석사)
관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 네트워크

전 중 남

e-mail : joongnam@cbu.ac.kr
1981년 연세대학교 전자공학과(학사)
1985년 연세대학교 전자공학과(공학석사)
1990년 연세대학교 전자공학과(공학박사)
1990년~현 재 충북대학교 전기전자컴퓨터 공학부 교수
관심분야 : 임베디드 시스템, 컴퓨터 구조, 센서 네트워크