

무선 센서네트워크에서 에너지 효율을 고려한 단층기반 라우팅 프로토콜의 설계와 구현

이 명 섭[†] · 박 창 현^{††}

요 약

본 논문에서는 센서 네트워크에서 데이터 전송을 위한 경로선택 시 남아있는 에너지가 많은 노드 중에 최소 에너지를 소모하는 경로를 선택함으로써 망의 수명을 연장하고 에너지 효율을 높일 수 있는 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 기본 목표는 다수의 경로 간에 에너지 소비를 고르게 분포시키며 에너지를 효율적으로 활용하는 것이며, 에너지 상태정보로는 각 노드의 가용에너지 양과 홉 수를 사용된다. 또한 이웃 노드의 에너지 저하로 인해 관리 노드로의 가용 정보경로가 상실된 경우 간단한 우회 경로 탐색 방안을 제안하였고 이는 에너지 효율성 개선 방안으로 활용될 수 있다. 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 센서 네트워크 라우팅 알고리즘보다 망의 수명이 개선되고 각 노드의 잔류에너지 분포가 더 균일하여 망의 신뢰성이 높아짐을 보였다.

키워드 : 센서 네트워크, Flooding, 단층기반 라우팅, 에너지효율성 알고리즘, 네트워크 생명주기

Design and Implementation of Flooding based Energy-Efficiency Routing Protocol for Wireless Sensor Network

Myung-Sub Lee[†] · Chang-Hyeon Park^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new energy-efficient routing algorithm for sensor networks that selects a least energy consuming path among the paths formed by node with highest remaining energy and provides long network lifetime and uniform energy consumption by nodes. The pair distribution of the energy consumption over all the possible routes to the base station is one of the design objectives. Also, an alternate route search mechanism is proposed to cope with the situation in which no routing information is available due to lack of remaining energy of the neighboring nodes. Simulation results show that our algorithm extends the network lifetime and enhances the network reliability by maintaining relatively uniform remaining energy distribution among sensor nodes.

Keywords : Sensor Network, Flooding, Directed Diffusion, Energy Aware Routing, Network Lifetime

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 RFID와 더불어 최근 부상하는 유비쿼터스 네트워크의 핵심 기술로, 환경 감시나 목표물 추적, 고속도로 교통정보 관리, 건물 감시 등의 다양한 잠재적인 응용 분야를 가지고 있다. 무선 센서 네트워크는 센서 모듈과 네트워크 모듈을 갖는 센서 노드들로 이루어지며 많은 수의 센서 노드들이 목표 지역에

배치되어 유기적으로 동작하는 하나의 네트워크를 형성한다. 각 센서 노드들은 센싱을 통한 정보의 수집, 처리 그리고 전송을 수행하며, 중간에 위치한 노드들은 받은 메시지를 재전송하는 라우터로서의 역할을 겸한다. 일반적인 경우 센서 노드들은 접근이 어려운 지역에 설치되기 때문에 배터리의 교체나 충전이 어렵다[1].

따라서 한정된 센서 네트워크의 자원으로 인하여 우선적으로 고려해야 할 사항은 네트워크 수명을 오랫동안 유지하는데 있다. 각 노드는 자신의 위치에 따른 대상을 감지하는 횟수, 데이터 전송참여 횟수에 의해서 각 노드의 에너지 소비의 차이가 나타난다. 하나의 노드가 방전이 되어 일부 네트워크의 자원을 사용하지 못할 경우 해당 영역에 대한 감지를 할 수 없게 된다[2].

※ 이 연구는 2009학년도 영남이공대학 연구조성비 지원에 의한 것임
† 정 회 원 : 영남이공대학 컴퓨터정보계열 조교수(교신저자)
†† 종신회원 : 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
논문접수 : 2010년 4월 15일
수정일 : 1차 2010년 5월 12일
심사완료 : 2010년 5월 12일

현재까지 에너지를 고려하는 많은 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜이 제안되어 왔으나 대부분의 경우 노드 하나의 입장에서 에너지 효율을 고려하며 네트워크 전체의 관점은 간과하고 있다. 그러나 센서 네트워크는 센서 노드들의 협력 시스템이기 때문에 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜의 설계시에 개개의 센서 노드보다 네트워크 전체의 입장을 고려하는 것이 중요하다. 이러한 배경아래, 센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위하여 에너지 효율성과 관련된 다양한 라우팅 알고리즘들이 제안되었으며, 대표적인 단층기반 라우팅 알고리즘으로 Directed Diffusion[3]과 Energy Aware Routing[4]이 있다.

Directed Diffusion 알고리즘은 데이터를 전송하기 위한 경로 설정 시에 에너지를 최소화하는 방향으로 설계되었다. 따라서 최단거리 경로에 위치한 노드의 에너지만 소비하게 되며, 최단 경로의 노드의 에너지가 빠르게 고갈되어 네트워크 수명이 단축된다. 이러한 라우팅 알고리즘을 사용했을 경우 센서 네트워크의 전체적인 에너지 소모는 최소화할 수 있지만 센서 네트워크의 수명을 최대화 할 수 없다는 단점을 가지게 된다. Energy Aware Routing 알고리즘은 이러한 단점을 보완하기 위해 제안된 것으로 최단 경로의 노드를 선택하지 않고 이웃 노드에 대해서 확률적으로 선택하는 알고리즘이다. 또한, 노드에 남아있는 에너지를 기본으로 확률을 적용하기 때문에 Directed Diffusion 알고리즘보다 첫 번째 노드의 에너지가 고갈되는 수명을 연장시킬 수 있다는 장점을 가진다. 반면, Energy Aware Routing 알고리즘은 확률에 의해 경로를 설정하므로 최단 경로보다 많은 노드를 경유할 수 있으므로 전체적인 네트워크 에너지를 많이 소비한다는 단점을 가지게 된다.

따라서 특정 경로가 단절되기까지를 나타내는 네트워크의 생존시간에서는 Directed Diffusion 알고리즘에 비해 향상되지 않았다[5]. 본 논문에서는 네트워크 전체적으로 각 노드의 균형적인 에너지 소비를 통해 전체 노드들의 에너지 사용률을 균등화하여 센서 네트워크의 에너지 효율을 높일 수 있는 새로운 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 지역적으로 에너지 레벨을 고려해서 주변 노드로의 경로를 결정하며 이때 남아있는 에너지를 측정하는 방식을 사용한다. 시스템 설계는 각 노드의 잔여 에너지와 홉 수를 고려하여 전체 네트워크 측면의 에너지 효율성의 최대화와 Fault tolerance를 갖춘 신뢰성 있는 데이터 전송을 목표로 시스템을 구현한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 센서네트워크의 단층기반 라우팅 알고리즘인 Directed Diffusion과 Energy Aware Routing 알고리즘에 대해서 알아보고, 3장에서는 제안 알고리즘이 적용된 시스템의 설계 부분을 설명한다. 4장에서는 이를 시뮬레이션을 통해 성능분석을 하였고 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구계획을 제시한다.

2. 에너지 효율적인 단층기반 라우팅 알고리즘

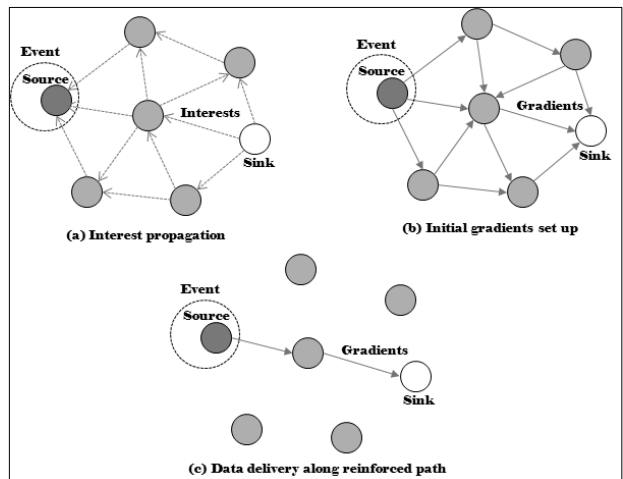
센서 네트워크 내의 모든 센서 노드가 무선 통신 상에서

항상 상호 도달 상태가 아니기 때문에 대부분의 센서 네트워크 노드는 데이터를 수신한 후에 해당 목적으로 재전송해주는 멀티 홉 라우팅 기능을 가지고 있어야 한다. 센서 노드의 에너지 소모 중에 무선 통신에 소모되는 에너지가 매우 크기 때문에, 센서 네트워크에 사용되는 라우팅 알고리즘은 에너지 효율을 고려하여 설계되어야 한다. 다시 말해 데이터를 전송할 때 에너지를 가장 적게 소모하는 경로를 통하여 전송되어야 하며, 또한 망 전체 노드의 에너지 소모가 균등하게 일어나도록 하여 네트워크의 에너지 소모가 일부만에 집중되어 망의 연결성이 사라지지 않도록 해야 한다. 본 장에서는 에너지 효율을 고려하여 설계된 센서 네트워크의 단층기반 라우팅 알고리즘인 에너지 인지기반 라우팅 알고리즘(EAR : Energy-Aware Routing)과 Directed-Diffusion 알고리즘에 대해 알아본다.

2.1 Directed Diffusion [3]

Directed Diffusion 알고리즘은 기존 센서 네트워크 라우팅 알고리즘의 하나로 세 가지 단계를 거쳐 센싱된 데이터를 전송하게 된다. 첫째 단계는 (그림 1)의 (a)와 같이 정보를 수집하는 노드가 수집하고자 하는 센싱 정보 특성(interest)을 망 전체의 센서 노드들에게 방송 형태로 전달하는 단계이다.

센싱 정보 특성을 전송할 때는 플러딩(flooding) 알고리즘을 사용하여 망 전체로 방송되거나, 원하는 특정 센서 노드 방향으로 전송된다. 둘째 단계는 (그림 1)의 (b)와 같이 센싱 정보 특성을 전달하는 중간 노드들이 센싱 정보 특성을 전송한 직전 노드의 정보를 자신의 라우팅 정보인 그라디언트(gradient)로 저장하는 단계이다. 이 그라디언트는 추후에 센싱 데이터를 전송할 때 정보 수집 노드를 향하여 올바르게 전송할 수 있도록 하는 라우팅 정보 역할을 한다. 이러한 과정을 거쳐 센싱 정보 특성 데이터가 센싱 노드에게까지 전달되고 센싱 노드로부터 정보수집 노드까지 다중의 경로를 생성한다. 셋째 단계는 센서 노드가 센싱한 데이터를 다



(그림 1) Directed Diffusion 알고리즘 동작과정

중 경로로 전송하게 되면 정보수집 노드가 가장먼저 도착한 센싱 데이터를 보고 가장 좋은 경로를 선택하여 계속적으로 사용하기 위해 (그림 1)의 (c)와 같이 해당 경로를 주로 사용할 수 있도록 하는 경로 강화(reinforcement) 단계이다. 이 단계를 거치고 나면 생성된 다중 경로 중에서 에너지를 가장 적게 소모하는 최적 경로만이 데이터를 전송하게 되고 나머지 경로는 사용하지 않게 된다. 이러한 방법으로 Directed Diffusion 알고리즘은 센서 노드로부터 정보수집 노드까지 가장 적은 에너지를 사용하는 경로를 사용함으로써 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘을 구현하게 된다.

Directed Diffusion 알고리즘은 이와 같이 센서 네트워크 전체적으로 볼 때는 가장 에너지를 절약하는 방법이지만 최단 경로가 지나치게 많이 사용됨으로써 에너지가 고갈되어 최단 경로상의 센서 노드들이 기능을 하지 못하게 되어 전체적으로는 센서 네트워크가 양분되어 정보 전달을 하지 못하는 현상이 발생하므로 네트워크 생존 기간이 짧아지는 단점을 가진다.

2.2 Energy Aware Routing [4]

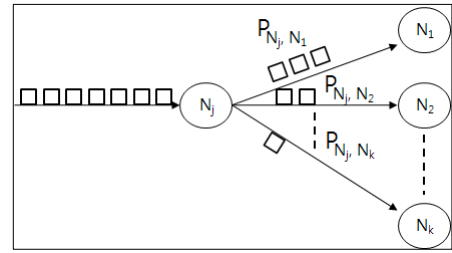
EAR은 기존 센서 라우팅 알고리즘 중 효율성뿐만 아니라 네트워크의 생존 시간을 증가 시키는 알고리즘이다. EAR은 센싱 정보 특성(Interest)을 전송할 때 중간 노드가 주변 이웃 노드의 남아 있는 에너지와 송수신 간의 소비되는 에너지 같은 정보를 저장하고 있다가 실제로 센싱 데이터를 전송할 때 이러한 정보를 이용하여 확률적으로 정보를 전송할 이웃 노드를 결정함으로써, Directed Diffusion과 같이 한 경로만을 계속 사용하여 에너지를 고갈시키도록 동작하지 않고 이웃 노드를 비교적 골고루 사용함으로써 에너지 소모가 최소는 아니더라도 센서 네트워크 전체의 망 생존 시간을 크게 늘릴 수 있는 알고리즘이다. [3]에서 제시한 시뮬레이션 결과를 보면 Directed Diffusion 알고리즘보다 첫 번째 노드가 죽을 때까지의 생존 시간은 약 40%정도 연장시키고 있다. EAR 알고리즘에서는 특정 노드 j 가 정보 전달을 위해 이웃노드 i 를 선택하는 P_{N_j, N_i} 확률은 다음과 같다.

$$P_{N_j, N_i} = \frac{1/C_{N_j, N_i}}{\sum_{k \in FT_j} 1/C_{N_j, N_k}} \quad (1)$$

위 식(1)에서 $C_{j, i}$ 는 노드 j 와 노드 i 사이의 비용(cost)으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_{j, i} = e_{j, i}^\alpha R_i^\beta \quad (2)$$

위 식(2)에서 $e_{j, i}$ 는 노드 j 와 노드 i 사이에 데이터를 송수신할 때 소모하는 에너지이고, R_i 는 노드 i 의 잔류 에너지이다. 그리고 α, β 는 상수로써 필요에 따라 적절한 값으



(그림 2) EAR 알고리즘의 데이터 전송방식

로 선택할 수 있다.

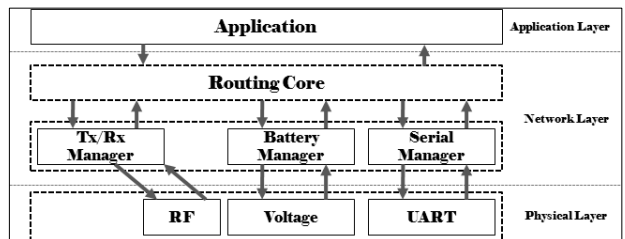
(그림 2)는 EAR 알고리즘으로 노드 j 에서 이웃 노드로의 데이터를 전송하는 방식을 보여주는 것이며, k 의 이웃 노드 중 $C_{j, i}$ 의 값이 높을수록 선택할 확률이 높게 된다. 이와 같은 EAR알고리즘은 확률적으로 이웃 노드를 선택하기 때문에 특정한 노드의 에너지를 고갈시키지 않아서 망의 수명을 연장시킬 수 있지만, 각 노드마다 계속 확률적으로 계산된 이웃 노드를 선택하기 때문에 계산양이 많고 데이터 전송에서 루프가 발생하여 에너지를 낭비할 수 있으므로 Directed Diffusion 알고리즘보다 실제로 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 이로 인해 첫 번째 노드가 죽을 때까지의 망 생존 시간은 연장할 수 있지만, 센싱 노드와 데이터 수집 노드 사이의 경로가 단절되는 시간까지의 망 생존 시간에 대해서 개선되지 않는 단점을 가지고 있다.

3. 에너지 효율성을 고려한 라우팅 프로토콜

3.1 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 시스템의 전체구성은 (그림 3)에 보이는 바와 같이 응용계층, 라우팅코어계층, 관리 계층(송/수신 큐 관리, 전력 관리, 시리얼통신 관리), 물리계층으로 구성된다.

(그림 3)에서 응용계층은 라우팅코어계층에서 제공하는 API 인터페이스를 통해 쿼리를 전송하고 데이터를 센싱하는 주기를 설정한다. 라우팅코어계층은 본 논문의 핵심 부분으로 송수신 큐관리 계층을 통해 RF단으로 송/수신할 패킷을 큐에 등록하고, 큐에 등록된 패킷은 큐관리 계층에서 일정주기로 물리계층의 전송단으로 전달한다. 전력관리 컴포넌트는 물리계층의 전력 컴포넌트로부터 전달받은 전압값을 배터리 정보로 변환하여 일정하게 유지하는 주기를 설정



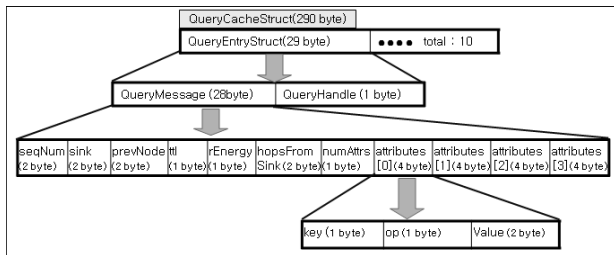
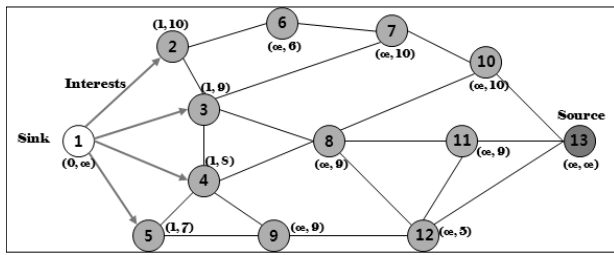
(그림 3) 시스템 전체구성도

하며, 시리얼통신 컴포넌트를 통해 UART로 PC와의 시리얼 통신을 담당한다.

무선센서네트워크를 위한 라우팅 프로토콜의 설계 시에는 가장 먼저 에너지 소비의 최소화를 고려해야 한다. 특히, 배터리의 한계 때문에 네트워크의 수명을 최대화하기 위한 방법이 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 각 노드에서의 수명을 최대화하는 방법으로 잔여 에너지가 가장 높은 경로로 데이터가 이동하도록 설계한다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 기존의 Directed Diffusion방식의 라우팅 프로토콜을 변형하여 쿼리 메시지 패킷 안에 싱크 노드로부터의 홉 수와 전송하는 노드의 잔여 에너지를 담아 전송한다. 메시지를 받은 중간 노드들은 자신의 이웃노드 리스트 테이블에 메시지를 보낸 모든 노드들에 대한 홉 수와 잔여 에너지를 유지하게 된다. 센서 노드에서 습득된 데이터는 중간 노드의 이웃노드리스트 테이블을 비교한 뒤 홉 수와 잔여 에너지를 고려하여 싱크 노드 방향으로 유니캐스트를 하게 된다.

3.2 라우팅 프로토콜

본 논문에서 제안한 시스템의 구현을 위하여 네 가지 메시지를 정의하였으며, 이들은 쿼리 메시지, 이웃노드 리스트 설정 메시지, 데이터 전송 메시지 그리고 경로복구 메시지로 구성된다. 각 메시지의 구조는 다음의 각 그림에서 보이며 영역에 대한 설명은 기술된 설계과정에서 소개된다. 먼저 싱크노드에서 관심이 있는 센서노드에 대한 정보를 담아 쿼리 패킷을 확산한다. 이 패킷에는 쿼리를 보낸 노드의 잔여 에너지와 홉 수, 이전노드, TTL 정보 등이 저장된다. (그림 4)의 (a)에서와 같이 싱크(Sink)노드는 전원을 공급받는 상태이므로 잔여에너지는 무제한이며 2, 3, 4, 5번 노드가 쿼리 패킷을 담아 보내게 될 자신의 잔여 에너지는 각각 10, 9, 8, 7이 될 것이다.



(그림 4) 쿼리 패킷 확산 및 쿼리 캐시 패킷 구조

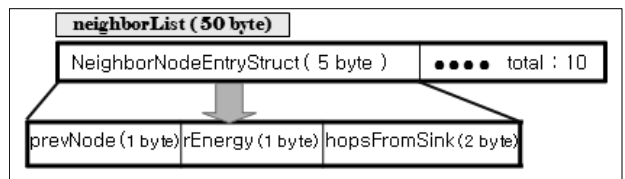
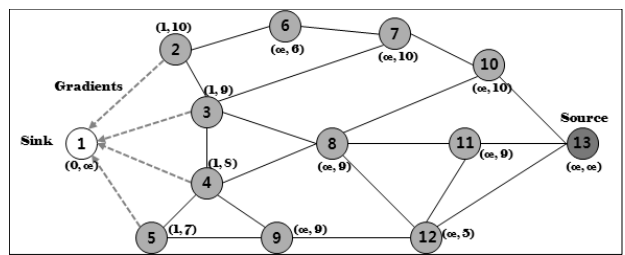
(그림 4)의 (b)는 쿼리 캐시와 캐시 내에 포함되는 쿼리 패킷의 구조를 보이며, 쿼리 캐시는 최대 10개의 쿼리 패킷을 저장할 수 있도록 구성한다.

쿼리 패킷을 받은 노드는 패킷을 보낸 노드들의 정보를 테이블로 유지하며, 테이블에는 패킷을 보낸 노드의 잔여 에너지를 포함한다. 이 정보를 이용하여 데이터 전송 시 다음 노드까지의 경로를 결정하게 된다. 노드는 들어온 패킷의 홉 수에 1을 더하여 자신의 노드 홉 수를 유지하며 더 작은 홉 수를 포함하는 패킷의 수신시에는 노드의 홉 수를 갱신한다.

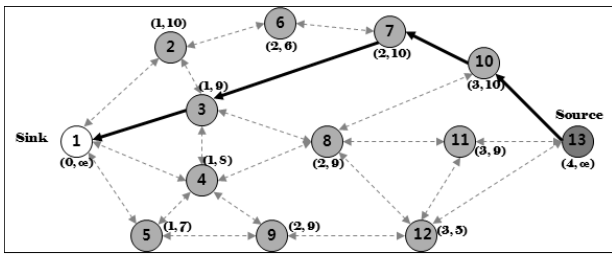
다음의 (그림 5)의 (a)는 이웃노드 리스트 설정을 위한 그라디언트(gradient) 과정을 보이며, (b)는 이웃노드 리스트 설정 시 사용되는 패킷의 구조를 나타낸다. 이 리스트는 최대 10개의 이웃노드 정보를 유지한다.

이웃노드가 모두 설정되고 쿼리 패킷이 목적지 노드까지 도달하면 목적지 노드는 주기적으로 데이터를 싱크 노드로 전송한다. 전송은 (그림 6)의 (a)와 같이 유니캐스트로 이루어지는데 목적지 노드는 자신의 이웃노드 리스트 테이블에 있는 주변 노드에 대한 정보를 통해 다음 경로의 노드를 결정한다. 이때, 잔여 에너지와 홉 수를 고려하여 싱크 노드 방향으로의 데이터 전송이 이루어진다. 다음 (그림 6)의 (b)에 데이터 캐시와 데이터 캐시 내에 포함되는 데이터 패킷의 구조를 보인다. 그림에서 보이는 바와 같이 데이터 캐시는 최대 7개의 데이터 패킷을 저장할 수 있다.

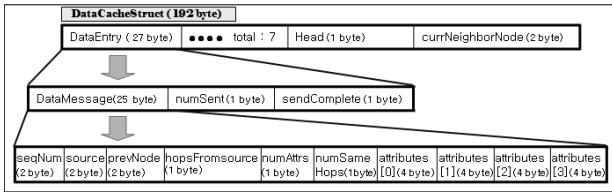
데이터 전송 중 경로 상의 다음 노드로부터 응답 메시지를 계속해서 받지 못하는 경우 경로의 단절이 발생한 것으로 간주하여 경로 복구 단계를 수행한다. 스스로부터 전송된 데이터 패킷은 노드의 데이터캐시에 저장이 되는데 패킷을 받은 노드가 응답패킷을 보내게 되면 응답 패킷을 받은 노드는 자신의 데이터캐시에 데이터전송이 완료되었음을 기록한다. 이때 각 패킷의 전송완료 여부를 확인하여 재전송을 수행한다. 재전송 수행 후에도 응답이 없을 경우 해당



(그림 5) 이웃노드 리스트 설정

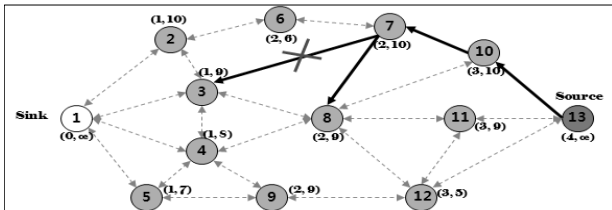


(a) 데이터 전송 경로설정

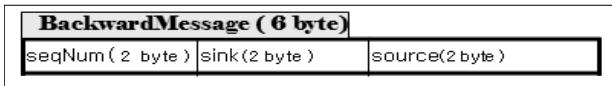


(b) 데이터 캐시 및 데이터 패킷 구조

(그림 6) 데이터 전송



(a) 경로의 전환



(b) 백워드 메시지 구조

(그림 7) 경로 복구

노드로의 전송이 완전히 실패한 것으로 간주하고 해당 노드를 테이블에서 삭제 후 차기 노드를 선택한다. 차기 노드의 선택이 실패하게 되면 이웃노드가 주변에 존재하지 않으므로 이전 노드로 재전송 알고리즘과 동일한 방법으로 (그림 7)의 (b)와 같이 백워드(backward) 패킷을 보낸다. 백워드 메시지는 메시지를 전달받은 노드의 테이블 정보와 매치 여부를 판단하기 위해 경로 복구를 위한 최소한의 정보만을 패킷에 담아 전달한다. 경로단절을 인식한 노드는 이웃노드 리스트 테이블의 정보 중 해당 노드를 제거하고 (그림 7)의 (a)와 같이 차선의 노드로 전송한다. 테이블 내에 차선 노드가 없을 경우 패킷을 보낸 이전 노드에 알려 경로를 수정한다.

3.3 노드별 잔여에너지 측정

노드 에너지 측정은 노드 자체로 측정 가능한 배터리 전압을 노드의 에너지로 가정하고 TinyOS에서 컴포넌트로 만들어 측정한다. 전압 측정은 내부 아날로그 디지털 변환기(ADC)를 사용하여 측정하며 계산을 위해 아날로그 입력전압(VIN)으로 1.23V를 사용하여 식(3)과 같이 측정한다.

```

Data : Size of FIFO queue, n, and exponentially
       weighted moving average weight, α
Result : f, an estimate of the noise floor
f ← Voltage;
q ← new FIFO queue of size n;
while node is on do
  if (end of packet transmission) or (timer fired) then
    if (node is idle) then
      data ← Voltage;
      dequeue(q);
      enqueue(q, data);
      m ← median(q);
      f ← αf + (1 - α)m;
    end
  end
end
    
```

(그림 8) 전압 임계값 측정 알고리즘

$$ADC = VIN * 1024 / VREF \quad (3)$$

식(3)에서 아날로그 입력전압(VIN)은 1.23V이고 VREF는 배터리 전압이 된다. 따라서 이식을 정리하면 식(4)와 같이 된다.

$$ADC / 1024 = 1.23 / VREF \quad (4)$$

즉, 배터리 전압에 따른 10비트의 ADC값을 출력하게 되며, 따라서 배터리 전압(VREF)은 다음의 식(5)로 구할 수 있다.

$$VREF = 1.23 * 1024 / ADC \quad (5)$$

전압 임계값 유지 알고리즘은 TinyOS의 B-MAC에서 사용하는 노이즈 플로어(noise floor) 측정 알고리즘과 유사한 방식으로 설계한다. 전압 측정은 노이즈 플로어와 마찬가지로 네트워크 내의 채널이 데이터의 전송 등으로 바쁜 상태가 아닐 경우 이루어지며 알고리즘 동작은 (그림 8)에 보인다.

(그림 8)에서 전압 측정은 채널이 클리어 상태라고 판단 되었을 때 측정이 이루어지며 측정된 값은 FIFO큐를 이용하여 관리 한다. 측정된 장비의 탄력성을 위해 큐로부터 중간 샘플 값을 취하고, 지수적인 가중치를 가지는 계수 α를 사용하여 계산한 전압 측정값을 업데이트한다. 즉, 센싱된 배터리 값을 큐에 저장한 후, 기존 배터리 값과 큐의 평균 값을 이용하여 새로운 배터리 값을 산출하게 된다. 측정된 노드의 잔여 에너지는 일정한 단계의 등급으로 나누어지며 각 노드는 자신의 잔여 에너지가 특정 단계의 등급 이하로 떨어질 때마다 이웃 노드에 단일 홉 전송을 통해 잔여 에너지를 담은 패킷을 전송한다. 패킷을 전달 받은 이웃 노드는 자신의 이웃노드 리스트 테이블의 내용을 업데이트 한다.

4. 실험 결과 분석

본 장에서는 기존의 단층기반 센서 라우팅 알고리즘과 제안 알고리즘에 대해 C++를 이용하여 시뮬레이터를 구현하

였으며, 기존의 센서 네트워크 라우팅 알고리즘과 노드의 균형성(balancing) 및 공평성(fairness), 패킷량 및 홉 깊이별 잔여에너지 평균 값 등에 대해 성능평가를 수행한다.

4.1 실험환경

실험환경은 <표 1>과 같이 구성하였으며, 1,000m x 500m의 영역 내에 102개의 센서 노드들을 (그림 9)와 같이 격자 모양으로 50m 간격을 두고 분포하였다.

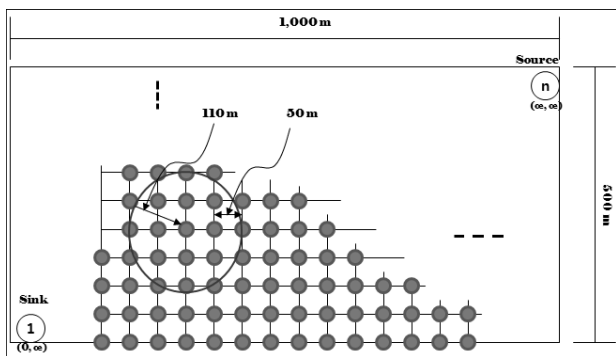
각 노드의 에너지 소모에 대해서는 다음과 같은 간단한 모델링을 취하였다. 패킷의 무선 송신 및 수신회로 구동을 위하여 50n.J/bit의 에너지를 소모하며, 만족할만한 수신 데이터 품질을 위해 필요한 거리에 따르는 송신 증폭에너지는 150p.J/bit/m²로 두었다. 따라서 n-bit 메시지를 거리 d meter 만큼 전송하기 위한 전송에너지(E_{tx})는 식(6)과 같으며, 동일한 메시지의 수신에너지(E_{rx})는 식(7)과 같다.

$$E_{tx} = 50n.J/bit \times nbit + 150p.J/bit/m^2 \times nbit \times d^2 \quad (6)$$

$$E_{rx} = 50n.J/bit \times nbit \quad (7)$$

<표 1> 실험환경 설정을 위한 파라미터 및 정의

파라미터 이름	파라미터 정의	설정 값
N	센서노드의 개수	102
R	무선통신 거리	110m
Width	망 영역(가로)	1000m
Height	망 영역(세로)	500m
Up	MAC 파라미터 (재전송 허용회수)	7
BACKOFF_RANGE	충돌 시 최대 backoff 기간	5
B	센서노드 내 이웃테이블 용량	16
Q	센서노드 내 버퍼 용량	4
rec_energy	수신회로 구동 에너지	50n.J/bit
tx_energy	송신회로 구동 에너지	150p.J/bit/m ²
listen_energy	채널 감지회로 구동 에너지	50n.J/bit



(그림 9) 실험 토폴로지

4.2 노드의 균형성 및 공평성

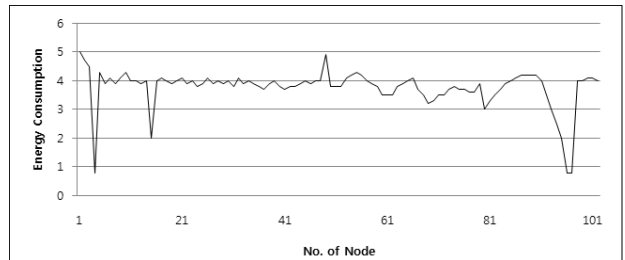
제안 알고리즘은 빠르게 데이터를 받아오는 것에 중점을 두지 않고 전체 네트워크의 수명에 보다 중점을 두었기 때문에 데이터를 받아오는 지연정도 보다는 전체 네트워크를 어떻게 공평하게 사용하는 가에 중점을 두었다. 따라서 데이터 송신 시 패킷이 여러 경로를 통하여 데이터를 보내는 것이 중요하다.

(그림 10)은 전체 노드의 에너지 소모정도를 측정한 값으로 x축은 노드 번호를 의미하며, y축은 노드가 소비한 에너지 정도를 나타낸다. 결과에서 보여 지듯이 각 노드의 에너지 소모정도는 전체적으로 고른 분포를 보이고 있다. 그러나 노드 5번과 노드 96, 97번에서 낮은 에너지 소비를 보이고 있는데, 이것은 네트워크 토폴로지에서 위치가 구석에 있어 경로선택에서 제외되었기 때문이다.

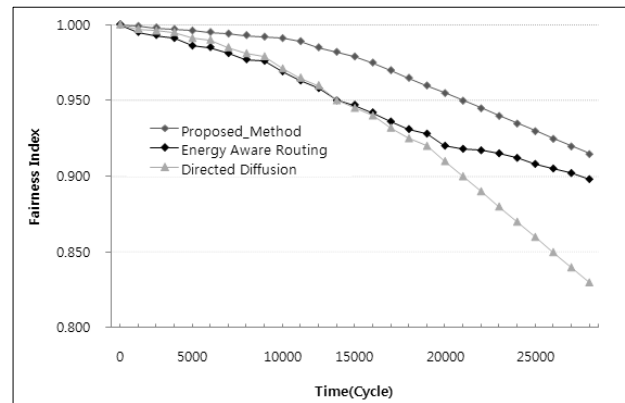
공평성 지표(fairness index)는 어떤 특정한 값이 골고루 분포된 정도를 표시하는 지표로서, 해당 값이 모두 같을 경우 1이 되고 서로 다른 값을 가질수록 0으로 떨어진다. 공평성 지표에 대한 계산식은 식(8)과 같이 정의된다[6].

$$fairnessindex = \frac{(\sum_{k \in all} R_k)^2}{n \sum_{k \in all} R_k^2} \quad (8)$$

(그림 11)은 수집노드와 센싱노드를 제외한 나머지 노드에 남은 에너지에 대한 공평성 지표를 일정 간격으로 나타낸 그래프로써 모든 시간에 대해서 제안 알고리즘이 기존 DD, EAR 알고리즘에 비해 향상되었음을 알 수 있다. 이는



(그림 10) 노드의 균형성 측정



(그림 11) 노드의 공평성 지표 비교

전압측정 기법에서 등급을 나누어 남은 에너지가 많은 노드를 대상으로 경로를 설정하기 때문에 센싱노드와 수집노드 사이의 경로에 존재하는 노드의 에너지가 고르게 되며, 따라서 공평성 지표가 높게 나타나는 것을 실험을 통해 알 수 있으며 이를 통해 노드 에너지가 골고루 사용되어 망의 신뢰성이 높아지는 것을 볼 수 있다.

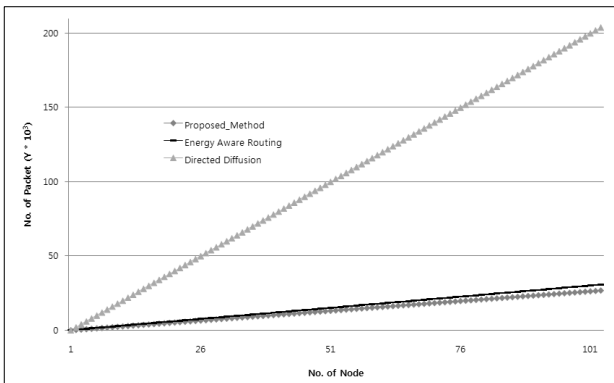
4.3 노드별 전송 패킷량 및 홉 깊이별 잔여 에너지 평균값 비교

제안 알고리즘의 노드별 전송 패킷량 비교를 위해, 최조 경로설정과 단 한번만 보내진 데이터에 대해서 모든 노드들이 전송한 전체 패킷량을 각각의 알고리즘별로 비교 평가하였다. 실험 결과에서 x축은 네트워크의 크기 즉, 노드의 총 개수를 의미하며 y축은 이에 따른 전체 패킷량의 증가를 의미한다.

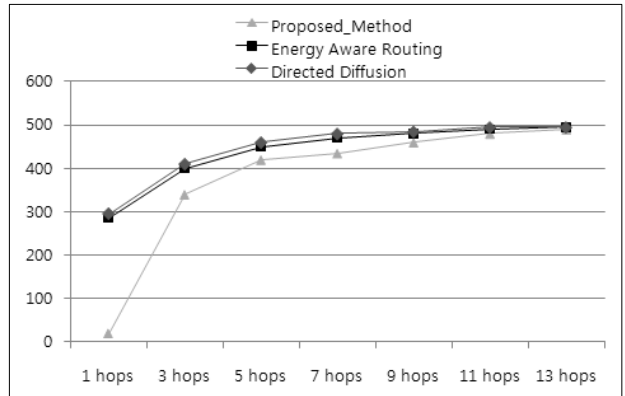
(그림 12)에서 Directed diffusion 알고리즘의 경우 플러딩과 함께 경로 강화 과정을 거치고 또한 느린 주기에 의한 데이터 전송까지 포함하고 있으므로 많은 패킷량이 전송됨을 보이고 있다. EAR의 경우 플러딩과 단일 경로 데이터 전송은 본 논문에서 제안하는 방식과 같으나 패킷 형태에서 크기 차이로 인한 패킷량 증가를 보이고 있다.

각 노드별 에너지 소모량의 비교를 위해, 관리 노드로부터 홉 깊이가 같은 노드들이 에너지 잔량이 0이 되는 노드가 발생하는 시점에서 갖는 에너지 잔량의 평균값을 홉 별로 (그림 13)에 보이며, 라우팅 방식간의 성능을 비교하였다.

(그림 13)에서 볼 수 있는 것은 관리노드에 가까울수록 에너지 소모량이 증가하며, 이는 관리노드로 데이터의 전송이 집중되는 센서 네트워크의 전형적인 특징이며, 지수적인 증가를 확인하였다는 점이 주목할 만하다. 라우팅 방식간의 비교를 보면, 제안 알고리즘의 경우 가장 에너지의 소비가 많은 것으로 나타나며, 이는 네트워크 수명과 연관 지어 평가되어야한다. 제안 알고리즘의 경우 관리노드에 인접한 노드들의 에너지가 모드 고르게 대량 소모되었음을 확인할 수 있는 반면, DD나 EAR알고리즘의 경우 특정 노드에서만 에너지의 대량 소비가 발생하고 그 외의 노드에서는 에너지 소비가 상대적으로 많지 않음을 확인할 수 있었다. 이는 테



(그림 12) 노드별 전송 패킷량



(그림 13) 홉 깊이별 잔여에너지 평균값

이터 경로설정에서 있어 제안알고리즘이 가장 분산효과가 좋고, 이러한 분산효과는 전체 네트워크의 수명과 직접적인 연관을 갖는다. 따라서 제안 알고리즘은 에너지의 균등한 소모 특성을 제공하며 우수한 네트워크 수명을 확보할 수 있는 방안으로 평가된다.

5. 결론

지금까지 무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 측면을 고려하여 에너지와 홉 수에 기반 한 라우팅 프로토콜에 대해 소개하였다. 특히, 에너지가 일정 등급 이하로 낮은 배터리의 이웃노드로의 알림은 낮은 잔여 에너지를 가진 노드의 과다 사용을 막으면서 라우팅 업데이트를 증강시키기 위해 도입되었다. 네트워크 생존 가능성은 네트워크 프로토콜의 효능을 결정하기 위한 매우 중요한 척도이다. 네트워크 전체적으로 균형적인 노드의 에너지 소비를 통해 전체 센서 노드의 에너지 사용률을 균등화하여 센서 네트워크 전체의 에너지 효율을 높이는 것이 본 논문의 핵심이다. 본 논문에서 제안한 시스템은 네트워크 수명이 장기간 보장되어야 하는 외부 환경 모니터링 등과 같은 영역에서 사용되면 우수한 성능을 보일 것으로 기대한다. 또한 센서 네트워크상의 에러 복구 능력은 일부 노드의 갑작스런 변화에도 빠르게 대응할 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] Wei ye, John Heidemann, and Deborah Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.12, No.3, June, 2004.
- [2] Praveen Rentala, and Ravi Musunuri, "Survey on Sensor Networks," University of Texas at Dallas, Tech.Report # UTDCS-10-03, 2001.
- [3] C.Intanagonwivat, R.Govindan and D.Estrin, "Directed Diffusion for wireless sensor networks," IEEE/ACM Transactions, Vol.11, pp.2-16, Feb., 2003.

[4] R.C Shah and J.M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," IEEE WCNC 2002, Vol.1, pp.350-355, Mar., 2002.

[5] 황안규, 이재용, 김병철, "센서 네트워크를 위한 최대 잔류 에너지 제한 Directed Diffusion 라우팅 알고리즘의 설계 및 성능분석", 한국통신학회 2005, Vol.30 No.11A, pp.995-1003, May, 2005.

[6] R.Jain, D.Chiu, and W.Hawe, "A Quantitative Measure Of Fairness And Discrimination For Resource Allocation In Shared Computer Systems," DEC Research Report TR-301, Sep 1984.

[7] J.Kim, B.Chea, and D. Jeong, "Energy enhancement on query processing via table usage in wireless sensor networks," 한국통신학회 하계학술대회논문집, June, 2005.

[8] T. Melodia, D. Pompili, and I. F. Akyildiz, "On the independence of distributed topology control and geographical routing in ad hoc and sensor networks." IEEE J. on Sel. Areas in Commun. Vol.23, No.3, pp.520-532, Mar.2005.

[9] J. Liu, F. Zhao, and D. Petrovic, "Information-directed routing in ad hoc sensor networks," IEEE J. on Sel. Areas in Commun. Vol.23, No.4, pp.851-861, April, 2005.

[10] 김성훈, 이상목, 양현, 박창운, "이동싱크 환경에서 사전 경로설정과 가지치기를 이용한 Directed Diffusion의 에너지 소모 개선", 정보과학회 논문지:정보통신 제35권 제1호, 2008년 2월.

[11] 김열상, 김현수, 전중남, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 라우팅 트리구축 알고리즘", 정보처리학회논문지 D 제16-C권 제6호, 2009년 12월.

[12] 김은경, 서재원, 채기준, 최두호, 오경희, "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성과 보안성을 제공하기 위한 클러스터 기반의 Tributaries- Detas", 정보처리학회논문지C 제15-C권 제5호, 2008년 11월.

[13] 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 전송을 위한 스케줄링/MAC 통합 프로토콜, 한국통신학회논문지 Vol. 33 No.4, 2008년 4월.



이 명 섭

e-mail : skydream@ync.ac.kr

1996년 경일대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 1998년 영남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
 2003년 영남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
 2001년~2002년 경동정보대학 인터넷정보
 계열 전임강사

2003년~2006년 영남대학교 전자정보공학부 연구교수
 2008년~현 재 영남이공대학 컴퓨터정보계열 조교수
 관심분야: 통신망관리, 애드혹 네트워크, 센서네트워크, 영상처리 등



박 창 현

e-mail : park@yu.ac.kr

1986년 경북대학교 전자공과(공학사)
 1988년 서울대학교 계산통계학과 전산학전
 공(이학석사)
 1992년 서울대학교 계산통계학과 전산학전
 공(이학박사)

1992년~1993년 서울대학교 컴퓨터신기술공동연구소 특별연구원
 1998년~1999년 University of Maryland, Institute of Advanced
 Computer Systems, Visiting Researcher
 1993년~현 재 영남대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야: 인공지능, 데이터마인닝, 에이전트, 지능형 망관리 시스템, 무선 센서네트워크