

# 무선 센서 네트워크에서 에너지를 고려한 효율적 라우팅 기법

진정우\*, 조치우\*, 한기준\*  
\*경북대학교 컴퓨터공학과  
e-mail : [deux8@netopia.knu.ac.kr](mailto:deux8@netopia.knu.ac.kr)

## Efficient Routing Scheme Considering Energy in Wireless Sensor Network

Jung-Woo Jin\*, Chi-Woo Cho\*, Ki-Jun Han\*  
\*Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

### 요 약

무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드들은 에너지가 제한되기 때문에 에너지 소비는 중요한 이슈다. 센서 네트워크에서 최단경로를 찾거나 이웃들의 에너지 정보를 알기 위한 주기적인 제어 메시지의 교환은 불필요하게 에너지를 소모하게 만든다. 본 논문에서는 불필요한 전송과 오버헤드를 줄이기 위해 제어 메시지의 교환 없이 에너지를 고려한 효율적 라우팅 기법을 제안한다. 시뮬레이션 결과 별도의 제어 메시지 교환이 없을 때 에너지가 더 절약되었다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크에서 싱크의 에너지는 제한되지 않는다. 반면에 각 센서 노드들의 에너지는 배터리를 사용하므로 제한된다. 그러므로 센서 네트워크에서 노드들의 에너지 소비는 중요한 문제다.

센서 네트워크 라우팅의 목적은 에너지 효율적인 경로를 찾고 노드들로부터 싱크로 데이터의 신뢰성 있는 전달과 에너지의 효율적인 사용하여 네트워크의 라이프타임을 최대화하는 것이다.

에너지를 효율적으로 소비하면서 센서 네트워크를 오래 유지 하기 위한 많은 라우팅 기법들이 연구 되고 있다. [1]에서는 두 가지 기법을 제안하고 있다. 첫째는 모든 센서노드들이 싱크로 데이터를 전송하기 위해 그들이 정한 최대 값을 가지는 최단거리를 선택 하는 것이고, 둘째는 트래픽을 공유하기 위해서 라우팅 경로를 스위칭하는 것이다. [2]에서는 싱크로 데이터를 전송하기 위한 여러 경로 중 하나를 선택 할 때 이웃 노드들의 에너지 정보를 고려하여 선택하는 것이다. [3] 라우팅 사이클 동안 클러스터의 게이트웨이 가 클러스터 내의 노드들의 에너지 정보를 모아서 각 노드들의 상태를 결정한다. 이러한 방법들은 에너지 정보와 같은 제어 메시지와 최단거리를 갱신하기 위

한 메시지를 주기적으로 교환 하게 된다. 그 결과 각 노드들은 불필요한 메시지 전송에 의해 많은 에너지를 소모 하게 된다.

우리는 싱크로 데이터를 전송하기 위한 여러 경로 중 에너지 효율적인 하나의 경로를 선택하고 에너지 정보를 전송하기 위한 제어 메시지의 전송을 줄이는 에너지를 고려한 효율적 라우팅 기법을 제안 한다. 에너지 정보의 교환을 줄이기 위해 [1]에서와 같이 에너지 정보를 데이터에 포함하여 전송한다. 그리고 효율적 라우팅을 위해 각 노드는 전방향 리스트와 후방향 리스트를 관리한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1 장 서론에 이어 2 장에서는 관련 연구를 소개하고, 3 장에서는 제안하는 기술이 상세 내용을 기술하며, 4 장에서는 시뮬레이션 결과를 보여주고, 5 장에서는 결론으로 끝맺음 하였다.

### 2. 관련 연구

센서 네트워크에서 모든 데이터 패킷은 이벤트를 감지하는 노드들로부터 싱크로 보내지게 된다. 이때 노드들은 라우팅 알고리즘을 사용하여 능률적인 경로를 찾는다. 센서 노드들의 에너지가 제한 되어 있기 때문에 일반적으로 에너지 능률적인 라우팅들이 많다.

논문 [1]에서는 두 가지 기법을 제안하고 있다. 첫째는 모든 센서노드들이 싱크로 데이터를 전송하기 위해 그들이 정한 최대 값을 가지는 최단거리를 선택하는 것이고, 둘째는 트래픽을 공유하기 위해서 라우팅 경로를 스위칭하는 것이다. 이 기법은 우수한 로드 밸런싱을 보여준다. 하지만 싱크는 홉 카운트를 갱신하기 위해 주기적으로 폴 메시지를 브로드캐스트 해야 한다. 논문 [2]에서는 그물 구조의 여러 경로를 가지는 라우팅 기법으로 혼잡을 감소 시키고, 에너지 능률과 데이터 전달의 신뢰성을 개선 하였다. 이 기법 또한 싱크까지의 홉 카운트를 갱신할 필요가 있다. 즉 센서 네트워크의 모든 노드들은 주기적으로 불필요한 에너지를 소모하게 된다는 것이다. 논문 [3]에서는 라우팅 사이클 동안 클러스터의 게이트웨이가 클러스터 내의 노드들의 에너지 정보를 모아서 각 노드들의 상태를 결정한다. 에너지 정보를 알기 위한 주기적인 제어 메시지들도 각 노드들이 불필요한 에너지를 소모하게끔 할 수 있다.

에너지를 능률적으로 사용하는 라우팅에서 멀티 홉 라우팅에서의 한 노드는 홉 카운트를 줄이기 위해서 최단거리의 경로를 찾거나 홉 레벨을 관리 한다 [1][2][4]. 최단거리의 경로를 계속 사용하다 보면 경로 상의 노드들은 에너지는 더욱 많이 소모 될 것이고 가장 빨리 소멸 될 것이다. 그러므로 주기적인 경로의 갱신이 필요 하다.

### 3. 에너지를 고려한 효율적 라우팅 기법

우리가 제안하는 기법은 이벤트 기반의 여러 경로를 가지는 라우팅 기법이다. 센서 네트워크의 각 노드들은 자신의 위치를 GPS 또는 다른 위치기반 시스템들에 의해서 알고 있다고 가정 한다.

먼저 네트워크의 구성 절차와 라우팅 리스트의 구성이 어떻게 이루어지는지 설명 한다. 최초 네트워크가 구성될 때 싱크는 자신의 정보를 이웃 들에게 브로드캐스트 한다. 브로드캐스트 된 메시지를 수신한 노드는 자신의 정보와 싱크의 정보를 이웃들에게 브로드캐스트 한다. 이렇게 이웃들로부터 받은 메시지를 참조하여 각 노드는 두 가지 형태의 리스트를 구성한다. 만약 노드 자신보다 이웃노드가 싱크와 더 가깝다면 전방향 리스트에 노드를 추가한다. 반대로 만약 노드 자신보다 이웃노드가 싱크와의 거리가 더 멀다면 후방향 리스트에 노드를 추가한다. 모든 노드가 한번씩 이웃정보 메시지를 브로드캐스트 했을 때 네트워크 구성 단계는 끝나게 되고 그 후 각 노드는 환경을 감시하고 싱크로 데이터를 전달하는 일을 수행 한다.

이벤트가 발생 했을 때 노드는 데이터 패킷을 전송하기 위해서 우선 전방향 리스트에서 여러 이웃노드들 중 남은 에너지가 가장 많은 이웃노드 하나를 결정 한다. 만약 전방향 리스트에 사용 가능한 에너지가 남은 이웃노드가 없다면, 후방향 리스트를 참조하게 된다. 데이터 패킷은 한 홉 뒤쪽 방향으로 전달 되고 데이터 패킷을 전달 받은 후방향 리스트의 이웃노드는 자신의 전방향 리스트에서 싱크로의 또 다른 라우팅 경로를 찾는다. 결과 앞쪽 방향으로 라우팅 할 수

없을 때 뒤쪽으로 물러나 다시 라우팅 경로를 찾는 효율적 라우팅을 하게 된다.

### 3.1 이웃노드 감지

센서 네트워크에 센서가 배치 된 후 네트워크를 구성하기 위해 싱크는 Neighbor Discovery(ND)메시지를 원 홉 이웃들에게 브로드캐스트 한다. 표 1 은 ND 메시지의 구조를 보여준다. ND 메시지를 수신한 노드는 두 번째와 세 번째 필드에 각각 자신의 위치 정보와 남은 에너지 정보를 기록하고 다시 이웃노드들에게 ND 메시지를 브로드캐스트 한다. 각 노드는 단 한번씩만 브로드캐스트 한다.

<표 1> ND 메시지 정의

| 필드 인덱스 | 1    | 2        | 3      |
|--------|------|----------|--------|
| 필드 내용  | 싱크위치 | 노드자신의 위치 | 남은 에너지 |

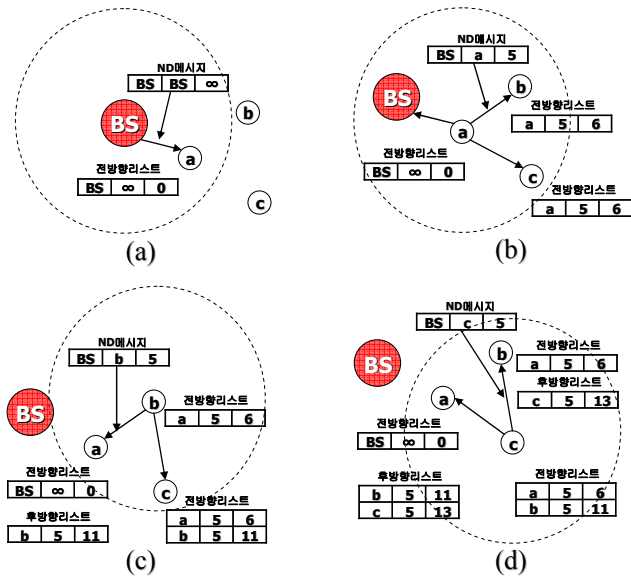
노드는 ND 메시지를 수신 했을 때 ND 메시지를 기반으로 전방향리스트와 후방향리스트를 구성 한다. 두 리스트의 구조는 표 2 에서 보여 준다. 센서 네트워크에 모든 노드들이 한번씩 ND 메시지를 브로드캐스트 한 후 각 노드들은 자신의 이웃들을 감지 하게 되고 전방향리스트와 후방향리스트를 구성 하게 된다. 전방향리스트는 노드보다 싱크와 거리가 더 가까운 이웃노드들로 구성이 된다. 반대로 후방향리스트는 노드보다 싱크와 거리가 더 먼 이웃노드들로 구성이 된다. 이방 방법으로 각 노드는 전방향과 후방향로 이웃들의 방향을 구분 지을 수 있다.

<표 2> 전방향 & 후방향 리스트 구조

| 리스트 인덱스 | 1       | 2      | 3       |
|---------|---------|--------|---------|
| 리스트 내용  | ID & 위치 | 남은 에너지 | 싱크와의 거리 |

그림 1 은 센서 네트워크가 구성되는 동안 이웃노드를 감지하는 절차와 전방향리스트와 후방향리스트를 구성하는 것을 보여 준다. 그림 1(a)는 싱크가 자신의 위치와 에너지 정보를 담은 ND 메시지를 원 홉 이웃노드들로 브로드캐스트 하고 있다. 그것을 수신한 노드 a 는 자신의 전방향리스트를 작성 한다. 그림 2(b)는 노드 a 가 ND 메시지에 싱크의 위치와 자신의 위치를 담아 브로드캐스트 하고 있다. 그것을 수신한 노드 b, c 는 노드 a 가 각각 싱크와의 거리보다 더 가까우므로 전방향리스트에 노드 a 를 추가 한다. 그림 2(c)는 노드 b 가 노드 a 로부터 ND 메시지를 듣고 자신의 정보를 ND 메시지에 담아 브로드캐스트하고 있다. 이것을 수신한 노드 a 는 노드 b 가 싱크와 의 거리가 자신보다 멀기 때문에 후방향리스트에 노드 b 를

추가 한다. 노드  $c$  는 전방향리스트에 노드  $b$  를 추가 한다. 그림 2(d)도 그림 2(b)와 그림 2(c)에서와 같은 동작을 하고 각각 전방향리스트와 후방향리스트를 갱신 한다.



(그림 1) 네트워크 구성과 이웃노드 감지

### 3.2 데이터 패킷 라우팅

이웃노드 감지 절차 후 노드는 싱크로 데이터를 전송 할 수 있다. 노드가 전송 할 데이터가 생겼을 때 먼저 아래와 같은 규칙에 따라 전방향리스트에 있는 이웃노드들 중 하나를 선택한다.

- 전방향리스트에 있는 이웃 노드들 중 가장 남은 에너지가 많은 노드를 선택한다.
- 만약 남은 에너지가 같은 이웃노드가 둘 이상이면 싱크와 더 가까운 이웃노드를 선택한다.

전방향리스트에 있는 여러 이웃노드들은 멀티 라우팅 경로가 존재하는 것을 의미 한다. 그러므로 여러 라우팅 경로 중 하나를 선택하는 위의 절차는 로드밸런싱 하게 된다. 한 경로를 선택하기 위해서 이웃노드들의 정보를 알고 있어야 한다. 우리는 무선 통신의 장점인 오버헤어링을 사용한다[1]. 노드가 데이터 패킷을 전송 할 때 데이터 패킷에 남은 에너지 정보를 포함 시켜 전송 한다. 이웃 노드들의 남은 에너지 정보는 남은 에너지 정보를 포함하는 데이터 패킷을 오버헤어링 함으로써 갱신 할 수 있다. 이것은 에너지 정보 메시지와 같은 제어 메시지를 감소시킬 수 있다.

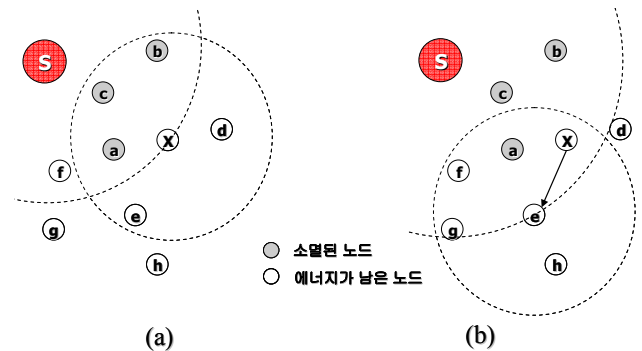
전방향리스트에 있는 이웃노드들 중 데이터 패킷을 전달할만한 노드가 없을 때 후방향리스트에 노드들을 이용한다. 후방향리스트에서의 노드 선택은 전방향리스트에서의 규칙과 같다. 전방향리스트에 이웃노드가 없다면 현재 전송하고자 하는 노드를 통해서 싱크로 전달 할 수가 없다. 그리고 현재 전송하고자 하는 노드를 전방향리스트에 포함하는 노드들은 그 노드를

리스트에서 제외시켜야만 한다. 그러므로 후방향리스트에 있는 노드로 데이터 패킷을 전송 할 때 *exception bit* 를 설정하여 전송함으로써 이것을 오버헤어링 하는 이웃노드들은 자신의 전방향리스트에서 데이터 패킷을 전송한 노드를 삭제 한다. 이것은 전방향리스트가 빈 노드로 데이터를 전송하는 것을 예방할 수 있다.

그림 2 는 우리의 라우팅 경로 설정 동작의 자세하게 보여 준다. 그림 2(1)는 노드  $x$  가 데이터를 전송한다면 노드  $x$  는 자신의 전방향리스트의 노드들인 노드  $a, b, c$  에서 특정 정책에 따라 하나를 선택한다. 만약 노드  $a, b, c$  가 그림과 같이 에너지를 다 소모했다면 노드  $x$  는 자신의 후방향리스트의 노드들인 노드  $d, e$  에서 정책에 따라 하나를 선택 한다. 그림 1(b)는 노드  $x$  의 전방향리스트의 노드인 노드  $e$  에게 데이터를 전송 하는 것이다.

그 후 노드  $e$  는 노드  $x$  과 마찬가지로 우선 노드  $e$  의 전방향리스트 의 노드들인 노드  $g, f, a$  중에서 하나를 선택 할 것이다. 이 때 노드  $e$  는 노드  $x$  를 자신의 전방향리스트에서 제외 한다.

노드  $x$  에게로 전송 할 경우 노드  $x$  는 자신의 전방향리스트에 전송 가능한 노드가 없기 때문이다.



(그림 2) 전방향 & 후방향리스트 노드선택

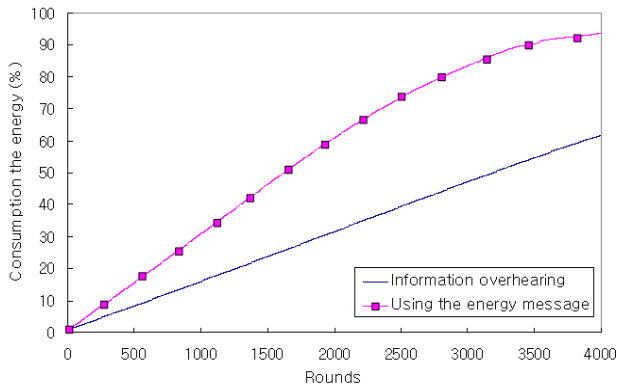
### 4. 시뮬레이션

우리는 아래와 같은 환경에서 시뮬레이션을 하여 결과를 얻었다.

100\*100 미터의 필드에 400 개의 센서노드를 랜덤하게 배치 했다. 그리고 각각의 센서 노드는 0.25 주울의 에너지를 가지고 200 비트의 메시지를 전송한다. 라디오 모델은 [8]와 같이 사용 한다. 전송 거리는 20 미터이고 각 센서 노드는 이벤트가 발생 했을 때 싱크로 데이터를 전송 한다. 우리는 한 라운드를 한 노드가 데이터를 전송하여 싱크에 도착 했을 때로 정의 한다.

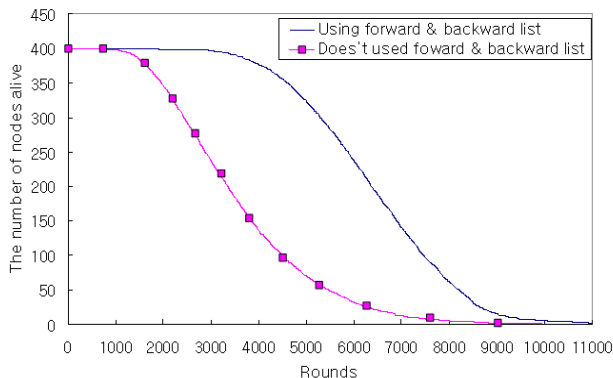
그림 3 은 각 라운드에서 에너지 소모에 대한 변화를 보여주고 있다. 에너지 정보 메시지를 별도로 사용하는 기법에서 데이터 패킷의 전송에 의해 각 노드의 에너지 레벨이 변화될 때 에너지 정보가 갱신에 대한 정보를 이웃들에게 브로드캐스트 한다. 반면에 데이터

패킷을 전송할 때 에너지 정보를 같이 포함하여 보낼 때는 불필요한 에너지 정보 메시지를 보내지 않음으로 해서 전송 에너지를 절약 할 수 있다.



(그림 3) 각 라운드에서의 에너지 소모

다음 우리는 전방향리스트와 후방향리스트를 사용하는 기법과 그렇지 않은 기법에 대해서 실험하였다. 결과 그림 4 와 같이 전방향리스트와 후방향리스트를 사용하는 것이 그렇지 않는 것보다 거의 3000 라운드 더 많은 라운드 수를 보이고 있고 각 라운드에서 거의 2 배 정도의 노드들이 존재 하고 있다.



(그림 4) 각 라운드에서 에너지가 남아있는 노드 수

## 5. 결론

본 논문에서 우리는 제어 메시지에 대한 오버헤드를 줄이기 위해 에너지를 고려한 효율적 라우팅 기법을 제안 했다. 우리의 기법에서는 데이터 패킷을 전송할 때 에너지 정보를 같이 포함시켜 전송 함으로써 노드들의 전송 에너지를 절약하고 전방향과 후방향리스트를 관리함으로써 에너지가 점차적으로 줄어들어 노드들도 급격히 소멸되는 것이 아니라 점차적으로 소멸되어갔다. 시뮬레이션 결과는 에너지 효율적인 면에서 우리의 기법이 기존의 기법보다 낮은 성능을 보여주고 있다. 우리의 기법은 앞으로 오버헤어링 오버헤드를 감소시키는 것과 전방향과 후방향리스트에서 적절한 선택 규칙들을 더 연구 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] S. Huang, R. Jang, "Energy-Aware, Load Balanced Routing Schemes for Sensor Networks.", *Procs. Tenth International Conference on*, 7-9 July 2004, pp.419-425, 2004.
- [2] X. Hong, M. Gerla, W. Hanbiao and L. Clare, "Load balanced, energy-aware communications for Mars sensor networks.", *Proc. of aerospace conference*, pp.1109-1115, vol 3, 2002.
- [3] M. Younis, M. Youssef, K. Arisha, "Energy-Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks.", *Proc. 10th IEEE International Symposium*, pp.129-136, 2002.
- [4] C.E. Perkins, E.M. Royer, "Ad hoc on demand distance vector routing.", *Proc. of 2nd workshop on mobile computing systems and applications 1999*, pp.90-100, 1999.
- [5] W.B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Microsensor Networks.", *Communications, IEEE Transactions on, Volume:1, Issue:4*, 2003.