

# 홉 수 및 잔존 에너지를 고려한 센서 네트워크 라우팅 알고리즘

홍유리\*, 최여민\*, 송주석\*

\*연세대학교 컴퓨터과학과

e-mail:yoori@emerald.yonsei.ac.kr

## Hop and Energy aware Sensor Network Routing algorithm

Yoo-Ri Hong\*, Yeo-Min Choi\*, Joo-Seok Song\*

\*Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 제약 조건 및 지연을 개선하기 위하여 이웃 노드의 최단 홉 및 잔존 에너지를 이용한 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 센서 네트워크의 대다수의 통신 방향이 데이터를 감지한 노드에서 싱크 노드라는 것을 고려하여 싱크노드에서 네트워크 셋업 시간에 각 노드들이 싱크노드로의 홉 수를 이웃노드 끼리 서로 공유할 수 있게 하여 라우팅 지연을 줄인다. 또한 라우팅 시 이웃노드의 배터리 상태를 고려할 수 있는 방법을 제안하여 전체 노드의 평균 수명을 늘일 수 있는 방법을 제시한다. 성능 비교를 위해 AODV와 Directed diffusion과 비교하여 네트워크 규모에 따른 지연시간 및 패킷 당 소모되는 배터리 소모량을 비교했을 때 제안하는 스킴이 우수하다는 것을 알 수 있다.

### 1. 서론

최근 센서 네트워크 기술은 국내외에서 활발하게 개발되고 있으며 어플리케이션도 다양하게 적용되고 있다. 각 센서네트워크의 어플리케이션은 자신만의 우선적인 목적이 있으므로 거기에 사용되는 프로토콜도 그 용도에 맞춰 다양하게 개발되고 있다.

기존의 에드혹 라우팅 프로토콜은 최적 경로를 찾기 위한 기준으로 최소 홉 수 척도를 많이 사용하였지만 센서 네트워크는 배터리 등과 같은 여러 가지 제약 사항으로 인해 다른 척도들도 많이 사용하게 되었다.

본 논문에서는 센서 네트워크의 최저 홉 수와 에너지 척도를 동시에 고려하여 라우팅 오버헤드와 지연시간을 줄이고 전체적인 에너지 소비를 효과적으로 분산시킬 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안하고자 한다. 결과 분석을 위해 에드혹의 대표적인 라우팅 프로토콜인 AODV[1]와 센서 네트워크의 대표적인 라우팅 프로토콜인 Directed diffusion을 비교하여 성능을 측정하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크의 다양한 특성들을 살펴보고, 비교를 위해 AODV와Directed diffusion을 간단히 설명하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘에 대해서 설명하며, 4장에서는 시뮬레이션 환경과 실험 결과를 보이고, 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 센서 네트워크 특성

센서 네트워크의 라우팅은 다음과 같은 여러 가지 특성으로 인해 에드혹이나 셀룰러 망과 같은 다른 무선 네트워크와 차별성을 가지고 있다. 센서 네트워크에서는 비교적 많은 수의 센서 노드들을 분포시키기 때문에 이로 인한 오버헤드를 줄이기 위해 글로벌한 주소를 쓰지 않는다. 이는 센서 네트워크 특성상 데이터를 보낸 노드보다 데이터 자체가 더 중요하기 때문이다. 또한 센서 네트워크는 대다수의 트래픽이 데이터를 감지한 노드들에서 싱크노드로의 방향으로 데이터를 전송하는 특성도 갖고 있다. 가장 제약적인 센서 네트워크의 특성은 에너지 제약으로 센서 네트워크는 노드를 분포 시킬 때 탑재한 배터리를 대부분 도중에 교환을 할 수 없기 때문에 제한된 에너지 안에서 필요로 하는 역할을 수행하는 것이 가장 큰 관건이다. 또 다른 특성으로는 어플리케이션에 따라 필요로 하는 프로토콜도 세부화 된다. 예를 들어 경찰을 목적으로 지연 속도가 매우 작아야 하는 어플리케이션에 이용되는 센서 네트워크와 주기적인 날씨정보를 모니터링 하는 어플리케이션에서 사용되는 센서 네트워크 프로토콜은 매우 다를 것이다. 이러한 특징들 이외에도 위치 기반 중심적인 특징도 센서 네트워크의 대표적인 특징 중 하나다. 위에 열거한 특징들로 인하여 기존 네트워크와는 차별화된 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜이 계속해서 개발되고 있다.[2]

#### 2.2 AODV 라우팅 프로토콜

AODV(Ad-hoc On-demand Distance Vector routing)는 루트를 찾기 위해 RREQ(Route REQuest) 메시지를 이

“ 이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R01-2006-000-10614-0).”

웃 노드로 브로드캐스팅 하고, 이 RREQ 메시지는 목적지까지 전달되거나 목적지까지의 경로를 알고 있는 노드까지 전달되면서, 역 경로를 생성한다. RREQ 메시지가 목적지에 도착하면 역 경로를 따라 RREP(Route Reply) 메시지가 전달되고, 이 과정에서 송신지에서 목적지까지의 경로를 결정하게 된다. 최신 정보만을 이용하기 위해서 브로드캐스팅 되는 메시지에는 일련번호 번호를 사용한다. AODV 는 지속적인 HELLO 메시지를 주변 노드에 브로드캐스팅하면서 이웃 노드에 대한 정보를 유지한다. 이 정보를 기반으로 RREQ 및 RRES 메시지가 이동하며, 유효하지 않은 노드를 확인한다. HELLO 메시지나 링크 계층의 ACK 확인을 통해, 유효하지 않은 노드가 발생할 경우, RERR 메시지를 브로드캐스팅 하여 주변 노드에 이 변화를 라우팅 정보에 반영하도록 한다.[1]

**2.3 Directed diffusion 라우팅 프로토콜**

Directed diffusion은 가장 유명한 무선 센서 라우팅 기법으로, 수집 노드가 원하는 정보를 얻기 위해서 전체 센서 노드로 질의를 전송한 후, 그 질의에 해당하는 노드들이 반응하여 센싱 데이터를 수집 노드로 전송하는 방식이다. 동작 단계를 간단히 살펴보면, 플러딩 (flooding)에 기반하고 있고 1) Interest 배포, 2) Gradient 설정, 3) 데이터 전송, 4) 경로 강화 (reinforcement)의 네 단계로 이루어져 있다. 자신에게 가장 먼저 Interest를 전송한 이웃노드에게 초기 기울기(gradient) 가 설정되고 그곳으로 데이터를 전송하여 다중 경로를 통해 데이터가 싱크로 전송될 수 있다. 데이터를 수신한 싱크는 여러 기준에 의해 하나의 경로, 혹은 경로 중 일부, 여러 경로의 기울기를 강화 (reinforcement)시킬 수 있다. 이때부터는 초기 여러 경로 중 우수한 경로만을 사용하거나 에너지의 수준이 낮은 노드가 있는 경로는 배제하도록 강화할 수 있다. 하지만 이 프로토콜은 에너지가 고갈되어 최단 경로상의 센서 노드들이 기능을 하지 못하게 되어 전체적으로는 센서 네트워크가 양분되어 정보 전달을 하지 못하는 현상이 발생하므로 네트워크 생존 시간이 짧아지는 단점을 가진다.[3]

**3. 제안하는 라우팅 알고리즘**

제안하는 라우팅 알고리즘은 센서 네트워크에서 대다수의 통신 흐름인 데이터를 감지된 노드에서 싱크노드 방향의 라우팅에 제한되어 있다. 모든 노드는 고정 되어 있고 각 노드의 1hop 에 해당하는 노드들을 이웃노드라고 지칭한다.

**3.1 Network setup, Routing 절차**

- ① 싱크 노드가 Network Setup 메시지를 broadcast한다.
- ② Network Setup 메시지를 받은 node는 메시지의 hop수를 하나씩 증가시키고, 자신의 Battery 상태와 함께 메시지를 이웃 노드에게 flooding 한다.
- ③ Routing table에는 자신보다 낮은 hop수를 갖는 모든 이웃 노드들의 정보를 저장한다
- ④ 낮은 hop수를 갖는 모든 이웃 노드들 중 배터리 상태가 좋은 임의의 노드를 골라서 데이터를 전송하게 한다.

①,② 과정을 통해 노드는 자신부터 싱크노드까지 몇 홉으로 데이터를 전달할 수 있는지 알 수 있으며, ③,④과정을 통해 자신이 데이터를 어느 node로 보내줘야 하는지 알 수 있다.

배터리 상태는 본 논문에서는 8단계로 나누며, 배터리 전체 용량에서 8을 나눈 값으로 각 단계를 나누었다. 센서 노드는 자신의 배터리 상태가 변경되었을 경우 이웃 노드들에 배터리 상태가 변경되었음을 알린다.이 메시지를 받은 노드들은 자신의 라우팅 테이블에 해당 노드의 배터리 상태를 갱신해준다. (라우팅 테이블에 없는 노드인 경우는 무시한다.)

**3.2 패킷 구조**

**3.2.1 기본 패킷 구조.**

Type (3)	Length (5)	Address type (5)	Battery Level (3)	Packet ID (1)	Hop (1)
Address (길이는 주소 type에 따라 결정된다)					

(그림 1) 기본패킷 구조

- Type : 메시지의 종류
  - 0, 1: Network Setup / 경로 재설정
  - 2: 배터리 상태 갱신
  - 3: 새로운 경로 요청
- Length : Packet의 길이. 주소의 type에 따라 달라지며, 길이는 Length \* 4 (bytes)로 한다. 5bit이기 때문에 패킷의 길이는 최대 124 bytes가 된다.
- Address type : 사용하는 주소의 종류.  
예를 들어 IPv4, IPv6, ... 등
- Battery level은 현 노드의 배터리 상태.
- Hop : 싱크 노드로부터 hop 수
- Packet ID는 패킷의 고유 번호를 의미한다. Network Setup시 보낸 메시지를 다시 보내지 않기 위해 사용한다.

**3.2.2 Network Setup / 경로 재설정 메시지 (Type = 0, 1)**

Type = 0 or 1	Length (5)	Address type (5)	Battery Level (3)	Packet ID(1)	Hops (1)
해당 Node의 Address					
Sink의 Address					

(그림 2) Network Setup / 경로 재설정 메시지

- Type = 0인 경우는 Sink의 Address를 함께 보낸다. 만약 Sink의 주소를 모두 알고 있는 경우는 Type = 1로 주고 생략할 수 있다.
- 플러딩 할 때에는 Battery Level은 자신의 것을, Hops는 받은 Hops + 1을, 해당 Node의 Address 부분을 자신의 Address로 고쳐서 보내며, 같은 Packet ID의 메시지를 받으면 버린다.

**3.2.3 배터리 상태 갱신 메시지**

Type = 2	Length (5)	Address type (5)	Battery Level (3)	Unused	Unused
자신의 Address					

(그림 3)배터리 상태 갱신 메시지

- 필요한 부분만 채워서 보내며 이 메시지는 풀러딩 되지 않는다.

3.2.4 새로운 경로 요청

Type = 3	Length = 1	Unused	Packet ID	Unused
----------	------------	--------	-----------	--------

(그림 4) 새로운 경로 요청 메시지

- 새로운 경로를 Sink로 요청할 때의 메시지. 4bytes의 메시지이며 Packet ID는 중복해서 풀러딩 하는 것을 방지하기 위한 것이다.

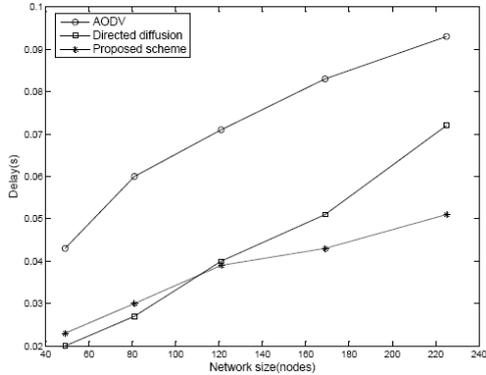
4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 라우팅 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 NS-2[3]를 사용하였다. 가정 사항으로 모든 노드들은 격자 형태로 일정 거리(20m)로 분산되어 고정되어 있으며 싱크 노드는 격자의 중앙에 있도록 하였다. 점차 노드수를 늘려 가면서 데이터 전달 지연 시간과 소비되는 전력을 비교 하였다. 데이터가 발생되는 노드는 랜덤하게 생성되게 했으며 아래 테이블의 파라미터를 사용하였다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

Simulation time	1000s
The number of node number	49 - 225
Event rate for each source	2 events/s
Communication range (meters)	20m
Tx power / Rx power	52.2mw / 59.1mw

4.1 싱크노드에서 데이터 도착 지연 시간



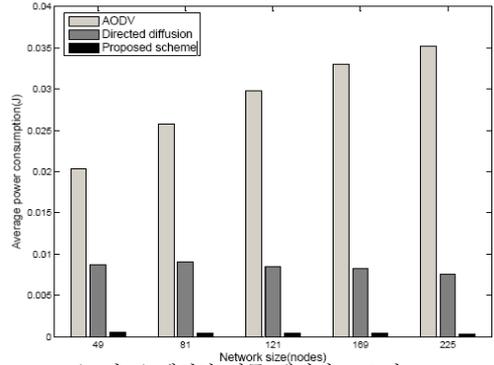
(그림 6) 싱크 노드에서 데이터 도착 지연 시간

싱크 노드에서 데이터 도착 지연 시간이란 이벤트를 감지한 노드에서 싱크 노드로 데이터를 보내기 위한 시점에서부터 싱크 노드에 데이터가 도착한 시간을 의미한다. 그림과 같이 세 스킴 모두 네트워크 규모가 커짐에 따라 지연 시간이 증가하였다. 제안하는 스킴은 Directed diffusion 보다 노드수가 약 120 이상일 때 부터 네트워크 규모가 커질수록 지연시간을 더 많이 단축 시키는 것을 확인할 수 있다. 또한 경로찾기에 오버헤드가 많은 AODV 보다

는 2배 가량 지연시간이 짧다.

4.2 배터리 사용량 분석

배터리 사용량이란 한 패킷이 싱크로 도착하기 위해서 평균 소모되는 배터리 량을 나타낸다. 그림 7과 같이 배터리 소모량은 AODV에서는 네트워크 규모가 커짐에 따라 비례하여 증가하고, 제안하는 스킴과 Directed diffusion에서는 초기 네트워크 셋업 을 위한 오버헤드를 제외하고 부가되는 오버헤드가 적기 때문에 네트워크 규모가 커짐에 따라 패킷 당 배터리 소모량이 오히려 조금씩 줄어드는 모습을 보이고 있다. 특히 제안하는 스킴은 네트워크 셋업 메시지와 배터리 상태 갱신 메시지를 제외하고는 오버헤드가 거의 없어 Directed diffusion 보다 적은 배터리 소모를 보이고 있다. 또한 이웃 노드의 배터리 상태가 좋은 노드 중에서 hop수가 적은 것을 매번 고려할 수 있게 하였기 때문에 경로상의 노드가 수명을 다 하였을 때 대체 경로를 이용해야 하는 Directed diffusion 보다 배터리 소모량이 더 작다.



(그림 7) 패킷당 평균 배터리 소모량

5. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크의 최저 홉 수와 에너지 척도를 동시에 고려하여 데이터 전달을 위한 지연시간을 줄이고 전체적인 에너지 소비를 효과적으로 줄이는 동시에 분산시킬 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안하였다. NS-2를 통한 시뮬레이션 결과 Directed diffusion과 AODV에 비해 네트워크 규모에 따른 싱크노드로의 데이터 지연시간과 패킷전송에 소모되는 배터리 소모량이 제안하는 스킴이 우수하다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

[1] C. E. Perkins, E. Belding-Royer, I. Chakeres, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing", draftperkins-manet-advobis-01, IETF Internet Draft (Workin progress), February 2004.  
 [2]JAMAL N. AL-KARAKI, AHMED E. KAMAL, "Routing Techniques In Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Communications December

2004, pp. 6-28.

[3] C. Intanagonwivat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile computing and Networks (MobiCOM 2000), Boston, Massachusetts, pp. 56-67, 2000.

[4] "The network simulator-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>