

## 다중 싱크 센서 네트워크에서의 라이프타임 연장을 위한 에너지 효율적인 싱크 선택 기법

박진호<sup>o</sup> 정재탁 정성원 한기준\*

(\* : Correspondent Author)

경북대학교 공과대학 컴퓨터공학과

{hyo6177<sup>o</sup>, cct, wonsungchung}@netopia.knu.ac.kr, kijan@knu.ac.kr\*

### An energy efficient sink selection scheme for maximizing network lifetime in WSNs with multiple sink

Jinhyo Park<sup>o</sup>, J.T Chung S.W Chung Kijun Han\*  
Computer Engineering Department  
Kyungpook National University

#### 요 약

기존 single sink 센서 네트워크에서의 모든 센서 노드들은 sink로부터 flooding된 질의(query)를 전송 받은 후 센싱 data를 sink로 보낼에 있어서 목적인 sink 주변 노드의 traffic 집중에 따른 에너지 소비로 인해 전체 네트워크 수명에 영향을 끼쳤다. 이러한 single sink 방식에서의 주변 노드의 overhead와 센싱 데이터를 sink로 전달 할 때의 특정 경로상의 노드들의 잔여 에너지량을 고려하여 데이터를 전송하게 함으로써 전체 네트워크 수명을 연장 할 수 있다.

#### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 배치된 센서필드(sensor field)와 센서 필드와 외부망을 연결하는 싱크(sink)로 구성된다. 즉, 사용자 응용은 싱크를 통해 센서 필드에 질의를 전달하거나 센서 필드에서 수집된 데이터를 전달 받을 수 있다. 무선 센서 네트워크에서는 응용의 관심 영역에 수많은 센서 노드들이 미리 결정된 형태없이 임의 배치될 수 있고 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드의 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크의 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 장점을 가진다. 그러나, 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 그러므로, 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체적 시스템의 수명을 증가시키는 방향으로 설계되어야 한다. 즉, 무선 센서 네트워크에서는 제한된 에너지의 효율성을 높여 네트워크의 수명을 오래 유지하는 것이 중요한 사항으로 부각되고 있다[1][2]. 이를 위하여 기존 single sink 방식에서는 클러스터 기반의 센서 네트워크 및 data aggregation 을 통한 라우팅 기법들이 제시 되고 있다[3][4]. 이러한 방식들은 질의(query)를 전송하거나 센싱 데이터를 전달 받을 때 목적인 싱크(sink) 주변 노드에 모든 부하(overhead)가 집중된다. 결국 기간 동안

싱크(sink)주변 노드의 에너지는 급격히 소진되어 communication hole을 발생시키고 네트워크 전체 연결성을 떨어 뜨린다.

본 논문에서는 에너지를 효율적으로 사용하여 전체 네트워크의 수명을 오래 유지하지 하고자, multi sink를 도입한 환경에서의 데이터 전송을 위한 sink 선택 기법을 제안한다. 제안된 기법으로 sink를 선택해 통신 함으로써 네트워크 수명을 오래 유지할 수 있으며, 효과적인 데이터 전송을 할 수 있다.

#### 2. 관련 연구

##### 2.1 Directed Diffusion

Directed Diffusion[5]은 싱크의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. Directed diffusion에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현된다. Interest는 싱크에서 시작되어 네트워크 전체에 유포되고, 데이터 요청 노드로 질의에 부합하는 데이터를 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 이때, 데이터는 다중 경로를 통해 요청 노드로 전송된다. 더 이상의 풀러딩을 막기 위해 경로들 중 전송 품질이 좋은 몇 개의 경로들이 강화(reinforcement)되어, 강화된 경로를 통해 데이터 전송이 이루어진다. Directed diffusion의 이러한 정보 검색 방법은 요청 노드가 일정

질의에 부합하는 데이터를 요구하는 지속성 질의 (persistent query)에 적합하다. 그러나, 경로를 단지 한번만 사용하는 형태의 질의에는 적합하지 않은 특성을 가진다. 또한, 이 프로토콜에서는 전송 경로의 중간 노드에서 데이터가 모아지므로 인접 노드들이 유사한 데이터를 가지는 센서 네트워크의 특성을 완전하게 이용하지 못한다.

## 2.2 Sensor Protocols for Information via Negotiation

Sensor Protocols for Information via Negotiation[6]은 협상과 자원 적응에 의해 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 데이터에 대해 광고하고, 싱크로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심점 라우팅 기법이다. 이는 센서 노드가 데이터를 방송하는 대신 센서 데이터를 기술하는 메타 데이터를 전송하여 보다 효율적으로 동작하고 에너지를 보존하도록 한다. SPIN은 ADV, REQ, DATA 등의 세가지 메시지를 가진다. 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 방송한다. ADV의 메시지를 수신한 이웃 노드가, 데이터에 대한 관심을 가지고 REQ 메시지를 전송하면, 해당 이웃 노드를 위한 DATA 메시지를 전송한다. 결과적으로, 전체 센서 네트워크에서 해당 데이터에 관심있는 센서 노드들은 데이터에 대한 사본을 얻게 된다. SPIN은 가까이 있는 노드들이 유사한 데이터를 가지는 속성을 활용하여, 다른 노드가 가지지 않는 데이터만을 분배하도록 한다. 또한, 사전적으로 동작하여, 사용자가 데이터를 요청하지 않은 경우에도 네트워크 전체에 정보를 분산시킨다.

## 2.3 Sequential Assignment Routing

Sequential Assignment Routing[7]에서는 라우팅 결정을 위해 각 경로에 있는 에너지 자원과 QoS, 그리고, 각 패킷의 우선 순위를 고려한다. 트리 구조의 다중 경로가 설정되어, 특정 경로가 실패하는 경우에도 경로 재계산을 위한 오버헤드가 없다. 각 노드에서 싱크까지의 다중 경로를 설정하기 위하여 싱크의 1홉 이웃들을 시작으로 낮은 QoS와 에너지 보유량을 가지는 노드들을 피하면서 구성된 다중 트리가 형성된다. 트리 설정 절차가 끝나면, 각 노드는 다중 경로에 속하게 되고, 각 노드는 싱크로 메시지를 전달할 트리를 선택할 수 있게 된다. 각 노드마다 다음 두 개의 파라미터가 싱크를 향한 각 경로(트리)와 연관된다.

- Energy resources: 해당 센서 노드가 경로를 독점하여 사용할 경우 전송할 수 있는 패킷 수
- Addictive QoS metric: 해당 값이 높을수록 낮은 QoS를 의미

SAR에서는 addictive QoS metric과 패킷의 우선 순위와 관련된 가중치(weight) 계수의 곱인 weighted QoS metric을 계산하여 이의 평균값을 네트워크의 생존 기간 동안 최소화시키고자 한다. 위상 변화에 반응하기 위하여, 주기적인 경로 재계산이 싱크에 의해 시작된다. 실패에 대한 복구는 이웃 노드간의 핸드셰이킹 절차를 통해

이루어지고, 지역 경로 복구 기법도 사용된다. 또한, 지역적인 협력 정보 처리를 위한 Single Winner Election(SWR)과 Multi Winner Election (MWE) 기법이 사용된다.

## 2.4 Minimum Cost Forwarding Algorithm for Large Sensor Networks

Minimum Cost Forwarding Algorithm for Large Sensor Networks[8]은 센서 네트워크에서 데이터 흐름이 항상 싱크를 향한 방향으로 이루어지는 특성을 이용하였다. 이 기법에서 센서 노드는 유일한 ID나 메시지를 전송할 라우팅 테이블을 가질 필요 없이 싱크까지의 최소 비용 측정치만을 관리한다.

최소 비용 측정치를 관리하는 동작은 다음과 같다. 싱크에서 비용이 0으로 설정된 광고 메시지를 방송한다. 각 노드는 초기에 무한대로 설정된 측정 집합을 가진다. 노드가 광고 메시지를 수신하여 메시지의 측정치와 해당 메시지를 수신한 링크의 비용의 합이 현재의 측정치보다 작다고 판단하면, 이 값으로 현재의 측정치와 광고 메시지의 측정치를 갱신한다. 새로운 비용 측정치로 광고 메시지가 갱신된 경우에만, 해당 광고 메시지를 전송하고, 그렇지 않은 경우에는 제거한다. 이러한 과정을 통하여 네트워크 전체에 비용 필드가 구성된다.

비용 필드를 기반으로 각 노드는 전송될 각 데이터 메시지를 방송하고, 데이터 메시지를 수신한 노드는 자신이 소스 센서 노드와 싱크간의 최소 비용 경로에 있는지 체크하여, 해당하는 경우에만 메시지를 방송한다.

노드에서 여러 번의 갱신이 일어나거나 여러 번의 전송을 수행하고, 싱크에서 멀리 떨어진 노드들이 더 많은 갱신이 일어날 수 있는 점을 해결하기 위하여, 현재 비용 측정치를 갱신할 때 백오프 기법을 적용하여, 갱신 시간으로부터 광고 메시지를 수신한 링크 비용의 정수배의 시간이 경과한 후에 광고 메시지를 전송하도록 한다.

## 3. 본 문

### 3. 1 single sink에서의 traffic

기존 single sink 센서 네트워크 방식에서의 모든 센서 노드들은 sink로부터 flooding 된 질의(query)를 전송 받은 후 센싱 data를 sink로 보냄에 있어서 목적지인 Sink 주변 노드의 traffic 집중에 따른 에너지 소비로 인해 전체 네트워크 수명에 영향을 끼쳤다. 이러한 single sink 방식에서의 주변 노드의 overhead와 센싱 데이터를 sink로 전달할 때의 특정 경로상의 노드들의 에너지를 고르게 사용하게 함으로써 전체 네트워크 수명을 연장할 수 있다. 아래 그림 1에서는 sink에 가까운 노드일수록, traffic의 집중도가 높아짐을 볼 수 있다.

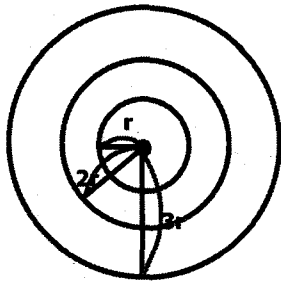


그림 1. sink 주변 노드의 traffic 집중도

Sink로부터 가까운 노드 일수록 1: 1/3: 1/5의 비율로 Sink 주변 노드의 한 홉 반경을 r이라 두었을 때, 트래픽 집중도는 다음과 같다.

$$\pi r^2 : 4\pi r^2 : 9\pi r^2$$

이러한 traffic 집중도로 볼 때 노드의 에너지 소비량은 다음과 같다. 통상적으로 데이터 수신에 필요한 에너지는 송신 에너지에 비해 아주 작다고 가정하며, sink로부터 query를 받은 노드들은 센싱한 data k-bit를 전달할 때 소비되는 에너지는 다음과 같다.

$$E_{Tx}(k) = (E_{Tx-elec} \times k) + (E_{amp} \times k \times d^2)$$

위 수식에서  $E_{Tx-elec} = 50 \text{ nJ/bit}$  이고  $E_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$  이다.  $d$ 는 각 노드의 전송 범위이며 앞에서 언급한 traffic 집중도를 적용해 봤을 때 에너지 소모량은 sink 주변 노드에게 집중된다.

### 3.2 multi sink에서의 가중치 적용

Sink 주변 노드의 트래픽 발생에 따른 에너지 소비를 줄이고자 각 노드의 잔여 에너지량에 가중치를 부여한 방법을 사용하고자 한다.

각 노드의 에너지에 부여되는 가중치(W)는 traffic 집중도의 역수를 취해 반영한다. 이러한 값은 최초 sink로부터 query를 전파할 때 해당 query에 piggyback시켜 전송되며, sink를 통해 전파되는 query type은 다음과 같다.

$$query\ type = \{int\ erest, \sum_{k=a}^n (E_{Rk} * W)\}$$

아래 그림은 sink로부터 query를 받은 노드들이 제안한 기법을 적용하여 어느 방향의 sink로 데이터를 전송할 것인지 보여준다.

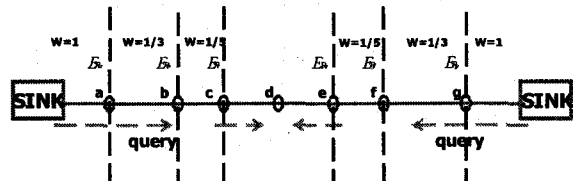


그림 2. 가중치(W)를 고려한 질의 전송

위 그림 2에서와 같이 각 쿼리가 sink로부터 네트워크 전체에 플래딩 될 때 모든 노드들은 이전 노드의 에너지량을 query에 piggyback된 metadata를 통해 알 수 있다. 이때 이웃 sink 주변 노드들의 가중치를 고려한 값, 즉 에너지 잔량이 많이 남아있는 노드의 Sink 방향으로 data를 전송하게 된다.

표 1. 제안한 기법으로의 데이터 전송

	a	b	d	E
t0	2	3	3	3
t1	2	3	2	2
t2	1	2	2	2
t3	1	2	1	1
t4	0	1	1	1
t5	0	1	0	0

표 2. 거리 기반으로의 데이터 전송

	a	b	d	E
t0	2	3	3	3
t1	1	2	3	3
t2	0	1	3	3
t3	0	1	2	2
t4	0	1	1	1
t5	0	1	0	0

위의 표 2에서는 query를 먼저 받은 노드들 즉, sink로부터의 거리가 가까운 노드들을 통한 센싱 데이터를 전송했을 때 최초 데이터 전송에서부터 t2 시간에 communication hole이 발생하여 전체 네트워크 연결성을 떨어뜨려 결과적으로 네트워크 라이프 타임을 짧게 가져가는 것을 볼 수 있다. 이와 대조적으로 표 1에서와 같이 제안된 기법을 통해 센싱 데이터를 전송함으로써 전체 네트워크 라이프 타임이 늘어남을 볼 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 다중 싱크 환경에서의 센싱 데이터 전송시 sink선택 방법에 대하여 제안하였다. 기존 거리 기반의 센싱 데이터 전송이 아닌 제안된 sink 선택 방법은 먼저 sink 주변 노드의 가중치를 계산하고, 가중치의 역수를 잔여 에너지량에 적용한다. 도출된 값은 query 전송시에 piggyback되어 전체 네트워크에 전파되며, 잔여 에너지량이 많은 노드를 중심으로 데이터는 sink 에게 전달 된다. 이러한 방식을 사용함으로써 기존 거리기반 데이터 전송 방식에서보다 전체 네트워크 라이프 타임이 증가됨을 예측할 수 있으며, 향후 모의 실험을 통하여 적절한 가중치 값을 도출 하도록 하겠다.

#### 참고문헌

- [1] I.F. Akyildiz et al., " Wireless sensor network: a survey," *Computer Networks* 38(4), March 2002, pp.393-422.
- [2] K. Akkaya, M. Younis, " A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *Elsevier Ad Hoc Network Journal Volume 3, Issue 3, May 2004*, pp.325-349.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, " Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks." In *Proc. Hawaiian Int'l Conf. on Systems Science*, January 2000.
- [4] M. Younis, M. Youssef, K. Arisha, " Energy-Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks," *Proc. 10<sup>th</sup> IEEE International Symposium*, Oct 2002, pp.129-136.
- [5] C. Intanagonwiwat et al., " Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.11, No.1, Feb. 2003, pp.2-16.
- [6] W.R. Heinzelman et al., " Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom' 99*, 1999, pp. 174-185.
- [7] K. Sorabi et al., " Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communication*, Vol.7, No.5, 2000, pp.16-27.
- [8] Fan Ye, et al., " A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," *Proc. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks*, 2001, pp.304-309.