

# 가상 싱크 로테이션을 이용한 센서 라우팅 프로토콜 설계

최광석<sup>0</sup> 최린

고려대학교 전자컴퓨터공학과, {emugi22<sup>0</sup>, lchoi}@korea.ac.kr

## Virtual Sink Rotation : Low-Energy Scalable Routing Protocol for Ubiquitous Sensor Networks

Kwangseok Choi<sup>0</sup> Lynn Choi

Dept. of Electronics and Computer Engineering Graduate School, Korea University

### 요 약

본 논문에서는 대규모의 센서 네트워크(Large Scale Sensor Networks)에서 가상 싱크 로테이션(Virtual Sink Rotation) 이라 불리는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안 한다. VSR은 많은 수의 소스(source) 와 많은 수의 이동성을 가지는 싱크(sink)를 효율적으로 지원한다. VSR의 주 아이디어는 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째는 싱크 이동으로 인한 위치 업데이트를 줄일 수 있는 가상 싱크라는 개념으로 소스 의 데이터를 모으고 모아진 데이터를 싱크에 전달 하여 준다. 두 번째는 싱크 주변의 노드들의 급격한 에너지 소모로 인하여 VSR은 가상 싱크 로테이션 알고리즘을 사용한다. 가상 싱크 로테이션은 네트워크의 노드들이 에너지를 균일하게 소모 시키도록 하고, 네트워크 수명을 늘린다. VSR 라우팅 프로토콜 과 기존에 제안된 논문의 비교 실험 결과를 통하여 에너지 소모, 메시지 지연 시간, 전송 효율 등에서 좋은 성능을 가지는 것을 보여줄 것이다.

### 1. 서 론

센서 네트워크의 라우팅은 매우 새로운 연구 분야이다. MANET (Mobile Ad Hoc Networks)과 같이 센서 네트워크는 인프라스트럭처를 가지지 않는다. 네트워크의 토폴로지 형성 과 관리 알고리즘은 센서 노드들에 의해서 자율적으로 동작한다. 그러나, 센서 네트워크는 일반적인 무선 네트워크, MANET 과는 다른 특성을 가지고 있다.

센서 네트워크에 라우팅 프로토콜에 관련한 많은 연구가 진행 되었다. [1, 2, 4, 7]. 그러나, 이동성을 가지는 싱크에 관한 연구분야는 아직 적절한 해결책이 없는 상황이다. 싱크의 이동은 대규모의 센서 네트워크에서 큰 문제이다. 첫 번째, 싱크가 움직이는 상황에서 소스가 데이터를 싱크에 전달하려면 싱크 위치를 알아야 하고, 싱크는 주기적으로 소스에 자신의 위치 정보를 알려 줘야 한다. 그러나 빈번한 위치정보의 전달은 무선 통신에서의 충돌을 증가 시키고 극심한 파워소모를 가져 온다. 두 번째, 싱크의 위치 정보가 빠르고, 자주 전달 되지 않으면, 소스는 싱크의 새로운 위치 정보를 받지 못할 것이다. 세 번째로, 데이터를 전달 하기 위해 만들어진 토폴로지는 싱크의 이동 후에 데이터전달을 수행하지 못할 것이다. 네 번째, 이러한 문제점들은 싱크 수가 늘어 날수록 더 극심해 질것이다.

### 2. 가상 싱크 로테이션 (VSR) 라우팅 프로토콜

#### 2.1 센서 네트워크 모델

소스란 이벤트를 발생하거나, 어떠한 현상을 발견하여 보고할 데이터를 발생하는 센서 노드를 일컫는다. 싱크는

로봇 이나 사람이 될 수 있으며, 센서 네트워크로부터 데이터를 모으는 역할을 한다. 센서 노드의 모델은 Berkely Notes[3]을 참조하였다.

#### 2.2 가상 싱크 (Virtual Sink)

가상 싱크(virtual sink) 가상 싱크 는 모든 싱크의 역할을 대표하는 센서 노드이다. 가상 싱크로 선정된 센서 노드는 소스로부터의 데이터를 모으고, 실제 싱크로 모아진 데이터를 전달한다. 가상 싱크는 실제 싱크에 전달 하기 위해서 효율적인 VS tree라 불리는 스패닝 트리(spanning tree)를 구성한다. 스패닝 트리는 필드 내에 있는 모든 노드들을 포함 하고 있으며, 소스로부터 데이터를 모으고 병합 한다. VS tree는 센서 노드 들이 뿌려지면서 구성되며, 노드 파손이나 가상 싱크의 에너지 고갈에 따른 가상 싱크 로테이션, 혹은 새로운 노드의 출현에 따라 트리를 고치거나 재구성한다. 가상 싱크는 데이터를 싱크에 전달하기 위해서 가상 싱크를 경유하는 데이터 전달 경로를 구성한다. 다수의 싱크를 가정하면, 가상 싱크로부터 싱크까지 멀티캐스트 트리를 만들 수 있다.

가상경로와 데이터 전달 멀티캐스트 트리는 VS tree안에 내장 되어 있다. 가상 싱크의 존재는 센서 노드들의 계속적인 싱크의 위치에 대한 정보 요청 없이도 다수의 이동성을 가진 싱크를 지원 할 수 있게 한다. 단지, 가상 싱크만 실제 싱크의 위치 정보를 알고 있으면 되기 때문이다. 또한 실제 싱크로부터 가상 싱크까지 위치 정보 전달은 지역적 혹은 네트워크 전체에 전달 하던 것과는 달리 [2, 7] VS tree안에 이미 존재 하는 경로를 이용하여 쉽게 이루어 질 수 있다.

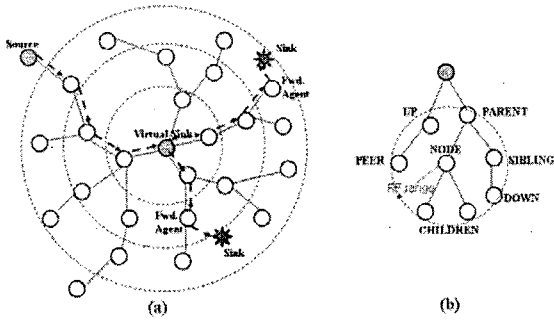


그림 1 (a) 26 개의 센서 노드로 구성된 4 계층 트리, (b) 이웃 노드의 분류

VS Tree 구성 VSR은 센서 필드내의 노드를 계층으로 나누어 구성한다. 같은 계층에 있는 노드들은 가상 싱크로부터 같은 홉 수를 가진다. 계층 1의 노드들은 가상 싱크로부터 1 홉 거리에 있다. 계층 2 노드들은 가상 싱크까지 2 홉 거리에 있다. 그림 1 (a) 26개의 노드가 4 계층을 이루는 모습을 보여주고 있다. 센서 필드 내의 모든 노드들은 가상 싱크를 루트로 하여 스페닝 트리를 구성한다.

VS tree 구성은 가상 싱크가 트리 설정 메시지를 브로드 캐스팅 함으로써 초기화 된다. 트리 설정 메시지를 브로드 캐스팅 하는 노드는 자신의 주소, 부모 주소, 가상 싱크까지의 홉 수 정보를 메시지에 포함하여 보낸다.

이 메시지를 받은 후에 계층 1 노드들은 트리 설정 메시지를 재전송하여 계층 2 노드들에게 메시지를 전달한다. 2 계층 노드들은 메시지를 보낸 노드를 자신의 부모 노드로 선정한다. 그리고 다시 3 계층 노드들에게 메시지를 브로드 캐스팅 한다. 이 과정은 네트워크 전체 노드들이 트리에 참여 할 때까지 반복 된다. 각 노드의 높이는 가상 싱크까지의 홉 수를 의미한다. 결과적으로 VS tree는 센서 필드에서 넓고 높이가 낮은 트리를 형성하여야 한다. VSR은 최소의 높이를 가지는 스페닝 트리를 구성한다.

가상 경로(Virtual Path) VS tree가 구성 되면, 각 센서 노드는 가상 싱크까지 부모 노드를 통한 상향 경로를 가지며, 상향 경로는 리포트 경로라 칭한다. 가상 싱크는 소스로부터 들어온 데이터를 싱크로 보내기 위해서 하향 경로가 필요하다. 하향 경로는 가상경로라 칭한다. 소스에서부터 실제 싱크까지 상향 경로와 하향 경로로 구성 되어진다. 각 싱크가 가상경로를 구성하기 위해서는 싱크의 위치 정보가 가상 싱크에 전달 되어야 한다. 이 과정을 가상 경로 설정이라 칭한다. VS tree 안에 센서 들은 가상 싱크까지의 경로를 VS tree 설정을 통해 알고 있으므로 가상경로 설정은 이미 존재하는 리포트 경로에 의해 쉽게 구성될 수 있다.

가상 경로 설정 각 싱크는 하나의 고정된 노드와 연결되어 있다. 새로운 싱크가 센서 필드에 들어오면, 싱크는 가상 싱크까지의 홉 수가 제일 작은 이웃 노드를 선택하여 가상 경로 설정 메시지를 전달한다. 선택된 노드는 싱크의 포워딩 에이전트라 칭한다. 포워딩 에이전트는 가상 싱크까지 리포트 경로를 VS tree 구성을 통해 이미 알고 있으므로, 에이전트로부터 가상 싱크까지의 경로 설정은

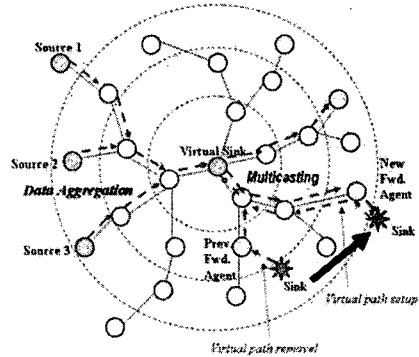


그림 2 가상 경로 제거와 싱크의 이동으로 인한 새로운 가상 경로 설정

쉽고 빠르게 이루어 질 수 있다. 가상 경로 설정 메시지는 포워딩 에이전트의 리포트 경로를 통하여 가상 싱크까지 전달된다. 가상 경로 설정 메시지가 가상 싱크에 전달 되면 가상 싱크는 새로운 싱크의 방향을 저장한다. 결론적으로 가상 싱크는 데이터 전달 센터 역할을 하며, 모든 소스로부터 싱크까지의 데이터 전달 경로(VS tree)를 설정한다. 가상 경로 설정은 싱크가 이동하거나 VS tree가 새로 구성되면 수행 된다.

싱크가 포워딩 에이전트로부터 멀어지면, 기존의 가상 경로는 더 이상 이용할 수 없다. 싱크는 주변의 이웃 노드 중에 새로운 포워딩 에이전트를 선택하고, 포워딩 에이전트에 가상 경로 설정 메시지를 보낸다. 빠른 가상 경로 설정을 통하여, VSR은 싱크가 이동성을 가져도 메시지를 잃지 않고 싱크에 데이터를 전달 할 수 있다. 3 장의 결과에서 보여주듯이, VSR은 싱크의 빠른 이동에도 에너지, 지연 시간, 메시지 전송 효율 면에서 좋은 결과를 보여준다.

### 2.3 가상 싱크 로테이션

센서 네트워크 프로토콜 설계에서 중요하게 고려되어야 할 점은 싱크 주변에 에너지가 소모량이 매우 크다는 것이다. 싱크는 주변 몇몇의 노드와 통신 한다. 이러한 다대 일(many-to-one) 통신은 싱크 주변에 많은 트래픽을 일으킨다. 그렇기 때문에 필드 바깥에 있는 노드들보다 싱크 주변의 노드들이 더 많은 에너지 소모를 가져온다. 이런 현상은 가상 싱크 주변에서도 일어난다. VSR이 가상 싱크로 일반 센서 노드를 선택하기 때문에 더 심각하다.

Sink 주변의 에너지 소모를 막기 위해 많은 에너지 절감 라우팅 프로토콜이 제안되어 졌다. 그러나 대부분의 논문들은 지역적인 에너지의 최적화를 수행하기 때문에 싱크와 그 주변 이웃 노드들의 극심한 에너지 소모를 피하지 못한다. 가상 싱크 로테이션은 네트워크 전체에 에너지 소모를 분산 시킨다. 가상 싱크 로테이션 알고리즘은 가상 싱크 에너지가 임계 값 이하로 떨어지면, 센서 필드에 에너지 소모를 분산시키기 위해 새로운 가상 싱크를 선택하고 트리를 재구성한다.

가상 싱크 선정 방법 데이터 전송을 최소화 하기 위해서는 각 싱크와 가상 싱크사이에 통신 거리가 최소화 가 되도록 가상 싱크의 위치를 정하는 것이 바람직 하다. 하지만, 각 싱크는 필드 내를 이동한다고 가정하므로 이러한 접근 방법은 옳지 않다.

간단한 방법으로 가상 싱크를 선택할 때 랜덤하게 가상 싱크를 선택하는 방법이 있다. Random selection이라 부른다. 센서 노드의 숫자가 많다고 가정하기 때문에 충분히 좋은 효과를 가진다. 3 장에서 보여지듯이 가상 싱크 로테이션은 센서 필드 전체에 에너지를 소모를 분산 시킴으로써 네트워크 수명을 늘린다.

### 3. 실험과 결과

VSR 프로토콜은 ns-2 시뮬레이터 [5]에 구현되었다. 모바일 싱크(Mobile Sinks)

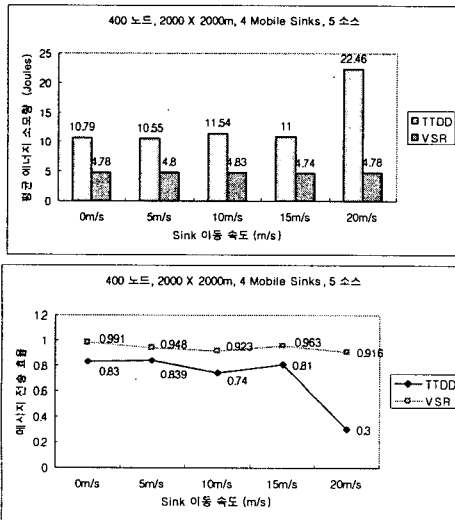


그림 3 싱크의 이동 속도에 따른 (a) 평균 소모된 에너지, (b) 메시지 전송 효율

그림 3(a)는 싱크의 이동속도를 0m/s ~ 20 m/s까지 늘려가며 평균 소모된 에너지를 보여준다. 싱크의 이동속도가 증가해도 VSR의 평균 소모된 에너지는 5J 로 거의 변화가 없다. TTDD의 결과는 이동 속도가 20m/s에 달하면, trajectory forwarding과 많은 지역적 브로드캐스팅으로 인해 노드 당 소모되는 에너지는 22.4J 로 증가한다.

그림 3(b)에서 VSR은 모든 이동 속도에서 91% 이상의 전송 효율을 보인다. 반면 TTDD는 5m/s ~ 15m/s 사이의 이동 속도에서 80% 정도의 전송 효율을 가진다. 더군다나 TTDD는 20 m/s 에서 30%의 전송 효율을 보인다. 실험 결과에서 보여 주듯이 VSR은 에너지 면이나 전송 효율면에서 TTDD 보다 좋은 성능을 가진다.

가상 싱크 로테이션 과 선정(Virtual Sink Rotation and Selection) 가상 싱크 선정 방법에 따른 VSR의 성능을 측정하였다.. 그림 4는 다른 선정 방법으로 시뮬레이션 하고 남아 있는 에너지를 표현한 것이다 : (a) no rotation, (b) random selection.

그림에서 보여지듯이, Random Rotation은 no rotation 과 비교하여 에너지를 모두 소모한 노드가 없다. 결과적으로 가상 싱크 로테이션은 센서 노드의 hole이 생기는 것을 방지하고, 센서 네트워크의 수명을 늘릴 것이다.

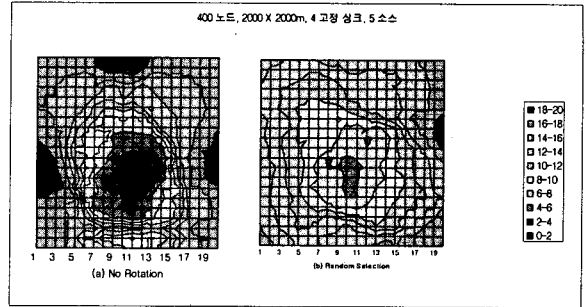


그림 4 센서 필드에 남아 있는 에너지 (a) no rotation, (b) random selection

### 5. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크에서 가상 싱크 로테이션 (VSR)이라 불리는 새로운 라우팅 프로토콜을 제안했다. VSR은 센서 필드 내에서 데이터를 모으고 데이터 전송 센터 역할을 하는 가상 싱크를 가지고 있다. VSR은 가상 싱크 로테이션 알고리즘을 사용하여 네트워크 전체에 에너지 소모를 분산시킴으로써 네트워크 수명을 늘린다. VSR은 전송 실패를 줄였고, 에너지 소모 면에서도 좋은 성능을 보인다. 더구나 VSR의 센서 노드는 전체 네트워크에 대한 토폴로지 정보를 필요로 하지 않고, 자신의 위치 정보도 필요로 하지 않는다. VSR은 대규모의 센서 네트워크에서 적은 비용에 모바일 싱크를 지원할 수 있는 라우팅 프로토콜이다.

### 6. 참고 문헌

- Al-Karaki, J. N. and Kamal, A. E., Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey, *Wireless Communications, IEEE*, pp. 6-28, Vol. 11, Issue: 6, Dec. 2004.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R. and Estrin, D., Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks, In *Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks*, pp. 2-16, Vol. 11, Issue 1, 2000.
- Karakehayov, Z., Zero-Power Design for Smart Dust Networks, In *Proceedings of the 2002 First International IEEE Symposium Intelligent Systems 2002*, pp. 302-305, Vol. 1, Sept. 2002.
- Kim, H. S., Abdelzahan, T. F., Kwon, W. H., Minimum-Energy Asynchronous Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks, In *Proceedings of the First International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 193 - 204, Nov. 2003.
- The Network Simulator ns-2 Doc., <http://www.isi.edu/nsman/ns>.
- Weiser, M., "The Computer for the 21st Century," *Sci. Amer.*, pp. 66-75, Sept. 1991.
- Ye, F., Luo, H., Cheng J., Lu, S., Zhang, L., A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks, In *Proceeding of Mobile Computing and Networks*, pp. 148 - 159, Sep. 2002.