

활성화 노드 선택 기법을 기반으로 한 효율적인 토폴로지 설계

정재탁, 박진호, 정성원, 한기준*
경북대학교 공과대학 컴퓨터공학과

{ cct, hyo6177, swchung }@netopia.knu.ac.kr, kijan@knu.ac.kr

An efficient topology scheme based on active node selecting methods

Jaetak Chung, Jinhyo Park, Wonsung Chung, Kijun Han*

*Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

요 약

무선 센서 네트워크에서 각 센서 노드는 에너지의 한계를 가지기 때문에, 에너지 소비문제는 매우 중요한 이슈이다. 조밀한 환경의 센서 네트워크에서 모든 노드들이 센싱에 참여한다면, 센싱영역의 중복영역이 커지게 되고, 이로 인해 불필요한 에너지를 소비하게 된다. 본 논문에서는 connectivity와 coverage를 보장할 수 있고, 효율적으로 활성화 노드를 선택할 수 있는 기법을 제안하여, 불필요한 센서 노드들의 에너지소비를 막아 전체적인 네트워크의 lifetime을 연장시키고자 한다.

1. 서 론

최근 유비쿼터스 컴퓨터 기반 기술 중 하나인 WSN이 큰 이슈로 떠오르고 있다. WSN이란 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 말하며, 미래의 유비쿼터스 사회실현을 위한 핵심 기술기반 중 하나이다. 그러나 WSN은 제한된 전원 공급, 임의 배치로 인한 교체 불가능, 무선매체의 저속 등 여러 가지 제약사항을 가지고 있다. 그러므로 에너지 효율성을 고려하여 센서 네트워크의 수명을 최대한 연장시키는 것이 무엇보다 중요하다. 이미 센서 네트워크의 여러 분야 즉, MAC, data routing, topology, network configuration, QOS등에서 효율적인 에너지 소비를 고려한 연구가 현재 활발히 진행 중이다[1][2].

초기에 센싱 필드에서 각 노드들은 랜덤 하게 뿌려진다. 뿌려진 노드들은 각각 센싱 기능을 통해 자신의 반경 안을 감지하고, 감지한 데이터를 SINK까지 전송한다. 이러한 과정이 보장되기 위해서는 센싱을 발생 없이 Sensing full coverage가 만족되어야 하며, 또한 Connectivity가 보장 되어야 한다. 그러나 density하게 뿌려진 노드들이 모두 활성화가 된다면 불필요한 sensing 중복영역이 발생된다. 이러한 중복영역은 결국 비효율적인 에너지 소비를 가중시키게 되며 전체 network lifetime을 단축시키게 된다[3].

우리는 본 논문에서 full coverage와 connectivity를 보장함과 동시에 최소한의 노드들만을 활성화시키는 토폴로지를 구성함으로써, 전체 네트워크의 lifetime을 늘리는 것에 중점을 두었다. 여기서 Active노드란 Sensing 기능과 동시에 무선채널을 동작하는 노드라 정의하고, Relay 노드는 sensing부는 turn off하고 무선채널만을 동작하는 노드, 그리고 Sleep노드는 sensing기능과 무선 채널 모두 동작하지 않는 노드라 정의한다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 2절에서 밀집하게 분포된 센서네트워크에서 토폴로지 구성과 관련된 연구에 대해 요약을 하고, 3절에서 제안된 스킴에 대해 자세히 서술하였다. 마지막으로 4절에서 결론을 내렸다.

2. 관련 논문

현재 중복된 sensing 영역을 최소화하기 위한 여러 가지 토폴로지 구성 기법들이 제안되었다.[4][5][6] 가장 대표적인 토폴로지 모양은 square lattice와 hexagon lattice이다.[2] 이 중 hexagon lattice구조의 토폴로지는 sensing hole이 발생되지 않고 센싱 중복영역이 최소화되는 가장 이상적인 토폴로지이다. 그러나 이 모양은 단지 coverage만이 고려되었을 뿐, Sink까지의 connectivity는 보장되지 않는다.

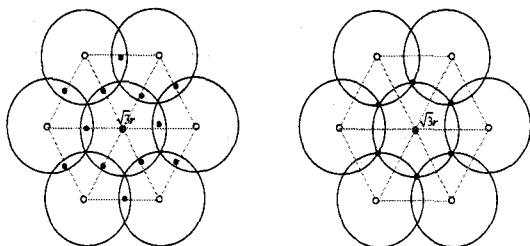
논문 "An Energy Efficient Network Topology Configuration Scheme for Sensor Networks" 에서는 이러한 hexagon 토폴로지 구성을 기반으로 하여 Connectivity를 보장하기 위해서 센싱 중복 영역에 Relay노드를 두는 Algorithm을 제안한다. 그러나 이 스킴에서 지나치게 많은 relay노드가 활성화된다. [5]

GAF[6]에서는 각 노드가 자신의 지리적 위치정보를 알고 있다는 가정 하에 네트워크 전체를 가상의 Grid로 분할 한 후, 하나의 Grid안에 한 노드만을 활성화되게 하는 기법을 이용하였다. 그러나 이 기법은 노드간의 connectivity를 고려하지 않는다.

3. 활성화 노드 선택 기법을 통한 토폴로지 설계

충분히 밀집된 센서 네트워크에서 우리는 각 노드가 주변 이웃 노드의 위치정보를 이용하여 이웃 Active노드를 결정하고 자신의 상태를 결정하면서 토폴로지를 구성해 나가는 기법을 제안하고자 한다. 이 때 sensing range와 radio transmission range는 같다고 가정한다.

서론에서 언급했다시피, sensing hole이 발생되지 않는 가장 효율적인 토폴로지 모양은 hexagon 구조를 이룬다. 이 때 한 노드의 센싱 반경이 r 이라면 노드간의 거리는 $\sqrt{3}r$ 을 이룬다. 이 구조는 1-hop으로 Connectivity가 보장되지 않으며 이를 보장하기 위해 그림1.(a)와 같이 중복 영역에 relay 노드를 배치한다. 이것은 connectivity관점에서 볼 때 두 개의 Active노드를 한 개의 relay노드가 연결해 주는 구조이다.

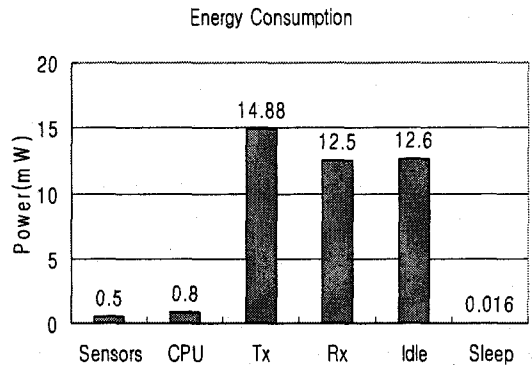


(a) 2Active-1Relay 구조 (b) 3Active-1Relay 구조
 그림1. 정육각형 모양의 토폴로지

그림2에서 무선 센서네트워크에서 일반적인 power consumption 파라 메타를 보여주고 있다. 센서네트워크 환경이나 어플리케이션에 따라 달라질 수 있지만, 일반적으로 그림에서와 같이 센서는 Radio를 가동시키는데 드는 에너지 소비가 크며 이에 비해 sensing을 하

는데 드는 에너지 소비는 극히 작다. 즉 Active노드와 Relay노드의 에너지소비 측면에서 볼 때, 큰 차이가 나지 않는다. [7]

Relay 노드의 수를 줄이기 위해 그림1.(b)와 같이 3개의 Active 노드를 하나의 relay노드가 연결해 주는 구성을 고려해 볼 수 있다. 다시 말하여, 하나의 노드의 sensing반경이 이웃 3개의 노드로 인해 모두 cover가 보장되며 자기 자신은 radio부만을 가동 시켜 Connectivity를 보장시키는 것이다. 이와 같은 구조는 Active노드간의 거리는 각각 $\sqrt{3}r$, Active노드와 relay노드간의 거리는 정확히 r 을 유지해야 한다. 그러나 random하게 노드가 배치된 센싱 필드에서 이러한 토폴로지가 구성되기는 불가능하다. 그러므로 랜덤하게 노드가 뿌려진 환경에서 센싱 홀이 발생되지 않고, 센싱 중복영역을 최소화 할 수 있으며, connectivity를 보장할 수 있는 토폴로지 구성을 위해 그림3과 같이 4개의 Active노드를 하나의 relay노드가 연결해 주는 구성을 제안한다. 이와 같은 구조는 결국 이웃 4개의 노드로 인해 sensing영역이 모두 보장이 되고 자신은 sensing기능은 off하고 Radio부만 on 함으로써 relay 역할을 수행하는 것이다.



Tx : Transmission power consumption
 Rx : Receiving power consumption
 Idle : Idle listening power consumption
 Sleep : Sleep power consumption

그림2. 센서 노드의 에너지 소비율

이 때 4개의 Active노드는 서로 $\sqrt{2}r$ 의 거리를 유지할 때 가장 안정적이지만, hexagon 구조와는 달리 정확한 포인트를 요구하지 않는다. 4개의 노드간의 거리가 서로 $r \leq x \leq \sqrt{3}r$ 의 범위를 벗어나지 않는다면 full coverage와 connectivity가 보장이 된다. 각도 측면에서, Relay노드를 중심으로 Active 노드간에 이루는 각이 90° 을 이루게 될 때 가장 안정적이고, $60^\circ \leq y \leq 120^\circ$ 의 범위를 유지한다면

full coverage와 connectivity가 보장이 된다. 노드가 랜덤하게 뿌려진 센싱 필드에서 이러한 충분한 위치 포인트 범위를 가지는 것은 실제 토폴로지 구성에 있어 매우 중요하다.

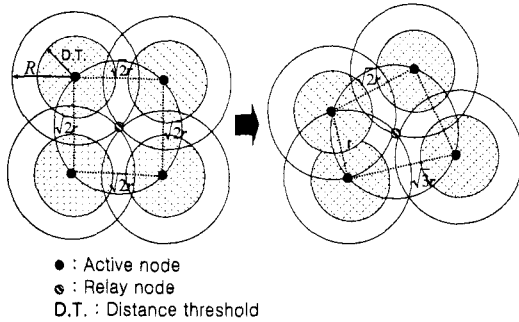


그림3. 제한하는 토폴로지 구조

우리의 기본적인 idea를 실제 WSN에서 단계적으로 고려해 보자. 여기서 우리는 우선 거리 threshold값을 두어 그 이상 떨어져 있는 노드를 Active노드 후보로 고려한다. 우선 sink는 1-hop 이웃 노드들 중 가장 멀리 떨어져 있는 노드를 선택하고 거리 threshold이상 떨어진 노드들 중 선택된 노드와 90°의 각을 이루는 위치에 가장 가까이 있는 두 노드, 그리고 180°의 각을 이루는 위치에 가장 가까이 있는 한 노드를 선택하고 이 네 노드들에게 AS(Active Selecting)message를 보낸다. AS를 받은 노드들은 Active노드가 되고 각각 자기 주위 1-hop 노드에게 Advertising하고 위치 정보를 수집한다. 수집된 정보를 통해 자신을 중심으로 AS message를 보낸 sink와 90°, 180°를 이루는 위치에 가까이 있는 3개의 노드를 선택하여 AS message를 보낸다. 이 과정을 반복하면서 sink로부터 시작하여 점차 전체 토폴로지가 구성된다. 여기서 고려해야 할 부분은 Active노드 선정에 있어 자신과 90°, 180°를 이루는 위치에 가까이 있는 노드를 선택하되, 다른 Active노드에게 message를 받은 노드를 우선적으로 선택한다. 노드가 한번 이상 Message를 받았다는 것은 그 수만큼 message를 보낸 노드들의 relay 역할을 하기 때문에 노드의 중복 발생을 막을 수 있다.

우리가 제한한 스킴을 notation을 통해 묘사할 수 있다.

- $X\ m.c$: x가 1-hop 이웃노드들에게서 message를 들은 횟수
- $\angle xy(90^\circ)$: x를 중심으로 y와 90°의 각을 이루는 위치에 가장 가까이 있는 노드
- $\angle xy(180^\circ)$: x를 중심으로 y와 180°의 각을 이루는

- 위치에 가장 가까이 있는 노드
- $|x-y|$: distance between two node x and y
- S_R : Relay 노드의 집합
- S_A : Active 노드의 집합

STEP 1: Sink로부터 가장 멀리 떨어져 있는 노드
 Select x and $S_A \leftarrow x$ 는 Max $|Sink-x|$, $x \in 1-hop$

STEP 2: 선택된 Active노드들은 AS신호를 보낸 Sink와 90°, 180°의 각을 이루는 위치에 가장 가까운 노드를 선택한다.

- Select x and $S_A \leftarrow x$ 는 $\angle xy(90^\circ)$, $x \in 1-hop$
- Select x and $S_A \leftarrow x$ 는 $\angle xy(180^\circ)$, $x \in 1-hop$

STEP 3: STEP 2에서 선택된 Active 노드는 각각 자신에게 AS Message를 보낸 노드와 90°, 180°의 각을 이루는 위치에 가장 가까운 노드를 선택한다.

- Select x and $S_A \leftarrow x$ 는 $\angle xy(90^\circ)$, $x \in 1-hop$
- Select x and $S_A \leftarrow x$ 는 $\angle xy(180^\circ)$, $x \in 1-hop$

STEP 4: 이웃 노드로부터 4회 이상 Message를 받게 되면 Relay노드로 결정된다.

- Select x and $S_R \leftarrow x$ 는 $Xm.c \geq 4$, $x_x \in S_A$, $x \in 1-hop$

STEP 5: STEP 1~STEP 4를 반복하면서 토폴로지 구성

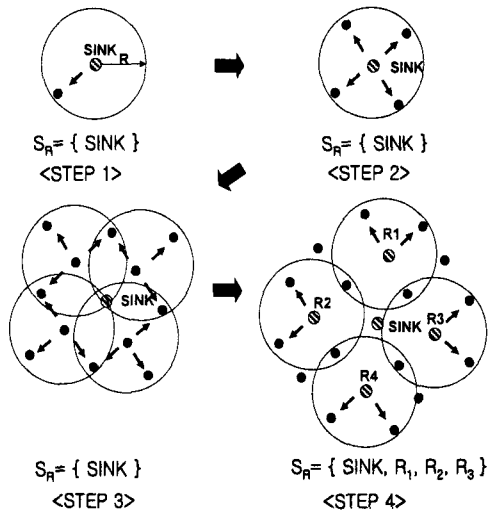
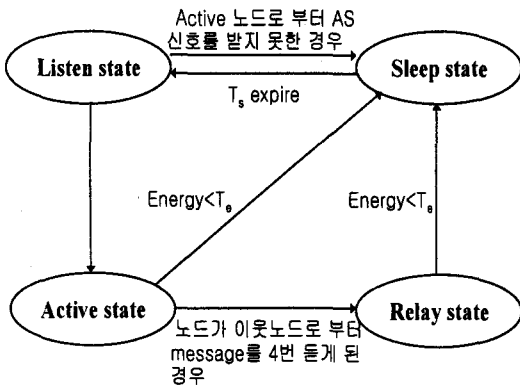


그림4. 활성화 노드 선택의 단계

우리 scheme에서 노드들은 그림과 같이 Listen 노드, Active노드, Sleep노드, Relay노드 이렇게 4개의 상태 중 하나로 될 수 있다. 초기에 모든 노드들은 Listen 상태가 된다. 이 상태에서 주위 이웃 노드들로부터 AS(Active Selecting)메시지를 받게 되면 Active노드가 된다. Active노드로 결정된 노드는 주위 1-hop노드들에게 자

신의 상태를 광고하고 위치정보를 수집하여 다음 Active 노드를 결정한다. AS메시지를 4번 이상 듣게 되면 자신은 Relay노드 상태로 바뀌게 된다. Active노드와 Relay노드는 모두 잔여에너지가 T_e 이하로 떨어지게 된다면, Sleep상태로 바뀌게 된다. Sleep상태에서 노드는 미리 정해놓은 시간 T_s 이 지난 후에 초기 상태인 Listen 상태로 돌아간다.



AS : Active Selecting message
 T_e : Energy Threshold
 T_s : Time Threshold
 그림5. 노드의 상태천이도

[2] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang. Energy efficient robust sensing coverage in large sensor networks. Technical report, UCLA, 2002. Exposure," Proc. MobiHOC 2001, pp. 106-116, Oct. 2001.

[3] J. Pan, Y. T. Hou, Lin Cai, Y. Shi, and S. X. Shen, "Topology Control for Wireless Sensor Networks," MobiCom' 03, pp 286-299

[4] A. Cerpa and D. Estrin, Ascent: Adaptive self-configuring sensor networks topologies, Proc. of Infocom, 2002.

[5] E. Kim, J. Ryu and K. Han, "An Energy Efficient Network Topology Configuration Scheme for Sensor Networks," Lecture Note in Computer Science, Jan. 16-18, 2006

[6] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing," MobiCom 2001, Rome, Italy, pp. 70-84, July 2001.

[7] A. Savvides, C.-C. Han, M. Srivastava "Dynamic Fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors," Mobicom 2001, Rome, Italy, pp. 166-179, July 2001.

4. 결론 및 향후 연구 방향

우리는 노드들이 충분히 밀집되게 분포된 센서네트워크 환경에서 Active 노드와 Relay 노드의 수를 감소시켜 전체 센싱에 참여하는 활성화 노드의 수를 줄이는 기법을 제안하였다. 이는 한 노드가 중복영역이 가장 적은 위치에 있는 4 개의 이웃노드를 활성화 시킴으로써 sensing 영역이 모두 cover 가 되고, 자기 자신은 connectivity 보장을 위해 Relay 역할을 수행하는 구조를 형성한다. 이 구조는 communication hole 이나 sensing hole 이 발생되지 않는다.

현재 시뮬레이션을 통해 이 기법을 검증하고 있으며, GAF, ACEANT 와 같은 기존 토폴로지 구성 기법들과 비교 분석하는 실험을 할 예정이다.

참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks. March 2002.