

무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

유승도, 박귀태
고려대학교 전자전기공학과

Energy-Efficient Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks

Seong-Do Yoo, Gwi-Tae Park
Dept. of Electrical Engineering, Korea University

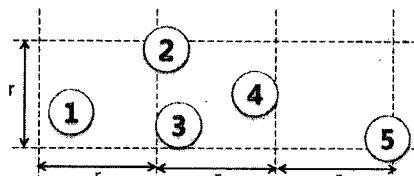
Abstract - 무선 센서 네트워크는 많은 수의 노드들로 구성되어 있고 각각의 노드들은 네트워크 일정 범위 안에 가깝게 또는 멀리 배열되어져 있다. 각각의 노드들의 수명은 전체 센서 네트워크의 수명에 중요하게 작용한다. 이러한 노드들은 네트워크 토폴로지에서 배터리를 사용되고 이 배터리는 현실상 충전과 교체가 거의 불가능하므로 우리는 배터리의 에너지를 최대한 효율적으로 사용해야 한다. 효율적인 에너지 사용은 전체 센서 네트워크의 수명을 늘려주고 임무를 완수하게 해 준다.

이 논문에서는 지리 정보를 바탕으로 이루어진 센서 네트워크에서의 노드들의 효율적인 에너지 소비를 위한 라우팅 알고리즘을 제안한다. 지리 정보를 바탕으로 한 알고리즘 중 GAF(Geographic Adaptive Fidelity) 알고리즘을 기반으로 보다 더 에너지를 효율적으로 소비하는 Improved GAF를 제안한다. GAF 알고리즘은 한 좌표(gird)당 자기 위치를 알고 있는 한 노드들이 라우팅을 유지하면서 필요 없는 노드들은 sleeping mode로 전환하여 동등하게 에너지 소비하여 에너지를 보전한다. Improved GAF는 한 좌표당 하나의 센서노드가 아닌 두 개 이하의 센서 노드가 작동하여 기존의 GAF 알고리즘보다 최대 50%까지 에너지 낭비를 막을 수 있다. 따라서 각각의 노드들의 효율적인 에너지 소비로 인하여 전체 센서 네트워크의 수명도 늘어난다. 또한 모바일 싱크가 이동을 하였을 때, 전체 네트워크 라우팅 프로토콜이 아닌 지역적인 라우팅 프로토콜만 재구성하여 에너지 효율적인 데이터 수집 기법을 제안한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 환경 모니터링을 할 수 있는 저전력, 저가의 수많은 센서 노드들로 구성되어 있다. 군대, 감시용, 산업, 교통 통제, 환경 조건 감지 등 다양한 범위에서 적용되고 있다. 특히 센서 네트워크는 유독한 화학 물질이 감염된 지역, 화재 지역, 전장과 같이 사람들이 직접 현상을 관찰 할 수 없는 위험한 곳에 설치하여 데이터를 수집한다. 본 논문에서 고려하는 센서 네트워크에서는 이동성을 가진 모바일 싱크 노드와 자기 위치를 알고 위치가 고정되어 있는 센서 노드들이 존재한다. 넓은 규모의 센서 네트워크에서 비와 바람 또는 지형의 변화에 의해서 센서 노드의 위치가 변화 할 수 있지만 고려하지 않는다. 또한 사람이 직접 접근 할 수 없는 지역은 데이터 수집을 위하여 휴대폰, PDA, 휴대용 로봇 등 이동성 있는 모바일 싱크를 이용한다. 이러한 모바일 싱크는 필요한 정보만을 위해 정보에 적합한 소스(Source)에 가까운 곳으로 이동하여 즉각적으로 데이터를 수집할 수 있다는 장점이 있다. 최근에 소스부터 모바일 싱크까지 에너지를 효율적으로 이용하여 데이터 수집 라우팅이 연구되고 있다 [5]. 무선 센서 네트워크에서 각 노드 당 에너지 소비는 데이터를 전송, 수신 그리고 idle 상태에서 이용된다. 예를 들어 idle : receive = 1 : 1.05 : 1.4의 비 [7]로 각 상태에서 에너지가 사용되는 에너지 비율을 보여주고 있다.

CODE(A Coordination-based Data Dissemination protocol) 알고리즘은 GAF 프로토콜[6]을 기반으로 가상 좌표와 sleep mode를 적용하여 source로부터 모바일 싱크까지 빠르고 정확한 데이터 수집 경로(data dissemination path)를 제안한다. 하지만 다음과 같은 문제점을 발견하여 보완 수정 한다.



<그림 1> GAF에서의 가상 좌표

a. <그림 1>과 같이 GAF 프로토콜을 기반으로 가상 좌표를 설정한다. 어떤 한 좌표에 있는 한 개의 노드와 바로 이웃해 있는 좌표의 한 개의 노드의 최대 데이터 전송 거리는 R이고 한 좌표의 폭 r은 다음과 같은 계산으로 나타낸다 [6].

$$r^2 + (2r)^2 \leq R^2$$

or

$$r = \frac{R}{\sqrt{5}}$$

여기에서 만약 좌표에 있는 노드와 이웃해 있는 좌표에 있는 노드의 최대 전송 거리가 R인 경우를 에너지 소비가 많아지게 된다. 에너지 소비에 대한 비교는 본문에서 증명한다.

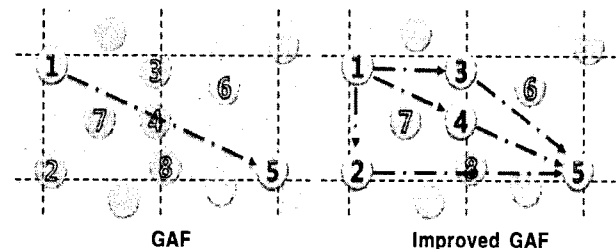
b. 모바일 싱크가 이동하여 새로운 데이터 수집 경로(data dissemination path)를 형성할 때, 이전 Agent에게 cache-removal 메시지를 보내 source까지의 이전 데이터 수집 경로(old data dissemination path)를 제거한다 [3]. 모바일 싱크 노드들이 움직일 때마다 이전 경로는 끊어지고 새로운 경로를 만들게 된다. 그러면 overhearing과 경로를 재설정하는데 많은 에너지가 소비가 된다. 또한 새로운 경로를 설정하는 동안의 시간이 소비가 된다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 이러한 문제점을 해결할 수 있는 에너지 효율적인 라우팅 기법을 제안한다.

2. 본 론

이 논문에 대한 가정은 GAF 논문에 서술된 가정과 동일하다. 모든 센서 노드들은 움직이지 않는다. 각각의 센서들은 자신의 위치와 남은 에너지를 인식 할 수 있다 [3]. 자신의 위치는 GPS나 다른 기법 [1,2] 을 바탕으로 알 수 있다. 싱크(Sink)와 소스(Source)사이에 관련되지 않은 노드는 sleeping mode 상태로 놓인다. [3].

2.1 GAF 와 Improved GAF



<그림 2> GAF 와 Improved GAF의 라우팅 알고리즘

GAF 프로토콜을 기반으로 가상좌표를 형성한다. 형성된 가상좌표에서 모바일 싱크 노드가 1번 센서노드에서 탐지한 데이터를 받기 위해서 가까운 7번 센서노드까지 이동한 후 데이터를 전송 받는다. 데이터를 전송받기 위해서는 1번 센서 노드로부터 5번 센서 노드까지 데이터 이동 경로를 설정하게 된다. <그림 2>를 보면 예를 들어, 1번 센서 노드에서 감지된 데이터를 5번 센서 노드까지 전달하는 과정에서 나머지 센서 노드들은 sleeping mode 상태로 전환되어 작동을 하지 않고 직접 데이터를 전송한다. 만약 5번 센서 노드가 에너지를 다 소비하였을 경우, 같은 좌표상에 있는 6번 또는 8번 센서 노드에게 데이터가 전송이 된다. 하지만 Improved GAF 알고리즘에서는 1번 센서 노드와 5번 센서 노드사이에 2, 3, 4, 6, 7, 8번 센서 노드들 중 하나의 센서 노드가 깨어있어 1번 센서 노드에서 5번 센서 노드까지 바로 데이터를 전송 하는 것이 아니라, 깨어있는 센서 노드를 통해서 데이터가 전송이 된다. 이럴 경우 상대적으로 전송 거리가 짧아지므로 각 센서 노드를 마다 소비되는 에너지가 줄어든다.

2.2 수학적 분석

무선 센서 네트워크에서 전체 n개의 노드에서 한 홉 당 소비되는 에너지량을 계산할 수 있다. 데이터를 전송할 때와 받을 때 에너지의 소비를 분석하기 위해서 수학적으로 나타내었다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \quad (2)$$

k-bit data packet을 거리 d에 있는 노드에게 보내기 위해서는 $E_{Tx}(k, d)$ 만큼 에너지가 소비된다 [4]. 데이터를 수신하는 위해서는 $E_{Rx}(k)$ 만큼 에너지가 소비된다 [4].

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (3)$$

GAF 프로토콜에서는 일반 무선 유효 거리가 250m인 모델을 사용하였다 [8]. 이를 바탕으로 식 (1)을 이용하여 한 가상좌표 너비(r)은 111.8m가 된다. 따라서 두 노드간의 최대 전송 거리(R)는 250m가 된다, GAF 프로토콜 방식으로 노드 1번과 5번 사이에 소비되는 에너지는 식 (2)과 같다.

$$\begin{aligned} & E_{T(n-2) \rightarrow (n-1)}(k, d_1 = \sqrt{(n-2)^2 + (n-1)^2}) \\ & + E_{R(n-2) \rightarrow (n-1)}(k) \\ & + E_{T(n-1) \rightarrow (n)}(k, d_2 = \sqrt{(n-1)^2 + (n)^2}) \\ & + E_{R(n-1) \rightarrow (n)}(k) \\ & = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d_1^2 + E_{elec} \times k \\ & + E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d_2^2 + E_{elec} \times k \\ & = 4E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k (d_1^2 + d_2^2) \quad (4) \end{aligned}$$

제한한 Improved GAF 라우팅 프로토콜 방식으로 노드 1번과 5번 사이에 소비되는 에너지는 식(4)와 같다.

d_1 과 d_2 는 최대 전송 거리 R 보다 작기 때문에 각 노드 당 소비하는 에너지는 작다.

예를 들어, <그림 2>에서 경로 1→5, 1→2→5, 1→3→5, 1→4→5를 비교하면 <표2>와 같은 에너지 소비량이 나온다.

<표 1> 주파수 특성

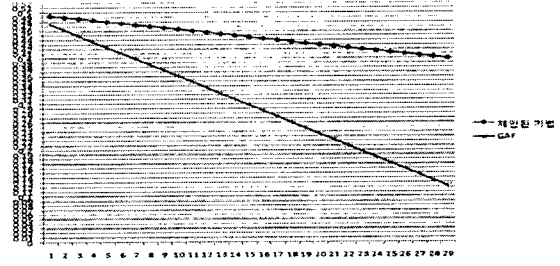
Operation	Energy Dissipated
Transmitter Electronics ($E_{Tx-elec}$)	50 nJ/bit
Receiver Electronics ($E_{Rx-elec}$) ($E_{Tx-elec} = E_{Rx-elec} = E_{elec}$)	
Transmit Amplifier (ϵ_{amp})	100 pJ/bit/m ²

<표 2> 각 전송 경로당 소비되는 에너지 (k=2000 bit/s)

경로(노드)	총 에너지 소비량(J/bit)
1 → 5	6.3×10^{-6}
1 → 2 → 5	1.66×10^{-6}
1 → 3 → 5	3.85×10^{-6}
1 → 4 → 5	6.25×10^{-6}

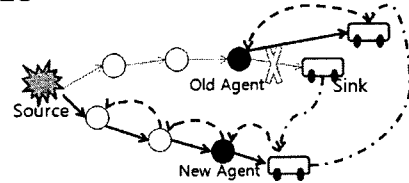
<표 2>와 같이 데이터를 직접 전송하는 방식은 한 노드를 거쳐 데이터를 전송하는 방식보다 두 배 이상의 에너지가 소비가 된다. 경로 1→5, 1→4→5 총 길이가 다르지만 총 에너지 소비량이 비슷하게 나온다. 또한 총 에너지 소비량이 한 홉으로 경로가 이루어져 있는 경우가 작기 때문에 각각의 노드들은 소비하는 에너지도 현저히 작다.

<그림 3>은 k=2000bit/s, 초기에너지 : 0.5 J/bit 으로 시간에 따른 남은 에너지양을 비교한 것이다.



<그림 3> 시간에 따른 GAF와 Improved GAF의 에너지 소비량

2.3 경로 설정



<그림 4> Handling Sink Mobility

싱크와 가장 가까운 노드를 Agent라고 한다 [4]. <그림 4>과 같이 싱크가 다른 좌표로 이동하였을 경우, 이 싱크는 Old Agent에게 cache message를 보내 다른 싱크가 새로운 POLLING message [4]를 보내기 전까지 현재 기억하고 있는 싱크의 고유 아이디(ID)와 경로를 저장시킴과 동시에 Sleeping mode로 전환 시키게 된다. 따라서 동일 싱크가 동일한 정보를 다시 얻기 위해서 Old Agent에게 이동하여 자신만의 POLLING message를 보내면 아이디를 확인하여 동일 아이디가 있다면 다시 경로를 설정하지 않고 기존의 경로로 소스(Source)로부터 데이터를 전송하게 된다. 만약 아이디가 기존의 아이디와 일치하지 않을 때에는 새로운 싱크로 보고 새로운 소스(Source)에 대한 최적의 경로를 탐색/설정하게 된다.

3. 결 론

본 논문에서 GAF 프로토콜을 이용한 가상 좌표를 이용하여 모바일 싱크(Mobile Sink)가 소스(Source)까지 데이터 수집을 위하여 경로를 설정할 때 하나의 좌표에 하나의 노드가 다른 좌표의 노드에게 직접적으로 경로 설정이 아닌 반드시 중간에 하나의 노드를 거쳐 경로를 설정하게 된다면 에너지 낭비를 줄일 수 있다. 또한 싱크가 다른 좌표로 이동하였다고 하더라도 설정된 경로를 기억하여 동일 싱크가 다시 찾아와 동일 소스(Source)에 대한 정보를 요구하면 새로이 경로를 설정할 필요가 없어 이에 따른 에너지 낭비를 줄일 수 있다. 이렇게 에너지 낭비를 줄여 전체 네트워크의 연결 유지 시간(network lifetime)을 연장한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Nirupama Bulusu, John Heidemann, and Deborah Estrin. "Gps-less low cost outdoor localization for very small devices". IEEE Personal Communications Magazine, 7(5):28 - 34, 2000.
- [2] J.Albowitz, A.Chen, and L.Shang, "Recursive Position Estimation in Sensor Networks". ICNP', 2001.
- [3] Hung Le Xuan and Sungyoung Lee, "A Coordination-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks", ISSNIP, 13-18, 2004
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." in 33rd Hawaii Intl. Conf. on System Sciences, 2000.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. GoSilva. "Directed sensor networking" Networking, IEEE/ACM Transactions on Volume: 11 Issue: 1, Page(s): 2 - 16, 2003.
- [6] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin. "Geography informed energy conservation for ad hoc routing". In Proc. of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2001), Rome, Italy, 2001.
- [7] M. Stemm and R.H Katz. "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in handheld devices". IEICE Transaction on d communication, E80-B(8): 1125-1131, 1997