

## 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 모바일 싱크의 데이터 수집 기법

유승도, 공영배, 장형준, 박귀태  
고려대학교 전자전기공학과

### Energy-Efficient Data Dissemination for Mobile Sink in Wireless Sensor Networks

Seong-Do Yoo, Young-Bae Kong, Hyeong-Jun Chang, Gwi-Tae Par  
Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - 무선 센서 네트워크에서 소스(Source)에서 Sink까지의 데이터 수집(Data Dissemination)은 정확한 정보를 제공, 구축하는데 있어 중요한 부분 중에 하나이다.

본 논문에서는 필요한 정보만을 신속하고 정확하게 얻기 위하여 모바일 싱크(Mobile Sink)를 이용한다. 모바일 싱크(Mobile Sink) 대해서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 라우팅 기법을 소개하고, 모바일 싱크(Mobile Sink)가 이동할 때 네트워크의 연결 유지 시간(network lifetime)을 연장시키기 위해 Source에서 모바일 싱크(Mobile Sink)까지 데이터 수집(Data Dissemination)을 기법을 제안한다. 제안된 기법으로 Source와 Mobile Sink까지 가상 좌표를 통해 data dissemination path를 효율적으로 설정하고, 모바일 싱크(Mobile Sink)가 다른 좌표로 이동하였을 경우 전 좌표에서 설정되었던 경로와 새로운 좌표에서 설정된 경로를 유지, 수정을 통해 over-hearing 현상을 줄임으로써 효율적으로 에너지를 소비하도록 한다.

제안된 기법은 무선 센서 네트워크 환경에서 노드들의 수명을 연장시키고, 데이터 전송 시간을 단축시켜 더 빠른 데이터 수집(Data Dissemination)을 수직적으로 결과를 보여 준다.

#### 1. 서 론

넓은 규모의 센서 네트워크를 이용한 데이터 수집은 휴대폰, PDA, 휴대용 로봇 등 이동성 있는 모바일 싱크(Mobile Sink)를 이용한다. 이러한 모바일 싱크(Mobile Sink)는 필요한 정보만을 위해 정보에 적합한 소스(Source)에 가까운 곳으로 이동하여 즉각적으로 데이터를 수집할 수 있다는 장점이 있다. 최근에 소스(Source)부터 모바일 싱크(Mobile Sink)까지 에너지를 효율적으로 이용하여 데이터 수집 라우팅이 연구되고 있다 [5,6,7]. 무선 센서 네트워크에서 각 노드 당 에너지 소비는 데이터를 전송, 수신 그리고 idle 상태에 이용된다. 예를 들어 idle : receive : send = 1 : 1.05 : 1.4의 비 [9,10] 로 각 상태에서 에너지가 사용되는 에너지 비율을 보여주고 있다. CODE(A Coordination-based Data Dissemination protocol)는 GAF 프로토콜 [8] 을 기반으로 가상 좌표와 sleep mode를 적용하여 source로 부터 모바일 싱크(mobile sink)까지 빠르고 정확한 데이터 수집 경로(data dissemination path)를 제안하였다. 하지만 다음과 같은 문제점이 있어 보완/수정 하려고 한다.

1. 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 나타나 진다 [8].

$$r = \frac{R}{\sqrt{5}} \quad (1)$$

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.

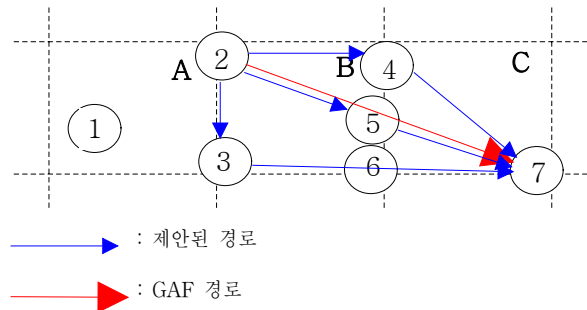
2. 모바일 싱크(Mobile Sink)가 이동하여 새로운 데이터 수집 경로(data dissemination path)를 형성할 때, 이전 Agent에게 cache-removal message를 보내 source까지의 이전 데이터 수집 경로(old data dissemination path)를 없앤다 [3]. sink들이 움직일 때마다 이전 경로는 끊어지고 새로운 경로를 만들게 된다. 그러면 overhearing과 경로를 재설정하는데 많은 에너지가 소비가 된다. 또한 새로운 경로를 설정하는 동안의 시간이 소비가 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 데이터 수집(Data Dissemination)을 위한 라우팅 기법을 제안한다.

#### 2. 본 론

이 논문에 대한 가정은 CODE 논문에 서술된 다음과 같은 가정을 따른다. 모든 센서 노드들은 움직이지 않는다. 각각의 센서들은 자신의 위치와 남은 에너지량을 인식한다 [3]. 자신의 위치는 GPS나 다른 기법 [1,2] 을 바탕으로 알 수 있다. 싱크(Sink)와 소스(Source)사이 관련되지 않은 노드는 sleeping mode 상태로 놓여진다 [3].

#### 2.1 제안하는 데이터 수집 경로



<그림 1> Example of virtual grid in GAF

<그림 1>과 같이 가상좌표는 GAF 프로토콜을 기반으로 형성이 된다. 형성된 가상좌표에서 모바일 싱크(Mobile Sink)가 B좌표로 이동하여 C 좌표에 있는 소스(Source)에 대한 정보를 얻고자 할 때, 시작하는 노드와 소스 노드 사이의 한 노드를 거쳐서 경로를 설정한다. 예를 들어, B 좌표에서는 2번 노드를 제외한 3, 5, 6의 노드가 에너지를 다 소비하였을 경우, 2번 노드에서 7번 소스 노드에 있는 데이터 수집 경로를 이룰 때 최대 전송 거리 R로 설정된다. 하지만 2번과 7번 사이의 노드 중 C 좌표에 살아 있는 4번 노드를 거쳐 경로가 설정이 되면 다음 2.1.1에 증명되어 있는 수식으로 에너지가 절감이 되는 것을 볼 수 있다.

#### 2.1.1 제안된 라우팅 프로토콜 에너지 분석

n개의 노드에서 한 홉 당 소비되는 에너지량을 계산 할 수 있다. 에너지 분석을 위해 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [4] 에 수식과 표를 이용하였다.

<표 1> Radio characteristics.

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 ( $\epsilon_{amp}$ )	100 pJ/bit/m <sup>2</sup>

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

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].

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

GAF 프로토콜에서는 일반 무선 유효 거리가 250m인 모델을 사용하였

다 [8]. 이를 바탕으로 식 (1)을 이용하여 한 가상좌표 너비(r)은 111.8m 가 된다. 따라서 두 노드간의 최대 전송 거리(R)는 250m가 된다, GAF 프로토콜 방식으로 노드 2번과 7번 사이에 소비되는 에너지는 식 (2)과 같고, 제안한 라우팅 프로토콜 방식으로 노드 2번과 7번 사이에 소비되는 에너지는 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 & E_{T(n-2) \rightarrow (n-1)}(k, d_1 = \sqrt{(n-2)^2 + (n-1)^2}) \\
 & + E_{R(n-2) \rightarrow (n-1)}(k) \\
 & + E_{T(n-1) \rightarrow (n)}(k, d_2 = \sqrt{(n-1)^2 + (n)^2}) \\
 & = E_{elect} * k + \epsilon_{amp} * k * d_1^2 + E_{elect} * k \\
 & \quad + E_{elect} * k + \epsilon_{amp} * k * d_2^2 \\
 & = 3E_{elect} * k + \epsilon_{amp} * k * (d_1^2 + d_2^2) \quad (4)
 \end{aligned}$$

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

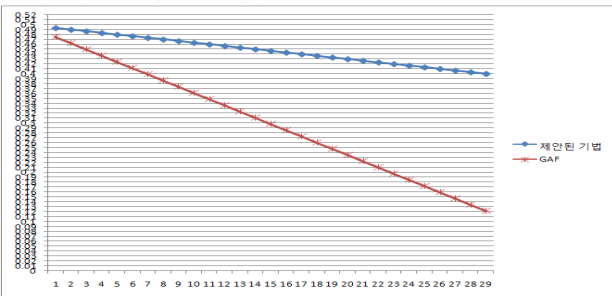
예를 들어, <그림 1>에서 경로 2→7, 2→4→7, 2→3→7, 2→5→7를 비교하면 <표2>와 같은 에너지 소비량이 나온다.

<표 2> 에너지 소비량 비교 (k=2000 bit/s)

경로(노드)	총 에너지 소비량(J/bit)
2→7	$6.3 * 10^{-6}$
2→4→7	$3.85 * 10^{-6}$
2→3→7	$6.25 * 10^{-6}$
2→5→7	$1.66 * 10^{-6}$

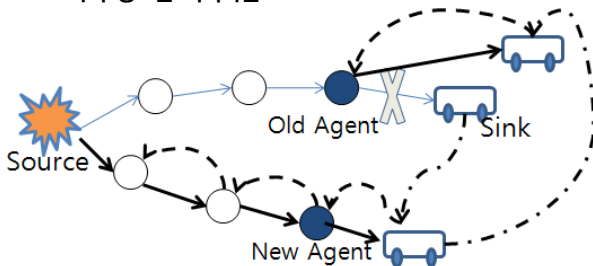
<표2>와 같이 데이터를 직접 전송하는 방식은 한 노드를 거쳐 데이터를 전송하는 방식보다 두 배 이상의 에너지가 소비가 된다. 경로 2→4→7, 2→6→7 총 길이가 같기 때문에 총 에너지 소비량이 비슷하게 나온다. 또한 총 에너지 소비량이 한 홉으로 경로가 이루어져 있는 경우가 작기 때문에 당연히 한 노드 당 소비하는 에너지도 현저히 작다.

<그림 2>은 k=2000bit/s, 초기에너지 : 0.5 J/bit 으로 시간에 따른 남은 에너지 양을 비교한 것이다.



<그림 2> 시간에 따른 GAF와 제안된 기법 남은 에너지양 비교

### 2.1.2 과거 경로를 기억하는 노드



<그림 3> Handling Sink Mobility

싱크와 가장 가까운 노드를 Agent라 한다 [4]. <그림 3>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] Fan Ye, Haiyun Luo, Jerry Cheng, Songwu Lu, Lixia Zhang. "Sensor Networks: A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks" Proceedings of the Eighth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCOM 2002), 2002
- [7] Joanna Kulik, Wendi Heinzelman, Hari Balakrishnan. "Negotiation-based information in wireless sensor networks" ACM Transaction on Volume 8 , Issue 2/3, 2002.
- [8] 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.
- [9] M. Stemm and R.H Katz. "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in handheld devices". IEICE Transaction and communication, E80-B(8): 1125-1131, 1997
- [10] Y. Xu, J.Hendemann, and D.Estrin. "Adaptive energy-conserving routing for multihop ad hoc networks". Technical Report TR-2000-527, USC/Information Sciences Institute, 2000.