

# 이종 센서 네트워크의 수명에 관한 연구

정성민\*, 김태경\*\*, 정태명\*\*\*  
 \*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과  
 \*\*서울신학대학교 교양학부  
 \*\*\*성균관대학교 정보통신공학부

e-mail : smjung@imtl.skku.ac.kr\*, ttkim@stu.ac.kr\*\*, tmchung@ece.skku.ac.kr\*\*\*

## A Study on the Lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Networks

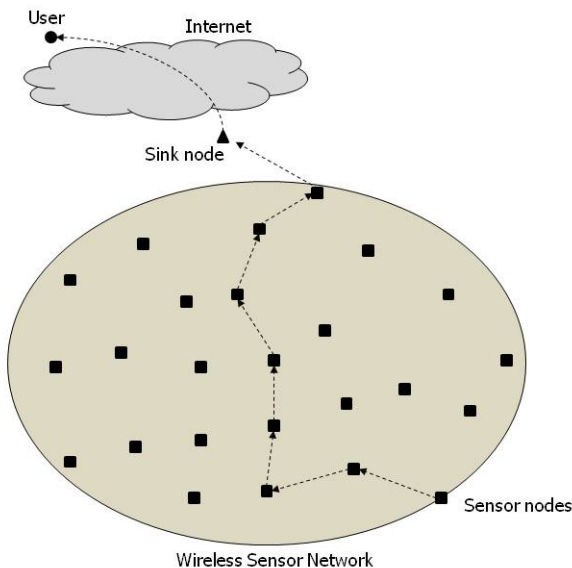
Sung-Min Jung\*, Tae-Kyung Kim\*\*, Tai-Myoung Chung\*\*\*  
 \*Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University  
 \*\*Dept. of Liberal Art, Seoul Theological University  
 \*\*\*School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

센서 네트워크는 센싱 기능과 데이터 처리 그리고 무선 통신기능을 갖춘 많은 노드로 이루어져 있다. 센서 노드는 제한적인 CPU, 배터리 그리고 저장공간과 같은 제약사항을 가지고 있기 때문에 시간이 지날수록 노드의 수명이 다해 전체적인 네트워크의 성능은 감소하게 된다. 본 논문에서는 이종 센서 네트워크에서 노드 개수에 따른 작업 수행 시간의 분석을 통해 센서 네트워크의 수명을 판단한다. 성능 평가 결과 계층 기반의 라우팅 기법의 경우 클러스터 수의 비율이 네트워크의 수명에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다.

### 1. 서론

센서 네트워크는 일반적으로 (그림 1)과 같이 다수의 센서 노드와 하나의 싱크 노드(Sink node)로 구성되어 있다[1].



(그림 1) 센서 네트워크 구성요소

각 노드는 주변의 정보를 탐지하기 위한 센싱 기능과 수집된 데이터를 처리하는 기능, 그리고 처리된 데이터를 주변의 노드로 전달하기 위한 무선 통신 기능을 가지고 있다. 일반적으로 작은 크기 때문에 노

드는 제한적인 배터리, CPU 그리고 메모리를 가지고 있다. 특히 배터리는 노드가 배포된 이후에 교체나 충전이 불가능하기 때문에 배터리가 모두 소모된다면 노드는 더 이상 자신의 역할을 수행하지 못하고 수명을 다하게 된다. 시간이 지날수록 수명을 다하는 노드 개수가 증가하면 네트워크의 성능이 떨어지게 되므로 센서 네트워크의 수명을 판단하는 것은 중요하다 [1].

본 논문에서는 이종 센서 네트워크에서 각 노드의 작업 수행 시간을 바탕으로 노드 개수에 따른 성능을 살펴본다. 센서 네트워크의 성능을 측정할 때 본 논문에서는 작업 수행 시간 이외에 다른 요소는 고려하지 않는다.

2 장에서는 센서 네트워크에서 사용되는 기본적인 라우팅 기법에 대해 알아보고 3 장에서 이종 센서 네트워크에서의 작업 수행 시간을 측정하기 위한 수학적 모델을 소개한다. 이 모델을 바탕으로 센서 네트워크의 수명을 판단하기 위해 노드 개수에 따른 성능을 비교해본다. 마지막으로 4 장에서 결론을 맺는다.

### 2. 센서 네트워크에서 라우팅 기법의 종류

센서 네트워크의 수명을 최대한 연장하기 위해서는 일부 노드만 배터리가 고갈되는 것을 막고, 네트워크 상에서 각 노드들의 에너지가 분산되어 균등하게 소모하도록 해야 한다.

일반적으로 센서 네트워크의 라우팅 기법은 네트워크의 구조에 따라 크게 평면 기반 라우팅(Flat-based

routing)과 계층 기반 라우팅(Hierarchical-based routing) 그리고 위치 기반 라우팅(Location-based routing) 기법으로 나눌수 있다[1][2].

- 평면 기반 라우팅 기법

이 기법은 대부분 플러딩(Flooding)에 기반을 둔 라우팅 기법이다. 센서 노드는 고유한 전역 식별자를 가지기 어렵기 때문에 각 노드는 동일한 역할을 하며 전송되는 데이터에 기반을 둔 라우팅을 이용한다. 이 기법은 구현이 간단하나 많은 노드에서 발생하는 메시지 때문에 데이터 처리 시간과 에너지 소비 측면에서 비효율적이다. 따라서 데이터의 크기를 줄여 통신에서 소모되는 에너지량을 줄이기 위해 데이터 병합을 사용한다. 대표적인 기법은 Directed Diffusion 이다.

- 계층 기반 라우팅 기법

이 기법은 센서 네트워크를 일정한 크기의 클러스터로 나누어 그룹을 형성한 후 클러스터 내에서 헤더가 데이터를 수집하고 병합하여 데이터의 크기를 줄인 후에 최종적으로 싱크 노드로 전송하는 기법이다. 일반적으로 클러스터 내의 하나의 헤더가 데이터 병합의 역할을 맡게 되며, 이 역할은 모든 노드가 번갈아 수행하게 된다. 근거리에 위치한 노드들은 비슷한 데이터를 감지할 수 있기 때문에 일정한 지역에서 이를 병합하여 데이터의 크기를 줄임으로써 전체 네트워크에서 데이터의 전송량을 줄일 수 있다. 대표적인 기법은 LEACH 이다[3].

- 위치 기반 라우팅 기법

이 기법은 노드의 위치 정보에 기반하여 라우팅을 수행하는 기법이다. 이웃하는 노드들과 거리가 신호의 세기를 바탕으로 계산되고, GPS 를 이용하여 자신의 위치 정보를 얻을 수 있다. 대표적인 기법으로 GAF 와 GEAR 가 있다.

본 논문에서는 계층 기반 라우팅 기법을 이용하는 이기종 센서 네트워크에서 노드의 작업 수행 시간을 비교하여 이를 바탕으로 노드 개수에 따른 성능을 분석하고 네트워크의 수명을 판단한다.

### 3. 이기종 센서 네트워크 작업 수행 시간

이기종 센서 네트워크는 각기 다른 성능을 가진 이기종의 노드로 구성된 네트워크를 의미한다. 이기종 센서 네트워크에서 작업 수행 시간을 측정하기 위해서 [4]에서 소개된 수학적 모델을 이용하였다. 이를 바탕으로 센서 네트워크 내의 효율적인 자원 할당의 측정을 위해 EDP(Energy Delay Product)를 비교하였다 [5]. EDP 는 작업 수행 시간과 에너지 소비량을 곱으로 나타낸 것이다. 이 수치가 작을수록 센서 네트워크의 성능이 효율적임을 의미한다.

초기에  $n$  개의 노드가 배포되고 각 노드의 작업 수행 시간이  $a$  부터  $b$  까지 균등 분포를 이룬다고 가정한다. 일정 시간이 흐른 뒤에  $p/n$  개 노드가 수명을

다하여 노드의 수가  $p$  가 된다면, 새로운 작업 수행 시간의 응답시간은  $a$  부터  $a+(b-a)(p/n)$  까지 균등 분포를 이루게 된다. 이와 같은 균등 분포에서 각 노드의 작업 수행 시간의 평균은 수식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\text{평균} = a + \frac{(b-a)}{2n} p \quad (1)$$

노드의 작업 수행 시간이 균등 분포를 이루는 네트워크에서  $m$  개의 작업이 균등하게 발생하고  $p$  개의 노드가 처리한다면, 하나의 노드는  $m/p$  개의 작업을 처리하게 된다. 또한 클러스터 수의 비율이  $c$  이고 각 클러스터 내의 데이터가 노드 사이에서 순차적으로 전달되어 처리된다면 전체 센서 네트워크의 작업 수행 시간은 수식 (2)로 정리할 수 있다[3].

$$\text{작업 수행 시간} = \frac{mc}{p} \left( a + \frac{(b-a)}{2n} p \right) \quad (2)$$

다음으로 EDP 를 구하기 위하여 센서 네트워크의 에너지 소비량을 구한다. 하나의 작업을 처리하기 위한 에너지 소비량을  $w$  라고 하고 센서 네트워크 내에서  $m$  개의 데이터가 주어졌다고 가정한다면 전체 센서 네트워크의 에너지 소비량은 수식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$\text{에너지 소비량} = w \times m \left( a + \frac{(b-a)}{2n} p \right) \quad (3)$$

각 노드의 작업 수행 시간을 이용하여 성능을 비교하기 위한 EDP 는 수식 (2)와 수식 (3)을 이용하여 최종적으로 수식 (4)와 같이 정리할 수 있다.

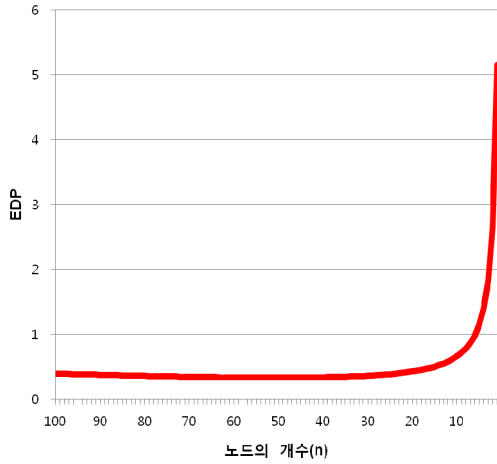
$$\text{EDP} = \frac{wm^2c}{p} \left( a + \frac{(b-a)}{2n} p \right)^2 \quad (4)$$

수식 (4)를 바탕으로 <표 1>과 같은 환경을 가정하여 성능 평가를 수행하였다.

<표 1> 성능 평가 환경

구분	값	비고
$w$	0.1	작업 처리에 소모되는 에너지량
$m$	10,000	이벤트 수
$c$	0.05	클러스터 비율
$n$	100	초기 노드 개수
$p$	1~100	현재 남아있는 노드 개수
$a$	0.01	가장 빠른 작업 수행 시간
$b$	0.03	가장 느린 작업 수행 시간

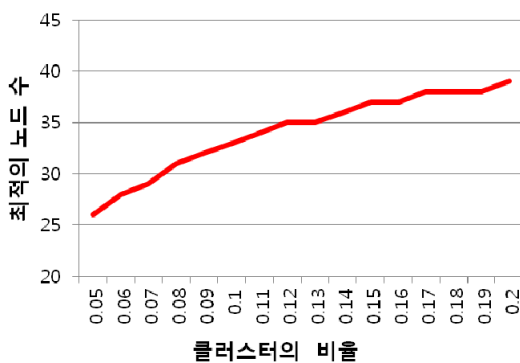
초기에 100 개의 노드가 네트워크에 분포되고 시간이 지날수록 에너지를 모두 소모하는 노드가 증가할 때 남은 노드 개수에 대한 EDP 값의 변화를 구해보면 (그림 2)와 같다.



(그림 2) 센서 노드 수에 따른 EDP 변화

EDP 는 처음에 증가나 감소를 보이지 않다가 일정 노드 개수 이후에 급격히 증가하게 된다. EDP 를 바탕으로 네트워크의 성능을 생각한다면 일정 노드 개수 이후에 작업을 수행하는 것은 크게 비효율적이므로 이 시점에서 센서 네트워크는 수명이 끝났다고 할 수 있다.

특히, EDP 가 급격히 증가하는 기울기의 기준을 0.01 이라고 하고 이때 노드 개수를 최적의 성능을 보이는 개수라고 한다면 클러스터의 비율을 나타내는  $c$  의 값에 따라서 해당하는 노드 개수가 (그림 3)와 같이 달라진다.



(그림 3) 클러스터 비율에 따른 최적 노드 개수

클러스터 비율에 따라 각각의 노드 개수 이후에는 센서 네트워크가 수명이 다했다고 말할 수 있다. 초기에 100 개의 노드가 배포되고 클러스터의 비율인  $c$  가 0.05 였을 때 약 26 개의 노드 이후에 EDP 가 급격히 증가하고  $c$  가 0.2 였다면 약 39 개의 노드 이후에 EDP 가 급격히 증가하였다. 즉, 클러스터의 비율이 높을수록 센서 네트워크의 수명이 짧아지는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

센서 네트워크는 다양한 이점 때문에 여러 응용 분야에서 적용이 고려되고 있는 기술이다. 하지만 네트워크를 이루는 센서 노드는 제한적인 자원을 가지고 있기 때문에 전체적인 네트워크의 수명을 극대화하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 센서 네트워크가 최적의 성능을 보이는 노드 개수를 분석하기 위해 센서 노드의 작업 시간을 수학적 모델을 통해 분석하고 센서 네트워크의 수명에 대한 기준을 제시하였다.

추후 연구 계획으로는 작업 수행 시간 이외에도 다양한 요소를 적용하여 성능평가를 수행할 계획이다. 이밖에 센서 네트워크가 사용되는 환경과 서비스에 따른 다양한 요구사항을 분석하여 센서 네트워크의 수명에 대한 적절한 기준을 제시할 계획이다.

#### Acknowledgement

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011 년도 산학연공동기술개발사업(No. 000443010111)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

#### 참고문헌

- [1] Sung-Min Jung, Young-Ju Han, and Tai-Myoung Chung, "The Concentric-Cluster Routing Scheme adapted to Large-Scale sensor networks," The 5th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia(MoMM), Dec. 2007.
- [2] Jamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks : A survey," IEEE Wireless Commun. Vol. 11, Issue 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Network," Jan. 2000.
- [4] Sungkap Yeo, Hsien-Hsin S. Lee, "Using Mathematical Modeling in Provisioning a Heterogeneous Cloud Computing Environment", 2011, pp.55-62.
- [5] R. Gonzalez, M. Horowitz, "Energy Dissipation in General Purpose Processors," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 31, no. 9, 1996, pp. 1277-1284.