

---

# 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 에너지-효율적인 계층구조 클러스터 기반 라우팅 기법

강희훈\* · 이영종\* · 한완옥\*\*

Energy-Efficient Hierarchical Cluster-Based Routing for Ubiquitous Sensor Networks

Hee-hoon Kang\* · Young-jong Lee\* · Won-ok Han\*\*

## 요 약

본 논문에서, 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)내에서 연속적인 스트림 쿼리에 대한 에너지 효율적인 계층적 구조를 가지는 클러스터 기반 라우팅 방식을 제안한다. 제안한 방식은 클러스터 헤드 대신에 기지국에 메시지를 전송하는 역할을 헤드-집합에서 일정하게 담당하게 함으로써 에너지 사용에 있어 효율적인 라우팅이 이루어지게 한다. 이로 인해서 제안한 방법은 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

## ABSTRACT

A cluster-based routing with a hierarchical structure for continuous query stream ubiquitous sensor network is proposed in this paper. the proposed method realizes high energy-efficiency by using a head-set instead of head for transmitting node-messages to a base station. By using head-set, the method make network lifetime increased.

## 키워드

USN, Cluster-Based Routing, Cluster-Head, Head-Set

## I. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크는 일반적인 무선 프로토콜과는 달리 매우 많은 배터리 전원을 가지는 장치로 구성되기 때문에, 에너지 효율적인 네트워크 프로토콜의 설계가 수반되어야 한다[1][2]. 유비쿼터스 센서 네트워크의 핵심 동작은 네트워크 노드에서 데이터를 수집하고 처리하는 것이고 더 나아가 분석과 처리에 대해서 기지국에 필요한 데이터를 전송하는 것이다. 이를 위해서 유비쿼터스 센서 네트워크의 구성하는 센서 노드들이 메시지를 기지국에 전송하기 위해서

두 단계의 과정으로 구성된다.

## II. 유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 계층구조 클러스터 기반 라우팅

클러스터의 구성은 매 라운드과정에서 각 센서노드들의 에너지 소비를 효율적으로 분산한다. 라운드(Round) 과정은 선출 위상과 메시지 전송 위상의 2 단계로 구성한다.

---

\* 여주대학교 전자과  
접수일자 : 2009. 07. 03

\*\* 여주대학교 자동차과  
심사완료일자 : 2009. 08. 20

## 2.1 선출 위상

$n$ 개의 센서로 구성된 USN에서 클러스터의 최적화된 수를  $k$ 개라 하면 일정하게 분포된 클러스터에 대해서, 각 하위 클러스터는  $n/k$ 개의 노드들을 포함한다. [3]의 무선 통신모델로부터, 클러스터 헤드에 의해서 소비되는 에너지는 식(1)과 같다.

$$E_{CH-elec} = lE_c \frac{n}{k} + lE_{BF} \left( \frac{n}{k} - 1 \right) + l e_s d^2 \quad (1)$$

식(1)은 광고 메시지와 센서노드들로부터 메시지를 수신하기 위해서 소비되는 에너지를 나타낸다. 일반 센서 노드들에 의해서 소비되는 에너지는 식(2)와 같다.

$$E_{SN-elec} = lE_c(1+k) + kl E_{BF} + l e_s d^2 \quad (2)$$

식(2)에는 센서노드들이  $k$ 개의 클러스터 헤드로부터 메시지를 수신하기 위해서 소비되는 에너지와 클러스터 헤드를 결정하기 위해서 메시지를 송신하는데 소비되는 에너지를 포함하고 있다.

## 2.2 메시지 전송 위상

[3]의 무선 통신모델로부터 클러스터 헤드에 의해서 소비되는 에너지는 식(3)과 같다.

$$E_{CH/frame} = l e_c d^4 + \left( \frac{n}{k} - m + 1 \right) l E_c + \left( \frac{n}{k} - m \right) l E_{BF} \quad (3)$$

여기서  $m$ 은 헤드-집합의 구성원의 수를 나타낸다. 식(3)은 클러스터 헤드가 기지국에 메시지를 전송하기 위해서 소비되는 에너지와 센서 노드들로부터 데이터를 수신하는데 소비되는 에너지를 포함하고 있다.

$$E_{SN/frame} = l E_c + l e_s d^2 \quad (4)$$

센서 노드들의 일정 분포와 USN 반경  $M$ 를 가지는 순회 클러스터에 대해서,  $d^4$ 의 평균값은 식(5)과 같이

나타낸다.

$$E[d^2] = \left( \frac{M^2}{2\pi K} \right)^2 \quad (5)$$

식(4)는 식(5)를 대입하면 식(6)과 같다.

$$E_{SN/frame} = l E_c + l e_s \frac{M_2^2}{2\pi k} \quad (6)$$

1번 반복에서,  $N_f$ 개의 데이터 프레임이 기지국에 전송된다. 각 클러스터에 의해서 전송되는 프레임은  $N_f/k$ 이다.  $N_f/k$ 개의 프레임이 하나의 클러스터의  $n/k$ 개의 노드들에서 일정하게 분할된다. 각 클러스터 헤드 프레임 전송은  $n/k - m$ 개의 노드 프레임이 요구된다. 간략화를 위해서, 식(7)와 (8)을 정의한다.

$$f_{s1} = \left( \frac{1}{\frac{n}{k} - m + 1} \right), f_2 = \left( \frac{\frac{n}{k} - m}{\frac{n}{k} - m + 1} \right) \quad (8)$$

각 클러스터의 데이터 전송 단계에서 에너지 소비는 식(9)과 식(10)과 같다.

$$E_{CH-data} = f_1 N_f E_{CH/frame} \quad (9)$$

$$E_{SN-data} = f_2 N_f E_{SN/frame} \quad (10)$$

## 2.3 클러스터 수의 최적화

어떤 클러스터에서, 기지국에 집약된 메시지를 전송하는데 소비된 에너지는 식(11)과 같다.

$$E_c = E_{CH/frame} + \left( \frac{n}{k} - m \right) E_{SN/frame} \quad (11)$$

$k$ 개의 클러스터에서 소비된 총 에너지는 식(12)와 같다.

$$E_{total/frame} = k E_c \quad (12)$$

식(12)에 위의 식(11)과 식(3) 그리고 식(4)를 대입하면 식(12)은 식(13)과 같다.

$$E_{total/frame} = kle_p d^4 + (2n - 2km + k)lE_c + (n - km)lE_{BF} + lne_s \frac{M^2}{2\pi k} - lme_s \frac{M^2}{2\pi k} \quad (13)$$

식(13)에 대한 각 클러스터내 프레임 에너지의 소비가 최소화되는 최적화된 k를 식(15)과 같이 얻을 수 있다.

$$K = \sqrt{\frac{n}{2\pi}} \sqrt{\frac{e_s}{e_p d^4 - (2m - 1)E_c - mE_{BF}}} M \quad (15)$$

### III. 시뮬레이션 결과

그림 1은 헤드-집합의 크기에 대해서 최적화된 클러스터 수의 변화를 나타낸다. 기지국은  $d=200[m]$ 이고 노드수는 2000개당 하나가 있는 조건이다. 헤드-집합의 크기는 1에서 20정도까지 변할 수 있음을 보여준다. 헤드-집합의 크기가 20일때 클러스터의 수의 최적화된 수는 대략 16개 정이며 이 그래프를 통해서 클러스터 수를 설정할 수 있다.

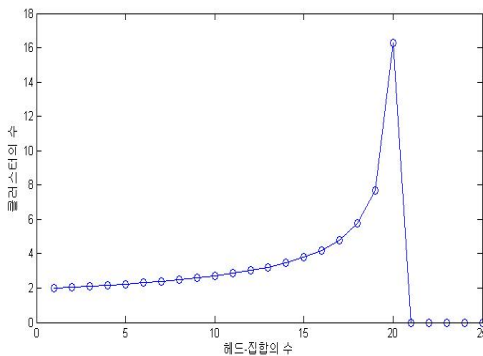


그림 1. 클러스터의 최적화된 최대수  
Fig. 1 Maximum optimum number of clusters

그림 2는 기지국으로부터 거리와 헤드-집합에 대해서 최대 클러스터 크기의 변화를 보여준다. 이는 큰

클러스터 크기들은 크기가 큰 헤드-집합의 값에 대해서 조정될 수 있음을 보여준다. 그러나 헤드-집합이 작을 때 단지 작은 수의 클러스터만이 가능하다. 게다가, 기지국으로부터의 거리가 증가될 때 에너지의 소비는 장거리 전송을 위해서 더 커진다. 그 결과, 동일한 헤드-집합 크기에 대해서 최대 클러스터 수는 기지국과의 거리가 증가될 때 감소한다.

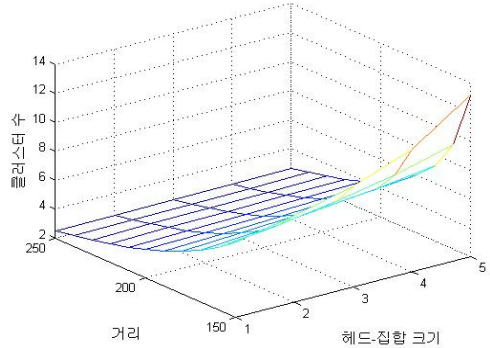


그림 2. 기지국과의 거리와 헤드-집합 크기에 대한 클러스터 크기

Fig. 2 Cluster size with respect to distance from the base station and the head-set size.

그림 3은 클러스터 수에 대한 에너지 소비를 보여준다. 그림 3의 결과는 에너지 소비는 클러스터 수가 증가하면 감소한다는 것을 나타내고 있다. 또한 에너지 소비에 대한 감소율은 헤드-집합의 크기가 클수록 더 많다는 것을 보여준다. 즉 에너지 소비는 헤드-집합의 크기가 1일 때와 비교해서 헤드-집합의 크기가 5일 때 제일 낮음을 알 수가 있다.

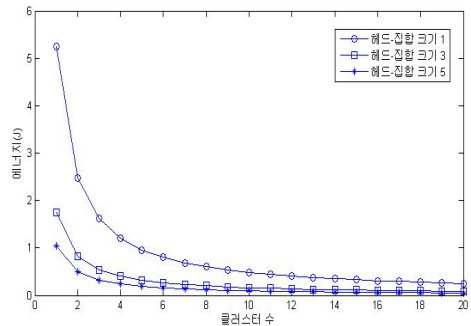


그림 3. 최적화된 최대 크기의 클러스터 수  
Fig. 3 Maximum optimum number of clusters.

#### IV. 결 론

제한한 유비쿼터스 센서 네트워크에 대한 라우팅 방법은 에너지 소비를 줄일 수 있음을 보여준다. 가상 헤드-집합에 대해서 클러스터 수와 크기에 대해서 에너지 소비가 줄어들음을 보여준다. USN에 대해서 만약, 더 많은 노드들이 LEACH와 같은 환경에 더해진다면 모든 노드들은 유사하게 취급되고 여분의 노드들은 센서 데이터를 수집하는데 사용될 것이다. 그러므로, 제안한 알고리즘은 데이터 수집을 위해서 센서노드들의 수는 변화하지 않는 상태로 남아있고 제어와 관리 노드들의 수가 적용될 수 있다.

#### 참고 문헌

[1] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, Connecting the physical world with pervasive networks, IEEE Pervasive Computing, pp.59-69, January-March 2002.

[2] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks, In Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom), 1999.

[3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks, In Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 2000.

#### 저자 소개



#### 강희훈(Hee-hoon Kang)

1997년 서울산업대학교 전기공학과 학사 졸업.

1999년 광운대학교 전자공학과 공학 석사 졸업.

2003년 광운대학교 전자공학과 박사 졸업.

※ 관심분야 : 통신시스템, 디지털신호처리, USN, 홈네트워크 시스템

#### 한완옥(Won-ok Han)

1985년 광운대학교 전자공학과 학사 졸업

1987년 광운대학교 전자공학과 석사 졸업

1995년 광운대학교 전자공학과 박사 졸업

※ 관심분야 : 자동차 통신, 로봇 및 전장 제어

#### 이영종(Young-jong Lee)

1980년 광운대학교 전자공학과졸업

1984년 광운대학교 전자재료공학과 석사 졸업

1990년 광운대학교 전자재료공학과 박사졸업

※ 관심분야 : 통신IC, 센서IC, 광전자, 반도체