

# 무선 센서 네트워크에서 노드 밀도를 고려한 효율적인 클러스터링 알고리즘

김창현<sup>\*</sup>, 김진우<sup>\*</sup>, 이원주<sup>\*\*</sup>, 전창호<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한양대학교 컴퓨터공학과

<sup>\*\*</sup>인하공업전문대학 컴퓨터정보과

e-mail:kim@para1.hanyang.ac.kr,

soriel01@hanyang.ac.kr,

wonjoo2@inhac.ac.kr,

chj5193@hanyang.ac.kr

## An Efficient Clustering Algorithm Considering Node Density in Wireless Sensor Networks

Chang-Hyeon Kim<sup>\*</sup>, Kun-Woo Kim<sup>\*</sup>, Won-Joo Lee<sup>\*\*</sup>, Chang-Ho Jeon<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Computer Science & Engineering, Hanyang University,

<sup>\*\*</sup>Dept. of Computer Science, Inha Technical College

### 요 약

무선 센서 네트워크는 제한된 에너지로 동작하는 다수의 센서 노드로 구성되기 때문에 효율적으로 에너지를 사용 것이 중요하다. 기존의 클러스터 기반 알고리즘은 지역적으로 인접한 다수의 노드들을 클러스터로 구성하고 멤버 노드로부터 수신된 데이터를 병합하여 전송함으로써 에너지 소모를 줄였다. 하지만 클러스터링 과정에서 노드의 밀도를 고려하지 않았기 때문에 불균등한 노드 분포상에서 데이터 병합의 효과를 얻을 수 없는 클러스터를 생성할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 클러스터링과정에 노드의 밀도를 고려하여 데이터 병합 효과를 최대화하고, 에너지 소모를 줄일 수 있는 새로운 클러스터링 알고리즘을 제안한다.

키워드 : 무선센서네트워크, 클러스터링, 노드밀도, 데이터병합

### 1. 서론

무선 센서 네트워크(wireless sensor network)는 광범위하게 설치되어 있는 무선 네트워크 인프라를 통하여 군사 지형 파악, 환경감시, 의학정보수집 등 다양한 응용 분야의 기술이다[1]. 무선 센서 네트워크의 특징은 다음과 같다. 첫째, 센서 노드는 제한된 배터리로 동작하는 저전력, 저가의 시스템이다. 그러나 현재 배터리의 기술적 한계로 인해 배터리가 소진될 경우 재충전이나 교체가 불가능하기 때문에 노드들은 에너지 사용에 많은 제약을 받고 있다. 둘째, 무선 센서네트워크는 대규모의 통신 노드로 구성된다. 관찰이라는 임무 자체의 특성상 보다 많은 관찰점에서 다각도의 관찰정보를 수집한다면 더 정확한 상황정보를 파악 할 수 있기 때문이다. 셋째, 센서 노드들은 무작위로 배포되기 때문에 배포

방법이나 지형 등 여러 환경적 요인에 따라 분포가 균등하지 않다[2].

이러한 무선 센서 네트워크의 특징들을 고려한 효율적인 에너지 소모를 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크의 형태와 라우팅의 관한 연구는 클러스터기반(Cluster-based)과 단층기반(flat-based)로 분류할 수 있다. 단층 기반은 노드들이 인식된 값을 독립적으로 싱크(sink) 노드로 전송하는 기법으로 Directed Diffusion이 대표적이다. 클러스터 기반은 여러 개의 노드가 하나의 클러스터를 이루고 클러스터 헤더로 선출된 노드가 클러스터내의 노드에 의해 인식된 값을 병합하여 전송하는 방식이다. 무선 센서 네트워크에서는 지역적으로 인접한 노드에 의해 감지된 데이터는 높은 유사도를 가지기 때문에 데이터 병합의 효율이 높다. 또한 메시지 전송에서 발생하는 트래픽이 감소하기 때문에 클러스터 기반의 프로토콜은 에너지 효율성이 높다.

LEACH, HEED, EEUC[3-6] 등이 대표적인 클러스터 기법의 기법이다.

이러한 클러스터 기반의 프로토콜은 클러스터링 과정에서 노드의 밀도(density)를 고려하지 않으므로서 불균등한 노드 분포로 인한 에너지 소모가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 센서 노드의 밀도를 고려한 효율적인 클러스터링 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 클러스터 크기와 통신비용, 데이터 병합과의 관계를 고려하고, 노드 밀도에 따른 클러스터 크기 결정한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 클러스터 크기와 통신비용

본 논문에서는 다음의 무선통신 모델을 사용한다.[3]

$$E_{TX} = E_{elec}K + E_{amp}Kd^{2.4} \dots\dots\dots (1)$$

식 (1)에서 E<sub>TX</sub>는 전송에 소모되는 에너지를 의미한다. 또한 K는 데이터의 비트수이며, E<sub>elec</sub>은 비트당 회로에 의해 소모되는 에너지를 나타낸다. E<sub>amp</sub>는 신호 증폭에 소모되는 에너지이고, d는 전송거리이다. d의 승수는 2~4의 값을 가진다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 사용하는 필드를 자유 공간(free space)으로 가정하여 d의 값은 2로 사용한다.

식 (1)으로부터 거리에 대한 에너지 소모 증가량 ΔE<sub>d</sub>는 아래와 같이 나타낸다.

$$\Delta E_d = 2E_{elec}Kd\Delta d + E_{elec}K\Delta d^2 \dots\dots\dots (2)$$

식(2)에서 Δd는 전송 거리(d)의 변화값이고, ΔE<sub>d</sub>는 전송거리의 증가에 따른 에너지 소모량의 증가량이다.

클러스터 기반의 프로토콜에서 클러스터의 크기는 클러스터 멤버 노드간의 전송거리를 결정한다. 클러스터 크기의 증가는 멤버 노드간의 전송거리를 증가시키고 이에 따라 멤버 노드간의 데이터 전송에 따른 에너지 소모는 식(2)에 따라 증가한다. 또한 무선 환경에서 메시지 전송은 브로드캐스트로 이루어지기 때문에 통신 반경에 속한 모든 노드들은 overhearing으로 인하여 메시지 수신에 에너지를 소모한다. 이에 따른 멤버 노드의 에너지 소비 증가는 한정된 에너지를 가진 센서 노드의 생존시간을 단축시키고, 전체적인 네트워크의 성능을 저하 시킨다. 따라서 효율적인 에너지 소모를 위해서는 최적의 클러스터 크기를 구하는 것이 중요하다.

### 2.2. 클러스터 크기와 데이터 병합 효과

클러스터에서 멤버 노드들은 인식한 데이터를 클러스터 헤더에게 전송하고, 클러스터 헤더는 이를 단일 홉 전송 또는 다중 홉 포워딩 기법을 이용하여 싱크 노드에게 전송한다. 그러나 클러스터의 멤버 노드가 감지한 데이터는 지역적 유사성

(locality)을 가지기 때문에 중복 값을 가진 메시지 전송으로 인한 불필요한 트래픽을 유발한다. 따라서 헤더 노드가 멤버 노드들의 데이터를 수집하고, 병합하여 한 번에 전송함으로써 불필요한 데이터 전송에 따른 에너지 소비를 줄일 수 있다.[7]

센서 노드가 균일하게 분포된 네트워크의 클러스터에서는 멤버 노드의 수가 클러스터 크기와 비례한다. 이에 기반하여 클러스터의 반경을 r, 반경의 변화량을 Δr 이라고 할 때 변화량에 대한 데이터 병합효과(A<sub>y</sub>)는 식 (3)와 같다

$$\begin{aligned} \Delta C_{area} &= \pi\Delta r^2 + 2\pi r\Delta r \dots\dots\dots (3) \\ \Delta A_y &= \lambda \Delta C_{area} L_D \end{aligned}$$

식 (3)에서 λ는 평균 노드 밀도로서 r에 따른 클러스터너비의 변화량(ΔC<sub>area</sub>)을 노드수의 변화량으로 변환하는데 사용한다. 식 (3)를 통하여 클러스터의 크기가 클수록 데이터 병합 효과는 크다는 것을 알 수 있다. 높은 데이터 병합효과는 전체 네트워크에서 발생하는 트래픽을 감소시키고 클러스터간의 핫스팟(hotspot)문제를 완화시킨다. 식 (3)에서 L<sub>D</sub>는 지역적 유사성을 의미한다. 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 인식값이 지역적으로 다르기 때문에 클러스터의 크기를 결정할 때 필수적으로 고려해야 한다. 또한 L<sub>D</sub>는 데이터 병합 효율에 영향을 미치는 요소이다. 작은 반경을 가지는 클러스터일수록 지역성의 유사도가 높기 때문에 데이터 병합 효율이 높다. 지역성은 무선 센서 네트워크 응용 환경에 따라 결정 되는 요소로 배치 전에 예상할 수 없는 값이다. 따라서 본 논문에서는 감지 영역의 지역성을 클러스터의 최대 크기로 제한함으로써 반영되었다고 가정한다.

균일한 노드 분포에서는 클러스터의 크기를 증가시키면 높은 데이터 병합 효과를 얻을 수 있다. 그러나 실제 응용환경에서는 다수의 노드들이 대상 필드에 배포되기 때문에 노드 분포가 균일하지 않다. 불균일한 노드 분포에서 클러스터 멤버 노드의 밀도는 클러스터 반경에 따라 다르게 나타나기 때문에 클러스터 크기와 데이터 병합 효과는 균일 분포처럼 비례하지 않는다. 따라서 불균일한 노드 분포에서는 클러스터 크기를 결정하기 위해 반경의 증가에 따른 노드 밀도 변화를 반드시 고려해야 한다.

## III. 제안 알고리즘

본 논문에서는 클러스터링과정에 노드의 밀도를 고려하여 데이터 병합 효과를 최대화하고, 에너지 소모를 줄일 수 있는 새로운 클러스터링 알고리즘을 제안한다.

### 3.1. 센서 노드의 밀도 계산

노드의 밀도를 고려하여 클러스터의 반경을 결정하기 위해서는 이웃 노드들의 밀도 분포를 계산해야 한다. 각 노드는 이웃 노드들로부터 수신된 RSSI[8] 값을 사용하여 이웃 노

드와의 상대적인 거리를 구할 수 있다. 클러스터 내에 있는 노드의 밀도 분포를 계산하기 위해서는 RSSI 값을 거리에 대한 RSSI 밀도로 나타내어야 한다. 특정 노드가 클러스터 헤더가 된다면 이웃 노드와의 거리는 클러스터 반경으로 볼 수 있으므로 거리에 대한 RSSI 빈도는 클러스터 반경에 대한 RSSI 빈도와 같다. 클러스터 내의 노드 밀도 분포 계산은 클러스터링 반경을 여러 개의 구간으로 등분한 후 각 구간에 RSSI 값이 속하는 정도를 구함으로써 알 수 있다.

주변노드들로부터 수집된 RSSI 값  $r$ 을 원소로 가지는 집합  $S$ 로부터 클러스터반경에 대한 RSSI 밀도를 나타내는 집합  $R$ 로 변환하는 과정은 다음과 같다.

$$\forall r_i \in S, \forall u_i \in R, \omega = |R|$$

$$f_{gr}(r_i) = ROUND\left(\frac{\omega(r_i - RSSI_{min})}{RSSI_{max} - RSSI_{min}}\right) \dots (4)$$

$$u_{f_{gr}(r_i)} = u_{f_{gr}(r_i)}^{-1} + 1$$

식 (4)에서  $RSSI_{max}$ 와  $RSSI_{min}$ 은  $S$ 의 최대값, 최소값이 아닌 클러스터의 최대 반경 내에서 수신 할 수 있는 범위의 RSSI 최대값, 최소값으로 고정값을 가진다.  $\omega$ 는  $R$ 의 원소 개수이며 클러스터 반경을 몇 개의 등분된 구간으로 나타낼 지를 의미한다.  $r_i$ 에 해당하는  $u_i$ 는  $f_{gr}$ 함수로 구할 수 있다.  $\omega$  값이 크면 반경에 따른 RSSI의 등급이 많아지기 때문에 상세한 값을 얻을 수 있으나 구간 간의 RSSI 밀도 격차가 커질 수 있다. 큰  $\omega$ 값은 밀도의 분포가 비교적 균등할 경우 구간 간의 RSSI 밀도의 차이가 크지 않기 때문에 클러스터 크기 결정의 정확도를 증가 시킬 수 있으나 밀도의 분포가 불균직한 경우 각 구간의 RSSI 격차에 민감한 반응으로 인하여 정확도를 감소시킬 수 있다. 그러므로  $\omega$ 값은 노드 분포의 불균 등한 정도를 고려하여 결정한다.

RSSI 밀도 집합  $R$ 은 통신에 소비되는 에너지에 대한 데이터 병합 효과를 계산하기 위하여 사용한다. 균일분포에서는 클러스터 반경의 증가에 따라 식 (2)와 같이 에너지 소모가 증가 하였지만 동시에 식 (3)과 같이 데이터 병합 효과가 증가함으로써 클러스터 내 뿐만 아니라 전체 네트워크의 에너지 효율성을 증가시켰다. 그러나 불균일 분포에서는 클러스터 반경 증가에 따른 데이터 병합 효과의 증가를 보장할 수 없기 때문에 데이터 병합 효과를 보장하는 반경을 구할 필요가 있다.

### 3.2. 클러스터 반경 결정 알고리즘

그림 1은  $R$ 을 사용하여 데이터 병합 효과를 보장하는 클러스터 반경을 구하는 과정이다.

<그림 1>에서  $A_{gDiff}$ 는 균일분포의 데이터 병합 효과와 불균일분포상의 밀도  $u_i$ 의 비율값이고  $range_c$ 는 클러스터 반경,  $range_{min}$ 은 최소 클러스터 반경이다. 균일분포상의 구간별 데이터 병합 효과  $\Delta A_g$ 는 밀도가 일정할 때 단조 증가하지만 불균일분포상의 밀도  $u_i$ 는 각 구간마다 일정하지 않다. 그러므로 불균등 분포에서  $\Delta A_g$ 와  $u_i$ 의 비율은 해당 구간에 대한 데이터 병합의

효율성을 나타낸다.  $\beta$ 는  $u_i$ 값이 클러스터 반경 결정에 반영되는 정도를 의미하고 0과 1사이의 값을 가진다. 예를 들어  $\beta$ 값이 0.5일때  $u_i$ 와  $\Delta A_g$ 의 비율이 0.5보다 작다면 해당 구간의 데이터 병합 효율성이 작다고 판단되어 클러스터 반경은  $range_c^{i-1}$ 로 결정한다.

---

$range_c \leftarrow range_{min}$

FOR  $i$  1 TO  $\omega$   
 BEGIN

$A_{gDiff} \leftarrow u_i / \Delta A_g$

IF  $A_{gDiff} < \beta$  THEN

break

END IF

IF  $Range(i) < range_{min}$  THEN

$range_c \leftarrow range_{min}$

END IF

$range_c \leftarrow Range(i)$

END

---

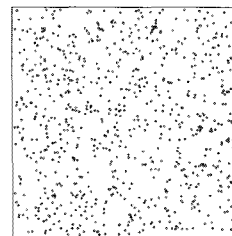
<그림 1> 클러스터 반경 결정 알고리즘

## IV. 시뮬레이션

제안한 알고리즘은 기존의 LEACH 알고리즘을 기반으로 센서 노드의 밀도를 고려하여 클러스터링 하기 때문에 DA-LEACH (Density Aware-LEACH) 알고리즘이라 한다. 따라서 시뮬레이션에서는 기존의 LEACH와 제안한 알고리즘이 적용된 DA-LEACH 알고리즘을 비교 분석한다.

### 4.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에 적용한 네트워크의 크기는 (400,400)의 정방형으로 하고 클러스터 반경은 60m로 하였으며 1000개의 노드를 배치하였다. 반경의 등분개수  $\omega$ 는 5, 데이터 병합 효과의 임계값  $\beta$ 는 0.3으로 설정하였다. 그리고 시뮬레이션의 정확도를 위하여 <그림 2>와 같이 비교적 균일한 분포의 노드 배치를 가지는 100개의 네트워크에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.



<그림 2> 노드 분포

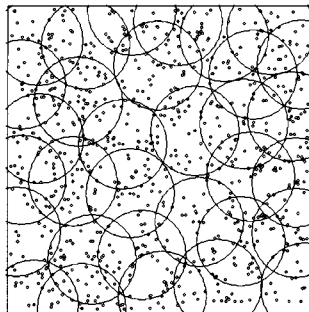
4.2. 시뮬레이션 결과 분석  
 시뮬레이션 결과는 표1과 같다.

〈표 1〉 시뮬레이션 결과

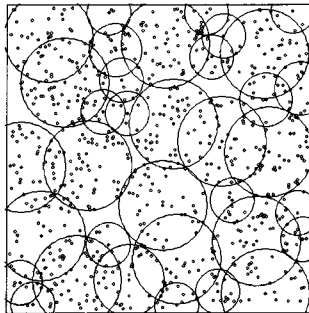
결과값 \ 알고리즘	LEACH	DA-LEACH
평균 클러스터 수	31.91	35.05
평균 멤버 노드 수	30.39	27.57
평균 클러스터 반경	60	43.38

〈표 1〉에서 DA-LEACH는 데이터 병합 효과를 보장하는 최소 클러스터 반경을 결정하기 때문에 LEACH보다 작은 클러스터 반경으로 43.38 을 가진다. 그리고 평균 멤버노드 수에서는 큰 차이가 없음을 볼 수 있다.

〈그림 2〉의 노드 분포를 가진 네트워크에서 LEACH와 DA-LEACH 클러스터링 결과는 〈그림 3〉과 같다.



(a) LEACH



(b) DA-LEACH

〈그림 3〉 클러스터링 결과

〈그림 3〉 (a)LEACH는 고정 클러스터 반경을 사용하여 클러스터링을 수행한 결과이다. 따라서 노드 밀도가 작은 지역에서는 불필요하게 큰 클러스터 반경을 가짐으로써 클러스터 간의 간섭(interference)이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 〈그림 3〉 (b)DA-LEACH는 노드의 밀도를 고려하여 클러스터링 함으로써 클러스터간의 간섭이 감소함을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 클러스터링 과정에서 센서 노드의 밀도를 고려하여 클러스터 반경 결정하는 효율적인 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 에너지 소모에 많은 영향을 줄 수 있는 센서 노드의 밀도를 고려하여 클러스터 반경을 결정한다. 또한 데이터 병합 효과를 보장하는 최소의 클러스터 반경을 구하여 클러스터링 함으로써 데이터 전송에 소모되는 에너지를 줄인다. 또한 각 센서 노드의 생존시간 뿐만 아니라 전체 네트워크의 생존시간을 연장하여 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있었다.

시뮬레이션에서는 제안한 알고리즘이 적용된 DA-LEACH가 기존의 LEACH에 비해 에너지 소모와 클러스터 간의 간섭 현상 줄이고 에너지 효율성을 증가시킨다는 것을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] M.Weier, "Some computer Science Issues in Ubiquitous Computing," *Comm ACM*, Vol. 36, No. 7, pp.75-84, 1993.
- [2] I. Akyildiz, w. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp.102-114, 2002.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An application-Specific Protocol Architecture for wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on wireless Communications*, Vol. 1, no. 4, pp. 660-670, 2002.
- [4] S. Lindsey, C. Raghavendra, K. M. sivalingam, "Data gathering algorithms in sensor networks using energy metrics," *IEEE Transaction on Parallel and Distributed systems*, Vol. 13, no. 9, pp.924-935, 2002.
- [5] O. Younis, S. Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, 2004.
- [6] C. Li, M. Ye, G. Chen and J. Wu, "An Energy-Efficient Unequal clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks," *IEEE International conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference*, 2005. pp.597-604, 2005
- [7] C. Intanagowiwat, D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann, "Impact of network density on data aggregation in wireless sensor networks," *22th international conference on distributed computing systems*, pp. 457-458, 2002.
- [8] S. Lin, J Zhang, G Zhou, L Gu, T He, and J A. Stankovic, "ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks," *Proceeding. of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys)*, pp. 223-236, Colorado, USA, Nov. 2006.