

논문 2009-46CI-4-9

무선 센서 네트워크에서 노드 밀도를 고려한 효율적인 클러스터링 기법

(An Efficient Clustering Scheme Considering Node Density in Wireless Sensor Networks)

김 창 현*, 이 원 주**, 전 창 호***

(Chang Hyeon Kim, Won Joo Lee, and Chang Ho Jeon)

요 약

본 논문에서는 노드 밀도를 고려하여 클러스터를 형성함으로써 데이터 병합 효과를 최대화하고, 에너지 소모를 줄일 수 있는 새로운 클러스터링 기법을 제안한다. 이 기법은 최적의 데이터 병합율을 보장할 수 있도록 클러스터 크기를 결정하기 때문에 메시지 전송 반경을 줄이고, 클러스터간의 간섭을 최소화할 수 있다. 또한 지역적으로 인접한 다수의 노드들을 클러스터로 구성하고 멤버 노드로부터 수신된 데이터를 병합하여 전송함으로써 에너지 소모를 줄인다. 시뮬레이션을 통하여 센서 네트워크를 구성하는 노드의 에너지 소모를 최소화하면 센서 네트워크의 생존시간을 연장할 수 있음을 검증한다. 또한 제안한 클러스터링 기법이 기존의 LEACH 클러스터링 기법에 비해 성능이 우수함을 보인다.

Abstract

In this paper, we propose a new clustering scheme that provides optimal data aggregation effect and reduces energy consumption of nodes by considering the density of nodes when forming clusters. Since the size of the cluster is determined to ensure optimal data aggregation rate, our scheme reduces transmission range and minimizes interference between clusters. Moreover, by clustering using locally adjacent nodes and aggregating data received from cluster members, we reduce energy consumption of nodes. Through simulation, we confirmed that energy consumption of the whole network is minimized and the sensor network life-time is extended. Moreover, we show that the proposed clustering scheme improves the performance of network compared to previous LEACH clustering scheme.

Keywords : Cluster-Based Routing, Node density, LEACH, DA-LEACH

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 초소형이고, 저가인 다수의 센

서 노드로 구성된 네트워크이다^[1]. 각 센서 노드는 센싱 필드에 무작위로 배포되기 때문에 배포 방법이나 지형 등 여러 환경적 요인에 따라 불균등한 분포로 배치된다^[2~3]. 이러한 특징을 고려하여 각 노드의 에너지 소모를 줄이려는 여러 클러스터 기반 기법들이 제안되었다^[4].

클러스터 기반 기법은 지역적으로 인접한 다수의 노드들로 클러스터를 구성하고 클러스터 헤더로 선출된 노드가 멤버 노드에 의해 감지된 값을 병합하여 전송하는 방식으로 대표적인 기법으로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering) 기법이 있다^[5]. 클러스터를 구성한 노드들은 데이터 전송거리를 클러스터 반경으로 제한시켜 데이터 전송에 소모되는 에너지를 줄일

* 학생회원, 한양대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Science and Engineering, Hanyang University)

** 정회원, 인하공업전문대학 컴퓨터정보공학부 컴퓨터정보과
(Department of Computer Science, Inha Technical College)

*** 평생회원, 한양대학교 전자컴퓨터공학부
(School of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

접수일자: 2009년5월29일, 수정완료일: 2009년7월3일

수 있기 때문에 클러스터 크기는 센서 노드들의 에너지 소비에 많은 영향을 미친다. 따라서 클러스터 크기가 증가하면 멤버 노드들의 전송거리가 증가되고 전송에 소모되는 에너지도 증가한다.

반면에 클러스터 크기가 증가하면 데이터 병합면에서 이득을 얻는다. 데이터 병합은 클러스터 헤더가 멤버 노드에 의해 감지된 데이터를 그대로 전송하지 않고 중복되거나 유사한 데이터를 제거한 후 단일 메시지로 전송하는 것이다. 클러스터에서 멤버 노드들이 감지한 데이터는 센싱 필드의 지역적 유사성 때문에 유사하거나 중복된 값을 가지므로 멤버 노드의 수가 많을수록 데이터 병합율은 높아진다. 따라서 센서 노드가 균등하게 분포되어 있는 네트워크에서는 클러스터 크기가 증가할수록 멤버노드 수도 증가하므로 데이터 병합율은 증가한다. 그러나 실제 무선 센서 네트워크 환경에서는 다수의 노드들이 대상 필드에 무작위로 배포되기 때문에 노드 분포가 균일하지 않다. 불균일한 노드 분포에서 클러스터 멤버 노드의 밀도는 클러스터 반경에 따라 다르게 나타나기 때문에 클러스터 크기와 데이터 병합율은 비례하지 않는다. 따라서 불균일한 노드 분포에서 효율적인 클러스터 크기를 결정하기 위해서는 반경 증가에 따른 노드 밀도 변화를 반드시 고려해야 한다. 하지만 기존의 LEACH 기법은 클러스터링 과정에서 노드의 밀도를 고려하지 않았기 때문에 비효율적인 크기로 클러스터를 형성함으로써 각 센서 노드의 생존시간을 단축하고, 전체 네트워크의 성능을 저하시켰다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 LEACH 기법에 노드 밀도를 고려하여 클러스터 크기를 결정함으로써 효율적으로 클러스터링을 형성하는 DA (Density Aware)-LEACH 기법을 제안한다. 이 기법은 데이터 병합율의 임계값을 고려하여 클러스터 크기를 결정하고 클러스터링을 형성함으로써 각 노드의 에너지 소모를 줄인다. 또한 최적의 성능을 얻을 수 있는 데이터 병합율의 임계값 결정 기준을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 DA-LEACH 기법이 노드의 에너지 소모를 최소화하면 센서 네트워크의 생존시간을 연장할 수 있음을 검증한다. 그리고 제안한 클러스터링 기법이 기존의 LEACH 클러스터링 기법에 비해 성능이 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 관련 연구에서는 기존의 LEACH 기법에 대한 설명과 클러스터의 크기와 통신비용 대하여 설명한다. III장에서는 노드 밀도

를 고려하여 효율적인 클러스터 반경을 결정하는 DA-LEACH 기법에 대하여 설명한다. 그리고 최적의 성능을 얻을 수 있는 데이터 병합율의 임계값 결정에 대하여 설명한다. IV장에서는 DA-LEACH 기법의 성능을 평가하고, 그 결과를 분석한다. 그리고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. LEACH 기법

LEACH 기법은 준비단계(Set-up phase)와 안정단계(steady phase)로 나눌 수 있다. 준비단계에서는 클러스터 헤더를 선출하고, 각 헤더를 중심으로 하여 클러스터를 생성한다. 클러스터에서 헤더는 멤버 노드들을 관리하고 멤버 노드들로부터 감지된 데이터를 병합하여 전송하는 역할하기 때문에 에너지 소모가 가장 큰 노드이다. 따라서 클러스터내의 에너지 소모를 균일하게 유지하려면 특정 노드에게만 헤더 역할을 부여하면 안 된다. LEACH 기법에서는 모든 노드에게 헤더로 선정될 수 있는 기회를 균등하게 부여한다. 클러스터 헤더를 결정하는 확률 함수는 식 (1)과 같다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k \times (r \bmod \frac{N}{k})} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 노드의 식별자, t 는 시간, N_{total} 은 전체 노드의 수를 의미한다. 또한 k 는 클러스터의 수, r 은 라운드 수를 의미한다. $C_i(t)$ 는 최근 $r \bmod (N/K)$ 라운드 동안 자신이 클러스터 헤더 노드였는지를 나타내는 함수이다. 만약 $C_i(t)=1$ 이면 헤더 노드 역할을 수행하지 않았음을 나타낸다. 새로운 라운드가 시작되면 0과 1사이의 난수를 선택한 후 임계값($P_i(t)$)을 계산한다. 난수가 임계값 보다 작으면 클러스터 헤더로 선출되고 선출된 노드는 인근 노드에 ADV_CH 메시지를 보낸다. 이 메시지를 수신한 각 노드들은 클러스터 헤더에 JOIN_REQ 메시지를 전송함으로써 클러스터를 구성한다.

안정 단계에서는 각 센서 노드들이 데이터를 수집하여 이를 클러스터 헤더로 전송한다. 그리고 헤더는 전송된 데이터를 병합하여 싱크 노드로 전송한다.

2. 클러스터 크기와 통신비용

메시지 전송(E_{Tx})에 소모되는 에너지는 식 (2)로 구한다.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) \\ = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 l 은 송신을 위한 데이터 비트 수이며 $E_{Tx-elec}$ 는 회로에 의해서 소모되는 비트 당 에너지를 나타낸다. E_{Tx-amp} 는 신호 증폭에 소모되는 에너지이고, d 는 전송거리를 나타낸다. d 는 환경에 따라 2~4의 승수를 가질 수 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크 필드를 free space로 가정하여 d 의 승수는 2로 지정한다. 거리에 따른 에너지 소모의 변화량 ΔE_d 는 식 (3)으로 구한다.

$$\Delta E_d = 2E_{Tx-amp}l\Delta d + E_{Tx-amp}l\Delta d^2 \quad (3)$$

식(3)에서 Δd 는 전송거리의 변화량이다. 클러스터 기반의 프로토콜에서 클러스터 크기는 멤버 노드들 간의 전송거리를 결정한다. 클러스터의 크기 증가는 멤버 노드간의 전송거리를 증가시키고 이에 따라 멤버 노드간의 데이터 전송에 따른 에너지 소모는 식(3)에 따라 증가한다. 또한 무선 센서 네트워크 환경에서 메시지는 브로드캐스팅 되기 때문에 통신반경에 속한 모든 노드들은 overhearing으로 인한 메시지 수신에 에너지를 소모한다. 이에 따른 멤버 노드의 에너지 소비 증가는 한정된 에너지를 가진 센서 노드의 생존시간을 단축시키고, 전체적인 네트워크 성능을 저하 시킨다. 따라서 효율적인 에너지 소모를 위해 최적의 클러스터 크기를 결정하는 것은 매우 중요하다.

III. 노드 밀도를 고려한 클러스터링 기법

본 논문에서는 LEACH 기법에 노드 밀도를 고려하여 클러스터 크기를 결정함으로써 효율적으로 클러스터링을 형성하는 DA(Density Aware)-LEACH 기법을 제안한다. 높은 데이터 병합율을 보장하는 클러스터의 크기를 결정하기 위해 클러스터 크기와 데이터 병합율의 관계를 설명한다.

1. 클러스터 크기와 데이터 병합율

클러스터 멤버 노드들은 감지한 데이터를 클러스터

헤더에게 전송하고 클러스터 헤더는 이를 단일 홉 또는 다중 홉 포워딩 기법을 이용하여 싱크 노드에게 전송한다. 그러나 클러스터 멤버 노드가 감지한 데이터는 지역적 유사성으로 인한 중복 값을 가진 메시지를 전송함으로써 불필요한 트래픽을 유발한다. 따라서 헤더노드가 멤버 노드들의 데이터를 수집하고, 병합하여 한 번에 전송함으로써 불필요한 데이터 전송에 따른 에너지 소모를 줄일 수 있다^[6~7].

센서 노드가 균일하게 분포된 네트워크의 클러스터에서 멤버 노드의 수는 클러스터 크기와 비례한다. 따라서 클러스터 반경을 R , 반경증분을 ΔR 이라 하면 ΔR 에 대한 멤버노드 수 증가량 ΔA 는 식(4)와 같이 구한다.

$$\lambda = \frac{N}{S} \\ \Delta A = \lambda(\pi\Delta R^2 + 2\pi R\Delta R) \quad (4)$$

식 (4)에서 λ 는 노드 밀도로 센싱필드의 너비 S 와 노드 수 N 의 비율이다. 식(4)를 살펴보면 균일 노드 분포에서는 클러스터 크기가 증가하면 멤버노드 수가 증가하기 때문에 데이터 병합율도 증가함을 알 수 있다. 그러나 불균일 노드 분포에서는 클러스터 멤버 노드의 밀도는 클러스터 반경에 따라 다르기 때문에 클러스터 크기가 증가한다고 멤버 노드 수가 그에 비례하여 증가한다고 할 수 없다. 이는 데이터병합으로 절약되는 에너지 소모보다 전송거리 증가에 따른 통신비용 변화량이 더 많을 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 불균일 노드 분포에서는 클러스터 반경의 증가에 따른 노드 밀도 변화를 고려하여 클러스터 크기를 결정해야 한다.

2. 클러스터 크기 결정 알고리즘

노드 밀도를 고려하여 클러스터의 크기를 결정하기 위해서는 인접 노드의 분포가 필요하다. 인접 노드의 분포는 노드간의 상대적인 거리로 구할 수 있고, 상대적인 거리는 인접 노드들로부터 수신된 RSSI 값을 사용하여 계산한다^[8~9]. 인접 노드 분포를 나타내는 벡터 D 는 식 (5)로 계산한다.

$$\forall u_j \in U, j = 1, \dots, N_{RSSI} \\ \forall d_i \in D, \omega = |D|, i = 1, \dots, \omega \\ f(u_j) = \left[\frac{\omega(u_j - RSSI_{min})}{RSSI_{max} - RSSI_{min}} \right] \\ d_{f(u_j)} = d_{f(u_j)} + 1 \quad (5)$$

식 (5)에서 U 는 인접 노드로부터 수집된 RSSI 값인

```

R ← Rmin
ΔR ← Rmax/ω

FOR i 1 TO ω
BEGIN
  ADff ← di/ΔA

  IF ADff < β THEN
    BREAK
  END IF

  R ← ΔR × i

  IF R < Rmin THEN
    R ← Rmin
  END IF

END

```

그림 1. 클러스터 크기 결정 알고리즘
Fig. 1. Cluster size determination algorithm.

u 의 집합이다. u_j 는 U 의 원소로 인접 노드 j 의 RSSI 값이다. N_{RSSI} 는 인접 노드로부터 수신한 신호의 개수이다. ω 는 상대적인 거리를 등분한 구간 수를 의미한다. $RSSI_{min}$, $RSSI_{max}$ 는 클러스터의 최대 반경내에서 수신할 수 있는 RSSI의 최소값, 최대값이다. d_i 는 i 번째 구간에 대한 노드 밀도를 나타내며 i 는 $f(u_i)$ 함수를 사용하여 구한다. 특정 노드가 클러스터의 헤더가 될 경우 상대적 거리의 등분된 각 구간은 클러스터의 반경 구간이 된다.

노드 분포를 나타내는 벡터 D 를 이용하여 클러스터 크기를 구하는 알고리즘은 그림 1과 같다.

그림 1에서 R 은 클러스터 크기이고 R_{min} 과 R_{max} 는 최소, 최대 클러스터 반경을 나타낸다. A_{Dff} 는 균일분포일 때 등분구간의 멤버 노드수 ΔA 와 노드 밀도 d_i 의 비율로 데이터 병합에 대한 효율을 나타낸다. 데이터 병합에 대한 효율이 임계값 β 보다 작으면 클러스터의 크기 증가에 따른 데이터 병합율의 증가를 보장할 수 없기 때문에 클러스터 크기를 증가시키지 않고 현재의 R 값으로 클러스터 크기를 결정한다. 그림 1에서 데이터 병합율의 임계값 β 는 클러스터 크기 결정에 매우 큰 영향을 미친다. β 값의 범위는 0~1의 값으로 클러스터의 분포에 따라 결정된다. 따라서 클러스터 분포에 따른 β 값 결정기준을 분석한다.

3. 데이터 병합율의 임계값 분석

클러스터링의 준비단계에서 헤더로 선출된 노드는

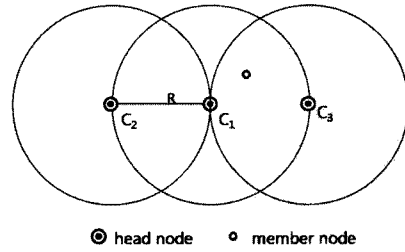


그림 2. 클러스터의 중복된 영역
Fig. 2. Overlay region of cluster.

클러스터를 구성하기 위해서 인접 노드에게 ADV_CH 메시지를 전송한다. 헤더의 ADV_CH 전송 반경을 클러스터 초기 크기라고 할 때 그림 2와 같이 다수의 클러스터 영역에 중복적으로 속한 노드는 다수의 ADV_CH 메시지를 수신한다. 그리고 그중 신호의 세기가 가장 강한 헤더를 자신의 헤더로 선택하기 때문에 클러스터간의 중복 영역은 클러스터 멤버 노드수에 영향을 준다. 따라서 클러스터 분포 성향에 따라 중복 영역의 멤버 노드 중 다른 클러스터의 멤버 노드가 될 수 있는 노드를 고려해야만 클러스터의 정확한 데이터 병합율을 구할 수 있고 이를 통하여 적절한 β 값을 결정할 수 있다.

그림 2와 같이 C_n 은 n 번째의 클러스터를 나타내며, 클러스터의 수가 m 일 때 n 의 범위는 $1 \leq n \leq m$ 이다. 클러스터 반경이 R 인 C_n 의 특정 반경 구간은 $R_{i,n}$ 으로 표기한다. i 는 등분된 반경 구간의 번호를 의미하며, i 의 범위는 $1 \leq i \leq \omega$ 이다.

본 논문에서는 클러스터의 중복된 영역을 고려한 β 값 분석을 위해 $\omega=2$ 이고, 노드 분포가 $\rho(r, \theta)$ 인 네트워크 토폴로지를 가정한다. $R_{i,n}$ 의 구간 시작값과 종료값은 다음과 같이 정리된다.

$$R_{i,n} \text{의 시작값: } (i-1)\frac{R}{\omega}, \text{ 종료값: } i\frac{R}{\omega} \quad (6)$$

클러스터 크기가 증가하기 위한 조건은 A_{Dff} 가 β 보다 크거나 같아야 한다. 그러므로 β 의 최대하계값이 임계값이므로 β 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = \frac{d_i}{\Delta A} \quad (7)$$

특정 반경구간 $R_{i,n}$ 의 β 값을 $\beta[R_{i,n}]$ 이라고 하면 $\beta[R_{i,n}]$ 는 수식 (8)로 정의할 수 있다.

$$\beta[R_{i,n}] = \frac{1}{\Delta A} \int_0^{2\pi} \int_{(i-1)\frac{R}{w}}^{i\frac{R}{w}} r\rho(r,\theta) drd\theta \quad (8)$$

그림 1에서 클러스터의 중복된 영역(C_2 와 C_3 의 중복된 영역)을 고려하지 않을 때 $\beta[R_{2,1}]$ 은 식(8)을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\beta[R_{2,1}] = \frac{1}{\Delta A} \int_0^{2\pi} \int_0^R r\rho(r,\theta) drd\theta \quad (9)$$

식(9)에서 $\beta[R_{2,1}]$ 은 다른 클러스터와 중복(overlay)되는 영역이 없다. 앞으로 다른 클러스터와 중복 영역이 없는 $\beta[R_{2,1}]$ 을 $\beta_{(0)}[R_{2,1}]$ 로 표기하고 다른 클러스터와 중복이 있는 경우 중복되는 클러스터의 수 n 에 대하여 $\beta_{(n)}[R_{2,1}]$ 으로 표기한다.

클러스터 분산정도에 따른 β 값을 알아보기 위해 클러스터 2개가 최대 중복되는 상황(C_1, C_2)을 고려한다. 두 클러스터의 중복영역이 최대화 될 때는 두 클러스터 헤더간의 거리가 R 에 근접할 때이다. 중복영역이 발생하는 경우 식을 간단히 하기 위하여 $\rho(r,\theta)$ 는 r 과 θ 에 대하여 상수값으로 가정한다. 중복영역에서 노드는 클러스터 헤더로부터 수신된 신호의 세기가 가장 강한 것을 기준으로 하여 헤더를 선정하므로 $R_{2,1}$ 에서 C_1 의 멤버인 노드만을 고려할 때 $\beta_{(1)}[R_{2,1}]$ 는 다음과 같다.

$$\beta_{(1)}[R_{2,1}] = \beta_0[R_{2,1}] - \frac{\rho}{\Delta A} \left(\int_0^{2\pi} \int_0^R r dr d\theta - 2 \tan \frac{\pi}{3} \int_0^{\frac{R}{2}} r dr \right) \quad (10)$$

$\beta_{(0)}[R_{2,1}]$ 과 $\beta_{(1)}[R_{2,1}]$ 의 차는 $R_{2,1}$ 의 중복구역에 있는 노드 중 C_2 의 멤버가 되는 노드를 제외한 노드 수로 항상 양수 값을 가진다. 그러므로 다수의 클러스터에 의해 중복된 영역을 고려한 $\beta_{(n)}[R_{2,1}]$ 값은 다음과 같다.

$$\beta_{(n)}[R_{2,1}] = \beta_{(0)}[R_{2,1}] - \sum_{j=1}^n \beta_{(j)}[R_{2,1}] + \frac{\rho R^2}{\Delta A} \sum_{j=2}^m \left(\int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \theta d\theta - \int_0^{\frac{\pi}{6}} \cos^2 \theta d\theta + \frac{1}{4} \right) \quad (11)$$

식 (11)을 통하여 영역이 중복되는 클러스터 수가 증가할수록 $\beta_{(n)}[R_{2,1}]$ 은 단조 감소하므로 0에 수렴한다. 중복되는 영역은 클러스터링 알고리즘이 클러스터를 분산시키는 정도와 관련된다. 클러스터링 알고리즘이 클러스터를 잘 분산시키지 못하는 경우 중복되는 영역은

증가한다. 따라서 클러스터 분산이 우수할 경우 β 는 1에 수렴하고 그렇지 않을 경우 0에 수렴한다.

클러스터링 알고리즘에서 클러스터링이 실제 수행되기 전까지는 정확한 클러스터 분산정도를 알 수 없지만 식(11)을 통하여 β 값의 결정 범위를 결정할 수 있다. LEACH 기법은 클러스터 분산을 보장하지 않기 때문에 DA-LEACH 기법은 $\beta=0$ 에 근접함을 추론할 수 있다.

IV. 성능 분석

본 논문에서 제안한 DA-LEACH 기법의 성능을 분석하기 위해 NS2 시뮬레이터를 사용한다. 불균일 노드 분포를 위하여 노드를 랜덤하게 배치한다. 그 배치 결과는 그림 3과 같다.

시뮬레이션 환경은 표 1과 같다. 표 1에서 클러스터

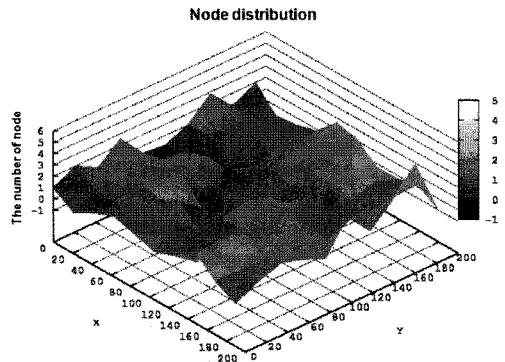


그림 3. 노드 분포

Fig. 3. Node distribution.

표 1. 시뮬레이션 매개변수
Table 1. Simulation parameters.

매개변수	값
네트워크 영역	(0, 0) ~ (200, 200)
노드 수	400개
싱크노드 위치	(0, 0)
노드 배치 방법	랜덤 배치
초기 에너지	2J
E_{elec}	50nJ/bit
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴
E_{DA}	5nJ/bit/signal
클러스터 최대반경	LEACH: 40m DA-LEACH: 75m
클러스터링 메시지 크기	25 Bytes
데이터 메시지 크기	100 Bytes
데이터 전송 횟수	10 times per round

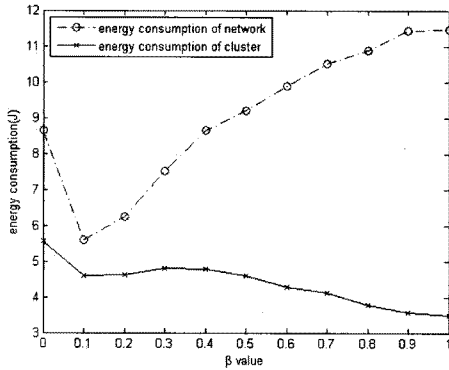


그림 4. β 에 따른 에너지 소모량
Fig. 4. Energy consumption vs. β value.

최대반경은 LEACH 기법의 경우 40m로 설정하였지만 DA-LEACH 기법의 경우 동적으로 반경을 결정하기 때문에 최대반경을 75m로 한다.

DA-LEACH 기법에서 데이터 병합율의 임계값 β 에 따른 전체 네트워크 에너지 소모량과 클러스터 평균 에너지 소모량을 측정 한 결과는 그림 4와 같다.

그림 4에서 $\beta=0$ 이면 노드 밀도를 고려하지 않기 때문에 DA-LEACH 기법은 LEACH 기법과 동일하게 동작한다. 따라서 그림 4에서 $\beta=0$ 일 때 결과는 LEACH 기법의 에너지 소모량이고, $\beta>0$ 일 때 결과는 DA-LEACH 기법의 에너지 소모량이다. β 값 분석을 통하여 DA-LEACH 기법의 적절한 β 값은 0에 근접한 값을 알 수 있었다. 그림 4에서 전체 에너지 소모량은 $0<\beta<0.4$ 의 구간에서 LEACH 기법보다 작기 때문에 β 값 분석을 통하여 적절한 β 값을 결정할 수 있다. 또한, DA-LEACH 기법은 $\beta \geq 0.4$ 일 때 β 값 증가에 따라 전체 네트워크 에너지 소모량과 클러스터 평균 에너지 소모량은 반비례함을 볼 수 있다. $A_{Diff} > \beta$ 의 조건에서는 클러스터 크기가 증가하는 DA-LEACH 기법의 특성 때문에 β 값이 증가하면 클러스터들의 크기가 작아지고 그 결과 모든 센싱 필드를 감지하기 위해 더 많은 클러스터를 생성한다. 따라서 적절하지 않은 β 값의 사용은 오히려 LEACH 기법 보다 더 많은 에너지 소모한다. DA-LEACH 기법은 $\beta=0.1$ 일 때 가장 좋은 성능을 보이므로 이후 모든 시뮬레이션은 β 값을 0.1로 설정한 후 수행하였다.

그림 5는 클러스터링 라운드에 대한 생존 노드 수를 측정 한 결과이다. LEACH 기법의 경우 264 라운드에

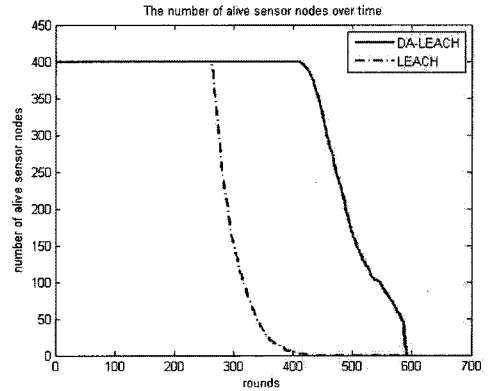


그림 5. 클러스터링 라운드에 따른 생존 노드수
Fig. 5. The number of alive node vs. Rounds.

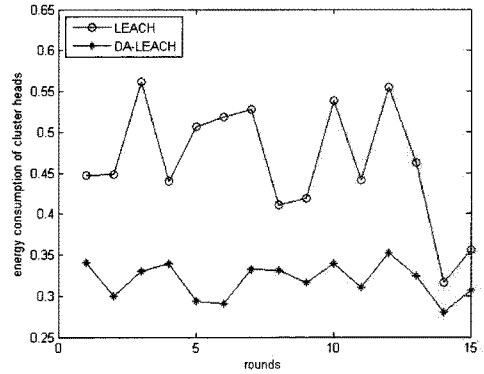


그림 6. 클러스터 헤더의 에너지 소비량
Fig. 6. Energy consumption vs. Rounds.

처음으로 에너지를 소진한 노드가 발생한 반면에 DA-LEACH 기법은 431라운드에 발생하였다. LEACH 기법과 DA-LEACH 기법은 클러스터를 구성하기 위해 교환하는 메시지와 절차가 같다. 그러나 DA-LEACH는 노드 밀도를 고려하여 클러스터 크기를 결정한다. 그러므로 클러스터내의 메시지 전송거리가 LEACH 기법보다 효율적으로 결정되고 클러스터 중복 영역이 감소하기 때문에 overhearding으로 인한 에너지 소모가 줄어든다. 따라서 LEACH 기법보다 더 작은 에너지 사용으로 클러스터링을 수행할 수 있다.

그림 6은 클러스터 헤더의 에너지 소비량을 나타낸다. DA-LEACH 기법은 클러스터 헤더의 평균 에너지 소비량이 0.319J로 LEACH 기법의 소비량 0.463J보다 더 낮은 에너지를 소모함을 알 수 있다. DA-LEACH 기법의 효율적인 클러스터 크기 결정으로 인하여 헤더

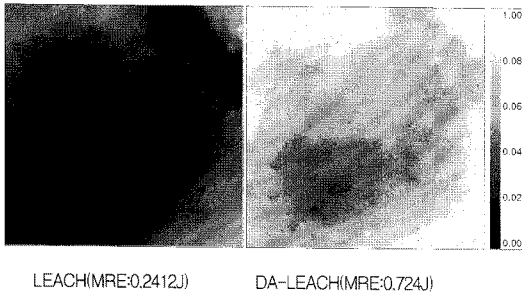


그림 7. LEACH와 DA-LEACH의 에너지 잔존량
Fig. 7. Mean residual energy of LEACH and DA-LEACH.

의 전송 반경이 LEACH 기법보다 줄어 헤더의 에너지 소비 부담이 줄어들었기 때문이다. 그리고 LEACH의 헤더 에너지 소비량은 각 라운드마다 기복이 심하지만 DA-LEACH 기법은 에너지를 균등하게 소모한다.

그림 7은 100라운드 수행 후 모든 노드의 평균 에너지 잔존량(Mean Residual Energy)을 측정된 결과이다.

멤버 노드들은 각 라운드마다 100 bytes의 데이터를 헤더로 10번씩 전송하고 헤더는 이를 병합 후 다시 싱크 노드로 전송하기 때문에 그림 7은 클러스터링 단계의 에너지 효율뿐만 아니라 네트워크 전체의 에너지 효율도 보여준다. LEACH 기법의 평균 에너지 잔존량은 0.241J이고 DA-LEACH 기법은 0.724J이다. 따라서 DA-LEACH 기법은 LEACH 기법 보다 에너지를 효율적으로 소모함을 알 수 있다. 또한 LEACH의 경우 싱크에 가까운 노드일수록 에너지 소진이 많이 발생하였는데 이는 싱크에 가까운 노드일수록 메시지 포워딩 부담이 늘어나기 때문이다. DA-LEACH 기법은 노드 밀도를 고려하여 클러스터 크기를 결정하기 때문에 높은 데이터 병합율을 보장하여 LEACH 기법의 경우보다 메시지 포워딩 부담을 감소시킨다. 따라서 DA-LEACH 기법은 에너지 소진으로 발생할 수 있는 센싱 홀이나 네트워크 분할 문제도 완화시킬 수 있다.

V. 결 론

무선 센서네트워크에서 LEACH 기법은 대표적인 클러스터링 기법으로 클러스터를 형성하여 에너지를 효율적으로 소모한다. 그러나 클러스터링 단계에서 노드 밀도를 고려하지 않기 때문에 불균일 노드 분포에서는 비효율적인 크기로 클러스터가 형성될 수 있다. 따라서 본

논문에서는 클러스터링 단계에서 노드 밀도를 고려하는 DA-LEACH를 제안하였다. DA-LEACH는 인근 노드의 밀도를 고려하여 데이터 병합율이 높고 메시지 전송거리를 줄일 수 있는 클러스터 크기를 사용함으로써 에너지 사용 효율을 증가시켰다. 또한 데이터 병합율의 임계값 결정 기준을 제시함으로써 DA-LEACH 기법의 성능을 극대화하였다.

실험을 통하여 DA-LEACH 기법은 LEACH 기법에 비해 클러스터링 단계에서 소모하는 에너지를 감소시키고 전체 네트워크의 생존 시간을 증가시켰음을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Wireless sensors and integrated wireless sensor networks(Technical Insights), Frost & sullivan, 2002.
- [2] M. Ilyas and I. Mahgoub, *Handbook of sensor networks : Compact wireless and wired sensing systems*, CRC press, 2005.
- [3] S. Y. Wong, J. G. Lim, S. V. Rao and Winston K. G. Seah, "Multihop localization with density and path length awareness in non-uniform wireless sensor networks," Proceedings of the 61st IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2005- Spring), May 30-Jun 1, 2005, Stockholm, Sweden.
- [4] A. Martirosyan, A. Boukerche and R. Pazzi, "A taxonomy of cluster-based routing protocols for wireless sensor networks," in Proceedings of the International Symposium on Parallel Architectures Algorithms, and Networks, Vol. 00, pp. 247-253, 2008.
- [5] 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.
- [6] L. Krishnamachari, D. Estrin, S. Wicker, " The impact of data aggregation in wireless sensor networks," 22th international conference on distributed computing systems, pp. 575-578, 2002.
- [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] IEEE 802.15.4, Wireless medium access control

(MAC) and physical layer(PHY) specifications for low rate wireless personal area networks(LR-WPANs), 1999. IEEE Std. 802.15.4, 2003.

[9] S. Lin, J Zhang, G Zhou, L Gu, T He, and J A. Stankovic, "ATPC: Adaptive transmission power control for wireless sensor networks," in Proc. of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), pp. 223-236, Colorado, USA, Nov. 2006.

저 자 소 개



김 창 현(학생회원)
2008년 경일대학교
컴퓨터공학과 학사.
2008년~현재 한양대학교
컴퓨터공학과 석사과정.

<주관심분야 : 병렬처리시스템, Grid 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 센서네트워크>



이 원 주(정회원)-교신저자
1989년 한양대학교
전자계산학과 학사.
1991년 한양대학교
컴퓨터공학과 석사.
2004년 한양대학교
컴퓨터공학과 박사.

1999년~2008년 두원공과대학
인터넷프로그래밍과 부교수.
2008년~현재 인하공업전문대학 컴퓨터정보
공학부 컴퓨터정보과 부교수.

<주관심분야 : 병렬처리시스템, Grid 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 센서네트워크>



전 창 호(평생회원)
1977년 한양대학교
전자공학과 학사.
1982년 Cornell University,
컴퓨터공학과 석사.
1986년 Cornell University,
컴퓨터공학과 박사.

1977년~1979년 전자통신연구소 연구원.
1989년~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부
교수.

<주관심분야 : 병렬처리시스템, 성능분석, Grid 컴퓨팅, 클라우드 컴퓨팅, 센서네트워크>