논문 2009-6-3

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 위한 클러스터 멤버 노드 설정 방법

A Method to Customize Cluster Member Nodes for Energy-Efficiency in Wireless Sensor Networks

남춘성*, 장경수**, 신동렬***

Chooon-Sung Nam, Kyung-Soo Jang, Dong-Ryeol Shin

요 약 무선 센서 네트워크는 특정 지역의 센서 정보를 센서 노드를 통해 수집하는 네트워크이다. 지역 내 센서 노드의 측정된 데이터는 데이터를 수집, 처리하여 사용자에게 전달하는 싱크 노드로 전송된다. 하지만, 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드의 제한된 능력 때문에 센서 노드의 저전력 동작 기법이 필요하다. 센서 네트워크에서 노드들은 주위 노드가 유사한 데이터를 측정한다는 특성을 갖기 때문에 클러스터를 형성하여 클러스터 헤드로 데이터를 전송하는 클러스터링 기법이 저전력 동작 기법에 효과적으로 사용될 수 있다. 다중 홉 기반의 클러스터링 형성 기법에서 클러스터 내 멤버 노드의 개수는 균형적인 클러스터 형성에 영향을 주기 때문에, 클러스터링 기법은 클러스터를 균등하게 분할하는 방법이 필요하다. 이를 위해, 본문은 클러스터 내 적절한 멤버 노드를 설정하여, 에너지 효율적인 센서 네트워크 클러스터링 방법을 제안한다.

Abstract The goal of wireless sensor networks is to collect sensing data on specific region over wireless communication. Sink node gathers all local sensing data, processes and transmits them to users who use sensor networks. Generally, senor nodes are low-cost, low power devices with limited sensing, computation and wireless communication capabilities. And sensor network applies to multi-hop communication on large-scale network. As neighboring sensor nodes have similar data, clustering is more effective technique for ‘data-aggregation’. In cluster formation technique based on multi-hop, it is necessary that the number of cluster member nodes should be distributed equally because of the balance of cluster formation To achieve this, we propose a method to customize cluster member nodes for energy-efficiency in wireless sensor networks.

Key Words : Wireless sensor networks, clustering, customizing, energy-efficiency.

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크는 센서 노드로부터 센서 정보를 무선 네트워크를 통해 수집하는 자가 구성적인 네트워크를 말한다. 센서 네트워크를 구성하는 각 노드는 주변 환경의 변화를 탐지 하는 있는 센서, 수집된 데이터를 가공 및 처리 할 수 있는 프로세서, 그리고 가공된 데이터를 전송할 수 있는 무선 송수신기로 이루어진다. 무선 센서 네트워크는 네트워크에서의 역할에 따라 두 가지 노드, 즉, 센서 노드(Sensor node)와 싱크 노드(Sink node) 로 나뉜다. 센서 노드는 주변 환경 정보를 수집하고, 가공하여 싱크 노드로 전송하는 역할을 수행하고, 싱크 노드는 센서 노드로부터 정보를 수집하고, 외부 네트워크로 데이터를 전송하는 게이트웨이 역할을 수행한다[1].

전통적인 무선 네트워크와는 달리 센서 네트워크는

*정회원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터학과
**정회원, 경인여자대학 정보미디어학부 (교신저자)
***정회원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터학과
접수일자 2009.10.29, 수정일자 2009.11.20

제한된 특성(프로세싱 능력, 전력, 전송반경 등)을 가지기 때문에, 데이터 전달을 위한 통신 기법을 설계할 때 저전력 동작 기법을 고려해야만 한다[2,3,4]. 센서 네트워크의 통신 기법은 네트워크 토폴로지를 어떻게 형성하는가에 따라 두 가지 방법으로 나뉠 수 있다. 먼저, 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여할 수 있는 평면 라우팅 기법이 있다. 다음으로, 특정 지역을 하나의 로컬 영역이 아닌 클러스터(Cluster) 단위로 세분화하여 지역적인 라우팅을 수행하는 계층적 라우팅 기법이 있다. 일반적으로 센서 노드가 유사한 데이터를 감지하고, 유사한 데이터를 중복 전달하는 특징을 갖기 때문에 데이터 중복 방지기능을 하는 계층적 라우팅 기법이 센서 네트워크에서 보다 효율적인 라우팅 기법이 될 수 있다[5].

센서 노드의 제한된 무선 통신 범위 때문에 자신의 통신 범위 밖에 있는 노드와 통신하기 위해서 다중 홉(multi-hop) 방식을 이용하는 것이 알맞다[6]. 따라서 센서 네트워크의 클러스터링 기법은 선택된 클러스터 헤드에 의해 로컬 클러스터를 형성하는데 있어 다중 홉 기법을 이용한다. 각 로컬 클러스터가 가지는 멤버 노드의 수는 클러스터 헤드의 개수와 뿌려진 노드의 수에 달라진다. 또한, 클러스터 내 멤버 노드 수는 클러스터 헤드 및 로컬 클러스터에서 소모하는 에너지에 영향을 미치기 때문에 멤버 노드의 비율을 어떻게 조절하는 가가 전체 네트워크의 에너지 변화에 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 논문은 로컬 클러스터 간의 영향을 적게 줄 수 있는 적절한 멤버 노드를 설정함으로써, 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터를 이룰 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 클러스터링 형성 기법을 소개하고, 3장에서는 적절한 클러스터 멤버 노드를 찾기 위한 방안을 제시하며, 4장에서는 제안한 방법의 실험 및 결과에 대해 서술하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

1. LEACH

LEACH[7]는 네트워크에서 센서들의 에너지를 분산시키기 위한 클러스터링 기반 라우팅 기법이다. LEACH는 우선 클러스터 헤드를 싱크노드로부터 지정받는다. 선정된 클러스터 헤드는 클러스터 멤버 노드들로부터 로컬 지역의 감지 정보를 수집하고, 데이터를 취합 및 처리하여 싱크노드로 데이터를 전달한다. LEACH의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에게 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시켜, 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄이기 위해 노드를 지역적으로 관리하는 클러스터링 기법을 사용한다. LEACH는 두 가지의 단계로 나뉜다. 클러스터를 구성하는 ‘설정(set-up)’ 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 ‘정상상태(steady-state)’ 단계로 이루어진다. ‘설정(set-up)’ 단계에서 모든 센서 노드들은 수식(1)과 같은 임계값(T(n))에 따라 클러스터 헤드를 선출한다. 노드가 0과 1 사이의 임의의 숫자를 선택하여 생성된 수가 임계값보다 작은 값을 가진 노드가 현재 라운드에서 클러스터 헤드로 선출된다. 이를 통해 각 노드가 한 번씩의 클러스터 헤드로 선출된다.

LEACH는 한 라운드가 종료될 때 마다 클러스터를 재구성하는데, 이때, 형성된 로컬 클러스터가 균등하게 분할할 수도 있고, 그렇지 못 할 수 있다. 이는 선정된 클러스터 헤드에 관한 지역적인 위치 및 노드 간의 집약을 무시하였기 때문에 발생한다. 클러스터를 균등하게 분할하지 못하는 경우,[그림 1]와 같이, 센서 네트워크 에너지 분배에 어려움을 갖는다. 이는 로컬 클러스터를 제어하는 클러스터 헤드의 멤버노드가 많아질수록 클러스터 헤드의 에너지 소모가 지나치게 늘어나기 때문이다. 반대로, 클러스터 내 멤버 노드의 개수가 적다면, 클러스터 헤드의 에너지 소모와 각 노드의 에너지 소비는 줄어 들 수 밖에 없다. 이는 클러스터 멤버 노드로부터 수집되는 데이터 패킷의 양이 적어지기 때문이다. 이러한 클러스터 불균형은 센서 네트워크의 에너지 소모를 균등하게 유지하지 못하는 결과를 초래할 수 있다. 이는 곧, 특정 노드 혹은 특정 로컬 클러스터가 시간이 지날수록 에너지 소모로 인해 동작하지 않을 수 있다는 문제점을 가진다. 따라서 로컬 클러스터 내 클러스터 멤버 개수의 적절한 배치가 이러한 문제를 해결 할 수 있을 것이다.

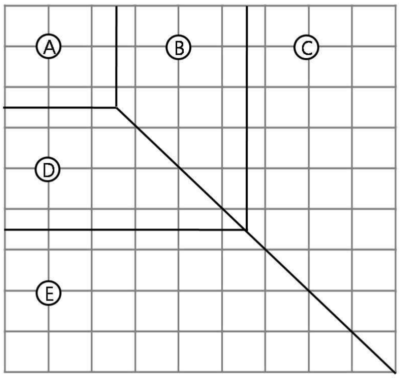


그림 1. 불균등한 클러스터 분할
Fig. 1. Bad-case cluster division

2. ACHS와 EACHS

ACHS(Adaptive Cluster Head Selection)[8]는 LEACH에서 발생 할 수 있는 불균등한 로컬 클러스터를 클러스터 헤드 재배치를 통해 균등한 클러스터로 재편성 할 수 있는 기법이다

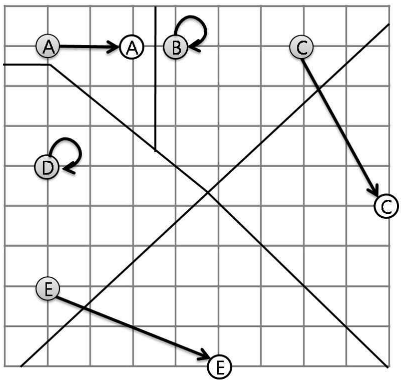
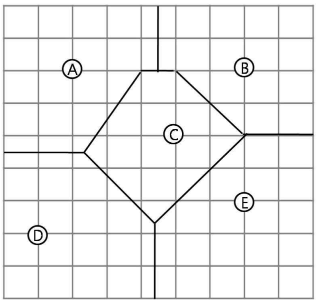


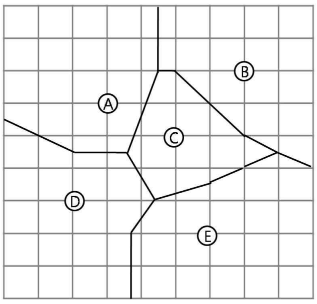
그림 2. ACHS에 의한 클러스터 헤드 재선출
Fig. 2. Re-selection of Cluster Heads by ACHS

로컬 클러스터 불균형을 방지하기 위해 ACHS는 두 가지의 거리를 측정한다. 클러스터 헤드간의 거리와 멤버 노드와 클러스터 헤드간의 거리. 싱크 노드가 임의로(LEACH와 같은 방법) 클러스터 헤드를 선정하면, 선정된 클러스터 헤드는 자신의 이웃 노드에게 광고 메시지를 통해 자신이 클러스터 헤드라는 것을 알린다. 이 메시지에 대한 응답으로 이웃 노드들은 클러스터 헤드의 멤버 변수임을 클러스터 헤드에 등록할 수 있다. 클러스터 헤드 이동을 위해 클러스터 헤드는 자신과 가장 거리가 먼 노드(FMN, the Farthest Member Node)를 저장한다. 클러스터 헤드간의 거리 또한 같은 방법을 사용하여 가장 거리가 가까운 이웃 클러스터 헤드(SCH, the Shortest Cluster Header)를 구할 수 있다. 만약, FMN과 SCH의 거리가 같다면 클러스터 헤드는 균등하게 분배되었다고 할 수 있다. 하지만, 만약 FMN의 거리 보다 SCH의 거리가 작다면, [그림. 2]의 C와 E의 경우, 이웃한 클러스터의 영역을 침범하는 경우이므로 자신의 클러스터 크기가 이웃 클러스터 영역에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 즉, 클러스터의 크기가 크다는 것은 자신이 소유한 클러스터 멤버의 개수가 많다는 것을 뜻한다. 따라서 클러스터 헤드 'C와 E'는 FMN과 SCH의 차 만큼 자신의 클러스터 안쪽으로(FMN) 이동하여 새로운 클러스터 헤드로 지정한다. 이를 통해 클러스터 간 멤버 노드를 양보하는 결과를 초래한다. 반면에 만약 FMN의 거리보다 SCH의 거리가 크다면, [그림. 2)의 A인 경우, 이웃한 클러스터 헤드에 의해 침범된 영역이 발생한 경우이므로 자신의 클러스터 크기가 이웃 클러스터 헤드에 비해 작다고 할 수 있다. 즉, 클러스터의 크기가 작다는 것은 자신이 소유한 클러스터 멤버의 개수가 적다는 것을 뜻한다. 따라서 클러스터 헤드 'A'는 FMN과 SCH의 거리차이만큼 이웃 클러스터 방향으로(SCH) 이동하여 새로운 클러스터 헤드를 지정한다. 위와 같은 방법으로 형성된 각 로컬 클러스터 헤드의 영역은 [그림 1]보다 균등하게 분할됨을 알 수 있다. 하지만, ACHS의 경우에 부분적인 로컬 클러스터가 초기에 균등하게 이루어졌다고 하더라도 주위 로컬 클러스터의 균형을 고려하여 클러스터를 재구성하여야 한다[9]. [그림 3-(a)]과 같이, 초기의 센서 네트워크가 10x10 그리드 형태로 균등하게 노드가 형성되어 있고(100개의 노드), 전체의 5%인 클러스터 헤드가 형성되어 있다. 또한, 각 노드의 클러스터 헤드는 임의로 5개(A,B,C,D,E)가 선정된다고 가정한다. ACHS의 방법으로 클러스터를 재구성하게 되면, [그림 3-(b)]와 같이 새로운 클러스터를 구성할 수 있다. 이때, 로컬 클러스터 A가 이동을 하지만 클러스터 A의 멤버개수는 21개에서 21개로 변화가 없다. 반면에 나머지 로컬 클러스터 내 멤버 노드는 B(16->18), C(14->10), D(21->22), E(23->24)로 변화함을 알 수 있다. 이는 로컬 클러스터 A를 제외한 나머지 클러스터들은 이전의 방법 보다 불균등한 클러스터 형성을 보임을 알 수 있다. 즉, 적정 노드의 개수, $N_{opt} = N / CH_{num} - 1$, 19개로 가정하였기 때문에. 클러스터 재분배 전보다 더 불균형을 형성함을 알 수 있다. 따라서 EACHS는 로컬 클러스터가 적정한 멤버 노드를 가지고, 클러스터 헤드를 고정하여 클러스터의 균등함을 이루었

다. 하지만, 로컬 클러스터의 적정한 멤버 노드 개수를 임의로 설정하였기 때문에 이를 증명할 필요가 있다.



(a) 헤드 변경전



(b) 헤드 변경 후

그림 3. ACHS의 불균형 클러스터 형성
Fig. 3. Unequal cluster organization of ACHS

Ⅲ. 적정한 멤버 노드를 위한 실험 설정

1. 적정 멤버 노드 개수 설정

이전의 방법에서 클러스터의 적절한 멤버개수는 전체 노드 N개에서 클러스터 헤드의 전체 개수 CH_{num}를 나눈 값으로 설정하였다. 적정한 클러스터 멤버 개수의 범위가 좁기 때문에 허용 범위를 벗어난 로컬 클러스터는 잦은 클러스터 헤드 변화를 겪을 수밖에 없고, 이렇게 새롭게 형성된 클러스터 내 멤버 노드는 [그림 3]과 같이 그 전보다 더 안 좋은 클러스터 멤버 노드 분배를 이룰 수 있다. 이렇게 생성된 클러스터는 클러스터 재설정과정에서 발생 할 수 있는 에너지 소모 뿐 아니라 클러스터 불균형으로 인한 에너지 불균형을 초래 할 수밖에 없다. 따라서 적정한 멤버 노드 설정을 위해서는 로컬 클러스터의 적정 멤버 노드 개수(N_{opt})의 허용 범위를 증가시키면서 로컬 클러스터가 서로 간에 균형을 이루는지 알아낼 필요성이 있다. 따라서 본 논문은 N_{opt} 의 허용 범위를 증가시키면서 어떠한 상태 일 때, 로컬 클러스터가 가장 에너지 효율적인 멤버 노드의 개수를 가질 수 있는지 알아본다.

2. 에너지 모델 설정

센서 노드의 라디오에 의한 에너지 모델은 노드가 성공적인 전송을 위해서 요구되는 최소한의 레벨을 유지할 수 있다고 가정한다. 센서 노드의 전송과 수신은 에너지 소모가 각각 다른 특징들을 갖는다. 송신기 혹은 수신기 에서 소모되는 에너지는 E_{elec} J/bit로 가정하고, 신호 대 잡음비에 도달하는 송신기 증폭기(transmitter amplifier)의 에너지는 E_{amp} J/bit로 가정한다. 이러한 라디오 모델을 사용하여 거리 d(meter)에 k(bit)의 메시지를 보내기 위해서는 다음과 같은 수식이 요구된다[10].

$$E_{Tx}(k,d) = kE_{elec} + kE_{amp}d^2 \\ E_{Rx}(k,d) = kE_{elec} \quad (1)$$

수신 (1)의 첫 번째는 라디오 송신에너지를, 두 번째는 수신에너지를 나타낸다.

클러스터 기반의 센서 네트워크의 에너지 소모는 클러스터를 구성하는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버 노드의 에너지 소모에 따라 전체 네트워크 에너지 소모를 측정할 수 있다. 즉, 클러스터가 구성되면 클러스터 헤드가 소모되는 에너지와 멤버 노드가 소모되는 에너지를 합친 것이다. 이는 수식(2)를 통해 알 수 있다.

$$E_{cluster} = pE_{CH} + (1-p)E_{mem} \quad (2)$$

(2) 수식에서, p는 클러스터 헤드가 될 확률이다. 클러스터 헤드는 p의 확률로 그리고 클러스터 내에 클러스터 헤드를 제외한 나머지 노드는 $(1-p)$의 확률로 에너지 소모를 한다.

클러스터 기반의 라우팅 알고리즘은 클러스터 내에 멤버 노드로부터 데이터를 수집하는 단계(Intra)와 클러스터 헤드로부터 싱크 노드로 데이터를 송신하는 단계(Extra)로 나뉜다. 클러스터 내에 있는 노드들의 개수를 N이라 정의하면 멤버 노드의 개수는 $(N-1)$개가 된다. 센서 네트워크에서 1 byte를 전송하는데 걸리는 시간을 T라고 가정한다. 그러면 Intra 단계(클러스터 내 통신)의 시간을 T_{intra}라고 가정 하고, Extra 단계(클러스터 외 통신)의 시간을 T_{extra}라고 가정 한다. 에서 T를 나눈값은 클러스터 내 전체 데이터 전송량이 된다. 또한 T_{extra}에서 T를 나눈값은 클러스터 헤드와 싱크 노드와의 전체 데이터 전송량이 된다. 멤버 노드가 전송할 데이터가 가질 수 있는 확률은 P_{data}라고 정의한다. 그리고 멤버 노드가 데

이터를 전송할 이웃 노드가 있을 확률(즉, 데이터를 전송할 수 있는 경로가 있을 확률)은 P_{path}라고 정의한다. 또한 클러스터 헤드가 보낼 데이터가 가질 확률은 P_{cdata}로 정의한다. 멤버 노드와 클러스터 헤드와의 거리는 *ch_d* 라고 정의하고, 클러스터 헤드와 싱크까지의 거리는 *snk_d*라고 정의한다. 이를 통해 다음과 같은 수식을 정의한다.

수식 (3)의 첫 번째는 멤버 노드 에너지 소모를 수식 (3)의 두 번째는 클러스터 헤드 에너지 소모이다. Pcdata는 멤버 노드로부터 데이터를 수신하는 확률를 제외한 확률이다. 따라서 다음과 같은, 수식(4) 확률로 데이터를 전송한다.

$$
\begin{aligned}
E_{mem} &= p_{path}(p_{data}[E_{Tx}(k,ch_d) + E_{Rx}(\frac{T_{intra}}{T} - k)] \\
&\quad + (1-p)[E_{Rx}\frac{Tintra}{T})]) \\
E_{head} &= p_{path}(E_{Rx}(\frac{T_{intra}}{T} + p_{cdata}[E_{Tx}(k, snk_d) \\
&\quad + E_{Rx}(\frac{T_{extra}}{T} - k)] + (1-p_{cdata})[E_{Rx}(\frac{T_{extra}}{T})
\end{aligned} \tag{3}
$$

$$
p_{data} = 1 - (1 - p_{data})^N \tag{4}
$$

3. 네트워크 모델 설정

수식을 통해 로컬 클러스터에서 발생하는 패킷의 수를 알아내기 위해서 우선 클러스터 헤드와 멤버 노드 그리고 클러스터 헤드와 싱크 노드간의 홉수를 알아야 한다. 따라서 이를 위해 본 논문은 간단한 네트워크 토폴로지를 구성한다. 우선, 전체 네트워크의 크기는 100m x 100m로 구성한다. 노드의 통신 범위는 10m로 한정되어 있다고 가정한다. 또한, 노드는 네트워크에 균등하고 일정한 간격, 즉, 5m, 을 이룬다. 따라서 네트워크는 20x20 그리드 형태로 분포한다. 고립 노드를 방지하기 위해 300개의 노드를 분포한다. 전체 노드가 300개이기 때문에 그 중 5%인 15개의 노드가 클러스터 헤드로 선출한다. 따라서 (N/CH_{num}-1) 만큼의 적정한 멤버 노드가 될 수 있도록 가정한다. 이러한 네트워크 환경에 적정한 멤버 노드 수의 범위를 5%부터 100%까지 증감하면서 규정하였을 때, 형성된 클러스터가 에너지 효율적인지를 판단하는 실험을 한다.

Ⅳ. 실험 및 결과

1. 클러스터 당 멤버 노드 비교

네트워크 설정을 통해 적정 노드 개수를 N_{opt}를 기반으로 적정 노드 개수를 허용할 수 있는 노드 개수를 늘림으로써 클러스터 당 적정 노드 개수와 소유하는 멤버 노드의 개수를 비교하였다. 이를 위해, 적정 멤버 노드 N_{opt}에 0%에서 100%까지의 범위를 5%씩 증가하여 로컬 클러스터 당 멤버 노드의 표준편차를 구하는 실험을 하였다. 각 클러스터 헤드는 기존의 클러스터 헤드 선정 방식에 따라 LEACH와 ACHS의 방식과 제안하는 클러스터 적정 노드개수 허용방법에 의해 비교하였다. [그림 4]에서와 같이, LEACH와 ACHS는 로컬 클러스터가 적정 노드 수 19개의 표준편차가 약 10.6개와 9.19개로 각각 나타났다. 이를 기준으로 적정 멤버 개수 허용치를 적용하면, 0%일 때, 기존의 ACHS와 같은 방법이므로, 변화가 없고, 5%일 때, 약 8.5개로 줄어든다. 또한 25%내로 허용치를 설정하면, 기존의 방법보다 멤버 노드의 표준편차가 줄어듦을 볼 수 있다. 이는 기존 방법 보다 클러스터 형성에 있어서 적정 노드개수와 근접한 클러스터 멤버 노드를 형성함을 보여주는 것이다. 즉, 각 클러스터 당 멤버 노드가 균일하게 형성됨을 보여준다. 또한, 멤버 노드의 표준편차가 값이 작을수록 클러스터 내 전달하는 패킷의 양 또한 균등한 클러스터 분포로 인해 줄어들기 때문에 네트워크 에너지 소비분배를 가져올 수 있다. 반면에, 허용범위가 25%를 넘어가게 되면, 표준편차 값이 늘어남으로써, 클러스터 멤버 노드의 불균형을 이룸을 알 수 있다. 특히, 허용치가 70%를 넘어서면, 균등한 클러스터를 보장받지 못 할 수도 있다. 따라서 적정 멤버 노드 개수는 19개의 25%안 즉, 14개에서 24개까지의 멤버 노드를 가질 경우, 클러스터 간 균등한 형성을 이룰 수 있는 것이다.

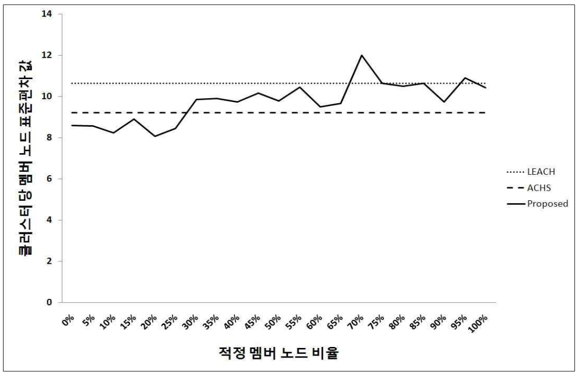


그림 4. 기존 알고리즘과 제안된 방법 비교
Fig. 4. Comparing the proposed method with the previous algorithms

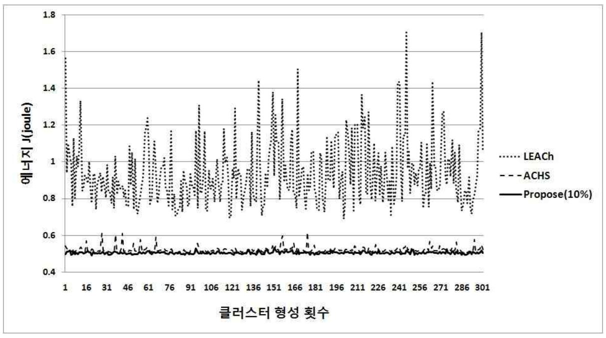


그림 5. 클러스터 형성에 따른 에너지 변화비교
Fig. 5. Comparing with energy consumption as cluster organization

2. 에너지 소모 비교

각 클러스터에서 소모하는 전송 패킷은 멤버 노드의 개수에 따라 달라진다. 이를 통해 각 클러스터내의 에너지를 구할 수 있는데, 이는 제시한 에너지 모델을 통해 알 수 있다. [그림 5]는 10%의 허용범위를 갖는 로컬 클러스터 적정 멤버 개수를 적용했을 경우와 기존의 방법을 그대로 적용했을 경우(LEACH의 방법과, ACHS의 경우)를 비교한 그래프이다. 10%의 허용치를 둔 경우 멤버 노드의 균일한 분배로 인해 전체 네트워크 에너지 소모량은 0.5J 정도로 일정하게 유지한다. 하지만, LEACH의 경우는 클러스터 형성에서의 불균형으로 인해 소비되는 에너지가 평균, 0.9J 정도로 높게 나타나고, ACHS의 경우 특정한 상황에 0.6J을 초과한다. 따라서 클러스터의 균등한 형성이 에너지 소모에 영향을 줄수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 클러스터 균등 분할을 위해 적정한 클러스터 멤버 개수에 관해 실험 및 결과를 도출하였다. 이를 위해 로컬 클러스터 내 멤버 노드 개수의 표준편차 값을 사용하여 기존의 클러스터링 방법과 비교하여 적절한 클러스터 멤버 노드의 개수를 파악할 수 있었다. 그 결과로 적정 멤버 노드 개수의 25%안으로 허용 범위를 설정한다면, 보다 균등한 클러스터를 형성 할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] an F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh SanKarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A survey on Sensor Networks, "IEEE Communications Magazine, vol.40, No.8, pp.102-114, August 2002.

[2] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communication Magazine, pp. 102-114 August 2002.

[3] M. Tubaishat, S. Madria, "Sensor Networks : An Overview," IEEE Potencials, April/May 2003.

[4] A. Wadaa, S. Olariu, L. Wilson, K. Jones, Q. Xu, "On Training a Sensor Network", Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'03), IEEE, 2003.

[5] J.N. Al-Karaki, A.E. Kamal, “Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey,” IEEE Wireless Communications, Vol.11, No. 6, Dec. 2004, pp. 6-28.

[6] S. Toumpis, A.J. Goldsmith, “Capacity regions for wireless ad hoc networks”, Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 2, Issue 4, Jul 2003 Page(s): 736-748

[7] Wendy Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000.

[8] Choon-Sung Nam, Hee-Jin Jeong and Dong-Ryeol Shin, “The Adaptive Cluster Head Selection in Wireless Sensor Networks”, IEEE International Workshop on Semantic Computing and Applications, pp. 147-149, 200

[9] Choon-Sung Nam, Yong-Ki Ku, Jong-Wan Yoon and Dong-Ryeol Shin, "Cluster Head Selection for Equal Cluster Size in Wireless Sensor Networks", International Conference on New Trends in Information and Service Science,

June 2009
[10] Wendy Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000.

저자 소개

남 춘 성(정회원)

- 2007년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사졸업
- 2007년 9월 ~ 현재: 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (박사과정)

<주관심분야 : USN, USN 미들웨어>

장 경 수(정회원)

- 1998년 성균관대학교 전기공학과 석사졸업
- 2005년 성균관대학교 전자전기 및 컴퓨터공학과 박사졸업
- 2001년 ~ 현재 : 경인여자대학 교수

<주관심분야 : 통신 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크>

신 동 렬(정회원)

- 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사졸업
- 1992년 2월 : Georgia Tech. 전기 및 전자공학과 박사졸업
- 1994년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학 교수

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 무선 네트워크, 센서 네트워크>