

무선 센서 네트워크에서 중첩 방지를 고려한 효율적인 클러스터링 기법

준회원 최 훈*, 정연수*, 종신회원 백윤주*^o

An Energy-Efficient Clustering Mechanism Considering Overlap Avoidance in Wireless Sensor Networks

Hoon Choi*, Yeonsu Jung* Associate Members, Yunju Baek*^o Lifelong Member

요 약

무선 센서 네트워크에서의 센서 노드는 배터리로 동작하기 때문에 에너지의 제약을 받는다. 따라서 이 네트워크 환경에서 배터리의 효율적 사용은 중요한 이슈 중 하나이다. 클러스터링은 계층적인 네트워크의 구성으로 각 노드의 에너지 사용을 줄이고, 전체 네트워크 수명을 늘리는 기법이다. 본 논문에서는 센서 네트워크에서 중첩 방지 기법을 적용한 에너지 효율적인 클러스터링을 소개한다. 제안하는 기법은 노드의 잔여 에너지를 고려한 클러스터 헤드 선출 단계, 센서 노드의 신호 강도를 고려한 클러스터의 구성 단계, 그리고 클러스터 중첩을 최소화 하는 단계로 총 3단계로 구성된다. 제안한 기법의 성능을 측정한 결과 기존의 방법에 대해 75% 정도의 성능 향상을 보였고, 클러스터의 중첩이 거의 사라진 것을 볼 수 있었다.

Key Words : Clustering, Overlap Avoidance, Wireless sensor networks, Energy Efficiency

ABSTRACT

Because a sensor node in wireless sensor networks is battery operated and energy constrained, reducing energy consumption of each node is one of important issues. The clustering technique can make network topology be hierarchical and reduce energy consumption of each sensor node. In this paper, we propose an efficient clustering mechanism considering overlap avoidance in wireless sensor networks. The proposed method consists of three parts. The first is to elect cluster heads considering each node's energy. Then clusters are formed by using signal strength in the second phase. Finally we can reduce the cluster overlap problem derived from two or more clusters. In addition, this paper includes performance evaluation of our algorithm. Simulation results show that network lifetime was extended up to 75 percents than LEACH and overlapped clusters are decreased down to nearly zero percents.

I. 서 론

최근 미래 기술의 화두인 유비쿼터스 컴퓨팅 구현을 위한 기반 기술로 대두되고 있는 무선 센서

네트워크는 동작 환경이 되는 센서 필드, 외부 네트워크와 연결을 담당하는 싱크 노드, 그리고 필드 내의 정보를 수집하는 많은 수의 센서 노드로 구성된다. 이러한 무선 센서 네트워크는 자가 구성이 가능

※ “이 논문은 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(지방연구중심대학육성사업/차세대플류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터공학과 임베디드시스템 연구실 (ihara, rookie, yunju^o)@pusan.ac.kr(° : 교신저자)
논문번호 : KICS2007-07-295, 접수일자 : 2008년 2월 29일 최종논문접수일자 : 2008년 5월 13일

한 네트워크로 확장성(scalability)이 보장되어야 하고, 무선 통신에 따른 노드 간의 무선 신호 충돌의 해결 등이 요구된다. 특히 많은 수의 노드가 뿌려진 환경에서 에너지 고갈로 고장이 발생한 노드의 배터리를 교환하거나 충전하는 것이 사실상 어렵기 때문에, 에너지를 최대한 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 최대화 하는 것은 무선 센서 네트워크의 가장 큰 이슈 중 하나이다^[17].

클러스터링 기법은 이러한 에너지 문제를 해결할 수 있는 기법 중 하나이다. 이는 물리적으로 근접한 위치에 있는 노드들을 하나의 클러스터로 묶어 전체 노드를 계층적으로 구성할 수 있게 한다. 균일한 모양의 클러스터는 무선 전송 범위가 줄어들어 전송 세기를 제한하여 에너지 사용을 줄이고, 무선 신호 충돌을 상대적으로 감소시켜 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있게 한다^{[2][8]}. 각각의 클러스터는 지역적으로 클러스터 내 노드들의 데이터를 수집하고, 싱크 노드로 값을 전달하는 클러스터 헤드를 포함한다. 이러한 클러스터 헤드는 클러스터 멤버 노드나 다른 헤드와의 메시지 송수신이 빈번하기 때문에 항상 활성화된 상태를 유지해야 하며, 이에 따라 상대적으로 많은 에너지를 소비한다. 이러한 문제로 인해 클러스터 헤드의 선출과 클러스터의 구성은 클러스터링 기법에서 중요한 이슈가 된다.

본 논문에서는 에너지 효율을 고려한 클러스터링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 적절한 클러스터 헤드 선출과 균일 하고 안정된 형태의 구성으로 에너지를 효율적으로 사용하고자 한다. 이 기법은 물리적 통신에서 발생할 수 있는 무선 통신에서의 신호 충돌 정보를 이용하여 클러스터 헤드를 선택하고, 클러스터 구성에 있어 중첩현상을 줄여 클러스터 구성 중 뿐 아니라 그 이후에도 에너지를 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 클러스터링과 관련한 선행 연구에 대해 논하고, III장에서는 제안하는 클러스터링 기법을 소개한다. IV장에서는 제안한 기법의 성능을 분석하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

클러스터링 기법은 클러스터 헤드의 선출 방법에 따라 중앙 처리 식과 분산 처리 식으로 분류할 수 있다. 중앙 처리 식은 모든 노드의 위치나 에너지 정보 등을 싱크 노드에서 알고, 클러스터의 조직과

관리를 중앙 노드가 하는 기법이다. 이는 모든 연산을 중앙에서 하기 때문에 클러스터 구성이 비교적 효율적이지만, 모든 노드의 정보를 중앙 노드에서 알아야 하기 때문에 노드의 수가 상대적으로 적고 노드의 추가나 고장이 잘 일어나지 않는 환경에 적합하다. 분산 처리 식은 분산된 각각의 노드가 스스로 주변 노드나 자신의 정보를 이용하여 중앙 제어 없이 클러스터를 구성한다. 따라서 고장 발생이 잦고 많은 양의 노드가 동시에 동작하는 실제 센서네트워크의 환경에 더 적합하다고 할 수 있다.

LEACH는 지속적인 데이터를 전달하는 네트워크 모델(proactive network)에서 사용되며, 클러스터 헤드의 순환과 선출에 있어 분산 처리 식으로 구성된 널리 알려진 기법 중 하나이다^[3]. 모든 노드는 일정 라운드 내에 한 번씩 클러스터 헤드가 될 수 있는 확률을 독립적으로 계산할 수 있다. 만약 어떤 라운드에 클러스터 헤드가 결정이 되면 주변에 클러스터 헤드 메시지를 방송하고, 이 메시지를 받은 노드들은 그 라운드에 해당 노드를 클러스터 헤드로 하는 클러스터를 형성한다. LEACH는 간단하고 구현이 쉬운 장점이 있지만 이 방식에는 많은 문제점이 존재한다^[4]. 먼저 자신의 에너지 등의 정보를 고려하지 않기 때문에 에너지량이 적은 노드가 클러스터 헤드가 될 수 있어 에너지의 편차가 커져 네트워크의 수명을 단축시킨다. 또 주변 노드의 위치나 클러스터 구성 등의 정보를 전혀 고려하지 않아 클러스터 간 구성의 불균형이나 클러스터 간의 무선 전송 범위가 겹치는 중첩 현상이 발생할 수 있어 전체 동작에 문제를 일으킬 수 있다.

Tillapart. P는 앞서 밝혔던 LEACH의 문제점을 해결하고자 하였다^[4]. 이 연구는 무선 센서 네트워크의 특성상 LEACH와 같이 필드의 노드 수나 알맞은 클러스터 헤드의 수를 미리 예측하고 사용하기 어렵기 때문에 그 문제를 해결하고 노드 자신과 주변의 여러 정보를 인자로 해서 알맞은 클러스터 헤드를 스스로 찾도록 하였다. 이 기법에서는 노드의 밀도가 가장 높은 지역에서 이웃 노드 간의 거리 정보와 에너지 잔여량을 고려하여 이에 가장 합리적인 노드가 클러스터 헤드가 되고 그 노드의 이웃 노드는 해당 클러스터의 멤버 노드가 된다. 이 방법은 거리나 에너지의 복합적인 인자를 클러스터 헤드의 선출에 반영하였다는 점에서는 기존의 연구보다 더 나은 성능을 보이지만, 중앙 노드가 모든 계산을 담당하는 중앙 처리 식으로 클러스터를 구성한다. 따라서 노드들의 삼입이나 고장이 잦은 환

경에서 해당 정보의 업데이트가 늦어져 전체적으로 오동작이 발생할 수 있고, 중앙 노드에서의 계산이 집중되기 때문에 확장성이 보장되지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

이러한 문제의 해결을 위해 클러스터 헤드를 선출할 때 자신과 주변 노드의 정보를 모두 이용하고, 노드의 출입이나 확장성을 보장하기 위해 분산 처리 식으로 클러스터를 구성하는 기법이 요구된다. 또한 클러스터 헤드 간의 중첩 현상을 최대한 줄여 전체 네트워크의 효율성을 증가시키는 클러스터의 구성이 필요하다.

III. 중첩 방지를 고려한 효율적인 클러스터링 기법

본 논문에서 설명하는 클러스터링 기법은 센서 노드들이 클러스터를 구성하는 것에 한정하고 클러스터를 결성하고 난 이후의 타임 슬롯 배분과 싱크 노드로의 라우팅은 고려하지 않는다. 제안하는 기법은 크게 3가지 단계로 나뉜다. 첫 번째는 노드 자신의 에너지를 고려해서 클러스터 헤드를 선출하는 단계이다. 그리고 두 번째 단계는 클러스터 헤드 메시지의 무선 전송 세기를 고려한 안정적인 클러스터의 구성 단계이며, 마지막 세 번째는 이러한 클러스터링 기법을 보다 원활히 동작하게 하기 위한 충돌 방지 기법 적용 단계이다.

3.1 에너지 효율을 고려한 클러스터 헤드 선출

이 단계에서는 싱크 노드를 제외한 모든 노드들이 클러스터 헤드가 되기 위해 경쟁하는 체제가 된다. 최초 각 노드는 자신의 에너지 량을 고려하여 타임 슬롯, 즉 우선순위를 결정한다. 수식 1은 에너지 기반의 타임 슬롯 결정 모델을 나타낸다.

$$delay_{slot} = N_{slot} \cdot \left(random[0..1] \cdot W_R + \left(1 - \frac{E_{remain}}{E_{last}} \right) \cdot W_L \right) \quad (1)$$

$$W_R + W_L = 1$$

N_{slot} 은 클러스터를 형성하기 위해 배분된 전체 슬롯 수를 뜻하며, E_{remain} 은 현재 노드의 잔여 에너지를 뜻한다. E_{last} 는 이전 클러스터 직후 전체 노드의 잔여 에너지의 평균이다. 이는 클러스터 내에서 클러스터 헤드의 정보 수집 시 각 노드는 데이터에 자신의 에너지 잔여 량을 포함하고, 클러스터 헤드나 싱크 노드는 수집된 정보를 바탕으로 다음 사이클의 클러스터 형성시 이전 클러스터에서의 평균 에너지를 다른 노드에게 전달할 수 있다. 이러한 잔여 에너지

의 전달 과정 등은 클러스터 형성 과정 이후의 라우팅 과정 등에 포함되기 때문에 그 프레임 구조 등은 생략하기로 한다. 위의 타임 슬롯 결정 모델은 그 결정에 있어 에너지를 고려하고 있다. 즉, 에너지가 많은 노드는 상대적으로 이른 타임 슬롯을 선택하고 에너지가 적은 노드는 늦은 타임 슬롯을 선택하게 해서 에너지가 많은 노드가 클러스터 헤드가 될 확률을 높일 수 있다. 또 $random[0..1]$ 의 난수를 추가 인자로 하여 같은 슬롯을 선택함으로써 각 노드의 에너지가 비슷한 초기에 자주 발생하는 무선 신호 충돌을 최대한 방지한다. W_R 과 W_L 은 각각 $random[0..1]$ 과 에너지에 대한 가중치를 뜻하며 이 값은 시간에 따른 조정이 가능하다. 즉, 전체 프로세스 과정에서 에너지가 거의 비슷한 초기에는 W_R 이 1에 가깝다가, 시간이 지날수록 그 값이 감소하게 할 수 있다.

그림 1은 클러스터 구성의 전체 흐름을 보여준다. 각각의 노드는 자신의 타임 슬롯까지 기다렸다가 해당 슬롯이 되면 MSG_BROADCAST 메시지를 주변 노드에 방송한다. 자신의 슬롯 이전에 이 메시지를 받은 노드는 자신의 타임 슬롯 정보를 삭제하고 해당 메시지를 보낸 노드를 클러스터 헤드로 하는 클러스터의 클러스터 멤버가 된다.

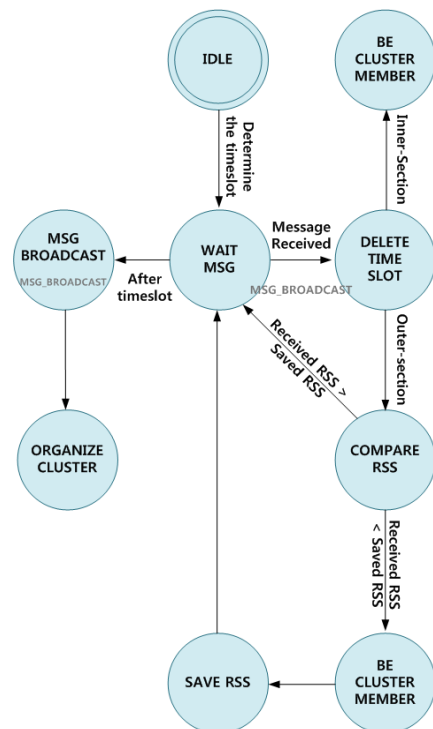


그림 1. 클러스터 전체 형성 과정

3.2 신호 세기를 고려한 효율적인 클러스터 형성
 이 과정에서는 선출된 클러스터 헤드를 중심으로 클러스터를 형성한다. 각 노드는 클러스터 헤드로부터의 신호 세기를 이용하여 유기적으로 자신의 클러스터를 결정한다.

클러스터 헤드는 보내는 신호 세기를 MSG_BROADCAST 메시지에 넣어 송신하고, 그 메시지를 받은 노드는 받은 신호 세기와 비교하여 그 값의 감쇄 정도에 따라 클러스터 헤드와의 거리를 추정할 수 있다. 그림 2와 같이 각 멤버는 클러스터 헤드를 중심으로 추정된 자신의 위치를 내부 영역과 외부 영역으로 구분하여 결정한다. 그림 1의 과정에서 메시지를 받은 노드가 해당 클러스터 헤드의 내부 영역에 있다고 판단하는 경우, 바로 클러스터 멤버가 된다. 반면 외부 영역 내에 존재한다고 판단할 경우, 임시적으로 해당 클러스터에 속하게 되지만 이후 다른 노드에게 받은 MSG_BROADCAST의 신호 세기를 계산하여 더 가까운 클러스터에 속할 수 있도록 한다.

클러스터 헤드를 기준으로 영역을 판단하고 선택하는 과정에서 내부 영역 내에 있는 노드는 클러스터링 과정이 끝날 때 까지 송수신 모듈을 수면 상태로 두기 때문에 불필요한 에너지를 절약할 수 있고, 외부 영역에 속한 노드들은 최대한 가까운 클러스터 헤드를 선택하고 클러스터 과정 이후에 클러스터 헤드로 정보를 전달할 때, 최소한의 전송 세기만 이용함으로써 역시 에너지를 절약할 수 있다.

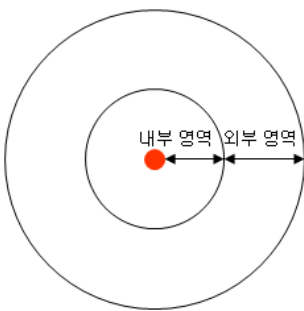


그림 2. 신호 세기에 따른 영역의 분류

3.3 충돌 방지를 활용한 중첩 방지 기법

이 단계에서는 앞서 문제가 되었던 무선 신호의 중첩을 미리 파악하고 선택함으로써 클러스터링의 중첩을 줄이고 전체 효율을 높일 수 있다. 위에서 언급했던 바와 같이, 몇몇의 노드는 자신의 타임 슬롯 이후에 클러스터 헤드가 된다. 하지만 이러한 과

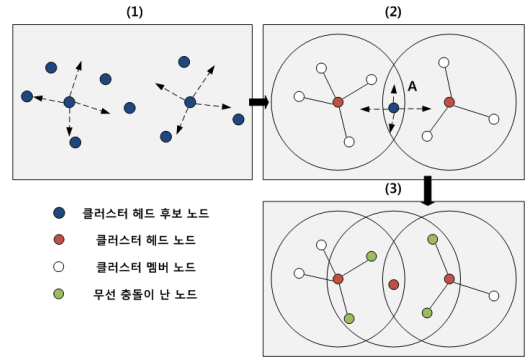


그림 3. 무선 충돌이 발생할 수 있는 경우

정은 그림 3과 같은 문제가 발생할 수 있다.

무선 통신 범위의 중첩은 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 그림 3과 같이 두 노드가 같은 타임 슬롯을 결정하게 될 경우 동시에 MSG_BROADCAST를 전송하게 된다. 만약 노드 A가 그 두 노드의 통신 범위에 모두 속할 경우, 무선 충돌이 일어나게 되고 노드 A는 충돌이 일어난 신호를 노이즈로 판단하기 때문에 그림 3-(1)과 같이 해당 메시지를 듣지 못하게 된다. 그 후 노드 A는 아무 클러스터에도 속하지 않기 때문에 그림 3-(2)와 같이 MSG_BROADCAST를 보낼 수 있다. 이 상황에서 이러한 클러스터 헤드 간의 중첩이 발생하게 되고, 클러스터 형성 이후의 과정에서 그림 3-(3)과 같이 계속하여 충돌이 생기는 노드가 발생하게 되어 다수의 노드 동작에 문제가 발생한다. 이러한 문제의 해결을 위해 MAC이 부가적인 일을 하거나 재전송을 하는 경우, 그에 따른 비용이 크고 에너지 문제에 문제가 될 수 있다. 본 단계에서는 이러한 중첩 문제를 클러스터 형성 과정에서 해결하여 그 비용을 최소화 하고자 한다.

위 문제를 해결하기 위해 그림 4과 같이 앞에 설명하였던 기본 단계의 앞부분에 확장 단계를 추가하였다. 이전과는 달리 해당 타임 슬롯 시 노드는 바로 MSG_BROADCAST를 방송하지 않고, REQUEST 메시지를 먼저 방송한다. 즉, 최초로 그림 4과 같이 짧은 시간을 하나의 타임 슬롯으로 하는 많은 수의 슬롯 중 하나를 랜덤으로 선택하고 해당 슬롯에 해당하는 시간에 REQUEST 메시지를 보낸다. 그 후 두 노드의 메시지를 모두 들 수 있는 노드 혹은 서로의 메시지를 들 수 있는 상대 클러스터 헤드가 먼저 온 REQUEST 메시지를 보낸 노드의 ID를 실어 RESPONSE 메시지로 일정 시간을 기다린 후에 방송한다. 중개 노드의 전송 범

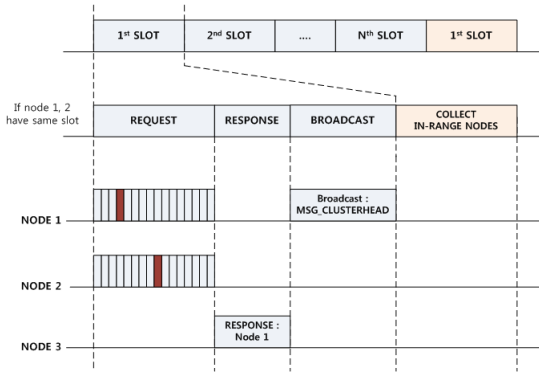


그림 4. 제안하는 기법의 중첩 방지 기법의 동작 과정

위는 양쪽 클러스터 헤드에 모두 포함되기 때문에 이 동작이 가능하다.

이 기법의 가장 큰 특징은 기존의 MAC과는 달리 충돌 시 클러스터를 선택한다는 데 있다. 즉, RESPONSE 메시지에 클러스터 헤드를 선택하는 의미 있는 메시지를 실어 둘 이상의 클러스터 중 하나를 선택할 수 있고, 이는 클러스터 중첩과 그로 인한 부가적인 비용을 최소화 할 수 있다.

IV. 실험 및 평가

4.1 실험 환경

실험은 PARSEC(PARallel Simulation Environment for Complex system) 시뮬레이터를 사용였고 무선 센서네트워크의 환경이 갖추어진 NESLsim 코드를 이용하였다.

제안하는 기법의 에너지 모델은 널리 쓰이는 무선 센서네트워크 플랫폼인 Mica2의 무선 통신 모듈인 CC1100의 전력모드를 토대로 구성되었다[5][6]. 센서 필드 위의 센서 노드는 100, 225, 400, 625개로 실험이 진행되었다. LEACH와 동등한 비교를 위해 노드의 전송 범위는 노드의 수에 따라 각각 50, 35, 25, 15로 하였다. 이는 각각의 센서 노드의 전송 범위가 제한된 일반적인 가정과는 달리, LEACH는 그 범위가 센서 필드 전체에 이른다 가정이기 때문이다. 가정하고 있는 전체 필드의 크기는 수식 2와 같다. λ 는 노드의 밀도를 나타내는 것으로, 한 노드의 전송 범위에 산술적으로 20~25개 정도가 들어가게 설정하였다. 그리고 각 실험의 결과 값은 100번 이상 수행하여 산출된 평균값이다. 실험한 기본 내부 영역과 외부 영역의 비율은 1:1이다.

$$N_{node} \cdot \pi \cdot \frac{r^2}{\lambda} \quad (2)$$

4.2 실험 결과

표 1은 제안하는 기법과 LEACH의 결과 값을 보여주고 있다. 여기서 A, B는 클러스터 수와 클러스터에 속하지 못한 노드 수를 나타내고, C와 D는 각각의 클러스터를 구성하는 노드 수의 평균과 표준편차를, E와 F는 클러스터 내 헤드 노드와 다른 노드들 간의 거리에 대한 평균과 표준편차를 나타낸다. 표 1에서 LEACH는 클러스터 헤드의 선출이 다른 노드와의 관계를 고려하지 않고 있기 때문에 헤드-멤버 간의 거리나 멤버 노드의 수에 대한 편차가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 제안하는 기법은 주변 노드와의 관계를 모두 고려하기 때문에 클러스터의 구성이 비교적 안정적이다. 제안하는 기법에 클러스터에 속하지 않는 노드가 있는 이유는 3.2절에서 언급했던 중첩을 해결하는 부분에서의 랜덤 슬롯 선택이 같은 경우 일어날 수 있다. 이는 노드의 수가 비교적 많은 응용을 고려할 때 이러한 소수의 노드는 전체 성능에 큰 영향을 주지 못한다.

그림 5는 LEACH와 비교하여 클러스터링 기법이 반복됨에 따른 활동 노드의 수, 즉 에너지가 모두 고갈되지 않은 노드의 수를 나타낸다. 제안한 기법에서 노드가 최대한 많이 활동하고 있는 시간이

표 1. LEACH와 제안하는 기법의 클러스터 구성 결과 비교

	노드수	A	B	C	D	E	F
LEACH	100	10.167	0	10.049	5.539	13.708	3.338
	225	22.543	0	9.412	5.602	13.16	3.377
	400	40.673	0	9.07	5.445	12.765	3.266
	625	62.573	0	9.13	5.491	12.723	3.227
제안하는 기법	100	7.635	0.18	12.211	4.295	6.311	1.155
	225	19.93	0.775	10.457	3.456	6.597	1.222
	400	33.585	1.275	10.904	3.321	6.62	1.204
	625	76.73	3.085	7.113	2.202	7.089	1.458

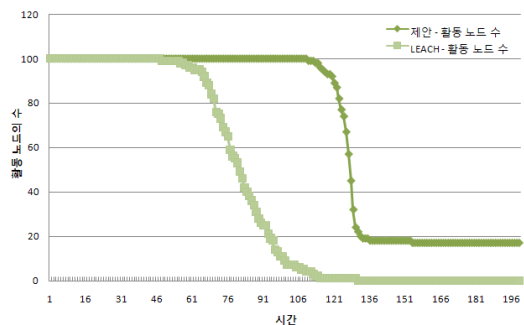


그림 5. 시간에 따른 활동 노드 수의 비교

기존 연구보다 75% 정도 더 길었다. 또한 제안한 기법의 활동 노드가 급격히 줄어드는 것을 볼 때 노드 간의 잉여 에너지량을 고르게 유지하여 네트워크의 수명을 최대화 하였다는 것을 알 수 있다. 제안한 기법은 전체 노드 수의 20% 정도가 되었을 때 일정한 활동 노드 수가 유지되는 데, 이는 네트워크가 더 이상 동작하지 않음을 나타낸다.

그림 6은 LEACH와 제안하는 기법의 실제 구성의 형태를 보여준다. 그림에서 보는 바와 같이 LEACH는 클러스터 헤드 간의 중첩을 발견 할 수 있고, 제안하는 기법에서는 중첩 없이 비교적 균일한 모양의 클러스터를 형성하는 것을 볼 수 있다.

표 2와 그림 7은 유선 통신 등의 무선 충돌이 일어나지 않는 MAC 기반의 시스템과 제안한 중첩 방지 기법을 적용한 시스템 간의 비교를 나타낸다. 제안한 기법에서 중첩된 클러스터 헤드가 사라진

것을 볼 수 있었다. 그리고 제안한 기법에서 클러스터가 되지 못한 노드가 발생한 것을 볼 수 있는데, 앞서 설명 한 바와 같이 이는 노드 수가 많은 응용에서 큰 영향을 주지 못한다.

V. 결 론

무선 센서 네트워크 환경에서 클러스터링 기법은 네트워크를 계층적으로 구성하여 노드 간의 물리적인 신호 충돌을 줄이고, 노드 전송 거리를 제한하여 에너지 효율을 높일 수 있다. 또한 여러 응용에서 적용 시 모든 노드가 아닌 클러스터 헤드 노드의 제어만 하면 되기 때문에 네트워크의 복잡성을 줄여주는 역할을 한다. 하지만 클러스터를 형성하는 과정에 있어 클러스터의 불균형이나 중첩 등의 문제가 발생할 수 있고, 이는 에너지 효율을 더 악화시키는 결과를 가져올 수 있다. 제안한 기법에서는 이러한 문제점에 착안해 에너지를 고려해 클러스터 헤드를 선출하고 신호 세기에 따라 안정된 형태의 클러스터를 구성도록 하였다. 또한 신호 충돌 정보를 이용하여 중첩 현상을 최소화 하였고, 이는 기존의 연구에 비해 75% 이상의 에너지 효율을 보였다. 제안한 기법에서 실제 클러스터에 참가하지 못하는 노드가 발생하였고 일정 노드 수 이하가 되면 전체 응용이 동작하지 않는 문제점이 있었다. 향후 연구 과제에서는 이러한 문제점들을 개선하고, 제안한 기법을 기반으로 하는 여러 응용에 대한 연구가 필요하다.

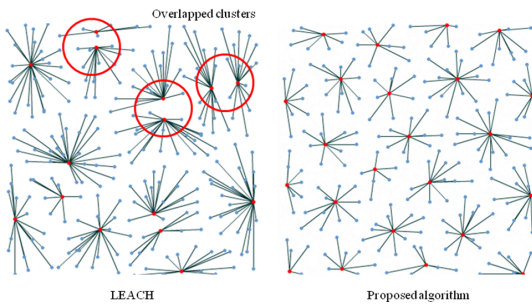


그림 6. 완성된 클러스터의 형태 비교

표 2. 충돌이 일어나지 않는 MAC과 제안하는 기법의 비교 (1)

노드 수	중첩된 클러스터 헤드 쌍의 수		클러스터에 속하지 못한 노드 수	
	충돌이 일어나지 않는 시스템	제안하는 시스템	충돌이 일어나지 않는 시스템	제안하는 시스템
100	0.835	0.000	0.000	0.020
225	1.700	0.000	0.000	0.155
400	2.685	0.000	0.000	0.310
625	2.785	0.000	0.000	0.390

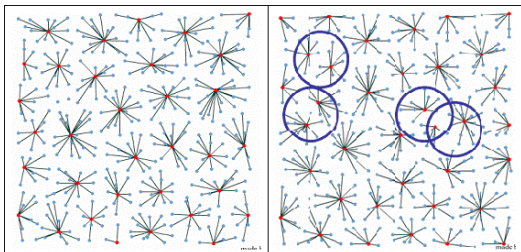


그림 7. 충돌이 일어나지 않는 MAC과 제안하는 기법의 비교 (2)

참 고 문 헌

- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E.Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communication Magazine*, Vol.40, No.8, pp.102-116, Aug. 2002.
- [2] Feng Zhao and Leonidaas J. Guibas, *Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach*, Morgan Kaufmann publishers, pp. 6-9. 2004.
- [3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *System Sciences*, pp.10-, Vol.2, Jan. 2000.
- [4] P. Tillapart, S. Thammarojsakul, T. Thumtha

watworn, and P. Santiprabhob, "An Approach to Hybrid Clustering and Routing in Wireless Sensor Networks," *Aerospace 2005 IEEE Conference*, pp.1-8, Mar. 2005.

[5] Crossbow Technology, Inc. Mica2 datasheet, 2003.

[6] Chipcon AS, SmartRF CC1000 Datasheet, 2004.

[7] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava, "Instrumenting the World with Wireless Sensor Networks," in *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2001)*, May 2001.

[8] W. R. 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, October 2002.

최 훈 (Hoon Choi)

준회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 2007년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 센서 네트워크, 임베디드 시스템, Active RFID system

정 연 수 (Yeonsu Jung)

준회원



2005년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
 2007년 2월 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 2007년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 센서 네트워크, 임베디드 시스템, Active RFID system

백 윤 주 (Yunju Baek)

종신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사 졸업
 1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
 1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 박사
 1999년~2002년 NHN 기술연구소 소장

2003년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수

<관심분야> 임베디드시스템, 센서네트워크, 컴퓨터구조