

센서 네트워크를 위한 싱크 위치 기반의 적응적 클러스터링 프로토콜

국 중 진*, 박 영 중**, 박 병 하**, 홍 지 만*

An Adaptive Clustering Protocol Based on Position of Base-Station for Sensor Networks

Joongjin Kook*, Young-Choong Park**, Byoung-Ha Park**, Jiman Hong*

요 약

무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜들은 모든 노드들의 수명을 균등하게 유지하여, 센서 네트워크의 수명을 최대로 연장하는 것을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 싱크의 위치 변화를 고려한 적응적 클러스터링 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 클러스터링 프로토콜의 특징은 클러스터 트리의 레벨에 따라 클러스터의 크기를 제한하는 대칭형 계층적 클러스터를 구성함으로써 싱크의 위치 변화에 적응적으로 대응 가능하며, 모든 클러스터의 생존 시간을 향상시킴과 동시에 균등한 생존 시간을 보장할 수 있다. 이 기법의 효율성을 입증하기 위해 기존의 대표적인 클러스터링 프로토콜들인 LEACH, EEUC와 본 논문에서 제안하는 적응적 클러스터링 프로토콜의 에너지 소비 정도를 시뮬레이션을 통해 비교하였으며, 그 결과 에너지 소비와 네트워크 수명의 균형에 대해 더 나은 성능을 얻어낼 수 있었다.

▶ Keyword : 센서 네트워크, 계층적 클러스터링, 적응적 클러스터링

Abstract

Most existing clustering protocols have been aimed to provide balancing the residual energy of each node and maximizing life-time of wireless sensor networks. In this paper, we present the adaptive clustering strategy related to sink position for clustering protocols in wireless sensor networks. This protocol allows networks topology to be adaptive to the change of the sink position

• 제1저자 : 국중진 • 교신저자 : 홍지만

• 투고일 : 2011. 10. 18, 심사일 : 2011. 10. 22, 게재확정일 : 2011. 11. 18.

* 숭실대학교 컴퓨터학부(School of Computer, Soongsil University)

** 전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

※ 본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발사업의 “센싱기반 감성서비스 모바일단말 기술개발[KI002164]”과제에서 지원하여 연구하였음.

by using symmetrical clustering strategy that restricts the growth of clusters based on depth of the tree. In addition, it also guarantees each cluster the equal life-time, which may be extended compared with the existing clustering protocols. We evaluated the performance of our clustering scheme comparing to LEACH and EEUC, and observe that our protocol is observed to outperform existing protocols in terms of energy consumption and longevity of the network.

▶ Keyword : Sensor Networks, Hierarchical Clustering, Adaptive Clustering

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 일반적으로 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 데이터를 결합하여 감지된 데이터를 응용서비스 서버와 연동하는 것을 말한다. 온도센서와 같은 표준 센서와 무선 센서 네트워크가 다른 점은 센서 모듈간의 상호 통신을 바탕으로 집단적으로 데이터를 수집, 처리하는 능력이 있다는 것이다.

센서 네트워크의 구성은 크게 센서 노드, 싱크(sink) 노드, 그리고 인터넷과 같은 공중망으로 구분해 볼 수 있다. 센서 노드는 어떤 현상을 감지하기 위해서 관찰 지역 내에 뿌려진 센서 모듈 자체를 말하며, 싱크 노드는 필드에서 센서 노드들로부터 감지된 정보를 취합하여 인공위성 또는 백본망을 통하여 사용자에게 전송하는 역할을 한다. 이를 위해서 무선 송수신 장치를 이용하는데, 무선 송수신 장치의 송신 거리가 짧기 때문에 센서 노드에서 멀리 떨어져 있는 사용자까지 데이터를 직접 전송하는 것은 불가능하다. 따라서 센서 노드들은 자체의 송신 거리보다 더 멀리 떨어져 있는 사용자에게 데이터를 전송하기 위해서 주변 상황을 감지하는 작업 뿐 아니라, 센서 노드 자체에서 라우팅 기능도 함께 수행해야 한다. 센서 네트워크에서는 센서 노드들이 협력해서 데이터를 싱크 노드까지 전송해야 하기 때문에, 각 센서 노드의 수명이 전체 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 많은 수의 센서 노드들이 사용자가 접근하지 못하는 곳에 불규칙적으로 뿌려지기 때문에, 한 번 배터리가 방전된 센서 노드를 재충전하거나 교체하는 것은 불가능하다. 이처럼 센서 노드의 수명은 각 센서 노드가 가지고 있는 배터리에 의존하므로 가능한 소모하는 에너지를 줄여 모든 센서 노드가 고르게 각자의 역할을 수행할 수 있도록 함으로써, 전체 통신망의 수명을 늘릴 수 있는 방안 마련이 요구된다[1].

이 때, 전체 데이터를 수집하는 싱크 노드의 위치가 고정되어 있다면 비교적 단순한 라우팅 프로토콜을 통해서도 효율적인 네트워크의 구성이 가능하지만, 만약 싱크 노드의 위치가 가변적이라면 싱크 노드의 위치에 따른 클러스터의 재구

성, 에너지 소비를 줄이기 위한 클러스터 헤드의 선택과 교체 시기 및 방법 등이 추가적으로 고려되어야 한다. 싱크는 최종적으로 데이터를 수집하여 가공하고 사용하는 것이며, 고정된 위치의 데스크톱이나 서버가 구성될 수도 있지만 모바일 디바이스를 통해 끊임없이 변화되는 위치에서 데이터를 요구할 수도 있다[2].

본 논문에서는 클러스터 기반의 네트워크에서 네트워크 수명을 극대화시킬 수 있는 방안에 대한 연구 결과를 제시한다. 이를 위해 네트워크의 형성과 라우팅 과정을 철저한 분석하여 새로운 알고리즘을 제시하고, 현재까지 제안된 다른 계층적 클러스터 라우팅 알고리즘과 비교해본다.

II. 관련 연구

1. 관련연구

계층적 클러스터 구조의 센서 네트워크의 전체적인 동작은 클러스터를 구축하는 초기화 단계와 수집된 데이터를 전송하는 운영단계로 구분할 수 있고, 이러한 두 단계가 반복적으로 수행된다.

초기화 단계는 전체 센서 필드를 클러스터 단위로 구성하기 위한 단계이다. 몇 개의 클러스터로 분할할 것인지, 각 클러스터 내에서 누가 클러스터 헤드가 될 것인지를 잘 결정해야 에너지 효율적인 네트워크를 구성할 수 있게 된다.

클러스터링 알고리즘의 기본적 요구 사항은 클러스터링 초기화 과정 후에 모든 노드는 단 하나의 클러스터에 속해야 한다는 것이다. 이를 위해 필요로 하는 메시지와 시간의 오버헤드는 최소화되어야 하며 클러스터링의 목표인 안정적 망의 형태 유지, 라우팅, 네트워크 효율성, 에너지 소비의 최소화 등을 만족해야 한다.

무선 센서 네트워크에서 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 '데이터 모음(data aggregation)'이 필요하다는 특성을 고려할 때 계층적 클러스터 기반의 라우팅 기법이 많은 장점을 갖는다. 즉, 각 센서 노드들은 로컬 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고

클러스터 헤드가 데이터 모음을 수행하여 보다 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 하며, 요청된 질의에 대한 클러스터 헤드에 의한 전달로 비효율적인 질의의 범람(flooding)을 막을 수 있다.

1.1 계층적 클러스터의 동작

클러스터 트리 네트워크의 동작(Top)은 클러스터링을 위한 클러스터 동작 단계(T_{cp})와 데이터 통신을 위한 네트워크 동작 단계(T_{no})로 이루어져 있다. 일반적으로 클러스터 구성을 위한 네트워크의 오버헤드를 줄이기 위해서 네트워크 동작 단계가 클러스터 동작 단계 보다 더 큰 주기를 가지고 있다 [2]. 네트워크 동작 단계는 클러스터 내부의 통신(T_{intra})과 클러스터 헤드의 통신(T_{inter}) 과정으로 구성되어 있으며 이 단계에서 데이터 전송이 이루어진다. 센서 네트워크의 동작(Top)은 라운드(round)로 표현할 수 있고, 한 라운드에서 클러스터의 구성과 데이터의 수집 및 전송이 이루어진다.

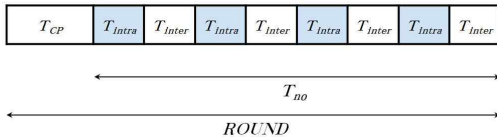


그림 1. 계층적 클러스터 트리 네트워크의 동작
Fig. 1. Operation of hierarchical cluster tree protocol

1.2 계층적 클러스터 기반의 라우팅 알고리즘

무선 센서 네트워크를 위한 많은 라우팅 알고리즘들이 제안 되었다. LEACH[3]는 가장 기본적인 계층적 클러스터 네트워크의 라우팅 알고리즘으로써 분산된 클러스터 형성, 글로벌 커뮤니케이션을 줄이는 로컬 프로세싱, 클러스터 헤드 선출의 랜덤 순환을 특징으로 한다. 모든 노드는 적어도 한 번씩 클러스터 헤드가 되게 되며 클러스터 헤드로 선정된 노드는 싱크로 직접 데이터를 전송하게 되는데 이때에 클러스터 헤드를 선정하는 절차가 로컬 확률을 가진 랜덤한 클러스터 형성 방법을 기반으로 하기 때문에, 클러스터 헤드로 선출된 노드가 네트워크에 균일하게 분포한다는 것을 보장할 수 없다. 이 문제점을 보완하고자 중앙 집중형 관리 기법을 이용하여 클러스터를 형성하는 방법인 LEACH-C[4]가 제안되었다.

HEED[5]는 무선 네트워크의 통신 거리 한계와 인트라 클러스터 통신 값을 고려하여 LEACH를 확장하였다. 각각의 노드에서 임시적인 클러스터 헤드가 되기 위한 확률값은 각각의 노드가 가진 에너지 잔량에 기반하고, 모든 임시적인 클러스터 헤드는 최종의 클러스터 헤드가 되기 위하여 경쟁한다. 최종의 클러스터 헤드는 인트라 클러스터 헤드 통신 값에 따

라 결정된다.

TEEN[6]은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작한다. TEEN에서 센서 노드들은 클러스터 결정 시간에 클러스터 헤드가 방송한 임계값인 H_t 와 S_t 에 기반을 두고 현재 감지된 데이터를 전송할지의 여부를 결정하고 후에 감지된 값이 저장된 값보다 S_t 이상 큰 경우에 전송한다. LEACH가 사전적인 센서 네트워크에 적합한 특성을 가지지만, TEEN은 시간 임계적인 데이터를 처리한다는 점에서 반응적 센서 네트워크에 적합하다.

T-LEACH[1]에서는 에너지의 임계값을 설정하여 클러스터 헤드의 교체를 최대한 지연시킴으로써, 매 라운드(round)마다 클러스터 헤드의 교체로 인해 소비되는 에너지를 줄이고, FND와 LND의 차이를 최소화함으로써 특정 노드의 에너지가 더 빨리 소비되는 현상을 방지하여 전체 네트워크 수명의 균형을 맞출 수 있도록 하였다. 하지만, T-LEACH에서는 클러스터의 재구성과 싱크 노드의 이동성은 고려되지 않았다.

EEUC[7]는 에너지 효율적인 불균등한 클러스터링 프로토콜이다. 노드를 동일하지 않은 크기의 클러스터에 넣고, 싱크와 가까운 클러스터는 싱크에서 멀리 떨어진 클러스터 보다 작은 클러스터 크기를 갖는다. 또한 싱크로부터 임계값 이하의 거리에 있는 센서 노드는 직접 싱크 노드로 데이터를 전달한다. 그러므로 클러스터 헤드가 싱크 노드와 가까워질수록 인트라 클러스터 데이터 전송에 있어서 에너지를 보존할 수 있기 때문에 기존의 싱크에 가까운 클러스터 헤드일수록 에너지의 고갈이 빨라지는 문제를 보완하였고, 선출된 클러스터 헤드간의 데이터는 다중 홉(multi-hop)으로 전송된다. 하지만 EEUC에서는 싱크와 직접 통신이 가능한 반경 안에 여러 개의 클러스터를 구성할 수 있을 만큼 다수의 노드가 분포되어 있어야하는 제약이 있으며, 싱크의 이동성에 대해서는 고려하지 않았다.

III. 본 론

1. 싱크 위치 기반의 적응적 클러스터링

1.1 계층적 클러스터의 에너지 소비 모델

클러스터 트리 네트워크는 그림 2와 같은 형태로 구성되며, 클러스터의 형성을 위한 과정과 형성된 네트워크가 운용되는 과정으로 구분할 수 있다.

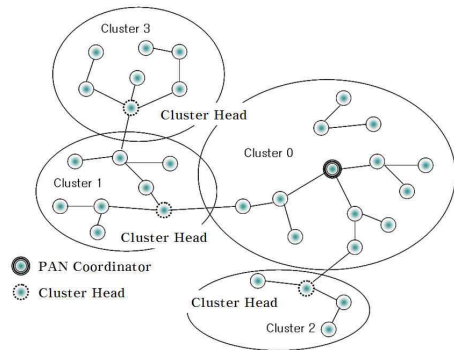


그림 2 센서 네트워크의 계층적 클러스터링
Fig. 2. Sensor networks topology

이 때, 에너지가 소비되는 부분 역시 클러스터의 형성 단계인 초기화 과정에서 발생하는 에너지 소모와 네트워크의 운용 단계인 운용 과정에서 소모되는 에너지로 양분할 수 있게 된다. 따라서 클러스터링 과정에서 에너지 소비가 일어나는 부분에 대한 분류를 수행하고, 각 부분에서 에너지 소비를 줄이기 위해 수행되었던 연구 내용들을 정리하면 표 1과 같다.

클러스터의 구성과 관련된 부분에서는 주로 클러스터의 크기, 클러스터의 개수, 클러스터 헤드의 위치, 싱크의 위치에 따른 클러스터 형성에 관한 연구가 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄이기 위해 연구가 수행되었다. 네트워크의 운용과 관련된 부분에서는 형성된 단위 클러스터에서 데이터 모음과 전송을 담당하는 클러스터 헤드의 역할을 분산시킴으로써 네트워크의 수명을 연장하기 위한 방법이 연구되었다.

표 1. 클러스터링 단계와 관련 연구
Table 1. Clustering and related works

단계	세부 동작	관련 연구
초기화	-클러스터 형성	-클러스터 크기 최적화 -클러스터 수의 최적화 -클러스터 헤드의 위치 선정
운용	-클러스터 헤드 선정 -데이터 모음 -데이터 전송	-확률 기반(LEACH) -연결도 기반(ACE) -잔여에너지 기반(HEED)

1.2 싱크의 위치 변화에 따른 에너지 소비

에너지 임계값을 기반으로 클러스터 헤드의 선택을 최대한 지연시킴으로써 전체 네트워크의 수명을 극대화시키고, FND와 LND의 차이를 최소화시키는 것이 가능하지만 이는 싱크 노드가 네트워크 필드 상의 거의 중앙에 고정적으로 위치하고

있을 경우에만 효과를 발휘할 수 있다.

실제 센서네트워크 환경에서는 데이터의 수집을 필요로 하는 싱크 노드가 고정된 위치에 있지 않고 동적으로 변화될 수 있다. 이러한 경우에는 싱크 노드와의 거리를 기반으로 클러스터의 재구성과 새로운 클러스터 헤드의 선택 방법에 대한 변화가 필요하다.

모든 클러스터에서 싱크까지의 거리가 동일하지 않다면 EEUC에서 제안한 것처럼 싱크와의 거리에 따른 차등적인 클러스터의 구성이 필요하다. 하지만, EEUC에서는 싱크를 포함한 모든 노드들이 초기 배치 후 위치의 변화가 없는 것으로 가정하고 있기 때문에 싱크의 위치가 가변적인 경우에는 EEUC의 클러스터 구성 방법을 그대로 적용할 수 없다.

EEUC에서는 그림 3과 같이 싱크에 위치한 클러스터의 크기를 작게 함으로써 싱크와 가까운 클러스터의 개수를 늘리고, 이를 통해 싱크와 가까운 클러스터에서 포워딩에 소비되는 에너지가 분산되도록 하여 수명을 늘리는 방법을 채택했다.

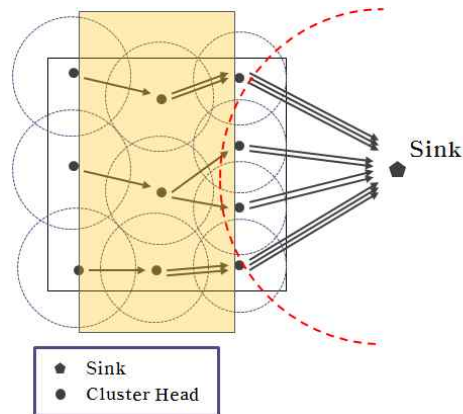


그림 3. EEUC의 클러스터링
Fig. 3. Clustering method of the EEUC

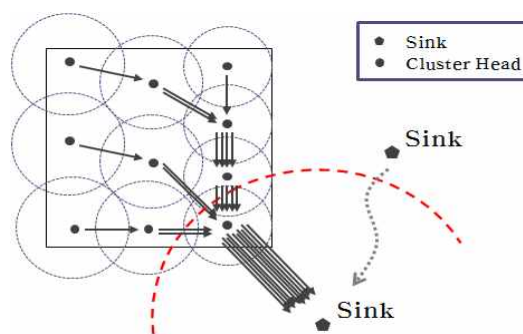


그림 4. 부적절한 EEUC의 클러스터링
Fig. 4. Bad case of the EEUC's clustering

하지만, 그림 3과 같이 싱크와 가까운 위치에 센서 노드가 고르게 분포한 경우에는 EEUC의 클러스터링을 적용하는 것이 가능하지만, 그림 4와 같이 싱크 주변에 비슷한 거리를 가진 센서 노드가 고르게 분포되어 있는 경우가 아니면 싱크와 인접한 작은 크기의 클러스터에서 포워딩 에너지의 소비가 증가하게 되어 EEUC의 클러스터링 방법은 적합하지 않게 된다.

1.3 싱크의 위치를 기반으로 한 대형형 클러스터링

계층적 클러스터는 트리 구조를 갖게 되며, 이 때 싱크와 가까운 위치의 클러스터가 최상위 클러스터가 된다. 상위 계층의 클러스터는 하위 계층의 클러스터로부터 전달된 데이터를 싱크로 전송해야 하기 때문에 더 많은 에너지를 필요로 한다. 클러스터 트리의 레벨을 L이라고 했을 때, 해당 레벨의 클러스터 헤드가 소비하는 포워딩 에너지는 식(1)과 같이 표현할 수 있다. 이 수식에서 N은 전체 노드의 개수를 나타내며, k는 클러스터의 개수를 가리킨다. 그 외의 다른 파라미터들은 [4]에서 제공된 값들을 가리킨다.

$$E_{fw} = IE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1 \right) + IE_{DA} \frac{N}{k} + IE_{elec} + l\epsilon_{fs} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

또한 L레벨의 클러스터들이 소비하는 전체 포워딩 에너지는 다음과 같다.

$$E_{totalfw} = E_{fw} \cdot \sum_{i=0}^{L-1} (L-i) \cdot (2^{L-i}) \dots\dots\dots (2)$$

클러스터 트리에서 레벨에 따른 포워딩 에너지의 소비 정도는 그림 5와 같다.

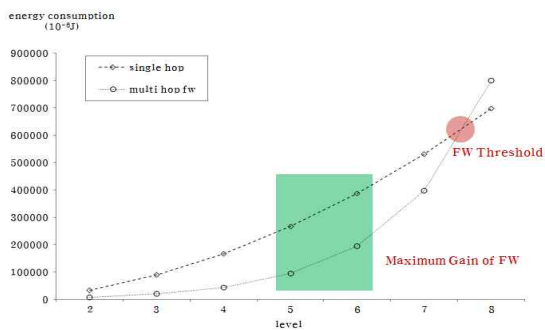


그림 5. 클러스터 트리 레벨에 대한 포워딩 에너지 소비량
Fig. 5. Forwarding energy consumption related to the level of cluster tree

위의 그림에서 클러스터가 직접 싱크까지 데이터를 전송했을 때와 트리 레벨의 변화에 따른 포워딩 에너지의 소비 정도를 비교해보면, 트리의 레벨이 5~6일 때, 가장 큰 차이를 보이고 있으며, 약 7.5 이상이 되면 포워딩 에너지의 소비가 더 많아지는 것을 볼 수 있다.

각각의 노드가 가진 초기 에너지가 같고, 모든 노드가 균등한 간격으로 분포되어 있다고 가정했을 때, 어떤 클러스터가 다른 클러스터에 비해 상대적으로 더 많은 에너지를 갖기 위해서는 클러스터의 크기가 커져야 한다. 그림 5의 포워딩에 필요한 소비 에너지를 고려하여 클러스터의 크기를 계산해보면 그림 6과 같은 결과를 얻을 수 있다.

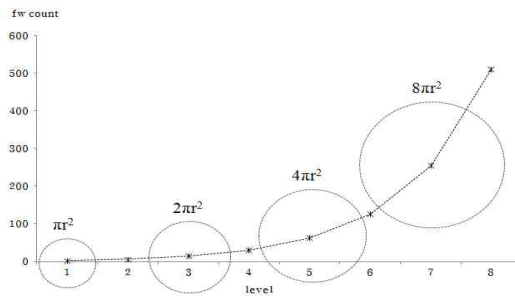


그림 6. 트리 레벨에 대한 클러스터의 크기
Fig. 6. Scale of the clusters related to each tree level

그림 6에서 각 단계별 클러스터의 크기는 1.4배 정도씩 증가하는 데, 이러한 경우 최상위 클러스터와 최하위 클러스터의 차이는 급격히 벌어지게 되며, 최상위 클러스터의 크기가 너무 비대해지는 경향이 있기 때문에 적절한 클러스터를 구성하기 어렵다.

따라서 클러스터 트리의 레벨이 일정 크기 이상으로 증가하게 되면, 트리를 두 개 이상의 서브 트리로 분할함으로써 최상위 클러스터의 크기를 제한할 수 있다.

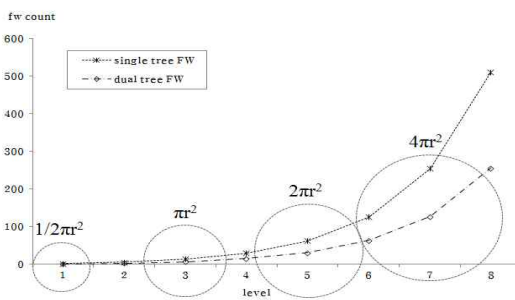


그림 7. 클러스터 트리의 이분화
Fig. 7. Division of the cluster tree

그림 7은 최상위 클러스터의 규모를 제한하기 위해 클러스터 트리를 이분화 했을 때의 클러스터 크기 변화를 보여준다.

[4]에서 계산된 최적의 클러스터 개수에 대한 요구 사항을 만족하기 위해 다음과 같은 식을 사용하였지만, 이는 각각의 클러스터에서 싱크까지의 거리를 기반으로 하고 있기 때문에 멀티홉 포워딩을 사용하는 대칭형 클러스터링에서는 적합하지 않다.

대칭형 클러스터링에서는 각각의 클러스터가 싱크까지 몇 홉을 거쳐 데이터 전송이 가능한지를 고려하여 최적의 클러스터 개수를 구해야 한다.

$$E_{total} = k \cdot E_{cluster} + E_{fw} \cdot \sum_{i=0}^{L-1} (L-i) \cdot (2^{L-i}) \dots\dots (3)$$

식(3)에서 전체 에너지 Etotal이 0이 되도록 하는 클러스터의 개수 k를 구함으로써 최적의 클러스터 개수를 구할 수 있다.

$$k_{opt} = \frac{N(E_{elec} + E_{DA})}{\epsilon_{fs} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2 \cdot \sum_{i=1}^{L-1} (L-i)(2^{L-i})} \dots\dots\dots (4)$$

클러스터 트리 레벨과 클러스터 개수의 변화에 대한 그래프는 그림 8과 같다.

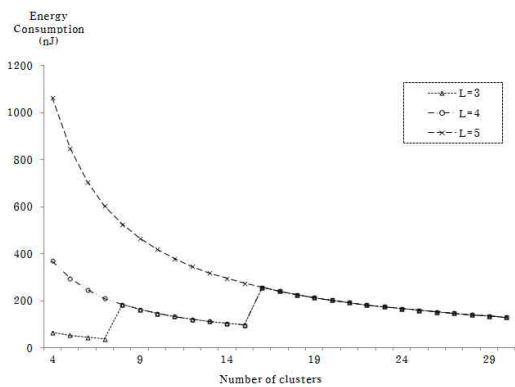


그림 8. 클러스터 트리의 레벨과 클러스터 개수의 변화에 따른 에너지 소비량
Fig. 8. Energy consumption related to the tree level of clusters and the amount of clusters

그림 8에서 클러스터 트리의 레벨이 3인 경우에는 클러스터의 개수가 7개일 때 에너지 소비가 가장 적으며, 레벨이 4인 경우에는 클러스터의 개수가 15개일 때 가장 적은 에너지

소비를 보인다. 클러스터의 개수가 2L-1을 초과하면 트리의 레벨이 증가하게 되며, 이 때 포워딩 에너지의 소비가 급격히 증가하는 현상을 보이게 된다.

2. 시뮬레이션 결과

2.1 시뮬레이션 환경

본 절에서는 동일한 조건하에서 센서 필드를 같은 크기의 클러스터들로 구성했을 때와 차등적인 클러스터를 구성했을 때의 에너지 소비를 비교해보고자 한다. 또한 EEUC에서 제안한 것처럼 싱크와 가까운 위치의 클러스터를 작게 설정했을 때와 본 논문에서 제안하는 것처럼 제한된 대칭형 트리로 구성했을 때의 차이점도 살펴볼 것이다. 아래의 표 2는 시뮬레이션을 위한 파라미터이며, 베이스 스테이션의 위치는 달라질 수 있다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Network coverage	(0,0)~(200,200)m
Base station location	(x,y)m
N	400
Initial energy	0.5 J
E_{elec}	50 nJ/bit
E_{fs}	10 pJ/bit/m ²
E_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
d_0	87 m
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Data packet size	4000 bits

표 2와 같은 파라미터들을 통해 한 클러스터에서 싱크까지 데이터를 전송하는 데 필요한 에너지는 식(5)와 같이 계산될 수 있다.

$$E_{CH_n} = lE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1\right) + lE_{DA} \frac{N}{k} + lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \dots\dots\dots (5)$$

또한 클러스터 간 n-hop의 포워딩을 통해 싱크까지 전송되는 데 필요한 에너지는 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 E_{(CH_n, BS)} &= \sum_{i=0}^{n+1} \left\{ IE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1 \right) + IE_{DA} \frac{N}{k} + IE_{elec} + l\epsilon_{fs} d^2_{toPC} \right\} \\
 &= (n+1) \left\{ IE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1 \right) + IE_{DA} \frac{N}{k} + IE_{elec} + l\epsilon_{fs} d^2_{toPC} \right\} \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

2.2 차등적 대칭형 클러스터의 에너지 소비

이러한 수식을 통해 그림 9와 같이 동일한 크기의 클러스터가 구성되었을 때, 싱크로부터 가장 멀리 떨어진 클러스터와 가장 가까운 곳에 위치한 클러스터의 에너지 소비를 측정 한 결과는 그림 10과 같다.

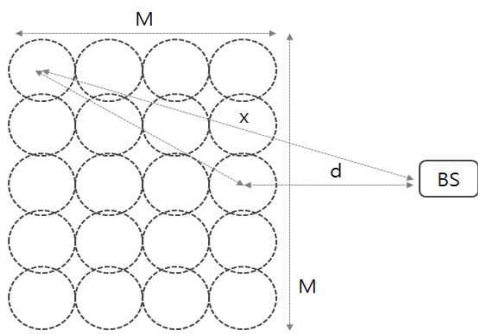


그림 9. 동일한 크기의 클러스터 구성
Fig. 9. Clustering with equal sized clusters

그림 8에서 싱크와 가장 가까운 클러스터와 싱크와의 거리를 d라 했을 때, 싱크와 가장 먼 곳에 위치한 클러스터의 거리는 식(7)과 같다.

$$x = \sqrt{\left(d + \frac{M-2r}{\sqrt{2}} \right)^2 - (M-2r)d} \dots\dots\dots (7)$$

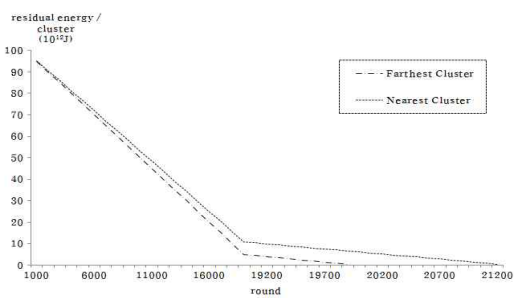


그림 10. 동일한 크기의 클러스터링에서 싱크와의 거리에 따른 에너지 소비 차이
Fig. 10. Comparison of energy consumption related to the distance to the sink (equal sized clustering)

동일한 크기로 클러스터를 구성하는 경우에는 싱크로부터 멀리 떨어진 클러스터일수록 싱크까지 데이터를 전송하기 위한 에너지 소비량이 많아지게 되어, 싱크와 가까운 곳에 위치한 클러스터와 비교했을 때 생존 시간은 더 짧아진다.

반면, 그림 11과 같이 대칭형 클러스터 트리를 구성했을 때의 시뮬레이션 결과는 그림 12와 같다.

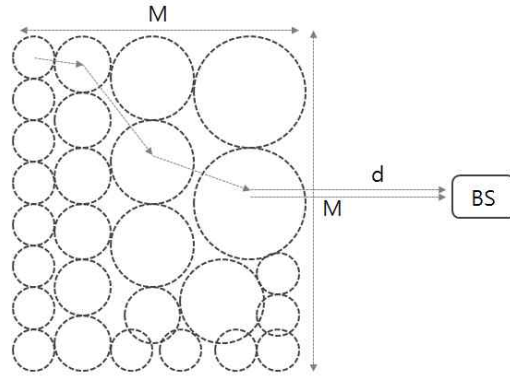


그림 11. 대칭형 클러스터링
Fig. 11. Symmetric hierarchical clustering

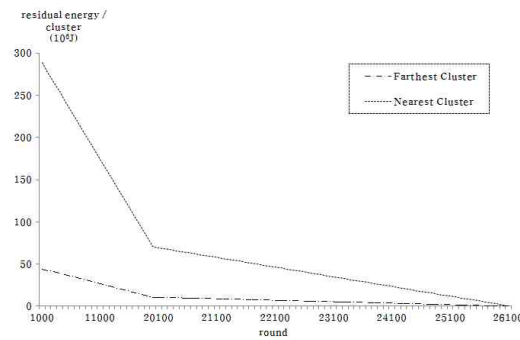


그림 12. 대칭형 클러스터링에서 싱크와의 거리에 따른 에너지 소비 차이

Fig. 12. Comparison of energy consumption related to the distance to the sink (symmetric hierarchical clustering)

그림 12에서 이분화된 대칭형 클러스터링을 통해 싱크로부터 가장 멀리 떨어진 클러스터와 가장 가까운 클러스터의 에너지가 거의 비슷한 시점에 완전히 소비되는 것을 살펴볼 수 있다. 또한 각 클러스터의 에너지가 완전히 소비되는 시간도 약 5000 정도 더 증가되는 것을 볼 수 있다.

2.3 싱크의 이동에 따른 에너지 소비

본 논문에서 제안하는 적응적 클러스터링 프로토콜은 EEUC와는 달리 싱크와 가까운 위치의 클러스터를 더 크게

구성하는데, 이와 같은 구성은 싱크의 이동에 따른 라우팅 경로의 변화를 줄이는 데 도움이 된다. 그림 13에서 (1)은 EEUC의 클러스터 구성을 나타내고 있으며, (2)는 본 논문에서 제안하는 클러스터링 기법에 따른 클러스터의 구성을 나타내고 있으며, 각각의 경우에 대해 싱크의 위치가 A에서 B로 이동되는 경우 인접한 클러스터의 변화를 보여준다.

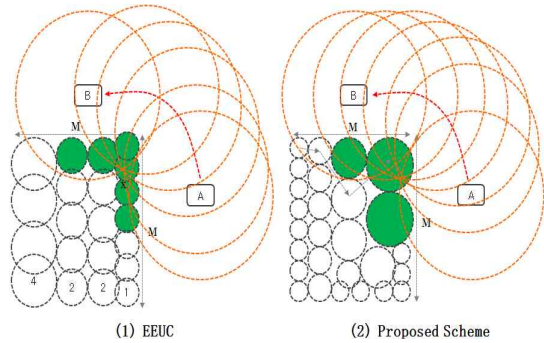


그림 13. 싱크의 위치 변화에 따른 인접 클러스터의 변화
Fig. 13. Change of the nearest clusters related to the sink position

인접한 클러스터가 얼마나 자주 바뀌는지는 각 클러스터가 데이터를 전송하는 데 필요한 라우팅 테이블의 갱신 주기에 영향을 준다.

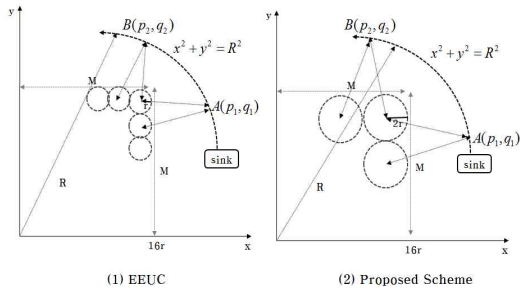


그림 14. 라우팅 테이블 갱신 시점의 차이
Fig. 14. Difference of routing table update time

그림 14의 (1)에서 싱크와 인접한 클러스터의 반경이 r 이고, (2)의 클러스터는 반경이 $2r$ 이라 가정했을 때, 싱크가 $A(p_1, q_1)$ 에서 $B(p_2, q_2)$ 까지 $x^2+y^2=R^2$ 의 함수를 따라 이동하면 (1)의 EEUC는 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜에 비해 약 8% 정도 이른 시점에 라우팅 테이블의 갱신이 이루어지게 된다. 또한 싱크의 이동에 의해 싱크와 인접한 클러스터의 크기가 바뀌면 클러스터를 재구성해야 하며, 라우팅 테이블의 갱신과 클러스터의 재구성은 모두 에너지 소비를 필요로 하기 때문에 반복되는 횟수가 많아질수록 네트워크의 수명은 감소하게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 센서네트워크 환경을 위해 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 계층적 클러스터링 기법에서 싱크의 위치 변화를 고려하여 에너지 소비를 최소화시키면서 모든 센서 노드의 균등한 수명을 보장하기 위한 동적 클러스터링 기법을 연구하였다. 여기에서 싱크와 가까운 클러스터는 포워딩 에너지의 소비가 집중되는 특성을 갖기 때문에 포워딩 에너지의 소비를 고려한 클러스터링이 이루어져야 하며, 모든 클러스터들이 계층적 트리를 이루기 때문에 클러스터의 규모를 고려하여 트리의 레벨이 설정되어야만 클러스터의 크기가 비례해지는 현상과 특정 클러스터에서의 에너지 소비 집중을 막을 수 있다.

싱크의 위치 변화를 고려한 클러스터링을 위해서는 싱크의 위치 변화를 관찰하기 위한 시간 주기와 관련하여 클러스터의 재설정 주기 및 클러스터를 재구성하기 위해 필요한 에너지의 소비 정도도 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Jiman Hong, Joongjin Kook, Sangjun Lee, Dongseop Kwon, and Sangho Yi, "T-LEACH: The method of threshold-based cluster head replacement for wireless sensor networks," *Information Systems Frontiers*, Vol. 11, Num. 5, pp. 513-521, Jun. 2008.
- [2] Canfeng Chen, Jian Ma, and Ke Yu, "Designing Energy-Efficient Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks," *WSW'06 at Sensys'06*, Oct. 2006.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Hawaii International Conference on System Science (HICSS)*, Jan. 2000.
- [4] W. B. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," *IEEE transactions on wireless communications*, Vol. 1, No. 4, Oct. 2002.
- [5] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "Distributed

Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach,” in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 366-379, Oct. 2004.

- [6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Proc. of 15th International Conference on Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2009-2015, Apr. 2001.
- [7] C. Li, M. Ye, G. Chen, J. Wu, "An Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2005), Nov. 2005.
- [8] A. Manjeshwar and D. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive information Retrieval in Wireless Sensor Networks," International Parallel and Distributed Processing Symposium: IPDPS 2002 Workshops, pp. 195-202, Aug. 2002.



박 병 하

1999 : 세종대학교 전산과학과 공학사.
 2001 : 세종대학교 컴퓨터공학과 공학석사.
 현 재 : 전자부품연구원 실감정보플랫폼
 연구센터 책임연구원
 관심분야 : 감성공학, 센서네트워크
 Email : bhpark34@naver.com



홍 지 만

1994 : 고려대학교 컴퓨터공학과 공학사.
 1997 : 서울대학교 컴퓨터공학과 공학석사.
 2003 : 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 현 재 : 숭실대학교 컴퓨터학과 조교수
 관심분야 : 운영체제, 결합허용컴퓨팅, 분
 산시스템, 임베디드시스템, 센
 서네트워크
 Email : jimman@ssu.ac.kr

저 자 소개



국 중 진

2005 : 광운대학교 컴퓨터공학과 공학사.
 2007 : 광운대학교 컴퓨터공학과 공학석사.
 2009 : 숭실대학교 컴퓨터공학과 공학박
 사수료
 현 재 : 전자부품연구원 실감정보플랫폼연
 구센터 연구원
 관심분야 : 운영체제, 센서네트워크, 임베
 디드시스템
 Email : tipsiness@gmail.com



박 영 충

1999 : 세종대학교 전산과학과 공학사.
 2001 : 세종대학교 컴퓨터공학과 공학석사.
 2010 : 세종대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 현 재 : 전자부품연구원 실감정보플랫폼연
 구센터 책임연구원
 관심분야 : 감성공학, 센서네트워크
 Email : ycpark@keti.re.kr