



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

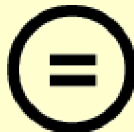
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

무선 센서 네트워크에서 네트워크 수명 연장을 위한 에너지 효율적인 클러스터링 알고리즘



김 태 형

공학석사 학위논문

무선 센서 네트워크에서 네트워크 수명 연장을 위한 에너지 효율적인 클러스터링 알고리즘

지도교수 이 원 창

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

전 자 공 학 과

김 태 형

김태형의 공학석사 학위논문을 인준함.

2011년 2월 25일



주 심 공학박사 강 근 태 (인)

위 원 공학박사 임 창 헌 (인)

위 원 공학박사 이 원 창 (인)

목 차

I. 서론	1
II. 무선 센서 네트워크	3
1. 센서 네트워크 개요	3
2. 센서 네트워크 설계를 위한 주요 요소	4
3. 센서 네트워크와 기존 Ad-hoc 네트워크의 비교	8
III. 클러스터링	10
1. 클러스터링 개요	10
2. 클러스터링 분류	10
3. 센서네트워크에서 클러스터링 기술 특성	12
4. K-Means 클러스터링	15
IV. 관련 연구	18
1. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)	18
2. HEED(A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Network)	22
V. 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘	24
1. 제안하는 알고리즘	24
2. 시뮬레이션 모델	25
3. K-means 알고리즘을 이용한 클러스터링	27
4. 초기 에너지가 모두 동일한 경우	28
5. 초기 에너지가 다른 경우	31
VI. 결론 및 향후 과제	35
VII. 참고 문헌	36
감사의 글	39

Energy Efficient Clustering Algorithm for Prolonging Network Lifetime in Wireless Sensor Networks

Tae Hyoung Kim

Department of Electronic Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

In order to operate sensor networks effectively, it is very important to use the energy in the individual nodes efficiently and so increase their lifetime. Currently, cluster-based routing protocol algorithms which is widely applied in sensor network make it possible to improve energy efficiency of sensor network as much as possible by minimizing data transfer between cluster head and cluster nodes. For example, cluster-based routing algorithms such as LEACH and HEED obtain the efficiency of energy using data transfer between cluster heads and its members. In this thesis, we analyze the typical cluster-based routing algorithms and suggest a new energy efficient method of electing the cluster heads with the maximum delay of dead nodes occurrence. Also the new algorithm was combined with K-means clustering. The efficiency of the proposed algorithm is verified through MATLAB simulation.

I. 서론

센서 기술, MEMS 기술, 저전력 전자 공학 기술, 저전력 RF 설계 기술 등의 발달로 무선 네트워크를 통하여 연결될 수 있는 소형, 저가, 저전력의 센서 노드들이 많이 개발되어 왔다. 또한 이러한 노력의 결과로 다수의 센서 노드들이 현상의 내부나 매우 밀접한 지역에 조밀하게 배치된 무선 센서 네트워크를 형성하여 헬스, 군사, 홈 네트워크, 환경 감시, 공장 관리, 재난 감시 등의 다양한 응용에 적용될 수 있게 되었다[1-4]. 무선 센서 네트워크 프로토콜은 어플리케이션에 따라 차이는 있으나 대부분 많은 센서 노드들로 구성되며 관측하고자 하는 환경 안이나 혹은 근접한 위치에 밀도 높게 배치되어 멀티홉 통신을 하기 때문에 센서 장치의 제한된 배터리 수명으로 인해 소모되는 에너지를 최소화하여 네트워크 수명을 오랫동안 유지하는 것이 가장 큰 목적이다. 또한 센서 네트워크에서의 노드들은 임의의 위치에 무작위로 배치되며, 이로 인해 센서 네트워크는 자기 구성 능력을 가져야 하고 센서 노드들은 프로세서를 내장하고 있기 때문에 감지한 데이터를 그대로 전송하는 것이 아니라, 노드간의 데이터를 계산 및 처리한 후 필요한 데이터만을 필요한 시기에 전송이 가능하다. 어떤 특정한 상황에서 긴급 패킷이 발생되었을 때 충돌이나 지연 없이 core 네트워크에 데이터 패킷을 전송하는 것은 매우 중요하다. 그러나 대부분의 센서 네트워크에서는 데이터 전송의 우선순위를 고려했을 때 긴급하게 보내질 필요가 없을 만한 유사한 데이터가 많이 발생하게 되므로 delay는 에너지 소비에 덜 중요하다고 여기어 진다.

결국 센서 네트워크에서 가장 중요하게 강조되는 것은 각 센서 노드들의 전력 손실을 최소화하는 것이고 또한 그와 더불어 네트워크 전체의

수명을 노드 하나의 전력이 depleted된 시점이라 생각했을 때 네트워크의 수명을 가능한 한 최대화 하는 것이다.

현재 무선 센서 네트워크에서 개별 센서 노드들의 에너지 효율을 높이기 위한 많은 라우팅 기법들이 제안되었다. 그 중에서 클러스터 기반의 네트워크를 구성하는 방법이 많이 연구되고 있다[5-6]. 에너지 효율성이 중요한 무선 센서 네트워크에서 클러스터링 기술은 클러스터 헤드노드가 해당 클러스터 멤버 노드들의 데이터를 병합하고 싱크(Sink)¹⁾로 전송함으로써 노드 간 통신의 양을 줄이게 하고 클러스터 안에서는 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄에 의해 클러스터 헤드가 멤버 노드들의 스케줄을 조정함으로써 개별 노드들의 슬립 타임을 연장하게 된다[7]. 기존에 제안된 클러스터링 알고리즘들은 자신의 알고리즘을 사용하면 최적 또는 완벽한 클러스터 구성이 가능하다고 주장하고 있지만 각각의 알고리즘은 장점뿐만 아니라 단점 또한 내포하고 있다.

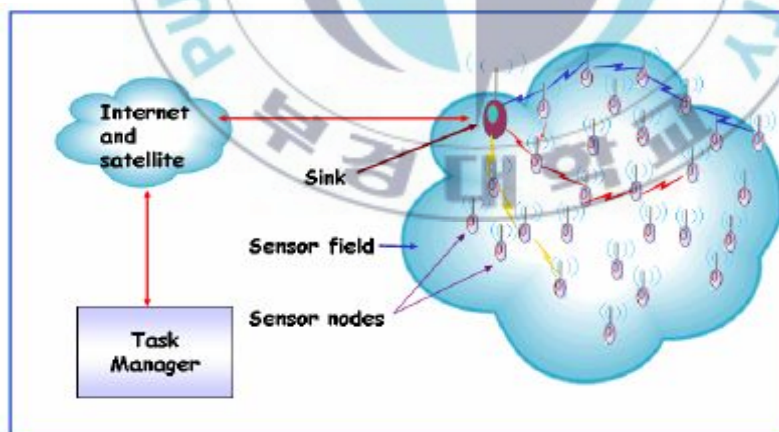
본 논문에서는 센서 네트워크에 사용되는 기존의 대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering Approach)알고리즘의 장단점을 알아보고 각각 알고리즘의 단점을 보완한 새로운 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하였다. 보다 정확한 시뮬레이션을 위해 알고리즘 수행 전 단계인 클러스터 구성과 개별 노드 배치 단계에서 K-means Clustering 알고리즘을 적용함으로써 가까운 노드들 간에 클러스터링을 구성하게 하였고, 이를 통해 더욱 정확한 클러스터 기반 하에 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다.

1) 센서 지역으로부터 발생하는 데이터를 수집하여 사용자에게 전송하고 센서 네트워크와 인터넷, 위성 등의 외부 망을 연결하여 관리자가 원격에서 센서 네트워크를 제어할 수 있도록 하는 노드이다.

II. 무선 센서 네트워크

1. 센서 네트워크 개요

센서 네트워크의 궁극적인 목적은 인간의 오감을 대신하여 환경 및 관측하고자 하는 대상의 변화 상황에 대한 정보를 획득하고 그것을 사용자에게 제공하는 것으로서, 예를 들면 산불 및 홍수 감시 등의 환경 감시, 건강관리, 전장에서의 군사적인 목적과 최근에 대두되고 있는 홈 네트워킹 및 다양한 상업 및 공업 분야 등 응용 분야는 실로 엄청나게 활용할 수 있다. 그림 1은 센서 네트워크의 기본 통신 구조를 나타낸다. 각각의 센서 노드에서 수집된 정보는 사용자에 의해 멀티홉 유동 기반 구조(infrastructureless)의 통신 기법을 통해서 통해 싱크(sink)로 전달된다. 싱크에 전달된 데이터는 인터넷이나 위성 통신 등을 통해 사용자와 직접 접속이 되어 있는 태스크 관리자(task manager)로 전달된다.



<그림 1> 센서 네트워크의 일반적인 통신 구조

2. 센서 네트워크 설계를 위한 주요 요소

센서 네트워크를 위한 프로토콜이나 알고리즘을 설계하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.

2.1 Fault tolerance

어떤 센서 노드들은 파워의 부족, 물리적인 충격, 또는 환경의 영향으로 수명이 다하거나 동작이 정지될 수 있다. 센서 노드들의 이상 동작은 센서 네트워크의 전체 동작에 영향을 주지 말아야 한다. 이것은 신뢰성 또는 fault tolerance와 관련된 문제이다. Fault tolerance는 센서 노드의 이상 동작들에 대해 어떤 정지 없이 센서 네트워크의 임무를 지속 수행할 수 있는 능력이다.

2.2 확장성

환경을 감지하기 위해 포설되는 센서 노드들의 수는 수백 혹은 수천이 될 수 있다. 어플리케이션에 따라 그 수는 수백만을 넘을 수도 있다. 센서 네트워크를 위한 새로운 프로토콜은 이러한 수의 노드들로 동작해야 한다. 그들은 또한 조밀하게 분포한 센서 네트워크를 동작시킬 수 있어야 한다. 10m 반경이 안 되는 지역 안에 수개에서 수백 개의 노드들이 분포할 수도 있다.

2.3 생산가격

센서 네트워크가 아주 많은 센서 노드들로 구성되기 때문에 각 노드의 가격은 전체 센서 네트워크의 가격을 결정짓는 중요한 요소이다. 만약

네트워크의 가격이 기존의 센서들을 포설하는 것에 비해 비싸다면 센서 네트워크는 정당한 가격이 아니다. 결과적으로 각 센서 노드의 가격은 낮게 책정되어야 한다. 이러한 생각은 Bluetooth 라디오 시스템을 10 USD 이하가 가능하게 하였다. 또한 pico-node의 가격은 1불 이하를 목표로 하고 있다. 센서 네트워크가 적용이 가능하려면 센서 노드의 가격은 1불 이하가 되어야 한다. 센서 노드의 가격은 가격이 낮은 것으로 생각하고 있는 Bluetooth radio의 10분의 1 정도를 목표로 하고 있다.

2.4 센서네트워크 토폴로지

어플리케이션에 따라 토폴로지는 다양하게 바뀔 수 있지만 일반적으로 수백에서 수천의 노드들이 센서 필드에 포설된다. 그들은 서로 수십 feet 내에 분포된다. 노드의 밀도는 $20\text{nodes}/\text{m}^2$ 이상으로 높다. 많은 수의 노드가 밀도 높게 분포하기 때문에 토폴로지 유지에 주의가 필요하다.

2.5 환경

센서 노드들은 관측하고자 하는 환경 안에 혹은 아주 가까운 곳에 밀도 높게 포설된다. 그래서 그들은 일반적으로 원격지에서 자체적으로 동작한다. 그들은 큰 기계 안이나 바다 밑, 생화학적 유해 지역, 전쟁터, 집이나 혹은 큰 빌딩 내에서 동작할 수도 있다.

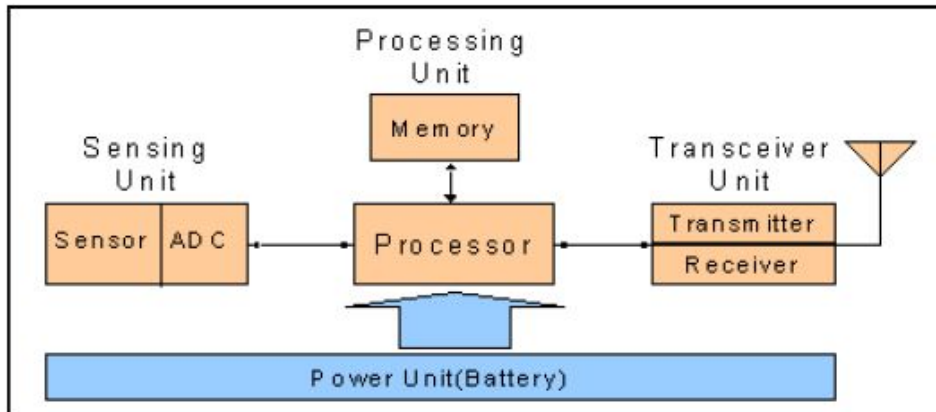
2.6 전송 매체

멀티 홉 센서 네트워크에서 통신하는 노드들은 무선 전송 매체에 의해 연결된다. 이 연결들은 radio, infrared, 또는 optical media 등에 의해

형성된다. 이러한 네트워크의 글로벌 동작을 위해서 선택된 전송 매체는 세계적으로 사용 가능해야 한다.

2.7 하드웨어 특성

센서 노드는 그림 2와 같이 센싱 유닛, 프로세싱 유닛, 송수신 유닛, 그리고 전원 유닛 등 네 개 요소로 구성된다. 또한 응용에 따라 위치 감지 시스템, 전력 생성기, 이동화기 등의 추가적인 요소도 포함할 수 있다. 센싱 유닛은 일반적으로 센서와 analog-to-digital converter (ADC)로 구성된다. 센서에 의해 감지된 빛의 밝기나 소리 등의 아날로그 신호는 ADC에 의해 디지털 신호로 변환되고, 프로세싱 유닛으로 전달된다. 일반적으로 메모리를 동반하는 프로세싱 유닛은 데이터를 연산하며, 센서 노드에게 부여된 임무를 이웃 노드와 함께 협력하여 수행하는 일련의 과정을 관리한다. 메모리는 데이터를 처리하고 네트워크를 구성하기 위한 알고리즘을 저장하며, 자신의 센싱 유닛이나 다른 노드로부터 입력된 데이터를 일시적으로 저장한다. 송수신 유닛은 감지한 데이터나 네트워크 구성을 위해 필요한 신호를 전송하거나 수신함에 의해 네트워크에 노드를 연결한다. 센서 노드의 가장 중요한 요소 중의 하나는 전원 유닛으로 상술한 모든 유닛에 전력을 공급한다. 전원 유닛은 배터리에 의해 제한된 전력을 공급받거나 태양 전지와 같은 전력 생성 유닛에 의해 지원될 수도 있다. 대부분의 센서 네트워크 경로 선택이나 환경 감지 임무는 높은 정밀도의 위치 정보를 요구한다. 그래서 일반적으로 센서 노드는 위치 감지 시스템을 갖는다. 이동화기는 센서 노드가 주어진 임무를 수행하기 위해서 이동이 필요한 경우에 필요하다.



<그림 2> 센서 노드의 하드웨어 구조

이러한 모든 부분이 성냥갑 크기의 모듈에 들어가야 한다. 요구되는 크기는 1 cm³보다 작고, 공중에 떠 있을 만큼 가벼울 것을 요구할 수 있다. 크기 외에 센서 노드들에 요구되는 사항이 있다. 노드들은 극히 적은 전력 소비, 고밀도에서 동작, 낮은 생산 가격, 자율적인 동작, 그리고 환경에 적응해야 한다.

일반적으로 센서 노드는 소프트웨어에 의해 각 유닛의 동작을 개별적으로 조정할 수도 있다. 전송의 대상이 되는 상대 노드와의 거리에 따라 송신단의 전력의 세기를 조절하거나, 경우에 따라서 전력 소모를 줄이기 위해 사용하지 않는 유닛의 동작을 일부 혹은 완전히 정지시킬 수도 있다. 예를 들어, 센서 노드는 무선 환경에서 동작되어 송신과 수신을 동시에 할 수 없으므로, 송신이나 수신 중 어느 한 기능만 수행하게 되는데 이때 동작을 수행하지 않는 대기 모드에서는 전원을 정지시킬 수 있다. 이 기능은 소비되는 전력을 줄여서 네트워크 전체 수명을 연장시키는데 매우 유용하다.

그러나, 전원을 켜 후 안정적인 동작을 시작하기까지 소요되는 시간이

수백 μsec 로, 1 Mbps의 전송률로 전송을 한다고 가정했을 때, 수백 비트를 전송하는데 사용할 수 있는 전력이 전원을 켜 후 안정된 동작에 이르는데 소모되는 셈이다. 따라서 동작이 필요 없는 부분이라고 하여 빈번하게 전력을 차단하고 다시 재연결하는 것은 오히려 전력 손실을 더 크게 하는 결과를 가져온다.

무선 네트워크에서 3000 개의 명령어 수행에 필요한 전력은 무선으로 한 비트를 100 m 전송할 때 소모되는 전력과 비슷하다. 이것은 센서 노드가 감지한 정보를 그 때마다 각각 전송하는 것보다 그 정보에 대한 프로세싱을 통해 함축적인 정보를 송신하는 것이 시스템 수명 연장에 도움이 된다는 것을 의미한다.

3. 센서 네트워크와 기존 Ad-hoc 네트워크의 비교

센서 네트워크는 유동 기반 구조라는 점에서 기존 무선 애드 혹 네트워크와 비슷하다. 그러나 사용자와 인접해 있어서 언제든지 사용할 수 있고 네트워크 상태를 파악할 수 있는 기존 애드 혹 네트워크와는 달리 센서 네트워크는 다음과 같은 특징을 가지고 있다[8-9].

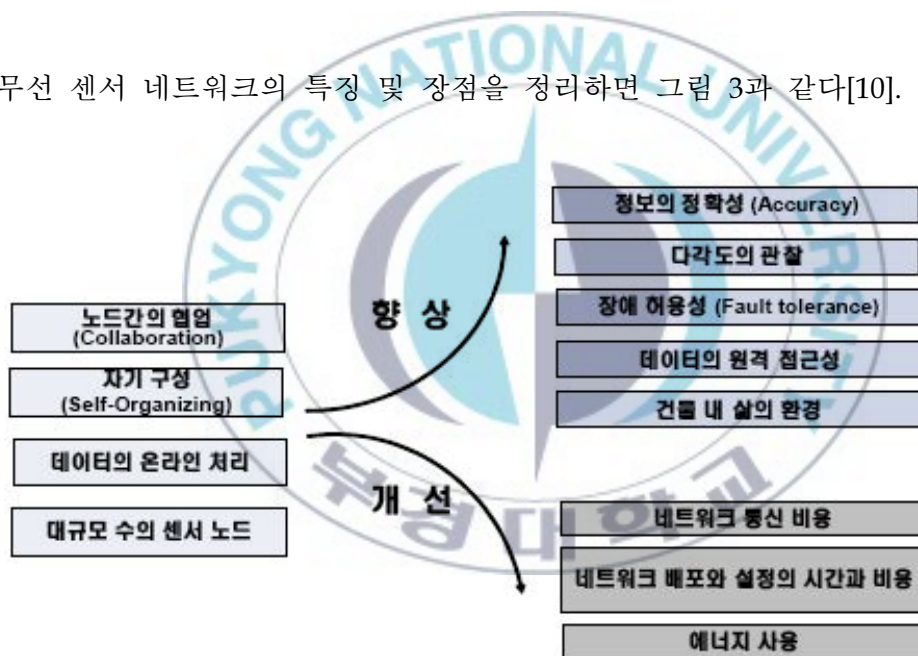
- 센서 네트워크는 기존 애드 혹 네트워크에 비해 노드들의 전송 범위가 10분의 1 정도로 짧기 때문에 기존 애드 혹 네트워크에 비해 수십에서 수백 배 이상의 많은 노드들이 밀도 높게 배치된다. 이로 인해 크기의 제약을 받는다.
- 센서 노드는 대부분 열악한 환경에 그대로 노출된 상황에서 임무를 수행하게 되므로 고장이나 파손의 가능성이 높다. 또한 배터리 전원을 이용하여 동작하므로 배터리 수명이 다함으로 인해 노드의 환경 감지 불가 (sensing failure) 또는 배터리가 완전히 소모되는 등에 의해 센서

네트워크의 토폴로지 변화가 자주 발생된다. 따라서 이러한 노드의 센싱 불가나 토폴로지 변화에 대해서 강하게 대처할 수 있는 능력 (fault tolerant, robustness)을 갖추어야 한다.

- 애드 혹 네트워크는 점대점 (point-to-point) 단일 홉 통신을 기본으로 하지만, 센서 네트워크는 브로드캐스트 (broadcast)를 사용하여 멀티 홉 간의 통신을 주로 한다.

- 센서 네트워크는 인간이 근접할 수 없는 환경에 배치될 수 있기 때문에, 센서 노드들은 안정된 전원을 공급받을 수 없고, 대부분 배터리로 전원 공급을 하므로 에너지를 절감하여 네트워크 수명을 최대화 하는 것이 가장 중요하다.

무선 센서 네트워크의 특징 및 장점을 정리하면 그림 3과 같다[10].



<그림 3> 무선 센서 네트워크의 특징 및 장점

Ⅲ. 클러스터링

1. 클러스터링 개요

수많은 노드들로 구성된 네트워크의 통신 효율성(efficiency)을 높이고 네트워크의 확장성(scalability)을 용이하기 위해서는 인접한 노드들을 하나의 그룹으로 묶어서 지역별로 노드들을 구성하게 되는데 이를 클러스터(cluster)라고 한다. 그리고 이 지역에서 대표가 되는 노드를 클러스터 헤드(cluster head)라고 한다. 클러스터 헤드는 지역 내에 있는 노드들의 통신을 조정하기 위한 통제자(controller)로서의 역할을 수행한다. 클러스터를 구성할 경우에는 싱크(sink)로 가는 통신 횟수를 줄일 뿐만 아니라 노드의 에너지를 절약하게 하는 특징이 있다. 이러한 클러스터링 기법은 지금까지 폭넓게 활용되고 있고 많은 연구가 진행되어 왔다.

2. 클러스터링 분류

클러스터링을 분류할 수 있는 여러 기준이 있다. 본 논문에서는 클러스터의 특징별, 클러스터 헤드의 역할별, 클러스터의 과정별로 구분한다.

2.1. 클러스터 특징별 분류

클러스터의 특징별 분류는 클러스터의 크기, 통신경로, 통신방식, 안정성으로 세부적으로 분류된다. 먼저, 노드의 개수 또는 클러스터 헤드를 중심으로 한 홉 수 제한의 유무로 클러스터의 크기에 제한을 두기 위한 방법이다. 다음으로 클러스터 간 또는 클러스터 헤드 간의 통신 경로이

다. 클러스터 헤드 간에 싱글 홉(single hop)으로 직접 통신(direct communication)을 할 수 있는지 아니면 멀티 홉(multi hop)을 통하여 통신을 하는지를 의미한다. 셋째, 클러스터 내의 통신 방식이다. 클러스터 헤드까지의 경로가 고정인지 아니면 상황에 따라 변동되는지의 여부이다. 넷째, 클러스터의 안정성이다. 노드의 이동, 재배포, 고장 같은 다양한 상황에 대해서 단순히 안정적인 클러스터를 가정하느냐 아니면 안정성을 보장하기 위한 기법을 제시하는 여부를 말한다.

2.2. 클러스터 헤드 역할별 분류

클러스터 헤드의 역할별 분류는 이동성, 노드 타입, 기능에 따라 세부적으로 분류된다. 먼저, 클러스터 헤드의 이동성 여부이다. 클러스터 헤드가 한 지점에 지속적으로 고정되어 있거나 아니면 움직이거나 또는 배터리가 다 되어 재배포가 필요한 경우로 나뉜다. 둘째, 노드 타입에 따른 분류이다. 노드가 성능이나 에너지 보유 면에서 다른 노드들에 비해 우수한지 동일한지에 따른 분류이다. 마지막으로 클러스터 헤드의 기능에 따른 분류이다. 데이터를 싱크까지 전송만 하는지 또는 데이터 집약(aggregation)을 통하여 전송을 하는지 아니면 클러스터 헤드가 싱크의 기능을 동시에 수행하는지에 따른 분류이다.

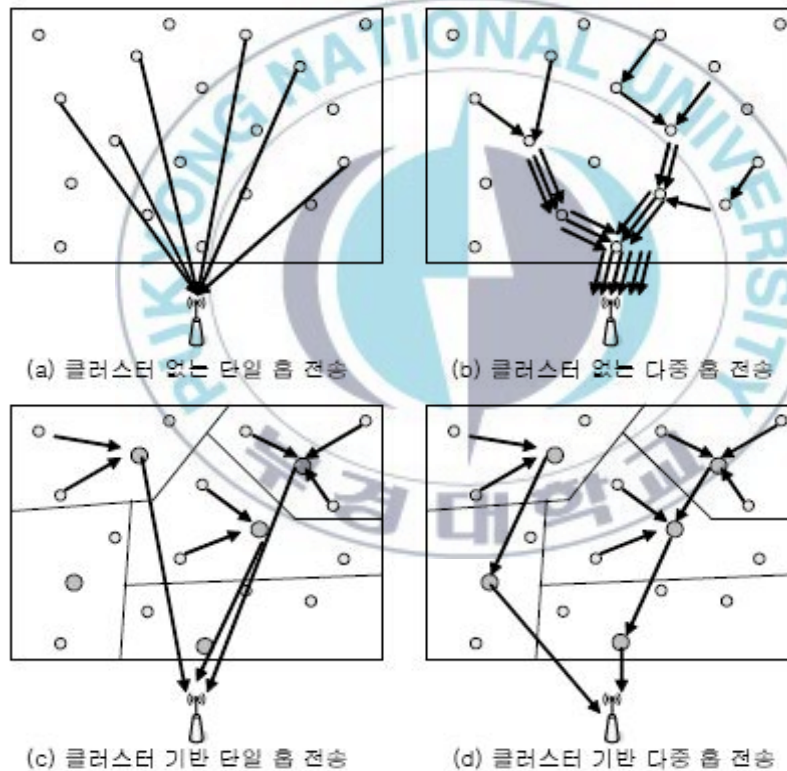
2.3. 클러스터링 과정별 분류

클러스터링 과정별 분류는 크게 클러스터 헤드 선출 방법과 클러스터링의 목적으로 크게 나뉜다. 먼저, 클러스터 헤드 선출 방법으로 각 지역(cluster) 내에서 클러스터 헤드를 선출하는 분산적인 방법이 있고 사전에 클러스터 헤드가 될 노드가 미리 정해지는 집중형이 있다. 다음으로 클러스터링의 목적별 분류로 노드 failure에 대처 기능이 우수하도록

하는 fault-tolerance가 목적인지 노드의 load bal-ancing이 목적인지 네트워크가 안정적으로 구성되기 위한 network connectivity가 목적인지 센서 네트워크와 같이 노드의 보유 에너지가 적어 네트워크 수명을 연장(extend network lifetime)하는 것이 목적인지로 크게 나눌 수가 있다.

3. 센서 네트워크에서 클러스터링 기술 특성

센서 노드들은 에너지가 제한되어 있고 센서 필드에 한번 배치되면 재충전 및 재배포가 힘들기 때문에 에너지 효율성이 중요하다. 이러한 에너지 효율성을 늘이기 위해서 다양한 라우팅 기술들이 연구되어 왔다.



<그림 4> 무선 센서 네트워크에서 라우팅 구조

그림 4의 라우팅 기술을 세부적으로 살펴보자[11]. 그림 (a)는 각 노드와 싱크 간에 직접적으로 통신(direct communication)하는 방식으로 싱크로부터 멀리 떨어진 센서 노드들은 먼저 죽게 된다. (b)는 멀티 홉 라우팅 방식으로 그림과 같이 싱크 가까이에 있는 노드들은 데이터를 싱크 노드에 중계하는 역할을 맡아 다른 지역에 있는 노드보다 에너지가 먼저 고갈되게 된다. (c),(d)는 각 지역(region)의 대표 노드인 클러스터 헤드가 일반 노드들로부터 데이터를 모아서 싱글 홉 또는 멀티 홉으로 싱크까지 데이터를 전달하는 방식을 나타낸다. 즉, 클러스터링을 통한 라우팅 기술은 일반적인 라우팅 기술에 비해 다음과 같은 특성들을 가지고 있다.

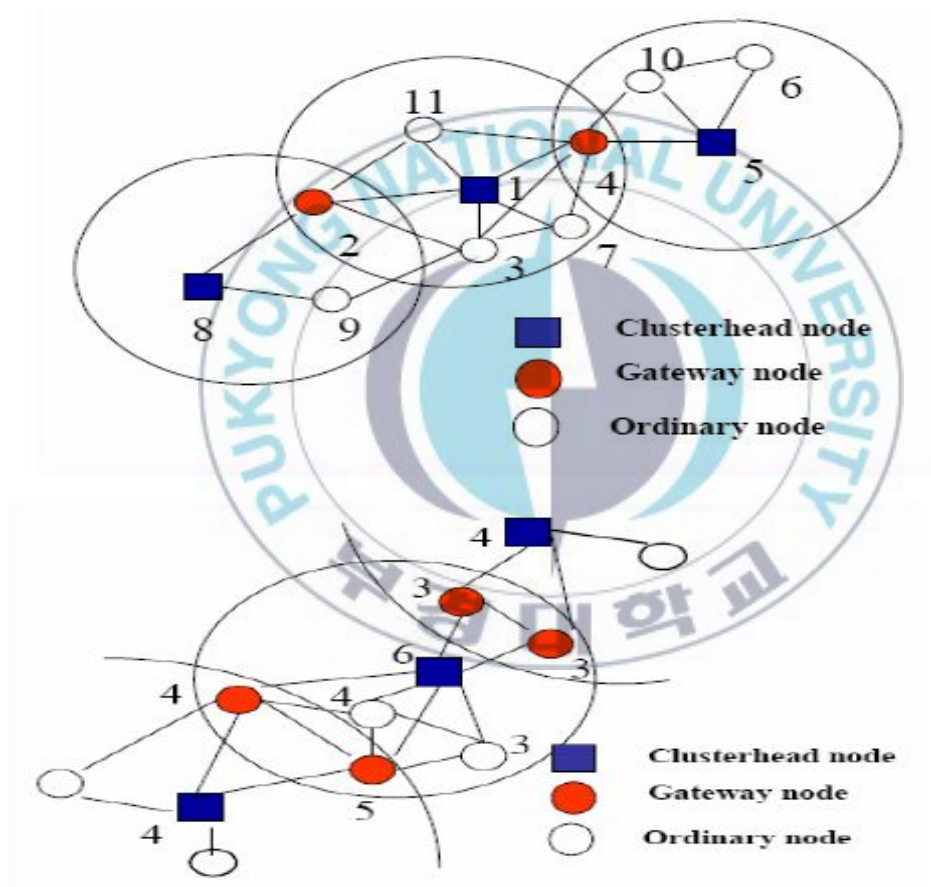
- 지역화(localizing)를 통하여 노드간 통신의 양을 줄일 수 있다. 즉, 노드에서 싱크로 가는 전송횟수를 줄일 수 있는 것이다. 따라서 이것은 노드 전체의 확장성(scalability)과 직결될 수 있다.

- 클러스터 헤드가 자신의 지역 내에 있는 일반 노드들을 TDMA 방식으로 조정하고 활동을 통제함으로써 노드의 슬립 타임을 연장하게 한다.

- 클러스터 헤드가 데이터를 모아서 싱크로 전송하기 때문에 라우팅 오버헤드가 작으며 테이블의 크기가 작다는 장점이 있다.

- 클러스터 헤드는 일반 노드의 데이터를 모아 싱크로 전송하는 역할을 맡으므로 일반 노드에 비해 에너지 소모가 빠르다. 따라서 클러스터 헤드가 지속적으로 그 역할을 맡게 되면 네트워크 수명이 줄어들 수밖에 없다.

즉, 클러스터링 기술에 있어서는 네트워크 수명을 연장하기 위해 클러스터 헤드의 역할을 주기적으로 변경함으로써(periodic cluster reorganization) 네트워크의 수명을 연장한다. 부연 설명하면 그림 5는 MANET에서의 ID 및 이웃 노드의 연결도를 기준으로 한 클러스터 헤드 선출 방법이나 노드들이 고정된 상황에서 이 방법을 센서 네트워크에 적용시 클러스터 헤드가 변경되지 않아 특정 클러스터 헤드가 지속적으로 그 역할을 맡게 되어 네트워크 수명이 줄어들게 되는 단점이 있다.



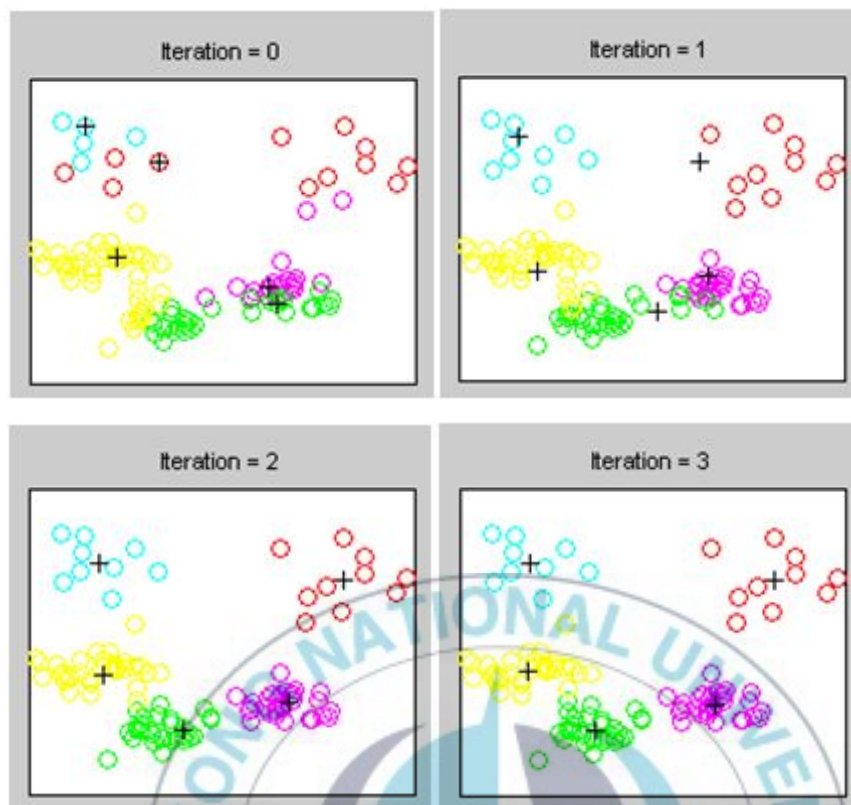
<그림 5> ID/Connectivity 기반 Ad-hoc 네트워크에서 클러스터 헤드 선출

이러한 클러스터링 기술에서는 클러스터 헤드를 어떻게 선출하느냐에 따라 네트워크 수명이 크게 달라지기 때문에 클러스터 헤드를 적절히 선출하여 수명을 연장시킬 수 있는 기술이 필요하다. 애드 혹 네트워크에서는 클러스터 헤드 선출에 있어 안정적인 토폴로지(Topology) 유지와 적은 라우팅 오버헤드(Overhead)가 중요하나 센서 네트워크에서는 노드들이 제한된 배터리 양을 가지고 있기 때문에 노드들의 잔여 에너지가 클러스터 헤드 선출에 있어서 중요한 선출 요소가 된다.

4. K-Means 클러스터링

다수의 데이터가 주어졌을 때, 계산을 단순화 하고 수렴을 가속시키기 위한 기법으로 군집화 기법을 사용한다. 그 중 K-means clustering algorithm(K-평균 알고리즘)은 간단하면서도 효과적인 군집화(Clustering) 문제를 해결하는 비교사 학습(Unsupervised Learning) 알고리즘이다. 데이터가 벡터 공간을 이룬다는 가정아래, 각 묶음의 분산도를 최소화하는 k개의 묶음으로 나누는 방법이다.

주어진 데이터 수는 n , 원하는 클러스터 수는 k 로 표기한다. 데이터 집합으로부터 무작위로 선택된 k 개의 초기 클러스터 중심벡터($\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$)로부터 클러스터를 구성한다. 각 데이터는 가장 가까운 거리에 있는 초기 중심 벡터를 기준으로 분류된다. 나누어진 각 클러스터에서 평균값으로 중심 값을 새로 갱신하고 이를 반복적으로 수행하여 오차 감소율이 매우 작아지거나, 중심 값이 변하지 않으면 끝낸다[12-14].



<그림 6> K-means 클러스터링 알고리즘의 군집화 방식

4.1 알고리즘

알고리즘은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

```

1  begin initialize  $n, k, \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ 
2      do classify  $n$  samples according to nearest  $\mu_i$ 
3      recompute  $\mu_i$ 
4      until no change in  $\mu_i$ 
5      return  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ 
6  end

```

위 알고리즘의 각 프로세스를 자세히 설명하면 다음과 같다.

- 초기 데이터 집합으로부터 임의의 k 개의 초기 중심 집합을 만든다.

- 클러스터의 수 k 개

- n 개의 초기데이터 집합 $\{x_1, \dots, x_n\}$

- K 개의 초기 중심 집합 $\{y_1, \dots, y_k\}$

- 각 데이터들은 가장 가까운 중심을 가진 클러스터로 분류한다.

- k 개의 클러스터 집합 $\{X_1, \dots, X_k\}$

$X_i = \{x_n \mid d(x_n, y_i) \leq d(x_n, y_j), j = 1, \dots, k\}$

- Euclidean distance

(2-dimensional distance)

- 새로운 클러스터들에서 각각의 중심을 갱신한다.

- 각 클러스터의 평균값 $y_i = c(X_i), i = 1, \dots, k$

- 이전 단계의 중심 값과 비교하여 변화가 없다면 알고리즘을 끝을 낸다. 그렇지 않을 경우 위의 과정을 반복한다.

(혹은, 총 왜곡을 구하여 왜곡의 감소율이 일정수준 이하로 떨어지면 알고리즘을 끝을 내도록 한다.)

- 왜곡(클러스터 중심과의 합)

$i(n) = k, \text{ if } x_n \in X_k$

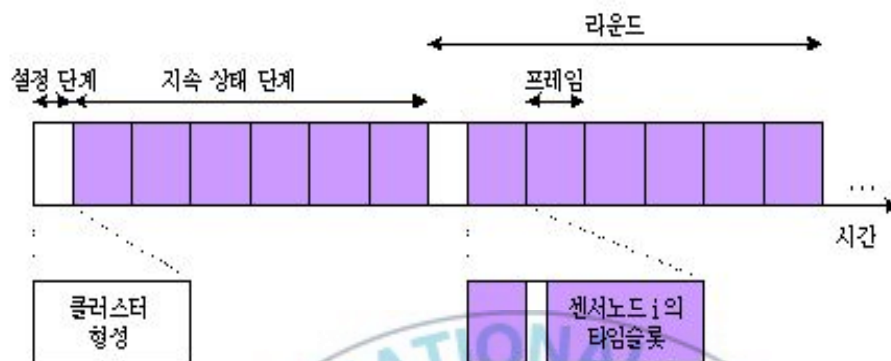
IV. 관련 연구

본 장에서는 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜의 대표적 알고리즘인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 HEED(Hybrid, Energy-Efficient Adaptive Clustering Hierarchy)의 특징을 및 장단점을 자세히 알아보도록 한다. 클러스터링 프로토콜도 대부분의 센서 네트워크 프로토콜과 마찬가지로 데이터 발생형태에 따라 주기적(proactive) 네트워크와 반응적(reactive) 네트워크로 구분된다. 전자에서 센서 노드들은 주기적으로 대상 환경을 센싱하여 데이터를 목적지로 전송하며 공장의 기계 고장 탐지 같은 주기적인 센싱이 필요한 경우에 쓰인다. 전자의 경우 노드들은 일반적으로 언제나 보낼 데이터를 가지고 있고 모든 노드의 에너지 소비는 동일하다고 전제하고 프로토콜을 설계한다. 후자에서는 요구하는 사건이 발생하거나 센싱된 값이 변화할 때 노드들이 데이터를 전송하며 침입 및 폭발 탐지 같은 어플리케이션에 이용이 될 수 있다. 후자에서는 데이터 발생 현황이 노드별로 더욱더 상이하여 센서 네트워크의 수명 향상을 위해서 노드 간 에너지 밸런싱이 필요하게 되고 노드들의 잔여 에너지가 클러스터 헤드 선출에 더욱더 중요한 요소가 된다[15].

1. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 “데이터 퓨전”을 통해 데이터를 모아서 직접 싱크로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지

집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 퓨전하는 것이다. 이를 위해, LEACH의 동작은 그림 7과 같이 라운드로는 시간 단위로 이루어진다.



<그림 7> LEACH 알고리즘의 타임라인

각 라운드는 크게 클러스터가 구성되는 설정(setup) 단계와 여러 개의 TDMA 프레임으로 구성되는 지속 상태(steady-state) 단계로 이루어진다. 설정 단계의 시작에서 모든 노드는 자신이 현 라운드동안 클러스터 헤드가 될 수 있을지에 대해 이전 라운드들 동안 클러스터 헤드였는지의 여부와 이상적 클러스터 헤드 수에 기반을 두고 결정한다. 현 라운드동안, 클러스터 헤드가 되기로 결정한 경우, 이를 이웃 센서 노드들에 알린다. 이를 수신한 비클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 결정하며, 이를 클러스터 헤드로 전송하여 클러스터가 구성된다. 클러스터가 형성되면, 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 데이터 전송 순서를 지시하는 TDMA 스케줄을 방송하고, 지속 상태 단계로 간다. 지속 상태 단계에서 각 클러스터 멤버 노드

들은 자신의 전송 슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 sleep 모드로 가서 전력 소모를 줄인다. LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고, 클러스터간의 간섭을 피하기 위하여 각 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 방법을 채택한다. 이러한 LEACH에서는 클러스터 헤드로 선출된 노드의 에너지 소비량은 다른 일반 센서 노드들과 비교해 현격하게 많기 때문에 클러스터의 유지기간이 짧아진다는 문제점이 생긴다. 이를 해결하고자 클러스터 헤드를 클러스터 그룹에 속한 모든 센서 노드들에게 공평하게 라운드 단위로 재선출하도록 제안하고 있다.

즉, LEACH 알고리즘은 센서망의 에너지 효율성에 중점을 둔 프로토콜로써 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 구조로 데이터 전송을 수행한다. 클러스터 헤드는 식(1)의 확률 함수에 의해 결정된다[16-18].

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

식(1)에서 i 는 노드의 식별자, t 는 시간, N 은 전체 노드의 수, k 는 클러스터 헤드의 수, r 은 라운드를 나타낸다. $C_i(t)$ 는 최근 $r \bmod (N/k)$ 라운드 동안 자신이 클러스터 헤드였다면 0이고 아니면 1이다. 노드들의 잔여 에너지가 시간에 따라 큰 차이를 보이는 반응적 네트워크 환경 하에서는 식(2)의 확률함수로 클러스터 헤드가 결정된다.

$$P_i(t) = \min \left\{ \frac{E_i(t)}{E_{total}(t)} k, 1 \right\} \quad (2)$$

식(2)에서 분모는 센싱 필드 내 모든 노드의 현재 에너지의 합, 분자는 노드 i 의 현재 잔여 에너지이며 k 를 곱하여 클러스터 헤드가 공정하게 선출되는 확률함수를 추가로 제안하였다. 이러한 확률함수를 사용하여 에너지가 더 많은 노드는 에너지가 적은 노드보다 더 자주 클러스터로 선출이 되는 것이다.

LEACH는 네트워크에 배치된 모든 노드가 에너지를 동일하게 소비한다는 가정 하에서는 클러스터 헤드 선출 기법이 우수하나 실제 네트워크에서 노드들은 상이한 통신거리 및 기타 외부 환경요소들로 인해 다른 잔여 에너지를 유지할 수밖에 없기 때문에 클러스터 헤드를 공정하게 선정할 수가 없다. 즉, LEACH는 완전히 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 선출하므로 센서망의 모든 센서 노드들이 항상 에너지를 효율적으로 사용하도록 클러스터 형태가 만들어진다는 보장을 하지 못한다. 그리고 공평한 에너지 소비를 보장하기 위하여 확률 기반의 클러스터 헤드 선출 방식을 사용하였지만 이를 위해 매 라운드 단위로 클러스터 헤드를 변경하는 것도 에너지 소모를 더욱 부추기는 결과를 낼 수도 있어 이것 또한 약점이 된다. 또한 LEACH는 모든 노드의 에너지를 알아야 한다는 가정 사항을 전제로 하고 있다. 그러나 모든 노드의 에너지를 알기 위해서는 추가적인 오버헤드가 필요하며 이는 더 큰 에너지 소모로 연결된다는 단점이 생긴다. 이를 개선하기 위해 LEACH-C, LEACH-EM 등 여러 파생 알고리즘이 제안되었으나 이 또한 각각의 단점을 내포하고 있다.

2. HEED(Hybrid, Energy-Efficient Adaptive Clustering Hierarchy)

HEED는 Purdue 대학의 Ossama Younis와 Sonia Fahmy가 노드의 남은 에너지양을 사용하여 클러스터 헤드를 선출하도록 하는 프로토콜이다[19]. HEED의 클러스터 헤드 선출 알고리즘은 모든 노드의 에너지를 알 필요 없이 오직 노드 자신의 파라미터만을 이용하여 클러스터 헤드를 선출한다. HEED의 클러스터 헤드 선출 확률 함수식은 식(3)과 같다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad (3)$$

식(3)에서 분모는 노드 i 의 초기 에너지, 분자는 노드 i 의 잔여 에너지에 전체 노드에서 클러스터 헤드가 차지하는 비율을 곱한 값을 나타낸다. 즉, 이 알고리즘은 노드 자신의 클러스터 헤드 선출 확률이 1이 될 때까지 확률 값을 2배씩 증가시켜 먼저 1이상 값에 도달한 노드가 클러스터 헤드로 선출되도록 한다. 그러나 CH_{prob} 값이 동일한 노드가 존재할 경우에는 식(4)를 사용하여 최소 도달 파워 값(AMRP)이 가장 작은 노드를 클러스터 헤드로 설정하게 된다.

$$AMRP = \frac{\sum_{i=0}^M MinPWR_i}{M} \quad (4)$$

식(4)에서 M 은 클러스터 그룹 내의 노드 수를 의미하며, $MinPWR_i$ 는 클

러스터 헤드로 선정된 노드에서 주위 노드 i 에게 데이터를 전송하기 위한 최소 소모 전력을 의미한다.

이처럼 세부적으로 2단계를 거쳐 선정된 클러스터 헤드를 선출하여 하위 클러스터 그룹들을 생성한 후, 클러스터 헤드가 직접 싱크노드에게 데이터를 전달하도록 하는 구조는 LEACH와 유사한 구조를 가진다. 이러한 HEED의 단점은 클러스터 헤드가 클러스터 그룹 내에서 골고루 분배되지 않는다는 단점과 유사한 CH_{prob} 가 존재할 경우 클러스터 그룹 내의 모든 노드들에 대해서 AMRP를 구한 후 비교함으로써 발생하는 오버헤드이다. 또한 모든 노드들에 대해서 동기화하여 클러스터 헤드를 선출해야 한다는 점도 단점이다.



V. 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘

1. 제안하는 알고리즘

본 절에서는 앞 절에서 살펴본 바와 같이 기존의 대표적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH와 HEED의 단점을 수정하여 좀 더 에너지 효율적이고 전체 네트워크 생존시간을 향상시킬 수 있는 새로운 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하고자 한다. 클러스터 헤드 선출은 식(5)의 확률함수로 결정된다.

$$P_i(t) = \left\{ C_{prob} \left(\frac{E_{residual}}{E_{max}} \right)^2 * \frac{C_{prob} * r}{1 + CH_{cnt} \bmod \frac{1}{C_{prob}}} \right\} \quad (5)$$

식(5)의 왼쪽 분수는 HEED의 클러스터 헤드 선출 확률 함수를 개량한 것인데 초기 최대 에너지에 대한 잔여 에너지의 비율을 제곱함으로써 비중도를 늘려 초기 클러스터 헤드 설정 과정에서 발생할 수 있는 충돌 현상을 회피할 수 있도록 하였다. 그리고 시간이 지날수록 모든 노드의 에너지가 낮아져서 클러스터 헤드 선출이 보장이 되지 않는 것은 시간이 지남에 따라 라운드가 증가하는 특성을 이용하여 오른쪽 분수에서 라운드를 곱하여 보상해주었다. CH_{cnt} 는 현재 라운드까지 노드 i 가 클러스터 헤드로 선출된 횟수를 나타내는 파라미터이고 클러스터 헤드가 선출되는 비율을 최대한 일정하게 해주기 위하여 오른쪽 분수의 분모를 추가하였다. $\bmod$ 함수에 의해 i 번째 노드가 매 $1/CH_{prob}$ 라운드

마다 현재 라운드까지 클러스터 헤드로 선출된 횟수가 많으면 클러스터 헤드 선출 확률이 작아지고 선출된 횟수가 적으면 선출 확률이 높아지게 하는 작용을 한다[20].

2. 시뮬레이션 모델

제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 기존에 제안된 에너지 소비 모델을 이용하였다[21].

L 비트의 메시지가 거리 d 까지 송수신하기 위해서 소비되는 노드의 에너지는 식(6), (7)과 같다.

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^2, & d < d_0 \\ L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (6)$$

$$E_{Rx} = L \cdot E_{elec} \quad (7)$$

그리고 한 라운드동안 클러스터 헤드와 비클러스터 헤드 노드에서 소비되는 에너지는 식(8), (9)와 같다.

$$E_{CH} = L \cdot E_{elec} \left(\frac{n}{k} - 1 \right) + L \cdot E_{DA} \cdot \frac{n}{k} + L \cdot \epsilon_{fs} d_{BS}^2 \quad (8)$$

$$E_{nonCH} = L \cdot E_{elec} + L \cdot \epsilon_{fs} \cdot d_{CH}^2 \quad (9)$$

여기서 d_{BS}^2 는 클러스터헤드와 싱크노드 간의 거리를 제곱한 것을 나타내고 d_{CH}^2 는 클러스터 헤드와 해당하는 클러스터 멤버간의 거리를 제곱

한 것을 나타낸다. 하나의 클러스터 내에서 클러스터 헤드에서 소모되는 에너지와 비클러스터 헤드 노드들에서 소모되는 에너지의 합은 식 (10)과 같다.

$$E_{cluster} = E_{CH} + \left(\frac{n}{k} - 1\right) E_{nonCH} \quad (10)$$

위의 식들을 정리하면 전체 네트워크에서 소모되는 모든 에너지는 식 (11)으로 나타낼 수 있다.

$$E_{total} = L \{ 2nE_{elec} + nE_{DA} + \epsilon_{fs}(kd_{BS}^2 + nd_{CH}^2) \} \quad (11)$$

위에서 사용한 에너지 소비 모델의 변수 설명은 표 1과 같고 본 논문에서 시뮬레이션한 변수의 설명은 표 2와 같다.

표 1. 에너지 소비 모델 변수

변수	설명	변수	설명
L	비트 메시지	E_{elec}	회로 에너지 소모
E_{DA}	Aggregation	ϵ_{fs}	자유공간 손실
d_0	거리 임계값	ϵ_{mp}	다중경로 손실
k	클러스터헤드 수	n	총 노드 수

표 2. 시뮬레이션 변수

변수	설명	변수	설명
노드수	100	CH_{prob}	0.05
M	100*100	ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
Sink	(50, 50) m	ϵ_{mp}	0.0013 pJ/bit/m ⁴
E_{max}	0.5 J	E_{elec}	50 nJ/bit
메시지 길이	4000 bit	E_{DA}	50 nJ/bit

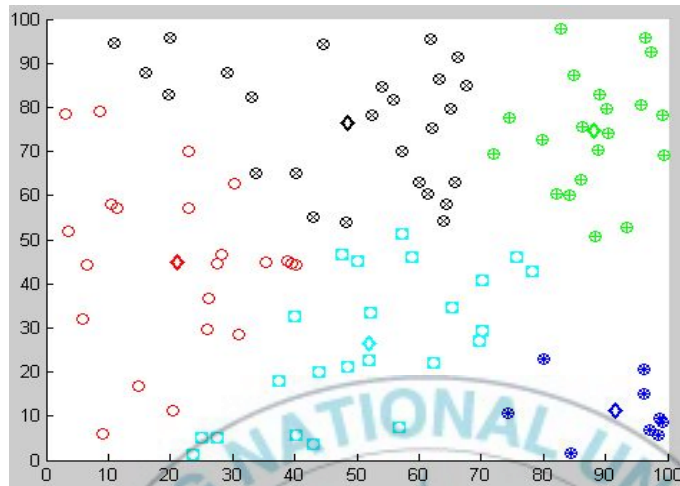
위의 수식과 변수들을 참고하여 각 노드들의 초기 에너지가 동일한 환경과 초기 에너지가 다른 환경 두 가지 경우에 대해 제안한 알고리즘의 성능을 MATLAB 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 초기 에너지 값을 다르게 주는 이유는 실제 통신 환경에서는 서로 다른 통신 거리 및 주변 장애물 등에 의해 예측하지 못한 임의의 사건 등이 발생할 수 있는데 이로 인해 실제 에너지 소비가 다르게 이루어 질 수 있기 때문이다.

3. K-means 알고리즘을 이용한 클러스터링

앞 절에서 설명한 시뮬레이션 모델과 제안한 알고리즘을 시뮬레이션하기 전에 보다 정확한 실험을 위해 거리에 기반하여 가까운 노드들 간에 클러스터를 구성하여 이렇게 구성된 클러스터 위에서 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 하였다. 거리에 기반을 둔 최적의 클러스터링을 구성하기 위하여 K-means 클러스터링 알고리즘을 사용하였고 시뮬레이션은 각 노드들의 초기에너지가 모두 동일할 때와 다른 경우일 때로 나누어 비교분석하였다.

그림 8은 K-means 클러스터링 알고리즘을 이용해 클러스터링한 노드

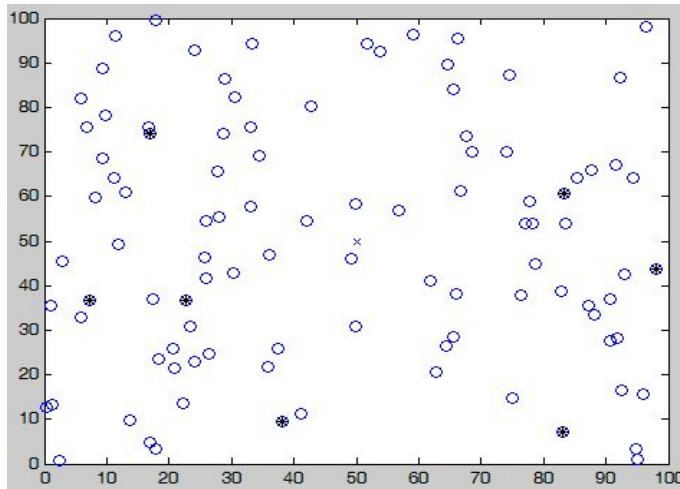
의 전체 배치이다. 그림에서 보듯이 거리가 가까운 노드끼리 클러스터로 묶어 전체 5개의 클러스터가 랜덤하게 생성됨을 확인할 수 있다. 다이나몬드는 K-means 알고리즘을 통한 각 클러스터의 헤드이다.



<그림 8> K-means 클러스터링을 통한 노드 배치 형태

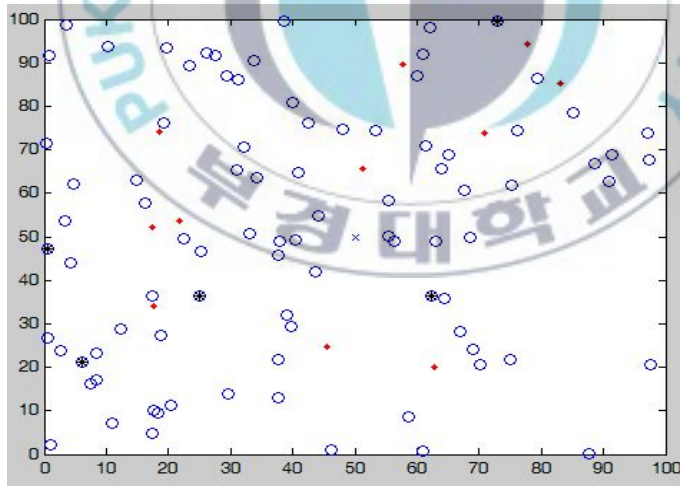
4. 초기 에너지가 모두 동일한 경우

모든 노드의 초기 에너지가 동일한 경우 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 수명을 비교하였다. 그림 9는 100*100 m 환경에서 랜덤하게 노드들이 선출된 그림이다. Sink(x)노드, 클러스터 헤드(*), 일반 노드(o), 데드 노드(.)로 구성된다.



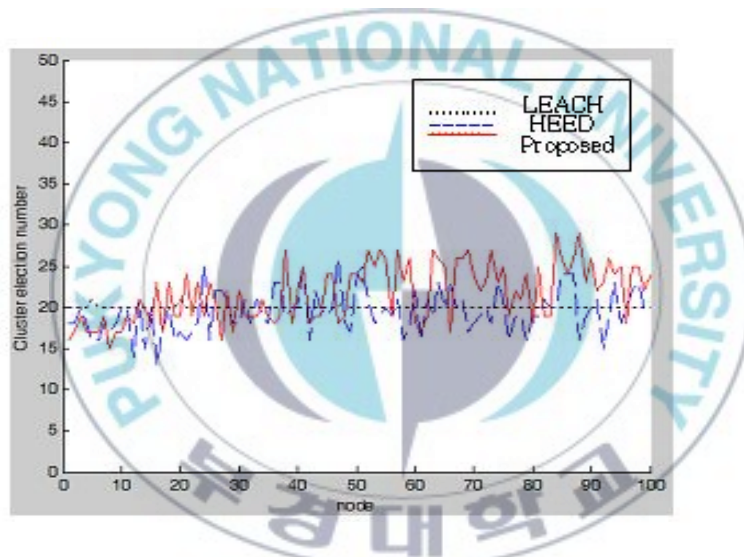
<그림 9> 노드 배치 형태

그림 10은 데드노드가 발생되었을 때 노드 배치 형태를 나타내는 그림이다. 그림에서 보듯이 클러스터 헤드나 일반 노드의 잔여에너지가 0이 되면 점으로 표시된 데드 노드로 바뀌어 표시되게 된다.



<그림 10> 노드 배치 형태(데드노드 발생)

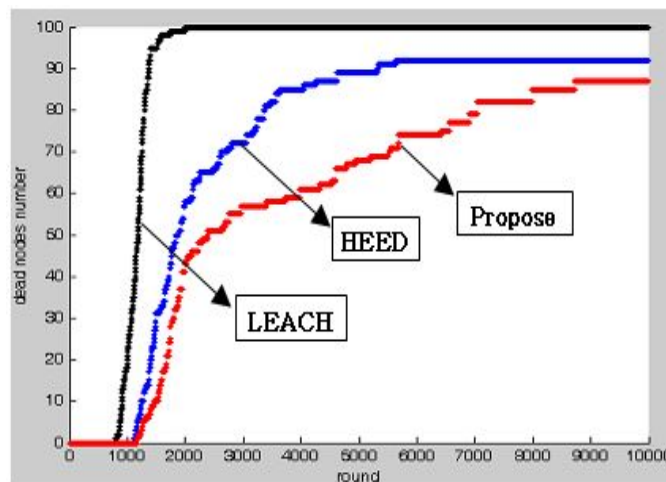
그림 11은 개별 노드별 클러스터 헤드 선출 수를 LEACH와 HEED를 제안한 알고리즘과 비교해 나타낸 그림이다. 총 노드가 100개이고 클러스터 헤드의 비율을 5%로 설정하였기 때문에 한 라운드에 클러스터 헤드가 5개가 선출 되어야 하고 400 라운드를 시뮬레이션 했을 시에는 이론적으로 각 노드별 누적 클러스터 헤드 선출 횟수는 20개가 되어야 한다. LEACH는 완전히 확률적인 선출 요소에 의해 노드별로 공정한 클러스터 헤드수인 20개가 매우 일정하게 나타난다. 반면에 제안한 알고리즘은 자신의 현재 잔여 에너지, 라운드, 자신이 클러스터 헤드로 선출된 횟수 등을 고려해 확률 함수가 정해지므로 다소 불규칙적인 모양을 보이고 있다.



<그림 11> 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수

그림 12는 모든 노드의 초기 에너지가 동일한 경우 LEACH, HEED 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데드 노드 발생 추이를 라운드를 9999번 돌렸을 때에 따라 나타낸 그림이다. 보다 자세한 데이터를 표 3에 나타내었다. 그림과 표에서 보듯이 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다

전체 네트워크 수명을 훨씬 연장시킨다는 것을 알 수 있다.



<그림 12> 라운드에 따른 데드노드 수

표 3. 수명 증가 비율

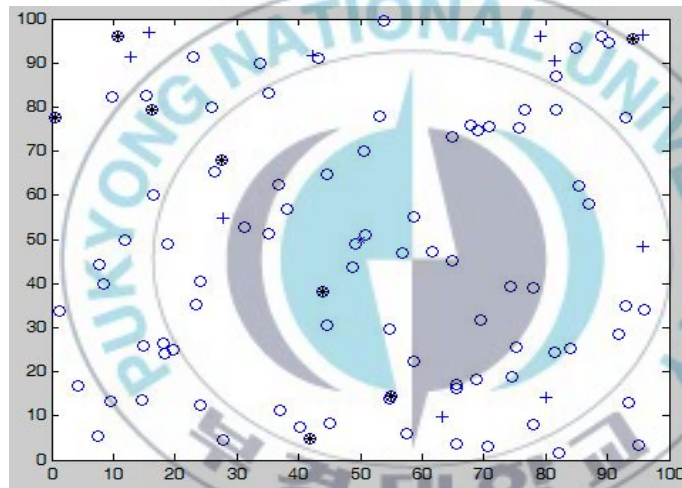
데드 노드 발생률	LEACH (round)	HEED (round)	Proposed (round)
첫 발생	772	1107	1172
50% 발생	1170	1710	2225
100% 발생	1951	X	X

5. 초기 에너지가 다른 경우

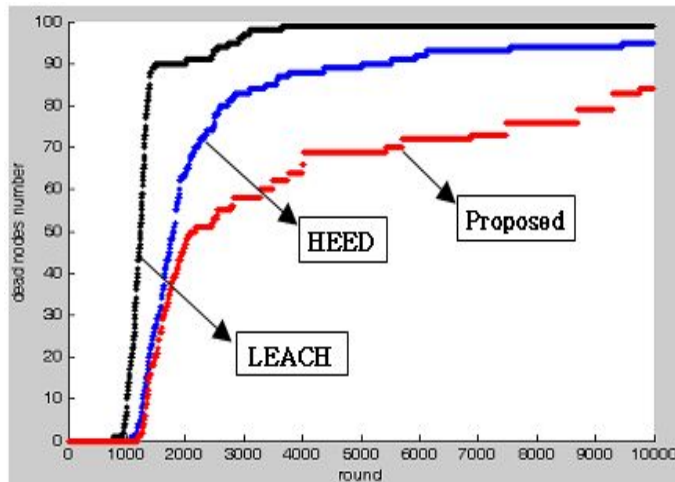
이번에는 각 노드의 초기 에너지가 다른 경우를 가정하고 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서는 초기 에너지가 다른 일반 노드들에 비해 높은 노드를 Advanced 노드라 정하고, 이 Advanced 노드의 초기 에너지 및

전체 네트워크에서 차지하는 비율을 바꿔가면서 시뮬레이션 하였다. 그림 13은 전체 노드 수 100개, Advanced 노드 비율을 10%로 설정하였을 때 Advanced 노드(+) 10개, 일반 노드(o) 90개가 구성되어 랜덤하게 배치된 형태를 나타낸 그림이다. 그림 12는 Advanced 노드의 초기 에너지 1 J($\alpha=1$), 전체 네트워크에서 차지하는 비율 10%($m=0.1$)로 설정하고 라운드를 9999번 돌렸을 때 라운드에 따른 LEACH, HEED 알고리즘과 제안한 알고리즘의 데드 노드 발생 추이를 나타낸 그래프이다.

그림 14에서 보는 바와 같이 노드의 초기 에너지가 다른 환경에서도 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 월등히 높은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 표 4에 보다 자세한 데이터를 나타내었다.



<그림 13> 노드 배치 형태



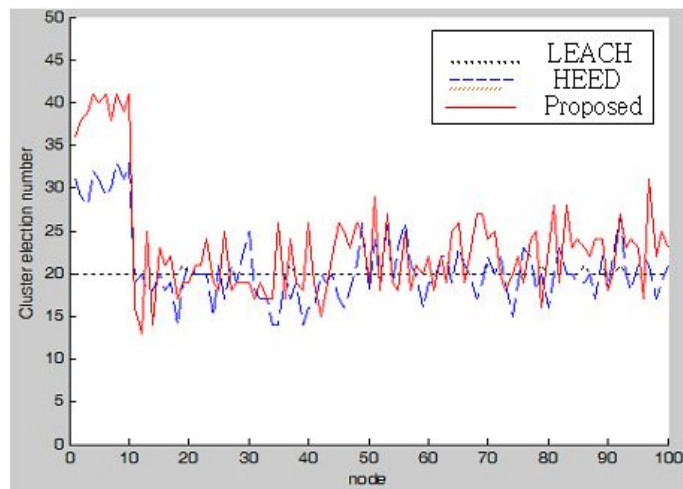
<그림 14> 라운드에 따른 데드노드 수

표 4. 수명 증가 비율

데드노드 발생률	LEACH (round)	HEED (round)	Proposed (round)
첫 발생	801	1124	1203
50% 발생	1219	1816	2315
100% 발생	3682	X	X

그림 15는 같은 조건에서 각 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수를 나타낸 그래프이다. 이 시뮬레이션 또한 400라운드를 진행하였고 그림에서 보는바와 같이 초기 에너지가 일반 노드보다 2배 많은 Advanced 노드인 1~10번 노드가 다른 노드(11번~100번)들에 비해 클러스터 헤드가 더욱 많이 선출되었음을 알 수 있다. 즉, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 잔여 에너지가 많은 노드를 클러스터 헤드로 선출하였음을 알 수 있

다.



<그림 15> 노드별 클러스터 헤드 선출 횟수



VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에서 대표적 알고리즘인 LEACH와 HEED에 대해 알아보고 이 알고리즘의 단점을 보완한 새로운 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 노드 자신의 잔여 에너지, 시간에 따라 증가하는 라운드 값, 노드 자신이 현재까지 클러스터 헤드가 선출된 횟수를 기반으로 클러스터 헤드를 선출함으로써 네트워크 전체의 수명을 연장하고자 하였다. 또한 가까운 노드들 간에 클러스터링을 구성할 수 있도록 K-means 클러스터링 알고리즘을 결합하여 전체 네트워크의 수명을 시뮬레이션 함으로써 보다 정확하게 전체 네트워크의 수명을 알아볼 수 있었다. 본 논문의 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안하는 클러스터 헤드 선출 알고리즘은 기존의 알고리즘에 비해 월등히 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 실제 필드를 가정하여 노드의 에너지가 서로 다른 상황에서도 개별 노드의 에너지에 맞게 클러스터 헤드 선출이 적절하게 이루어진다는 것도 알 수 있었다. 그러나 센서 네트워크는 노드의 위치가 고정되어 있는 경우도 있지만 노드의 위치가 중간에 변할 수도 있기 때문에 이런 가변 노드의 경우 클러스터 헤드 선출을 어떻게 할 것인가에 대한 연구는 물론 싱글 홉이 아닌 멀티 홉 전송 방식까지 고려한 클러스터 헤드 선출 알고리즘 검토가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

VII. 참고문헌

- [1] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarusubramaniam, and E. Cyirci, "Wireless sensor networks : a survey", Computer Networks, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002.
- [2] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power efficient gathering in sensor information system", IEEE Aerospace Conference, vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.
- [3] D.Tian and N. D. Georganas, "A Coverage preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks", WSNA, pp. 32-41, 2002.
- [4] N. Vljajic and D. Xia, "Wireless sensor networks : to Cluster or not to cluster?", International Workshop on Wireless Mobile Multimedia Proceeding of the 2006 International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp. 258-268, 2006.
- [5] G. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless integrated network sensors", Communication of the ACM, vol. 43, no. 5, pp. 51-58, 2000.
- [6] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks : a survey", IEEE Wireless Communications, vol. 11, no. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [7] Mark Stemm and Randy H Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices", IEICE Transactions on Communications, vol. E80-B, no. 8, pp 1125-1131, Aug. 1997.

- [8] Ian F. Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, Aug. 2002, pp.102-114.
- [9] Carlos de Moraes et al., "Mobile Ad-hoc Networking," In 20th Brazilian Symposium on Computer Networks., Short Course, 2002. pp.125-186.
- [10] M. Hatler and J. Kreegar, "Wireless Sensor Networks: From Dust to Reality", ON World, Dec. 2002.
- [11] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach", IEEE INFOCOM 2004, Mar. 2004.
- [12] Kanungo, T. Mount, D.M. Netanyahu, N.S. Piatko, C.D. Silverman, R. Wu, A.Y., "An efficient k-means clustering algorithm: analysis and implementation", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, July 2002.
- [13] Aristidis Likas, Nikos Vlassis and Jakob J. Verbeek, "The global k-means clustering algorithm", Pattern Recognition Society, vol. 36, no. 12, pp.451-461, March 2002.
- [14] G. Frahling and C. Sohler, "A fast k-means implementation using corsets", Proc. of the twenty-second annual symposium on Computation Geometry (SoCG '06), pp. 135-143, 2006.
- [15] P. Havinga and G. Smit. "Energy-efficient TDMA medium access control protocol scheduling", In Asian International Mobile Computing Conference (AMOC 2000), pp 1-9, November 2000.
- [16] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on

Wireless Communications, Vol.1, No.4, Oct. 2002, pp.660-670.

[17] D. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences, vol. 2, pp. 10, 2000.

[18] Tijs van Dam, Koen Langendoen, An adaptive Energy-Efficient MAC protocol for wire-less Sensor Networks, Sensys'03, November 2003

[19] O. Younis and S. Fahmy, "HEED : a Hybrid, enrgy-efficient, distributed clustering approach for ad-hoc sensor networks", IEEE Trans. on Mobile Computing, vol. 3, no. 4, pp. 366-379, 2004.

[20] 김태형, 강근택, 이원창 "무선 센서 네트워크의 효율적인 에너지 사용을 위한 클러스터링 알고리즘", 한국지능시스템학회 논문지, 제20권, 1호, pp.36-41, 2010.

[21] G. Smaragdakis, I. Matta, and A. Bestavros, "SEP: A stable election protocol for clustered heterogenous wireless sensor networks," International Workshop on SANPA, no. 4, pp. 660-670, 2004

감사의 글

졸업을 앞둔 선배들을 보며 어떤 느낌일까 항상 궁금했었는데 어느덧 졸업논문의 마지막을 적고 있는 지금 제 자신의 모습을 보니 벌써 시간이 이렇게 되었나 하는 감회에 젖어들게 됩니다.

2학년을 마칠 때 즈음 연구실에 찾아와 무작정 로봇이 좋습니다 라며 교수님과 면담했을 때가 생각납니다. 항상 저희들을 믿고 저희 편에서 저희들과 같은 시간을 공유하려고 노력하셨던 이원창 교수님. 잘못했을 때는 질책보단 더 잘할 수 있는 방법을, 잘했을 때는 두 배의 칭찬으로 저를 항상 감싸주시고 보듬어주신 점 진심으로 감사드리고 그 기대에 다 부응하지 못한 것 같아 죄송한 마음 또한 지울 수 없습니다. 사제시간을 떠나 때로는 아버지처럼, 때로는 인생의 멘토처럼 제 길잡이가 되어주셔서 진심으로 감사드립니다.

그리고 저희 연구실의 든든한 지주이신 강근택 교수님. 항상 학생들을 편하게 해주시고 먼저 웃음을 보여주시는 모습이 참 보기 좋았습니다. 제가 연구실에 있는 동안 먼저 살갑게 다가가지 못한 것이 막상 떠난다고 하니 지금에 와서야 후회스럽습니다. 항상 건강 유의하시고 저의 연구실의 든든한 버팀목으로 남아주시길 바랍니다.

또 저희 연구실과 자매연구실인 CAL랩의 주문갑 교수님. 항상 열심히 공부하고 연구하시는 모습이 제자로서 무척 배울 점이 많았습니다. 본의 아니게 교수님의 가르침을 많이 받지 못하고 떠나는 것이 아쉬울 따름입니다.

세 분 모두 제 인생에 있어서 가장 중요하고 배울 점이 많았던 분들입니다. 학업뿐만 아니라 인생, 인간관계 등 정말 많은 것을 배웠고 저 또

한 그 가르침을 절대 잊지 않고 살아가는 것이 교수님들께 감사의 마음을 표현할 수 있는 가장 좋은 방법이라 생각하고 사회에 나가서도 열심히 잘 살도록 하겠습니다.

그리고 제가 4년 동안 몸담았던 저희 연구실 멤버들. 지금은 사회에서 제 몫을 과하게 수행하고 있는 연구실 여러 선배님들. 몸은 말랐지만 왠지 믿음직스러운 영원한 큰형님 준영이형, 친구 같은 편안함의 소유자 새신랑 현종이형, 이분 또한 참 말랐지만 왠지 믿음직스럽고 배울 것이 많았던 기주형, 보기만 해도 웃음이 나오는 상혁이형, 술을 잘 못해 완전 친해지지 못한 태진이형..같이 생활할 수 있어서 무한한 영광이었고 앞으로도 이 관계가 지속되길 바랍니다. 그리고 지금 남은 저의 유일한 연구실 동기 강래..아니 부건이와 예비 박사이자 예비 정치인 재연이ㅋㅋ남자들끼리 팍팍해 질 수도 있었던 연구실 생활이 너희로 인해 더욱 재미있고 추억이 많아진 것 같아 이 자리를 빌어 감사의 말씀을 전합니다. 또 우리 연구실 귀염둥이 후배들. 선배들이 다 졸업준비, 취업 준비하랴 바쁜 와중에 혼자 연구실 이끌어 간다고 수고하고 있는 석사 후배 성준이, 자신을 너무 학대하고 있는 것 같은 순태, 취업 준비하느라 바쁜 덕근이, 뭐 하긴 하는데 결과는 잘 안 보이는 창민이, 명우ㅋㅋ모두 지금 과정이 언젠가는 자신에게 큰 로또가 되어 돌아온다는 것을 반드시 느꼈으면 정말 고맙겠습니다. 그리고 연구실 O.B 선배님들과 연구실을 거쳐 간 많은 선후배님들께도 지면으로나마 감사의 말씀드립니다. 연구실 생활이 제 대학 생활의 2/3이지만 지금 제 모습의 99%라고 해도 과언이 아닙니다. 많은 스토리를 가질 수 있게 해주셔서 진심으로 감사드립니다.

나름 바쁘게 지내왔던 학교생활이었지만 저의 또 다른 휴식처가 되어준 고등학교 동창들. 정신적 지주 준석이형, 술꾼 경문이, 행방불명 재욱이, 예비 경찰 재민이, 공군 메딕 현식이, 캐릭터 참 특이한 민식이..

사랑합니다.

그리고 연구실에 들어간 뒤로도 많은 웃음과 추억을 공유한 학교 친구들인 얼굴 한번 보자고 어느덧 2년째 얘기만 하고 있는 세환이, 귀여운 필석이, 빨리 못 친해진 게 아쉬운 찬효, 속도위반 장연이, 나를 잘 따라주는 우근이, 사업가 광성이 등등에게도 감사드립니다.

또 빼놓을 수 없는 129중대 무적2소대 멜랑폴리 종완이행님, 옹박 지용이, 개큐때 명준이, 거꼬 경렬이, 호돌이 다운이, 야옹 보규행님 어찌 보면 가장 힘들고 외로울 때 큰 도움이 되어준 사람들이라 더욱 소중합니다.

그리고 부족하지만 혹여 자식에게 누가될까 자신의 모든 것을 희생하고 계신 우리 부모님. 이제는 고생 그만하라고 해도 말이라도 고맙다고 했다고 하십니다. 그 무거운 짐 한꺼번에 다 내려놓는 것이 더 부담이라면 절반이라도 내려놓으셨으면 좋겠습니다. 부모님의 그 숭고한 희생 진심으로 감사드립니다. 그리고 내 하나뿐인 동생 태우. 이제는 그만 좀 놀고 목표했던 것 꼭 이루기 위해 노력 좀..노력 좀 했으면 참 감사하겠습니다. 항상 저를 믿고 사랑하는 가족들. 때로는 그것이 부담이 될 때도 있었지만 그 부담을 잘 이용할 수 있도록 해준 것도 가족들입니다. 진심으로 사랑합니다.

마지막으로 3년여의 시간동안 바쁜척한다고 자주 보지도 못했는데 항상 변함없는 모습으로 믿고 잘 기다려준 최보미양 에게도 진심으로 감사하고 또 사랑한다는 말을 전하고 싶습니다.