



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

센서 네트워크에서의 거리기반 에너지
효율적인 라우팅 알고리즘 연구



2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정 보 통 신 공 학 과

조 찬 효

공 학 석 사 학 위 논 문

센서 네트워크에서의 거리기반 에너지
효율적인 라우팅 알고리즘 연구

지도교수 김 성 운

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정 보 통 신 공 학 과

조 찬 효

조찬효의 공학석사 학위논문을 인준함

2010년 2월 25일



주 심 공학박사 주 문 갑 (印)

위 원 공학박사 김 성 운 (印)

위 원 공학박사 류 지 열 (印)

목 차

I. 서론.....	1
II. 센서 네트워크 소개.....	4
1. 센서 네트워크 구조.....	4
2. 센서 네트워크의 라우팅 및 클러스터링.....	9
가. 센서 네트워크 라우팅 방법.....	9
나. 클러스터링 소개.....	23
다. 클러스터링을 통한 라우팅의 특성.....	25
III. 관련연구.....	28
1. LEACH	28
가. 클러스터 헤드 선택.....	29
나. 클러스터 형성 알고리즘.....	30
다. 데이터 전송.....	32
2. DAUCH	33
3. LEACH 와 DAUCH 의 문제점 분석.....	37
IV. 제안 알고리즘.....	39
1. 제안 알고리즘의 기본개념.....	39

2. 무선 센서 네트워크에서 거리기반 에너지 효율적 라우팅 알고리즘.....	40
가. 네트워크 모델.....	40
나. 제안하는 라우팅의 동작.....	40
다. 초기화.....	42
라. 클러스터링 단계.....	43
마. 데이터 통신 단계.....	47
바. 에너지 소비 분석.....	48
V. 성능분석.....	50
1. 시뮬레이션 환경.....	50
2. 성능분석.....	52
VI. 결론.....	56

그 립 목 차

[그림 2-1] 센서 네트워크 구성.....	5
[그림 2-2] 센서 네트워크의 프로토콜 스택 구조.....	6
[그림 2-3] 센서 네트워크 라우팅 구성도.....	9
[그림 2-4] flooding 라우팅 방법.....	10
[그림 2-5] SPIN 라우팅 방법	12
[그림 2-6] Directed Diffusion 방식의 데이터 전송 절차	13
[그림 2-7] GEAR 라우팅 방식의 데이터 전송 절차	14
[그림 2-8] Rumor 라우팅 방법	15
[그림 2-9] 시간 축에서 본 LEACH의 동작 절차	18
[그림 2-10] PEGASIS 라우팅 방법의 chain 형성 및 토큰 패싱 방법	21
[그림 2-11] 클러스터링을 통한 다양한 라우팅 방법.....	21
[그림 3-1] LEACH 동작절차 타임라인	29
[그림 3-2] LEACH 클러스터 형성 순서도	31
[그림 3-3] LEACH와 DAUCH의 데이터 전송 모델 비교.....	35
[그림 3-4] 잘못된 클러스터 헤드 선출.....	37
[그림 4-1] 제안 알고리즘의 기본 개념.....	39
[그림 4-2] 제안하는 라우팅 방법.....	41
[그림 4-3] 제안 알고리즘의 전체 동작 타임라인.....	42
[그림 4-4] 네트워크 초기화 과정.....	43

[그림 4-5] 클러스터 헤드 선택 순서도.....	45
[그림 4-6] 클러스터 헤드 선택시 데이터 흐름.....	46
[그림 4-7] 클러스터 외부 통신 단계의 데이터 흐름.....	47
[그림 5-1] 테스트 네트워크.....	51
[그림 5-2] 레이어 수에 따른 네트워크 생존시간.....	52
[그림 5-3] 시간 경과에 따른 생존 노드의 수.....	53
[그림 5-4] 베이스 스테이션(BS)이 받은 데이터 신호의 수.....	54
[그림 5-5] 라운드당 평균 소비 에너지.....	55

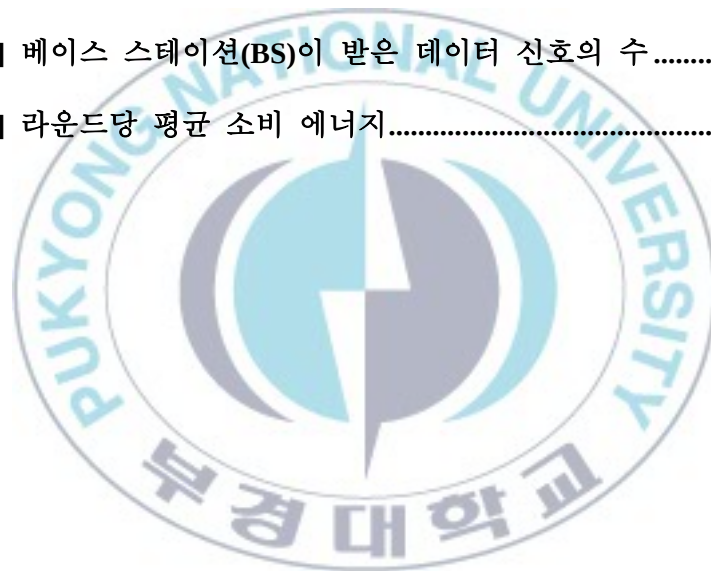


표 목 차

[표 2-1] 센서 네트워크의 프로토콜 스택 구조.....	7
[표 2-2] Flat 라우팅 방법 vs. hierarchical 라우팅 방법	22
[표 5-1] 시뮬레이션 파라미터	50



A Study on an Energy Efficient Distance-Based Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

Chan-Hyo Jo

*Department of Telecommunication Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Clustering Scheme enabling the efficient utilization of the limited energy resources of the deployed sensor nodes can effectively prolong the lifetime of wireless sensor networks. The most common technique in famous clustering algorithm is a probabilistic clustering scheme based on a randomized cluster-head rotation for distributing the energy consumption among nodes in each cluster. Because most of these algorithms mainly utilize residual energy of each node as the criterion of clusterhead election, these schemes have demerit that the unbalanced energy consumption among cluster-heads is occurred. To overcome this demerit, this thesis considers a distance from the base station to cluster-heads as well as the residual energy as the criterion of cluster-head election for balanced energy consumption among cluster-heads. Through simulation experiments, this thesis shows that the proposed algorithm is more effective than LEACH and DAUCH in prolonging the lifetime of wireless sensor networks.

I. 서 론

센서 네트워크기술은 무선 통신, 통신 프로토콜, 디지털 전자공학, 로보틱스, MEMS(Micro-Electro-Mechanical System), 센서 등 다양한 분야를 접목시켜 구성한 네트워크로, 무선으로 연결된 센서 노드들을 이용하여 주변현상을 감지하고 정보를 수집하여 군사, 환경, 보건 등의 여러 분야에 응용하는 망 기술이다.

최근 라우팅, MAC, 협동적인 데이터 수집 메커니즘 등의 많은 연구활동이 센서 네트워크에 대해 이루어지고 있다. 그 중에서 특히 망 수명에 직접적으로 영향을 끼치는 에너지 효율성이 핵심 연구 과제이다. 그에 따라 많은 종류의 에너지 절약 알고리즘들이 연구되고 있다. 특히 여러 라우팅 기술들이 센서 네트워크를 위해 개발되어져 왔다.

라우팅 기술들은 망 구조에 따라 평면(Flat), 위치 기반(Location-based), 그리고 계층적(Hierarchical) 라우팅 방법 등 세 가지로 분류할 수 있다[1]. 첫번째, 평면 라우팅 방법에서는 각 노드가 같은 역할을 수행하고, 센서 노드들은 감지 작업을 수행하기 위해 서로 협력한다. 두번째, 위치 기반 라우팅 방법에서는 센서 노드들은 자신의 위치를 이용해서 주소화되고, 이러한 센서 노드들의 위치는 망에서 라우팅을 위해 사용되어진다. 마지막으로 계층적 라우팅 방법에서는 각 노드들이 망에서 각기 다른 역할을 수행하며, 주로 한 계층은 클러스터 헤드를 선택하고 다른 계층은 라우팅을 하는 2 계층 라우팅 방법을 보인다. 하지만 대부분의 계층적 라우팅 프로토콜들은 라우팅보다 클러스터링 및 채널 할당 등을 더 많이 고려한다.

센서 네트워크의 계층적 라우팅 방법의 하나로서 LEACH가 제안되었다[2]. LEACH에서는 클러스터 멤버 노드들이 자신의 클러스터 헤드 노드에게

정보를 직접 보내고, 클러스터 헤드 노드는 그 정보들을 통합해서 BS(Base Station)로 보낸다. LEACH는 미리 지정된 클러스터 헤드 선택 가능성에 따라 임의로 몇몇 센서 노드들을 클러스터 헤드로 선택하고, 망 내의 센서 노드들의 에너지 소모를 균등하게 분산시키기 위해서 클러스터 헤드 역할을 순환시킨다. 그러므로 LEACH는 고정 클러스터링 방법이나 다른 기존의 방법들보다 많은 에너지 절약을 이루고, 그에 따라 망의 수명을 연장시킨다. 하지만, LEACH는 클러스터 헤드 선택시에 노드의 잔여 에너지에 대한 고려가 없기 때문에 클러스터 헤드 노드가 역할 수행중에 에너지가 고갈되는 경우가 많이 발생 한다. 그렇게 되면 해당 클러스터에 속한 클러스터 멤버 노드들이 클러스터 헤드의 역할을 수행할 수 없는 노드로 의미 없는 전송을 하게 되고, BS는 에너지가 고갈된 클러스터 헤드 노드로부터 정보를 얻을 수 없게 되는 문제점을 가진다. 그리고 클러스터 헤드 노드와 멀리 떨어진 클러스터 멤버 노드들이 가까운 노드들에 비해서 원거리 데이터 전송을 하게 되므로 많은 에너지를 소비한다는 문제점도 가지고 있다.

LEACH의 문제점 중 하나인 클러스터 헤드 노드와 멀리 떨어진 클러스터 멤버 노드들이 가까운 노드들에 비해서 많은 에너지를 소비하는 것에 대한 해결을 위해서 DAUCH가 제안되었다[3]. DAUCH는 클러스터 헤드 노드를 중심으로 한 DAG를 형성해서 클러스터 멤버 노드들의 데이터 전송 거리를 LEACH에 비해서 줄임으로써 에너지 절약을 할 수 있다. 하지만 DAUCH는 BS와 멀리떨어진 클러스터 헤드 노드가 가까운 클러스터 헤드에 비해 에너지가 빨리 고갈되는 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 LEACH와 DAUCH의 클러스터 헤드 선택 알고리즘[4]을 보완하고, BS와 멀리 떨어진 클러스터 헤드 노드의 부하를 줄여 주기 위한 멀티홉 라우팅 방법을 제안한다. 본 논문에서는 센서노드와 BS의 거리에 기반하여 센서필드를 여러 개의 레이어(layer)로 나누고 클러스터 헤드가 될

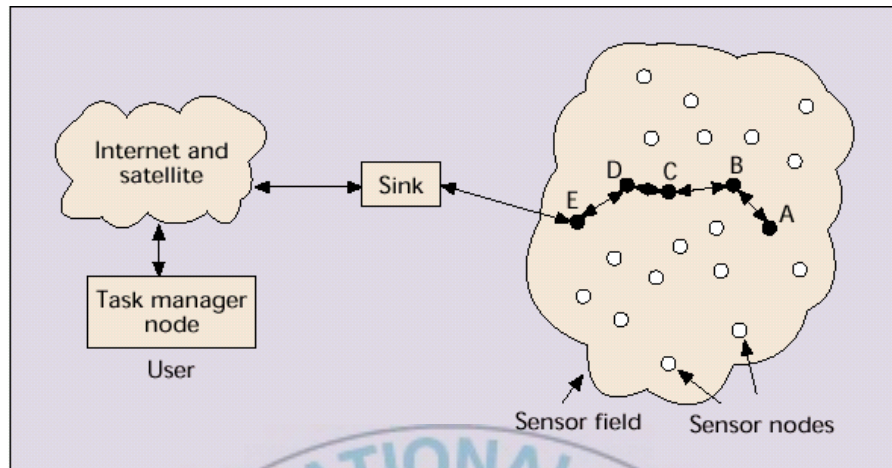
확률을 각 레이어에 속한 센서노드마다 다르게 설정하여 각 레이어의 클러스터 헤드 개수를 조절하였다. BS와 가까운쪽 레이어에 포함된 센서노드는 클러스터 헤드로 선택될 확률을 높여 외부 통신에 집중할 수 있게 하고, 먼쪽 센서노드는 클러스터 헤드로 선택될 확률을 줄여 내부 통신에 집중할 수 있게 하였다. 이러한 방식으로 LEACH와 DAUCH의 문제점을 보완하고, 또한 멀티홉 라우팅의 단점인 핫스팟 문제까지도 해결하여 네트워크 수명을 개선시켰다.

본 연구의 2장에서는 센서 네트워크에 대한 간단한 소개와 센서 네트워크 구조 및 라우팅에 관해 기술하고, 3장에서는 관련연구인 LEACH와 DAUCH에 대한 분석을 한다. 4장에서는 거리기반의 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘을 제안하고, 5장에서 제안된 알고리즘의 성능 분석한 후, 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론으로 끝을 맺는다.

Ⅱ. 센서 네트워크 소개

1. 센서 네트워크 구조

센서 네트워크기술은 무선 통신, 통신 프로토콜, 디지털 전자공학, 로보틱스, MEMS(Micro-Electro-Mechanical System), 센서 등 다양한 분야를 접목시켜 구성한 네트워크로 군사, 환경, 보건 등에 응용하기 위해 무선으로 연결된 센서 노드들을 이용하여 주변현상을 감지하고 정보를 수집하여 여러 분야에 응용하는 망 기술이다[5]. 구성기술은 크게 주변환경의 여러 가지 상황을 인식하는 센서 관련기술(즉 온도, 습도, 물체이동, 밝기, 압력, 토양 성분, 소리 등을 감지)과 여러가지 정보수집 관련통신 프로토콜 기술(라우팅, 위치정보 파악, 전송프로토콜)과 관련된 센서노드 응용기술 및 센서노드의 응용에 따라 임무 수행을 위한 이동기술(Mobilizer-robotics)로 구성된다. 일반적인 센서 네트워크 구성은 [그림 2-1]과 같다.



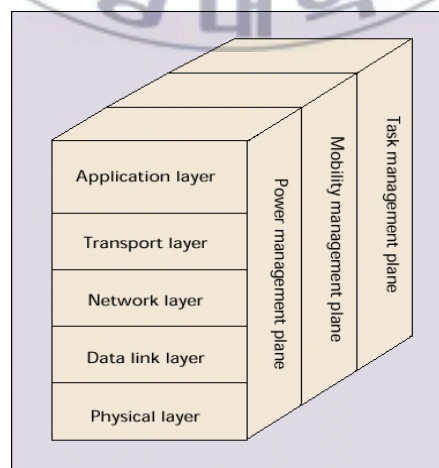
- **센서 노드(sensor nodes)** : sensing 작업을 수행하는 센스 네트워크의 기본 요소
- **센서 field** : 센서 노드들로 구성된 네트워크
- **Sink** : 사용자(user)와 센서 노드들간의 데이터 전송을 위한 중간 연결 매체

[그림 2-1] 센서 네트워크 구성

이 중 센서 관련기술은 물리센서의 경우 MEMS 기술을 활용하여 압력 센서나 가속도 센서 등의 제작 및 활용에 관계되고, 화학센서 중 이온센서나 가스센서 또는 관센서는 MOSFET 구조를 이용하기도 하나 특히 가스센서의 경우 미세구조 상에 감지물질의 박막을 형성하여 저전력의 마이크로센서 구현에 사용된다. 주로 이용 용도로는 화학성분 분석(생화학적 테러 및 공격감지에 응용), 국소 냉각 및 압력측정(정교한 산업관련 기계 및 전자 부품 생산관리), 가속도 측정 및 적외선 투시(병력/장비/군수품 이동감시, 전쟁터 감시, 정교한 농업 생산), 유속 및 온도 측정(산불 및 홍수예방)등에 센서 네트워크의 노드에 구현 및 응용되어 여러 가지 용도로 유용하게 사용이 가능하다. 또한 프로세싱 유닛의 일부 혹은 전체가 집적되어 있는 마이크로 센서로서의 스마트센서 기술이 센서 네트

워크에 적용이 가능하다.

둘째로 센서 노드 응용 기술 분야[5]에서는 센서 네트워크 구성을 위해 센서 노드가 센서 필드 내에 응용에 따라 수천 개에서 수백 만개까지 필요할 수도 있는데, 이 경우 센서 노드들간의 정보교환(라우팅기술 및 data aggregation 기술)과 배치(네트워크 토폴로지 기술) 및 외부 네트워크와의 연결을 위한 통신 프로토콜 기술이 필요하다. 해당 프로토콜 기술로는 일반적으로 power management plane, mobility management plane, task management plane 등으로 구분이 되어 연구가 되어지고 있는데, physical layer, data link layer, network layer, transport layer, application layer에 해당하는 프로토콜이 여러 가지 센서 네트워크 응용에 따라 연구되어야 한다. 또한, 큰 기계의 내부, 바다의 바닥, 생물학적 또는 화학적으로 오염된 지역, 적지의 전쟁터, 집 또는 큰 건물 등에서 원활히 동작하도록 연구가 필요하다. 센서 네트워크의 프로토콜 스택구조 구성은 [그림2-2]와 같고, 각 레이어(layer)의 기능은 [표 2-1]과 같다.



[그림 2-2] 센서 네트워크의 프로토콜 스택 구조

[표 2-1] 센서 네트워크의 프로토콜 스택 구조

계 층	역 할
Application layer	• Sensing 작업 수행
Transport layer	• 종단간 데이터 흐름 유지
Network layer	• Transport layer에 의해 제공되는 data의 routing 및 data aggregation을 수행
Data link layer	• 노드간 데이터 흐름 관리, 데이터 프레임 검출, 매체 접속, 에러 제어
Physical layer	• 주파수 선택, 반송파 생성, 신호 검출, 변조, 데이터 암호화 수행
Management Planes	• Power management plane - sensor node에 의한 power의 사용에 대해 관리 • Mobility management plane - sensor node 간의 위치를 인지 • Task management plane - 모든 layer와 power/mobility management plane들을 상호 연계하여 주어진 작업 조절 및 관리

셋째로 센서 네트워크의 특성상 매우 적은 전력 소모 요구, 높은 체적 밀도로 동작, 응용에 따라 자동적이고 자율적으로 환경에 적응하여 센서 노드가 동작을 해야 하는데 이를 위해 이동 관련 기술인 로보틱스 기술이 필요하다. 즉 real-time motion control 요구에 대한 동작과 센서 상에 높은 체적 밀도로 on-board 장착 기술, 또한 on-board 센서가 장착된 mobile robot의 line-of-sight sensing 한계 극복 기술, 센서 노드의 mobility 기술 등이 연구가 되어 위에 설명된 센서 관련 기술과 통신 프로토콜 기술들이 복합적으로 고려되어 센서 네트워크의 응용에 따라 적용되어야 할 연구분야이다.

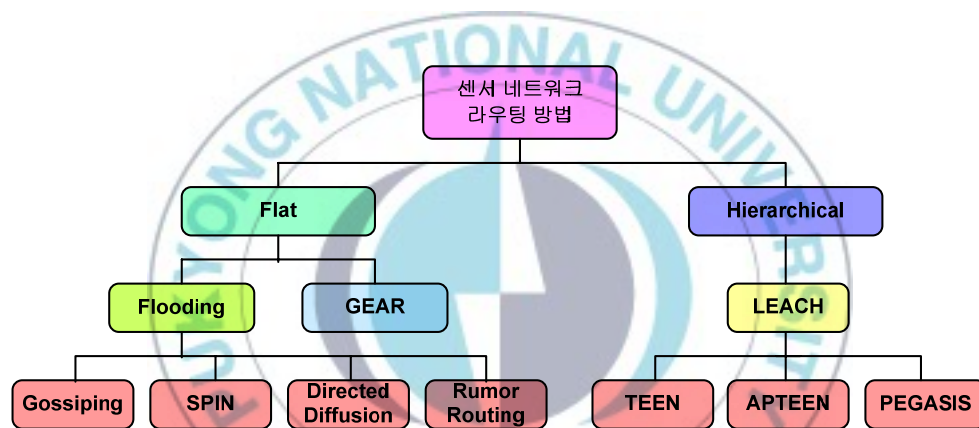
본 연구에서는 센서 네트워크에서 데이터전송을 위해 가장 중요한 계층인 network layer에서 높은 체적밀도로 동작하는 센서 네트워크 노드구조와 에너지 효율적인 데이터전송 및 data centric routing[2]에 기반을 둔 data aggregation 등을 고려하여 가장 최선의 클러스터링과 라우팅 알고리즘을 연구하였다.

최근 국내외적으로 여러 가지 테러행위나 사고(미국 911 테러 또는 대구 지하철 사고 등) 및 자연 재해 등으로 대량 살상 및 부상자가 속출하는 사회적 문제로 전 세계가 위협에 처해 있다. 우선 가장 가까운 예로 대구 지하철 경우 연기나 온도 감지용 센서 노드를 부착한 센서 네트워크만 구성이 되어 있었다더라도 사고를 미연에 방지할 수 있었을 뿐만 아니라 많은 무고한 인명의 사상을 피할 수 있었으며, 또한 산불이나 홍수 같은 자연 재해에 대해서도 감지할 수 있는 센서를 부착한 센서 노드 개발로 센서 네트워크를 구축하여 해마다 겪는 자연 재해의 피해 중 많은 부분을 대비할 수가 있다. 다른 한편으로 생화학적 테러 및 공격 감지에 응용하여 불특정 다수에 대한 대량 살상을 예방하는데도 응용이 가능하며 지역적으로는 고리원자력 발전소등에 응용하여 방사능 누출 사고 등에 대비할 수가 있다.

현재의 시대는 정보화 및 고단위 산업화의 영향으로 국민 생활이 더욱더 개인화 되고 도덕적 가치관등이 옛날과는 바뀌어 항상 어느 곳에서라도 불특정 다수를 겨냥한 테러 유사 사고가 발생 가능하고, 또 환경 오염 등으로 대규모 자연재해가 항상 도사리고 있다. 특히 우리나라의 경우 급속한 개발에 따른 안전 불감증이 모든 공사현장 및 산업 현장에 도사리고 있어, 센서 네트워크와 같은 연구가 빨리 수행되어 해당 응용분야별 시스템을 개발하여 사회 안녕과 국민의 생활을 보호하는 분야에 적용하기 위해서는 network layer 핵심기술인 클러스터링과 라우팅에 대한 해당 기술 연구가 절실히 요구된다.

2. 센서 네트워크의 라우팅 및 클러스터링

[그림 2-3]에서처럼 센서 네트워크에서 라우팅은 모든 노드들이 동등한 위치에서 서로 정보를 교환하는 평면(flat) 라우팅 방법과 노드들을 논리적인 그룹으로 묶고 각 그룹마다 중심 노드를 두고 이를 통해서 목적지 노드로 정보를 전달하는 계층적(Hierarchical) 라우팅 방법으로 나뉜다(본 연구에서는 위치기반 라우팅 방법은 위치인식장치 등의 추가적인 장비가 필요하여 현실적으로 센서 네트워크에서의 구현이 어렵다고 판단하여 생략하였다).



[그림 2-3] 센서 네트워크 라우팅 구성도

가. 센서 네트워크 라우팅방법

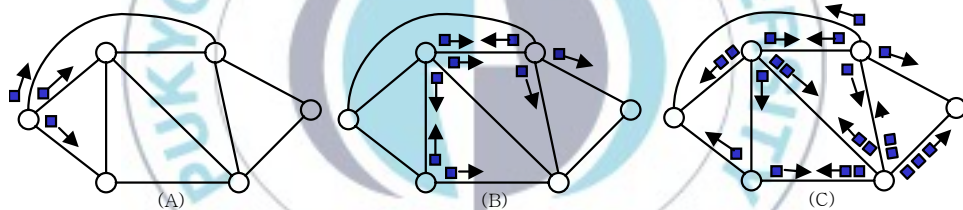
1) 평면(Flat) 라우팅 방법

평면 라우팅 방법은 모든 노드들이 권한적으로 동등한 위치에서 서로 정보를 교환하는 라우팅 방법이다. 이벤트가 발생하여 싱크 노드로 얻고자 하는 정보를 전송하는 데이터의 특성에 따라 특정 노드의 배터리 소모가 많아지고 이벤트 발생 후 의도한 노드 쪽으로 데이터 전송 시 라우팅 방법이 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 모든 노드가 동기화 없이 경로 링크를 설정하고 소스 노드에서 목적지 노드로 불필요한

오버헤드 없이 목적지 경로 설정 절차를 수행하므로 네트워크 관점에서 최적의 라우팅 방법을 보여준다.

● 플로딩(Flooding)

플로딩 방법[2]은 [그림 2-4]에서처럼 링크가 설정된 모든 이웃 노드들에게 이전에 동일한 데이터를 받았는지 고려하지 않고 브로드캐스트 하는 방법이다. 전체 토폴로지를 유지하는데 비용이 들지 않고 복잡한 목적지 경로 설정을 위한 알고리즘이 불필요한 단순한 라우팅 방법이다. 그러나 플로딩 방법은 다음과 같은 단점이 있다.



[그림 2-4] flooding 라우팅 방법

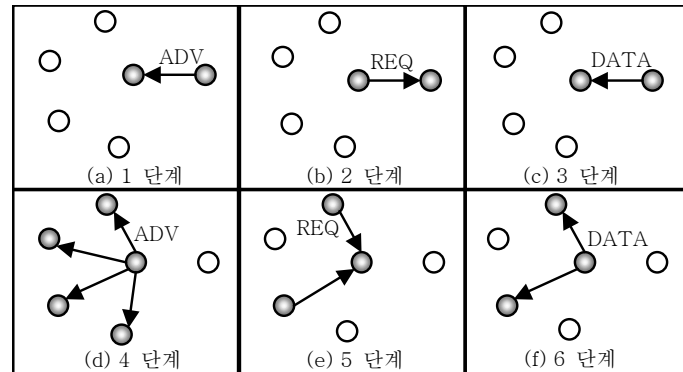
- ① 폭주(Implosion) : 서로 다른 노드의 동일한 메시지가 같은 노드로 전해지는 것
- ② 오버랩(Overlap) : 두 노드가 동일한 시간에 같은 지역을 관측했을 때 중복된 메시지가 전달됨
- ③ 자원추출(Resource blindness) : 각 노드의 사용 가능한 에너지 자원을 고려하지 않음

- Gossiping

Gossiping 방법[2]는 플로딩의 폭주(Implosion) 문제를 해결하기 위해 모든 노드로 전달하고자 하는 정보를 단순히 브로드캐스트 하는 것이 아니라 임의로 선택된 노드에게만 그 정보를 전달한다. Gossiping 방법은 플로딩 방법의 폭주 문제로 인한 중복된 메시지의 송신 및 수신 횟수를 줄이지만 모든 노드로 메시지를 전송하는데 상당한 시간이 소모된다.

- SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation)

SPIN 라우팅 방법[4]는 플로딩 방법의 단점을 보완하기 위해 정보를 교환하고자 하는 노드들 간의 협상과 가용 가능한 자원 양에 따라 각 노드가 적절히 적응하는 형태(Resource-adaptation)를 이용하여 폭주 문제와 차원추출 문제를 방지하고 이웃 노드로 유용한 정보만 전송하는 것을 그 목적으로 한다. SPIN에는 3가지 종류의 메시지(ADV, REQ, DATA)가 사용된다. [그림 2-5]에서 전송하고자 하는 데이터가 있는 노드는 전체 데이터 대신 그 데이터를 대신하는 정보를 포함한 메시지(ADV)를 이웃 노드로 전송한다. ADV(Advertisement)를 받은 노드 중 실제 그 데이터를 받기 원하는 노드는 REQ(Request)를 보내어 그에 대한 응답을 하게 되고, REQ를 받은 송신 노드는 실제 데이터를 포함하는 DATA 메시지를 보낸다.

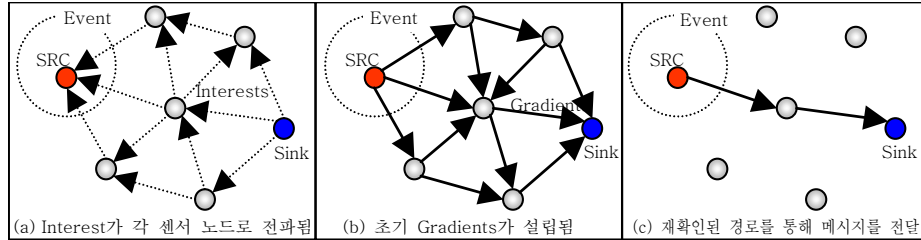


[그림 2-5] SPIN 라우팅 방법

SPIN의 장점은 단순함에 있다. 즉 각각의 노드는 한 홉 단위의 이웃 노드만을 인지하고 자신이 필요로 하는 정보만을 수신하므로 불필요한 메시지의 송신 및 수신으로 인한 배터리 소모가 적어져 네트워크의 생존 시간이 증가한다. 하지만 REQ 단계에서 여전히 폭주 문제가 존재하고 소스 노드에서 싱크 노드로 데이터 전송 시 오버헤드가 많아지는 단점이 있다.

- Directed Diffusion

Directed Diffusion 라우팅 방법[6]은 싱크 노드가 얻고자 하는 정보를 알리는 메시지를 모든 센서 노드들에게 플러딩 한다. 이에 부합하는 이벤트 발생 후 센서 노드들로부터 앞서 언급된 플러딩으로 인해 설정된 경로를 이용해 싱크 노드로 그에 합당한 데이터를 전송하는 라우팅 방법이다. [그림 2-6]은 지향확산 방법으로 데이터가 전송되는 절차를 보여준다.



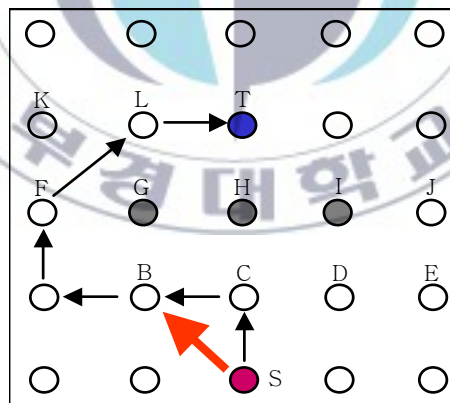
[그림 2-6] Directed Diffusion 방식의 데이터 전송 절차

Interests 메시지는 사용자가 얻고자 하는 정보를 모든 센서 노드들에게 알려주는 메시지이다. 즉 이 메시지는 각각의 센서 노드들에게 그들이 수행해야 할 역할(sensing task)에 대한 정보를 알려준다. 각각의 센서 노드들은 Interest 메시지의 정보를 그들의 캐시(cache)에 저장하고, 이들 Interest 메시지가 센서 네트워크 전체로 전파되면서 소스 노드에서 싱크 노드로 전송할 정보에 대한 전송속도와 전송할 방향을 특징짓는 경사도(Gradients)가 형성된다. Interest에 부합하는 이벤트가 발생하면 소스 노드는 그에 부합하는 데이터를 가지게 되고, 소스 노드에서 싱크 노드로 한 개 이상의 경로 중 재확인 절차를 거친 경로(Reinforced path)를 통해 실제 데이터를 전송하게 된다. 따라서 동일한 이벤트로 인한 중복된 정보를 통합할 수 있어 에너지 절약적인 방법이다.

● GEAR (Geographical and Energy Aware Routing)

GEAR 방법[7]은 센서 노드들이 서로 간의 위치정보와 에너지 레벨을 알고 있다는 전제 하에 메시지를 전달하는 방법이다. 이때 각각의 노드는 이웃한 노드들의 위치와 에너지 레벨을 헬로우 메시지를 통해 안다. 그리고 데이터를 전송하고자하는 최종 목적지 노드와 가장 가까운 노드를 라우팅 노드로 설정하여 데이터 전송 시 에너지 소비 효율을 높인다. 이때 각각의 노드는 전송하고자 하는 구역에 대한 거리와 에너지 레벨의

조합인 학습 비용(Learned Cost)을 이용하여 최종 목적지까지 가장 적은 비용을 갖는 노드 쪽으로 데이터를 전송한다. 단순히 지리적인 라우팅 방법을 이용한다고 가정하면 [그림 2-7]에서 노드 S의 모든 이웃 노드 중 노드 B, C, D가 노드 S보다 최종 목적지 노드 T에 더 가깝다. 따라서 노드 S는 메시지 송신 전력 소비가 가장 낮은 노드 C로 데이터를 전송한다. 그러나 센서 내부 및 외부의 영향으로 인해 노드 G, H, I가 그 기능을 제대로 수행할 수 없게 되면 노드 C는 이웃 노드들이 자신보다 목적지 노드 T로부터 더 멀리 있음을 알게 된다. 이로써 C는 그 다음으로 비용이 적은 노드 B를 선택하여 데이터를 전송하고 자신의 학습 비용을 갱신한다. 이후로 노드 S는 노드 T를 목적지로 하는 데이터를 받게 되면 곧바로 노드 B쪽으로 데이터를 전송한다. 한편 GEAR 라우팅 방법은 각 센서 노드의 위치정보와 에너지 레벨을 알기 위해 추가적인 비용이 든다.

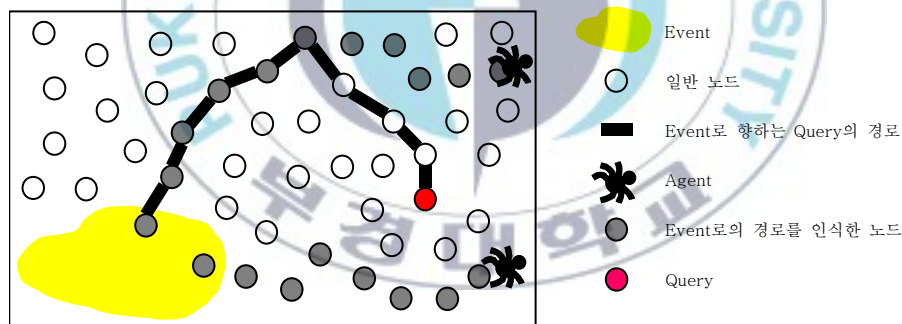


[그림 2-7] GEAR 라우팅 방식의 데이터 전송 절차

● Rumor Routing Algorithm

Rumor 라우팅 방법[8]은 경로 설정을 요구하는 싱크노드와 이벤트가 발생한 센서 노드가 모두 플로딩을 실시하는 라우팅 방법이다. 각각의

노드는 이벤트 테이블뿐만 아니라 이웃 한 노드에 대한 정보 또한 가진다. [그림 2-8]에서 이벤트를 감지한 센서 노드는 수명이 긴(Long-lived) 메시지를 통해 모든 이벤트에 대한 정보뿐만 아니라 라우팅 정보를 포함하는, 에이전트(Agent) 패킷을 생성한다. 이 패킷이 네트워크를 돌아다니면서 특정 이벤트와 그 이벤트의 라우팅 정보를 전달하고 일정한 홉이 지나면 자동 소멸된다. 그리고 경로 설정을 요구하는 싱크는 쿼리(Query)를 플러딩(Flooding)한다. 만약 어떤 노드가 에이전트 패킷의 플러딩으로 인해 특정 이벤트로의 경로를 알고 있다면 쿼리는 그 이벤트로 전달된다. 그렇지 않다면 쿼리는 임의의 이웃노드로 전달될 것이다. 물론 쿼리 또한 TTL(Time To Live)을 가지고 있으므로 일정한 홉 이상 초과 할 수는 없다.



[그림 2-8] Rumor 라우팅 방법

경로 설정을 요구하는 싱크노드와 이벤트가 발생한 센서 노드가 모두 플러딩을 실시하는 이러한 라우팅 방법은 단순한 플러딩에 비해 평균적으로 좀 더 적은 중첩된 홉 수와 더 적은 에너지를 가지고 쿼리를 특정 이벤트로 전달할 수 있다. 하지만 이러한 경로가 때때로 최단경로가 아닐 수 있고, 전체 경로상의 모든 노드 중 한 노드의 실패로 인해 경로 전체를 사용할 수 없게 될 수도 있다. 그러므로 Rumor 라우팅

방법은 이벤트가 발생한 지역의 모든 센서 노드로부터 에이전트 패킷을 생성하기 위한 적절한 전략이 필요하다.

- SER (Stream Enabled Routing)

SER 방법[9]은 센서 네트워크에서 QoS(Quality of Service)의 필요성으로 인해 나오게 되었다. 여기서 stream은 데이터 메시지를 전달하는 경로의 type과 레벨의 조합을 일컫는다. 그리고 type은 전송할 데이터의 시간과 정보 중요성 존재 유무에 따라 각각 4가지로 분류된다. 또한 레벨은, 소스 노드에서 싱크 노드로 설정된 최단거리에서 떨어진 홉 수를 나타내는, μ 값에 의해 결정되고 $\mu = 0$ 일 때는 레벨-1, $\mu \geq 1$ 일 때는 레벨-2가 된다.

SER은 4개의 메시지, 즉 Scout-message(S-message), Information-message(I-message), Neighbor-message(N-message), Update message(U-message)를 사용하여 다음과 같이 7가지 단계로 구성된다.

① 소스 노드 발견 단계: 싱크 노드는 싱크 노드에서 소스 노드로 설정 가능한 경로를 찾기 위한 S-message를 directed diffusion등을 통해 전송

② 경로 선택 단계 : 소스노드는 S-message를 받은 후 이 메시지에 설정된 싱크의 요구에 적합한 QoS를 결정하고 그 stream에 합당한 type과 레벨을 N-message를 통해 이웃 노드로 전송

③ 경로 설립 단계 : N-message가 싱크 노드에 도착한 후 가장 적은 지연을 가지며 수행하고자 하는 임무에 가장 부합되는 데이터 메시지를 전달하는 경로의 유형과 레벨의 조합이 설정됨

④ 경로 재설정 단계 : 중간 경로 실패 시 대체 경로를 제공하기 위한 N-message가 전송됨

⑤ I-message 전송 단계 : 전달하고자 하는 정보를 포함한 I-message가

전송되기 시작

⑥ 지시사항 업데이트 단계 : U-message를 통해 싱크에서 소스 노드로 수행할 지시사항을 변경

⑦ 임무 종료 단계 : 소스 노드와 싱크 노드 둘 다 U-message를 이용하여 설립된 경로를 해지 가능

SER은 QoS를 지원하는 장점이 있는 반면 각 노드가 저장하고 처리해야 할 정보가 많을 뿐만 아니라 레벨-2 스트림에서 루프가 형성될 수 있는 단점이 있다.

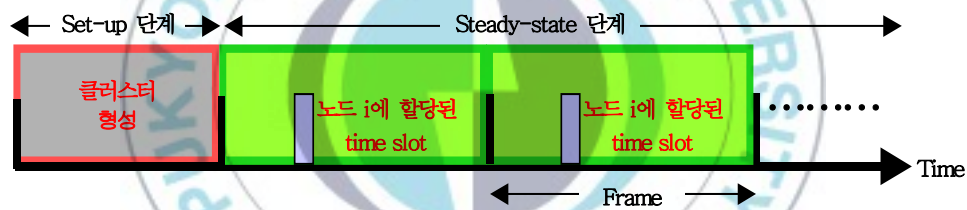
2) 계층적(Hierarchical) 라우팅 방법

평면(Flat) 라우팅 방법은 그 특성상 경로 구성 방법이 간단하고 규모가 작은 네트워크에 효율적이다. 그러나 네트워크의 규모가 커지면 라우팅 정보의 양이 많아지고, 멀리 떨어진 센서 노드로 라우팅 정보의 전송 및 먼 거리의 소스 노드로부터 정보 전송 시 많은 지연이 발생한다. 그리고 센서 네트워크는 수명이 긴 네트워크를 보장하기 위해 모든 노드가 균일하게 배터리를 소모하는 라우팅 방법이 필요하다. 계층적 라우팅 방법은 이러한 문제점을 해결하기 위해 센서 노드들을 논리적인 그룹으로 묶고 각각의 그룹마다 중심 노드를 두어 이를 통해서 목적지 노드로 연결하고자 하는 정보를 전달한다.

● LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH 라우팅 방법[10]은 클러스터링에 기반 한 라우팅 방법으로 주기적으로 클러스터 헤드(Cluster Head)를 선택하여 클러스터 헤드에서 싱크 노드로 정보 전송 시 클러스터 헤드의 정보 전송 에너지 소모를 최소화한다. [그림 2-9]의 set-up 단계에서는 클러스터 헤드가 임의로 선택되고

각각의 클러스터 헤드를 중심으로 클러스터가 형성된다. 그 이후에 각각의 클러스터 헤드는 그들의 클러스터 멤버들에게 데이터 전송 타임 슬롯(time slot)을 각각 할당한다. Steady-state 단계에서 클러스터 멤버들은 각각의 할당된 시간동안 정보를 전송하므로, 추가적인 제어 메시지가 불필요하다. LEACH 라우팅 방법은 주기적으로 데이터 전송이 필요한 응용분야에서 각각의 센서 노드들의 배터리를 균일하게 소비시켜 네트워크의 수명을 증가시킨다. 하지만 모든 센서 노드가 각각 할당된 타임 슬롯에 정보를 전송해야 하므로 갑작스러운 이벤트 발생에 대한 데이터 전송 제한계를 보인다.



[그림 2-9] 시간 축에서 본 LEACH의 동작 절차

- TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN 방법[11]은 데이터 전송시간에 민감한 응용 분야에 적용하기 위해 LEACH 라우팅 방법을 개선하여 주기적인 데이터 전송으로 에너지 소모를 극복한 방법이다. 정해진 타임 슬롯에 데이터를 전송하고자 센서 노드와 송신기가 동작하는 테이블 기반 형식의 네트워크 라우팅 방법(LEACH)과는 달리, 지속적으로 센싱하여 그에 부합하는 이벤트 발생 시 데이터를 전송하는 요구 기반 형식의 라우팅 방법이다. 전송할 데이터를 얻고자 주위 환경을 센싱하는 것보다 데이터 전송 시 에너지 소비가 더 크다는 점을 감안하였다. TEEN 방법은 클러스터 형성

시 각각의 클러스터 멤버들에게 Hard Threshold(HT)와 Soft Threshold(ST)를 전송한다. 이때 HT는 감지된 정보 값이 사용될 수 있는 임계치를 나타내며, ST는 감지된 정보 값의 작은 변화를 나타낸다. TEEN의 동작 절차는 다음과 같다. 센서노드가 감시 하고자 하는 주위를 센싱 하다가 HT보다 더 큰 SV(Sensed Value)를 감지하면 송신기가 켜지고 데이터를 전송한다. 이때 SV는 그 노드에 저장된다. 이후에 그 노드는 다음의 두 조건이 만족될 때 다시 전송한다.

- 현재 감지한 정보 값이 HT보다 클 때
- 현재 감지한 정보 값과 센서 노드에 저장된 SV의 차가 ST보다 같거나 클 때

한편 TEEN 방법은 감지한 정보 값이 임계치에 이르지 못하면 모든 센서 노드들이 서로 통신을 하지 않아서, 사용자는 네트워크로부터 어떠한 정보도 얻을 수 없다. 심지어 노드가 정상 작동하는지 조차도 알 수 없게 된다. 따라서 이 방법은 정기적으로 정보를 얻고자 하는 사용자에게는 부적절하다.

● APTEEN (Adaptive Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

APTEEN 방법[12]은 테이블 기반 형식의 네트워크 라우팅 방법(LEACH)과 요구 기반 형식의 라우팅 방법(TEEN)이 혼합된 형태의 라우팅 방법으로 각 센서 노드의 에너지 소비와 전체 네트워크 수명에서 TEEN방법과 LEACH 방법의 중간성능을 보인다. 일단 클러스터 헤드가 선택되면 클러스터 헤드는 다음의 파라미터를 클러스터 멤버들에게 전송한다.

- Attributes(A) : 사용자가 얻고자 하는 물리적인 파라미터

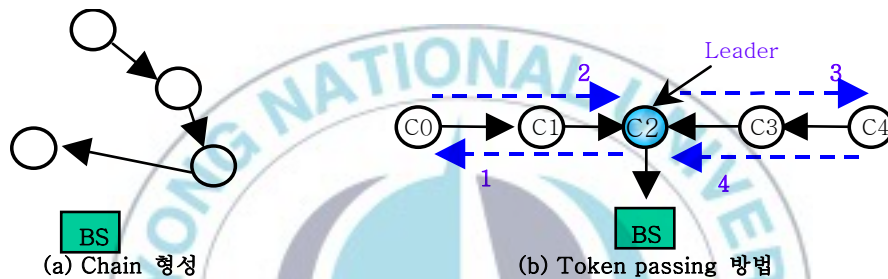
- Thresholds : hard threshold(HT)와 soft threshold(ST)
- Schedule : LEACH 방법에서 사용되는 TDMA 스케줄과 같이 각각의 센서 노드에 타임 슬롯을 할당
- 카운트 타임(Count Time-TC) : 임의의 한 노드에서 클러스터 헤드 쪽으로 전송되는 연속적인 정보의 최대 시간 주기

APTEEN은 카운트 타임과 임계치를 적절히 조절하여 각 센서 노드의 에너지 소비를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 테이블 기반 또는 요구 기반 형식의 네트워크를 구현할 수 있다. 따라서 APTEEN 방법은 시간 중요도에 민감한 장점을 지닌 TEEN 방법 및 각 센서 노드가 균등한 에너지 소비를 수행하는 LEACH 방법과 비교하면 네트워크의 센서 노드 생존율 및 평균 에너지 소비 면에서 두 가지 라우팅방법의 중간성능을 보인다. 그러나 임계치 기능과 카운트 타임을 구현하기가 복잡하다는 단점을 지닌다.

● PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information System)

PEGASIS 라우팅 방법[13]은 LEACH 방법을 개선한 체인(Chain) 기반의 라우팅 방법으로 센서 노드 사이에 총 길이가 최소인 체인을 형성하고 이 체인을 이용하여 각 센서 노드의 데이터를 리더(leader) 노드에 모아서 베이스 스테이션(Base station)으로 정보를 전송한다. 체인 위에서 랜덤하게 선택되는 리더는 토큰 패싱(token passing) 방법으로 전체 네트워크의 정보를 모아서 베이스 스테이션으로 그 정보를 보내는 노드이다. [그림 2-10]에서 체인 형성 시 그리디 알고리즘(greedy algorithm)을 이용하여 베이스 스테이션에서 가장 먼 노드로부터 가까운 이웃 노드와 체인을 연결한다. 체인 형성 후 리더 노드는 토큰 패싱 방법으로 데이터를 수집한다. [그림 2-10]의 노드 C2는 리더 노드이고, 리더 노드

는 체인을 따라 노드 C0로 토큰을 전달한다. 토큰을 받은 노드 C0은 자신의 데이터를 노드 C1로 보내게 되고, 노드 C1은 자신의 데이터와 노드 C0의 데이터를 합쳐 C2로 전송한다. 또다시 C2가 토큰을 C4로 전송하면 같은 방법으로 모든 센서 노드의 데이터가 C2로 모이게 된다. 그리고 리더 노드는 이웃노드로부터 모인 데이터를 베이스 스테이션으로 전송한다



[그림 2-10] PEGASIS 라우팅 방법의 chain 형성 및 토큰 패싱 방법

PEGASIS 방법은 LEACH 방법의 유동적인 클러스터 형성 오버헤드 (overhead), Leader가 아닌 노드들이 정보를 전송해야 할 거리, 그리고 모든 노드 사이에 송신 및 수신 횟수를 각각 줄였고, 각 라운드마다 BS로 하나의 데이터 메시지만 전송하여 LEACH의 성능을 개선하였다.

지금까지 센서 네트워크에서 쓰이는 라우팅 방법을 평면(Flat) 라우팅 방식과 계층적(Hierarchical) 라우팅 방식으로 나누어 각각에 대해 살펴보았다. 위에서 분석된 두 라우팅 방식을 특정 파라미터 별로 비교하면 [표 2-2]와 같다.

[표 2-2] Flat 라우팅 방법 vs. Hierarchical 라우팅 방법

비교 라우팅	Hierarchical 라우팅 방법	Flat 라우팅 방법
Scheduling	예약에 기반한 scheduling	경쟁에 기반한 scheduling
Collision	피할 수 있음	적절한 메커니즘이 필요
Duty cycle	주기적인 sleeping으로 인해 제한됨	노드의 sleeping 시간을 조절함으로써 가변적임
Aggregation 지점	클러스터 헤드	다중 경로상의 노드
복잡성	간단하지만 non-optimal한 라우팅 방법	복잡하지만 optimal한 라우팅 방법
요구사항	네트워크 전체 및 지역적인 동기화	주위 노드와 통신으로 형성된 link
Overhead	네트워크 전반에 걸쳐 클러스터를 형성	데이터를 전송하고자 하는 지역에만 경로 형성
에너지 소비	균일하고 제어 가능	트래픽 패턴에 의존함
채널 할당의 적정함	보장됨	보장되지 않음



나. 클러스터링 소개

수 많은 노드들로 구성된 네트워크의 통신 효율성을 높이고 네트워크의 확장성을 용이하기 위해서는 인접한 노드들을 하나의 그룹으로 묶어서 지역별로 노드들을 구성하게 되는데 이를 클러스터(cluster)라고 한다. 클러스터 헤드는 지역 내에 있는 노드들의 통신을 조정하기 위한 통제자(controller)로서의 역할을 수행한다. 클러스터를 구성할 경우에는 베이스 스테이션(BS)으로 가는 통신 횟수를 줄일 뿐만 아니라 노드의 에너지를 절약하게 하는 특징이 있다. 이러한 클러스터링 기법은 지금까지 폭넓게 활용되고 있고 많은 연구가 진행되어 왔다[14].

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

1) 클러스터 특징별 분류

클러스터의 특징별 분류는 클러스터의 크기, 통신경로, 통신방식, 안정성으로 분류된다. 먼저, 노드의 개수 또는 클러스터 헤드를 중심으로 홉 수제한의 유무로 클러스터의 크기에 제한을 두기 위한 방법이다. 다음으로 클러스터간 또는 클러스터 헤드 간의 통신 경로이다. 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, 재배치, 고장 같은 다양한 상황에 대해서 단순하게 안

정적인 클러스터를 가정하느냐 아니면 안정성을 보장하기 위한 기법을 제시하는 여부를 말한다.

2) 클러스터 헤드 역할별 분류

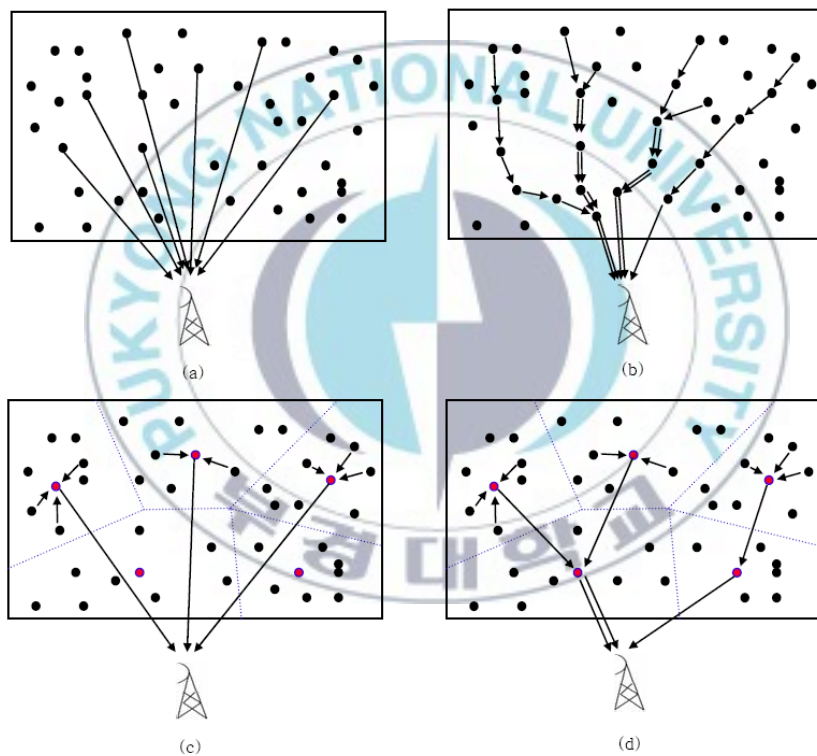
클러스터 헤드의 역할별 분류는 이동성, 노드 타입, 기능에 따라 세부적으로 분류된다. 먼저, 클러스터 헤드의 이동성 여부이다. 클러스터 헤드가 한 지점에 지속적으로 고정되어 있거나 아니면 움직이거나 또는 배터리가 다 되어 재배치가 필요한 경우로 나뉜다. 둘째, 노드 타입에 따른 분류이다. 노드가 성능이나 에너지 보유 면에서 다른 노드들에 비해 우수한지 동일한지에 따른 분류이다. 마지막으로 클러스터 헤드의 기능에 따른 분류이다. 데이터를 싱크까지 전송만 하는지 또는 데이터 통합(data aggregation)을 통하여 전송을 하는지 아니면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

3) 클러스터링 과정별 분류

클러스터링 과정별 분류는 크게 클러스터 헤드 선출 방법과 클러스터링의 목적으로 크게 나뉜다. 먼저, 클러스터 헤드 선출 방법으로 각 클러스터 내에서 클러스터 헤드를 선출하는 분산적인 방법이 있고 사전에 클러스터 헤드가 될 노드가 미리 정해지는 집중형이 있다. 다음으로 클러스터링의 목적별 분류로 노드 실패에 대처 기능이 우수하도록 하는 fault-tolerance 가 목적인지 노드의 load balancing 이 목적인지 네트워크가 안정적으로 구성되기 위한 network connectivity 가 목적인지 센서 네트워크와 같이 노드의 보유 에너지가 적어 네트워크 수명을 연장하는 것이 목적인지로 크게 나뉠 수가 있다.

다. 클러스터링을 통한 라우팅 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[14].



[그림 2-11] 클러스터링을 통한 다양한 라우팅 기술

[그림 2-11]의 (a)는 각 노드와 BS 간에 직접적으로 통신(direct communication)하는 방식으로 싱크로부터 멀리 떨어진 센서 노드들이 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 지역의 대표 노드인 클러스터 헤드가 일반 노드들로부터 데이터를 모아서 싱글 홉 또는 멀티 홉으로 BS 까지 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 있다는 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 적으며 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 수 밖에 없다. 즉, 클러스터링 기술에 있어서는 네트워크 수명을 연장하기 위해 클러스터 헤드의 역할을 주기적으로 변경함으로써 네트워크의 수명을 연장한다.

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(Ad-hoc)네트워크에서는 클러스터 헤드 선출에 있어 안정적인 토폴로지 유지와 적은 라우팅 오버헤드가 중요하나 센서 네트워크에서는 노드들이 제한된 배터리량을 가지고 있기 때문에 노드들의 잔여 에너지가 클러스터 헤드 선출에 있어서 중요한 요소가 된다.

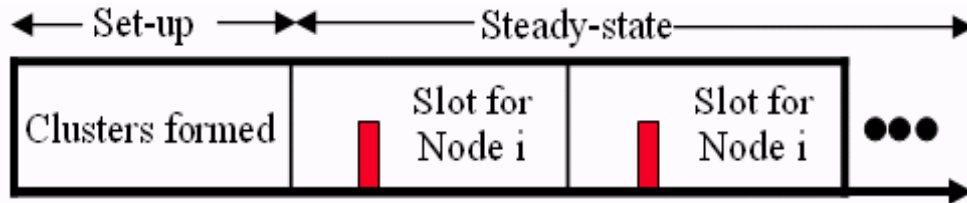


III. 관련연구

1. LEACH

센서 네트워크에서 활용되는 전형적인 분야는 원격 환경 감시이다. 그러한 환경에서 개별 노드들의 데이터는 서로 관련이 있기 때문에, 최종 사용자(end user)는 중복된 데이터를 필요로 하지 않는다. 즉, LEACH에서는 클러스터 헤드가 중복된 데이터를 병합하여 싱크로 전송하는 역할을 한다. 다시 말하면, 불필요한 추가적인 데이터가 싱크로 전송되지 않는 것이다. LEACH에서는 다음사항을 가정하고 있다. 첫째, 모든 노드는 싱크에 도달할 충분한 파워를 가지고 있고 필요하다면 자신의 전송 파워를 조절할 수 있다. 둘째, 모든 노드는 언제나 보낼 데이터를 가지고 있고 가까이 위치한 노드들은 데이터가 서로 관련되어 있다.

LEACH에서 노드들은 하나의 노드가 클러스터 헤드의 역할을 맡는 지역 클러스터에 속하게 된다. 모든 일반 노드들은 자신의 데이터를 클러스터 헤드에게 보내고 클러스터 헤드 노드는 지역 클러스터 내 일반 노드들의 데이터를 수신 후 통합하여 싱크로 전송한다. 그러므로, 클러스터 헤드 노드들은 일반 노드들에 비해 에너지 소모가 크게 된다. 만약, 클러스터 헤드가 한 노드에게 고정되 있다면 그 노드는 자신의 에너지를 매우 빨리 소모하고 말 것이다. 다시 말하면, 해당 지역 클러스터 내에 있는 모든 노드들은 싱크와 통신할 수 없는 상태에 이르게 되는 것이다. 그래서, LEACH에서는 센서 노드들 사이의 에너지 소모를 균등하게 하기 위하여 클러스터 헤드를 랜덤하게 순환시키는 방법을 사용한다. LEACH의 작동은 라운드들로 구분이 된다. 각 라운드는 클러스터가 구성이 되는 Set-up phase와 지역 클러스터 내 일반 노드들의 데이터가 클러스터 헤드로 전송이 되는 Steady-state phase로 구분이 된다.



[그림 3-1] LEACH 의 동작절차 타임라인

가. 클러스터 헤드 선출 알고리즘

LEACH는 노드들의 개별적인 분산 처리 알고리즘을 사용하여 노드들의 자율적인 결정에 의해 클러스터를 구성한다. LEACH의 목표는 각 라운드 동안에 클러스터 수 k 로 클러스터를 형성하는 알고리즘을 설계하는 것이다. 추가적으로 노드들의 에너지가 최초 라운드에 동일하다고 할 때 LEACH는 모든 노드들 사이의 에너지 부하를 공평하게 분배시키는 역할을 한다. 클러스터 헤드는 일반 노드보다 더 많은 에너지를 소비하기 때문에 클러스터는 그 역할을 지속적으로 교대하여야 한다. 각 센서 노드 i 가 라운드 $r+1$ 에서 확률 $P_i(t)$ 로 클러스터 헤드가 된다면 그러한 라운드에서 클러스터 헤드의 평균 수는 식 (3-1)과 같게 된다.

$$E [CH] = \sum_{i=1}^N P_i(t) \times N = k \quad (3-1)$$

각 노드는 평균적으로 N/k 라운드마다 한번씩 클러스터 헤드가 된다. $C_i(t)$ 는 노드 i 가 최근 $(r \bmod(N/k))$ 라운드에서 클러스터 헤드였는지를 나타내는 지시함수이다. 즉, $C_i(t)$ 가 1이라 함은 지정된 라운드에서 클러스터 헤드의 역할을 맡지 않았다는 것을 나타낸다. 노드는 라운드 r 에서 식 (3-2)와 같은 확률 함수에 의거 클러스터 헤드가 된다.

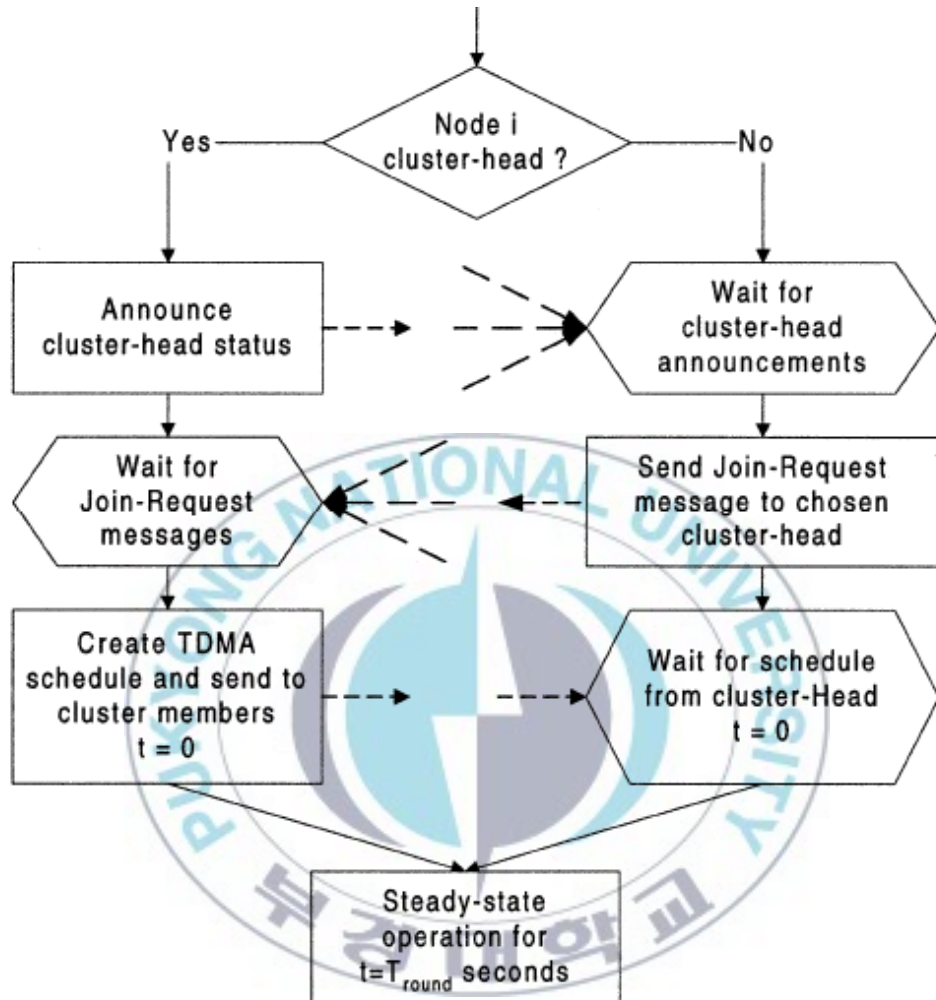
$$P_i(t) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{k}{N - k \times (r \bmod \frac{N}{k})} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{array} \right\} \quad (3-2)$$

다시 말하면, 위 확률함수는 최근에 클러스터 헤드로 선출이 되지 않았던 노드는 더욱 더 많은 에너지를 가지고 있고 이러한 노드가 더 자주 클러스터 헤드로 선출되도록 하는 역할을 한다. 클러스터 헤드가 되기 위한 확률 함수는 모든 노드가 동일한 에너지를 가지고 있고 또한, 모든 노드는 언제나 보낼 데이터를 가지고 있다는 전제하에 출발한다.

나. 클러스터 형성 알고리즘

노드가 식 (3-2)에 의해 클러스터 헤드가 되도록 선출이 되었다면 클러스터 헤드는 자신이 클러스터 헤드가 된 것을 네트워크에 알려야 한다. 이것을 위해 각 클러스터 헤드는 ADV 메시지를 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 광고한다. 이러한 메시지는 자신의 ID를 포함한다. 일반 노드는 각 클러스터 헤드로부터 ADV 메시지를 수신 후 전파수신강도에 의거하여 최소의 통신 에너지가 필요한 노드를 자신의 클러스터 헤드로 선택한다. 다시 말하면, 자신의 클러스터 헤드는 전파수신강도가 가장 큰 노드이고 또는 자신과 가장 가까운 클러스터 헤드가 되는 것이다.

[그림 3-2]은 LEACH의 클러스터 형성 알고리즘에 대한 순서도를 나타낸것이다.



[그림 3-2] LEACH 클러스터 형성 순서도

각 노드가 자신의 클러스터 헤드를 선택하였다면 그 노드는 Join-REQ 메시지를 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 자신의 클러스터 헤드에게 보낸다. 이 메시지는 자신의 ID와 클러스터 헤드의 ID를 포함한다. LEACH에서 클러스터 헤드 노드는 자신의 클러스터 지역 내에 있는 노드들의 데이터 전송을 조정하기 위한 센터로서의 역할을 한다. 클러스터

헤드는 TDMA 스케줄을 형성해서 이러한 스케줄을 클러스터 내에 있는 노드들에게 전송한다. 이것은 노드들이 충돌(Collision)이 발생하지 않고 자신의 타임슬롯(Time slot)에서만 노드들이 데이터를 전송하고 나머지 타임슬롯에서는 슬립모드로 동작하여 에너지를 절감하게 하는 역할을 한다. TDMA 스케줄이 클러스터 내에 있는 모든 노드들에게 알려진 후 Set-up phase는 끝나게 되고 Steady-state phase가 시작되게 된다.

다. 데이터 전송

클러스터가 형성되는 Set-up phase가 끝나고 이어지는 Steady-state phase는 프레임들로 구분되며 노드들은 자신의 데이터를 할당된 자신의 전송 슬롯에서만 보낸다. LEACH[10]는 모든 노드는 동기화가 되어 있고 Set-up phase는 동시에 시작한다는 것을 가정하며 이것은 전파 도달 범위가 큰 베이스 스테이션(BS)에 의해 현실화될 수 있다는 것을 설명한다. 에너지 소모를 줄이기 위해서 각 일반 노드들은 클러스터 헤드가 보낸 전파수신강도에 의거하여 자신의 전송 파워를 조절하고 자신의 타임슬롯에서만 데이터를 전송한다. 클러스터 헤드는 클러스터 내에 있는 노드들로부터의 데이터를 수신하기 위해 항상 깨어 있어야 한다. 클러스터 헤드가 모든 노드의 데이터를 수신하였다면 데이터를 병합하여 중복된 메시지를 감소시켜 하나의 대표적인 신호로 BS에게 보내게 된다. BS는 대개 멀리 위치하므로 이 때는 가장 큰 파워로 송신한다.

2. DAUCH

DAUCH는 Ad-hoc 네트워크의 다중경로 설정을 가능하게 하는 TORA의 DAG를 LEACH의 클러스터 형성 알고리즘에 적용함으로써 LEACH를 개선한 계층적 라우팅 프로토콜이다. 클러스터가 생성될 때 LEACH는 클러스터 헤드 노드와 각 클러스터 멤버 노드들간에 일대일 연결이 설립되는 반면, DAUCH는 클러스터 헤드 노드를 중심으로 하는 DAG가 생성된다. 따라서 LEACH의 클러스터 멤버 노드들은 자신의 클러스터 헤드 노드로 데이터를 직접 전송하지만 DAUCH의 클러스터 멤버 노드들은 자신과 가까운 다운링크 노드로 데이터를 보낸다. 그 결과 DAUCH는 멀티홉 전송을 이용해서 클러스터 헤드와 멀리 떨어져 있는 클러스터 멤버 노드들의 전송거리를 줄일 수 있다.

뿐만 아니라 모든 클러스터 멤버들의 데이터를 클러스터 헤드가 받기 전에 중간에 노드들에 의해서 데이터 통합이 수행된다. 그에 의해 클러스터 헤드의 데이터 통합에 대한 에너지 부하를 클러스터 멤버 노드들에게 분산시킬 수 있다. 따라서 DAUCH는 LEACH에 비해서 많은 에너지를 절약할 수 있으며, 망의 수명을 연장한다.

LEACH와 DAUCH에서는 무선하드웨어 에너지 소모를 위한 간단한 모델[15]을 가정한다. 이 모델에서는 송신측은 무선전자($E_{Tx-elec}$)와 전력증폭기(E_{TX-amp})를 운용하기 위한 에너지를 소모하며, 수신측은 무선전자($E_{Rx-elec}$)를 운용하기 위한 에너지를 소모한다. 그리고 송신측과 수신측 사이의 거리에 의존하는 자유공간(power loss : d^2)과 Multipath 페이딩(power loss : d^4) 채널 모델을 사용한다.

만약 송신측과 수신측 사이의 거리가 임계치(d_c)보다 짧다면, 자유공간(fs) 모델이 사용되어질 것이고, 그렇지 않다면 Multipath(mp) 페이딩 모델이 사용되어진다. 임계치(d_c)는 자유공간과 Multipath 모델[16]을 위한

Cross-over 거리이다. 그러므로, 송신측의 무선 에너지 소비는 다음과 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d)$$

$$= \begin{cases} E_{elec} \times k + \varepsilon_{fs} \times k \times d^2, & d < d_t \\ E_{elec} \times k + \varepsilon_{mp} \times k \times d^4, & d \geq d_t \end{cases} \quad (3-3)$$

그리고, 수신측의 무선 에너지 소비는 다음과 같다.

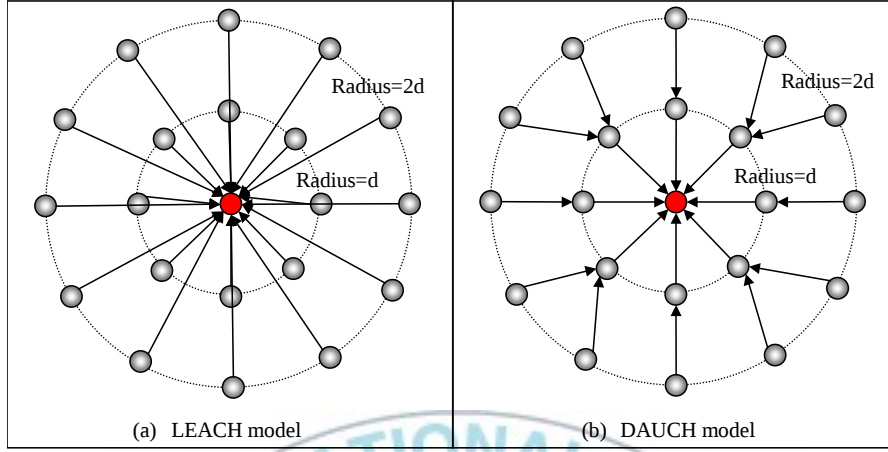
$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec} \times k \quad (3-4)$$

여기서 E_{elec} 은 전자 에너지이며, d 는 송신측으로부터 수신측까지의 거리이고, k 는 하나의 k -bit 메시지를 나타낸다.

LEACH와 DAUCH의 전파에너지 소모를 분석하기 위해, 식(3-3)과식(3-4)를 데이터 송.수신용 전파에너지 소모모델에 적용한다.

[그림 3-3]에서 LEACH와 DAUCH의 데이터 전송모델을 비교해서 도시했다. 내부원과 외부원들은 각각의 클러스터 멤버와 하나의 클러스터 헤드 사이의 간격에 기초를 둔 전파 에너지 소모량들을 쉽게 계산하기 위해 이용되어진다. 내부원의 반경을 d 라고하고, 외부원의 반경을 $2d$ 라 하며, 클러스터 헤드 노드와 BS사이의 거리를 d_{toBS} 라고 한다.

[그림 3-3]의 데이터 전송 모델에서 노드들 사이에 전달되어지는 에너지 소모는 자유공간 모델을 따르고, 클러스터 헤드 노드에서 BS까지 전달되어지는 에너지 소모는 Multi-path 페이딩 모델을 이용한다. 이는, 클러스터 헤드 노드들과 BS사이의 간격이 망 안에 있는 노드들 사이의 간격보다 더 멀기 때문이다.



[그림 3-3] LEACH와 DAUCH의 데이터 전송모델 비교

[그림 3-3]을 사용하면, LEACH에서의 노드들의 에너지 소모를 계산할 수 있다.

외부원의 노드들의 에너지 소모는,

$$12[kE_{elec} + k\epsilon_{fs}(2d)^2] \quad (3-5)$$

내부원의 노드들의 에너지 소모는,

$$8[kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2] \quad (3-6)$$

클러스터 헤드 노드의 에너지 소모는,

$$21[kE_{elec} + kE_{DA}] + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-7)$$

전체 노드들의 총 에너지 소모는 다음과 같다.

$$41kE_{elec} + 56k\epsilon_{fs}d^2 + 21kE_{DA} + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-8)$$

여기서, E_{DA} 는 데이터 통합을 위한 에너지이다.

[그림3-3]의 (b)를 이용해서, DAUCH에서의 노드들의 에너지 소모를 계산할 수 있다.

외부 노드들의 에너지 소모는,

$$12[kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2] \quad (3-9)$$

내부 노드들의 에너지 소모는,

$$20[kE_{elec} + kE_{DA}] + 8k\epsilon_{fs}d^2 \quad (3-10)$$

클러스터 헤드 노드의 에너지 소모는,

$$9[kE_{elec} + kE_{DA}] + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-11)$$

전체 노드들의 총 에너지 소모는 다음과 같다.

$$41kE_{elec} + 20k\epsilon_{fs}d^2 + 29kE_{DA} + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-12)$$

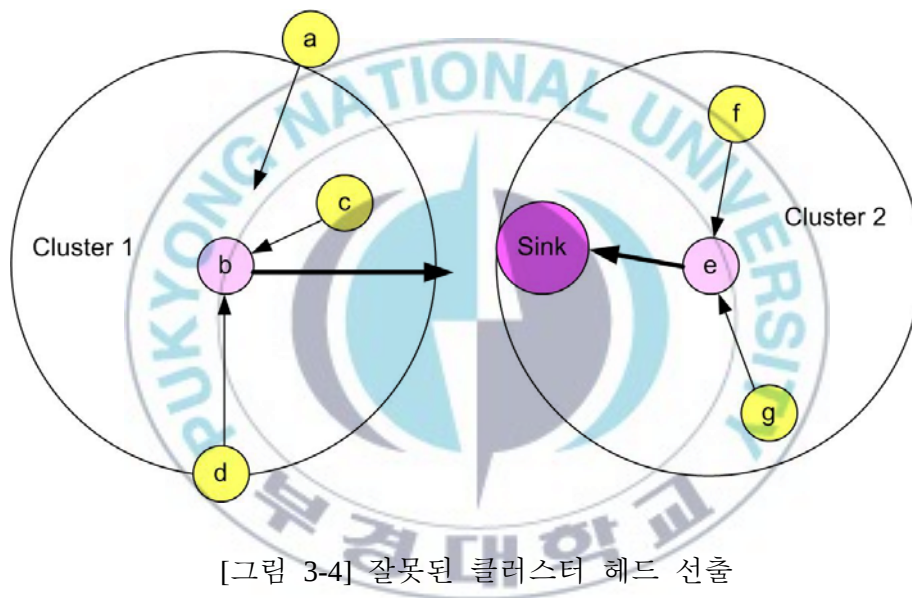
식(3-8)과 식(3-12)을 비교해보면, DAUCH의 총에너지 소모가 LEACH보다 더 적은데, 그 이유는 데이터를 통합의 총 파워 소모가 데이터 송신과 수신에 에너지보다 훨씬 더 적기 때문이다.

그리고 식(3-6), 식(3-7), 식(3-10) 및 식(3-11)을 통해서 DAUCH의 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량이 LEACH보다 작는데, 그 이유는 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모가 내부원의 노드들에게 분배되어지기 때문이다.

결론적으로 DAUCH가 LEACH보다 에너지 효율성이 더 좋은 것을 알 수 있다.

3. LEACH와 DAUCH 문제점 분석

LEACH와 DAUCH는 클러스터 헤드를 선출한 후 클러스터 헤드가 각 노드로부터 데이터를 직접 수신하고 병합하여 싱크노드에게 전송한다. 이때, 만약 클러스터 헤드로부터 멀리 떨어져 있는 노드가 존재하거나 클러스터 헤드가 싱크노드와의 거리가 너무 멀어 자신의 클러스터로부터 받은 데이터를 싱크노드로 전송할 수 없을 경우에 문제가 발생한다.



[그림 3-4]처럼 Cluster1에서 노드(b)가 클러스터 헤드로 선출되었을 때, 제한된 전송 범위 때문에 노드(a)는 수집한 데이터를 바로 클러스터 헤드에게 전송하기 위해 많은 에너지 소모를 하거나, 혹은 전력 부족으로 클러스터 헤드인 노드(b)에게 데이터를 전송하지 못할 가능성이 있다. 또한 클러스터 헤드인 노드(b)도 싱크노드와 멀리 떨어져 있다면 똑같은 문제가 발생될 가능성이 높다.

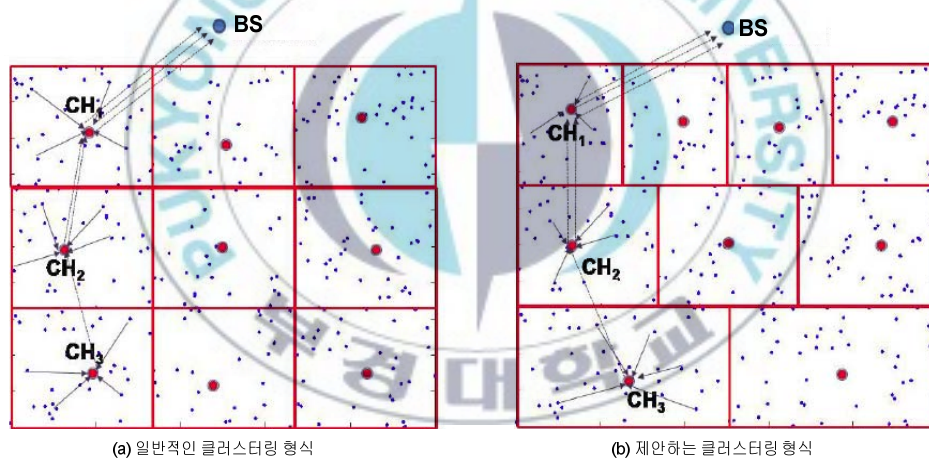
LEACH에서는 모든 노드가 전송 전력을 최대한으로 조정하면 수집 노드에게 데이터를 전송할 수 있다고 가정하고 있지만 실제 무선 센서 네트워크에서는 비현실적인 가정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 DAUCH는 노드에서 클러스터 헤드로 데이터를 전송할 때 데이터 통합과 멀티 홉을 구성하여 전송 에너지를 줄여 첫번째 문제를 해결하였지만, 두번째 문제는 여전히 해결하지 못하였다. 두번째 문제를 해결하기 위해서는, 클러스터 헤드끼리 멀티 홉을 구성하여 멀리 있는 클러스터 헤드도 싱크노드에게 데이터를 전송할 수 있도록 하거나, 전체 노드가 특정 토폴로지나 라인을 만들어 클러스터 헤드와 싱크노드간의 연결이 끊어지지 않도록 해야 한다.



IV. 제안 알고리즘

1. 제안 알고리즘의 기본 개념

본 연구에서는 확률기반의 클러스터 헤드 선택 알고리즘과 멀티홉을 통한 베이스 스테이션(BS)으로의 데이터 전송을 통해 클러스터 헤드의 에너지 소비 불균형을 해결하고자 한다. 제안하는 라우팅 방법의 기본 개념은 BS와 가까운 클러스터의 크기를 BS와 먼 클러스터의 크기보다 작게 하는 것이다.



[그림 4-1] 제안 알고리즘의 기본 개념

네트워크가 6개의 클러스터로 구성된다고 가정을 해보자. BS까지 데이터 전송시 멀티홉을 적용하게 되면 [그림 4-1] (a)에서 보는 것과 같이 LEACH와 DAUCH의 문제점인 BS와 거리가 먼 클러스터 헤드의 에너지 고갈 문제를 해결 할 수 있지만, 반대로, BS와 가까운 클러스터 헤드(CH1)에 부하가 많이 걸려, 다른 클러스터 헤드들에 비해 빨리 에너지가

빨리 고갈되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 확률에 기반한 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 통해 [그림4-1] (b)와 같이 클러스터 헤드에 부하가 많은 BS와 가까운 클러스터의 크기를 작게하여 내부통신 부하를 줄이고, 반대로 부하가 적은 BS와 먼 클러스터의 크기를 크게하여 내부통신 비용을 늘림으로써 클러스터 헤드의 에너지 소비를 균등하게 하였다.

2. 무선 센서 네트워크에서 거리기반 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘

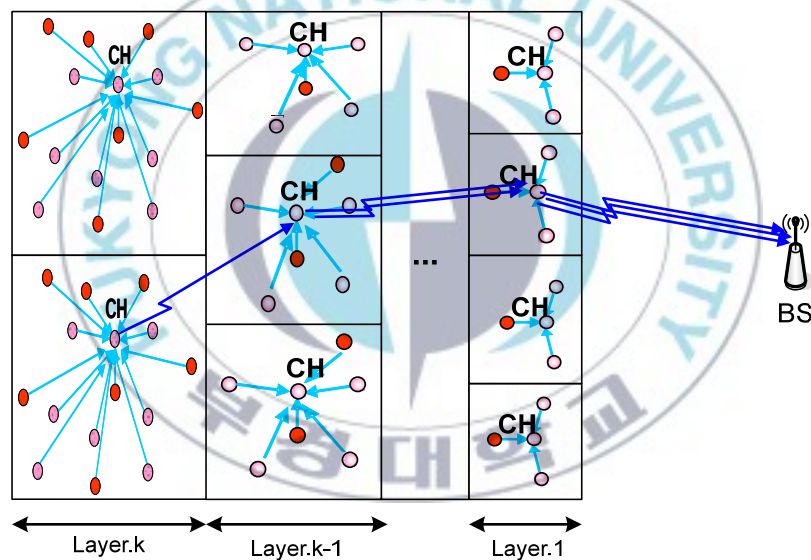
가. 네트워크 모델

본 연구에서는 무선 센서 네트워크의 특성을 다음과 같이 가정한다. 고정된 BS가 센서 노드들로부터 멀리 떨어져 있으며, BS와 모든 센서들은 이동성이 없고, 처음 할당된 에너지 이외의 에너지를 충당할 수 없어 에너지 제약적이다. 또한 모든 센서들은 고유의 ID를 가지고 전송 목적지의 거리에 따라 전송 파워를 조절할 수 있으며, 수신신호 강도를 바탕으로 신호 근원지와의 거리를 대략적으로 측정할 수 있다. 각 센서들은 고정된 데이터율로 주변의 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 항상 클러스터 헤드로 전달하며, 클러스터 헤드는 수신한 데이터를 통합하고 멀티홉 전송을 통해 BS로 데이터를 전달한다.

나. 제안하는 라우팅의 동작

[그림 4-2]와 같이 본 연구에서 제안하는 라우팅 방법은 센서노드와

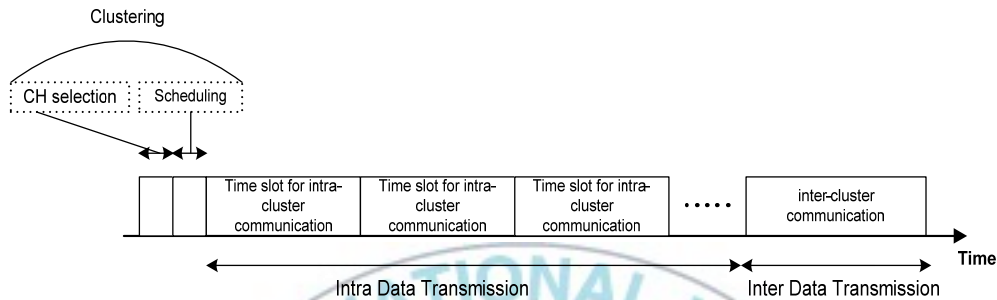
BS와의 거리를 기반으로 각 센서 노드의 레이어(layer)를 설정하고, 설정된 레이어와 잔여에너지를 고려하여 클러스터 헤드(CH)를 선출하여, BS와 가까운 쪽에 CH를 많이 생성되게 함으로써 클러스터의 크기를 조절하였다. 따라서 멀티홉 전송으로 인해 부하가 많이 걸리는 BS와 가까운 쪽의 CH의 내부 통신비용을 줄임으로써 외부통신에 집중 할 수 있게 하여 위에서 지적한 멀티홉 전송시의 문제점인 BS와 거리가 가까운 CH가 에너지가 먼저 고갈되는 문제점을 해결하였다.



[그림 4-2] 제안하는 라우팅 방법

[그림 4-3]과 같이 제안하는 알고리즘의 동작은 라운드로 구성되며, 각 라운드는 클러스터가 구성이 되는 클러스터링 단계(Clustering Phase)와 지역 클러스터 내 일반 노드(CM)들의 데이터가 클러스터 헤드(CH)로 전송이 되는 클러스터 내부 통신 단계(Intra Cluster Communication Phase), CH간

멀티홉을 통해 BS까지 데이터가 전송되는 클러스터 외부 통신 단계(Interc Cluster Communication Phase)로 구성 된다.

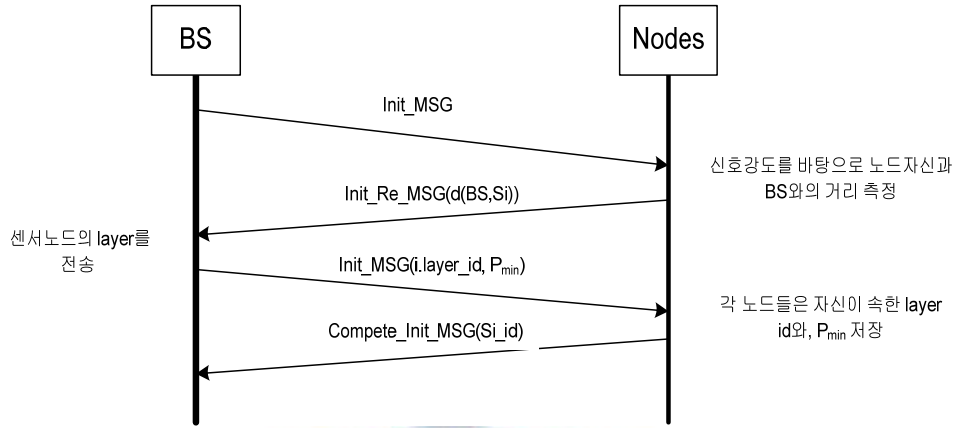


[그림 4-3] 제안 알고리즘의 전체 동작 타임라인

먼저 각 레이어의 CH 선택 확률에 의해 클러스터 헤드 후보 노드 (CHC)를 결정하고, CHC 중에서 잔여 에너지를 고려한 CH 선택 알고리즘을 통해 최종적으로 CH를 결정한다. CH가 결정되고 나면 CH를 중심으로 클러스터를 형성되고 CH는 데이터 전송을 위해 각 멤버노드(CM)에게 타임슬롯을 할당한다. 클러스터 CM노드는 수집한 데이터를 CH로 전달하고, 데이터를 수신한 CH는 데이터를 통합한 후, 멀티홉을 통해 BS로 전달한다.

다. 초기화

각 노드들의 레이어는 초기화 단계에서 BS와의 거리를 기반으로 [그림 4-4]와 같은 절차를 통해 결정된다.



[그림 4-4] 네트워크 초기화 과정

BS는 모든 노드들에게 초기화 메시지(Init_MSG)를 브로드캐스트 하고, 이를 수신한 노들(S_i)들은 수신강도를 바탕으로 BS와의 대략적인 거리(d)를 계산하여 BS에게 응답(Init_Re_MSG($d(BS, S_i)$))한다. 응답 메시지를 받은 BS는 각 센서 노드에게 자신이 속한 레이어의 아이디(id)와 P_{min} 값을 유니캐스트(Init_MSG($i.layer, P_{min}$))하고 이를 수신한 노드의 초기화 완료 메시지(Compete_Init_MSG($S_i.id$))를 마지막으로 초기화 단계가 끝난다. 여기서 P_{min} 은 최 외각 레이어의 클러스터 선택 확률을 나타내며 클러스터링 단계에서 설명하기로 한다.

라. 클러스터링 단계(Clustering Phase)

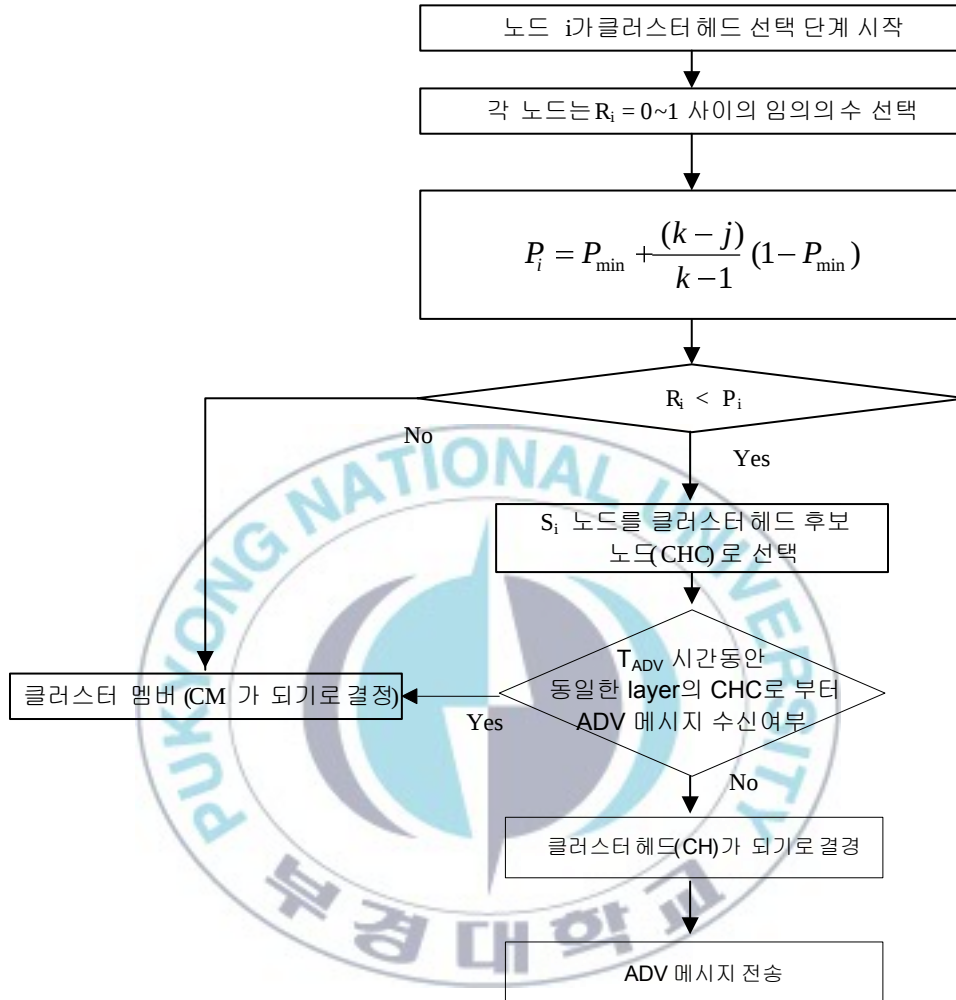
본 연구에서는 초기화 단계에서 결정된 레이어에 포함된 센서노드들의 CH 선택 확률을 서로 다르게 하여 CH 개수를 조절한다. 각 레이어에 속한 센서노드의 CH 선택 확률은 다음과 같다.

$$P_i = P_{\min} + \frac{(k - j)}{k - 1} (1 - P_{\min}) \quad (4-1)$$

여기서 k 는 최외각 레이어의 식별자(id)이고 j 는 센서노드(S_i)가 속한 레이어의 식별자(id)이다. 또한 $P_{\min}$ 은 최외각 레이어의 CH 선택 확률이다. 식(4-1)에 의해서 BS와 가까운 레이어에 CH의 수가 많아지고, 반대로 BS와의 거리가 먼 레이어에는 CH 수가 적어지게 된다.

각 노드는 식(4-1)에 의해 클러스터 헤드 후보 노드(ChC)가 될지를 결정하고, 잔여에너지를 고려한 클러스터 헤드 선택 알고리즘에 의해 최종적으로 CH로 선택된다. [그림 4-5]는 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 나타낸 것이다.





[그림 4-5] 클러스터 헤드 선택 순서도

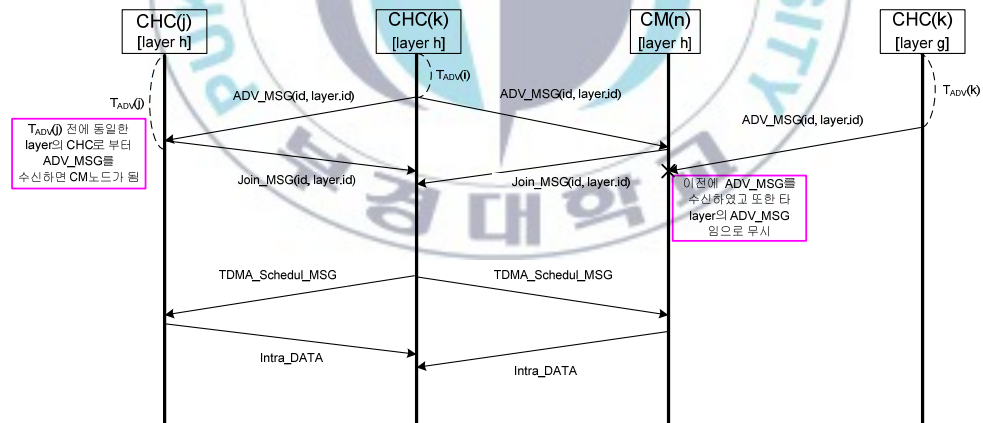
r 라운드가 시작할 때, 각 클러스터 후보 노드(CHC)는 식(4-2)에서 정의된 T_{ADV} 시간동안 기다린다. 따라서 보다 큰 잔여 에너지를 가진 CHC 노드는 보다 짧은 시간동안 기다리며, 그 후 ADV 메시지 수신여부를 확인하여 이웃의 어떤 CHC 노드가 이미 CH가 되었는지 인식한다. 만약 ADV 메시지를 수신 하였다면 인근에 자신보다 큰 에너지를 가진 CHC

가 있다는 것을 의미하므로 자신은 클러스터 멤버노드(CM)가 되기로 결정하고, 그렇지 않으면 자신이 CH가 되기로 결정하고 ADV 메시지를 전송한다.

$$T_{ADV} = T_{CH_E} \times \left(1 - \frac{E_{res}(CHC_k)}{E_{init}(CHC_k)} \right) \quad (4-2)$$

여기서 T_{CH_E} 는 클러스터 선택 시간이고, E_{res} 는 CHC 노드의 잔여에너지, E_{init} 는 CHC의 초기 에너지는 나타낸다.

CHC 노드들간 CH 선택시 데이터 흐름은 [그림 4-6]과 같다.



[그림 4-6] 클러스터 헤드 선택시 데이터 흐름

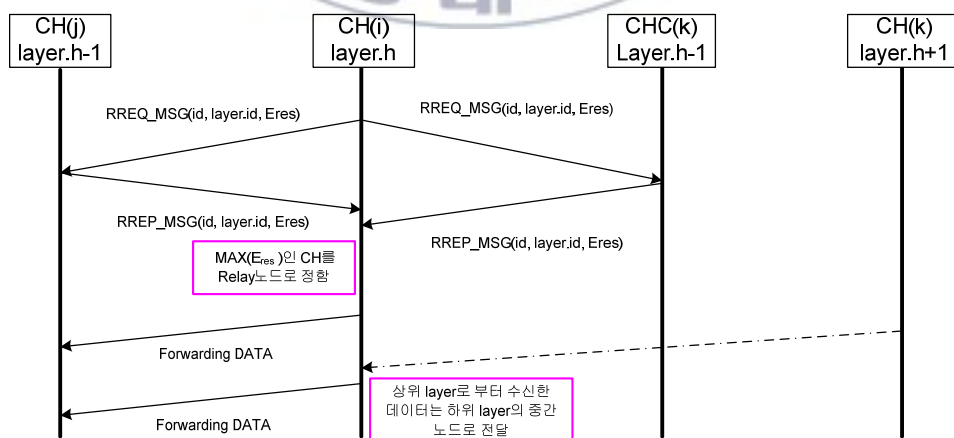
ADV_MSG와 Join_MSG를 통해 CH를 중심으로 클러스터가 형성되고 나면, 클러스터 헤드는 자신의 CM에게 TDMA 타임 스케줄을 할당하고 내부 데이터 전송(Intra Data Transmission)이 시작된다.

마. 데이터 통신 단계(Data Communication Phase)

데이터 통신 단계는 크게 클러스터 내부통신(Intra Communication) 단계와 클러스터 외부통신(Inter Communication) 단계로 구성된다. 클러스터 내부통신 단계는 LEACH와 유사하며, 각 클러스터의 멤버노드가 수집한 데이터를 CH에게 전달하고, CH는 수신한 데이터를 통합하여 CH간 멀티홉을 통해 BS로 전달한다.

클러스터 내부통신이 완료되고나면, 베이스 스테이션(BS)까지 멀티홉을 통한 데이터 전송을 위해 CH들 간에 잔여에너지와 자신이 속한 레이어 정보를 교환하고 중간 노드를 선택하게 된다. 이때 중간 노드는 반드시 자신보다 하위(BS와 가까운 방향) 레이어의 CH를 선택한다. 만약 중간 노드가 될수 있는 CH가 여러개 존재한다면 그 중에서 잔여에너지가 가장 많은 노드를 중간노드로 선택한다. 중간 노드가 선택되고 나면 자신의 데이터를 중간노드로 송신하며, 또한 상위 레이어로부터 데이터를 수신하는 경우에도 하위 레이어의 중간노드로 전송한다.

중간 노드를 선택하는 통신 절차는 다음 [그림 4-7]과 같다.



[그림 4-7] 클러스터 외부 통신 단계의 데이터 흐름

바. 에너지 소비 분석

멀티홉 특성을 가지는 제안 라우팅 알고리즘의 에너지 소모식을 계산하기 위해 식(4-3)과 식(4-4)를 데이터 전파에너지 소모모델의 자유공간(d^2 power loss)에 적용하였다.

최 외각 레이어 L_k 의 클러스터 헤드에서 소모되는 에너지는 식(4-3)과 같다.

$$E_{ch_k} = N_k l \{ (1 - P_{\min}) E_{elec} + E_{DA} + (E_{elec} + \varepsilon_{fs} d^2) \} \quad (4-3)$$

여기서 N_k 는 L_k 에 존재하는 센서 노드의 수를 나타낸다.

최외각 레이어 L_k 의 클러스터 멤버노드에서 소모되는 에너지는 식(4-4)와 같다.

$$E_{nonch_k} = N_k l (1 - P_{\min}) (E_{elec} + \varepsilon_{fs} d^2) \quad (4-4)$$

또한 에너지 소모식을 간략하게 하기 위해 클러스터 헤드 노드와 클러스터 멤버노드들의 전송거리가 동일하다고 가정하고 에너지 소비를 계산하면 최외각 레이어 L_k 에서의 에너지 소비는 식(4-5)와 같다.

$$\begin{aligned} E_k &= E_{ch_k} + E_{nonch_k} \\ &= N_k l \{ (1 - P_{\min}) E_{elec} + E_{DA} + (E_{elec} + \varepsilon_{fs} d^2) + (1 - P_{\min}) (E_{elec} + \varepsilon_{fs} d^2) \} \\ &= N_k l \{ (3 - 2P_{\min}) E_{elec} + (2 - P_{\min}) d^2 \varepsilon_{fs} + E_{DA} \} \end{aligned} \quad (4-5)$$

위 식을 바탕으로 i 번째 레이어 L_i 에서 소비되는 에너지식을 계산하면 다음과 같다.

$$E_i = N_i l \{ (3 - 2P_i) E_{elec} + (2 - P_i) d^2 \varepsilon_{fs} + E_{DA} \} + \sum_{t=i+1}^k l N_t (2E_{elec} + d^2 \varepsilon_{fs}) \quad (4-6)$$

각 레이어(layer)의 에너지 소비가 동일 할 때, 즉, $E_1 = E_2 = E_3 \dots E_k$ 네트워크 수명이 최대가 된다. 하지만 위에서 모든 노드의 전송거리가 동일하다는 가정에도 불구하고 수학적 해를 구하기 힘들기 때문에 위 식으로부터 직접적인 결론을 내는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 특정한 환경을 가정한 시뮬레이션을 통해 네트워크 수명을 최대화 하는 최적의 k 값을 찾는 수치해석 방법을 사용하였다.

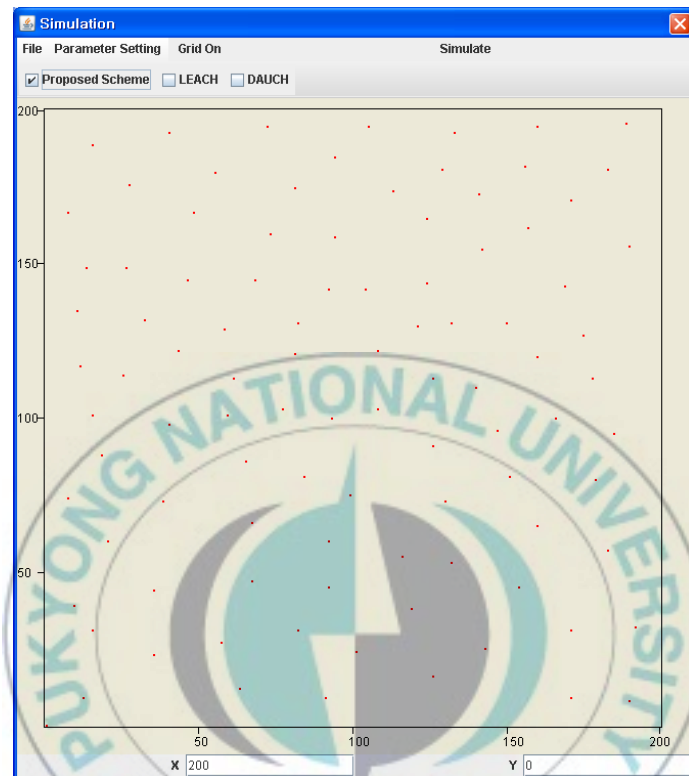
V. 성능분석

1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 라우팅 알고리즘의 성능을 분석하였다. [표 5-1]은 시뮬레이션 파라미터를 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 위한 망의 구성은 100개의 노드가 무작위로 $200 \times 200(m^2)$ 영역에 흩어져 있다고 가정한다. BS는 (100, 250)의 위치에 있다고 가정하였다. 각 노드는 시뮬레이션의 시작 시점에 2J(Joule)의 에너지 총량을 가지는 에너지원이 장착되어 있다. 모든 노드는 500바이트 크기의 메시지를 전송한다. 그리고 최외각 레이어의 클러스터 헤드 선택 가능성 P_{min} 은 0.05로 설정하고, 각 라운드는 20초 동안 지속된다. 통신 에너지 파라미터들과 데이터 통합을 위한 에너지는 [3]에서와 같이 설정하여 시뮬레이션 하였다. [그림 5-1]은 테스트 네트워크를 나타낸 것이다.

[표 5-1] 시뮬레이션 파라미터

파라미터	수 치
노드 수(개)	100
네트워크 크기(m^2)	200x200
BS의 위치	(100, 250)
한 라운드의 시간	20초
데이터 패킷의 크기	500 byte
초기에너지(E_{int})	2J
레이어 수(k)	5
E_{elec}	50nJ/bit/signal
ϵ_{fs}	10pJ/bit/ m^2
E_{DA}	5nJ/bit/signal
P_{min}	0.05



[그림 5-1] 테스트 네트워크

[그림 4-8]은 200x200(m²)크기의 네트워크에 100 개의 센서가 흩어져 있다고 가정하고 500 바이트 크기의 데이터패킷을 가정하여 얻은 결과이다. 또한 전체 네트워크 에너지를 200 joules로 제한 하였다. 시뮬레이션 결과에 따르면 $k=5$ 일 때 최대 네트워크 생존시간에 도달하였다.

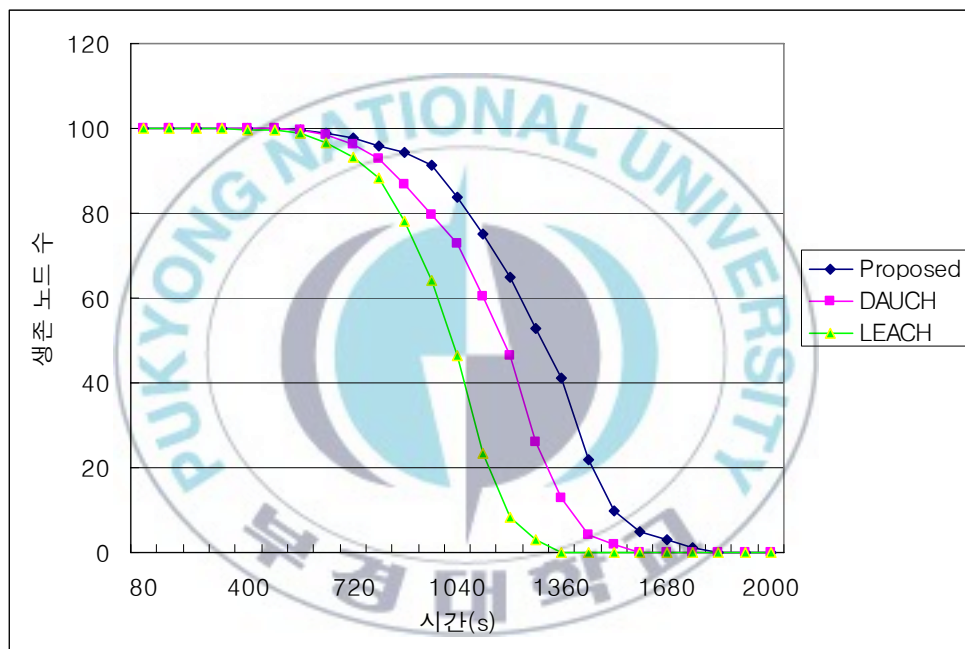


[그림 5-2] 레이어 수에 따른 네트워크 생존시간

2. 성능 분석

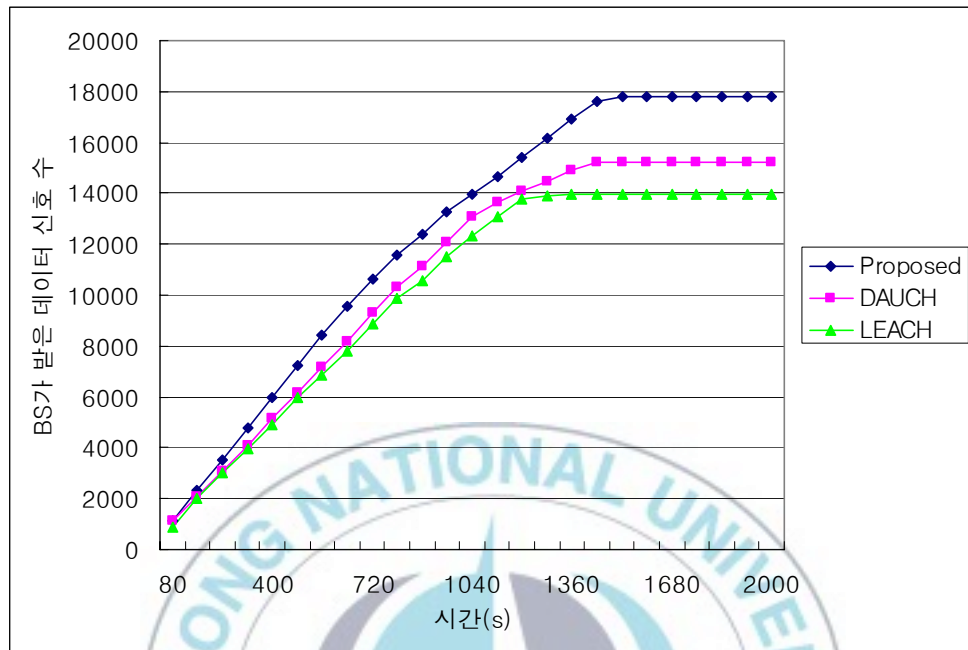
먼저 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제안한 알고리즘과 무선 센서 네트워크의 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH와 DAUCH의 성능을 시뮬레이션 기간 동안 살아남은 노드의 수 관점에서 비교하였다. [그림 5-3]

은 제안한 알고리즘의 생존노드의 수 관점에서의 성능을 보여주며, 노드들이 LEACH와 DAUCH에 비해 긴 시간 동안 살아남아 동작함을 보여준다. 또한, 네트워크 수명이 살아남은 노드의 수가 80%일 때 까지라고 정의한다면, 제안한 알고리즘은 LEACH에 비해 네트워크 수명이 18%, DAUCH에 비해 8.3% 증가하여 더 좋은 성능을 보였다.



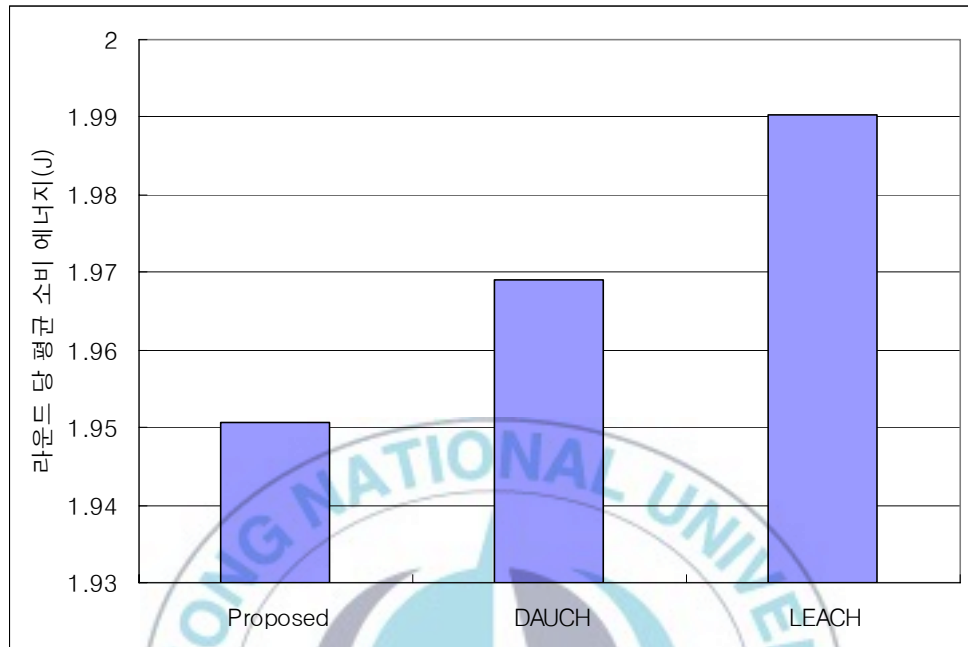
[그림 5-3] 시간 경과에 따른 생존 노드의 수

두 번째로 베이스 스테이션(BS)이 받은 데이터 신호의 수 측면에서 성능 평가를 하였다. [그림 5-4]은 제안한 알고리즘이 BS가 받은 데이터 신호의 수 관점에서 LEACH에 비해 27.5%, DAUCH에 비해 16%의 성능이 향상되었음을 보여준다.



[그림 5-4] 베이스 스테이션(BS)가 받은 데이터 신호의 수

마지막으로, 한 라운드 동안 소비하는 에너지의 관점에서 성능평가를 하였다. [그림 5-5]는 제안한 알고리즘이 한 라운드 당 소비하는 평균에너지 관점에서 LEACH에 비해 2%, DAUCH에 비해 0.9% 성능이 향상되었음을 보여준다.



[그림 5-5] 라운드당 평균 소비 에너지

VI. 결 론

본 연구에서 제안한 알고리즘은 센서노드와 베이스 스테이션(BS)과의 거리를 기반으로 각 센서 노드의 레이어(layer)를 설정하고, 설정된 레이어와 잔여에너지를 고려하여 클러스터 헤드(CH)를 선정하여 거리에 따라 CH 개수를 조절함으로써 멀티홉 전송시 부하 많이 걸리는 BS와 가까운 CH의 에너지 소모를 분산 시켜 네트워크 수명을 연장하였다. 즉, 상대적으로 부하가 많이 걸리는 BS와 가까운쪽의 센서노드들은 CH로 선택될 확률을 높여 외부 통신에 집중 할 수 있게 하고, 상대적으로 부하가 적은 BS와 멀리 떨어져 있는 센서 노드는 CH가 될 확률을 줄여 내부 통신에 집중할 수 있게 함으로써 소비에너지를 분산 시켰다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 본 연구에서 제안한 라우팅 알고리즘은 시간경과에 따른 생존노드의 수, BS에서 받은 데이터 시그널 수, 한 라운드당 평균에너지 소모에 대해서 LEACH와 DAUCH보다 개선되었다. 본 논문에서 제안한 라우팅방법은 LEACH와 DAUCH 보다 더 나은 성능을 가짐으로, 온도 측정이나 환경 오염 감지와 같이 주기적인 데이터 수집이 필요한 응용분야에서 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," IEEE Wireless Communications, Vol. 11, Dec. 2004, pp. 6-28
- [2] E M. Royer and C.K. Toh, "A review of current routing protocol for Ad Hoc mobile wireless networks," IEEE Personal Communications, pp. 46-55, April. 1999.
- [3] S. Lee, C. Lee, Y. Cho, and S. Kim, "A New Data Aggregation Algorithm for Clustering Distributed Nodes in Sensor Networks," Lecture Notes In Computer Science 3262, Oct. 2004, pp. 508-520
- [4] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Mobicom '99 Seattle Washington USA, 1999
- [5] L. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," in IEEE/ACM ToN, VOL. 11, NO. 1, Feb. 2003
- [7] Yan Yu, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," UCLA Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, May 2001
- [8] D. Braginsky and D. estrin, "Rumor Routing algorithm For Sensor Networks," WSN, September 28, 2002, Atlanta, Georgia, pp.22-31

- [9] W.Su and I. Akyildiz, "A Stream Enabled Routing(SER) Protocol for Sensor Network," Med-hoc-Net 2002, Sardegna, Italy, September 2002
- [10] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, VOL. 1, NO. 4, OCTOBER 2002
- [11] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," in 1st IPDPS IEEE, Apr. 2001
- [12] Manjeshwar, A. Agrawal, and D.P., " APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor networks ," Parallel and Distributed Processing Symposium., Proceedings International, IPDPS 2002, 15-19 April 2002 Page(s): 195 –202
- [13] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems," in Proc. IEEEAC, Mar. 2002
- [14] Ossama Younis, Marwan Krunz, and Ramasubramanian, "Node Clustering in Wireless Sensor Networks : Recent Developments and Deployment Challenges", in Proc IEEE Network, May 2006
- [15] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, Vol. 1, No. 4, Oct. 2002
- [16] M. Joa-Ng and I-Tai Lu, "A peer-to-peer zone-based two-level link state routing for mobile ad hoc networks," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on , Volume: 17 , Issue: 8 , Aug. 1999 ,Pages:1415 - 1425

감사의 글

정보통신공학과를 입학하여 프로토콜 연구실의 일원이 된 것 만으로도 제게는 큰 행운이었습니다. 어느덧 졸업논문을 마무리하고 감사의 글을 쓰게 되니 감회가 새롭습니다. 꾸준한 노력으로 다양한 경험을 쌓을 수 있었고, 제 인생의 기반이 될 과거를 돌아보며 참 소중한 시간이었음을 다시 한 번 깨닫게 됩니다.

먼저 학부과정부터 석사과정까지 열성으로 지도해 주시고, 연구의 참 뜻과 깊이를 보여주신 김성운 교수님께 진심으로 감사드리며, 앞으로도 마음속 깊이 그 뜻을 간직하겠습니다. 또한 그리고 부족한 본 논문의 심사를 맡아 세심한 관심과 조언을 아끼지 않으신 주문갑 교수님, 류지열 교수님께도 감사드리며, 아울러 정보통신공학과 모든 교수님께도 머리 숙여 감사드립니다.

연구실 생활에 있어 여러모로 도움을 많이 주셨던 석진선배, 춘재선배, 정미, 현훈선배, 종근선배, 진호선배, 석사과정 동안 늘 즐거움과 어려움을 함께 나누었던 상보선배, 승미, 수원이, 현수, 소연이, 친구, 은지, 선영이 등 프로토콜공학 연구실원 모두에게 감사의 말을 전합니다.

끝으로 항상 저를 믿어주시고 아껴 주시는 사랑하는 어머니와 나를 믿어주고 따라주는 동생 동준이에게 진심으로 감사한 마음을 전합니다.

2009년 1월

조 찬 효 올림