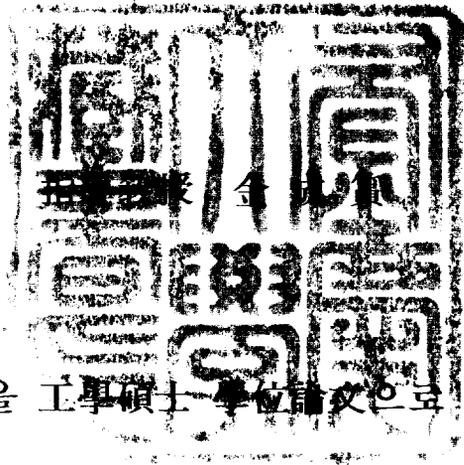


工學碩士學位論文

센서 네트워크에서의 데이터  
통합 알고리즘 연구



이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함

2006 年 2 月

釜慶大學校 産業大學院

情報通信教育學科

尹 英 和

이 論文을 尹英和의 工學碩士  
學位論文으로 認准함

2005年 12月

主 審 工學博士 鄭 淵 湖



委 員 工學博士 朴 奎 七



委 員 工學博士 金 成 箕



# 목 차

|  |    |
|--|----|
| I. 서 론.....                                | 1  |
| II. 센서 네트워크 라우팅 및 DATA AGGREGATION 기술..... | 4  |
| 1. 센서 네트워크 구조.....                         | 4  |
| 2. 센서 네트워크의 라우팅 기술.....                    | 9  |
| 가. 라우팅방법.....                              | 9  |
| 나. 데이터 Aggregation 방법.....                 | 22 |
| III. DAUCH-L 알고리즘 제안.....                  | 25 |
| 1. DAUCH 알고리즘.....                         | 25 |
| 2. DAUCH 와 LEACH 알고리즘.....                 | 26 |
| 3. DAUCH -L.....                           | 29 |
| IV. 성능분석.....                              | 32 |
| 1. 성능 분석 환경.....                           | 32 |
| 2. 에너지의 효율성.....                           | 32 |
| V. 결 론.....                                | 34 |
| 참고 문헌.....                                 | 35 |

# 그림 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 .....                          | 11 |
| [그림 2-6] DIRECTED DIFFUSION방식의 데이터 전송 절차 .....      | 12 |
| [그림 2-7] GEAR 라우팅 방식의 데이터 전송 절차 .....               | 14 |
| [그림 2-8] RUMOR ROUTING 방법 .....                     | 14 |
| [그림 2-9] 시간 축에서 본 LEACH의 동작 절차 .....                | 17 |
| [그림 2-10] PEGASIS 라우팅 방법의 CHAIN 형성 및 토큰 폐싱 방법 ..... | 20 |
| [그림 3-1] LEACH와 DAUCH의 데이터 전송모델 비교 .....            | 27 |
| [그림 3-2] DAUCH-L의 클러스터 헤드 선택 단계의 흐름도 .....          | 31 |
| [그림 4-1] $L_{INT}$ 에 대한 BS에서 받은 데이터 시그널 수의 분석 ..... | 33 |
| [그림 4-2] 시간에 대한 BS에서 받은 데이터 시그널 수의 분석 .....         | 33 |

# 표 목 차

|  |    |
|--|----|
| [표 2-1] 센서 네트워크의 프로토콜 스택 구조.....                 | 7  |
| [표 2-2] FLAT 라우팅 방법 VS. HIERARCHICAL 라우팅 방법..... | 21 |
| [표 2-3] 데이터 AGGREGATION 방법의 비교.....              | 24 |

# **A Study on the Data aggregation Algorithm in the Wireless Sensor Networks**

*Young-Hwa Yun*

*Department of Telematics Engineering  
Graduate School of Industry,  
Pukyong National University*

## **Abstract**

Wireless Sensor Networks (WSNs) consist of sensor nodes equipped with the small battery powered device with limited energy resources. Hence, energy efficiency is a key design issue that needs to be enhanced in order to improve the life span of the network. Many power saving algorithms to achieve the energy efficiency have been studied. Specially, several routing techniques have been designed for WSNs. DAUCH (Data Aggregation algorithm Using DAG rooted at the Cluster Head) is one of the hierarchical routing protocols combining the random CH (Cluster Head) selection technique in LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) with DAG (Directed Acyclic Graph) in TORA (Temporally-Ordered Routing Algorithm). This paper proposes DAUCH-L (DAUCH-Limited) which modifies the CH selection algorithm of DAUCH. DAUCH-L limits CH selection based on the residual energy level of a node which is the ratio of a node's current energy to initial energy.

# I. 서론

센서 네트워크기술은 무선 통신, 통신 프로토콜, 디지털 전자공학, 로봇틱스, 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 전력 절약 알고리즘들이 연구되고 있다. 특히 여러 라우팅 기술들이 센서 네트워크를 위해 개발되어져 왔다.

라우팅 기술들은 망 구조에 따라 동등(Flat), 위치 기반(Location-based), 그리고 계층적(Hierarchical) 라우팅 방법 등 세 가지로 분류할 수 있다[18]. 첫번째, 동등 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 데이터 통합(Data aggregation) 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 생길 수 있다. 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[16]. DAUCH는 클러스터 헤드 노드를 중심으로 한 DAG를 형성해서 클러스터 멤버 노드들의 데이터 전송 거리를 LEACH에 비해서 줄임으로써 에너지 절약을 할 수 있다. 하지만 DAUCH도 클러스터 헤드 노드가 역할 수행중에 에너지가 고갈되는 LEACH의 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 DAUCH의 클러스터 헤드 선택 알고리즘 [3]을 수정한 DAUCH-L을 제안한다. DAUCH-L은 노드의 현재 에너지대 초기 에너지의

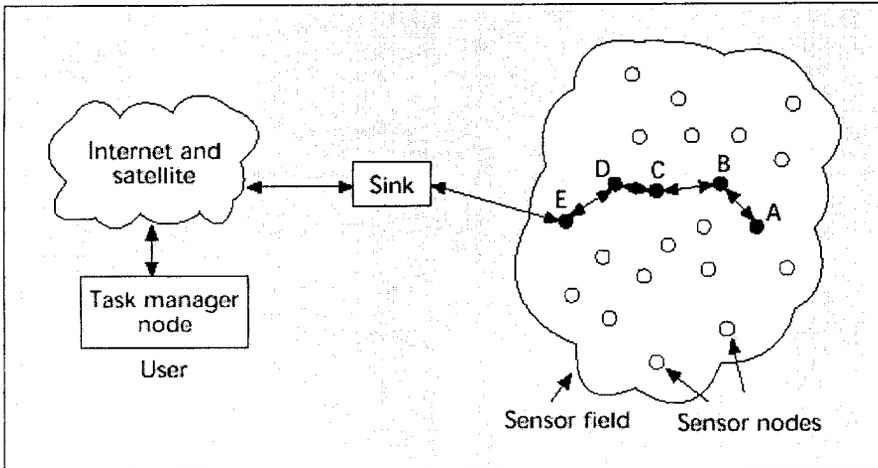
비인 잔여 에너지 레벨에 기반해서 클러스터 헤드 선택을 제한한다. 즉, 클러스터 헤드 선택 시점에 지정된 제한값보다 작은 잔여 에너지 레벨을 가진 노드는 클러스터 헤드가 될 수 없다. 이를 통해서 DAUCH-L은 DAUCH의 문제점을 해결하고 DAUCH보다 우수한 에너지 효율성을 보인다.

본 논문의 2장에서는 센서 네트워크 프로토콜 관련연구에 대해 기술하고, 3장에서는 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜인 DAUCH-L을 제안한다. 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 분석과 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론으로 끝을 맺는다.

## II. 센서 네트워크 라우팅 및 Data Aggregation 기술

### 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[1]. 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 [그림2-1]과 같다.



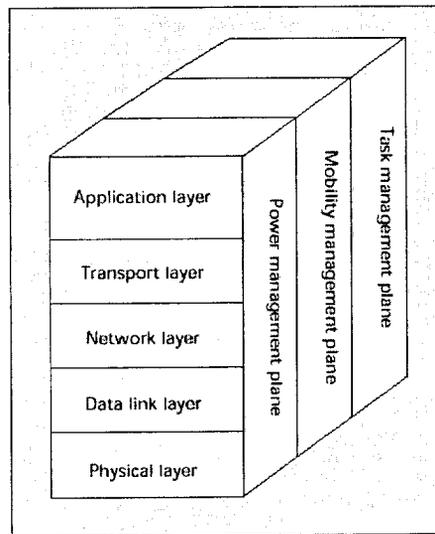
- 센서 노드(sensor nodes) : sensing 작업을 수행하는 센스 네트워크의 기본 요소
- 센서 field : 센서 노드들로 구성된 네트워크
- Sink : 사용자(user)와 센서 노드들간의 데이터 전송을 위한 중간 연결 매체

[그림 2-1] 센서 네트워크 구성

이 중 센서 관련 기술은 물리센서의 경우 MEMS 기술을 활용하여 압력센서나 가속도 센서 등 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 또한 센서 네트워크에 적용이 가능하다.

둘째로 센서 노드 응용 기술 분야[1]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 위해 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 하고 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]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  |
| Datalink 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 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Power management plane</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sensor node에 의한 power의 사용에 대해 관리</li> </ul> </li> <li>• <u>Mobility management plane</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sensor node 간의 위치를 인지</li> </ul> </li> <li>• <u>Task management plane</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 모든 layer와 power/mobility management plane들을 상호 연계하여 주어진 작업 조절 및 관리</li> </ul> </li> </ul> |

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 논문에서는 센서 네트워크에서 데이터전송을 위해 가장 중요한 계층인 network layer에서 높은 체적밀도로 동작하는 센서 네트워크 노드구조와 power efficiency한 데이터전송 및 data centric routing[2]에 기반을 둔 data aggregation

등을 고려하여 가장 최선의 routing과 data aggregation 알고리즘 및 방안을 연구 제시한다.

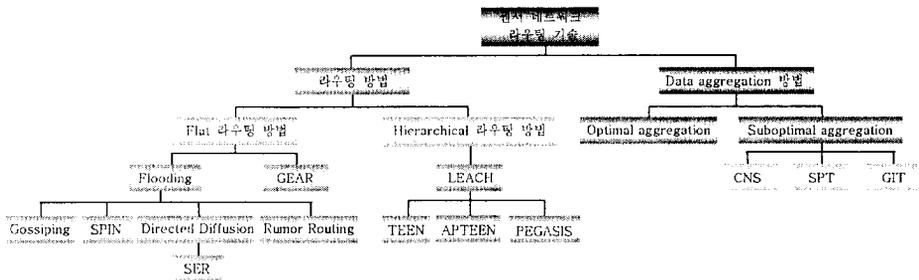
최근 국내외적으로 여러 가지 테러행위(미국 911 테러 또는 대구 지하철 사고 등)나 사고 및 자연 재해 등으로 대량 살상 및 부상자가 속출하는 사회적 문제로 전 세계가 위협에 처해 있다. 우선 가장 가까운 예로 대구 지하철 경우 연기나 온도 감지용 센서 노드를 부착한 센서 네트워크만 구성이 되어 있었다더라도 사고를 미연에 방지할 수 있었을 뿐만 아니라 많은 무고한 인명의 사상을 피할 수 있었으며, 또한 산불이나 홍수 같은 자연 재해에 대해서도 감지할 수 있는 센서를 부착한 센서 노드 개발로 센서 네트워크를 구축하여 해마다 겪는 자연 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 위해 network layer 핵심기술인 routing과 data aggregation에 대한 해당 기술 연구가 절실히 요청된다.

## 2. 센서 네트워크의 라우팅 기술

센서 네트워크는 여러 가지 테러행위나 사고 및 자연 재해를 미리 감지하고, 미국 9.11테러나 대구의 지하철 대참사와 같은 인명 및 재물 피해를 미리 방지하기 위한 필요성으로 발전하기 시작했다.

[그림2-3]에서처럼 센서 네트워크에서 센서 Field의 모든 노드들이 동등한 위치에서 서로 정보를 교환하는 Flat 라우팅 방법과 노드들을 논리적인 그룹으로 묶고 각 그룹마다 중심 노드를 두고 이를 통해서 목적지 노드로 정보를 전달하는 Hierarchical 라우팅 방법을 중심으로 라우팅 방법을 분류하여 기술한다. 그리고 동일한 성질 및 내용의 데이터가 중복되어 전송되지 않도록 동일한 데이터를 효율적으로 전송하기 위한 데이터 aggregation 방법을 살펴본다.



[그림 2-3] 센서 네트워크 라우팅 구성도

### 가. 라우팅방법

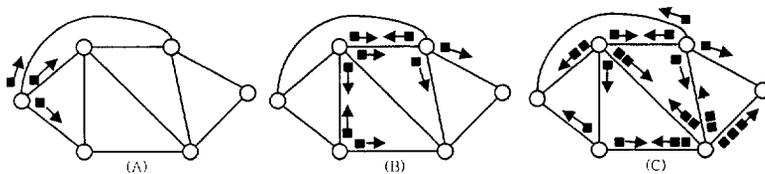
#### 1) Flat 라우팅 방법

flat 라우팅 방법은 모든 노드들이 동등한 위치에서 서로 정보를 교환하는 라우팅 방식이다. event가 발생하여 sink 노드로 연결자 하는 정보를 전송하는 traffic 특성에 따라 특정 노드의 배터리 소모가 많아지고 event 발생 후 의도한 노드쪽으로 데이터 전송 시 라우팅 방법이 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 모

든 노드가 동기화 없이 경로 링크를 설정하고 소스 노드에서 목적지 노드로 불필요한 overhead 없이 목적지 경로 설정 절차를 수행하므로 네트워크 관점에서 optimal한 라우팅 방법을 보여준다. 센서 네트워크의 flat 라우팅 방법에는 flooding, gossiping, SPIN, Directed Diffusion, GEAR, Rumor Routing, SER 방법이 있고 각 방법에 대한 설명은 다음과 같다.

● Flooding

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



[그림 2-4] flooding 라우팅 방법

①Implosion : 서로 다른 노드의 동일한 메시지가 같은 노드로 전해지는 것

②Overlap : 두 노드가 동일한 시간에 같은 지역을 관측했을 때 중복된 메시지가 전달됨

③Resource blindness : 각 노드의 사용 가능한 에너지 자원을 고려하지 않음

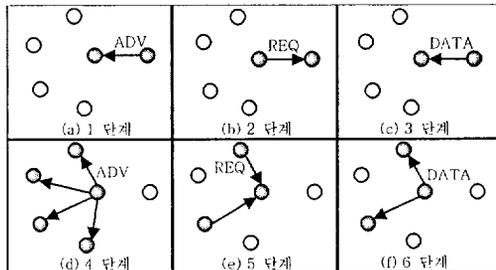
● Gossiping

gossiping 라우팅 방법[2]은 flooding의 Implosion문제를 해결하기 위해

모든 노드로 전달하고자 하는 정보를 단순히 broadcast하는 것이 아니라 임의로 선택된 노드에게만 그 정보를 전달한다. Gossiping 방법은 flooding 방법의 Implosion으로 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[3]은 flooding 방식의 단점을 보완하기 위해 정보를 교환하고자 하는 노드들 간의 협상(negotiation)과 가용한 자원 양에 따라 각 노드가 적절히 적응하는 형태(Resource-adaptation)를 이용하여 Implosion과 Resource blindness 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. ADV를 받은 노드 중 실제 그 데이터를 받기 원하는 노드는 REQ를 보내어 그에 대한 응답을 하게 되고 REQ를 받은 송신 노드는 실제 데이터를 포함하는 DATA 메시지를 보낸다.

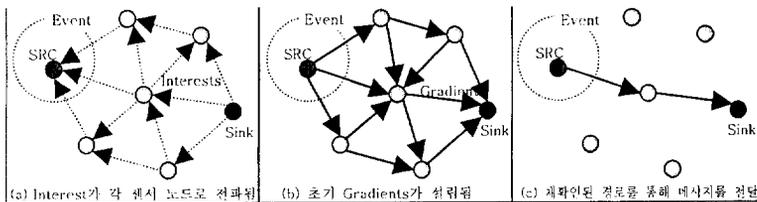


[그림 2-5] SPIN 라우팅 방법

SPIN의 장점은 단순함에 있다. 즉 각각의 노드는 한 홉 단위의 이웃만을 인지하고 자신이 필요로 하는 정보만을 수신하므로 불필요한 메시지의 송신 및 수신으로 인한 배터리 소모가 적어져 네트워크의 lifetime이 증가한다. 하지만 REQ 단계에서 여전히 Implosion문제가 존재하고 소스 노드에서 sink 노드로 데이터 전송 시 overhead가 많아지는 단점이 있다.

● Directed Diffusion

Directed Diffusion 라우팅 방법[4]은 sink 노드가 얻고자 하는 정보를 알리는 메시지를 모든 센서 노드들에게 flooding하고, 이에 부합하는 event 발생 후 센서 노드들로부터 앞서 언급된 flooding으로 인해 설정된 경로를 이용해 sink 노드로 그에 합당한 데이터를 전송하는 라우팅 방식이다. [그림 2-6] 은 Directed Diffusion 방식으로 데이터가 전송되는 절차를 보여준다.



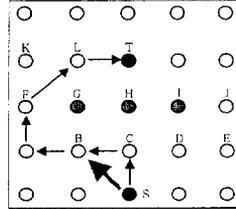
[그림 2-6] Directed Diffusion 방식의 데이터 전송 절차

Interest 메시지는 사용자가 얻고자 하는 정보를 모든 센서 노드들에게 알려주는 메시지이다. 즉 이 메시지는 각각의 센서 노드들에게 그들이 수행해야 할 과제(sensing task)에 대한 정보를 알려준다. 각각의 센서 노드들은 Interest 메시지의 정보를 그들의 cache에 저장하고, 이들 Interest 메시지가 센서 네트워크 전체로 전파되면서 소스 노드에서 sink 노드로 전송할 정보에 대한 data rate과 전송할 방향을 특징짓는 Gradients가 형성된다. Interest에 부합하는 event가 발생하면 소스 노드는 그에 부합하는

데이터를 가지게 되고, 소스 노드에서 sink 노드로 한 개 이상의 경로 중 재확인 절차를 거친 경로(Reinforced path)를 통해 실제 데이터를 전송하게 된다. Directed Diffusion 방식은 데이터 중심형(data-centric) 라우팅 방법이고 특정 용도 인식적인(Application-aware) 특징을 보인다. 따라서 동일한 event로 인한 중복된 정보를 aggregation할 수 있어 에너지 절약적이다.

- GEAR (Geographical and Energy Aware Routing)

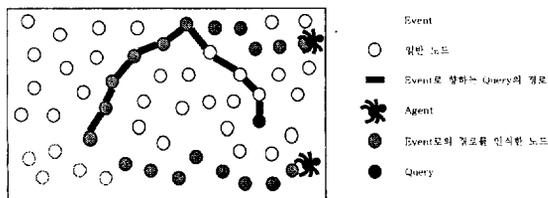
GEAR 라우팅 방법[5]은 센서 노드들이 서로간의 위치정보와 에너지 레벨을 알고 있다는 전제 하에 메시지를 전달하는 방식이다. 이때 각각의 노드는 이웃 한 노드들의 위치와 에너지 레벨을 Hello메시지를 통해 알고, 데이터를 전송하고자 하는 최종 목적지 노드와 가장 가까운 노드를 라우팅 노드로 설정하여 데이터 전송 시 에너지 소비 효율을 높인다. 이때 각각의 노드는 전송하고자 하는 지역에 대한 거리와 에너지 레벨의 조합인 Learned Cost값을 이용하여 최종 목적지까지 가장 적은 cost를 갖는 노드 쪽으로 데이터를 forwarding한다. 단순하게 순수 지리적인 라우팅 방법을 이용한다고 가정하면, 그림 8에서 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 forwarding한다. 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 cost가 적은 노드 B를 선택하여 데이터를 forwarding하고 자신의 Learned Cost를 최신헌 한다. 이후로 노드 S는 노드 T를 목적지로 하는 데이터 packet을 받게 되면 곧바로 노드 B쪽으로 데이터를 전송한다. 한편 GEAR 라우팅 방식은 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[6]은 라우팅 경로 설정을 요구하는 sink노드와 event가 발생한 센서 노드가 모두 flooding을 실시하여 교차 지점이 생길 때 라우팅 경로가 설정된다. 각각의 노드는 event table 뿐만 아니라 이웃한 노드에 대한 정보 또한 가진다. [그림2-8]에서 event를 감지한 센서 노드는, 수명이 긴(Long-lived) packet으로 모든 event에 대한 정보뿐만 아니라 라우팅 정보를 포함하는, Agent packet을 생성한다. 이 packet이 네트워크를 돌아다니면서 특정 event와 그 event의 라우팅 정보를 전달하고 일정한 홉이 지나면 자동 소멸된다. 그리고 경로 설정을 요구하는 sink는 Query를 flooding한다. 만약 어떤 노드가 Agent packet의 flooding으로 인해 특정 event로의 경로를 알고 있다면 Query는 그 event로 전달된다. 그렇지 않다면 Query는 임의의 이웃노드로 전달될 것이다. 물론 Query 또한 TTL을 가지고 있으므로 일정한 홉 이상 초과 할 수는 없다.



[그림 2-8] Rumor Routing 방법

라우팅 경로 설정을 요구하는 sink노드와 event가 발생한 센서 노드가 모두 flooding을 실시하는 이러한 라우팅 방식은 단순한 flooding에 비해 평균적으로 좀더 적은 중첩된 홉 수와 더 적은 에너지를 가지고 Query를 특정 event로 전달할 수 있다. 하지만 이러한 경로가 때때로 shortest한 경로가 아닐 수 있고, 전체 경로상의 모든 노드 중 한 노드의 실패로 인해 경로 전체를 사용할 수 없게 될 수도 있다. 한편 Rumor Routing 방법은 event가 발생한 지역의 모든 센서 노드로부터 Agent packet을 생성하기 위한 적절한 전략이 필요하다.

- SER (Stream Enabled Routing)

SER 라우팅 방법[7]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 sink 노드로 설정된 최단거리에서 떨어진 홉 수를 나타내는,  $\mu$  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-neighbor message(N-message), Update message(U-message)를 사용하여 다음과 같이 7가지 단계로 구성된다.

- ① 소스 노드 발견 단계: sink노드는 sink노드에서 소스 노드로 설정 가능한 경로를 찾기 위한 S-message를 directed diffusion등을 통해 전송
- ② 경로 선택 단계 : 소스 노드는 S-message를 받은 후 이 메시지에 설정된 sink의 요구에 적합한 QoS를 결정하고 그 stream에 합당한 type과 레벨을 N-message를 통해 이웃 노드로 전송
- ③ 경로 설립 단계 : N-message가 sink 노드에 도착한 후 가장 작은 지

연을 가지며 수행하고자 하는 task에 가장 부합되는 stream이 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 update 단계 : U-message를 통해 sink에서 소스 노드로 수행할 지시사항을 변경

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

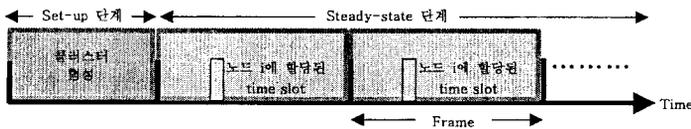
SER은 QoS를 지원하는 장점이 있는 반면 각 노드가 저장하고 처리해야 할 정보가 많을 뿐만 아니라 레벨-2 stream에서 Loop가 형성될 수 있는 단점이 있다.

## 2) Hierarchical 라우팅 방법

Flat 라우팅 방법은 그 특성상 라우팅 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 망을 보장하기 위해 모든 노드가 균일하게 배터리를 소모하는 라우팅 방법이 필요하다. Hierarchical 라우팅 방법은 이러한 문제점을 해결하기 위해 센서 노드들을 논리적인 그룹으로 묶고 각각의 그룹마다 중심 노드들 두어 이를 통해서 목적지 노드로 얻고자 하는 정보를 전달한다. 센서 네트워크의 Hierarchical 라우팅 방법에는 LEACH, TEEN, APTEEN, PEGASIS 방법이 있고, 각 방법에 대한 동작 절차는 다음과 같다.

● LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH 라우팅 방법[8]은 클러스터링에 기반한 라우팅 방법으로 주기적으로 클러스터 헤드를 선택하여 클러스터 헤드에서 sink 노드로 정보 전송 시 클러스터 헤드의 정보 전송 에너지 소모를 최소화한다. [그림2-9]의 set-up 단계에서는 클러스터 헤드가 임의로 선택되고 각각의 클러스터 헤드를 중심으로 클러스터가 형성된다. 그 이후에 각각의 클러스터 헤드는 그들의 클러스터 멤버들에게 scheduling을 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 time slot에 정보를 전송해야 하므로 갑작스러운 event 발생에 대한 데이터 전송 시 한계를 보인다.



[그림 2-9] 시간 축에서 본 LEACH의 동작 절차

Set-up 단계에서의 클러스터 헤드 선택 알고리즘은 식(1)을 이용해서 이루어진다. 각 센서 노드들은 0과 1사이의 임의의 수를 선택하고, 만약 임의의 수가 임계값  $T(n)$ 보다 작다면 그 센서 노드는 클러스터 헤드가 된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P[r \bmod(1/P)]} & , \text{if } n \in G \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-1)$$

여기서,  $P$ 는 클러스터 헤드의 선택 가능성,  $r$ 은 현재 라운드,  $G$ 는 지난  $1/P$ 라운드에서 클러스터 헤드가 아니었던 노드들의 집합을 각각 나타낸다.

● TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN 라우팅 방법[9]은 데이터 전송시간에 민감한 응용 분야에 적용하기 위해 LEACH 라우팅 방법을 개선하여 주기적인 데이터 전송으로 인한 에너지 소모를 극복하였다. 정해진 time slot에 데이터를 전송하고자 센서 노드와 송신기가 동작하는 proactive 형식의 네트워크 라우팅 방식 (LEACH)과는 달리, 지속적으로 sensing하여 그에 부합하는 event 발생시 데이터를 전송하는 reactive 형식의 라우팅 방법으로 전송할 데이터를 얻고자 주위 환경을 sensing하는 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 임계치값을 나타내며, ST는 감지된 정보 값의 작은 변화를 나타낸다. TEEN의 동작 절차는 다음과 같다. 센서노드가 감시하고자 하는 주위를 sensing 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 차이가 ST보다 같거나 클 때

한편 TEEN 방법은 감지한 정보 값이 임계치값에 이르지 못하면 모든 센서 노드들이 서로 통신을 하지 않아서, 사용자는 네트워크로부터 어떠한 정보도 얻을 수 없다. 심지어 노드가 정상 작동하는지조차도 알 수

없게 된다. 따라서 이 방식은 정기적으로 정보를 얻고자 하는 사용자에게는 부적절하다.

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

APTEEN 라우팅 방법[10]은 proactive 형식의 네트워크 라우팅 방식(LEACH)과 reactive 형식의 라우팅 방법(TEEN)이 혼합된 형태의 라우팅 방법으로 각 센서 노드의 에너지 소비와 전체 네트워크 수명에서 TEEN 방법과 LEACH 방법의 중간성능을 보인다. 일단 클러스터 헤드가 선택되면 CH는 다음의 파라미터를 클러스터 멤버들에게 전송한다.

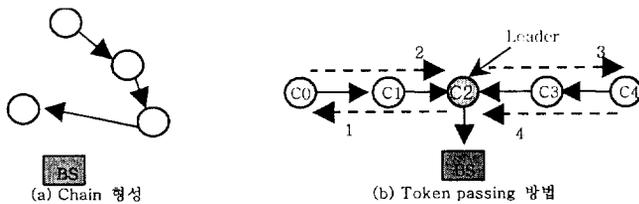
- Attributes(A) : 사용자가 얻고자 하는 물리적인 파라미터
- Thresholds : hard threshold(HT)와 soft threshold(ST)
- Schedule : LEACH 방법에서 사용되는 TDMA schedule과 같이 각각의 센서 노드에 time slot을 할당
- Count Time(TC) : 임의의 한 노드에서 클러스터 헤드쪽으로 전송되는 연속적인 정보의 최대 시간 주기

APTEEN은 Count Time과 Threshold 값을 적절히 조절하여 각 센서 노드의 에너지 소비를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 proactive 또는 reactive 형식의 네트워크를 구현할 수 있다. 따라서 APTEEN 방법은 시간 중요도에 민감한 장점을 지닌 TEEN 방식 및 각 센서 노드가 균등한 에너지 소비를 수행하는 LEACH 방법과 비교하면 네트워크의 센서 노드 생존률 및 평균 에너지 소비 면에서 두 가지 라우팅 방식의 중간성능을 보인다. 그러나 Threshold 기능과 Count Time을 구현하기가 복잡하다는 단점을 지닌다.

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

PEGASIS 라우팅 방법[11]은 LEACH 방법을 개선한 Chain 기반의 라우

팅 방식으로 센서 노드 사이에 총 길이가 최소인 Chain을 형성하고 이 Chain을 이용하여 각 센서 노드의 데이터를 Leader에 모아 BS(Base station)로 정보를 전송한다. 여기서 Leader는 토큰 패싱(token passing) 방법으로 전체 네트워크의 정보를 모아서 BS로 그 정보를 보내는 노드이고 Chain 위에서 랜덤하게 선택된다. [그림 2-10]에서 Chain 형성 시 greedy algorithm 방법을 이용하여 BS에서 가장 먼 노드로부터 가까운 이웃 노드와 chain을 연결한다. Chain 형성 후 Leader는 토큰 패싱 방법으로 데이터를 수집한다. 노드 C2는 Leader이고, Leader는 Chain을 따라 노드 C0로 토큰을 전달한다. 토큰을 받은 노드 C0가 자신의 데이터를 노드 C1으로 보내게 되면, 노드 C1은 자신의 데이터와 노드 C0의 데이터를 합쳐 C2로 전송한다. 또다시 C2가 토큰을 C4로 전송하면 같은 방식으로 모든 센서 노드의 데이터가 C2로 모이게 된다. 그리고 Leader는 이웃노드로부터 모인 데이터를 BS로 전송한다.



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

PEGASIS 방법은 LEACH 방법의 유동적인 클러스터 형성 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 Flat 라우팅 방식

과 Hierarchical 라우팅 방식으로 나누어 각각에 대해 살펴보았다. 위에서 분석된 두 라우팅 방식을 특정 파라미터 별로 비교하면 [표2-2]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        | Cluster Head              | 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                | Traffic patterns에 의존함        |
| 채널 할당의 적정함 (fairness) | 보장됨                       | 보장되지 않음                      |

## 나. 데이터 Aggregation 방법

데이터 aggregation 방법은 소스 노드의 정보를 sink 노드로 라우팅 시 여러 센서 노드로부터 나오는 데이터의 결합을 의미한다. 즉 라우팅을 수행하는 노드에서 속성이 같은 여러 메시지를 하나의 메시지로 전송하여 데이터 중복(Impllosion 및 Overlap)을 막는 기술이다. 네트워크의 소스 노드의 위치, 소스 노드의 개수, 그리고 통신 네트워크의 토폴로지 등은 이러한 데이터 aggregation 기술에 영향을 미치는 주요 요소이고, 이들 요소들을 기반으로 데이터 aggregation 방법을 연구하기 위해서는 event 발생시 소스 노드의 위치를 나타내는 두 가지 모델을 살펴보아야 한다.

ER(Event-Radius) 모델은 위치 추적과 같은 응용분야에 이용되는 방식으로 네트워크 field 에 event 가 하나의 점으로 나타나고, 이 점을 중심으로 반경 S 내의 모든 센서 노드가 소스 노드가 된다.

RS(Random-Sources) 모델은 온도 측정과 같은 응용분야에 이용되는 방식으로 sink 노드를 제외한 네트워크 field 의 모든 센서 노드 중에서 일정 개수의 소스 노드가 랜덤하게 선택되는 모델이다. 이 두 가지 모델을 고려하여 현재 데이터 aggregation 분야에 기술연구가 수행되고 있다.

일반적으로 데이터 aggregation 에서 추구하는 내용은 전송되는 메시지의 수를 최소화하는 방향으로 연구가 되고 있는 반면에 데이터 중복을 피해 aggregation 을 수행하기 위해서 같은 데이터가 다른 노드로부터 도달할 때까지 시간 지연이 발생하는 단점을 고려하지 않는 문제점이 있다.

### 1) Optimal 데이터 aggregation 방법[12]

데이터 aggregation 은 Multicast Tree 의 역으로 생각할 수 있다. 즉 하나의 소스가 여러 개의 수신측으로 정보를 전송하는 경우 대신 여러 개의 소스노드가 다같이 하나의 수신측으로 정보를 전송하는 경우라고 생각하면 된다. 이때 최소한의 edge 를 가지는 Multicast Tree 의 구성은 NP-Hard 문제이다.

### 2) SUB-Optimal 데이터 aggregation 방법

- CNS (Center at Nearest Source)

CNS 방식은 sink 노드에서 가장 가까이 있는 소스 노드가 Data aggregation 지점이 된다[13]. 즉 모든 소스 노드가 자신들의 정보를 직접 이 소스 노드로 전달하고 이 노드는 다른 소스로부터 받은 정보를 aggregation 하여 sink 노드로 전달한다. 이러한 aggregation 방식은 소스 노드가 군집 되어 있을 때는 좋은 성능을 나타내지만, 그렇지 않을 경우 다른 소스들이 많은 전력을 소비하게 된다.

- SPT(Short Path Tree)

SPT 방법은 각각의 소스 노드가 sink 노드로 향하는 최단거리를 따라 정보를 전송하고, 이때 이들 전송 경로가 중첩되는 지점에서 데이터 aggregation 이 수행된다. 이 경우 데이터 전송경로의 중첩이 많아야 좋은 성능을 나타낸다.

- GIT (Greedy Incremental Tree)

GIT 방법[13]은 순차적으로 aggregation tree 를 형성한다. 우선 첫번째 단계로 sink 노드의 가장 가까운 소스 노드와 sink 노드사이에 최소 경로의 Tree 가 형성된다.

다음 단계부터 현재의 tree 에 가장 가까운 소스 노드를 그 tree 에 연결하여 aggregation tree 를 순차적으로 생성한다.

이때 동일한 데이터가 다른 소스로부터 도달할 때까지 데이터 aggregation 수행을 위한 지연시간이 발생하여 라우팅 측면의 문제를 야기한다.

위에서 분석된 데이터 aggregation 방법의 특징 및 단점을 비교하면 [표 2-3]과 같다.

[표 2-3] 데이터 aggregation 방법의 비교

| Data aggregation                |                     | 특성  | 단점  |
|---------------------------------|---------------------|---|---|
| Optimal Data aggregation 방법     | Minium Steiner Tree | 최소 Edges 수를 가지는 Multicast Tree를 구성하여 aggregation  | 최적의 Data aggregation 방법은 NP-Hard                                    |
| Sub-Optimal Data aggregation 방법 | CNS                 | Sink와 가장 가까이 있는 소스를 aggregation point로 두고 모든 소스들이 이 소스로 data를 직접적으로 전송하여 aggregation 한 후 sink까지 data를 전송      | aggregation point와 소스들간의 간격이 클수록 에너지 소모가 많음                         |
|                                 | SPT                 | 각 소스는 Sink까지 최소 경로를 따라 정보를 전송하며, 다른 소스와 중첩되는 Path에 의해 aggregation Tree를 형성하여 결합                               | 각 소스에서 싱크까지의 최소 경로 설정시 중첩되는 경로가 적을수록 에너지 소모가 많음                     |
|                                 | GIT                 | 처음단계에서 sink와 가장 가까운 소스간에 최소경로의 tree를 구성하고, 다음 단계부터 현재의 tree에 가장 가까운 소스를 tree에 연결하여 aggregation tree를 순차적으로 생성 | 같은 데이터가 다른 소스로부터도달할 때까지의 aggregation 수행을 위한 지연시간이 발생하며 라우팅 측면 고려 미흡 |

### Ⅲ. DAUCH-L 알고리즘 제안

#### 1. DAUCH 알고리즘

DAUCH는 Ad-hoc 네트워크의 다중경로 설정을 가능하게 하는 TORA 안에 DAG를 LEACH의 클러스터 생성 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. 그결과 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 중간의 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.

## 2. DAUCH 와 LEACH 알고리즘

본 논문에서는 무선하드웨어 에너지 소모를 위한 간단한 모델[14]을 가정한다. 이 모델에서는 송신측은 무선전자( $E_{Tx-elec}$ )와 전력증폭기( $E_{TX-amp}$ )를 운용하기 위한 에너지를 소모하며, 수신측은 무선전자( $E_{Tx-elec}$ )를 운용하기 위한 에너지를 소모한다. 그리고 송신측과 수신측 사이의 거리에 의존하는 자유공간( $d^2$  power loss)과 Multipath 페이딩( $d^4$  power loss) 채널 모델을 사용한다.

만약 송신측과 수신측 사이의 거리가 임계치( $d_t$ )보다 짧다면, 자유공간(fs) 모델이 사용되어질 것이고, 그렇지 않다면 Multipath(mp) 페이딩 모델이 사용되어진다. 임계치( $d_t$ )는 자유공간과 Multipath 모델[15]을 위한 Cross-over 거리이다. 그러므로, 송신측의 무선 에너지 소비는 다음과 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) = \begin{cases} E_{elec} \times k + \varepsilon_{fs} \times k \times d^2, & d < d_t \\ E_{elec} \times k + \varepsilon_{mp} \times k \times d^4, & d \geq d_t \end{cases} \quad (3-1)$$

그리고, 수신측의 무선 에너지 소비는 다음과 같다.

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k) = E_{elec} \times k \quad (3-2)$$

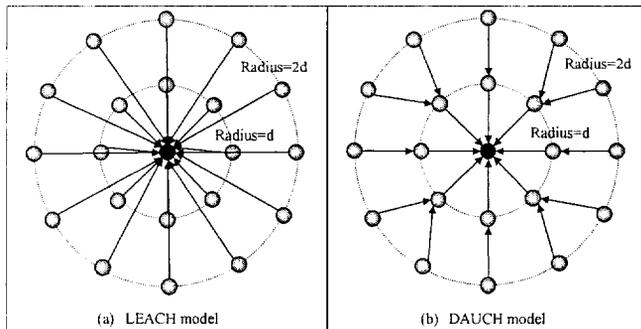
여기서  $E_{elec}$ 은 전자 에너지이며,  $d$ 는 송신측으로부터 수신측까지의 거리이고,  $k$ 는 하나의  $k$ -bit 메시지를 나타낸다.

LEACH와 DAUCH의 다른 전파에너지 소모를 분석하기 위해, 식(3-1)과 식(3-2)를 데이터 송.수신용 전파에너지 소모모델에 적용한다.

[그림 3-1]에서 LEACH와 DAUCH의 데이터 전송모델을 비교해서 도시했다. 내부원과 외부원들은 각각의 클러스터 멤버와 하나의 클러스터 헤

드 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  $d_{ioBS}$ 라고 한다.

[그림 3-1]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 3-1] LEACH와 DAUCH의 데이터 전송모델 비교

[그림3-1]을 사용하면, LEACH에서의 노드들의 에너지 소모를 계산할 수 있다.

외부원의 노드들의 에너지 소모는,

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

내부원의 노드들의 에너지 소모는,

$$8[kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2] \quad (3-4)$$

클러스터 헤드 노드의 에너지 소모는,

$$21[kE_{elec} + kE_{DA}] + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-5)$$

전체 노드들의 총 에너지 소모는 다음과 같다.

$$41kE_{elec} + 56k\epsilon_{fs}d^2 + 21kE_{DA} + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-6)$$

여기서,  $E_{DA}$ 는 데이터 통합을 위한 에너지이다.

[그림3-1]의 (b)를 이용해서, DAUCH에서의 노드들의 에너지 소모를 계산할 수 있다.

외부 노드들의 에너지 소모는,

$$12[kE_{elec} + k\epsilon_{fs}d^2] \quad (3-7)$$

내부 노드들의 에너지 소모는,

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

클러스터 헤드 노드의 에너지 소모는,

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

전체 노드들의 총 에너지 소모는 다음과 같다.

$$41kE_{elec} + 20k\epsilon_{fs}d^2 + 29kE_{DA} + k\epsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (3-10)$$

식(3-6)과 식(3-10)을 비교해보면, DAUCH의 총에너지 소모가 LEACH보다 더 적은데, 그 이유는 데이터를 집중의 총 파워 소모가 데이터 송신과 수신에 에너지보다 훨씬 더 적기 때문이다.

그리고 식(3-4), 식(3-5), 식(3-8), 식(3-9)를 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. DAUCH-L

DAUCH의 연산은 몇몇 라운드들로 분리되어지며 논리적으로 다섯단계로 이루어져 있다 [16]. 그 중에서 클러스터 헤드 선택 단계에서는 LEACH의 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 사용해서 동작한다.

본 논문에서는 개선된 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 제시한다. DAUCH-L은  $r$  라운드를 시작할 때 노드의 잔여 에너지 레벨  $E_{residual}(r)$ 에 기반해서 클러스터 헤드를 선택한다.  $E_{residual}(r)$ 은 아래와 같이 설정된다.

$$E_{residual}(r) = \frac{E_{current}(r)}{E_{init}} \quad (3-11)$$

여기서  $r$ 은 현재 라운드이며,  $E_{init}$ 은 노드의 초기 에너지이고  $E_{current}(r)$ 은  $r$  라운드 시작시의 노드의 현재 에너지이다.

클러스터 헤드 선택 과정은 [그림 3-2]와 같다. 우선 각 노드는 다음과 같이 라운드  $r$ 에서의 제한값  $L(r)$ 을 아래와 같이 설정한다.

$$L(r) = \frac{L_{init}}{\{(r \times P) + 1\}} \left\{ 1 - (r_c \operatorname{div} \frac{1}{P}) \right\} \quad (3-12)$$

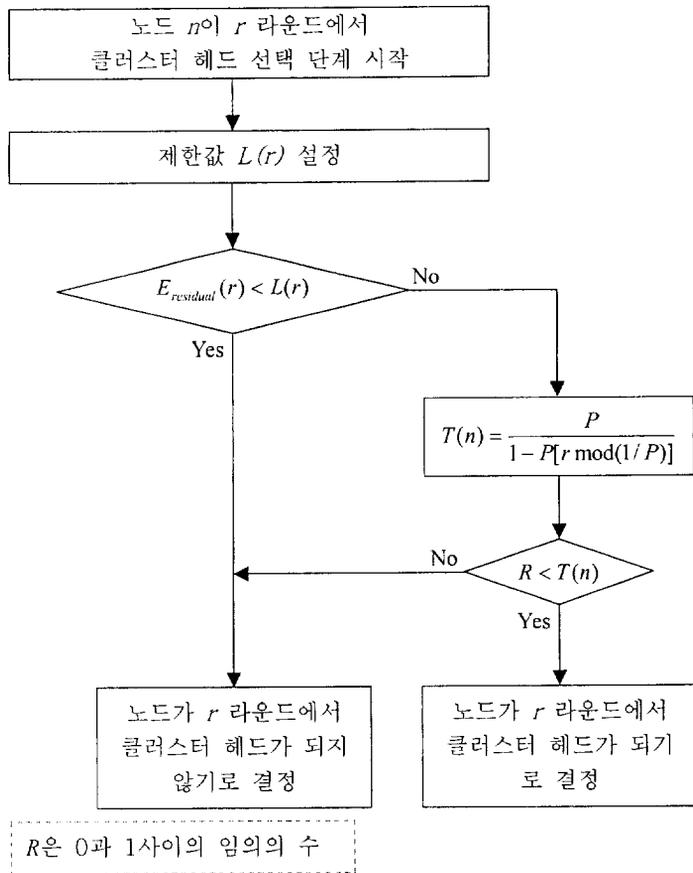
여기서  $P$ 는 클러스터 헤드의 선택 가능성,  $r$ 은 현재 라운드,  $L_{init}$ 은 초기 제한값이며,  $r_c$ 는 클러스터 헤드로 선택되지 않은 연속적인 라운드 수를

각각 나타낸다. 라운드 0 ( $r=0$ )에서 각각의 노드는 제한값으로써  $L_{init}$ 의 값을 가진다.

라운드  $r$ 에서 노드의  $E_{current}(r)$ 이  $L(r)$ 보다 작으면 그 노드는 클러스터 헤드가 될 수 없다. 그렇지 않다면 그 노드는 현재 라운드에서 클러스터 헤드로 선택될 것인지를 식(2-1)을 이용해서 결정한다. 만약  $L_{init}$ 을 0으로 설정하면 노드들은 클러스터 헤드 선택이  $L(r)$ 에 의해 제한받지 않기 때문에 DAUCH-L이 DAUCH와 똑같이 동작한다.

$r_c$ 가  $1/P$ 이 되었을 때  $L(r)$ 은 0으로 리셋된다. 이는 지난  $1/P$  라운드동안 클러스터 헤드로 선택되지 않았었던 노드는  $L(r)$ 이 0으로 리셋되었기 때문에  $L(r)$ 에 의해 클러스터 헤드 선택에 제한받지 않는다는 것을 의미한다. 즉, 오랫동안 클러스터 헤드가 되지 않은 노드들은 클러스터 헤드 선택에 있어서 노드의 잔여 에너지레벨에 의한 제한을 없애준다. 이는 여러 라운드 수행 후에 망에 노드들이 있음에도 불구하고 남아있는 노드들이  $L(r)$ 보다 매우 작은 잔여 에너지 레벨을 가져서 망에 클러스터 헤드가 존재하지 않는 경우를 없앨 수 있다.

LEACH나 DAUCH에서는 클러스터 헤드 노드가 에너지가 고갈되어서 데이터 전송 단계에서 클러스터 헤드의 역할을 다하지 못하는 경우가 많이 생길 수 있다. 그렇게 되면 해당 클러스터에 속한 클러스터 멤버 노드들은 클러스터 헤드의 역할을 수행할 수 없는 노드로 의미 없는 전송을 하게 되고 BS는 에너지가 고갈된 클러스터 헤드로부터 정보를 얻을 수 없게 된다. 이는 무의미한 에너지 소모를 가져오며, 데이터의 손실도 생기게 한다. DAUCH-L은 클러스터 헤드 선택시에 노드의 잔여 에너지레벨을 고려함으로써 위와 같은 경우를 줄일 수 있다. 따라서, DAUCH-L은 DAUCH보다 에너지 효율성이 좋다.



[그림 3-2] DAUCH-L의 클러스터 헤드 선택 단계의 흐름도

## IV. 성능분석

### 1. 성능 분석 환경

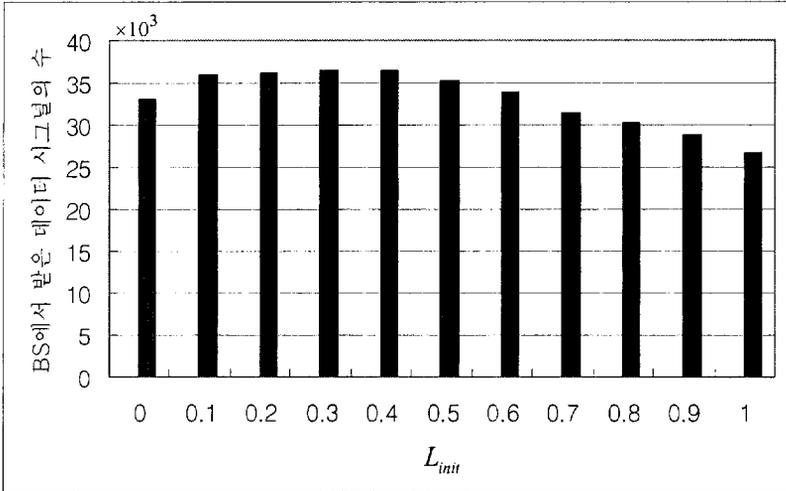
본 장에서는 시뮬레이션을 통해서 제안된 스킴의 성능을 분석했다. 시뮬레이션을 위한 망의 구성은 100개의 노드가 무작위로  $100 \times 100$  미터 영역에 흩어져 있다고 가정한다. BS는 (50, 175)의 위치에 있다. 각 노드는 시뮬레이션의 시작 시점에 2J(Joule)의 에너지 총량을 가지는 에너지 원이 장착되어져 있다. 모든 노드는 500바이트 크기의 메시지를 전송한다. 그리고 클러스터 헤드 선택 가능성  $P$ 는 0.05로 설정하고, 각 라운드는 20초 동안 지속된다. 통신 에너지 파라미터들과 데이터 통합을 위한 에너지는 [17]에서와 같이 설정한다

### 2. 에너지의 효율성

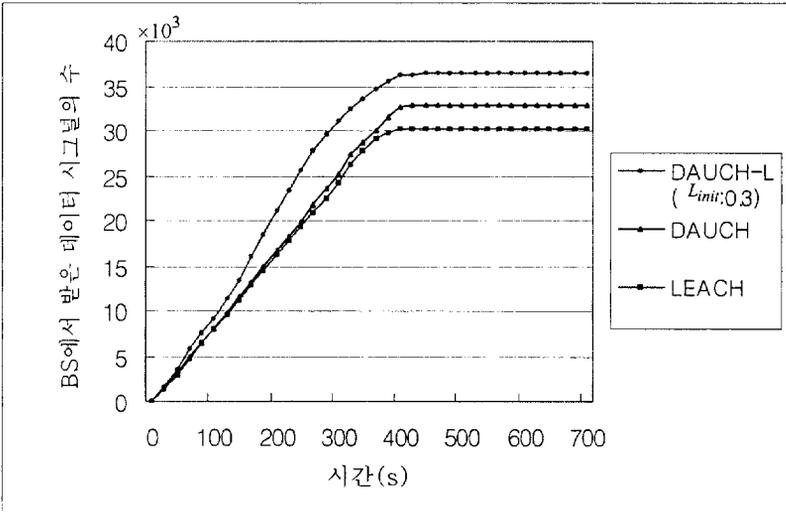
[그림 4-1]에서 보여지는 것처럼 DAUCH-L에 있는 BS에서 받은 데이터 시그널 수가  $L_{init}$ 이 0.3일 때까지 점차적으로 증가하다가, 그 이후로는 감소한다. 이것은  $L_{init}$ 이 0.3일 때 DAUCH-L이 가장 효율적인 에너지 소모를 한다는것을 의미한다. 게다가  $L_{init}$ 이 0.1에서 0.6사이의 값을 가지는 DAUCH-L이 시뮬레이션 시간동안 DAUCH보다 더 많은 데이터를 보낸다는 것을 알 수 있다.

[그림 4-2]는 DAUCH-L을 시간에 대한 BS에서 받은 데이터 시그널 수의 측면에서 DAUCH와 LEACH에 대해서 비교해 놓았다. DAUCH-L은 BS가 받은 데이터 시그널 수에 대해서 LEACH와 비교해서 대략 21% 향상되었고, DAUCH와 비교해서 대략 11%정도 향상되었다. 이는, DAUCH-L이 클러스터 헤드가 자신의 역할 수행중에 에너지가 고갈되는 경우를 줄임으로써 DAUCH-L이 더 에너지 효율적인 라우팅 방법이라는 것을 의

미한다.



[그림 4-1]  $L_{init}$  에 대한 BS에서 받은 데이터 시그널 수의 분석



[그림 4-2] 시간에 대한 BS에서 받은 데이터 시그널 수의 분석

## V. 결 론

본 논문에서는 노드의 잔여 에너지 레벨에 기반해서 클러스터 헤드의 선택을 제한하도록 DAUCH의 클러스터 헤드 선택 단계를 수정한 DAUCH-L을 제안한다. 제안된 알고리즘은 클러스터 헤드가 자신의 역할을 수행 중 자신의 에너지가 고갈되는 경우를 줄임으로써 DAUCH보다 좋은 성능을 가진다. 시뮬레이션 결과에 따르면, DAUCH-L은 BS에서 받은 데이터 시그널 수에 대해서 LEACH와 DAUCH보다 개선되었다. 그러므로 본 논문에서 제안한 라우팅방법은 LEACH와 DAUCH보다 더 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 수행함으로써, 온도 측정이나 환경 오염 감지와 같이 주기적인 데이터 수집이 필요한 응용분야에서 유용하게 쓰일 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] 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.
- [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, Apr. 1999.
- [3] W. R. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Mobicom '99 Seattle Washington USA, 1999
- [4] 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
- [5] 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
- [6] D. Braginsky and D. estrin, "Rumor Routing algorithm For Sensor Networks," WSNA, September 28, 2002, Atlanta, Georgia, pp.22-31
- [7] W.Su and I. Akyildiz, "A Stream Enabled Routing(SER) Protocol for Sensor Network," Med-hoc-Net 2002, Sardegna, Italy, September 2002
- [8] 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

- [9] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, “TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks,” in 1st IPDPS IEEE, Apr. 2001
- [10] 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
- [11] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, “PEGASIS: Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems,” in Proc. IEEEAC, Mar. 2002
- [12] K. Makki, and N. Pissinou, “The Steiner tree problem with minimum number of vertices in graphs,” VLSI, 1992., Proceedings of the Second Great Lakes Symposium on , 28-29 Feb. 1992, Page(s): 204 –206
- [13] Bhaskar Krishnamachari, Deborah Estrin, and Stephen Wicker, “ Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks,” IEEE INFOCOM 2002
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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

- [17] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," UCLA Comp. Sci. Dept. tech. Rep., UCLA-CSD TR-010023, May. 2001.
- [18] 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