

# 체인기반 프로토콜에서 노드의 거리에 따른 예비 헤드노드 선출 방법

김현덕<sup>†</sup>, 최원익<sup>\*\*</sup>

## 요 약

Chain-based protocol 방법 중의 하나인 PEGASIS는 모든 노드들의 공평한 에너지 소모를 유도 할 수 있지만 BS(Base station)로부터 멀리 떨어진 노드들 중에서 HEAD가 선택될 경우에는 데이터 전송 시에 심각한 에너지 소모와 불필요한 노드들 간의 데이터 이동이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 PEGASIS의 greedy 알고리즘을 응용하고, BS를 기준으로 주변 node들과의 거리를 비교하여 에너지 소모를 줄일 수 있는 프로토콜인 DERP(Distance-based Energy efficient routing protocol)을 제안한다. DERP의 기법은 예비헤드(P-HD)노드를 선택하여 보다 효율적인 클러스터 구조를 생성할 수 있는 방법이다. 아울러 더 큰 센서 필드에서의 확장을 위해서 PEGASIS와 제안방법에서 기본이 되는 single-hop 기반의 통신을 HEAD와 BS와의 거리에 따른 relay 노드를 선택함으로써 multi-hop 기반의 통신으로 변환하여 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법을 추가하였다. DERP의 시뮬레이션 결과 값으로 에너지 효율은 기존의 PEGASIS방법에 비해 최고 80%정도까지의 에너지 효율이 있는 것으로 나타났으며, 데이터 전송 지연 역시 감소하는 것으로 확인 되었다.

## Pre-cluster HEAD Selection Scheme based on Node Distance in Chain-Based Protocol

Hyunduk Kim<sup>†</sup>, Wonik Choi<sup>\*\*</sup>

## ABSTRACT

PEGASIS, a chain-based protocol, forms chains from sensor nodes so that each node transmits and receives from a neighbor. In this way, only one node (known as a HEAD) is selected from that chain to transmit to the sink. Although PEGASIS is able to balance the workload among all of the nodes by selecting the HEAD node in turn, a considerable amount of energy may be wasted when nodes which are far away from sink node act as the HEAD. In this study, DERP (Distance-based Energy-efficient Routing Protocol) is proposed to address this problem. DERP is a chain-based protocol that improves the greedy algorithm in PEGASIS by taking into account the distance from the HEAD to the sink node. The main idea of DERP is to adopt a pre-HEAD (P-HD) to distribute the energy load evenly among sensor nodes. In addition, to scale DERP to a large network, it can be extended to a multi-hop clustering protocol by selecting a "relay node" according to the distance between the P-HD and SINK. Analysis and simulation studies of DERP show that it consumes up to 80% less energy, and has less of a transmission delay compared to PEGASIS.

**Key words:** PEGASIS(PEGASIS), Sensor network(센서네트워크), DERP(DERP), P-HD(예비노드)

※ 교신저자(Corresponding Author): 최원익, 주소: 인천광역시 남구 용현동(402-751), 전화: 032)860-8375, FAX: 032)873-8970, E-mail: wichoi@inha.ac.kr

접수일: 2009년 2월 16일, 수정일: 2009년 4월 10일

완료일: 2009년 6월 5일

<sup>†</sup> 준회원, 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학

(E-mail: force80@naver.com)

<sup>\*\*</sup> 인하대학교 정보통신공학부 조교수

※ 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구 조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-521-D00398)

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 기존의 우리가 살고 있는 공간에 센서들을 장착해 조금 더 빠른 자료획득과 사람이 실제로 갈 수 없는 공간에 센서들을 투입해 그곳의 상황을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 특징을 가지고 있다. 그래서 현재 무선 센서 네트워크는 많은 분야에서 다양한 형태로 발달, 연구 되고 있다.

무선센서 네트워크에서 가장 큰 문제점은 첫 번째로 센서 노드들은 한번 전력을 공급 받게 되면 전력의 재공급이 원활하지 않기 때문에 저 전력으로 개발되어야 한다. 두 번째로 위급 상황 시 정확한 데이터의 전달을 위해 신뢰성이 높아야 한다는 특징이 있다. 그리고 마지막으로 센서 네트워크는 많은 양의 센서들은 소모성으로 제작을 해야 하기 때문에 저가의 생산 단가를 필요로 한다. 그러나 이러한 세 가지 모두의 문제점에 대해서 동시에 만족하기는 현실적으로 힘든 점이 많다.

이러한 문제를 해결하기 위해 각 계층(layer)별로 많은 연구가 진행 중 이다. 가장 활발히 연구가 진행되는 것인 주로 MAC Protocol과 Network Protocol로 MAC Protocol에서는 S-MAC[1], B-MAC[2], X-MAC[3]등이 제안되었으며 다른 하나인 Network Protocol에서는 크게 평면적 구성과 계층적 구성으로 나눌 수 있으며, 평면적 구성의 Directed Diffusion[4], SPIN[5]등과 계층적 구성의 LEACH[6], LEACH-C[7], PEGASIS[8], TEEN[9], APTEEN[10]등이 제안되었고, 이러한 평면적과 계층적 구조에 상관없이 각각의 위치정보를 포함하여 네트워크를 구성할 수 있는 GEAR[11]과 GPSR[12]등이 제안되었다.

센서 네트워크 환경은 대부분 수많은 노드들로 구성된다. 여기서 평면적 구성의 단점은 데이터를 BS(Base Station)로 전달하기 위해 주변 노드들과 BS까지의 경로 노드들에 대한 데이터 전달이 이루어져야 하므로 각각의 경로에 대한 각각 노드들의 에너지 소모가 이루어지고 네트워크의 구조가 커질수록 각각의 노드들이 데이터 전달시 충돌이 일어날 확률도 커져 재전송에 따른 에너지 소모량도 커질 수 있다. 이러한 에너지 소모를 방지하기 위해 제안된 기법이 클러스터링 기법이다.

클러스터링 기법이란 그림 1처럼 센서네트워크에서 몇 개의 클러스터 HEAD로 선택된 노드가 주변의

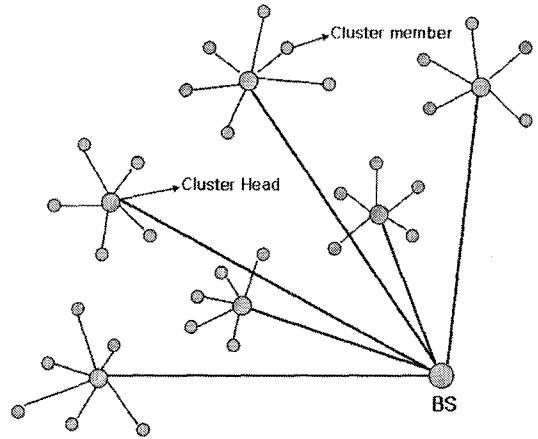


그림 1. 클러스터 구조

클러스터 HEAD로 동작을 해 주변 센서들로부터 자료를 받아 센서 네트워크의 BS로 자료를 보내는 기법이다. 이러한 클러스터 구조 내에서도 single-hop과 multi-hop으로 나누어지며, single-hop의 경우 HEAD노드와 BS가 직접 통신을 할 수 있는 경우이고 multi-hop의 경우 HEAD노드가 다른 HEAD노드 등을 거쳐서 BS와 통신을 하는 경우이다. 모든 노드들의 거리와 BS와의 거리가 가까울 경우 보통 single-hop을 사용하게 되고 BS와 일반노드들 사이의 거리가 멀 경우 single-hop을 사용하게 되면 에너지 소모가 극심하게 되므로 multi-hop으로 에너지 효율적인 라우팅을 시행하게 된다[13-16].

그러나 이러한 모든 클러스터링 기법의 네트워크 구조에는 클러스터 HEAD의 에너지 소모가 극심하다는 단점이 있고 PEGASIS와 같은 프로토콜에서는 각각의 센서 노드들이 매 round마다 클러스터 HEAD역할을 맡게 되어 효율적인 에너지 분배가 이루어질 수 있으나 BS로부터 매우 멀리 떨어져 있는 노드가 HEAD노드로 선출시 각각의 노드들은 필요 이상의 데이터를 전달하게 되고, 또한 HEAD노드부터 BS까지의 데이터 전달시 극심한 에너지 소모가 이루어진다.

이것을 보완하기 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 그러나 대부분의 Chain-based Protocol의 연구가 방향성을 기반으로 BS위치가 센서 노드군의 밖에 있는 상황만을 고려하고 있다[17-18]. 또한 WSTMN(wireless sensor transportation monitoring networks)의 특성에 맞게 제작되어진 CBDGP[19]는

BS의 위치를 고려하지 않은 상황에서 연구가 진행되어 졌지만 실제 GPS의 정보 없이 그룹을 형성 시 불균형한 그룹이 형성되어 데이터 전송 시 에너지 낭비가 있을 수 있고 CBDGP역시 BS위치가 노드군의 밖에 위치해 있을 경우 에너지 효율이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 GPS의 정보 없이 BS의 위치를 고려하지 않아도 에너지 효율적인 체인형성을 할 수 있는 Chain-based Protocol인 DERP(Distance-based Energy efficient Routing Protocol) 방법을 제시한다.

DERP는 PEGASIS의 greedy알고리즘을 이용 체인을 구성 후 거리를 기반으로 예비헤드(P-HD)노드를 정하게 되는 방법과 기존의 LEACH와 PEGASIS에서 정의된 single-hop기반의 통신을 확장성이 높고 에너지 효율을 가질 수 있는 multi-hop기반의 통신으로 바꿀 수 있는 방법으로 나누어지게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에 LEACH, PEGASIS등과 같은 관련연구에 대해 소개를 하고 3장에서 본 논문에서 제안하는 기법을 소개하고 4장에서는 제안한 기법의 성능분석을 하고 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련연구

### 2.1 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는 무선 센서네트워크에서 대표적인 클러스터링 방법으로 클러스터가 수시로 변화를 하게 되는 방식이다. 클러스터방식의 단점은 클러스터 HEAD가 다른 노드들의 비해서 많은 에너지 소모가 있다. 그래서 LEACH에서는 네트워크 내의 모든 센서들의 동일한 에너지 소비를 위하여 라운드(round) 방식을 택해 각 센서들의 균일한 에너지 소비를 유도하고 있다. round는 크게 두 가지 단계로 이루어지는데 첫 번째 단계는 클러스터가 구성되어 지는 set-up phase부분과 데이터의 전달이 이루어지는 steady phase부분으로 나누어진다.

set-up phase에서 센서 노드들은 0과 1사이 임의의 수를 각각 선택하고 t번째에 센서 노드가 임의로 선택한 수가 임계값  $P_i(t)$  보다 작으면 그 센서는 클러스터 HEAD로 선정된다. 이때 센서 노드의 임계값

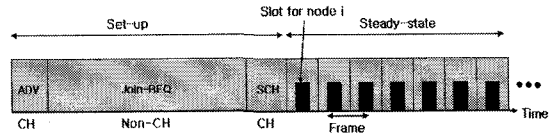


그림 2. LEACH의 라운드 구성

$P_i(t)$ 는 수식 (1)으로 결정된다. (노드 i가 클러스터 HEAD였다면  $C_i(t)=0$ , 클러스터 HEAD가 아니었다면  $C_i(t)=1$  이다.)

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (\frac{r \bmod N}{k})}, & \alpha(t) = 1 \\ 0, & \alpha(t) = 0 \end{cases}$$

수식 (1) LEACH의 클러스터 HEAD 선택 공식

수식 (1)에서 N은 네트워크 전체의 노드 수 k는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 HEAD의 비율, r은 현재 라운드이다. 이때  $N - k * r$ 은 첫 번 r라운드 동안 클러스터 HEAD가 되지 않은 노드의 수이다. 이 공식으로 선택된 HEAD노드는 각각의 노드에게 CSMA(Carrier sense multiple access)을 이용하여 노드들에게 자신의 HEAD노드 선출 사실을 알려주며 멤버 등록을 요청하고 이를 수신한 노드들은 자신에게 가장 먼저 메시지를 보낸 HEAD노드에게 멤버 등록을 하게 된다. HEAD노드는 자신에게 등록된 멤버 노드들의 수만큼 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄을 설정해 각 멤버들에게 알려주게 된다.

steady phase 부분은 여러 개의 프레임으로 구성되며 각각의 프레임은 클러스터 소스가 센싱한 데이터를 클러스터 HEAD에게 데이터를 보내는 과정이다. 프레임 내에서 센서들은 정해져 있는 TDMA 스케줄에 따라서 HEAD에게 데이터를 전달하고 HEAD노드에게 데이터를 전달하지 않는 노드들은 휴식상태를 취하며 에너지 효율을 높게 되며, 멤버 노드들에게 데이터를 전달 받은 HEAD 노드들은 CDMA(Code Division Multiple Access) 을 통하여 BS에게 데이터를 전달하게 된다. 이러한 LEACH기법의 단점은 랜덤하게 선택되어지는 HEAD노드인하여 그림 3과 같이 불균형한 클러스터 구조를 형성할 수 있으며 또한 HEAD노드에 등록 되지 않는 노드들도 나타날 수 있다

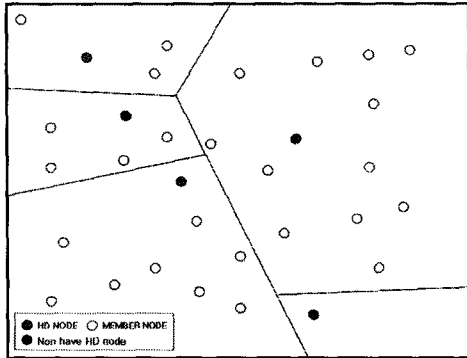


그림 3. LEACH의 클러스터 구조

### 2.2 LEACH-C (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized)

LEACH는 노드 스스로 클러스터 HEAD를 선출하고 클러스터를 구성하게 된다. 그러나 수직적인 랜덤하게 클러스터 HEAD를 선택하게 되면 각각 센서들의 최대한의 에너지 효율을 얻어내기 힘들기 때문에 이에 대한 많은 연구가 진행되었다[20-22]. 이러한 연구 중의 하나인 LEACH-C는 BS가 직접 각각의 센서들의 에너지 보유량과 위치를 고려하여 클러스터 HEAD를 결정하게 되는 방법이다. LEACH-C는 각 라운드의 시작부분에 각각의 센서들은 자신의 에너지 보유량과 위치정보를 BS에게 전달한다. 이러한 정보들을 바탕으로 BS는 직접 클러스터 HEAD를 선출하고 그림 4와 같이 균형 잡힌 클러스터 구조를 형성하여 네트워크의 수명을 최적화 시킨다. LEACH-C는 set-up phase 부분의 클러스터 HEAD선출 기법만 다르고 다른 부분은 LEACH와 동일하게 동작하게 된다. 그러나 LEACH-C의 경우 각각의 BS가 각각의

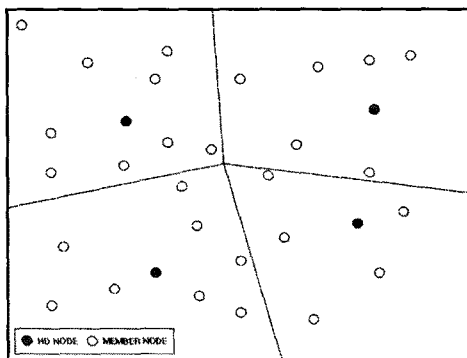


그림 4. LEACH-C의 클러스터 구조

노드들의 정보를 알기 위하여 GPS와 같은 장비를 이용하기 때문에 이에 따른 추가적인 에너지 소모가 이루어지며 각각의 센서 노드들의 단가도 올라 갈 수 있다는 단점이 있다.

### 2.3 PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)

PEGASIS는 chain-based protocol로 첫 번째로 BS로부터 가장 멀리 있는 노드를 검색하게 된다. 가장 멀리 있는 노드 발견 시 그 노드로부터 greedy한 방법으로 BS까지의 경로를 설정하게 되고 모든 노드가 체인에 속하게 될 때 까지 반복된다. 이때 가장 가까운 노드를 검색하는 방법으로는 노드들의 신호의 세기를 이용하게 되며, 가장 가까운 노드에게만 데이터를 전달 할 수 있도록 Tx의 신호를 조절해 에너지를 좀 더 효율적으로 사용할 수 있게 된다. 이렇게 설정된 체인 방법에서의 데이터 전달 방법은 각 라운드 마다 노드들 차례로 BS로 데이터를 전달하는 HEAD역할을 맡게 되며 각각의 노드들은 그림 5와 같이 설정된 체인들을 이용해 HEAD노드까지 데이

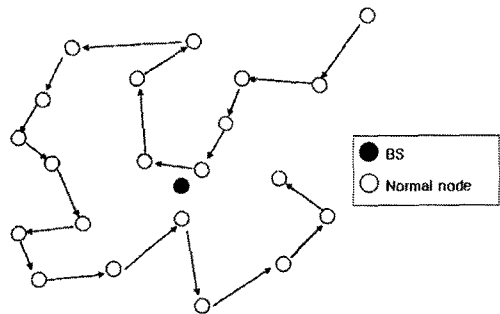


그림 5. PEGASIS의 체인 설정

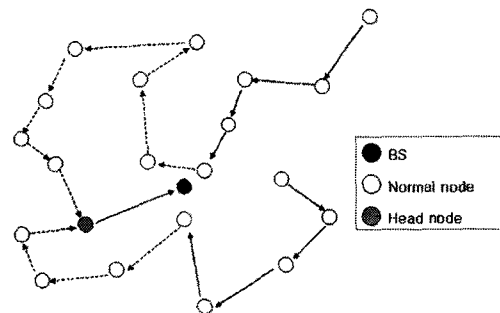


그림 6. PEGASIS의 불필요한 데이터 이동상황

터를 전달하고 HEAD노드는 이렇게 모인 데이터를 BS에 직접 전달하게 된다

그러나 이러한 PEGASIS방법의 큰 문제점은 single-hop기반의 라우팅 프로토콜에서 BS로부터 가장 멀리 떨어져 있는 노드가 HEAD선택 시 데이터 전송에 대해 막대한 에너지 소모가 이루어지고, 데이터발생 노드와 선택되어진 HEAD노드와의 거리에 따라 그림 6와 같이 불필요한 데이터 이동이 발생되어 에너지 소모를 야기 시킨다[23].

### 2.4 PEDAP (Power Efficient Data gathering and Aggregation Protocol),

PEDAP[24]는 PEGASIS의 Greedy algorithm과 다르게 최소비용 신장 트리(minimum spanning tree : MST)를 라우팅 트리로 사용하여 체인을 형성하고 데이터를 전송하게 된다. 기존의 greedy algorithm에 비해 체인의 총 길이의 합과 전송 시 소모되는 에너지가 가장 적은 걸로 나타났다. 그러나 PEDAP는 연결 차수가 3개 이상의 노드가 발생하게 되고 센서 노드의 수가 많아질수록 연결 차수는 더욱 올라가게 되고 이런 상황으로 특정 노드의 에너지 소모가 빨라지게 되므로 센서 필드의 에너지 보유량을 불균등하게 만들게 되어 네트워크 분할이나 센싱 홀 같은 문제를 발생 시킬 수 있다. 또한 PEDAP는 BS의 위치를 모든 노드들이 알고 있다는 가정 하에 방향성을 기반으로 에너지 소모량을 비교하기 때문에 랜덤으로 노드가 뿌려지는 환경에서 사용되어지기는 힘들다.

### 2.5 Radio Model

LEACH와 PEGASIS는 같은 First Order Radio Model(그림 9)을 사용하고 있다.

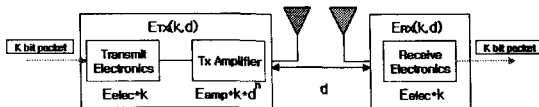


그림 9. First Order Radio Model

$$E_{TX}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^{\alpha}$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * k$$

수식 (2) 데이터 송,수신시 사용 에너지

여기서  $E_{TX}$ 는 데이터 전송 시 소모되는 에너지의 총량을 뜻하며  $E_{elec}$ 는 무선 신호를 처리하기 위한 에너지 소모량이고  $k$ 는 데이터의 크기인 bit를 나타내며  $\epsilon_{amp}$ 는 무선 전송을 위해 사용된 신호 증폭을 위한 에너지 소모량이며  $d$ 는 각 노드사이의 거리를 뜻하며, 마지막으로  $E_{RX}$ 는 데이터를 수신시 사용된 에너지의 총 소모량을 뜻한다. 본 논문에서 제안된 DERP 기법역시 같은 Radio model을 사용한다고 가정한다.

## 3. 제안 기법

### 3.1 DERP P-HD 기법

우선 제안된 기법을 구현하기 위해 LEACH및 PEGASIS에서 적용된 몇 가지 가정을 설정 한다[25].

1. 모든 노드들은 고정되어 있으며 모든 노드들의 초기 에너지 량은 모두 같다.
2. 모든 노드들은 BS와 직접 통신이 가능하며 전송에 필요한 거리 대비 에너지 소모량은 모두 같다.
3. BS의 에너지는 무한으로 가정하고, 위치는 고정되어 있다.
4. 통신은 기본적으로 single-hop을 기반으로 한다.
5. 센서 노드는 파워의 세기에 따라 대략적인 거리를 측정 할 수 있다.

위에서 제시한 몇 가지 가정을 기본으로 제안기법인 PEGASIS의 문제점을 개선시킨 DERP 방법의 동작 순서는 다음과 같다.

1단계. BS로부터 가장 멀리 떨어져 있는 노드를 선택하게 된다.

2단계. 선택된 노드로부터 greedy한 방식으로 체인을 형성 한다.

3단계. 체인 형성이 완료 후 BS는 broadcast를 통해 주변의 노드들에게 hello 메시지를 보내게 되고 가장 빠르게 응답을 하는 노드들 중 정해진 비율의 노드들을 P-HD노드로 지정 하며 P-HD노드들에게 사실을 통보하고 P-HD노드들은 이를 기억하게 된다. 그 후 이벤트가 발생하게 되면 이벤트 발생 노드로부터 데이터 전송을 시작한다.

4단계. 데이터 이동 중 PEGASIS의 경우 HEAD노드까지 데이터를 이동 시키고 제안된 방법에선 HEAD노드까지 이동 중 P-HD노드를 발견하게 되면 데이터전송 후 P-HD노드는 BS로 데이터를 전송

한다.

5단계. P-HD노드의 에너지 소진 시 비율만큼의 추가 P-HD노드를 신호세기에 따른 가장 가까운 노드로 추가 하게 된다.

그림 10는 PEGASIS의 체인 형성을 제외한 제안 방법의 동작 순서도를 나타내며 이로 인해 생성된 체인은 그림 11과 같이 형성되며 PEGASIS와 같이 동작을 하면서 데이터 이동시 P-HD노드를 만나게 되면 다음 노드로 데이터를 전달하지 않고 직접 BS로 데이터를 전달하여 불필요한 데이터의 이동을 막을 수 있다. 또한 PEGASIS에서는 한 라운드 별로 한 개의 HEAD노드가 정해지므로 노드의 수가 많은 네트워크상에서는 HEAD노드까지의 데이터 이동에 대한 delay가 생기게 된다. 그러나 제안된 P-HD방법에서는 한 개의 HEAD노드 이외에 네트워크의 노드 개수에 비례한 P-HD노드가 생성되어 데이터를 BS로 전달하기 위해 HEAD노드까지의 데이터를 전달해야 하는 일이 적어지게 되므로 전송 delay역시 기

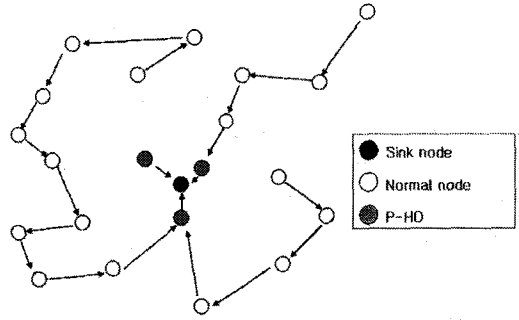


그림 11. P-HD scheme 데이터 이동경로

존의 PEGASIS에 비해 훨씬 개선된 것을 알 수 있다. 이와 비슷한 멀티 체인을 형성하는 방법[26]이 제안되어 졌지만 BS가 중심이 아닌 노드군의 가장 중심에 있는 노드를 선택하여 그 노드를 중심으로 4개의 그리드로 나누어져 데이터를 전송하는 방법이다. 그러나 이 방법은 GPS정보 없이 정확한 노드의 중심을 찾기가 어렵고 또한 중심이 되는 노드의 에너지 소모가 심하여 잦은 중심 노드 재구성으로 인한 추가 에너지가 소모된다.

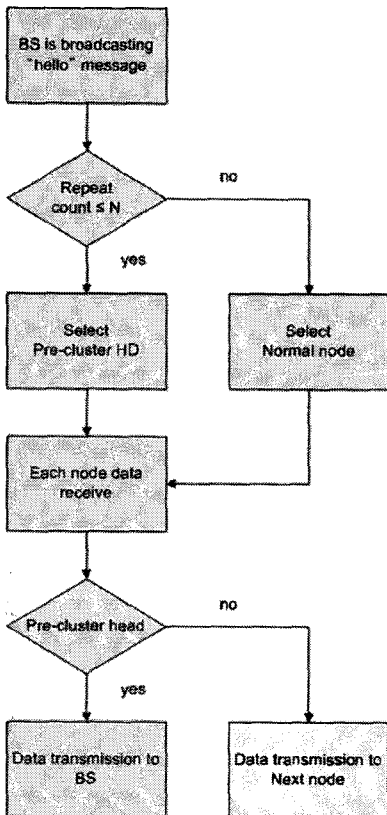


그림 10. P-HD scheme의 체인 설정 후 동작 순서도

### 3.2 DERP multi-hop 기법

P-HD scheme에서 가정하고 있는 single-hop기반의 통신방법은 노드 사이의 거리가 가까운 경우에만 에너지 효율적인 통신이 가능하며 노드 사이의 거리가 멀어질수록 에너지 소모량이 늘어나기 때문에 매우 비효율적인 에너지 소모가 이루어 질 수 있다. 이 논문에서 제안 할 scheme는 노드들의 RSSI 신호를 통해 BS로부터 거리를 측정하여 각각의 거리에 맞는 single-hop과 multi-hop기반의 통신으로 나누어지는 방법을 제안한다.

multi-hop기반의 통신을 하기 위해서는 각각의 노드끼리 통신에서 얼마만큼의 에너지 효율을 보일 수 있는지에 대해 계산이 필요하다. 실제 GPS를 통하여 최적의 relay region을 찾는 방법[27]에 대한 논문은 나와 있지만 에너지 소모와 노드들의 단가를 올리게 되는 GPS를 사용하지 않고 최적의 multi-hop relay region을 찾는 것은 매우 어려운 일이다.

그림 12에서  $d_{AB} + d_{BC} < d_{AC}$ 와 같은 식이 성립되어야지만 multi-hop시 에너지 효율을 얻을 수 있다. 이러한 에너지 효율을 얻기 위해서 우선 Radio Model의 송신, 수신시의 에너지 소모량을 알아야 한

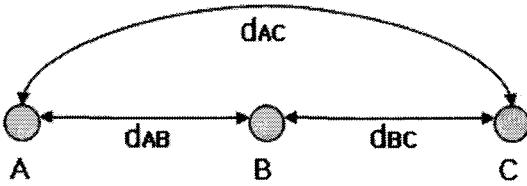


그림 12. single-hop, multi-hop

다. Radio Model에서의  $E_{elec}$  같은 경우 내부에서 데이터 처리에 필요한 에너지 양이기 때문에 거리(d) 및 주변 환경이 변해도 영향을 받지 않는다. 그러나  $\epsilon_{amp}$ 의 경우 거리(d)에 따른 송신 신호 증폭에 필요한 에너지 소모량을 가지고 있어서 거리(d)에 따라 매우 민감하게 반응할 수 있다. 우선 multi-hop을 하기 위한 노드 사이의 거리를 에너지 소모 공식에 따라 비교를 한 후 대략적인 거리를 측정 한 후 다음과 같은 단계로 제안 기법이 동작하게 된다.

1단계. BS에서 가장 멀리 떨어져 있는 노드를 선택하여 BS와 가장 멀리 떨어진 노드 사이의 거리(Dmax)를 측정한다.

2단계. Dmax를 2로 나누어 나온 거리에 대해 BS로부터 떨어진 거리가 가장 유사한 노드부터 차례대로 정해진 수만큼의 relay노드를 정한다.

3단계. 정해진 Radio Model을 통해 multi-hop시 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 RD(relay distance)를 정한다.

4단계. RD(relay distance)로 정해진 값을 넘어서는 노드들은 브로드 캐스팅을 통해 자신과 가장 가까이 있는 relay노드를 기억하게 된다.

5단계. HEAD노드에서 BS까지 데이터 전달시 HEAD노드와 BS까지의 거리가 정해진 RD이 넘어서게 되면 HEAD노드는 라우팅 테이블에 relay노드를 최우선 데이터 전송 노드로 설정하여 준다.

6단계. HEAD로부터 설정되어진 relay노드와 BS와의 거리를 비교하여 relay 노드와의 거리가 BS와의 거리보다 멀게 되면 HEAD노드는 라우팅 테이블을 다시 BS 우선으로 재설정을 하여 BS와 직접 통신을 하게 되고 BS와의 거리보다 relay노드의 거리가 가까우면 기존의 저장되어 있는 라우팅 테이블을 따라 relay노드를 데이터를 전송하여 multi-hop전송을 하게 된다.

그림 13은 multi-hop을 위해 relay노드를 설정하고 경로를 지정하는 순서도 이며 그림 14는 순서도에

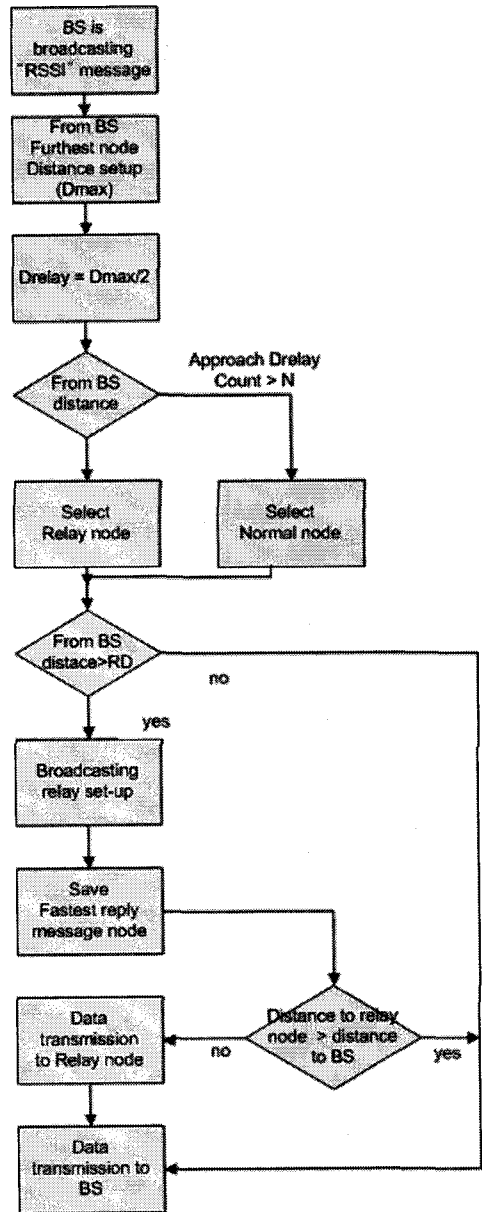


그림 13. multi-hop을 위한 relay노드 선정 순서도

의해 설정된 경로로 데이터의 이동을 보여 주고 있다. 거리가 RD이상일 경우 가장 가까운 relay node를 라우팅 테이블에 저장을 하여 자신이 HEAD노드로 선택되어진 후에 데이터 전달시 BS로 직접 전달하지 않고 라우팅 테이블에 저장되어 있는 relay node로 전달을 하게 되고 이를 수신한 relay node는 자신이 받은 데이터를 BS로 전달을 하여 거리에 따른 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있다.

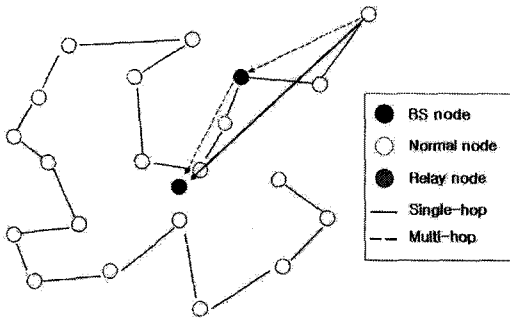


그림 14. relay노드 설정 후 이동경로

그러나 이렇게 일방적인 relay node를 선택하게 되면 최악의 경우 그림 15와 같이 HEAD 노드와 BS를 기준으로 반대편의 relay node가 선택 될 경우가 생길 수 있다. 이러한 경우를 방지하기 위하여 relay node를 선택하게 되면 소스 노드와 relay node의 거리를 측정하여 소스 노드와 relay노드와의 거리가 소스 노드와 BS와의 거리보다 멀 경우 relay node는 무시하고 직접 BS와 통신을 할 수 있도록 라우팅 테이블에서 relay노드를 삭제하게 된다. 위와 같은 경우는 노드의 수가 적을수록 발생할 확률이 크며 노드의 수가 많아질수록 선택되어지는 relay node가 많아져서 이러한 현상이 발생할 확률은 줄어들게 된다. 일반적으로 센서 노드들은 특별한 경우를 제외하곤 100개 이상의 노드들이 센서 필드 상에 뿌려지게 되게 앞에서 설명한 경우와 같은 상황은 많이 발생하지 않으며, 발생하게 되더라도 거리에 따른 라우팅 테이블을 비교하여 재설정으로 인하여 PEGASIS보다 에너지 소모가 많아지는 경우는 없다.

위의 방식은 기존의 PEGASIS에도 같은 방법으로 적용을 할 수 있다. BS노드로부터 멀리 떨어진 노드가 HEAD로 선택 시 거리에 따른 불필요한 전송 에

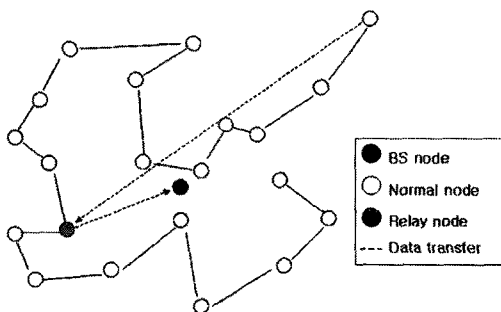


그림 15. BS반대편의 relay node가 선택된 경우

너지 낭비를 조금이나마 줄일 수 있도록 하였다.

#### 4. 성능분석

본 논문에서도 LEACH와 PEGASIS에서 사용되어 지는 Radio Model을 사용하며 실험에 적용된 환경변수들의 값은 다음과 같다.

위 환경변수와 First Order Radio Model을 적용해 시뮬레이션 환경을 작성해 실제 100×100, 150×150환경에서의 각각 10개, 30개, 50개, 100개의 노드가 있다고 가정을 하고 시뮬레이션을 수행 하였다. 전체 노드의 HEAD 비율은 최적 비율이라고 알려져 이는 5%를 기준으로 노드의 수가 10개의 경우는 부득이하게 1개를 30개의 경우는 1.5개에서 반올림을 하여 2개를 50개의 경우 2.5개를 반올림 하여 3개를 100개의 경우에는 5개를 선택하였다. 실험에 사용한 환경변수들의 값은 표 1과 같다. 또한 에너지 증폭에 필요한  $\epsilon_{amp}$  값을 10pJ, 100pJ과 1nJ로 나누어 비교 실험을 하였으며  $\epsilon_{amp}$ 의 값이 10pJ일 경우 multi-hop을 통해 에너지 효율을 얻을 수 있는 거리 즉 relay distance가 약 142m정도 된다. 그러므로 현재의 100×100환경에는 적합하지 않으며 100pJ일 경우 45m이상일 경우 multi-hop을 통해 에너지 효율을 얻을 수 있다. 그러나 그림 6에서  $d_{AB}$ ,  $d_{BC}$ 의 거리 비율이 정확히 반이라는 가정 하에서만 에너지 효율을 얻을 수 있고 100×100환경 내에서 랜덤하게 배치된 노드들을 생각해 비율의 영향을 적당히 받을 수 있는 relay distance를 60m로 설정을 하고 노드간의 전송은 반드시

표 1. 실험적용 환경변수

환경변수	값
센서망의 크기 (M*M)	100×100,150×150
노드의 수 : N	10,30,50,100
각 노드의 초기에너지	1J
초기 P-HD수	1,2,3,5
노드의 데이터 송수신시 소모 에너지량( $E_{elec}$ )	50nJ/bit
무선 증폭 에너지 ( $\epsilon_{amp}$ )	10pJ/bit/m <sup>2</sup> 100pJ/bit/m <sup>2</sup> 1nJ/bit/m <sup>2</sup>
데이터의 크기	500byte
RD 값	60M



성공을 한다는 가정을 하며 실험을 실행하였다.

#### 4.1 DERP P-HD 기법 성능분석

에너지 소모량을 측정하기 위해 기존의 PEGASIS, LEACH방식과 비교를 하여 실험을 하였고 위에서 설명한 에너지 소모 공식과 같은 환경변수를 적용하여 나온 결과는 다음과 같다.

그림 16에서 보여 지는 결과 값은 100×100환경에서 10개의 노드를 랜덤하게 배치하고 랜덤하게 선택되어진 한 지점에서 이벤트가 발생한다는 가정을 하고  $\epsilon_{amp}$  값을 10pJ로 설정하여 나온 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 결과 값이다 7라운드 이후부터 PEGASIS와 에너지 소모량에 대한 차이가 보여지며 P-HD노드가 7번 노드가 선택되어진 후 7번 노드 이후의 노드에게 불필요한 데이터가 전달되는 것을 방지하여 기존의 PEGASIS보다 에너지 소모량을 줄인 것을 알 수 있다. LEACH는 클러스터 생성 후 데이터를 전달하게 되므로 정해진 거리 내에서의 노드 비율에 따른 클러스터 구조 형성 시 비슷한 거리의 총합을 가지는 클러스터가 형성되기 때문에 라운드에 비례적인 에너지 소모를 가지게 된다.

클러스터 방식중의 큰 단점중의 하나는 HEAD노드의 극심한 에너지 소모를 들 수 있다. 그러나 제안방법의 P-HD방법은 P-HD노드를 정할 때부터 BS와의 거리가 가까운 노드를 지정하여 주었기 때문에 HEAD노드의 거리에 따른 심각한 에너지 소모를 방지할 수 있다. 그림 17에서 나타난 그래프는 제안방법에서 P-HD노드로 선정된 7번째 노드가 기존의 PEGASIS에서 일반 노드로 선정되어 동작하는 것에

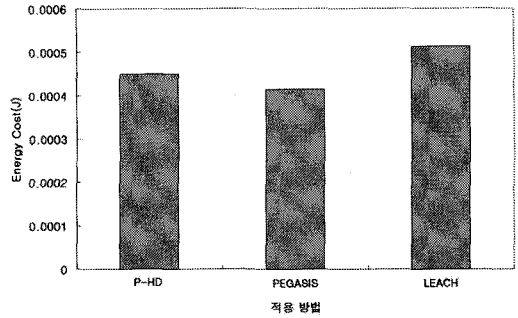


그림 17. P-HD노드 에너지 소모량(10)

대한 라운드별 평균 에너지 소모량을 비교한 그래프이다. 그래프에서 보이는 것처럼 PEGASIS에서의 일반적인 노드로 동작 하는 경우와 P-HD노드로 선택된 경우의 에너지 소모량에 대해서는 큰 차이가 없는 것으로 확인됐고 다음의 실험에서는 오히려 P-HD노드로 선정된 경우가 일반 노드로 선정된 경우보다 에너지 소모량이 적은 경우도 나타났다.

그림 18에서 나타난 그래프는 100×100환경에서 30개의 노드를 랜덤하게 배치하고 랜덤하게 선택되어진 한 지점에서 이벤트가 발생한다는 가정을 하고  $\epsilon_{amp}$  값을 10pJ로 설정하여 나온 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 결과 값의 비교 그래프이다. PEGASIS와 에너지 소모 차이가 거의 없으며 P-HD노드들이 노드들의 HEAD노드 순서에서 그림 19와 같이 매우 늦은 순서인 노드에 존재 한다는 것을 알 수 있다.

그림 19는 P-HD기법에서 노드의 구조에 따른 데이터 이동 경로 설정 중 가장 나쁜 경우의 경로설정을 보여주고 있다. 기존 PEGASIS의 경로 설정과 같이 경로가 설정되기 때문에 몇 개의 일정한 개수의

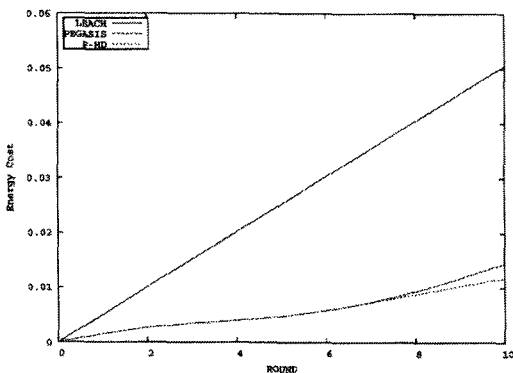


그림 16. 10개 노드의 에너지 소모량

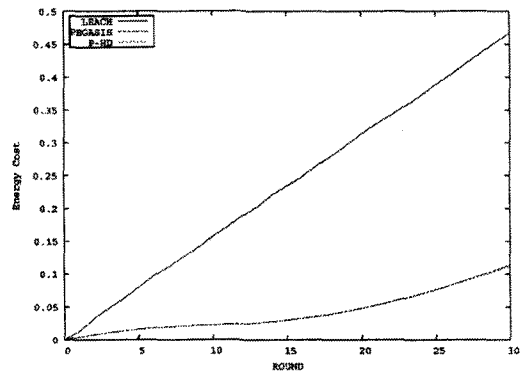


그림 18. 30개 노드의 에너지 소모량

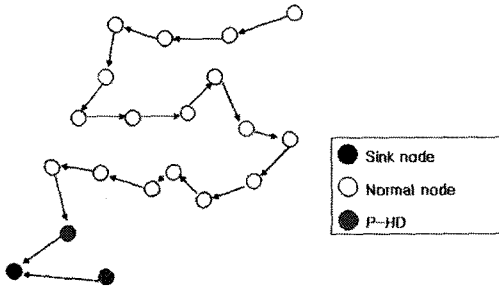


그림 19. 최악의 경로로 설정된 P-HD기법의 체인

노드들이 BS와 가까운 곳에 위치하고 있으며 나머지 노드들은 BS로부터 멀리 떨어진 경우이다. 이러한 경우 멀티경로의 설정이 불가능해진다. 그러나 이러한 최악의 경로 설정상황에서도 PEGASIS와 에너지 소모량에서 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한 이러한 상황은 실험환경에서처럼 노드의 개수가 적을 경우 P-HD노드의 상대적 비율이 낮을 경우 나타나는 문제로 노드의 개수가 증가함에 따른 P-HD노드의 증가로 인해 많은 노드가 존재하는 네트워크 환경에서 잘 나타나지 않는 것으로 실험결과 나타났다.

그림 20 그래프는 P-HD노드로 선택되어진 27번째 노드의 에너지 소모량을 비교한 것이다. 첫 번째 그래프는 PEGASIS에서 일반 노드로 동작을 할 경우에 소모된 라운드별 평균 에너지 소모량이고 두 번째 그래프는 P-HD기법에서 P-HD노드로 선택되어졌을 경우 소모된 라운드별 평균 에너지 소모량이다. 그래프에서 보이듯이 P-HD노드로 선택된 경우가 일반 노드로 선택되어졌을 경우보다 에너지 소모가 덜하다는 것을 알 수 있다. 이것은 27번 노드가 다음 노드와의 거리보다 BS와의 거리가 더 가까운 경우라고 볼 수 있다. BS와의 가까운 노드로 P-HD노드를 정하게 되는 제안 방법에 대한 영향이라고

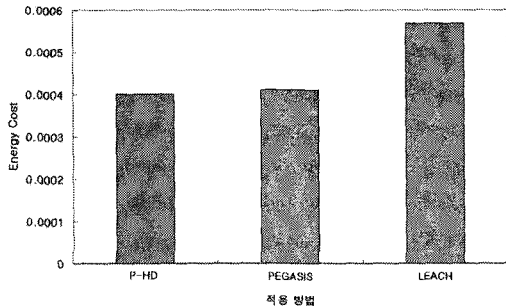


그림 20. P-HD노드 에너지 소모량(30)

할 수 있다. 실제 그래프에서 보이는 값과 같이 에너지 소모량의 차이는 매우 미비하다. 그러나 에너지 소모를 조금이라도 줄여야만 하는 센서 네트워크상에서는 더욱 적합한 방법이다.

그림 21에서 나타난 그래프는 150x150환경에서 50개의 노드를 랜덤하게 배치하고 랜덤하게 선택되어진 지점에서 이벤트가 발생한다는 가정을 하고  $\epsilon_{amp}$  값을 10pJ로 설정하여 나온 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 결과 값의 비교 그래프이다. PEGASIS에 비해 약 80%정도의 에너지 소모량을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 P-HD노드가 HEAD노드의 순서에서 빠른 노드의 순서로 존재한다는 것을 알 수 있고 그로 인해 불필요한 데이터의 이동을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 16, 18, 21에서 알 수 있듯이 에너지 소모량 측정 공식에 따른 결과에서 최악의 경우에서도 제안 방법은 PEGASIS와 에너지 소모량이 비슷하게 나왔으며 최고의 경우에는 PEGASIS의 에너지 소모량 대비 80%이상 에너지 효율이 있다는 것을 알 수 있다. 이벤트 발생시 PEGASIS는 모든 노드들이 데이터를 한번 이상씩 받게 되고 BS로 전달하게 되지만 제안 방법에서는 P-HD노드까지의 노드들만 데이터 전달이 이루어지므로 기존의 PEGASIS에 비해 에너지 효율이 높다는 것을 알 수 있다. 또한 데이터 전달 노드들도 기존의 PEGASIS방법과 같은 방법으로 데이터를 전달하기 때문에 PEGASIS에 비해 비효율적인 에너지 소모는 없는 것으로 나타났다.

센서 네트워크의 특정한 위치에서 이벤트가 발생하여 데이터를 전송하는 경우와 여러 곳에서 동시다발적인 이벤트가 발생하여 데이터를 동시에 전송

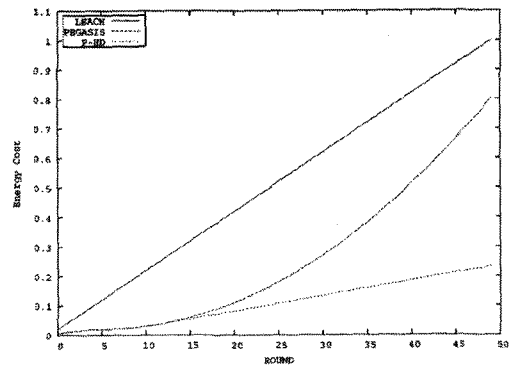


그림 21. 50개의 노드 에너지 소모량

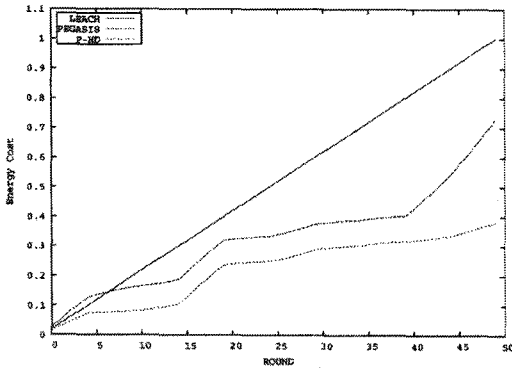


그림 22. 50개 노드 에너지 소모량

하는 경우로 나누어 질 수 있다. 그림 22에서 보이는 그래프는 앞에서 보여 졌던 그림21의 실험환경과 같은 150×150 환경에서 50개의 노드를 랜덤으로 배치하고 여러 곳에서 동시 다발적인 이벤트 발생 시의 데이터 전송에 따른 전체 노드의 에너지 소모량을 나타낸 것이다. 그림 22에서와 같이 여러 곳에서 동시 다발적인 데이터 발생 시 제안된 P-HD방법이 기존의 PEGASIS보다 40%정도의 에너지 효율을 보이고 있다. 또한 PEGASIS에서는 데이터의 충돌로 인한 재전송으로 인한 delay위험이 나타날 수 있다. 제안 방법에서도 역시 이러한 데이터의 충돌로 인한 delay가 나타날 수 있지만 한 개의 HEAD노드를 가지고 BS와의 통신을 하는 PEGASIS에 비해 여러 개의 P-HD노드와 한 개의 HEAD노드를 가지고 있는 제안 방법이 충돌과 delay에 대해서 더욱 유연하게 대처 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 23의 그림은 그림 22의 환경처럼 50개의 노드 여러 곳에서 동시에 이벤트가 발생 시 50 round동안 노드들을 BS로 전달하기 위해서 거쳐 간 노드들의 수이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 PEGASIS의 경

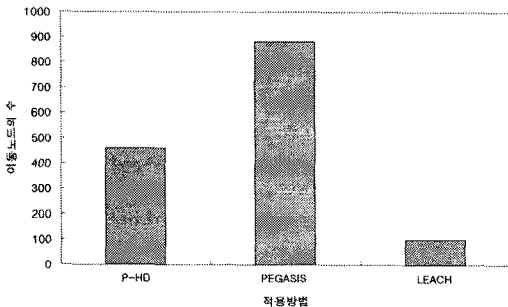


그림 23. 데이터의 방문 노드 수(50)

우 BS로 데이터를 전달하기 위해 정해져 있는 HEAD노드로 데이터를 이동 시켜야 하며 HEAD노드는 각 round별로 한 개씩 존재를 하게 되며 또한 이벤트 발생 노드로부터 멀리 떨어져 있는 노드가 HEAD노드로 선정될 경우 불필요한 데이터 이동에 따른 전송 delay가 발생하게 된다. 그래프에서 알 수 있듯이 PEGASIS의 경우 약 900개에 가까운 노드를 지나쳐 가게 되고 P-HD의 경우 약 500개에 가까운 노드를 지나쳐 가게 되므로 노드들 사이의 데이터 전송을 위한 delay와 에너지 소모를 확실히 줄일 수 있는 방법이다. LEACH는 자신이 속해 있는 클러스터 HEAD와 싱크까지 만의 통신이 이루어지므로 노드의 방문 수는 매우 낮다. 그러나 LEACH는 클러스터 HEAD가 데이터를 모으는 과정에서 TDMA를 사용하기 때문에 데이터전송을 위한 시간을 기다려야 하기 때문에 실제론 약간의 delay가 생길 수 있으나 데이터 delay감소 측면에서는 다른 방법보다 월등한 것으로 나타났다. 이것은 모니터링 환경에서 응급한 상황 발생 시 더욱 빠르게 데이터를 전달하여 신속하게 상황 파악 및 대처를 할 수 있다는 것이다.

표 2에서 보이는 것은 앞에서 실험한 150×150환경에서 50개의 노드가 랜덤하게 배치된 상태에서 여러 곳에서 동시 다발적인 이벤트가 발생할 경우 노드들의 생존율을 나타낸 것이다. Tf는 각각의 프로토콜에서 첫 번째 죽는 라운드 시간이며 T/5는 전체 노드의 1/5이 죽는 시점으로 프로토콜이 최소한의 동작을 할 수 있는 시점으로 가정하여 값을 구하였다. Tavg는 전체 노드의 평균 노드 수명을 나타낸 값이다. 표에서 보이듯이 P-HD의 노드 생존율이 PEGASIS와 LEACH에 비해 50%이상을 보이고 있다. 이는 불필요한 데이터 이동을 줄임과 동시에 멀리 떨어져 있는 노드가 HEAD노드로 선택 시 먼 거리의 데이터 전송을 방지하고 P-HD노드의 선정으로 근거리에서 데이터 이동을 발생시켜 나온 결과라고 할 수 있다. 그러나 HEAD노드가 먼 거리에 있는 경우에 P-HD노드보다 HEAD선정 순서가 빠르게

표 2. 라운드에 따른 노드 생존율(50)

Energy(J)	Protocol	Tf	T/5	Tavg
1J	LEACH	1024	1154	1321
	PEGASIS	1087	1300	1562
	P-HD	1587	2075	2850

되면 데이터 전송에 매우 큰 에너지 손실을 가져오게 된다. 이것을 방지하기 위해 앞에서 제안했던 multi-hop scheme을 이용하여 에너지 소모를 줄일 수 있을 것이다.

4.2 DERP Multi-hop 기법 성능분석

이번 실험은 DERP의 multi-hop방법에 따른 성능 분석을 한 것이다. 기존의 PEGASIS와 앞에서 제안된 P-HD방식에 multi-hop방법을 적용 시켜 성능 분석을 하였다.

그림 24에서 나타는 그래프는 multi-hop환경을 구성하기 위해 100개의 노드가 존재하는 100×100 필드에서  $\epsilon_{amp}$  값을 변화시켜 측정한 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 결과이다. 그래프에서도 알 수 있듯이  $\epsilon_{amp}$  값이 10pJ일 경우가 100pJ일 경우보다 에너지 효율이 높다는 것을 알 수 있다. 그러나 앞에서도 언급 했듯이  $\epsilon_{amp}$  값이 10pJ일 경우 multi-hop환경이 가능하려면 142m이상 떨어진 노드들 사이에서만 에너지 효율이 생길 수 있다. 그러나 이러한 거리로 RD(relay distance)를 설정하게 되면 약 190m정도의 RD가 설정되어 진다.

190m의 거리를 직접 통신을 하게 되면 거리에 전송 공식에 따라 거리의 제곱에 따른 에너지 소모량이 이루어지므로 매우 극심한 에너지 소모가 이루어지게 되고 또한 현재 존재하는 센서 노드들 중에서도 190m이상의 통신거리를 가지고 있는 노드들은 존재하지 않으므로 현실상 불가능 하다고 볼 수 있다. 100pJ에서의 multi-hop환경은 45m이상 떨어진 노드들끼리의 통신에서 에너지 효율이 생길 수 있다. 그

리므로 약 60m정도의 RD가 설정되어 지고 이로 인해 10pJ에서 보다 약 130m가까운 거리에서부터 multi-hop이 시작되어 지고 이로 인해 거리에 제곱에 비례하는 에너지 소모량을 더욱 줄일 수 있다. InJ에서의 multi-hop환경은 15m이상 떨어진 노드들끼리의 통신에서 사용 시 에너지 효율을 얻을 수 있다. 그러나  $\epsilon_{amp}$ 를 InJ로 설정하게 되면 각각의 노드들의 에너지 증폭 량에 필요한 에너지 소모가 너무 커져 거리가 가까운 노드들끼리의 통신에도 불필요한 에너지 소모가 이루어 질 수 있다. 그래서 본 논문에서는 거리에 따른 적당한 에너지 증폭을 할 수 있고 multi-hop환경에서도 잘 적용 할 수 있도록  $\epsilon_{amp}$  값을 설정을 100pJ로 설정을 권장하며, 기존의 LEACH와 PEGASIS역시  $\epsilon_{amp}$  값을 100pJ로 설정되어 진 것을 볼 수 있다.

그림 25은  $\epsilon_{amp}$ 를 100pJ로 설정을 하고 첫 번째 제안된 방법과 두 번째 방법을 혼합하여 나온 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 그래프이다. 그래프 상으로는 single-hop과 multi-hop의 에너지 소모량은 거의 차이가 없다고 보여 지지만 실제 약간의 에너지 효율을 보이고 있고 센서 필드의 크기가 100×100환경이 아닌 200×200등과 같은 더 넓은 환경에서 single-hop기반의 통신에 비해 더욱 더 많은 에너지 효율을 보일 것이다.

그림 26는 그림 25의 그래프가 생성된 실험환경에  $\epsilon_{amp}$  값만 1000pJ로 변환하여 나온 전체 노드의 에너지 소모량에 대한 그래프이다.  $\epsilon_{amp}$  값이 커질수록 single-hop과 multi-hop방법의 에너지 소모량이 큰 차이가 나는 것을 알 수 있다. 실제  $\epsilon_{amp}$  값을 1000pJ로

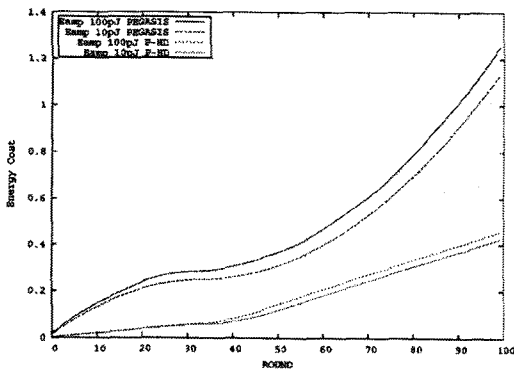


그림 24.  $\epsilon_{amp}$  값에 따른 에너지 소모량

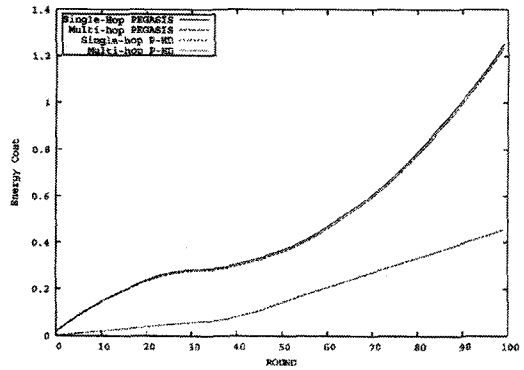


그림 25.  $\epsilon_{amp} = 100pJ$  에너지 소모량

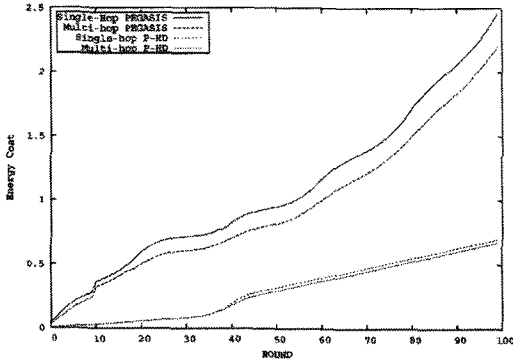


그림 26.  $\epsilon_{amp} = 1000\text{pJ}$  에너지 소모량

조절하게 되면 relay distance의 값도 줄어들며 그림 26에서 나타나지 않은 더욱 큰 에너지 효율을 얻을 수 있을 것이다. 그러나  $\epsilon_{amp}$  값을 너무 크게 조절하는 것은 짧은 거리의 데이터 이동에서도 불필요한 증폭 에너지 낭비가 생길 수 있으므로 각 네트워크의 환경을 고려하여 적절한 값을 조절해야 할 것이다.

### 5. 결 론

센서 노드들은 대부분 제약된 에너지를 가지고 있으며 재충전이 불가능하다는 문제점을 가지고 있다. 그러므로 조금이라도 효율적인 에너지 소모가 필요하다. DERP는 기존의 PEGASIS의 체인에서 P-HD 노드를 두어 데이터의 불필요한 이동을 막고 전송 지연을 줄였으며 HEAD와 BS의 통신 시 Single-hop의 통신 방식을 Multi-hop으로 변환을 한 기법이다. DERP의 장점은 BS의 위치를 특별히 고려하지 않고 거리 측정만으로 기존의 PEGASIS보다 에너지 효율적인 데이터 이동을 할 수 있으며 실험 결과 DERP의 P-HD선택 방법은 기존의 PEGASIS에 비해 데이터의 이동 횟수를 줄임으로 인한 최고 80% 이상의 에너지 효율과 데이터 이동 delay의 감소를 보이는 것을 알 수 있다. 또한 기존의 single-hop기반의 통신을 multi-hop기반의 통신으로 변형시켜 센서 필드의 확장과 에너지 효율적인 구조를 가질 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 실제 노드들 사이의 거리와 필드의 크기에 따른 상황에 맞는  $\epsilon_{amp}$  값을 측정하여 에너지 효율적인 통신을 할 수가 있으므로 정확한 relay distance를 찾을 수 있는 방법을 공식화 하여 변화하는 환경에 빠르게 적용 할 수 있도록 해야 한

다. 또한 P-HD노드에서 BS와의 통신 시 현재 논문에서 가정하고 있는 무조건적인 전송 성공이 아닌 실제 환경에서 적용하기 위한 재전송에 따른 에너지를 고려하여 다중화 방식을 사용하는 방법과 현재의 방법에서 제안하는 방법인 HEAD노드가 데이터를 BS로 전송 시에만 multi-hop을 적용 하게 되는 방법을 더 확장시켜 노드끼리의 통신 시에도 multi-hop을 사용할 수 있도록 하는 법은 앞으로 더 연구해야 할 문제이다.

### 참 고 문 헌

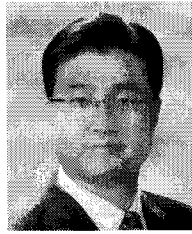
- [1] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks" *IEEE INFOCOM Vol. 3*, pp. 1567-1576, June 2002.
- [2] J. Polastre, J. Hill and D. Culler "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks" *ACM SenSys'04*, 2005.
- [3] M. Buettner, G.V. Yee, E. Anderson and R. Han, "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor network," Proceeding of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems, *ACM Press New York, NY, USA*, pp. 307-320, 2006.
- [4] C. Intangonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann and F. Silva "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Vol.11, No.1, pp. 2-16, Feb. 2003.
- [5] J. Kilik, W. Rabiner and H. Balakrishnan "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom'99*, pp. 174-185, 1999.
- [6] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Network," *IEEE HICSS*, Jan. 2000.
- [7] W. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE ToWC*, Vol. 1, No. 4, 2002.

- [8] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information System," *IEEE Aerospace Conf. Proc.*, Vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.
- [9] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issue in Wireless Networks and Mobile Computing*, Apr. 2001.
- [10] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *IEEE IPDPS'02 Proceedings*, 2002.
- [11] Y. Yu, R. Govindan, and D. 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*, 2001.
- [12] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks," in the *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00)*, Boston, MA, Aug. 2000.
- [13] 배정숙, 김성희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜," *주간기술동향 통권 1140호*, 정보통신연구진흥원, 2004.
- [14] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Aug. 2002.
- [15] Kemal Akkaya and Mohamed Younis "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad-Hoc Networks 3*, pp. 325-327, 2005.
- [16] Jamil Ibrqi and Imad Mahgoub "Cluster-Based Routing in wireless Sensor Networks : Issue and Challenges," *SPECTS '04*, 2004.
- [17] 서창진, 양진웅 "개선된 센서 라우팅 방식 : A-PEGASIS," *정보과학회논문지, 정보통신 제 34권, 제6호*, 2007.
- [18] 정성민, 박선호, 한영주, 정태명 "데이터 방향성에 기반한 향상된 PEGASIS 라우팅 프로토콜 기법 연구," *한국정보처리학회 06'춘계학술대회*, 2006.
- [19] Lingyun Yuan, Sufen Li and Yunlong Zhu "A New Chain-Based Data gathering Protocol for Wireless sensor Transportation Monitoring Network," *ICIC 2006, LNAI4114*, pp. 1258-1267, 2006.
- [20] L. Ying and Y. Haibin "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks," *IEEE PDCAT'05 Proceedings*, 2005.
- [21] 이상훈, 석정봉 "무선센서 네트워크를 위한 LEACH 프로토콜의 에너지 효율 향상 방안," *한국통신학회논문지, 08-02 Vol.33 No.2*, 2008
- [22] H. Yang and B. Sikdar "Optimal Cluster Head Selection in the LEACH Architecture," *IEEE IPCCC2007*, 2007.
- [23] 김병준, 유상신 "무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선택 알고리즘," *한국정보과학회 07'가을학술발표 논문집, Vol.34, No.2(D)*, 2007.
- [24] Huseyin Ozgur Tan and Ibrahim Korpeoglu "Power Efficient Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Network," *SIGMOD Record*, Vol.32, No.4, Dec. 2003.
- [25] Yong-hu Han, Seon-Ho Park, Jung-HO Eom and Tai-Myoung Chung, "Energy-Efficient Distance Based Clustering Routing scheme for Wireless Sensor Networks," *ICCSA2007, LNCS 4706 Part II*, pp. 196-206, 2007.
- [26] Kemei Du, Jie Wu and Dan Zhou "Chain-based Protocols for Data broadcasting and gathering in the sensor Networks," *IEEE IPDPS'03*, 2003.
- [27] Volkan Rodoplu and Teresa H. Meng "Minimum Energy Mobile wireless Networks," *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL 17, NO. 8*, 1999.



김 현 덕

2009년 인하대학교 일반대학원  
정보공학과 석사졸업  
2009년~현재 인하대학교 일반대  
학원 정보공학과 박사재  
학  
관심분야 : 센서 네트워크, 애드 혹  
네트워크, 데이터 베이스



최 원 익

1996년 서울대학교 컴퓨터공학  
과 졸업(공학사)  
1998년 서울대학교 대학원 컴퓨  
터공학과 졸업(공학석사)  
2004년 서울대학교 대학원 전기  
컴퓨터공학부 졸업(공학  
박사)  
2006년~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수.  
관심분야 : 모바일/유비쿼터스 컴퓨팅, GIS/LBS, 텔레매  
틱스