

LEACH와 PEGASIS 기법에 기반한 에너지 효율적 하이브리드 라우팅 규약

이 영 한[†] · 이 현 준[†] · 이 경 오^{***}

요 약

무선 센서 네트워크에 사용되는 센서들은 제한된 배터리에 의해서 가동되며 배터리의 수명이 다하면 센서 네트워크가 정상적으로 동작할 수 없으므로 각 센서들의 에너지를 효과적으로 사용하는 라우팅 기법이 사용되어야 한다. 이러한 라우팅 기법 중에 가장 널리 알려진 기법이 LEACH와 PEGASIS 기법이나 LEACH(혹은 LEACH-C) 기법은 헤드 노드의 전력 소모가 심하여 다른 노드보다 먼저 수명을 다하는 단점이 있으며 PEGASIS 기법은 LEACH 기법보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있으나 소스 노드에서 싱크노드로 데이터를 전송하기 위해 매우 긴 홉을 통과하여 데이터가 전달되기 때문에 전송시간이 길고 싱크 노드에 가까운 노드들의 에너지 소모가 급격하게 진행된다는 단점이 있다. 본 논문에서는 LEACH의 클러스터링 기법과 PEGASIS 기법 체인연결 기법을 혼합하여 사용함으로써 센서네트워크를 보다 오래 사용할 수 있는 하이브리드 기법을 제시하였으며 LEACH-C 기법보다는 33% PEGASIS 기법보다는 18%의 성능의 향상을 가져올 수 있었다.

키워드 : LEACH, PEGASIS, 클러스터링, 센서 네트워크, 네트워크 수명, 라우팅 규약

An Energy Efficient Hybrid Routing Protocol Based on LEACH and PEGASIS

YoungHan Lee[†] · HyunJun Lee[†] · KyungOh Lee^{***}

ABSTRACT

Since all sensor nodes in wireless sensor networks work by their own embedded batteries, if a node runs out of its battery, the sensor network can not operate normally. In this situation we should employ the routing protocols which can consume the energy of nodes efficiently. Many protocols for energy efficient routing in sensor networks have been suggested but LEACH and PEGASIS are most well known protocols. However LEACH consumes energy heavily in the head nodes and the head nodes tend to die early and PEGASIS - which is known as a better energy efficient protocol - has a long transfer time from a source node to sink node and the nodes close to the sink node expend energy sharply since it makes a long hop of data forwarding. We proposed a new hybrid protocol of LEACH and PEGASIS, which uses the clustering mechanism of LEACH and the chaining mechanism of PEGASIS and it makes the life time of sensor networks longer than other protocols and we improved the performance 33% and 18% higher than LEACH-C and PEGASIS respectively.

Keywords : LEACH, PEGASIS, Clustering, Sensor Network, Network Lifetime, Routing Protocol

1. 서 론

MANET (Mobile Ad-hoc Network)이란 외부 유선 기반망의 도움이나 연결 없이 독립적으로 이동하는 무선 단말 기끼리 서로 통신하며 이동하는 망의 형태를 말한다. 이러한 네트워크는 무선 단말 노드들의 에너지 자원이 한정적이고, 노드의 이동성으로 인하여 기존의 라우팅 프로토콜을 MANET 센서 네트워크에 바로 적용하기에는 적합하지 않

다. 따라서 센서 네트워크에서 요구되고 있는 여러 가지 문제들을 해결하기 위해 많은 센서 네트워크 알고리즘들이 제안되어 있다. 현재까지 제안된 라우팅 기법을 크게 분류하면 수평적인 (Flat) 기법, 계층적인 (Hierarchical) 기법, 그리고 위치기반 (Location-based) 라우팅 기법 등으로 나누어 볼 수 있다.

계층적 라우팅 기법 중에서 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 라우팅 기법[1][13][14]이 대표적이라 할 수 있으며 이의 단점을 보완하기 위해서 제안된 라우팅 기법인 PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)[2][12][15]도 상당히 잘 알려져 있다. 그러나 LEACH(혹은 LEACH-C) 기법은 헤드 노드의 전력 소모가 심하여 헤드 노드가 다른 노드에 비해 일찍

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2009-C-1090-0902-0020).

† 준 회 원 : 선문대학교 컴퓨터정보학과 박사과정

** 중 신 회 원 : 선문대학교 컴퓨터공학부 부교수

논문접수: 2009년 4월 21일

수정일: 1차 2009년 6월 2일, 2차 2009년 6월 25일

심사완료: 2009년 6월 28일

수명을 다하는 단점이 있으며 PEGASIS 기법은 LEACH 기법보다 성능이 우수하다고 알려져 있지만 소스 노드로부터 싱크 노드까지의 경로의 길이가 대단히 길어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 LEACH와 PEGASIS 프로토콜이 가지고 있는 취약점들을 해결하고 센서 네트워크상에 존재하는 노드들의 에너지를 보다 효율적으로 사용하게 하여 전체적인 가용 시간을 향상시킬 수 있는 LEACH와 PEGASIS를 혼합한 하이브리드 라우팅 알고리즘을 제안한다.

제2장 관련 연구에서는 LEACH-C 라우팅 기법과 PEGASIS 라우팅 기법에 대해 알아보고, 제3장 제안 알고리즘에서는 본 논문에서 제안하고 있는 HLP라우팅 기법을 설명한다. 제4장 실험 및 평가에서는 NS-2 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 실시하였고 제5장 결론에서 향후 연구 방향과 개선점에 대해서 기술하였다.

2. 관련연구

2.1. 센서 네트워크 라우팅 기법

라우팅 기법은 크게 평면적 라우팅 기법과 계층적 라우팅 기법 그리고 위치기반 라우팅 기법으로 나누어 볼 수가 있다. 그 세 가지 기법들의 특성과 취약점들을 알아보자.

- 수평적 라우팅 기법

수평적 라우팅 기법은 대부분 플로딩 (Flooding)에 기반을 둔 라우팅 기법이다. 무선 센서 네트워크의 노드는 전역 식별자를 가지기 어렵기 때문에 각 노드는 동등한 역할을 가지게 되며 전송되는 데이터에 기반을 둔 라우팅을 구현한다. 수평적 라우팅 기법들을 보면 기존 애드-혹 라우팅 기법에 사용되었던 것들을 센서 네트워크에 접목하려는 시도로 보여 지는 것들이 대부분이어서 에너지 효율적인 부분을 고려하지 않았기 때문에 센서 네트워크 라우팅 기법에는 적합하지 않다고 본다[3].

- 계층적 라우팅 기법

이 기법은 네트워크를 일정 규모의 부분 집합으로 나누어 그룹을 형성해서 감지한 데이터를 수집과 병합을 수행하여 전송량을 줄인 후 싱크 노드 혹은 BS(베이스 스테이션) 노드로 최종 전송하는 방식이다. 이는 무선 센서 네트워크의 배치 및 동작의 특성을 살펴볼 때 밀접하게 위치한 노드들은 비슷한 데이터를 감지할 수 있기 때문에 국부지역(Local Area)에서 이를 병합하여 줄임으로써 전체 네트워크의 전송량을 줄일 수 있다[4]. 하지만, 헤드 노드에 걸리는 에너지 소모 문제를 해결하기 위해서 다양한 방법의 라우팅 기법들이 나오고 있는 실정이다[5].

- 위치기반 라우팅 기법

이 기법은 노드의 위치정보에 기반을 두어 라우팅을 수행하는 기법으로서 노드들은 자신의 위치를 미리 알고 있어야 하는 단점을 가진다[6]. 각각의 노드들은 라우팅 테이블을

가지고 있어, 센서 네트워크에 라우팅 정보가 갱신이 될 때마다 테이블 정보를 수정해야 하고, 이를 계속 유지해야 하는 문제를 가지고 있다. 그로 인해 발생하는 오버헤드로 노드의 수명이 줄어들게 된다.

위와 같이 기존에 연구된 대표적인 클러스터링 기법 3가지 종류 중에서 본 논문에서는 계층적 라우팅 기법이 현실적으로 타당성이 높다고 판단하고 이를 기반으로 한 새로운 라우팅 기법에 대해서 제안하였다.

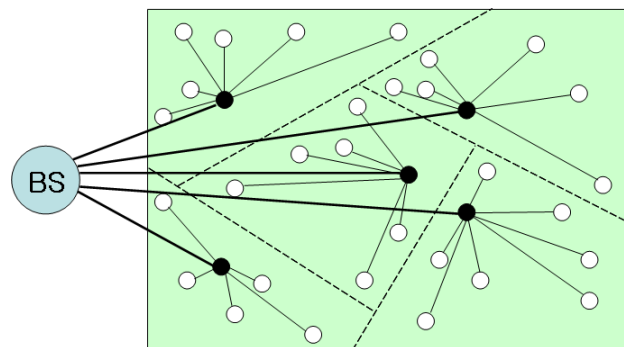
2.2. LEACH 라우팅 프로토콜

클러스터 기반의 프로토콜 기법 중 대표적인 것으로 LEACH가 있다. LEACH는 클러스터 헤드를 확률적으로 선정하여 클러스터 내의 모든 노드들에게 클러스터 헤드가 될 수 있는 기회를 준다. LEACH는 라운드라는 시간단위로 구성되고 클러스터 구성 시에 클러스터 헤드를 선정하고 헤드가 선정되면 광고메시지를 통해 모든 노드들에게 이를 알리고 TDMA 스케줄을 작성하여 클러스터 구성노드들에 전파한다. 그리고 구성노드들은 정해진 스케줄에 따라서 데이터를 전송하고 전송이 끝나면 대기(sleep) 모드로 전환하여 에너지 소모를 줄인다.

이렇게 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜은 인접한 노드들의 유사한 정보의 중복전달로 인한 에너지 소모를 감소시켜 에너지 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 즉 센서들에 대한 클러스터를 형성하여 유사한 이벤트 정보들을 클러스터 헤드에서 데이터 통합과정을 통해 걸러냄으로써 보다 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 한다. 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜의 구성은 아래 (그림 1)과 같이 표현할 수 있다.

(그림 1)과 같이 클러스터 기반의 프로토콜은 노드들을 클러스터 단위로 묶고 이 중 하나의 헤드노드(검정색)를 선출하여 주변의 구성원 노드(흰색)들로부터 데이터를 전달받아 데이터들을 통합하여 BS(Base Station)로 전달한다.

LEACH(혹은 이를 개선한 LEACH-C) 기법은 헤드 노드의 전력 소모가 심하여 다른 노드들보다 먼저 수명을 다하는 단점이 있다.



(그림 1) LEACH-C 라우팅 프로토콜

2.3. PEGASIS 라우팅 프로토콜

PEGASIS 라우팅 기법은 LEACH 라우팅 기법의 클러스터 구성과 데이터의 전송 방법을 개선하여 에너지 소모를 줄일 수 있다. 각 노드는 가장 근접한 노드로 데이터를 전송하고 최종적으로는 이들 중 하나의 노드(리더 노드-Leader Node, 검정색)가 BS 노드로 데이터를 전송하는 역할을 수행을 하게 된다. PEGASIS 라우팅 기법의 동작 과정은 (그림 2)와 같다.

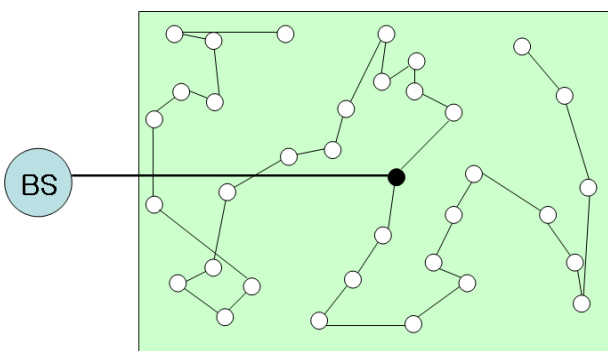
• 체인 생성

체인생성은 (그림 3)과 같이 Greedy 알고리즘을 이용한 자체구성(Self-organization)기법과 BS 노드에서 체인을 구성하여 노드에게 브로드 캐스트 하는 두 가지 기법이 있다. 전자의 경우, BS 노드로부터 가장 먼 거리에 있는 노드부터 체인형성 과정이 시작된다. 그림과 같이 BS 노드로부터 거리가 가장 먼 노드 c0이 체인의 시작점이 되고 노드 c0은 가장 인접한 노드 c1을 체인의 다음 노드로 선택한다. 이 과정은 모든 노드가 체인에 속할 때까지 반복하게 된다[7].

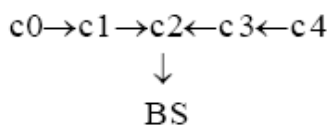
• 데이터 전송

체인이 형성된 후에는 노드는 자신의 데이터를 이웃 노드에게 전송하고 이를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 이웃 노드에게 전송한다. BS 노드로 전송하는 역할은 각 노드들이 서로 역할을 차례로 맡게 된다.

데이터 전송은 그림3과 같이 이루어지게 되는데 먼저 노드 c2가 헤드의 역할을 맡았다면, 토큰(Token)을 노드 c0에게 전달하고 이를 수신한 c0는 데이터를 c1으로 전달하고 c1은 수신한 데이터와 자신의 데이터를 병합하여 c2로 전달



(그림 2) PEGASIS Routing Protocol



(그림 3) Greedy 알고리즘 체인형성 과정

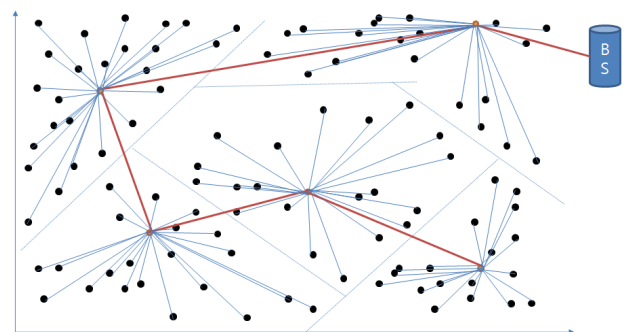
한다. c1으로부터 데이터를 수신한 c2는 다시 c4로 토큰을 전달하여 반대 방향의 데이터를 수집한다. PEGASIS 기법은 전체적으로는 LEACH 기법보다 우수한 성능을 보이고 있으나 데이터 전송을 위해 선정된 경로의 길이가 대단히 길어져서 전송지연이 상당히 커질 수 있으며 이에 따라 전송경로의 단절 현상이 발생할 확률이 높아지는 문제가 있고 BS에 가까운 노드들이 다른 노드들에 비해서 에너지 소모가 더 크다는 단점이 있다.

3. 제안 프로토콜

3.1. 기본 동작 원리

일반적으로 센서 네트워크에서 가장 중요하게 생각되는 것이 네트워크에 존재하는 노드들의 수명이다. 각 노드들은 내장된 배터리에 의해 작동을 하며 회수 불가능한 지역에 배포됨을 가정하는 경우가 많기 때문에 이 배터리를 다 쓰게 되면 쓸모없는 노드가 된다. LEACH기법과 PEGASIS기법 모두 이러한 네트워크 상의 노드들의 수명을 연장하기 위하여 에너지를 효율적으로 사용할 수 있도록 고안된 라우팅 기법이라고 할 수 있다. 센서 네트워크에서는 한 개의 노드가 죽기 시작하게 되면 그때부터 네트워크의 수명이 끝난 것이라고 봐야하며 첫 번째 노드가 죽은 후 다른 노드역시 빨리 수명을 다하게 된다. 본 논문에서는 이러한 네트워크 상에서 첫 번째로 수명을 다하는 노드의 수명을 연장하는 것을 목표로 새로운 라우팅 기법을 제안한다.

본 기법에서는 우선 노드들을 (그림 4)에서 보는 것과 같이 LEACH-C 기법에서처럼 BS에서 선출된 클러스터 헤드를 중심으로 클러스터를 구성한다. 본 그림에서 붉은색으로 표시된 것이 헤드노드이며 검정색으로 표시된 것은 구성원 노드(Member Node)이다. 여기서 PEGASIS 기법에서 사용된 Greedy 알고리즘을 이용하여 헤드 노드들 간의 체인을 구성한다. 각 클러스터에 소속되어 있는 노드들은 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 구축된 체인을 통해 리더 노드로 데이터를 전송하고 최종적으로 리더노드는 통합된 데이터를 BS에게 전송하는 구조를 가진다. 이 리더 노드는 고정되어 있는 것이 아니라 헤드노드들 중에 잔여 에너지양이 가장 높은 노드를 선정함으로써 특정한 노드



(그림 4) 개선된 HLP 라우팅 기법

가 반복적으로 리더 노드로 선정되어 빨리 수명을 다하는 단점을 줄일 수가 있다. 이러한 방법을 통하여 BS로의 전송에 대한 헤드노드들의 오버헤드를 줄임으로써 네트워크의 전체 수명을 늘릴 수가 있다. 즉 클러스터를 구성하는 것은 LEACH-C 기법과 동일하지만 LEACH-C 기법에서 각각의 헤드 노드들이 BS로 데이터를 전송하는 것과는 달리 PEGASIS 기법을 헤드 노드들의 체인 형성에 사용하고 이 체인을 이용하여 데이터를 BS로 전송하게 하는 하이브리드 기법으로 HHL(Hybrid Routing Protocol of LEACH and PEGASIS)로 명명하였다.

모든 헤드노드가 BS까지 직접 송수신하는 LEACH-C의 경우는 BS에 데이터를 전송하는데 사용되는 에너지가 각각의 헤드 노드마다 다르게 소비되며 이때 사용되는 에너지의 소모량은 전송해야 할 거리의 비례하여 커지게 된다. 또한 헤드노드들은 데이터를 데이터를 취합하여 BS로 전송해야 하고 전송에 참여하는 횟수가 일반 노드들보다 많기 때문에 다른 노드들보다 에너지를 많이 소모하게 되고 결국 헤드노드가 일찍 사망하게 된다. 반면 HLP기법은 BS로 데이터를 전송하는 리더노드는 헤드노드 중에 에너지 잔존 비율이 높은 노드 하나를 선택하여 하기 때문에 헤드노드들의 에너지 소비를 보다 균등하게 할 수 있고 결과적으로 전체 네트워크 수명을 연장하는데 큰 도움을 준다.

LEACH-C 기법이 헤드노드들의 에너지를 많이 소모하는 단점을 개선하기 위하여 제안된 PEGASIS 기법은 모든 노드들이 참여하는 체인을 형성하기 때문에 체인의 길이가 매우 길어지게 되어 전송 지연 시간이 매우 커지게 되거나 중간에 죽은 노드가 발생하여 연결체인이 끊어질 염려가 있다. 하지만 HLP기법의 경우 평균 체인의 길이가 PEGASIS 기법에 비하여 전송에 걸리는 시간을 매우 큰 폭으로 단축할 수 있다. PEGASIS 기법에서는 BS에 가까운 노드들이 데이터 전송에 참여할 확률이 높게 되어 결과적으로 그러한 노드들이 수명을 더 일찍 다하게 되는데 본 기법에서는 클러스터 헤드 노드들 간의 체인을 형성하고 리더노드를 효율적으로 선택하기 때문에 이러한 단점을 줄일 수가 있다.

3.2. 클러스터 헤드 선출 기법

LEACH-C 기법에서 이용된 헤드선출 기법을 개선하고 에너지를 보다 효율적인 방법으로 사용할 수 있도록 헤드를 선출하거나 교체하기 위해서 임계값(E)을 사용한다.

최초에는 클러스터 내에 에너지 잔존량이 가장 큰 노드를 헤드로 선출하게 된다. 이 때 사용하는 임계값은 아래의 식을 계산하여 그 중 얻어진 값을 비교하여 E값이 크면 헤드로 선출한다.

$$E = E_{res}/E_{INT} * CH_{pnt} \tag{1}$$

$$E' = \sum E_{res}/\sum E_{INT} * CH_{pnt} \tag{2}$$

식(1)과 식(2)에서 E_{res}는 노드의 잔류 에너지양이고, E_{INT}는 노드가 가진 초기 에너지양이다. 또 CH는 클러스터

헤드(Cluster Head)를 의미하며 CH_{pnt}는 전체 네트워크의 데이터 수집헤드의 비율을 나타낸다. CH_{pnt}는 헤드노드의 임계값을 정하는 상수로써 활용된다. 임계값을 정할 때 헤드노드의 비율은 매우 중요한 비중을 차지한다. 여기서는 최적의 클러스터 헤드의 비율을 5%로 설정하였다. 이 비율은 LEACH-C 기법과 같은 비율이다[2].

만약 계산된 E값이 정해진 수치 E'보다 작아지면 헤드노드는 후보노드에게 그 권한을 이양한다. 데이터 수집헤드의 권한을 이양 받은 후보노드는 클러스터내의 구성 노드들에게 자신이 새로운 데이터 수집헤드가 되었음을 전파하고 클러스터 헤드의 역할을 수행한다.

헤드노드를 선출하는 과정에는 모든 노드들이 BS로 데이터를 전송해야 하고 BS에서 헤드 노드를 선출한 후 모든 노드들에게 헤드 노드에 관한 정보를 방송(Broadcasting)해야 하는 등 많은 오버헤드가 들게 되어 있기 때문에 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 가능하면 적게 수행하는 것이 좋다. 각 노드들은 최초에 주어진 에너지를 비정상적으로 급격하게 소모하여 예상되는 에너지 보유량과 큰 차이를 보이는 경우는 많지 않으므로 현재 클러스터 헤드를 선출하는 과정에서 두 번째로 에너지 잔존량이 많은 노드가 다음 헤드 선출 단계에서 클러스터 헤드 노드로 선출될 가능성이 매우 높다. 이러한 휴리스틱에 기반을 두어 원래의 LEACH-C 기법에서는 헤드를 선출할 때 하나의 클러스터 헤드만을 선출하였으나 본 기법에서는 1개의 헤드 외에 3개의 후보 헤드 노드를 선출하였다.

후보노드의 개수는 1개에서 n개까지 자유롭게 선택하여 알고리즘을 수행할 수 있으나 4개 이상의 후보노드를 선택하는 경우 5개의 노드가 임계값 이하로 에너지 잔존량이 줄어드는 경우 이미 오랜 시간이 경과한 이후이므로 새로운 헤드 선출알고리즘이 가동하여 헤드를 선출하게 하는 것이 바람직하다. 이렇게 하면 비정상 상황이 발생하여 특정 노드가 정상보다 과도하게 에너지를 소비하였는데도 오래된 후보 노드의 리스트에 소속되어 있었기 때문에 그 노드가 헤드로 선출되는 것을 막을 수 있게 된다. 이렇게 함으로써 LEACH-C 기법에서 헤드 선출에 드는 오버헤드를 1/4로 줄일 수가 있다.

3.3. 제안 알고리즘

Step 1에서는 노드의 위치기반을 파악하기 위해BS가 각각의 노드, CH(Cluster Head), 하나의 클러스터에 소속되어져 있는 일반노드들에게 잔류 에너지와 위치정보를 요구하는 메시지를 전송하고 메시지를 받은 노드들은 잔류 에너지와 위치정보에 대한 데이터를 응답메시지에 실어 BS에 전송한다. 이 과정은 BS가 클러스터 헤드노드를 선출하기 위해 LEACH-C 기법에서 사용된 내용과 동일하다.

Step 2에서는 Step 1에서 전송받은 데이터를 기반으로 BS는 헤드 노드를 에너지 정보를 기반으로 선정한다. 헤드로 선출된 노드는 TDMA 스케줄을 작성하여 주변의 노드들에게 전파한다. 이 과정은 기본적으로 LEACH-C 기법과

<p>Step 1 : 초기화 모든 노드에게 헤드 선출을 위한 브로드캐스트 메시지를 보낸다. 모든 노드는 BS에게 자신의 위치와 에너지양을 전송한다.</p>
<p>Step 2 : 헤드 선출 에너지를 잔량이 가장 큰 4개의 노드 NA, NB, NC, ND를 선출. $E(NA) > E(NB) > E(NC) > E(ND)$이며 NA는 BS에 의해서 헤드노드로 선출되고, 나머지는 후보노드가 된다. BS는 E'를 계산하여 NA에게 전송함. 만약 (NA의 $E > E'$)를 만족하면 NA가 CH가 된다.</p>
<p>Step 3 : 체인 형성 TOKEN을 End_CH로부터 Next_CH에게 전송 TOKEN을 CH로부터 to BS로 전송 BS는 "체인완성" 메시지를 브로드캐스팅.</p>
<p>Step 4 : 운영 클러스터의 노드들은 CH에게 데이터 전송 데이터 수집 CH들은 PEGASIS 체인을 따라 리더노드로 데이터를 전송 리더노드는 데이터를 BS에 전송</p>
<p>Step 5 : 헤드 교체 $E(CH) < E'$ 이면 CH의 권한을 다음 후보 노드에게 이양 만약 3개의 후보 노드의 E가 E'보다 작으면 Step2를 재설정</p>

(그림 5) 운영 알고리즘 의사 코드

동일하나 본 기법에서는 1개의 헤드 노드와 3개의 후보노드를 선출하고 추후 헤드 노드를 재 선출해야 하는 상황에서 헤드 선출 알고리즘을 수행하지 않고 후보노드가 헤드의 역할을 대행하게 하는 점에서 큰 차이가 있다.

Step 3에서는 앞에서 정해진 클러스터 헤드 노드들에 대한 체인을 형성하는 과정이다. PEGASIS기법에서 사용된 Greedy 알고리즘을 이용한다. 모든 헤드 노드들은 BS로부터 가장 멀리 떨어진 헤드노드를 시작으로 가장 가까운 헤드노드까지 체인으로 형성하여 BS와 가까운 노드부터 에너지 잔존량이 임계값보다 높은 노드를 리더노드로 선출하고 리더노드를 통해 BS로 전달한다.

Step 4에서는 Step 2와 3에서 체인으로 구성된 노드들을 통해 BS에게 클러스터마다 수집되어진 데이터를 클러스터 헤드를 통해 전달하고, 클러스터 헤드들은 리더 노드에게 전달하는 과정을 거친다.

Step 5에서는 클러스터 헤드노드의 에너지가 고갈되어 교체해야 할 경우 3.2절에서 언급한 클러스터 헤드 선출기법을 통해 클러스터 헤드를 재선정하게 된다. 즉 클러스터 헤드의 에너지 잔존량이 정해진 값보다 작아지게 되면 클러스터 헤드 재선출하는 알고리즘을 수행하여야 하나 본 기법에서는 일차적으로 후보 노드들이 클러스터 헤드 역할을 수행하게 함으로써 헤드 선출에 필요한 오버헤드를 줄일 수가 있다.

본 논문에서 제안한 기법과 유사하게 LEACH-C와 PEGASIS를 접목하여 BS에서 모든 라우팅을 결정하는 기법인 BCDCP가 제안되었다[8]. 하지만 이 기법은 모든 노드들이 BS로 직접 데이터를 전송할 수 있는 능력을 가지고

있어야 하며 노드들의 움직임이 없는 것을 가정하고 있기 때문에 이는 현실성이 떨어져서 사용하기 힘든 기법이라고 할 수 있다[9][10]. 반대로 제안한 기법에서는 주기적으로 전체 센서네트워크의 모든 노드들이 클러스터를 재설정하고, 이와 같은 내용을 헤드노드를 통해서 BS로 보고하기 때문에 노드의 이동성을 보장할 수 있다. 또한 HLP의 경우 복수개의 후보노드를 선정하고 헤드노드(혹은 리더노드)의 에너지양이 정해진 값 이하로 떨어지면 헤드 교체 알고리즘을 수행하는 대신 후보노드가 헤드노드의 역할을 대신 수행하게 함으로써 헤드(혹은 리더)노드의 재선출 알고리즘을 수행하는 오버헤드를 큰 폭으로 줄일 수가 있다.

4. 실험 및 평가

4.1. 시스템 평가 환경

NS-2 시뮬레이션 (ns-2.33 version)을 이용하였으며 LEACH, LEACH-C, PEGASIS와 제안된 HLP 라우팅 기법들의 성능을 테스트하였다. 단, 아래와 같이 가정으로 실험을 실시하였다.

- 1) BS(Base Station)는 매우 강력한 파워와 연산능력, 그리고 송수신 능력을 가지고 있다.
- 2) 노드들은 동일한 성능의 센서와 송수신기를 보유하고 있다.
- 3) BS는 모든 노드의 위치정보를 알고 있다.
- 4) 모든 노드는 이웃노드와 거리를 알고 있다.
- 5) 모든 노드의 전송거리는 100m로 설정한다.

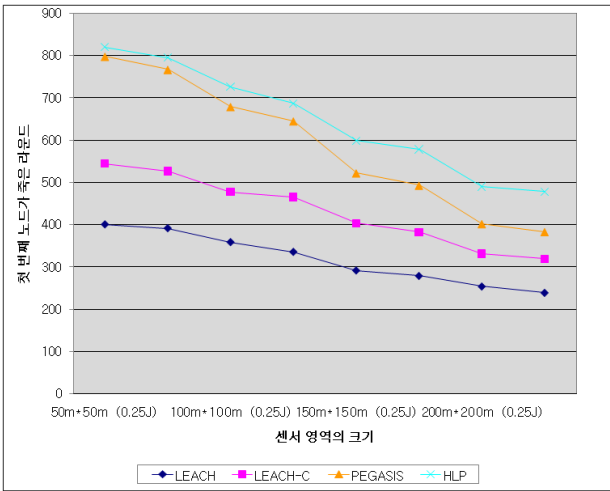
각 센서 노드는 <표1> 시스템 설정환경에서와 같이 10kbps의 송신에 비트당 20μJ를 소비하고 수신때에는 11μJ를 소비하므로 128 byte의 데이터를 송수신하는 경우에는 각각 0.02J와 0.011J를 소모한다.

<표 1> 시스템 설정환경

내용	설정값
센서 노드 초기에너지량	25kJ
송수신시 전력량	200mW/110mW
비트당 송수신 소모에너지	20μJ(송신)/11μJ(수신)

4.2. 성능평가

첫 번째 실험은 각각의 프로토콜들에서 노드들의 생존율을 비교하는 실험을 하였다. 아래 (그림 6)에서 150개의 노드를 50m * 50m의 실험공간에서부터 200m * 200m의 공간에 이르기까지 공간의 크기를 변화시켜가며 실험을 실시했으며 각 노드들은 초기에 25kJ의 배터리 에너지를 보유하고 있다고 가정하였다. 같은 개수의 노드가 존재하므로 네트워크 공간이 넓어질수록 센서 노드들의 밀도는 줄어들게 된다. X축은 센서들의 공간의 크기를 나타내며 Y축은 실험을 실시한 라운드의 수를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 노드의 밀도가 커질수록 HLP 기법과 기존 PEGASIS 기법보다 네트워크 수명의 차이는 크지 않으나 노드 밀도가 낮

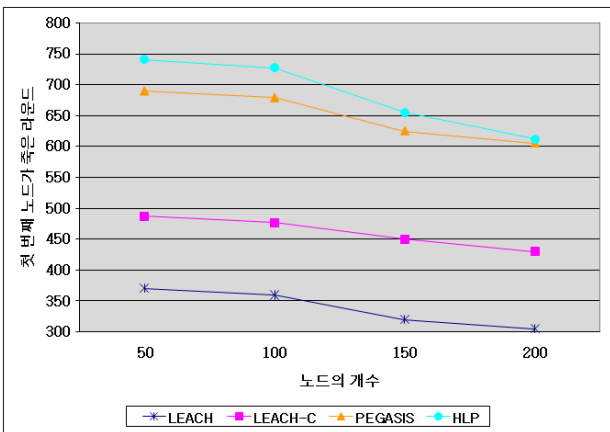


(그림 6) 공간 밀도에 따른 기법별 성능 분석

을수록 HLP의 성능이 우수한 것을 볼 수 있다. 센서들의 밀도가 높은 경우에는 센서들이 좁은 공간에 가깝게 위치하고 있는 것을 의미하며 이는 일반적인 센서네트워크 환경이 아니라고 할 수 있으며 센서와 센서의 간격이 어느 정도 떨어져 있는 것이 더 보편적이라 할 수 있다. 실험에 의하면 200m * 200m의 공간에서는 HLP가 PEGASIS에 비해 18% 정도 성능이 향상되었다.

(그림 7)에서는 100m * 100m 공간에서 노드의 수를 50개에서 200개로 변경하며 실험한 결과를 나타내었다. 노드의 밀도가 크지 않은 경우는 PEGASIS에 비해 HLP가 높은 성능을 보이지만 노드들의 밀도가 높아지면 HLP는 PEGASIS에 비해 약간의 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있었다.

다음은 프로토콜들에서 최초로 죽는 노드가 몇 라운드 만에 발생하는지를 100m * 100m 범위에서 노드 수 100개와 노드 수 200개에 대하여 보다 상세한 수치를 <표 2>에 표시하였다. 노드 수 100개인 경우 LEACH에 비해서 약 48%, LEACH-C와 비교해서는 약 33%, PEGASIS와의 비교는 약 7%가량 향상된 것을 볼 수 있었으며 노드 수 200개에서는 LEACH에 비해서 약 49%, LEACH-C와 비교해서는 약



(그림 7) 노드의 개수에 따른 성능 분석

<표 2> 최초로 죽은 노드 발생한 라운드 비교분석표

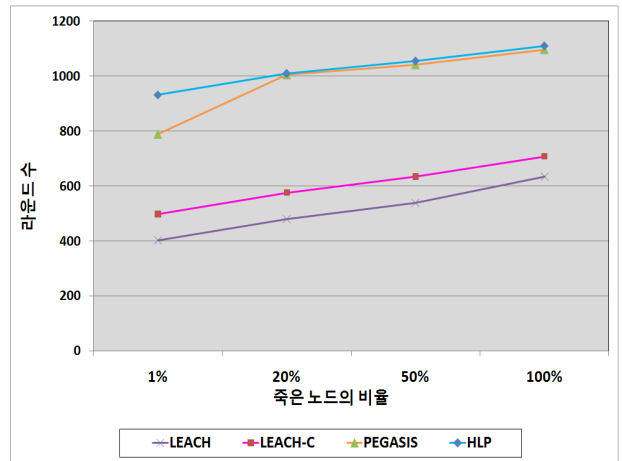
	노드 수 100개	노드 수 200개
	최초로 죽은 노드가 발생한 라운드	
LEACH	359	254
LEACH-C	477	331
PEGASIS	679	402
HLP	727	491

34%, PEGASIS와의 비교는 약 18%가량 향상된 것을 볼 수 있었다.

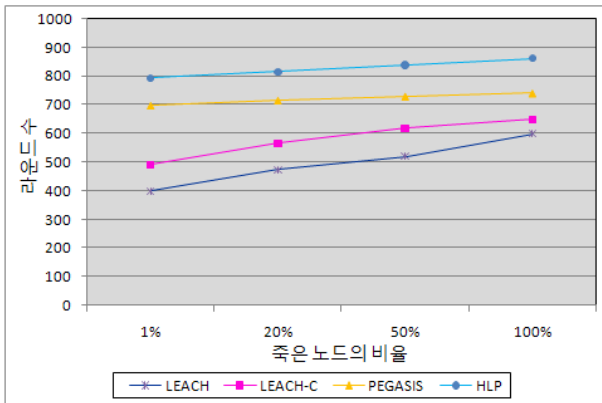
다음은 PEGASIS논문에서 인용한 방법으로 죽은 노드를 1%, 20%, 50%, 100%로 나누어 라운드 별로 그 값을 측정하였다. 100m * 100m 범위에서 노드 200개가 죽는 비율을 (그림 8)에서 나타내고 있다. <표 1>에서와 같이 모든 노드들이 에너지를 소비한다고 가정하였을 때 HLP는 다른 기법보다 전체 네트워크 수명에서도 높은 성능을 보여준다. HLP 기법은 이상의 실험들에서 기존에 제안된 알고리즘보다 에너지 효율성과 네트워크 생존시간에 있어서 훨씬 안정되고 향상된 성능을 보여주고 있다.

다음으로 센서 노드의 이동성을 고려한 실험을 실시하였다. 일반적으로 자동차와 같이 빠른 속도로 움직이는 센서들은 경로의 설정이 매우 빠르게 변경되기 때문에 한정된 배터리를 갖는 센서네트워크에서는 부적합하며 제한된 센서들이 제한된 속도로 움직이는 것을 가정하는 것이 일반적이라 할 수 있다. 따라서 (그림 6)에서는 확률분포함수를 사용하여 평균적으로 2.5%의 노드가 다음 라운드에서 다른 위치로 이동하였을 때를 가정하여 실험한 결과를 나타내었고, (그림 7)에서는 평균적으로 5%의 노드가 이동하였을 때를 가정하여 실험 결과를 표시하였다. 노드들은 주변노드의 이동을 파악하기 위해 라운드마다 이웃노드의 이동을 파악하는 메시지를 보내게 된다. 이는 LEACH-C, PEGASIS, HLP 모두 동일하고, 만약 이동노드가 발생한 경우 3가지 방법 모두 경로를 재설정하는 과정을 수행해야한다.

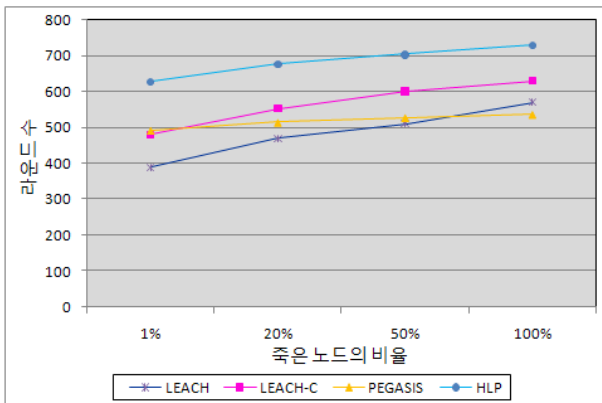
(그림 6)의 결과를 보면 노드의 이동에 대해서 가장 큰



(그림 8) 모든 노드가 죽을 때까지의 라운드 수



(그림 9) 2.5%의 노드가 이동하였을 때 라운드별 죽은 노드의 비율



(그림 10) 5%의 노드가 이동하였을 때 라운드별 죽은 노드의 비율

영향을 받는 기법은 PEGASIS로 나타났다. PEGASIS 기법은 최초의 경로 설정 시에 BS로부터 가장 먼 곳에서부터 시작하여 모든 노드들이 참여하는 체인을 형성하여 리더노드까지 연결하게 된다. 즉 모든 노드들이 참여하는 체인을 재구성하는데 필요한 오버헤드가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있으며 이 오버헤드가 추가적인 에너지 소모를 유발시켜 전체 센서네트워크에 영향을 주어 그림8과 비교하였을 때 성능이 큰 폭으로 저하되는 것을 알 수 있다. 이는 이동하는 노드의 수가 증가하게 되면 더욱 영향을 받게 되어 (그림 7)처럼 성능저하가 급격하게 나타나게 된다. 반면에 LEACH-C와 HLP는 클러스터 기반으로 운영되어 경로 재설정 때 따른 오버헤드가 상대적으로 작다고 할 수 있다. 특히 헤드노드가 아닌 일반 노드의 이동은 경로 재설정 과정이 필요하지 않게 되어 보다 적은 오버헤드가 발생한다.

5. 결론

센서 네트워크의 기법들 중에서 에너지 효율적이라고 평가되는 기법이 LEACH-C기법과 PEGASIS이다. LEACH-C 기법에서는 클러스터 헤드가 클러스터 내의 노드들의 데이터를 취합하여 BS로 전송하게 된다. 따라서 헤드 노드들의

에너지 소모량이 크게 되어 다른 노드에 비해 빨리 죽게 되는 문제가 있다.

PEGASIS는 클러스터링 기법을 이용한 LEACH-C 기법을 보완한 기법으로 LEACH-C처럼 클러스터 기반으로 구성되어 있지 않고, 체인이라는 형태로 노드와 노드를 연결하여 에너지 소모의 최적화를 꾀하였다. 하지만, 노드의 수가 증가하면 체인의 길이가 길어지고 이로 인해 소스에서 싱크노드인 BS까지 데이터가 전송되는 시간이 길어지고 BS에서 가까운 노드가 빨리 수명을 다하는 부작용이 나타나게 된다. 또한, 일정량의 노드들이 이동을 하게 될 경우에는 체인형성 과정을 반복해야 함으로 에너지 소모가 커진다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 PEGASIS와 LEACH-C기법의 유기적으로 결합하여 해결을 시도하였다. 즉 LEACH-C 기법과 마찬가지로 노드들을 클러스터로 구분하고 클러스터 헤드를 선출하여 이 클러스터 헤드가 데이터를 취합하여 전송하게 한다. 하지만 본 기법에서는 클러스터 헤드를 결정하는 과정의 오버헤드를 줄이기 위하여 한 번의 클러스터 헤드 선출 과정에서 복수개의 후보노드를 추가하도록 개선을 꾀하였다. 이렇게 클러스터 헤드가 선출이 되면 PEGASIS 기법에서처럼 클러스터 헤드끼리 체인을 형성하여 BS로 데이터를 전송하게 한다. 따라서 본 논문에서 제안한 HLP 기법은 체인에 동참하는 노드의 수가 적어 데이터 전달의 경로 길이가 짧아지게 되어 PEGASIS의 단점을 극복할 수 있었으며 클러스터링 단계의 오버헤드를 최소화 하여 성능의 극대화를 꾀하였다.

향후 연구과제로서 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드를 선출하는 과정에서 몇 개의 후보노드를 선정하는 것이 효율적인가를 연구할 것이다. 노드의 수와 노드가 분포한 영역의 넓이 등 여러 상황에 따라 최적값은 달라질 것으로 예상되며 많은 실험을 통해 이 값의 분포를 구하려고 한다.

참고 문헌

- [1] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks, IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2002.
- [2] S. Lindsey, C. S. Raghavendra, PEGASIS: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems, IEEE Aerospace Conference, 2002.
- [3] Tao Yang, Makoto Ikeda, Giuseppe De Marco, Leonard Barolli, Arjan Duresi, Fatos Xhafa, Routing Efficiency of AODV and DSR Protocols in Ad-Hoc Sensor Networks, The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, pp.66-71, 2008.
- [4] Zhang Jian-wu, Ji Ying-ying, Zhang Ji-ji, Yu Cheng-lei, A Weighted Clustering Algorithm Based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks, ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management,

pp.599-602, 2008.

[5] Dimitrios Koutsonikolas, Saumitra Das, Y. Charlie Hu, Ivan Stojmenovic, Hierarchical Geographic Multicast Routing for Wireless Sensor Networks, International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp.347-354, 2007.

[6] Wen-Jiunn Liu, Kai-Ten Feng, Greedy Routing with Anti-Void Traversal for Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008.

[7] Alokesh Chattopadhyay, Markose Thomas, Arobinda Gupta, An Energy Aware Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks, 15th International Conference on Advanced Computing and Communications, December 2007, pp.62-267.

[8] Muruganathan, S.D.; Ma, D.C.F.; Bhasin, R.I.; Fapojuwo, A.O., "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks", IEEE Comm. Mag. 43(3), pp. S8-13, 2005.

[9] J. Gong, H. Kim and G. H. Cho, A Coverage Efficient Clustering Method Based on Time Delay for Wireless Sensor Networks, the 2008 International Conference on Wireless Networks (ICWN'08: July 14-17, 2008), Las Vegas, US.

[10] Thomas de Ruiter, Survey on Wireless Sensor Networks, March 11, 2009 <http://www.st.ewi.tudelft.nl/~koen/wsn/2009/slides9.pdf>

[11] Abdelghani Bellaachia, Nilkamal Weerasinghe, Performance analysis of four routing protocols in sensor networks, International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 3(3), May 2008, pp167-173.

[12] Ameer Ahmed Abbasia, Mohamed Younisb, A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks, Computer Communications, 30(15), October 2007, pp.2826-2841.

[13] Shah, R.C. Rabaey, J.M., Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks, Wireless Communications and Networking Conference, Mar., 2002, pp.350-355.

[14] Zhou, J. and De Roure, D., Designing Energy-Aware Adaptive Routing for Wireless Sensor Networks, The 6th International Conference on ITS Telecommunications, 21-23 June 2006, Chengdu, China.

[15] J.-H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, Vol.12, No.4, Aug., 2004, pp.609-619.



이영한

e-mail : hans0209@sunmoon.ac.kr

2003년 선문대학교 컴퓨터정보학과(학사)
 2007년 선문대학교 전자계산학과(이학석사)
 2007년~현 재 선문대학교 컴퓨터정보학과
 박사과정
 관심분야 : 센서네트워크, 센서미들웨어,
 컴퓨터보안



이현준

e-mail : dblab@sunmoon.ac.kr

2005년 선문대학교 컴퓨터 정보학과(학사)
 2007년 선문대학교 전자계산학과(이학석사)
 2007년~현 재 선문대학교 컴퓨터정보학과
 박사과정
 관심분야 : 센서네트워크, 데이터베이스, RFID



이경오

e-mail : leeko@sunmoon.ac.kr

1989년 서울대학교 계산통계학과(학사)
 1994년 서울대학교 전산학과(이학석사)
 1999년 서울대학교 전산학과(이학박사)
 1999년~현 재 선문대학교 컴퓨터공학부
 부교수

관심분야 : 컴퓨터보안, 센서네트워크, 멀티미디어