

WSN의 확장성과 에너지 효율성을 보장하는 라우팅 프로토콜

정윤수*, 김용태**, 박길철***, 이상호****

A Routing Protocol for Assuring Scalability and Energy Efficiency of Wireless Sensor Network

Yoon-Su Jeong*, Yong-Tae Kim**, Gil-Cheol Park***, Sang-Ho Lee****

요약

무선 센서 네트워크에서는 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드의 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크의 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 장점이 있지만 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 이 논문에서는 계층적으로 센서 노드를 구성하고 있는 네트워크의 확장성을 보장하면서 전체 노드들의 파워 소비를 줄일 수 있도록 최적 경로 검색 프로세스를 수행하는 PRML 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 기법에서는 노드의 잉여 에너지와 연결도를 고려함으로써 클러스터 헤드의 부하 분산이 가능해 졌으며, 노드 간 통신 횟수를 줄일 수 있었다. LEACH-C, HEED 기법들과 비교 분석 결과, PRML 라우팅 프로토콜은 전체 에너지 소비 측면에서 평균 8%, 클러스터 헤드의 에너지 소비 측면에서 평균 6.4%의 효율성을 얻었고, 네트워크 확장성에 다른 에너지 소비 분포는 LEACH-C, HEED 기법보다 7.5%의 효율성을 얻을 수 있었다.

Abstract

While the wireless sensor network has a strong point which does not have effect on whole activities of network even though neighboring sensor nodes fail activities of some sensor node or make some functions disappear by the characteristic of similar information detection, it has problems which is slowing down of wireless medium, transfer character with severe error, limited power supply, the impossibility of change by optional arrangement of sensor nodes etc. This paper proposes PRML techniques which performs the fittest course searching process to reduce power consumption of entire nodes while guarantees the scalability of network organizing sensor nodes

• 제1저자 : 정윤수 교신저자 : 김용태

• 접수일 : 2008. 2. 12, 심사일 : 2008. 4. 14, 심사완료일 : 2008. 7. 25.

* 충북대학교 전자계산학과

** 한남대학교 멀티미디어학부 강의전담 교수

*** 한남대학교 멀티미디어학부 교수 **** 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 컴퓨터전공 교수

※ 본 연구는 지식경제부 지역혁신센터 사업인 민군겸용 보안공학연구센터 지원으로 수행되었음

hierarchically. The proposed technique can scatter the load of cluster head by considering the connectivity with surplus energy of node and reduce the frequency of communication among the nodes. As a result of the analysis in comparison with LEACH-C and HEED technique, PRML technique got efficiency of average 6.4% in energy consuming respect of cluster head, efficiency of average 8% in entire energy consuming respect, and more efficiency of average 7.5% in other energy consuming distribution of network scalability than LEACH-C and HEED technique.

▶ Keyword : 센서 네트워크(Sensor Network), 효율성(Efficiency), 라우팅(Routing), 확장성(Scalability)

I. 서론

컴퓨터와 통신기술의 발전은 무선 센서 네트워크의 확대를 용이하게 하고 있다. 무선 센서 네트워크에서는 수많은 센서 노드들이 미리 결정된 형태 없이 배치될 수 있고 근접한 센서 노드들이 유사한 정보를 감지하는 특성에 의해 임의의 센서 노드의 동작이 실패하거나 기능이 소멸되는 경우에도 네트워크의 전체적인 동작에는 영향을 미치지 않는 장점이 있지만 무선 매체의 저속, 오류가 심한 전송 특성 및 제한된 전원 공급, 센서 노드의 임의 배치로 인한 교체 불가능 등의 문제점을 가진다. 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체적 시스템의 수명을 연장시키는 방향으로 설계되어야 하며, 센서 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하여 수집된 정보를 안전하게 전달할 수 있어야 한다.

무선 센서 네트워크의 최근 연구 기법들은 노드의 이동성과 망 변화에 초점을 맞추어 센서 노드의 에너지 효율성을 증가시키기 위하여 MAC(Multiple Access Control) 프로토콜과 라우팅 프로토콜 중심으로 제안되어 왔다[1,2,3,4,5]. 그러나 대부분의 경우 하나의 노드 입장에서 에너지 효율만을 고려하여 지속적인 다대일 트래픽 패턴에 의한 네트워크 생명주기를 확장하지 못하고 있다는 단점을 가진다[6,7,8,9,10,11,12]. 이러한 무선 센서 네트워크의 문제점을 극복하기 위해서는 각각의 센서 노드에게 집중된 에너지 소비를 네트워크 전체에 분산시켜 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 방향으로 설계되어야 하며, 동시에 센서 네트워크의 동적인 변화에 빠르게 대응하여 수집된 정보를 안전하게 전달할 수 있는 방안이 필요하다.

이 논문에서는 기존 연구 기법들의 장·단점을 비교 분석함으로써 네트워크의 에너지 효율성을 극대화하기 위한 요구 사항을 도출하고, 도출된 요구 사항을 기반으로 전체 센서 네트워크의 에너지 효율성을 극대화하면서 다른 네트워크에 위치하는 목적지 노드까지 센싱 정보를 전달할 수 있는 라우팅 프로

토콜을 제안한다. 제안된 기법은 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 극대화하기 위해 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 기법을 기반으로 센싱 정보를 수신할 수 있는 노드 정보와 센싱 파워 정보를 이용하여 센싱 가능한 센서 노드들의 밀도에 따라 제한된 전력을 효율적으로 이용하여 망의 수명을 최대한 확장 가능하도록 하고 있다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무선 센서 네트워크와 무선 센서 네트워크의 요구 사항들과 에너지 효율성을 향상시킨 대표적인 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법에 대하여 분석한다. III장에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 극대화하면서 네트워크 확장성을 보장하는 기법을 제시하고, IV장에서는 제안 프로토콜에 대한 효율성에 대하여 분석·평가한다. 마지막으로 V장에서는 이 연구의 결과를 요약하고 향후 연구에 대한 방향을 제시한다.

II. 관련연구

무선 센서 네트워크 라우팅은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들의 정보를 목적지 노드까지 효율적으로 전달하기 위한 경로 설정 기술이다. 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법은 네트워크의 확장성과 낮은 전력을 이용한 효율적인 통신을 위해서 많은 기법들이 제안되어 왔다[7]. 무선 센서 네트워크에 적용되고 있는 무선 센서 네트워크 라우팅 기법은 크게 네트워크 구조와 프로토콜 동작에 따라 구분된다. 무선 센서 네트워크 라우팅 기법은 네트워크 구조에 따라 평면 라우팅, 계층적 라우팅, 위치 기반 라우팅으로 나뉜다[13].

평면 라우팅은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여할 수 있도록 하며 멀티홉 라우팅을 이용한다[14,15]. 계층적 라우팅에서는 네트워크를 클러스터링 과정을 통해 다수의 영역으로 분할하고 각각의 영역 내 특정 노드에 헤드 역할을 부여하여 라우팅을 수행하도록 한다[6,8,9,11]. 위치 기반 라우팅에서는 센서 노드가 수신한 신호 거리를 이용하여 인접 노드와 거리를 측정

하고 인접 노드의 위치 정보가 확인되면 인접 노드에게 데이터를 전달하도록 한다[10,12].

무선 센서 네트워크 라우팅 기법은 센서 노드 간 프로토콜 동작에 따라 구분하면 다중 경로 기반(multipath-based), 질의어 기반(query-based), 협상 기반(negotiation-based), QoS 기반 그리고 연접 기반(coherent-based) 기술로 나뉜다[13]. 다중 경로 기반 라우팅 프로토콜은 네트워크의 효율성, 이용도 등의 성능을 향상시키기 위해서 단일 경로대신 다중 경로를 사용한다[16,17,18]. 이 프로토콜은 경로가 실패할 경우 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 가용 경로를 통해 경로 이용도에 대한 결함 허용(fault tolerance)을 측정한다. 그러나 소스 노드와 목적지 노드 사이에 존재하는 다중 경로에 대한 유지 보수 때문에 에너지 소비와 트래픽 처리 비용이 증가한다는 단점이 있다.

쿼리 기반 라우팅 프로토콜에서는 소스 노드가 네트워크를 통해 수집한 센싱 업무에 대한 쿼리를 목적지 노드까지 전달한다. 전달된 쿼리를 수신한 목적지 노드는 정보를 초기화한 후 수정한 쿼리 정보를 소스 노드에게 반환한 후 쿼리 정보에 대응되는 데이터를 소스 노드로부터 수신한다[19]. 이 프로토콜은 발생하는 이벤트들에 대해서 장시간 생존한 에이전트 설정을 사용하여 직접 경로를 생성하는 특징이 있다.

협상 기반 라우팅 프로토콜은 협상을 통해 중복 전달되는 데이터를 제거하고 상위 레벨의 데이터 설명(data description)을 사용한다[20]. 이 프로토콜은 실제 데이터 전송이 시작되기 전에 협상 메시지를 다음 센서나 베이시 스테이션에게 보냄으로써 데이터 중복을 예방할 수 있는 특징이 있다. QoS 기반 라우팅 프로토콜은 대부분의 노드가 싱크로 향하는 다중 경로를 모두 포함하고 있으며 데이터가 발생되면 경로상의 에너지 자원과 QoS, 패킷의 우선순위 레벨에 따라 경로를 결정한다. 이 프로토콜은 패킷 우선순위를 고려하지 않고 에너지 소모만을 최소화하는 기존 프로토콜에 비해 장애로 발생하는 성능 저하를 예방할 수 있다. 그러나 네트워크를 탐색하여 트리를 구성해야 하는 부담이 크고 경로에 대한 정보를 유지해야 한다는 점이 센서 네트워크의 특성과 부합하지 않는다.

연접과 비연접 처리는 서로 다른 데이터 흐름을 처리하는 라우팅 기술이다[12,14]. 비연접 처리는 낮은 데이터를 공평하게 트래픽 로딩(load)하지만 연접 처리는 긴 데이터 스트림만을 생성한다. 다중 경로를 이용하는 비연접 기술에서는 단일 경로를 사용하는 비연접 기술보다 긴 지연, 높은 오버헤드, 낮은 확장성의 문제점을 가지고 있다.

III. PRML 라우팅 프로토콜

PRML(Power-aware Routing mechanism for Maximum Lifetime) 기법에서는 네트워크를 구성하고 있는 모든 노드가 인터/인트라 클러스터 라우팅을 위해서 [그림 1]과 같은 패킷 헤더 구조를 가져야 한다. [그림 1]의 비콘 패킷에 대한 헤더 구조에서 Type은 비콘 신호(0)와 데이터 패킷 신호(1)를 구분하는 필드이고, NID는 인접 노드의 식별자 필드이다. Clus_Flag는 단일 클러스터 네트워크나 클러스터 사용 유무를 나타내는 필드이며, PS(Power Signal)는 NID가 나타내는 노드까지 데이터 전송에 필요한 신호 세기를 의미하는 필드이다. Hier_Level 필드는 노드들의 서로 다른 계층 레벨을 의미한다.

PRML 기법에서는 직접 노드 간 신호 세기를 측정할 수 없기 때문에 PS에 노드 간 거리를 나타내는 값을 사용하며 PS에 기록된 거리를 전파 모델에 적용한다. LNK 필드는 인접 노드 탐색 과정을 통해 얻은 인접 노드의 최대수이며 CHID 필드는 노드의 클러스터 헤더에 대한 식별자이다. HC 필드는 소스 노드에서 클러스터 헤더까지의 홉 수를 나타낸다. S_ID 필드는 소스 주소에 대한 식별자이고, D_ID 필드는 최종 목적지에 대한 식별자이다. 마지막으로, D_HC 필드는 목적지까지의 홉 수를 나타낸다.

Type	NID	Clus_F lag	PS	Hier_ Level	LNK	CHID	HC	S_ID	D_ID	D_HC
------	-----	---------------	----	----------------	-----	------	----	------	------	------

[그림 1] 비콘 패킷에 대한 헤더 구조
(Figure 1) Head Structure for Beacon Packet

3.1 인트라 클러스터 동작

PRML 기법의 인트라 클러스터 라우팅은 소스 노드가 로컬 클러스터 주위의 인접 클러스터들의 에지 노드들이 라우트 쿼리 패킷을 수신할 때까지 모든 노드에게 라우트 패킷 쿼리를 브로드캐스트 한다. 그러나 그것은 낮은 제어 오버헤드와 공유 장비의 인터페이스를 줄이기 위해서 클러스터와 노드의 다음 홉에서의 브로드캐스트 범위가 제약된다. 모든 노드는 클러스터 내에서 목적지 노드의 목적지 ID, 다음 홉, 시퀀스 번호 그리고 클러스터 ID와 같은 다른 노드들의 라우팅 정보를 유지한다. 그 밖에, 인접한 클러스터의 에지 노드는 지역 라우팅 테이블에 추가된다. 그것은 인접한 클러스터에 라우트가 된다.

위에서 언급한 라우팅 정보는 인트라 클러스터 라우팅에서 라우팅 선택을 만들기 위해 사용된다. 클러스터 헤드는 바틀넥(bottleneck)을 피하고 클러스터 헤드를 선택하도록 제어 패킷을 줄이기 위한 전송과 라우팅 유지를 위해서 선택하지 않는다. 인트라 클러스터 라우팅 알고리즘은 [표 2]에서 보여 주고 있다.

(표 2) 인트라 클러스터 라우팅 알고리즘
(Table 2) Routing Algorithm of Intra Cluster

```

Receiving packages that destination Node is  $S_{ij}$ 
If (  $S_{ij}$  is its local-cluster)
    If (  $S_{ij}$  is itself)
        Deal with packages
    else
        Using local routing to send packages to the
        next hop
    Receiving packages that destination Node is
     $S_{ij}$ 
else
    Inter-cluster routing
    
```

3.2 인트라 클러스터 동작

클러스터 헤드가 베이스 스테이션에게 데이터 정보를 전달하려고 할 때, 각 클러스터 헤드는 처음에 클러스터 멤버들로부터 데이터를 수집하고, 다중 홉 통신을 통해 베이스 스테이션에 패킷을 전송한다. 이러한 처리 과정을 시작으로 각 클러스터 헤드는 노드의 ID, 잉여 에너지, 연결도, 베이스 스테이션까지의 거리로 구성된 특정 에너지 정보를 네트워크를 통해 메시지를 브로드캐스트 한다. 클러스터 헤드 S_i 는 후보 셋 $p(S_k)$ 로부터 데이터를 포워딩 하는 노드를 선택하며 (식 1)에서 정의한 것과 같다.

$$s_i.p(S_k) = \{ s_j \mid d(s_i, s_j) \leq k s_i.R_{comp}, d(s_j, BS) \} \dots \dots \dots (식 1)$$

(식 1)의 $d(s_i, s_j)$ 는 센서 노드 s_i 부터 s_j 까지의 거리를 나타내며 $p(S_k)$ 는 S_k 의 파워 레벨을 의미한다. k 는 $s_i.p(S_k)$ 가 최소 하나의 노드에서 얻는 최소 정수이다. 만일 $s_i.p(S_k)$ 를 정의한 k 가 null로서 존재하지 않는다면 s_i 는 베이스 스테이션에 직접적으로 데이터를 포워딩 하기 위해 자신의 데이터와 함께 보낸다. R_{comp} 는 s_i 의 경쟁범위이다.

PRML 기법에서는 무선 채널상 통신하는 센서 노드의 에너지 소비를 최소화하기 위해 릴레이 노드로서 인접 노드를 선택한다. 베이스 스테이션에 l 길이 패킷을 전달하기 위해 s_i 와 s_j 에 의해 소비된 에너지는 [Park05]에 기반으로 (식 2) ~ (식 4)과 같이 정의할 수 있다.

$$E_{s,s_j} = E_{T_r}(l, d(s_i, s_j), e(s_i, 0) + E_{R_r}(l) + E_{T_r}(l, d(s_j, BS), e(0, s_j))) \dots \dots \dots (식 2)$$

$$= l(E_{elec} + e_{f_s} d^2(s_i, s_j), e(s_i, 0) + lE_{elec} + l(E_{elec} + e_{f_s} d^2(s_j, BS), e(0, s_j))) \dots \dots \dots (식 3)$$

$$= 3lE_{elec} + l e_{f_s} (d^2(s_i, s_2) + d^2(s_j, BS), e(s_i, s_j)) \dots \dots \dots (식 4)$$

E_{T_r} 는 전송 에너지 비용, E_{R_r} 는 수신에너지 비용, e_{f_s} 는 공간에서 소비되는 에너지, E_{elec} 는 송·수신에 필요한 에너지, $e(s_i, s_j)$ 는 s_i 에서 s_j 사이의 인접노드들을 검색하는데 필요한 에너지 비용을 의미한다.

이 논문에서는 센서 노드 s_i 와 s_j 사이의 링크 에너지 비용을 (식 5)와 같이 정의한다.

$$d_{linkcost} = d^2(s_i, s_j) + d^2(s_j, BS) + e(s_i, s_j) \dots \dots \dots (식 5)$$

$d_{linkcost}$ 는 s_i 와 s_j 사이에서 소비된 링크 에너지 비용을 의미한다. 가장 큰 $d_{linkcost}$ 의 에너지는 릴레이 프로세스에 의해 소비된다. 노드 s_j 가 s_i 에서 베이스 스테이션 경로상의 일직선상에 위치할 때, 네트워크 에너지를 절약할 수 있다. 클러스터 사이의 관계는 클러스터 예지로부터 인접한 클러스터의 다음 홉 노드들이 클러스터 내에 포함되는 동안 지역 라우팅 테이블로부터 추출할 수 있다.

기존 라우팅 프로토콜 방법[16,17,18,20]은 라우팅 복구 방법으로 플로딩을 이용한다. 이런 방법은 목적지에 패킷을 알리기 위한 이전 라우트 정보를 가지고 있지 않지만 라우트 복구 지연과 플로딩의 범위에 의존하는 오버헤드는 증가한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 새로운 라우팅 기법이 필요하다.

PRML 기법에서는 인트라 클러스터 라우트의 요구가 발생할 때 소스 노드는 인접 클러스터의 인트라 클러스터 라우팅

정보를 얻기 위해 예지 노드들에게 유니캐스트 모드로 인터 클러스터 RREQ 패킷을 보낸다. 이렇게 함으로써 인터 클러스터 라우트는 생성될 수 있다. PRML 기법의 인터 클러스터 라우팅 알고리즘은 [표 3]과 같다.

[표 3] 인터 클러스터 라우팅 알고리즘
(Table 3) Routing Algorithm of Inter Cluster

```

Receiving packages that destination node is  $S_{ij}$ 
If (  $S_{ij}$  is be in local-cluster)
    Intra-cluster routing
else
    If (Cluster is reachable using local routing)
        Receiving packages that destination node
        is  $S_{ij}$ 
    else
        Send RREQ for route to cluster to the
        border gateway
        Looking for inter cluster routes

Using route found in last step to send packages
to the border gateway
Receiving packages that destination node is  $S_{ij}$ 
    
```

IV. 평가

4.1 인트라 클러스터 동작

이 절에서는 PRML 기법의 계층적 센서 네트워크에 대한 성능을 평가하기 위한 도구로 NS-2 시뮬레이터를 사용하였다. NS-2를 사용하게 된 이유는 성능 평가를 위해 센서 노드를 이용하여 직접 테스트 베드를 구축하여 실험할 수 없었기 때문이고, 센서 노드를 이용한 직접 신호 세기를 측정할 수 없었기 때문에 노드 사이의 거리를 LEACH의 전파 모델에 적용시켜 신호 세기를 에너지 소비로 대체하여 성능 평가를 하였다.

[표 4] 성능 평가 환경변수
(Table 4) Performance Environment

환경 변수	값
네트워크 크기	(0,0)×(100,100)
임계거리	80m
데이터 병합 에너지	5 nJ/bit
ThreshUpper	$N/C + (N/C)/2$
ThreshLower	$N/C + (N/C)/2$
데이터 패킷 크기	100 bytes
쿼리 패킷 크기	25 bytes
헤더 패킷 크기	25 bytes
무선 회로 부에너지($E_{cl,r}$)	50 nJ/bit
무선 증폭 에너지(ϵ_{amp})	10 pJ/bit/m ²
무선 증폭 에너지($=\epsilon_{amp}$)	0.013 pJ/bit/m ²
노드의 초기 에너지(E_{bit})	1 J
싱크 노드의 위치	(100,100), (50,100)

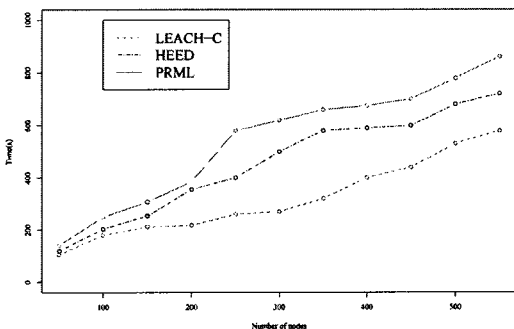
PRML 기법의 실험을 위하여 [표 4]의 성능 평가 환경 변수를 통해 임의적으로 생성되는 모델을 사용한다[2]. 실험에서 설정된 센서 필드의 크기는 100m²이며 센서 노드의 개수는 100개이다. 소스 노드는 초당 1개의 데이터 패킷을 싱크 노드에게 전송한다. 셀 사이즈는 20m²로 설정하고 600초 동안 실험을 수행한다. 그리고 각 센서의 초기 에너지는 1줄(Joule)의 에너지를 가지는 것으로 가정하고 버퍼의 크기는 100패킷의 크기를 가진다. 만약 노드의 에너지 레벨이 0 줄이 되면 노드는 동작되지 않는다. 각 패킷은 패킷 전송 동안 패킷 에너지를 계산하기 위해 갱신되는 에너지 필드를 가지며, 이때 패킷 드롭 확률은 0.01과 같다. 네트워크의 노드는 주기적으로 클러스터를 재구성하며 클러스터 헤드는 클러스터의 멤버 노드에게 동일한 시간을 할당해 데이터를 수집한다. 클러스터의 멤버 노드로부터 데이터를 수집한 클러스터 헤드 노드는 수집한 데이터를 1/N(N: 클러스터 내 멤버 수)으로 병합한 후 싱크에게 전송한다. 병합 시 소비되는 에너지는 비트(bit) 당 5 nJ/bit이 소요되며, 클러스터 간 멤버 노드의 수가 동일하다면 데이터 병합에 소비되는 에너지와 데이터 병합률이 동일하지만 그렇지 않은 경우, 에너지 소비의 불균형이 초래되어 싱크에서 수집되는 데이터도 작아진다. 따라

서 에너지 소비의 균형을만 아니라 데이터 수집 양을 늘리기 위해서도 클러스터 간 멤버 수의 균형을 이루는 것이 중요하다. 실험을 위해 무선회로 부에너지(E_{elec})는 50 nJ/bit 이 사용되며, 무선 증폭에 필요한 에너지가 ϵ_{amp} 와 동일하기 위해서는 0.013 pJ/bit/m^2 이 필요하고 ϵ_{amp} 보다 큰 무선 증폭 에너지가 필요할 경우에는 10 pJ/bit/m^2 이 필요하다. 노드의 초기에너지는 1 J 이 사용되며, 싱크 노드의 위치는 (100,100)과 (50,100)위치로 구분하여 실험하였다.

4.2 결과 및 분석

여기에서는 시뮬레이션을 통해 PRML 기법의 효율성을 증명하기 위해서 100개의 노드를 네트워크 필드에 임의로 배치하였으며, 클러스터 헤드 노드가 싱크 노드로 데이터를 전달하기 위해서 멀티 홉에 의한 전송 방식을 사용하였다. 이 때, 시뮬레이션을 통해 생성된 수치는 통계 프로그램인 R을 사용하여 표현하였다.

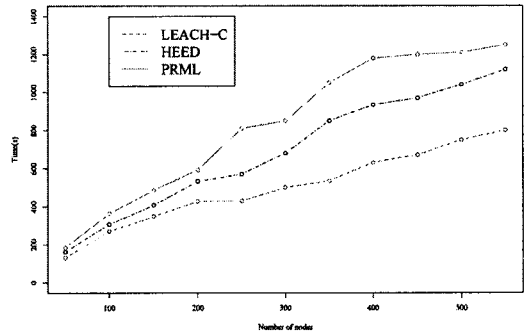
[그림 2]는 네트워크의 생존 시간 중 첫 번째 노드가 소멸 되는 시간을 나타내고 있다. LEACH-C는 노드 수가 증가함에 따라 확률적 클러스터의 구성 편차를 크게 해서 에너지 소비 불균형이 심화되기 때문에 다른 기법에 비해 네트워크 생존 시간이 제일 낮게 나타난다. 네트워크의 노드 수를 500개로 구성하였을 경우 LEACH-C의 첫 번째 노드가 소멸하는 시간이 HEED나 PRML에 비해 최대 1.7배 차이가 나는 결과를 얻을 수 있다.



[그림 2] 네트워크 생존 시간 비교(First Node Die: FND)
(Figure 2) Compare Alive Time of Network(First Node Die: FND)

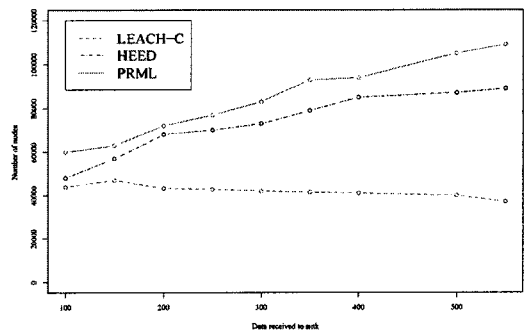
[그림 3]은 네트워크의 생존 시간 중 마지막 노드가 소멸 되는 시간을 나타내고 있다. 노드 수가 증가할수록 PRML 기법의 마지막 노드 생존 시간이 다른 기법에 비해 마지막 노드

가 평균 4% 더 생존하였다. 이 같은 결과는 PRML 기법이 연결도와 잉여 에너지를 사용하여 데이터를 멀티 홉 방식으로 전송하였기 때문에 전체 에너지 소비 측면에서 다른 기법보다 더 좋은 효율성을 얻을 수 있었다.



[그림 3] 네트워크 생존 시간 비교(Last Node Die: LND)
(Figure 3) Compare Alive Time of Network(Last Node Die: LND)

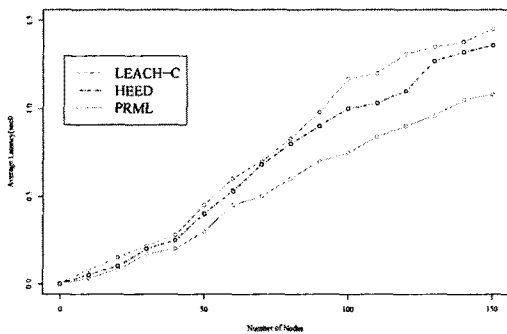
[그림 4]은 네트워크 동작 시간 동안의 데이터 수신 양을 나타내고 있다. PRML은 가장 높은 수신 양을 보일 뿐만 아니라 일관된 성능을 보였다. 그 다음으로 좋은 성능을 보인 것은 HEED이며 LEACH-C는 오히려 수신 양이 떨어지는 결과를 보였다. 이러한 결과는 클러스터의 수와 클러스터 간 멤버 수의 균형이 네트워크의 성능에 중요한 영향을 미치기 때문이다.



[그림 4] 수신한 데이터 양 비교
(Figure 4) Compare Received Data

[그림 5]는 클러스터 내 노드들이 목적지 노드에게 데이터를 전달할 때 발생하는 노드들의 평균 지연 시간을 보여주고 있다. LEACH-C의 경우 클러스터 헤드가 정보를 수집하여 베이스 스테이션에게 정보를 전달할 경우 클러스터 헤드와 베

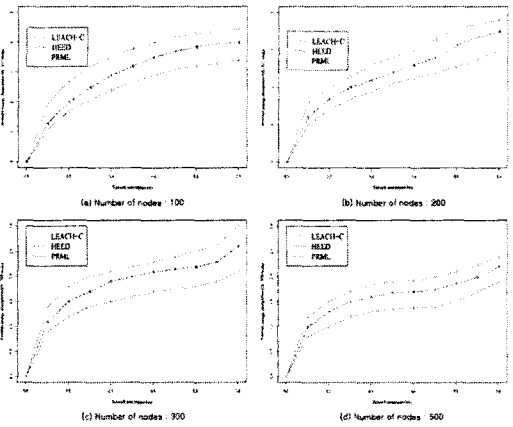
이스 스테이션 사이의 전달 과정에서 평균 지연 시간이 노드가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다. 반면 PRML 기법은 클러스터 헤드가 정보를 수집하여 클러스터 헤드 간 홉 대 홉 방식으로 정보를 베이스 스테이션에게 전달함으로써 클러스터 헤드가 보유한 위치 정보 테이블을 이용하여 노드들이 수집한 정보를 전달하기 때문에 평균 지연 시간이 가장 낮게 나타났다.



(그림 5) 클러스터 내 노드들의 평균 지연 시간
(Figure 5) Average Delay Time of Nodes within Cluster

마지막으로 [그림 5]에서 HEED는 클러스터 헤드가 분산 처리를 통해 데이터를 수집하여 평균 지연 시간을 줄이고 있지만 노드 수가 증가할수록 전송하려고 하는 데이터 양이 많아지기 때문에 HEED의 특성상 평균 지연 시간이 LEACH-C보다 짧지만 PRML 기법 보다는 길게 나타났다.

[그림 6]는 $1km^2$ 내에 분포된 노드들이 네트워크 범위가 0에서 $1km^2$ 까지 증가함에 따라 100개, 200개, 300개, 500개 노드들이 각각 소비하는 평균 에너지 양을 평가한다. 이 때, 베이스 스테이션은 네트워크 필드 외부에 배치한다. 시뮬레이션 결과 네트워크에는 25개의 서로 다른 네트워크 망이 주어진다. [그림 6]에서 PRML 기법은 네트워크 크기가 증가함으로써 LEACH-C와 HEED보다 성능이 우수하다. 이것은 주로 LEACH-C와 HEED의 클러스터 헤드가 전체 센서 필드에 균일하게 배치되는 것을 보증 받을 수 없기 때문이다. 그 결과로써 LEACH-C와 HEED의 클러스터 헤드는 클러스터 헤드를 해택 받지 않은 노드들의 경우 클러스터 헤드와 멀리 떨어져 데이터를 전송하는 동안 에너지의 양이 많이 소비될 수 있는 경우에 네트워크의 특정 지역에 집중될 수 있다. PRML은 센서 필드를 가로질러 클러스터 헤드를 균일하게 할당함으로써 이런 문제를 완화한다.



(그림 6) 네트워크 범위 내의 평균 에너지 소비
(Figure 6) Average Energy Consumption within Network Range

PRML 기법이 LEACH-C와 HEED 기법보다 더 좋은 효율성을 갖는 것은 균형 잡힌 클러스터링 접근을 이용하기 때문이다. 균형된 클러스터링을 사용하여 PRML은 클러스터 헤드 사이에서 균일하게 로드를 분배한다. LEACH와 LEACH-C의 몇몇 클러스터 헤드는 다른 클러스터 헤드들이 적은 서비스를 제공하는 동안 오버로드 될 수 있다.

V. 결론

이 논문에서는 계층적으로 센서 노드를 구성하고 있는 네트워크의 확장성을 보장하면서 전체 노드들의 파워 소비를 줄일 수 있도록 최적 경로 검색 프로세스를 수행하는 PRML 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 노드의 잉여 에너지와 연결도를 고려함으로써 클러스터 헤드의 부하 분산이 가능해졌으며, 노드 간 통신 횟수를 줄일 수 있었다. 또한, 클러스터 헤드 노드의 수가 많아지면 클러스터 헤드 노드가 싱크 노드로 데이터를 전달하기 위해 멀티 홉 라우팅을 사용하였다. 멀티 홉 라우팅 방법은 n 개의 홉 수를 기반으로 클러스터 헤드 또는 싱크 노드에게 데이터를 전송하기 때문에 네트워크의 확장성에도 좋다. LEACH-C, HEED 기법들과 비교 분석 결과, PRML 기법은 전체 에너지 소비 측면에서 평균 8%, 클러스터 헤드의 에너지 소비 측면에서 평균 6.4%의 효율성을 얻었고, 네트워크 확장성에 따른 에너지 소비 분포는 LEACH-C, HEED 기법보다 7.5%의 효율성을 얻을 수 있었다. 향후 연구에서는 PRML 기법을 실제 환경에 적용하여 확장성을 고려한 에너지 소비 문제를 개선하고 중간 노드의

보안 역할을 강화하여 데이터 전송 시 여러 보안 공격에 안전한 기법 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Next Century Challenges: Scalable Coordination in Sensor Networks," Proc. of the 5th Annual International Conference on Mobile computing and Networks (MobiCOM '99), Seattle, WA., pp. 263-270, 1999.
- [2] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," Proc. of IEEE INFOCOM, vol.1, pp.629-640, Mar. 2004.
- [3] B. Kawadia and P. R. Kumar, "Power Control and clustering in Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 459-465, 2003.
- [4] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 1713-1723, 2003.
- [5] T. Ohta, S. Inoue, and Y. Kakuda, "An Adaptive Multihop Clustering Scheme for Highly Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of the Sixth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems(ISADS'03), pp. 293-300, 2003.
- [6] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Out Door Localization for Very Small Devices," Tech. rep. 00729, Comp. Sci. Dept., USC, Apr. 2000.
- [7] L. Li and J. Y. halpern, "Minimum-energy mobile wireless networks revisited," IEEE International Conference on Comm. (ICC 2001), pp. 278-283, 2001.
- [8] A. Manjeshwar et al., "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," Proc. Second Int'l Workshop Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.
- [9] A. Manjeshwar et al., "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," IEEE Proc. Of the Int'l. Parallel and Distributed Processing Symposium(IPDPS'02), pp.195-202, Apr. 2002.
- [10] L. Subramanian and R. H. Katz, "An Architecture for Building Self Configurable Systems," Proc. IEEE/ACM Wksp. Mobile Ad Hoc Net. and Comp., Boston, MA, pp. 63~73, Aug. 2000.
- [11] F. Ye, et al., "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," Proc. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks, pp.304-309, 2001.
- [12] 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.
- [13] I. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 8, pp. 102 - 114, Aug. 2002.
- [14] A. Savvides, C.-C. Han, and M. Srivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors," Proc. 7th ACM MobiCom, pp. 166 - 179, July 2001.
- [15] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," Proc. 1st Wksp. Sensor Networks and Apps., Atlanta, GA, Oct. 2002.
- [16] J.-H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 609-619, Aug. 2004.
- [17] C. Rahul and J. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," IEEE WCNC, vol. 1, pp. 350 - 355, Mar 2002, Orlando, FL.
- [18] S. Dulman et al., "Trade-Off between Traffic Overhead and Reliability in Multipath Routing for Wireless Sensor Networks," WCNC Wksp., New Orleans, LA, pp. 1918-1922, Mar. 2003.
- [19] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm For Sensor Networks," Int'l. Conf. Distrib. Comp. Sys., Nov. 2001.

- [20] J. Kulik, W. R. Heinzelman, H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," *Wireless Networks*, Vol. 8, pp. 169-185, 2002.

저 자 소개



정 윤 수

1998년 2월 : 청주대학교 이학사
 2000년 2월 : 충북대학교 대학원 전
 자계산학 이학석사
 2008년 2월 : 충북대학교 대학원 전
 자계산학 박사
 관심분야: 센서 보안, 암호이론, 정보
 보호, Network Security,
 이동통신보안



김 용 태

1988년 숭실대학교 석사
 2008년 2월 충북대학교 전자계산학
 이학박사
 2006.3 ~ 현재 한남대학교 멀티미디어
 학부 강의전담교수
 관심분야: 모바일 웹서비스, 정보보
 안, 센서 웹, 모바일 통신
 보안, 멀티미디어



박 길 철

1986년 숭실대학교 전자계산학과 석사.
 1998년 상원대학교 전자계산학과 박사.
 2006년 UTAS, Australia 교환교수
 1998년 8월~현재 한남대학교 멀티
 미디어학부 교수
 (관심분야) multimedia and mobile
 communication, network
 security



이 상 호

1989년 2월 : 숭실대학교 대학원 컴퓨
 터네트워크 공학박사
 1981년 6월 ~ 현재 : 충북대학교
 전기전자컴퓨터공학
 부 교수
 관심분야: Protocol Engineering,
 Network Security,
 Network Management,
 Network Architecture