

무선센서네트워크에서 전파범위기반의 저 전력 클러스터링 알고리즘

종신회원 이 영 진*, 정회원 김 석 매**, 이 충 세****

A Low-Power Clustering Algorithm Based on Fixed Radio Wave Radius in Wireless Sensor Networks

Yong-Zhen Li* *Lifelong Member*, Shi-Mei Jin**°, Chung-Sei Rhee****° *Regular Members*

요 약

최근 무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network)에서 센서노드의 에너지 소모 균등성과 효율성을 향상시켜 전체 네트워크의 수명을 최대화하기 위한 다양한 멀티 홉 라우팅 프로토콜들이 제안되고 있다. 특히, 멀티홉기법이 향상된 에너지 효율성과 실제 적용 가능한 모델로 큰 각광받고 있다. 기존 멀티-홉 기법에서는 센서 노드사이 거리에 따라 발송 에너지 능동조절 가능하다는 가정을 전제로 한다. 그러나 무선센서의 물리적 특성을 고려해보면 멀티-홉 기법의 이 가정은 현재 무선통신시스템기술로 실현하기 어렵다. 이 논문에서는 모든 센서노드는 일정한 전파범위를 유지한다는 물리특성을 기초로 에너지 효율성을 향상시킨 저 전력 클러스터링 기법을 제안한다. 제안기법은 기존기법보다 실제 무선센서네트워크 적용하기 용이하다.

Key Words : WSN, Clustering, Radio Wave Radius, Low-Power, Multi-hop

ABSTRACT

Recently, a variety of research of multi-hop routing protocol have been done to balance the sensor node energy consumption of WSN(wireless sensor network) and to improve the node efficiency for extending the life of the entire network. Especially in multi-hop protocol, a variety of models have been concerned to improve energy efficiency and apply in the reality. In multi-hop protocol, we assumption that energy consumption can be adjusted based on the distance between the sensor nodes. However, according to the physical property of the actual WSN, it's hard to establish this assumption. In this dissertation, we propose low-power sub-cluster protocol to improve the energy efficiency based on the spread of distance. Compared with the previous protocols, this proposed protocol can be effectively used in the wireless sensing networks.

I. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network) 기술은 환경/생태 감시 분야는 물론, 에너지

관리 분야, 물류/재고 관리 분야, 전투 지역 관리 분야 및 의료 모니터링 등 다양한 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다^[1]. 무선 센서 네트워크는 계산 능력을 가진 초소형 장치 센서 노드들로 구성된 네트워크이며 주변 환경에 대한 정보(온도, 습도, 오염 정보, 위치 정

※ 이 논문은 2009년도 충북대학교 학술지원사업의 연구지원에 의해 연구되었음
* 중국연변대학교 공학원 컴퓨터과학 및 기술학학 (lyz2008@ybu.edu.cn),
** 충북대학교 전자계산학과 알고리즘 연구실 (kims@chungbuk.ac.kr),
*** 충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학부 (cscree@chungbuk.ac.kr), (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2010-03-093, 접수일자 : 2010년 3월 4일, 최종논문접수일자: 2010년 7월 7일

보 등) 수집을 목적으로 한다. 센서 노드들은 센서 필드에 조밀하게 배치되며 미리 그 위치가 정해지지 않는다. 센서 필드에서 통신은 노드들이 스스로 네트워크의 토폴로지를 구성하고 모든 노드는 단거리 무선 통신 기술을 사용한다^[2].

최근까지의 연구된 기법들은 에너지 효율성을 높이기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있다. 그러나 기존 대부분 기법들은 실제 센서네트워크 구축에 적용한 사례가 드물다. 그 원인은 센서노드의 성능을 이상화시켜 얻은 결과라고 본다. 예를 들면 무선센서 네트워크 기술에서 가장 대표적인 LEACH기법은 수집 및 통합된 데이터가 싱크 노드와 직접통신이 이루어진다고 가정하였고 또한 센서노드들이 이웃노드들의 거리에 따라 능동적으로 발송에너지 조절이 가능하다고 한다. 따라서 무선센서 네트워크를 실제에 적용하려면 단순 네트워크 기술만 고려해야 할 뿐만 아니라 전파공학기술의 제약사항도 고려해야 한다.

전파공학 측면에서 하드웨어구조가 변하지 않을 경우 센서노드들은 정격전력에서 동작하고 이때 일정한 에너지 소비를 유지하며 전파범위도 일정한 수치를 유지된다고 할 수 있다^[10]. 이 논문에서는 기존 연구 기법들의 장·단점을 비교 분석하고 그 기법들의 실제 적용에 있어서의 문제점을 해결할 수 있는 싱크 노드 중심으로 한 다단계 및 노드의 잔존 에너지를 고려한 라우팅 프로토콜을 제시한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 연구에서 대표적인 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법에 대하여 분석한다. III장에서는 실제 적용이 가능하며 또한 기존 기법에 비하여 에너지 효율성을 향상된 싱크 노드 중심으로 한 다단계 라우팅프로토콜을 제시하고, IV장에서는 제안 프로토콜에 대한 효율성에 대하여 분석·평가한다. 그리고 V장에서는 제안기법을 정리하고 향후 연구를 제시하고 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 WSN의 라우팅 기법 개요

무선 센서 네트워크는 그림 1과 같이 1개 또는 그 이상의 싱크 노드와 수백 수천 개의 센서 노드로 구성된다. 싱크 노드는 외부의 네트워크와 연결되어 센서 네트워크에서 수집된 정보들을 외부로 제공하여 주는 역할을 수행하고, 센서 노드는 초소형 저가 저 전력을 요구하며 기본적으로 마이크로프로세서 트랜시버 컨버터, 그리고 다양한 센서로 구성된다. 센서 노드는 감지 센서를 통하여 감지된 정보를 주변 노드를 통하

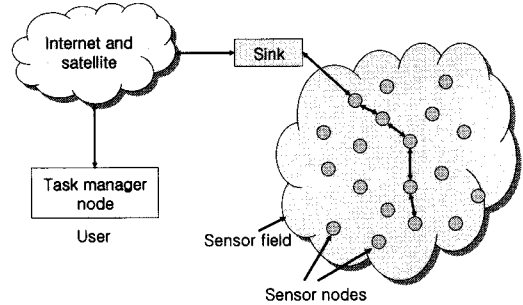


그림 1. 무선 센서 네트워크 구조

여 싱크 노드에 전송하고, 또 다른 센서 노드들의 정보를 중계해주는 역할도 수행한다. 싱크 노드는 센서 노드로부터 감지된 환경정보를 수집하여 외부 네트워크에 전달하거나 외부 네트워크에서 보내는 컨트롤 정보를 센서 노드에 전달해 주는 게이트웨이 역할을 한다.

무선 센서 네트워크 라우팅기법은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들의 정보를 목적지 노드까지 효율적으로 전달하기 위한 경로 설정 기술이다. 무선 센서 네트워크 라우팅 기법은 그림 2에서와 같이 크게 네트워크 구조와 프로토콜 동작에 따라 구분된다. 네트워크 구조에 따라 평면 라우팅, 계층적 라우팅, 위치 기반 라우팅으로 분류하고 프로토콜 동작에 따라 구분하면 다중 경로 기반(multipath-based), 질의어 기반(query-based), 협상 기반(negotiation-based), QoS 기반 그리고 연결 기반(coherent-based) 기술로 분류할 수 있다^[11].

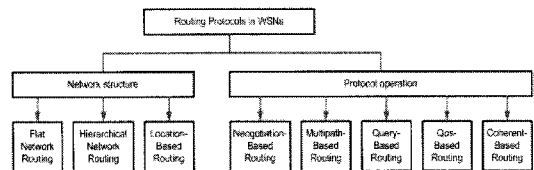


그림 2. 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜

2.2 계층적 네트워크 라우팅

계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터라는 작은 영역들로 센서 네트워크가 분할되고, 각 클러스터에는 클러스터 헤더가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아서 목적지노드에 전달하는 라우팅기술이다.

(1) LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)에서는 네트워크에서 인접한 센서노드들의 데이터 유사성 특성으로 인한 정보의 중복 전달로

낭비되는 에너지를 줄이기 위해 클러스터 헤드는 데이터 병합(data aggregation)을 수행한다^{5,6)}. LEACH는 데이터 병합을 수행한 다음 싱크 노드로 직접 전송하여 에너지 소비가 큰 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 시간 단위 마다 균등하게 교체하여 네트워크 수명을 연장한다.

LEACH기법에서 클러스터 헤드 선출 시 센서 노드의 잔여 에너지에 대한 고려가 없기 때문에 특정 센서 노드의 에너지가 고갈되는 경우가 많다. 그리하여 센서 노드의 잔존 에너지를 고려한 클러스터 헤드를 선출하는 임계값에 가중치를 주는 LEACH-Centralized 기법이 제안되었다.

- (2) TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)⁷⁾은 주기적으로 네트워크의 상태를 파악하는 사전적(proactive) 센서 네트워크 특성을 가진 LEACH와 달리 센서 노드들이 연속적으로 환경을 감지하여, 감지된 속성 값의 갑작스런 변화에 즉시 반응하는 반응적 센서 네트워크에 적합하다. 그러나 감지된 데이터의 값이 임계치에 도달하지 않는 경우 네트워크로부터 데이터를 얻어낼 수가 없고 또한 네트워크의 상태를 실시간으로 판단할 수 없는 등 문제점이 있다.
- (3) APTEEN(Adaptive Periodic Threshold - sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol)⁸⁾은 사전적 센서 네트워크와 반응적 센서 네트워크의 단점을 최소화하면서 둘의 장점을 통합하는 하이브리드 네트워크를 제공하는 기법이다. APTEEN은 TEEN의 단점을 개선하였지만 임계치 기능과 카운트 시간을 구현하는데 부가적인 비용이 요구되는 단점이 있다.
- (4) PEGASIS(Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems)⁹⁾는 LEACH의 클러스터 구성과 데이터 전송 방법을 개선하여 인접 노드와 하나의 연쇄를 구성하면서 에너지 소모를 줄일 수 있도록 제안하였다. PEGASIS 알고리즘의 노드는 임의의 노드에서 시작하여 그리드 알고리즘을 이용하여 인접 노드와 하나의 체인을 구성한 후 자신의 데이터를 인접 노드에게 전송한다. 전송된 데이터를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 인접 노드에게 전송하는 과정을 반복한다. 그러나 PEGASIS는 네트워크가 확장됐을 때 단일 체인으로 데이터를 전달하기에는 전송 지연이 발생되고 체인 중간의 노드가 오류를 발생할 경우 대처하기 어렵다는 단점이 있다.

III. 전파범위기반의 클러스터링 알고리즘

제안 클러스터링 기법은 전파범위를 기반으로 하며 주로 클러스터 헤더선정, 싱크 레벨링, 클러스터 헤더 레벨링, 클러스터 형성 등 4개 단계로 나뉘어 동작한다.

3.1 클러스터 헤더 선정

제안 기법에서는 헤더 선정은 LEACH를 기반으로 노드의 잔존 에너지, 연결도 그리고 마지막 라운드 수 등을 고려한다. 즉 전체 네트워크에 배치된 노드들 중에서 클러스터 헤드가 선출될 확률이 높은 노드는 주기적으로 클러스터에 참여하여 노드의 잔존 에너지와 연결도를 높게 한다. 모든 노드들을 자발적으로 클러스터 헤더 선정에 참여하게 함으로써 전체 네트워크에서 사용되는 에너지 효율을 높이는 효과를 얻을 수 있다.

클러스터 헤더를 선출하기 위해 필요한 에너지는 각 노드 자신의 잔존 에너지(E_{res})와 초기 에너지(E_{ini}) 비율로 나타낸다. 클러스터 헤더 노드 선정을 위한 임계값(τ)은 계층적 네트워크를 위해 (식 3.12)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 p 는 전체 노드에서 클러스터 헤더 노드의 비율을 의미하고 E_{res} 는 i 번째 노드의 잔존 에너지 비율을 의미한다.

$$\tau(i) = \frac{p}{1 - \left(r \bmod \frac{1}{p}\right)} \times \frac{E_{res}}{E_{ini}} \quad (1)$$

τ 는 식 (1)을 통해서 0과 1사이의 범위에 있는 임계값을 계산한다. 각 노드는 τ 의 임계값을 계산한 후에, 0과 1사이의 난수와 비교한다. 이 때, τ 의 임계값이 생성된 난수보다 크면 노드는 스스로 클러스터 헤드가 된다. 그리고 인접 노드들에게 자신이 클러스터 헤더라는 사실을 알리게 된다.

3.2 싱크노드기반 레벨링

싱크 노드기반 레벨링은 우선 그림 3에서 보여주는 패킷 구조로 싱크노드 정보를 이용하여 싱크 레벨링 메시지를 생성한다. DataType은 "00"으로, NID와 CH_ID는 싱크노드 식별자로, 잔존 에너지 값, SL 값, CHL 값 그리고 Link 값은 모두 0으로 초기화 한다. 그다음 메시지를 전달하며 싱크 노드 기반 레벨링을 수행한다. 이 과정에 네트워크의 모든 노드는 싱크 레벨 값을 획득하며 또 자신과 인접해 있는 노드들의 정보를 수집하여 표 1에서 보여주는 속성정보로 라우팅

DataType	NID	E_residue	SL	CH_ID	CHL	Link
----------	-----	-----------	----	-------	-----	------

그림 3. 레벨링 패킷 구조

표 1. 라우팅 테이블의 속성

속성필드	설 명
NID	유일한 노드 식별자
SL	전파범위내의 노드 수SL(Sink Level)싱크 노드기반의 레벨 값
CH_ID	전파범위내의 노드 수클러스터헤더 노드의 식별자, 자신이 헤더일 경우 Null값
CHL	클러스터헤더기반의 레벨 값
Link	전파범위내의 노드 수
E_residue	노드의 잔여 에너지 값

레이블을 구성한다.

- (1) 처음단계는 싱크 노드에서 일반노드들의 지정된 전파범위(R)를 기반으로 싱크레벨메시지(노드 식별자, 싱크레벨=0, 잔존 에너지 양 등) R를 받지름으로 한 원안의 모든 노드에 방송한다. 싱크 노드에서 직접 싱크 레벨 메시지를 받은 노드들은 싱크 레벨의 값을 0으로 설정한다.
- (2) 싱크레벨이 0으로 설정된 노드들은 싱크레벨메시지의 싱크 레벨 필드의 값을 1로 하고 2단계 싱크 레벨 메시지를 방송한다. 이때 2단계 싱크 레벨 메시지를 받은 노드들은 레벨 값을 1로 설정하고 다시 자신의 정보(노드 식별자, 싱크 레벨, 잔존 에너지 양 등)싱크 레벨 메시지를 새로 작성한다. 이미 레벨이 설정된 후 레벨 값은 일정한 주기 동

안 유지되며 받은 싱크 레벨 메시지를 기반으로 라우팅테이블을 작성한다.

- (3) 위와 같은 방법으로 점진적으로 싱크 레벨 메시지를 발송하여 전체 네트워크의 모든 노드들은 싱크 레벨의 값 및 라우팅테이블 값을 초기화 한다.
- (4) 이 과정에서 싱크레벨 값이 자신의 싱크레벨 값보다 큰 레벨링 메시지는 전달을 위한 재전송을 과정을 수행하지 않는다.

3.3 클러스터 헤더기반 레벨링

클러스터 헤더기반 레벨링은 그림 5에서와 같이 싱크 레벨링이 끝난 후 시작한다. 헤더 레벨링 메시지 구조는 싱크 레벨링 메시지 구조와 같으며 단 메시지 내용에서 DataType값만 "01"인 것이 구별되며 헤더기반 레벨링에서는 클러스터 헤더 식별자 및 레벨 값을 중심으로 레벨링을 수행하며 이 과정에 각 노드의 라우팅 테이블을 갱신한다.

- (1) 처음단계는 클러스터 헤더노드에서 지정된 전파범위(R)를 기반으로 헤더레벨메시지(노드 식별자, 싱크 레벨=0, 잔존 에너지 양 등) R를 받지름으로 한 원안의 모든 노드에 방송한다. 클러스터헤더에서 직접 헤더레벨메시지를 받은 노드들은 헤더 레벨 값을 0으로 설정한다.
- (2) 다음에 헤더레벨이 0로 설정된 노드들은 헤더 레벨 메시지의 헤더 레벨 필드의 값을 1로 하고 2차 헤더 레벨 메시지를 방송한다. 이때 2단계 헤더 레벨 메시지를 받은 노드들은 레벨 값을 1로 설정하고 다시 자신의 정보(노드 식별자, 싱크 레벨, 헤더 레벨, 헤더 식별자, 잔존 에너지 양 등)헤더 레벨 메시지를 새로 작성한다.

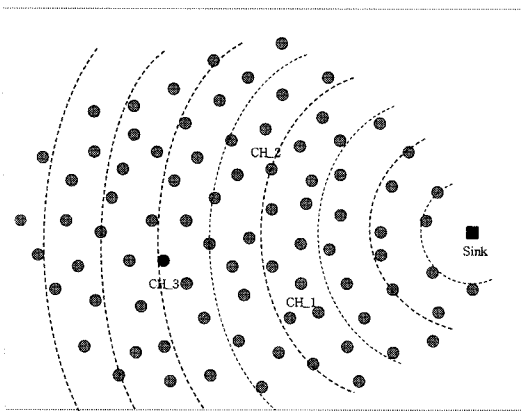


그림 4. 싱크노드기반의 레벨링

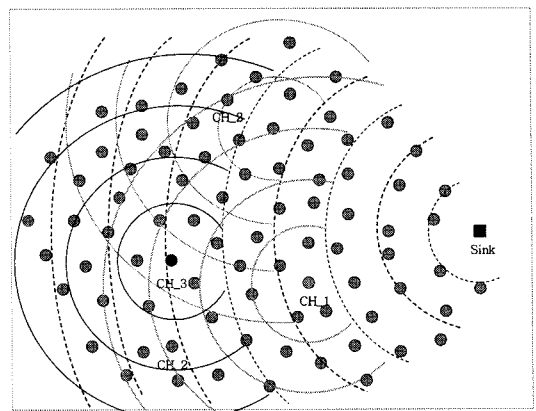


그림 5. 클러스터 헤더기반의 레벨링

- (3) 노드들은 여러 헤더로부터 헤더 레벨 메시지를 받을 수 있다, 이때 노드는 헤더 레벨이 작은 값으로 자신의 라우팅 테이블을 갱신한다. 만일 헤더 레벨의 최솟값이 여러 개일 경우에는 싱크 레벨 값을 기준으로 싱크 레벨 값이 작은 헤더 레벨 메시지를 기준으로 자신의 헤더 레벨을 설정한다. 즉 자신의 클러스터를 선택한다.
- (3) 위와 같은 방법으로 점진적으로 헤더 레벨 메시지를 방송하여 모든 헤더 레벨 메시지가 전체 네트워크의 모든 노드들은 헤더 레벨 값 및 라우팅 테이블을 갱신한다.
- (4) 헤더 레벨 과정이 끝나면 모든 노드는 자신의 헤더 레벨을 갖게 된다.
- (5) 일반 노드는 자신의 라우팅 테이블을 이용하여 자신의 헤더 레벨을 저장 및 업그레이드 한다.
- (6) 이 과정에서 레벨링 메시지의 헤더 레벨 값이 자신의 헤더 레벨 값보다 클 경우 레벨링 메시지를 전달과정을 수행하지 않는다.

3.4 클러스터 범위 선정

모든 일반 노드는 자신의 라우팅 테이블, 헤더 레벨, 싱크 레벨, 연결도 등을 이용하여 소속 클러스터 헤더에 멤버로 가입한다. 우선 싱크 노드도 하나의 클러스터 헤더로 간주한다. 헤더 레벨이 가장 작은 클러스터 헤더의 멤버로 가입하고 만일 가장 작은 헤더 레벨이 중복이 있으면 헤더 중에서 싱크레벨을 낮은 클러스터 헤더의 멤버로 가입한다. 헤더의 싱크레벨도 동일할 경우, 헤더 레벨 메시지를 먼저 받은 클러스터 헤더의 멤버로 된다. 그림 6과 같이 클러스터링 과정을 끝난 다음의 네트워크 클러스터링 상황을 보여주고 있다.

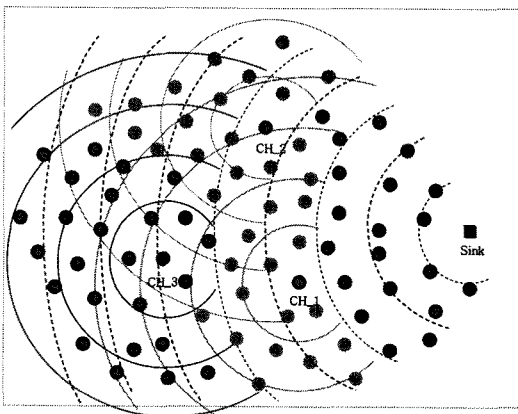


그림 6. 클러스터링 결과

IV. 실험 및 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경설정

이 논문에서는 제안 기법에 대한 성능을 평가하기 위한 도구로 MATLAB R2008b를 사용하였다. 제안 기법에서는 새로운 클러스터 헤더 선정, 클러스터링 기법 및 이를 기반으로 라우팅 기법을 새롭게 제안하고 LEACH을 비롯한 멀티 홉 기법 등 기존 기법들과 비교분석 하였다.

이 논문에서는 센서 노드가 일정한 전파범위를 유지한다면 기존 LEACH기법에서는 센서 노드의 무선 전파범위가 네트워크 범위보다 크거나 같아야 하며 짧은 거리에서도 똑같이 큰 비용이 들어 에너지 효율이 아주 낮다. 따라서 이 시뮬레이션에서는 기존 LEACH기법과 비교하지 않고 멀티 홉 기법과 비교분석한다. 제안 기법과 멀티 홉 기법을 실제에 적용하려면 네트워크를 구성하는 노드들이 밀도가 충분히 커야 한다.

실험에서 사용한 환경변수 값은 표 2에서 제시한바와 같으며 구체적으로 클러스터 헤더 비율을 각각 30m에서 150m까지 10m간격으로 무선 전파범위를 증가시키면서 실험을 한다.

이번 실험은 표 2에서 제시한 환경변수 값을 기반으로 시뮬레이션 한 결과이다. 그림 7은 멀티 홉 기법에서의 무선 전파범위 변화에 따른 네트워크 수명을 측정된 결과이고 그림 8는 제안 기법에서의 무선 전파범위 변화에 따른 네트워크 수명을 측정된 결과이

표 2. 시뮬레이션 환경

환경 변수	값(Value)
네트워크 크기(변이 길이)	500m × 500m
싱크 노드의 위치	네트워크 중심
노드 수	1000
클러스터 헤더 비율	5%
전파범위	30m~150m
데이터 병합 에너지 (EDA)	5 nJ/bit
데이터 패킷 크기	4000bit
싱크 레벨링 패킷 크기	100bit
헤더 레벨링 패킷 크기	100bit
무선 회로부에너지 (E_{elec})	50 nJ/bit
무선 증폭 에너지 (E_{fs})	10 pJ/bit/m ²
무선 증폭 에너지 (E_{ant})	0.013 pJ/bit/m ²

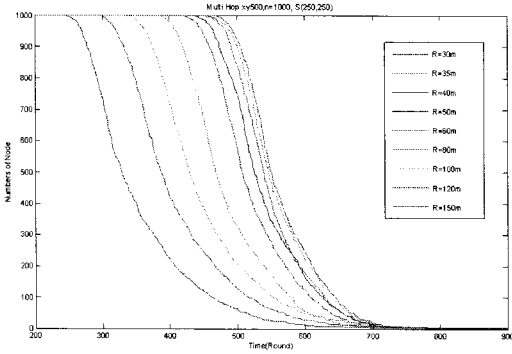


그림 7. 멀티 홉 기법에서 전파범위 변화에 따른 네트워크 수명 변화

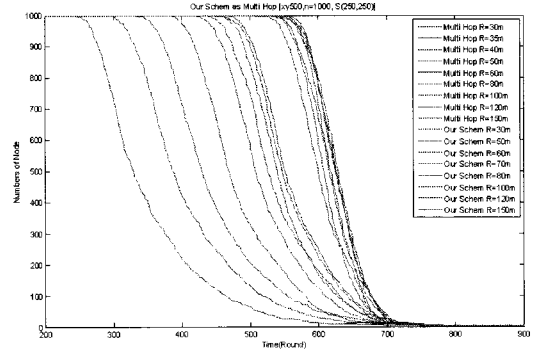


그림 9. 전파범위기반의 제안 기법과 멀티 홉 기법의 통합결과
너지 효율성이 10%정도 향상되었음을 알 수 있다.

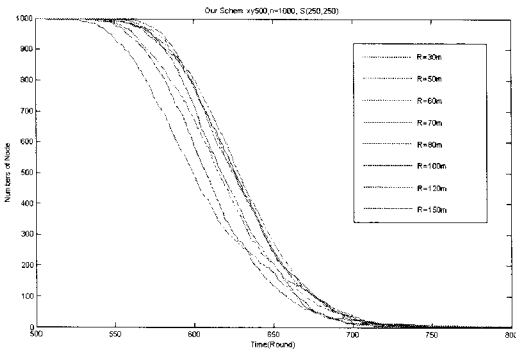


그림 8. 제안 기법에서 전파범위 변화에 따른 네트워크 수명 변화

며 그림 9은 멀티 홉 기법과 제안 기법을 통합한 실험 결과이다.

그림 7을 보면 멀티 홉 기법에서 전파범위의 변화에 따라 네트워크 수명은 큰 차이를 보이며 전파범위가 커질수록 그 차이가 더 커진다. 특히 FND(First Node Dead)값이 약 30라운드 시간차이로 크게 벌어졌지만 LND(Last Node Dead)는 서로 비슷하다.

그림 8을 보면 제안 기법에서도 전파범위의 변화에 따라 네트워크 수명은 일정한 차이를 보이며 전파범위가 60m부근에서 최적화가 이루어진다.

그림 9을 보면 멀티 홉 기법과 제안 기법을 통합하여 분석하여보면 멀티 홉 기법은 전파범위 변화에 네트워크 수명이 큰 차이를 보이지만 제안기법에서는 약 10라운드 안팎으로 멀티 홉 기법처럼 차이가 크지 않다. 다만 전체적으로 제안 기법이 멀티 홉 기법보다 50라운드에서 100라운드 시간정도의 네트워크 수명이 늘어났음을 알 수 있으며 특히 FND값이 크게 벌어지지만 LND는 모두 서로 비슷하다. 즉 제안 기법이 멀티 홉 기법보다 전파범위 기반 변화 실험에서 에

V. 결론

최근 무선통신기술이 발달로 센서네트워크도 무선 방식으로 전환하면서 무선센서네트워크에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 기술로 분류되어 많은 연구가 수행되고 있다. 실제 응용되는 센서노드는 하드웨어의 물리적 특성에 유지되면서 일정한 전파범위를 갖는다. 하지만 기존에 제안된 모든 기법들에서는 센서노드가 노드간 거리에 따라 능동적으로 무선 발송 에너지 조절이 가능하다고 가정을 두었다.

이 논문에서는 기존의 무선 센서 네트워크 라우팅 기법들을 분석하고 그 기법들의 문제점을 제시하고 이 문제 해결을 위한 전파범위기반의 클러스터링 기법을 제시하였다. 제안 기법은 노드들의 에너지 소모량을 예측하여 에너지 소비의 최적화가 가능하며 또한 실제 무선 센서 네트워크 구축과 실험에 활용이 가능하다. 또한 제안 기법에 시뮬레이션을 통하여 기존 기법과의 성능 분석을 통하여 제안 기법의 가시적의 성능 향상을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] V. Loscri, S. Marano, G. Morabito, "A Two-Levels Hierarchy for Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (TL-LEACH)." Proceedings "VTC2005", Dallas (USA), pp. 1809-1813, Sept., 2005.
- [2] L. Ying, Y. Haibin, "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks," Proceedings of the Sixth International Conference on Parallel and Distri-

buted Computing Applications and Technologies, p.634-638, December, 05-08, 2005.

[3] C. Intanagonwiwat et al., "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb., 2003.

[4] J. Kulik, W. R. Heinzelman, H. Balakrishnan, "Negotiation-Based Protocols for Disseminating Information in Wireless Sensor Networks," Wireless Networks, Vol.8, No.2/3, pp.169-185, 2002.

[5] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Tech., Cambridge, 2000.

[6] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," Wireless Comm. IEEE, Vol.1, No.4, pp.660-670, 2002.

[7] A. Manjeshwar; D.P. Agrawal, "TEEN : A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks" Parallel and Distributed Processing Symposium., Proc. 15th International 23-27 Apr., 2001 pp.2009-2015.

[8] A. Manjeshwar; D.P. Agrawal, "APTEEN : A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks" Parallel and Distributed Processing Symposium., Proceedings International, IPDPS Apr., 2002 pp.195-202.

[9] S. Lindsey; C.S. Raghavendra "PEGASIS : Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems" Aerospace Conference Proc.2002. IEEE Vol.3, pp.1125-1130, 2002.

[10] Jin-Chul Choi, Chae-Woo Lee "Modeling of the Cluster-based Multi-hop Sensor Networks," Journal of IEEK, Vol.43, No.1, pp.57-71, 2006

[11] I. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Commun. Mag., Vol.40, No.8, pp.102-114, Aug., 2002.

이 영 진 (Yong-Zhen Li)

중신회원



1997년 6월 중국 연변대학교 물리학과 이학석사
2007년 2월 충북대학교 전자계산학과 이학박사
2008년 3월~현재 중국 연변대학교 공학원 컴퓨터과학 및 기술학과 교수

<관심분야> 정보보호, 네트워크 보안, 프라이버시

김 석 매 (Shi-Mei Jin)

정회원



2004년 8월 충북대학교 전자계산학 이학석사
2009년 8월~현재 충북대학교 전자계산학과 공학박사
2009년 9월~현재 중국 연변대학교 사범학원 교육기술학과 교수

<관심분야> M-Commerce, 정보보호, 알고리즘

이 충 세 (Chung-Sei Rhee)

정회원



1989년 University of South Carolina, 전산학 박사
University of North Dakota 전산학과 조교수
1991년~현재 충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학부 교수
<관심분야> 결합허용, 알고리즘 및 전문가 시스템, 정보보안

증 및 전문가 시스템, 정보보안