

기상감시 무선 센서 네트워크에 적합한 Threshold-dataset 기반 지역적 클러스터링 기법

최동민^{*}, 심 검^{**}, 정일용^{***}

요 약

무선 센서 네트워크에서 사용하는 클러스터링 기법은 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 효율적인 방법이다. 그러나 이 방법은 기상감시 네트워크와 같이 센서 노드의 수집 데이터가 중복되기 쉬운 환경에 적용할 경우 노드가 불필요하게 소모하는 에너지가 많다. 문턱값(threshold)을 이용해 동작하는 클러스터링 기법의 경우 네트워크의 수명은 연장되었으나 수집하는 데이터의 정확도가 낮아 신뢰하기 어려운 문제점이 있어 이에 대한 개선이 필요하다. 또한 멀티 홉 전송을 이용하는 클러스터링 기법은 클러스터 헤드 노드 선정이 확률적으로 발생하므로 노드들의 링크가 단절되는 현상이 자주 일어나 데이터의 정상적인 수집이 어렵다. 이에 본 논문은 불필요한 에너지 소모를 줄이고 링크 단절 현상이 완화된 클러스터 형성 알고리즘을 제안하였다. 성능분석 결과에 의하면 제안하는 방법은 기존의 클러스터링 방법에 비해 노드들의 에너지 소모가 줄어들었으며 전송 효율이 증가하였고 수집 데이터의 정확도가 높아졌으며 전체 수명이 30% 정도 향상되었다.

An Adaptive Regional Clustering Scheme Based on Threshold-Dataset in Wireless Sensor Networks for Monitoring of Weather Conditions

Dongmin Choi^{*}, Jian Shen^{**}, Ilyong Chung^{***}

ABSTRACT

Clustering protocol that is used in wireless sensor network is an efficient method that extends the lifetime of the network. However, when this method is applied to an environment in which collected data of the sensor node easily overlap, sensor nodes unnecessarily consumes energy. In the case of clustering technique that uses a threshold, the lifetime of the network is extended but the degree of accuracy of collected data is low. Therefore it is hard to trust the data and improvement is needed. In addition, it is hard for the clustering protocol that uses multi-hop transmission to normally collect data because the selection of a cluster head node occurs at random and therefore the link of nodes is often disconnected. Accordingly this paper suggested a cluster-formation algorithm that reduces unnecessary energy consumption and that works with an alleviated link disconnection. According to the result of performance analysis, the suggested method lets the nodes consume less energy than the existing clustering method and the transmission efficiency is increased and the entire lifetime is prolonged by about 30%.

Key words: Sensor Networks(센서 네트워크), Hierarchical Clustering(클러스터)

※ 교신저자(Corresponding Author): 정일용, 주소: 광주광역시 동구 서석동 조선대학교 전자정보공과대학 810호 정보통신실험실(501-759), 전화: 062)230-7754, FAX: 062)230-7754, E-mail: iyc@chosun.ac.kr
접수일: 2011년 5월 30일, 수정일: 2011년 7월 4일
완료일: 2011년 8월 11일

^{*} 정회원, 조선대학교 컴퓨터공학과
(E-mail: cdm1225@gmail.com)

^{**} 준회원, 조선대학교 컴퓨터공학과
(E-mail: s_shenjian@126.com)

^{***} 종신회원, 조선대학교 컴퓨터공학과

1. 서 론

센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 제한된 에너지를 갖는 배터리를 사용하며 일회성[1]으로 재충전이 어렵기 때문에 에너지에 대한 제약이 크다. 또한 센서 노드는 데이터를 수집하고자 하는 지역에 밀집되게 분포한다. 이러한 이유로 각 노드들이 수집하는 데이터는 중복되기 쉬워 중복된 데이터 전송에 낭비되는 에너지가 많다. 이와 같은 네트워크에서 발생할 수 있는 문제들[2-4]을 고려하여 꼭 필요한 노드만 동작하는 방법이 데이터 수집에 있어 효율적이고 안정적인 결과를 갖는다. 따라서 평면 라우팅 방식[5-6]보다는 클러스터링[7-12]을 이용한 계층적 구조가 더 적합하다. 또한, 노드가 데이터를 전송할 때 소비하는 에너지가 노드 전체 보유 에너지에서 차지하는 비율과 하드웨어에서 소모하는 에너지[13-17]를 고려하면 멤버 노드로부터 데이터를 전송받아 데이터 취합을 하여 상위 계층으로 전송하는 클러스터링 방식이 보다 효율적인 에너지 관리가 가능하다.

그러나, 클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드에 부하가 집중되어 클러스터 헤드 노드의 에너지가 급격히 소모되므로 전체 네트워크 잔여 에너지의 불균형이 커지게 된다. 이러한 에너지의 불균형을 해소하기 위해 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 바꾸는 방법들이 제안되었다. LEACH[8]는 정기적인 setup을 통해 클러스터 헤드 노드를 재선출하여 클러스터를 재구성하였다. TEEN[18]은 수집하는 데이터에 임계값을 두어 노드의 소모 에너지를 줄이고 클러스터 헤드 노드의 부하를 줄였다. APTEEN[19]은 수집하는 데이터의 정확도를 위해 주기적으로 데이터를 전송하는 시간을 정하여 TEEN의 단점을 보완하였다.

본 연구는 센서 모듈의 감지범위[20]와 수집 데이터의 중복성을 고려하였으며 실제 기상 데이터[21]를 이용하여 성능을 평가하였다. 이 방법은 특정 지역에 배치된 노드들이 동일한 데이터를 중복 수집하는 문제를 최소화하고, 수집하는 데이터의 정확도를 높이며, 네트워크를 구성하는 노드들 사이의 링크단절을 완화시킨다. 제안하는 방법은 2가지 종류의 클러스터를 구성하며 이를 통해 데이터를 수집한다. 2가지의 클러스터 중 첫 번째인 지역 클러스터(regional

cluster)는 클러스터에 참여하는 모든 노드가 동일한 데이터 수집값을 갖고 있다. 다시 말해서, 이 클러스터에 참여하는 조건은 데이터 수집값의 일치 여부이다. 이렇게 구성된 클러스터는 오직 클러스터 헤드 노드 한 개만 동작하며 클러스터의 멤버 노드는 슬립(sleep)하여 에너지를 절약하는 구조이다. 이 방법을 이용하면 지역 클러스터는 전체 네트워크에서 한 개의 노드처럼 동작하게 되며 지역 클러스터의 에너지 소모가 낮아진다. 모든 노드가 한 지역에 고르게 분포한다고 가정할 때, 지역 클러스터에 참여하는 노드가 많을수록 전체 네트워크의 에너지 보존량은 높아진다. 지역 클러스터링 후, 이 클러스터에 참여하지 못하는 노드들 - 동일한 값을 갖지 못하는 노드들 - 은 두 번째 클러스터인 일반 클러스터를 구성하게 된다. 이 클러스터는 데이터 수집과 전송을 결정하는데 문턱값을 사용하며 이 문턱값은 모든 노드가 사전에 테이블로 저장하고 있다. 위의 두 가지 클러스터를 이용하여 수집 데이터의 중복을 피하면서 네트워크의 수명을 연장시키는 것이 이 실험의 목적이다. 실험 결과에 의하면, 제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 낮은 에너지 소모와 높은 네트워크 연결도, 연장된 네트워크 동작 시간, 높은 데이터 수집률을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로서 LEACH, TEEN, APTEEN, 과 같은 몇몇 클러스터 기반 기법들을 소개하고, 3절에서는 제안하는 방법에 대해 설명하며, 4절에서는 제안하는 방법을 데이터 수집률에 대해 성능을 측정한다. 또한 멀티 홉으로 연결된 센서 네트워크의 네트워크 연결률을 측정하며, 네트워크의 생존 시간 동안 생성된 클러스터 헤드 노드의 수 및 모든 노드들의 에너지 소비 평준화 정도, 고립된 노드들의 수, 전체 네트워크의 생존시간과 관련하여 비교 분석하며, 5절에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 LEACH

클러스터 기반의 계층적 라우팅 기법인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 센서 네트워크의 대표적인 클러스터링 방법으로 클러스터 헤드가 클러스터 내 멤버노드로부터 데이터를



그림 1. LEACH의 타임라인

수집하여 통합한 후 싱크(sink)에 전송을 한다. 이 방법은 클러스터 헤드 노드의 에너지 소비가 크므로 전체 네트워크의 노드에 에너지 소비를 분산시키기 위해 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 바꾼다. 그림 1은 일정한 간격을 갖는 라운드로 구성된 LEACH의 동작을 나타낸다. 한 라운드는 setup과 steady로 나누어지며 이러한 과정은 매 라운드마다 반복된다. 이 방법은 주기적으로 데이터의 측정이 가능하다. 그러나 소모되는 에너지가 많아 네트워크가 오래 생존하기 어렵다.

2.2 TEEN

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)은 센서 노드들이 임계 데이터를 처리하는 reactive network이다. 이 방법은 임계값을 이용한 데이터 전송을 제외한 동작은 LEACH와 같다. 아래의 그림 2는 TEEN의 동작을 나타낸다.

이 방법은 클러스터 형성에 LEACH와 동일한 방법을 사용하며 클러스터 형성 이후 클러스터 헤드 노드가 측정하는 데이터의 Parameter들, 즉 Hard Threshold값인 H_T 와 Soft Threshold값인 S_T 를 멤버 노드에 전송한다. 멤버 노드들은 이 값을 기준으로 report time내에 할당된 시간에 데이터 전송을 한다. 이 방법은 노드들이 측정값이 H_T 값을 초과할 때 데이터를 수집하여 전송이 이루어지며, H_T 를 초과한 이후에 측정하는 데이터가 S_T 를 초과할 때에만 데이터를 수집하고 전송한다. 결과적으로 report time에서 모든 노드가 동작하지는 않으며 낭비되는 에너지가 줄어들었다. 또한 이 방법은 클러스터를 다시 구

성할 때 사용자가 임의로 임계값을 재설정 할 수 있다. 따라서 이 값을 변경하여 수집 데이터의 빈도와 노드의 수명을 조절이 가능한 장점이 있다. 그러나 만일 수집되는 데이터가 H_T 를 초과하지 않으면 노드가 데이터를 전송하지 않으므로 데이터의 수집이 이루어질 수 없고, S_T 를 초과하지 않는다면 초기 값 이후의 데이터 변동, 특히 임계값 이하 데이터 변동에 대해서는 알 수 없다. 또한 이 방법은 전체 네트워크를 구성하는 노드의 생존 여부를 판단하기 어려운 문제가 있으며, 만약 수집한 데이터가 모든 임계값을 초과한다고 하더라도 서로 인접한 노드들에게서 수집된 데이터는 클러스터 헤드에 의해 통합되는 과정을 거치므로 수집 데이터의 중복 처리에 소모되는 에너지를 고려해야 한다.

2.3 APTEEN

LEACH의 proactive network의 장점과 TEEN의 reactive network의 장점을 결합한 형태의 APTEEN(A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks)은 TEEN의 임계값에 의한 데이터 전송과 LEACH의 데이터 전송 주기를 융합한 형태의 하이브리드 기법으로서 임계값 전송이 갖는 데이터 수집과 네트워크 구성 노드의 상태 인식의 어려움을 극복하였다. APTEEN은 클러스터 형성 후 클러스터 헤드가 임계값, TDMA 스케줄과 카운트 시간 등을 포함하는 parameter들을 멤버 노드에 전송한다. 모든 노드는 parameter에 의해 정해진 시간에 수집된 데이터를 클러스터 헤드에 전송하며 데이터가 임계값을 넘었을 경우에도 데이터를 수집하여 전

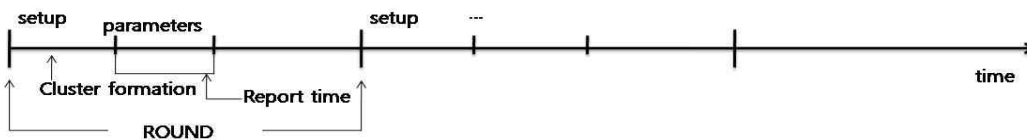


그림 2. TEEN의 타임라인

송한다. 따라서 이 방법은 TEEN의 임계값이하 데이터 변동에 대한 데이터 수집 문제와 노드의 생존 여부 판단의 문제를 해결하였다고 볼 수 있다. 그러나 카운트 시간이 TDMA 스케줄의 몇 배로 조정이 가능하다고는 하나 이 시간에는 전체 네트워크의 모든 노드가 고정적으로 데이터를 전송해야 하므로 개선이 필요하다.

3. ARCT

제안하는 방법은 Cluster 기반으로 동작하는 동적 클러스터 기반 기법이며 정해진 시간에 전송을 하는 사전적 네트워크이다. 또한 문턱값을 사용하므로 TEEN과 같은 반응적 네트워크로 분류할 수도 있다. 제안하는 방법은 두 종류의 클러스터 - 지역 클러스터와 일반 클러스터 - 를 사용하는데 이 두 클러스터는 데이터 수집 방법이 다르다. 지역 클러스터는 클러스터를 구성할 때 인접한 노드들과 수집된 데이터의 비교를 통해 클러스터를 구성하며, 클러스터를 구성한 후 이 클러스터에서 오직 헤드 노드만 동작하여 수집된 데이터를 전송한다. 일반 클러스터는 지역 클러스터에 참여하지 못한 노드들이 2차 클러스터 구성에 참여하여 구성하는 것으로, 클러스터를 구성한 노드들은 모든 노드가 데이터 수집에 참여한다. 이 클러스터에 참여하는 노드들은 데이터를 수집할 때 임계값 테이블을 이용하여 에너지 효율을 높인다.

3.1 노드를 필드에 배치하기 전

제안하는 방법은 문턱값 결정에 수집 데이터의 특성을 반영한다. 사용자는 노드에 입력할 문턱값 데이터 셋을 결정하기 위해 사전에 노드가 배치될 지역(관심 영역 : AOI)의 수집 데이터의 특성을 알아야 한다. 본 연구에서는 특정 지역의 기후 변화 데이터를 이용하였다.

그림 3은 센서 노드가 배치될 지역을 나타낸다. 이와 같이 센서 노드를 배치할 영역을 선정하고 해당 지역에서 사전에 수집되었던 기온 변화에 대한 데이터를 이용해서 노드에 입력할 문턱값 데이터 셋을 만든다.

그림 4는 관심 영역(노드들이 배치될 영역)의 계절별 온도변화 그래프이다. 이 지역의 하루 동안의 온도변화 그래프를 그리면 다음의 그림 5와 같다.

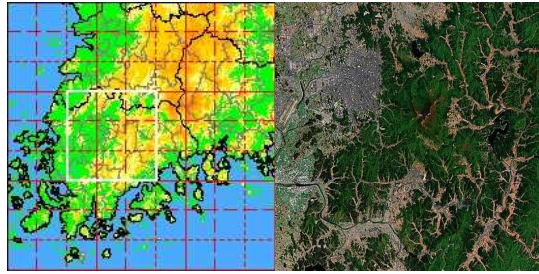


그림 3. 선정된 관심영역

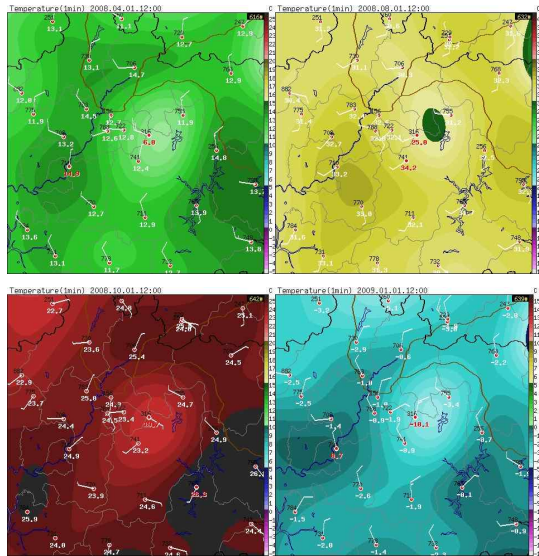


그림 4. 관심 영역의 계절별 온도변화

아래의 그림 5에서 보이는 바와 같이, 온도 변화량은 특정 시간에 유사한 기울기를 갖는 것을 알 수 있으며, 그림에서 나타나지는 않았으나 기온은 또한 고도에 영향을 받음을 알 수 있다. 그림 5의 4계절 그래프에서 가장 낮은 기온을 보이는 그래프가 아래 그림 6의 가장 높은 고도에서 수집된 그래프이다.

아래의 그림 6은 관심영역의 지형 고도를 개략적으로 나타낸 그래프이며 고도별로 차지하는 영역비율을 옆의 표 1로 나타내었다.

아래의 표 1에서 분류한 고도별로 기온변화 그래프를 분류하여 각 구간별 기온 변화의 평균값을 구하고 기울기를 구한다. 계산 결과, 각 고도에서 수집된 계절별 평균 온도변화는 아래의 그림 7과 같으며 평균 온도 변화를 바탕으로 구한 기울기 변화는 아래의 그림 8과 같다.

이렇게 구한 고도별 기울기 그래프 중 가장 많은

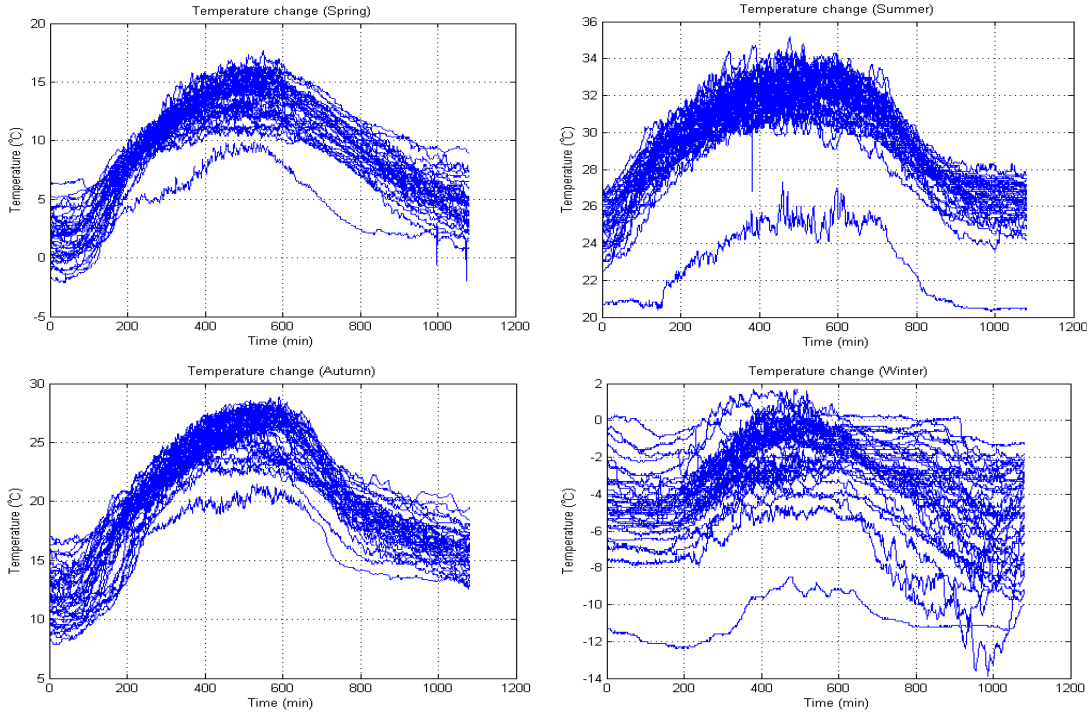


그림 5. 관심영역에서 사전에 수집된 온도변화 데이터 셋

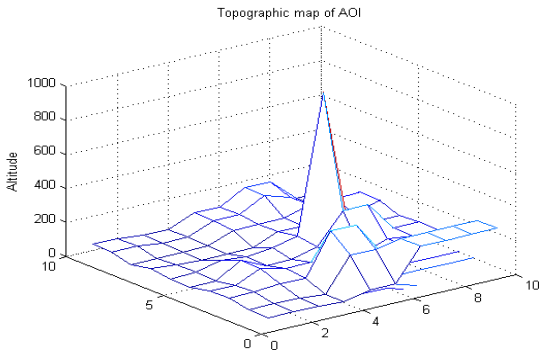


그림 6. 관심영역의 지형 고도 그래프

표 1. 관심 영역의 고도별 영역 비율

해 발 고 도	비 율
0m - 100m	77%
101m - 200m	10%
201m - 300m	12%
900m - 1000m	1%

비율을 차지하는 0~100m 사이의 시간당 기온기 변화량에 대한 테이블을 만들어 노드들에 입력한다.

0~100m 사이의 데이터를 입력하는 이유는 다음과 같다. 모든 노드들은 랜덤 분포를 기반으로 하고 있어 확률적으로 가장 많은 수의 노드가 분포하게 되기 때문에 테이블 값 갱신에 노드가 소모하는 에너지를 줄이기 위해서이다. 이후 필드에 배치된 노드들이 자신이 위치한 곳의 고도가 맞지 않을 경우에는 노드들이 클러스터를 구성하기 전에 싱크로부터 전송된 다른 고도 구간의 데이터를 받아 갱신하게 되며 이때 갱신을 필요로 하는 노드의 수는 전체 노드 대비 약 23%의 노드가 된다.

이와 같이, 모든 노드는 해당 노드가 배치될 지역의 평균 기온기 데이터 셋을 갖고 있다. 이렇게 사전에 데이터 셋을 갖는 노드는 필드에 배치되어 데이터를 수집하며 이 데이터 셋과 노드가 수집한 데이터의 비교를 통해 데이터 전송 여부를 결정한다.

3.2 노드가 필드에 배치된 후

3.2.1 고도에 따른 데이터 셋 수정

노드들은 다음 그림 9과 같이 무작위로 필드에 배치되며 정 중앙에 싱크가 위치한다. 앞의 그림 6에

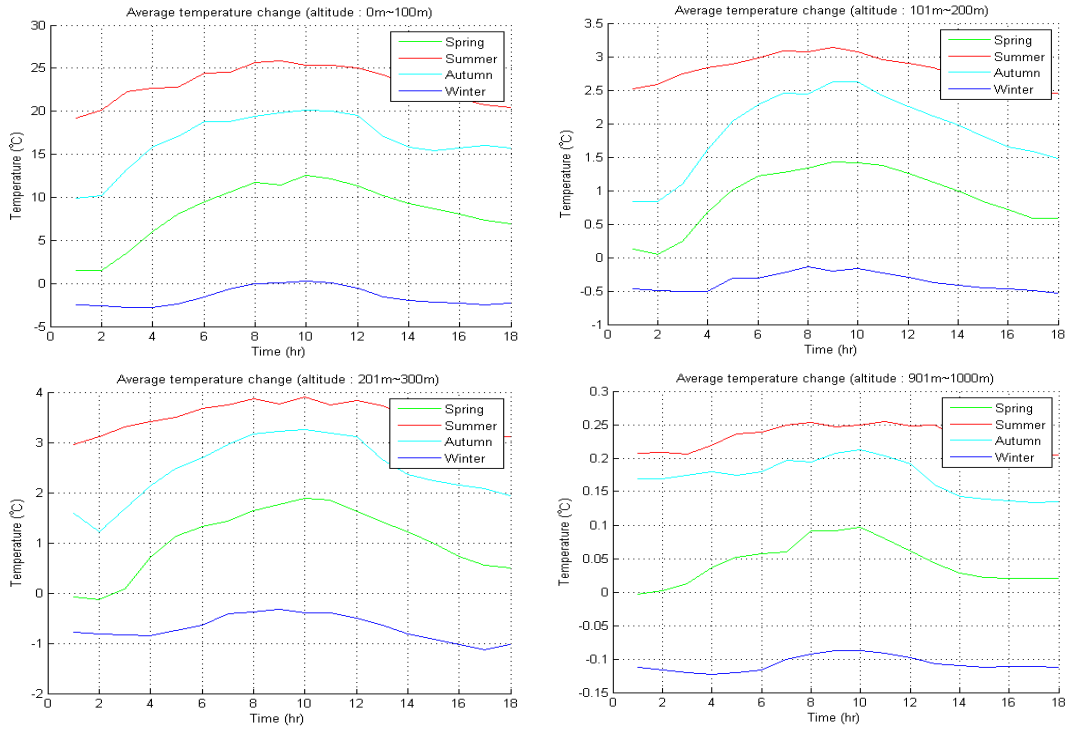


그림 7. 각 고도에서 수집된 계절별 평균 온도 변화 그래프

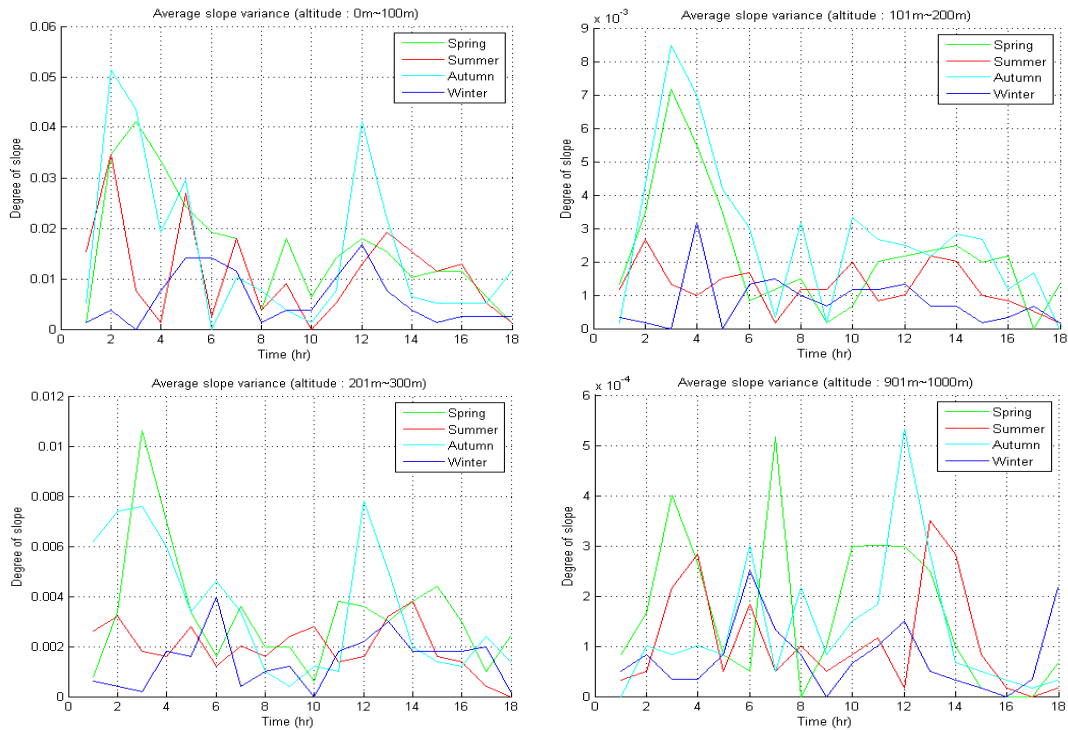


그림 8. 고도별 평균 기온 변화 그래프에서 추출한 평균 기울기 변화 그래프

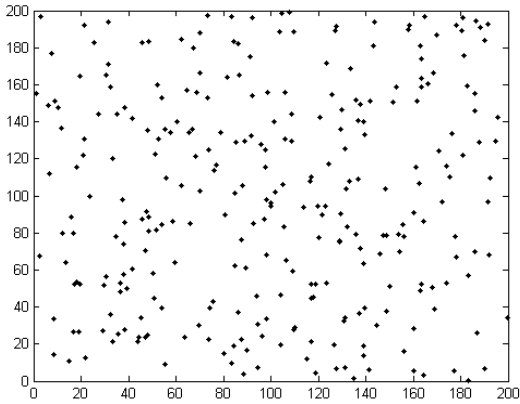


그림 9. 노드의 random distribution

의하면 지형의 고저에 따라 노드가 적용할 데이터 셋이 다르므로 고도 101m부터 1000m 사이의 고도에 배치된 노드는 기본 데이터 셋이 아닌 고도에 맞는 데이터 셋을 적용해야 한다. 이를 위해 싱크는 전체 영역을 포함하는 범위의 전송거리를 갖고 있다. 싱크는 노드들이 필드에 무작위로 배치된 이후 101m부터 1000m 사이의 3가지 데이터 셋을 브로드캐스트 하며, 해당 고도에 위치한 노드는 자기 고도에 맞는 데이터 셋으로 갱신한다.

만약 노드의 저장 공간이 넉넉하다면 사전에 모든 데이터 셋을 저장하는 방법도 고려할 수 있다.

3.2.2 클러스터 형성 및 데이터 전송

데이터 셋 갱신이 끝난 모든 노드는 최초 셋업 즉, 클러스터를 구성하는 과정에 앞서 노드 자신이 위치한 곳의 환경 데이터를 수집하여 저장한다. 또한 셋업을 진행하기에 앞서 모든 노드는 필드에 배치되기 전에 셋업을 위한 랜덤수를 생성하여 저장하고 있다. 이 수에 의해 노드가 동작하는 시간이 결정되며 이 수가 작은 노드는 빠른 시간 내에 자신이 클러스터 헤드임을 자신의 전송반경 내에 위치한 모든 노드에 브로드캐스트하여 알린다. 이 랜덤수가 상대적으로 큰 인접 노드들은 아직 자신의 타이머가 끝나지 않았으므로 자신이 클러스터 헤드가 되려는 시도를 포기

하고 클러스터의 멤버 노드로 등록한다. 이때, 클러스터 헤드 노드로 결정된 노드는 자신이 갖고 있는 환경 데이터 값과 같은 노드를 선정하여 자신의 클러스터의 멤버 노드로 포함시킨다.

같은 값을 갖는 노드의 지역 클러스터에 참여하지 못한 노드는 2차로 시도되는 일반 클러스터 형성에 참여하는 후보 노드가 되며, 이를 위해 다시 랜덤수를 생성한다. 2차 클러스터링에 참여하는 노드는 노드의 최대 전송거리 안에 포함되는 1차 클러스터링에 참여하지 못한 모든 노드를 대상으로 하며, 이 역시 랜덤 수에 의한 시간이 가장 작은 노드가 2차 클러스터 헤드 노드의 우선순위를 갖게 된다.

아래의 그림 10은 제안하는 방법의 타임라인을 나타낸다.

이렇게 생성된 네트워크의 클러스터들은 멀티 홉을 기반으로 한 수집 데이터 전송을 한다.

1차 클러스터 구성 과정에서 생성된 지역 클러스터에 참여한 멤버 노드는 슬립상태로 에너지를 보존하며 오직 클러스터 헤드노드만 동작하여 데이터를 수집하고 전송한다. 그러나 2차 클러스터에 참여한 노드들은 노드가 갖고 있는 데이터 셋과 비교하여 데이터 수집을 하게 된다. 앞의 그림 8의 평균 기온기 그래프 값을 저장하고 있는 2차 클러스터의 멤버 노드는 시간의 흐름에 따라 변화하는 기온기 데이터 값을 매 순간 수집되는 데이터의 기온기변화와 비교하면서 데이터의 전송 여부를 결정하게 된다.

4. 성능 평가

성능 평가 항목은 다음과 같다. 우선 센서 네트워크의 기본 기능인 데이터 수집에 대해 성능을 측정한다. 또한 멀티 홉으로 연결된 센서 네트워크의 네트워크 연결률을 측정하며, 네트워크의 생존 시간 동안 생성된 클러스터 헤드 노드의 수 및 모든 노드들의 에너지 소비 평균화 정도, 고립된 노드들의 수, 그리고 마지막으로 전체 네트워크의 생존시간을 측정한다. 이 실험에는 MATLAB 7.0이 사용되었으며 실험



그림 10. 제안하는 방법의 타임라인

환경은 다음과 같다. 라운드는 3프레임으로 구성되며 LEACH와 동일한 조건을 적용하여 전자 에너지 $E_{elec} = 50n.J/bit$, free space model 의 증폭 에너지 $E_{fs} = 10p.J/bit/m^2$, multipath model의 증폭 에너지 $E_{mp} = 0.0013p.J/bit/m^4$, 노드의 scheduling 소모 에너지 $E_{schedule} = 5n.J/bit/signal$, 데이터 병합시 소모 에너지 $E_{da} = 5n.J/bit/signal$, 데이터의 크기 $l = 1000bit$, 전체 노드의 수 $N = 500$, 네트워크 면적의 한 변의 길이 $M = 100m$ 이다. 따라서 $1m^2$ 당 약 5개의 노드가 배치되는 밀집된 환경이다. 비교에 사용되는 모든 기법들은 동일한 밀집도를 갖는다. TEEN과 APTEEN에서 사용되는 임계값 전송 확률은 계절별 기온 데이터에 따라 $H_{th} = -3$ 부터 3까지, $S_{th} = 0.2$ 를 적용하였으며, APTEEN의 고정 전송 횟수는 3라운드마다 1회의 전송을 적용하였고 클러스터 헤드 노드의 수는 5%를 적용하였다. 이 측정에 사용된 환경데이터는 기상청에서 제공하는 기온 변화 데이터 베이스를 이용하였다.

4.1 수집 데이터 정확도 평가

다음의 표 2는 기법별로 네트워크 생존 시간 동안 수집한 데이터의 정확도를 나타낸 것이다.

표에 의하면 평균 정확도에 있어 LEACH가 가장 높은 것을 알 수 있다. 이는 LEACH가 모든 노드가 깨어 동작하며 정해진 시간에 전송하는 proactive 방식이므로 가능한 것이다.

TEEN은 다른 3가지 방법에 비해 상당히 낮은 수준의 정확도를 보임을 알 수 있다. 이는 TEEN의 특성상 실제 수집된 값을 전송하는 것이 아닌 2가지의 문턱값을 사용하여 전송을 조절하는 형태이기 때문이며, 이로 인해 사실적인 데이터를 재구성하기에 어려움이 있다. 또한, 봄과 겨울의 정확도가 낮게 나타남을 알 수 있는데 이것은 일부 지역이나 일정 시간

동안 수집 데이터가 문턱값에 미달되어 데이터 전송이 없었음을 간접적으로 짐작하게 하는 부분이다. 결국 노드의 에너지 소비는 줄어드나 데이터 수집 자체가 어렵게 되는 결과를 갖게 된다.

APTEEN의 경우 다른 방법들 대비 중간 정도의 정확도를 보인다. 이는 APTEEN의 고정 주기 전송 메커니즘으로 인한 결과이며 이로 인해 TEEN보다 상대적으로 높은 데이터 정확도를 보인다.

제안하는 방법인 ARCT의 경우 TEEN과 APTEEN 보다는 높으나 LEACH에 비해 다소 낮은 정확도를 보인다. 이는 지역 클러스터 멤버 노드의 수집 데이터를 무시하고 클러스터 헤드 노드가 수집한 데이터에 의존하였기 때문으로 보인다. 그러나 그럼에도 불구하고 LEACH에 근접한 수준의 정확도를 보이는 것은 상당히 높은 데이터 정확도를 갖고 있음을 의미한다.

4.2 네트워크 연결도 평가

아래의 표 3은 기법별로 측정된 네트워크 연결도를 나타낸다.

표에 의하면 LEACH, TEEN, APTEEN 모두 계절 데이터에 관계없이 비슷한 수준의 연결률을 보임을 알 수 있다. 클러스터 기반 기법에서는 클러스터 헤드 노드가 소스 노드와 싱크 사이의 중간 데이터 전달자 역할을 하기 때문에 클러스터 헤드 노드의 개수가 가장 중요하다. 확률에 기반한 클러스터 헤드 노드 선정에 있어 클러스터 헤드 노드의 개수가 많을수록 싱크와의 연결확률이 높아지기 때문에 클러스터 헤드 노드의 개수가 많을수록 네트워크 연결률은 높아진다. 그러나 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량이 크기 때문에 이전의 연구 결과에서는 적절한 수준이 전체 노드의 5% 정도라고 알려져 있다. 그러

표 2. 기법별로 수집한 데이터의 정확도

기온 데이터 \ 기법	수집 데이터 정확도 (%)			
	LEACH	TEEN	APTEEN	ARCT
봄	89.4525	35.3453	67.2478	82.0323
여름	91.1011	46.8591	71.6045	82.6579
가을	92.8324	47.0148	69.7175	78.2477
겨울	86.5668	36.3834	80.4318	83.8328
평균	89.99	41.40	72.25	81.69

표 3. 기법별로 측정된 네트워크 연결도

기온 데이터 \ 기법	네트워크 연결도 Network Connectivity (%)			
	LEACH	TEEN	APTEEN	ARCT
봄	97.3801	97.8579	95.9985	99.2758
여름	97.7589	96.6007	96.3018	99.1773
가을	97.8777	96.5399	96.2987	99.2621
겨울	97.6423	97.6311	97.5495	99.2268
평균	97.67	97.00	96.20	99.24

나 제안한 방법은 지역 클러스터의 에너지 소모율이 크지 않기 때문에 더욱 많은 수의 클러스터 헤드 노드를 설정할 수 있다. 따라서 전체 네트워크의 연결도는 높아지게 되며 전체 네트워크의 동작 시간 동안 99%이상의 연결률을 보인다. 아래의 그림 11은 네트워크가 정상적으로 연결되었을 때의 데이터 수집과 복원 과정을 나타낸 것이다. 네트워크가 정상적으로 링크 단절이 없이 동작할 경우 (a)의 원시 데이터는

정상적인 수집과정(b)을 거쳐 싱크노드에 전달되고 이는 정상적으로 복원되어 (c)와 같이 사용자에게 제공되게 된다.

그러나 아래의 그림 12와 같이 데이터 수집을 담당하는 네트워크의 일부가 단절되는 현상이 나타날 경우 원시 데이터 (a)의 일부 데이터는 (b)의 링크가 단절된 노드들(붉은 색 노드들)이 데이터 전송을 할 수 없으므로 해당 지역의 데이터가 소실되게 되며,

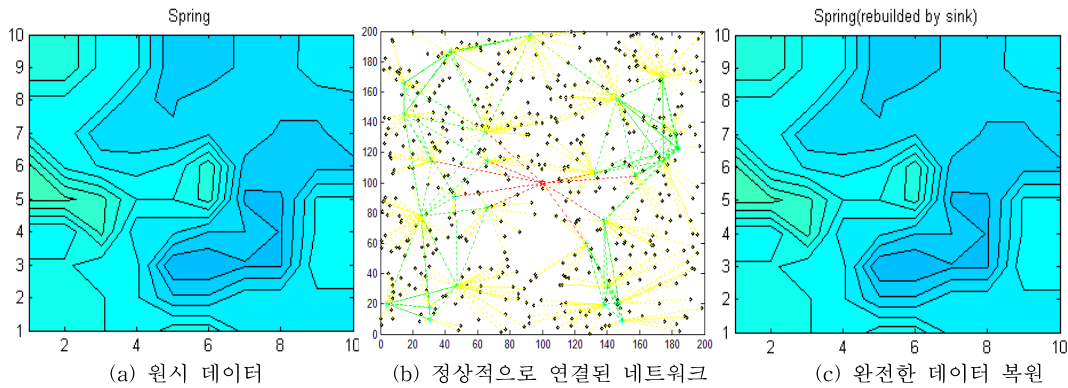


그림 11. 기법에 의한 일반적인 데이터 수집과 복원의 예

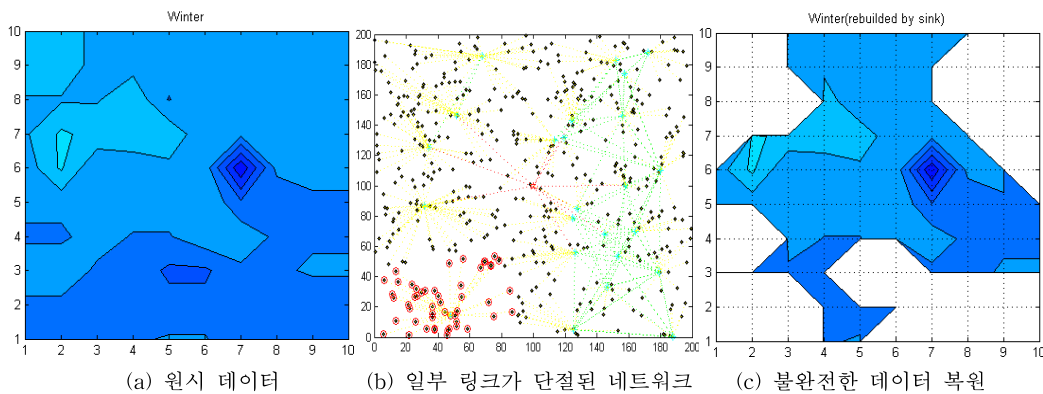


그림 12. 네트워크 단절시 발생하는 문제의 예

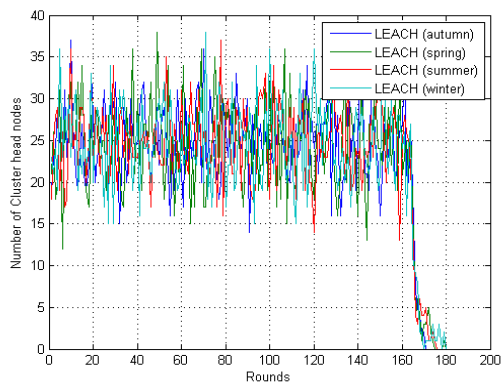
싱크 노드가 재구성 한 맵은 (c)와 같이 나타나게 되어 정상적인 데이터 복원이 어렵게 된다.

4.3 클러스터 헤드노드의 수

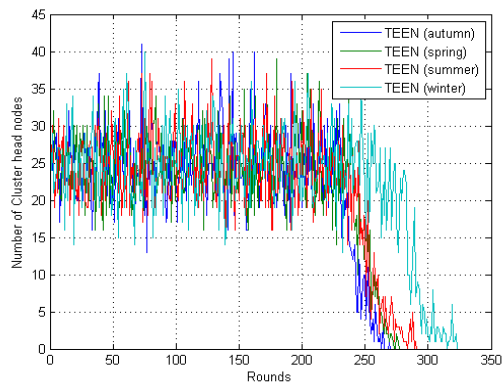
클러스터 헤드 노드의 수는 네트워크의 연결도와 관계가 있다. 확률에 기반한 클러스터 헤드 노드 선정방법에서 클러스터 헤드 노드의 수를 일정하게 유지하는 것은 꼭 필요하다. 아래의 그림 13은 네트워크 생존시간 동안에 생성되었던 클러스터 헤드 노드의 수를 각 기법별로 나타낸 것이다.

그림 13의 (a),(b),(c)는 모두 동일한 방식으로 클러스터 헤드 노드를 선정한다. 이 방법들은 모두 동일한 5%의 클러스터 헤드노드 선정확률을 적용하였으며 이 확률에 의해 클러스터 헤드 노드가 선정된다. 그러나 그래프에서 보이는 바와 같이 클러스터 헤드 노드는 20개에서 30개 정도로 최대 10개의 오

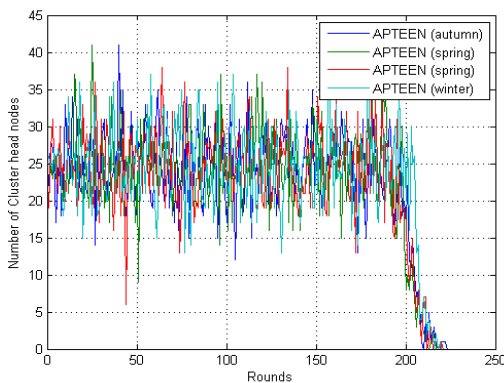
차범위로 생성됨을 알 수 있다. (a),(b),(c)의 방법은 기준 값에 미달되는 클러스터 헤드노드가 자주 생성될 경우 노드들 사이의 연결도가 낮아지게 되어 데이터 수집에 문제가 발생할 확률이 커지게 된다. 이에 비해 제안한 방법과 같이 랜덤 시간에 의한 노드들의 경쟁을 통해 클러스터 헤드를 선발하는 경우 (d)와 같은 결과를 보인다. 클러스터 헤드 노드의 수는 35개에서 40개 정도로 유지되어 앞의 세 가지 방법에 비해 오차 범위가 절반으로 줄어든 것을 알 수 있다. 총 클러스터 헤드 노드의 수는 이전의 방법들에 비해 많으나 아래의 그림 14에 의하면 제안하는 방법은 두 가지 형태의 클러스터 헤드 노드가 존재한다. 따라서 에너지 소모가 큰 일반 클러스터 헤드 노드의 비율은 전체 클러스터 헤드 노드 개수의 약 18%이다. 결과적으로 제안하는 방법은 많은 수의 클러스터 헤드 노드가 생성되었으나 에너지 소비에 미치는 영향은 적다.



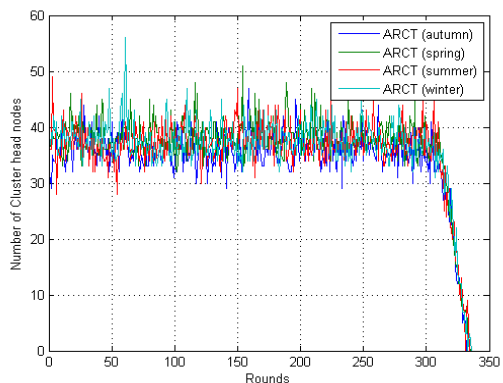
(a) LEACH



(b) TEEN



(c) APTEEN



(d) ARCT

그림 13. 클러스터 헤드 노드의 수 비교

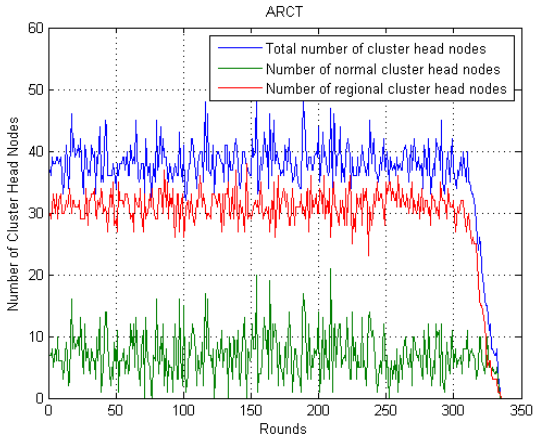


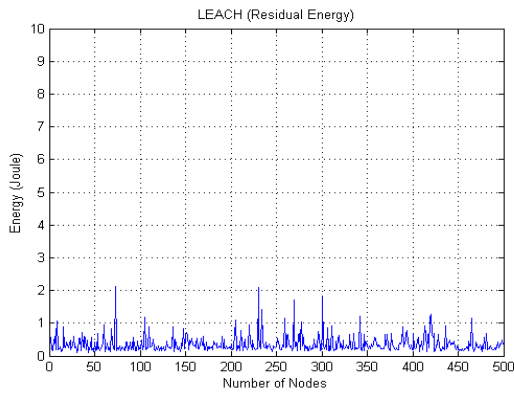
그림 14. 제안한 방법에서 생성한 지역 클러스터와 일반클러스터의 생성 비율

4.4 네트워크 잔여 에너지 측정

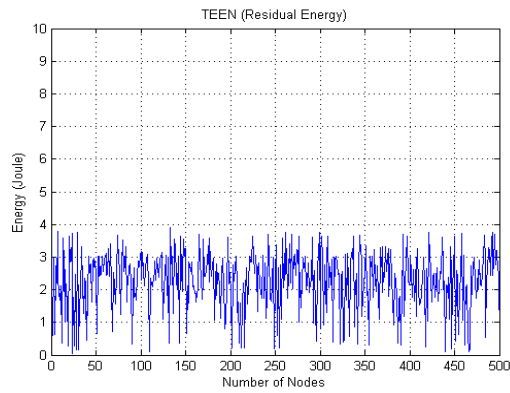
아래의 그림 15는 각 기법별로 네트워크를 구동했

을 때, 네트워크에서 에너지가 고갈된 노드가 최초로 발생하는 시점에 측정된 노드별 잔여에너지 그래프이다.

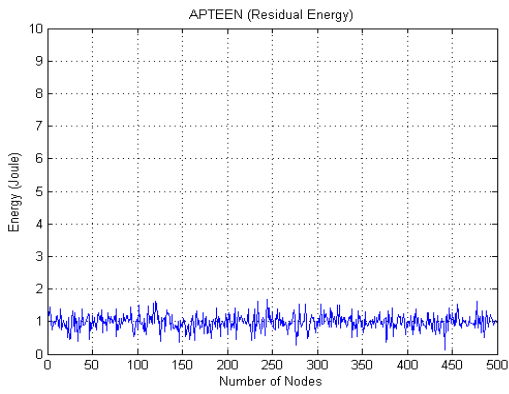
그래프에 의하면 최초 에너지 고갈 노드가 발생했을 때 TEEN이 가장 불균등한 에너지 소비를 보인다. 그 이유는 TEEN의 데이터 수집 방식에 있는 것으로 보인다. TEEN의 특성상 문턱값에 의해 노드의 동작이 제어되는 부분이 많으므로, 데이터 수집 구역 중 특정 부분에서 수집되는 데이터가 일정 시간 동안 변화가 없을 경우 노드가 동작하지 않아 이러한 에너지 불균형이 나타나는 것으로 보인다. 나머지 3개의 방법은 1~2J 정도로 비슷한 수준의 잔여 에너지 분포를 보인다. 제안하는 방법의 경우 LEACH와 APTEEN에 비해 다소 잔여 에너지가 균일하지 않은 것으로 보이나 이후에 다루는 노드의 고립 문제와 네트워크 수명에 있어서 앞의 두 가지 방법에 비해 매우 우수한 결과를 보인다.



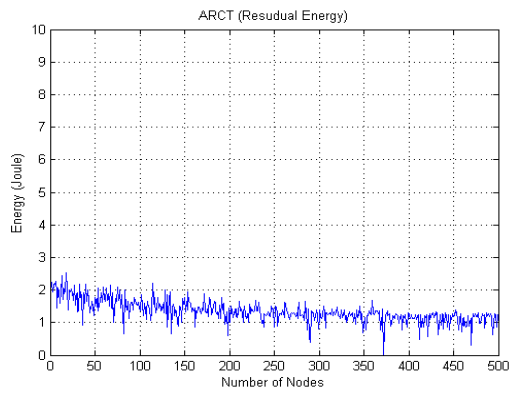
(a) LEACH



(b) TEEN



(c) APTEEN



(d) ARCT

그림 15. 에너지가 고갈된 노드가 최초로 발생한 시점의 노드별 잔여 에너지 그래프

4.5 고립된 노드의 수

멀티 홉 기반의 네트워크를 구성함에 있어 고립 노드의 수를 최소화하는 것은 중요한 문제이다. 네트워크의 생존 시간 동안 원활한 데이터의 수집을 위해서는 가능한 한 모든 노드가 네트워크에 참여해야 하며, 고립되는 노드는 최소화해야 한다. 아래의 그림 16은 기존의 방법과 제안한 방법의 네트워크 생존 시간 동안 발생하는 고립 노드의 수를 나타낸다.

LEACH와 APTEEN 경우 총 500개 노드 중 약 60개 노드가 고립되어 약 12%의 노드 고립률을 보이고 있다. 이러한 노드의 고립은 데이터 수집이 불가능하게 되는 하나의 요인이 되며, 고립된 노드가 발생하는 위치에 따라 네트워크에 영향을 미치는 정도가 달라진다. 특히 고립되는 노드가 클러스터 헤드 노드일 경우 해당 클러스터에서 수집되는 데이터의 전송 자체가 불가능 하게 되므로 네트워크의 데이터 수집에 큰 영향을 미친다. 아래의 그림 17은 각 기법 별로 발생한 고립노드들 중 고립된 클러스터 헤드 노드의 수를 기록한 그래프이다.

LEACH의 경우 평균적으로 클러스터 25개가 생성되며 이들 중 최대 6개의 클러스터 헤드 노드가 고립되므로 클러스터 헤드 노드가 고립될 확률은 최대 24%이다. TEEN의 경우 최대 9개의 클러스터 헤드 노드가 고립되므로 최대 36%의 클러스터 헤드 노드가 고립되게 됨을 의미하며, APTEEN의 경우 최대 32%이다. 제안한 방법은 평균 38개의 클러스터 헤드 노드가 생성되며 최대 6개의 노드가 고립되므로 최대 16%의 노드가 고립되게 되며 발생 빈도 또한 다른 방법들에 비해 현저히 낮다. 이와 같이 제안한 방법은 확률적으로 높은 안전성을 가지고 있으므로 상대적으로 안정적인 네트워크 유지가 가능하다.

4.6 네트워크 생존시간

4.6.1 계절별 네트워크 생존시간

실제 계절별 온도 변화 데이터를 이용하여 측정된 네트워크 수명은 아래의 그림 18과 같다.

LEACH의 경우 계절별 데이터에 영향을 받지 않고 일정한 수명을 보여준다. 그러나 TEEN의 경우

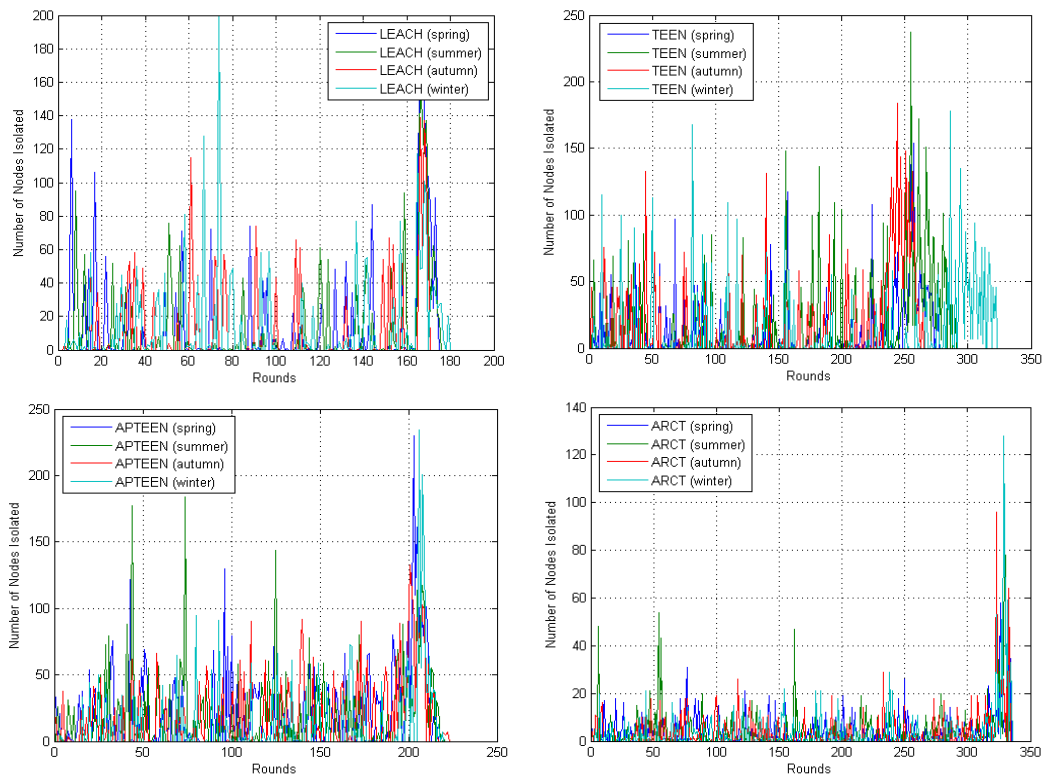


그림 16. 네트워크 생존시간(lifetime) 동안 발생한 고립된 노드의 수

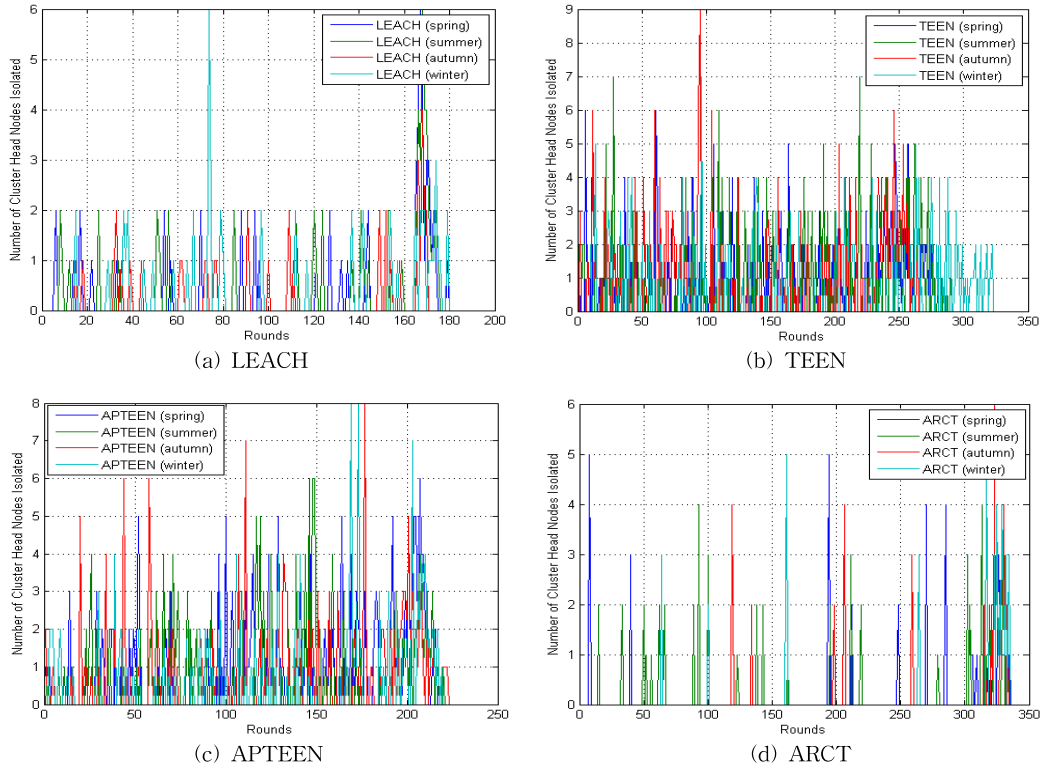


그림 17. 네트워크의 생존시간 동안 발생한 고립된 클러스터 헤드노드의 수

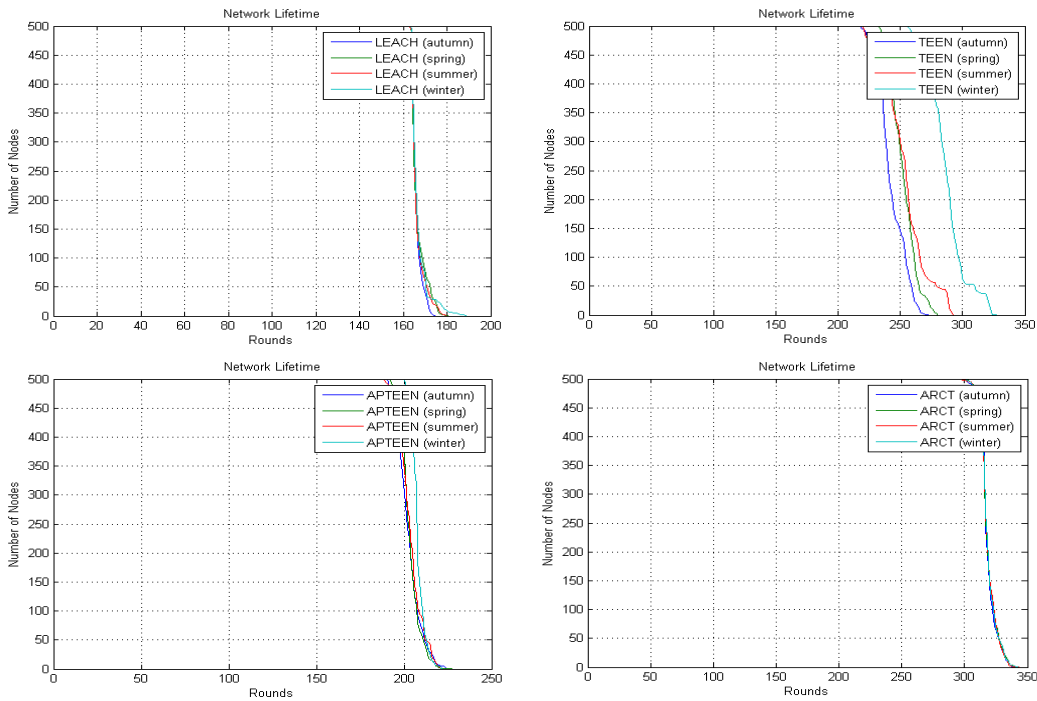


그림 18. 계절에 따른 기법별 네트워크 생존 시간

임계값의 효과적인 작동 여부에 따라 네트워크 수명이 달라짐을 알 수 있다. APTEEN의 경우 네트워크 수명이 수집 데이터에 약간 영향을 받는다. 그러나 이 방법은 고정된 전송 주기를 가지고 있어 이에 의해 네트워크 수명이 계절별 데이터에 관계 없이 비교적 균일하게 나타남을 알 수 있다. 제안한 방법의 경우 데이터 전송의 80% 이상이 지역클러스터에서 발생하고 있다. 따라서 전체 전송의 20%정도를 차지하는 일반 클러스터의 계절별 데이터 전송이 전체 네트워크의 수명에 큰 영향을 미치지 않으므로 계절별 수집 데이터에 의한 네트워크 수명의 차이가 거의 없는 것을 알 수 있다.

4.6.2 평균 네트워크 생존 시간

각 기법에서 측정된 계절별 네트워크 수명을 이용하여 평균 네트워크 수명을 구하였다.

아래의 그림 19는 기법별로 측정된 평균 네트워크 수명이다.

LEACH는 최초로 제안된 방법으로 가장 낮은 네트워크 생존시간을 보여주며, 반응적 네트워크인 TEEN의 경우 LEACH에 비해 2배 가까이 연장된 수명을 보여준다. APTEEN은 TEEN의 단점을 보완하는 형태로 LEACH의 고정된 주기 전송을 TEEN에 포함하여, 그 수명이 약간 줄어들게 나타난다. 제안한 방법의 경우 앞의 세 방법과는 다른 데이터 수집 방식을 사용하여 LEACH와 같이 고정된 주기 전송을 갖으나 데이터 수집 영역의 노드 밀도를 낮춤으로서, 실제 데이터 전송에 참여하는 노드의 수를 줄여 네트워크의 수명이 연장되었다.

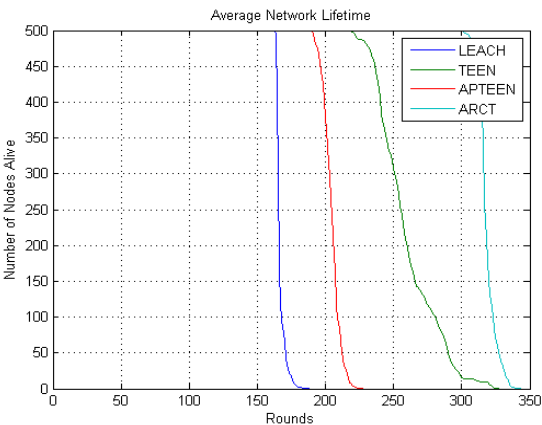


그림 19. 기법별 평균 네트워크 생존 시간(lifetime)

5. 결 론

센서 네트워크의 클러스터링 방법에 대한 연구는 상당부분 진행되었으며 실제적인 응용에 맞춘 연구가 필요하다. 이에 본 연구는 클러스터링을 이용한 센서 네트워크를 실제 환경 감시 네트워크에 적용했을 때 발생하는 문제들과 이에 대한 보완을 다루었으며 해당 응용에 효과적인 클러스터링 기법을 제안하였다. 성능평가에 의하면 제안한 방법에서 제시한 2가지의 클러스터를 이용한 클러스터링 방법은 기존 측정 분야에 적용할 경우 기존 방법에 비해 높은 정확도, 높은 연결도, 낮은 오류율, 긴 네트워크 수명을 제공할 수 있다. 그러나 제안한 방법은 기존 데이터의 특성에 맞추어 이에 대해 최적화를 한 방법이므로 다른 형태의 데이터 수집에 동일한 결과를 낼 수는 없을 것으로 본다. 가장 중요한 점은 환경 감시를 목적으로 하는 센서 네트워크의 기법 설계에 있어 수집 데이터의 특성과 환경을 사전에 파악하는 것이 센서 네트워크의 성능 향상에 도움이 된다는 것이며 이 점이 바로 이 연구가 강조하고자 하는 것이다. 이후 연구에서는 다양한 환경감시에 적용이 가능한 형태의 클러스터링 방법을 제안하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] Joseph M. Kahn, Randy H. Katz, and Kristofer S. J. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust," Proceedings of IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 271-278, 1999.

[2] Yu-chee Tseng, Sze-Yao Ni, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sgeu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *Wireless Networks*, Vol.8, No.2, pp. 153-167, 2002.

[3] J. Li and P. Mohapatra, "An Analytical Model for the Wnergy Hole Problem in Many-To-One Sensor Networks," Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 2721-2725, 2005.

[4] T. Vinh and T. Miyoshi, "A Transmission Range Adjustment Algorithm to Avoid Ener-

- gy Holes in Wireless Sensor Networks,” The Eighth Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies, pp. 1-6, 2010.
- [5] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, and Deborah Estin, “Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network,” Proceedings of MOBICOM, pp. 56-67, 2000.
- [6] Adrian Perrig, Robert Szewczyk, J.D. Tygar, Victor Wen, and David E. Culler, “SPINS: Security Protocols for Sensor Networks,” Proceedings of the Seventh Annual International Conference on Mobile Computing and Networks, 2001.
- [7] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp. 660-670, 2002.
- [8] O. Younis and S. Fahmy, “Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach,” Proceedings of INFOCOM, 2004.
- [9] S. Muruganathan, et al., “A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Communications Magazine*, Vol.43, No.3, pp. S8-S13, 2005.
- [10] M. Rajiullah and S. Shimamoto, “An Energy-Aware Periodical Data Gathering Protocol Using Deterministic Clustering in Wireless Sensor Networks (WSN),” Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference, pp. 3014-3018, 2007.
- [11] 최동민, 모상만, 정일용, “무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 가변 영역 라우팅 프로토콜,” 멀티미디어학회 논문지, 제11권, 제8호, pp. 1082-1092, 2008.
- [12] 최동민, 모상만, 정일용, “무선 센서 네트워크 환경의 Threshold-sensitive 가변 영역 클러스터링 프로토콜에 관한 분석,” 멀티미디어학회 논문지, 제12권, 제11호, pp. 1609-1622, 2009.
- [13] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, “Wireless Integrated Network Sensors,” *Communications of ACM*, Vol.43, No.5, pp. 51-58, 2000.
- [14] J. Hill and D. Culler, “A wireless-Embedded Architecture for System Level Optimization,” UC Berkeley Technical Report, 2002.
- [15] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, “An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks,” Proceedings of INFOCOM, pp. 1567-1576, 2002.
- [16] http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/MPR-MIB_Series_Users_Manual.pdf, March 2009.
- [17] http://www.maxfor.co.kr/sub5_1_1.html, March 2009.
- [18] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal. “TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks,” Proceedings of International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, 2001.
- [19] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, “APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks,” Proceedings of Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 195-202, 2002.
- [20] http://www.1-3com.com/cs-east/tacsys/ie_tacsys_datasheet.shtml, March 2009.
- [21] http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_05_03.jsp, March 2009.



최 동 민

2003년 경희대학교 공과대학 졸업(공학사)
2007년 조선대학교 정보컴퓨터 교육 졸업(교육학석사)
2010년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

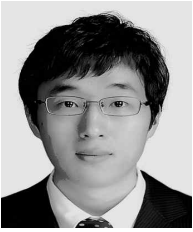
2010년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과 박사후연구원
관심분야: 네트워크 보안, 컴퓨터 네트워크, 센서 네트워크, 모바일 애드혹 네트워크, 정보 윤리



정 일 용

1983년 한양대학교 공과대학 졸업(공학사)
1987년 City University of New York 전산학과(전산학석사)
1991년 City University of New York 전산학과(전산학박사)

1991년~94년 한국전자통신연구소 선임연구원
1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야: 네트워크 보안, 전자상거래, 분산시스템 관리, 코딩이론, 병렬 알고리즘, 모바일 애드혹 네트워크



심 검

2007년 난징대학교 공과대학 졸업(공학사)
2009년 조선대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
2007년~현재 조선대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 컴퓨터 네트워크, 보안 시스템, 모바일 애드혹 네트워크, 센서 네트워크