

센서 네트워크 클러스터링 기법의 데이터 예측 전략

최동민[†], 심 검^{**}, 모상만^{***}, 정일용^{****}

요 약

센서 네트워크 클러스터링 기법은 네트워크의 수명연장에 효율적인 방법이다. 그러나 이 방법은 센서 노드의 수집 데이터가 중복되기 쉬운 환경에서 적용할 경우 중복된 데이터 전송에 불필요하게 에너지가 소모된다는 문제점이 있다. 이에 본 논문은 중복되는 데이터 전송을 배제하고 클러스터 헤드 노드와 멤버 노드 사이의 전송을 최소화하기 위해 센서 노드가 수집하는 데이터를 예측할 수 있는 데이터 예측 기법을 제안하였다. 이 방법은 인접노드의 중복데이터 수집을 배제하여 에너지 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 여기에 불필요한 전송을 줄이기 위해 데이터 예측 그래프를 이용하여 수집 데이터 분석을 통한 선택적인 전송을 하는 방법을 도입하였다. 성능분석 결과가 의하면 제안하는 방법은 기존의 클러스터링 방법에 비해 노드들의 에너지 소모가 줄어들었다. 그럼에도 불구하고 전송 효율과 수집 데이터의 정확도가 증가했으며 결과적으로 네트워크 수명이 증가하였다.

Data prediction Strategy for Sensor Network Clustering Scheme

Dongmin Choi[†], Jian Shen^{**}, Sangman Moh^{***}, Ilyong Chung^{****}

ABSTRACT

Sensor network clustering scheme is an efficient method that prolongs network lifetime. However, when it is applied to an environment in which collected data of the sensor nodes easily overlap, sensor node unnecessarily consumes energy. Accordingly, we proposed a data prediction scheme that sensor node can predict current data to exclude redundant data transmission and to minimize data transmission among the cluster head node and member nodes. Our scheme excludes redundant data collection by neighbor nodes. Thus it is possible that energy efficient data transmission. Moreover, to alleviate unnecessary data transmission, we introduce data prediction graph whether transmit or not through analyze between prediction and current data. According to the result of performance analysis, our method consume less energy than the existing clustering method. Nevertheless, transmission efficiency and data accuracy is increased. Consequently, network lifetime is prolonged.

Key words: Sensor Network(센서 네트워크), Data Prediction(데이터 예측), Cluster(클러스터)

1. 서 론

에너지 효율의 관점에서 볼 때, 센서 네트워크의 가장 큰 이슈는 네트워크의 수명 연장이다. 네트워크의 수명 연장을 위해 노드 각각의 전력을 효율적으로

사용할 수 있는 방법이 필요하며, 이러한 효율적인 전력 사용은 결과적으로 전체 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다. 센서 노드의 에너지 소모는 크게 두 부분으로 나누어지며 이는 데이터 감지 및 처리와 전송으로 구분된다. 그러나 몇몇 선행 연구에 의하면

※ 교신저자(Corresponding Author): 정일용, 주소: 광주 동구 서석동(501-759), 전화: 062)230-7754, FAX: 062)230-7381, E-mail: iyc@chosun.ac.kr

접수일: 2011년 6월 16일, 수정일: 2011년 8월 3일

완료일: 2011년 8월 11일

[†] 준회원, 조선대학교 컴퓨터공학과

(E-mail: cdm1225@gmail.com)

^{**} 준회원, 조선대학교 컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail: s_shenjian@126.com)

^{***} 정회원, 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

(E-mail: smmoh@chosun.ac.kr)

^{****} 종신회원, 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

데이터 전송에 소비되는 에너지는 노드 내부 데이터 처리에 소비되는 에너지보다 상당히 큰 것으로 알려져 있다[1-2].

라우팅 기법은 평면, 계층적, 위치기반, 실시간 등으로 분류된다[3]. 이러한 기법들 중 계층적 라우팅 알고리즘은 클러스터링을 기반으로 한 데이터 모음을 하는 기법으로, 노드들은 다른 역할을 수행하여 데이터를 재처리 하여 에너지의 중복 소비를 줄이는 방법으로 감시를 목적으로 하는 센서 네트워크의 수명을 향상시키는데 적합한 라우팅 기법이다.

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 여러 가지 방법들이 제안되었으나 이들 역시 클러스터 헤드 노드 부하 분산의 문제와 클러스터 헤드 노드 최적화 및 에너지 홀과 같은 문제가 있다 [4-6][15].

제안하는 방법은 센서의 데이터 수집 반경을 고려하여 이웃하는 센서 노드와 중복되는 데이터 수집 영역을 최소화하였고, 최소의 노드만 네트워크에 참여하여 동작할 수 있도록 하여 멀티 홉 기반 센서 네트워크의 데이터 중복 수집 및 전송 문제를 완화하였고, 가중치 부여 기법을 도입하여 노드 및 영역별 에너지 불균형 문제를 완화하였으며, 클러스터 헤드 노드로부터 베이스 스테이션에 전송되는 데이터 중계를 위한 리피터 노드를 도입하여 클러스터 헤드 노드의 잘못된 위치로 인한 네트워크 링크 단절 문제와 수집된 데이터의 정확도를 개선하였다.

이 논문의 구성은 다음과 같다.

제 2장에서는 기 제안되었던 센서 네트워크의 클러스터 기반 라우팅 기법의 특징을 비교함으로써 이 연구에서 제안하는 에너지 효율적인 라우팅 기법에 대해 고찰한다.

제 3장에서는 노드 경쟁을 통한 에너지 홀 문제와 네트워크 단절 문제의 완화 및 수명 증대의 결과를 보이는 클러스터 기반 멀티 홉 클러스터링 기법에 대해 기술한다.

제 4장에서는 제안하는 클러스터링 기반 라우팅 기법의 성능을 데이터 수집률과 정확도, 네트워크 연

결도, 영역별 에너지 소비 평준화 정도, 고립 노드의 수, 네트워크의 생존시간과 관련하여 평가하며, 마지막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

2. 관련연구

2.1 LEACH

클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [7]는 센서 네트워크의 대표적인 클러스터링 방법으로 클러스터 헤드가 클러스터 내 멤버노드로부터 데이터를 수집하여 통합한 후 싱크(sink)에 전송을 한다. 이 방법은 클러스터 헤드 노드의 에너지 소비가 크므로 전체 네트워크의 노드에 에너지 소비를 분산시키기 위해 setup 과정에서 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 바꾼다. 한 라운드는 setup phase와 고정 전송 주기인 steady phase로 나누어지며 이러한 과정은 매 라운드마다 반복된다. 이 방법은 주기적으로 데이터의 측정이 가능하나 소모되는 에너지가 많아 네트워크가 오래 생존하기 어렵다.

2.2 LEACH-C

LEACH의 비효율적인 클러스터 구성 문제를 해결하기 위하여 LEACH-C(Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy-Centralized)[8]가 제안되었다.

LEACH-C는 클러스터를 싱크 또는 BS의 주도로 구성하게 된다. 네트워크의 모든 노드는 자신의 위치 정보와 에너지 정보를 싱크에 알리고 싱크는 이 정보를 다른 모든 노드에게 알려주어 최적의 클러스터를 구성하도록 하여 LEACH에서 발생하는 클러스터 헤드의 배치 문제를 해결하려고 하였다. 그러나 이 방법은 네트워크의 모든 노드가 싱크와 통신하는데 따른 오버헤드와 위치 계산에 따른 클러스터 선정에 소모되는 에너지가 있다.

2.3 HEED

LEACH의 클러스터 헤드 선정 방법에 변인을 추가하여 클러스터 구성에 에너지 측면을 고려할 수 있도록 한 HEED(Hybrid, Energy-Efficient, Distributed)[9]는 LEACH의 클러스터 헤드 선정 알고리

즘에 노드의 가용 에너지량을 고려함으로써 가용 에너지량이 많은 노드가 클러스터 헤드가 되도록 하여 네트워크 수명을 증가시키도록 한 알고리즘이다. 이 방법의 헤드 선정을 위한 확률 함수는 식(1)과 같다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad (1)$$

$E_{residual}$ 은 노드에 남아있는 가용한 에너지를 말하며, E_{max} 은 노드가 초기 배치될 때 가지고 있는 총 에너지량을 말한다. C_{prob} 은 네트워크 노드들 중 클러스터 헤드 노드의 비율을 나타내며, 노드의 잔여 에너지량이 같은 후보가 여럿 있는 경우 클러스터 내 통신비용을 두 번째 기준 값으로 하여 클러스터 헤드를 선정하도록 하였다.

2.4 BCDCP

BCDCP(Base Station Controlled dynamic clustering Protocol)[10]은 BS이 복잡한 계산을 대부분 수행한다는 가정을 둔다는 점에서 LEACH-C와 유사한 부분이 있다.

이 프로토콜은 setup과 data communication 이라는 두 가지 단계를 가지고 있으며 클러스터 형성에 있어 클러스터 헤드의 후보 집합 S 를 설정하여 이 집합에서 클러스터 헤드를 결정하며 cluster splitting algorithm으로 네트워크를 정해진 숫자의 클러스터가 될 때 까지 계속 두 개로 나누는 과정을 반복한다. 이 방법은 클러스터에서 노드들의 데이터를 취합한 헤드가 직접 싱크에 데이터를 전송하는 방식이 아닌 클러스터 헤드에서 클러스터 헤드로 데이터를 전송하여 결국 최종 데이터 수집자인 싱크에 데이터를 전달하는 방식을 취하고 있다. 이 방법도 역시 LEACH-C와 같이 각 라운드마다 모든 노드의 정보(잔여 에너지와 위치 정보)를 전송하여 노드의 에너지 소모가 효율적이지 못하다.

2.5 TEEN

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)[11]은 센서 노드들이 임계 데이터를 처리하는 reactive network이다. 이 방법은 임계값을 이용한 데이터 전송을 제외한 동작은 LEACH와 같다. 이 방법은 클러스터 형성에 LEACH

와 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 측정한 값이 H_T 값을 초과할 때 데이터를 수집하여 전송이 이루어지며, H_T 를 초과한 이후에 측정하는 데이터가 S_T 를 초과할 때에만 데이터를 수집하고 전송한다. 그러나 만일 수집되는 데이터가 H_T 를 초과하지 않으면 데이터의 수집이 이루어질 수 없고, S_T 를 초과하지 않는다면 초기값 이후의 데이터 변동, 특히 임계값 이하 데이터 변동에 대해서는 알 수 없다. 또한 이 방법은 전체 네트워크를 구성하는 노드의 생존 여부를 판단하기 어려운 문제가 있다.

2.6 APTEEN

APTEEN(A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks)[12]은 TEEN의 임계값에 의한 데이터 전송과 LEACH의 데이터 전송 주기를 융합한 형태의 하이브리드 프로토콜로서 임계값 전송이 갖는 데이터 수집과 네트워크 구성 노드의 상태 인식의 어려움을 극복하였다. 모든 노드는 parameter에 의해 정해진 시간에 수집된 데이터를 클러스터 헤드에 전송하며 데이터가 임계값을 넘었을 경우에도 데이터를 수집하여 전송한다.

2.7 ARCS

ARCS(Regional clustering Scheme in Densely Deployed Wireless Sensor Networks for Weather Monitoring Systems)[13]은 센서노드의 센서 커버리지를 고려한 방법으로, 중복된 정보를 수집하는 센서 노드들의 네트워크 참여를 배제하여 불필요하게 소모되는 에너지를 줄이고자 제안된 방법이다. 이 방법은 인접하는 노드로부터 수집되는 중복되는 데이터를 배제하기 위해 한 개 센서의 전송거리 이내에 존재하는 이웃 노드들은 전송을 하지 않고 슬립 상태로 대기하며 데이터를 수집하는 센서 노드들은 지역 클러스터를 형성하여 수집한 데이터를 전송하는 네트워크 구조를 갖는다. 이 방법은 센서노드가 밀집된

환경에서 높은 효과를 보이며 센서 커버리지의 크기에 비례해 성능이 증가하는 기법이다. 그러나 이 방법은 공간적인 데이터의 중복을 고려하였으나 시간적인 데이터의 중복현상, 즉 노드가 수집하는 데이터의 변화가 없을 경우 발생하는 에너지 소비에 대해서는 고려하지 않아 개선이 필요하다.

2.8 CM-EDR

CM-EDR(Continuous-Monitoring Using Event Driven Reporting)[14]은 다양한 전송 기법에 적용하여 사용이 가능한 기법으로서 그 원리는 간단하나 기존 클러스터 기반 프로토콜에 적용할 경우 상당히 높은 에너지 효율을 보이는 기법이다. 이 기법은 센서 노드가 수집하는 데이터의 변화가 없을 경우 전송을 하지 않는다는 기본 가정에서 출발하며 지속적인 모니터링이 필요한 응용환경에 적합한 기법이라고 할 수 있다. 그러나 클러스터 헤드 노드의 슬립과정과 이 때 발생하는 일반 노드로부터 싱크까지 직접 전송 같은 개념은 개선이 필요하다.

3. 제안 방법

Ed-RCS (An Energy-aware Event-driven Regional Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks) 기법은 일반적인 환경 모니터링 센서 네트워크를 가정하였다. 제안하는 방법은 클러스터링 기법의 기본 형태인 셋업(setup)과 고정전송단계(steady phase)가 매 라운드마다 반복되어 실행되어 클러스터를 재구성하여 네트워크를 이루는 방법이며 기본 동작은 ARCS와 같다.

이런 가정 하에 제안하는 방법은 시간적, 그리고 공간적으로 중복 수집되는 데이터를 줄여 노드의 중복된 데이터 전송을 경감시킨다. 만약 한 개 노드의 센서 커버리지 안에 다수의 노드가 존재할 경우 이들로부터 동일한 데이터를 전송하도록 하는 것은 바람직하지 않으며 이런 경우 한 개 노드의 센서 감지 범위 안에 존재하는 다른 노드들을 네트워크에서 배제하여 에너지 소비를 줄이는 것이 공간적인 데이터 중복에 대한 방안이며, 한 개의 노드로부터 수집하는 데이터의 변화가 없을 경우 이를 전송하지 않도록 하는 것이 시간적인 데이터 중복에 대한 방안이다.

3.1 기본가정

- 다음은 제안하는 방법의 기본 가정이다.
- 모든 노드는 멀티 홉 기반 전송을 한다.
- 모든 노드의 위치는 고정되어 있고 변하지 않는다.
- 모든 노드는 시간에 동기화 되어있다.
- 모든 노드의 초기 에너지는 동일하다.
- 모든 노드는 전송세기의 조절이 가능하다.
- 노드의 센서 범위는 전송 범위보다 작다.
- 노드는 이전 라운드에서 수집한 다수의 데이터를 저장할 수 있는 충분한 공간이 있다.

노드 A가 전송한 패킷이 노드 B에 의해 성공적으로 수신되었다면, 노드B가 전송한 패킷도 노드 A에 의해 성공적으로 수신된다.

베이스스테이션 (이하 BS)은 에너지의 제약이 없으며 전송 범위는 전체 네트워크를 포함한다.

3.2 동작 노드(operation node)의 선정

네트워크에 참여하는 노드의 선정과정은 다음과 같다.

- 1) 노드가 필드에 배치되기 전, 모든 노드는 사전에 임의로 생성된 노드 동작 지연시간 값을 갖는다.
- 2) 노드가 필드에 배치된 이후, BS의 신호로 노드들은 자신의 지연시간을 카운트하며 자신의 지연시간 카운트가 종료된 노드는 센서의 감지범위와 동일한 범위의 주파수세기로 조절된 패킷을 전송한다. 이 패킷에는 자신이 네트워크에 참여하는 노드임을 알리는 신호 및 노드의 ID와 센서에서 수집한 정보 값이 포함되어 있다. 이 노드는 동작 노드로서 네트워크에 참여하는 노드이며, 지역 클러스터 헤드 노드의 후보노드가 된다.
- 3) 동작 노드의 센서 감지범위 내에 위치하면서 자신의 지연시간이 종료되지 않은 대기상태의 노드들 중 동작 노드로부터 전송받은 센서의 값을 비교하여 동일한 센서 값을 갖는 경우 자신이 동작 노드가 되려는 시도를 포기하고 사전에 정해진 라운드 시간 동안 슬립상태를 유지한다.
- 4) 만약 3의 조건이 맞지 않을 경우 동작 노드가 되기 위해 대기하는 노드들은 계속 자신의 지연시간이 종료될 때까지 대기하며 2)와 3)의 과정을 반복한다.

이러한 과정에 의해 모든 동작 노드는 자신 센서 커버리지 내에 대표성을 갖는 하나의 지역 노드로서 동작하게 되며 지역적인 수집데이터의 중복현상을 완화할 수 있게 된다.

다음 과정은 동작 노드들이 참여하는 지역 클러스터 헤드 노드와 데이터 중계를 위해 필요한 리피터 노드(repeater node)의 선정과정이다.

3.3 지역 클러스터 헤드 노드(regional cluster head node)의 선정

모든 동작 노드의 선정과정이 종료된 후, 이 노드들은 다시 노드 동작 지연시간을 무작위로 생성하여 지역 클러스터 헤드 노드 선정과정에 들어간다. 다음은 지역 클러스터 헤드 노드의 선정과정이다.

1) 지역 클러스터 헤드 노드(이하 CH) 선정과정에 참여하는 모든 동작 노드들 중 가장 작은 지연시간 값을 갖는 노드가 지역 CH가 된다. 이때 CH는 자신의 최대전송범위로 패킷을 브로드캐스트하여 자신이 CH임을 알리며, 이 패킷을 수신한 모든 동작 노드는 자신의 지연시간 대기를 취소하고 해당 CH의 클러스터 내 멤버 노드로서 참여하게 된다.

2) 지역 클러스터에 멤버노드로 참여하는 동작 노드들은 자신이 수신한 CH 패킷의 수를 저장하며, 이들 중 다수의 CH 패킷을 수신한 노드들은 사전에 정의된 방법에 의해 리피터 노드로서 동작하게 된다.

3.4 리피터 노드(repeater node)의 선정

지역클러스터의 형성과정이 종료된 후, 지역 클러스터의 멤버노드들 중 다수의 CH 패킷을 수신했던 노드들은 사전에 정의된 방법에 의해 리피터 노드로서 동작하여 CH간 또는 CH 와 BS간 데이터 중계를 담당하게 된다. 다음은 리피터 노드의 선정과정이다.

1) 지역 클러스터의 멤버노드들 중 인접 CH의 수가 2개에서 5개 인 노드는 리피터 노드의 후보노드가 된다.

인접 클러스터 헤드 노드의 수가 2개 이상 5개 이하인 이유는 다음과 같다.

중계노드는 두 인접하지 않는 노드들 사이의 성공적인 데이터 중계를 그 목적으로 한다. 따라서 최소

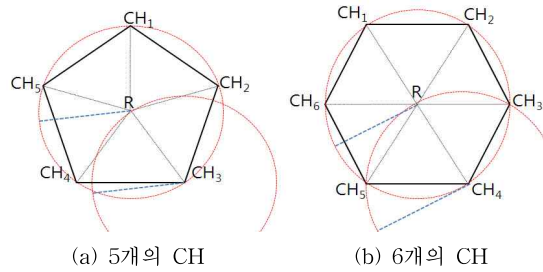


그림 1. 클러스터 헤드 노드가 5개와 6개일 때 노드들의 이상적인 배치 형태와 통신 거리 비교

2개의 노드가 필요하다. 또한 최대 5개의 노드를 허용하는 이유는 그림 1과 같다.

그림 1에서 R은 리피터, 즉 중계 노드를 의미하며, CH는 클러스터 헤드 노드를 의미한다. 위의 그림과 같이 클러스터 헤드 노드가 이상적으로 배치됨을 가정했을 때, 클러스터 헤드 노드들 간의 원활한 통신을 위해서는 클러스터 헤드 노드가 5개일 때 까지 중계 노드가 패킷 중계를 해야 한다.

그러나 클러스터 헤드 노드가 6개 이상일 경우, 클러스터 헤드 노드들 사이에 연결이 가능하므로 6개 이상인 경우는 중계 노드가 필요하지 않다.

위의 그림은 어디까지나 이상적인 경우를 가정했을 때이며, 실제 그 이하 개수의 클러스터 헤드 노드라도 멀티 홉 통신이 가능하다. 따라서 중계 노드로 선정될 노드에 사용자에게 의해 정의된 중계노드 선정 비율을 적용하여 일부의 노드만 중계 노드로서 동작하도록 하였다. 데이터 전송 중계 노드의 후보 노드가 된 모든 노드들 중 사용자에게 의해 사전에 설정된 비율을 토대로 임의 선정된 노드들은 데이터 전송 중계 노드가 되며, 이 노드들은 클러스터 헤드 노드와 같은 레벨에서 동작하여 클러스터 헤드 노드 사이의 멀티 홉 전송을 중계하는 역할을 한다.

2) 사전에 계산된 값인 네트워크의 밀집도 값을 대입하여 리피터는 확률적으로 선발된다.

두 클러스터 사이의 중첩된 영역 (음영지역)에서 중계노드를 선정하기 위해, 사전에 중계노드 선정 비율을 결정해야 한다. 센서 노드가 주어진 지역에 균일하게 분포함을 가정했을 때, 네트워크에서 평균적으로 생성되는 클러스터 또한 균일하게 배치됨을 가정하고 두 클러스터 사이의 중첩된 면적을 구한 후 해당 면적에 배치되는 노드들의 수를 구하여 중계노

드 선정 비율을 결정한다. d 를 두 클러스터 헤드 노드사이의 거리, 클러스터 크기를 50π 로 했을 때 중첩 영역의 면적을 구하는 방법은 식(2)와 같다.

$$1250\text{acos}\left(\frac{d}{50}\right) - \sqrt{25^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \times d \quad (2)$$

이 식에 의해 면적을 구하고 네트워크 크기에 비례한 노드의 밀도를 적용하면 전송 중계노드 선정 확률을 결정 할 수 있다.

3.5 노드의 부하 균형을 위한 가중치 부여 및 갱신

클러스터 네트워크의 단점인 에너지 부하 분산을 위해 제안하는 방법에서는 아래와 같은 최대 지연시간 가중치 부여 및 최소-최대 지연시간 가중치 부여 방법을 택하였다.

기존에 제안되었던 방법들[8-10]은 노드의 부하 분산을 위해 노드 자신의 잔여에너지와 인접 노드의 잔여에너지를 참고로 하는 방식을 사용한다. 그러나 이러한 방법은 노드 자신의 인접 환경에 대한 잔여에너지를 고려할 수 있을 뿐이며, 전체 네트워크의 에너지 소모량은 알 수 없다. 이러한 문제를 해결하려는 노력의 일환으로 전체 네트워크를 총괄하는 BS를 이용하여 노드의 잔여에너지를 고려하며 노드의 역할을 할당하는 방법들이 제안되었다.

그러나 이 방법은 BS가 네트워크에 자주 개입하게 되어 오히려 네트워크의 가용 에너지 자원이 낭비되는 문제가 발생한다. 이에 제안하는 방법에서는 노드의 부하균형을 효율적으로 조정하기 위해 다음과 같은 제안을 하였다. 우선 노드의 네트워크 참여를 조정하는 지연시간을 두었다. 이 지연시간을 통해 노드가 네트워크에 동시에 참여하지 않고 자신의 지연시간이 만료된 후 참여하는 경쟁적 참여를 통해 네트워크를 구성하게 된다. 그리고 이러한 지연시간을 결정하는 노드가 부하를 받는 정도는 모든 네트워크에 동일한 기준으로 적용되어야 한다. 이러한 기준은 네트워크에서 노드의 역할과 노드가 소모한 에너지 량 등에 의해 결정 될 수 있다.

이러한 기준은 네트워크의 특성에 맞게 고려되어야 하고 선택되어야 한다. 네트워크의 수명이 크게 고려되지 않고 모든 노드가 네트워크에서 동작하며 가능한 모든 데이터를 수집하는 조건이 필요한 네트워크에서는 노드의 지연시간 설정에 노드가 소모한 에

너지 량을 이용할 수 있다. 노드의 전체 에너지 량을 지연시간의 최대값과 맵핑을 하고 소모 에너지 량에 따라 지연시간을 조정하면 노드의 부하 균형을 이룰 수 있으며 이런 종류의 네트워크는 거의 모든 노드의 수명이 균일하게 조절되어 네트워크 수명 그래프가 수직에 가깝게 나타나게 된다.

부하 균형이 갖는 의미는 모든 노드가 동일한 수명을 가져야 한다는 조건과는 약간 다른 조건을 요구한다. 부하균형의 의미는 다음과 같다. 즉, 요구조건을 만족하기 위해 최소의 노드가 동작하여 에너지 소비를 최소화 하며, 이 최소의 노드가 부하균형을 이루는 형태이다. 따라서 네트워크 전체의 부하균형이 아니므로 네트워크의 수명 그래프는 수직 형태가 아닌 계단식 하향 곡선을 그리게 된다. 따라서 제안하는 방법은 이러한 결과를 얻기 위해 BS의 개입이 없는 상태에서 전체 네트워크의 에너지 잔량을 가늠할 수 있는 방법인 노드의 역할에 의한 설정을 적용하였다. 이 방법은 노드의 지연시간을 결정할 때 노드의 역할에 따라 가중치를 차등 적용하여 구분하는 방법이다. 이는 BS의 개입이 없어도 노드의 역할별로 가중치가 달라지므로 개별 노드 또는 BS의 관점에서 전체 네트워크 노드의 잔여 에너지 정보를 알지 못하더라도 네트워크 부하균형을 위한 지연시간 설정에 적절한 구분 기준이 될 수 있으므로 응용환경에 맞는 부하균형 설정 방법이 될 수 있다.

제안하는 방법은 노드의 역할이 4가지로 구분된다. 노드가 동작하지 않는 슬립 상태, 노드가 동작하는 상태인 네트워크에 일반노드로 참여하는 형태가 있으며, 리피터 노드로 동작하는 상태, 그리고 클러스터 헤드 노드로 동작하는 상태가 있다. 노드가 동작하는 상태에서는 최대 지연시간 가중치 부여방법을 적용하며 노드가 동작하지 않는 상태에서는 최소 지연시간 가중치 부여방법을 적용한다.

1) 최대 지연시간 가중치 부여

역할이 구분된 계층적 센서 네트워크에서 노드의 역할에 따른 에너지 소모량을 비교하면 지역 선별 노드 < 전송 중계 노드 < 클러스터 헤드 노드의 순으로 나타낼 수 있다.

우리는 이 비율을 단순화하여 가중치에 적용하였다.

노드 선정과정에서, 지역 선별 노드로 선정된 노드들은 가중치 1을 받는다. 클러스터 헤드 노드 선정

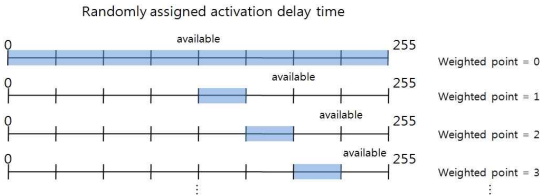


그림 2. 최대 지연시간 가중치 값에 의해 결정되는 할당 가능한 동작 지연시간의 범위

과정에서 선정된 클러스터 헤드 노드는 가중치 2를 받는다. 클러스터 헤드 노드 선정과정에서 선정된 전송 중계 노드는 가중치 1을 받는다.

사용자에 의해 사전에 설정된 전체 동작 지연시간을 R_t 라고 하고, 이 지연시간의 최소값을 m_{R_t} , 최대값을 M_{R_t} , 노드들이 할당 가능한 동작 지연시간 구간을 r_t , 노드의 최대 지연시간 가중치 값을 W_{Mdp} , 지연시간을 구간별로 나눈 슬롯의 개수를 n_s 라고 하면, 실제로 노드가 사용 가능한 지연시간 구간 r_t 의 최소값 m_{r_t} 를 결정하는 식은 식(3,4)와 같으며 이 구간 r_t 내에서 랜덤 지연시간 값을 선정한다.

최소값 :

$$m_{r_t} = \frac{1}{2}M_{R_t} + \frac{r_t(W_{Mdp} - 1)}{n_s} \quad (3)$$

최대값 :

$$M_{r_t} = \frac{1}{2}M_{R_t} + \frac{r_t W_{Mdp}}{n_s} \quad (4)$$

그림 2와 식(3,4)에 의하면 가중치는 다음과 같은 의미를 갖고 있음을 알 수 있다.

가중치 1 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 하위 절반의 구간

가중치 2 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 하위 구간 첫 번째 슬롯

가중치 3 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 하위 구간 두 번째 슬롯

예를 들어, 첫 라운드에서 클러스터 헤드 노드로 동작한 노드가 있다고 하자. 그렇다면 이 노드의 현재 가중치는 다음과 같다. 가중치 = 3, 이 가중치 포인트에 의해, 이 노드는 다음 라운드에서 지역 노드로 선별되기 위한 임의의 시간을 할당받을 때 아래와

같은 불이익을 받는다.

0부터 255중 임의로 선정되는 동작 지연시간 중에서 노드가 선택 가능한 수의 집합에 가중치 3이 적용되므로 이 노드는 후반 7/8 구간, 즉 192~224 구간에서 시간을 임의로 선정하게 된다. 이는 이 노드가 현재 라운드에서 sleep 할 수 있는 확률을 높여주어 과도한 에너지가 집중되어 소모되지 않게 하는 효과가 있다. 또한 할당 시간 선정이 끝난 노드는 자신이 이번 라운드에서 네트워크의 노드로 활동할 확률이 줄어들게 되므로 다른 노드들과의 형평성을 위해 자신의 가중치 포인트를 1포인트 낮추게 되며, 자신의 가중치가 0이 될 때까지 매 라운드마다 반복한다.

2) 최소 지연시간 가중치 부여

이 방법은 최대 가중치 부여 방법에 최소 가중치 부여 방법을 결합한 것이다.

이 방법에서 노드들이 생성하는 지연시간의 범위는 네트워크에 참여하지 못하는 노드에 의해 발생하며, 이 노드들은 매 라운드마다 네트워크에 참여하지 못한 횟수를 카운트하여 이를 최소 지연시간의 가중치로 사용한다. 이 값이 증가할수록 다음 라운드에서 이 노드가 생성하는 지연시간의 범위가 빠르고 좁게 설정되므로 다음 라운드에서 네트워크에 참여할 수 있는 확률이 높아지게 된다. 이렇게 네트워크에 참여했던 노드는 자신의 최소 지연시간 가중치 값을 초기화 하여 네트워크에 부하가 분산될 수 있도록 한다.

그림 3은 최소 지연시간의 가중치 값에 의해 결정되는 할당 가능한 동작 지연시간의 범위를 나타낸다.

사용자에 의해 사전에 설정된 전체 동작 지연시간을 R_t 라고 하고, 이 지연시간의 최소값을 m_{R_t} , 최대값을 M_{R_t} , 노드들이 할당 가능한 동작 지연시간 구간을 r_t , 노드의 최소 지연시간 가중치 값을 W_{mdp} 라고 하면, 실제로 노드가 사용 가능한 지연시간 구간 r_t 의 최대값 M_{r_t} 를 결정하는 방법은 식(5,6)과 같으며 이 구간 r_t 내에서 랜덤 지연시간 값을 선정한다.

최소값:

$$m_{r_t} = m_{R_t} \quad (5)$$

최대값:

$$M_{r_t} = \frac{M_{R_t}}{2^{W_{mdp}}} \quad (6)$$

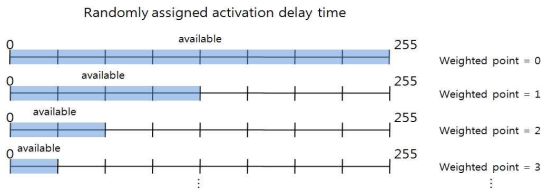


그림 3. 최소 지연시간 가중치 값에 의해 결정되는 할당 가능한 동작 지연시간의 범위

가중치 값에 의해 결정되는 최소지연시간은 노드가 네트워크에 참여하지 않았던 라운드가 많을수록, 즉 네트워크 불참회수가 많을수록 감소하며, 이 네트워크 불참회수가 가중치가 된다. 이 값에 의해 최소 지연시간의 범위가 결정된다.

가중치 1 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 상위 절반의 구간

가중치 2 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 상위 1/4 구간

가중치 3 - 다음 라운드에서 선택 가능한 지연시간 범위 중 상위 1/8 구간

예를 들어, 이전 3라운드 동안 네트워크에 참여하지 못한 노드가 있다고 하자.

그렇다면 이 노드의 현재 가중치는 3이 된다.

이 가중치 포인트에 의해, 이 노드는 다음 라운드에서 지역 노드로 선별되기 위한 임의의 시간을 할당받을 때 다음과 같은 이익을 받는다.

0부터 255중 임의로 선정되는 동작 지연시간 중에서 노드가 선택 가능한 수의 집합에 가중치 3이 적용되므로 이 노드는 전반 1/8 구간에서 시간을 임의로 선정하게 된다. 이는 이 노드가 현재 라운드에서 네트워크에 참여할 수 있는 확률을 높여준다.

또한 할당 시간 선정이 끝난 노드는 자신이 이번 라운드에서 네트워크의 노드로 활동할 확률이 줄어들게 되므로 다른 노드들과의 형평성을 위해 자신의 가중치 포인트를 초기화하게 된다.

3.5 노드의 시간적 데이터 중복 회피

앞의 동작 노드 선정과정에서 공간적인 데이터 중복을 회피하는 방안을 설명하였다. 여기서는 환경 모니터링 센서 네트워크에서 쉽게 발생하는 문제인 수집데이터의 변화가 없는 현상에 대해 불필요한 노드의 에너지 소비를 줄이는 기법에 대해 논하고자 한다.

이전의 기법[4]에서 저지는 단순히 이전의 값이 현재의 값과 차이가 없을 때 또는 미약한 차이를 보일 때 데이터 전송을 하지 않고 슬립하여 에너지 소비를 최소화하는 방법을 제안하였다. 그러나 우리는 여기에서 한발 더 나아가 데이터의 변화량을 특정 주기별로 체크하여 기존의 변화량에 대한 수집량의 변화가 없거나 미약할 때 전송을 하지 않는 방법을 제안하였다.

이 방법은 센서 노드가 충분한 저장 공간을 갖고 있다는 전제 하에 가능한 방법이다.

특수한 환경을 제외하고 환경 모니터링 센서 네트워크의 데이터는 24시간을 주기로 변화하는 특성을 가지거나 그런 주기로 수집하여 사용자가 활용하는 특징을 갖는다. 우리는 이 점에 착안하여 24시간을 한 주기로 보고(주기는 사용자에 의해 임의로 변동 가능하다.) 센서 노드가 한 주기 동안의 데이터 변화량을 자체적으로 기록하여 다음 주기의 데이터 변화량과 비교할 수 있게 함으로써 노드 단에서 자체적으로 데이터를 처리하여 전송 여부를 결정하는 방법을 제안하였다.

1) 지역 클러스터 멤버 노드

모든 지역 CH의 멤버 노드들은 첫 주기(24시간)에 수집된 데이터의 변화량 값을 계산하여 저장한다. 이 변화량을 계산하는 방법은 식(7)과 같다.

$$S_n = \frac{D_n - D_{n-1}}{S_n - S_{n-1}} \tag{7}$$

n 은 데이터를 수집하는 주기의 수를 나타낸다. D_{n-1} 은 노드에 할당된 슬롯 중 이전의 슬롯에서 수집한 데이터를 나타내며, D_n 은 이후슬롯에서 수집한 데이터를 나타낸다. S_{n-1} 은 노드의 센서가 데이터를 수집하는 이전 단계의 타임슬롯 카운트를 나타내며 S_n 은 현재의 타임슬롯 카운트를 나타낸다. 그러나 제안하는 방법은 실제 수집되는 데이터의 타임슬롯은 언제나 이전 수집단계의 타임슬롯값보다 1이 크게 설정하였다. 따라서 생략이 가능하므로 S 는, $S = D_n - D_{n-1}$ 과 같이 쓸 수 있다. 이 센서 노드에 의해 24시간동안 수집되고 계산된 값 S 는 노드에 저장되며 최초의 주기에 수집된 값은 모두 CH와 R의 중계에 의해 BS로 전송되며, BS는 이 값을 관리한다.

이후의 주기(24시간 이후)에서 센서 노드에 의해

수집된 값은 이전 주기에 저장된 S 값과 매 데이터 수집 단위별 데이터 비교를 거치게 되며, 차이가 없을 경우 전송을 하지 않는다.

그림 4는 센서 노드의 데이터 수집과 비교과정을 나타낸다.

그림 4의 1단계에서 노드는 이전의 주기에 수집한 데이터의 변화량 S 를 저장하고 있다. 다음 주기의 시작인 2단계에서 수집된 데이터 10은 다음 3단계에서 수집된 데이터 11과 연산을 통해 $S'_1 = 1$ 이 계산되며 이는 이전의 S_1 값과의 비교를 통해 전송 여부를 결정하며 기존의 S 값은 S' 값으로 교체된다. 4단계에서 11과 15의 연산을 통해 계산된 S'_2 는 4이며 이전의 값 S_2 와의 비교를 통해 전송 여부를 결정한다.

BS는 이전 주기의 데이터 값과 S 에 대해 알고 있으므로 데이터를 전송받지 않아도 값을 계산할 수 있다. 그러나, 차이가 있을 경우 노드는 이를 전송하며 자신의 S 값을 갱신한다.

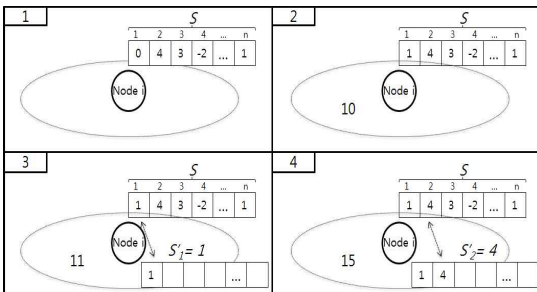


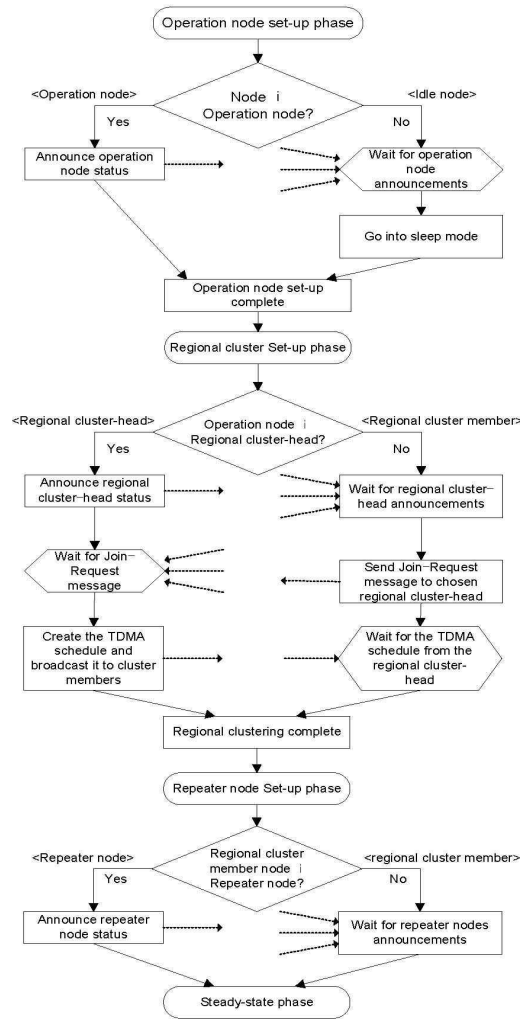
그림 4. 데이터 수집 및 비교

2) 지역 클러스터 헤드 노드

자신의 데이터 수집값이 이전과 같고 모든 멤버 노드로부터의 전송이 없으며, 자신이 데이터 전송을 중계해야하는 다른 CH 및 R이 없을 경우 어떤 데이터도 전송하지 않으며 이외의 조건에서는 정상적으로 동작한다.

3) 리피터 노드

기본적으로 이 노드는 자신의 멤버노드가 존재하지 않는다. 따라서 자신이 수집한 데이터값이 이전과 같고 다른 CH의 중계 요구가 없을 경우 이 노드는 어떤 데이터도 전송하지 않는다. 그림 5는 제안하는 클러스터링 기법의 동작과정과 의사코드를 나타낸다.



(a) 제안 기법의 동작과정

```

CHregion : regional cluster head node
Repeater : relay node
Nregion : regional cluster member node
Nnormal : normal node before network setup
Noperation : operation node before clustering
Nsleep : sleep node

Initialize :
1. generate( random_delay time ) /by normal nodes

Main Processing: /clustering process by normal nodes
1. if( nodes weighted value > 0)
2. decrease weighted value by 1 point
3. end if
4. Calculate available time slot period by weighted value
5. delay time <- generate( available time slot)
6. wait for delay time or until receiving {any advertisement message}
7. if(delay time Expired)
8. if(nodeID == Nnormal)
become Noperation
broadcast( the Advertisement Message {nodeID, sensing value, position} )
elseif(nodeID == Nnormal && receiving {any advertisement message})
9. if( receive the Advertisement Message {sensing value} == sensing value )
become Nsleep
    
```

```

11.         else
12.             broadcast( the Advertisement Message{nodeID, sensing
value, position} )
13.         end if
14.         else
15.             wait for delay time or until receiving {any advertisement
message}
16.         end if
17.         if( nodeID == Noperation )
18.             increase weighted value by 1 point
19.             delay time <- generate(random_delay time)
20.             wait for delay time or until receiving {any advertisement
message}
21.         if( delay time Expired)
22.             if( nodeID == Noperation )
23.                 become CHregion
24.                 increase weighted value by 2 points
25.                 broadcast( the Advertisement Message {NodeID, position}
)
26.             else
27.                 cancel the delay time
28.             end if
29.         else
30.             if( receive the Advertisement Message )
31.                 cancel the delay time
32.                 become Nregion
33.             else
34.                 wait for delay Time or until receiving {any
advertisement Message}
35.             end if
36.         end if
37.         if( nodeID == Nregion )
38.             if( # of neighbor CHregion>2&& # of neighbor CHregion<6)
39.                 become repeater
40.                 broadcast( the Advertisement Message {NodeID, position}
)
41.             end if
42.         end if
43.     CHregion
44.     1. broadcast( the Advertisement Message {nodeID, sensing value,
position} )
45.     2. accept( join Message )
46.     3. compare stored sensor data with sensed event whether it same
or not
47.     4. aggregate sensing data
48.     5. transmit_data_to_Sink (sensing value, nodeID, position)
49.     Nregion
50.     1. join to cluster( CHnodeID, nodeID, position )
51.     2. operate as an region cluster member node
52.     3. compare stored sensor data with sensed event whether it same
or not
53.     Repeater
54.     1. join to cluster( CHnodeID, nodeID, position )
55.     2. operate same as an regional cluster head node with data relay
only
56.     3. compare stored sensor data with sensed event whether it same
or not
57.     4. relay data
    
```

(b) 제안 기법의 의사코드

그림 5. 제안 기법의 동작과정과 의사코드

4. 성능 평가

본 장에서는 제안한 지역 클러스터 기반 라우팅 기법을 센서 네트워크의 기본 기능인 데이터 수집 성능을 측정한다. 또한 멀티 홉으로 연결된 센서 네트워크의 네트워크 연결률을 측정하며, 노드들의 에너지 소비율, 네트워크에서 단절된 노드의 비율, 그리고 마지막으로 전체 네트워크의 생존시간을 측정한다. 이 실험에는 밀집 센서 네트워크 구현을 위해 MATLAB 7.0 이 사용되었으며 사용되는 데이터는 하루 주기로 변화하는 데이터를 기준으로 하여 24시

간을 주기로 변화하는 데이터를 생성하여 적용하였으며 이에 따른 실험환경은 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Item	Value
전자 에너지	$E_{elec} = 50nJ/bit$
증폭 에너지 (free space model)	$E_{fs} = 10pJ/bit/m^2$
증폭 에너지 (multipath model)	$E_{mp} = 0.0013pJ/bit/m^4$
Scheduling 에너지	$E_{schedule} = 5nJ/bit/signal$
데이터 병합 에너지	$E_{da} = 5nJ/bit/signal$
데이터 크기	$l = 1000bit$
전체 노드 수	$N = 1000$
네트워크 면적 한 변의 길이	$M = 200m$

4.1 데이터 정확도 비교

그림 6은 프로토콜별로 분류된 데이터 수집 정확도를 각 네트워크 수명에 따라 나타낸 것이다.

그림 6에 의하면, LEACH는 비록 높은 데이터 정확성을 가지고 있으나 수명이 짧은 것을 알 수 있다. TEEN과 APTEEN은 자체적으로 정의한 문턱값으로 인해 데이터를 수집하지 못하는 구간이 지속적으로 발생함을 알 수 있으며 ARCS의 경우 높은 데이터 정확도를 보이거나 350라운드 이후 구간에서 발생하는 데이터 정확도의 지속적인 하락으로 인해 데이터의 정확도가 중요한 응용환경일 경우 사실상 네트워크로서 제 기능을 하지 못하는 구간이 된다. 제안하는 방법의 경우 ARCS에 비해 데이터 신뢰도가 낮은 구간이 짧게 발생하는 것을 볼 수 있으며 네트워크의

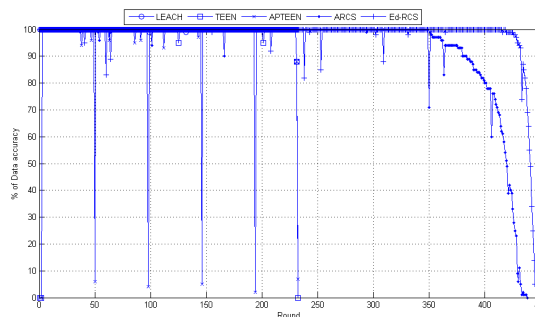


그림 6. 수집 데이터 정확도 비교

수명도 증가한 것을 알 수 있다. 이는 표 2의 네트워크 노드 참여비율과 관련이 깊다.

4.2 고립노드 발생비율

네트워크의 구조가 자주 변화하는 센서 네트워크의 경우 데이터의 안정적인 수집과 전송을 위해 네트워크 기본 단위인 센서 노드의 안정적인 네트워크 참여가 매우 중요하다. 특히 대규모의 노드가 참여하는 광역 센서 네트워크의 경우 BS와 노드의 직접 연결이 불가능하므로 그 중요성은 상당히 크다고 할 수 있다. 그림 7은 프로토콜별로 분류된 네트워크에 참여하지 못한 고립노드의 네트워크 수명 대비 발생비율을 나타낸 것이다.

그림 7에 의하면 LEACH가 2%미만의 고립 노드가 발생하여 높은 수준의 노드의 네트워크 참여율을 보인다. TEEN과 APTEEN의 경우 문턱값 설정으로 인해 네트워크 단절이 자주 발생하며, ARCS의 경우 모든 노드가 네트워크에 참여하지 않는 구조로 인해 6%대의 노드 고립이 발생한다. 제안 방법의 경우 APTEEN과 유사한 수준의 노드 고립이 발생한다. 그러나 매 라운드 당 네트워크에 참여하는 노드수를 비교해 보면 제안하는 방법이 APTEEN에 비해 에너지 효율적임을 알 수 있다. 또한 그림 7에서 보인 바와 같이 6%대의 고립노드 발생에도 불구하고 높은 수준의 데이터 수집률을 유지하는 것을 알 수 있다.

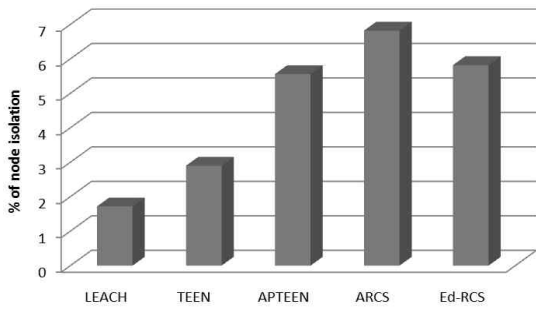


그림 7. 네트워크 수명 대비 고립노드 발생률 비교

표 2. 라운드 당 평균 네트워크 참여 노드의 비율

(필드 노드의 수 1000개일 때 네트워크 참여노드)

	LEACH	TEEN	APTEEN	ARCS	Ed-RCS
참여 비율	100%	100%	100%	16%	17%

표 2는 프로토콜별로 분류된 네트워크 참여 노드의 비율이다.

결과적으로 제안하는 방법은 더 적은 수의 노드들을 이용하며, 더 높은 데이터 정확도를 보임을 알 수 있다. 이는 적은 수의 노드 참여에도 불구하고 데이터 예측 그래프의 24시간 주기의 데이터를 참고하여 선택적인 전송을 수행하며, 센서 노드와 BS가 데이터를 예측 가능하기 때문에 발생하는 결과이다.

4.3 노드 잔여에너지 비교

네트워크를 오래 지속하기 위해 노드의 가용 에너지를 확보하는 것 또한 중요한 문제이다. 그림 8은 LEACH 기법으로 동작하는 네트워크에서 에너지가 고갈된 센서 노드가 발생할 때를 기준으로 한 프로토콜별 노드 잔여에너지 그래프이다.

그림 8에 의하면 LEACH, TEEN, APTEEN 모두 거의 동일한 에너지 잔량을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 TEEN과 APTEEN 모두 LEACH 기반의 기법이므로 이들 기법에서 사용자가 결정한 문턱값이 상쇄하는 에너지가 적을 때 이런 결과가 나타날 수 있다. ARCS는 이전 3개의 기법 대비 상당히 높은 잔여 에너지를 보유하고 있음을 알 수 있다. 이는 공간적인 데이터 중복 배제를 위해 다수의 노드를 네트워크에서 배제한 결과이다. 제안하는 방법은 공간적인 중복 외에 시간적인 중복 또한 고려하여 ARCS에 비해 최대 2J의 에너지를 보존할 수 있다.

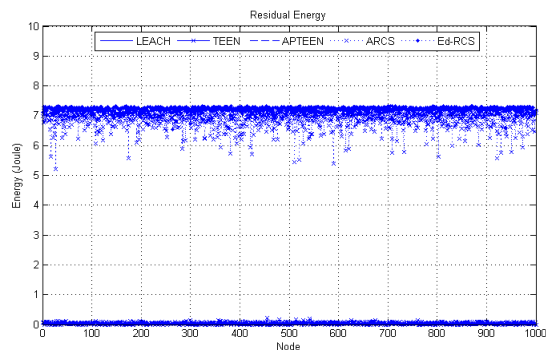


그림 8. 노드 잔여에너지 그래프 비교

4.4 에너지 소비 균형 비교

멀티홉 기반의 기법에서 네트워크의 수명을 결정하는 것은 BS와 1홉 거리 이내에 존재하는 노드들의

잔여에너지이다. BS와 멀티홉으로 통신하는 경우 최종적으로 모든 부하는 BS와 인접한 노드, 즉 1홉 이내의 노드에 집중된다. 또한 CH역할의 분산이 제대로 이루어지지 않을 경우 부하가 특정 노드에 집중되는 현상이 발생하여 노드가 조기에 사망하는 현상이 발생한다. 이는 1홉 밖의 거리에 존재하는 노드들의 부분적인 네트워크 단절을 야기하기 쉽다. 따라서 우리는 1홉 이내에 있는 노드들의 잔여에너지 비교와 이들의 에너지 소비 균형 정도를 비교하였다. 그림 9는 프로토콜별로 분류된 1-hop 거리 이내에서 발생하는 사망노드의 비율을 라운드별로 나타낸 그래프이다.

그림 9에 의하면 LEACH, TEEN, APTTEN 모두 거의 동일한 시간대에 1-hop 거리 이내에 위치한 대부분의 노드가 사망한 것을 알 수 있다. 이는 1-hop 거리 밖에 존재하는 노드가 BS와 연결할 수 없게 되었음을 의미하며 사실상 네트워크로서의 기능을 하지 못하게 된 것이다. ARCS는 300라운드 이후에 사망노드가 발생하며 이 비율이 점차 증가하는 형태를 띤다. 그러나 최대 13%를 초과하지 않는 비율로서 BS와 1-hop 거리 밖의 노드들이 단절되지는 않는다. 제안하는 기법은 400라운드 중반에 사망노드가 발생하였으며 ARCS와 유사한 비율로 사망노드가 발생함을 알 수 있고 그 비율은 최대 18%를 초과하지 않는다.

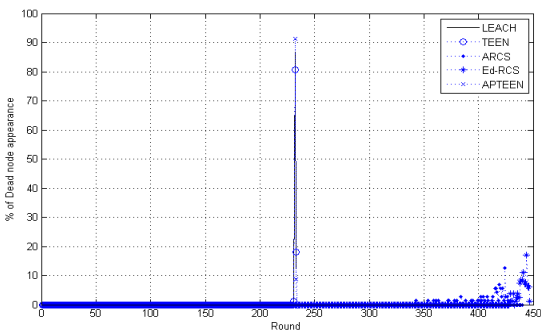


그림 9. 1-hop 거리 내 사망노드 발생 비율 비교

4.5 네트워크 수명 비교

전통적인 에너지효율을 중시하는 방법들에서 가장 중요하게 생각되는 것이 네트워크 수명의 비교이다. 이는 여러 가지 방법으로 나타낼 수 있으나 대표적으로 사용되는 것이 네트워크 내에 생존하는 노드의 수명비교라고 할 수 있다.

그림 10에 의하면 제안하는 방법은 향상된 네트워

크 수명을 보인다. 이는 이전의 ARCS 기법에 수집 데이터를 노드 자체적으로 처리하게 함으로서 얻게 되는 에너지 이득으로 인한 결과라고 할 수 있다. 표 3은 제안 방법과 기존의 방법의 상호비교를 간략하게 나타낸 성능비교표이다.

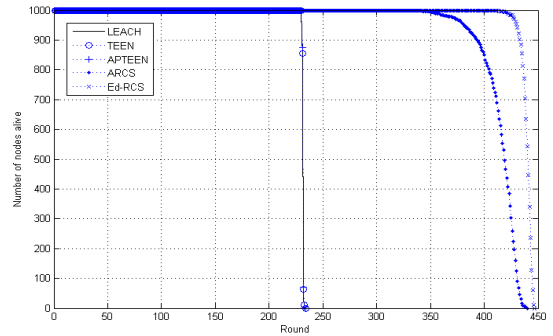


그림 10. 네트워크 수명 비교

표 3. 성능 비교

	LEACH	TEEN	APTTEEN	ARCS	Ed-RCS
데이터 정확도	상	하	중	상	상
고립노드 발생비율	하	중	상	상	상
네트워크 참여노드	상	상	상	하	하
노드잔여 에너지	하	하	하	상	상
사망노드 발생비율	상	상	상	하	하

4. 결 론

본 논문은 노드의 자체적인 데이터 처리를 극대화하기 위하여 이전의 데이터 단순비교 방식을 개선한 네트워크 사용자가 요구하는 데이터의 수집 주기에 대응하는 데이터 비교 및 전송 기법을 제안하였다. 이 기법은 시·공간적인 데이터 중복을 배제할 수 있으며, 이에 따른 노드의 전송 회수를 경감시키게 되는 효과가 있어 제한된 에너지원을 갖는 네트워크의 에너지 보존에 유리하다.

또한 본 논문에서 제시하고 있는 기법은 네트워크의 수명이 다 하기까지 수집되는 데이터의 정확도가

높다. 따라서 네트워크 동작 후반에도 사용자가 신뢰할 만한 수준의 데이터 수집이 가능하다.

향후 연구 과제로서 특수 목적이 아닌 범용 센서 네트워크를 고려할 경우 센서 노드에 장착되는 여러 가지 센서에서 수집되는 데이터에 대한 처리 및 전송에서 발생할 수 있는 에너지 효율 문제에 대한 최적화 연구가 필요하다고 본다. 이는 센서 네트워크의 민간 활용도를 높이는데 기여할 수 있을 것으로 보이며 저비용·고효율의 센서망을 구축하는데 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of the ACM*, Vol.43(5), pp. 51-58, 2000.
- [2] Y. Yao, and J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks," In Proc. Conf. Innovative Data Systems Research, 2003.
- [3] J. Al-karaki and A. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol.11, pp. 6-28, 2004.
- [4] Y. Tseng, S. Ni, Y. Chen, and J. Sgeu, "The Broadcast Stom Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *The Journal of Mobile Communication Computation and Information*, Vol.8, No.1-2, pp. 153-167, 2002.
- [5] Li Jian and P. Mohapatra, "An Analytical Model for the Energy Hole Problem in Many-to-one Sensor Networks," Proceedings of Vehicular Technology Conference 2005 IEEE 62nd, Vol.4, pp. 2721-2725, 2005.
- [6] X. Wu, G. Chen, and S. Das, "Avoiding Energy Holes in Wireless Sensor Networks with Nonuniform Node Distribution," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.19, No.5, pp. 710-720, 2008.
- [7] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, Vol.2, pp. 10, 2000.
- [8] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, pp. 660-670, 2002.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, pp. 629-640, 2004.
- [10] S.D. Muruganathan, D.C.F. Ma, R.I. Bhasin, and A.O. Fapojuwo, "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.43, pp. s8-s13, 2005.
- [11] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, "TEEN: a Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings 15th International, pp. 30189, 2001.
- [12] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings International, IPDPS 2002, pp. 195-202, 2002.
- [13] Dongmin Choi, Sangman Moh, and Ilyong Chung, "Regional Clustering Scheme in Densely Deployed Wireless Sensor Networks for Weather Monitoring Systems," The 12th IEEE International conference on High Performance Computing and Communications 2010, pp. 497-502, 2010.
- [14] N. Bouabdallah, M.E. Rivero-Angeles, and B. Sericola, "Continuous Monitoring Using Event-Driven Reporting for Cluster-Based Wireless Sensor Networks," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, Vol.58, pp. 3460- 3479,

2009.

[15] 최동민, 모상만, 정일용 “무선 센서 네트워크 환경의 Threshold-sensitive 가변 영역 클러스터링 프로토콜에 관한 분석”, 멀티미디어학회 논문지, Vol.12, No.11, pp.1609-1622, 2009.



최 동 민

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

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



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



모 상 만

2002년 한국정보통신대학교(ICU) 공학부 박사 졸업
1991년~2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 컴퓨터소프트웨어연구소 팀장
2002년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야: 모바일컴퓨팅, 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 병렬분산컴퓨팅, 컴퓨터구조



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