

무선 센서 네트워크를 위한 데이터 중심의 에너지 인식 재클러스터링 기법

최동민[†], 이지섭^{**}, 정일용^{***}

Data-centric Energy-aware Re-clustering Scheme for Wireless Sensor Networks

Dongmin Choi[†], Jisub Lee^{**}, Ilyong Chung^{***}

ABSTRACT

In the wireless sensor network environment, clustering scheme has a problem that a large amount of energy is unnecessarily consumed because of frequently occurred entire re-clustering process. Some of the studies were attempted to improve the network performance by getting rid of the entire network setup process. However, removing the setup process is not worthy. Because entire network setup relieves the burden of some sensor nodes. The primary aim of our scheme is to cut down the energy consumption through minimizing entire setup processes which occurred unnecessarily. Thus, we suggest a re-clustering scheme that considers event detection, transmitting energy, and the load on the nodes. According to the result of performance analysis, our scheme reduces energy consumption of nodes, prolongs the network lifetime, and shows higher data collection rate and higher data accuracy than the existing schemes.

Key words: Sensor Network, Entire Setup, Re-clustering

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 특정 지역에서 발생하는 이벤트를 노드에 장착된 센서를 통해 감지하고 이를 단일 홉 또는 다중 홉 전송을 통해 베이스 스테이션(Base Station, 이하 BS 표기) 또는 싱크(Sink)로 전송하는 네트워크이다. 에너지 효율의 관점에서 무선 센서 네트워크의 가장 큰 이슈는 네트워크의 수명 연장이며 효율적인 에너지 소비는 전체 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있다. 무선 센서 네트워크의 에너지 소비는 센서 노드의 에너지 소비의 총합을 의미

하며 이는 데이터 감지 및 처리와 전송으로 분류할 수 있다.

클러스터링 방식은 클러스터 헤드 노드(Cluster Head Node, 이하 CH 표기)에 부하가 집중되어 클러스터 헤드 노드의 에너지가 급격히 소모되므로 전체 네트워크 잔여 에너지의 불균형이 커지게 된다. 이러한 에너지의 불균형을 해소하기 위해 CH의 역할을 주기적으로 바꾸는 여러 가지 방법들이 제안되었으나 이들 역시 CH 부하 분산의 문제와 CH 최적화 및 에너지 효율 같은 문제가 있다[1-4].

이전의 연구[5-6]에 의하면 데이터 전송에 소비되

※ Corresponding Author : Ilyong Chung, Address: (501-759) Chosun Univ., Seoseok-dong, Dong-gu, Gwangju, Korea, TEL : +82-62-230-7712, FAX : +82-62-230-7754, E-mail : iyc@chosun.ac.kr

Receipt date : Feb. 7, 2014, Revision date : Apr. 24, 2014
Approval date : Apr. 25, 2014

[†] Division of Undeclared Majors, Chosun University
(E-mail : jdmcc@chosun.ac.kr)

^{**} Department of Computer Engineering, Chosun University
(E-mail : gsleegs4@naver.com)

^{***} Department of Computer Engineering, Chosun University
※ This study was supported by research fund from Chosun University, 2014

는 에너지는 노드 내부 데이터 처리에 소비되는 에너지보다 상당히 큰 것으로 알려져 있어 데이터 전송을 효율적으로 통제할 수 있다면 네트워크의 효율적인 에너지 소비를 유도할 수 있게 된다. 그러나 클러스터링 기법에서 볼 수 있는 주기적인 네트워크 셋업 과정은 모든 노드에 있어 데이터 송수신과정의 빈번한 발생을 야기하므로 네트워크 에너지 보존에 적합하지 않다. 이에 연구자들은 여러 가지 관점에서 에너지 소비문제를 접근하고자 하였다[7-17].

여기에 몇 가지 연구[18-19]들은 초기 셋업 과정을 제외한 이후의 모든 셋업 과정을 제거하고 최초의 클러스터 구성을 유지하거나 조금씩 변화시켜 가면서 CH에 집중되는 부하를 분산하기 위한 방법을 제안하였으며, 성능평가 결과 제안하는 방법들은 기존의 클러스터링 기법에 비해 향상된 수명을 갖는 결과를 보였다.

그러나 이 방법들의 문제는 실험에 사용된 네트워크 환경이 적절하지 않다는 데 있다. 이러한 연구들은 전송 환경을 LEACH의 단일 홉 전송을 기반으로 설계함으로써 무선 네트워크 환경에서 우리가 가정하는 멀티 홉 전송 환경과 맞지 않다. 실제 해당 연구들을 멀티 홉 환경을 기반으로 하여 알고리즘을 재구성하여 실험한 결과에 의하면, 이 방법들은 단일 홉 환경에서와 달리 만족스러운 성능을 보이지 않는다[20].

이에 본 연구는 멀티 홉 전송을 기반으로 한 무선 센서 네트워크 환경에서 클러스터의 구성 및 재구성에 소요되는 불필요한 셋업을 최소화하고, 센서 필드의 지역마다 불균등하게 발생하는 이벤트에 대한 효율적인 감지 알고리즘을 포함한 무선 센서 네트워크의 클러스터링 및 재클러스터링 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다.

제 2장에서는 기존의 클러스터링 기법과 재클러스터링 기법의 특징을 비교함으로써 이 연구에서 제안하는 에너지 효율적인 재클러스터링 기법에 대해 고찰한다.

제 3장에서는 제안하는 기법의 기본 환경과 동작 알고리즘에 대해 기술한다.

제 4장에서는 제안하는 클러스터링 기반 라우팅 기법의 성능을 데이터 수집률과 정확도, 네트워크 연결도, 영역별 에너지 소비 평준화 정도, 고립 노드의 수, 네트워크의 생존시간과 관련하여 평가하며, 마지

막으로 5장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

2. 관련연구

2.1 주기적 전역 셋업 클러스터링 기법

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[7]는 센서 네트워크의 대표적인 클러스터링 방법이며 전체 네트워크의 노드 중 CH에 걸리는 부하 즉, 에너지 소비를 분산시키기 위해 주기적으로 발생하는 전역 셋업 과정에서 CH의 역할을 바꾼다. 이 방법은 전역 셋업에 소모되는 에너지가 많아 네트워크가 오래 생존하기 어렵다.

LEACH-C(Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy-Centralized)[8]는 클러스터를 싱크 또는 BS의 주도로 구성하고, 모든 노드는 자신의 위치정보, 에너지 정보를 싱크에 전송하며 싱크는 이 정보를 다른 모든 노드에게 전송하여 최적의 클러스터를 구성한다. 그러나 이 방법은 네트워크의 모든 노드가 싱크와 통신하는데 따른 오버헤드와 위치 계산에 따른 클러스터 선정 및 이전과 동일한 전역 셋업으로 인해 소모되는 에너지가 크다.

HEED(Hybrid, Energy-Efficient, Distributed)[9]는 LEACH의 CH 선정 알고리즘에 노드의 가용 에너지량을 우선 고려함으로써 가용 에너지량이 많은 노드가 CH가 되도록 하여 네트워크 수명을 증가시키도록 하였다. 노드의 잔여 에너지량이 같은 후보가 여럿 있는 경우 클러스터 내 통신비용을 두 번째 기준 값으로 하여 CH를 선정하도록 하였다.

BCDCP(Base Station Controlled dynamic clustering Protocol)[10]은 BS이 복잡한 계산을 대부분 수행한다는 가정을 둔다는 점에서 LEACH-C와 유사하며 CH에서 CH로 데이터를 전송하여 싱크에 데이터를 전달한다. 이 기법은 매 라운드마다 모든 노드의 잔여 에너지와 위치 정보를 전송하여 노드의 에너지 소모가 비효율적이다.

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)[11]은 임계값을 이용한 데이터 전송을 제외한 동작은 LEACH와 같으며 알고리즘 상 전체 네트워크를 구성하는 노드의 생존 여부를 판단하기 어렵다.

APTEEN(A Hybrid Protocol for Efficient Rout-

ing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks)[12]은 TEEN의 임계값에 의한 데이터 전송과 LEACH의 데이터 전송 주기를 융합한 형태이며 데이터가 임계값 이하일 경우에도 간헐적으로 데이터를 수집하여 전송한다.

ARCT (An Advanced Regional Clustering Scheme using Threshold-dataset)[13]은 TEEN과 유사한 문턱값을 사용한다. 이 방법은 두 종류의 클러스터를 사용하며 각각 데이터를 수집하는 방법이 다르다. 지역 클러스터는 인접 노드와의 수집 데이터 비교를 통해 클러스터를 형성하며 클러스터 형성 후 CH를 제외한 멤버노드는 슬립하고 CH만 전송에 참여한다. 일반 클러스터는 지역 클러스터 참여에 실패한 노드들로 구성되며 일반적인 클러스터의 동작과 같다.

ARCS(Regional clustering Scheme in Densely Deployed Wireless Sensor Networks for Weather Monitoring Systems)[14]은 센서노드의 센서 커버리지를 고려하여 중복된 정보를 수집하는 센서 노드들의 네트워크 참여를 배제하여 불필요하게 소모되는 에너지를 줄이고자 제안되었다. 이 방법은 센서노드가 밀집된 환경에서 높은 효과를 보이며 센서 감지 범위의 크기에 비례해 성능이 증가한다. 그러나 이 방법은 노드가 수집하는 데이터의 변화가 없을 경우 발생하는 에너지 소비에 대해서는 고려하지 않았다.

EEDCF(Energy Efficient Deployment and Cluster Formation scheme)[15]은 센서 노드의 감지범위와 S1, S2의 2가지 종류의 차별화된 노드를 사용하는 방법으로 그리드로 나누어진 클러스터를 사용한 방법이다. S1노드는 S2노드에 비해 성능이 좋으며 에너지도 많다. 클러스터 중앙의 S1노드는 셋업 1단계에서 동작하지 않으며 나머지 S1노드가 CH역할을 수행한다. S1노드의 에너지가 S2노드의 에너지와 비슷하게 되면 동작하지 않던 S1노드가 셋업 2단계에서 동작하며 에너지가 S2와 비슷하게 소모된 나머지 S1노드들을 S2노드로 간주하고 클러스터를 구성한다.

CM-EDR(Continuous-Monitoring Using Event Driven Reporting)[16]은 다양한 전송 기법에 적용하여 사용이 가능한 기법이며 그 원리는 간단하나 기존 클러스터 기반 프로토콜에 적용할 경우 상당히 높은 에너지 효율을 보이는 기법이다. 이 기법은 센서 노

드가 수집하는 데이터의 변화가 없을 경우 전송을 하지 않는다는 기본 가정에서 출발하며 지속적인 모니터링이 필요한 응용환경에 적합한 기법이라고 할 수 있다. 그러나 CH의 슬립과정과 이 때 발생하는 일반 노드로부터 싱크까지 직접 전송 이론은 개선이 필요하다.

Ed-RCS(Energy-aware Event-driven Regional Clustering Scheme)[17]는 ARCS에 데이터 선별 전송을 도입한 기법으로서 특정 구간 동안 발생한 데이터 변화량을 이전 구간의 변화량과 비교하여 선택 전송하는 기법이다. 이 기법은 구간별 데이터 변화가 지속적이고 반복적으로 발생하는 환경에 적합한 기법이며 데이터 패턴이 무작위로 발생할 경우 ARCS와 별 차이는 없다.

2.2 비주기적 부분 셋업 클러스터링 기법

RRCH(Round-Robin cluster Header)[18]는 전통적인 LEACH의 반복적으로 발생하는 셋업과정에서 발생하는 에너지 소모 문제를 해결하기 위해 제안된 방법으로 클러스터 내에서 발생하는 CH의 부하 분산을 위해 LEACH의 전 네트워크에 걸쳐 일어나는 셋업을 축소시켜 클러스터 내부에서 소규모 셋업을 진행하며 이때 클러스터 구성은 초기 셋업 때 구성된 클러스터 구조 그대로 고정하며, CH 역할 분담을 라운드 로빈 방식으로 분담하여 순차적으로 클러스터 내부의 멤버노드가 돌아가면서 CH의 역할을 담당하는 방식으로 진행된다.

N_c 를 모든 클러스터의 수, N_{ch} 를 클러스터 내 CH의 수, N_n 을 모든 생존 노드의 수, N_d 를 동작 불가 노드의 수, N_{BS} 를 BS의 수, R_s 을 라운드 당 발생하는 셋업의 수라고 할 때 매 라운드 당 부하 분산지수 I_{LB} 은 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$I_{LB} = \begin{cases} \frac{(N_n - N_d)}{N_n} & : R_s = 0 \\ N_c \cdot N_{ch} \cdot \frac{1}{N_{BS}} & : R_s \geq 1 \end{cases} \quad (1)$$

이 식에 의하면 I_{LB} 가 0에 가까울수록 노드 부하의 분산이 잘 이루어지지 않음을 의미한다. 따라서 이 기법은 부하 분산 측면에 있어 기존의 LEACH에 비해 현저히 낮아 네트워크 최초 동작 이후, 시간이

진행될수록 부하 분산이 어려워져 일부 노드의 급격한 에너지 소비가 예상된다. 또한 이 방법은 규모는 줄었으나 클러스터 내부 이상 확인을 위한 주기적인 에너지 소모는 여전히 발생하며 일부 노드에 집중되는 에너지 소비 분산을 위한 셋업이 클러스터 내부로 제한되어 발생하는 문제점이 존재한다.

SISR(Self-Incentive and Semi-Reclustering Scheme)[19]은 초기 셋업 이후 소규모의 재클러스터링을 수행하면서 클러스터 내부의 멤버노드들에 인센티브를 부여해 CH가 되도록 하는 기법이다. 이 방법은 고정된 클러스터 내부에서 CH의 역할이 클러스터 내 다른 멤버노드로 이전될 때 발생하는 인접 노드에 대한 멤버노드 편입 문제에 대한 부분을 고려하여 부분적인 부하 분산 효과를 가지고 있으나 RRCH와 비교하여 큰 차이를 보이지는 않으며, 오히려 이러한 편입 문제가 자주 발생할 경우 부하를 가중시킬 수도 있다.

이와 같이 주기적 전역 셋업 클러스터링 기법과 비주기적 부분 셋업 클러스터링으로 분류해 볼 때 위의 두 방법 모두 몇 가지 문제점이 존재한다.

우선, 주기적 전역 셋업 클러스터링에서는 주기적인 전역 셋업으로 인한 비효율적인 에너지 소비 구조가 나타난다는 점이다. 이러한 구조는 부하 분산 측면에서 어쩔 수 없이 발생하게 되는 구조이므로 이를 수정하기 위해서는 전체 알고리즘의 수정이 불가피하게 된다.

다음으로, 비주기적 부분 셋업 클러스터링에서는 두 가지 문제점이 존재한다.

첫째, 네트워크의 가정이 단일 홉 기준으로 되어 있다는 점이다. 이는 센서 네트워크의 기본가정에 해당하는 노드의 에너지 제약과 전송거리 제약에 맞지 않으며 이는 멀티 홉으로 수정되어야 한다. 둘째, 부하분산이다. 위의 두 방법 모두 불필요한 에너지 소비를 막기 위해 주기적으로 발생하는 셋업 과정을 없애고 클러스터 구성을 초기 셋업으로 고정하였으며 그 대신 더 적은 에너지를 소비하는 이상노드 확인과 CH순번을 전달하기 위한 데이터 전송 단계를 삽입하였다. 이는 결과적으로 기존의 방법에 비해 보다 좋은 에너지 효율을 보여주어 네트워크 수명 연장에 도움이 된다. 그러나 부하분산 측면에 있어 소비되는 에너지 부하에 대한 분산이 클러스터 내부에서 일어나므로 특정 클러스터에 데이터 발생이 집중될

경우 센서 필드에서 일부 영역의 노드들의 에너지 소비가 급증하여 결과적으로 일부 구간에 있어 데이터 수집이 불가능하게 되거나 멀티 홉 네트워크의 경우 패킷 전달이 불가능하여 네트워크 단절과 같은 문제를 야기할 수 있다.

3. 제안 방법

DERS (Data-centric Energy-aware Re-clustering Scheme for Wireless Sensor Networks) 기법은 재 클러스터링을 위한 알고리즘과 POI(Point Of Interest) 지역의 데이터 발생 빈도에 대한 처리 부분을 제외한 기본 동작은 Ed-RCS와 동일하다.

제안하는 방법은 시간적, 공간적으로 중복 수집되는 데이터를 줄여 중복 데이터 전송을 경감시키는 장점과 불필요하게 발생하는 반복적인 재 클러스터링을 완화하여 에너지 낭비를 줄이고 특정 지역에 집중하여 분포된 노드들의 부하 분산 및 특정 지역에서 빈번히 발생하는 데이터의 수집 등을 고려하여 효율적인 에너지 분산이 이루어지도록 하였다. 대규모 센서 네트워크를 고려하면, 우선 영역별로 중첩되어 배치되는 노드들에 대한 처리가 필요하다. 이에 우리는 Ed-RCS 기법에서 사용한 operation node 와 같은 개념을 적용하여 네트워크 참여 노드를 선정하고 이 노드들의 의해 CH가 선정되는 방법을 택하였다. 이 방법은 노드 중첩을 배제하므로 불필요한 에너지 소모를 막을 수 있다. 또한 멀티 홉 환경에서 CH 사이의 연결도를 높이기 위해 Repeater노드를 도입하였다. 또한 Ed-RCS의 가중치 적용 방식을 도입하여 네트워크의 균형적인 동작이 가능하도록 하였다. Ed-RCS의 클러스터 선정과정을 통해 노드의 역할을 정할 때, 제안방법은 클러스터링을 위한 노드의 패킷 전송 최대거리를 노드의 최대 전송거리 값의 절반으로 할당하였다. 이는 클러스터 내부에서 노드의 역할 변경시 최악의 상황을 막기 위한 것이다. 다음의 그림 1에 의하면 1번 CH가 2번 CH로 역할이 변경되었을 경우 전송 거리의 변경으로 인하여 4,6,7 번 노드의 네트워크 참여가 불가능함을 알 수 있다. 따라서 최대 전송거리 값의 절반으로 클러스터를 구성하면 노드의 역할 변경시 클러스터 멤버노드를 그대로 유지할 수 있다.

다음은 제안하는 방법의 기본 가정이다.

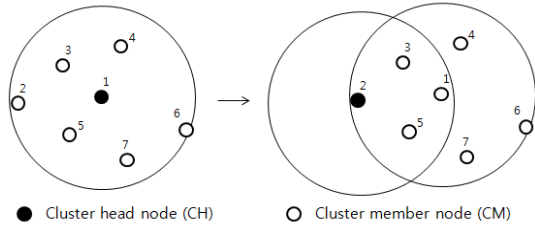


Fig. 1. Limitation of cluster formation vs. Limitation of node transmission coverage.

모든 노드는 멀티 홉 기반 전송이고 위치는 고정되어 변하지 않는다.

모든 노드는 시간에 동기화 되어있고 초기 에너지는 동일하다.

모든 노드는 전송 전력 세기의 조절이 가능하고 센서 감지범위는 전송 범위보다 작다.

노드는 이전 라운드에서 수집한 다수의 데이터를 저장할 수 있는 충분한 공간이 있다.

노드 A와 노드 B사이의 패킷 송수신 성공 확률은 동일하다.

BS는 에너지의 제약이 없으며 전송 범위는 전체 네트워크를 포함한다.

3.1 초기 셋업 단계

1) 모든 노드가 필드에 랜덤하게 분포한 이후, 센서 네트워크 클러스터를 구성하기 위해 BS는 네트워크에 위치한 모든 노드에게 네트워크 동작 신호를 브로드캐스트한다.

2) 신호를 수신한 노드는 Ed-RCS의 클러스터 구성 및 CH 선출 과정을 통해 CH를 선출하며 인접 노드들은 CH의 멤버노드로 참여하여 클러스터를 구성하거나 CH의 다중 홉 전송을 돕는 리피터 노드로 선정되어 네트워크를 구성한다.

3) CH는 인접 CH와의 멀티홉 전송을 위해 인접 CH확인을 하고 상호 전송경로를 확보한다. 이때 전송경로는 BS 인접 CH로 설정되며 이는 노드의 위치가 파악이 가능한 경우 좌표를 기준으로 하거나 RSSI(Received Signal Strength Indicator)강도로 정한다.

4) 필드에서 데이터 감지 요구 해상도는 응용에 의해 결정된다. 전체 네트워크에 필요한 최소한의 노드 수 N_R 는 필드의 최대 크기 F_{MAX} 를 감지 기본 단위 면적인 P_B 로 나눈 값으로 계산되며, N_R 과 전체 센서

노드의 수 N_T 의 비율로 POI 평균 밀도 P_{AVG} 가 계산된다. 이 평균 밀도 값에 의해 전역 셋업 대비 부분 셋업의 회수가 정해지며, 네트워크 내의 모든 CH는 자신의 멤버노드 수를 종합하여 부분 셋업을 위한 기본단위인 POI 평균 밀도와 비교함으로써 자신 클러스터의 노드 밀도 수준을 알 수 있다. 또한, 첫 전역 셋업 이후 다음 전역 셋업까지 클러스터에서 수집한 데이터 발생 빈도 D_G 와 클러스터 멤버노드의 수를 비교하여 각 클러스터의 POI 중요도 P_V 를 판단할 수 있으며, 이렇게 구분된 POI 중요도에 따라 각 클러스터별로 데이터 발생빈도에 비례하여 클러스터 멤버노드 우선 선발 순위가 높아진다. 결국, 중요도가 높은 POI 지역은 더 많은 수의 멤버노드로 구성된 클러스터가 데이터를 수집하게 되며, 비교적 데이터가 적게 발생하는 지역은 적은 수의 멤버노드들로 구성된 클러스터를 유지하여 데이터를 전송한다. 이후 이전에 계산된 비율로 전역 및 부분 클러스터링이 반복되어 특정 노드에 집중되는 부하를 분산한다. 네트워크에 필요한 최소 노드 수 N_R , POI 평균밀도 P_{AVG} , POI 중요도 P_V 는 다음의 식 (2), (3)과 같다.

$$\frac{N_T}{(N_R : \frac{F_{MAX}}{P_B})} = P_{AVG}, \quad 0 < P_{AVG} \leq N_T \tag{2}$$

$$\frac{D_G}{P_{AVG}} = P_V, \quad 0 \leq P_V \leq 1 \tag{3}$$

3.2 정상 상태 단계

1) 클러스터 구성을 완료하고 데이터 전송을 시작하는 노드들은 자신에게 주어진 타임슬롯에 맞게 자신이 수집한 데이터를 자신이 멤버노드로 참여해 있는 클러스터의 CH로 전송하며, 멤버노드로부터 데이터를 수집한 CH노드는 에너지 효율적인 데이터 전송을 위해 중복된 데이터를 제거하고 압축하여 BS에 인접한 CH노드로 전송하거나 BS와 단일 홉 거리 이내의 CH일 경우 직접 데이터를 전송한다.

2) CH노드들로부터 데이터를 전송받은 BS는 데이터를 재구성하여 사용자의 요구에 맞는 형태로 제공한다. 이 과정에서 데이터를 제공받는 사용자는 다른 지역에 비해 관심도가 낮은 지역 또는 높은 지역을 네트워크 노드 배치 이전 또는 이후에 정의할 수 있으며 이러한 영역은 BS에 입력되어 중요 POI로

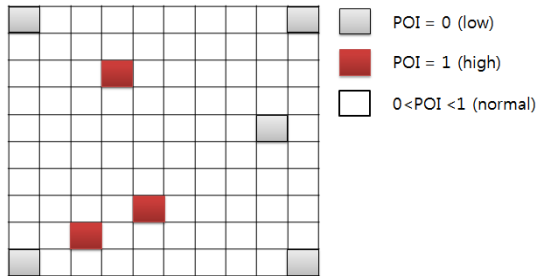


Fig. 2. Assigned POI values.

지정하며 별도로 관리된다.

다음의 그림 2는 센서 네트워크 필드를 일정한 크기 - 즉, 사용자에서 필요로 하는 데이터 해상도로 나누었을 때 설정된 POI 지수를 나타낸 것이다. 0은 낮은 POI 지수를, 1은 높은 POI 지수를 나타낸다.

3) 네트워크 필드에 있는 노드들에게 (1)의 과정은 초기 POI 평균값도 P_{AVG} 에 의해 지속 라운드가 결정되며, 이후에 계산된 중요도 P_V 에 의해 클러스터 내의 멤버 구성 및 클러스터 지속 시간에 영향을 준다. P_{AVG} 및 P_V 에 의해 계산된 회수만큼 부분 클러스터링을 진행한 후 전역 클러스터링을 통해 네트워크 부하 분산을 하며 재 클러스터링 과정으로 진행한다.

3.3 재 클러스터링 과정

1) Steady phase의 진행 도중 P_{AVG} 및 P_V 값을 충족하면 BS는 네트워크 단위의 전역 재클러스터링을 시행한다.

2) BS는 사전에 보고된 자료를 통해 POI 중요도를 계산하며 이 중요도 값에 의해 이후 클러스터링에서 클러스터 멤버로 참여하는 노드들의 범위 및 수치가 증가하거나 줄어들게 된다.

(2-1) 높은 POI에 해당하지 않을 경우

CH는 자신의 주도 하에 해당 클러스터의 멤버노드들의 역할 변경을 명령하고 이는 부분적 재 클러스터링에 해당한다. CH는 자신의 멤버노드들 중 자신이 이웃한 CH와 연결이 가능한 노드를 다음 CH로 선정하며 자신의 모든 멤버노드들에게 POI 중요도 값을 전달한다. 그리고 자신은 멤버노드로 역할을 변경하거나 휴면 노드로 상태를 변경한다.

(2-2) 높은 POI에 해당하는 경우

BS는 POI와 인접 클러스터들의 재 클러스터링을 명령하거나 전체 네트워크에 재 클러스터링을 명령

하며 이때의 재 클러스터링 과정은 초기 셋업의 전체 네트워크 클러스터링과 동일하게 진행된다. 또한 CH는 자신의 모든 멤버노드들에게 POI 중요도 값을 전달한다. 그리고 자신은 멤버노드로 역할을 변경하거나 휴면 노드로 상태를 변경한다. 다음의 그림 3은 제안하는 방법의 의사코드이다.

4. 성능 평가

본 장에서는 제안하는 기법을 몇 가지 대표적인 기법들과 데이터 수집 성능, 네트워크 연결률, 노드의 에너지 소비율, 네트워크에서 단절된 노드의 비율, 그리고 네트워크 생존시간에 대해 비교 성능 평가를 하였다. 이 실험에는 밀집 센서 네트워크 구현을 위해 MATLAB이 사용되었으며 사용되는 데이터 무작위로 생성된 데이터 셋을 적용하였다. 이에 따른 실험환경은 표 1과 같다. 이는 LEACH 기법의 성능평가에 사용된 환경이며 이후 연구들에서도 이와 동일한 조건을 사용한 연구가 다수 존재하고 있다. 이에 우리는 제안 기법의 성능 평가를 위해 노드 수와 네트워크 면적을 제외한 나머지는 이전의 연구 [7,8]의 실험조건과 동일한 조건을 사용하여 성능을 평가하였다.

4.1 수집 데이터 패턴 정확도 비교

다음의 그림 4는 프로토콜별로 분류된 수집된 데이터 패턴의 정확도를 각 네트워크 수명에 따라 나타낸 것이다.

Table 1. simulation Parameters

Item	Value
electric Energy	$E_{elec} = 50nJ/bit$
amplified energy of free space model	$E_{fs} = 10pJ/bit/m^2$
amplified energy of multipath model	$E_{mp} = 0.0013pJ/bit/m^4$
scheduling energy	$E_{schedule} = 5nJ/bit/signal$
data aggregation energy	$E_{da} = 5nJ/bit/signal$
message length	$l = 1000bit$
number of sensor nodes	$N = 1000$
length of a side of the nnetwork field	$M = 200m$

```

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
2. predefine( Average value of POI ) / by sink or BS

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)
9.         become Noperation
10.        broadcast( the Advertisement Message {nodeID, sensing value, position} )
11.    elseif(nodeID == Nnormal && receiving{any advertisement message})
12.        if( receive the Advertisement Message{sensing value} == sensing value )
13.            become Nsleep
14.        else
15.            become Noperation
16.            broadcast( the Advertisement Message{nodeID, sensing value, position} )
17.        end if
18.    end if
19. else
20.     wait for delay time or until receiving {any advertisement message}
21. end if
22. if( nodeID == Noperation )
23.     increase weighted value by 1 point
24.     delay time <- generate(random_delay time)
25.     wait for delay time or until receiving {any advertisement message}
26.     if( delay time_Expired)
27.         if( nodeID == Noperation )
28.             become CHregion
29.             increase weighted value by 2 points
30.             broadcast( the Advertisement Message {NodeID, position} )
31.         else
32.             cancel the delay time
33.         end if
34.     else
35.         if( receive the Advertisement Message )
36.             cancel the delay time
37.             become Nregion
38.         else
39.             wait for delay Time or until receiving {any advertisement Message}
40.         end if
41.     end if
42. if( nodeID == Nregion )
43.     if( # of neighbor CHregion>2&& # of neighbor CHregion<6)
44.         become repeater
45.         broadcast( the Advertisement Message {NodeID, position} )
46.     end if
47. end if

CHregion
1. broadcast( the Advertisement Message {nodeID, sensing value, position} )
2. accept( join Message )
3. compare stored sensor data with sensed event whether it same or not
4. aggregate sensing data
5. calculate POI values (High, Normal, Low)
6. transmit_data_to_Sink (sensing value, nodeID, position, POI values)

Nregion
1. join to cluster( CHnodeID, nodeID, position )
2. operate as an region cluster member node
3. compare stored sensor data with sensed event whether it same or not

Repeater
1. join to cluster( CHnodeID, nodeID, position )
2. operate same as an regional cluster head node with data relay only
3. compare stored sensor data with sensed event whether it same or not
4. relay data

```

Fig. 3. Pseudo code.

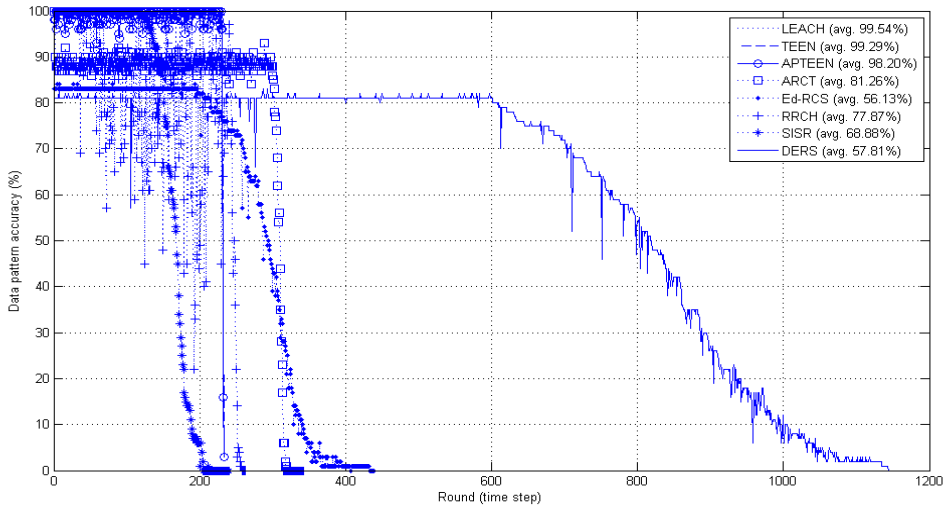


Fig. 4. Data pattern accuracy comparison.

그림 4에 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 ARCT의 경우 높은 데이터 정확도를 보이나 350라운드 이후 구간에서 발생하는 데이터 정확도의 지속적인 하락으로 인해 데이터의 정확도가 중요한 응용환경일 경우 사실상 네트워크로서 제 기능을 하지 못하는 구간이 된다. RRCH와 SISR은 데이터 수집 오차가 심하게 발생하며 수명도 짧아 사실상 적용이 어려운 상태임을 알 수 있다. 제안하는 방법의 경우 ARCT에 비해 평균 데이터 정확도가 상당히 낮게 나타나지만 노드 에너지가 고갈되기 시작하는 지점까지의 네트워크 유효수명을 고려해 볼 때 예상 수명이 약 600라운드가 된다. 따라서 네트워크 초기 동작으로부터 600라운드까지의 평균 데이터 수집 정확도는 82% 대로 ARCT 또는 Ed-RCS와 비교해 보아도 충분히 긴 네트워크 동작시간 동안에 높은 수준의 데이터 수집률을 보이는 것으로 볼 수 있다.

4.2 고립노드 발생비율

네트워크의 구조가 자주 변화하는 센서 네트워크의 경우 데이터의 안정적인 수집과 전송을 위해 센서 노드의 안정적인 네트워크 참여가 매우 중요하다. 대규모의 노드가 참여하는 광역 센서 네트워크의 경우

BS와 노드의 직접 연결이 불가능하므로 그 중요성은 상당히 크다고 할 수 있다. 특히 클러스터링 기법을 기반으로 하는 네트워크는 에너지 부하의 분산과 수집 데이터의 원활한 전송을 위해 고립 노드가 최대한 적게 발생하는 것이 좋다. 그림 5는 네트워크에 참여하지 못한 고립노드의 네트워크 수명 대비 발생비율을 그래프로 나타낸 것이다.

그림 5에 의하면 RRCH를 제외한 기법들이 모두 1% 대 이하의 고립 노드 비율을 유지하고 있어 네트워크 연결에는 큰 문제가 없는 것으로 나타났다.

4.3 네트워크 수명 비교

전통적인 에너지효율을 중시하는 방법들에서 가장 중요하게 생각되는 것이 네트워크 수명비교이다. 물론 실제로 네트워크 수명을 데이터 수집이 어느 정도 가능한 수준까지 고려한다면 전체 수명 비교는 큰 의미가 없을 수도 있으나 대표적으로 사용되는 것이 네트워크 내에 생존하는 노드의 수명비교라고 할 수 있다.

그림 6에 의하면 제안하는 방법은 기존에 비해 향상된 네트워크 수명을 보임을 알 수 있다. 여기에 더하여 네트워크 데이터 수집이 가능한 유효수명을 고려할 경우 네트워크 수명은 600라운드 정도로 기존 방법들에 비해 월등히 향상된 네트워크 수명을 갖는다.

이는 이전의 Ed-RCS 기법에 주기적 셋업을 완화

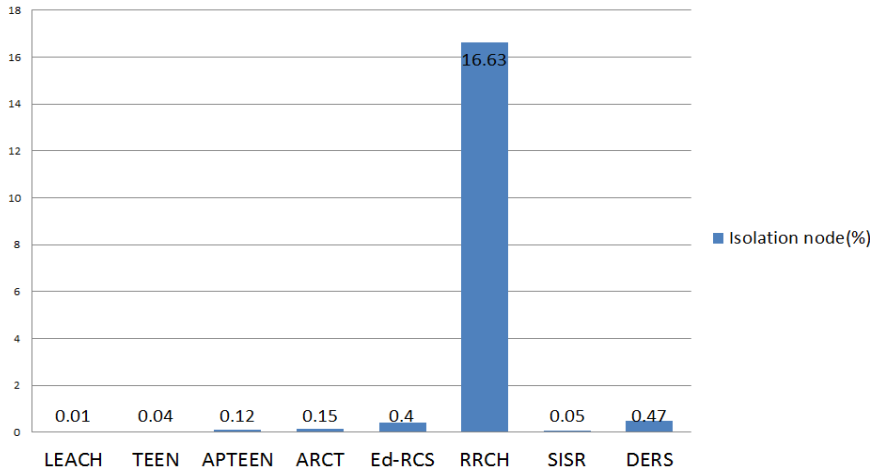


Fig. 5. Node isolation comparison.

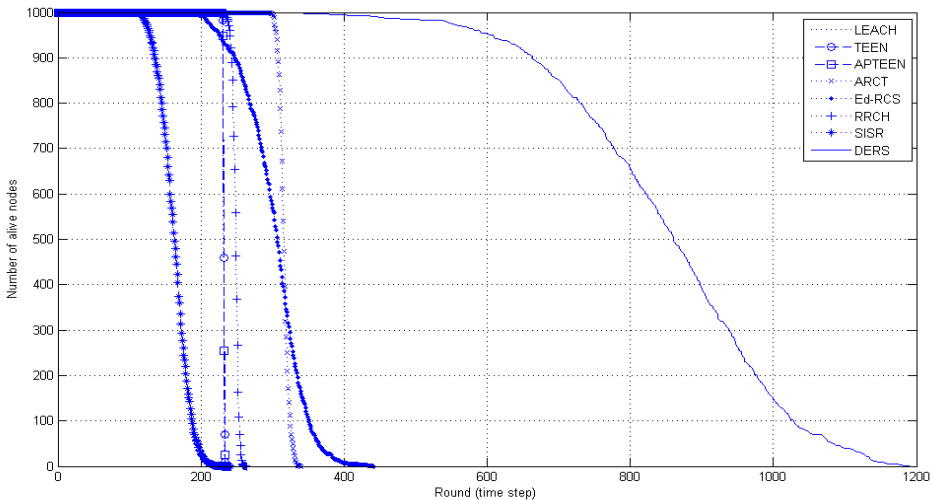


Fig. 6. Network lifetime comparison.

시킴으로 가용 에너지를 보존하게 됨으로서 발생하는 에너지 이득으로 인한 결과라고 할 수 있다.

5. 결 론

클러스터링을 적용한 센서 네트워크 라우팅 기법은 네트워크의 에너지 보존을 위해 셋업에 소비되는 에너지를 보존하는 것이 네트워크 자원의 효율적인 사용에 도움이 된다.

본 논문은 노드의 자체적인 데이터 처리를 극대화하는 Ed-RCS 기법에 단위면적 당 노드 밀도를 전역 셋업과 부분 셋업 주기로 사용하는 방법을 제안하였

다. 이 기법은 기존 기법의 시·공간적인 데이터 중복 배제와 아울러 전역 셋업 주기를 완화하여 제한된 에너지원을 갖는 센서 네트워크 에너지 보존에 도움이 된다.

향후 연구 과제로서 우리는 다중 센서로부터 감지되는 데이터를 노드 자체적으로 효율적인 압축 처리가 가능한 알고리즘에 대한 연구를 진행하고자 한다. 이는 앞으로의 사물 인터넷 환경에 노드의 자율적이고도 효율적인 처리 알고리즘 개발에 도움이 될 것이며 저비용·고효율의 센서망을 구축하는데 도움이 될 것이다.

REFERENCE

- [1] Y. Tseng, S. Ni, Y. Chen, and J. Sgeu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *The Journal of Mobile Communication Computation and Information*, Vol. 8, No. 1-2, pp. 153-167, 2002.
- [2] J. Lee and P. Mohapatra, "An Analytical Model for the Energy Hole Problem in Many-to-one Sensor Networks," *Proceeding of Vehicular Technology Conference*, Vol. 4, pp. 2721-2725, 2005.
- [3] 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.
- [4] D. Choi, S. Moh, and I. Chung, "An Analysis of Threshold-sensitive Variable Area Clustering protocol in Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 12, No. 11, pp. 1609-1622, 2009.
- [5] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of the ACM*, Vol. 43, Issue 5, pp. 51-58, 2000.
- [6] Y. Yao and J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks," *Proceeding of Innovative Data Systems Research Conference*, 2003.
- [7] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceeding of the 33rd Annual Hawaii International Conference*, pp. 1-10, 2000.
- [8] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, Issue 4, pp. 660-670, 2002.
- [9] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Vol. 1, pp. 629-640, 2004.
- [10] S. Muruganathan, D. Ma, R. Bhasin, and A. Fapojuwo, "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 43, Issue 3, pp. s8-13, 2005.
- [11] A. Manjeshwar and D. Agarwal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp. 2009-2015, 2001.
- [12] A. Manjeshwar and D. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *Parallel and Distributed Processing Symposium*, 2002.
- [13] D. Choi, S. Moh, and I. Chung, "Regional Clustering Scheme in Densely Deployed Wireless Sensor Networks for Weather Monitoring Systems," *12th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications*, pp. 497-502, 2010.
- [14] D. Choi, S. Moh, and I. Chung, "ARCS: An Energy-Efficient Clustering Scheme for Sensor Network Monitoring Systems," *ISRN Communications and Networking*, Vol. 2011, Article ID 572572, 2011.
- [15] T. Kaur and Jinsuk Baek, "A Strategic Deployment and Cluster-Header Selection for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 55, No. 4, pp. 1890-1897, 2009.
- [16] N. Bouabdallah, M.E. Rivero-Angeles, and B. Sericola, "Continuous Monitoring Using Event-Driven Reporting for Cluster-Based Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 58, Issue 7, pp.

3460- 3479, 2009.

- [17] D. Choi, J. Shen, S. Moh, and I. Chung, "Data prediction Strategy for Sensor Network Clustering Scheme," *Journal of Korea Multi-media Society*, Vol. 14, No. 9, pp. 1138-1151, 2011.
- [18] D. Nam and H. Min, "An Energy-Efficient Clustering Using a Round-Robin Method in a Wireless Sensor Network," *5th ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management & Applications*, pp. 54-60, 2007.
- [19] J. Baek, S. An, and P. Fisher, "Dynamic Cluster Header Selection and Conditional Re-clustering for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 56, Issue 4, pp. 2249-2257, 2010.
- [20] D. Choi, J. Shen, and I. Chung "A Study on Energy Efficient Re-clustering Scheme in Wireless Sensor Networks", *Spring Conference of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 1, pp. 365-367, 2012.



최 동 민

2003년 경희대학교 공과대학 졸업(공학사)
 2007년 조선대학교 교육대학원 졸업(교육학석사)
 2012년 조선대학교 일반대학원 컴퓨터공학과(공학박사)

2012년~2013년 조선대학교 BK사업팀 연구교수
 2014년~현재 조선대학교 자유전공학부 조교수
 관심분야: 정보 보안, 센서 네트워크, 모바일 애드혹 네트워크



이 지 섭

2008년~ 조선대학교 전자정보공과대학 재학
 2009년 조선대학교 인터넷침해사고대응팀 회원
 2013년~ 조선대학교 정보통신실험실 연구원

관심분야: 역공학, 시스템 보안, 네트워크 보안



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~1994년 한국전자통신연구소 선임연구원
 1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수
 관심분야: 네트워크 보안, 병렬 알고리즘, 모바일 애드혹 네트워크