

## 클러스터 기반 WSN에서 캐시 필터링을 이용한 에너지 효율적인 질의처리 기법

이 광원\*, 황윤철\*\*, 오염덕\*\*\*

## An Energy Efficient Query Processing Mechanism using Cache Filtering in Cluster-based Wireless Sensor Networks

Kwang-won Lee\*, Yoon-cheol Hwang\*\*, Ryum-duck Oh\*\*\*

### 요 약

센서네트워크에 사용되는 최신의 센서노드 기술은 많은 데이터 저장능력과 빠른 처리능력을 제공함으로써 다양한 응용분야에서 좀 더 효율적인 네트워크 환경을 구성할 수 있게 되었다. 그리고 네트워크 구축 환경도 트리 기반에서 클러스터 기반으로 변환 되었다. 그러나 기존 트리 기반의 센서네트워크에서 사용되던 질의처리 방법은 클러스터 기반의 네트워크에서는 효율성이 떨어진다. 따라서 클러스터 기반 네트워크에서 효율적으로 질의를 처리하는 새로운 방법이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 클러스터 기반의 센서네트워크에서 데이터 속성 분류를 통한 필터링을 이용하여 에너지를 효율적으로 사용하는 질의 처리 기법을 제안한다. 제안 기법은 클러스터 기반의 네트워크 장점을 최대한 활용하여 질의 처리에 드는 에너지를 줄이고 좀 더 지능적으로 질의를 분배하도록 설계 하였다. 그리고 MATLAB을 이용하여 제안된 기법이 에너지 효율성 측면에서 우수함을 입증하였다 본 논문에서는 고성능 컴퓨팅 시스템의 성능 향상을 위한 효율적인 동적 작업부하 균등화 정책을 제안한다.

### Abstract

As following the development of the USN technology, sensor node used in sensor network has capability of quick data process and storage to support efficient network configuration is enabled. In addition, tree-based structure was transformed to cluster in the construction of sensor network. However, query processing based on existing tree structure could be inefficient under the cluster-based network. In this paper, we suggest energy efficient query processing mechanism using filtering through data attribute classification in cluster-based sensor network. The suggestion mechanism use advantage of cluster-based network so reduce energy of query processing and designed more intelligent query dissemination. And, we prove excellence of energy efficient side with MATLAB.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크(WSN), 질의처리(Query Processing), 클러스터 기반 네트워크(Cluster-based Network), 에너지 효율(Energy Efficient)

• 제1저자 : 이광원

• 투고일 : 2010. 04. 08, 심사일 : 2010. 04. 20, 게재확정일 : 2010. 06. 17.

## I. 서론

센서 네트워크의 기술이 발달함에 따라 환경모니터링, 물류감시, 건축물 관리 등 다양한 응용분야에서 센서들을 이용한 기술들이 활용되고 있으며 각 응용분야에서 상황을 인지하고 그 상황을 지능적으로 해결할 수 있는 단계까지 발전하고 있다. 또한, 센서 노드의 하드웨어 적용 기술도 발전하여 저장능력과 연산 능력이 비약적으로 상승하여 센서 노드에 더 많은 기능을 요구하게 되었다[1]. 하지만 센서 네트워크 운영을 위해서는 여러 가지 제약 조건이 따른다. 그 중에서도 배터리 기반의 센서 노드는 에너지 측면의 제약사항이 크기 때문에 에너지 효율성 측면은 매우 중요한 연구대상이고 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

에너지 효율성을 높이기 위해 대부분의 연구에서는 데이터 병합기법과 질의처리 방법에 주안점을 두고 여러 가지 기법들을 제안하고 있다. 하지만 대부분의 네트워크 내 데이터 병합기법과 질의처리 방법은 대부분 트리 기반 네트워크 환경에서의 다양한 기법들을 제시하고 있는 실정이다[2,3]. 트리 기반 네트워크는 트리의 잦은 재구성으로 인한 과도한 제어 트래픽과 패킷 분실을 유발시킬 수 있고 노드의 이동으로 인하여 멀티캐스트 트리에 루프가 발생하면 루프가 제거될 때까지 불필요한 트래픽에 의한 대역폭 낭비가 발생할 수 있다. 이런 트리 기반 네트워크의 문제점을 해결하기 위해 제기된 것이 클러스터 기반 네트워크이다. 클러스터 기반 네트워크 환경은 기존의 트리 기반의 구조와 다르게 중간에 헤드노드가 존재하여 일정 구역 내에서 각각의 멤버노드를 관리하기 때문에 트리 기반 네트워크에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있다.

기존의 트리 기반 네트워크에서 병합방법과 질의 처리 기법은 클러스터 기반 네트워크에서 네트워크 구조가 다르기 때문에 적용하기 힘들고 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 클러스터 기반 네트워크에서 헤드노드가 하나의 군집대상의 대표라는 점을 이용한 에너지 효율적인 질의 처리 기법(Energy Efficient Query Processing Mechanism: EEQPM)을 제안한다. EEQPM에서는 기존에 제시되었던 DCS(Data Centric Storage)방법을 기반으로 클러스터 기반의 네트워크에 적합한 기법으로 설계하였다[4]. EEQPM에서는 에너지 효율성을 위하여 헤드노드의 버퍼에 멤버노드의 정적(static) 데이터와 반정적(semi-static) 데이터를 수집 저장하여 질의가 필요한 노드에게만 전송하는 질의 분배 방식과 센서노드에서 반정적 데이터가 발생하였을 때 전송되는 데이터양을 줄이는 질의 처리 방법을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 트리 기

반에서 제안된 데이터 병합기법에 대하여 살펴보고 3장에서는 클러스터 기반 네트워크에서 에너지 효율적인 질의 처리 방법을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안기법의 에너지 효율성을 비교 평가하고, 5장에서는 결론 및 향후 방안을 제시하고 끝을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 질의처리 기법

WSN에서 질의처리의 주요목적은 제한된 환경의 센서 노드에서 효율적이면서 질의를 신속하고 정확하게 처리하는데 있다. WSN에서의 질의처리는 센서 네트워크상에서 센싱 정보들이 저장되는 위치에 따라서 LS(Local Storage), ES(External Storage), DCS로 분류한다[5].

LS방식은 센서 노드가 수집한 정보를 자신의 저장장치에 직접적으로 저장하는 방식이기 때문에 질의 처리를 위해서는 질의를 각 노드들에게 모두 전달한 뒤 질의를 수행하고 사용자에게 그 결과를 전송하는 방식으로 Flooding하기 때문에 전송에 따른 비용이 매우 크다.

ES방식은 LS방식과는 다르게 센서 노드들의 수집 정보를 외부에 저장하는 방식으로 모든 센싱 정보가 서버에 저장하기 때문에 질의가 발생하여도 소모되는 전송 비용이 없는 장점을 가지고 있지만 초기에 센서 노드의 수집정보를 모두 서버로 전송해야 하기 때문에 많은 에너지 소모를 하게 된다.

DCS방식은 LS방식과 ES방식을 혼합한 방식으로써 센서 노드들의 수집정보를 어느 특정 노드에 저장하고 수집정보가 의미하는 값에 따라 그룹을 결정하고 그 그룹을 대표하는 센서 노드에 정보를 저장하는 방식이다. 이 방식은 각 그룹의 정보를 대표 노드에만 질의를 하기 때문에 질의처리 비용이 훨씬 줄어든다.

위 3가지 방식의 질의처리 기법은 각각의 장단점이 존재하지만 LS방식과 DCS방식은 기존의 데이터베이스 질의 처리와 다르기 때문에 활발한 연구가 진행되고 있다. 트리 기반의 센서네트워크에서 사용하기 적절한 질의처리 방식은 LS방식이며 이미 TinyDB라는 프로젝트에서 SQL과 유사한 센서기반 질의 언어를 정의하였고 그 대표적인 것이 TAG(Tiny AGgregation)방식이다[6, 7].

### 2.2 TAG (Tiny AGgregation)

TAG는 TinyOS가 설치된 Mote로 구성된 트리 기반 네트워크에서 제공되는 네트워크 내 병합기법으로써 SQL 형식의 질의어를 지원하고 질의 형태를 분석하여 SUM, MAX, MIN,

AVG 등과 같은 다양한 질의를 처리 할 수 있고 모든 데이터를 수집하지 않고 전송과정에서 병합시킨 결과만을 전송하여 데이터양을 효과적으로 줄임으로써 에너지 효율성을 높였다.

그림 1은 TAG에서 평균을 구할 때 데이터를 병합하는 방법이다. 원 안의 숫자는 노드의 ID이고 함수  $i$ 는 초기화 함수이다.  $\langle S, C \rangle$ 에서  $S$ 는 각 노드의 센싱된 값을 병합하는 SUM 값이고,  $C$ 는 노드의 개수를 병합하는 Count 값을 의미한다. 또한, 함수  $e$ 는 평균값을 계산하는 검증 함수이다. 그림 1과 같이 차수 별로 하위 차수의 노드에서 정보를 받고 상위 차수에서 값을 병합한 뒤 상위 노드로 올려 보내주는 형태이다. 이와 같은 방법을 사용하면 모든 센서의 값을 전송 받은 후에 평균을 계산하는 방법보다 데이터 전송 양이 많이 감소하게 된다. 하지만 TAG는 트리 기반 네트워크에서 쓰이는 방법이고 LS방식으로 전역 적으로 Flooding이 일어나기 때문에 비효율적이다. 또한 클러스터 기반 네트워크에서는 적용하기 힘들고 네트워크 형태가 다르기 때문에 비효율적인 질의처리가 이루어지게 된다. 그러나 DCS는 수집정보에 따라서 그룹을 대표하는 대표노드가 존재하기 때문에 클러스터 기반 네트워크와 형태가 비슷하여 클러스터 기반 네트워크에 적용하기 적당하다.

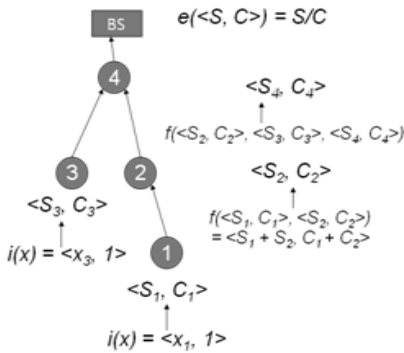


그림 1. TAG에서의 데이터 병합  
Fig. 1. Data Aggregation in TAG

### 2.3 Cluster Protocol

본 논문에서 제안하는 기법이 클러스터 기반의 센서 네트워크 환경임으로 대표적인 클러스터 형성 알고리즘에 대하여 살펴보겠다. 대표적 클러스터 형성 알고리즘에는 LEACH 기법과 HEED 기법이 있다(8, 9). LEACH 기법은 네트워크를 구성하는 모든 센서노드들의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존시간을 최대화하는 클러스터 기법으로 Broadcast 메시지를 통하여 모든 센서노드의 상태를 파악한 후 클러스터 헤드를 선출한다. HEED 기법은 노드의 남은 에너지양을 측

정해 잔류 에너지가 높은 노드를 우선적으로 클러스터 헤드로 선출하는 기법으로 모든 노드의 에너지를 알 필요 없이 오직 노드 자신의 내부 파라미터만을 이용하여 헤드를 선출 한다.

## III. 질의처리 모델

이 장에서는 클러스터 기반 네트워크에서 DCS를 개선하여 에너지 효율적으로 질의를 처리하는 EEQPM을 제안한다. EEQPM은 질의분배와 질의처리를 위한 설정 단계와 지속상태 단계로 구성되어 있으며 3장에서는 설정단계에 대하여 설명하고 4장에서 질의처리 방법에 대하여 기술한다.

### 3.1 시스템 모델

트리 기반 네트워크에서는 하위노드를 관리할 수 있는 매개체가 없었으나 클러스터 기반 네트워크에서는 하위노드인 멤버노드를 관리할 수 있는 헤드노드가 존재한다. 이러한 헤드노드는 DCS에서 제안하였던 대표노드 성격과 유사하다. 본 논문에서 제안하는 EEQPM 기법은 대표 노드의 개념을 이용하여 멤버노드에서 발생하는 데이터를 정적(static) 데이터와 반정적(semi-static) 데이터로 분류하여 헤드노드에 적재한다. 그림 2에서 보는 것과 같이 정적인 데이터는 센서노드의 ID, 측정할 수 있는 속성, 정적인 위치정보 등의 정적인 데이터. 즉, 특별한 상황이 아닌 일반적인 상황에 측정되는 데이터로써 동적이지만 거의 변하지 않는 빈번도가 가장 높은 데이터이다.

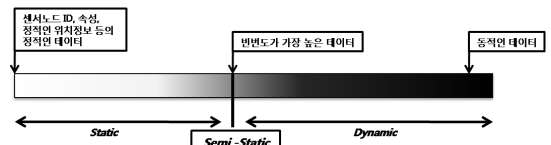


그림 2. 정적 데이터와 반정적 데이터  
Fig. 2. Static data and Semi-static data

EEQPM 기법은 헤드노드에 정적인 데이터와 반정적인 데이터를 적재하여 질의를 분배하고 센싱되는 값이 반정적인 데이터를 센싱 하였을 때 전송되는 데이터의 양을 줄이는 방법을 사용한다. EEQPM 기법은 센서 네트워크를 형성하고, 형성된 클러스터 기반 네트워크에서 센싱된 데이터를 정적 데이터와 반정적 데이터로 분류하여 CFCT(CacheFilter & CacheTable)를 구성한 후 질의분배, 질의처리 단계로 동작하며 시스템 모델은 그림 3과 같다.

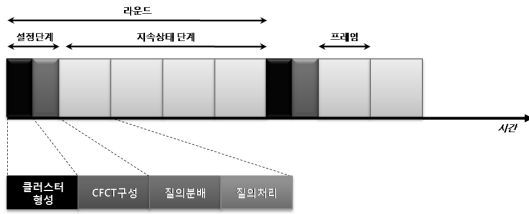


그림 3. 시스템 모델  
Fig. 3. System Model

그림 3에서와 같이 시스템 모델은 한 번의 클러스터 유지기간을 라운드로 정의하고 한 라운드는 설정단계와 지속상태 단계로 구성된다. 설정단계는 다시 클러스터 형성과 CFCT 구성으로 이루어져 있고, 지속상태 단계는 실질적인 질의를 처리하는 구간으로 여러 프레임으로 구성되어 있다. 질의를 처리하는 프레임에서 질의분배와 질의처리가 수행된다.

### 3.2 EEQPM의 설정단계

EEQPM기법의 설정단계는 클러스터 형성 과정과 CFCT 구성 과정으로 이루어져 있다. 클러스터 형성 과정은 그림 4와 같이 초기 클러스터 형성단계와 클러스터 재형성 단계로 구분한다. 센서 네트워크 환경에서 초기 클러스터 형성단계는 기존의 주변노드들의 정보가 없기 때문에 자가 적으로 클러스터를 형성해야 한다. EEQPM의 초기 클러스터 형성단계는 오버헤드가 적게 발생하는 HEED기법을 사용하여 헤드를 선출하고 클러스터를 형성한다. 하지만 HEED기법도 내부 파라미터만을 이용하기 때문에 헤드가 여러 번 변경되면 비효율적인 헤드선출이 발생한다. 따라서 EEQPM에서는 CacheTable에 적재되었는 헤드선출을 위한 외부 파라미터를 사용하여 클러스터를 재구성한다. 즉, 처음 라운드를 제외한 라운드에서는 CacheTable에 적재되어있는 데이터를 활용하여 다음 라운드의 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터를 형성하게 된다.

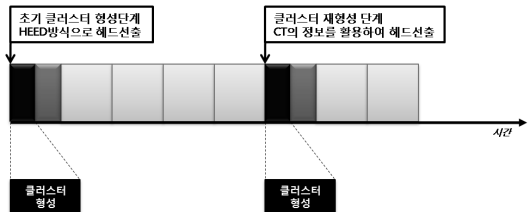


그림 4. 클러스터 형성  
Fig. 4. Cluster Formation

CFCT 구성 과정은 다음과 같다. 클러스터가 형성된 후 센서노드의 센싱속성, 노드ID, 고정위치 등 정적 데이터와 일정

기간 d 동안 데이터를 수집하여 수집한 데이터를 기반으로 가장 빈번도 높은 반정적 데이터를 CacheFilter로 설정한다. 이렇게 구성된 CacheFilter는 한 라운드 동안 유지된다. 예를 들어 그림 5와 같이 데이터가 수집되었을 때 정적 데이터와 빈번도가 가장 높은 데이터를 반정적 데이터로 선정하여 CacheFilter를 구성하게 된다. CM<sub>A</sub>와 같은 경우 정적 데이터는 노드ID, 센싱속성 SO<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>이고 반정적 데이터는 각 속성의 동적 데이터 중 빈번도가 가장 높은 SO<sub>2</sub>속성 0.4, CO<sub>2</sub>속성 0.5가 반정적 데이터로 분류되어 CacheFilter로 설정된다. CM<sub>B</sub>도 마찬가지로 정적 데이터는 노드ID, 센싱할 수 있는 속성 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub>이고 각 속성의 동적 데이터 중 빈번도가 가장 높은 SO<sub>2</sub>속성 0.5, CO<sub>2</sub>속성 0.2가 반정적 데이터로 분류되어 CacheFilter로 설정된다. 이와 같이 어떠한 속성에 대하여 가장 빈번하게 센싱되는 값을 반정적 데이터로 판단하여 그 값을 CacheFilter로 설정한다. CacheTable은 헤드노드에 저장되어 있는 멤버노드의 CacheFilter를 테이블화 하여 저장시켜놓은 테이블이다. CacheTable에는 자신의 클러스터 내의 멤버노드들의 정적 데이터와 반정적 데이터가 저장되어 있다. 제한한 CFCT는 웹 브라우저에서 최근 방문한 사이트를 캐시에 저장해 놓는 방법과 유사하다. 많은 인터넷 제공업체들과 대규모 네트워크의 운영자들은 인기 있는 웹 페이지의 캐시를 프록시 서버에 저장하여 웹 페이지 요청에 응답하게 함으로써 네트워크 대역폭을 줄일 수 있듯이 ClusterMember들의 빈번한 데이터를 ClusterHead에 적재함으로써 동일한 데이터가 발생하였을 때 네트워크 대역폭을 줄여 에너지를 절약할 수 있다.

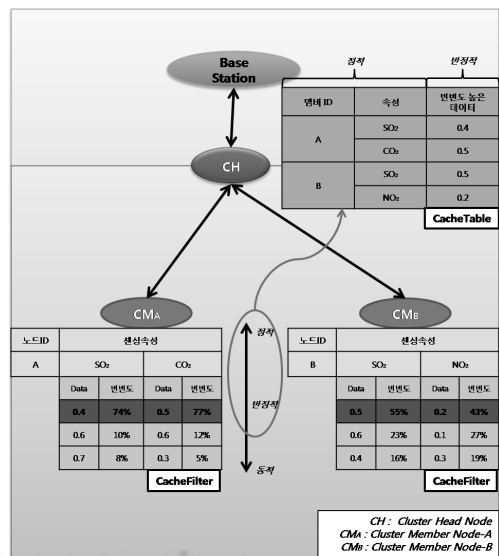


그림 5. CFCT 형성  
Fig. 5. CFCT Formation

### IV. 에너지 효율적인 질의처리 기법

이 장에서는 EEQPM의 지속상태 단계에서 이루어지는 에너지 효율적인 질의 분배 및 처리 과정에 대하여 기술한다.

#### 4.1 질의분배

질의 분배는 사용자로부터 어떠한 질의가 발생하였을 때 질의가 필요한 센서노드에게 전달하는 방법을 말한다. 질의분배의 동작방식은 CacheTable에 저장되어 있는 정적인 데이터를 이용하여 센서노드들에게 Flooding할 때 질의 분배를 실행한다. 정적인 데이터는 이질적인(Heterogeneous) 센서 정보와 고정노드의 경우 위치 값을 포함하고 있어 헤드노드에 적재되어있는 CacheTable에서 각 센서노드의 정적 데이터를 저장하여 사용하면 질의분배를 효율적으로 할 수 있다. 그림 6은 BS(Base Station)에서 모든 센서의 온도를 묻는 질의가 발생하고 그 질의를 센서노드들에게 Flooding하는 예이다. 그림 6에서 BS가 CH의 CacheTable을 이용하여 모든 센서노드의 온도를 묻는 질의가 발생하였을 때 CH에서 자신의 멤버노드 중 온도라는 속성을 센싱 할 수 있는 노드 CM3, CM5에게만 질의를 전송하여 불필요한 전송으로 인한 에너지 소모를 막을 수 있다.

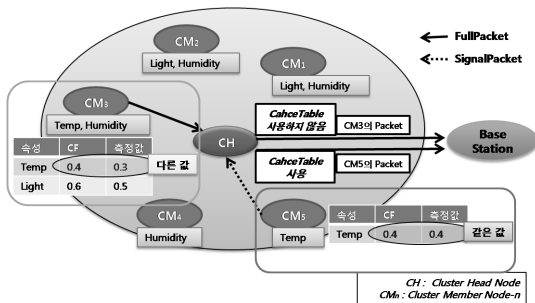


그림 6. 질의처리  
Fig. 7. Query Processing

#### 4.2 질의처리

BS에서 발생된 질의가 그림 6의 과정을 통해 질의 분배가 완료되면 질의를 전달받은 센서노드는 그림 7과 같은 질의처리 절차를 수행한다. 질의처리는 CacheFilter의 반정적 데이터와 실제 센싱 데이터가 동일한 경우와 다른 경우로 나뉘어 처리된다. CM3노드의 경우는 CacheFilter의 정적 데이터와 실제 센싱 데이터가 다른 경우이다. CacheFilter의 정적 데이터가 0.4이지만 실제 센싱 데이터는 0.3이므로 질의에 대한 응답이 필터링 되지 않고 순수한 풀-패킷형태로 전송하게 된다. 하지만 CM5같은 경우는 CacheFilter의 반정적 데이터와 실제 데이터가 같으므로 필터링하여 패킷용량이 작은 신호패킷만 전송하게 된다. CH에서는 CM3에서 전송된 풀-패킷은 CacheTable의 활용 없이 그대로 BS로 전송을 하지만 CM5에서 전송되는 신호패킷을 전송 받았을 때는 신호패킷의 ID만 파악한 후 CacheTable의 내용을 조회하여 완전한 풀-패킷 형태로 변형하여 BS에게 전송하게 된다. 즉, 실제 센싱된 값이 CacheFilter에 저장된 반정적 데이터와 같다면, CacheFilter는 필터링을 하여 CH에게 신호패킷만 전송하는 것이다. CH는 신호패킷을 받아 CacheTable에 저장된 캐시 값을 조회, BS로 전송하게 되는 것이다. 때문에 BS는 ClusterMember의 신호패킷 만으로 멤버노드의 상태를 파악할 수 있으므로 전송되는 데이터의 양이 감소한다.

이더가 0.4이지만 실제 센싱 데이터는 0.3이므로 질의에 대한 응답이 필터링 되지 않고 순수한 풀-패킷형태로 전송하게 된다. 하지만 CM5같은 경우는 CacheFilter의 반정적 데이터와 실제 데이터가 같으므로 필터링하여 패킷용량이 작은 신호패킷만 전송하게 된다. CH에서는 CM3에서 전송된 풀-패킷은 CacheTable의 활용 없이 그대로 BS로 전송을 하지만 CM5에서 전송되는 신호패킷을 전송 받았을 때는 신호패킷의 ID만 파악한 후 CacheTable의 내용을 조회하여 완전한 풀-패킷 형태로 변형하여 BS에게 전송하게 된다. 즉, 실제 센싱된 값이 CacheFilter에 저장된 반정적 데이터와 같다면, CacheFilter는 필터링을 하여 CH에게 신호패킷만 전송하는 것이다. CH는 신호패킷을 받아 CacheTable에 저장된 캐시 값을 조회, BS로 전송하게 되는 것이다. 때문에 BS는 ClusterMember의 신호패킷 만으로 멤버노드의 상태를 파악할 수 있으므로 전송되는 데이터의 양이 감소한다.

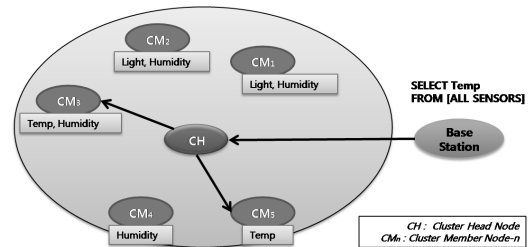


그림 7. 질의분배  
Fig. 6. Query Dissemination

### V. 성능평가 및 분석

본 장에서는 제안하는 질의 처리 기법의 에너지 효율성을 MATLAB을 이용하여 검증하였다. 센서 네트워크에서 RF모듈을 통한 전송되는 데이터양이 증가할수록 소모되는 에너지의 양이 많아지고 센서 노드 운영에 소모되는 에너지의 양은 미비하다. 그러므로 에너지 효율성을 높이려면 RF모듈을 통한 데이터 전송량을 줄여야한다. 전송에 사용되는 에너지 소모는 식 1과 같고 수신에 사용되는 에너지 소모는 식 2와 같기 때문에 거리(d)와 데이터의 양(k)은 에너지 효율에 있어 중요한 요소이다.

$$E_{tx}(k, d) = E_{elec} \times k + \epsilon_{amp} \times k \times d^\lambda$$

식 1

$$E_{rx}(k) = E_{elec} \times k$$

식 2

전송되는 데이터의 양과 에너지 효율성의 상관관계를 살펴 보기 위하여 식 1과 식 2를 활용하여 전송되는 데이터의 양과 소모되는 에너지양을 살펴보았다. 단, 본 논문에서는 데이터의 양에 따른 에너지 효율성 검증을 다루므로 센서 네트워크 환경 및 규모에 따른 센서노드 간에 전송거리의 차이는 고려하지 않았다. 이런 이유로 전송거리  $d$ 는 10으로 고정하고 전송 비용인  $E_{elec}$ 는  $50nJ/Bit$ , 증폭 비용인  $\epsilon_{amp}$ 는  $100pJ/Bit/m^2$ ,  $\lambda$ 값은 전송 손실이 없다고 가정하여 2가 된다. 그래프를 살펴보면 다음과 같다.

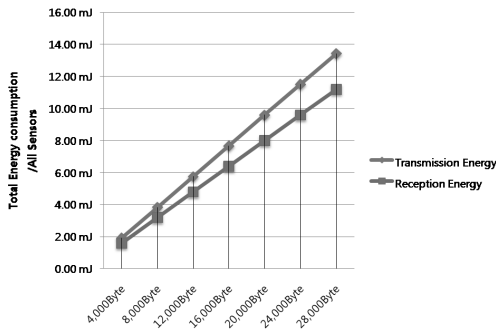


그림 8. 전송량에 따른 에너지 소모량 증가  
Fig. 8. Increased energy consumption, according to the amount of transmission data

전송되는 데이터의 양에 따라 센서 네트워크에서 소모되는 에너지양이 일정한 비율로 증가하는 것을 알 수 있음으로 전송되는 데이터의 양으로 에너지 효율성을 평가하였다.

표 1. 실험환경  
Table 1. Experiment Environment

파라미터	값
플-패킷의 크기( $FP_{size}$ )	100byte
신호-패킷의 크기( $SP_{size}$ )	10byte
헤드노드의 개수( $CH_{num}$ )	10
멤버노드의 개수( $CM_{num}$ )	100
속성의 범위( $\alpha$ )	1~6
측정값의 빈번도( $\beta$ )	0%~100%

센서 네트워크는 적용된 응용어플리케이션에 따라 사용할 수 있는 질의 종류도 다르게 응답하는 방법도 달라지기 때문에 한 번의 질의 단위로 데이터의 양을 측정하였다.

본 논문에서는 질의 종류를 가장 일반적인 전역적인 MEDIAN 형태의 질의로 가정하고 한 번의 전역질의에 발생하는 데이터의 양을 조사하여 평가하였다. 기지국에서 헤드노드의 전송과

헤드노드에서 멤버노드의 전송은 1번의 전송으로 정보의 수신이 가능하다고 가정한다. 전송되는 데이터의 양을 구하는 것은 식 3과 같다.

$$Bytes\ Transmitted = 2 \times FP_{size} \times CH_{num} + CM_{num} \times \left[ FP_{size} \times \left( \frac{2^{\alpha} - 1}{2^{\alpha} - 1} + (1 - \beta) \right) + SP_{size} \times \beta \right]$$

식 3

$FP_{size}$ 는 일반적으로 전송되는 플-패킷 크기,  $SP_{size}$ 는 신호 패킷 크기,  $CH_{num}$ 는 헤드노드의 개수,  $CM_{num}$ 는 멤버노드의 개수,  $\alpha$ 는 속성의 범위 그리고  $\beta$ 는 측정값의 빈번도이다.

본 논문에서 제안하는 기법은 속성의 개수와 측정값의 빈번도에 따라서 에너지 효율성이 달라짐으로  $FP_{size}$ ,  $SP_{size}$ ,  $CH_{num}$ ,  $CM_{num}$ 는 정적인 파라미터이며  $\alpha$ 와  $\beta$ 의 값이 변함에 따라 감소하는 데이터양을 그래프로 나타내면 다음과 같다.

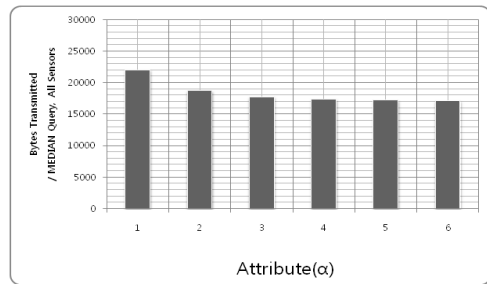


그림 9. 속성에 따른 전송량 감소  
Fig. 9. Attribute due to a reduction in the amount of transmission data

그림 9는 측정값의 빈번도를 0%로 가정하고 속성의 수가 증가함에 따라서 감소되는 데이터양을 그래프로 나타낸 것이다. 속성의 수가 늘어날수록 데이터의 양이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 전송되는 총 데이터의 양은 단일 속성일 때 22000byte이고 6가지 속성이 혼합되어 있을 때 17079.37byte로 데이터의 양이 약 77%로 감소하였다.

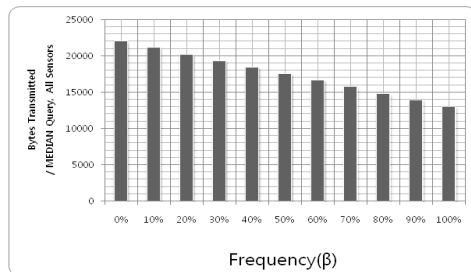


그림 10. 빈번도에 따른 전송량 감소  
Fig. 10. Frequency due to reduction in the amount of transmission data

그림 10는 속성의 개수를 단일속성으로 가정하고 측정되는 값의 빈번도에 따라서 감소되는 데이터의 양을 그래프로 나타낸 것이다. 빈번도가 증가할수록 데이터의 양이 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 전송되는 데이터의 양은 0%의 빈번도일 때 22000byte이고 100%의 빈번도일 때 13000byte로 데이터의 양이 약 59%로 감소하였다.

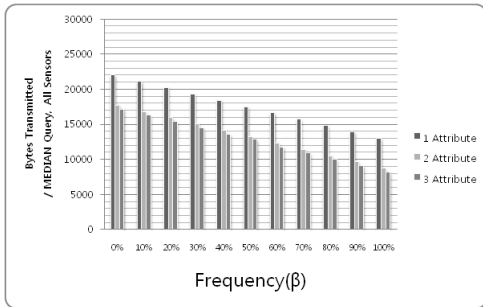


그림 11. 속성과 빈번도에 따른 전송량 감소  
Fig. 11. Attribute due to a reduction in the amount of transmission data

하지만, 어떠한 측정값이 100%로 똑 같은 값이 나온다는 것은 현실적으로 불가능하고 센서노드에서 측정할 수 있는 속성의 개수 자체도 많지 않다. 따라서 본 논문에서 제안된 기법을 현실적으로 가능한 세 개의 속성을 측정할 수 있는 센서노드로 가정하여 실험한 결과는 그림 11과 같다. 그림 11에서는 속성의 개수는 3으로 고정하고 값의 빈번도에 따라서 감소되는 데이터의 양을 그래프로 나타내었다. 속성의 개수가 3이고 50%의 빈번한 값이 측정될 때 전송되는 데이터의 양은 12579.37byte였다. 제안하는 기법을 사용하지 않고 전역적인 질의를 처리하였을 때, 데이터의 양은 22000byte인 반면에 제안하는 기법을 사용하면 12579.37byte로 약 60%로 감소하였다. 본 논문에서 제안한 기법을 사용하면 센서 네트워크의 측정할 수 있는 센싱 속성이 많을수록 질의분배의 효율성이 증가하고 발생하는 데이터의 빈번도가 높을수록 질의처리에 대한 캐시 필터링의 효율성이 증가하는 것을 알 수 있다.

## VI. 결론

센서 네트워크를 이용하여 정보를 처리하는 분야가 늘어남에 따라 효율적인 네트워크를 구성하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 에너지 효율성에 관한 연구가 가장 많이 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 클러스터 기반

네트워크에서 에너지가 효율적으로 사용될 수 있는 질의처리 방법인 EEQPM을 제안하였다. EEQPM은 기존에 제안되었던 DCS방법을 개선하여 클러스터 기반의 네트워크 특성에 맞게 설계하였다. EEQPM은 클러스터 형성과 CFCT를 구성하는 설정단계와 질의를 처리하고 분배하는 지속상태 단계로 구성하였다. 그리고 질의에 사용되는 데이터의 양을 최소화하기 위해 헤드노드에서 멤버노드들의 정적인 정보와 반정적인 정보를 저장하여 효율적인 질의분배를 하게 하였고 멤버노드는 센싱되는 값의 빈번도에 따라서 캐시를 사용하여 전송되는 데이터양을 줄였다. 검증 결과 센서노드의 센싱 속성의 범위와 측정되는 속성의 빈번도에 따라서 전송되는 데이터의 양이 줄어들음을 볼 수 있었다. 하지만 EEQPM에서는 질의 분배 시 질의 타입에 따른 분류가 되지 않았고 질의처리 시 데이터 병합을 하지 않아서 불필요한 데이터 전송이 되는 문제점이 발생되었다. 따라서 향후 연구를 통하여 질의 타입에 의한 질의 분배 방법과 클러스터 내의 효율적인 병합 방법에 대한 연구가 진행되어야 하고 헤드 노드에 있는 노드들의 정적, 반정적 데이터를 활용할 수 있는 새로운 질의 종류를 개발하고 그 데이터를 활용하여 클러스터의 상황을 인지하는 연구가 지속적으로 필요하다.

## 참고문헌

- [1] R. Szewczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, and D. Culler, "An Analysis of a Large Scale Habitat Monitoring Application," Proc. ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems, pp. 214 - 226, July 2004.
- [2] 양도, 이형봉 "USN을 위한 시간 동기화 프로토콜의 구현 및 평가" 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제 13권 7호, 213-220쪽, 2008년 12월.
- [3] 정운수, 김용태, 박길철, 이상호 "WSN의 확장성과 에너지 효율성을 보장하는 라우팅 프로토콜" 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제13권 4호, 105-113쪽 2008년 12월.
- [4] Sylvia Ratnasamy, Brad Karp, Ramesh Govindan "Data-Centric Storage in Sensornets with GHT, A Geographic Hash Table" Proc ACM Conf. pp. 78 - 87, Oct, 2002.
- [5] 김민수 이은규 "유비쿼터스 환경에서의 센서 데이터베이스 기술" IITA 기술동향 통권 1187호, 2005년 3월
- [6] S.Madden, M.J. Franklin, J.M. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: a Tiny Aggregation Service for

*Ad-Hoc Sensor Networks*", OSDI, pp. 131-146, Dec, 2002.

(7) S.Madden, M.J. Franklin, J.M. Hellerstein, and W. Hong, "*TinyDB : An acquisitional Query Processing System for Sensor Networks*" pp. 122-173, Mar, 2005.

(8) M. J. Handy, M. Haase, D. Timmermann "*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy with Deterministic Cluster-Head Selection*" IEEE Conference pp. 368-372, Jan, 2002.

(9) Ossama Younis and Sonia Fahmy "*HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks*" IEEE pp. 366-379, Oct, 2004.

**저 자 소 개**

**이 광 원**



2008년 2월 : 한국사이버대학교  
정보통신공학과 졸업  
현재 : 충주대학교 전자계산학과  
석사과정  
관심분야 : USN 데이터베이스, 무선  
센서 네트워크, Knowledge  
Database, 분산 데이터  
베이스

**황 윤 철**



1994년 2월 : 한남대학교 전자계산  
공학과 졸업  
1996년 8월 : 한남대학교 전자계산  
공학과 석사  
2008년 2월 : 충북대학교 전자계산  
학과 박사  
현재 : 충주대학교 첨단과학기술대학  
박사후 연구원  
관심분야 : Ad Hoc 및 센서 네트워크  
보안, IDS, ITS

**오 염 덕**



1993년 2월 : 홍익대학교 대학원  
전자계산학과 이학박사  
2001년 ~ 2002년 : 충주대학교  
전산정보원장  
1990년 ~ 현재 : 충주대학교 컴퓨터  
과학과 교수  
2009년 ~ 현재 : 충주대학교 공학  
교육 혁신 센터장  
2010년 ~ 현재 : 충주대학교  
첨단과학 대 학장  
관심분야 : USN 데이터베이스,  
Data Mining, 바이오  
데이터베이스