

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 인-네트워크 밀도 질의 처리

(Energy Efficient In-network  
Density Query Processing in  
Wireless Sensor Networks)

이 지 회 <sup>†</sup>      성 동 옥 <sup>†</sup>  
(Ji Hee Lee)      (Dong Ook Seong)

강 광 구 <sup>†</sup>      유 재 수 <sup>\*\*</sup>  
(Gwang Goo Kang)      (Jae Soo Yoo)

**요 약** 최근 센서 네트워크를 이용하여 이동 객체의 정보를 모니터링 하는 응용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 네트워크 전체 영역에서 대상 객체가 원하는 밀도로 분포하는 영역을 찾아내는 밀도 질의는 객체 모니터링 응용의 한 분야이다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 질의 처리를 위한 동종 센서 기반의 인-네트워크 밀도 질의 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 밀도 질의 처리의 정확도를 높이고, 에너지 소비를 최소화하기 위한 가능성 기반 예상 지역 선정 기법과 센싱 영역 면적 기반 결과 보정 기법을 수행한다. 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션을 통해 기존에 제안된 밀도 질의 처리 기법과의 성능을 비교하였다. 그 결과 기존 기법에 비해 질의

처리를 위한 에너지 소모는 약 92% 감소하였고, 그에 따른 네트워크 생존 시간이 증가하였다. 덧붙여, 기존 기법보다 제안하는 기법의 질의 결과가 더 높은 정확도를 보장한다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 밀도 질의, 인-네트워크

*Abstract* In recent, there have been done many studies on applications that monitor the information of mobile objects using Wireless Sensor Networks (WSN). A density query that finds out an area spread by density that a target object requires in the whole sensing field is a field of object monitoring applications. In this paper, we propose a novel homogeneous network-based in-network density query processing scheme that significantly reduces query processing costs and assures high accuracy. This scheme is based on the possibility-based expected region selection technique and the result compensation technique in order to enhance the accuracy of the density query and to minimize its energy consumption. To show the superiority of our proposed scheme, we compare it with the existing density query processing scheme. As a result, our proposed scheme reduces about 92% energy consumption for query processing, while its network lifetime increases compared to the existing scheme. In addition, the proposed scheme guarantees higher accuracy than the existing scheme in terms of the query result.

Key words : Wireless Sensor Networks, Density Query, In-Network Processing

## 1. 서론

최근 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다[1,2]. 밀도 질의는 특정 공간에 대상 객체가 일정 밀도 이상으로 분포하는 영역을 찾아내는 환경 모니터링을 위한 유용한 질의 중 하나이다. 예를 들어, 야생 동물 무리의 위치 탐색이나 교통 체증이 발생한 지역을 탐색하는데 유용하게 사용될 수 있다. 기존에 제안된 밀도 질의 처리 기법[3]은 질의를 배포하고 데이터를 수집하여 결과를 생성하는 연산 노드와 객체를 모니터링하는 일반 노드로 네트워크를 구성한다. 질의 결과를 생성하기 위해 연산 노드에서 중앙 집중식 질의 처리를 수행하기 때문에 대규모의 데이터 전송이 발생하여 네트워크의 수명을 감소시킨다. 뿐만 아니라, 일반 노드와 연산 노드의 이중 센서로 네트워크가 구성이 되기 때문에 네트워크 구축을 위한 큰 오버헤드가 발생하며, 확장성에도 문제를 가지고 있다. 이러한 점을 고려하여, 동종 센서 네트워크를 기반으로 하여 성능을 최대화할 수 있는 밀도 질의 처리 기법에 대한 연구가 필요하다. 본 논문에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 동종 네트워크 기반의 에너지 효율적인

- 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임(No. 2009-0080279)
- 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 인-네트워크 밀도 질의 처리'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

<sup>†</sup> 학생회원 : 충북대학교 정보통신공학  
ljhh82@nate.com  
seong.do@gmail.com  
joyana84@gmail.com

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학 교수  
yjs@chungbuk.ac.kr  
(Corresponding author)

논문접수 : 2010년 8월 11일

심사완료 : 2010년 10월 13일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제12호(2010.12)

밀도 질의 기법을 제안한다. 밀도 질의 처리 시에 에너지 소비를 최소화하기 위하여 가능성 기반 인-네트워크 질의 처리를 수행하여, 질의에 해당하는 밀도를 갖는 영역을 탐지한다. 더불어, 기존 밀도 처리 기법에서 언급되지 않았던 센싱 중복 영역과 센싱 불가 영역에 따른 정확도 저하 문제를 해결하기 위해 면적 기반 결과 보정 기법을 적용하여 높은 정확도를 갖는 밀도 질의 처리 기법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 제2장에서는 기존에 제안된 질의 처리 기법과 밀도 질의 처리 기법의 분석을 통해 문제점을 설명한다. 제3장에서는 제안하는 에너지 효율적인 밀도 질의 처리 기법의 구성 및 절차를 설명한다. 제4장에서는 제안하는 기법과 기존 기법과의 성능을 비교하며, 마지막으로 제5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구 방향에 대해서 설명한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 센서 네트워크의 질의 처리 기법

기존의 중앙 집중식 처리 기법은 서버나 기지국과 같은 특정 노드에서 모든 데이터를 수집하여 질의 결과를 도출한다. 중앙 집중식 처리 기법은 수많은 노드들이 감지된 정보를 모두 기지국으로 보내야 하므로 중복된 데이터의 수집 뿐만 아니라 모든 데이터를 수집해야 함으로 불필요한 전송에 따른 통신 비용이 증가하게 된다. 이는 중계해야 하는 노드들에게 부담이 될 뿐만 아니라, 데이터 집중 현상이 발생하기 때문에 네트워크 수명을 감소시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 연구된 TAG와 같은 인-네트워크 처리(in-network processing) 기법은 클러스터링 기법이나 라우팅 트리를 기반으로 하여 경로 상의 중간 노드들이 데이터를 병합을 수행한다. 그러므로 센서 네트워크 내부에서 병합된 결과만을 기지국으로 전송하기 때문에 데이터 전송을 감소시킨다. 특히, SUM, MIN, MAX와 같은 질의의 경우, 모든 데이터를 수집하지 않고 병합된 결과만을 수집하기 때문에 데이터 수집 비용을 감소시키는데 효과적이다. 중앙 집중식 처리 기법의 경우 라우팅 과정에서 패킷의 양이나 전송 횟수의 감소가 거의 없지만 네트워크 내 처리 기법의 경우에는 라우팅 경로 상의 노드가 데이터를 병합 후 전송하므로 패킷의 양과 전송 횟수가 감소한다. 따라서 에너지 효율성을 고려할 때, 네트워크 내 처리기법이 센서 네트워크와 같은 분산 환경에 적합하다.

### 2.2 센서 네트워크에서의 밀도 질의 처리 기법

네트워크 전체 영역에서 대상 객체가 원하는 밀도로 분포하는 영역을 찾아내는 질의를 밀도 질의라 한다. 기존에 제안된 연구[3]에서는 센서 노드와 연산 노드의 이중 센서를 기반으로 네트워크가 구성되어 있다. 센서

노드는 자신의 센싱 영역 안의 객체의 수를 감지하는 역할을 한다. 연산 노드는 자신이 담당하고 있는 모든 센서 노드들에서 감지한 객체 센싱 데이터를 무선 통신을 이용해 수집하고, 연산을 수행하여 질의의 결과를 생성한다. 생성된 질의 결과는 자신과 연결된 연산 노드 중 질의를 생성한 노드에게 전달된다. 질의 결과를 생성하기 위해, 일반 센서 노드는 자신의 센싱 반경 내에 위치한 모든 객체의 정보를 수집 및 전송하여 연산 노드에서 결과를 도출하는 중앙 집중식 질의 처리 기법을 수행한다. 그렇기 때문에 일반 노드에서 센싱한 정보를 연산 노드로 전송하기 위한 과도한 송수신 비용이 소모된다. 뿐만 아니라, 연산 노드 인근에 위치한 노드는 데이터 전달 과정에서 발생하는 데이터 집중 문제로 인한 에너지 소모가 가속화함에 따라 네트워크 수명이 감소하게 되는 문제점을 가지고 있다. 일반 센서 노드와 성능이 뛰어난 연산 노드의 이중 센서 네트워크로 구성이 되기 때문에 네트워크 구축을 위한 과도한 오버헤드가 발생하고 확장성에 있어 취약하다는 문제를 가지고 있다.

## 3. 제안하는 에너지 효율적인 네트워크 내 밀도 질의 처리 기법

기존에 제안된 밀도 질의 처리 기법은 센싱 영역 안에 객체의 수를 감지하는 센서 노드와 자신이 담당하고 있는 센서 노드들에서 감지한 데이터를 수집하여 질의의 결과를 생성하는 연산 노드로 네트워크를 구성한다. 질의에 대한 결과를 생성하기 위해 연산 노드에서의 중앙 집중식 질의 처리가 이루어져야 하기 때문에 큰 데이터 비용이 발생하여 네트워크의 수명을 감소시킨다. 또한 기존기법에서는 이중의 센서를 기반으로 네트워크를 구축하므로, 네트워크 구축에 과도한 오버헤드가 발생하며, 확장성 측면에 있어서도 취약하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 장에서는 네트워크 구축 오버헤드를 감소시키고 확장성을 고려한 동종 센서 기반의 에너지 효율적인 밀도 질의 기법을 제안한다.

### 3.1 가능성 기반 예상 지역 선정 기법

본 가능성 기반의 예상 지역 선정 기법은 임의의 지역에서 발생하는 자연 현상의 분포는 일반적으로 인접 지역에서 일어나는 자연 현상과 유사하거나 크게 차이가 나지 않는다는 이론에 입각한다. 예를 들어, 그림 1의 예에서, '해수온이 15°C 이상이고, 크기가 100m<sup>2</sup> 이상인 지역을 알려달라'는 질의를 배포한다고 가정하자. 일반적으로 해수온의 분포는 지리적 연관성에 근거하여 인접한 지점과 유사한 온도 분포를 가진다. 그렇기 때문에 일단 질의에서 요청하는 온도 이상을 가진 지점을 찾으면, 인접한 지역의 수온은 처음 찾은 지점과 유사한 해수온 분포를 가지므로 이 지점부터 일정한 크기만큼

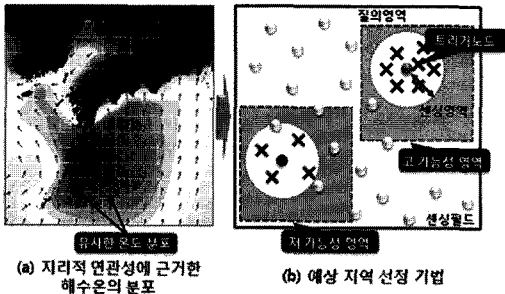


그림 1 가능성 기반 예상 지역 선정 기법의 예

영역을 확장해 나가면서 조건에 만족하는 영역을 검출하여 반환하면 전체 지역을 탐색하여 결과를 반환하는 것보다 질의 처리를 위한 비용과 처리 시간의 측면에서 큰 이익을 가질 수 있다.

가능성 기반 예상 지역 선정 기법은 최초의 시발점이 되는 노드인 트리거 노드를 찾는 것이 가장 중요하다. 트리거 노드는 질의에서 주어진 밀도를 만족시키는 영역이고, 트리거 노드로부터 영역의 크기를 확장시키면 질의 결과는 높은 확률을 가지게 된다. 반면, 트리거 노드가 아닌 그 외의 노드는 그 주변부도 밀도가 낮은 것이므로, 질의의 결과로 만족시키기에 낮은 확률을 갖는다. 트리거 노드는 센서 노드에서 센싱한 객체 밀도를 반환하는 식 (1)에 기반하여, 센싱 영역의 밀도가 배포된 질의의 밀도와 같거나 그 이상인 노드를 선정한다. 식 (1)에서  $a$ 는 사용자 밀도 지수로서 응용에 따라 노드 단위로 가변적으로 조절이 가능하다. 기본적으로 센싱한 객체 밀도가 질의에서 주어진 밀도보다 높은 노드는 모두 후보 트리거 노드가 되지만, 그 중에서도 가장 높은 정도의 밀도를 가지는 노드가 순차적으로 실제 트리거 노드가 된다. 네트워크 내 처리를 이용한 트리거 노드 선정을 위하여, 후보 트리거 노드 중 가장 높은 밀도(10)를 갖는 노드는 1초대, 9는 2초대, 8은 3초대에 메시지를 보내는 방법으로 순차적으로 실제 트리거 노드를 선정하고 질의 결과를 생성하기 위한 연산을 수행하게 된다.

트리거 노드 선정 조건 :

$$( \text{센싱 영역의 객체 밀도} \pm a ) \geq$$

배포된 질의의 객체 밀도 (1)

위에서 언급한대로, 트리거 노드에 기반한 가장 가능성이 높은 지역부터 검증하는데, 인근 지역의 가능성이 높기 때문에 인근 노드가 센싱을 더 해나가면서 조사 영역을 확장해 나간다. 트리거 노드를 중심으로 한 조사 가능 영역을 설정하고, 조사 가능 영역을 사방형으로 논리적 분할을 수행한다. 질의 결과 영역은 반드시 트리거 노드를 포함해야 하기 때문에, 트리거 노드를 포함할 수

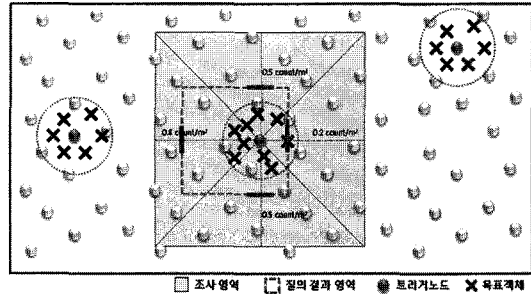


그림 2 트리거 노드 선정 및 질의 결과 영역 반환

있는 다양한 위치의 영역 선정 가능성을 고려한 최대 영역이 조사 가능 영역으로 설정된다. 조사 가능 영역을 사방형으로 분리하고, 분리된 인근 지역에 위치한 노드들이 수집한 센싱 객체의 밀도를 수집하여, 각 지역의 밀도를 계산하고, 이 정보를 바탕으로 하여 질의 결과 영역을 결정한다. 예를 들어, 그림 2에서 최대 조사 가능 영역을 설정한 후, 사방형으로 분리된 각 영역에서 센싱한 객체 밀도를 수집한다. 그림에서 각 방향의 밀도는 0.5count/m<sup>2</sup>, 0.2count/m<sup>2</sup>, 0.5count/m<sup>2</sup>, 0.8count/m<sup>2</sup> (복쪽부터 시계방향)가 된다. 최종적으로 질의 결과 영역은 각 영역에서 수집된 밀도와 같은 비율로 위치시켜서 결과를 생성한 후 질의 처리를 완료한다.

3.2 센싱 영역 면적 기반 결과 보정 기법

센서 노드의 센싱 환경에 따라 결과 정확도에 많은 영향을 미친다. 센서 노드의 배치에 의해 노드의 센싱 영역이 중복됨에 따라 대상 객체가 중복 탐지되는 문제가 발생한다. 뿐만 아니라 센싱 영역이 너무 작을 경우, 센싱 불가 영역이 생김에 따라 대상 객체에 대한 탐지가 불가능한 경우도 발생한다. 두 가지 경우는 모두 질의 결과의 정확도 감소로 연결된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 센싱 영역 면적 기반의 결과 보정 기법을 제안한다.

그림 3과 같이 센싱 영역이 중복됨에 따라 객체가 중복 탐지 되면 실제 객체의 수보다 더 많은 수가 센싱이 된다. 반면에 센싱 불가 영역이 있을 경우 누락 되어버

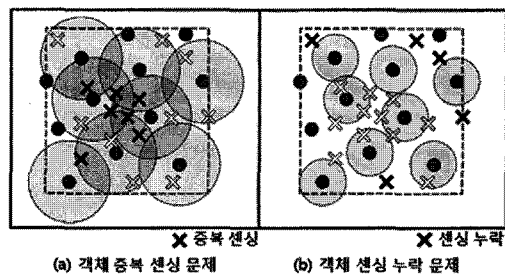


그림 3 센싱 영역에 따른 중복 센싱 및 센싱 누락

리는 객체가 존재하게 된다. 그렇기 때문에 센싱 영역의 중복 및 불가 영역을 집계하고 그 정도에 따라 결과를 보정한다. 각 노드는 센싱 반경이 결정되어 있기 때문에 자신의 센싱 영역이 이웃 노드의 센싱 영역과 어느 정도의 면적이 겹치는지, 혹은 그렇지 않은지에 대한 연산이 가능하다. 그러므로, 센싱 중복 영역 및 불가 영역을 집계한 후 식 (2)를 이용하여 면적 기반의 결과 보정 기법을 수행하게 된다.

$$\text{보정 객체수} = \frac{\text{질의영역의면적} \times \text{센싱 객체수}}{\sum (\text{센싱영역의면적})} \quad (2)$$

### 4. 성능평가

#### 4.1 실험 환경

제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해서 사용한 시뮬레이션 환경은 다음과 같다. 랜덤 가우시안 함수를 이용하여 객체를 발생시키고, 기존 기법의 연산 노드 4개는 센서 네트워크에 사분면의 중심에 배치하였다.

제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존 기법과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 및 평가하였다. 시뮬레이션은 표 1과 같은 환경 변수를 바탕으로 진행하였다.

센서 노드의 메시지 전송에 소모되는 에너지 모델은 {메시지 크기} × {전송 비용} + {중복 비용} × {거리}²이며, 전송 비용은 50nJ/b, 중복 비용은 100pJ/b/m²으로 설정한다[4].

표 1 성능 평가 환경

파라미터	값
센서 네트워크의 크기(m)	80m×80m ~ 160m×160m
센서 노드의 수 (개)	600 ~ 1600개
질의 면적 (m)	10m×10m ~ 20m×20m
질의 밀도 (%)	60 ~ 80%
객체 수 (개)	3600 ~ 10000개
센서 초기 에너지 (μJ)	100000 μJ

#### 4.2 실험 결과

그림 4는 센서 네트워크 크기에 따른 네트워크의 에너지 소모량을 기존의 밀도 질의 처리 기법과 비교한 결과를 나타낸다. 센서 네트워크 크기에 따라 제안하는 기법은 일정하게 유지가 되지만, 기존 기법은 점차 증가하는 모습을 보인다. 기존 기법은 전체 노드가 질의 결과 영역을 찾기 위해 수집한 데이터를 연산 노드로 송수신 하지만, 제안하는 기법은 모든 연산을 네트워크 내 연산으로 처리하기 때문에 송수신 비용이 증가하지 않는다. 네트워크 사이즈가 증가하더라도 일정한 에너지 소모를 보임에 따라 네트워크 생존 시간 역시 일정하게

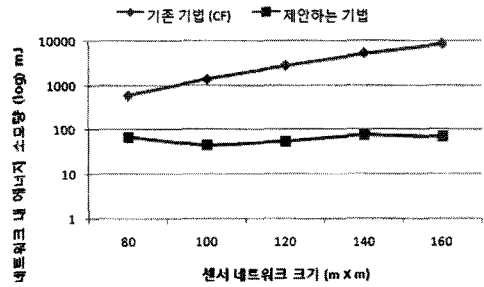


그림 4 센서 네트워크 크기에 따른 성능 평가

유지하게 된다. 분석을 한 결과 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 10~81%정도의 성능 향상이 되었음을 알 수 있었다.

그림 5는 타겟 객체의 수에 따라 기존 기법은 일정하게 에너지 소모를 보이지만, 제안하는 기법은 점차 증가하는 모습을 보인다. 객체 수가 많아지면 센서 네트워크의 배포된 객체 밀도가 전체적으로 증가하므로, 이에 따라 제안하는 기법에서는 질의에 만족하는 영역을 찾기 위한 트리거 노드도 많이 생성되고, 연산량이 증가하게 된다. 일반적으로 하나의 트리거 노드는 기존 기법에서의 일반 노드보다 에너지를 빠르게 소모하게 된다. 이에 따라 타겟 객체가 6400개로 증가할 때까지 제안하는 기법이 기존 기법에 비해 최대 약 59%의 성능 향상이 되었지만, 점차 타겟 객체가 증가함에 따라 기존 기법에 비해 좋지 않은 성능을 보인다.

그림 6은 가우시안 분포에 따른 네트워크의 에너지 소모량을 기존의 밀도 질의 처리 기법과 비교 평가한 결과를 나타낸다. 센싱 필드 내에 가우시안 형태를 보이는 대상 객체의 중심 분포 영역이 1개일 때 최고의 성능을 보인다. 대상 객체의 분포가 점차 증가함에 따라 비슷한 에너지 소모량을 보이지만, 분포 영역이 4개 일 때는 오히려 에너지 소모량이 줄어든다. 대상 객체의 중심 분포 지역을 증가시킴에 따라 한정된 수의 대상 객체가 점차 여러 지역에 분산되기 때문에 밀도가 감소하게 된다. 밀도가 감소함에 따라 트리거 노드가 선정될

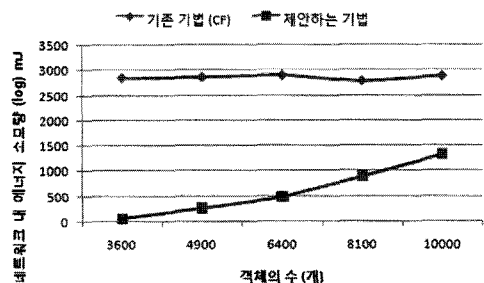


그림 5 객체의 수에 따른 성능 평가

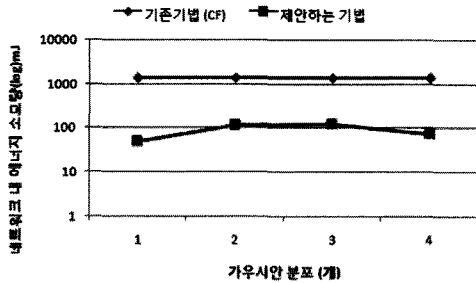


그림 6 가우시안 분포에 따른 성능 평가

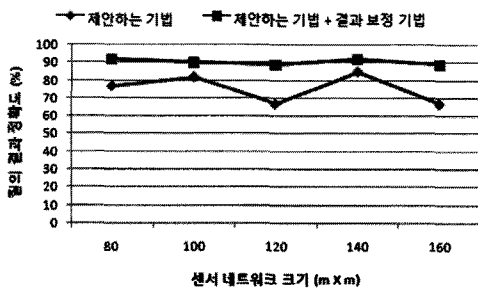


그림 7 결과 보정 기법의 질의 결과 정확도

가능성이 낮아지게 되고, 질의 처리를 수행하는 노드의 수가 감소하므로 에너지 소모량이 줄어들게 된다.

그림 7은 네트워크의 크기에 따른 제안하는 기법과 보정 기법을 적용한 후의 밀도 질의 정확도를 평가한 결과이다. 제안하는 기법은 센서 노드가 임의로 배치되고, 자신의 센싱 반경에 따른 중복 센싱 영역 및 센싱 불가 영역이 존재함으로써, 중복 센싱 및 센싱 누락되는 객체가 나타나고 그로 인해 질의 결과가 낮아지게 된다. 하지만 전체 영역에 대한 센싱 영역의 측정을 통한 보정기법을 적용 하였을 경우, 중복 센싱 및 센싱 누락되는 객체에 대한 통계적인 보정을 거침으로써, 높은 정확도를 기대할 수 있다. 성능평가 결과 제안하는 기법의 질의에 만족하는 밀도 영역 탐지 비율은 평균 76%이지만, 보정 기법을 적용한 이후에는 평균 90%로 상승하였고, 보정 기법이 본 제안하는 기법에 있어 의미가 있음을 확인할 수 있었다.

### 5. 결론

본 논문에서는 기존에 제안된 중앙 집중식 밀도 질의 처리 기법의 문제점을 분석하고, 에너지 효율적인 인-네트워크 밀도 질의 처리 기법을 제안하였다. 기존의 밀도 질의 처리 기법은 수많은 객체들이 감지된 정보를 모두 기지국으로 전송하여야 하므로 데이터 전송이 증가하여 그에 따른 에너지 소모량이 크다. 또한 이종의 센서를 기반으로 네트워크를 구성하기 때문에 인프라 구축을

위한 큰 오버헤드가 발생하고 범용성이 저하된다. 더불어 중복 센싱 영역이나 센싱 불가 영역으로 인해 낮은 밀도 질의 결과 정확도를 보인다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 에너지 효율적인 밀도 질의 처리를 위한 동종 센서 기반의 인-네트워크 밀도 질의 처리 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 밀도 질의 처리의 정확도를 높이고, 에너지 소비를 최소화하기 위한 가능성 기반 예상 지역 선정 기법과 센싱 영역 면적 기반 결과 보정 기법을 인-네트워크 방식으로 수행한다. 성능평가 결과 기존 기법에 비해 에너지 소모는 약 92% 감소하였고, 그에 따른 네트워크 생존 시간이 증가하는 것을 확인하였으며, 밀도 질의 결과 보정 기법을 통해 결과의 높은 정확도를 만족시킬 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] Szewczyk, R., Mainwaring, A., Polastre, J., Anderson, J., Culler, D., "An analysis of a large scale habitat monitoring application," *Proc. of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, pp.214-226, 2004.
- [2] Szewczyk, R., Osterweil, E., Palastre, J., Hamilton, M., Mainwaring, A., Estrin, D., "Habitat monitoring with sensor networks," *Communications of the ACM*, pp.34-40, 2004.
- [3] Xuegang, H., Hua, L., "Snapshot Density Queries on Location Sensors," *Proc. of the 6th ACM international workshop on Data engineering for wireless and mobile access*, pp.75-78, 2007.
- [4] Kamimura, J., Wakamiya N., and Murata M., "A Distributed Clustering Method for Energy-Efficient Data Gathering in Sensor Networks," *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, pp.113-120, 2004.