

무선 센서 네트워크 환경에서 그리드 구조를 이용한 다중 질의 처리 기법 (Multi-Query Processing using the Grid Structure in Wireless Sensor Networks)

강 광 구 [†] 성 동 옥 [†]
(Gwang Goo Kang) (Dong Ook Seong)

유 재 수 ^{**}
(Jae Soo Yoo)

요 약 최근 센서 네트워크의 활용 분야가 증가함에 따라 시스템을 효율적으로 운용하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다. 대표적인 연구로 센서가 에너지를 소모하는데 있어서 큰 비중을 차지하는 데이터 전송 비용을 줄이기 위해서 질의 최적화 기법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 다수의 영역 질의가 발생하였을 때 질의들 간의 부분 결과를 공유함으로써 에너지 효율적인 다중 질의 처리 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 그리드 구조를 이용하여 직관적인 위치 판별을 가능케 하여 주변 노드들과의 불필요한 메시지 전송을 줄이고, 중복된 영역을 인지함으로써 효율적인 데이터 공유가 가능하다. 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 기존에 제안된 기법과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교평가 하였다. 그 결과, 다중 질의 처리 시 발생하는 에너지 소모가 기존 기법에 비해 약 65% 감소되었다.

키워드 : 센서 네트워크, 다중 질의, 데이터 공유, 그리드

· 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임(No. 2009-0080279)

· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 '무선 센서 네트워크 환경에서 그리드 기반 다중 질의 처리 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 충북대학교 정보통신공학
joyana84@gmail.com
seong.do@gmail.com

^{**} 종신회원 : 충북대학교 정보통신공학부 교수
yjs@chungbuk.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2010년 8월 11일
심사완료 : 2010년 9월 28일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 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 대해서는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.
정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제16권 제11호(2010.11)

Abstract In recent, as many applications of sensor networks increase, various techniques have been studied to efficiently operate network systems. The query optimization scheme that is one of such techniques has been studied to reduce the data transmission cost. The data transmission is of great importance to the energy consumption of sensor networks. In this paper, we propose an energy-efficient multiple queries processing scheme by sharing sensor readings for multiple queries, when they are occurred in sensor networks. The proposed scheme reduces unnecessary data transmissions among the sensor nodes by intuitively identifying their locations using the grid structure. It also efficiently shares the data by recognizing the redundant regions of sensor nodes. In order to show the superiority of the proposed scheme, we compare it with the existing scheme in various experiments. As the result, the proposed scheme reduces about 65% energy consumption over the existing scheme.

Key words : Sensor Networks, Multiple Queries, Data Sharing, Grid Structure

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 광범위한 영역의 온도, 습도, 조도 등 다양한 데이터를 수집할 수 있는 수백~수천 개의 센서 노드들로 구성되어 있다. 센서 네트워크는 환경 모니터링, 건강 관리 시스템, 군사 응용, 재난, 교통 정보 등 다양한 응용분야에 사용된다. 그러나 센서 네트워크는 제한된 무선 통신 대역폭, 낮은 컴퓨팅 성능 그리고 자체 배터리를 이용한 에너지 공급 등 여러 하드웨어적 제약사항들을 가지고 있다[1].

일반적으로 센서 노드는 다양한 형태로 에너지를 소모하고 있다. 대표적으로 노드가 데이터를 수집하기 위하여 관심 지역에 정보를 수집함으로써 에너지를 소모한다. 그러나 노드들은 데이터를 수집 및 데이터 송수신을 위해 항상 활성 대기 상태에서 소모하는 비용이 더 많다. [2]는 센서 노드의 수명을 증가 시키기 위해서 노드의 활성/수면 상태 기법을 제안하였다. 센서 노드는 데이터의 전송하는 과정에서 에너지 소모를 발생하는데, 이는 에너지 소모 비용 문제에 대해서 큰 비중을 차지한다. 이를 해결하기 위해서 네트워크 상에서 데이터를 병합 처리하는 인-네트워크(In-network) 기법이 연구되고 있다[3,4].

최근에는 센서 데이터를 효율적으로 처리하기 위해서 두 가지 방식으로 접근하고 있다. 첫 번째는 중앙집중식 방식으로 기지국에서 센서 데이터를 모두 수집하여 질의를 처리하는 방식이다. 두 번째는 인-네트워크 방식으로 질의가 센서 네트워크로 삽입되면 센서 노드들이 질의를 처리하는 방식이다. 이는 질의 유형에 따라서 중앙

집중식 보다 센서 네트워크를 효율적으로 관리한다. 대표적인 예로 병합 질의(SUM, AVG, COUNT, MIN, MAX)가 해당되며, TAG[5]는 SQL을 기반으로 센서 노드의 제한적인 자원을 효율적으로 사용하기 위한 에너지 효율적인 병합 질의 처리 기법을 제공한다. 센서 네트워크에서 병합 질의 처리 기법은 단일 질의 처리에 집중되고 있는데, 사용자들의 요구가 늘어남에 따라, 다중 질의를 효과적으로 처리하기 위한 필요성이 부각되고 있다. 특히 다중 영역 질의가 발생하였을 때, 중복되는 영역에 대해서 센서의 데이터를 공유하여 데이터 전송을 줄임으로써 센서 네트워크를 효율적으로 사용할 수 있다[6].

[7]은 다중 질의 시 중복 영역에 대한 병합 결과를 공유하는 기법을 제안한다. 이 기법은 기지국에서 질의를 배포하는 형식이 아닌, 센서 네트워크로 다른 노드에 각 질의가 비동기적으로 삽입되는 경우이다. 이는 초기 센서 네트워크 배포될 때 병합 라우팅 패스를 미리 구축함으로써 질의가 중복된 영역에 있는 노드들은 질의 접점에 상관없이 한번만 데이터를 전송한다. 병합한 데이터는 데이터 전송 링크를 사용하여 최초 질의를 받은 노드로 전송한다. 여기서 데이터 전송 링크는 데이터를 병합한 최상위 노드에서 최초 질의를 받은 노드로 데이터를 전송하는 라우팅 패스이다. 그러나 [7]은 고정된 병합 라우팅 패스로 인하여 가변적인 영역 질의에 대하여 비 효율적인 데이터 공유가 발생하며, 질의 노드로 데이터를 전송하는데 있어서 에너지 비용이 증가한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 다중 질의 발생시 중복 영역에 대해서 기존 질의의 병합 라우팅 패스를 최대한 유지하면서 병합 데이터를 공유하는 그리드 기반 다중 질의 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 인-네트워크상에서 효율적인 병합 질의 처리를 위해 그리드 구조를 이용한다. 중복된 영역에 대해서 병합한 데이터를 효율적으로 각 질의 노드에 전송하기 위한 데이터 전송 노드 선정 기법을 제안하고, 성능평가를 통해 제안하는 기법이 기존 기법 보다 에너지 소모가 감소함을 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 기술하고, 3장에서는 제안하는 기법인 그리드 기반 다중 질의 처리 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 제안하는 기법에 우수함을 보이는 성능평가, 5장에서는 결론 및 향후 연구로 이 논문을 마무리 짓는다.

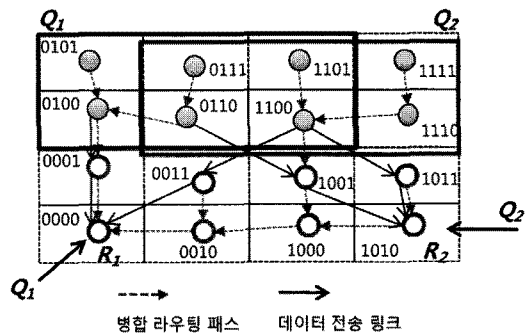
2. 관련 연구

[5]는 저전력, 분산, 무선 환경에서 데이터 병합을 효과적으로 수행하기 위한 Tiny Aggregation(TAG) 서비스를 제안한다. TAG는 센서 데이터를 네트워크 내부

에서 효율적으로 병합하기 위해서 트리 구조의 네트워크를 구성하여 하위 레벨에의 노드로부터 수신된 데이터와 자신의 수집한 데이터를 병합한 후, 상위 레벨로 병합 결과를 전송한다. 그러나 이 기법은 단일 질의 처리에 대해서만 다루고 있다.

[8]은 무선 센서 네트워크에서 영역 기반의 질의를 효율적으로 처리하기 위한 데이터 공유 기법을 제안한다. [8]은 센서들 사이에서 에너지 소비를 줄이기 위해 질의 추가 시 질의 간 겹치는 영역에 대해서 결과를 공유하여 처리하는 기법이다. 그러나 중앙집중식 방식으로 기지국에서 질의를 최적화 하는 방식으로 인-네트워크 환경에서는 적용하기 힘들다.

[7]은 질의 영역이 중복되는 다른 질의들 사이에서 센서 데이터와 데이터 전송을 공유함으로써 센서 네트워크를 효율적으로 사용하는 기법을 제안한다. [7]은 센서 노드에 의해 제공된 데이터를 공유를 증가시키기 위해 센서가 배포되면 DIM[9]을 이용하여 센서 네트워크를 분할한다. 분할된 영역들은 고유의 영역 코드가 존재하며, 각 노드들은 자신이 포함된 영역의 코드를 소유하게 된다. 센서 네트워크가 분할되면 각 노드는 코드 정보를 가지고 병합 라우팅 패스를 구축한다. 병합 라우팅 패스는 초기에 구축되면 변경되지 않는다. 그림 1은 질의 Q_1 과 Q_2 가 동시에 발생하여 데이터를 전송하기 위한 라우팅 패스를 보여준다. 노드 R_1 은 질의 Q_1 이 최초로 삽입된 노드이며, 이 노드를 질의 노드라고 한다. 마찬가지로 R_2 는 질의 Q_2 에 대한 질의 노드이다. 데이터 전송 링크는 마지막으로 병합한 노드에서 질의 노드로 데이터를 전송하는 라우팅 패스이다. 질의가 발생하면 질의에 포함된 노드들은 자식 노드로부터 받은 데이터를 자신의 데이터와 병합 후 부모노드로 전송한다. 그림 1에서는 영역 코드 $\{(0110), (0111), (1100), (1101)\}$ 가지는 노드들의 데이터를 공유하여 사용한다. 그리고 데이터를 마지막으로 병합한 노드는 질의 노드로 데이터 전송 링크를 통하여 질의 노드로 데이터를 전송한다. 여기서 영



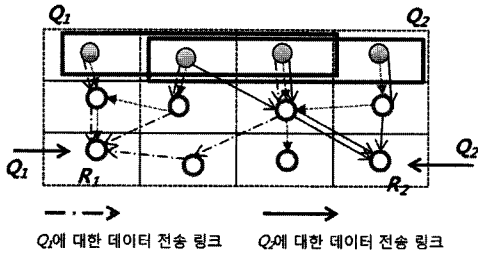


그림 2 고정된 병합 라우팅 패스에 따른 문제점

역 코드 ((0100)) 가지는 노드는 R_1 으로 전송하고, 노드 ((0110))는 R_2 로 전송한다. 질의가 2개가 포함된 노드 ((1100))는 R_1 과 R_2 로 데이터를 전송한다.

일반적으로 영역 질의 형태는 매우 가변적이다. [7]은 고정된 병합 라우팅 패스 구축으로 인하여 가변적인 영역 질의 형태에서는 비 효율적인 데이터 공유가 발생한다. 그림 2는 고정된 병합 라우팅 패스에 따른 문제점을 보여주고 있다. 질의 Q_1 과 Q_2 가 그림과 같이 발생하면, 각 노드는 데이터의 병합 없이 각 질의 노드로 데이터를 전송하게 된다. 이와 같은 경우는 데이터의 공유 없이 Q_1 과 Q_2 가 각각 질의 처리 되고 있어, 연속적인 질의 처리시 데이터 전송 비용이 증가한다. 또한 질의 영역 내에 최상위 병합 노드(회색 노드)가 많아 짐에 따라 각 질의 노드로 데이터를 전송하는 비용이 증가한다.

3. 제안하는 기법(Grid based Multi-Query Processing)

본 논문에서는 기존 연구에서 고정된 병합 라우팅 패스로 인한 비 효율적인 데이터 공유를 해결하기 위해 새로운 데이터 공유 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 인-네트워크 환경에서 다중 질의 시 중복된 영역에 대한 병합 데이터와 데이터 전송을 공유 하기 위해 그리드 구조를 이용한다. 초기에 센서가 배포되면, 센서 네트워크를 그리드 셀로 나눈다. 각각의 셀은 코드 $[(0, 0), (0, 1), (0, 2), \dots, (X, Y)]$ 로 나타낸다. 각 노드는 자신의 위치 $[x, y]$ 와 센서 네트워크 크기 $[(0, X) \times (0, Y)]$ 그리고 그리드 해상도 $[(X) \times (Y)]$ 정보를 유지함으로써 어떠한 셀 코드를 나타내는 지역에 대한 지리적인 정보를 알 수 있다. 각 노드는 영역 질의를 받았을 때, 질의 영역을 나타내는 셀들의 집합을 독립적으로 확인할 수 있다. 이것은 각 노드가 중복된 영역 여부에 대한 연산을 가능하게 한다.

그림 3은 하나의 센서 노드의 저장 정보를 보여주고 있다. Node_info는 노드의 기본적인 정보로 자신의 위치와 고유 아이디 번호가 포함되어 있다. Query_list는 질의와 질의를 나타내는 셀들의 집합에 대한 정보이며,



그림 3 센서 노드 정보

Cell_list는 셀에 대한 코드 및 지리적인 영역 정보이다. 마지막으로 Parent_info는 부모노드의 위치와 부모노드의 셀 코드 정보로써 질의 추가 시 노드는 부모 노드와 추가적인 통신 없이 질의 중복 관계 여부를 알 수 있다. 각 노드는 그림과 같은 저장 정보를 유지함으로써 다른 노드와의 불 필요한 메시지 송수신을 줄여 센서 네트워크를 효율적으로 사용한다.

그림 4는 센서 네트워크에 단일 질의가 배포된 상황이다. 질의가 발생하면 각 노드는 회색 노드(Root node)까지 병합 라우팅 패스를 구축한다. 여기서 회색 노드 R_1 은 질의가 최초로 삽입된 노드이고, 이때 각 노드는 부모 노드의 위치와 셀 정보를 유지하게 된다.

그림 5는 기존 질의(Q_1)가 수행 도중에 새로운 질의(Q_2)가 삽입된 상황이다. 제안하는 기법은 다중 질의 시 센서 노드에 의해 발생된 병합 데이터 공유를 증가시키기 위해서 기존 질의의 병합 라우팅 패스를 최대한 유지한다. 질의 Q_2 에 포함된 노드 중에서 Q_1 과 Q_2 를 소유하고 있는 노드를 제외한 나머지 노드는 R_2 까지 병합 라우팅 패스를 구축한다. 그리고 질의가 중복된 영역에 있는 노드들은 기존 질의의 병합 라우팅 패스를 유지한다. 노드 S_1 은 자신의 부모 노드(N_1) 셀 정보를 확인하여 부모 노드와의 질의 중복 관계를 알 수 있다. 즉, 노드 N_1 은 Q_1 만 포함되어 있고, 노드 S_1 은 Q_1, Q_2 가 포함되어 있어 S_1 은 중복된 영역에서 최상위 노드임을 인지 한다. 이 노드를 Separate Node라고 정의한다. Separate Node로 인지한 노드들은(S_1, S_2) 더 이상 부모 노드로 데이터를 전송하지 않고, 중복된 영역에 있는 노드 중에서 R_1 과 R_2 로 데이터 전송을 담당하는 노드로 전송한다.

그림 6은 중복된 영역들의 데이터가 하나로 병합되고,

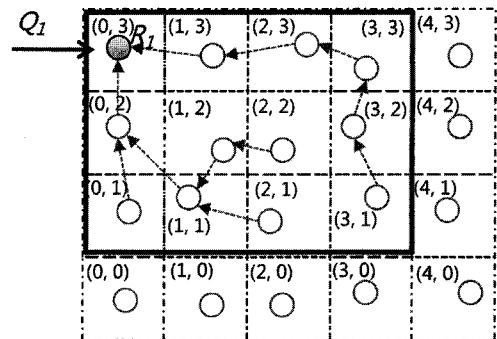


그림 4 그리드 구조 단일 질의 처리

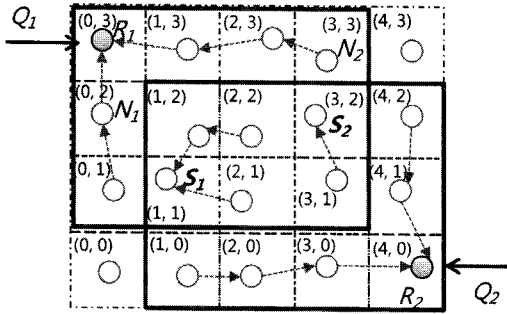


그림 5 다중 질의 발생

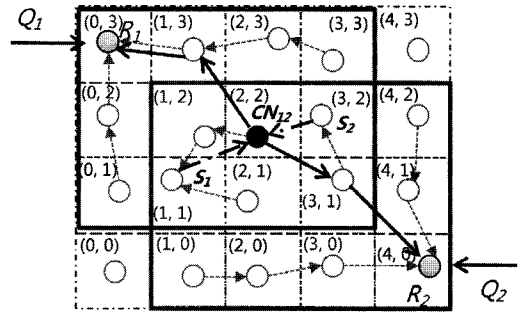


그림 6 다중 질의 라우팅 패스

질의 노드 R_1, R_2 로 병합된 데이터를 전송하는 라우팅 패스를 보여준다. 데이터 병합 패스는 노드 S_1 과 S_2 가 소유하고 있는 데이터를 한 곳으로 병합하는 패스이며, 데이터 전송 링크는 하나로 병합된 데이터를 각 질의 노드로 전송하는 패스이다. 노드 CN_{12} (중앙 노드)은 Q_1 과 Q_2 에 대한 중복된 영역의 최종으로 병합된 데이터를 소유한 노드로써 중복된 영역 노드 중에서 각 질의 노드와 거리의 합이 최소가 되는 노드이다. 노드 S_1 과 S_2 는 중앙 노드 CN_{12} 의 위치를 알 수 없지만, 각 노드 사이에 메시지 송수신 없이 중앙 노드 CN_{12} 방향으로 데이터를 전송할 수 있다. 중복된 영역에 있는 노드들은 중복된 영역들의 셀들의 지리적인 정보와, 질의 노드 위치 정보를 가지고 각 셀에 대한 거리를 확인할 수 있다. 셀과 각 질의 노드 거리의 합에서 가장 작은 값을 가지는 셀에 포함되는 노드는 중복된 영역에 대해서 중앙 노드가 되며, 노드 S_1 과 S_2 는 그 셀 방향으로 데이터를 전송한다. 이것은 다음 아래의 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$Cell(x, y) = \left\{ Cell \mid \text{MIN} \left[\sum_{i=1}^N dis(\forall Cell \subseteq Q_1 \cap Q_2 \cap \dots \cap Q_N, R_i) \right] \right\} \quad (1)$$

위 식을 그림 6과 같이 설명하면, $Cell(x, y)$ 은 중앙 노드를 포함하는 셀을 의미하며, 셀 (2, 2)에 해당된다. $\forall Cell \subseteq Q_1 \cap Q_2 \cap \dots \cap Q_N$ 은 다중 질의에서 중복된 영역을 나타내는 셀로써 셀 (1, 1), (1, 2), (2, 1), (2, 2), (3, 1), (3, 2)이고, R_1 는 질의 노드 R_1, R_2 가 해당된다. dis 는 셀 영역의 시작 좌표와 질의 노드와의 거리이다. 즉, 셀 (2, 2)는 R_1 과의 거리, R_2 와의 거리의 합은 나머지 셀들과 R_1, R_2 의 거리의 합보다 최소가 되어서 선출된다. 선출된 셀 안에 포함되는 노드 CN_{12} 은 중앙 노드임을 인지하고 데이터를 병합 후 각 질의 노드로 데이터를 전송한다.

제안하는 기법은 기존 기법에서 사용하는 데이터 병합 패스와 데이터 전송 링크를 기존과 같은 방법이지만, 고정된 병합 패스를 피함으로써 가변적인 영역 질의에

도 효율적인 데이터 공유를 발생시킨다. 또한 그리드를 적용시켜 센서 노드간에 불 필요한 메시지 전송을 회피함으로써 센서 네트워크를 효율적으로 사용한다.

4. 성능평가

본 장에서는 제안하는 기법(GMQ : Grid Based Multi-Query Processing)의 우수성을 보이기 위해 기존 기법(ZMQ : Zone based Multi-Query Processing)과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 평가한다. 성능평가 환경은 표 1과 같다. 센서 노드는 $200m \times 200m$ 의 영역에 선형적으로 배치하였다. 질의는 가로, 세로 $40m \sim 100m$ 인 영역 질의이며, 네트워크 내에 균등하게 분포된다. 그리드 해상도는 20×20 로 설정한다. 센서 노드의 메시지 전송에 소모되는 에너지 모델은 {메시지 크기} \times ({전송 비용} + {증폭 비용} \times {거리})이며, 전송 비용은 $50nJ/b$, 증폭 비용은 $100pJ/b/m^2$ 으로 설정한다. 메시지 수신에 소모되는 에너지 모델은 {메시지 크기} \times {수신 비용}이며, 수신 비용은 $50nJ/b$ 으로 설정한다.

그림 7은 질의의 수에 따른 에너지 소모량을 나타낸다. 질의의 크기는 $50m \times 50m$ 로 고정하고, 질의의 수는 30개~100개로 변화시키면서 에너지 소모량을 측정하였다. 그 결과, 제안하는 기법은 기존 연구의 에너지 소모를 약 65% 감소시켰다. 기존 기법은 질의가 증가함에 따라 많은 에너지를 소모하였고, 질의의 60개에서는 50개 보다 질의 영역의 위치가 병합 라우팅 패스에 알맞게 배포되어

표 1 성능 평가 환경

파라미터	값
센서 네트워크 크기 (m)	$200m \times 200m$
센서 노드의 수	400개
그리드 해상도	20×20
질의의 수	30~100개
질의 영역의 크기	$40m^2 \sim 100m^2$

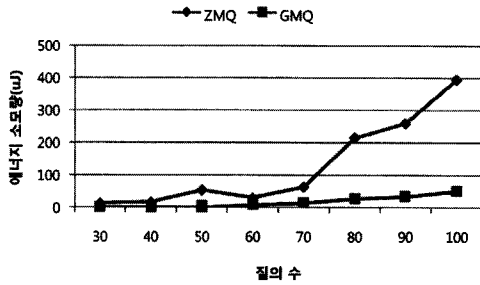


그림 7 질의 수에 따른 에너지 소모량

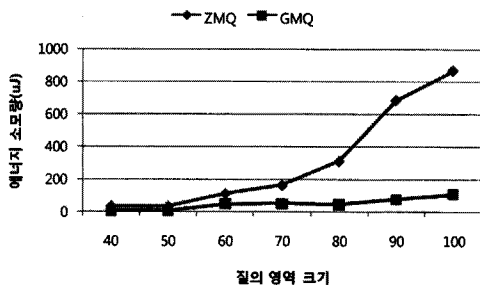


그림 8 질의 영역 크기에 따른 에너지 소모량(질의 수 : 50개)

효율적인 데이터 공유가 발생하였다. 제안하는 기법은 질의 노드에 알맞게 라우팅 패스가 결정되므로 질의 처리시 효율적인 데이터 공유를 발생시킨다.

그림 8은 질의 영역 크기에 따른 에너지 소모량을 나타낸다. 질의 수는 50개로 고정시키고, 질의 영역 크기를 가로, 세로 40m~100m로 변화시키면서 에너지 소모량을 측정하였다. 기존 기법에서는 데이터 공유를 발생시키지만, 질의 영역 내 최상위 병합 노드가 많아져 질의 노드로 데이터를 전송하는 비용이 증가된다. 제안하는 기법은 최상위 병합노드를 줄여 기존 기법에 비해 에너지 소모량이 감소하고, 질의 영역이 크기가 증가함에 따라 데이터 공유 및 데이터 전송 공유가 증가하였다. 그 결과 기존 기법에 비해 약 67% 감소시켰다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 그리드를 이용하여 직관적인 위치판별 가능한 에너지 효율적인 다중 질의 처리 기법을 제안하였다. 기존 연구는 초기에 센서 네트워크를 배포하는 과정에서 고정된 병합 라우팅 패스를 구축함으로써 다중 질의의 중복된 영역에 대해서 데이터 및 데이터 전송 공유를 증가시켰다. 그러나 가변적인 영역 질의에 대해서는 고정된 병합 패스 때문에 비 효율적인 데이터 공유를 초래하고, 각 질의에 대해서 따로 처리하여 데이터 전송 비용이 증가하는 문제점이 있다. 제안하는 기법은 그리드를 이용함으

로써 가변적인 영역 질의에 대해서도 효율적인 데이터 공유가 발생하며, 중복된 영역에서 효율적으로 데이터를 전송하기 위해 중앙 노드를 선정하는 수학적 모델링을 제안하였다. 또한, 각 노드간에 불 필요한 메시지 전송을 줄여 센서 네트워크를 효율적으로 사용한다. 그 결과 질의 처리시 발생하는 에너지 소모가 기존 기법에 비해 약 65% 감소되었다. 향후로는 질의 겹침이 증가함에 따라 복잡도를 고려하여 중앙 노드를 선정하는 기법에 대해 연구하겠다.

참고 문헌

- [1] M. Sharaf, J. Beaver, A. Labrinidis, and P. Chrysanthi, "Balancing Energy Efficiency and Quality of Aggregate Data in Sensor Networks," *Journal of Very Large Data Bases*, vol.13, no.4, pp.384-403, 2004.
- [2] R. Zheng, J. Hou, and L. Sha, "Asynchronous Wakeup for Ad Hoc Networks," *Proc. of the ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp.35-45, 2003.
- [3] X. Yang, H. Lim, M. su, and K. Tan, "In-Network Execution of Monitoring Queries in Sensor Networks," *Proc. of the 2007 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp.521-532, 2007.
- [4] A. Silberstein, and J. Yang, "Many-to-Many Aggregation for Sensor Networks," *Proc. of the IEEE 23rd International Conference Data Engineering*, pp.989-995, 2007.
- [5] S.R. Madden, M.J. Franklin, J.M. Hellerstein, and W. Hong, "TinyDB: an acquisitional Query Processing System for Sensor Networks," *ACM Transactions on Database System*, vol.30, no.1, pp.123-173, 2005.
- [6] N. Trigoni, Y. Yao, A. Demers, J. Gehrke, and R. Rajaraman, "Multi-Query Optimization for Sensor Networks," *Proc. of the International Conference on Distributed Computing on Sensor System*, pp.307-321, 2005.
- [7] Z. Zhang, A.D. Kshemkalyani, and S.M. Shatz, "Dynamic Multi-Root, Multi-Query Processing Based on Data Sharing in Sensor Networks," *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol.6, no.3, pp.1-38, 2010.
- [8] S. Xiang, H. B. Lim, K. L. Tan and Y. Zhou, "Query Allocation in Wireless Sensor Networks with Multiple Base Stations," *Lecture Notes In Computer Science: Sensor Networks*, vol.5463, pp.107-122, 2009.
- [9] X. Li, Y. J. Kim, R. Govindan, and W. Hong, "Multi-dimensional Rang Queries in Sensor Networks," *Proc. of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.63-75, 2003.