

# 무선 센서 네트워크에서 순간 질의 처리 방법

준회원 윤상훈\*, 정회원 조행래\*\*

## Ad-hoc Query Processing in a Wireless Sensor Network

Sanghun Yun\* Associate Member, Haengrae Cho\*\* Regular Member

### 요약

최근 무선 통신과 전자 기기의 발전으로 초소형이고 고성능이며 저렴한 센서 노드 개발이 가능해졌다. 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSN)는 환경 감지 및 데이터 처리를 할 수 있으며 무선 통신이 가능한 많은 센서 노드들로 구성된다. 본 논문은 WSN에서 사용자의 질의들을 처리하기 위한 복합 질의 처리(Hybrid Query Processing: HQP) 알고리즘을 제안한다. 연속 질의만을 고려한 기존 연구와는 달리, HQP는 연속 질의(continuous query)와 순간 질의(ad-hoc query)를 모두 지원한다. 구체적으로, HQP는 앞서 실행된 연속 질의의 실행 결과로 각 센서 노드에 캐싱된 데이터를 이용하여 순간 질의의 실행에 사용되는 에너지 소비를 줄일 수 있도록 한다. 뿐만 아니라 질의 결과의 정확도와 소비된 에너지 수준 사이에서 적절한 trade-off를 제공한다. 다양한 WSN 환경에서 모의실험을 수행하여 HQP의 성능을 분석한다.

**Key Words :** Sensor network, Ad-hoc query, Continuous query, Energy efficiency, Caching.

### ABSTRACT

Recent advances in wireless communications and electronics have enabled the development of low-cost, low-power, multi-functional sensors. A typical wireless sensor network (WSN) consists of a large number of sensor nodes that can measure and process data while communicating through wireless channels. In this paper, we propose a hybrid query processing (HQP) algorithm for user queries submitted to the WSN. Unlike previous algorithms that consider continuous queries only, HQP supports both continuous queries and ad-hoc queries. Specially, HQP tries to reduce energy consumption of ad-hoc queries by using query results cached at each sensor node which are created during the execution of the previous continuous query. HQP can also exploit a trade-off between energy consumption and data accuracy. We evaluate the performance of HQP under a variety of WSN configurations.

### 1. 서론

최근 무선 통신과 전자 기기의 발전으로 초소형이고 고성능이며 저렴한 센서 노드 개발이 가능해졌다. 센서 노드들은 주위 환경을 감지하여 생성된 데이터를 다른 센서 노드와 무선 통신으로 주고받을 수 있다. 이러한 센서 노드들을 이용하여 자율 구성

이 가능한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)를 구성할 수 있다<sup>[1]</sup>. WSN은 센서 노드들이 서로 협력하여 넓은 지역의 온도, 습도, 가속도, 압력, 소리 등의 물리적 혹은 환경 상태를 감지한다<sup>[6]</sup>. 그러나 WSN은 통신, 데이터 처리, 그리고 에너지 소비 측면에서 다음과 같은 제약을 가진다. 먼저 센서 노드들을 서로 연결하는 무선 링크의 대

\* 본 연구는 한국과학재단의 국제협력연구 지원사업(F01-2007-000-10062-0)의 연구결과로 수행되었습니다.

\* 영남대학교 컴퓨터공학과 데이터베이스 연구실 (sh\_yun99@ynu.ac.kr), \*\* 영남대학교 전자정보공학부 (hrcho@yu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-05-222, 접수일자 : 2007년 5월 17일, 최종논문접수일자 : 2007년 10월 29일

역폭은 수백 Kbps로 제한된다. 또한 무선 네트워크는 느린 응답 속도와 많은 패킷 손실로 서비스의 질이 제한적이다. 다음으로 센서 노드는 데이터 처리 능력과 메모리 크기가 제한적이다. 그 결과 WSN에서 사용할 수 있는 데이터 처리 알고리즘에 제한을 받는다. 마지막으로 센서 노드들은 교환이나 충전이 어려운 배터리로부터 제한된 전원을 공급받는다<sup>[9]</sup>.

WSN에서 각 센서 노드는 사용자 요청에 따라 데이터를 획득하여 제공한다. 이러한 이유로 WSN은 분산 데이터베이스 시스템으로 인식되고 있다<sup>[2,3,13]</sup>. 사용자들은 원하는 데이터를 질의로 표현하여 WSN에게 전송하고, WSN은 데이터를 수집하여 반환한다. WSN을 위하여 에너지 소비를 고려한 다양한 질의 처리 알고리즘들이 연구되고 있다. 그러나 지금까지 제안된 대부분의 질의 처리 연구는 연속 질의만을 고려하였다<sup>[4,5,7,11]</sup>. 연속 질의(continuous query)는 분산된 센서 노드들로부터 오랜 시간동안 주기적으로 데이터를 수집하는 질의이다. 연속 질의는 질의를 한번 전파하여 반복적으로 데이터를 전송받기 때문에 질의 전파보다 데이터 수집에 소비되는 에너지가 많으며, 기존에 제안된 대부분의 질의 처리 연구들은 이를 줄이기 위하여 노력하였다.

본 논문에서는 사용자들이 그들의 흥미에 따라 다양한 종류의 질의를 이용하여 데이터를 요구하는 응용분야를 고려한다. 많은 사용자들에게 공통적으로 필요한 데이터는 연속 질의를 이용하여 요구되며, 그 결과는 주기적으로 사용자에게 전달된다. 연속 질의로 처리되지 않는 데이터가 필요한 사용자는 순간 질의(ad-hoc query)를 이용하여 데이터를 요구하며, 이 결과는 한번만 해당 사용자에게 전달된다. 본 논문에서는 연속 질의와 순간 질의가 함께 존재하는 WSN를 위하여 새로운 질의 처리 알고리즘인 복합 질의 처리(Hybrid Query Processing: HQP) 알고리즘을 제안한다.

HQP 알고리즘의 특징은 다음과 같다.

- HQP의 순간 질의 전파는 이미 실행한 연속 질의의 라우팅 트리(routing tree)를 이용한다. 이는 순간 질의를 위하여 새로이 라우팅 트리를 생성하지 않는다는 것이다. 그 결과 라우팅 트리의 구성에 필요한 에너지 소비를 줄인다.
- HQP는 에너지 효율적인 데이터 서비스를 제공한다. 순간 질의를 처리할 때, 앞서 실행한 연속 질의의 결과로 각 센서 노드에 캐싱된 데이터를 이용하여 질의 결과를 획득하려고 노력한다.
- HQP는 획득한 결과의 정확도와 결과 획득에 소

비하는 에너지 수준 사이에서 적절한 trade-off를 제공한다. 사용자는 질의를 요청할 때 질의 결과의 요구 정확도를 기술한다. 임의의 센서 노드에 저장되어 있는 데이터가 질의의 요구 정확도를 만족하면 질의 전파를 멈춘다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 WSN에서의 관련 연구 및 동향들을 소개한다. 3절에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 위한 라우팅 트리 구조와 질의 모델, 그리고 알고리즘의 세부 내용을 기술한다. 4절에서는 실험 환경과 성능 평가 결과를 분석한다. 마지막으로 5절에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

WSN에서 기존에 제안된 대표적인 질의 처리 알고리즘으로는 TAG(Tiny AGgregation service)<sup>[5]</sup>와 Cougar<sup>[10,11]</sup>를 들 수 있다. 이들은 에너지 소비에서 많은 부분을 차지하는 센서 노드간의 통신을 최소화하기 위해 라우팅 트리를 이용한 데이터 병합과 필터링 방법을 사용한다. [6]에서는 질의 처리를 통한 데이터 획득 방법에 관한 알고리즘을 제안하였다. 특히, 이 논문에서는 에너지 소비를 줄이기 위하여 샘플링의 횟수와 시간에 관하여 논의하였다. [12]에서 논의하고 있는 질의 병합 알고리즘은 모든 영역에 대하여 질의를 한번만 전파한다. 이는 질의의 교차 영역에서 질의 전파 에너지를 절약한다. WSN에서의 다중 질의 최적화 방법으로 여러 질의의 병합 결과를 서로 공유하여 효율적으로 에너지를 아끼는 방법을 [9]에서 제안하고 있다.

본 논문에서는 이전 논문과는 다르게 연속 질의와 순간 질의 모두를 고려하며, 순간 질의 결과를 획득할 때 발생하는 오버헤드를 줄이기 위하여 이미 실행된 연속 질의의 결과를 사용하는 방법을 제안한다. 또한 획득 결과의 정확도와 결과 획득에 소비되는 에너지 수준 사이에서 적절한 trade-off를 제공한다.

## III. 순간 질의 처리 알고리즘

### 3.1 라우팅 트리

HQP는 베이스 스테이션(Base Station: BS)으로 불리는 노드를 가진다. BS는 WSN에서 사용자와 접촉하는 인터페이스의 역할을 하며, 라우팅 트리를 구성하기 위하여 이웃 노드에게 라우팅 메시지를 방송한다. 라우팅 메시지는 식별을 위한 노드 ID와

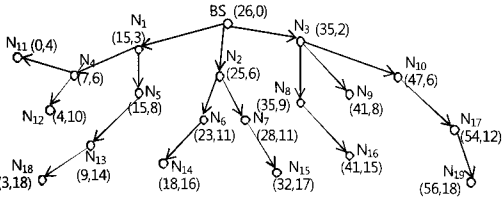


그림 1. 라우팅 트리  
 ( parent(N1)={BS}, children(N1)={N4, N5},  
 position(N2)=(25,6) )

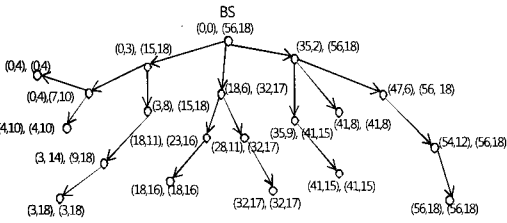


그림 2. 영역 정보  
 ( area(BS)={(0,0),(56,18)}, area(N2)={(18,6),(32,17)} )

BS로부터의 거리를 표시하는 노드 레벨을 포함한다. BS의 노드 레벨은 0이다. 노드의 레벨이 지정되지 않은 임의의 노드에서 라우팅 메시지를 수신하면 메시지의 레벨에 1을 더하여 자신의 레벨로 지정한다. 또한 메시지를 전송한 노드 ID를 자신의 부모 노드로 지정한다. 그 후, 각 노드는 자신의 노드 ID와 노드 레벨을 라우팅 메시지에 기록하고 이를 재방송한다. 라우팅 메시지는 이러한 방법으로 WSN의 전 영역으로 전파된다. 그림 1은 라우팅 트리의 예이다. parent(N<sub>i</sub>)와 children(N<sub>i</sub>)는 N<sub>i</sub>의 부모와 자식 노드를 나타내며, position(N<sub>i</sub>)는 N<sub>i</sub>가 위치하고 있는 좌표를 나타낸다.

라우팅 트리에서 각 노드는 한 쌍의 좌표로 구성된 영역 정보를 가진다. 노드 N<sub>i</sub>의 영역 정보는 라우팅 트리가 구성된 후 상향식 방법으로 단말 노드로부터 구성한다. 구체적으로 N<sub>i</sub>가 단말 노드일 경우 N<sub>i</sub>의 영역 정보는 N<sub>i</sub>의 현재 위치 {position(N<sub>i</sub>), position(N<sub>i</sub>)}로 정의되며, N<sub>i</sub>는 자신의 영역 정보를 부모 노드에게 다시 전송한다. N<sub>i</sub>가 단말 노드가 아닐 경우, 자식 노드들로부터 영역 정보를 수신한 후 N<sub>i</sub>는 영역 정보를 position(N<sub>i</sub>)와 자식 노드들의 모든 영역이 포함되는 최소 사각형으로 계산한다. 자신의 영역 정보 계산이 끝나면, 이를 부모 노드에게 다시 전송한다. 그림 2는 그림 1에서의 노드 위치 정보를 이용하여 계산된 노드의 영역 정보를 나타낸다. area(N<sub>i</sub>)는 N<sub>i</sub>를 기준으로 하위 트리에 존재하

는 노드들이 포함되는 최소 사각형의 영역 정보이다. 이는 사각형 영역의 마주보는 모서리 좌표로 나타낸다.

WSN에서 노드가 삽입 혹은 삭제되면 라우팅 트리는 이를 인지하고 기존의 라우팅 트리를 삽입 혹은 삭제된 노드에 맞추어 변경하게 된다. 이때, 영역 정보 또한 라우팅 트리의 변경에 맞추어 함께 변경한다. 임의의 노드가 라우팅 트리에 삽입되면, 그 노드는 새로이 부모 노드를 선택한다. 부모 노드로 선택된 노드에 이를 알리기 위한 선택 메시지를 전송할 때, 노드는 자신의 영역 정보도 함께 전송한다. 선택 메시지를 수신한 노드는 함께 수신한 영역 정보를 이용하여 자신의 영역 정보를 수정한다. 자식 노드의 삭제를 감지하면, 자신의 다른 자식 노드들에게 영역 정보를 요청한다. 자식 노드들로부터 새로이 영역 정보를 모은 노드는 영역 정보를 수정한다. 임의의 노드에서 영역 정보 변경이 발생하면, 그 노드는 상위의 부모노드에게 자신의 변경된 영역 정보를 전송하고, 부모 노드는 자신의 영역 정보를 다시 갱신한다.

### 3.2 질의 모델

응용 프로그램은 질의의 형태로 WSN에 데이터를 요구한다. 다양한 종류의 질의가 WSN으로 전송되는데, 본 논문에서 질의 Q는 <S, V, T, F, A>의 다섯 가지 요소로 표현된다.

- S(Q)는 응용프로그램에서 요구하는 데이터의 영역을 나타낸다. 본 논문에서는 질의 영역을 사각형으로 가정한다. 따라서 S(Q)는 한 쌍의 좌표 값 {(x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>),(x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>)}, x<sub>1</sub> ≤ x ≤ x<sub>2</sub>, y<sub>1</sub> ≤ y ≤ y<sub>2</sub>으로 표현되며, 이는 질의 Q가 (x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>)와 (x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>)를 마주보는 모서리로 하는 사각형 영역에 질의함을 의미한다.
- V(Q)는 응용프로그램에서 질의를 이용하여 요청하는 속성 목록이다.
- T(Q)는 질의 Q의 수명으로 한 쌍의 시간 값 {T<sub>1</sub>,T<sub>2</sub>}로 표현된다. 이는 질의 Q가 T<sub>1</sub>초부터 T<sub>2</sub>초까지 실행됨을 의미한다. duration(Q)는 T<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>로 정의한다.
- F(Q)는 질의 결과가 보고되는 주기를 나타낸다.
- A(Q)는 질의 결과에 요구되는 정확도를 의미한다. 질의는 하나 또는 그 이상의 속성 정보와 영역 정보를 반드시 포함하여야 한다. 예를 들어 “{(x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>),(x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>)} 영역에 있는 V<sub>1</sub>과 V<sub>2</sub> 데이터를 T<sub>1</sub>초에서 T<sub>2</sub>초까지 매 10초마다 70%의 정확도

로 보고하라”는 문장으로 작성된 질의를 가정 하자. 이때 영역 정보는  $S(Q) = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$ , 속 성 정보는  $V(Q) = \{V_1, V_2\}$ , 시간 정보는  $T(Q) = \{T_1, T_2\}$ , 주기 정보는  $F(Q) = 10$ , 정확도 정 보는  $A(Q) = 70$ 로 나타낼 수 있다.

본 논문에서 제안하는 HQP 알고리즘은 연속 질의 와 순간 질의를 함께 고려한다. 질의 Q에서  $F(Q) > \text{duration}(Q)$ 를 만족하면 순간 질의라고 하며, 이 는 네트워크에서 주어진 질의를 실행하는 횟수가 한 번이라는 것을 의미한다. 질의 Q에서  $F(Q) \leq \text{duration}(Q)$ 를 만족하면 연속 질의라고 하며, 이는 네 트워크에서 주어진 질의가  $\text{duration}(Q)$ 동안 F(Q)마다 반복 실행됨을 의미한다.  $A(Q) = 100$ 이면 질의 영역에 포함되는 모든 노드에 질의를 전파하고 그 결과를 수 집하라는 의미이다. 반면에,  $A(Q) < 100$  이면 질의 결과 로 정확도에 근사한 결과 값을 반환하라는 의미이다.

다음 두 질의  $Q_1, Q_2$ 를 살펴보자:

$$Q_1 = \langle \{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}, \{V_1, V_2\}, \{100, 500\}, 10, 100 \rangle$$

$$Q_2 = \langle \{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}, \{V_1, V_2\}, \{400, 415\}, 20, 70 \rangle$$

$Q_1$ 에서  $\text{duration}(Q_1) = 400$  이고,  $F(Q_1) = 10$  이므로  $Q_1$ 은 연속 질의이다( $\text{duration}(Q_1) > F(Q_1)$ ).  $Q_2$ 에서는  $\text{duration}(Q_2) = 15$  이고,  $F(Q_2) = 20$ 이므로  $Q_2$ 는 순간 질의이다( $\text{duration}(Q_2) < F(Q_2)$ ).  $A(Q_1) = 100$  이므로  $Q_1$  은 질의 영역에 포함되는 모든 노드에 전파되어 실행된다. 반면,  $Q_2$ 는 다음 절에서 설명하는 HQP 알 고리즘에 의하여 적절한 정확도의 결과를 구해온다.

### 3.3 HQP 알고리즘

응용 본 절에서는 HQP 알고리즘을 자세히 설명 한다. 에너지 효율적인 순간 질의 처리를 위하여 HQP는 앞서 실행된 연속 질의의 실행 결과로 각 노드에서 캐싱하고 있는 데이터를 사용하려고 노력 한다. 순간 질의  $Q_a$ 가 BS를 통하여 WSN에 입력되 면, BS는 그림 3의 과정으로 HQP 알고리즘의 실행 가능성을 검사한다.  $Q_c$ 는 앞서 실행된 연속 질 의를 나타낸다.

만약  $Q_c$ 가  $Q_a$ 를 포함한다면, HQP는 BS에서부터 실행된다. 노드  $N_i$ 가 질의  $Q_a$ 를 수신하면, 그림 4의 과정을 실행한다.

- (1) If  $(S(Q_a) \subseteq S(Q_c) \text{ and } V(Q_a) \subseteq V(Q_c))$   
 - HQP 알고리즘을 수행.

(2) Else  
 -  $Q_a$ 를  $Q_c$ 와 독립적으로 수행

그림 3. HQP 알고리즘의 실행 가능성 확인

1. If  $((S(Q_a) \cap S(Q_c) \cap \text{area}(N_i)) \neq \emptyset)$   
 a.  $\text{ISC} = S(Q_c) \cap \text{area}(N_i)$   
 b.  $\text{ISA} = S(Q_a) \cap \text{ISC}$   
 c.  $\text{ACCURACY} = \text{size}(\text{ISA}) / \text{size}(\text{ISC}) * 100$   
 d. If  $(A(Q_a) < \text{ACCURACY})$   
 1)  $N_i$ 에 캐싱된  $Q_c$ 의 결과로 질의 결과 생성.  
 2)  $\text{parent}(N_i)$ 로 데이터 전송.  
 3) 완료.  
 e. Else  
 1) If  $(\text{children}(N_i) = \emptyset)$   
 - 데이터 획득.  
 - 결과를  $\text{parent}(N_i)$ 으로 전송.  
 - 완료.  
 2) Else  
 -  $Q_a$ 를  $\text{children}(N_i)$ 에게 전송.  
 -  $\text{children}(N_i)$ 로부터 데이터 혹은 응답을 대기.  
 - 질의 결과를 병합하여  $\text{parent}(N_i)$ 로 전송.  
 - 완료.

2. Else  
 a.  $\text{parent}(N_i)$ 에게 전파 종료 응답 전송.  
 b. 완료.

그림 4. HQP 알고리즘

그림 4에서 ISC(InterSection with Continuous query)는  $Q_a$  영역과  $N_i$  영역의 교차영역을 나타내 며, ISA(InterSection with Ad-hoc query)는  $Q_a$  영 역과 ISC 영역의 교차영역을 나타낸다. 그리고  $\text{size}(x)$ 는  $x$ 의 영역 크기를 의미한다.

HQP 알고리즘의 기본 개념은 단계 1.d에 나타나 듯이  $Q_a$ 의 영역이  $Q_c$  영역에 정확도 이상 포함될 경우  $Q_c$ 의 결과로 캐싱된 데이터를 즉시 반환함으 로써  $Q_a$ 의 전송이나 단말 노드에서의 데이터 획득 에 소요되는 에너지를 줄인다는 것이다. HQP의 동 작을 그림 5에서  $Q_c$ 와  $Q_a$ 를 예로 살펴보자.

$Q_c$ 의 수명은 100초에서 500초까지이고, 매 10 초마다 결과를 보고한다.  $Q_a$ 의 수명은 200초에서

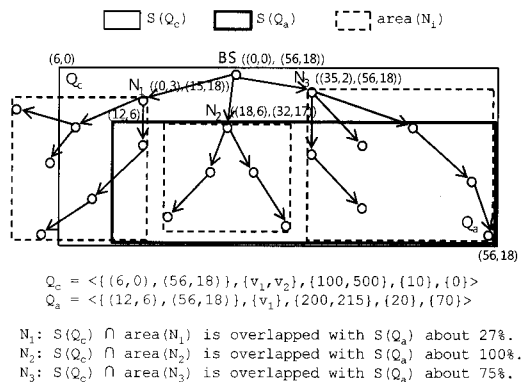


그림 5. HQP 알고리즘 예

215초까지이고, 매 20초마다 결과를 보고한다. 두 질의에서 수명과 주기의 관계를 살펴보면  $Q_c$ 는  $duration(Q_c) > F(Q_c)$ 이므로 연속 질의이고,  $Q_a$ 는  $duration(Q_a) < F(Q_a)$ 이므로 순간 질의임을 알 수 있다. 두 질의의 관계가  $S(Q_a) \subseteq S(Q_c)$  이고,  $V(Q_a) \subseteq V(Q_c)$ 이므로 HQP 알고리즘을 실행할 수 있다. BS의 경우,  $S(Q_a) \cap S(Q_c) \cap area(BS)$ 이 공집합이 아니다. 따라서  $ISC = \{(6,0), (56,18)\}$ 이며,  $ISA = \{(12,6), (56,18)\}$ 이다.  $ACCURACY = (44 \times 12) / (50 \times 18) \times 100 \approx 58.7\%$ 이고  $A(Q_a)$ 인 70%보다 작으므로 질의  $Q_a$ 는 BS의 children(BS) =  $\{N_1, N_2, N_3\}$ 로 전송된다.  $N_1$ 의 경우  $ISC = \{(6,3), (15,18)\}$ 이고  $ISA = \{(12,6), (15,18)\}$ 이다. 이를 이용하여 ACCURACY를 계산하면  $(3 \times 12) / (9 \times 15) \times 100 \approx 26.6\%$ 이다. 위의 과정을  $N_2$ 에 사용하면  $ISC = ISA = \{(18,6), (32,17)\}$ 이고,  $ACCURACY = 100\%$ 이다.  $N_3$ 에서의  $ISC = \{(35,2), (56,18)\}$ ,  $ISA = \{(35,6), (56,18)\}$ ,  $ACCURACY = 75\%$ 이다.  $A(Q_a) = 70\%$ 이므로  $N_2, N_3$ 에서는 캐싱된 데이터를 이용하여  $Q_a$ 의 결과를 부모 노드로 전송한다. 그러나  $N_1$ 에서는 정확도를 만족하지 않으므로 children( $N_1$ )으로  $Q_a$ 를 다시 전파한다. 질의 전파 결과로 적절한 수준의 데이터를 얻을 때까지 이러한 과정을 반복한다. 앞에서 살펴본 바와 같이 HQP 알고리즘은 순간 질의의 처리 과정에서 질의의 전파를 줄이고, 데이터 센싱 횟수와 결과 데이터의 전송량도 감소시킨다.

#### IV. 실험 모형

HQP 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 WSN 실험 환경을 개발하였으며, 이를 이용한 모의실험을 수행하였다. 실험 환경은 C언어를 사용하여 개발하였다. 본 절에서는 개발한 실험환경과 실험 결과를 분석하도록 한다.

##### 4.1 실험 환경

센서 노드는 질의 전파 동작, 데이터 획득 동작, 결과 데이터 전송 동작을 수행한다. 질의 전파는 사용자 인터페이스 역할을 하는 BS로부터 시작한다. 질의 메시지를 받은 노드는 각 전파 알고리즘에 따라 이를 자식 노드로 전송하거나 혹은 자체적으로 처리 가능할 경우 전송을 멈춘다. 각 노드는 질의에 따라 데이터를 획득하며, 획득한 데이터는 질의가 전송된 경로의 역순으로 사용자에게 전송된다.

본 논문에서는 WSN의 전 영역에 질의 메시지를

표 1. 실험 매개 변수

항목	변수 영역	기본 값
WSN 영역 크기	1000 x 1000 ~ 10000 x 10000	5000 x 5000
센서 노드 수	1000 ~ 10000	5000
노드 통신 영역	100 x 100	100 x 100
하위 노드 수	4 ~ 24	8
노드 위치	랜덤	랜덤
질의 수	10000	10000

전파하는 플루딩 방식(Flooding Method: FM)과 질의 영역에 포함된 노드들에게 질의가 전파되지만 연속질의의 결과를 활용하지는 않는 시멘틱 라우팅 트리(Semantic Routing Tree: SRT) 방법, 그리고 본 논문에서 제안하는 HQP 알고리즘을 비교한다.

본 논문에서 사용하는 WSN 구성 변수와 라우팅 트리 및 인덱스 트리 구성 변수를 표 1에서 요약한다.

전체 노드의 수는 대규모의 센서 네트워크에서 동작을 확인하기 위하여 5000개로 가정한다. 각 센서 노드에서 가질 수 있는 하위 노드의 수는 8개로 가정한다. 질의는 하위 노드에게 전송되며, 하위 노드는 질의에 따라 질의 메시지를 재 전파하거나 전파를 멈출 수 있다. 질의 전파를 멈추게 하는 이유는 두 가지이다. 하나는 노드  $N_i$ 에 캐싱된 데이터가  $A(Q_a)$ 를 만족하여 이를 획득하는 것이고, 다른 하나는  $area(N_i)$ 에 질의 영역이 포함되지 않아 질의 전송을 멈추는 것이다. 그리고 질의 재 전파는 노드  $N_i$ 에 캐싱된 데이터가  $A(Q_a)$ 를 만족하지 못하는 경우 발생한다. 만약 데이터를 획득 하였다면 상위 노드로 결과를 전송하여야 한다. 본 논문의 알고리즘을 검증하기 위하여 센서 네트워크에는 이미 연속 질의가 실행 중이라 가정한다. 즉, HQP는 각 노드에 캐싱된 데이터를 사용할 수 있다고 가정한다. 또한, HQP는 응용계층에서 수행하는 알고리즘이므로 하위계층에서 고려되는 노드의 이동, 배터리 부족, 데이터 전송에서 거리에 따른 에너지 차등 소비 등은 고려하지 않았다.

모의실험에서 사용되는 주요 성능평가 지수는 센서 노드에서 주요 에너지 소비 요인인 질의 메시지 전파 수와 데이터 획득 수, 그리고 결과 데이터 전송 수이다.

##### 4.2 결과 분석

본 논문에서 수행한 실험은 다음과 같다. 첫째, 제안한 알고리즘의 성능 검증을 위해 세 가지 질의 메시지 전파 방법에서의 성능평가 지수들을 각각 비교한다. 둘째, HQP를 사용할 때, 같은 노드 수에

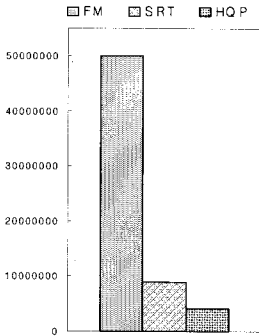


그림 6. 질의 전파 메시지 수

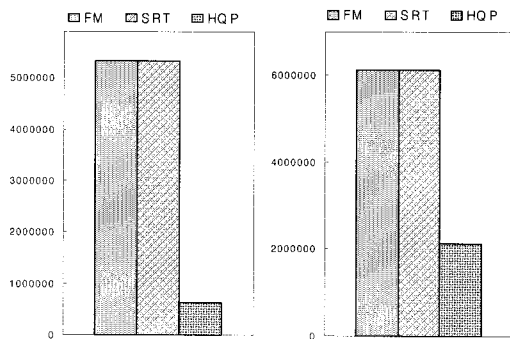


그림 7. 데이터 획득 수      그림 8. 데이터 전송 수

서 라우팅 트리의 깊이를 변경하였을 때의 결과를 살펴본다. 셋째, 센서 노드의 수를 변화하여 WSN의 분포 크기가 변경 되었을 때의 결과를 살펴본다.

다음은 각 질의 전파 방법에 대한 성능 검증 모의 실험 결과이다. 모의실험 환경은 앞의 표 1에서 제시한 기본 값을 따르고 있다. 실험의 결과로 그림 6은 질의 전파 메시지 수, 그림 7은 데이터 획득 수, 그리고 그림 8은 데이터 전송 수를 나타내고 있다.

그림 6을 살펴보면, 질의의 전파가 FM과 비교하여 SRT는 약 18%의 에너지만을 소비하여 같은 질의를 처리하였고, HQP는 SRT의 약 46%의 질의 전파만으로 같은 질의를 처리하고 있음을 알 수 있다. FM은 모든 노드에 질의를 전파하므로 많은 질의 전파가 발생하고, SRT는 필요 노드에만 질의를 전파하므로 FM보다 적은 질의 전파 횟수를 보인다. HQP는 질의에 명시된 정확도  $A(Q_0)$ 를 만족하는 노드에서 질의의 전파를 멈추어 SRT보다 더 적은 질의 전파 수를 보인다. 다음으로 그림 7을 살펴보면, FM을 사용했을 때와 SRT를 사용 했을 때 데이터 획득 수는 동일하게 나타나고 있다. 이는 두 방법 모두 질의 요청된 모든 노드에 질의 전파하고 데이

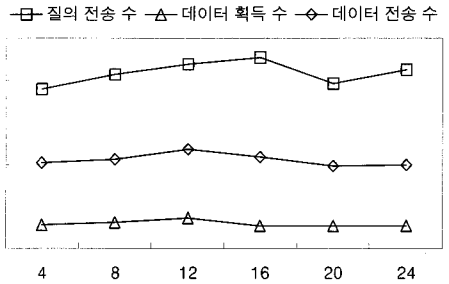


그림 9. HQP의 하위 노드 수에 따른 성능 평가

터를 획득하기 때문이다. 하지만, HQP는 이미 캐싱된 데이터를 사용하는 방법으로 FM과 SRT에 비교하여 약 9%의 데이터 획득 수를 보이고 있다. 나머지 91%의 데이터는 캐싱된 데이터에서 결과를 얻고 있음을 짐작할 수 있다. 마지막으로 그림 8을 살펴 보면, 데이터 획득과 비슷하게 FM과 SRT는 데이터 전송 수에서 동일한 결과를 산출하고 있다. 이는 데이터를 획득한 노드가 동일하기 때문에 같은 수의 결과를 산출함을 알 수 있다. 이와 비교하여 HQP는 라우팅 트리의 상위 노드에서 캐싱된 데이터를 사용하므로 기존의 방식 보다 데이터 전송에서도 약 66%의 에너지 절약 효과가 있다. 데이터 획득 수에서의 에너지 절약과는 다르게 절약 효과가 적은 이유는 단말 노드에서 데이터 획득이 발생되면 그 노드에서 BS까지 결과를 전송하기 때문이다.

다음으로 같은 수의 WSN에서 노드 당 하위 노드의 수에 따라 HQP의 질의 처리 성능을 비교하였다. 모의실험 환경은 기본 값을 따르고 있으며, 하위 노드의 수는 4-24의 값으로 변경하며 실험하였다. 하위 노드의 수가 늘어나면 라우팅 트리의 깊이는 낮아진다. 라우팅 트리의 깊이와 알고리즘의 성능에 관하여 알아보기 위한 모의실험이다.

질의 전파, 데이터 획득 그리고 결과 데이터 전송은 각 센서 노드에 중복되어 실행되지 않는다. 각 센서 노드에서 이러한 기능 수행은 질의 영역과 속성에 관련되어 있으며, 라우팅 트리의 깊이는 영향을 주지 못한다. 각 기능은 센서 노드의 수와 질의 영역에 관련이 있다. 그림 9에서 알 수 있듯이 라우팅 트리의 깊이와는 관계없이 평균적인 성능을 보여줌을 알 수 있다.

마지막으로 센서 노드의 수와 HQP의 성능에 관한 실험결과를 설명한다. 모의실험 환경은 기본 값으로 따르며, 센서 노드의 수는 1000~10000개로 변경하며 실험하였다. 노드 수를 줄이고, WSN 영역

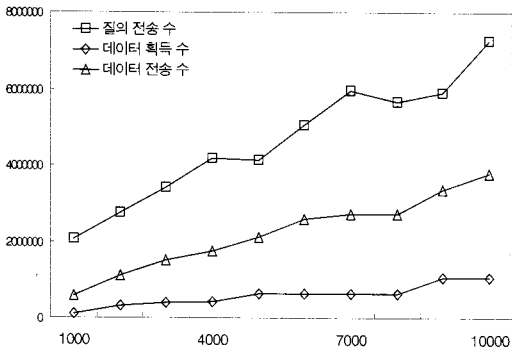


그림 10. HQP의 노드 수에 따른 성능 평가

을 늘이면 노드간의 거리가 멀어져 노드의 통신 영역에 다른 노드가 존재하지 않아 노드의 고립이 발생한다. 그러므로 노드의 수와 WSN의 영역을 동시에 변경하며 실험을 수행하였다. 실험 결과는 그림 10과 같다.

질의 전파, 데이터 획득 그리고 결과 데이터 전송은 센서 노드에 중복되어 실행되지 않으며 질의 영역과 속성에 따라 변화한다. 그러므로 노드 수의 증가에 따라 질의 메시지 전파 수, 데이터 획득 수, 그리고 결과 데이터의 전송 수는 비례하여 증가한다.

### V. 결론

본 논문에서는 WSN에 적합한 새로운 복합 질의 처리 알고리즘인 HQP를 제안하였다. 연속 질의 하나만을 고려한 기존의 알고리즘들과 다르게 HQP는 응용프로그램에서 연속 질의와 순간 질의가 동시에 실행되는 것을 고려하였다. HQP는 앞서 실행된 연속 질의에서 각 센서 노드에 캐싱된 데이터를 이용하여 질의 결과를 획득한다. 이는 HQP 알고리즘이 순간 질의를 실행할 때, 질의 전파를 줄이고, 데이터 획득을 억제하며, 질의 결과 전송에 소비되는 에너지를 줄일 수 있도록 한다. 그 결과 HQP 알고리즘은 WSN에서 가장 중요한 요구사항인 에너지 효율성을 획득할 수 있다. 뿐만 아니라 HQP는 획득한 결과의 정확도와 그 결과를 획득하기 위해 소비한 에너지 수준사이에서 적절한 trade-off를 제공한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대해 다양한 환경에서 성능을 분석하였으며, 실험 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, HQP는 영역 정보와 이전 연속 질의에 의해 캐싱된 데이터를 이용함으로써 질의 전파 수를 줄인다. 그 결과 HQP는 질의 메시지 전파에서 FM보다 90% 이상, SRT보다 50% 이상의 에

너지를 아낄 수 있고, 데이터 획득에서 기존의 방식보다 90% 이상의 에너지를 아낄 수 있으며, 결과 데이터 전송에서 50% 이상의 에너지를 아낄 수 있다. 둘째, HQP는 WSN의 라우팅 트리가 임의의 모양을 가지더라도 평균적인 성능을 보장한다. 마지막으로, WSN이 확장되어도 HQP는 효율적으로 동작한다.

### 참고 문헌

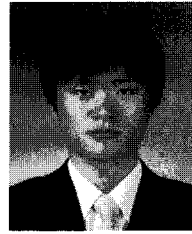
- [1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, 40(8), 2002.
- [2] P. Bonnet, J. Gehrke, P. Seshadri, "Towards Sensor Database Systems," in: *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Mobile Data Management*, 2001.
- [3] P. Bonnet, J.E. Gehrke, P. Seshadri, "Querying the Physical World," *IEEE Personal Communications*, 7(5), 2000.
- [4] S. Madden, M. Franklin, "Fjording the Stream: An Architecture for Queries over Streaming Sensor Data," in: *Proc. of the 18th Int. Conf. on Data Engineering*, 2002.
- [5] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, W. Hong, "Tag: A Tiny AGgregation Service for Ad-hoc Sensor Networks," in: *Proc. of the 5th Sym. on Operating Systems Design and Implementation*, 2002.
- [6] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, W. Hong, "The Design of an Acquisitional Query Processor for Sensor Networks," in: *Proc. of the 2003 ACM SIGMOD Int. Conf. on Data Management*, 2003.
- [7] S. Madden, R. Szewczyk, M. Franklin, D. Culler, "Supporting Aggregate Queries over Ad-hoc Sensor Networks," in: *Proc. the 4th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 2002.
- [8] K. RÄomer, F. Mattern, ETH Zurich, "The Design Space of Wireless Sensor Networks," *IEEE Wireless Communications*, 11(6), 2004.
- [9] N. Trigoni, Y. Yao, A. Demers, J. Gehrke, R. Rajaraman, "Multi-query Optimization for Sensor Networks," in: *Proc. of the 1st IEEE*

*Int. Conf. on Distributed Computing in Sensor Systems*, 2005.

- [10] Y. Yao, J. Gehrke, "The Cougar Approach to In-network Query Processing in Sensor Networks," *ACM SIGMOD Record*, 31(3), 2002.
- [11] Y. Yao, J. Gehrke, "Query Processing in Sensor Networks," in: *Proc. of the 1st Biennial Conf. on Innovative Data Systems Research*, 2003.
- [12] W. Yu, T. Le, D. Xuan, and W. Zhao, "Query Aggregation for Providing Efficient Data Services in Sensor Networks," in: *Proc. of the 1th IEEE Int. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems*, 2004.
- [13] M. Zoumboulakis, G. Roussos, A. Poulavassilis, "Active Rules for Sensor Database," in: *Proc. of the 1st Int. Workshop on Data Management for Sensor Networks*, 2004.

윤 상 훈 (Sanghun Yun)

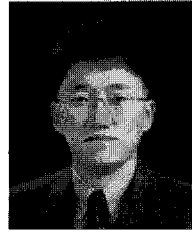
준회원



2006년 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
2006년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과(석사과정)  
<관심분야> 무선 센서 네트워크, 분산 데이터베이스

조 행 래 (Haengrae Cho)

정회원



1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
1990년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)  
1995년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)  
1995년~현재 영남대학교 전자정

보공학부 교수

<관심분야> 분산/병렬 시스템, 모바일 컴퓨팅, 트랜잭션 처리, DBMS 개발