

센서 네트워크에서 질의 최적화를 위한 다중 질의 합성 메커니즘

박노열[○] 박수권 김창화 김상경

강릉대학교 컴퓨터공학과

{eagle[○], kokoo, kch, skkim98}@kangnung.ac.kr

Multi-Query Merging Mechanism for Query Optimization in Sensor Network

Noyeol Park[○], Sukwon Park, Changhwa Kim, Sangkyung Kim,

Dept. of Computer Science & Engineering, Kangnung University

요 약

센서 네트워크는 제한된 에너지를 가지는 작은 노드들로 구성이 된다. 제한된 자원을 가지는 센서 네트워크에서 저 전력에 대한 연구는 핵심 분야로써, 다양한 연구가 진행 중이다. 센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이는 방법들이 많이 연구 되고 있다. 센서 네트워크에서 가장 큰 에너지 손실을 가져오는 부분은 통신 부분이며, 질의 기반 센서 네트워크에서는 질의를 배포하게 될 때 에너지 소비의 주요 요소들이 발생하게 된다. 따라서, 본 논문은 베이스스테이션으로 다중 질의를 요청할 때 질의 합성을 통해 전달되는 질의 수를 최소화하여 질의의 배포에 따른 에너지 소비 요소를 줄이는데 그 목적이 있다. 질의는 조건절에서 특정 속성에 대해서 판별하는데, 본 논문에서 제안 하는 방법은 속성에 따라 질의를 합성하여 원본 질의의 개수보다 적게 하는 것이다. 제안 알고리즘을 통해 합성된 질의가 센서 노드에게 전해지는 과정에서 데이터의 송수신 횟수 및 overhead를 줄일 수 있으며, 또한 센서 노드는 합성된 질의로 센싱 횟수를 줄일 수 있어 에너지 효율을 높일 수 있다.

본 논문에서 제안한 방법과 일반적인 방법을 비교하기 위해 에너지 소모 절감 예를 살펴봤다.

1. 서 론

오늘날 무선 센서 네트워크는 새롭게 중요한 연구 분야로 주목 받고 있다. 센서 노드는 사무실, 공장 및 사람의 접근이 어려운 열악한 환경에서 주변 상황을 모니터링하고 필요한 정보를 수집하는 용도로 사용된다. 센서 네트워크는 환경 감시, 군사적 목적, 건강/보건 관련, 주택/빌딩 관련, 상업적 목적 등 다양한 분야에 응용할 수 있으며, 이 처럼 다양한 용도로 사용되는 센서 노드들은 제한된 용량의 배터리, 5-50m의 통신 범위를 갖는 무선 모듈, 8~128k 정도의 작은 메모리를 가지는 초소형, 저가격, 저전력의 특징을 가진다.[7]

제한된 에너지를 가지는 센서 노드들에서 쓰이는 질의(query)는 연속적인 데이터를 취급하게 된다. 즉 질의는 일정 기간 동안 일정 주기로 데이터를 센싱하여 싱크노드(sink node) 및 베이스스테이션(base station)으로 보내게 된다. 이러한 일련의 처리를 위한 에너지 소모로 전체 노드 또는 일부 노드의 에너지가 고갈 되어 네트워크를 정상적으로 운용할 수 없는 상태가 발생한다. 따라서 에너지 소모를 최소화할 수 있는 송.수신 방법을 통해 네트워크 생명주기(lifetime)을 늘이기 위한 방법으로 다중질의 처리 최적화 기법을 본 논문에서 제안한다. 센서

네트워크에서 질의 처리는 단일 질의뿐만 아니라 다중질의도 처리가능하다. 따라서 본 논문에서는 base station에 요청된 다중 연속질의를 조건절에 따라 하나의 질의로 합성하여 센서 네트워크에 전달하는 알고리즘을 이용해 전달되는 데이터를 줄임으로서, 센서 네트워크 트래픽을 줄이고, 센서 노드는 대상 환경에 대한 센싱의 횟수를 줄이고 반환되는 결과의 중복을 회피함으로써 데이터 전송 횟수 및 데이터양을 줄일 수 있고, 질의의 합성 과정에서 각각의 질의 전송 처리에 필요한 각 네트워크 계층별 overhead를 줄일 수 있는 다중질의 처리 최적화 기법을 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 센서 네트워크에서의 에너지 소모에 대해 알아본다. 3장은 다중 질의의 합성에 대해 기술하고 알고리즘을 제시한다. 4장에서는 제안 방법에 의한 에너지 절감 예를 기술한다. 5장에서 본 논문의 결론을 내리고 향후 방향을 제시한다.

2. 센서 네트워크에서의 에너지 소모

연속질의는 센서 네트워크 이전부터 연구 되던 분야이다. 관련 연구에서는 센서 네트워크에서 다중 질의를 살펴보기 전에 센서 네트워크 기반 기술에 대해 간단하게

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 2007년도 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (ITA-2007-C1090-0701-0044)

설명한다.

2.1 센서네트워크 구성 요소

센서 네트워크는 재난방제, 동식물 생태계 모니터링, 환경 감시, 지능형 물류관리, 군사적 목적 등에 따라 다양한 형태로 구성된다. 한 예로서 해양 센서 네트워크는 기지국(base station), 인공위성, 게이트웨이(gateway), 릴레이 노드(relay node), 싱크노드, 센서 노드(sensor node)로 구성된다[4].

2.2 연속 질의

기본 SQL은 SELECT-FROM-WHERE-GROUP BY로 구성되며 selection, join, projection, aggregation을 지원한다[3]. 기본 SQL문은 연속적인 시간에 대한 질의가 없다. 하지만 환경을 주기적으로 모니터링 하는 센서 네트워크에서는 다음과 같이 SELECT-FROM-WHERE [SAMPLE INTERVAL period] [LIFETIME period]형식의 질의 시간과 주기를 가진다.

TinySQL :

```
SELECT ID, Temp, Humidity
FROM sensors
WHERE Temp > 30 and Humidity > 50
SAMPLE PERIOD 10 minutes
```

본 예는 센서 네트워크에서 온도 및 습도를 센싱하기 위한 질의로 조건절의 Temp > 30 and Humidity > 50이 만족하는 노드에서 10분 주기로 환경 변수를 센싱하기 위한 질의의 예를 나타낸다.

2.3 센서 네트워크에서 에너지 소모 요소

센서 네트워크는 다음 세 가지 경우에 가장 많은 에너지를 사용한다. 이웃 노드에 패킷을 전달하기 위한 전송 요소(sending cost is 1μJ/bit), 전송 패킷을 수신하기 위한 수신 요소(receiving cost is 0.5μJ/bit), 수신한 패킷을 버퍼에 쓰거나 지우기 위한 처리 요소(writing/erasing cost is 1μJ/Byte)이다.[2]

"TinyDB An Acquisitional Query Processing"에서는 데이터 송수신 이외에 센싱에 필요한 에너지를 센서네트워크의 에너지 소비로 보았다. 전체 에너지의 Sensing 요소는 5.1%, Communication Sending(70 bytes @ 38.4 bps * 2 packets)은 2.43%, Communication Receive Packets(70 bytes @ 28.4bps * 10 packets)은 11.00%, Communication, Sampling Channel은 0.31%, Processor(Active)는 80.68%, Processor(Idle)는 0.47%를 소비 한다[3].

센서 네트워크에서 위의 요소들을 발생 시키는 근본적인 위치는 base station이나 sink node이다. 질의를 전달하는 상위 노드에서 얼마나 많은 질의를 보내는가에 따라 센서 네트워크의 트래픽 양이 결정 되며, 이에 따라 에너지 소비율이 결정된다.

3. 다중 질의 합성

다중 연속질의의 합성은 센서 네트워크로 전달되는 다

중 질의를 합성하여 전달되는 데이터의 양을 줄임으로서, 센서 네트워크 내에서 전달되는 트래픽을 줄이고, 각 센서 노드는 대상 환경에 대한 센싱의 횟수를 줄일 수 있다. 따라서 각 센서 노드로부터 반환되는 결과의 중복 전송을 회피함으로써 데이터 전송 횟수 및 전송 데이터 양을 줄일 수 있다. 또한 다중질의 합성을 통해 센서 네트워크로 전달되는 질의 수를 줄임으로서 각각의 질의 전달을위한 센서 네트워크 통신 처리에 필요한 각 네트워크 계층별로 부과되는 overhead를 줄일 수 있다.

3.1 다중 질의 합성 알고리즘

다중 질의 합성 알고리즘은 베이스스테이션에 의해 수행되며, 베이스스테이션에서는 합성 질의 CQ에 number를 부여하여 센서 네트워크로 합성 질의를 배포 한다. 합성 질의에 대한 응답을 이용해 각 질의에 해당하는 정보를 제공하기 위해 원본 질의에 대해서도 질의를 관리 한다. 이를 위해 베이스스테이션에서는 1. 원본 질의관리 기능, 2. 질의 합성 기능, 3. 합성질의 결과 관리 기능, 4. 합성질의 결과로부터 원본질의 분할 추출 기능을 수행할 수 있어야 한다.

센서 네트워크에서 다중 질의 처리 최적화를 위한 질의 합성 처리 절차는 다음과 같다.

1 단계 : 베이스스테이션에 요청되는 다중 질의에 대해 합성을 통한 효율적인 처리를 수행하기위해 베이스스테이션에서 일정 시간동안 요청된 질의를 수집한다. 이때 합성 질의 결과에서 요청 table에 적합한 결과를 응답하기 위해 구성된 cache table에 query_num, query_text, CQ_num을 저장한다.

2 단계 : 베이스스테이션에서 수집된 다중 질의의 where 절의 조건에 따라 질의 합성을 수행하고, 질의 합성 결과로 생성된 합성 질의(CQ)에 관리를 위한 번호를 부여 하고 cache table의 원본 질의 record의 CQ_num field의 내용을 수정하여 저장한다. 합성 질의 ID는 원본 질의에 대한 응답 시 합성 질의 결과에서 원본 질의에 대한 결과를 추출 하여 응답하기 위해 사용된다.

3 단계 : 센서 네트워크로 합성 질의를 전달하는 과정으로 네트워크 구성에 따라 싱크노드, cluster head 등 하위 노드(downstream node)를 통해 최종 센서 노드까지 전달된다. 합성 질의 전달은 packet flooding방식을 이용해 하위 네트워크 요소로 전달된다.

4 단계 : 센서 노드에서 환경 값을 센싱한 후 수신한 질의에 대해 조건을 만족하는 센싱 값을 가진 노드들에서 질의응답을 위한 데이터를 전송하는 단계로 합성 질의 번호(CQ_num), 응답 노드 ID, 센싱 값 등의 데이터를 cluster head로 전송한다.

5 단계 : 센서 노드로부터 전송된 응답 데이터를 취합하여 상위 노드(upstream node)로 전달하기 위한 단계로 수신 데이터 전달시 전송 overhead를 최소화 하기위해 수신 데이터를 합성하여 전달하며, 데이터 합성은 합성 질

의 번호별로 합성된다.

6 단계 : 합성 질의에 대한 응답 데이터를 저장하는 단계로, 베이스스테이션에서 수신한 응답 데이터를 cache table에 합성 질의 번호, 응답 노드 ID, 센싱 값 등의 정보를 저장한다. 이러한 cache table에 저장된 데이터는 원본 질의를 요청한 사용자 또는 노드에 응답하기 위해 사용된다.

7 단계 : 합성 질의에 대한 응답 결과가 저장된 cache table에서 각 원본 질의에 해당하는 환경 값을 추출하여 원본 질의를 요청한 사용자 또는 노드에 응답하는 단계로 원본 질의의 관리를 위한 cache table 내의 질의에 해당하는 값을 합성 질의 응답 결과가 저장된 cache table에서 추출하여 해당 값을 전송한다. 원본 질의에 대한 응답 후 원본 질의관리 cache table 및 합성 질의 응답 cache table의 내용을 clear 한다.

다중 질의의 합성 알고리즘은 7단계로 수행되며, 이를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.

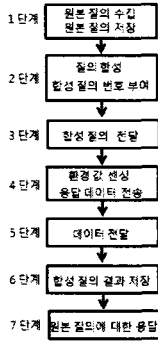


그림 1 다중 질의의 합성 알고리즘

3.1.1 다중 질의의 합성 예

사용자가 요구하는 질의는 베이스스테이션으로 모이게 된다. 이때 베이스스테이션은 각 질의를 속성 별로 분석하여 각각의 질의를 합성할 수 있는가를 판단한다. 합성을 할 때 가장 중요한 요소는 WHERE 이다. SELECT 절이나 FORM절은 *와 node로 모든 속성을 대변할 수 있다. 예를 위해 베이스스테이션에 모인 질의의 집합을 $Q = \{q1, q2, q3, q4, q5\}$ 이라 하자. 각 질의의 조건 속성을 $A = \{a1, a2, a3, a4, a5, a6\}$ 라 하면 속성이 같은 값으로 질의는 서로 묶을 수 있다. 즉 $Q1 = \{q1, q2\}$, $Q2 = \{q3, q4, q5\}$ 으로 분류가 된다. 각각의 Q1과 Q2는 WHERE절을 대표 할 수 있는 값을 생성한다. Q1 질의 집합의 조건 속성 $A1 = \{a1, a2\}$ 는 or 조건으로 연결하여 합성 질의의 CQ1을 생성한다. 질의 합성의 순서는 다음과 같다.

첫째, 질의 조건의 부등호가 같을 때

$A1 = \{Temp > 10, Temp > 20\}$ 이면 or 조건에 의해 $A2 = \{Temp > 20\} \subset A1 = \{Temp > 10\}$ 이 만족하므로 $A1 = \{Temp > 10\}$ 으로 질의 조건을 합성하게 된다.

둘째, 질의 조건의 부호가 반대일 때,

우선 조건 값을 비교 한다.

큰 수 보다 작고 작은 수 보다 큰 조건은 속성의 전체 값이 된다.

$A1 = \{Temp > 10, Temp < 20\}$ 이면 or 조건에 의해 T 속성의 전체 집합을 나타내므로 질의 조건은 생략 된다. 하지만, $A1 = \{Temp < 10, Temp > 20\}$ 이면 작은 수 보다 작고, 큰 수 보다 큰 조건의 경우 이므로 전체 집합이 될 수 없다. 이때는 논리 연산을 사용하여 NOT ($Temp \geq 10 \text{ AND } Temp \leq 20$)의 조건으로 합성될 수 있다.

예를 들면,

$query1 = \text{Select ID from node where Temp} > 30 \text{ and Humidity} < 50$
 $query2 = \text{Select ID from node where Temp} > 50 \text{ and Humidity} > 40$
 $query3 = \text{Select ID from node where Temp} < 10 \text{ and Humidity} > 20$
 base station 에 도착한 3개의 질의를 합성 질의의 CQ로 표현하기 위해 조건 속성을 분류한다.

$A1 = \{Temp > 30, Temp > 50, Temp < 10\}$, $A2 = \{Humidity < 50, Humidity > 40, Humidity > 20\}$

$A1 = \{Temp > 30, Temp > 50, Temp < 10\} = \{Temp > 30 \text{ or } Temp < 10\} = \text{not } \{Temp \geq 10 \text{ and } Temp \leq 30\}$

$A2 = \{Humidity < 50, Humidity > 40, Humidity > 20\} = \{Humidity < 50 \text{ and } Humidity > 20\} = \{all\}$

$CQ = \text{Select ID from node where not } (Temp \geq 10 \text{ and } Temp \leq 30)$

3.1.2 다중 연속 질의 예

다중 연속 질의 처리에서 합성 질의 전달과정은 그림 2와 같다. 여기서 베이스스테이션에 ①과 같은 질의들이 요청되면, 요청된 질의의 조건절에 의해 ②와 같이 합성 질의의(CQ)을 생성 후 ③과 같이 싱크노드로 전달되며, 합성 질의를 수신한 싱크노드는 ④, ⑤와 같이 각 cluster head로 전달되며, cluster head에 의해 각 센서 노드로 합성 질의가 전달된다. 이때 베이스스테이션에서는 합성 질의의 구분을 위한 합성 질의의 CQ ID와 각 질의에 대한 응답을 위해 원본 질의의 ID를 관리한다. 베이스스테이션에 의해 전달되는 합성 질의 메시지는 합성 질의 ID, Type(0: 일반메시지, 1: 질의), 전달 데이터(App_Data) 형태로 구성된다.

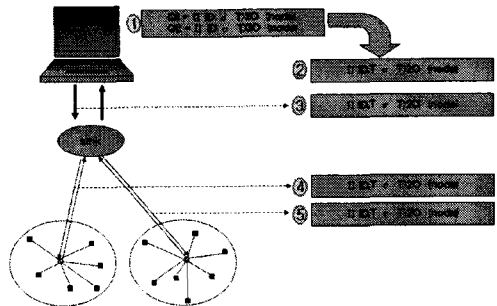


그림 2 base station에서 각 센서 노드로 합성 질의의 전달절차

그림 3은 합성 질의에 대한 응답 절차를 나타내며, 센서 노드로부터 각 합성 질의에 대한 응답을 베이스스테이션으로 전달한다. 응답 절차는 합성 질의에 만족하는 데이터를 각 센서 노드에서 센싱 하면서 시작되며, 센싱

데이터는 cluster head로 전송된다. cluster head는 전달에 따른 overhead를 줄이기 위해 ⑥과 같이 데이터를 통합하여 싱크노드로 전달한다. 싱크노드는 베이스스테이션으로 통합데이터를 전달하기 위해 ⑦과 같이 수신 데이터를 통합하여 전달한다. 이러한 처리절차를 통해 질의 및 응답 데이터 전달이 이루어지며, 이때 통합된 데이터 형태의 전달에 의해 전송 횟수 및 전송에 따른 overhead 감소 효과를 가진다.

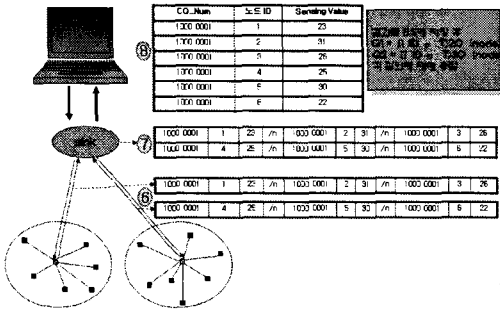


그림 3 센서 노드로부터의 합성 질의에 대한 응답 절차

4. 제안 방법에 의한 에너지 소모 절감 예

표1과 같은 파라미터로 구성된 네트워크에서, 다음과 같은 2개의 질의가 베이스스테이션에 요청되었다고 가정하면,

```
Query1 = Select ID from node where Temp > 15
Query2 = Select ID from node where Temp > 30
2개의 질의는 다음과 같이 합성이 가능하다.
CQuery = Select ID from node where Temp > 15
```

표 1 네트워크 파라미터 값

파라미터	파라미터 값	비고
hdr	35	헤드 크기(Byte)
Qd	30	질의 데이터(Byte)
Qn	2	요청 질의 수
CQd	30	합성질의 데이터(Byte)
Cn	2	클러스터 수
N	10	클러스터 당 노드 수
RData	3	응답 데이터(Byte)
Q1 _{rec}	5	Q1에 대한 응답 노드 수
Q2 _{rec}	3	Q2에 대한 응답 노드 수
CQ _{rec}	5	CQ에 대한 응답 노드 수
E	0.5	μJ/bit

이와 같은 환경에서 소모 에너지(E_{tot}) = (전체 질의 전달 데이터 크기(Q_{send}) + 전체 응답 데이터 크기(Q_{recv})) * byte당 소모에너지에 의해 구할 수 있다.

일반적인 방법과 제안 방법의 에너지 소모량을 계산하면 다음과 같다.

일반적인 방법:

$$Q_{send} = (hdr + Qd) * Qn * (1 + Cn * (1 + N))$$

$$Q_{recv} = (hdr + Rdata) * Q1_{rec} * (1 + 2Cn) + (hdr + Rdata) * Q2_{rec} * (1 + 2Cn)$$

$$E_{tot} = (Q_{send} + Q_{recv}) * 8E = (2990 + 1520) * 4 = 18,040\mu J$$

제안 방법:

$$CQ_{send} = (hdr + Qd) * (1 + Cn * (1 + N))$$

$$CQ_{recv} = hdr * (1 + Cn * (1 + CQ_{rec})) + 3Rdata * CQ_{rec} * Cn$$

$$CE_{tot} = (CQ_{send} + CQ_{recv}) * 8E = (1495 + 545) * 4 = 8,160\mu J$$

이와 같이 일반적인 방법에서의 소모에너지는 18,040μJ이고, 제안방법에서의 소모에너지는 8,160μJ로 나타나 일반적인 방법에 비해 약 54%의 에너지 절약이 가능한 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구

센서네트워크에서 다중 질의는 중복된 질의를 센서 네트워크에 배포하고, 중복된 데이터를 반환함으로써 불필요한 에너지를 소모하게 된다. 또한 각 질의 데이터 전달 과정에서 추가되는 head 정보로 인하여 많은 overhead가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 소모 에너지를 최소화하여 센서 네트워크의 생명주기를 늘이기 위한 방법으로 연속 질의 합성 알고리즘을 제안하고, 에너지 소모 절감 예를 알아봤다.

본 논문에서는 센서 네트워크 질의합성 시 효율적인 질의 합성을 위한 조건절의 분리방법 및 최적 합성 질의 개수에 대한 연구와 다양한 환경에서의 성능분석이 포함되지 않았다. 향후 연구과제로 센서 네트워크에서 효율적인 질의 합성을 위한 방법에 관한 연구를 진행하고, 다양한 환경에서의 성능분석을 수행하고자 한다.

참고문헌

- [1] 박경업, "효율적인 센서 네트워크 관리를 위한 다중 연속 질의 분할", 정보처리학회논문지, 제13-D권 제7호, pp.867-878, 2006.
- [2] J.Hill, R. Szewczyk, A.Woo, S. Hollar, and D. C. K. Pister. System architecture directions for networked sensors. In ASPLOS, November 2000.
- [3] SAMUEL R. MADDEN, MICHAEL J. FRACKLIN, JOSEPH M. HELLERSTEIN, WEI HONG, TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks, ACM Transactions on Database Systems, Vol1, V, No. N, Month 20YY.
- [4] 조용만, 김상경, 김창화, "해양 음파 센서 네트워크 구조 연구", 한국컴퓨터종합학술대회 논문집 Vol. 33, No 1(D), pp.58-60,2006.
- [5] <http://www.tinyos.net>
- [6] Niki Trigoni, Yong Yae, Alan Demers, Johannes Gehrke, and Rajmohan Rajaraman, Multi-query Optimization for Sensor Network, - - -
- [7] Ugur Cetintemel, Andrew Flinders, Ye Sun, Power-Efficient Data Dissemination in Wireless Sensor Networks, - - -