

멀티 모달 센서 네트워크를 위한 질의 처리

이미정⁰ 정유나 황인준*

아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과, *고려대학교 전자공학과
{mijung, serazade}@ajou.ac.kr, ehwang04@korea.ac.kr

Query processing for multi-modal sensor network

Mijung Lee⁰ Youna Jung Eenjun Hwang*

Graduate School of Information and Communication, Ajou University,
*Department of Electronics and Computer Engineering, Korea University

요 약

최근 들어 통신 기술과 센서 기기의 발달로 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 센서 노드를 통해 데이터를 수집하고 처리하는 기술이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 그러나 기존의 논문에서는 한 종류의 노드에서만 정보를 수집하는 것을 가정하고 있다. 하지만 여러 종류의 센서 노드에서 정보를 수집해야 하는 경우도 발생할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 여러 종류의 센서 노드를 고려한 센서 네트워크 구조를 제안한다. 또한 제안한 네트워크 구조에서 이루어지는 다양한 질의 처리 방법을 제시한다.

1. 서 론

최근 디지털 기술의 발달로 소형, 저가, 저전력의 무선 센서 기기들을 대량으로 생산할 수 있게 되었다. 또한 지능형 센서 (smart sensor)의 출현으로 의료, 환경, 군대, 홈네트워크 등 다양한 분야에서 무선 센서 네트워크가 사용되고 있다. 사용자는 무선 센서 네트워크의 주변 환경 (온도, 압력, 습도, 흙 구성물, 물체의 움직임, 빛의 상태, 소음 레벨 등)을 감지할 수 있는 다양한 센서로부터 필요한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 정보를 얻기 위해서는 센서에서 감지한 정보를 수집하고 처리해야 하는데 처리방식은 크게 두 가지이다. 하나는 서버 기반(server based) 방식[1]이고 다른 하나는 내부 네트워크 방식(in-network based)[2][3]이다. 서버 기반 방식에서는 모든 센서 노드의 데이터를 외부의 중앙 서버가 수집해서 질의를 처리하고, 내부 네트워크 방식에서는 말단의 센서 노드로부터 수집한 데이터를 중간 노드에서 처리하는 방식이다. 이 두 가지 방식에서 내부 네트워크 방식이 데이터를 처리하는데 에너지 소모가 적은데 이러한 장점으로 인해 최근 각광을 받고 있다[2]. 센서 네트워크에서 센서 노드는 배터리에 의존하므로 에너지의 활용이 중요하기 때문이다. 따라서 최근에는 서버 방식보다 내부 네트워크 방식에서 데이터를 수집하는 방법에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 기존의 연구에서는 내부 네트워크 기반의 데이터 처리는 단지 한 종류의 센서 노드만을 고려하였다. 하지만 여러 종류의 센서 노드에서도 정보가 필요한 경우가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 여러 종류의 센서 노드로 구성된 센서 네트워크 구조와 제안한 네트워크에서 내부 네트워크 방식으로 질의를 처리하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 기존의 센서 네트워크 방식을 사용할 때 보다 질의를 처리하는 메시지의 수를 줄일 수 있으므로 에너지 소모가 적다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 센서 네트워크 구조와 내부 네트워크 방식의 데이터 처리에 대한 관련 연구를 소개하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 4-레벨 센서

네트워크와 쿼리 처리 방법을 제안한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구 과제로 끝을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 센서 네트워크 구조

센서 네트워크에 질의가 전달되면 대표 노드가 이를 받아서 다른 센서 노드에게 질의 메시지를 보낸다. 센서 노드들은 데이터를 수집하여 여러 경로 중 가장 빠른 경로를 통해 다시 대표 노드로 전달한다[4]. 데이터를 대표 노드로 전달하기 위해서는 중간 노드를 거쳐 대표 노드에 이르게 하는 홉 바이 홉 커뮤니케이션(hop by hop communication)을 사용한다. 이는 센서 노드가 배터리 파워에 의존적이기 때문에 장거리 전송보다는 단거리 전송이 효율적이기 때문이다.

최근에는 트리 구조에 기반한 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5, 6]. 트리 구조의 센서 네트워크는 질의를 전송하는 하나의 루트 노드와 질의를 받는 센서 노드들로 구성되어 있다. 부모 노드는 자식 노드로부터 수집한 데이터를 처리한 후 상위 부모 노드로 보낸다. 루트 노드에서는 최종적으로 데이터를 수집하여 사용자에게 전달한다. M. Khan et al은 트리 구조에 기반한 3-계층 센서 네트워크를 제안 하였다[7]. 그림 1은 M. Khan et al이 제안한 클러스터 기반의 센서 네트워크 구조이다.

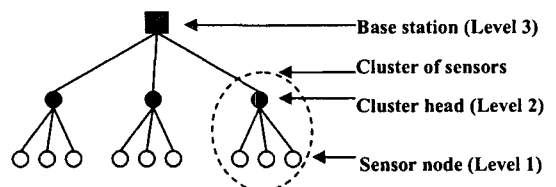


그림 1. 클러스터 기반의 계층적 센서 네트워크

그림 1에서 기지국(Base station)은 인터넷이나 다른 네트워크로 연결하는 게이트웨이 역할을 한다. 지역적으로 클러스터링(clustering) 된 센서 노드에서 대표 노드를 선출하여 클러스터 헤드(cluster head)라고 한다. 클러스터 헤드는 클러스터에 속하는 센서로부터 데이터를 수집하고 처리해서 기지국으로 보낸다.

2.2 데이터 수집 및 처리

트리 구조의 센서 네트워크에서 필요한 정보를 얻기 위해 데이터를 수집하여 처리하는 방법 연구 주제 중 하나이다. 최근에는 다중 연산자(aggregation, grouping, join, selection)로 구성된 복잡한 질의(complex query)를 내부 네트워크 방식으로 처리하는 방법에 대한 연구가 소개되었다[2, 3]. 예를 들어 하나의 노드에 두 개의 센서(온도 센서와 빛 센서)가 달려 있다고 가정했을 때 빛의 강도가 10과 15사이 일 경우 빛의 강도에 따른 평균 온도를 구하는 과정은 그림 2와 같다.

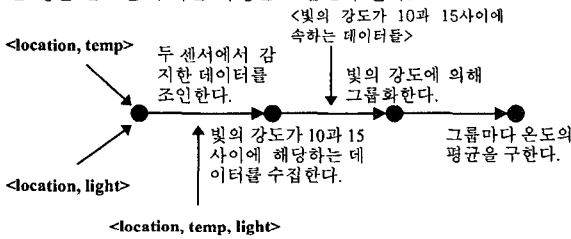


그림 2. 복잡한 질의(complex query) 처리 과정의 예

3. 멀티 노드 센서 네트워크

3.1 4-레벨 센서 네트워크

기존의 논문에서는 트리 구조의 센서 네트워크에서 정보 수집을 한 종류의 노드에서만 수행하였다. 하지만 동시에 여러 종류의 센서 노드에서 정보를 수집해야 하는 경우도 발생할 수 있다. 예를 들면, 동물에 부착 되어 위치나 체온, 맥박을 감지하는 센서로부터 정보 수집을 할 수 있고 주변에 위치하여 환경(온도나 습도, 바람의 세기)을 감지하는 센서로부터도 정보가 필요할 수 있다. 사자 주변의 온도를 알고 싶다면 동물의 이름이 사자인 센서 노드와 그 주변에서 온도를 감지하는 센서 노드로부터 데이터를 얻어야 한다. 따라서 본 논문에서는 노드 타입이 여러 종류인 센서 네트워크의 구조를 제안하였다. 노드 타입이 두 가지라고 가정했을 때 센서 네트워크의 구조는 그림 3과 같다.

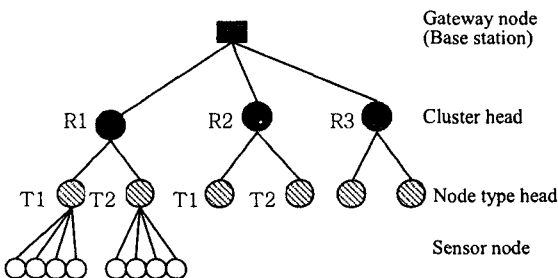


그림 3. 4-레벨 센서 네트워크

제안한 4-레벨 센서 네트워크에서 게이트웨이 노드는 질의를 네트워크로 보내고 결과를 사용자에게 전송하는 인터페이스 역할을 한다. 클러스터 헤드(cluster head)는 지역적으로 분류된 노드들의 대표 노드를 말한다. 지역적으로 노드를 분류한 후 다시 노드 타입으로 센서 노드를 분류하는데 노드 타입으로 분류된 노드들의 대표 노드를 노드 타입 헤드(node type head)라

한다. 클러스터 헤드와 노드 타입 헤드는 데이터를 감지하지 않고 단지 하위 노드로부터 전송된 데이터를 수집하고 처리해서 게이트웨이 노드로 전달하는 역할을 수행한다. 그림 3에서 T1의 하위 센서 노드들은 동물에 부착 되어 위치, 체온, 맥박 등을 감지하고 T2의 하위 센서 노드들은 온도, 빛, 바람 세기, 습도 같은 동물의 주위 환경을 감지한다. 각 센서에서 얻을 수 있는 데이터의 형태는 다음과 같다.

동물의 위치를 탐지하는 센서: <name, timestamp, location>
 온도를 탐지하는 센서: <location, timestamp, temperature>

센서 노드를 지역과 타입으로 나누어 센서 네트워크를 구성하여 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다. 첫째, 같은 클러스터 내의 노드들은 수집한 데이터를 모아서 클러스터 헤드를 통해 전송하는 것이 개별적으로 기지국으로 바로 전송하는 것보다 에너지 효율 면에 우수하다[6]. 둘째, 노드 타입에 의해 센서 노드를 분류 하였으므로 질의에 따라서 필요한 노드 타입으로만 질의 메시지를 보낼 수 있으므로 메시지의 전송 횟수를 줄일 수 있다.

3.2 제안한 센서 네트워크에서 쿼리 처리방법

제안된 센서 네트워크 구조에서는 기존의 방식과는 다르게 쿼리 처리가 이루어져야 한다. 따라서 본 절에서는 제안한 4-레벨 센서 네트워크에서 내부 네트워크 방식으로 질의를 처리하는 방법을 제안한다. 특히 기존 논문에서 다루지 않았던 서브 질의 처리 방법과 조인, 그룹화(grouping)하는 방법에 대해서도 처리 가능하도록 하였다.

3.2.1 일반적인 질의

```

" 토끼의 평균 체온과 맥박은?"
Select AVG(T1.temp), AVG(T1.pulse)
From node type1 T1
Where T1.name = ' rabbit'
    
```

질의 메시지를 동물에 부착된 T1의 하위 센서 노드에게 전송한다. 질의를 받은 센서 노드의 이름이 토끼이면, 체온과 맥박 데이터를 T1 노드로 보낸다. T1 노드에서는 수집한 체온과 맥박 데이터의 평균을 구하고 클러스터 헤드 노드를 거쳐 게이트웨이 노드로 전송한다. 게이트웨이 노드에서는 각 클러스터 헤드 노드로부터 수집된 평균값들을 가지고 최종적인 평균값을 구해 사용자에게 전송한다.

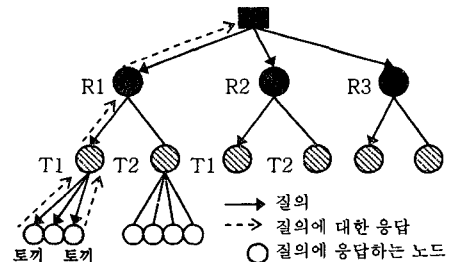


그림 4. 질의 예

위의 질의에서 주위 환경을 감지하는 T2 하위 노드로는 메시지를 보내지 않고 선택적으로 동물에 부착된 센서 노드에게만 메시지를 보내므로 메시지의 수를 줄일 수 있다. 따라서 에너지의 소모를 줄인다.

3.2.2 서브쿼리

```

" 코알라와 같은 지역에 사는 동물과 그 동물의 위치는?"
Select T1.region, T1.name T1.loc
From node type1 T1
Where region = (Select region
From node type1 T1
Where T1.name = ' koala' )
    
```

먼저 코알라가 R1 지역에 서식한다고 가정한다. 메인 쿼리와 서브 쿼리를 T1 노드로 보내고 T1 노드에서는 서브 쿼리만 하위 센서 노드로 전송한다. 코알라라는 이름을 가진 노드는 T1 노드에게 응답을 보내고 응답을 들은 T1 노드는 메인 쿼리를 다시 하위 센서 노드에게 보낸다. 센서 노드는 이름과 위치 정보를 T1 노드로 전송하고 T1 노드는 수집한 데이터를 클러스터 노드를 통해 게이트웨이 노드로 보낸다.

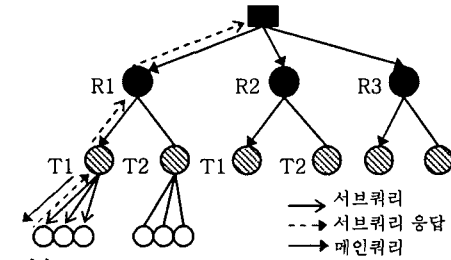


그림 5. 서브 쿼리의 예

위의 예처럼 메인 쿼리와 서브 쿼리를 동시에 보내지 않고 서브 쿼리를 먼저 전송하고 메인 쿼리는 응답을 받은 헤드 노드의 하위 노드에게만 선택적으로 전송한다. 따라서 메시지의 수를 줄일 수 있다.

3.2.3 조인

```

"호랑이 서식지의 평균 습도와 온도?"
Select AVG(T2.humidity), AVG(T2.temp)
From node type1 T1, node type2 T2
Where T1.name = 'tiger' and T1.region = T2.region
    
```

먼저 질의 메시지를 T1 노드의 하위 센서 노드에게 보낸다. 하위 센서 노드 중 이름이 호랑이인 노드는 정보를 T1에게 보내고 T1은 정보를 다시 클러스터 헤드로 보낸다. 정보를 받은 클러스터 헤드는 다시 T2 노드의 하위 센서 노드로 습도와 온도 정보를 요구하는 질의를 보낸다. T2 노드의 하위 노드들은 습도와 온도 데이터를 T2 노드로 전송한다. T2 노드는 수집한 습도와 온도 데이터의 평균을 구하고 평균 값을 게이트웨이 노드로 전송한다.

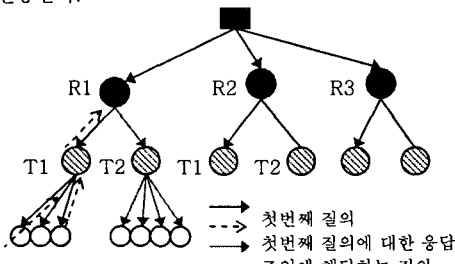


그림 4. 조인의 예

조인을 해야 하는 경우에는 센서에서 생성한 데이터를 분할(partitioning)해서 처리해야 한다. 데이터 분할은 지역별 혹은 센서 타입 별로 이루어지므로 제한한 센서 네트워크 구조에서는 효율적으로 수행 될 수 있다. 또한 조인에 필요한 노드에만 질의 메시지를 보내므로 필요 없이 전송되는 메시지의 수를 줄일 수 있다.

3.2.4 그룹화

```

"동물의 종류에 따라 평균 체온을 구하라."
Select AVG(T1.temp)
From node type1 T1
Group by T1.name
    
```

먼저, 질의 메시지를 T1 노드의 하위 센서 노드에게 전송한다. 하위 노드는 이름과 체온 데이터를 T1 노드로 보내고 T1 노드에서는 하위 센서 노드에서 수집한 동물 이름 데이터를 그룹화(1차)하고 각 그룹별로 체온 데이터의 평균값을 구한다. 그룹으로 묶어진 데이터와 그룹의 최대값을 게이트웨이 노드로 전송하면 게이트웨이 노드에서는 수집한 데이터를 다시 그룹화(2차)하고 평균값을 구한다. 노드 타입 헤드에서 그룹화 할 때 메모리가 부족할 경우에도 일부 그룹을 클러스터 헤드로 보내서 데이터를 처리한다.

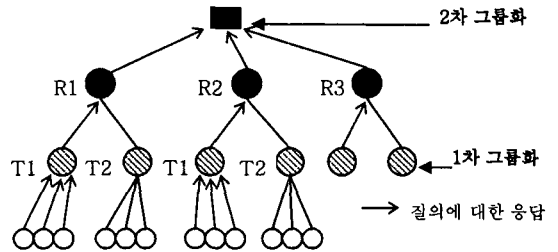


그림 5. 그룹화의 예

4. 결론 및 향후 연구과제

센서 기술의 발전에 따라 그에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 기존의 센서 네트워크 연구에서는 한 종류의 센서 노드만을 고려하여 데이터를 수집, 처리하였으나 여러 종류의 노드에서도 정보를 얻어야 하는 경우도 발생한다. 따라서 본 논문에서는 여러 종류의 센서 노드를 고려한 4-레벨 센서 네트워크를 제안하였고 이러한 구조에서 다양한 질의 처리 방법을 제시하였다. 4-레벨 센서 네트워크에서는 센서 노드를 지역적으로 나누고 다시 노드 타입으로 나누었기 때문에 질의를 처리하는데 메시지의 수를 줄일 수 있었다. 향후 연구 과제로는 노드의 이동이 잦은 경우에 각각의 센서 노드 그룹간의 노드의 이동에 대한 문제를 해결 하는 것이다.

5. 참고 문헌

- [1] S. Babu, J. Widom, "Continuous Queries over Data Stream", SIGMOD, 2001
- [2] R. Govindan, J. M. Hellerstein, W. Hong, S. Madden, M. Franklin, S. Shenker, "The Sensor Network as a Database", USC Technical Report, 2002.
- [3] Y. Yao, J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks", Conference on Innovation Data Systems Reasech (CIDR), 2003
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks", in Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing and Networks (MobiCom), 2000
- [5] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, D. Ganesan, "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low Level Naming", SOSP, 2001
- [6] S. R. Madden, R. Szewczyk, M. J. Franklin, and D. Culler, "Supporting Aggregate Queries Over Ad-hoc Wireless Sensor Networks", Workshop on Mobile Computing and Systems Applications (WMCSA) 2002
- [7] M. Khan, B. Bhargava, and L. Lilien, "Self-Configuring Clusters, Data Aggregation, and Authentication in Microsensor Networks", CSD TR 03-003, Purdue University Technical Report, mar. 2003