
센서 네트워크 환경에서 질의 처리를 위한 노드 선정 기법의 설계

김동현*

Design of the Node Decision Scheme for Processing Queries on
Sensor Network Environments

Dong Hyun Kim*

이 논문은 2011년도 동서대학교 "Dongseo Frontier Project" 지원에 의해 이루어진 것임

요 약

센서 데이터는 지속적으로 데이터 집합에 데이터가 삽입되기 때문에 데이터 검색을 위하여 연속 질의를 사용해야 한다. 연속 질의를 처리하기 위하여 각 센서 노드에서 질의 색인을 구축하고 질의 조건에 맞는 데이터를 전송하는 것이 필요하다. 그러나 모든 노드에 질의 조건을 전송하면 대량의 메시지가 발생하는 문제가 있다.

이 논문에서는 질의 조건 전송을 위한 메시지 횟수를 줄이기 위하여 센서노드선정 트리를 이용한 노드 선정 기법을 제안한다. 단말노드 엔트리는 각 센서 노드를 나타내며 센서 노드에서 발생하는 데이터의 영역을 정의한다. 질의가 발생하면 질의 조건과 겹치는 노드들이 선정되며 해당 노드로 질의 조건을 전송한다. 그리고 센서노드선정 트리를 구현하고 효율성을 실험하였다.

ABSTRACT

Since sensor data are inserted into a data set continuously, continuous queries should be evaluated for searching data. To processing the continuous queries, it is required to build a query index on each sensor node and to transmit result data appropriate for query predicates. However, if query predicates are transferred to all sensor nodes, massive messages are required.

In this paper, we propose the node decision scheme using the sensor node decision tree in order to diminish messages. The entry of a leaf node in the node decision tree represents a sensor node and defines the data region of the sensor node. When a user query is issued, sensor nodes are decided by intersecting between data regions of the tree with the query predicates of the user query, and then the query predicates are transmitted to the selected sensor nodes. We also implement the proposed sensor node decision tree and evaluate the experiments for the tree.

키워드

센서노드선정 트리, 노드선정기법, 연속질의, 센서노드, 센서네트워크

Key word

sensor node decision tree, node decision scheme, continuous query, sensor node, sensor network

* 정회원: 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수(pusrover@dongseo.ac.kr)

접수일자 : 2012. 08. 10

심사완료일자 : 2012. 09. 08

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.10.2224>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

센서 네트워크는 독립적으로 운용되는 센서 노드를 이용하여 다양한 정보를 수집하고, 가공된 정보를 사용자에게 서비스하기 위한 서비스 인프라의 한 종류이다. 센서 노드는 처리모듈과 센싱모듈 그리고 파워모듈로 구성된다. 센싱모듈을 통하여 수집된 데이터는 처리모듈에 의하여 가공된 후에 무선 네트워크를 이용하여 전송된다. 데이터를 서비스하는 센서 노드는 배터리로 구성된 파워모듈에 의해서만 구동되기 때문에 전원의 소모율이 중요한 기능 요소 중 하나이다[1][2].

각 센서 노드의 센서 데이터는 주기적으로 수집되거나 또는 특정 이벤트가 발생하였을 때 수집된다. 따라서 데이터 집합에 데이터가 지속적으로 삽입되어지는 특징을 가진다. 이러한 데이터 집합에서 원하는 데이터를 검색하기 위하여 다음과 같은 연속 질의를 사용해야 한다: “현재부터 향후 5일간 20°C에서 30°C가 감지되는 지점을 검색하라”. 기존의 질의 처리 기법을 사용하면 대량의 메시지 전송이 발생하여 전원 소모율이 높은 문제가 있기 때문에 연속 질의를 처리하기 위한 질의 색인에 대한 연구가 필요하다.

질의 색인은 크게 센서 네트워크의 외부에 저장하는 방법과 각 센서 노드에서 저장하는 방법이 있다. 데이터 전송량과 횟수를 줄이기 위하여 각 센서 노드에서 저장하는 방법이 효율적이다. 이 방법은 사용자 질의가 발생할 때마다 질의 조건을 센서 노드의 질의 색인에 삽입하여 저장한다. 그러나 모든 센서 노드에 조건을 저장할 경우 질의를 저장하기 위한 메시지 전송 횟수가 증가하는 문제가 있다.

이 논문에서는 센서 노드에 질의 조건을 삽입하기 위하여 발생하는 메시지 전송 횟수를 줄이기 위하여 센서노드선정 트리를 사용한 노드 선정 기법을 제안한다. 센서노드선정 트리의 단말 노드 엔트리는 각 센서 노드를 나타내며 센서 노드에서 수집되어 보고된 데이터의 영역을 저장한다. 사용자 질의가 발생하면 질의 조건에 따라 센서노드선정 트리를 검색하여 질의 조건과 겹치는 데이터 영역을 가진 센서노드에 질의 조건을 삽입한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련연구를 분류하고 3장에서 질의조건을 삽입할 때 발생하는 문제점을 기술한다. 4장에서는 센서노드선정 트리를 정

의하고 5장에서는 선정트리를 이용한 선정기법을 설명한다. 6장에서는 실험 결과에 대하여 기술하고 마지막으로 7장에서 결론을 기술한다.

II. 관련연구

센서 네트워크에서 사용자 질의를 처리하는 기존의 기법은 수집된 데이터를 저장하는 위치에 따라 크게 세 가지로 분류된다. 첫 번째는 수집된 데이터를 센서 네트워크의 외부에 저장한 후에 외부에서 사용자 질의를 처리하는 외부저장 기법이다. 코넬 대학에서 개발한 COUGAR 시스템[1]은 센서 데이터베이스의 모델을 정의하고 일정 기간 동안 유지되는 장기간 질의를 표현하였다. GARUDA 기법[2]은 싱크 노드로부터 센서 노드로의 데이터 전달 기법을 제안하였다. 그러나 첫 번째 기법들은 모든 센서 데이터를 외부에 저장해야 하기 때문에 데이터 전송을 위한 메시지 횟수가 증가하는 문제가 있다.

두 번째는 각 노드에서 자신의 데이터를 저장하고 사용자 질의를 노드에서 처리하는 내부 저장 기법이다. TAG 기법[3]은 TinyOS를 기반으로 하는 애드혹(ad hoc) 네트워크에서의 병합 기법을 제안하였다. HEED 기법[4]은 에너지 효율성을 증대하기 위하여 클러스터 헤드 기반의 라우팅 기법을 제안하였다. 그러나 이 기법들은 모든 노드에 질의를 전송해야 하기 때문에 질의 전송을 위한 메시지 횟수가 증가하는 문제가 있다.

세 번째는 데이터 영역에 따라 특정 노드를 할당한 후에 발생하는 데이터를 해당 영역의 노드에 저장하고 질의를 처리하는 기법이다. DIM 기법[5]은 이벤트가 발생하는 영역을 분할하여 이벤트와 센서 노드를 KD 트리를 이용하여 연결하 질의처리를 수행하였다. KDDCS 기법[6]은 데이터 영역의 차원에 따라 영역을 분할하고 센서 노드와 KD 트리를 이용하여 연결하고 LSR(Logical Stateless Routing) 기법을 사용하여 노드로 이벤트 데이터를 라우팅한다. 그러나 이 기법은 연속 질의 처리 시 질의 전송을 위한 메시지 발생이 증가하는 문제가 있다.

대표적인 연속 질의 처리 기법으로 TelegraphCQ[7]와 NiagaraCQ[8]가 있다. TelegraphCQ는 데이터 스트림기간 조인 질의를 효율적으로 처리하기 위한 기법을

제시하였다. NiagaraCQ는 XML문서를 하나의 데이터 스트림으로 정의하고 해당 문서가 변경되었을 때 질의를 처리하기 위한 모델을 제안하였다. 그러나 이 기법들은 센서 네트워크의 외부에서 처리되어야 하기 때문에 데이터 전송을 위한 메시지 횟수가 증가하는 문제가 있다.

III. 문제정의

질의 색인을 이용하여 연속 질의를 처리하는 방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 센서 네트워크 외부의 서버에 질의 색인을 저장하고 연속질의를 처리하는 방법이다. 이 방법은 질의를 처리하기 위하여 센서 노드에서 발생하는 데이터를 모두 서버로 전송해야 한다. 따라서 메시지 전송 횟수가 증가하고 전원 소모율을 증가시키는 단점이 있다.

두 번째는 각 센서 노드에서 질의 색인을 유지하는 방법이다. 각 노드는 센서에서 데이터가 수집되면 자신의 질의 색인과 비교한 후에 질의 결과에 해당되는 데이터만 서버로 전송한다. 두 번째 방법은 메시지 횟수를 줄이는 장점이 있다. 그러나 센서 노드에서 질의 색인을 유지해야 하기 때문에 질의가 발생할 때 질의 조건을 센서 노드로 전송하여 삽입해야 한다.

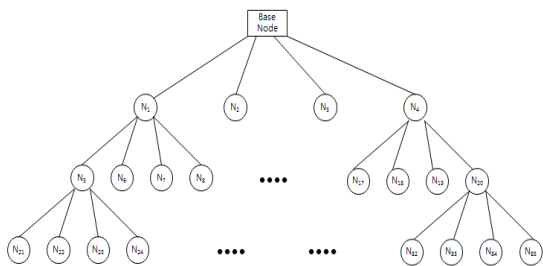


그림 1. 센서 노드 네트워크 라우팅 트리의 예
Fig. 1 Example of Network Routing Tree for Sensor Nodes

질의 색인에 조건을 삽입하기 위한 첫 번째 방법은 질의 조건을 모든 센서 노드에 전송하여 삽입하는 일괄(flooding) 기법이다. 일괄 기법은 삽입 알고리즘이 단순한 장점이 있다. 그러나 현장에서 센서 노드를 이

용할 경우 수십 개부터 수백 개의 노드를 설치하여 데이터를 처리한다. 따라서 센서 노드의 개수에 따라 질의 조건 전송을 위한 메시지 전송량이 증가하는 문제가 있다.

예를 들어 그림 1과 같이 계층 구조 형태의 네트워크 라우팅 트리를 가정해보자. 팬아웃 수수가 4이고 노드의 수가 85개인 경우 모든 노드에게 질의 조건을 전송하기 위한 메시지의 수는 84회이다. 만약 1,000개의 질의를 처리할 경우 질의 조건 전송을 위하여 84,000회의 메시지를 전송해야 한다.

이 논문의 기본 아이디어는 질의 전송을 위한 메시지 횟수를 줄이기 위하여 데이터의 발생 가능성이 높은 노드로 질의 조건을 선택적으로 전송하는 것이다.

IV. 센서노드선정 트리

질의 조건을 보내기 위한 센서 노드를 선정하기 위하여 센서노드선정 트리를 정의한다. 센서 노드 선정 트리는 R-Tree를 기반으로 서버에서 구축된다. 단말 노드의 엔트리는 각 센서 노드를 나타내며 노드의 식별자와 함께 노드에서 발생하는 데이터의 영역을 정의한다. 그림 2는 단말 노드 엔트리의 구조를 보여준다.

Sensor Node id	Data Dimension 1	...	Data Dimension n
----------------	------------------	-----	------------------

그림 2. 단말 노드 엔트리 구조
Fig. 2 Entry Structure of Leaf Node

비단말 노드의 엔트리는 R-Tree와 동일하게 하위 노드로 있는 데이터 영역의 크기와 하위 노드에 대한 포인터로 구성된다. 그림 3은 비단말 노드의 구조를 보여준다.

Node Pointer	Data Dimension 1	...	Data Dimension n
--------------	------------------	-----	------------------

그림 3. 비단말 노드 엔트리 구조
Fig. 3 Entry Structure of Non-leaf Node

트리를 초기에 구성하는 방법은 R-Tree의 삽입 알고리즘을 사용한다. 각 센서 노드에서 첫 센서 데이터가 서버로 수집되었을 때 수집된 데이터의 영역을 계산하여 센서 노드 식별자와 함께 센서노드선정 트리에 삽입한다.

초기에 구성된 트리의 각 엔트리 데이터 영역은 매우 좁게 구성된다. 따라서 센서 노드에서 데이터가 수집될 때 마다 해당 센서 노드의 데이터 영역을 수정할 필요가 있다. 그림 4는 센서노드선정 트리의 데이터 영역을 조정하기 위한 알고리즘을 보여준다.

```

Algorithm AdjustTree
Let NDT be the Node Decision Tree
Let D be the set of data that are reported from sensor nodes

FOR each  $d_i$  of sensor node  $i$  in  $D$ 
  find entry  $e_i$  for sensor node  $i$  using  $d_i$ 
  delete  $e_i$  from  $NDT$ 
  adjust data region of  $e_i$  using  $d_i$ 
  reinsert  $e_i$  into  $NDT$ 
ENDFOR
    
```

그림 4. Adjust Algorithm
Fig. 4 Adjust Algorithm

```

Algorithm SensorNodeSelection
Let NDT be the Node Decision Tree

Set  $X = \emptyset$ 
Add Root Node  $N$  of  $NDT$  to NodeSet  $NS$ 
extract predicates  $q$  of user query  $Q$ 
WHILE  $NS \neq \emptyset$ 
  extract  $N$  from  $NS$ 
  IF  $N$  is leaf node
    examine all entry of  $N$  and find entry  $e$  which data region of  $e$  intersects with  $q$ 
    add  $e$  to  $X$ 
  ELSE IF  $N$  is non-leaf node
    examine all entry of  $N$  and find entry  $e$  which data region of  $e$  intersects with  $q$ 
    add sub node  $N$  of  $e$  to  $NS$ 
  ENDIF
ENDWHILE

FOR each  $e$  of  $X$ 
  find path from base node to node  $e.id$ 
  send  $q$  to node  $e.id$ 
ENDFOR
    
```

그림 5. 센서 노드 선정 알고리즘
Fig. 5 Sensor Node Selection Algorithm

V. 노드 선정 기법

질의가 생성되면 서버에서는 센서 노드 선정 트리를 이용하여 질의 조건이 삽입될 센서 노드를 검색한다. 삽입될 센서 노드들이 검색되면 각 센서 노드에게 질의 조건을 전송하여 해당 조건을 삽입한다. 그림 5는 센서노드선정 트리를 이용한 노드 선정 알고리즘을 보여준다.

그림 6은 온도와 습도에 대하여 센서 노드에서 데이터를 수집하는 예를 보여준다. 그림 6과 같이 각 센서 노드의 데이터 영역에 따라 센서 노드 선정 트리가 구성된다. 만약 질의 조건 Q_{12} 가 발생할 경우 센서노드선정 트리에 따라 센서 노드 N_4 가 Q_{12} 가 삽입될 노드로 선정된다. 그리고 N_4 로 Q_{12} 가 전송되어 N_4 의 질의 색인에 삽입된다.

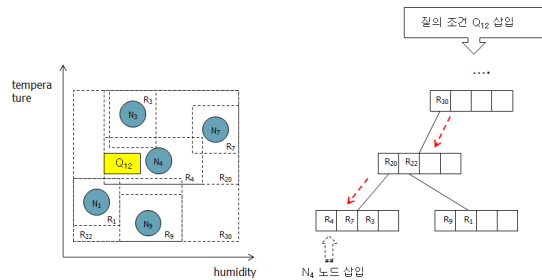


그림 6. 센서 노드 선정 트리의 예
Fig. 6 Example of Sensor Node Decision Tree

VI. 구현

센서노드선정 트리를 이용한 노드 선정 기법을 검증하기 위하여 시뮬레이션으로 실험 환경을 구성하였다. 그림 7은 시뮬레이션을 위하여 구현한 모듈을 나타낸다.

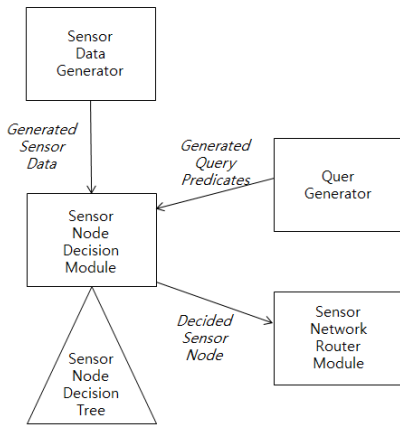


그림 7. 실험용 구현 모듈
Fig. 7 Implemented Module for Experiments

센서 노드에서 발생하는 데이터는 균등 분포형이고 습도와 온도인 두 가지 차원의 데이터를 생성하였다. 선정된 센서 노드로 질의 조건을 보내기 위하여 벨만포드 알고리즘을 사용하는 센서 네트워크 라우팅 모듈을 구현하였다. 그리고 질의 발생 시 베이스 노드로부터 센서 노드까지의 필요한 메시지 횟수를 측정하였다.

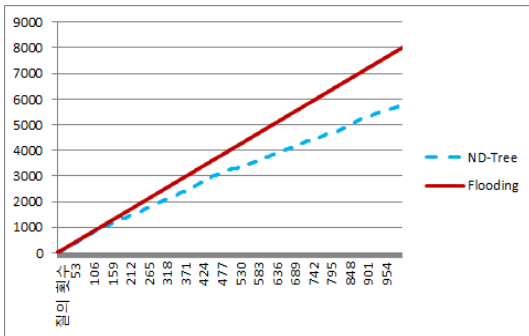


그림 8. 센서 노드 수: 9
Fig. 8 Number of Sensor Node: 9

그림 8은 센서 노드의 수가 9개로 극히 적은 경우이다. 일괄 기법과 비교하여 적은 비율로만 감소되었음을 알 수 있다. 그림 9부터 그림 11까지는 센서 노드의 수가 각각 25개, 81개 그리고 225개일 경우의 메시지 횟수를 보여준다.

그림에서 보듯이 노드의 수가 많아질수록 일괄기법에 비하여 메시지 횟수가 크게 감소하고 있는 것을 알 수 있다.

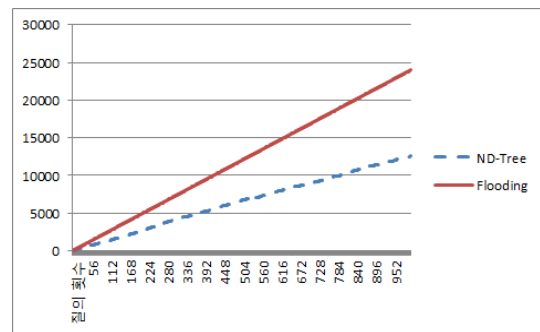


그림 9. 센서 노드 수: 25
Fig. 9 Number of Sensor Node: 25

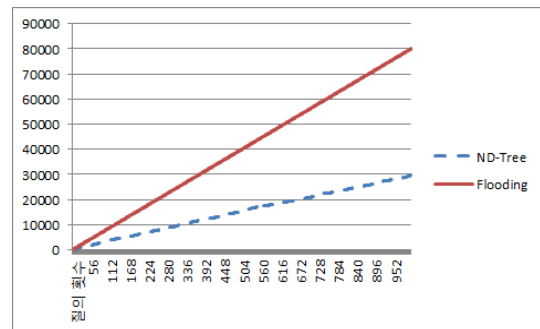


그림 10. 센서 노드 수: 81
Fig. 10 Number of Sensor Node: 81

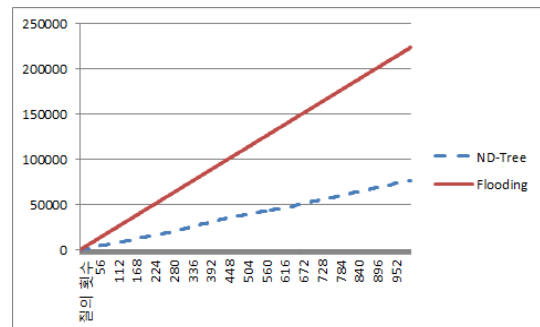


그림 11. 센서 노드 수: 225
Fig. 11 Number of Sensor Node: 225

VII. 결 론

센서 네트워크에서 연속 질의를 처리하기 위하여 질의 색인을 사용해야 한다. 질의 색인은 각 센서 노드에서 자신의 색인을 유지하여 사용자 질의를 처리하는 것이 효율적이다. 그러나 데이터가 발생할 가능성이 있는 센서 노드로 질의 조건을 전송해야 하는 문제가 있다.

이 논문에서는 센서 노드 선정 트리를 이용한 노드 선정 기법을 제안하였다. 센서 노드 선정 트리의 단말노드 엔트리는 각 센서 노드를 나타내며 센서 노드에서 발생하는 데이터의 영역을 표현한다. 사용자 질의가 발생하면 질의 조건을 이용하여 센서 노드 선정 트리에서 노드들을 선정하고 해당 노드들로 질의 조건을 전송한다. 향후 연구로는 전송된 질의 조건을 이용하여 질의 색인을 구축하고 사용자 질의를 처리하는 기법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Philippe Bonnet, Johannes Gehrke, Praveen Seshadri, "Towards Sensor Database Systems", MDM, 2001
- [2] Seung-Jong Park, Ramanuja Vedantham, Raghupathy Sivakumar, Ian F. Akyildiz, "A Scalable Approach for Reliable Downstream Data Delivery in Wireless Sensor Networks", MobiHoc, 2004
- [3] Samuel Madden, Michael J. Franklin, Joseph Hellerstein, Wei Hong, "TAG: a Tiny AGgregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks", OSDI, 2002
- [4] Ossama Younis, Sonia Fahmy, "HEED: A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Mobile Computing, 2004
- [5] Xin Li, Young Jin Kim, Ramesh Govindan, Wei Hong, "Multi-dimensional Range Queries in Sensor Networks", ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems, 2003
- [6] Mohamed Aly, Kirk Pruhs, Panos K. Chrysanthis,

"KDDCS: A Load-Balanced In-Network Data-Centric Storage Scheme for Sensor Networks", ACM CIKM, 2006

- [7] Sirish Chandrasekaran, Owen Cooper, Amol Deshpande, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, Wei Hong*, Sailesh Krishnamurthy, Sam Madden, Vijayshankar Raman**, Fred Reiss, Mehul Shah, "TelegraphCQ: Continuous Dataflow Processing for an Uncertain World", Innovative Data Systems Research Conference, 2003
- [8] Jianjun Chen, David J. DeWitt, Feng Tian, Yuan Wang, "NiagaraCQ: A Scalable Continuous Query System for Internet Databases", ACM SIGMOD, 2000

저자소개

김동현(Dong Hyuni Kim)

한국정보통신학회 논문지
제15권 제2호 참조