무선 센서 네트워크 미들웨어에서의 레벨-기반 데이터 집계 질의 동기화 기법+

홍승태, 나소라, 윤민, 장재우
전북대학교 전자정보공학부
e-mail:sthong@dblab.chonbuk.ac.kr

A Level-based Data Aggregation Query Synchronization Method for Wireless Sensor Network Middleware

Seung-tae Hong, So-ra Na, Min Yoon, Jae-woo Chang
Dept of Computer Science, Chonbuk University

요 약

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에 대한 관심이 증대되고 있으며, 센서노드의 제한된 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 센서 네트워크 미들웨어에 대한 연구가 활발히 수행되어 왔다. 그러나 기존 연구들은 데이터 집계 질의 수행 시 각 센서 노드의 동기화를 라우팅 프로토콜에 의존하고 있으며, 미들웨어에서의 자체적인 동기화 기법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크 미들웨어 자체적으로 데이터 집계 질의 동기화를 지원하는 레벨-기반 데이터 집계 질의 동기화 기법을 설계한다.

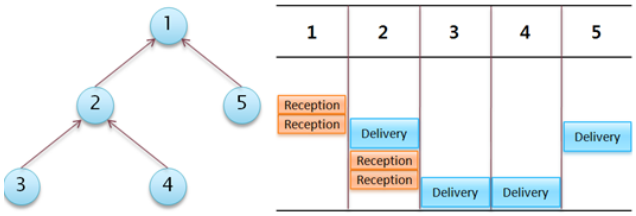
1. 서론

최근 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에 대한 관심이 크게 고조되고 있으며, 이에 따라 센서노드의 제한된 배터리 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 센서 네트워크 미들웨어에 대한 연구의 중요성이 부각되고 있다. 대표적인 연구로는 TinyDB[1]와 SwissQM[2]이 있으며, 특히 SwissQM은 2007년 스위스 Zürich 공과대학에서 개발한 가상 머신 기반 미들웨어로써 바이트코드 기반 명령어와 인터프리터를 통하여 센서노드간 데이터 전송비용을 감소시킨다. 아울러 대표값 선정을 통하여 데이터의 중복을 제거하고 중요한 데이터만을 추출하는 데이터 집계(Aggregation) 질의를 지원한다. 한편, 데이터 집계 질의 수행을 최소화하기 위해서는, 각 센서노드에 대한 동기화가 필수적이다. 이는 각 센서노드가 동기화되지 않은 경우, 각 센서노드의 송수신시마다 데이터 집계 질의가 수행되기 때문이다. 그러나 SwissQM은 각 센서노드의 동기화를 MINT[3] 라우팅 프로토콜에 의존하고 있으며, 이에 따라 데이터 집계가 효율적으로 이루어지지 못하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크 미들웨어 자체적으로 데이터 집계 질의 동기화를 지원하는 레벨-기반 데이터 집계 질의 동기화 기법을 설계한다.

+ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

2. SwissQM의 데이터 집계 질의

SwissQM의 데이터 집계 질의는 각 센서노드에서의 동작 상태에 따라 데이터 초기화 섹션(Init Section), 전송 섹션(Delivery Section), 수신 섹션(Reception Section)으로 구성된다. 데이터 초기화 섹션은 데이터 집계 질의 수행을 위한 일련의 초기화 명령을 실행하고, 데이터 전송 섹션은 데이터 수집 및 전송을 담당하며, 수신 섹션은 하위 노드로부터 전송된 집계 데이터를 병합하는 역할을 수행한다. 전송 섹션의 실행 시간은 트리의 깊이에 임의의 상수값을 곱한 값으로 결정되며, 수신 섹션은 자식 노드로부터 데이터를 수신할 경우 인터셉트 이벤트(Intercept Event)를 통하여 실행된다. 따라서 전송 섹션은 설정된 실행 시간에 따라 순차적으로 최하위 노드부터 실행되며, 수신 섹션은 하위 노드의 전송 섹션을 통하여 데이터가 수신될 경우 타이머의 인터셉트를 통하여 실행된다. <그림 1>은 SwissQM에서 데이터 집계 질의 수행 시 각 센서노드에서의 전송 섹션과 수신 섹션의 수행 순서를 나타낸다.



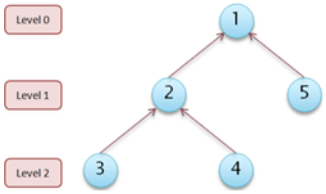
<그림 1> SwissQM의 데이터 집계 질의 수행

3. 레벨-기반 데이터 집계 질의 동기화 기법

SwissQM은 수신 섹션의 실행 시간을 자식 노드로부터의 데이터 수신 이벤트에 의존함으로써, 데이터 전송 지연에 따른 시각 오차를 반영하지 못한다. 따라서 네트워크 규모가 커짐에 따라 데이터 전송 지연이 발생할 경우, 자식 노드로부터 데이터가 수신되기 이전에 전송 섹션이 실행되게 되어 지정된 시간 내에 데이터를 수신할 수 없게 된다. 또한 SwissQM의 데이터 집계 질의는 수신 섹션이 실행되는 동안 새로운 데이터가 수신될 경우, 새롭게 수신된 데이터에 대하여 데이터 집계 질의를 수행하지 못한다. 이는 수신된 새로운 데이터에 대하여 데이터 집계 질의를 수행하지 않고 최상위 노드로 그대로 전송하는 문제점을 가지고 있다.

한편 SwissQM은 각 그룹별 데이터 집계 질의 결과를 저장하기 위한 메모리 구조로써 시놉시스(Synopsis)를 사용한다. 시놉시스는 최대 4개의 데이터 집계 질의 결과를 저장하며, 시놉시스가 초과될 경우 부모 노드로 전송한 후 다시 집계 질의를 수행한다. 따라서 집계 그룹의 수가 많아질수록 시놉시스가 초과되는 빈도가 증가되며, 이에 따라 초과되어 전송된 데이터 집계 질의 결과가 부모 노드에서도 시놉시스 초과로 인하여 재전송될 확률이 증가된다. 이는 시놉시스 초과로 인하여 전송된 데이터와 동일한 그룹에 대하여 데이터 집계 질의를 수행하지 못하는 문제점을 가지고 있다.

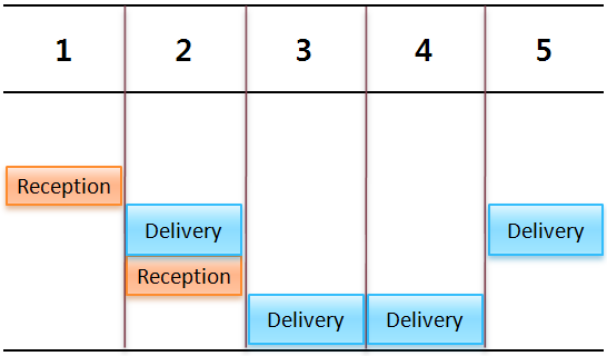
따라서 본 논문에서는 이러한 불필요한 데이터 전송이 발생하는 문제점을 개선하여, 센서 네트워크 미들웨어 내에서 데이터 집계 질의 동기화를 통해 에너지 효율성을 지원하는 레벨-기반 데이터 집계 질의 동기화 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 센서 네트워크 미들웨어 자체적으로 각 센서노드들을 레벨별로 관리하기 위하여 레벨 테이블(Level Table)을 구성하였다. <그림 2>는 제안하는 기법에서 설정된 레벨과 그에 따른 레벨 테이블 정보의 예를 나타낸다.



Level0	1	
Level1	2	5
Level2	3	4

<그림 2> 레벨 설정에 따른 레벨 테이블 정보

제안하는 기법에서는 레벨 테이블 정보를 이용하여 최하위 레벨에서부터 순차적으로 각 섹션을 실행할 수 있도록 데이터 집계 질의를 동기화 한다. 즉 각각의 센서노드의 수신 섹션과 전송 섹션은 레벨 테이블의 정보를 바탕으로 실행 시간이 결정되며, 우선적으로 수신 섹션이 실행되어 자식 노드로부터 데이터 집계 질의 결과를 모두 수신한 후에 데이터 집계 질의를 수행하게 된다. 한편 자식 노드를 가지고 있지 않은 센서 노드의 경우 전송 섹션을 바로 실행할 수 있도록 수신 섹션의 타이머를 설정하지 않는다. <그림 3>은 제안하는 기법에서 데이터 집계 질의 수행 시 각 센서노드에서의 수신 섹션과 전송 섹션의 수행 순서를 나타낸다. 제안하는 기법에서는 레벨에 따라서 순차적으로 데이터 집계 질의가 수행되므로, 우선적으로 최하위 레벨인 3번과 4번 노드의 전송 섹션이 실행된다. 그 후, 레벨 테이블에 의해 설정된 타이머에 의하여 2번 노드의 수신 섹션이 실행되어 3번과 4번 노드의 데이터 집계 질의 결과를 수신하게 되며, 수신 섹션이 성공적으로 종료될 경우 전송 섹션을 실행한다. 이때 5번 노드는 자식 노드가 없으므로 수신 섹션의 타이머는 설정되지 않으며 바로 수신 섹션이 실행되게 된다. 마지막으로 1번 노드는 2번 노드와 5번 노드에서 각각 데이터를 수신 받게 되어, 각각의 데이터 수신에 대하여 데이터 병합을 수행한다.



<그림 3> 제안하는 기법의 데이터 집계 질의 수행

또한 제안하는 기법에서는 임시 집계 연산 버퍼를 추가로 구성함으로써, 시놉시스 초과로 인하여 전송되는 데이터들을 임시적으로 저장하고 자식 노드로부터 모든 데이터 전송이 완료되었을 경우 시놉시스와 임시 집계 연산 버퍼의 내용을 통합하여 데이터 집계 질의를 수행한다. 이를 통하여 데이터 집계 그룹의 중복을 제거함으로써 데이터 전송을 최소화한다.

참고문헌

[1] S. Madden et al., “TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks.” ACM Trans. Database Systems, Vol. 30, No. 1, pp. 122-173, 2005.

[2] R. Müller, G. Alonso, and D. Kossmann, “A Virtual Machine For Sensor Networks", Proc. of the 2nd ACM SIGOPS/EuroSys European Conference on Computer Systems, pp. 145-158, 2007.

[3] A. Woo, T. Tong and David Culler,“Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks,” Proc. of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys ’3), pp. 14 - 7, 2003.