

# 센서네트워크에서 집계연산을 위한 점진적 뷰 관리 기법

최주리, 이민수  
이화여자대학교 대학원 컴퓨터공학과  
e-mail: [blueri00@ewhain.net](mailto:blueri00@ewhain.net), [mlee@ewha.ac.kr](mailto:mlee@ewha.ac.kr)

## Incremental View Maintenance for Aggregation Operators In Sensor Networks

Ju-Lee Choi, Minsoo Lee  
Dept. of Computer Science and Engineering, The Graduate  
School of Ewha Womans University

### 요 약

센서 네트워크는 네트워크와 센서 노드의 에너지 효율성을 크게 고려해야 하므로 데이터 처리에 있어서 네트워크상 쿼리를 주고받는 구조로 설계될 수 있다. 이때, 집계 연산이 중요한 서비스로 제공되어야 할 필요가 있으며 기존에 지원되지 못한 쿼리를 제안하고 에너지 효율적으로 질의를 처리하기 위한 방법으로 데이터웨어하우징에서 연구되고 있는 점진적 뷰 관리 기법을 적용하였다. 센서 네트워크에서 각 센서 노드들의 집계값에 대해 새로운 값이 추가 되었을 때 실제뷰와 점진적 뷰 관리기법을 이용하여 모든 센서값을 저장하지 않고서 센서 노드의 메모리와 에너지 효율적으로 집계값을 구하는 기법을 제안하였다.

### 1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 발전함에 따라 센서 네트워크에 대한 연구가 활발해지고 이에 따라 센서에서 생성된 데이터를 처리하는 연구에 대한 관심이 증대되고 있다. 센서 네트워크는 스스로 센싱하고 계산하고 무선으로 서로 통신할 수 있는 조그만 센서들의 네트워크로 이루어져 있고 센서와 네트워크의 에너지 효율성이 중요하게 다뤄져야 하는 특징을 가지고 있다. 이러한 특징을 고려하여 네트워크상에서 데이터를 주고받는 구조를 생각해 볼 수 있다.[3,6]

이때, 모니터링 하는 데이터의 집계 값(최대값, 최소값, 평균값 등)을 이용하는 경우가 대부분이므로 본 논문에서는 집계 연산 서비스에 중점을 두고 센서 네트워크의 에너지 효율성을 고려하여 집계 그루핑(aggregation grouping)에 대해 데이터 웨어하우징에서 연구되고 있는 점진적 뷰 관리기법(incremental view maintenance)을 적용하였다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 센서 네트워크

Ad-Hoc 네트워크는 분산형 무선통신 네트워크를 의미하며 특정 기지국에 의존하지 않고 무선 이동 단말로만 구성된 네트워크로 재난에 강하고 확장성이 용이하여 센서 네트워크에 적합하다.

센서 네트워크의 구성은 온도나 습도 등의 센싱 기능을 갖는 초소형 센서 모듈과 무선송수신 모듈, 무선으로 주고받는 통신, 센서들의 정보를 모아 호스트 컴퓨터로 전송하는 게이트웨이, 그리고 센서의 데이터 값을 저장하고 모니터링 하는 호스트 서버로 이루어져 있다.

UC Berkeley에서 개발한 초소형 센서 장비 motes는 현재 버전은 2cm\*4cm\*1cm 크기를 가지고 주파수, 프로세서, 메모리, AA 배터리 팩, 그리고 여러 가지 센서들을 장착하고 있다. motes는 TinyOS 운영체제와 TinyDB 데이터베이스를 사용하고 있다. 그리

고 에너지 효율성을 높이기 위하여 집계 연산 서비스인 Tiny Aggregation(TAG)이 있다.[3,6] TAG는 집계 연산들에 대해 기존의 SQL문과 비슷한 쿼리문을 사용하고 근접한 집계 결과 값을 받으므로 온라인 모니터링에 유용하고 통신비용을 줄일 수 있으며 네트워크상의 에러 복구에 대한 것에 미연에 방지할 수 있다. 이외 여러 최적화 기술을 제안하고 있다.

## 2.2 점진적 뷰 관리 기법

데이터웨어하우스는 사용자의 의사 결정에 필요한 정보를 제공하여 효율적인 데이터 마이닝을 통하여 질의 처리를 할 수 있게 한다. 데이터 웨어하우스에서 중요하게 다루어지는 실체뷰(materialized view)는 뷰의 연산 결과를 미리 저장한 형태로서 가상의 테이블인 뷰와 달리 실제 값을 저장해 두고 있어 훨씬 빠르게 접근할 수 있어 질의 처리의 성능을 향상시킬 수 있으며 특히 분산 데이터베이스에 유용하게 쓰여진다.[8] 그러나 데이터웨어하우스 환경에서 소스 테이블이 뷰의 정보를 알지 못하므로 소스 테이블의 변경 시 실체뷰에 바로 적용될 수가 없다는 문제점이 있으며 이는 소스 테이블과 실체뷰의 일관성 유지 문제가 생긴다.

그중 점진적 뷰 관리 기법은 소스 테이블의 변경사항만을 이용하여 수학적 접근 방법으로 뷰의 변경을 계산하는 것이다.[1,2,8] 갱신된 데이터 소스에 대한 직접적 접근이 없기 때문에 질의에 대한 빠른 응답과 높은 이용 가능성을 제공하므로 뷰들을 관리하는데 매우 효율적이다. 이러한 뷰에 대한 변화를 계산하기 위해 수학적 식으로써 뷰를 정의하고 변화를 표현한다. 표1은 점진적 뷰 관리 기법을 표현한 것으로  $\Delta(R)$ 은 R 테이블에 생긴 변화 값을 가지고 있는 테이블이고  $R' = R \cup \Delta(R)$  로써 실체뷰 V에 반영하는 식이다.

<표 1> 점진적 뷰 관리 기법

$$\begin{aligned} \Delta V &= (\Delta R_1 \cap \Delta R_2 \dots \cap \Delta R_n) \cup \\ & (R_1' \cap \Delta R_2 \dots \cap \Delta R_n) \cup \\ & \dots \\ & (R_1' \cap R_2' \dots \cap \Delta R_n) \\ V' &= V \cup \Delta V \end{aligned}$$

## 3. 본론

### 3.1 센서 네트워크에서 집계 연산을 위한 질의

센서 네트워크 기술은 동식물 서식지 관찰, 재해 방

지 시스템과 같이 모니터링 하는 시스템에 적용 될 수 있다.

다음은 TAG에서 사용되는 간단한 쿼리문으로 센서들로부터 30초의 주기(EPOCH)마다 온도의 평균값과 아이디를 가지고 오는 것이다.

```
SELECT AVG(온도), id
FROM sensors
EPOCH 30s
```

센서들은 이전값을 가지고 있지 않으며 각 EPOCH마다 센싱하여 부모노드에게로 전송한다. 그러나 일정한 주기 동안의 평균값, 예를 들어 어느 건물의 10시간동안의 평균 온도를 알고 싶은 경우 TAG에서 지원하지 못하므로 본 논문에서는 새로운 쿼리문으로 DURATION을 추가하였다.

위와 같은 시나리오에 의하면 DURATION 동안의 집계값을 계산하기 위하여 누적되는 값들에 대한 기록을 가지고 있어야 하지만 오랜 시간의 DURATION의 경우 센서 노드의 메모리와 계산능력 한계성으로 이전값을 모두 유지하기가 불가능하다.

그래서 본 논문에서는 실체뷰와 점진적 뷰 관리 기법을 이용한 접근 방법을 제안하였다.

### 3.2 센서네트워크에서 집계 연산을 위한 점진적 뷰 관리 기법

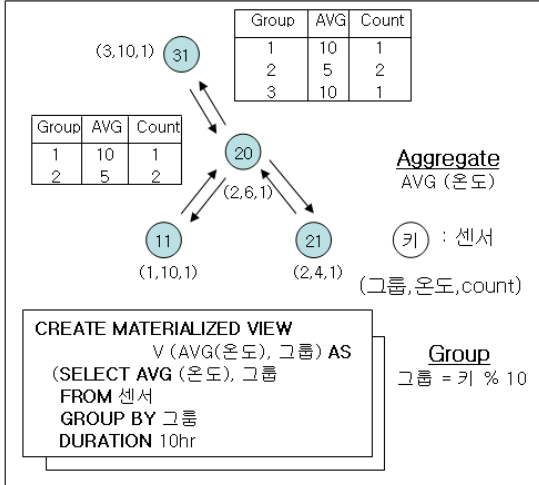
센서 네트워크의 특성상 수천, 수만 개의 센서들의 정보를 모으기 때문에 네트워크의 오버헤드가 클 수 있으며 네트워크상 쿼리를 주고받기 때문에 각 노드와 네트워크의 에너지 효율성이 중요하게 다뤄져야 한다. 이러한 특성을 고려하여 실체뷰를 정의하고 점진적 뷰 관리로 유지하게 되면 연속적으로 들어오는 센싱값들을 모두 저장할 필요 없이 변경사항만 갱신하여 누적된 집계값을 구할 수 있어 센서 노드의 메모리 효율적이고 빠른 집계 연산을 할 수 있게 한다.

본 논문의 시나리오에서는 같은 지역에 센서가 가지고 있는 고유키가 비슷하다는 가정 하에 있을 때 그룹을 같은 지역에 있는 10개의 센서로 정하고 온도의 평균값을 그룹별로 계산하는 것이다. 다음 그림은 시나리오를 설명하고 있다. 사용자가 아래의

DURATION을 포함한 SQL문의 질의를 던지면 트리 구조를 기반으로 각 자식노드에게 전달하고 이 때 그룹을 계산하는 술어식(predicate)도 같이 전달한다. 자식노드는 자신의 그룹 아이디를 술어 식을 이용하여 결정하고 쿼리문도 계산하여 (그룹 아이디, 센서값, count)

을 부모노드에게 다시 전송하고 집계 함수를 이용해 평균값을 계산하여 다시 부모 노드에게 전송한다.

각 노드는 질의를 처리하기 위하여 병합 함수 f와 초기화 함수 I와 계산하는 함수인 평가 함수 e로 이루어진 집계 함수를 이용한다.



(그림 1) 센서 네트워크에 적용한 점진적 뷰 관리 기법

평균을 구하는 경우 센서는 다음과 같은 부분적인 값을 전송한다. 여기서  $\langle x \rangle, \langle y \rangle$ 는 여러 개의 값이 가능한 부분적인 결과값으로 f가 평균값을 위한 함수일 때 각각의 부분적인 값은 SUM과 COUNT가 된다. 다음과 같이 두 개의 부분적인 값  $\langle S1, C1 \rangle, \langle S2, C2 \rangle$ 이 있다면 f는 다음과 같이 두개의 자식노드로부터 받은 부분적인 값을 합친다.

$$f(\langle S1, C1 \rangle, \langle S2, C2 \rangle) = \langle S1 + S2, C1 + C2 \rangle$$

마지막으로 계산해주는 함수  $e(\langle S, C \rangle)$ 를 통해 S/C 값을 돌려받는다. 초기화 함수 I는 count의 경우 1로 설정해 주는 역할을 한다.

매 주기마다 질의 결과값이 전송되어 삽입되는 값에 대하여 뷰를 갱신할 필요성이 있으며 본 논문에서는 점진적 뷰 관리 기법을 적용하여 삽입값을 이용하여 갱신하였다. 다음의 표에 각 집계 연산에 따른 점진적 뷰를 갱신하는 식을 나타내었다. 여기서  $\Delta$ 는 삽입된 값을 의미한다.

하지만 DURATION의 기간에 따라 실체뷰를 사용하는 것에 대한 메모리와 갱신의 오버헤드의 상충 관계가 존재한다. 예를 들어 5분간의 평균 온도에 대한 질의를 구할 때엔 센서 노드의 메모리가 충분하므로 실체뷰에

대한 갱신의 오버헤드를 줄여 에너지 효율적인 계산을 할 수 있다.

<표 2> 집계 연산에 따른 점진적 뷰 갱신

MAX	if $\Delta+(S) > MAX$ $MAX' = \Delta+(S)$
MIN	if $\Delta+(S) < MIN$ $MIN' = \Delta+(S)$
SUM	$SUM' =$ $SUM + \Delta+(S)$
AVG	$AVG' =$ $(AVG*COUNT + \Delta+(S))$ $/COUNT'$

#### 4. 결론

본 논문에서는 센서 네트워크를 데이터베이스로 구체화하는데 있어서 질의를 네트워크상으로 던지고 결과 값을 받는 구조를 기반으로 하였다. 그리고 실제로 구체화 하는데 있어서 기존의 데이터베이스 연산자 중 집계(aggregation) 연산이 센서 네트워크에서 핵심 서비스로 제공될 필요성이 있으며 센서 네트워크에서 에너지 효율적으로 구현을 고려한 기존의 TAG를 기반으로 하여 연구해 보았다.

특히 데이터웨어하우징 연구에서 중요한 기술인 뷰 실체화, 그리고 점진적인 뷰 관리 기법에 대해 알아보았고 이를 센서 네트워크의 집계 함수 그룹핑에 적용하여 실체뷰를 갱신하는 방법을 제안하였다. TAG에서 지원해 주지 못한 질의를 DURATION이 추가된 새로운 SQL문을 통해 가능하게 하였으며 집계 연산에 따른 수학적식을 이용하여 실체뷰를 갱신하고 이는 실체뷰 갱신 시 모든 센서 값을 저장하고 있을 필요가 없어지므로 센서 노드의 메모리 한계를 줄이고 에너지 효율성을 높일 수 있는 방법이다.

향후 연구로는 현재 실험하고 있는 센서 키트에 본 연구의 아이디어를 응용하여 구현 및 성능 평가를 해야 하며 좀 더 다양한 뷰에 확장한 방법에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고문헌

[1] A.Gupta, I.S.Mumick, V.S.Subrahmanian "Maintaining Views Incrementally" In Proceedings of ACM SIGMOD Conference  
 [2] Ashish Gupta, Inderpal Singh Mumick "Maintenance of Materialized View: Problems,

Techniques, and Applications" IEEE Data Engineering Bulletin, Special Issue on Materialized Views and Data Warehousing

[3] Samuel Madden, Michael J. Franklin, and Joseph M. Hellerstein Wei Hong. "TAG: a Tiny AGregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks," ACM SIGOPSI

[4] M. Mohania, S. Konomi, and Y. Kambayashi "Incremental Maintenance of Materialized Views" In Proc. DEXA

[5] TinyDB 웹 페이지, <http://berkeley.intel-research.net/tinydb/>

[6] Samuel Madden, Robert Szewczyk, Michael J. Franklin and David Culler "supporting aggregate queries over ad-hoc wireless sensor network" Proc. IEEE WMCSA

[7] Y.Zhuge, H. Garcia-Molina, J. Hammer, and J. Widom "View Maintenance in a warehousing environment" ACM SIGMOD

[8] Ki Yong Lee, Jin Hyun Son, Myoung Ho Kim "Efficient Incremental View Mintenance in Data Warehouse" ACM CIKM'01