

---

# 무선 센서 네트워크에서 데이터 수집의 정확성 향상을 위한 Delta 기반의 데이터 병합기법

김변곤\* · 유태영\* · 나인호\*

A Delta-based Data Aggregation Scheme for Enhancing the Correctness of  
Data Aggregation in Wireless Sensor Networks

Byun-gon Kim\* · Tae-young Yu\* · In-ho Ra\*

---

이 논문은 2005학년도 군산대학교 신임교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음

---

## 요 약

무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 처리와 신속한 전송을 위해 사용되는 미들웨어는 순간적인 데이터 밀집현상으로 발생하는 중간 노드의 데이터 손실 문제를 해결해야한다. 본 논문에서는 계산 능력, 소비 전력 등 극히 한정된 자원만을 사용하여 데이터를 전달해야 하는 무선 센서 네트워크 환경에서 수집된 데이터의 효율성 및 정확성을 향상시킬 수 있는 Delta-Average 기법을 제시하였다. 제안된 기법을 통해 데이터의 상이성과 평균화 방식을 이용함으로써 순간적인 데이터 밀집현상으로부터 중복된 데이터에 대한 불필요한 전송을 방지하면서 정확성을 높이도록 하였다. 마지막으로 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 TinyDB에서 TOSSIM 시뮬레이션을 수행하였으며, 성능분석 결과를 통해 데이터 정확성이 향상되었음을 검증하였다.

## ABSTRACT

In a wireless sensor network, a middleware used to support efficient processing and fast delivering of sensing data should handle the data loss problem at an intermediate sensor node caused by unexpected sudden data burst. In this paper, it proposes a Delta-Average method for enhancing the efficiency of data aggregation and correctness where the sensed data should be delivered only with the limited computing power and energy resource. With the proposed method, unnecessary data transfer of the duplicate data is eliminated and data correctness is enhanced by using the proposed averaging and data differentiating scheme when an instantaneous data burst is occurred. Finally, with the TOSSTM simulation results on TinyDB, we verify that the correctness of the transferred data is enhanced.

## 키워드

Wireless Sensor Networks, Middle Ware, Data Aggregation, Delta-Average, Overflow

## I. 서 론

최근 들어 센서 기술과 무선 통신 기술의 발달로 무선 센서 네트워크 응용을 위한 데이터 처리 중심의 미들웨어가 활발히 개발되고 있다. 무선 센서 네트워크는 수많은 센서들로 구성되며, 각 센서 노드는 질의 작성, 질의 유포, 센싱, 수집, 처리, 전송 등과 같은 작업들을 처리하여야 한다[1].

특히, 무선 센서 네트워크는 무선 전파의 짧은 통신 거리 때문에 밀집된 형태로 센서들을 배치하고 있으며, 메시지를 획득 또는 재전송하기 위하여 다중 흡을 이용한 트리 기반 라우팅 기법을 사용하고 있다[2]. 트리 기반 라우팅 기법에서 사용자와 연결된 노드는 루트(root) 노드로 지정되어, 모든 노드들에게 라우팅 메시지(routing message)를 브로드캐스트(broadcast)하여 전송 경로에 위치한 노드들 사이에 부모-자식 관계를 갖도록 하는 라우팅 구조를 생성한다.

센서 노드들의 배치 밀집도가 높은 무선 센서 네트워크에서는 이벤트 발생 지역에 인접한 센서들이 획득한 데이터들 간의 중복성이 매우 높다는 특징이 존재한다. 따라서 동일 지역에서 획득한 유사한 데이터 값들을 전송 받은 중간 노드는 이것들을 상위의 전송 노드로 모두 전송해야 할 필요가 없으며, 서로 유사한 데이터 값들을 병합하여 이것들을 대표 하는 하나의 대표 값을 전송하면 데이터 전송 횟수를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 이것은 결국 중간 불필요한 데이터 전송을 제거하여 중간 노드에서의 에너지 소비를 절약하는 효과를 유발하여 전체 네트워크의 에너지 소비 효율성을 높일 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 데이터 병합 기법에 대해 고찰하고 3장에서는 Delta-Average 기법에 대해 기술한다. 마지막으로 4장과 5장에서는 각각 성능 평가 결과 및 결론에 대해 기술한다.

## II. 본 론

본론은 무선 센서 네트워크에서 사용되는 병합기법은 병합 방식에 따라 모든 데이터 병합 작업을 루트 호스트에서 수행하는 서버 기반(server based approach)의 기법과 라우팅 트리를 기반으로 하여 최하위 노드에서 최상위 루트 노드로 이동하는 과정에 위치한 모든 중간 노

드에서 데이터를 병합하는 인-네트워크 병합(in-network aggregation) 기법으로 분류된다[2].

### 2.1. 서버 기반의 데이터 병합

최종 목적지 호스트 PC에서 모든 병합 작업을 수행하는 서버 기반의 데이터 병합 기법은 그림 1과 같은 수행 구조를 갖는다.

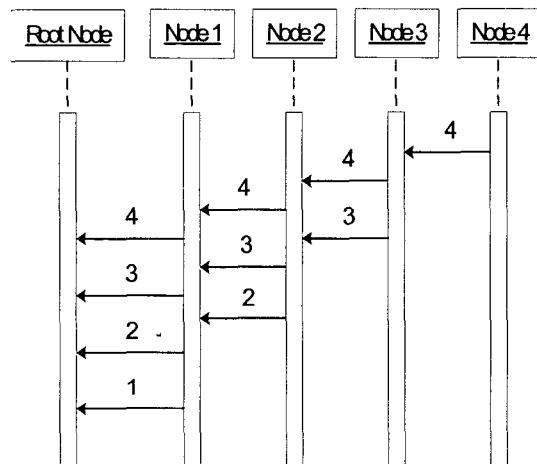


그림 1. 서버 기반의 데이터 병합  
Fig. 1. Server-based data aggregation.

예를 들어 노드 4에서 획득한 센싱 데이터를 루트 노드로 전송하기 위해서는 4개의 메시지가 필요하며, 각각의 노드에서 센싱한 데이터들을 모두 서버로 전송하면서 총 10개의 메시지가 요구된다.

### 2.2. 인-네트워크 데이터 병합

인-네트워크 데이터 병합은 그림 2와 같이 수행 되며, 여기서  $f(X, Y)$ 는 병합 함수를 나타낸다.

라우팅 경로에 위치한 중간 노드는 자신이 센싱한 값  $X$ 와 자식 노드로부터 전달받은 값  $Y_k$ ( $k \geq 1$ )를 병합 함수  $f(X, Y_k)$ 를 이용하여 하나의 메시지로 만든 다음, 이것을 자신의 부모 노드로 전달한다. 이러한 방식을 적용하면 각 센서 노드가 전송해야 할 메시지는 항상 1개로 일정하게 된다. 결국 인-네트워크 데이터 병합의 경우에는 그림 1에 대해 총 4개의 메시지 전송만을 요구하기 때문에 메시지 전송 횟수를 최소화할 수 있다. 그러나 이 기법은 여러 개의 자식 노드들로부터 데이터들이 동

시에 전송 될 수 없을 때, 즉 시간 격차를 두고 데이터가 전송될 경우에는 마지막 데이터가 전달될 때까지 데이터 병합을 지연하여야 하는 문제점을 지니고 있다. 따라서 전송 메시지의 수를 절감하고 데이터 전달의 정확성과 신속성을 제공할 수 있는 효율적인 데이터 병합 기법이 요구된다.

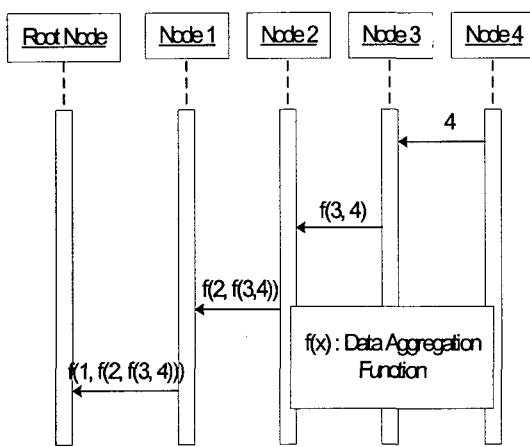


그림 2. 인-네트워크 데이터 병합( $k=1$ )  
Fig. 2. In-Network Data Aggregation ( $k=1$ ).

이미 기술한 바와 같이 인-네트워크 데이터 병합 기법은 서버 기반의 데이터 병합 기법에 비해 각 노드에서 전송해야 할 메시지의 개수를 줄임으로써 에너지 소모의 효율을 높일 수 있으며, 중간 노드의 데이터 밀집 현상으로 인한 데이터 손실을 줄임으로써 데이터의 정확성을 향상시킬 수 있지만, 여러 개의 자식 노드로부터 비동기적으로 데이터를 전달받을 때에는 데이터 병합 연산의 수해야 이 지연되어 데이터 전송의 신속성이 저하된다.

본 논문에서는 인-네트워크 데이터 병합 기반의 새로운 *Delta-Average* 기법을 제안하여 무선 센서 네트워크 환경에서 데이터 병합의 효율성 및 정확성을 제공함과 동시에 신속한 데이터 전송이 이루어 질 수 있도록 하였다.

### III. Delta-Average 데이터 병합

각 센서 노드에서 획득한 데이터에 대해 병합 기법을 이용하면 데이터를 전달해야 할 중간 노드의 전력 소비

를 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 베피 큐와 네트워크 채널의 효율성 또한 높일 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 새로운 병합 기법을 제안하였다. 각 센서 노드가 획득한 데이터를 라우팅 트리의 중간 노드를 경유하여 최종 루트 노드까지 전달하여야 할 때, 중간 노드는 시간의 진행에 따라 비동기적으로 전송된 각각의 데이터에 대해서 다음과 같은 병합 작업을 수행한다.

- 단계 1) 자신이 획득한 데이터를 포함하여 모든 자식 노드로부터 도착한 모든 데이터는 버퍼에 저장된다.

단계 2) 초기 버퍼링 시간  $Tin-buffer$ 가 경과되면 현재 까지 저장된 데이터들을 버퍼에서 제거하고 이것들에 대한 평균을 구하여 대표 값  $X$ 를 전송한다.

단계 3) 그 이후에 도착한 모든 데이터  $Y$ 에 대해 이것을 버퍼에서 제거한 뒤  $|X-Y| > threshold$ 를 만족하면  $Y$ 를 새로운 대표 값으로 설정한다.

단계 4) 대표 값으로 선택되지 않은 모든  $Y$ 에 대해  $SUM = SUM + Y$ 와  $COUNT = COUNT + 1$ 을 수행한다.

단계 5) 만약 새로운 대표 값  $Y$ 가 결정되면  $\Delta$ -average =  $SUM / COUNT$ 를 계산하여 이것을 대표 값으로 보낸다. 그 다음,  $Y$  또한 대표 값으로 전송한다.  $SUM = COUNT = 0$ 으로 초기화 한다.

단계 6) 자식 노드로부터 데이터 전송이 더 이상 발생하지 않을 때까지 단계 3을 반복 한다.

본 논문에서는 데이터 값들 간의 상이성 정도를 적응적으로 조절하여 평균화에 따른 손실 값을 최소화하는 방식을 적용함으로써 루트 노드로 최종 전달되는 결과 데이터의 정확성을 높이고자 하였다. 이를 위해 그림 3에 나타낸 것과 같이 중간 노드에 도착한 데이터의 폐기에 따른 손실을 보상할 수 있는 Delta-Average 병합 기법을 제안하였다.

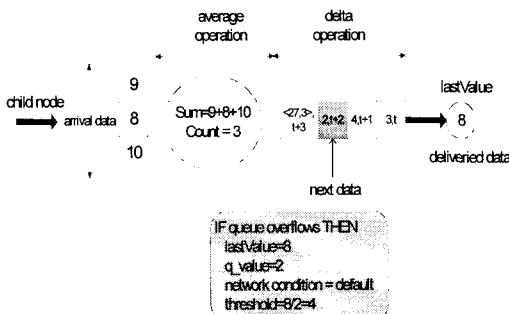


그림 3. Delta-Average 데이터 병합 기법  
Fig. 3. Delta-Average Data Aggregation Scheme.

큐에 도착한 새로운 데이터와 가장 최근에 전송된 대표 값의 차이(difference)가 임계치 보다 크면 이것은 상이성이 높기 때문에 전송되어야 하며, 만약 임계치 보다 작으면 손실된 데이터들에 대한 보정을 위해 Delta-Average 연산에 사용된다.

어떤 데이터가 Delta-Average 연산을 위한 평균화 대상이 되는지에 대한 판단은 최종 사용자에게 제공되는 데이터의 정확성과 관련되어 있기 때문에 임계치의 설정은 데이터의 품질에 큰 영향을 미친다. 제안된 기법에서는 임계치를 결정하기 위하여 사용자가 질의 유포 단계에서 질의에 포함된 품질 기준 값(quality value)과 네트워크 상태를 반영하기 위한 가중치( $\alpha$ )를 이용하여 threshold를 구한다.

$$\text{threshold} = \text{lastValue} / (\text{q\_value} \times \alpha) \text{ 식} \quad (1)$$

Delta-Average 기법은 상이성을 기반으로 한 데이터 전달 방식으로서 최종 사용자에게 연속적인 데이터의 변화 정도를 충분히 반영하여 제공할 수 있으며, 베퍼 오버플로우로 인하여 데이터가 손실되어 사용자에게 부정확한 정보를 제공할 가능성을 줄일 수 있다.

## V. 성능 평가

### 5.1. 실험 환경

성능을 평가하기 위해 TinyOS[4]의 TOSSIM 시뮬레이터[5]를 사용하였다. 데이터 병합과 관련하여 미들웨어는 TinyDB[6]를 사용하였으며 Delta-Average 병합기

법을 추가하여 평가하였다. 질의어와 패킷량의 변화를 분석하기 위해 TinyDB GUI 툴을 사용하였으며, 전체 네트워크의 흐름을 파악하기 위해 비쥬얼 기능을 지원하는 TinyViz를 이용하였다.

TOSSIM 시뮬레이터는 mica 40Kbit RFM-based 스택을 지원하며, TinyOS CSMA 프로토콜을 사용하고, TinyDB의 SRT를 적용하여 트리기반의 멀티 흡 라우팅 구조를 갖는 토플로지를 적용하였다.

### 5.2. 실험 방법

TinyDB를 가지는 5개의 노드를 통해 조도 값을 센싱하도록 하였다. 성능 평가를 위해 TinyDB에서 제공하고 있는 손실 형태의 Naive 기법과 값의 상이성을 이용하는 기존의 Delta 기법을 비교 대상으로 하였다. 그림 4는 센서 네트워크의 구성과 패킷의 전송과정을 나타낸 것이다.

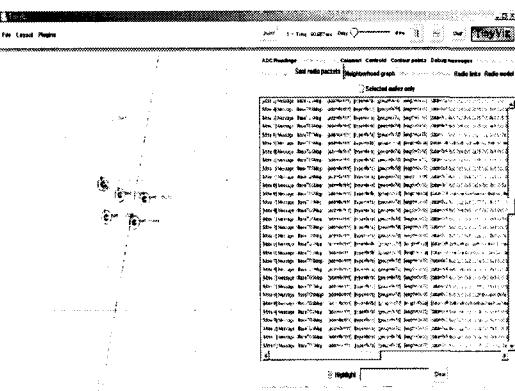


그림 4. 토플로지 및 결과 데이터  
Fig. 4. Topology and Query results.

제안된 Delta-Average 기법의 성능 평가를 위해 기존의 Naive 기법과 Delta 기법에 대하여 패킷 손실률(Packet Loss Rate)과 충실휴(Fidelity), 전송 지연 시간(Latency)을 측정하여 비교 분석하였다.

그림 5는 패킷 손실률을 나타낸 것으로 작업부하를 증가시켜 중간 노드에서 베퍼 오버플로우 발생빈도를 높였을 경우 손실되는 패킷량을 측정한 것이다. 이 실험에서는 TOSSIM에서 제공하는 손실 네트워크 모델을 사용하였으며, 병합되는 패킷은 손실 대상에서 제외시켰다. 제안된 Delta-Average 기법을 사용하면 Naive와 Delta 기법 보다 패킷 손실률을 낮출 수 있음을 알 수 있다.

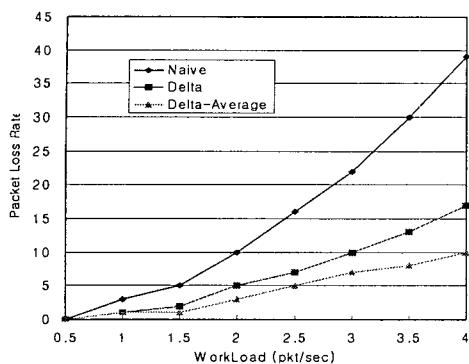


그림 5. 패킷 손실률  
Fig. 5. Packet Loss Rate.

충실도는 원본 데이터를 얼마나 정확하게 베이스 스테이션까지 전달하였는지를 알아보기 위해 본래의 조도 값을 주고 Delta 기법과 제안된 Delta-Average 기법에 적용한 후의 값을 비교하였다. 데이터 값의 정확성을 직관적으로 살펴보기 위해 손실 네트워크 모델을 제외시켜 적용시켰으며, 그림 6에서 볼 수 있듯이 Delta 기법보다 Delta-Average 기법이 본래 값에 가까운 것을 알 수 있

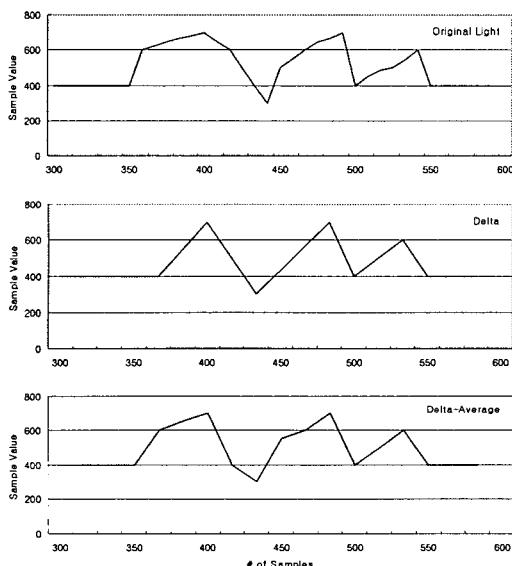


그림 6. 본래 조도 값(상), Delta 기법 적용(중),  
Delta-Average 기법 적용(하)  
Fig. 6. Original light value (top), Delta method (middle),  
Delta-Average method (bottom).

다. 극단적인 값의 차이를 기반으로 하는 Delta 기법에 비해 Delta-Average 기법은 중간 값을 보상해 주는 이유로 이러한 차이가 있음을 보여주고 있다.

그림 7은 큐의 크기에 따른 지연시간을 측정한 것으로 버퍼에서 오버플로우가 발생할 경우 연산을 실행하는 Delta 기법과 Delta-Average 기법이 Naive 기법에 비해 약간의 지연시간을 가지고 있음을 알 수 있다.

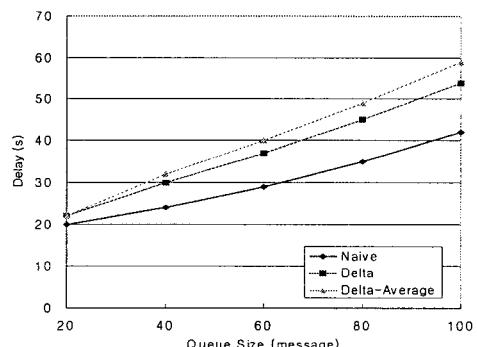


그림 7. 큐 크기에 따른 지연시간  
Fig. 7. Queue size vs. Delay time.

## V. 결 론

제안된 Delta-Average 기법에서는 순간적인 데이터의 밀집 현상(burst)으로 발생하는 중간 노드의 버퍼 오버플로우 발생을 방지하고 효율적인 데이터 관리를 수행하기 위해 데이터의 변화와 평균화를 이용하여 사용자에게 제공되는 데이터의 정확성을 높이면서 네트워크의 혼잡을 회피하도록 하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 기존에 제안된 기법에 비해 정확성을 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 반면에 Delta-Average 연산 수행에 따른 추가 시간이 약간의 오버헤드로 작용하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 Delta-Average 기법을 통해 획득할 수 있는 데이터 정확성 향상과 전송 트래픽 절감 효과는 연산에 따른 수행 오버헤드를 보상할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] Y. Yao, J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks," *In Proceedings of the 1st Biennial Conference on Innovative Data Systems Research*, Jan, 2003.
- [2] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, D. Ganesan, "Building efficient wireless sensor networks with low-level naming," *In SOSP*, Oct., 2001.
- [3] A. Woo, D. Culler, "A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor networks," *In Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 221~225, July 2001.
- [4] <http://www.tinyos.net>
- [5] P. Levis, Nelson Lee, "TOSSIM: accurate and scalable simulation of entire TinyOS applications," *International conference on Embedded networked sensor systems*, pp. 126~137, ACM Press, Nov 2003.
- [6] S. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, "The design of an Acquisitional Query Processor For Sensor Networks," *To appear in Proc. ACM Int. Conf. on Management of Data*, Jun 2003.

## 저자소개



김 변 곤(Byun-gon Kim)

1990년 한국항공대학교 항공전자  
공학과 공학사

1997년 전북대학교 전자공학과 석사

2003년 : 전북대학교 전자공학과 박사

2005년 ~ 현재 : 군산대학교 전자정보공학부 조교수  
※ 관심분야 : 무선 센서 네트워크, Ad-hoc



유 태 영(Tae-young Yu)

2005년 군산대학교 정보통신전파  
공학사

2005년 ~ 현재 군산대학교 대학원  
정보통신전파공학과 석사과정

※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크, 분산  
미들웨어, 보안



나 인 호(In-ho Ra)

1988년 울산대학교 전자계산학과  
공학사

1991년 중앙대학교 대학원 전자계산  
학과 공학석사

1995년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 공학박사

1995년 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 교수

※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선센서네트워크,  
유비쿼터스 컴퓨팅, 텔레메틱스