

무선 센서 네트워크에서 데이터 수집의 효율성 및 정확성 향상을 위한 데이터 병합기법

A Data Aggregation Scheme for Enhancing the Efficiency of Data Aggregation and Correctness in Wireless Sensor Networks

김현태 · 유태영 · 정규수 · 전영배 · 나인호

Hyun-tae Kim* · Tae-young Yu* · Kyu-su Jung* · Yeong-bae Jeon* · In-ho Ra*

군산대학교 전자정보공학부

요 약

센서 기술과 무선 통신 기술의 발달로 무선 센서 네트워크 환경에서 데이터 처리 중심의 미들웨어에 대한 연구가 크게 증가하고 있다. 무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 처리와 신속한 전송을 위해 사용되는 미들웨어는 순간적인 데이터 밀집현상(burstness)으로 발생하는 중간 노드의 데이터 손실 문제를 해결하여야 하며, 이를 위해 폐기정책을 사용하거나 전송해야 할 데이터양을 최소화하는 압축 기법이 사용되고 있다. 그러나 폐기정책은 수집된 데이터의 정확성을 저하시키는 문제점이 있으며, 압축기법은 알고리즘 복잡도가 커서 추가적으로 프로세싱 오버헤드가 커지는 문제점을 지니고 있다. 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 평균화 방식을 이용함으로써 순간적인 데이터 밀집현상으로부터 중복된 데이터에 대한 불필요한 전송을 방지하면서 정확성을 높 이도록 하였다. 마지막으로 제안된 기법의 성능을 평가하기 위해 TinyDB에서 TOSSIM 시뮬레이션을 수행하였으며, 성능 분석 결과를 통해 데이터 정확성이 향상되었음을 입증하였다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 미들웨어, 데이터 병합, Delta-Average, 버퍼 오버플로우

Abstract

Recently, many of researchers have been studied in data processing oriented middleware for wireless sensor networks with the rapid advances on sensor and wireless communication technologies. In a wireless sensor network, a middleware should handle the data loss problem at an intermediate sensor node caused by instantaneous data burstness to support efficient processing and fast delivering of the sensing data. To handle this problem, a simple data discarding or data compressing policy for reducing the total amount of data to be transferred is typically used. But, data discarding policy decreases the correctness of a collected data, in other hand, data compressing policy requires additional processing overhead with the high complexity of the given algorithm. In this paper, it proposes a data-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 overlapped data is eliminated and data correctness is enhanced by using the proposed averaging scheme when an instantaneous data burstness is occurred. Finally, with the TOSSIM simulation results on TinyDB, we show that the correctness of the transferred data is enhanced.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Middleware, Data Aggregation, Delta-Average, Buffer Overflow

1. 서 론

최근 들어 센서 기술과 무선 통신 기술의 발달로 무선 센서 네트워크 응용을 위한 데이터 처리 중심의 미들웨어가 활발히 개발되고 있다. 수 많은 센서들로 구성된 무선 센서 네트워크(WSNs)의 각 센서 노드들은 질의 작성, 질의 유포,

센싱, 수집, 병합, 전송 등과 같은 작업들을 수행한다[1].

일반적으로 WSNs에서는 센서의 짧은 통신 거리 때문에 밀집된 형태로 센서들이 배치되며, 메시지를 획득 또는 재전송에 필요한 에너지의 효율적인 소비를 위하여 다중 홉 라우팅 프로토콜이 사용되고 있다.

그림 1은 WSNs에서 기본적으로 사용되는 트리 기반의 라우팅 기법이다[2]. 이 라우팅 기법에서는 사용자와 연결된 루트(root) 노드에서 WSNs를 구성하는 전체 노드들에게 라우팅 메시지를 방송(broadcast)하여 전송 경로를 구성하는 노드들 사이에 부모-자식 관계를 생성함으로써 라우팅 구조를 결정한다. 이렇게 결정된 라우팅 구조에 따라 모든 센서 노드에게 질의가 전달되며, 각 센서 노드는 질의 요청에 따

접수일자 : 2006년 7월 7일

완료일자 : 2006년 9월 27일

감사의 글 : 이 논문은 2005년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-041-D00639)

른 데이터를 수집 및 병합하여 루트 노드에게 전달한다. 이때 전송되어야 할 전체 데이터의 양을 줄이기 위해 중복된 데이터에 대한 효율적인 병합이 요구되며, 잘못된 병합으로 인한 유효 데이터의 손실이 발생하지 않도록 하여야 한다.

만약 어떤 중단 노드가 루트 노드에게 메시지를 전달한다면 자신의 부모 노드에게 메시지를 방송하고, 메시지를 전달 받은 노드는 또 다시 자신의 부모 노드에게 전달하는 과정을 반복하여 최종적으로 루트 노드에 도달하게 된다[3].

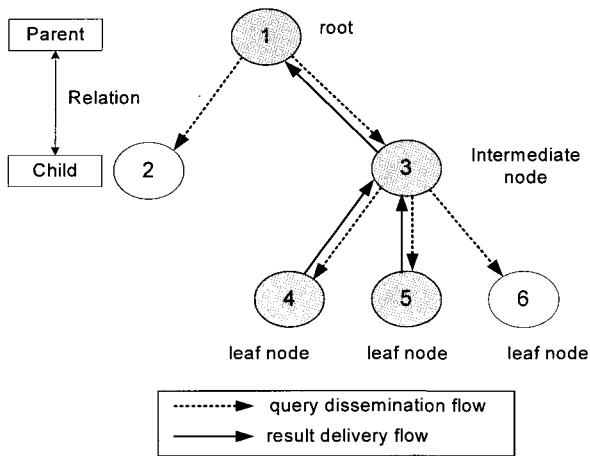


그림 1. 트리 기반 라우팅 토폴로지
Fig 1. Tree based routing topology

예를 들면, 그림 1에서 중단 노드 4와 노드 5가 데이터를 획득(sampling)하였다면, 질의 프로세서(query processor)에 의해 질의 결과를 생성하여 중간 노드 3으로 전달하고, 중간 노드 3은 전달된 데이터들에 대해 병합 연산을 수행한 후, 그 결과를 루트 노드에게 전달한다. 이때, 중단 노드에서 생성된 질의 결과는 루트 노드로의 최종 전달 과정에서 라우팅 트리에 포함된 중간 노드들의 버퍼 큐에 저장된 다음 계속해서 루트 노드로 전달된다.

이와 같은 데이터 손실 문제를 해결하기 위해 제안된 기법으로는 단순 폐기 기법과 데이터 근사화 및 압축 기법을 사용하여 전송해야 할 데이터의 양을 줄이는 기법이 있다 [4][5]. 여기서, 단순 폐기 방법은 WSNs 응용에 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장할 수 없고 전송 지연이 커지기 때문에 데이터에 대한 QoS를 보장하기 어렵다. 데이터 근사화 및 압축 기법은 무선 센서 네트워크의 제한된 자원(resource constraint)을 가지고 높은 복잡도를 요구하는 연산을 수행하기 때문에 전력소비의 증가로 전체 네트워크의 수명시간(network lifetime)이 단축되는 문제점을 지니고 있다[6][7].

이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 한정된 자원으로 최종 사용자가 요구하는 QoS 요구조건을 만족시킬 수 있는 Delta-Average 기법을 제안하였다. 이 기법은 전송 노드의 버퍼 큐에서 오버플로우가 발생하면, 가장 최근에 전송한 데이터 값과 큐에 삽입되는 데이터 값들 간의 차이(difference)가 어떤 임계치(threshold) 보다 작으면 데이터들을 병합(agggregation)하여 평균값을 전송함으로써 데이터의 정확성을 높임과 동시에 라우팅 트리의 상위 방향으로 전달되어야(forwarding) 할 데이터의 양을 절감시켜 전체 네트워크의 트래픽을 줄이는 방식을 사용한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 연구에 관한 분석 및 문제점을 제시하고 3장에서 Delta-Average 기법에 대해 기술한다. 마지막으로 4장과 5장에서는 각각 성능 평가 결과 및 결론에 대해 기술한다.

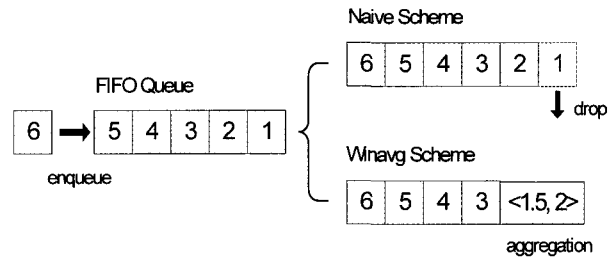


그림 3. Naive 및 Winavg 병합 기법
Fig 3. Naive and Winavg data aggregation scheme

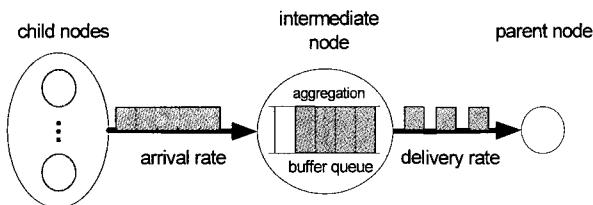


그림 2. 버퍼 오버플로우
Fig 2. Buffer Overflow

그림 2는 센서 노드에서 획득된 데이터가 자신의 부모 노드에게 전송되기 위해 버퍼 큐에 삽입되는 과정을 보인 것이다. 이와 같은 버퍼링 과정에서 네트워크 경쟁률(network contention rate)과 데이터 전송률(data transfer rate)이 높아서 도착률(arrival rate)이 전달률(delivery rate)보다 크게 되면 버퍼 오버플로우가 발생하고 이로 인하여 데이터 손실이 일어난다.

다시 말해 데이터 손실은 네트워크내의 데이터 밀집현상(burstness)으로 인한 버퍼 오버플로우 문제로 발생하며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 데이터 병합 기법이 필요하다.

2. 기존 연구

데이터 처리 중심의 WSNs용 미들웨어 개발을 위한 대표적인 연구로 TinyDB에서는 Naive, Delta, Winavg 등과 같은 데이터 병합 기법들을 제안한 바 있다[8].

그림 3은 TinyDB에서 제안한 Naive 및 Winavg 데이터 병합 기법을 나타낸 것이다. Naive 기법은 FIFO 구조의 버퍼 큐에서 오버플로우가 발생하면 이후에 도착하는 데이터를 모두 폐기한다. Winavg 데이터 병합 기법은 버퍼 큐가 가득 찼을 때 도착한 데이터들을 폐기하지 않고 버퍼의 헤드(head) 부분에 저장된 일정 범위(window) 내의 데이터 값들을 병합하여 평균값과 데이터 개수(count)를 버퍼 헤더에 저장한다.

그림 4는 TinyDB에서 Delta 데이터 병합 기법을 나타낸 것으로서 도착한 데이터 시간(epoch) t 와 값 d 를 $\langle t, d \rangle$ 형태로 버퍼에 저장한다. 만약, 버퍼 오버플로우가 발생하면 버퍼의 헤드 값과 나머지 값들을 비교하여 그 차이(difference)가 큰 순서대로 우선적으로 전송하고 가장 작은 차이 값을

갖는 데이터는 버퍼에서 폐기한다. 이 기법은 획득된 데이터의 변화 정도를 사용자에게 좀 더 정확하게 전달함으로써 데이터의 정확성을 높이는 방식을 적용한 것이다.

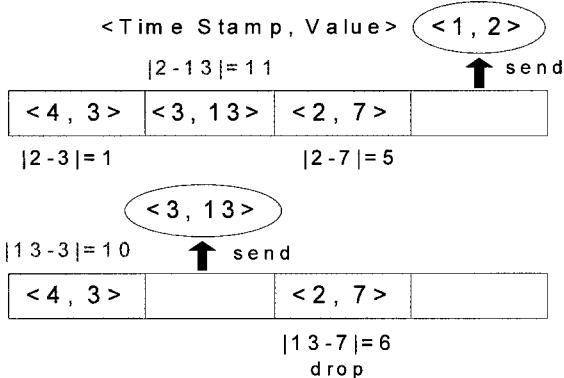


그림 4. Delta 병합 기법
Fig 4. Delta aggregation scheme

TinyDB의 Winavg 데이터 병합 기법은 버퍼에 저장된 데이터 값들을 그룹화하여 평균값을 전송하고 Delta 큐잉 기법은 데이터 상이성(difference)이 큰 데이터를 우선적으로 전송하기 때문에 원본 데이터의 복원 측면에서 볼 때 Delta 큐잉 기법이 좀 더 높은 정확성을 나타낸다. 그러나 장기간 데이터를 수집하는 경우에 Delta 큐잉 기법은 상이성이 낮은 데이터들을 폐기하기 때문에 원본 데이터와의 차이가 증가하여 획득된 데이터의 정확성을 신뢰할 수 없게 만든다.

3. Delta-Average 데이터 병합

WSNs의 각 센서들에서 획득된 데이터에 대한 데이터 병합 연산은 센서 노드의 전력 소비를 절감하고 센서의 버퍼 큐와 네트워크 채널의 효율성을 높일 수 있다. 이것은 획득된 데이터를 최종 목적 노드까지 라우팅 트리를 통하여 전달할 때, 데이터 병합 연산을 통해 큐를 효율적으로 관리할 수 있다는 것을 의미한다. 이를 위해 본 논문에서는 데이터 값들 간의 상이성 정도를 적응적으로 조절하여 평균화에 따른 손실 값을 최소화하는 방식을 적용함으로써 결과 데이터의 정확성을 높일도록 하였다.

그림 5에 나타낸 것과 같이 제안된 기법에서는 중간 노드에 도착하는 데이터의 대량 손실을 보상할 수 있도록 질의 결과와 임계치(threshold)를 비교하여 선택적 저장(enqueue), 평균화, 폐기와 같은 방식들을 사용한다. 큐에 도착한 질의 결과가 임계치 보다 크면 이것은 상이성이 높기 때문에 큐에 저장되어야 하며, 임계치 보다 작으면 이러한 데이터들을 병합하여 평균화를 수행한다. 임계치 보다 낮은 질의 결과를 평균화할 때 다음에 도착하는 질의 결과가 임계치 보다 작으면 평균화를 계속 수행하고 임계치 보다 크면 현재 큐에 저장되어 있는 데이터와 새로 도착된 데이터와 비교하여 델타 연산을 한다. 델타 연산은 큐에서 전송대기(dequeue) 중인 질의 결과와 큐에 포함된 각 질의 결과와의 차이를 계산하여 가장 차이가 적은 데이터를 폐기한다. 또한, 제안된 큐 관리에서는 데이터의 병합에 따른 평균값을 구하기 위해 병합된 질의 결과들의 합계(sum)와 원소 개수(count)로 구성된 <sum, count> 구조를 사용한다.

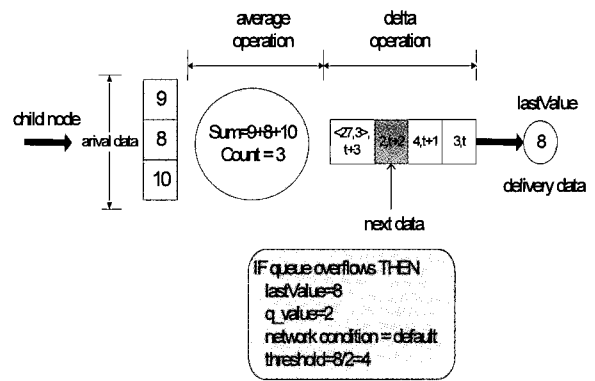


그림 5. Delta-Average 병합 기법
Fig 5. Delta-Average aggregation scheme

어떤 질의 결과가 데이터 병합을 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 위해 사용자가 질의 유포 단계에서 질의에 포함된 품질 기준값(quality value)과 네트워크 상태를 반영하기 위한 가중치(α)에 의해 식 (1)과 같이 결정한다.

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

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

4. 성능 평가

4.1 실험 환경

성능을 평가하기 위해 TinyOS[9]의 TOSSIM 시뮬레이터 [10]를 사용하였다. 데이터 병합과 관련하여 미들웨어는 TinyDB를 사용하였으며 Delta-Average 병합기법을 추가하여 평가하였다[11][12]. 질의어와 패킷량의 변화를 분석하기 위해 TinyDB GUI 툴을 사용하였으며, 전체 네트워크의 흐름을 파악하기 위해 TOSSIM의 비주얼을 지원하는 TinyViz를 이용하였다.

TOSSIM 시뮬레이터는 mica 40Kbit RFM-based 스택을 지원하며, TinyOS CSMA 프로토콜을 사용하지만 본 논문에서는 TinyDB의 SRT를 적용하여 트리기반의 멀티 홉 라우팅 구조를 갖는 토폴로지를 적용하였다.

4.2 실험 방법

시뮬레이션을 위해 TinyDB 응용을 PC로 컴파일 한 후 5개의 노드를 통해 조도 값을 가져 오도록 하였다. 그림 6은 TOSSIM을 통해 실행 시킨 시뮬레이션을 TinyViz를 통해 표현한 것으로 센서 네트워크의 구성과 데이터의 도착 값들을 보여 주며, 제안된 Delta-Average 기법을 평가하기 위해 기존의 Naive 기법과 Delta 기법에 대하여 패킷 손실률(Packet Loss Rate)과 충실도(Fidelity), 전송 지연 시간(Latency)을 측정하고 비교 및 분석하였다.

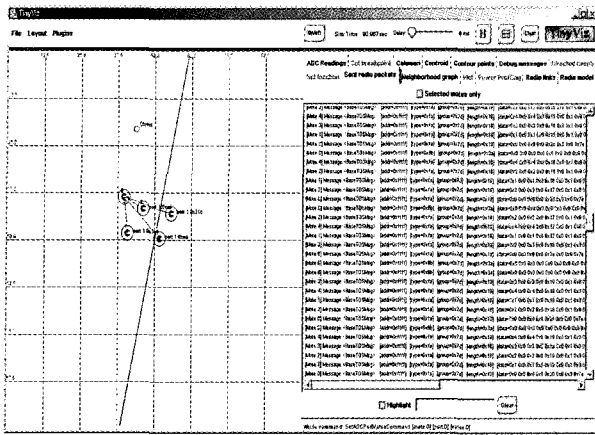


그림 6. 토폴로지 및 결과 데이터
Fig 6. Topology and Query results

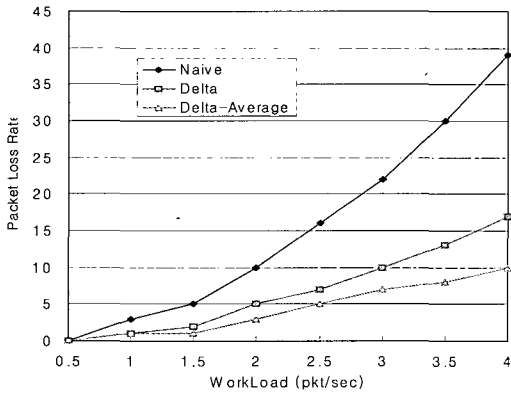


그림 7. 패킷 손실률
Fig 7. Packet Loss Rate

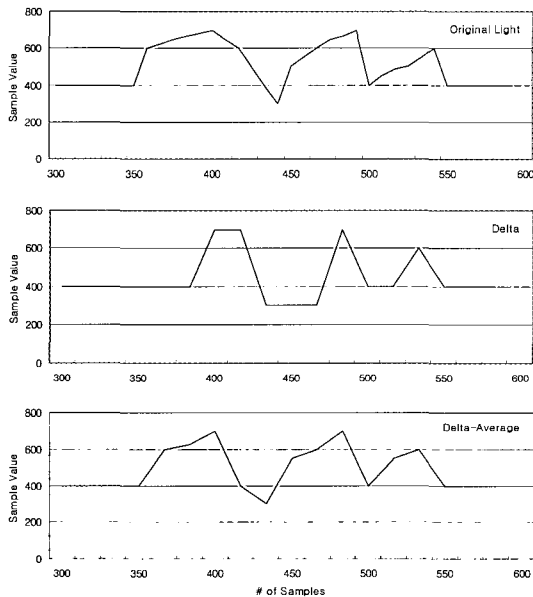


그림 8. 본래 조도 값(상), Delta 기법 적용(중), Delta-Average 기법 적용(하)

Fig 8. Original light value(top), Delta method(middle), Delta-Average method(bottom)

그림 7은 패킷 손실률을 나타낸 것으로 작업부하(workload)를 증가시킴으로 중간 노드에서 버퍼 오버플로우 현상의 발생 빈도를 높였을 경우 손실되는 패킷량을 측정하는 것이다. 이 실험에서는 TOSSIM에서 제공하는 손실 네트워크 모델을 사용하였으며, Delta 기법과 Delta-Average 기법 내에서 병합되는 패킷은 손실 대상에서 제외시켰다. 제안된 Delta-Average 기법이 Naive와 Delta 기법에 비해 workload가 증가할수록 패킷 손실률이 보다 효과적으로 낮아진다는 것을 알 수 있다.

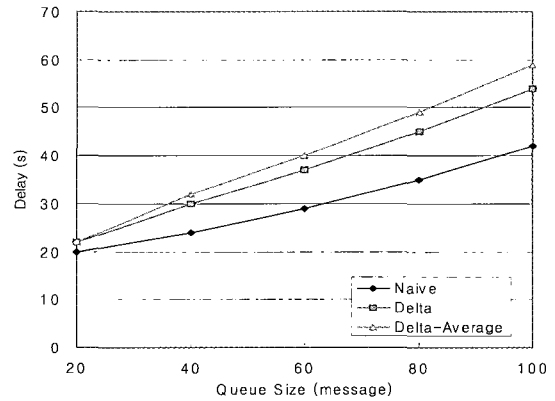


그림 9. 큐 크기에 따른 지연시간
Fig 9. Queue size vs. Delay time

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 8에서 볼 수 있듯이 Delta 기법 보다 Delta-Average 기법이 본래 값에 가까운 것을 알 수 있다. 극단적인 값의 차이를 기반으로 하는 Delta 기법에 비해 Delta-Average 기법은 중간 값을 보상해 주는 이유로 이러한 차이가 있음을 보인다.

그림 9는 큐의 크기에 따른 지연시간을 측정하는 것으로 버퍼 큐 크기를 증가시킴에 따라 Delta 기법과 Delta-Average 기법이 Naive 기법에 비해 계산을 위한 지연시간이 약간 높아진다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

제안된 Delta-Average 기법에서는 순간적인 데이터의 밀집현상(burstness)으로 발생하는 중간 노드의 버퍼 오버플로우 현상으로부터 효율적인 데이터 관리를 하기 위해 데이터의 변화와 평균화를 이용하여 사용자에게 제공되는 데이터의 정확성을 높이면서 네트워크의 혼잡을 회피하도록 하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 정확성이 보다 향상되었음을 확인하였으며, 반면에 데이터 병합의 정확성 향상을 위한 전송지연 시간이 오버헤드로 작용하는 것을 알 수 있었다. 그러나 큰 폭으로 향상된 정확성과 무선 센서 네트워크 내의 데이터량을 획기적으로 줄일 수 있는 Delta-Average 기법의 성능 향상은 지연시간과의 트레이드 오프를 보상할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Y. Yao, J. Gehrke, "Query Processing for Sensor Networks", In Proceedings of the 1st Biennial Conference on Innovative Data Systems Research, January 2003.

[2] 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.

[3] V. Erramilli, I. Matta, A. Bestavros, "On the Interaction between Data Aggregation and Topology Control in Wireless Sensor Networks", Proceeding of IEEE Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, October 2004.

[4] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, W. Hong, "TAG: a Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks", OSDI, December 2002.

[5] J. M. Hellerstein, W. Wang "Optimization of In-Network Data Reduction", International Workshop on Data Management for Sensor Networks (DMSN), August 2004.

[6] B. Krishnamachari, D. Estrin, S. Wicker, "The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," icdcs, p. 575, 22nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW '02), October 2002.

[7] A. Boulis, S. Ganeriwal, M. Srivastava, "Aggregation in Sensor Networks: An Energy-Accuracy Trade-off", Proc. of IEEE SANPA, May 2003.

[8] 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, June 2003.

[9] <http://www.tinyos.net>

[10] 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, November 2003.

[11] D. Gay, P. Levis, R. von Behren, M. t. Welsh, Eric Brewer, D. Culler, "The necC Language: A Holistic Approach to Networked Embedded Systems", Proceedings of Programming Language Design and Implementation (PLDI), June 2003.

[12] S. Madden, J. Hellerstein, W. Hong, "TinyDB: In-Network Query Processing in TinyOS", IRB-TR-02-014, September, 2003.

저 자 소 개



김현태(Hyun-tae Kim)

1996년 : 군산대학교 정보통신공학과 졸업
 1998년 : 군산대학교 대학원 정보통신공학과 공학석사 졸업
 2006년 : 군산대학교 대학원 정보통신공학과 공학박사 졸업

관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크, 분산 처리 미들웨어
 Phone : 063-469-4795
 Fax : 063-466-4795
 E-mail : camelk@kunsan.ac.kr



유태영(Tae-young Yu)

2005년 : 군산대학교 정보통신전파공학과 졸업
 2005년~현재 : 군산대학교 대학원 정보통신전파공학과 석사과정

관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크, 분산 미들웨어
 Phone : 063-469-4795
 Fax : 063-466-4795
 E-mail : tang2@kunsan.ac.kr



정규수(Kyu-su Jung)

2000년 : 군산대학교 정보통신공학과 졸업
 2002년 : 군산대학교 대학원 정보통신전파공학과 공학석사 졸업
 2004년~2006년 : (주)미디어신나라 전산실 근무. 통합물류시스템구축.
 2002년~현재 : 군산대학교 대학원 정보통신전파공학과 박사과정

관심분야 : 데이터베이스, 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크, 분산처리 시스템
 Phone : 063-469-4795
 Fax : 063-466-4795
 E-mail : kyusu@kunsan.ac.kr



전영배 (Yeong-bae Jeon)

1992년 : 충남대 전기공학교육학과 졸업
1992년~2004년 : 함양제일고, 장항 공업고
교사
2003년~현재 : 군산대 대학원 정보통신전
과 박사과정
2005년~현재 : 충남교육연구정보원 파견
교사

관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크
Phone : 042-534-1640
Fax : 042-581-2664
E-mail : mcjyb@cnoe.or.kr



나인호 (In-ho Ra)

1988년 : 울산대학교 전자계산학과 졸업
1991년 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과
공학석사 졸업
1995년 : 중앙대학교 대학원 전자계산학과
공학박사 졸업
1995년~현재 : 군산대학교 전자정보공학
부 교수

관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선 센서 네트워크, 유비쿼터
스 컴퓨팅, 텔레메틱스
Phone : 063-469-4795
Fax : 063-466-4795
E-mail : ihra@kunsan.ac.kr