

지오센서 네트워크에서 센서 노드의 효율적인 에너지 관리를 위한 지정 경로 기반 데이터 집계 처리 기법

(A Data Aggregation Scheme based on Designated Path for Efficient Energy Management of Sensor Nodes in Geosensor Networks)

윤민* 김용기** 라빈드라 비스타** 장재우***
(Min Yoon) (Yong Ki Kim) (Rabindra Bista) (Jae Woo Chang)

요약 지오센서 네트워크에 활용되는 센서 노드는 제한된 자원과 전력을 지닌다. 따라서, 에너지를 효율적으로 사용하여 데이터를 집계하는 라우팅 기법 연구가 필수적이다. 무선 센서 네트워크에서의 일반적인 데이터 수집은 각 센서 노드에서 수집된 데이터를 멀티홉 방식으로 싱크노드로 전송하는 방식이다. 하지만, 이러한 방식은 두 가지의 문제점을 지닌다. 첫째, 기존 연구는 데이터를 전송하기 위해 부모 노드를 선정하는 과정에서 불필요한 데이터 전송을 요구한다. 둘째, 각각의 소스 노드는 서로 다른 전송 경로를 가지기 때문에 많은 전송 횟수가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 효율적인 에너지 관리를 위한 지정 경로 기반의 데이터 집계 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 데이터를 전송할 경로를 미리 선정하여 불필요한 데이터 전송을 감소시키며, round-robin 메커니즘을 이용하여 모든 센서 노드가 데이터를 집계하는 데 참여하도록 한다. 마지막으로, 기존 연구인 directed diffusion(DD) 및 hierarchical data aggregation(HDA)과의 성능 평가를 통해 제안하는 기법이 에너지 효율적임을 보인다.

키워드 : 지오 센서 네트워크, 무선 센서 네트워크, 데이터 집계, 에너지 효율성

Abstract Sensor nodes used in Geosensor network are resource limited and power constrained. So it is necessary to research on routing protocols to gather data by using energy efficiently. Wireless sensor networks collect data gathered from sensor nodes by transferring it to the sink using multihop. However, it has two problems. First, the existing works require unnecessary data transmission for choosing a proper parent node to transfer data. Secondly, they have a large number of data transmission because each sensor node has a different path. To solves the problems, we, in this paper, propose a designated path based data aggregation scheme for efficient energy management in WSNs. The proposed scheme can reduce unnecessary data transmission by pre-determining a set of paths and can enable all the sensor nodes to participate in gathering data by running them in round-robin fashion. We show from performance analysis that the proposed scheme is more energy efficient than the existing directed diffusion(DD) and the hierarchical data aggregation(HDA).

Keywords : Geosensor Network, Wireless sensor networks; Data aggregation; Energy efficiency

1. 서론

지오센서 네트워크란 지리공간상에서 발생하는 다양한 현상들을 모니터링하는 센서네트워크를 의미한다. 이는 사물의 인식 정보 및 주변의 환경정보를 수집, 집계하여 사용자에게 실시간으로 제공한다. 지오센서 네트워크는 환경 모니터링(동식물 생태, 건물, 홍수 탐지, 토양 및 습기, 대기/해양 모니터링), 객체 추적(교통, 차량/동물 추적, 군사, 물류), 객체 감시(응급 의료, 침입 탐지, 지진위

험, 산림 방재) 분야 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 최근 이를 이용한 대규모의 프로젝트 및 시범운영이 진행되고 있다. 특히, u-city 분야의 교통 모니터링에 대한 연구가 활발이 이루어지고 있다. 이는 센서로부터 수집된 교통정보를 통해, 교통 흐름 및 신호 제어를 관리하는 서비스로써, 지능형 교통 시스템(ITS)으로 활용되고 있다. 무선 센서네트워크를 이용함으로써, 센서로부터 수집된 교통 정보를 통해 동시시간에 모든 도로의 교통량을 알 수 있으며, 이를 이용하여 교통 흐름 및 신호를 제

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

** 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000202).

* 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정. myoon@chonbuk.ac.kr

** 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정. ykkim@chonbuk.ac.kr. rabin@chonbuk.ac.kr

*** 전북대학교 컴퓨터공학과 교수. jwchang@chonbuk.ac.kr(교신저자)

어 할 수 있다. 또한, 데이터 마이닝 기법을 통해 각 시간대별 데이터를 저장하여, 이를 바탕으로 이동 객체의 이동 경로를 트래킹하는 이동 객체 트래킹 기법을 사용할 수 있도록 지원한다[1, 2, 3, 4].

이러한 응용분야를 지원하는 센서네트워크는 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 무선으로 관리하는 센서 노드는 휴대용 배터리를 사용하기 때문에 적은 전력과 제한된 메모리를 가진다. 둘째, 적은 전력을 지니고 있기 때문에, 가까운 센서 노드들과의 통신을 통해 싱크노드로 전송된다. 따라서 제한된 에너지의 효율적인 관리를 위한 라우팅 기법 연구가 많이 이루어지고 있다[5, 6, 7, 8, 9, 10]. 대표적인 라우팅 기법으로 Directed Diffusion(DD)[9]과 Hierarchical Data Aggregation(HDA)[10]기법이 존재한다. 이러한 기존 연구에서는 센서 노드로부터 수집된 데이터가 이웃하는 센서 노드들 중에서 싱크노드와 가까운 센서 노드를 통해 데이터를 전송한다. 하지만 기존 연구는 다음과 같은 문제점을 지니고 있다. 첫째, 데이터를 전송하기 위해 이웃 센서노드들 중에서 부모 노드를 선정하는 과정에서 불필요한 데이터 전송이 이루어진다. 둘째, 각각의 소스 노드는 서로 다른 전송 경로를 가지기 때문에 많은 전송 횟수가 발생한다. 따라서 사용자가 필요한 데이터만을 집계(aggregation)하여 전송함으로써, 불필요한 데이터 중복을 최소한으로 줄여야 한다. 아울러, 에너지를 고르게 분산하여 싱크노드로 전송할 수 있어야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 지정된 경로(designated path)를 미리 설정하여 데이터 집계를 효율적으로 수행하는 새로운 데이터 집계 처리 기법을 제안한다. 아울러, 라운드 로빈(round robin) 방식을 이용하여, 에너지를 효율적으로 분산하여 특정 센서노드가 지니게 되는 작업 부하(workload)를 줄인다. 또한, 제안하는 기법은 싱크노드가 네트워크의 최상단에 위치하고, 적은 에너지를 지닌 센서노드들은 다른 레벨을 지닌 계층적인 구조의 트리를 구성하며 다중부모-다중자식 구조를 지닌다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 데이터 집계 기술에 대한 관련 연구를 기술하고, 3장에서는 에너지를 효율적으로 분산시키는 새로운 데이터 집계 처리 기법을 제안한다. 4장에서는 제안하는 기법의 효율성을 증명하기 위해, 기존 관련 연구와의 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 설명한다.

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크 내에서의 센서노드가 데이터를 수집하여 싱크노드로 데이터를 전송할 때, 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 데이터 집계처리에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 일반적으로 센서노드는 거리가 먼 센서노드와의 통신을 할 수 없기 때문에, 이웃 센서노드의 정보를 기반으로 데이터 전송이 이루어진다. 대표적인 라우팅 기법으로는 DD(Directed Diffusion)와 HDA(Hier-

archical Data Aggregation) 기법이 존재한다. DD 기법은 센서 노드의 통신 품질(quality)을 고려한 라우팅 기법으로 대규모 센서 네트워크에서 효율적인 기법이다. DD 기법은 피기백(piggyback) 방식을 이용하며, 라우팅 선정 및 데이터 전송은 크게 4단계로 구성된다. 첫째, 질의가 싱크노드를 통해 주어지면, 싱크 노드는 자신과 가까운 이웃 노드에게 질의를 전송한다. 질의를 받은 센서 노드들은 소스 노드에게 질의가 도달할 수 있도록 자신의 이웃노드에게 질의를 전달한다. 둘째, 소스노드에게 질의가 도달하면, 소스노드로부터 싱크노드까지의 각 노드는 자신의 통신 품질을 싱크 노드에게 전송한다. 셋째, 각 센서 노드로부터 통신 품질 정보를 받은 싱크 노드는 이를 이용하여, 최적의 라우팅 경로를 설정하여 소스노드에게 라우팅 정보를 전송한다. 마지막으로, 소스노드는 설정된 라우팅 경로로 데이터를 전송하게 된다. DD 기법은 설정되는 라우팅 경로가 높은 통신 품질을 가지는 노드들로 구성되기 때문에 메시지 손실 없이 전송되는 장점이 존재한다. 그러나, 이웃 센서노드들 중에서 부모 노드를 선정하는 과정에서 불필요한 데이터 전송이 이루어지는 단점이 존재한다.

이러한 DD의 문제점을 해결하기 위하여 제안된 HDA 기법은 이웃노드의 에너지 잔여량을 고려하여 통신하는 라우팅 기법이다. 이 기법은 다중부모-다중자식(multi-parent-multi-child)으로 구성된 계층적 구조를 사용하여, 부모자식 노드들의 정보를 공유한다. HDA 기법은 질의를 자식 노드에게 전송하지만, 불필요한 에너지 소모를 감소시키기 위해 경로 요청 메시지는 전송하지 않는다. 또한, 질의를 자식노드에 전송할 때, 센서 노드의 에너지 잔여량을 함께 전송한다. 만약 소스 노드가 부모 노드들로부터 질의 및 에너지 잔여량을 전송 받으면, 부모 노드들 중 에너지 잔여량이 많은 이웃 노드를 전송 경로로 설정하여 데이터를 전송하게 된다. HDA 기법은 라우팅 경로를 설정하지 않고, 에너지 잔여량을 이용하여 전송하기 때문에, 라우팅 경로 설정에 대한 통신 비용을 감소시키는 장점이 존재한다. 아울러, 에너지 잔여량에 따라 라우팅 경로가 변경되기 때문에 센서 노드의 균형적인 에너지 관리가 가능하다. 그러나, 부모노드의 에너지 잔여량을 고려하여 경로를 설정하기 때문에, 지속적으로 에너지 정보를 전송받아야 하는 단점을 지닌다. 또한, 데이터가 부모 노드의 에너지 잔여량에 따라 서로 다른 경로로 전송되기 때문에, 전송 횟수가 많아지는 단점이 존재한다(그림 1).

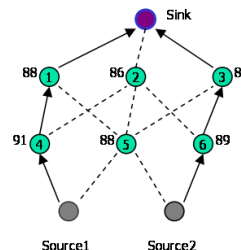


그림 1. HDA의 비효율적인 통신

3. 효율적인 에너지 관리를 위한 데이터 집계 처리 기법

관련연구인 DD 및 HDA 기법의 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 관리를 위한 새로운 데이터 집계 처리 기법을 제안한다. 첫째, 제안하는 기법은 네트워크 통신 중 부모 노드를 선정하는 과정에서 불필요한 데이터 전송이 이루어지는 DD의 문제점을 해결하기 위하여, 미리 전송 경로를 설정하여 데이터를 싱크노드로 전송한다. 이를 통해, 센싱 데이터를 보내기 위해 적합한 부모 노드를 찾는 불필요한 통신 비용을 줄인다. 둘째, 제안하는 기법은 데이터의 전송 경로 횟수가 많은 HDA의 문제점을 해결하기 위하여, 소스 노드는 지정된 경로를 통해 데이터를 전송하며, 지정된 경로를 통해 데이터 집계를 수행한다. 이를 통해, 데이터의 전송 횟수를 줄임으로써, 센서 노드의 에너지 소모를 감소시킨다. 마지막으로, 제안하는 기법은 효율적인 에너지 관리를 위해, 주기 스케줄러(scheduler)를 구성한다. 이는 센서 노드의 선정된 경로들을 라운드 로빈(round robin) 방식을 통해 주기적으로 변경하기 때문에, 데이터 집계를 담당하는 특정 노드가 지나는 작업 부하를 줄일 수 있으며, 균형적인 에너지 관리를 가능하게 한다.

한편, 본 논문에서는 이를 위해 그림 2와 같은 무선 센서 네트워크 모델을 사용한다. 네트워크 모델은 다중부모-다중자식의 구조로써, 각 센서 노드는 여러 개의 부모 자식 노드를 가진다. 또한, N개의 노드를 가진 M개의 계층(M*N)으로 이루어진 계층적 구조이기 때문에, 싱크노드를 전체 네트워크의 최상위에 위치시켜 네트워크를 관리하며, 싱크 노드와의 홉(hop) 수에 따라 계층(level)을 구성한다. 각 센서 노드는 데이터 값을 센싱(sensing)하고 데이터 집계를 수행할 수 있으며, 주기적으로 데이터 값을 싱크 노드로 전송한다. 계층 Li의 센서 노드는 Li-1의 센서 노드로 데이터를 전송한다. 한편, 데이터를 센싱하지 않거나, 데이터를 다른 노드로부터 수신하지 않는 센서 노드는 휴면 상태를 유지한다.

3.1 제안하는 데이터 집계 처리 기법의 알고리즘

제안하는 데이터 집계 처리 기법의 알고리즘은 크게 4단계, 즉 라우팅 경로 설정 단계, 최적 노드 선정 단계, 정보 구성 단계, 통신 단계로 구성된다.

3.1.1 라우팅 경로 설정 단계

그림 2에서 제시한 네트워크 모델을 통하여 싱크 노드로부터 가장 가까운 계층(level) 1의 노드들을 기준으로 최단 거리 알고리즘을 통해 통신 경로를 선정한다. 이를 위해, 싱크 노드와 통신이 가능한 노드 중에서 다수의 이웃 노드를 가진 노드를 계층 1로 선정한다. 선정된 M개의 노드는 다수의 계층 1 노드와 통신할 수 있는 계층 2의 노드를 선정한다. 이 때, 각 경로가 N개의 통신 경로를 선정하기 위하여, 상위 계층과 하위 계층의 노드와 통

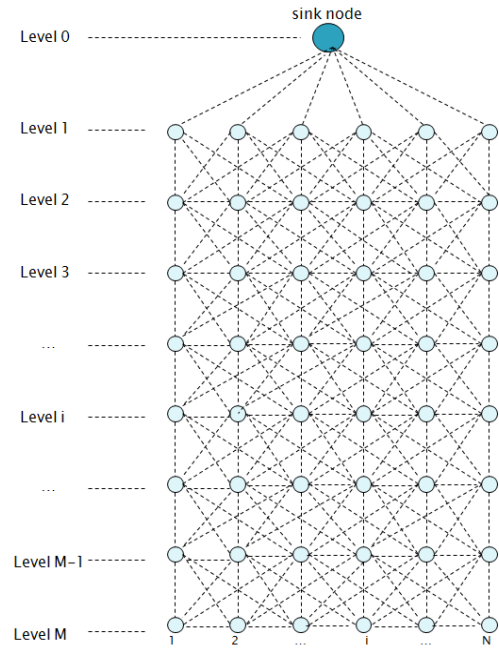


그림 2. 네트워크 모델

신을 이룰 수 있는 다수의 이웃 노드를 지닌 노드를 선정한다. 이러한 과정을 반복함으로써, M개의 경로가 균등한 N개의 통신 경로 집합을 가질 수 있도록 통신 경로를 선정한다. 선정된 M개의 경로는 최대 N개의 통신 경로를 지닌 노드를 Plist에 저장한다. Plist를 구성하고 있는 각 노드는 이웃 노드의 정보를 지니고 있음으로써, 최적 노드 선정 단계에서 사용되는 각 경로로 통신할 수 있는 노드의 정보를 구할 수 있다. 이러한 라우팅 경로 설정을 통해, 편향한(skewed) 분포를 지닌 네트워크를 M * N의 고른 분포를 지닌 네트워크로 구성할 수 있다.

3.1.2 최적 노드 선정 단계

라우팅 경로 설정 단계에서 N개의 지정 경로가 결정되면, 모든 소스노드에 대해 최적 노드를 선정한다. 최적 노드란, 데이터 집계를 위해 센서 노드에서 데이터를 전송할 때, 최소한의 홉 수로 활성화된 지정 경로로 보내기 위해 선정되는 지정 경로의 한 노드를 의미한다. 모든 센서 노드에 걸쳐 지정 경로의 노드로 최적 노드를 선정하며, 이를 <Path ID, Node ID>의 형식으로 라우팅 테이블에 저장한다. 이 때, Path ID는 각 지정 경로를 의미하며, Node ID는 선정된 최적 노드를 의미한다. 일반적으로 최적 노드는 상위 계층의 노드로 선정이 되나, 최소한의 홉 수를 지닌 경로가 이웃 계층으로 보내는 경우 이웃 노드가 최적경로가 될 수 있다. 라우팅 테이블은 데이터를 지정 경로로 전송하기 위해 사용되며, 아울러, 지정 경로에서의 데이터 집계를 위해 사용된다. 만약 센서 노드가 현재 선정된 지정 경로로 전송할 수 없을 경우, NULL로 저장한다.

3.1.3 정보 구성 단계

싱크 노드에 지정 경로 설정 및 각 노드에 대한 최적 노드가 설정되면, 싱크 노드는 센서 네트워크의 통신을 위해 각 노드마다 라우팅 테이블 및 지정 경로 집합을 전송한다. 기존 기법들은 통신 중에 부모노드를 선정하기 때문에, 에너지 효율적인 측면에서 상당한 오버헤드를 가지며, 전체적인 통신에 작업 부하를 가져와 사용자가 만족하지 못하는 결과를 제공한다. 반면, 제안하는 데이터 집계 처리 기법은 미리 선정된 지정 경로 및 최적 노드에 의해 센서 노드들 간의 통신이 이루어지기 때문에 불필요한 통신 비용을 줄일 수 있다.

3.1.4 통신 단계

경로 설정 단계에서 설정된 지정 경로를 통해 데이터를 전송한다. 이 때, 주기 스케줄러를 구성하며, 이는 라운드 로빈 방식을 이용하여 미리 선정된 지정 경로의 주기적인 변경을 관리한다. 예를 들어 지정 경로 (DPath)1이 활성화 되어 있을 경우, 각 노드들은 라우팅 테이블을 통해 DPath 1의 최적 노드로 데이터를 전송하게 되며, DPath 1의 최적 노드가 데이터 집계를 담당하게 된다.

만약, 일정 시간이 지나 주기 스케줄러에 의해 지정 경로가 변경되면, DPath 2가 활성화 되어 모든 노드들은 라우팅 테이블을 통해 DPath 2의 최적 노드로 데이터를 전송한다. 이와 같은 방식으로 데이터의 통신이 이루어지기 때문에, 어느 특정 노드가 과도한 작업 부하를 갖지 않으며, 모든 노드의 에너지를 균형적으로 사용할 수 있다. 한편, 경로의 단절이 발생하거나 센싱 홀(sensing hole) 문제 발생 시, 지정 경로로 데이터 전송을 수행할 수 없다. 이 때, 상위 노드로 전송하여 경로를 우회하여 데이터 전송을 수행하고, 다음 주기까지 지정 경로로 데이터 전송이 이루어지지 않는 경우 지정 경로의 최적 노드를 상위 노드로 갱신한다. 이는 최적 노드를 재탐색하기 위한 많은 비용이 발생하기 때문에 최소한의 비용으로 경로를 최적 노드를 선정한다.

그림 3은 제안하는 데이터 집계 처리 기법의 전체적인 알고리즘을 나타낸다. 이 때, 라우팅 경로 설정 단계(01~06), 최적 노드 선정 단계(07~16), 정보 구성 단계(17~18)는 네트워크를 초기화 경우에만 이루어지며, 질의에 대한 데이터 전송은 통신 단계(19~26)에서만 이루어진다.

```

Input: M*N으로 이루어진 multi-parent-multi-child 구조, SQL 타입의 질의
Output: 전체 센서 네트워크로부터 집계된 데이터
(Li = total number of Level, Nj = total number of column)
01. for sensor nodes Nj=1 to N, Pj=1 to N; Nj++,Pj++;
02.   for Level Li=1 to M; Li++
03.     select LiNj
04.       insert into NList[ LiNj]    // list of nodes of a path
05.   Pj = NList
06.   insert into PList[Pj]
07. for sensor nodes LiNj =[1,1] to [M,N], Li++, Nj++;
08.   for Pj=1 to N, Pj++
09.     MIN_hopc = infinite value
10.     Best_node = NULL
11.     for Li =1 to M; Li++ make shortest hopc Array
12.       Array_hopc = DDistance(LiNj, Pj);
13.       if ( MIN_hopc > Array_hopc[Pj [Li]] )
14.         MIN_hopc = Array_hopc[Pj [Li]]
15.         Best_node = Li
16.       insert Pj and Best_node into RTable // 라우팅 테이블에 정보 저장
17. for sensor nodes LiNj =[1,1] to [M,N], Li++, Nj++;
18.   load (RTable);
19. Initialize ( ); // 전송받은 질의에 따른 싱크 노드 초기화
20. Time_to_run =T // 질의의 주기를 설정
21. Schedule( T);
22.   Pj = T/N // 스케줄러에 의해 실행 주기를 분할
23. for Pj =1 to N; Pj++
24.   Round_robin(PList [Pj]) // 주기적인 designated path 변경
25.   Send_data(value) // 선정된 전송 경로를 통해 데이터 전송
26.   Aggregate(value); //데이터 집계
    
```

그림 3. 제안하는 데이터 집계 처리 기법 알고리즘

3.2 데이터 집계 처리 기법의 스케줄러

제안하는 데이터 집계 처리 기법에서의 주기 스케줄러는 두가지 단계로 주기를 설정한다(그림 4). 첫째, 효율적인 데이터 집계를 위해 TDMA(time division multiple access) 방식을 적용하여, 질의(Q)에 따른 스케줄 주기를 계층(M)의 개수로 분할한다. 이를 통해 센서 노드는 slotted 방식[11]을 이용하여, 한 주기당 해당 계층에 따라 데이터를 부모 노드로 전송하며, 자식 노드로부터 데이터를 받은 부모 노드에서 데이터 집계를 수행한다. 둘째, 계층별로 분할된 스케줄 주기에 지정 경로를 위한 주기를 추가로 분할한다. 즉, 지정 경로 변경 주기에 의해 특정 지정 경로가 활성화되면, 계층으로 분할된 주기에 따라 데이터를 전송 및 집계한다. 한편, 제안하는 기법의 스케줄러는 라운드 로빈 방식을 적용하여 지정된 경로의 변경 주기를 관리하기 때문에, 균형적으로 에너지를 소모한다.

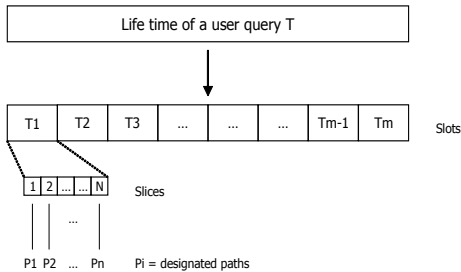


그림 4. 제안하는 기법에서의 스케줄러

3.3 데이터 집계 처리 기법의 예제

제안한 기법의 예제는 다음과 같은 단계로 구성된다. 첫째, 센서 네트워크는 그림 5와 같이 8*6으로 구성하며 (Li=8, M=8, Nj=6, Pi= 6), 질의에 따른 센서노드는 N16, N18, N19, N20, N29, N31, N42, N44, N45, N47이다. 제안하는 데이터 집계 처리 기법 알고리즘은 네트워크를 바탕으로 총 6개로 구성하며, 구성된 지정 경로 집합은 pList에 저장한다. 지정 경로 집합은 표 1과 같다.

표 1. 설정된 지정 경로 집합

P1	<1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 43>
P2	<2, 8, 14, 20, 26, 32, 38, 44>
P3	<3, 9, 15, 21, 27, 33, 39, 45>
P4	<4, 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46>
P5	<5, 11, 17, 23, 29, 35, 41, 47>
P6	<6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48>

둘째, 최소한의 홉 수를 통해 전송하기 위한 지정 경로 셋의 최적 노드를 선택한다. 이는 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 통해 선정되며, 만약 센서 노드가 지정 경로 집합의 최적 노드를 찾지 못한다면, 'NULL' 값으로 설정한다. 이 때, 각 센서 노드로부터 선정된 최적 노드의 정

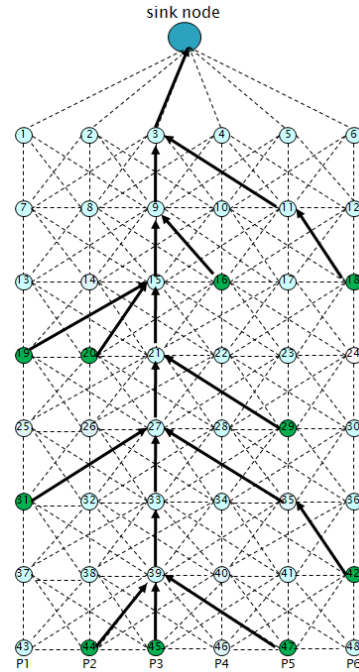


그림 5. 제안하는 데이터 집계 기법 예제

보들은 라우팅 테이블에 저장되며, 라우팅 테이블은 표 2와 같이 구성된다. 표 2에서 Node ID 및 각 센서노드로부터 선정된 최적 노드와 해당하는 지정 경로 집합을 나타내며, <Pi, Nj>로 표시한다. 셋째, 싱크 노드는 앞서 구성된 네트워크 및 지정 경로 집합, 라우팅 테이블을 각 센서 노드에 전송한다. 이로써, 각 센서노드는 자신의 자식 노드 및 부모 노드, 데이터를 싱크 노드로 전송하기 위한 라우팅 정보를 저장한다. 마지막으로, 싱크 노드로부터 질의가 들어오면, 싱크 노드에서 질의 유형을 분석하고, 주기 스케줄러를 통해 실행 주기를 설정하며, 지정 송 주기가 설정되면, 질의에 해당하는 센서 노드가 활성

표 2. 라우팅 테이블 정보

NodeID	지정된 경로에서의 최적 노드
N1	{<P1, NULL>, <P2, NULL>, <P3, NULL>, <P4, NULL>, <P5, NULL>, <P6, NULL>}
N8	{<P1, N1>, <P2, N2>, <P3, N3>, <P4, N4>, <P5, N5>, <P6, N6> }
...	...
N18	{<P1, NULL>, <P2, N2>, <P3, N3>, <P4, N10>, <P5, N11>, <P6, N12> }
...	...
N29	{<P1, N13>, <P2, N14>, <P3, N21>, <P4, N22>, <P5, N23>, <P6, N24> }
...	...
N48	{<P1, N25>, <P2, N32>, <P3, N33>, <P4, N34>, <P5, N41>, <P6, N42> }

경로 집합의 개수와 동일하게 전송 주기를 설정한다. 진화되며, 질의에 해당하는 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 스케줄러에 의해 활성화된 해당 지정 경로로 전송된다. 현재 P3가 활성화 되었으므로, 질의에 관련된 센서 노드(N16, N18, N19, N20, N29, N31, N42, N44, N45, N47)는 P3에서 최적 노드로 선정된 노드로 데이터를 전송한다.

4. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 데이터 집계 처리 기법의 효율성을 검증하기 위하여, 성능 평가를 수행하며, 성능 평가 대상은 제안하는 기법과 관련 연구에서 언급한 DD 기법 및 HDA 기법이다. 제안하는 기법 및 DD, HDA 기법은 cygwin 기반의 TinyOS 1.1.5 상에서 구현하였으며, 구현 환경은 표 3과 같다. 성능평가를 위하여 TinyOS에서 제공하는 시뮬레이터 TOSSIM을 이용하여 성능평가를 수행한다.

표 3. 구현 환경

CPU	Intel Core2 Duo CPU E4500 2.20GHz
Ram	2G
Simulator	TOSSIM
Compiler	gcc compiler

성능평가 항목은 센서 네트워크에서의 데이터 전송을 수행하기 위해 소비되는 전력량을 비교 분석한다. 네트워크 크기 및 소스 노드 수, 그리고 이웃 노드들의 수를 변경하면서 성능평가를 수행한다. 이 때, 제안하는 기법은 노드의 분포가 고른 random 데이터와 편향된 skewed 데이터를 이용하여 수행하며, 관련 연구의 HDA와 DD 기법은 random 데이터를 사용한다. 측정되는 전력량은 이웃 센서 노드로부터 데이터를 전송받기 위해 소비되는 전력량(E_{rx})과 데이터를 이웃노드로 전송하기 위해 소비되는 전력량(E_{tx}), 그리고 데이터 집계를 처리하기 위해 소비되는 전력량(E_{agg})의 합으로 계산한다(식 1).

$$Energy = E_{rx} + E_{tx} + E_{agg} \quad \text{식(1)}$$

첫째, 네트워크 크기에 따른 전력 소비량 측정을 위하여, 네트워크 크기를 4*4, 6*6, 8*8, 10*10으로 변경하여 측정한다. 이때, 네트워크 크기의 변경에 따른 소스노드의 변경을 위하여 소스노드의 개수는 전체 노드의 20%로 가정하고, 이웃노드의 개수는 4개로 가정한다. 그림 6은 네트워크 크기에 따른 전력 소비량을 나타낸다. DD 기법은 전송 경로 설정에 따른 불필요한 에너지를 소모하기 때문에, 많은 전력 소비량을 나타낸다. 또한, HDA 기법은 전송 경로 설정에 따른 에너지는 소비하지 않지만, 에너지 잔여량에 따라 서로 다른 전송 경로를 지니기 때문에 많은 전력 소모량을 보인다. 반면, 제안하는 기법은 전송 경로를 미리 설정하기 때문에 불필요한 에너지

소모를 줄이며, 지정 경로를 통해 데이터를 효율적으로 집계하기 때문에 전력 소비량이 타 기법에 비해 skewed 데이터의 경우 약 30%, random 데이터의 경우 약 50%가 적음을 보인다.

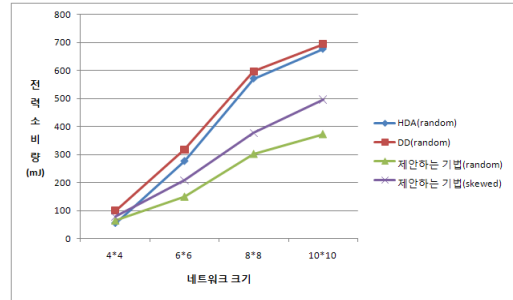


그림 6. 네트워크 크기에 따른 전력 소비량

둘째, 소스 노드 수의 변경에 따른 전력 소비량을 측정하기 위하여, 소스노드의 수를 10개부터 50개까지 변경하며 측정한다. 이 때, 네트워크 크기는 10*10으로 총 100개의 노드로 구성하고, 이웃노드의 개수는 4개로 가정한다. 그림 7은 소스 노드 수에 따른 소비된 전력량을 나타낸다. DD 기법은 소스 노드가 증가 할수록 선정되는 전송 경로가 많아지며, 그에 따라 전송 경로가 많아지기 때문에 많은 전력 소모량을 나타낸다. HDA 기법은 DD 기법과 마찬가지로 소스 노드 증가에 따른 많은 전송 경로 횡수로 인해, 많은 전력 소모량을 보인다. 반면 제안하는 기법은 소스 노드에서 지정된 경로로 보내기 위한 통신 에너지만을 사용하며, 지정된 경로를 통해 데이터 집계 이루어지기 때문에 전력 소비량이 타 기법들에 비해 skewed 데이터인 경우 평균 20%, random 데이터의 경우 평균 35%가 적음을 보인다.

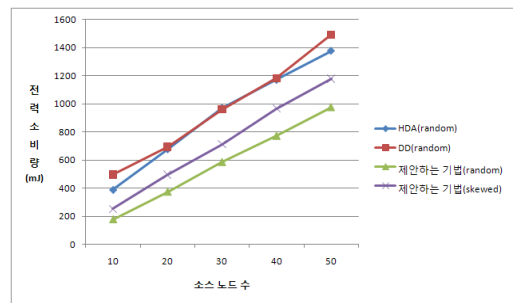


그림 7. 소스 노드 수에 따른 전력 소비량

마지막으로, 센서 노드와 통신 가능한 이웃 노드 수의 변화에 따른 전력량 소비를 측정한다(그림 8). 네트워크 크기는 10*10으로 가정하며, 소스 노드 수는 전체 노드의 20%로 가정한다. DD 기법은 이웃 노드가 증가함에 따라 통신 범위가 증가하기 때문에, 통신을 위한 홉 수가 줄어들

들어 에너지 소모량이 적어진다. 그러나 소스노드의 위치에 따라 서로 다른 전송 경로를 지니기 때문에, 가장 좋지 않은 성능을 보인다. HDA 기법은 선택할 수 있는 부모노드의 수가 많아짐에 따라, 전송을 위한 홉 수가 줄어들기 때문에, 노드의 에너지 소모량이 적어진다. 하지만, DD기법과 마찬가지로 전송 경로가 많기 때문에, 제안하는 기법보다 많은 에너지를 소모한다. 반면, 제안하는 기법은 소스 노드에서 지정된 경로로 보낼 홉 수만을 고려하며, 데이터 집계를 보장받기 때문에 타 기법들에 비해 skewed 데이터와 random 데이터에서 각각 20%, 35%의 성능 향상을 보인다.

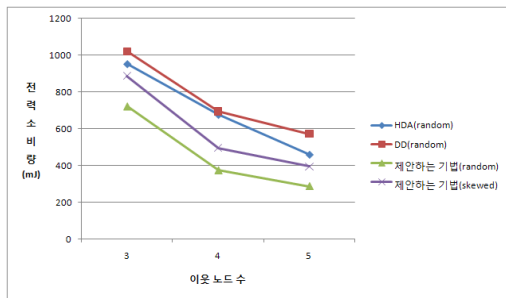


그림 8. 이웃 노드 수에 따른 전력 소비량

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 효율적인 에너지 관리를 위한 새로운 데이터 집계 처리 기법을 제안하였다. 이는 미리 지정된 경로를 통해 데이터를 전송하기 때문에 전송 경로 선정에 따른 불필요한 전송 오버헤드를 감소시키며, 주기 스케줄러를 통해 데이터 집계 시 데이터 송수신 및 연산이 특정 노드로 편중되는 문제점을 해결하였다. 성능평가를 통해, 제안하는 기법이 DD 기법 및 HDA 기법에 비해 에너지 소비량에 있어 약 20~50% 우수한 성능을 보였다.

향후 연구로는 제안한 기법을 실제 센터 네트워크에 적용하여, 제안하는 기법의 효율성을 입증하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 유기현, 남광우, "공간 데이터스트림을 위한 조인 전략 및 비용 모델," 한국공간정보시스템학회 논문지, 2008, pp. 59 - 66.
- [2] 강홍구, 박치민, 홍동숙, 한기준, "공간 센서 데이터의 효율적인 실시간 처리를 위한 공간 DSMS의 개발," 한국공간정보시스템학회 논문지, 제9권 제2호, 2007, pp 45 - 57.
- [3] L. Schwiebert, S.K.S. Gupta, J. Weinmann, "Research challenges in wireless networks of biomedical sensors," The Seventh Annual International Conference on Mobile Computing and

Networking, 2001, pp. 151-165.

- [4] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, S.Kumar, "Next century challenges: scalable coordination in sensor networks," Proceeding of the Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 1999, pp.263-270.
- [5] K. Akkaya, M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," Ad Hoc Networks, Vol. 3, 2005, pp. 325-349.
- [6] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks," Proceedings of Hawaiian International Conference on Systems Science, 2000, pp. 8020.
- [7] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Proceedings of 15th International Conference on Parallel and Distributed Processing Symposium, 2001, pp. 2009 - 2015.
- [8] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G.J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Personal Communications, 2000, pp. 16 - 27.
- [9] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, 2002, pp. 2 - 16.
- [10] B. Zhou, L. H. Ngho, B. S. Lee, and C. P. Fu, "HDA: A hierarchical Data Aggregation Scheme for Sensor Networks," Computer Communication, 2006, pp. 1292-1299.
- [11] Madden, Samuel R., Franklin, Michael J., Hellerstein, Joseph M, "TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks," ACM Transactions on Database Systems, Vol. 30, 2005, pp. 122 - 173.



윤 민

2008년 전북대학교 컴퓨터공학과(학사)
2008년~현재 전북대학교 컴퓨터공학과

(석사과정)

관심분야는 센서 네트워크, 공간 데이터 베이스, 고차원 데이터 처리 기술



김 용 기
 2002년 전북대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2005년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과
 (석사)
 2006년~현재 전북대학교 대학원 컴퓨터
 공학과 박사과정
 관심분야는 공간 네트워크 데이터베이스,
 질의처리 알고리즘, 센서 네트워크

질의처리 알고리즘, 센서 네트워크



장 재 우
 1984년 서울대학교 전자계산기공학과
 (학사)
 1986년 한국과학기술원 전산학과(석사)
 1991년 한국과학기술원 전산학과(박사)
 1996년~1997년 Univ. of Minnesota,
 Visiting Scholar

2003년~2004년 Penn State Univ., Visiting Scholar
 1991년~현재 전북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
 관심분야는 공간 네트워크 데이터베이스, 정보보호, 하부저장



Rabindra Bista
 2004년 B.Sc.IT Sikkim Manipal
 University, India(학사)
 2007년 전북대학교 컴퓨터 공학과
 (석사)
 2007년~현재 전북대학교 대학원
 컴퓨터 공학과 박사 과정

관심 분야는 공간 데이터베이스, 무선 센서 네트워크, 데이터
 집계, 센서 네트워크에서 데이터 보호