센서네트워크용 Sequenced Directed Diffusion 기법 연구

장재신*

A study on a sequenced directed diffusion algorithm for sensor networks

Jaeshin Jang*

요 약

센서기술 및 무선통신 기술의 발달로 센서네트워크에 대한 연구가 가속화되고 있다. 센서노드는 크기 및 용량의 제한 때문에 간단하면서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 프로토콜을 설계하는 것이 매우 중요하다. 기존 센서네트워크용 라우팅 프로토콜로 널리 알려져 있는 directed diffusion 프로토콜은 간단하다는 장점을 갖지만 Interest/Exploratory data 메시지를 Flooding 기법에 따라 전송하게 됨에 따라 에너지 소모가 크다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 directed diffusion 기법이 가진 단점을 보완하면서 각 센서노드가 에너지를 균형 있게 소비할 수 있는 설계된 센서네트워크 용 라우팅 기법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능평가를 수행하였다. 성능평가 결과에 따르면 본 연구에서 제안한 라우팅 프로토콜이 기존 directed diffusion 기법에 비해 에너지를 훨씬 효율적으로 사용하면서 센서노드간 에너지 소비 불균형 문제를 해결하고 있음을 수치계산 결과를 통해 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Advances in wireless networking, micro-fabrication and integration, and embedded microprocessors have enabled a new generation of massive-scale sensor networks. Because each sensor node is limited in size and capacity, it is very important to design a new simple and energy efficient protocol. Among conventional sensor networks' routing protocols, the directed diffusion scheme is widely known because of its simplicity. This scheme, however, has a defect in that sending interest and exploratory data messages while setting connection paths consumes much energy because of its flooding scheme. Therefore, this paper proposes a new sensor network routing protocol, called sequenced directed diffusion with a threshold control, which compromises the conventional directed diffusion scheme's defect and offers an energy efficient routing idea. With a computer simulation, its performance is evaluated and compared to the conventional directed diffusion scheme. Numerical results show that the proposed scheme offers energy efficiency while routing packets, and resolves ill-balanced energy consumption among sensor nodes.

키워드

센서네트워크, 센서노드, 라우팅 기법, Sequenced directed diffusion

I. 서 론

디지털 집적기술과 초소형 센서기술 및 무선통신기술들이 발달하고, 저가이면서 소 출력 그리고 다기능 센서노드들을 제작할 수 있게 되면서 센서네트워크 시대가 도래하였다. 센서네트워크란 그림 1과 같이 상황인지용 다양한 센서들을 이용하여 감지된 데이터를 유무선

* 인제대학교 정보통신공학과(icjoseph@inje.ac.kr)

접수일자 : 2006. 12. 14

네트워크 인프라를 통해 응용서비스 서버와 연결하는 기술로써 다양한 응용분야에서 주목을 받고 있다[1][2]. 센서네트워크의 대표적인 응용분야로는 생화학 테러 및 공격 감지, 병력/장비/군수품 이동 감시와 같은 군사 응용분야, 노약자 및 장애자의 건강상태 상시 체크, 가정의 방범 및 방재 감시와 같은 헬쓰 및 가정 응용분야, 그리고 산불, 지진 등 자연재해 발생을 감시하고 예방하는 환경 및 재난 예방 분야 등으로 나눌 수 있다.

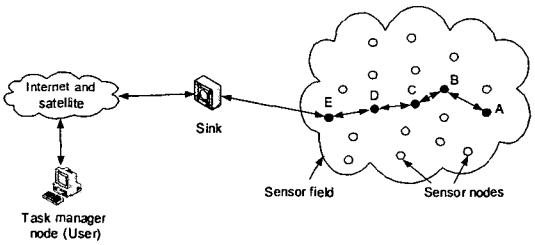

그림 1. 센서네트워크 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of sensor networks

센서필드에서 수집한 데이터를 싱크 노드에게 전송하기 위해서는 센서노드 간의 전송을 위한 센서네트워크용 물리계층 (PHY) 및 MAC 프로토콜뿐만 아니라 데이터를 수집한 A 센서노드 (소스 노드)에서 싱크 노드까지의 전송경로를 설정하는 센서네트워크용 라우팅 프로토콜이 필요하다. MAC 서브계층과 PHY 계층에 대한 표준인 IEEE 802.15.4는 2003년도에 완료되었는데[3], MAC 계층은 센서네트워크용으로 새롭게 설계한 CSMA-CA 프로토콜을 기본적으로 사용하며, PHY 계층은 868 MHz, 915 MHz, 그리고 2.4 GHz 대역에서 대역확산통신 방식에 기반을 두고 규정되어 있다. 그러나 센서네트워크용 라우팅 프로토콜에 대한 공식적인 표준화 활동은 없으며, 산업체 표준인 ZigBee Alliance에서 제정한 ZigBee 규격 1.0에 라우팅 프로토콜에 대해서 간략하게 기술되어 있다[4].

한편 센서노드는 초소형이기 때문에 프로세서의 용량과 메모리 및 배터리 용량 측면에서 많은 제약을 가지고 있는 시스템이다. 센서노드는 고장이 발생하거나 배터리가 완전히 소모되어 맡은 역할을 수행할 수 없을 때는 수리하는 것이 아니라 그대로 폐기하기 때문에 각 센서노드의 전력소모를 최소화하여 센서노드의 수명을 연장하는 것이 매우 중요하다. 센서노드는 메시지를 송수신하는 과정에서 에너지를 가장 많이 소비하므로 경로설정을 위해 발생하는 메시지의 수를 줄이거나 간단한 라우팅 프로토콜을 설계함으로써 네트워크 계층에서 에너지 소모를 줄일 수 있다. 본 연구에서는 이러한 연구의 일환으로 에너지 소모를 줄일 수 있는 센서네트워크용 라우팅 프로토콜을 제안하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 기법의 성능을 평가하였다.

2장에서는 센서네트워크용 라우팅 프로토콜 연구동향에 대해서 기술하며, 3장에서는 본 연구에서 제안한 2가지 알고리즘의 동작을 설명하고, 4장에서는 제안된 알고리즘을 성능평가하기 위한 시뮬레이션 모델과 성능평가 결과를 제시한 뒤, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구동향

센서네트워크용 라우팅 프로토콜은 몇 가지 특징을 갖추어야 하는데, 첫 번째는 Topology 변화 및 네트워크 확장 가능성 등에 대해서도 잘 적응할 수 있으면서 에너지를 효율적으로 사용할 수 있어야 한다. 두 번째는 DC (Data centric) 라우팅 개념을 충실히 수행할 수 있어야 한다. 이 개념은 센서네트워크 응용에서 등장한 개념으로 기존 Address centric (AC) 라우팅 개념과 대조를 이룬다. 즉, 센서네트워크에서 정보를 요청하는 Query의 내용은 "온도가 30도 이상인 영역에 대한 정보를 보고하라"와 같은 형태이며 이와 같은 주소체계 형태를 Attribute-based 주소체계라고 한다. 따라서 센서네트워크용 라우팅 프로토콜은 세 번째 특징으로 Attribute-based 주소체계에 기반을 두고 동작할 수 있어야 한다.

센서네트워크용 라우팅 프로토콜에 대해서는 많은 연구가 진행되었으며[7]-[15], 동작방식에 따라 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있다[7].

- Flat 라우팅: Flooding, Gossiping, Directed Diffusion[8]-[10], SPIN[11] 등
- Hierarchical 라우팅: LEACH[12], TEEN [13] 등
- Location-based 라우팅: GEAR, MECN 등

먼저 Directed Diffusion (DD) 라우팅 프로토콜은 대규모의 센서네트워크에서도 효율적으로 잘 동작하도록 설계된 프로토콜로써, 그림 2와 같이 Interest, exploratory data, reinforcement, data의 4개의 메시지를 사용하며, 싱

크 노드가 소스 노드를 향해서 Interest 메시지를 송신하면서 4단계로 진행된다.

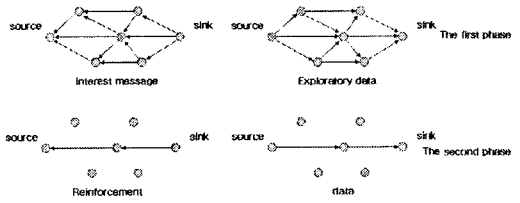

그림 2. Two-phase pull diffusion DD 기법
Fig. 2. Two-phase pull diffusion DD scheme

그리고 4가지 메시지 중에서 Interest, exploratory data 메시지는 각각 소스 노드와 싱크 노드를 향해 Flooding 기법에 기반을 두고 전송된다[8][9]. DD 기법과 관련하여 다양한 연구가 진행되었는데, Zhou는 기존 DD 기법에서 에너지 소모를 줄이기 위해 Interest 메시지 헤더 내에 "레벨" 필드를 추가하고, Flooding 기법에 의해 송수신되는 Interest 메시지의 레벨 값에 기반을 두어 소스 노드와 싱크 노드 사이에서의 계층적 경로구조를 형성하는 기법을 제안한 바 있다[10]. 계층적 경로구조가 완료되면, 나머지 메시지를 전송할 때 동일한 레벨로는 메시지를 전송하지 않기 때문에 메시지 전송량을 감소시켜 각 센서노드의 배터리 소모를 줄이는 기법이다. 하지만 기존 DD 기법에 비해서 각 센서노드에서 수행하여야 하는 절차가 복잡해지는 단점을 가지고 있으며, 각 센서노드는 모든 싱크 노드와 소스 노드들 사이의 계층적 경로구조 정보를 항상 유지 관리해야 하는 복잡한 문제를 안고 있다.

한편 Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN) 프로토콜은[11] 3단계 협상절차 (즉, ADV, REQ, DATA)에 의해 데이터를 주고받는 방식이다. 특정 사건을 감지한 소스 노드는 광고메시지 ADV 메시지를 사용하여 주변 노드들에게 알려준다. ADV를 수신한 인접 센서노드들이 해당 정보에 관심이 없으면 송신 센서노드 정보를 메모리에 저장한 뒤, ADV 메시지를 주변 인접 노드들에게 전달한다. ADV 메시지 내용에 관심을 가진 센서노드가 (싱크 노드에 해당) 출현하면, ADV 메시지를 보냈던 센서노드에게 데이터 전송을 요청하는 REQ 메시지를 전송한다. 여기에서 ADV와 REQ 메시지는 데이터를 직접 사용하지 않고 메타 데이터를 사용하기 때문에 협상과정에 의한 오버헤더를 줄일 수 있다. REQ 메시지를 수신한 소스 노드는 관련 DATA를 중간 센서노드를 거쳐 REQ 메시지를 전송했던 싱크 노드에게 전달한다. Kulik이 수행한 연구에 따르면 SPIN 방식을 사용할 경우 기존 Flooding 기법에 비해 에너지 소비를 1/3 이하로 줄일 수 있다고 알려져 있다[11].

한편 Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) 프로토콜은[12] 에너지 소비를 혁신적으로 감소시키기 위해 Cluster 기반에서 동작하도록 설계된 기법이다. 매 라운드마다 Cluster head (CH)를 결정하며, 나머지 센서노드들은 소속된 CH에게 데이터를 전송해야 한다. LEACH 기법은 Advertisement, Cluster set-up, Schedule 생성단계, 그리고 데이터 전송단계인 4단계로 구성되어 있는데, Advertisement 단계에서는 매 라운드마다 수행하는 첫 단계로서 CH를 선출한다. CH로 선정된 센서노드는 곧바로 주변 센서노드 들에게 ADV 메시지를 전송하여 Cluster 생성작업에 돌입하며, CH로 선정되지 못한 센서노드들은 수신된 ADV 메시지들과 수신 전력 세기에 기반을 두어 가입을 희망하는 CH에게 Cluster 가입을 신청한다. Schedule 생성 단계에서 각 CH들은 해당 Cluster에 속해있는 모든 센서노드들의 TDMA 전송 스케줄을 결정한 뒤, 데이터 전송단계에서 데이터를 주고받는다.

한편, 각 센서노드에서는 소스 노드 역할과 더불어 메시지를 전달하는 중간 노드 역할도 겸하고 있기 때문에 중간 노드 역할을 수행하면서 에너지 소비를 줄일 수 있는 라우팅 기법을 찾는 것이 중요하며, 에너지 소비는 특정한 노드들에게 편중되어 발생하는 것보다 전체 센서노드들에게 골고루 분포되어 발생하는 것이 매우 바람직하다[14]. 따라서 본 연구에서는 기존 DD 기법의 단점을 보완하여 전체 센서네트워크에서 사용하는 에너지 소비도 줄이면서, 에너지 소비의 편중 현상을 해결할 수 있는 라우팅 기법을 제안하고 성능평가를 수행하였다.

Ⅲ. 제안된 알고리즘 설명

DD 기법에서 Interest와 Exploratory data 메시지는 Flooding 기법에 의해 메시지를 전송되기 때문에 메시지 전송과정에서 센서네트워크에 발생되는 트래픽 양이 매우 크다. 메시지 증가는 각 센서노드에서 해당 메시지를 송수신하는데 소비되는 전력 증가로 이어지며 이는 곧 센서노드의 수명 단축으로 이어진다. 이러한 현상은

간단한 예제를 통해서 쉽게 확인할 수 있는데, 그림 3과 같이 7개 센서노드로 구성된 간단한 센서네트워크를 가정하자. 예제 네트워크에서는 싱크 노드에서 Interest 메시지를 Flooding 기법에 의해 소스 노드에게 전송하며, 편의상 각 Interest 메시지의 hop limit 값이 4라고 가정하고 최초 4단계의 진행과정만 살펴보자. Interest 메시지가 Flooding 기법에 의해서 전송되면, SN1 센서노드는 Step 2, 3, 4 동안 서로 다른 경로를 통해서 동일한 Interest를 계속 수신하게 되므로 동일한 메시지를 계속 Flooding하게 된다. 또한, 센서네트워크를 포함하여 대부분의 네트워크에서는 특정 사건이 발행한 뒤 해당 데이터를 전송할 경로를 설정함에 있어서 시간지연을 줄일 목적으로 주로 싱크와 소스 노드 사이의 최단경로를 이용하여 데이터를 송수신하게 된다.

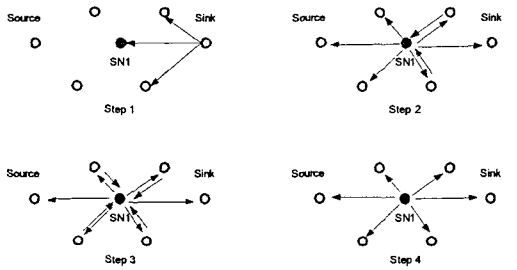

그림 3. Interest 메시지 전송 예 (기존 DD 기법)
Fig. 3. Example of transmitting interest message

그리고 특정한 사건이 동일한 지역에서 반복해서 발생하게 되면, 싱크와 소스 노드 사이의 최단 경로에 포함된 센서노드들의 전력소비가 지속적으로 증가하게 되기 때문에 각 센서노드 간의 전력소비의 불균형이 발생하게 된다. 센서노드들 간의 전력소비의 불균형 문제를 보여주는 예는 Schurgers의 연구에서 이미 기술된 바 있다[14].

따라서 본 연구에서는 기존 DD 기법에서 Flooding 기법을 채용함에 따른 과도한 전력소비를 방지하고, 각 센서노드 간의 전력소비의 불균형문제를 해결하기 위해 다음과 같이 2가지 기법을 제안한다.

3.1. Sequenced directed diffusion 기법

본 논문에서 제안하는 첫 번째 기법은 Interest와 Exploratory data 메시지 헤더 내에 sequence number 필드를 추가하고, 싱크/소스 노드에서 새로운 Interest/Exploratory data 메시지를 생성할 때마다 sequence number 값을 증가시킨다. 따라서 중간 센서노드들은 해당 메시지 헤더 내의 sequence number 필드 값을 검사하면 해당 센서노드에서 수신한 Interest/Exploratory data 메시지가 최신 메시지인지를 알 수 있다. 따라서 각 중간 센서노드는 새로운 Interest/Exploratory data 메시지를 수신하였을 경우에만 Flooding 기법에 준해 인접 노드들에게 전송하고, 이전에 수신했던 Interest/Exploratory data 메시지를 재차 수신하였을 경우에는 에너지 소비를 줄이기 위해 해당 메시지를 인접 노드로 전송하지 않는다 (그림 4 참조). 따라서 본 논문에서 제안하는 Sequenced DD 기법을 그림 3에 적용하면 SN1 센서노드에서 전송하는 메시지의 수가 그림 5에서 확인할 수 있는 바와 같이 크게 줄어듦을 쉽게 확인할 수 있다.

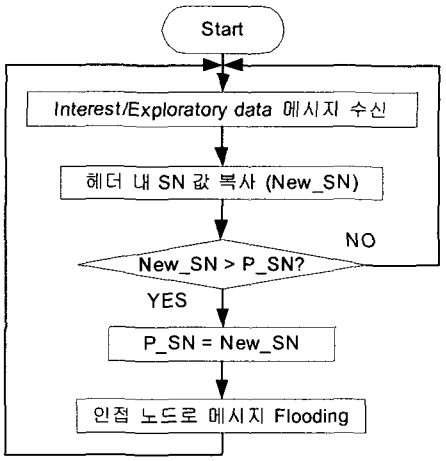

그림 4. Sequenced DD기법에서 메시지 처리 절차 예
Fig. 4. Example of message processing in Sequenced DD scheme

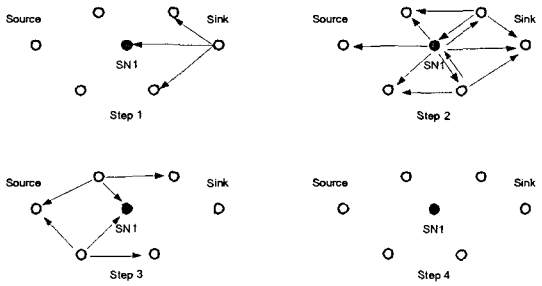

그림 5. Sequenced DD기법에서 Interest 메시지 전송 예
Fig 5. Example of transmitting interest message in Sequenced DD scheme

3.2. Threshold DD 기법

본 논문에서 제안하는 Threshold DD 기법의 동작을 가능하게 하기 위해 라우팅 프로토콜이 센서노드에 부착된 배터리의 잔여 에너지를 알 수 있다고 가정한다. 최근 연구되고 있는 각종 Energy-efficient 라우팅 기법에서는 대부분 이 가정을 기반으로 동작하기 때문에 이는 타당한 가정이라고 판단된다. 따라서 이런 가정 하에서 각 센서노드 간의 전력소비 불균형 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 두 번째로 제안한 Threshold DD기법은 다음과 같은 절차에 따라서 동작한다 (그림 6 참조).

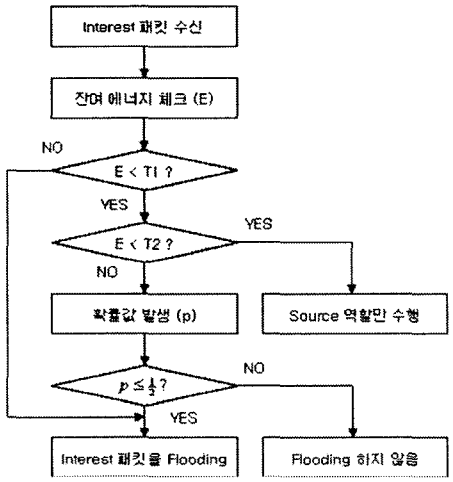

그림 6. Threshold DD 기법 동작 예
Fig. 6. Example of message processing in Threshold DD scheme

먼저 Threshold 변수 2가지를 정의하여 관리하며 (T1 > T2), 각 센서노드들이 Flooding에 의해 전송할 Interest/Exploratory data 메시지를 수신하게 되면 먼저 자신의 잔여에너지를 검사한다. 잔여에너지가 T2 값보다 작을 경우에는 라우팅에 참여하지 않으며, 수신된 Interest/Exploratory data 메시지를 폐기한다. 만약 잔여에너지 값이 T2보다 크고 T1보다 작을 경우에는 확률 값 p에 기반을 두어 선별적으로 라우팅 역할을 수행하며, 잔여 에너지가 T1보다 클 경우에는 반드시 라우팅 역할을 수행한다. 그러나 해당 센서노드가 소스 노드일 경우에는 잔여에너지의 크기에 무관하게 메시지를 반드시 전송한다. 여기에서 모든 센서노드들은 동일한 확률 값 p를 보유한다.

Ⅳ. 성능평가 결과

본 논문에서는 제안한 기법의 알고리즘 성능평가를 위해 SMPL[16] 시뮬레이션 툴을 사용하였으며 다음과 같은 시뮬레이션 환경을 가정하였다. 우선 그림 7과 같이 총 25개의 센서노드로 구성된 센서네트워크 모델을 가정하였으며, 임의의 센서노드의 인접노드들을 그림 7에 화살표로 나타내었다. 소스 노드는 1번이며, 싱크 노드는 21번이라고 가정하였다. 그리고 본 논문에서 사용하는 Flooding 기법이란 그림 7의 13번 센서노드가 18번 센서노드로부터 Interest를 수신할 경우, 18번 센서노드를 제외하고 인접한 8, 12, 14번 센서노드로 Interest를 전송하는 것을 의미한다. 성능평가를 위해 본 논문에서 사용한 트래픽 파라미터 값을 표 1에 나타내었다.

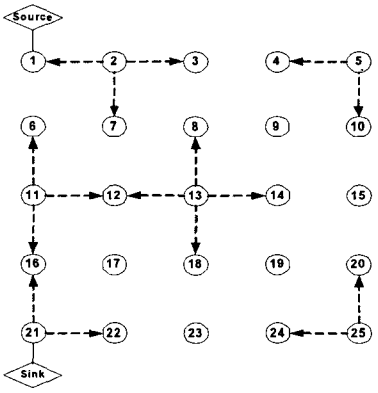

그림 7. 성능평가를 위한 센서네트워크 구성 예
Fig. 7. Example of sensor network for simulation

표 1에서 데이터 전송 개수가 10이란 DD에서 Reinforcement 메시지를 수신한 후 소스 노드가 0.6초 간격으로 데이터를 10회 전송함을 의미한다. 이 때 모든 메시지들의 전송간격은 일정하다고 가정하였다. 성능평가에서 사용한 에너지 모델과 본 연구에서 제안한 알고리즘에 사용되는 시스템 파라미터 값들을 표 2에 기술하였다.

효율적인 성능평가를 위해 다음과 같은 시뮬레이션 시나리오를 설정하고, 시나리오 별로 성능평가를 수행하였으며, 성능평가 척도로 센서노드의 잔여에너지를 사용하였다.

- 시나리오 1 : 기존 DD 기법에 에너지 모델을 적용한 경우 (Original DD)
- 시나리오 2: 시나리오 1에 본 연구에서 제안한 SN 추가하여 제어한 경우 (Sequenced DD)

표 1. 성능평가에 사용한 트래픽 파라미터
Table. 1 Traffic parameters used in simulation

파라미터	값	파라미터	값
Interest 전송 간격	15초	데이터 길이	1000 byte
데이터 전송 간격	0.6초	데이터 전송 개수	10
프로세싱 시간	1초	링크 전송속도	50 kbps
Interest/Reinforcement 길이	500 byte	Flooding에서 메시지 제한 step 수	10

- 시나리오 3: 시나리오 2에 2개의 Threshold를 추가하고 Interest/Exploratory data 메시지에 대해서만 Threshold 제어를 수행한 경우 (Sequenced DD with Threshold)

표 2. 성능평가에 사용한 에너지 모델 및 기타 변수
Table. 2 System parameters used in simulation

파라미터	값	파라미터	값
최초 에너지	5 J	Threshold 1 (T1)	3 J
전송 시 소요전력	0.175 W	Threshold 2 (T2)	2 J
수신 시 소요전력	0.175 W	판단 확률	1/2
데이터 전송 개수	10	시뮬레이션 수행시간	100초

시나리오 1, 2 3에 대한 성능평가 결과를 그림 8과 9에 나타내었다. Flooding 기법이 갖는 특징 때문에 시나리오 1에서 센서네트워크 내에 생성되는 메시지 수는 기하급수적으로 증가한다. 따라서 에너지 소비가 급증하여 그림 8에서 살펴보는 것과 같이 전체 잔여에너지가 4초 정도 경과한 후 6.4 Joule이하로 떨어져서 센서네트워크의 수명이 끝나게 됨을 알 수 있다. 한편 시나리오 2와 3에서는 100초 후 전체 잔여에너지가 각각 85.7 Joule과 83.6 Joule이 되며, 센서네트워크는 이 시점까지 정상적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

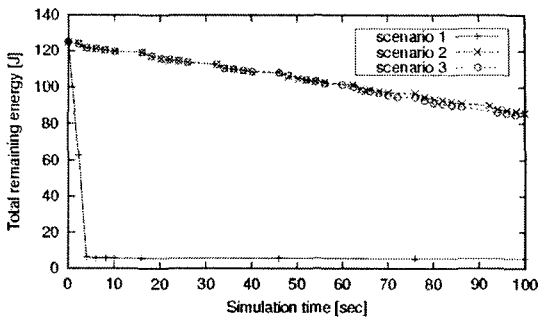

그림 8. 시나리오별 전체 에너지 변화
Fig. 8. Total energy variation for each scenario

한편 그림 7에서 11번 센서노드가 소스노드와 싱크노드 사이에서 매우 중요한 경로 위치를 차지하고 있음을 알 수 있기 때문에 11번 센서노드의 잔여에너지 변화를 그림 9에 나타내었다.

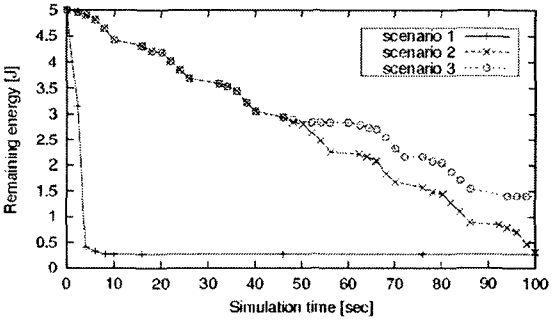

그림 9. 시나리오별 11번 센서노드의 에너지변화
Fig. 9. Sensor node 11's energy variation for each scenario

시나리오 1의 결과를 보면, 4초가 경과되면 11번 노드의 잔여에너지가 0.4 Joule 이하로 감소함을 알 수 있으며, 이후에는 수명이 다해 더 이상 동작하지 않기 때문에 에너지 변화가 없음을 확인할 수 있다. 한편 시나리오 2에서는 100초가 경과한 후 11번 노드의 잔여에너지가 0.3 Joule 정도로 감소하지만, 이 시점까지는 제대로 동작했음을 확인할 수 있다. 그러나 100초 이후에는 잔여에너지 부족으로 더 이상 동작하지 않고 우회 경로를 통해 메시지가 전송된다. 시나리오 3에서는 100초 이후에도 11번 센서노드의 잔여에너지가 1.4 Joule 정도로 충분한 에너지를 보유하고 있기 때문에 중간경로 센서노드

의 라우팅 동작을 정상적으로 수행하고 있음을 확인할 수 있다. 센서노드 별 에너지 소비의 분포를 확인하기 위해 시뮬레이션 종료 후 센서노드 개수 별 잔여에너지 분포 비율을 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 x축은 최초 에너지 (5 Joule) 대비 100 초 후 잔여에너지 비율을 나타내며, y축은 해당 잔여에너지 비율 값을 갖는 센서노드의 개수를 나타낸다.

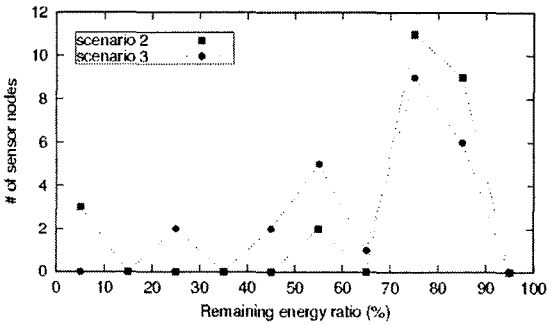

그림 10. 시뮬레이션 종료 후 잔여에너지 분포
Fig. 10. Distribution of remained energy at the end of simulation

그림 10의 성능평가 결과를 통해 시나리오 2에서는 20개 센서노드가 최초 에너지의 70 ~ 90%의 잔여에너지를 보유하고 있으며, 센서노드 2개는 55%의 잔여에너지를 보유하고 있고, 나머지 센서노드 3개는 5%미만의 잔여에너지를 보유하고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 센서노드 별 에너지 소비 불균형이 매우 심하다는 것을 확인할 수 있다. 반면에 시나리오 3의 결과를 살펴보면, 센서노드 15개는 70 ~ 90% 잔여에너지를 보유하고 있으며, 8개의 센서노드가 40 ~ 70%의 잔여에너지를 보유하고 있고, 센서노드 2개는 25%의 잔여에너지를 보유하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 성능평가 결과를 통해 시나리오 2에 사용된 알고리즘보다 시나리오 3에 사용된 알고리즘이 센서노드의 에너지를 더욱 균형 있게 골고루 소비하고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

센서를 소형으로 만들 수 있는 기술이 발달하면서 센서네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 센서네트워크 라우팅 프로토콜로 널리 알려져 있는 DD 기법이 센서네트워크 개념을 잘 반영하고 있지만 Interest/Exploratory data 메시지를 Flooding 기법에 기반을 두고 전송하기 때문에 수반되는 에너지 소비가 크다는 단점을 안고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존 DD 기법에서 에너지 소비를 줄이면서 각 센서노드들 간의 에너지 소비 불균형 문제를 해결하기 위해 Sequenced DD 기법과 Threshold DD 기법을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 성능평가를 수행하였다. 성능평가 결과를 통해 Sequenced DD 기법이 기존 DD 기법에 비해 에너지 소비를 크게 줄일 수 있음을 확인하였고, 라우팅 기능을 수행하는 중간 센서노드들이 Interest/Exploratory data 메시지에 대해 Threshold 제어를 수행할 경우 센서노드들 간의 에너지 소비 불균형 문제도 크게 개선함을 확인할 수 있었다.

차후 연구에서는 본 연구에서 제안한 기법을 널리 사용되고 있는 NS-2 시뮬레이터로[17] 구현하여 본 연구에서 수행했던 환경에서 유사한 성능평가를 수행할 계획이다.

참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankara., and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 8, pp. 102-114, August 2002.

[2] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges," Proc. of the IEEE, Vol. 91, no. 8, pp. 1247-1256, August 2003.

[3] IEEE P802.15.4-2003, Standard: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs), October 2003.

[4] ZigBee Document Version 1.0, Standard: ZigBee Specification, June 2005.

[5] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Personal Commun. Mag., pp. 16-27, October 2000.

[6] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks,"

Proc. of IEEE INFOCOM'02, New York, NY, June 2002, pp. 1567-1576.

[7] J. N. Al-karak and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," IEEE Wireless Commun. Mag., pp. 6-28, December 2004.

[8] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," Proc. of ACM MobiCom'2000, Boston, MA, 2000, pp. 56-67.

[9] J. Heidemann, F. Silva, and D. Estrin, "Matching data dissemination algorithms to application requirements," Proc. of SenSys'03, 2003.

[10] B. Zhou, et al., "A hierarchical scheme for data aggregation in sensor network," Proc. of IEEE ICON'2004, 2004, pp. 525-529.

[11] J. Kulik, W. Heinzelman, and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks," Wireless Networks: Kluwer, vol. 8, pp. 169-185, 2002.

[12] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasn, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks,"Proc. of the Hawwaii Int. Conf. on System Sciences, Maui, Hawaii, January 2000.

[13] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks,"Proc. of 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing'2001, 2001.

[14] C. Schurgers, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," Proc. of MILCOM'2001, 2001.

[15] T. Bokareva, N. Bulusu and S. Jha, "A performance comparison of data dissemination protocol for wireless sensor networks," Proc. of GLOBECOM'04, 2004, pp. 85-89.

[16] M. H. MacDougall, Simulating computer systems: techniques and tools, The MIT press, 1992.

[17] S. McCanne and S. Floyd, NS Network Simulator, Version 2.28, http://www.isi.edu /nsnam/ns.

저자소개

장 재 신(Jaeshin Jang)

1990년 2월 동아대학교 전자공학과 학사
1992년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사
1998년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 박사
1997년 7월 ~ 2002년 2월 (주)삼성전자 네트워크사업부 책임연구원
2002년 3월 ~ 현재 인제대학교 공과대학 정보통신공학과 조교수
※관심분야 : 이동통신망, 무선 랜, 무선인터넷, 센서 네트워크, QoS 스케쥴러