

센서 네트워크에서 노드의 에너지 소비를 고려한 방향성 메시지 기법

전진환¹ · 정은주¹ · 박상준² · 길아라³ · 김병기^{3*}

Directional Messaging Scheme for considering Nodes Energy Consumption in Sensor Networks

Jinhwan Jeon · Eunjoo Jeong · Sangjoon Park · Ara Khil · Byunggi Kim

ABSTRACT

The sensor nodes on the sensor network transmit the reply for the queries of ADV(Advertisement) message from sink node, and the sink node presents the received information to users. To find the relevant sensor nodes, routing algorithms disseminates ADV messages to the whole network. Thus not only the relevant sensor nodes but also the irrelevant ones consume considerable amount of energy.

To alleviate such kind of energy consumption, this thesis proposes a new routing algorithm and coins it Directed Messaging. It propagates ADV message only to the limited direction and changes the direction until the requested sensor node is found. In this way, Directed Messaging reduces unnecessary energy consumption and enhance the efficiency of the networks. Performance of the Directed Messaging algorithm is evaluated through simulation and compared with Directed Diffusion algorithm. Simulation results show that it has better performance than Directed Diffusion.

Key words : Sensor network, Energy efficiency, Directed message

요약

센서 네트워크상의 센서 노드들은 싱크 노드의 ADV(Advertisement) 메시지를 통해 질의에 해당하는 정보를 싱크 노드에게로 전송하며 싱크 노드는 수신한 정보를 사용자에게 제공한다. 그러나 센서 네트워크를 위한 각종 라우팅 알고리즘들은 싱크 노드가 요청하는 해당 질의에 맞는 정보를 가지고 있는 센서 노드의 위치를 알기 위하여 매번 전체 네트워크로 ADV 메시지를 퍼뜨리는 방법을 사용하기 때문에 전체 네트워크의 수명과 직접적인 관련이 없는 센서 노드들의 에너지 소비량을 극심하게 증가시킨다.

본 논문에서는 싱크 노드의 질의에 해당하는 소스 노드를 찾기 위한 초기 경로 설정 시, 방향성 정보를 가진 ADV 메시지를 제한된 방향으로만 전파함으로써 관련 없는 노드들의 메시지 송수신으로 인한 불필요한 에너지 소비를 줄이도록 하는 새로운 메시징 기법을 제안하고 이의 효율성을 실험을 통하여 나타내 보인다.

주요어 : 센서 네트워크, 에너지 효율성, 방향성 정보

1. 서론

최근의 네트워크 기술의 발전은 인간 생활의 모든 영역에서 네트워크가 가능하도록 하여 언제 어디서나 통신이 가능하도록 하는 유비쿼터스 네트워크(ubiquitous networks) 시대를 위한 연구가 진행되고 있다^[1]. 유비쿼터스

네트워크 통신을 위해 각종 무선 통신 기술이 연구, 개발되고 있으며 특히 무선 센서 네트워크(wireless sensor network) 기술을 이용한 각종 서비스개발이 활발하게 진행되고 있다.

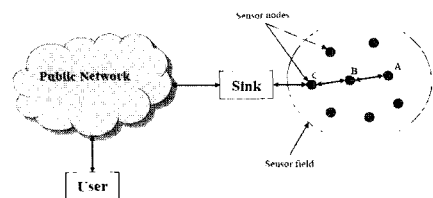


그림 1. 센서 네트워크의 구조

2007년 5월 3일 접수, 2007년 5월 23일 채택

¹⁾ 숭실대학교 컴퓨터학과

주 저 자 : 전진환

교신저자 : 김병기

E-mail: jjh163@ssu.ac.kr

무선 센서 네트워크는 그림 1에서 보는 바와 같이 수많은 소형 센서 노드(sensor node)들을 Ad-hoc 형태로 연결하여 원하는 어떤 현상 자료를 감지 및 수집한다^[1,2]. 센서 노드는 원하는 현상자료를 감지하기 위한 센싱 장치(sensing unit), 감지한 데이터를 처리하는 처리 장치(processing unit), 각 노드들 간의 무선 통신을 위한 무선 송수신 장치(transceiver unit), 노드의 전력을 공급하는 전력 장치(power unit) 등으로 구성한다.

센서 네트워크 내의 센서 노드들은 넓은 지역에 걸쳐 분포되어 있기 때문에 전력을 소진한 경우 일일이 재충전하기 어렵다. 결국 센서 노드들의 전력 소모는 전체 센서 네트워크 수명에 직접적인 영향을 준다. 또한, 센서 노드들은 노드의 대기 상태(idle)와 메시지 수신 상태(receiving), 메시지 송신 상태(sending)에 따라 에너지 소비율이 1:2:2.5의 비율로 나타난다^[2]. 따라서 불필요한 통신 참여로 인한 센서 노드의 에너지 소비량을 줄임으로써 전체 센서 네트워크의 수명을 늘이고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다^[1,3].

센서 네트워크의 싱크 노드는 센서 필드(sensor field) 내의 센서 노드들에게 원하는 자료를 요구하는 ADV 메시지를 방송한다(broadcasting)^[3,4]. 이웃 노드들 간의 연속적인 방송으로 인하여 센서 네트워크 전체에 퍼진 ADV 메시지에 대해 해당 질의에 맞는 자료를 가진 소스 노드(source node)는 자료를 전송하기 위한 경로를 설정(gradient)한다. 그러나 싱크 노드와 소스 노드 간의 경로를 설정하기 전, 경로에 포함되지 않는 대부분의 센서 노드들은 매번 발생하는 ADV 메시지에 반응할 필요가 없음에도 불구하고 방송에 의한 메시지 송수신으로 인하여 센서 노드의 트래픽(traffic)을 증가시킴과 동시에 이에 따른 에너지 소비를 증가시키는 문제가 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크에서 싱크 노드의 질의에 해당하는 소스 노드를 찾기 위한 초기 경로 설정 단계에서 방향성 정보를 가진 ADV 메시지를 센서 네트워크의 제한된 방향으로만 메시지를 전송하도록 하는 방향성 메시징(Directed Messaging:DM) 기법을 제안하고 이의 향상된 에너지 효율성을 NS-2^[5]를 통한 모의실험 결과로써 나타내 보인다. DM 기법은 싱크 노드가 ADV 메시지에 방향성 정보를 부가하여 방송하고, 처음 메시지를 수신한 노드 중 방향성 정보에 맞지 않는 노드들은 더 이상 메시지 송신을 하지 않도록 함으로써 센서 노드들이 불필요한 통신에 참여하지 않도록 하는 통신방식을 통하여 에너지 소비를 최소화 한다.

DM 기법은 기존의 플러딩(flooding) 방법에 비해 전체 노드들의 송수신에 필요한 에너지 소비량을 대폭 감소

시킬 수 있다. 즉, 제한된 방향으로만 메시지 전송이 일어나기 때문에 전송 방향에 소스 노드가 존재하면, 싱크 노드의 반대 방향에 위치한 노드들의 필요 없는 메시지 송수신에 의한 에너지 소비가 발생 하지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 센서 네트워크의 특징을 살펴보고 본 연구의 필요성을 기술 한다. 제3장에서는 방송으로 인해 소비되는 에너지 소비 문제를 살펴보고 센서 네트워크 환경에서 효율적인 에너지 소비를 위한 DM 기법을 제안한다. 제4장에서는 모의실험을 통해 DM 기법에 대한 성능을 분석, 평가하며, 마지막 5장에서는 본 논문에서 제시한 연구 결과에 대하여 결론을 맺는다.

2. 센서 네트워크

2.1 센서 네트워크의 특징

센서 네트워크는 유비쿼터스 네트워크 환경을 구축하여 사용자에게 유용한 정보를 제공하기 위한 네트워크 기술로서 작은 크기, 저전력, 네트워크 기능을 가진 센서 노드들이 멀티홉 무선 네트워크를 구성하여 특정 상황에서 유용한 정보를 싱크 노드에게 제공하는 무선 ad-hoc 네트워크이다^[1]. 다수의 센서 노드들이 근접한 거리에서 센싱 능력과 정보처리 능력, 무선 송수신 능력을 이용하여 정보를 주고받음으로써 군사 작전, 산불 및 홍수 감지, 화산 활동 감시 등의 다양한 분야에 응용될 수 있다. 센서 노드는 그 특성상 에너지 공급, 연산 및 저장 능력의 제한으로 최대한의 생존 시간을 갖도록 하는 연구가 필요하다.

센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 비교하여 전력 사용의 제한이 심하고 저장능력과 대역폭이 떨어진다. 기존 네트워크는 특정 노드에게 원하는 질의 메시지를 보내고 전송 받는데 비해, 센서 네트워크는 발생하는 사건이나 지역에 관심을 두고 원하는 정보를 수집한 노드로부터 해당 질의 메시지에 일치하는 자료를 전송 받는다. 따라서 센서 네트워크는 기존의 네트워크와 비교하여 분산 처리 시스템의 성격이 더 강하다고 할 수 있다.

센서 네트워크와 기존 ad-hoc 네트워크의 차이는 다음과 같다.

1. 훨씬 많은 수의 노드와 높은 밀도로 네트워크가 구성된다.
2. 주변 환경 변화에 의해 높은 고장률을 가질 수 있다.
3. 회수하여 재사용하기 보다는 일회용으로 사용하고 폐기하는 경우가 많다.

4. 상대적으로 노드의 고장률이 높고, 제한된 배터리 사용으로 빈번한 토폴로지 변화를 보인다.
5. Ad-hoc 네트워크는 Point-to-Point 방식으로 통신이 이루어지지만, 센서 노드 간에는 Broadcast 방식으로 통신이 이루어진다.
6. 전력 공급의 제한을 받으며, 연산 및 저장능력의 한계를 갖는다.
7. 오버헤드와 많은 수의 센서로 이루어 졌기 때문에 광역 ID를 가지고 있지 않다.

2.2 라우팅 알고리즘

Directed Diffusion^[6]은 Data-Centric 라우팅 프로토콜이다. Data-Centric 라우팅 프로토콜은 싱크 노드가 데이터를 얻고자 할 때 네트워크에 원하는 데이터를 요구하는 On-Demand 방식으로 네트워크가 동작한다. Directed Diffusion 라우팅 프로토콜은 싱크 노드에서 받은 Interest 메시지를 이웃 노드들에게 브로드캐스트 한다. 센서 네트워크 전체에 전파된 Interest 메시지를 통해 해당 질의에 맞는 데이터를 가진 노드로부터 데이터를 전송하기 위한 경로를 설정한다. 이들 경로 중 최적의 경로를 강화(reinforcement)하여 데이터를 전송하기 위한 라우팅 경로를 결정한다. Directed Diffusion 알고리즘은 소스 노드를 찾기 위해 모든 방향으로 메시지를 전파하기 때문에 초기 경로 설정 시 에너지 소모가 크다. 또한 강화된 경로의 노드들의 에너지 소비가 집중되어 네트워크 전체 에너지 소비 불균형이 발생 한다. 그러므로 이러한 불균형을 해소하기 위해서 네트워크 전체로 에너지 소비를 분산시키는 방법이 필요하다. 또한, 경로가 강화 되어 있지 않은 이웃 노드들도 통신에 참여하게 되어 불필요한 에너지를 소비한다.

SPIN^[7]은 플러딩의 결함을 처리하기 위해 설계된 것으로, 센서 노드가 ADV 메시지를 브로드캐스트하고, 싱크 노드로부터 요청을 기다리는 형태의 데이터 중심적 라우팅 기법이다. SPIN은 센서 노드가 데이터를 전파하는 대신 센서 데이터를 기술하는 질의 메시지를 전송하여 보다 효율적으로 동작하고 에너지를 보존하도록 한다. SPIN은 ADV, REQ, DATA 등의 3가지 메시지를 사용한다. 센서 노드는 메타 데이터를 가지는 ADV 메시지를 전파하고, ADV 메시지를 수신한 이웃 노드가 ADV 메시지와 일치하면 REQ 메시지를 전송하고, 해당 이웃 노드의 DATA 메시지를 전송한다.

LEACH^[8]는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜로서 클러스터 내의 노드 중 임의의 노드를 선택하여 헤더로 선정

하고 그 헤더가 데이터를 수집하여 데이터를 전송하는 방식이다. 그러나 선정된 헤더 노드에 에너지 소비가 집중되는 문제가 있다. 따라서 클러스터 헤더 노드에 집중되는 부하를 분산시키기 위해 클러스터 헤더를 한 노드만 전담하는 것이 아니라 노드들이 돌아가며 기능을 수행하도록 하였다. LEACH 방식을 사용할 때 클러스터 내의 노드들은 스스로 클러스터 헤더를 선출해야 하는 부담을 갖는다. 이런 문제를 해결하기 위해 싱크 노드에서 클러스터 헤더 및 클러스터 범위를 결정하는 LEACH-C 방식도 제안되었다.

TEEN^[9]은 LEACH와 유사한 동작을 하지만 시간에 민감한 데이터를 처리하기에 적합하도록 수정하였다. 클러스터의 노드들은 클러스터 헤더가 지정한 Ht(Hard Threshold)와 St(Soft Threshold)값을 기본으로 데이터 전송 시간을 결정한다. 감지된 데이터 값이 Ht의 값보다 커지면 이 데이터를 해당 슬롯에 실어 전송한다. 그 후로 감지 데이터 값이 St의 값보다 커지면 역시 해당 슬롯에 전송한다. 이 방식은 시간에 민감한 데이터가 발생 되었을 경우 또는 그와 같은 환경을 모니터링 하여야 하는 경우에 유용하게 이용될 수 있으나 TDMA 기반 방식 고유의 단점을 내포하고 있기 때문에 슬롯의 사용으로 인해 기인되는 지연의 문제를 가지고 있다.

3. 방향성 메시징 기법

3.1 불필요한 메시지 송수신 문제

센서 네트워크에서 노드의 생존성을 고려해야 하는 가장 큰 이유는 다른 무선 네트워크와 달리 전력 공급이 용이하지 않기 때문에 필요하지 않은 에너지 소비를 최소화하는 것이 필요하다.

센서 네트워크를 구성하는 노드 간의 통신은 브로드캐스팅 방식을 이용한다. 그러나 브로드캐스팅을 하면 전 방향으로 확산되는 방향성, 트래픽의 증가, 잘못된 라우팅 경로 설정으로 인한 트래픽 전송 시 에너지 낭비, 통신에 참여하지 않아도 되는 노드들의 불필요한 송수신으로 에너지 소비가 발생하게 된다^[3,10]. 이와 같이 불필요한 에너지 소비를 최소화하기 위해 전송되는 ADV 메시지에 방향성 정보를 두어 브로드캐스팅으로 인한 에너지 낭비를 줄이는 Directed Messaging 알고리즘을 제안한다.

3.2 알고리즘을 위한 가정과 요구사항

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 다음의 가정과 요구사항을 갖는다.

싱크 노드를 포함한 전체 센서 노드들은 자신의 위치를 알고 있다.

제안하는 라우팅 프로토콜은 각 센서 노드와 싱크 노드가 GPS(Global Positioning System)나 혹은, 사용자에게 위치 정보를 입력받아 자신의 위치를 안다고 가정한다. 노드가 자신의 위치 정보를 알고 있으면 효율적으로 주변 노드를 찾을 수 있고^[11], 토폴로지 구성 후 센서 노드에 의해 요구되는 질의 정보에 대해 생성되는 데이터의 위치를 파악할 수 있다.

모든 센서 노드는 위치가 고정되어 있다.

제안하는 라우팅 프로토콜은 모든 센서 노드들이 자신의 위치를 변경하지 않는다. 실제로 센서 노드가 배치된 후에는 자연적인 현상에 의해 위치가 임의로 변경 될 수 있지만, 본 논문에서는 센서 노드들의 위치는 이동하지 않고 고정되어 있는 것으로 가정한다.

3.3 Directed Messaging 알고리즘

본 절에서는 센서 네트워크에서 초기 토폴로지 구성 시 메시지를 무조건 전 방향으로 전송하는 알고리즘을 개선하여 노드의 에너지를 효율적으로 관리하는 방안을 연구한다. 소스 노드를 찾기 위해 ADV 메시지를 수신한 센서 노드의 위치와 목적지 방향 정보를 이용한다. 싱크 노드를 기준으로 네트워크를 4개의 영역으로 분할하여 ADV 메시지를 선택적으로 포워딩하는 방법을 사용한 Directed Messaging 기법을 제안한다.

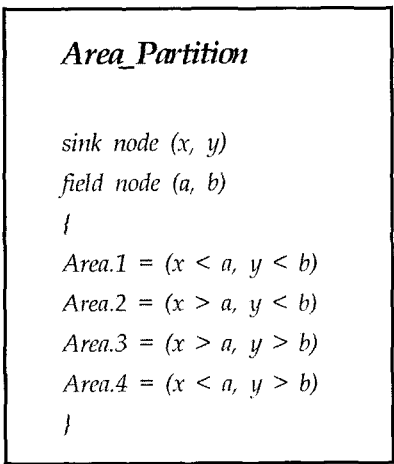


그림 2. 4개 영역 분할

3.3.1 네트워크 영역 분할

전체 네트워크를 싱크 노드의 위치(x, y)를 기준으로 4개 영역으로 분할한다^[12]. 네트워크 분할은 그림 2와 같다. 각 영역끼리 접하는 부분은 같은 메시지가 중복 전송되어 해당 노드의 에너지 소비가 증가 한다. 이러한 중복 메시지 수신 문제를 해결하기 위해 임의의 노드 (i, j) 값에 대해 (x, i)와 (j, k)에 있는 노드는 ADV 메시지를 전송하지 않고 수신만 하여 에너지 소비를 최소화 한다.

싱크 노드는 해당 질의 정보와 영역의 범위 정보, ADV 메시지 TTL(Time-To-Live) 정보를 ADV 메시지에 포함시켜 분할된 네트워크로 브로드캐스트 한다.

3.3.2 ADV 메시지 전송

배치된 노드에서 사건(event)이 발생하면 그 사건을 감지한 노드를 소스 노드(source node)라고 한다. 싱크 노드에서 전송되는 ADV 메시지는 분할된 네트워크 영역을 순차적으로 검색하여 싱크 노드에서 부가한 질의 정보와 일치하는 소스 노드를 찾는다.

ADV 메시지는 싱크 노드가 부여한 영역의 범위 정보와 배치된 센서 노드의 위치 정보를 비교하여 센서 노드의 위치가 영역의 범위 정보에 속하면, 계속 ADV 메시지를 전송 하고, 설정된 범위 밖에 있는 노드이면 전송을 중지하고 해당 노드를 대기 상태에 있게 한다. 해당 영역에서 질의 정보에 해당하는 소스 노드를 발견하지 못하면, ADV 메시지에 설정된 TTL 정보를 참조하여 메시지 전송을 중지한다. 싱크 노드는 ADV 메시지에 부가된 TTL 정보를 참조하여 제한된 시간동안 ADV 메시지에 대한 회신 메시지가 없으면, 해당 영역에 질의 정보에 해당하는 소스 노드가 없음을 인식하고, 다음 영역으로 ADV 메시지를 재전송한다. 이와 같은 방법으로 각 영역에 순차적으로 ADV 메시지를 전송하여 소스 노드를 발견 하면 전송에 참여 하지 않는 센서 노드들의 전력 소비와 패킷 처리로 인한 오버헤드를 줄일 수 있게 되어 에너지 효율적인 네트워크 구성이 가능하다.

3.3.3 싱크 노드의 라우팅 테이블 관리

싱크 노드는 초기 토폴로지 구성 후 질의 정보에 대한 메타 데이터를 라우팅 테이블에 저장한다. 싱크 노드는 라우팅 테이블에 저장된 정보를 바탕으로 외부 시스템에서 입력된 질의 정보를 라우팅 테이블에서 먼저 검색한다. 라우팅 테이블에 유사한 메타 데이터가 존재하면, 기존에 설정된 전송 우선순위를 무시하고 메타 데이터가 존재하는 영역부터 ADV 메시지를 전송한다.

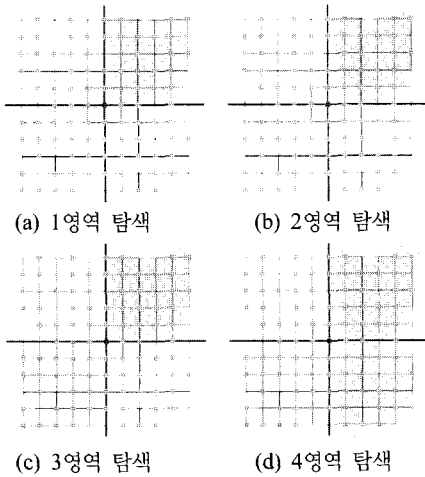


그림 3. 소스 노드가 4영역에 있을 때 ADV 메시지 전송과정

4. 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 Directed Messaging 알고리즘의 제한 사항과 통신비용을 분석한다.

4.1 Directed Messaging 알고리즘의 제한 사항

4.1.1 싱크 노드의 재전송 비용

싱크 노드는 ADV 메시지를 해당 영역에 전송하고 해당 영역에서 질의 정보에 대한 회신 메시지를 기다린다. ADV 메시지에 의한 회신 메시지가 ADV 메시지 TTL 안에 도착하지 않으면, ADV 메시지를 전송한 영역에 질의 정보와 일치하는 소스 노드가 없음을 인지하고 다음 영역으로 ADV 메시지를 재전송하게 된다. 이로 인해, 싱크 노드는 네트워크가 분할된 영역의 수만큼 ADV 메시지를 재전송하는 비용과 네트워크에 메시지를 전송하는 시간의 추가 비용이 발생 한다.

4.1.2 ADV 메시지 중복 수신

본 논문에서 제안하는 DM 라우팅은 전체 네트워크를 4개의 영역으로 분할하여 각 영역에 순차적으로 ADV 메시지를 전송하여 소스 노드를 찾는다. 그러나 싱크 노드와 x 좌표가 같거나 y 좌표가 같은 노드들은 ADV 메시지가 중복 전송되어 해당 노드의 수신 비용이 추가 발생 한다. 중복 수신 되는 ADV 메시지는 제한된 영역과 이웃한 영역의 접한 부분으로 메시지를 전송하게 된다. 첫 번째 영역에 전송된 ADV 메시지는 첫 번째 영역과 이웃하고 있는 두 번째 영역과 네 번째 영역에 메시지가 전송 된다. ADV 메시지가 첫 번째 영역에 전송되었지만, 이웃한 영역에서 질의에 해당하는 정보를 발견하면 ADV 메시지

표 1. 에너지 소비 측정 파라미터

파라미터	내 용
E_{Total}	전체 노드의 에너지 소비량
E_{Area}	활당된 영역의 에너지 소비량
E_{Sink}	싱크 노드의 1회 전송 비용
N_{Total}	전체 노드 수
N_{Areal}	활당된 영역의 노드 수
ϵ_i	노드가 메시지를 Send 할 때 필요한 에너지 소비량
ϵ_r	노드가 메시지를 Receive 할 때 필요한 에너지 소비량
ϵ_s	노드가 Idle 모드에서 필요한 에너지 소비량

전송을 중지하고, 해당 정보를 싱크 노드에게 전송하여 에너지 소비를 최소화 한다.

4.1.3 전송 속도의 비효율

무선 센서 네트워크를 설계할 때 가장 중요한 것은 제한된 자원을 얼마나 효율적으로 잘 사용할 수 있는가 이다. 최근 거론 되고 있는 Bluetooth^[13]나 WiFi^[14]에서는, 무선 센서 노드와 달리 에너지가 소모되면 재충전이 가능하기 때문에, 에너지 효율을 높이는 것 보다 전송 속도를 더 빠르게 하는 것에 초점을 맞춘다. 따라서 무선 센서 네트워크에는 적용하기가 어렵다. 본 논문에서 제안하는 방법 또한 전송 속도보다는 에너지 효율을 높이기 위한 방법으로 기존 방법 보다 시간이 더 걸릴 수 있지만 에너지 효율이 더 높아지기 때문에 에너지 효율과 전송 속도 간에 trade-off가 발생 한다.

4.2 통신비용 분석

본 절에서는 본 논문에서 제안하는 DM 알고리즘과 Directed Diffusion의 통신비용을 분석한다. 본 논문의 센서 노드의 평균 에너지 소비량은 아래의 식을 참조하여 분석하였다^[15].

$$E[\epsilon_D] = \lambda E[H](E_t + E_r)$$

$$E[H] = \Theta(\sqrt{n/\log n})$$

$$E[\epsilon_D] = \lambda(E_t + E_r)\Theta(\sqrt{n/\log n})$$

센서 노드가 동작하는 에너지 모드는 패킷을 전송하고(Send) 받는(Receive) 상태, 신호를 기다리는(Idle) 상태 3가지 상태로 구분 지었다. 이 3가지 상태에 따른 에너지 소비 분석을 통해 실제 센서 노드의 에너지 소비량을 측정할 수 있다. 각 상태의 에너지 소비량 측정에 이용되는 분석 모델의 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

t시간 동안의 대기, 수신, 송신 상태를 적용하여 Directed Diffusion의 에너지 소비량을 구하면 아래와 같다.

$$E_{Total} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times N_{Total} \quad (1)$$

Directed Messaging 알고리즘의 분할된 네트워크 영역의 대기, 수신, 송신 상태를 적용하여 소비량을 구하면 아래와 같다.

$$E_{Area} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times N_{Area} \quad (2)$$

분할된 영역에서 소스 노드를 찾지 못한 경우, 다음 영역으로 ADV 메시지를 전송하기 위한 싱크 노드 1회 재전송 비용은 아래와 같다.

$$E_{Sink} = \{\lambda(\epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \quad (3)$$

분할된 영역의 에너지 소비량과 싱크 노드의 재전송 비용을 적용하여 각 분할된 영역에 순차적으로 적용하면 아래와 같다.

$$E_{Area.1} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times N_{Area.1} \quad (4)$$

$$E_{Area.2} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2}) + E_{Sink} \quad (5)$$

$$E_{Area.3} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2} + N_{Area.3}) + 2E_{Sink} \quad (6)$$

$$E_{Area.4} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times (N_{Area.1} + N_{Area.2} + N_{Area.3} + N_{Area.4}) + 3E_{Sink} \quad (7)$$

분할된 영역들의 에너지 소비량은 노드들의 전체 에너지 소비량과 싱크 노드의 추가 송신 비용, 분할된 영역의 경계면에 접하고 있는 노드들의 중복 수신 메시지의 에너지 소비량을 합한 값과 같다.

$$E_{Total} = \{\lambda(\epsilon_i + \epsilon_r + \epsilon_s)\Theta\sqrt{n/\log n}\} \times N_{Total} + E_{Edge.\lambda} + 3E_{Sink} \quad (8)$$

즉, Directed Messaging 라우팅 프로토콜은 네트워크 전체로 ADV 메시지를 전송하게 되면 Directed Diffusion 라우팅 프로토콜에 비해 많은 에너지와 시간이 사용되지

만, ADV 메시지가 네트워크 전체에 전송되기 전에 소스 노드를 발견하면 분할된 네트워크 영역만 ADV 메시지를 전송하고, 나머지 영역은 계속 대기(idle) 상태를 유지하기 때문에 전체 네트워크 에너지 효율은 증가한다.

4.3 실험 환경

본 논문에서 제안된 프로토콜을 NS-2^[5]를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 실험을 위해 100m × 100m 영역에 노드들을 격자 모양으로 한 홉 간격으로 균일하게 분포시킨 네트워크 환경을 구성하였다. 구성된 네트워크 환경은 그림 4와 같다. 센서 노드의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 IEEE 802.11^[6]을 사용하였으며 무선 대역폭은 100kbps이고, 메시지의 길이는 5bytes로 설정하였다. 노드의 전체 에너지를 1로 보았을 때, 대기상태에서는 0.01의 에너지를 소모하고 메시지를 수신했을 때는 0.02, 메시지를 송신할 때는 0.025의 에너지를 소모한다. 센서 노드의 개수를 120, 440, 960, 1680, 2600, 3720, 5040개로 설정하여 노드 사이의 밀집도의 증가에 따른 센서노드의 에너지 소모량과 손실된 노드의 수를 측정하였다. 싱크 노드를 네트워크의 중앙과 분할된 각 영역에 배치하여 싱크 노드의 위치에 따른 센서노드의 에너지 소비율에 관한 실험을 실시하였다. 그림 5는 싱크노드의 위치 변경 실험 화면이다. 시뮬레이션은 총 180초간 이루어졌다.

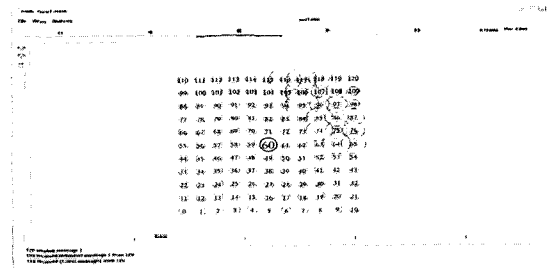


그림 4. NS2를 이용한 시뮬레이션 화면

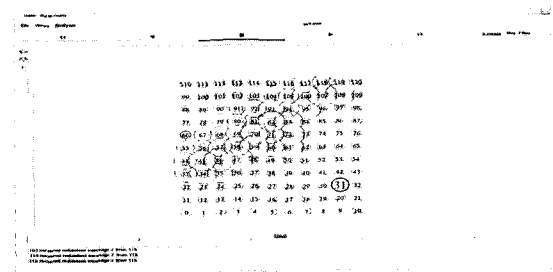


그림 5. 싱크노드의 위치변경 실험

4.4 실험 결과

본 절에서는 제한한 Directed Messaging과 일반적인 플러딩을 이용한 Directed Diffusion 알고리즘의 전체 에너지 효율과, DM 알고리즘의 분할된 각 영역의 노드 개수와 싱크 노드의 위치에 따른 에너지 효율을 분석한다.

4.4.1 에너지 소비량 분석

그림 6은 Directed Diffusion과 Directed Messaging의 밀집도에 따른 에너지 소비량을 나타내고 있다. 네트워크의 밀집도가 증가하면, 각 노드의 메시지 전송 범위안에 배치된 노드들의 메시지 송수신이 증가하여 네트워크 전체의 에너지 소비량이 증가하게 된다. Directed Diffusion

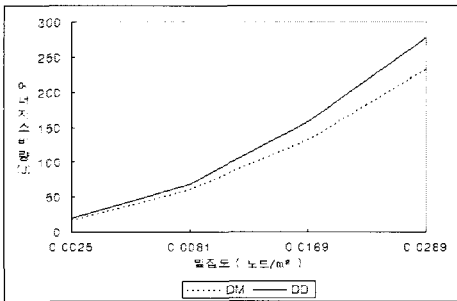
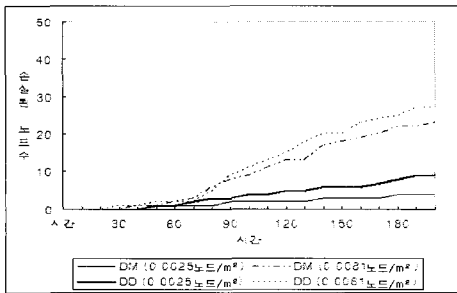
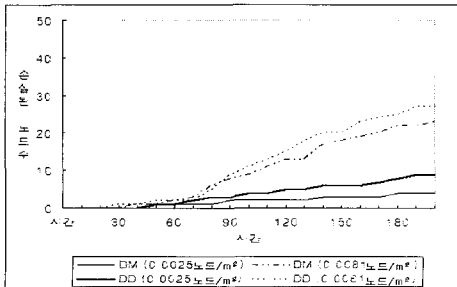


그림 6. 밀집도에 따른 에너지 소비량



(a) 밀집도가 낮을 때



(b) 밀집도가 높을 때

그림 7. 시간에 따른 손실된 노드 수

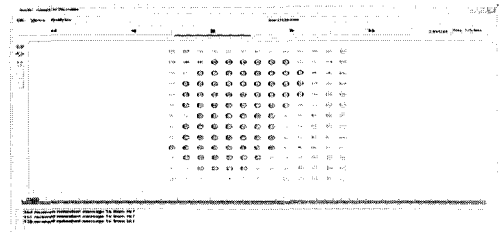
은 Directed Messaging에 비해 최대 17% 높은 에너지 소비량을 나타냈다.

4.4.2 손실된 노드 분석

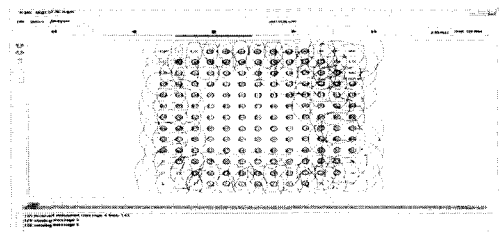
그림 7을 보면 네트워크의 밀집도가 증가 할수록 메시지 송수신에 참여하는 노드가 증가하여 손실된 노드 수는 증가하고 있다. Directed Diffusion은 전방향으로 메시지를 전송하기 때문에 Directed Messaging에 비해 최대 50% 많은 노드를 손실하였다. 그림 8은 Directed Diffusion과 Directed Messaging을 NS2를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 화면이다. 같은 동작 시간 동안 Directed Diffusion이 더 많은 수의 노드가 손실되었음을 알 수 있다.

4.4.3 영역별 소스 노드 위치에 따른 에너지 소비

그림 9는 소스 노드를 분할된 첫 번째 영역에 배치하



(a) Directed Messaging



(b) Directed Diffusion

그림 8. NS2를 이용한 DM과 DD 알고리즘의 시뮬레이션

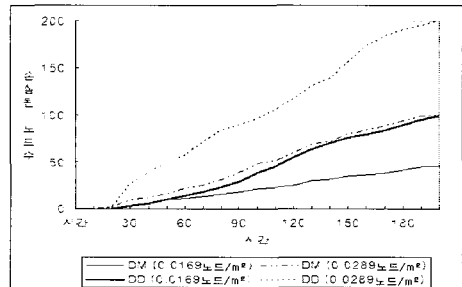


그림 9. 첫 번째 영역에 싱크 노드가 위치할 때 노드 개수에 따른 에너지 소비

고, 싱크 노드가 네트워크의 중앙, 첫 번째 영역, 두 번째 영역, 세 번째 영역, 네 번째 영역에 있을 때, 각 경우의 에너지 소비량을 Directed Diffusion의 소비량을 기준으로 한 상대적인 값으로 나타냈다.

첫 번째 영역에 소스 노드가 위치하면, 네트워크의 중앙과 첫 번째 영역에 위치한 싱크 노드는 소스 노드와 근접해 있고, ADV 메시지가 처음으로 전송되는 영역이기 때문에 에너지 소비율이 50~90% 감소했다. 에너지 소비율이 가장 높은 세 번째 영역에 싱크 노드가 위치하면, 소스 노드와 싱크 노드가 멀어지기 때문에 다른 영역보다 더 높은 에너지 소비율이 나타났다.

그림 10은 소스 노드를 분할된 두 번째 영역에 배치하고, 싱크 노드는 네트워크의 중앙, 첫 번째 영역, 두 번째 영역, 세 번째 영역, 네 번째 영역에 배치하여 실험한 결과이다.

소스 노드가 두 번째 영역에 위치하면, 네트워크의 중앙에 위치한 싱크 노드는 첫 번째 영역에 소스 노드가 없음을 인지하고, 두 번째 영역에서 소스 노드를 감지할 때 가장 낮은 22% 에너지 소비율이 나타났다. 싱크 노드가

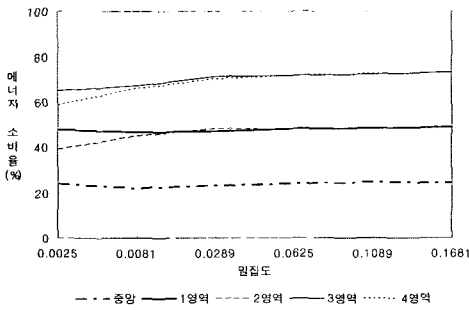


그림 10. 두 번째 영역에 싱크 노드가 위치할 때 노드 개수에 따른 에너지 소비율

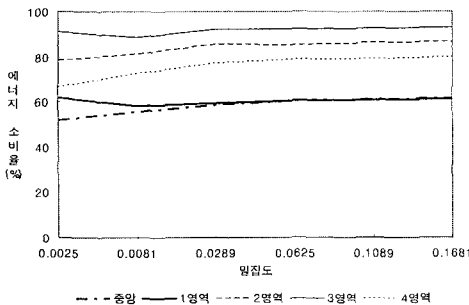


그림 11. 세 번째 영역에 싱크 노드가 위치할 때 노드 개수에 따른 에너지 소비율

첫 번째와 두 번째 영역에 위치하면 싱크 노드를 기준으로 해당하는 첫 번째 영역에 ADV 메시지를 전송하고 두 번째 영역에서 소스 노드를 발견하기 때문에 누적된 에너지 소비율이 나타나고, 세 번째 영역과 네 번째 영역에 위치하면 싱크 노드와 소스 노드의 물리적인 거리와 전송 우선순위에 의해 다른 영역에 소스 노드가 위치할 때 보다 더 높은 에너지 소비율이 나타났다.

그림 11은 소스 노드를 분할된 세 번째 영역에 배치하고, 싱크 노드는 네트워크의 중앙, 첫 번째 영역, 두 번째 영역, 세 번째 영역, 네 번째 영역에 배치하여 실험한 결과이다.

세 번째 영역에 소스 노드가 위치하면, ADV 메시지 전송 순서에 의해 첫 번째, 두 번째 영역에 전송한 메시지 전송비용이 누적되어 전체적으로 높아진 50~90% 에너지 소비율이 나타났다.

그림 12는 소스 노드를 분할된 네 번째 영역에 배치하고, 싱크 노드는 네트워크의 중앙, 첫 번째 영역, 두 번째 영역, 세 번째 영역, 네 번째 영역에 배치하여 실험한 결과이다.

네 번째 영역에 소스 노드가 위치하면, 다른 영역에 전송한 메시지 전송비용이 누적되어 영역 분할의 효과가 상쇄되므로 Directed Diffusion과 거의 같은 에너지 소비율이 나타났다. 에너지 소비율은 싱크 노드와 소스 노드 위치에 따른 물리적인 거리와 ADV 메시지 전송 순위가 에너지 소비 증가에 직접적인 연관이 있음을 알 수 있다. 싱크 노드의 위치에 따른 에너지 소비는 싱크 노드가 네트워크의 중앙에 위치할 때 전체적으로 가장 낮은 에너지 소비율이 나타났으며, 그림 9, 그림 10, 그림 11, 그림 12를 비교하면 전송 순위가 높은 영역에 소스 노드가 위치할수록 에너지 소비율이 낮아지는 것을 알 수 있다.

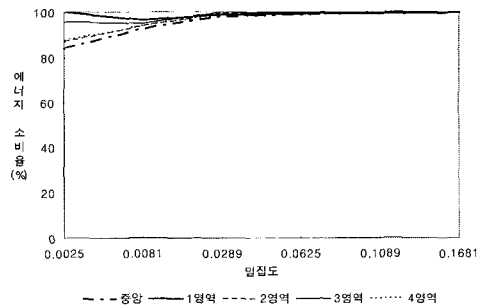


그림 12. 네 번째 영역에 싱크 노드가 위치할 때 노드 개수에 따른 에너지 소비율

5. 결 론

센서 네트워크는 유비쿼터스 네트워크를 구성하기 위한 기반 네트워크로서, 언제 어디서나 통신을 하기위해 그 연구의 필요성과 응용분야가 넓어지고 있는 분야이다. 센서 네트워크는 특성상 다른 무선 네트워크 보다 많은 에너지 제약을 받는다. 센서 노드는 정보를 요구하는 사용자에게 신뢰성 있는 정보를 제공하기 위해 제한된 자원을 최대한 이용하여 생존 시간을 확보하여야 한다. 센서 네트워크는 브로드캐스팅을 이용하여 메시지를 주고받는다. 이로 인해, 통신에 참여하지 않아도 되는 노드들의 불필요한 에너지 소비가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 네트워크 초기 설정 시 싱크 노드에서 송신되는 ADV 메시지에 지역 정보를 두어, 네트워크 전체로 메시지를 전파하지 않고, 제한된 방향으로만 메시지를 전파하여 네트워크 전체의 에너지 소비율을 감소시켜 생존 시간을 연장하는 방법을 제안하였다.

센서 네트워크 전체로 메시지를 전송하지 않고, 지역을 구분하여 ADV 메시지를 전송하기 때문에 분할된 영역에서 소스 노드를 발견하면 송수신에 참여하지 않은 나머지 노드들의 에너지 소비를 줄여 센서 네트워크의 전체 수명을 연장할 수 있다. 하지만 분할된 영역이 서로 접하는 부분에서 메시지 중복 수신과 싱크 노드의 재전송으로 인한 추가 에너지 소비가 발생한다. 그러나 지속적으로 실험한 결과 센서 네트워크 전체 에너지 소비량은 Directed Diffusion과 비교하여 34% 감소하였다.

이 연구를 통해 센서 네트워크를 구성하는 각 노드들의 불필요한 에너지 소비를 최소화하여 각 노드의 생존 시간의 향상을 가져올 수 있었다. 그러나 여전히 싱크나 소스 노드 주변의 노드들에서는 트래픽 집중을 통한 에너지 소비가 많은 것은 해결하지 못했다. 경로 강화된 노드들의 에너지 불균형 문제 해결과 분할된 영역의 경계면에서 메시지가 중복 수신되는 문제를 해결하는 연구가 향후 과제로 남아있다.

참 고 문 헌

1. Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, no. 8, pp. 102-114, August 2002.
2. Wei Ye, John Heidemann, and Devorah Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," USC/ISI Technical Report ISI-TR-567, January 2003.
3. Wei Lou and Jie Wu, "On reducing broadcast redundancy

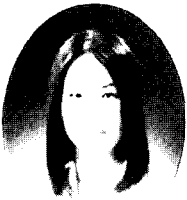
- in ad hoc wireless networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 1, no. 2, pp. 111-122, April 2002.
4. C. E. Perkins and Elizabeth M. Royer, "Mobile Computing Systems and Applications," Proceedings of the second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMCSA '99), pp. 90-100, February 1999.
5. The network simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
6. C. Intanagonwiwat et al., "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, no. 1, pp. 2-16, February 2003.
7. W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proceedings of ACM/IEEE Mobicom 1999, Seattle, WA, pp. 174-85. August 1999.
8. Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Science, pp. 3005-3014, January 2000.
9. Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium 2001 (IPDPS'01), pp. 2009-2015, April 2001.
10. M. Stemm and R.H Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand held devices," IEICE Transactions on Communications, Vol. E80-B, no. 8, pp. 1125-1131, 1997.
11. B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proceedings of ACM/IEEE MobiCom 2000, August 2000.
12. J. Zhand and H. Shi, "Energy-efficient routing for 2D grid wireless sensor networks," Proceedings of the International Conference on Information Technology: Research and Education (ITRE2003), pp. 311-315, August 2003.
13. P. McDermott-Wells, "What is Bluetooth?," IEEE Potentials, Volume 23, Issue 5, pp. 33-35, December 2004 - January 2005.
14. P. S. Henry and Hui Luo, "WiFi: what's next?," IEEE Communications Magazine, Volume 40, Issue 12, pp. 66-72, December 2002.
15. Gaurav Sharma and Ravi Mazumdar, "Hybrid sensor networks: a small world," Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2005), Urbana-Champaign, IL, USA, pp. 366-377, May 25-27, 2005.
16. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band (802.11g), June. 2003.



전진환 (jjh163@ssu.ac.kr)

2005년 남서울대학교 컴퓨터학과 졸업 (학사)
2007년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)

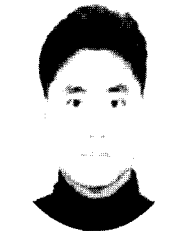
관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 와이브로, 유비쿼터스 컴퓨팅 등



정은주 (desire79@ssu.ac.kr)

2002년 성결대학교 컴퓨터학부 졸업 (학사)
2004년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)
2004년~현재 송실대학교 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 무선/이동통신, 유비쿼터스 디지털 방송망, HMIPv6 등



박상준 (lubimia@kunsan.ac.kr)

1996년 동국대학교 전산학과 졸업 (학사)
1998년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (석사)
2002년 송실대학교 컴퓨터학과 졸업 (박사)
2002년~2003년 런던대 ISG 박사후과정
2005년~2007년 송실대학교 정보미디어기술연구소 연구교수
2007년 3월~현재 군산대학교 컴퓨터정보과학과 전임강사

관심분야 : B3G 이동통신, 센서 네트워크, 네트워크 생존성, 인터넷 망 분석 등



길아라 (ara@computing.ssu.ac.kr)

1987년 이화여자대학교 전자계산학 졸업 (학사)
1990년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (석사)
1997년 한국과학기술원 졸업 (박사)
1995년~1997년 (주)새롬기술 선임연구원
2000년~현재 송실대학교 컴퓨터학부 조교수

관심분야 : Real-time Operating Systems, Real-time Communications, Multimedia Networking, Computer-Telephony Integration 등



김병기 (bgkim@computing.ssu.ac.kr)

1977년 서울대학교 전자공학과 졸업 (학사)
1979년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (석사)
1997년 한국과학기술원 전산학과 졸업 (박사)
1979년 경북대학교 전자공학과 전임강사
1982년~현재 송실대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : 유비쿼터스 디지털방송, HMIPv6, 멀티캐스트 프로토콜 등