DBpia

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 고려한 모바일 sink의 적응적 경로설정 방법

정회원 김 현 덕*, 준회원 윤 여 웅*, 정회원 최 원 익*°

Adaptive Mobile Sink Path Based Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Network

Hyun-Duk Kim* *Regular Member*, Yeowoong Yoon* *Associate Member*,
Won-Ik Choi*° *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 센서 네트워크 환경에서 에너지 효율적인 mobile sink node의 최적의 경로를 설정 할 수 있는 방법인 AMSP(Adaptive Mobile Sink Path)를 제안한다. 기존의 논문들은 mobile sink node 이동시 random way point 방식을 사용하여 불필요한 데이터 전송으로 인한 에너지 소모를 야기했다. 또한, sink node의 이동이 random 으로 이동하기 때문에 같은 지역을 중복으로 이동할 수 있는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서 제안하는 방법은 센서 노드가 설치되어진 필드의 크기에 따라 정적인 그리드를 생성하고 그리드 안에서 mobile sink node가 이동하는 최적의 경로를 설정하여 준다. 이 경로는 네트워크의 크기, 밀도에 따라 효율적인 경로 탐색을 위해 이동 경로를 변경하여 준다. 또한 각각의 노드가 mobile sink node의 주행 경로 및 속도를 인지하고 있음으로 데이터 전송에 대한 에너지 소모량을 감소시킬 수 있다. 이렇게 sink node의 위치를 예상할 수 있기 때문에 에너지의 추가적인 절약을 위해 일정 시간 동안 sleep상태로 두고 active와 교대하는 duty cycle을 사용한다. 이 기법을 사용하여 본 논문에서는 기존의 방법들인 TTDD나 CBPER에 비해 최대 80%이상의 에너지 소모량을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Key Words : AMSP, 무선 센서 네트워크, static mobile sink, Hilbert curve, Duty Cycle

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel approach to optimize the movement of mobile sink node, called AMSP (Adaptive Mobile Sink Path) for mobile sensor network environments. Currently available studies usually suffer from unnecessary data transmission resulting from random way point approach. To address the problem, we propose a method which uses the Hilbert curve to create a path. The proposed method guarantees shorten transmission distance between the sink node and each sensor node by assigning orders of the curve according to sensor node density. Furthermore, The schedule of the sink node is informed to all of the sensing nodes so that the Duty Cycle helps the network be more energy efficient. In our experiments, the proposed method outperforms the existing works such as TTDD and CBPER by up to 80% in energy consumption.

※ 본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0024362)
※ 본 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음
* 인하대학교 정보통신공학과 (wichoi@inha.ac.kr), (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2011-06-274, 접수일자 : 2011년 6월 30일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 2일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크는 센서 노드를 이용하여 넓은 지역에 흩어져 주변의 상황을 감지하고 무선통신을 이용하여 전체 네트워크로 현재 상황의 정보를 송신하여 그 정보를 활용하기 위해 제안된 방법이다. 이러한 무선 센서 네트워크는 건물 및 환경의 모니터링, 군사적인 목적 등에서 연구되고 있다. 그러나 이러한 센서 네트워크 방식은 여러 가지 제약이 존재한다. 첫째로 센서 노드는 저 전력 소모를 하여야 한다. 센서 노드의 배터리는 소형이며, 재충전이 불가능한 경우가 많다. 따라서 최소한의 에너지를 가지고 최대한의 통신시간을 보장해야 한다. 두 번째는 정확한 데이터 전달이 이루어져야 한다. 센서 네트워크는 무선통신 네트워크로 신호의 손실이나 잡음, 충돌 등에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 위급상황 등에 데이터 전달을 제대로 하지 못 할 경우 큰 위기 상황을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 신호의 손실이나 잡음, 충돌에 대비한 네트워크 구성을 해야 한다. 마지막으로 센서 노드의 가격은 저렴해야 한다. 센서노드는 대규모 살포를 전제로 하고 있기 때문에 이러한 노드의 가격은 필요한 기능만 탑재되어 저렴하게 제작되어야 한다. 위의 제약사항을 고려하여 가장 에너지 효율적이고 안정적인 센서 네트워크 구성을 하기 위해 여러 가지 방법들이 제안되었다.

기존의 고정 sink node를 사용한 기법으로 Directed Diffusion[1]이 있고, 같은 평면적 구성의 Directed Diffusion의 발전형인 SPIN[2]이 있다. 또한 클러스터를 적용해 헤드를 변경하여주고 계층적인 성격을 띠는 라우팅 기법들인 LEACH[3], LEACH-C[4], PEGASIS[5], TEEN[6], APTEEN[7] 등의 기법이 제안되었다. 그 외에도 클러스터링 기법을 사용한 라우팅 기법들이 제안되었다.[8-10] GEAR[11], GPSR[12] 등은 위치 정보를 포함하여 네트워크를 구성한 라우팅방법이다. 그리고 최근에는 많은 연구가 이루어지는 mobile sink node에서는 크게 두 가지 환경으로 나누어지게 된다. 첫 번째 환경은 센서 필드에 속한 모든 노드가 이동성을 가지고 있다고 가정한 M-LEACH[13]와 sink node만이 이동성을 가지고 있다고 가정한 LURP[14], D-LURP[15], TTDD[16], CBPER[17] 등의 방법들로 나눌 수 있다. 그러나 센서 네트워크의 특징 중에 하나인 에너지 소비 문제와 수십에서 수천 개가 사용되어 지는 환경에서 모든 센서 노드에게 이동성을 부여하는 것은 비용 측면이나 현실적인 측면에서 거의 불가능 하다.

기존에 제안되었던 방법 중 TTDD나 CBPER은 mobile sink node가 random way point로 이동을 하여 위치 및 주행시간을 예측하기 힘들기 때문에 동적 및 정적 그리드를 설정 하게 되고 각 그리드의 세로축과 가로축에 데이터를 전달하여 교차점을 발견 후 이 교차점을 중심으로 전송 경로를 설정하는 방법이다. 이러한 방법은 데이터 전송 경로를 찾기 위하여 그리드를 생성하는 과정에서 소스노드의 발생마다 불필요한 에너지 소모가 이루어 질 수 있다는 단점이 있고 클러스터 형성 시 void 그리드가 발생하였을 경우 데이터의 전송의 단절이 발생하는 문제점이 발생하게 된다. 이를 보완하기 위해 클러스터 기반의 그리드를 형성한 후 Hilbert curve를 이동하는 라우팅 기법이 제안되었다.[18] 그러나 이 기법 역시 Hilbert curve를 이용하는 것은 전체의 영역을 커버하기에 좋지만 라우팅 시 클러스터를 설정하며, 클러스터 헤드 설정에 많은 에너지가 소모되고, 센서 노드의 고른 분포와 정해진 네트워크 크기를 가정하고 있기 때문에 실제 환경에서 사용되어 지기에는 많은 제약사항이 발생하게 된다.

본 논문에서는 이러한 mobile sink node의 데이터 전송 및 주행 경로에 대한 문제점을 인식하고 이를 해결하기 위하여 센서 필드의 크기에 맞춰 최적화 된 mobile sink node의 최적 경로 설정방법을 제안 하고자 한다. 제안하는 기법은 CBPER처럼 센서 필드 전체에 센서 필드 크기에 맞추어진 정적 그리드를 생성한다. 이러한 그리드의 가상의 선을 따라 mobile sink node가 이동하면서 데이터를 수집하게 되는 방식이다. 정적으로 생성된 그리드로 이동하는 경로는 공간 내의 범위를 커버하기 위한 효율적인 방법인 Hilbert curve를 사용한다. 이러한 방법은 이벤트를 감지한 센서 노드가 데이터를 sink node에게 전달하기 위해 불필요한 데이터 전송을 방지하고 또한 정해진 경로를 따라 이동하는 mobile sink node로 인하여 최적의 데이터 전송 시간 및 데이터 전송에 대한 delay를 예측하여 더욱 효율적인 데이터 전송을 할 수 있다.

Ⅱ. 본 론

2.1 TTDD(Two-Tier Data Dissemination)

TTDD(Two-Tier Data Dissemination) 라우팅 프로토콜은 소스노드(source node)에서 이벤트가 발생했을 때 그리드를 동적으로 생성하여 sink node에게 데이터를 전송한다. 회송정보(forwarding information)

www.dbpia.co.kr

를 가지고 있는 보급노드(dissemination node)는 그리드의 각 교차점에 존재한다. TTDD에서 sink node는 데이터요구 패킷(data request packet)을 셀 내에 플러딩(flooding)한다. 보급노드는 이 패킷을 자신의 상류 보급노드(upstream dissemination node)에게 재전송하게 된다. 두 계층 데이터 전송 라우팅 프로토콜은 그리드 생성(gird construction)단계와 데이터 패킷과 쿼리 패킷의 두 계층 회송(two-tier query and data forwarding)단계로 이루어져 있다. 그리드를 생성하기 위해서 소스 노드는 각 교차점(dissemination point)으로 데이터 공고(data announcement) 패킷을 보낸다. 이 때 데이터 공고 패킷을 받는 소스 노드의 위치를 Ls = (x, y)라고 하고 각 교차점의 위치는 식 1과 같다.

$$L_p = (x_i, y_j), \begin{Bmatrix} x_i = x + i \bullet \alpha, y_j = \\ y + j \bullet \alpha; i, j = \pm 0, \\ \pm 1, \pm 2, \cdots \end{Bmatrix} \quad (1)$$

α는 셀 한 변의 길이이다. 보급 노드는 상류 보급노드(upstream dissemination node)의 위치를 저장한다. 최종적으로 2계층 쿼리로 데이터 전송을 할 때에도 위해서도 보급노드 간의 통신이 필요한데 데이터가 이동하는 방향을 upstream과 downstream으로 표현을 하게 된다. sink node에서 소스 노드로의 방향이 upstream, 역방향을 downstream으로 정의한다. 셀 내에서 센서노드나 sink node가 헤더 노드에게 패킷을 전송할 때는 하위 계층통신 (low-tier communication)을 이용하여 전송을 한다. 쿼리 패킷을 받은 지역 보급노드는 상류 보급노드에게 쿼리 패킷을 전송한다. 상류 보급노드는 쿼리 패킷을 전송해 준 하류 보급 노드 (downstream dissemination node)의 위치를 저장한다. 소스노드는 데이터를 자신의 하류 보급노드에 전송한다. 이런 과정을 거쳐 데이터는 sink node가 머물고 있는 셀의 보급노드까지 오게 된다. 보급 노드에서 보급노드로 데이터가 이동하는 것을 상위 계층 통신(high-tier communication)이라고 한다. 그림 1은

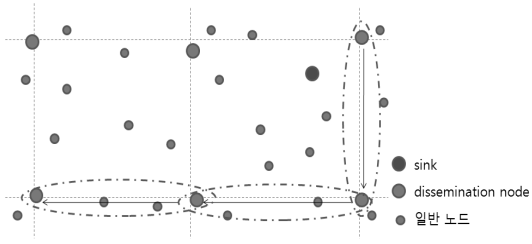

그림 1. high-tier 데이터 전송

sink node에서 하위 계층 통신을 통해 받은 데이터를 보급 노드 간에 상위 계층 통신이 이루어지는 과정을 보여준다.

2.2 CBPER(cluster-based power efficient routing)

CBPER은 여러 개의 사건이 발생해도 미리 만들어진 하나의 그리드만을 사용한다. 센서 노드가 그리드를 생성하고 유지하기 위해서는 컨트롤 패킷을 센서 네트워크에 플러딩 하는 과정을 거치지 않고 그리드를 유지하기 위해서 제어 패킷을 전송 할 필요도 없다. CBPER은 헤더 노드의 선출, 데이터 공고, 데이터 요구, 데이터 전송의 과정을 거친다. 최초의 헤더 노드 선출 시 센서 노드 전개 후 임의의 시간동안 헤더 공고 패킷(header announcement packet)을 지역적으로 플러딩 한다. 센서 필드에서 이벤트가 발생하면 그 이벤트를 가장 먼저 감지한 센서노드가 소스 노드가 된다. 이 때, 소스노드는 지리적 회송(geographical forwarding)을 통해 데이터 공고 패킷(data announcement packet)을 생성하여 헤더 노드로 전송을 한다. 헤더 노드가 데이터 공고 패킷을 전송받으면 패킷을 자신의 캐시에 저장하고 헤더 노드는 데이터를 센서 네트워크에 공고(announcement) 하기 위해서 상위 계층통신을 이용하여 자신의 위, 아래 셀에 있는 헤더 노드에게 데이터 공고 패킷을 전송하고 저장한다. 결국 소스 노드를 포함하고 있는 셀의 세로축에 있는 헤더노드는 데이터 공고 패킷을 전부 자신의 캐시에 저장한다. sink node는 자신의 이웃 노드 중에서 가장 가까운 노드로 이미디어트 에이전트 노드(immediate agent node)를 선택한다. sink node는 데이터 요구 패킷을 이미디어트 에이전트 노드에게 전송한다. 헤더 노드는 패킷을 자신의 캐시에 저장하고 상위 계층 통신을 통해서 자신의 셀 좌우측에 있는 헤더 노드에게 데이터 요구 패킷을 전송한다. 결국 sink node가 있는 셀의 가로축에 있는 모든 헤더 노드는 데이터 요구 패킷을 자신의 캐시에 저장하게 된다. 데이터 공고 패킷을 가지고 있는 헤더 노드가 데이터 요구 패킷을 전송받으면 헤더 노드는 데이터 공고 패킷의 생성된 시간을 보고 데이터가 유효한 지를 검사한다. 데이터 공고 패킷과 데이터 요구 패킷을 모두 받은 헤더 노드는 데이터 요구 패킷을 소스 노드가 있는 셀의 헤더 노드에게 회송한다. 그림 2는 센서 네트워크에서 소스 노드로부터 sink node까지 데이터 패킷을 전송하는 것을 보여준다.

www.dbpia.co.kr

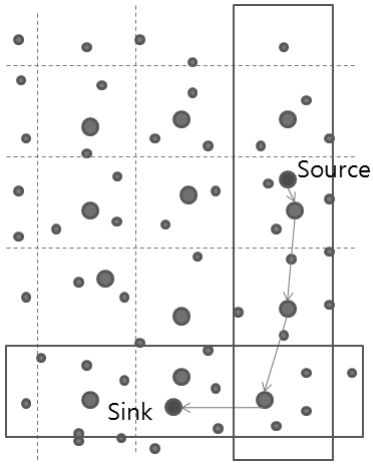

그림 2. 소스노드에서 sink node로 데이터 전송

2.3 Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법

Hilbert curve를 이용한 방법은 클러스터 기반의 이동 sink node기법으로 정해진 path를 이용하는 방법이다. 이 기법은 센서 노드가 전체 필드에 고르게 일정 간격으로 분포되어 있다고 가정을 하고 클러스터를 형성하게 된다. 우선 Hilbert curve를 이용한 방법은 센서 필드 전체에 정해진 크기의 그리드를 형성하게 된다. 이렇게 형성된 그리드는 하나의 클러스터 역할을 하며 그리드의 가장 중간에 있는 노드가 클러스터 헤드 역할을 하게 된다. 그 후 그림 3과 같이 그리드의 경계선을 따라 센서 필드 전체를 커버 할 수 있는 Hilbert curve를 그리게 된다. 여기서 그려진 Hilbert curve는 이동 sink node의 이동 경로가 된다.

일반 노드가 이벤트를 감지하여 데이터를 자신의 클러스터 헤드에게 전달을 하게 되면 클러스터 헤드는 데이터를 보관하고 있다가 그림 4와 같이 이동 sink node가 자신에게 전송 범위 안에 들어오게 되면

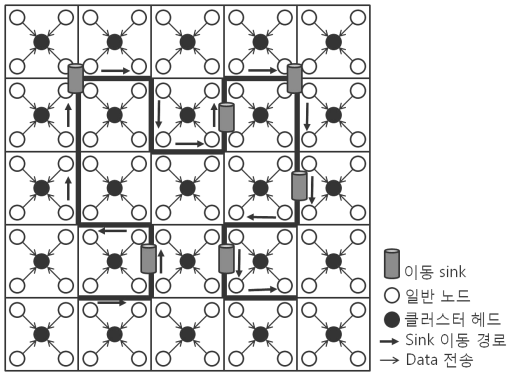

그림 3. 클러스터 헤드의 데이터 수집 및 sink node의 이동 경로 설정

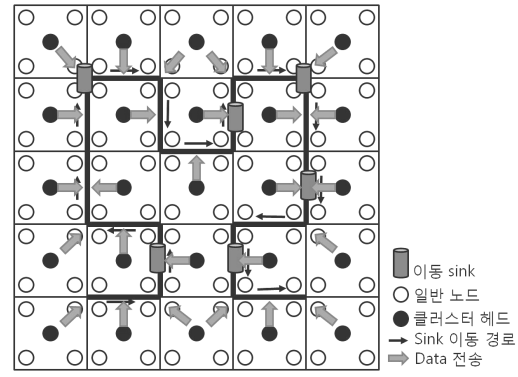

그림 4. Hilbert curve 이동 경로에서 sink node의 데이터 수집

데이터를 전달하는 방식이다. 그러나 이러한 Hilbert curve를 사용한 방법은 많은 문제점을 가지고 있다. 우선 센서 필드의 크기가 커지게 되더라고 Hilbert curve의 depth는 그대로 유지되기 때문에 클러스터 헤드와 이동 sink node와의 거리가 멀어지게 되고 결국에는 데이터를 전달 할 수 없는 상황이 발생하게 된다. 또한 Hilbert curve를 이용한 방법에서는 센서 노드가 고르게 분포되었을 경우만 가정하여 실험을 진행하였기 때문에 센서 노드가 무작위로 분포된 상황에 따른 데이터 충돌과 자원의 낭비를 전혀 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에 제안된 AMSP방법은 이러한 Hilbert curve를 이용한 방법을 진화시켜 센서 필드의 크기와 노드들의 밀도에 따라 Hilbert curve의 depth를 변화시켜 에너지 효율적이고 신뢰성 높은 라우팅 프로토콜이다.

2.4 AMSP(Adaptive Static Mobile Sink Path)

2.4.1 정적 그리드 설정

기존의 random 이동 방식인 TTDD에서는 이벤트의 발생마다 그리드가 생성되어 에너지의 소모가 많고 random으로 경로가 이동하기 때문에 전체 network 영역을 커버하기가 어렵다는 단점이 있다. 그리고 노드 헤드의 중복 전송이 발생하게 되고, 일부 지역에서 데이터를 전송 받지 못하는 경우가 생긴다. 또한 CBPER에서는 데이터 전송 경로를 설정하기 전 데이터 공고 시에는 네트워크의 세로축의 모든 부분에, 데이터 요구 패킷의 전송 시에는 가로축의 모든 부분에 데이터를 보내기 때문에 에너지의 낭비가 생긴다. 또한, 최초에 클러스터 형성 시 void 그리드가 발생하면 그림 5와 같이 데이터가 상, 하 혹은 좌, 우로 전송되지 않는다. 또한, 네트워크상의 노드의 밀도가 큰 지

www.dbpia.co.kr

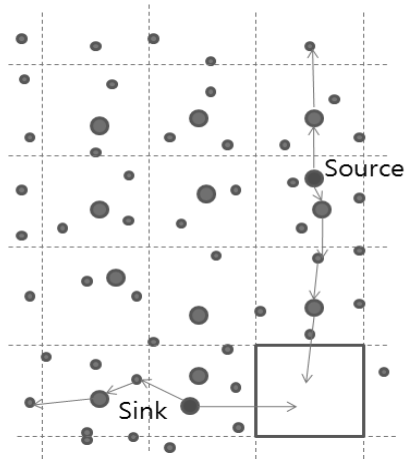

그림 5. void 그리드의 생성

역에서는 데이터의 충돌이 일어날 확률이 높다. 따라서 본 논문에서는 sink node가 정해진 path를 따라 이동하도록 설정한다. 그 path는 밀도의 조밀함 정도에 따라 경로의 설정을 다시 할 수 있도록 한다. 그리고 Hilbert curve를 이용한 방법은 클러스터 형성 과정에서 헤드 설정을 위해 전체 노드에서 보내는 에너지의 소모가 있다. 이에 많은 에너지가 소모되고 모든 클러스터를 25개의 클러스터로 나누고 depth가 2인 경로만을 탐색한다. 이는 네트워크의 크기가 500×500의 네트워크 이상의 네트워크에서는 적용이 불가하며 적용하였을 시 네트워크 전체를 탐색하지 못한다는 단점이 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 제안된 AMSP 방법에서 설정된 가정은 다음과 같다.

1. 노드가 설치되거나 살포될 센서 필드의 크기를 사전에 알고 있다.
2. sink node를 제외한 모든 노드들은 고정되어 있고, 노드의 초기 에너지 량은 같다.
3. sink node는 정해진 속도와 함께 GPS정보를 가지고 있어야 한다.
4. 센서 노드는 파워의 세기에 따라 대략적인 거리의 측정이 가능하다.
5. sink node의 에너지는 무제한이다.

센서노드의 크기를 알아야 하는 이유는 경로 설정 방식 때문이다. 본 논문에서 사용할 MICA Transmit Model은 250m의 transmit range를 갖는다. 따라서 노드의 coverage의 범위에 따라 경로를 복잡하게 할 것인지, 간단하게 할 것인지를 결정할 수 있기 때문에 네트워크의 크기를 알고 있어야 한다.

sink node가 속도와 GPS정보를 갖는 이유는 이동하기 때문이고, duty cycle의 사용에 용이하기 때문이다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 기법의 전체 동작 순서는 다음과 같다.

Step 1. 전체적인 센서 필드에 정적 그리드 형성
Step 2. 센서 필드의 크기에 따라 Hilbert curve의 depth 선정
Step 3. Hilbert curve를 따라 sink node의 이동경로 설정
Step 4. 센서 설치 및 살포
Step 5. 정해진 이동경로를 따라 sink node의 이동 후 노드의 밀도데이터 수집
Step 6. 밀도에 따른 Hilbert curve의 depth 재설정 후 sink node의 이동경로 수정
Step 7. 정해진 이동경로 와 sink node의 속도에 따른 duty cycle 스케줄 작성 후 모든 노드에게 broadcasting
Step 8. sink node이동 후 정해진 포인트(spot point)에서의 데이터 수집 필드 생성
Step 9. sink node는 정해진 Hilbert curve의 경로를 따라 이동 후 데이터 수집
Step 10. 일반노드는 duty cycle 스케줄에 따라 데이터 수집 및 데이터 전송

2.4.2 Hilbert curve적용과 depth 설정

본 연구에서는 sink node를 정해진 path를 통해 전체 지역을 이동하는 최적의 경로로 Hilbert curve을 적용하였다. Hilbert curve는 곡선 상의 연속된 두 클러스터가 서로 인접하지 않고 모든 클러스터들이 가장 먼 거리의 두 이웃을 갖지 않기 때문에 sink node가 중복으로 이동되는 것을 막을 수 있다. 본 연구의 MICA model은 250m까지 81mW의 transmit 에너지가 소모되기 때문에 별도로 클러스터 헤드를 선출하지 않는다. 본 연구에서는 네트워크의 크기가 작을 때에는 2단계, 네트워크의 크기가 클 경우에는 3단계로 적용하고, 사분면에 따라 밀도가 큰 경우에는 Hilbert curve의 단계를 높이는 방법을 사용한다. 이동 시에는 데이터를 수집할 수 없기 때문에 Hilbert curve의 끝점들에서 데이터의 수집이 이루어진다. Hilbert curve의 끝 점을 spot point라고 한다.

(1) *네트워크의 크기에 따른 depth의 설정*

네트워크에서 sink node의 이동 경로가 정해진 path를 사용하는 이유는 전체 네트워크를 커버한다는

www.dbpia.co.kr

측면이 있다. 다른 이유로는 노드들이 일정 위치를 지날 때의 정보를 통해 sleep/active의 duty cycle의 조절에 용이하다는 점이다. sink node가 일정한 속도로 정해진 path를 이동하기 때문에 어떤 시간에 sink node가 위치하는 장소를 예측할 수 있다. 그를 통해 sleep과 active를 번갈아가며 상태를 유지하면 에너지의 소모량을 감소시킬 수 있기 때문이다. network의 크기에 따라 Hilbert curve의 depth를 바꾸도록 하는 이유로는 사용할 data model이 MICA이기 때문이다.

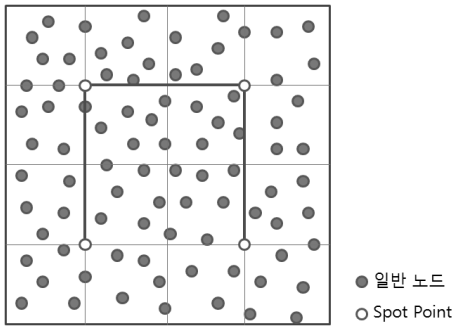

그림 6. 네트워크 크기가 250×250일 때 depth =1 일 때의 sink node의 이동 경로와 Spot Point

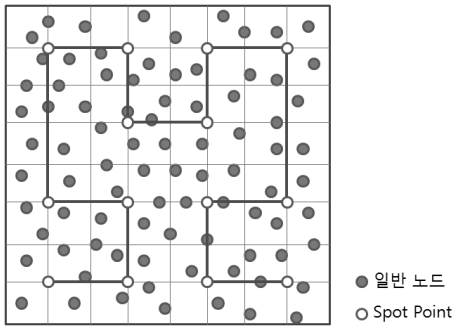

그림 7. 네트워크 크기가 500×500일 때 depth =2 일 때의 sink node의 이동 경로와 Spot Point

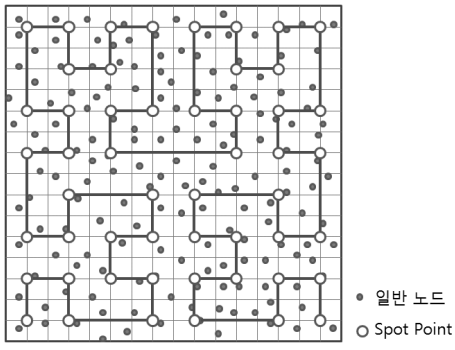

그림 8. 네트워크 크기가 1000×1000일 때 depth =3 일 때의 sink node의 이동 경로와 Spot Point

이 model의 경우 transmit range가 250m이다. 따라서 250X250 이상 크기의 네트워크 환경에서는 depth를 한 단계 늘려 경로를 변경해 준다. 그림 6은 depth가 1일 때 sink node의 이동 경로와 데이터를 수집하는 spot point의 위치를 나타낸다.

500X500 네트워크는 transmit range 250m보다 더 커진다. 따라서 Hilbert curve 역시 depth가 2가 되어야 한다. 그림 7은 depth 2일 때의 이동경로와 spot point를 나타낸 것이다.

그리고 1000X1000 네트워크 역시 depth 2로는 한계가 있다. 따라서 Hilbert curve의 depth는 3이 되고 그림 8에 나타나 있다.

(2) *네트워크 내 밀도에 따른 depth의 설정*

sink node의 moving path는 센서가 설치되고 살포되기 전에 네트워크의 크기에 따라 설정한다. 네트워크 내의 일정 지역에서 밀도가 높고 sink node가 그 지점을 지날 때 spot point에서 과다한 이벤트를 받게 되는 경우 데이터의 충돌이 일어날 수 있다. 따라서 본 논문에서는 첫 cycle을 돌 때 네트워크 내의 일정 사분면에서 밀도가 높을 시 그 사분면에 대해 Hilbert curve의 depth를 한 단계 더 높여주는 방식을 사용한다. 여기서 한 사분면을 사용하는 이유는 Hilbert curve가 네 개의 사분면으로 이루어져 있고 주로 곡선의 모양이 같지만 방향이 다른 선을 이루고 있기 때문에 사분면 단위로 밀도에 대한 depth의 변경이 이루어진다. 그림 9는 네트워크의 크기가 250x250이고 depth가 1인 환경에서 좌측 아래의 사분면에서 높은 밀도를 가질 때 Hilbert curve의 depth와 경로를 변경한 모습이다. 다음 네트워크는 우측 위의 사분면을 1사분면으로 했을 때 3사분면의 네트워크에서 밀도가 높아 Hilbert curve의 depth를 2로 변경하였을 때이다.

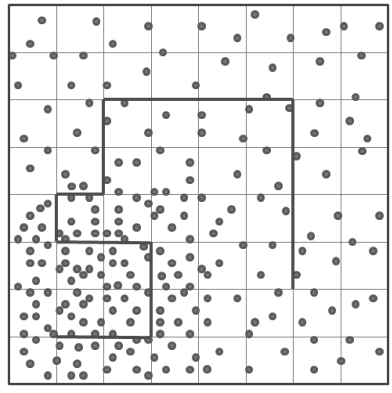

그림 9. 밀도가 큰 사분면으로 인해 Hilbert curve의 depth가 1인 곡선을 수정

www.dbpia.co.kr

그림 10은 네트워크 의 크기가 500X500이고 depth가 2인 환경에서 좌측 아래의 사분면에서 높은 밀도를 가질 때 Hilbert curve의 depth를 3으로 변경하고 경로를 변경한 모습이다. 이 네트워크는 우측 위를 1사분면으로 했을 때 2사분면의 네트워크에서 depth 2를 3으로 변경한 경우이다. 이 경우 역시 밀도를 한 단계 늘려주는 위치에서 인접 곡선으로 이동하는 경우가 나타난다. 이럴 경우 인접하는 부분에서 데이터의 중복 수집을 하는 경우가 일어나지만 더 가까운 spot point에서 데이터를 수집하도록 한다.

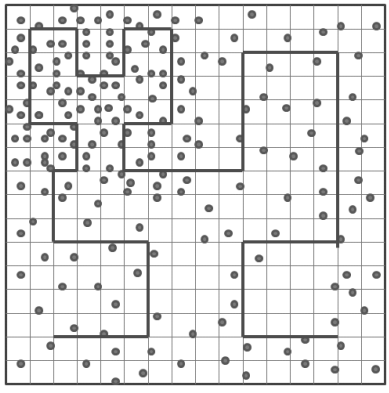

그림 10. 밀도가 큰 사분면으로 인해Hilbert curve의 depth가 2인 곡선을 수정

(3) *Duty Cycle의 설정*

또한 본 논문에서는 에너지 소모를 줄이기 위해 sleep/active의 duty cycle을 사용한다. sink node를 정해진 Hilbert curve를 통해 이동시킨 후 정해진 지점(본 논문에서는 spot point로 설명)들에서 데이터를 수집한다. 그 후 수집된 데이터를 통해 네트워크의 밀도에 따라 Hilbert curve의 경로를 변경하거나, sink node의 도착에 대한 예측을 통해 sleep/active의 duty cycle의 스케줄을 결정한다. 그렇게 sleep/active의 스케줄이 결정되면 그 스케줄을 모든 노드들에 broadcasting하여 sink node의 이동 상태에 따라 sleep과 active의 상태를 번갈아 유지한다.

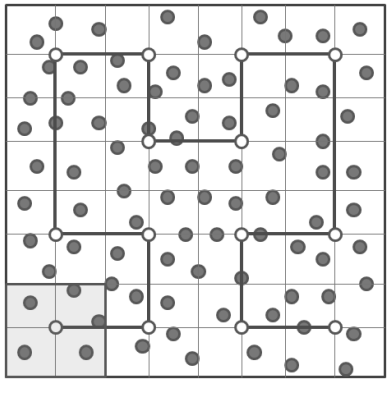

그림 11. Spot Point 영역에서 active 상태

duty cycle은 sink node가 coverage영역에 도달하기 전까지는 sleep 상태를 유지하고 sink node가 coverage영역에 들어올 때 active상태로 변환된다. 이렇게 전체노드에 broadcasting 된 duty cycle의 스케줄에 따라 데이터가 sink node로 전송된다. 그림 11은 spot point 근처의 영역에서 active 상태로 변경하는 모습을 나타낸 것이다.

Ⅲ. 실 험

본 논문에서는 실험에 사용하는 데이터 모델로 MICA Transmit Model을 사용한다. 실험에 사용되는 환경 변수들은 다음과 같다.

초기 에너지는 2kW로 하였고 transmit 에너지는 81mW, receive/idle 에너지는 30mW, sleep 기간의 에너지는 0.003mW이 소모되며 transmit range는 250m이다. 실험을 전개한 센서필드는 250×250, 500×500, 1000×1000으로 설정 하였고, 노드의 수는 100개, 200개, 300개, 400개, 500개의 센서노드를 랜덤하게 분산하였다. 실험에 사용한 데이터 모델은 MICA Transmit Model[19]로 MATLAB을 이용하여 실험하였다. 네트워크의 크기에 따라서 250×250은 Hilbert curve의 depth를 1차, 500×500이 때문에 depth는 2로 sink node의 경로를 설정하였다.

표 1. 실험 환경변수

환경변수	값
네트워크의 크기 (M*M)	250×250, 500×500, 1000×1000
노드의 수 (N)	100, 200, 300, 400, 500
transmit 에너지	81mW
receive/idle 에너지	30mW
sleep 에너지	0.003mW
transmit 범위	250m
Hilbert curve depth	1, 2, 3

3.1 네트워크 크기에 따른 성능 분석

본 논문에서는 기존의 random으로 sink node가 이동하는 방식인 TTDD와 CBPER, 그리고 정해진 path를 움직이는 Hilbert curve를 적용한 라우팅 기법 에

www.dbpia.co.kr

너지 효율을 비교한다. TTDD, CBPER 라우팅 기법은 random way point 기법이라는 점에서 static path를 움직이는 기법인 Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법과 가정에서 차이가 있다. 그러나 sink node의 이동 패턴이 random이라는 점과 static하다는 점을 제외하면 클러스터를 형성한다는 점, sink node가 GPS를 갖고 에너지를 무한하게 갖고 있도록 가정하는 점 등 직접 비교하게에 환경적 측면에서 유효하다고 볼 수 있기 때문에 Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법과 함께 TTDD, CBPER과 비교하는 것에 의미가 있다고 생각하여 AMSP를 세 가지 라우팅 기법과 비교하였다.

그림 12는 250X250인 네트워크 환경에서 노드 100개를 랜덤하게 배치하고 라운드 별로 이벤트의 위치와 수를 랜덤하게 설정하고 라운드가 진행됨에 따른 누적 에너지를 구하는 실험에 대한 결과 값이다. 실험의 환경 변수로 (표 1)을 따랐으며 에너지의 효율 측면에서 TTDD에 비해서 최대 10배, CBPER에 비해서 최대 5배, Hilbert curve를 적용한 라우팅 기법에 비해 3배의 에너지 효율을 얻을 수 있었다. 이 실험은 기본적으로 라운드의 증가에 따른 에너지 소모로 다음 실험들을 기본으로 노드의 수를 늘리고, 네트워크의 크기를 늘려가며 에너지의 소모량에 대해 실험한다. 이 실험에서 Duty Cycle은 사분면 별로 sink node가 위치한 사분면을 기준으로 active를 설정하였다.

그림 13은 250×250의 네트워크 환경에서 노드의 개수를 100, 200, 300, 400, 500개로 바꿔가며 노드 전체의 에너지 소모량을 측정하였다. 이벤트의 개수와 지점은 모두 random하게 설정하였으며 실험은 100라운드까지 실험한 결과에 대한 그래프이다. Duty Cycle은 앞의 실험과 네트워크의 크기가 같기 때문에 사분면 별로 sink node가 위치한 사분면을 기준으로 active를 설정하였다. 측정 결과 100개인 경우에는 위의 그래프의 내용과 같이 TTDD 기법보다 8배, CBPER 기법보다 약 3배의 에너지 효율을 볼 수 있었

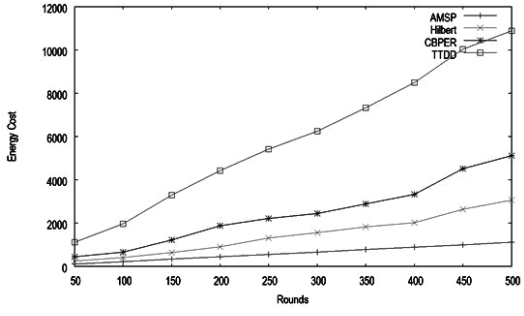

그림 12. 100개 노드에서의 라운드 별 누적 에너지 소모량

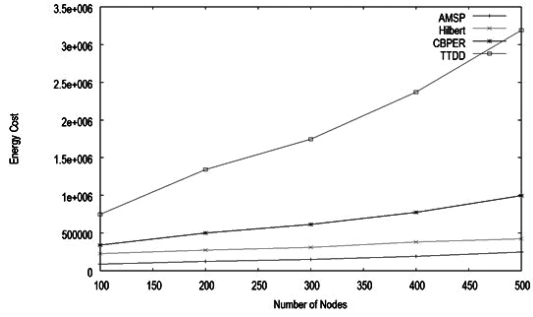

그림 13. 250×250 네트워크에서 노드의 수에 따른 에너지 소모량

다. Hilbert curve를 적용한 라우팅의 기법보다도 2배의 에너지 효율을 얻었다. 노드의 수가 늘어남에 따라 에너지의 효율이 더 좋게 나타나는데 이유로 TTDD는 그리드 설정 시 발생하는 에너지 소모에너지 량이 많기 때문이고, 이벤트의 발생마다 그리드를 새로 설정하기 때문에 노드의 개수에 따라 에너지의 소모가 급격하게 증가한다. 또한 CBPER 기법에서는 sink node로 데이터 전달을 위해 세로축으로 data announcement 패킷을 전송 시 발생하는 에너지와, 소스노드로부터 가로축의 클러스터 헤더에 보내는 data request 패킷을 통한 에너지의 전송이 일어나기 때문에 제안하는 기법보다 에너지가 많이 사용된다. 또한, Hilbert curve를 사용한 라우팅 기법은 클러스터 헤드의 설정, Duty Cycle이 적용되지 않았기 때문에 제안하는 기법에 비해 많은 에너지의 소모를 보인다. 하지만 이 네트워크에서는 크기가 작기 때문에 어느 정도 선형에 가까운 그래프의 형태를 확인할 수 있다.

그림 14는 500×500의 네트워크 환경에서 노드의 개수를 100, 200, 300, 400, 500개로 바꿔가며 노드 전체의 에너지 소모량을 측정하였다. 이 네트워크의 크기에서 depth는 2로 설정되었다. 이벤트의 개수와 지점은 모두 random하게 설정하였으며 실험은 100라운드까지 실험한 결과에 대한 그래프이다. Duty Cycle은 sink node가 위치한 사분면을 기준으로 절반만큼의 구간을 active를 설정하였다. 네트워크의 크기가 커짐에 따라 다음 cycle에 많은 시간이 걸리게 되므로 active의 시간을 늘려줘야 더 정확한 데이터의 전송을 얻을 수 있다. TTDD는 네트워크의 크기가 커지면 클러스터의 수만큼의 데이터를 보내게 된다. 이 부분에서 급격한 에너지의 소모가 이루어지며, 노드의 수가 많아지고, 이벤트의 수가 많아질수록 동시다발적으로 그리드를 생성하며 급격한 에너지의 소모가 이루어진다. CBPER 역시 네트워크의 크기가 커짐에 따

www.dbpia.co.kr

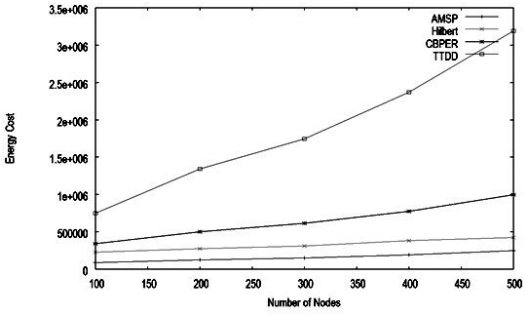

그림 14. 500×500 네트워크에서 노드의 수에 따른 에너지 소모량

라 Data announcement, Data request 정보를 가로축과 세로축에 보내야 하기 때문에 네트워크의 크기에 민감하며 250×250에 비해 약 4배가량 증가하는 결과를 보인다. Hilbert curve를 이용한 라우팅의 경우에는 500×500의 환경인 depth가 2인 곡선에 대해 좋은 성능을 보이지만 Duty Cycle이 적용되지 않고 클러스터 헤드의 생성을 통한 에너지의 소모에서 차이가 생긴다고 할 수 있다.

그림 15는 1000×1000의 네트워크 환경에서 노드의 개수를 100, 200, 300, 400, 500개로 바꿔가며 노드 전체의 에너지 소모량을 측정한 결과에 대한 그래프이다. 이 네트워크의 크기에서 depth는 3으로 설정하였다. 이벤트의 개수와 지점은 모두 random하게 설정하였으며 실험은 100라운드까지 실험한 결과에 대한 그래프이다. 네트워크의 크기가 4배로 커진다고 하여 그리드의 크기가 2배로 커지는 것이 아니기 때문에 4배 보다 만큼의 에너지 소모량이 TTDD는 생기게 되고 노드의 개수가 많아지면 더욱 에너지의 소모가 급격해진다. 이 부분에서 급격한 에너지의 소모가 이루어지며, 노드의 수가 많아지고, 이벤트의 수가 많아

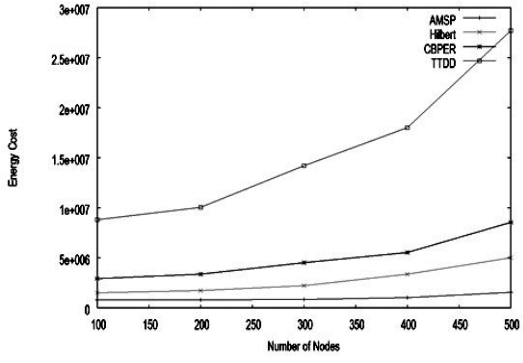

그림 15. 1000×1000 네트워크에서 노드의 수에 따른 에너지 소모량

질수록 동시다발적으로 그리드를 생성하며 급격한 에너지의 소모가 이루어진다. CBPER 역시 네트워크의 크기가 커짐에 따른 같은 결과를 보인다. Hilbert curve를 이용한 라우팅의 경우에는 1000×1000의 환경인 경우에도 depth가 2인 곡선의 경로로 이동하게 된다. 이 경우 전체 범위를 커버하기 어렵기 때문에 각 Spot Point까지 클러스터가 Hilbert curve에 인접하지 않을 경우 데이터가 직접이동하지 못하기 때문에 클러스터 헤드끼리 데이터를 전송하여 sink node에 보낸다. 때문에 에너지의 소모가 2에서 최대 4까지 더 손실하게 되어 제안하는 알고리즘 보다 약 3배까지 에너지의 소모에 차이가 생긴다.

그림 16은 노드의 개수를 100개로 고정하고 네트워크의 한 변의 길이를 250, 500, 1000으로 바꿔가며 노드 전체의 에너지 소모량을 측정한 결과에 대한 그래프이다. 이 그래프의 결과를 통해 TTDD, CBPER의 기법은 네트워크의 크기에 대해 민감하다는 사실을 알 수 있고, Hilbert를 이용한 라우팅의 기법에서도 네트워크의 크기가 1000×1000일 때에는 에너지의 소모가 급격히 증가함을 알 수 있다.

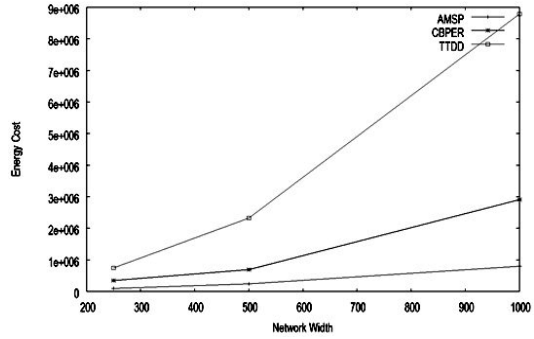

그림 16. 100개의 노드의 개수에서 네트워크 크기에 따른 에너지 소모량

3.2 네트워크 밀도에 따른 성능 분석

위 실험과는 다르게 이번 실험에서는 사분면 당 밀도가 전체 네트워크에서 클 경우 Hilbert curve를 변경하였을 때의 경우에 대해 알아보기로 한다. 사분면 내에 정해진 Spot Point에서 수신하는 노드의 수가 많아지고 그 수가 많을 때에 충돌이 일어나게 된다. 따라서 이러한 충돌을 막기 위하여 Hilbert curve의 depth를 조절하면 한 Spot Point 내에서의 트래픽의 수가 적어지고 충돌 또한 피할 수 있다. 이에 대한 효율성을 검증하기 위해서 센서 네트워크 환경에서 sink node에서의 트래픽 발생량의 값을 비교하여 검증하였

www.dbpia.co.kr

으며 아래 식 2와 같다[20].

$$T(t) = S(t)*(C(t) + D(t)) \quad (2)$$

이 식에서 정해진 시간 내에 발생한 트래픽 량(T(t))에 영향을 주는 요인은 소스노드의 개수(S(t))와 제어 메시지(C(t)), 데이터(D(t))의 발생 빈도이다. 따라서 값이 적을수록 충돌이 발생할 확률이 적어진다고 할 수 있다.

식 2를 이용하여 250×250 에서 네트워크의 노드 수가 300개와 500개가 존재한다고 가정하고 300개일 때 depth를 1, 2로 변화 시키며, 또 500개 일 때 노드의 개수를 300개, 500개로 변화 시키며 한 Spot Point에서의 sink node로의 트래픽의 발생량을 측정하였다. 그림 17은 250×250일 때 네트워크에 노드의 수를 300개, 500개로 변화시키며 트래픽의 수에 대해 측정한 결과이다. 같은 밀도의 네트워크 내에서 depth가 깊어질수록 사분면 내에 sink node가 이동할 포인트가 많아지기 때문에 트래픽이 감소됨을 알 수 있다. 따라서 더 정확한 데이터 송신이 이루어지고 충돌로 인한 재전송 에너지가 감소 할 수 있을 것으로 판단된다.

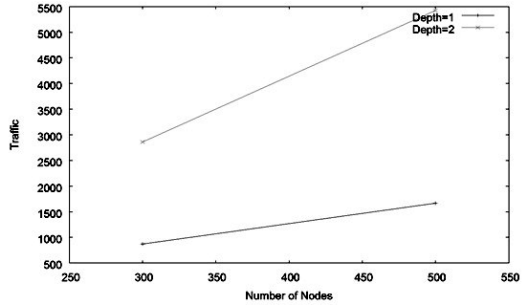

그림 17. 250×250 네트워크에서 노드가 300개, 500개일 때 depth에 따른 Spot Point에서의 트래픽 발생량

3.3 Duty Cycle에 따른 성능 분석

본 논문에서 제안한 Duty Cycle은 첫 cycle이 돌고 전체 노드의 정보를 sink node가 받아 전체의 네트워크의 상태를 알게 되면 2번째 cycle 후부터 본인이 속한 사분면 단위로 sleep과 active 상태를 계속 변환한다. 방식은 다음과 같다. 가장 먼저 이동하는 sink node가 속한 사분면과 와 인접하지 않은 대각선의 사분면을 active하는 방식을 사용한다. 그림 18은 100개의 노드가 존재할 때 네트워크의 한 변의 크기를 250, 500, 1000으로 변화시켜가며 Duty Cycle을 적용하였을 때와, 적용하지 않았을 때의 에너지의 소모량을 비교한 결과 그래프이다.

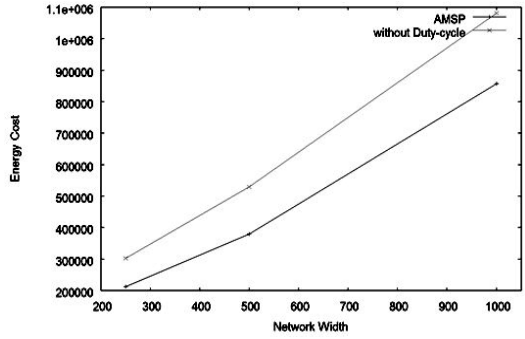

그림 18. 100개의 노드에서 네트워크의 한 변의 길이가 250, 500, 1000개일 때의 에너지 소모량

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 경로를 Hilbert curve를 사용하여 최적의 이동 경로로 이동할 수 있음과 동시에 센서 필드의 전체를 cover할 수 있는 방법에 대하여 제안하였다. 본 논문에서는 네트워크의 크기에 따라 depth가 바뀌고, 또한 그 경로를 따라 sink node가 이동하고, 이동 경로에 따라 sleep과 active의 Duty Cycle을 설정하여 에너지의 소모를 줄이는 방법을 사용하여 에너지의 소모량을 줄이도록 하였다. 기존 방법들과 비교하였을 때 제안기법은 기존의 방법들보다 최소 3배에서 최대 8배의 에너지 효율을 보이는 것으로 나타났다. 마지막으로 노드의 밀도에 따라 Hilbert curve의 depth를 적절히 늘리고, 데이터를 보낼 시에 발생하는 delay를 최대한 줄이면서 최적의 Duty Cycle을 정하는 문제는 앞으로 더 연구해야 할 문제이다.

참 고 문 헌

[1] C. Intangonwiwat, R. Govindin, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol.11, No.1, pp.2-16, Feb 2003.

[2] J. Kilik, W. Rabiner, and H. Balakrichnan "Adadative Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," Proc. ACM Mobicom '99, pp.174-185,1999.

[3] Heinzelman W, Chandrakasan A, and Balakrishnan H, "Energy-efficient communi-

www.dbpia.co.kr

cation protocol for wireless microsensor networks," Proceedings of the 33rd International Conference on System Science (HICSS '00), 2000.

[4] W. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Micro sensor Networks," IEEE ToWC, Vol.1, No.4, 2002.

[5] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information System," IEEE Aerospace Conf. Proc, Vol.3, pp.1125-1130, 2002.

[6] A. Manjeschwar and D. P. Agrawal "TEEN : A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Network," 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issue in Wireless Networks Mobile Computing, April, 2001.

[7] A. Manjeschwar and D. P. Agrawal, "APTEEN : A Hybrid Protocol for Efficient in Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Network," Proc. Of IEEE IPDPS'02, 2002.

[8] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, August 2002.

[9] Kemal Akkaya and Mohamed Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," IEEE Commuinacations Magazine, August 2002.

[10] Jamil Ibriq and Imad Mahgoub, "Cluster-Based Routing in wireless Sensor Networks : Issue and Challenges," SPECTS'04, 2004.

[11] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing : a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," UCLA Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023, 2001.

[12] B.Karp and H. T. Kung, "GPSR : Greedy perimeter stateless routing for wireless sensor networks," in the Proc. Of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking Mobicom'00, Boston, MA, August 2000.

[13] Lan Tien Nguyen, Xavier Defago, Razvan Beuran, and Yoichi Sinoda, "An Energy Efficient Routing Scheme for Mobile Wireless Sensor Networks," IEEE ISWCS pp.568-572 ,2008.

[14] G. Wang, T. Wnag, W. jia, M. Guo, H.H. Chen, and M. Guizani, "Local update-based routing protocol in wireless sensor networks with mobile sinks," Proc. Of ICC 2007, Glasgow, Scotland, UK, pp. 3094-3099, June 2007.

[15] 정재훈, 박성한, "Dynamic Local Update-based Routing Protocol(D-LURP) in Wireless Sensor Network with Mobile Sink," *대한전자공학회 논문지* 제46권, CI편, 2009.

[16] Fan Ye, Haiyun Luo, Jerry Cheng, Songwu Lu, and Lixia Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Largescale Wireless Sensor Networks," ACM Mobicom'02, 2002.

[17] 권기석, 이승학, 윤현수, "센서 네트워크를 위한 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜," *한국정보과학회 논문지*, 정보통신 제33권, 제1호, 2006.

[18] 이천욱, 한기준, "Hilbert 곡선을 적용한 무선 센서 네트워크의 라우팅 기법," *경북대학교 석사졸업논문*, 2008.

[19] B. Awerbuch, D. Holmer, H. Rubens, K.Chang and I.-J. Wang, "The Pulse Protocol : Sensor Network Routing Power Saving," IEEE MILCOM'04, 2004.

[20] 홍기섭, 이상훈, 최린, "모바일 센서 네트워크를 위한 트래픽 적응형 라우팅 프로토콜," *한국정보과학회 논문지*, 컴퓨팅의 실제 및 레터 제17권, 제1호, 2011.

김 현 덕 (Hyun-Duk Kim) 정회원

2009년 인하대학교 일반대학원 정보공학과 공학석사

2009년~현재 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사과정

<관심분야> 센서 네트워크, 애드 혹 네트워크, 데이터 베이스

www.dbpia.co.kr

윤 여 웅 (Yeowoong Yoon) 준회원

2009년 인하대학교 정보통신공학과 학사
2011년 인하대학교 정보공학과 석사
2011년~현재 롯데정보통신
<관심분야> 무선센서 네트워크

최 원 익 (Won-Ik Choi) 정회원

1996년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1998년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업, 석사
2004년 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부 박사
2006년~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수
<관심분야> 모바일/유비쿼터스 컴퓨팅, GIS/LBS, 텔레매틱스

www.dbpia.co.kr