

무선 센서 네트워크 환경에서 모바일 싱크를 이용한 에너지 효율적 경로 설정 방법

양승현*, 이송열*, 노해환*, 손원기°

Mobile Sink Based Energy Efficient Path Setup Method for Wireless Sensor Networks

Seung-hyun Yang*, Soong-yeol Lee*, Hai-hwan Rho*, Won-kee Son°

요약

본 논문은 무선 센서 네트워크 환경에서 센서노드의 에너지 소모를 최소화하기 위한 효과적인 모바일 싱크노드의 이동경로설정 방법을 제안한다. 싱크노드의 이동경로를 설정하기 위해 Random way point 방식을 사용한 기존의 연구들은 싱크노드의 위치와 경로를 파악하고 데이터 전송을 위한 라우팅 경로설정을 위해 불필요한 에너지 소모와 데이터 전송 지연을 발생시킬 수 있는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 제안하는 방법은 Hilbert curve를 사용하여 최적의 싱크노드 이동경로를 설정한다. 또한, 센서노드의 분포 밀도를 고려한 경로 수정을 통해 데이터 전송 지연을 최소화시킨다. 실험 결과 제안하는 기법은 기존의 TTDD, CBPER에 비해 최대 50배 이상의 에너지 효율을 보여주는 것으로 나타났다.

Key Words : Wireless Sensor Network, Mobile sink, Hilbert curve, Static path setup

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel method for path setup that optimizes energy consumptions for wireless sensor network. Existing studies usually generate paths according to Random way point approach so that it requires unnecessary energy consumptions for estimating location of the mobile sink node and transmission paths of packets. To address this problem, we propose a method that creates paths for mobile sink node using the Hilbert curve. Moreover, our method adjusts the path of the mobile sink node according to the density of sensor nodes to minimize data transmission delay. In our experiments, the proposed method outperforms existing work such as TTDD and CBPER by up to 50times in terms of energy efficiency.

I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 다량의 소형 센서들을 넓은 지역에 분산 배치하여 주변 상황을 감시하고, 취득한 정보를 무선 통

신으로 전체 네트워크에 전송하여 데이터를 수집 및 활용하기 위해 제안되었다. 전장 환경에서는 작전에 참여하여 임무를 수행하는 체계에 WSN 기술을 사용하여 적보다 빠르고 높은 정밀도의 상황인식(Situational Awareness)을 기반으로 획득한 데이터의

* First Author : LIG Nex1, seunghyun.yang@lignex1.com, 정회원

° Corresponding Author : LIG Nex1, victorson@lignex1.com, 정회원

* LIG Nex1, soongyeol.lee@lignex1.com, emessage@lignex1.com

논문번호 : KICS2014-08-317, Received August 21, 2014; Revised November 11, 2014; Accepted November 11, 2014

융합, 상황 전파, 작전지역 및 목표물 감지, 지휘통제 등을 수행하고 있다¹²⁾. WSN에서 고려해야 할 중요한 요소는 에너지 효율이다. 소형 센서들은 재충전이 어려운 상황에 설치되어 동작하고, 단말기의 소형화를 위해 제한된 용량의 배터리를 사용하므로 전력 사용의 효율이 네트워크 전체 수명에 직접적인 영향을 미친다³⁾.

WSN 기술은 센서 노드의 이동성(Mobility) 유무 여부를 기준으로 고정 센서 노드를 사용하는 방법과 이동성을 가지는 모바일 센서 노드를 사용하는 방법으로 분류할 수 있다. 고정 센서 노드를 사용하는 기존 연구로 LEACH⁴⁾, LEACH-C⁵⁾, TEEN⁶⁾, APTEEN⁷⁾, PEGASIS⁸⁾ 등이 제안되었다. 모바일 센서 노드를 사용하는 방법은 최근 활발한 연구가 진행되고 있으며, 네트워크 필드에 존재하는 모든 센서 노드가 이동성을 갖는 M-LEACH⁹⁾ 등의 방법과 데이터를 수집하는 싱크 노드(Sink node)만 이동성을 갖는 TTDD¹⁰⁾, CBPER¹¹⁾, LURP¹²⁾, D-LURP¹³⁾ 등의 방법이 있다. 모바일 싱크 노드를 사용하는 방법은 싱크 노드의 이동 경로를 설정하는 방법을 기준으로 고정 경로를 직접 설정하는 방법과 경로가 임의로(Random way point) 결정되는 방법으로 분류되며, 이 방법들은 데이터를 취득한 센서 노드가 싱크 노드로 패킷을 전송하기 위한 라우팅 경로를 주기적으로 설정하고 갱신한다¹⁴⁾. 그러나 M-LEACH와 같이 모든 센서 노드가 이동성을 가지는 경우, 센서 노드 간 통신에 사용되는 에너지 소모는 감소시킬 수 있으나 수집에서 수천 개의 노드가 사용되는 센서 네트워크 환경에서 모든 노드의 이동성을 보장하는 것은 센서 노드의 생산 비용 측면에서 사실상 불가능하다고 볼 수 있다. TTDD, CBPER과 같이 모바일 싱크 노드의 이동 경로가 임의로 정해지는 경우, 센서 노드들은 주기적으로 싱크 노드의 위치를 확인해야 하고 라우팅 경로를 재탐색해야 하므로 추가적인 에너지 소모가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 네트워크 필드의 크기를 고려하여 가상 그리드를 생성하고 이를 사용하여 최적의 싱크 노드 이동 경로를 설정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 네트워크 필드 전체의 커버리지(Coverage)를 보장할 수 있는 Hilbert curve를 사용하여 최적의 싱크 노드 이동 경로를 결정함과 동시에 센서 노드들의 에너지를 효과적으로 사용할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 제안하는 방법은 센서 노드의 분포 밀도를 고려하여 싱크 노드의 경로를 부분적으로 수정하여 노드 밀집에 의해 발생할 수 있는 통신의 혼

잡 및 충돌 그리고 트래픽 부하의 집중 문제를 최소화하고 안정성을 높인다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 모바일 싱크를 사용하는 기존 WSN 연구들에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안하는 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안하는 기법의 성능 평가를 위해 기존의 방법들과 성능을 비교 분석하고 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

II. 관련 연구

본 논문에서는 모바일 싱크 노드의 이동 경로를 결정하는 방법을 기준으로 (1)Random way point 방식을 사용하는 TTDD, CBPER과 (2)고정 경로를 사용하는 Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법¹⁵⁾으로 분류하였다.

2.1 TTDD(Two-tier Data Dissemination)

TTDD 라우팅 프로토콜은 소스 노드가 관심사건(Interest event)을 감지하면 싱크 노드에게 감지한 데이터를 전송하기 위해 소스 노드가 동적으로 가상 그리드(Virtual grid) 구조를 생성한다. 생성된 가상 그리드의 각 교차점에서 가장 가까운 센서 노드는 보급 노드(Dissemination node)로 선택된다. TTDD는 데이터를 전송하기 위해 두 개의 전송계층을 사용하며, 하위계층(Low-tier) 전송은 그리드 한 셀(Cell)내에서 지역적 통신을 위해 사용하고, 상위계층(High-tier) 전송은 셀과 셀 사이의 통신을 위해 사용한다.

소스 노드가 직접 가상 그리드를 생성하는 방식을 사용하는 TTDD는 임의의 위치를 갖는 싱크 노드까지 데이터를 안전하게 전송할 수 있다. 또한 소스 노드와 싱크 노드의 거리에 상관없이 항상 데이터를 전송할

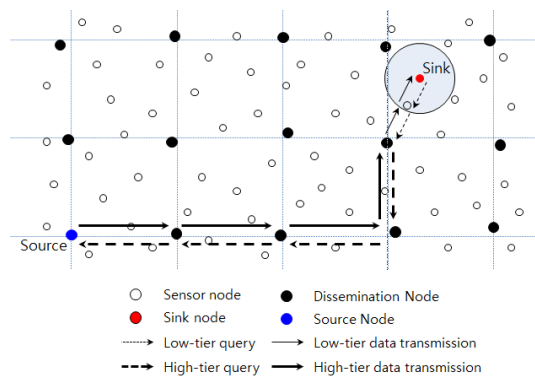


그림 1. 두 계층 데이터 보급 라우팅 프로토콜
Fig. 1. Two-Tier Data Dissemination protocol

수 있으므로 데이터 전송 지연이 발생할 확률이 낮다. 그러나 이벤트를 감지할 때마다 동적으로 가상 그리드를 생성하고 보급 노드를 선택하며 이를 유지하고 관리하는 과정에서 에너지의 소모가 많이 발생하게 된다. 데이터 전송에너지 소모량은 전송 거리에 크게 영향을 받는데, 소스 노드와 싱크 노드의 거리가 멀어질수록 상위계층 전송횟수가 증가하는 TTDD는 네트워크 필드의 크기가 커질수록, 데이터 전송 횟수가 많아질수록 에너지 효율이 급격하게 떨어지는 단점이 있다.

2.2 CBPER(Cluster Based Power Efficient Routing)

CBPER은 TTDD와 달리 최초 1회만 네트워크 필드 전체에 대하여 가상그리드를 생성한다. 생성된 가상 그리드의 셀들은 각각 클러스터를 형성하며, 클러스터마다 센서 노드들의 에너지 보유량을 비교하여 적절하게 클러스터 헤더(Cluster header)를 선출한다. CBPER은 데이터를 전송하기 위해 2개의 전송계층을 사용한다. 상위계층(High-layered)통신은 클러스터 헤더 사이의 통신을 위해, 하위계층(Low-layered)통신은 클러스터 내부통신을 위해 사용한다. 이벤트를 감지한 소스 노드는 클러스터 헤더에게 데이터 공고 패킷을 전송하고, 이를 수신한 클러스터 헤더는 자신의 세로축에 위치한 클러스터 헤더에게 데이터를 전달하는 방식으로 모든 세로축에 위치한 클러스터 헤더에게 전달한다. 최종적으로 소스 노드가 속한 클러스터의 세로축에 존재하는 클러스터의 헤더들은 데이터

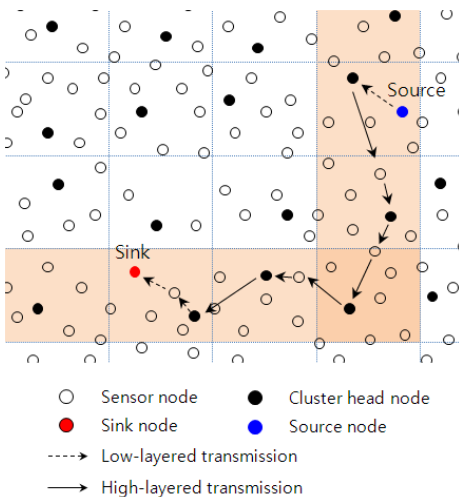


그림 2. CBPER의 데이터 전송 경로
Fig. 2. Data transmission path of CBPER

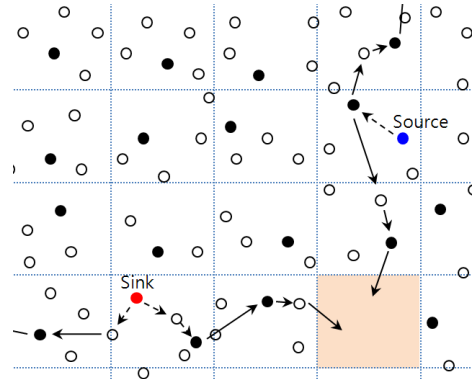


그림 3. CBPER의 빈 클러스터
Fig. 3. A void cluster of CBPER

공고 패킷을 수신한다. 싱크 노드는 데이터를 전송받기 위해 자신이 속한 클러스터 헤더에게 데이터 요구 패킷을 전송하고, 이를 수신한 클러스터 헤더는 가로축에 존재하는 모든 클러스터 헤더들에게 전달한다. 데이터 공고 패킷과 데이터 요구 패킷을 모두 수신한 클러스터에서 데이터 전송 경로가 연결되며 이 경로를 통해 소스 노드의 데이터를 싱크 노드로 전송한다.

CBPER은 최초 1회만 가상 그리드를 생성하므로 이벤트를 감지할 때마다 동적으로 가상 그리드를 생성하는 TTDD에 비해 가상 그리드를 생성 및 유지하는 에너지 소모량을 효율적으로 감소시킬 수 있다. 또한 클러스터 헤더에 집중되는 전송 부담을 분산시키기 위해 헤더노드의 에너지 잔량을 고려하여 클러스터 내에서 새로운 클러스터 헤더를 선출하는 방식을 통해 안정적인 라우팅을 가능하게 한다.

그러나 CBPER은 네트워크 필드에 배치된 센서노드의 분포 밀도가 균일하지 않는 경우에는 문제점이 발생한다. (그림 3) 같이 센서 노드의 분포 밀도가 균일하지 않은 경우 빈 클러스터(Void cluster)가 생기게 되며 데이터 전송 경로가 끊어지게 되는 문제점을 유발한다. 또한 클러스터에 포함되는 센서노드의 수가 적은 경우 특정 노드에 전송 부담이 집중되어 노드가 빠르게 죽어 빈 클러스터를 야기하는 문제점이 있다.

2.3 Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법

Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법은 네트워크 필드 전체의 커버리지를 보장하는 고정 이동경로를 사용하는 방법이다. 이 방법은 Random way point 방식을 사용한 TTDD와 CBPER에서 발생할 수 있는 싱크 노드의 특정지역 중복방문 문제를 해결할 수 있으며, 소스 노드와 싱크 노드의 전송거리를 최적화하여 네트워크의 에너지 효율을 효과적으로 향상시켰다. 먼저

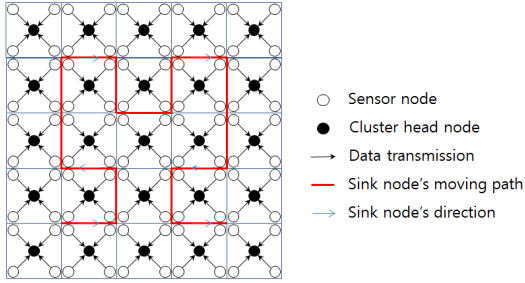


그림 4. Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법
Fig. 4. Hilbert curve based routing method

네트워크 필드에 가상 그리드를 최초 1회만 생성하고 그리드 상에 깊이를 2로 설정한 Hilbert curve를 사용하여 모바일 싱크 노드의 이동경로를 설정한다. 싱크 노드는 이동경로 상의 수집 점(spot point)에서만 전송 가능 범위에 존재하는 센서 노드들로부터 데이터를 전송받는다. 각 그리드 셀은 클러스터 헤더를 선출하여 셀 내의 데이터를 취합하여 싱크 노드로 전송한다. (그림 4)는 싱크 노드의 이동경로와 데이터 전송 과정을 설명한다.

Hilbert curve를 이용한 라우팅 기법은 싱크 노드가 최적의 전송범위에 도착했을 때 전송을 수행하므로 TTDD, CBPER에 비하여 데이터 전송에서 소모되는 에너지를 효과적으로 감소시킬 수 있다. 또한 싱크 노드의 이동경로와 속도를 기반으로 모든 센서노드들은 duty cycle을 설정하여 활성/비활성 모드를 전환하여 추가적인 에너지 절약을 할 수 있다.

그러나 싱크 노드가 전송 범위에 도착할 때까지 데이터를 전송하지 못하기 때문에 전송 지연이 발생한다. 이러한 특징은 실제 상황에서 긴급한 데이터의 전송이 불가능하기 때문에 위험한 상황에 대처하기 어렵다는 문제점을 갖고 있다. 또한 이 기법은 깊이를 2로 고정하기 때문에 네트워크 필드의 전체 크기가 넓어지면 데이터 전송거리가 멀어지게 된다. 전송 에너지 소모는 전송거리 d^2 에 비례하며 일정 거리 이상으로 멀어지면 d^4 에 비례하여 증가하기 때문에 에너지 소모량이 급격하게 늘어나는 문제점이 있다. 실험을 통하여 500m × 500m 이상의 네트워크 필드에서 급격하게 에너지 효율이 감소하는 것을 확인하였다.

III. 제안 기법

본 논문에서는 네트워크 필드의 크기와 센서 노드의 분포 밀도를 고려하여 모바일 싱크 노드의 이동경로를 적응적으로 설정하여 에너지 효율을 높이고 데

이터 전송 지연을 최소화 시키는 방법을 제안한다.

3.1 준비 단계

준비 단계에서는 필드 크기에 적응적으로 Hilbert curve의 깊이(depth)를 계산하고, 깊이를 사용하여 가상 그리드의 크기를 결정한다. 생성된 가상 그리드 상에 싱크 노드의 이동경로와 데이터를 수집하는 수집점(spot point)을 설정하고, 노드의 분포 밀도를 고려하여 부분적으로 경로를 수정하여 최종 이동경로를 결정한다.

3.1.1 $d_{crossover}$ 계산

본 논문에서는 데이터 전송을 위해 LEACH에서 사용된 Friss free space model을 사용한다. 이 모델의 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{TX}(k,d) &= kE_{elec} + k\epsilon_{amp}d^2 \\ E_{RX}(k) &= kE_{elec} \end{aligned} \quad (1)$$

위 식에서 E_{TX} 는 전송 에너지, E_{RX} 는 수신 에너지를 의미하며 k 는 데이터 패킷의 크기, d 는 전송거리, E_{elec} 은 노드 내부의 계산에너지, ϵ_{amp} 는 증폭 값이다. 모델의 전송 가능 거리 $d_{crossover}$ 는 수신기와 발신기의 안테나 길이와 기타 변수들에 의해 결정되며, 다음 식을 사용하여 계산된다.

$$d_{crossover} = \frac{4\pi\sqrt{L}h_rh_t}{\lambda} \quad (2)$$

위 식에서 h_r 과 h_t 는 각각 수신기와 발신기의 안테나 길이를, L 은 시스템 감쇄요소로 1보다 큰 값이며, λ 는 주파수 값이다. 전송거리가 $d_{crossover}$ 이상이 되면 Two-ray ground propagation model과 같은 모델을 사용해야 하며 에너지 소모량이 d^4 에 비례하여 급격하게 증가하므로 전송거리를 $d_{crossover}$ 이내로 유지하는 것이 중요하다. 제안하는 방법은 센서 노드와 싱크 노드의 전송거리가 항상 $d_{crossover}$ 이내로 유지되는 경로를 생성한다.

3.1.2 Hilbert curve의 깊이 결정

깊이를 결정하기 위해 먼저 네트워크 필드의 사선 방향 길이(Field diagonal)를 계산한다.

$$fd = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

x, y 는 각각 네트워크 필드의 폭과 높이를 의미한다. 계산된 fd 와 (의사코드1)의 알고리즘을 사용하여 최종 깊이를 결정한다.

```

01 : if  $fd > d_{crossover}$  then
02 :   divide  $fd$  by 2;
03 :   increase  $depth$ ;
04 :   goto line01;
05 : else
06 :   return  $depth$ ;
07 : endif
    
```

의사코드 1. Hilbert curve의 깊이 계산
Pseudo code 1. Hilbert curve's depth calculation

3.1.3 가상 그리드 크기 결정

가상 그리드의 크기는 결정된 깊이 값을 사용하여 (수식4)로 결정한다.

$$GridSize = 2^{depth+1} \quad (4)$$

$GridSize$ 는 가상 그리드의 가로, 세로축의 셀 개수를 의미하며, 최종적으로 센서 네트워크 필드상에 $GridSize \times GridSize$ 크기의 가상 그리드를 생성한다.

3.1.4 고정 이동경로 및 수집점 설정

가상 그리드가 생성되면, 네트워크 필드 전체를 커버할 수 있는 Hilbert curve를 사용하여 고정 이동경로를 설정한다. 경로는 결정된 깊이 값을 사용하여 Hilbert curve를 생성하며 이동경로 상에 수집점을 추가하여 싱크 노드의 데이터 수집 위치로 지정한다. (그림 5)는 네트워크 필드 크기의 변화에 따른 고정 이동경로가 결정된 모습을 나타낸다.

3.1.5 노드 분포 밀도에 따른 경로 수정

이동경로가 결정되면 마지막으로 필드에 분포된 센서 노드들의 밀도(density)를 고려하여 경로를 부분적으로 수정한 뒤 최종 이동경로를 완성한다. 노드 분포 밀도는 네트워크 필드를 4개 분면으로 분할한 뒤 각 분면의 밀도를 계산하고 임계값 이상인 분면에 대하여 부분적으로 경로를 수정한다. 밀도는 다음 수식을 사용하여 계산한다.

$$density = \frac{nodes}{\sqrt{width + height}} \quad (5)$$

(수식5)에서 $width$ 와 $height$ 는 각 분면의 폭과 높이를 의미하며 $nodes$ 는 해당 지역에 위치한 센서 노드의 수를 의미한다. 밀도가 임계값 이상인 분면은 해당 지역 내에서 부분적으로 깊이 값을 한 단계 증가시키는 방법으로 경로를 수정하여, 1개의 수집점에서 데이터 수집이 과도하게 집중되어 발생할 수 있는 데이터 전송 지연과 전송 충돌 등의 문제를 해결한다. (그림 6)은 특정 지역에서 높은 밀도가 측정되었을 때 부분적으로 이동 경로를 수정하는 것을 보여준다.

3.2 통신 단계

기존의 Random way point 방식으로 싱크 노드를 운용하는 기법들은 모든 센서 노드들이 항상 활성상태(Active mode)를 유지하고 있어야 하거나, 임무 주기(duty cycle)를 적용하더라도 다수의 노드들 사이에 동기(sync)를 맞추는 것이 어렵기 때문에 데이터의 손실이나 전송 지연이 발생할 확률이 높다. 제안하는 방법은 싱크 노드의 이동경로가 결정되면 각 센서 노드들은 자신이 속한 수집점에 싱크 노드의 도착시간을 미리 예측할 수 있으므로 임무 주기를 설정하여 에너

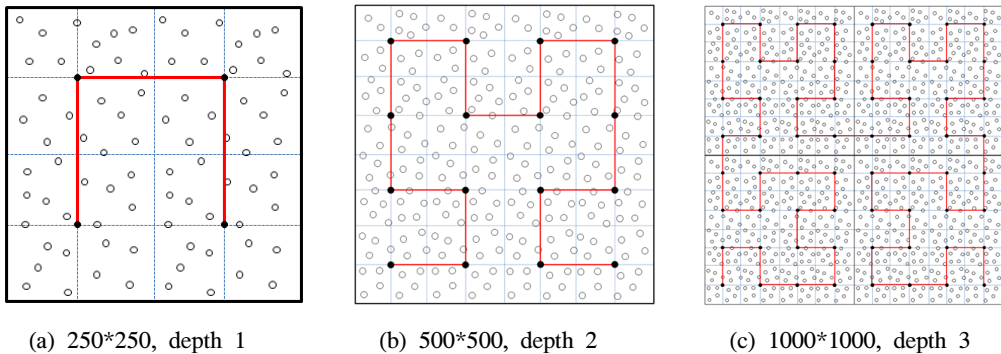


그림 5. 센서 필드의 크기에 적응적으로 결정된 Hilbert curve를 사용한 모바일 노드의 이동경로
Fig. 5. Hilbert curve based mobile node's moving path according to the size of sensor fields

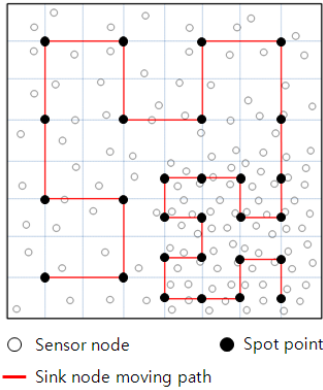


그림 6. 노드 분포 밀도를 고려한 싱크 노드 이동경로 수정
 Fig. 6. Adjusting sink node's path according to the density of sensor nodes

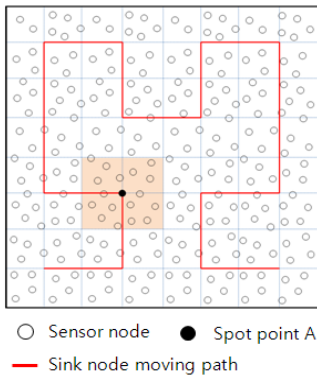


그림 7. 수집점 A의 활성 모드 센서 범위
 Fig. 7. Active mode sensor range of Spot point A

지를 절약함과 동시에 안정적인 데이터 전송이 가능하다. (그림 7)은 싱크 노드가 ‘수집점 A’ 지점에 위치할 때 활성상태인 센서 범위를 나타낸다.

3.3. 긴급 전송 단계

싱크 노드는 사전에 정해진 수집점에서만 데이터를 수집하기 때문에 현재 위치에서 통신 가능 범위 밖에 위치한 센서 노드로부터는 데이터를 수신할 수 없다. 따라서 데이터 전송 지연이 발생할 수 있으며, 전송해야 할 데이터가 위험한 상황을 감지한 경우라면 현실 상황에서 큰 손실을 유발하게 된다. 이를 해결하기 위해 제안하는 방법은 센서 노드가 사전에 정해진 임계값 이상의 사건을 감지한 경우, 이를 긴급 데이터로 정의한다. 긴급 데이터는 싱크 노드가 긴급 데이터를 전송할 소스 노드의 전송범위에 위치하지 않더라도 소스 노드가 능동적으로 전송할 수 있도록 TTDD의 방식을 응용한다. 기존의 TTDD는 소스 노드가 가상

그리드를 생성하면 싱크 노드의 데이터 요구패킷을 기다린다. 제안하는 방법은 소스 노드가 싱크 노드의 고정 이동경로 및 속도를 사용하여 싱크 노드의 위치를 계산할 수 있으므로, 가상 그리드를 생성한 뒤 보급 노드 선정이 완료되면 즉시 싱크 노드에게 데이터를 전송할 수 있다.

IV. 실험 및 성능분석

제안하는 방법의 성능을 분석하기 위해 Random way point 방식을 사용하는 TTDD, CBPER과 고정 이동경로를 사용하는 Hilbert curve를 사용한 기존의 방법과 비교 실험을 수행하였다. 본 논문에서는 실험을 위해 사용된 데이터 전송 모델은 LEACH에서 사용된 Friss free space model을 사용하였고, 에너지 소모량 및 데이터 전송 지연 발생량을 비교 측정하였다. 실험에 사용된 환경 변수는 (표 1)과 같다.

표 1. 시험 환경 변수
 Table 1. Experiment parameters

Item	Value
Size of network field (m*m)	250*250, 500*500, 1000*1000
Number of sensor node	100, 200, 300, 400, 500
Initial energy of sensor node (J)	2
Packet size (bit)	2000
Transmission distance (m)	variable
Eelec	50nJ/bit
ϵ_{amp}	100pJ/bit/m ²

4.1 필드 크기에 따른 에너지 소모량 분석

네트워크 필드의 크기에 따른 에너지 소모량을 분석하기 위해 250×250, 500×500, 1000×1000 크기의 필드에 각각 약 300개의 센서노드를 균일하게 분포시킨 뒤, 500라운드 동안 Random way point 방식을 사용하는 TTDD, CBPER과 제안하는 방법의 총 에너지 소모량을 비교 측정하였다.

TTDD는 센서 노드가 관심 사건을 탐지 후 전송을 시도할 때마다 전체 필드에 대하여 가상 그리드를 생성하고 보급 노드를 선출하여 전송 경로를 확보하는 과정을 수행하기 때문에 필드의 크기가 넓어짐에 따라 더 많은 보급 노드가 필요하고 상위계층 전송 횟수가 증가한다. 실험을 통해 TTDD는 필드의 크기가 넓어질수록 에너지 소모량이 급격하게 증가하는 것을

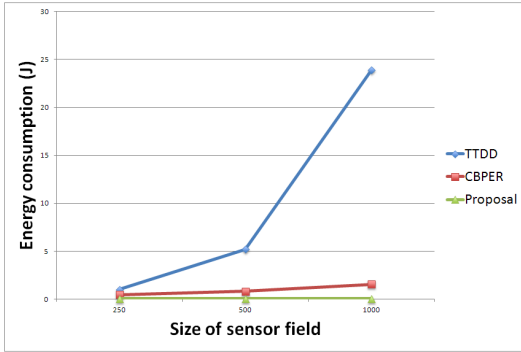


그림 8. 필드 크기 변화에 따른 총 에너지 소모량
Fig. 8. Total energy consumption of varying field size

확인하였다. CBPER은 가상 그리드를 최초 1회만 생성하므로 TTDD에 비해 가상 그리드에 대한 에너지 효율이 높다. 그러나 센서 노드가 관심 사건을 감지하면 세로축 클러스터에 모두 데이터 공고 패킷을 전송해야 하고, 싱크 노드 또한 데이터 요구 패킷을 가로축에 전송해야 하므로 네트워크 필드가 커질수록 전송 횟수가 증가하여 에너지 소모량이 증가한다. 반면, 제안하는 방법은 전송할 데이터가 있는 센서 노드가 속한 수집점에 싱크 노드가 도달한 시점에서 데이터 전송을 수행하므로 항상 최적의 전송거리를 유지한다. 또한 네트워크 필드의 크기에 따라 전송경로가 적응적으로 결정되므로 필드 크기의 변화에 상관없이 최적의 전송거리 확보를 통해 일관적인 에너지 효율을 보여준다.

4.2 고정경로를 사용하는 기법과의 에너지 소모량 비교 분석

Hilbert curve를 사용하여 싱크 노드의 고정경로를 결정하는 기존의 방법과 성능을 비교평가하기 위해, 네트워크 필드의 크기를 변화시키며 총 에너지 소모량을 측정하였다. 실험은 500×500, 1000×1000 크기의 네트워크 필드에 각각 300, 500개의 센서 노드를 균일하게 분포시키고 500 라운드 동안의 총 에너지 소모량을 측정하였다.

500×500 크기의 네트워크 필드에서는 기존의 방법과 제안하는 방법 모두 깊이 2의 Hilbert curve를 사용하므로 데이터 전송에 필요한 에너지의 총 소

모량은 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 기존의 방법은 초기 클러스터 형성 및 헤더 선출 그리고 클러스터 헤더의 재선출 과정에서 추가적인 에너지 소모가 발생한다. 1000×1000 크기의 필드에서, 제안하는 방법은 필드 크기 변화에 적응적으로 깊이 값이 3으로

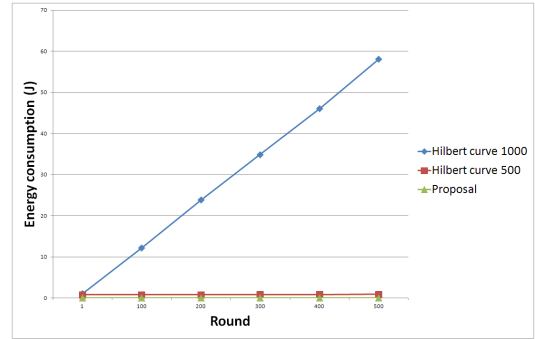


그림 9. 라운드 별 누적 에너지 소모량
Fig. 9. Cumulative energy consumption

결정되어 안정적인 에너지 효율을 지속적으로 유지하는 반면, 기존의 방법은 깊이 2인 고정경로를 사용하기 때문에 클러스터 헤더와 싱크노드의 거리가 $d_{crossover}$ 이상으로 멀어진다. 따라서 데이터 전송 에너지 소모량은 d^2 에서 d^3 에 비례하여 증가하므로 에너지 소모량이 급격하게 증가하게 된다. (그림 9)는 1000×1000 크기의 필드에서 기존의 방법의 에너지 소모량이 급격하게 늘어나는 것을 보여주고 있다.

4.3 고정경로를 사용하는 기법과의 데이터 전송 지연 발생량 비교 분석

Hilbert curve를 사용하는 기존의 방법은 클러스터 헤더 노드가 전송할 데이터가 있을 때, 싱크 노드가 전송 가능 범위에 도착하는 시점에서만 데이터를 전송할 수 있기 때문에 데이터 전송 지연이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 특히 센서 노드가 감지한 데이터가 사전에 정의한 임계값 이상인 경우 이를 긴급 전송 데이터로 정의하여 싱크

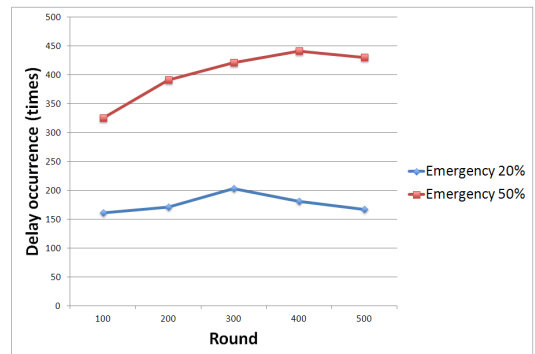


그림 10. Hilbert curve를 사용한 기존 방법의 데이터 전송 지연 발생량
Fig. 10. Delay of data transmission on Hilbert curve based routing protocol

노드가 전송가능 범위 내에 존재하지 않더라도 TTDD의 방식을 응용하여 동적으로 가상 그리드를 생성하여 싱크 노드에게 데이터를 즉시 전송할 수 있도록 하였다. (그림 10)은 기존의 방법을 사용하여 긴급 데이터를 감지하였을 때, 이를 싱크노드로 전송하는 과정에서 발생하는 데이터 전송 지연 발생량을 측정한 결과를 보여준다. 긴급 데이터를 감지하는 확률은 20%, 50%로 설정하였고, 500라운드 동안 진행하였으며 감지한 데이터를 전송하지 못하는 라운드의 수를 기준으로 측정하였다. 실험을 통해 긴급하게 전송해야 할 데이터를 많이 감지할수록 데이터 전송 지연이 증가하는 것을 확인하였다. 반면, 제안하는 방법에서는 TTDD를 적용하여 동적으로 긴급 데이터를 전송하므로 딜레이가 거의 발생하지 않는다.

4.4 센서 노드의 분포 밀도에 따른 성능 분석

모바일 싱크 노드를 사용한 WSN 환경에서 네트워크 필드에 센서 노드의 분포가 균일하지 않은 경우 특정 지역에 센서 노드의 밀도가 집중될 수 있다. 이러한 지역에서는 싱크 노드로 다량의 데이터 전송이 발생하여 데이터의 충돌 또는 전송 지연이 발생하여 안정적인 전송이 어려워질 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안하는 방법은 특정 지역에서 센서 노드의 밀도가 사전에 설정한 임계값 이상인 경우 해당 지역의 경로를 수정하고 데이터를 수집하는 수집점의 수를 증가시켜 싱크 노드로 집중되는 트래픽을 분산시켜 안정적인 데이터 전송이 가능하게 한다.

(그림 11)과 (그림 12)는, 각 라운드별 싱크 노드의 트래픽 양을 측정한 결과를 나타낸다. 실험은, 500x500 크기의 센서 네트워크 필드에 약 300개의 노드를 균일하지 않은 분포로 전개 한 뒤, 싱크 노드의 데이터 전송 발생량을 측정하였다. 다음의 (그림 11)는 센서 노드의 밀도를 고려하지 않은 경로에 대한 결과를 보여준다.

(그림 12)는 센서 노드의 밀도를 고려하여 싱크노드의 이동경로를 부분적으로 수정한 경우에 대한 결과를 보여준다. 실험은 동일한 방식을 사용하였으며, 각 노드에서 1회의 전송을 1개의 트래픽으로 정의하여 진행하였다.

센서 노드의 분포 밀도를 고려하지 않고 싱크 노드의 이동경로를 결정한 (그림 11)의 경우에는 밀도가 높은 특정 지역에서 과도한 트래픽이 빈번하게 발생하는 것을 발견할 수 있다. 반면에 센서 노드의 분포 밀도를 고려한 (그림 12)의 경우, 싱크 노드의 이동경로를 수정하고 데이터 수집점 개수를 늘려 안정적인

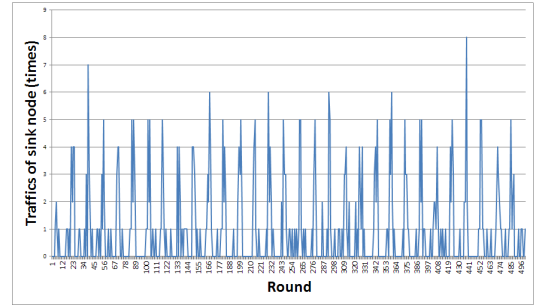


그림 11. 밀도를 고려하지 않은 경로의 싱크노드 트래픽
Fig. 11. Traffic of sink node before path modification according to the density

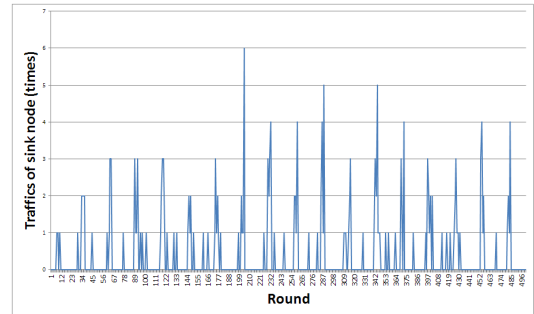


그림 12. 밀도를 고려한 경로의 싱크노드 트래픽
Fig. 12. Traffic of sink node after path modification according to the density

트래픽 관리가 가능하도록 하였다. 이상적인 트래픽을 4로 가정하였을 때, 제안하는 기법은 기존의 고정경로를 사용한 방법에 비해 매우 안정적인 트래픽 관리가 가능한 것을 보여준다.

V. 결론

무선 센서 네트워크 환경에서는 제한된 에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 장시간 유지하는 것이 핵심적인 이슈이다. 또한 관찰 지역을 모두 커버하는 것과 동시에 감지한 데이터를 정확하게 싱크 노드에게 전송하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 Hilbert curve를 사용하여 네트워크 필드의 크기에 적응적인 싱크 노드의 이동경로를 결정하여 필드 전체를 커버함과 동시에 센서 노드의 에너지를 효율적으로 절약할 수 있는 방법을 제안하였다. 주어진 네트워크 필드의 크기에 따라 최적의 깊이를 결정하고, 각 센서 노드는 자신이 속한 수집점에 싱크 노드가 도착한 시점에서만 감지한 데이터를 전송을 하도록 하여 에너지 소모량을 효과적으로 감소

시켰다. 또한 센서 노드의 분포 밀도를 고려하여 밀도가 높은 지역에서는 부분적으로 이동경로를 수정하고 수집점을 증가시켜 과도한 트래픽 발생을 효과적으로 관리할 수 있도록 하였다. 제안하는 방법은 기존의 모바일 싱크 노드를 사용하는 기법들과 비교하여 최대 50배 이상의 에너지 효율을 보였으며, 네트워크 필드가 커질수록 더욱 효율이 높아지는 양상을 보여주었다. 긴급 메시지의 경우 기존의 TTDD 전송 방법을 응용하여 해결하고 있지만, 평균적인 데이터 전송 지연 문제는 더욱 견고하게 보완되어야 한다. 이러한 전송 딜레이 처리에 대한 연구는 향후 과제로 남긴다.

References

- [1] W. Pak, "Low power MAC protocol design for wireless sensor networks using recursive estimation methods," *J. KICS*, vol. 39C, no. 3, pp. 239-246, Mar. 2014.
- [2] Y. Lee, S. Kim, and M. Lim, "Methodology of interoperation Link-K track number in multi TDLs," *J. KICS*, vol. 38C, no. 12, pp. 1186-1195, Dec. 2013.
- [3] J. Kong, J.-H. Lee, J. Kang, and D.-S. Eom, "Energy efficient clustering algorithm for surveillance and reconnaissance applications in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 37C, no. 11, pp. 1173-1183, Nov. 2012.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *IEEE Proc. Hawaii Int. Conf., Syst. Sci.*, Jan. 2000.
- [5] W. Heinzelman, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE To WC*, vol. 1, no. 4, 2002.
- [6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN : A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor network," in *IEEE 1st Int. Workshop Parallel Distrib. Comput. Issue in Wirel. Net. Mob. Comput.*, pp. 2009-2015, Apr. 2001.
- [7] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN : A hybrid protocol for efficient in routing and comprehensive information retrieval in wireless sensor network," in *Proc. IEEE IPDPS' 02*, Apr. 2002.
- [8] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power-efficient gathering in sensor information system," *IEEE Proc. Aerospace Conf.*, vol. 3, pp. 1125-1130, 2002.
- [9] L. T. Nguyen, X. Defago, R. Beuran, and Y. Sinoda, "An energy efficient routing scheme for mobile wireless sensor networks," *IEEE ISWCS*, pp. 568-572, 2008.
- [10] H. Luo, Fan ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," *J. Wirel. Netw.*, vol. 11, pp. 161-175, Jan. 2005.
- [11] K. Kweon, S. Lee, and H. Yoon, "A cluster-based power-efficient routing protocol for sensor networks," *2012 Int. Conf. Comput. Commun. Eng. (ICCCCE)*, pp. 603-607, Jul. 2012.
- [12] G. Wang, T. Wnag, W. Jia, M. Guo, H. H. Chen, and M. Guizani, "Local update-based routing protocol in wireless sensor network with mobile sinks," in *Proc. ICC 2007*, pp. 3094-3099, Jun. 2007.
- [13] J. H. Chung and S. H. Park, "Dynamic local update-based routing protocol(D-LURP) in wireless sensor network with mobile sink," *J. Inst. Electron. Eng. Korea*, vol. 46, no. 3, pp. 116-122, May 2009.
- [14] K. Jung, H. Yeom, H. Park, J. Lee, and S.-H. Kim, "Flexible disjoint multipath routing protocol using local decision in wireless sensor networks," *J. KICS*, vol. 38B, no. 11, pp. 911-924, Nov. 2013.
- [15] C. Lee and K. Han, "A routing method using mobile sinks along hilbert curve In wireless sensor networks," *KNU*, 2008.

양 승 현 (Seung-hyun Yang)



2012년 2월 : 인하대학교 정보
통신공학과 학사
2014년 2월 : 인하대학교 정보
통신공학과 석사
2014년 2월~현재 : LIG넥스원
<관심분야> 정보통신공학, 국
방소프트웨어

노 해 환 (Hai-hwan Rho)



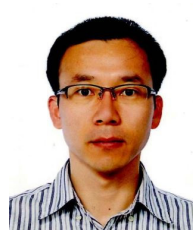
2010년 8월 : 아주대학교 전자
공학과 석사
1996년 1월~현재 : LIG넥스원
<관심분야> 전술데이터링크

이 승 열 (Soong-yeol Lee)



2005년 2월 : 충남대학교 컴퓨
터공학 학사
2008년 2월 : 충남대학교 컴퓨
터공학 석사
2008년 3월~현재 : LIG넥스원
<관심분야> 실시간운영체제

손 원 기 (Won-kee Son)



2000년 2월 : 인하대학교 전자
공학과 공학박사
2001년 11월 : 서울대학교 전기
공학부 박사후과정
2002년 11월 : 고등기술연구원
2003년 8월~현재 : LIG넥스원

<관심분야> Control Systems, 국방소프트웨어