

# 무선 센서 네트워크에서 잔여 에너지와 전송거리의 조율을 통한 데이터 전송 프로토콜

## On Data Dissemination Protocol Considering Between Energy and Distance in Wireless Sensor Networks

서재완\*      김문성\*\*      조상훈\*\*\*      추현승\*\*\*\*  
Jaewan Seo      Moonseong Kim      Sang-Hun Cho      Hyunseung Choo

### 요약

본 논문에서는 에너지 효율적인 전송과 긴 네트워크 라이프타임을 보장하는 데이터 전송 프로토콜을 소개한다. 잘 알려진 SPIN에 비해 SPMS는 최단경로로 데이터를 전송하기 때문에 전송 시 에너지 효율을 극대화했다. 하지만 최단경로상의 특정 노드를 반복해서 사용함으로써 짧은 네트워크 라이프타임을 가진다. 본 논문에서는 거리와 에너지 잔량의 두 가지 속성을 고려한 ConBED(A protocol Considering Between Energy and Distance) 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션 결과, ConBED는 에너지 효율적인 전송을 보장하며 SPMS에 비해 네트워크 라이프 타임이 69%증가한 것을 보여준다.

### Abstract

In this paper, we present a data dissemination protocol that guarantees energy-efficient data transmission and maximizes network lifetime. SPMS that outperforms the well-known protocol SPIN uses the shortest path to minimize the energy consumption. However, since it repeatedly uses the same path, maximizing the network lifetime is impossible. In this paper, we propose a protocol for data dissemination called the protocol Considering Between Energy and Distance (ConBED). It solves the network lifetime problem using the residual energy and the distance between nodes to determine a path for data dissemination. The simulation results show that ConBED guarantees energy-efficient transmission and increases the network lifetime by approximately 69% than that of SPMS.

☞ Keyword : Wireless Sensor Networks, Data Dissemination Protocol, Energy Efficiency, Lifetime, SPIN, SPMS.

## 1. 서론

최근 WSNs(Wireless Sensor Networks)은 스마트 홈이나 사무 자동화 그리고 인간-환경의 상호작용

을 가능하게 하는 핵심기술이며 활발한 연구가 진행 중이다 [1]. 그러나 센서노드의 한정적인 환경 때문에 실제 구현에는 많은 제약이 따르며 가장 대표적인 제약사항은 센서노드의 전력에 관한 것이다. 데이터의 송수신 시 특정 센서노드들의 전력을 일찍 소모한다면 네트워크 라이프타임(Network Lifetime)은 줄어들 것이다. 네트워크 라이프타임은 전체노드 중 어느 한 개의 센서노드가 수명이 끝나는 시점까지로 정의하며 최악의 경우 네트워크의 단절을 일으킬 수 있다. 따라서 저전력 소모와 네트워크 라이프타임에 관한 연구는 WSN에서 주요한 과제이다 [2].

\* 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부  
todoll2@skku.edu  
\*\* 정 회 원 : 미국 미시간주립대학교 박사후연구원  
mkim@msu.edu  
\*\*\* 정 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부  
shcho@skku.edu  
\*\*\*\* 중신회원 : 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
choo@skku.edu  
[2007/10/05 투고 - 2007/10/08 1차심사 - 2008/11/06 심사완료]

WSN에서의 데이터의 전송은 광범위하게 분포한 수 만개의 센서노드들이 데이터를 수집하고 전달하기 때문에 중요한 부분이다. 수집한 데이터를 전송하기 위한 대표적인 프로토콜로는 Flooding과 SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)이 있다 [3]. Flooding은 데이터를 수신한 노드가 모든 이웃노드들에게 전달하는 방식이며 각 노드의 상태정보관리없이 전송만하는 가장 간단한 프로토콜이다. Flooding은 간단히 데이터의 빠른 전송을 보장하지만 중복전송으로 인한 에너지 소비는 피할 수 없다. SPIN은 이웃노드들과의 정보교환을 통해서 중복전송 문제를 해결하였다.

SPIN은 Flooding이 가졌던 문제점을 메타데이터를 교환함으로써 해결하였다. 하지만 SPIN에서는 데이터 전송 시 노드간의 거리를 고려하지 않고 모든 데이터를 같은 파워레벨로 전송하기 때문에 효율적인 데이터 전송이 이루어 지지 않는다. SPMS(Shortest Path Minded SPIN)는 각 노드가 최단경로를 통해 데이터를 멀티 홉으로 전송함으로써 에너지 효율을 극대화했다 [4]. SPMS에서는 최단경로 멀티 홉 라우팅을 위해서 각 노드가 최대 반경으로 정의한 존(zone)안에서 Bellman-Ford 알고리즘을 이용한다 [5]. 따라서 각 노드는 존 내부의 라우팅 테이블을 생성할 수 있으며 자신의 라우팅 테이블을 참고해서 최단거리로 데이터를 전송하기 때문에 최소의 에너지를 소비한다. 하지만 지속적인 최단경로의 사용으로 특정 경로상의 노드 에너지 소모가 다른 노드에 비해 크며, 이는 네트워크 라이프 타임 측면에서 비효율적이다. 또한 몇 개의 노드실패(node failure)가 일어나면 네트워크의 일부분은 더 이상 최단경로를 통해서 데이터를 전달할 수 없다는 문제점이 있다.

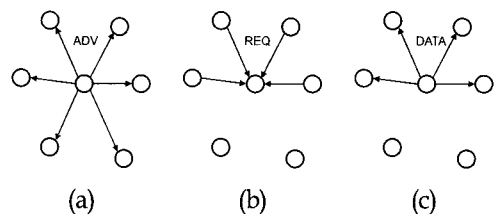
본 논문에서는 네트워크 라이프타임을 획기적으로 증가시키면서 에너지 효율적인 데이터 전송을 보장하는 ConBED(A protocol Considering Between Energy and Distance) 프로토콜을 제안한다. ConBED는 기본적으로 감지한 데이터를 전체

네트워크에 분산시키는 것을 기본으로 한다. SPMS의 단점으로 지적했던 고정된 경로 사용에 기인한 짧은 네트워크 라이프타임을 데이터 전송 시 노드 에너지잔량을 고려한 경로의 설정을 통해 크게 증가시켰다. 또한 두 가지 속성을 고려해 가중치에 따라 경로선택을 좀 더 유연하게 하였다. 첫 번째 속성은 에너지이며, 잔량이 높은 노드를 우선적으로 선택함으로써 특정 노드가 계속해서 에너지를 소비하는 것을 방지할 수 있다. 두 번째 속성은 적정거리이며, 이에 따른 경로가 설정되기 때문에 데이터 전송에 따른 에너지 소비를 최적화 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같다. 2절은 SPIN과 SPMS의 동작방식과 문제점에 대해 설명한다. 제안 프로토콜의 목적과 구성요소 및 동작 과정은 3절에서 다룬다. 4절에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 이 기법의 몇 가지 특성을 고찰 한 후, 마지막으로 5절에서는 결과 및 향후 과제를 설명한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 데이터 전송 기본 프로토콜



(그림 1) SPIN 동작 과정

SPIN은 Flooding의 문제점을 3-way handshake를 통해 해결한 프로토콜이다. 데이터 전송 전에 메타데이터(metadata)의 교환으로 해당 센서노드가 데이터를 가지고 있는지를 판단하기 때문에 중복 전송을 피할 수 있다. 첫 단계는 그림 1 (a)와 같이 데이터를 가진 센서노드가 데이터의 특성을 이웃 센서노드들에게 전달하는 광고(advertise)단계

$$E(P(n_0, n_K)) = \sum_{r=1}^K E(P(n_{r-1}, n_r))$$

$$\approx \frac{D}{d}(\alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_2 \tilde{d}^p)$$

여기서 데이터 전송 시 에너지 소모  $E(P(n_0, n_K))$ 가 극소값을 가질 때 에너지 소모는 최소가 된다. 따라서  $\frac{\partial}{\partial d} E(P(n_0, n_K)) = 0$ 이며 이때의  $\tilde{d}$ 는  $\sqrt[p]{\frac{\alpha_{11} + \alpha_{12}}{\alpha_2(p-1)}}$ 이다 [8].

본 논문에서 제안하는 프로토콜은 감지한 데이터를 전체 네트워크에 분산시키는 것을 목적으로 한다. 제안하는 프로토콜은 이벤트 발생 시 에너지 효율적인 신장 트리(spanning tree)를 형성함으로써 전체 네트워크에 데이터를 분산시킨다. 거리와 에너지를 고려한 노드의 상태를  $N^m$ (Node marker)라고 정의한다. 모든 노드는 위치추적시스템(location finding systems)를 이용하여 위치를 알 수 있으므로  $N^m$ 는 데이터를 감지한 노드가 광고 메시지를 전달할 때 이 광고 메시지를 받은 각각의 노드들이 스스로 계산한다 [9].

$$N^m(w_1, w_2) = w_1 N_e + w_2 N_d$$

여기서  $N_e$ 는 노드의 에너지 레벨을 뜻하고  $N_d$ 는 노드사이의 거리를 의미한다. 각각의 속성은  $w_1, w_2$ 로 가중치를 둔다.

$$N_e = 1 - \min \left\{ 1, -\log_{10} \frac{E_{residual}}{E_{initial}} \right\}$$

$$N_d = 1 - \min \left\{ 1, \frac{|d - \tilde{d}|}{\tilde{d}} \right\}$$

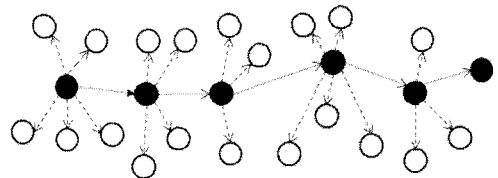
$$w_1, w_2 \geq 0; w_1 + w_2 = 1$$

여기서  $E_{residual}$ 과  $E_{initial}$ 은 각각 에너지 잔여량과 초기에너지량이며  $d$ 는 노드간의 거리를

뜻한다.  $N_e$ 는 로그(Log)의 성질을 이용하여 에너지 잔여량이 0에 가까워질수록 고려 대상의 정도를 급격하게 낮출 수 있다.  $N_d$ 는  $\tilde{d}$ 에 근접한 정도를 의미한다. 또한 두개의 속성은  $w_1$ 과  $w_2$ 에 따라 가중치를 다르게 부여할 수 있다.

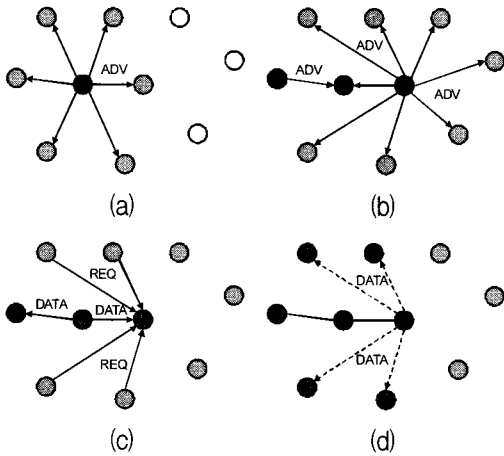
노드가 트리로 속할지를 결정하는 방법은 선착순 방법을 이용한다. 광고 메시지를 받은 각 노드들은  $N^m$ 의 값을 계산한다. 각 노드들은 계산한  $N^m$ 의 값이 높으면 높을수록 시간이 짧은 타이머를 작동한다. 만약 타이머가 종료되었을 때까지 다른 노드로부터 광고메시지를 받지 못했다면 자신을 트리에 포함시키며 동시에 광고메시지를 이웃노드에게 브로드캐스팅한다. 타이머가 동작하는 도중 다른 노드로부터 광고 메시지를 받았다면 그 노드는 트리에서 제외한다. 즉, 노드의  $N^m$ 의 값이 1에 가까울수록 트리에 속할 확률이 높아진다.

### 3.3 ConBED( $w_1, w_2$ )의 동작 과정



(그림 3) ConBED( $w_1, w_2$ )를 이용한 데이터의 전달

ConBED( $w_1, w_2$ )는 SPIN에서의 메타데이터개념을 사용하며 기본적인 동작은 3-way handshake를 통한 광고, 요청, 전달 단계로 이루어진다. 노드의 역할은 자신의 존으로 데이터 전달을 담당하는 주요노드와 데이터를 수신하는 하위노드로 나뉜다. 그림 3은 ConBED( $w_1, w_2$ )가 생성한 주요노드(검은색)와 하위노드(흰색)을 통해 데이터를 전달하는 모습이다. 이해를 돕기 위해 그림과 함께 세부과정을 설명한다.



(그림 4) ConBED( $w_1, w_2$ )의 동작과정

1. 그림 4 (a)와 같이 데이터를 감지한 노드(빨간색)가 광고 메시지를 이웃 노드에게 브로드캐스팅한다.
2. 그림 4 (a)와 같이 광고 메시지를 받은 노드(파랑색)들은  $N^m$ 을 계산 후 타이머를 설정한다. 이 때 가장 높은  $N^m$  값을 가진 노드가 가장 짧은 타이머를 가진다.
3. 그림 4 (b)에서 이웃노드들 중 가장 빨리 타이머가 종료된 노드(검은색)가 광고 메시지를 이웃노드들에게 브로드캐스팅한다.
- 4-1. 그림 4 (b)와 (c)에서 광고 메시지를 보냈던 노드(빨간)가 다시 광고 메시지를 받으면 다시 광고 메시지를 보낸 노드(검은색)로 데이터를 전달한다.
- 4-2. 그림 4 (b)와 (c)에서 타이머가 종료되기 전의 노드(녹색)가 광고 메시지를 다시 받으면 광고 메시지를 보낸 노드로 요청 메시지를 전달한다
- 4-3. 처음 광고 메시지를 받은 노드는 2번 단계로 간다.
5. 모든 노드가 데이터를 받을 때까지 위의 과정을 반복한다.

#### 4. 성능평가

ConBED( $w_1, w_2$ )의 성능을 분석하기 위해 JAVA로 구현하였다. 표 1은 시뮬레이션 환경을 나타내고 있다.  $250m \times 250m$ 의 네트워크 크기에 60m의 전송반경을 가진 센서노드를 임의로 배치하였으며, 각 센서노드들은 초기에 0.5J의 에너지를 보유하고 있다. 에너지 모델은  $\alpha_{11}, \alpha_{12} = 80nJ/bit$ ,  $\alpha_2 = 100pJ/bit/m^2$ 로 설정했으며 이로부터 계산한  $\tilde{d}$ 은 40m이다. 사용하는 패킷의 크기는 광고, 요청 메시지 전송 시 15Bytes, 데이터 전송 시 500Bytes이다. 에너지 모델의  $p$  값은 2로 하였다.

(표 1) 시뮬레이션 환경

네트워크 크기	250m × 250m
초기 노드 에너지	0.5J
$\alpha_{11}, \alpha_{12}$	80nJ/bit
$\alpha_2$	100pJ/bit/m <sup>2</sup>
패킷크기(ADV, REQ)	15 Bytes
패킷크기(DATA)	500 Bytes
전송반경	60m
$\tilde{d}$	40m

그림 5 (a)는 50번의 이벤트 발생 시 밀도에 따른 각 방식의 평균 에너지 소모를 그래프로 나타내고 있다. SPIN의 경우 가장 높은 에너지소모를 보였으며 밀도가 높아짐에 따라 값이 점차 증가하고 있다. SPMS-Rec의 경우 SPIN에 비해 향상된 결과를 보이고 있으나 ConBED( $w_1, w_2$ )와는 달리 밀도가 높아질 때 노드 당 평균 에너지소모가 증가한다. 이는 SPIN이나 SPMS-Rec의 경우 모든 노드가 광고 메시지를 보냄에 따라 브로드캐스팅의 횟수가 증가하기 때문이다. 반면에 ConBED( $w_1, w_2$ )는 일부 노드가 광고 메시지를 브로드캐스팅하며 밀도에 따라 그 수가 크게 증가하지 않는다. 그림 5 (b)는 150번의 이벤트 발생 시 가중치  $w_1, w_2$ 에 따른 평균 에너지 소모이다. 평균 에너지 소모는  $w_2$ 가 1인 경우 가장

이다. 메타데이터를 포함하고 있는 광고 메시지를 이웃센서노드들에게 브로드캐스팅한다. 두 번째 단계는 그림 1 (b)와 같이 요청(request)단계이다. 먼저 광고 메시지를 받은 이웃센서노드들은 메타데이터를 확인하고 해당 데이터가 필요한지를 검사한다. 만약 데이터가 필요하다면 요청 메시지를 광고 메시지를 보냈던 센서노드로 전송한다. 세 번째 단계는 그림 1 (c)와 같이 데이터 전송(data transfer)단계이다. 요청 메시지를 받은 센서노드는 메시지를 보낸 센서노드에게 데이터를 전송한다.

SPIN은 위와 같은 방법을 반복함으로써 데이터를 중복 전송 없이 네트워크에 분산시킨다. 광고 메시지는 데이터에 비해서 매우 작은 용량을 가지고 있기 때문에 Flooding에 비해 약 50%의 데이터를 더 전송할 수 있다 [3]. 하지만 SPIN은 데이터 전송 시 센서노드간의 거리를 고려하지 않고 모든 데이터를 같은 파워 레벨로 전송한다. 무선 통신에서의 에너지 소모는 거리의 제곱에 비례하기에 SPIN에서는 효율적인 데이터 전송을 이룰 수 없다.

## 2.2 SPMS

SPMS는 SPIN에서 메타데이터의 개념을 빌려왔으며 데이터 전송 시 센서노드간의 거리가 멀수록 지수적으로 증가하는 에너지 소모를 피하기 위해 멀티 홉 모델을 쓴다 [6]. 하지만 멀티 홉 라우팅을 하기 위해서는 라우팅을 할 목적지를 알아야하는 문제점이 있다. 센서 네트워크는 수많은 노드들로 구성되기 때문에 각 센서노드가 모든 노드에 대한 라우팅 테이블을 유지하는 것이 불가능하다. 라우팅 테이블을 생성하고 유지하는데 비용을 감소하기 위해서 SPMS에서는 최대한 경로로 정의한 존(zone)내부에 대해서만 라우팅 테이블을 유지한다. Bellman-Ford 알고리즘을 통해 각 노드는 최단경로를 가지는 라우팅 테이블을 생성할 수 있다. WSN은 각 노드가 라우팅 테

이블이 형성된 다음 데이터전송을 시작한다.

SPMS의 동작과정은 다음과 같다. 첫 번째 단계는 SPIN과 유사하게 메타데이터를 교환하는 것이다. 노드가 전달할 데이터를 가졌을 때 존 내부에 있는 이웃 노드에게 광고 메시지를 브로드캐스팅한다. 두 번째 단계는 요청단계이다. 광고 메시지를 받은 노드는 먼저 메타데이터를 읽고 난 뒤 필요한 데이터인지를 판단한다. 만약 필요한 데이터라면 요청 메시지를 보낸다. 하지만 바로 요청메시지를 보내는 SPIN과는 다르게 SPMS에서는 최단경로를 통해서 전달한다. 따라서 소스노드(source node)가 자신의 다음 홉(next hop) 이웃이 아니라면 그 노드는 자신의 다음 홉 이웃이 광고 메시지를 전달할 때까지 미리 정의한 일정시간동안 기다린다. 따라서 모든 노드들은 최단경로를 통해서 멀티홉으로 요청 메시지를 전송하고 데이터를 전송받는다. 만약 일정시간동안 광고 메시지가 전달할 수 없을 경우 직접 소스노드에게 요청 메시지를 전송한다.

SPMS는 최단경로를 통해서 데이터를 전달하지만 노드실패 시 더 이상 최단경로를 이용하지 못한다. 대신 처음으로 광고 메시지를 보냈던 노드로 요청 메시지를 전달한다. 하지만 이 방식은 소스노드와 목적지 노드가 거리가 먼 경우 에너지 효율적인 전송이 불가능하며 소스노드실패가 일어나면 나머지 노드가 데이터를 받을 방법이 없다. 이러한 문제점을 개선한 것이 SPMS-Rec (SPMS-Recursive)이며[7] 노드실패가 없을 때는 SPMS와 동일하게 동작한다. 하지만 SPMS-Rec에서는 라우팅 테이블에 다음 홉 이외에 PRONE(Primary Originator Node)와 SCONE (Secondary Originator Node)을 두어서 좀 더 자신과 가까운 노드를 저장한다. 따라서 노드가 데이터를 전송받지 못하면 바로 소스노드에게 데이터를 요청하는 SPMS에 비해 SPMS-Rec에는 좀 더 가까운 노드에서 데이터를 전달받을 수 있다. 또한 PRONE이 실패가 일어나면 SCONE이 이를 보완해 줌으로써 실패에 대해서도 데이터를 전달받을 가능성을 높였다.

### 3. 데이터 전송 프로토콜 ConBED

$$E_{tx} = \alpha_{11} + \alpha_2 d^p$$

$$E_{rx} = \alpha_{12}$$

#### 3.1 ConBED의 동기 및 목적

SPMS는 데이터를 최단경로로 전송하기 때문에 전송 시 에너지 효율을 극대화했다. 하지만 각각의 노드에 대한 최단경로가 미리 정해져 있기 때문에 이벤트 발생 시 특정 노드를 반복적으로 사용한다. 이것은 네트워크 라이프타임 측면에서 비효율적이다. 또한 노드실패가 일어나면 그 노드를 경유하는 최단경로는 더 이상 이용할 수 없기 때문에 극대화한 에너지 효율을 보장할 수 없다. 노드실패 시 SPMS-Rec에서는 PRONE과 SCONE을 개선시켜 SPMS보다는 에너지 효율을 높였지만 네트워크 라이프타임문제는 여전히 잔재한다. 따라서 데이터를 에너지 효율적으로 전송하면서 동시에 네트워크 라이프타임을 고려한 프로토콜이 필요하다. 본 논문에서는 네트워크 라이프타임을 획기적으로 증가시키면서 에너지 효율적인 데이터 전송을 보장하는 ConBED(A protocol Considering Between Energy and Distance) 프로토콜을 제안한다.

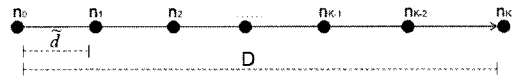
ConBED는 높은 에너지 효율과 긴 네트워크 라이프타임을 보장하는 것을 목표로 한다. SPMS와 SPMS-Rec에서는 이벤트가 발생할 때 마다 고정된 최단경로를 계속해서 이용함으로써 네트워크 라이프타임이 짧아지는 문제가 발생하지만 제안하는 프로토콜은 이벤트가 발생할 때 마다 경로를 바꾸어줌으로써 네트워크 라이프타임을 늘이도록 하였다. 경로를 선택함에 있어 에너지 잔량과 전송거리라는 두 가지 속성을 고려해 유연하게 에너지 효율적인 전송과 네트워크 라이프타임의 비중을 조절할 수 있다.

#### 3.2 ConBED의 구성요소

ConBED는 다음과 같은 에너지 모델을 사용한다 [8].

여기서  $E_{tx}$ 와  $E_{rx}$ 은 각각 거리  $d$ 에 대해 1비트의 데이터를 송신과 수신 시 소모하는 에너지를 뜻한다.  $\alpha_{11}$ 은 송신장치가 데이터 송신 시 1비트 당 소모하는 에너지이며,  $\alpha_2$ 는 연산 증폭기(op-amp)가 소모하는 에너지다.  $\alpha_{12}$ 는 수신장치가 데이터 수신 시 1비트 당 소모하는 에너지다.

데이터 송신 시  $E_{tx}$ 는 거리에 따라 지수적으로 증가하기 때문에 다수의 노드를 거쳐서 전송하는 것이 효율적일 수 있다. 하지만 데이터 송신 시 거쳐야 할 중간노드의 개수가 너무 많다면 한번에 보내는 방법보다 더 많은 에너지를 소비할 것이다. 따라서 에너지 효율적인 데이터 송신을 위한 중간노드 사이의 적절한 거리가 중요하다.



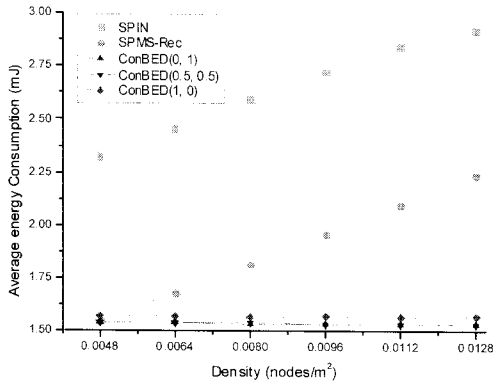
(그림 2) 중간노드를 통한 데이터 송신

그림 2는 노드  $n_0$ 와  $n_K$ 사이의 경로  $P(n_0, n_K)$ 를 통한 데이터 전송을 보여준다. 데이터 송신 시 중간노드를 통한 경로 소비 에너지  $E(P(n_0, n_K))$ 은 다음과 같다.

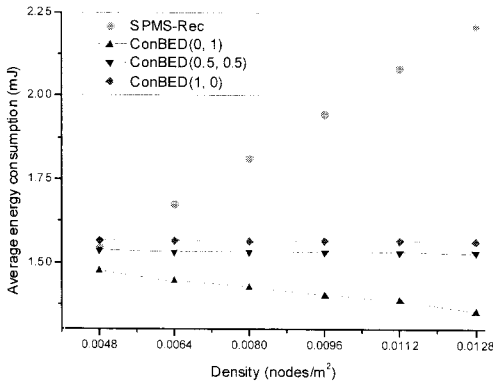
$$E(P(n_0, n_K)) = \sum_{r=1}^K E(P(n_{r-1}, n_r))$$

이 때 중간노드의 이상적인 거리를  $\tilde{d}$ 라 정의하자.  $\tilde{d}$ 에 의한 최적의 중간노드 개수는  $\lfloor D/\tilde{d} \rfloor$ 이다. 따라서 노드  $n_0$ 와  $n_K$ 간의 소비 에너지는 다음과 같다.

낮았으며,  $w_1, w_2=0.5$ 인 경우 중간값을,  $w_1=1$ 일 때 가장 높은 값을 가진다.



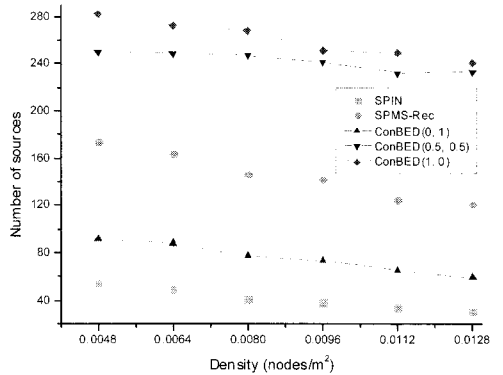
(a)



(b)

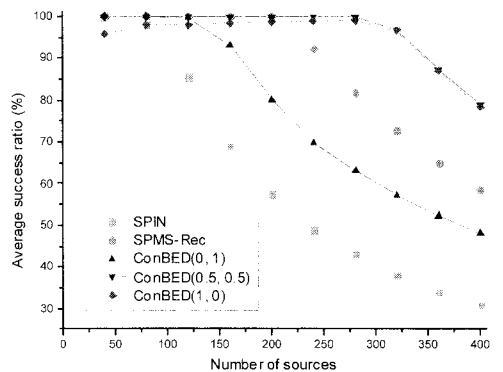
(그림 5) 노드당 평균 에너지 소모

그림 6은 밀도에 따른 네트워크 라이프타임을 그래프로 표현한 것이다. 그림 6에서 보이는 것과 같이  $ConBED(w_1, w_2)$ 는 에너지 잔여량을 고려해 경로를 설정하기 때문에 높은 네트워크 라이프타임을 가진다.  $w_1=1$ 일 시 에너지 잔량만 고려하기 때문에 가장 높은 값을 가지며  $w_1, w_2 = 0.5$ 인 경우에도 SPMS-Rec에 비해 네트워크 라이프타임이 약 69%증가하는 것을 알 수 있다.



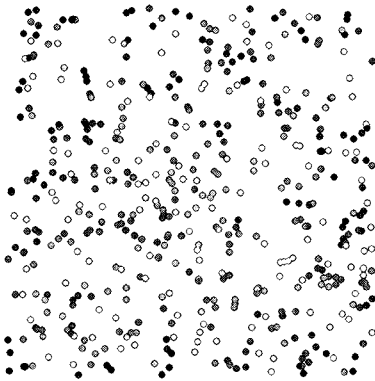
(그림 6) 네트워크 라이프타임

그림 7은 데이터 전송횟수에 따른 성공률이다. SPMS-Rec의 경우 SPIN에 비해서 성공률이 향상되었으나 노드실패가 일어나면서 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.  $ConBED(w_1, w_2)$ 의 경우 각각의 네트워크 라이프타임까지  $w_2=1$ 과  $w_1, w_2 = 0.5$ 인 경우 평균 100%의 성공률을 가지며  $w_1=1$ 인 경우는 약 98%의 성공률을 보인다. 이는 에너지 잔량만 고려했을 경우 상위노드간의 간격이 적절하지 않아 트리를 제대로 형성하지 못하는 경우가 생기기 때문이다.

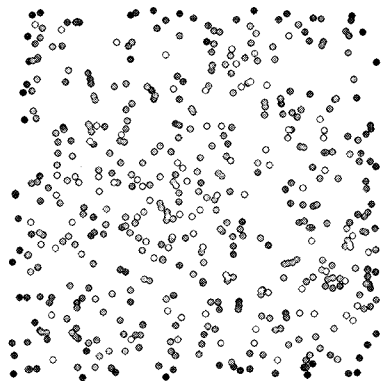


(그림 7) 평균 데이터 전송 성공률

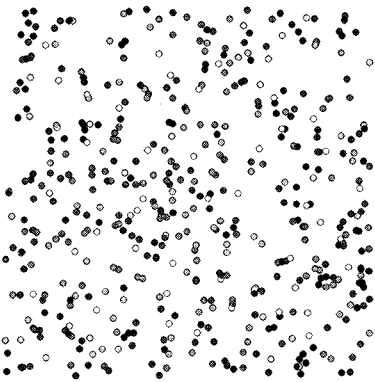
그림 8은 150번의 이벤트에 대한 에너지 소모 분



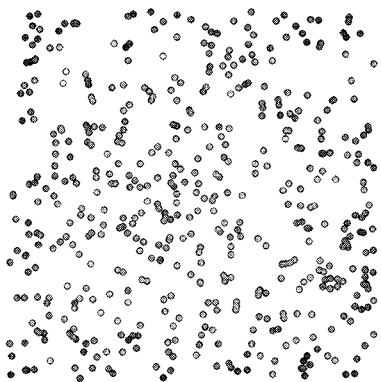
(a) SPIN



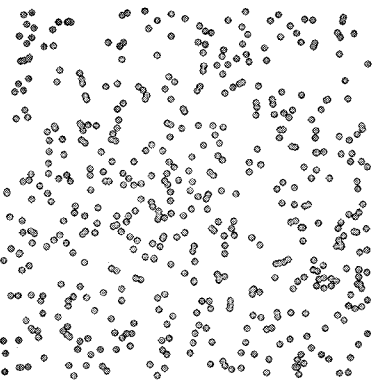
(b) SPMS-Rec



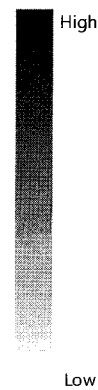
(c) ConBED(0, 1)



(d) ConBED(0.5, 0.5)



(e) ConBED(1, 0)



(f) 에너지 레벨

(그림 8) 에너지 소모 분포도



포도이다. SPIN의 경우 상당히 많은 노드실패가 발생했음에도 불구하고 에너지 잔여량이 높은 노드들이 존재하는 것을 볼 수 있다. SPMS-Rec 또한 최단경로상에 있는 노드의 반복사용으로 특정 노드의 에너지 소모 편중현상이 발생한다. 하지만 ConBED( $w_1, w_2$ )는 그림 8의 (d)와 (e)같이 에너지 잔여량을 고려했을 때 기존의 방식에 비해 에너지를 끌고루 소모하는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 데이터 전달 프로토콜을 제안하였으며 시뮬레이션 실험을 통해 SPIN과 SPMS-Rec를 비교해 ConBED의 우수성을 보였다. 실험결과는 에너지 효율적인 전송을 보장하는 것을 보이며, 특히 밀도에 따른 에너지 효율은 ConBED의 경우 일부 노드가 광고메시지를 브로드캐스팅하기 때문에 기존의 방식에 비해 우수하다는 것을 보여준다. ConBED는 에너지 잔량과 거리라는 두 가지 속성을 통해 경로를 설정함으로써 에너지 효율적인 전송과 긴 네트워크 라이프타임을 보장한다. 또한 두 가지 속성에 가중치를 두어 유연한 라우팅 방법을 제공할 수 있다.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by NIA (National Information Society Agency), Korea under the KOREN program. Dr. Kim is the corresponding author.

## 참 고 문 헌

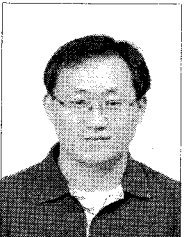
- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, 2002.
- [2] J. Kamimura, N. Wakamiya, and M. Murata, "Energy-Efficient Clustering method for Data Gathering in Sensor Networks," in *Proceedings of BROADNETS 2004*, October 2004.
- [3] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 1, issue 4, pp. 660-670, October 2002.
- [4] G. Khanna, S. Bagchi, and Y.-S. Wu, "Fault Tolerant Energy Aware Data Dissemination Protocol in Sensor Networks," *IEEE Dependable Systems and Networks (DSN)*, pp. 739-748, 2004.
- [5] Z. Hass and M. R. Pearlman, "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 9, no. 4, pp. 427-438, August 2001.
- [6] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Embedding the internet: wireless integrated network sensors," *Communications of the ACM*, vol. 43(5), pp. 51-58, May 2000.
- [7] R. Khosla, X. Zhong, G. Khanna, S. Bagchi, and E. J. Coyle, "Performance Comparison of SPIN based Push-Pull Protocols," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 3990-3995, March 2007.
- [8] M. Bhardwaj, T. Garnett, and A. P. Chandrakasan, "Upper bounds on the lifetime of sensor networks," *IEEE Intl Conf on Comm (ICC)*, vol. 3, pp. 785-790, June 2001.
- [9] A. Nasipuri and K. Li, "A directionality based location discovery scheme for wireless sensor networks," in *Proceedings of the first ACM international workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 105-111, September 2002.

## ◎ 저자 소개 ◎



### 서재완(Jaewan Seo)

2008년 성균관대학교 정보통신공학부 졸업(학사)  
2008년 ~ 현재 성균관대학교 일반대학원 휴대폰학과 석사과정  
2008년 ~ 현재 지식경제부 ITRC 지능형HCI융합연구센터 연구원  
관심분야 : 센서네트워크, 신뢰성, 라우팅 프로토콜  
E-mail : todoll2@skku.edu



### 김문성(Moonseong Kim)

2002년 8월 성균관대학교 수학과 졸업(석사)  
2007년 2월 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)  
2005년 7월 ~ 2006년 2월 한국전자통신연구원(ETRI) 위촉연구원  
2007년 3월 ~ 2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 연구교수  
2007년 12월 ~ 현재 미국 미시간주립대학교 박사후연구원  
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 네트워크 보안  
E-mail : mkim@msu.edu



### 조상훈(Sang-Hun Cho)

2002년 2월 성균관대학교 수학과 졸업(학사)  
2004년 8월 성균관대학교 수학과 졸업(석사)  
2004년 9월 ~ 현재 성균관대학교 컴퓨터공학과 박사과정  
관심분야 : 라우팅 프로토콜, 광 네트워크, 펌토셀 네트워크  
E-mail : shcho@ece.skku.ac.kr



### 추현승(Hyunseung Choo)

1988년 성균관대학교 수학과 졸업(학사)  
1990년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업(석사)  
1996년 University of Texas 컴퓨터공학과 졸업(박사)  
1997년 특허청 심사4국 컴퓨터심사담당관실(사무관)  
1998년 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
2001년 ~ 현재 한국인터넷정보학회/한국시뮬레이션학회 이사  
2004년 3월 ~ 2006년 8월 대통령직속 교육혁신위원회 전문위원  
2004년 8월 ~ 2008년 1월 한국인터넷정보학회 논문지 편집위원장  
2005년 1월 ~ 현재 건강보험심사평가원 전문위원  
2005년 10월 ~ 현재 지식경제부 ITRC 지능형HCI융합연구센터장  
2008년 2월 ~ 현재 한국정보처리학회 이사  
관심분야 : 유/무선/광네트워킹, 모바일컴퓨팅, 센서네트워크, 임베디드SW, 그리드컴퓨팅  
E-mail : choo@skku.edu