

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선택 알고리즘

김병준<sup>o</sup>, 유상신  
 성공회대학교 일반대학원 IT학과  
 yembeng@naver.com, upspace@paran.com

## A Study on Energy Efficient Cluster-head-selection-algorithm in Wireless Sensor Networks

Byung-Joon Kim<sup>o</sup>, Sang-Shin Yoo  
 Department of IT, Graduate School of Sungkonghoe University

### 요 약

센서 네트워크에서 에너지 소비는 전송거리와 보내고자 하는 데이터에 비례한다. LEACH-C와 같은 클러스터 기반 라우팅 기법들은 센서 노드들의 클러스터링을 통하여 데이터 전달 거리를 최소화시킴으로서 에너지의 효율성을 얻는다. 하지만 LEACH-C에서는 클러스터링을 구성할 때 클러스터 구성 노드들의 거리의 총합만을 고려한다. 본 논문에서는 에너지 사용에 큰 영향을 미치는 기지국과 클러스터 헤드간의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은 LEACH-C에 비해 기지국의 위치가 일정 거리 이상 떨어져 있을 경우 성능 향상 결과를 제공하였다. 이 결과는 클러스터 기반 라우팅 알고리즘에서 클러스터 헤드와 기지국간의 거리를 고려하는 것이 에너지 효율적인 측면에 영향을 미칠 수 있음을 보여 주었다.

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 원격 감시 시스템, 원격 진료, 무인 탐사 등 다양한 응용을 위하여 특정 영역에서 발생하는 정보를 감지하여 수집하고, 처리하여 무선 통신 기법을 통하여 사용자에게 전달하기 위하여 설계된 네트워크이다. 이러한 무선 센서 네트워크에서는 한번 배치된 센서 노드의 수명을 극대화하기 위해서 네트워크 응용 환경 및 서비스의 특성 등을 고려하여 적절한 망의 구조가 우선 결정되어야 하며, 이에 적합한 라우팅 방식이 고려되어야 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련연구에 대하여 알아보고, 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 동기 및 제안 알고리즘의 동작을 살펴본다. 4장에서는 시뮬레이션 환경 및 3장에서 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘에 대한 성능 분석 결과를 보여주고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구 과제에 대해 논의한다.

### 2. 관련 연구

무선 센서 네트워크는 애드혹(adhoc) 네트워크 형태의 일종으로 센싱(sensing)과 계산처리(computation), 무선 통신 능력을 가지고 있는 무선 네트워크로 정의된다. 그림 1은 무선 센서 네트워크의 구조를 보여준다.

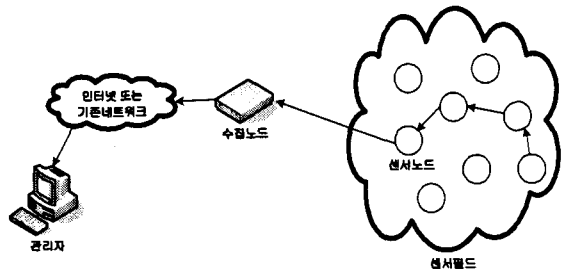


그림 1 무선 센서 네트워크의 구조

다음으로 무선 센서 네트워크에서 망의 형태에 따라 사용되는 라우팅 프로토콜을 분류해 보면 크게 평면 기반 라우팅 프로토콜과 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜로 나뉜다. 평면 기반 라우팅 방식은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여하는 것을 특징으로 한다. 이와 관련된 대표적인 연구로는 Directed Diffusion[3], SPIN[4,5], Minimum Cost Forwarding Algorithm[6] 등이 있다.

반면에 클러스터 기반의 계층적 라우팅 방식은 다양한 클러스터링 과정을 통해서 센서 네트워크를 클러스터 단위의 다수 영역으로 분할하고 클러스터 내의 센서 노드를 각자의 역할에 따라 클러스터 헤드 노드, 게이트웨이 노드, 일반 노드로 나눈다. 게이트웨이 노드 및 일반 노드는 해당 지역에서 발생한 사건에 대한 정보를 감지하

여 지역 클러스터 헤드 노드에게 전송하고, 클러스터 헤드는 수집된 데이터를 데이터 병합 과정을 거쳐 최종 목적지인 기지국 노드로 전송한다. 이와 관련된 대표적인 연구로는 LEACH[7,8,9], TEEN[10], PEGASIS[11] 등이 있다.

### 3. 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선택 알고리즘

#### 3.1 LEACH/LEACH-C의 문제점 및 제안동기

본 절에서는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 대표적인 LEACH 및 LEACH-C의 문제점과 개선할 점에 대하여 알아본다. 본 논문에서 제안된 프로토콜은 LEACH-C 프로토콜과 유사하게 클러스터링을 수행하지만 기지국간의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택 방식이다. 제안된 프로토콜은 기존의 LEACH-C와 비교하여 성능을 평가한다. 제안된 프로토콜에서는 LEACH[7,8,9]에서 사용하는 First Order Radio Model을 사용한다. 그림 2의 왼쪽이 송신부이고, 오른쪽이 수신부이다.

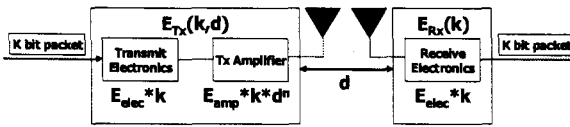


그림 2 First Order Radio Model

그림 2에서  $k$ 는  $k$ 비트 메시지를 의미하고,  $d$ 는 거리를 의미한다. 송신부에서의 에너지 소비는 (1), 수신부에서의 에너지 소비는 (2)로 표현될 수 있다.

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^n \quad (1)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (2)$$

(1), (2)에서 보듯이 에너지 문제에서 중요한 관점은 각 노드간의 전송거리를 최소화 하는 것과 각 메시지에 대해서 송·수신 동작의 수를 최소화해야 한다는 것이다. 그중에서 전송거리는 거리에 따라 자유공간(free space) 모델과 다중경로(multipath) 모델로 구분된다. 자유공간 모델에서는 전송거리( $d$ )의 제곱에 비례하여 전력이 소모되고, 다중경로 모델에서는 전송거리( $d$ )의 네제곱에 비례하여 전력이 소모된다. 본 논문에서는 자유공간 모델과 다중경로 모델을 구분하기 위하여 LEACH[7,8,9]와 마찬가지로  $d_{crossover}$  값을 사용한다. 클러스터 헤드와 클러스터 멤버 노드 사이의 거리가  $d_{crossover}$  값보다 작으면 자유공간 모델, 크다면 다중경로 모델로 간주한다.

LEACH는 클러스터의 구성 형태는 고려하지 않고, 확

률적인 방법에 의하여 모든 센서 노드들이 공평하게 클러스터 헤드로 선출되도록 하고 있다. 이러한 방법은 클러스터 헤드가 균등하게 분포될 경우와 그렇지 않을 경우로 나뉠 수 있다.

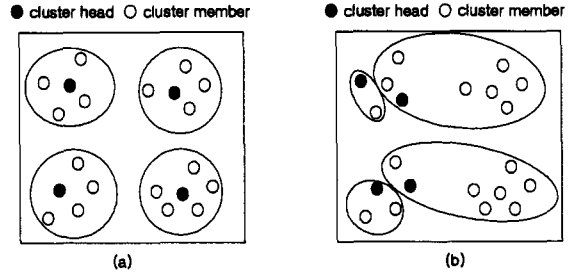


그림 3 클러스터 헤드 분포

그림 3은 이러한 문제를 보여준다. (a)는 클러스터 헤드가 균등하게 분포되었을 경우이고, (b)는 클러스터 헤드가 서로 인접하게 선출되는 경우이다. (b)와 같은 경우 클러스터 헤드와 먼 거리에 있는 노드들은 더 많은 에너지를 소모하게 되어, 에너지 효율성이 떨어질 뿐만 아니라, 센서 노드들 간의 충돌 발생 확률도 높아지게 된다. LEACH는 확률기반이기 때문에 (a)와 같은 구성을 보장하지 못한다. 이러한 LEACH에서의 비효율적인 클러스터 구성의 문제를 해결하기 위하여 LEACH-C가 제안되었다. LEACH-C에서는 클러스터를 기지국의 주도로 구성하게 된다. 각 노드들은 자신들의 위치 정보와 잔여 에너지 정보를 기지국에 알린다. 기지국은 이 정보를 기반으로 최적의 클러스터를 구성하도록 하여 그림 3의 (b)와 같은 경우가 되는 것을 방지한다. 그러나 LEACH-C는 매번 각 노드들이 기지국과 통신하기 위하여 요구되는 에너지 소비와 자신의 위치 정보에 대한 처리를 해야 하는 추가적인 오버헤드가 생긴다. 게다가 LEACH-C에서는 최적 클러스터를 구성하는데 클러스터내의 멤버들의 최소거리의 합만을 고려한다. 하지만 센서 네트워크에서의 전력 소모는 클러스터내의 거리뿐만 아니라 클러스터헤드와 기지국간의 거리도 고려 대상이다.

그림 4에서 보듯이 기지국까지의 데이터 전송에는 클러스터 내부의 거리의 합  $\sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH}$  과 클러스터와 기지국간의 거리인  $d_{toBS}$  합이 데이터가 전송되는 총 거리이다. 기존의 LEACH-C 알고리즘에서는  $\sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH}$  값이 최소가 되는 클러스터 헤드를 선택한다. 하지만 이는 기

기지국간의 거리를 고려하지 않으므로 기지국의 위치가 변하면 최적의 에너지 소비 효율을 보이지 못한다. 기지국과 클러스터 헤드사이의 거리가 멀어질수록  $d_{toBS}$  구간에서 전송하는 에너지의 소비는 많아질 것이다. 본 논문에서는 기지국간의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 통해 다양한 기지국의 위치에 따른 기존의 LEACH-C 알고리즘과 비교 실험을 하고 성능 분석을 하였다.

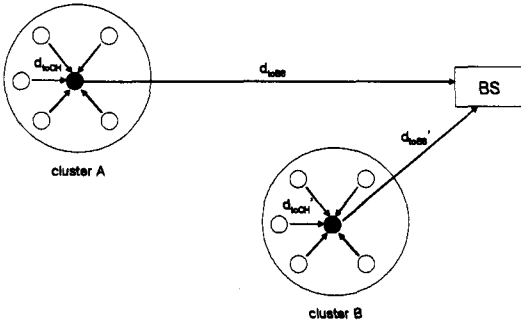


그림 4 클러스터 기반 프로토콜 비용

3.2 제안 알고리즘

먼저 제안된 알고리즘은 아래의 상황을 가정한다.

- 기지국은 센서들로부터 떨어져 있고 고정되어 있다.
- 네트워크 내의 모든 노드들은 동일한 성질을 가진다.
- 네트워크 내의 모든 노드들의 초기 에너지는 같다.
- 기지국의 에너지는 무한대이다.
- 채널대역은 고정되어 있고, 모든 센서들이 공유한다.
- 채널은 symmetric radio channel이라 가정한다.
- 모든 센서는 수집한 데이터를 고정된 비율로 항상 기지국으로 전송한다.
- 기지국에서는 모든 노드들의 위치좌표와 에너지 상태를 알고 있다.

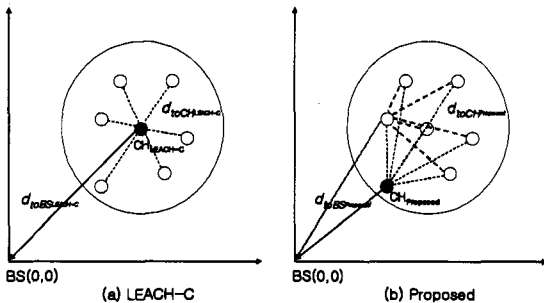


그림 5 데이터 전송 거리 비교

그림 5는 기존의 LEACH-C 알고리즘과 제안된 알고리즘의 데이터 전송 거리를 비교한 것이다. 먼저 기지국에서 클러스터 내부 거리 비용의 합  $\sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH_{LEACH-C}}$ 이 최소값을 갖는 클러스터 헤드( $CH_{LEACH-C}$ )를 선택하고 클러스터 헤드와 기지국간의 거리  $d_{toBS_{LEACH-C}}$ 을 구한다. 클러스터를 형성한 후 각 클러스터에 속해 있는 모든 노드들에 대하여 클러스터 헤드가 되었을 경우의 내부 클러스터 거리 비용  $\sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH_{Proposed}}$ 을 계산한다. 다음으로 모든 노드들에 대하여 기지국간의 거리  $d_{toBS_{Proposed}}$ 을 구한다.

식에 사용된 요소는 <표 1>과 같다.

표 1 식에 사용된 요소

| 요 소                            | 설 명               |
|--------------------------------|-------------------|
| $n_c$                          | 클러스터에 속한 노드들의 수   |
| $\sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH}$ | 클러스터 내부 거리 비용의 합  |
| $d_{toBS}$                     | 클러스터 헤드와 기지국간의 거리 |
| $CH$                           | 클러스터 헤드           |

다음으로 전송되는 전체 거리의 총합을 각각 구한다. 전송되는 전체 거리의 총합은 클러스터 멤버들과 클러스터 헤드와의 거리의 총합과 클러스터 헤드와 기지국간의 거리를 합하면 된다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$dist_{LEACH-C} = \sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH_{LEACH-C}} + d_{toBS_{LEACH-C}} \quad (3)$$

$$dist_{Proposed} = \sum_{i=1}^{n_c} d(i)_{toCH_{Proposed}} + d_{toBS_{Proposed}} \quad (4)$$

마지막으로 (3)과 (4)를 비교하여 더 짧은 거리를 갖는 클러스터 헤드를 선택하고, 클러스터링 한 후 데이터를 주고받는다.

4. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제시한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 NS-2 시뮬레이터[12,13,14]를 이용하였다. 시뮬레이션 환경 변수는 기존의 LEACH-C에서 연구된 값들을 사용하였다. 100m\*100m 네트워크 크기에 100개의 센서 노드들을 임의로 배치한 랜덤 노드들을 10가지 분포에 대하여 실험하였는데, 시뮬레이션 시간은 1000s 동안 하였고 남

아있는 노드 개수가 클러스터의 개수보다 적으면 자동적으로 시뮬레이션을 종료한다. 모든 센서 노드들은 초기에 2J의 에너지를 동일하게 보유하고 있으며, 클러스터의 개수는 LEACH에서 연구된 바와 같은 5%로 하였고, 각 센서 노드들은 500byte의 크기를 갖는 데이터를 생성한다고 가정한다. 기지국의 위치는 (50,150), (50,200), (50,250), (50,300), (50,350), (50,400)으로 변화를 주면서 실험을 하였다. 에너지 효율성 측정 방식은 라이프타임(Lifetime)과 전체 에너지 소비를 측정하였다.

표 2의 실험 결과에서 보듯이 기지국의 위치가 (50,150)일 경우에는 기존의 LEACH-C와 비교하여 평균적으로 약 0.3% 정도 낮은 성능을 보였으나, 기지국의 위치가 (50,200), (50,250), (50,300), (50,350)의 경우에는 LEACH-C 보다 평균적으로 나은 성능을 나타냈다. 특히 (50,300), (50,350) 일 경우에는 기존 LEACH-C 대비 평균 4~5%의 성능향상을 보였다. 기지국의 위치가 (50,400)일 경우에는 성능이 다소 떨어지거나 거의 변화가 없었다.

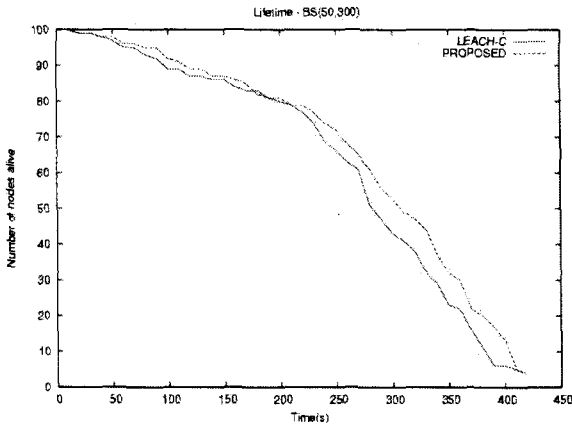


그림 6 기지국이 (50,300)일 경우의 라이프타임

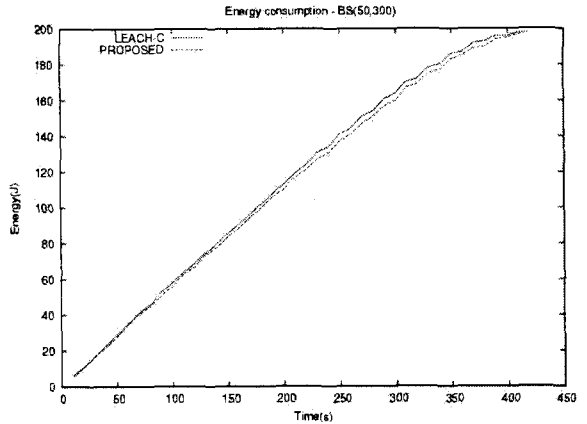


그림 7 기지국이 (50,300)일 경우의 전체 에너지소비

표 2 기지국 위치에 따른 라이프타임 성능

|     | (50,150) | (50,200) | (50,250) | (50,300) | (50,350) | (50,400) |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| #1  | 97.5     | 99.7     | 102.4    | 107.2    | 104.1    | 99.5     |
| #2  | 99.0     | 99.3     | 104.3    | 100.7    | 110.0    | 99.7     |
| #3  | 101.5    | 102.8    | 100.3    | 108.7    | 110.0    | 100.2    |
| #4  | 102.5    | 102.2    | 102.6    | 103.6    | 111.0    | 98.48    |
| #5  | 99.80    | 103.0    | 104.6    | 114.7    | 109.8    | 96.32    |
| #6  | 102.1    | 101.2    | 101.3    | 106.3    | 97.60    | 96.40    |
| #7  | 98.73    | 98.88    | 97.01    | 94.30    | 103.1    | 100.3    |
| #8  | 96.33    | 97.57    | 100.6    | 109.7    | 101.9    | 99.04    |
| #9  | 99.09    | 97.51    | 106.0    | 99.32    | 99.79    | 97.01    |
| #10 | 100.9    | 102.1    | 94.88    | 105.7    | 95.59    | 101.8    |
| 평균  | 99.77    | 100.4    | 101.4    | 105.0    | 104.3    | 98.91    |

표 3 기지국 위치에 따른 에너지소비 성능

|     | (50,150) | (50,200) | (50,250) | (50,300) | (50,350) | (50,400) |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| #1  | 99.96    | 99.29    | 99.79    | 97.92    | 98.62    | 99.65    |
| #2  | 99.47    | 99.63    | 98.44    | 99.35    | 96.93    | 100.1    |
| #3  | 98.37    | 97.15    | 98.64    | 96.72    | 96.66    | 99.44    |
| #4  | 99.01    | 97.92    | 98.34    | 99.62    | 96.59    | 99.27    |
| #5  | 99.23    | 97.42    | 100.2    | 95.00    | 96.06    | 101.2    |
| #6  | 98.35    | 98.64    | 99.39    | 99.01    | 102.9    | 100.1    |
| #7  | 100.7    | 101.2    | 99.62    | 106.8    | 100.6    | 100.0    |
| #8  | 102.3    | 99.98    | 99.46    | 96.23    | 99.91    | 100.0    |
| #9  | 100.1    | 100.4    | 96.41    | 102.6    | 101.5    | 99.81    |
| #10 | 99.34    | 98.95    | 102.3    | 99.23    | 103.6    | 99.77    |
| 평균  | 99.69    | 99.06    | 99.26    | 99.26    | 99.36    | 99.96    |

그림 6은 기지국의 위치가 (50,300)일 경우의 랜덤 노드 분포1에 대하여 라이프타임 성능을 나타낸 것이다. 실험결과 그래프에서 x축은 시간, y축은 살아있는 노드의 개수를 나타낸다. <그림 6>은 기지국의 위치가 (50,300)일 경우의 라이프타임을 나타낸 것이다. LEACH-C와 비교해 보았을 때 약 7.2% 높은 성능을 나타내었다. 이러한 라이프타임 성능을 10개의 랜덤 노드 분포 상태에서 실험하여 평균한 결과를 나타낸 것이 표 2의 결과이다.

그림 7은 기지국의 위치가 (50,300)일 경우의 랜덤 노드 분포1에 대하여 전체 에너지 소비를 나타낸 것이다. 실험결과 그래프에서 x축은 시간, y축은 에너지를 나타낸다. LEACH-C와 비교해 보았을 때 약 2.1% 낮은 에너지 소비를 보여준다. 이러한 에너지 소비 성능을 10개의 랜덤 노드 분포 상태에서 실험한 것이 표 3의 결과이다. 성능지수는  $\frac{\text{PROPOSED}}{\text{LEACH-C}} * 100(\%)$ 로 하였다.

표 3의 실험 결과에서 보듯이 10개의 랜덤 노드 분포에 대하여 평균적으로 LEACH-C와 거의 비슷하거나 약 1%정도 덜 에너지가 소비되었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반 라우팅 프로토콜에 초점을 맞추고 노드의 생존시간을 늘릴 수 있는 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선정 기법을 제안하였다. 기존의 클러스터 기반 알고리즘인 LEACH-C는 클러스터 헤드를 선택할 때 클러스터 내 노드들의 최소 거리 합만을 고려 대상으로 삼았다. 이는 클러스터 내부에서의 에너지 비용은 줄일 수 있겠지만 클러스터 헤드에서 기지국으로 보내는 에너지 비용에 대한 고려는 하지 않고 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 클러스터 헤드와 기지국과의 거리를 고려한 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방식이 기존 방식에 비해 기지국의 위치가 일정 거리 이상으로 멀어질 경우 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었고, 본 연구 결과 클러스터 기반 라우팅 알고리즘에서 클러스터 헤드와 기지국간의 거리를 고려하는 것이 에너지 효율적인 측면에서 영향을 미칠 수 있음을 보여주었다. 향후에는 클러스터 헤드와 기지국간의 거리에 주고받는 데이터양의 요소를 고려하여 에너지 효율성을 측정하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Ian F.Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8 pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] Carlos de Moraes et al., "Mobile Ad-hoc Networking," In 20th Brazilian Symposium on Computer Networks, Short Course. pp.125-186, 2002.
- [3] C. Intanagonwiwat, R. Govindan and D Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks" Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile computing and Networks, Boston, Massachusetts, pp. 56-67, 2000.
- [4] W. R. Heinzelman, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks" Proc. of the 5th Annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, Seattle, WA, pp. 174-185, 1999.
- [5] J. Kulik, W. R. Heinzelman and H. Balakrishnan, "Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks" Wireless Networks, Vol.8, No.2/3, pp. 169-185, 2002.
- [6] Fan Ye, et al., "A scalable solution to minimum cost forwarding in large sensor networks," Proc. Tenth International Conference on Computer Communications and Networks, pp.304-309. 2001.
- [7] D. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences, Jan, 2000.
- [8] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks" Wireless Comm. IEEE, Vol.1, No.4, pp. 660-670, 2002.
- [9] W. B. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks" Ph.D. dissertation, MIT, Cambridge, 2000.
- [10] Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks" Proc. of 15th International Conference on Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2009-2015, 2001.
- [11] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems", Proc. of IEEE Aerospace Conference, pp.1125-1130, 2002.
- [12] K. Fall and K. Varadhan, "ns Notes and Documentation" The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, Dec. 2003.
- [13] UCB/LBNL/VINT, "Network Simulator ns", <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [14] D. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "uAMPS ns Code Extensions"