

# 무선 센서 망에서의 사용자 이동성 지원 라우팅 프로토콜 제안 및 성능분석

최영환<sup>○</sup> 우부재 박수창 진민숙 김상하

충남대학교 컴퓨터공학과

{yhchoi, yufc, winter, badamul}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr

## User Mobility Support and Performance Evaluation in Wireless Sensor Networks

Younghwan Choi<sup>○</sup> Fucal Yu Soochang Park Min-Sook Jin Sang-Ha Kim

Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

### 요 약

무선 센서 망에서 기존에 제안된 이동성 모델에 대한 연구는 크게 4가지로 구분된다: 싱크 이동성, 사용자 이동성, 센서 이동성, 그리고 이벤트 이동성. 기존의 연구들 중에 일부는 싱크 역할에 사용자를 포함한다. 하지만, 최초 정보요구 및 최종 정보획득의 주체로 사용자는 싱크의 역할에서 독립된 개체로 존재할 수 있다. 이를 통해, 싱크는 기존 연구된 정적 혹은 동적 기반 정보 근접 프로토콜을 모두 수용할 수 있으며, 이동 중인 사용자에게 수집된 정보를 전달하면 된다. 본 논문은 이러한 사용자 이동성 보장 프로토콜을 제안하고 컴퓨터 모의실험을 통해 그의 성능을 평가한다.

### 1. 서 론

무선 센서 망을 구성하는 각 개체(싱크, 센서, 그리고 이벤트)들은 독립적인 형태의 이동성을 제공한다. 기존 연구들은 그것을 센서 노드의 이동성, 싱크의 이동성, 그리고 이벤트의 이동성으로 분류한다[2]. 그리고, 싱크의 역할에서 최초 정보 요구 및 최종 정보 획득하는 개체로써 사용자를 싱크로부터 독립하고 그의 이동성에 대한 연구발표 되어왔다[3][4]. L. F. Akyildiz *et al.*[1]에 의하면, 외부 망에 연결된 사용자 노드는 인터넷을 통해 원하는 정보를 요구하고, 그로 인해 수집된 정보는 싱크를 통해 다시 사용자 노드에게 송신된다. 반면, 사용자 노드는 센서 노드들이 분포된 망 내부로 이동하여 정보를 요구할 수도 있다. 만약, 그가 기반 망과 통신이 불가능한 센서 망 내부로 이동하면, 센서 노드들의 다중 홉 무선 통신을 통해 싱크와 정보를 송수신 해야 한다.

센서 망 내부의 사용자 노드 이동성을 보장하기 위한 데이터 수집과정은 그의 기능 형태에 따라 두 가지 모델로 구분된다. 하나는 사용자 노드가 싱크의 기능을 포함하지 않는 모델이고, 다른 하나는 사용자 노드가 싱크의 기능을 포함하는 모델이다. 후자는 기존 연구된 싱크의 이동성 모델[5][6]과 거의 유사하다. 전자는 반드시 망 내부에 위치한 근접한 싱크에게 의존하여 정보를 요구해야 한다. 반면, 후자는 싱크의 존재유무와 관련 없이 센서 노드들과의 다중 홉 무선 통신을 통해 직접 필요한 데이터를 수집해야 한다. 싱크의 이동은 전자에 비해 망 내부에 분포된 센서 노드들의 보다 균등한 에너지 사용을 유도하여, 핫스팟(hotspot)

문제점을 보완할 수 있다[3]. 그러나, 싱크 이동성 모델은 응용에 따라서 싱크와 센서 노드들 간에 데이터 수집을 위해 연구된 기존 라우팅 알고리즘들 (예를 들어, Directed Diffusion[7], Rumor Routing[8], Magnetic Diffusion[9], ACQUIRE[10] 등)을 변형없이 적용하기 어렵다. 다시 말해, 그들은 고정싱크 구조를 기반으로 하기 때문에 싱크의 이동성을 지원하지 못한다. 그뿐 아니라, 사용자 노드와 정보 송수신을 위한 기반 망과의 연결성도 항상 보장할 수 없으므로, 센서 노드와 정보 요구자를 위한 싱크의 게이트웨이(gateway) 기능이 완벽하게 보장될 수 없다. 한편, 전자는 전형적인 무선 센서 망의 구조를 기반으로 하기 때문에, 기존의 연구된 모든 라우팅 알고리즘들이 그대로 활용되고 싱크의 게이트웨이 기능도 가능하다. 또한, 본 논문에서 제안하는 임시싱크 기법을 사용하면, 사용자 노드의 이동성 모델도 망 내부의 센서 노드들의 에너지 소비를 균등화 할 수 있다.

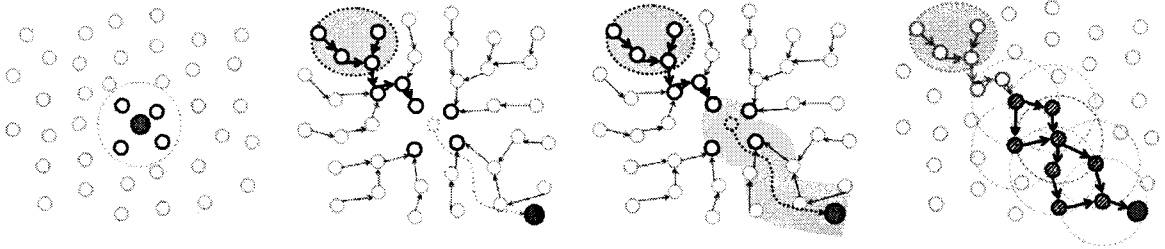
본 논문은 보다 현실적인 이동성 모델로써 사용자 노드의 이동성 지원을 위한 라우팅 알고리즘을 제안한다.

논문 이하는 다음과 같이 구성된다. 2장에서 사용자 이동성 보장 라우팅 프로토콜을 제안하고, 3장에서는 제안 프로토콜의 성능 우수성을 입증한다. 마지막으로 4장에서 향후 연구 방안과 함께 결론을 맺는다.

### 2. 사용자 이동성 보장 라우팅 프로토콜

#### 2.1 프로토콜 설계 원칙

무선 센서 망은 브로드캐스트(broadcast) 매체를



(a) 다중 임시 싱크 선정 (b) 데이터수집 및 사용자 노드 이동 (c) 센서노드들의 캐쉬 테이블에 정보 및 타이머 저장 (d) 이동 사용자 노드에게 수집된 데이터 전달  
그림1. 사용자 노드의 이동성 보장 라우팅 프로토콜 절차

통해 데이터기반(data-centric) 라우팅을 사용한다. 그러므로, 본 논문에서 제안하는 사용자 이동성 보장 라우팅 프로토콜도 그 원칙을 기반한다. 또한, 데이터 링크(link) 계층에서는 이웃 센서노드들의 링크주소를 통해 데이터 전달이 가능하다.

사용자 이동성 보장 라우팅 프로토콜은 싱크로부터 이동 사용자 노드까지 데이터를 전송한다. 이때, 센서 망의 기존 고정싱크를 통해 사용자노드까지 데이터를 전달받으면, 핫스팟(hotspot) 문제점으로 인해 고정싱크 이웃 센서노드들의 에너지 소모를 증가시킨다. 결국, 센서 망 내의 불균형적인 에너지 소모는 망의 수명을 단축시킨다. 그뿐만 아니라, 만약 고정싱크에 장애가 발생할 경우, 더 이상 데이터를 전달 받지 못한다. 그러므로, 본 논문은 사용자 노드에 의해 선택된 다중 임시싱크들을 이용하여 이동성 보장 라우팅 프로토콜을 설계한다. H. Karl *et al.*[2]에 따르면, 무선 센서 노드들 역시 일시적으로 싱크와 같은 기능을 할 수 있다. 그러므로, 센서노드들을 이용하여 다중 임시싱크를 이용하면, 앞서 제사한 문제점들을 개선할 수 있다.

## 2.2 프로토콜 동작과정

본 논문에서 제안하는 사용자 이동성 보장 라우팅 프로토콜은 다음의 4단계로 동작한다.

### 2.2.1 임시싱크 선정 단계

사용자 노드는 필요한 정보를 요청하기 위해 자신을 중심으로 N개의 임시싱크들을 선택한다. 이를 위해, 사용자 노드는 싱크 요청 메시지를 전송 반경 내에 단일 홉 브로드캐스팅 한다. 그 메시지를 받은 센서 노드들은 자신의 에너지 잔량을 응답 메시지에 포함하여 사용자 노드에게 응답한다. 사용자 노드는 그들 중 비교적 에너지가 많은 N개의 노드를 임시싱크로 선정한다. 이때, 에너지를 고려하여 임시싱크들은 선정하는 것은 센서노드들의 에너지 소비가 편중되지 않도록 하기 위함이다. 그런 편중된 에너지 소비는 홉 문제점(hole problems)[15]을 야기할

수 있다. 사용자 노드는 선정된 임시싱크들에게 정보 요청(혹은 질의) 메시지를 브로드캐스팅 한다. 그 정보요청 메시지를 받은 센서 노드들은 임시 싱크의 역할을 시작한다. 그 N개의 임시 싱크들은 그 정보 요청 메시지 ID와 그 정보를 요청한 사용자 노드의 ID를 저장한다.

### 2.2.2 질의(query) 및 데이터 수집 단계

각각의 임시 싱크들은 센서 노드들에게 데이터 질의메시지를 통해 데이터를 요청하고, 원하는 데이터를 획득한다. 이때, 기존의 데이터 수집을 위해 라우팅 프로토콜들[6, 7]은 변형 없이 그대로 활용될 수 있다. 단, 질의 메시지를 망 전체로 전달할 때, N개의 임시싱크들에 의해 플러딩(flooding)을 통해 전달되는 그 메시지들은 같은 종류이기 때문에 센서노드들에게 중복으로 전송되지 않는다. 즉, N개의 임시싱크들을 중심으로 각각 가상 클러스터가 형성된다.

데이터 질의 및 수집 방법은 기존의 라우팅 프로토콜을 그대로 활용하기 때문에 본 논문에서는 더 이상 세부적으로 기술하지 않는다.

### 2.2.3 사용자 노드의 이동경로상 라우팅 정보설정 단계

사용자 노드는 위의 1단계가 끝나면 자유롭게 이동할 수 있다. 1단계에서 정보 요청 메시지를 송신한 사용자 노드는 <정보 요청 메시지 ID, 사용자 노드 ID>를 비콘(beacon)에 담아 방송하면서 이동한다. 정보요청 메시지 ID는 선정된 임시싱크들에게 전송했던 그 요청메시지의 식별 정보이며, 사용자 ID는 그 메시지를 만든 사용자 노드의 식별 정보이다. 그 비콘 메시지를 전송 받은 센서 노드들은 캐쉬 테이블(cache table)에 그 정보들 및 그들을 위한 타이머(timer)를 설정한다. 캐쉬 테이블에 저장되는 정보들은 설정된 타이머 시간 동안만 유효하며 그 이후에는 자동 삭제된다. 그 캐쉬 테이블 정보들은 사용자 노드가 이동한 경로의 흔적을 의미한다. 그 들은 싱크로부터 사용자 노드의 이동 흔적을 따라서 정보를 전달(forwarding)할 때 사용된다. 만약, 단일 사용자 노드가 다중의 정보를 요청하거나

다중의 사용자노드들이 다중의 정보를 요청한다고 하더라도, 캐쉬 테이블에 저장되는 정보들은 정보 요청 메시지 ID와 사용자 노드 ID를 통해 모두 유일하게 식별이 가능하다. 그러므로, 다중의 사용자 노드들의 이동성을 충분히 보장할 수 있다.

### 2.2.4 데이터 포워딩 단계

임시 싱크들은 2단계를 통해 수집된 정보를 이동 중인 사용자 노드에게 전달한다. 우선, 임시싱크들은 <정보 요청 메시지 ID, 사용자 노드ID, 수집된 정보>를 패킷(packet)에 담아 브로드캐스팅 한다. 이때, 임시 싱크로부터 이동한 사용자 노드까지의 경로 상에 존재하는 센서 노드들은 모두 캐쉬 테이블에 정보요청메시지ID와 사용자노드 ID를 이미 가진다. 임시 싱크로부터 그 패킷(packet)을 받은 센서 노드들은 패킷 내의 <정보 요청 메시지ID, 사용자 노드 ID>와 캐쉬 테이블에 저장된 <정보 요청 메시지ID, 사용자 노드 ID>를 비교한다. 그 두ID들이 서로 일치하면, 센서노드는 그 전송 받은 패킷을 다시 브로드캐스팅 한다. 반대로, 일치하지 않으면, 더 이상 받은 패킷을 브로드캐스팅하지 않는다. 이러한 브로드캐스팅 과정이 반복되면, 그 패킷은 사용자 노드가 이동한 경로를 따라 계속 전달된다. 결국, 이동 중인 사용자 노드는 그 패킷을 전달 받게 된다.

## 3. 성능 평가 분석

본 장은 사용자 이동성 모델에서 이동성 지원 라우팅 프로토콜의 성능평가를 위해 다음 사항을 검증한다. 이미 발표된 비슷한 사용자 이동성 지원 라우팅 모델들[3][4]에 비해 본 논문이 제안한 라우팅 방안의 성능을 평가한다.

### 3.1 실험 환경 및 시나리오

성능평가를 위한 도구는 *QualNet* v3.8[11]을 활용하며, 실험요소들은 다음 표1을 기반으로 한다.

구분	값
망 크기	1000m x 1000m
노드분포밀도	200 nodes/km <sup>2</sup>
노드 배치	Uniform and random deployment
MAC 프로토콜	IEEE 802.11 DCF
전송반경	Uniform 50m
실험시간	300 seconds
이동성 모델	None and random way point
노드 이동 속도	10, 20, 30, and 40 m/s

표1. 실험 환경 요소

기본적인 실험 시나리오는 다음과 같다. 1km<sup>2</sup>면적 내 30부터 210개까지 다양한 센서 노드 분포 밀도를 갖는 센서 망에서 싱크 혹은 사용자는 원하는 정보를

획득하기 위해 질의한다. 그 후, 감지된 정보는 고정 혹은 이동 싱크, 그리고 이동 사용자에게 전달된다. 한번의 질의 후 정보가 싱크 혹은 사용자까지 전달되는 주기를 1회로 하고, 매회 측정기준에 따라 성능을 측정한다.

### 3.2 성능 평가 요소

E. Lee *et al.*[16]과 S. Park *et al.*[17]에 의해서 이미 사용자 이동성 지원 라우팅 모델이 제시되었다. [16]은 다중 정적 싱크를 통해서 사용자 이동성 보장 라우팅 모델이고, [17]은 단일임시싱크를 통한 사용자 이동성 보장 라우팅 모델이다. 본 논문은 그 두 가지 특징, 즉 다중 정적 싱크 및 임시 싱크를 모두 기반으로 한다. 그뿐만 아니라, 보다 단순하고 부하가 적은 캐쉬 테이블을 이용하는 새로운 라우팅 기법을 이용한다. 센서 망에서 라우팅 할 문제점[15]은 망의 기능에 장애를 일으킬 수도 있기 때문에 망 내 센서 노드들은 균등하게 에너지를 소비해야 한다. 그래서 [16]의 기본형태인 단일 정적 싱크를 이용한 라우팅 모델, [17]의 단일 임시 싱크를 이용한 라우팅 모델, 그리고 본 논문인 제안한 다중 임시 싱크기반의 캐쉬 테이블 기법을 이용한 라우팅 모델들 사이의 균등한 에너지 소비 비율, 데이터 전송률, 그리고 시간지연의 세 가지 요소를 통해 성능을 비교한다.

#### 3.2.1 에너지 소비율

에너지 소비율은 다음 식(1)과 같이 구해진다.

$$R_{EC\_NODES}(n) = \frac{N_{EC\_NODES}(n)}{N_{T\_NODES}}, \quad (1)$$

즉, 에너지를 소비하는 노드의 개수( $N_{EC\_NODES}$ )와 센서 망 내 존재하는 총 센서 노드 개수( $N_{T\_NODES}$ )의 비율로써, 식(1)에서  $n$ 는 데이터가 수집되는 주기 순서 이다.

#### 3.2.2 데이터 전송률

데이터 수집 주기당 데이터 전송률( $R_{DELIVERY}(n)$ )은 망 전체에서 총 발생하는 패킷의 총개수( $\sum_m N_{TT\_PKTS}^m(n)$ )에서 두 센서 사이에서 데이터

전송 시 발생하는 패킷손실들의 총합( $\sum_k N_{ST\_PKTS}^k(n)$ )이 차지하는 비율이다. 즉,

$$R_{DELIVERY}(n) = \frac{f_{SUCCESS}(n) \times \sum_k N_{ST\_PKTS}^k(n)}{\sum_m N_{TT\_PKTS}^m(n)}. \quad (2)$$

하지만, 사용자까지 데이터가 전달되지 않을 경우( $f_{SUCCESS}(n)=0$ ),  $R_{DEL}(n)=0$ 이다.

3.2.3 시간지연

마지막 측정 요소로써, 지연시간( $T_{DELAY}$ )은 다음 식(3)과 같이 계산된다.

$$T_{DELAY}(n) = T_{SENSOR\_SINK}(n) + T_{SINK\_INQUIRER}(n) \quad (3)$$

즉, 센서로부터 데이터를 수집하는 동안 걸리는 시간( $T_{SENSOR\_SINK}(n)$ )과 수집된 정보를 싱크가 사용자에게 전달하는데 필요한 시간( $T_{SINK\_INQUIRER}(n)$ )의 합이다. 하지만,  $T_{DELAY}(n)$ 는 사용자에게 데이터가 전달될 경우, 한 노드에서 다른 노드로 데이터가 전송되는데 소요된 시간( $t$ )의 총합과 같다. 그래서 그는 다음 식(4)와 같이 구해질 수도 있다.

$$T_{DELAY}(n) = t \sum_k N_{ST\_PKTS}^k(n) \quad (4)$$

3.3 실험 결과 분석

그림2과 그림3의 그래프는 300초의 실험시간 동안 센서 노드의 총 에너지 소비 비율 및 데이터전송률의 변화를 보여준다.

그림2에서 단일 정적 싱크 모델은 에너지를 소비한 노드의 비율이 약 150초 이후에 급격히 감소한다. 그에 반해 단일 임시싱크 및 본 논문이 제안한 모델의 에너지를 소비하는 노드의 비율은 비교적 조금씩 감소한다. 이는 단일 정적 싱크 주변 노드들의 에너지가 전체 노드들에 비해 상당히 많이 소비되기 때문이다. 결국, 약120초 정도에 단일 정적 싱크 주변 노드들은 에너지 부족으로 기능을 상실하여, 그 싱크와 전체 망과의 통신을 두절시킨다. 그리하여, 그 이후에는 아무런 에너지 소비가 없다. 그리고, 제안한 라우팅 모델은 캐쉬 테이블 및 다중 임시 싱크 기법을 이용하기 때문에 단일 임시 싱크보다 적은 노드들의 에너지를 소비한다. 이는 라우팅에 참여하는 노드들이 적고 비교적 라우팅 구조가 단순하기 때문이다.

그림3에서 단일 정적 싱크 모델은 150초 이후 에너지를 소비하는 노드의 비율이 감소함에 따라서 데이터 전송률이 급격히 감소한다. 200초 이후 망의 기능을 완전히 상실한 이후에는 싱크와 망 내 센서 노드들 간의 통신이 두절되기 때문에 아무런 데이터 전송이 일어나지 않는다. 그에 비해, 단일 임시 싱크 및 본 논문이 제안한 모델은 실험 시간 동안 데이터 통신이 계속 이루어짐을 알 수 있다. 게다가 단일 임시 싱크 모델에 비해 본 논문이 제안한 모델은 평균 약6.5% 높은 전송률을 보인다.

그림 4는 시뮬레이션 시간 동안 데이터 수집 주기 별 소스로부터 사용자까지 데이터 전달에 필요한 시간을 보여준다. 다중 싱크 기법은 비교적 지연시간을 줄이는데 효과적이다. 이는 단일 싱크가 비교적 보다 많은 패킷 손실을 유발하기 때문에 시간지연에 있어 다중 싱크가 우수한 성능을 보인다. 그림 4에서 보듯이, 단일 임시 싱크 기법은 25에서 32주기 사이에서 제안

방안과 다중 싱크 기법에 비해 2배 이상의 소요시간을 필요로 한다. 32주기 이후에는 더 이상 데이터를 전송 받지 못하기 때문에 데이터 전송을 위한 시간이 급격히 상승한다.

즉, 본 논문이 제안한 모델은 기존에 제안된 모델에 비해 핫스팟 혹은 라우팅 홀 문제점들을 개선할 수 있다. 그뿐만 아니라, 망의 수명을 연장하고, 데이터

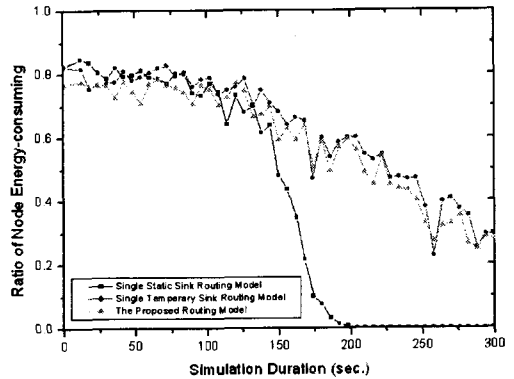


그림 2. 총 에너지 소비 비율

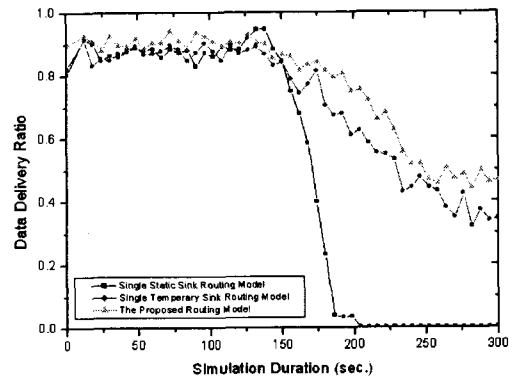


그림 3. 데이터 전송률

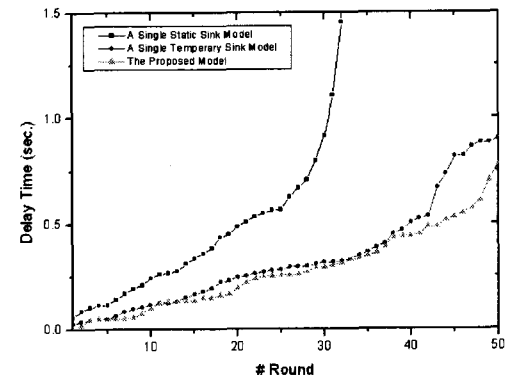


그림 4. 지연시간

전송률에 있어서도 비교적 성능이 우수하다.

#### 4. 결 론

본 논문은 전형적인 무선 센서 망을 기반으로 하는 사용자 이동성 지원 프로토콜을 제안하였다. 사용자 이동성 모델은 기존에 연구된 라우팅 프로토콜들을 그대로 활용할 수 있다. 그리고, 그의 이동성 보장 라우팅 프로토콜은 다중 임시싱크를 이용하기 때문에, 핫스팟 문제점등을 비교적 개선할 수 있을 뿐만 아니라, 네트워크 장애에도 강건하다. 본 논문에서 제안한 사용자 이동성 모델 및 보장 라우팅 프로토콜은 다음 사항에 있어 지속적인 연구를 요구한다. 제안한 프로토콜의 데이터 포워딩 단계에서 발생할 수 있는 노드들간의 불균형적 에너지 소모를 개선되어야 한다. 그리고, 기존 싱크 이동성 모델과의 성능을 비교하기 위한 실험을 통해 사용자 이동성 모델이 갖는 장점 혹은 보다 현실적인 응용 가능성을 연구할 필요가 있다.

#### 5. 참 고 문 헌

- [1] L. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, August 2002, pp.102-114.
- [2] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM Mobicom, September 2002, pp.148-159.
- [3] E. Lee, Y. Choi, S. Park, D. Lee, and S. H. Kim, "A Novel Mechanism to Support Mobility of Users in Wireless Sensor Networks Based on Multiple Static Sinks," IEEE CCNC, January 2007.
- [4] S. Park, D. Lee, E. Lee, Y. Choi, and S. H. Kim, "A Communication Architecture to Reflect User Mobility Issue in Wireless Sensor Fields," IEEE WCNC, March 2007.
- [5] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," ACM Mobicom, September 2002, pp.148-159.
- [6] Z. Zhou, X. Xiang, and X. Wang, "An Energy-Efficient Data-Dissemination Protocol in Wireless Sensor Networks," IEEE WoWMoM, Jun. 2006.
- [7] C. Intanagonwiwat *et al.*, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, Feb. 2003, pp.2-16.
- [8] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," ACM WSNA, September 2002, pp.22-31.
- [9] H.-J. Huang, T.-H. Chang, S.-Y. Hu, and P. Huang, "Magnetic Diffusion: Disseminating Mission-Critical Data for Dynamic Sensor Networks," ACM MSWiM, October 2005, pp. 134-141.
- [10] A. Singh, R. Nowak, and P. Ramanathan, "Active Learning for Adaptive Mobile Sensing Networks," ACM/IEEE IPSN, April 2006, pp.60-68.
- [11] Scalable Network Technologies, *QualNet*, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>.