

# 무선 센서 망에서의 이동성 환경 연구 및 새로운 정보 요구자 이동성 모델 제안

최영환<sup>o</sup> 박수창 이의신 우부재 김상하

충남대학교 컴퓨터공학과

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

## Analysis of Mobility Models and Novel Inquirer Mobility in Wireless Sensor Networks

Younghwan Choi<sup>o</sup> Soochang Park Euisin Lee Fucai Yu Sang-Ha Kim

Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

### 요 약

전형적인 무선 센서망은 센서들과 싱크로 구성된다. 그리고 사용자는 싱크로부터 원하는 정보를 요구 혹은 획득한다. 그 개체들은 무선 센서 망에서 이동성 환경을 각각 독립적으로 제공할 수 있다. 그에 비해, 기존 연구들은 센서 노드, 싱크, 그리고 이벤트 이동성 만을 고려한다. 그러나, 또 하나의 이동성을 제공하는 가능한 개체로서 정보 요구자(사용자)가 있다. 정보 요구자 노드는 센서 망 내부에서 이동하면서 싱크에게 원하는 정보를 요구할 수 있다. 본 논문은 기존에 제안된 이동성 모델들을 분석하고, 새로운 이동성 모델인 정보 요구자 이동성 모델을 제안한다.

### 1. 서 론

전형적인 무선 센서망은 센서들과 싱크로 구성된다. 그리고 정보 요구자(사용자)는 싱크와 연결성을 가지며, 그로부터 원하는 정보를 송수신 한다[1]. 싱크는 그런 요구에 대한 정보를 제공하기 위해, 분산된 센서 노드들로부터 감지된 데이터를 수집한다. 이동성을 가진 정보 요구자 노드는 센서 망 외부 혹은 내부에 존재할 수 있다. 그는 센서 망 외부에 위치할 경우, 기반 망(예를 들어, 인터넷)을 통해 싱크와 연결된다. 하지만, 정보 요구자는 센서 노드들의 분포된 망 내부에 위치할 경우, 싱크와의 연결성을 갖기 위해 애드혹(ad hoc) 망과 같이 그들 사이에 분포된 센서 노드들의 다중 홉 무선통신을 활용해야 한다. 하지만, 센서 망은 애드혹 망과는 차별적인 구조적 제약사항들을 갖는다. [1]과 [2]에 따르면, 센서 노드들은 제한된 전력을 공급 받으며, 계산 능력 및 메모리에도 한계를 갖는다. 그러므로, 센서 노드들은 에너지 비용을 절감하기 위해 활성상태(active state) 및 비활성상태(inactive state 혹은 sleep mode)를 가진다. 또한, 많은 센서 노드들은 과부하를 줄이기 위해 공용 망 주소를 할당 받기 어려우며, 브로드캐스트 데이터 통신을 주로 사용한다. 즉, 애드 혹 망의 주소기반(id-centric) 라우팅 보다는 데이터기반(data-centric) 라우팅 기법이 활용되어야 한다.

센서 망을 구성하는 각 개체들은 독립적인 형태의 이동성을 제공한다. 기존 연구들은 그것을 센서 노드의 이동성, 싱크의 이동성, 그리고 이벤트(혹은 감지대상)의 이동성으로만 분류한다[2]. 하지만, 본

논문에서는 정보 요구자 노드의 이동성을 센서 망에서 제공되는 이동성의 또 다른 종류로서 추가적으로 제시한다. L. F. Akyildiz *et al.*[1]에 의하면, 외부 망에 연결된 정보 요구자 노드는 인터넷을 통해 원하는 정보를 요구하고, 그로 인해 수집된 정보는 싱크를 통해 다시 정보 요구자 노드에게 송신된다. 반면, 정보 요구자 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 정보 요구자 노드 이동성을 보장하기 위한 데이터 수집과정은 그의 기능 형태에 따라 두 가지 모델로 구분된다. 하나는 정보 요구자 노드가 싱크의 기능을 포함하지 않는 모델이고, 다른 하나는 정보 요구자 노드가 싱크의 기능을 포함하는 모델이다. 후자는 기존 연구된 싱크의 이동성 모델[3, 4, 5]과 거의 유사하다. 전자는 반드시 망 내부에 위치한 근접한 싱크에게 의존하여 정보를 요구해야 한다. 반면, 후자는 싱크의 존재유무와 관련 없이 센서 노드들과의 다중 홉 무선통신을 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[6], Rumor Routing[7], Magnetic Diffusion[14] 등)을 변형없이 적용하기 어렵다. 다시 말해, 그들은 고정싱크 구조를

기반으로 하기 때문에 싱크의 이동성을 지원하지 못한다. 그뿐 아니라, 정보 요구자 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, 정보 요구자 노드의 이동성 모델도 망 내부의 센서 노드들의 에너지 소비를 균등화 할 수 있다.

싱크의 이동성은 이론적으로 가능한 모델이지만, 앞서 제시한 호환성 문제를 갖기 때문에 현실적으로 응용이 제한적이고 쉽지 않은 모델이라고 할 수 있다. 다시 말해, 센서 망에서의 이동성 모델은 전형적인 망의 구조 및 기능에 기반하여야 하며, 현실적인 이동성 모델 및 지원방안을 위한 연구가 필요하다.

본 논문은 보다 현실적인 이동성 모델로써 정보 요구자 노드의 이동성을 추가적으로 제안한다. 이에 앞서, 센서 망에서 제공할 수 있는 모든 이동성 모델을 일반화하여 그들 각각의 특징들을 분석한다. 그리고, 새로 제안한 정보 요구자 노드의 이동성을 위한 망 구성 및 구조에 대한 특징들을 연구하고, 그의 이동성 지원을 위한 알고리즘을 제안한다.

논문 이하는 다음과 같이 구성된다. 2장에서 센서 망에서의 이동성 모델 분류를 통해 일반화하고, 3장에서는 새로 제안한 정보 요구자 이동성 모델, 그에 대한 요구사항, 특징들을 분석하고, 4 장에서 향후 연구 방안과 함께 결론을 맺는다.

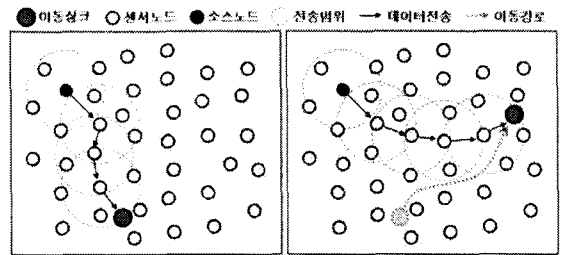
## 2. 무선 센서 망에서 이동성 모델에 대한 분석

센서 망은 애드 혹 망이 동종 이동노드들로만 구성되는 것에 비해 센서망은 싱크와 센서노드들과 같이 이종노드들로 구성된다. 그러므로 이동성 모델이 다양하다. 그리하여, 본 장은 센서 망을 구성하는 개체들의 이동성을 기반으로 모델을 일반화 하고, 이를 위해 개체 별 이동성 환경 및 특징들을 분석한다. 그런 분석은 센서 망에서의 이동성에 대한 기존 연구들을 기반으로 한다.

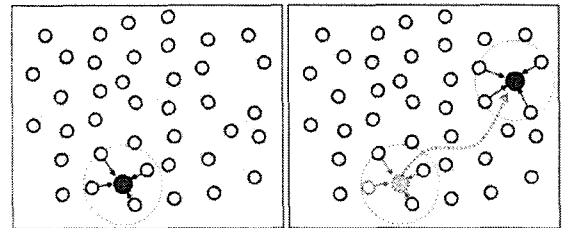
### 2.1 싱크(sink) 이동성

이동 싱크(혹은 Base Station; BS)는 그의 기능을 수행하는 동시에 자신의 위치를 변경할 수 있다. 그리고, 센서로부터 감지된 데이터는 센서노드들의 장기간 버퍼링(buffering)없이 이동 싱크에게 전달된다[6](그림1(a)). 예를 들면, 센서 노드들이 배치된 건물 내에서 이동하는 사용자는 PDA를 통해 정보를 요구하고, 수집한다[2].

싱크의 이동성은 센서 망의 에너지 소비를 균등화



(a) 싱크이동성 및 이동 지원 데이터 전달



(b) 데이터 콜렉터 이동성  
그림1. 싱크의 이동성 모델

하도록 유도한다[3, 6]. 분포된 센서 노드들로부터 감지된 데이터는 중간 센서노드들의 다중 홉 통신을 통해 싱크까지 전달된다. 만약 싱크가 고정된다면, 싱크에 근접한 중간 센서 노드들은 근접하지 않은 노드들에 비해 많은 데이터 전달(forwarding)을 한다. 그러므로, 전송을 위한 에너지 소비가 더 큰 근접한 노드들은 수명이 짧아 더 이상 데이터 전달을 하지 못하기 때문에 센서 망의 기능을 마비시킬 수 있다. 이와 같은 현상을 핫스팟(hotspot) 문제라고 한다[3]. 반면, 이동 싱크는 위치를 변경하기 때문에, 싱크로부터 근접한 노드들도 변경된다. 비교적 그런 핫스팟 문제점은 개선될 수 있다.

기존 연구들 중 A. Kansal *et al.*[8]은 싱크의 기능을 가진 데이터 콜렉터(Data Collector)를 이용하여 그의 이동성을 제시한다. 데이터 콜렉터는 센서 노드들에 의해 감지된 데이터를 수집하기 위해 센서 노드들을 직접 방문한다. 이때, 데이터 콜렉터와 센서 노드들은 단일 홉 통신을 통해 데이터를 송수신 한다. 그래서, 데이터 콜렉터의 이동성은 싱크와 센서노드들 간의 연결성을 보장한다. 다시 말해, 다중 홉 통신 혹은 넓은 전파반경을 통해 그 둘간의 연결성을 보장하기 보다는 데이터 콜렉터가 직접 방문해서 데이터를 수집하는 것이 에너지 비용이 적다[8].(그림1(b))

### 2.2 센서 노드(sensor node) 이동성

L. F. Akyildiz *et al.*[1]은 응용에 따라 센서 노드들이 스스로 움직이기 위해 기동력을 가질 수도 있다고 제안한다. 하지만, 현실적으로 센서 노드는 로봇, 자동차, 동물과 같이 기동력을 갖는 개체에 의존하여 이동성을 갖는다[2, 9]. 센서 노드의 이동성에 대한 또

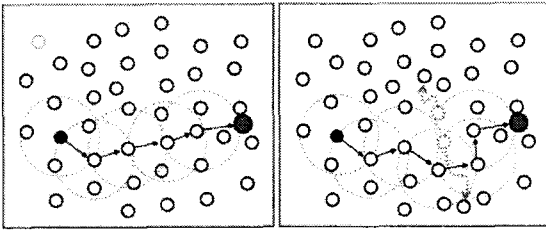


그림2. 센서노드 이동에 의한 데이터전달 경로 변화

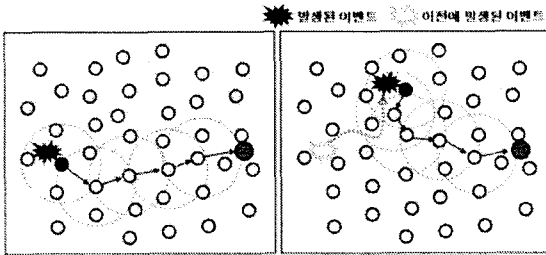


그림3. 이벤트 이동에 의한 데이터전달 경로 변화

다른 예로써, 물속에 분포되는 센서 망이 제안되었다[10]. 즉, 센서 노드의 이동은 물의 흐름에 의존한다. 센서 노드가 다량으로 분포되는 작은 비용 소형 장치로써, 에너지공급, 계산, 통신 및 저장능력에 제한적인 특성을 가짐을 고려하면, 그들은 스스로 기동력을 현실적으로 갖기 어렵다.

센서 노드의 이동성은 이동성과 기능 유지에 필요한 에너지비용 사이에 모순적 특성을 갖는다[2,11,12]. 그림 2과 같이, 센서노드들의 이동은 노드들간의 통신 링크(link)의 연결성을 변화시므로, 노드들의 이동형태에 따라 그들간의 통신경로는 계속 갱신되어야 한다[11]. 그런 연결성 변화는 싱크와 센서 노드들간의 질의(query) 및 응답 시 데이터 전달에 소요되는 지연시간 및 싱크까지 전달되는 감지된 정보의 정확성에 영향을 준다[12]. 또한, 센서 노드들의 이동을 감지하기 위해 주기적인 처리가 필요하다. 다시 말하면, 이동노드들은 자신의 위치를 파악하기 위해 항상 활성상태가 되거나 이동빈도에 따라 비활성상태를 갖기 어려울 수도 있다. 그 뿐만 아니라, 주변노드의 이동 감지를 위해 주기적인 메시지(message)교환도 필요하다. 즉, 노드이동의 빈도가 증가하면, 그에 따른 에너지 소모도 증가한다. 그로 인해, 센서 망의 수명은 단축될 수 있다.

### 2.3 이벤트(event) 이동성

이벤트나 개체 추적과 같은 응용환경에서 감지될 이벤트나 추적되는 대상의 이동은 가능하다. 센서 노드들은 제한된 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 비활성상태를 갖는다. 하지만, 감지될 이벤트 혹은 대상이 그들의 감지 범위 내로 이동하면, 그 센서

노드들은 활성상태로 동작하여야 한다. 이와 같이 이동하는 대상에 따라 노드들의 활성 구역이 이동한다. A. Cerpa *et al.*은 그의 이동성 모델로써 Frisbee[13]을 제안한다. 그 연구의 목적은 노드들의 에너지 소모 최소화를 통한 네트워크 수명 연장이다.

이벤트 이동성을 보장하기 위한 프로토콜(protocol)들은 다음 두 가지 사항들을 고려해야 한다. 하나는 이동하는 대상의 이동방향성 예측과 센서 노드들간의 동기화이다. 추적 대상의 이동성을 예측하여 이동 경로상의 센서 노드들을 미리 활성상태로 동작시켜야 한다. 이를 위해, 노드들의 동기화 기법이 필요하다. 또 하나의 고려사항은 그림 3와 같이, 감지된 데이터를 센서 노드들로부터 싱크까지 전달하기 위한 라우팅 기법이다. 추적 대상의 이동 경로에 따라 이벤트가 감지되는 노드들은 다를 수 있다. 만약, 싱크까지 감지된 데이터 전달을 위해 미리 설정된 라우팅 경로를 이용한다면, 계속 그 라우팅 경로도 계속 변경되어야 한다. 그러므로, 이벤트 이동성을 보장하기 위한 통신 프로토콜 설계는 다른 형태의 이동성 모델에 비해 쉽지 않다.

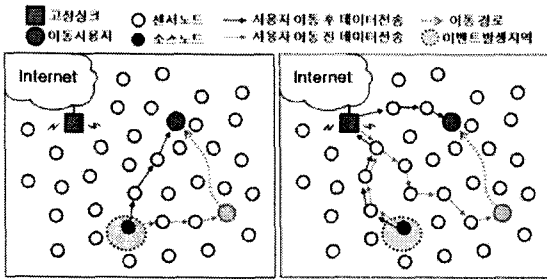
### 3. 정보 요구자(Inquirer) 이동성 모델 제안

본 장은 앞서 분석한 세가지 이동성 모델들 이외에 가능한 모델인 정보 요구자 노드 이동성을 분석한다. 또한, 그의 이동성 정의 및 특징들을 보다 구체화하여 기술한다.

#### 3.1 정보 요구자 노드(inquirer node) 이동성 정의

센서 망에서의 사용자(정보 요구자)는 원하는 정보를 최초로 요구하는 개체이다. PDA와 휴대폰과 같은 이동 단말기를 가진 정보 요구자는 센서 노드들이 분포된 빌딩 안에서 어디든지 원하는 장소로 이동할 수 있으며, 필요한 정보를 언제든지 요구할 수 있다. 그런 정보 요구자가 센서 망 외부에 위치할 경우에는, 센서 망과 정보 요구자를 연결하는 기반 망을 통해 정보를 요구할 수 있다. 하지만, 정보 요구자가 정보를 요구했을 때, 이동으로 인해 그 기반 망으로 연결이 불가능할 수도 있다. 이때, 정보 요구자는 그 기반 망을 통해 필요한 정보를 획득하기 어렵다. 비록, 몇 가지 제약사항들은 존재하지만, 동일한 상황에서 정보 요구자는 센서 망 내에 분포된 센서노드들과 직접 통신하여 정보를 요구하고 획득할 수 있다. 그래서, 본 논문에서 제안하는 정보 요구자 이동성 모델의 기본 개념은 다음과 같이 정의된다. 정보 요구자는 이동 단말 노드를 휴대하고, 센서 노드들이 분포된 망 내부를 자유롭게 이동한다. 정보 요구자는 필요한 정보를 언제든지 요구하고 획득할 수 있다.

#### 3.2 정보 요구자 이동성 모델의 분류



(a) 싱크기능을 탑재한 사용자 이동성 보장 라우팅 (b) 기존 싱크를 이용한 사용자 이동성 보장 라우팅

그림 4. 정보 요구자 이동성 및 이동성 지원 라우팅

제안 모델은 정보 요구자 노드의 기능성에 따라 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째 모델은 정보 요구자 노드가 싱크의 기능을 포함하는 경우이며, 두 번째 모델은 정보 요구자 노드가 싱크의 기능을 포함하지 않는 경우이다. 첫 번째 모델은 그림 4(a)와 같이 앞서 연구된 싱크의 이동성 모델[3, 4, 5]과 거의 동일하다. 반면, 두 번째 모델은 센서 망에서 제공되는 새로운 이동성 모델 중 하나로써 기존의 모델들과는 차별성을 가진다. 그림 4(b)와 같이, 그의 통신 시나리오는 다음과 같다. 싱크의 기능을 포함하지 않은 정보 요구자는 필요한 정보를 획득하기 위해서 망 내 존재하는 싱크에게 정보를 요구한다. 이때, 정보 요구자 노드의 싱크 노드는 데이터 송수신을 위해 그들 사이에 분포된 센서노드들의 다중 홉 통신을 활용한다. 요청을 받은 싱크는 기존의 데이터 수집을 위한 라우팅 프로토콜(예를 들어, Directed Diffusion[6], Rumor Routing[7], Magnetic Diffusion[16] 등)을 이용하여 데이터를 수집한다. 그 싱크는 이동중인 정보 요구자 노드에게 수집된 정보를 전달한다. 본 논문은 그 중 두 번째 모델을 새로운 이동성 모델로써 제안한다.

### 3.3 고려사항 및 특징

새로 제안된 정보 요구자 이동성 모델은 다음과 같은 네 가지 가정들을 요구한다.

- 정보 요구자는 센서노드들과 무선통신이 가능한 센서 망 내에서만 이동성을 가진다.
- 정보 요구자 노드는 싱크의 기능을 탑재하지 않는다. 고로, 모든 필요한 정보는 싱크로부터 제공받는다.
- 정보 요구자 노드는 센서노드들 보다 전력공급에 있어 제한이 적다. 즉, 재충전이 가능하다.
- 정보 요구자 노드는 센서 노드들과 동일한 기종의 네트워크 인터페이스(physical multi-interface)를 탑재하여 망 내의 센서노드들과도 무선통신이 가능하다.

본 논문은 정보 요구자 노드는 센서 노드들과의

통신을 통해 정보를 요구하기 때문에 그의 이동성을 센서 노드들이 분포된 범위 안으로 제한한다. 이때, 정보 요구자 노드는 싱크의 기능을 탑재 하지 않으므로 필요한 정보를 싱크로부터 전달 받아야 한다. 즉, 싱크는 정보 요구자의 이동성을 고려하여 그 정보를 전달해야 한다. 또한, 정보 요구자는 휴대하는 단말노드를 재충전할 수 있기 때문에 정보 요구자 노드의 전력공급 면에서 비교적 덜 제한적이다. 그 뿐만 아니라, 그의 충분한 파워(power)를 통해 센서노드들보다 큰 전파반경을 가질 수도 있다. 그리고 정보 요구자 노드는 그의 위치에 따라 외부 망에서 기반 망뿐만 아니라 센서 망 내에서 센서 노드들과도 통신할 수 있도록 센서 노드들과 동일 기종의 물리인터페이스를 탑재해야 한다. 그러므로, 본 논문에서는 센서 노드들과 정보 요구자 노드는 동일한 전파반경을 가진다고 가정한다.

본 논문에서 제안된 정보 요구자 이동성은 앞서 연구된 다른 이동성 모델에 비해 응용 면에서 보다 현실적인 모델이다. L. F. Akyildiz *et al.*[1]이 제시한 전형적인 무선 센서 망은 하나 이상의 싱크와 그들을 중심으로 분포된 많은 센서 노드들로 구성된다. 그 싱크들은 센서 노드들로부터 데이터를 수집하고, 게이트웨이로써 정보 요구자에게 그 정보를 전달한다. 기존에 연구된 다른 이동성 모델들은 이런 전형적인 모델을 변형하여 이동성 모델을 구현한다. 그러므로, 전형적인 모델에서 데이터 수집을 위한 라우팅 프로토콜들[6, 7]은 이동성을 고려하지 않기 때문에 그런 변형된 이동성 모델에서 활용하지 못한다. 하지만, 본 논문에서 제안한 정보 요구자 이동성 모델은 그 전형적인 무선 센서 망의 구조를 변형하지 않는다. 그러므로, 싱크와 망 내의 정보 요구자간의 이동성 보장 라우팅 프로토콜만 추가되면, 센서 노드들과 싱크간의 데이터 수집을 위한 기존 연구된 라우팅 프로토콜들은 모두 가용할 수 있다.

그 정보 요구자 이동성 모델은 다음 두 가지 특징을 가진다. 첫째, 싱크 및 센서 노드들로 구성된 전형적인 무선 센서 망의 기본구조를 가진 망이라면, 추가적인 요소들 없이도 정보 요구자의 이동성 보장이 가능하다. 둘째, 정보 요구자 이동성 보장 라우팅 프로토콜은 센서 노드들로부터 싱크까지 정보수집을 위한 라우팅 프로토콜[6, 7]과 독립적인 특성을 가지므로, 보다 단순한 라우팅 기법을 통해 싱크로부터 이동중인 정보 요구자 노드까지 효율적으로 정보전달이 가능하다.

위의 특징들은 다음 제시될 정보 요구자 이동성 모델의 응용 예에서 장점으로써 접근될 수 있다. 센서 노드들이 분포된 빌딩에 화재가 발생하였음을 가정한다. 소방관(정보 요구자)들은 PDA와 같은 무선 단말기들을 휴대한다. 그들은 필요한 정보를 센서 노드들로부터 직접 수집할 필요 없다. 하지만, 가까운 싱크에게만 연결함으로써 그 정보를 보다 쉽게 획득할

수 있다. 싱크는 연속적으로 수집되는 정보를 이동 중이 소방관들에게 계속 제공한다.

#### 4. 결 론

본 논문은 전형적인 무선 센서 망을 기반으로 하는 정보 요구자 이동성 모델을 제안하였다. 정보 요구자 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 있다.

본 연구는 제안한 이동성 모델을 지원하기 지원 프로토콜을 개발하고, 기존 싱크 이동성 모델과의 성능을 비교하기 위한 실험을 통해 정보 요구자 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] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, Chichester: John Wiley & Sons, 2005, pp.7-13, 62-63, 328-329.
- [3] S. R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash, and S. Venkatesan, "Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations," IEEE GLOBECOM, Vol. 1, December 2003, pp.377-381.
- [4] 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.
- [5] X. Hu, Y. Liu, M.J. Lee, and T.N.Saadawi, "A Novel Route Update Design for Wireless Sensor Networks," ACM SIGMOBILE, Vol.8, January 2004, pp.18-26.
- [6] C. Intanagonwivat *et al.*, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, Feb. 2003, pp.2-16.
- [7] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," ACM WSNA, September 2002, pp.22-31.
- [8] A. Kansal, A.A. Somasundara, D.D. Jea, M.B. Srivastava, and D. Estrin, "Intelligent Fluid Infrastructure for Embedded Networks," ACM MobiSys, June 2004, pp.111-124.
- [9] C. Chong and S. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities and challenges," Proceedings of The IEEE, Vol. 91, No. 8, August 2003, pp.1247-1256.
- [10] J. Kong, J. Cui, D. Wu, and M. Gerla, "Building Underwater Ad-hoc Networks and Sensor Networks for Large Scale Real-time Aquatic Applications," IEEE MILCOM, October 2005, pp.1535-1541.
- [11] Y. Mostofi, T.H. Chung, R.M. Murray, and J.W. Burdick, "Communication and Sensing Trade-offs in Decentralized Mobile Sensor Networks: a Cross-layer Design Approach," ACM/IEEE IPSN, April 2005.
- [12] A. Singh, R. Nowak, and P. Ramanathan, "Active Learning for Adaptive Mobile Sensing Networks," ACM/IEEE IPSN, April 2006, pp.60-68.
- [13] A. Cerpa *et al.*, "Habitat Monitoring: Application Driver or Wireless Communications Technology," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 31, April 2001, pp.20-41.
- [14] 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.