

논문 2007-02-15

# 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 시스템관리 응용 시스템의 구현에 관한 연구

(Study about implementation of the system management application system that used an ubiquitous sensor network)

남 상 업\*, 이 민 구, 강 정 훈, 윤 명 현\*\*

(Sang-Yep Nam, Min-Goo Lee, Jung-Hun Kang, Myung-Hyun Yoon)

**Abstract** : System management application system is one of the most interesting fields in Ubiquitous Sensor Networks. It conforms to the property of Ubiquitous Sensor Networks very well, and it is the closest application for commercial use. We have two kinds of system management technology, such as the one which is accessed by web browser at anytime, anywhere and another one which is for local accessed system. In this paper, our purpose is implementation of system management application system which provides Mesh Sensor Networks topology with IP based agent platform and system management server. Furthermore we introduce the functions used for our recent implementation and propose several future issues about system management application system.

**Keywords** : Ubiquitous Sensor Network, Mesh Network, System Tracking Management, Agent Platform

## 1. 서 론

유비쿼터스 센서 네트워크(USN)은 현실세계에서 발생하는 여러가지 이벤트를 감지하여 이를 네트워크를 통해 수집 및 처리하는 방식에 기반을 두고 있다. 적국의 감시, 강수량, 지질상태의 모니터링 시스템, 교통 감시와 제어를 위한 지능형 교통통제 시스템, 장기간의 해양 생태계 분석을 통해 생태를 감시하는 시스템 등 미래의 유비쿼터스 환경에서 폭넓게 사용될 것이다. 이와 같은 시도와 노력들은 결국 조만간 도래하게 될 유비쿼터스 컴퓨팅 시대와 사회를 준비하는 과정에서의 국가 기술 경쟁력을 크게 향상시켜줄 것으로 기대된다.

유비쿼터스 센서 네트워크는 단어의 의미 그대로 “기존의 센서 기능에 무선 통신 기능을 추가 부여한 기술”이라고 정의할 수 있으며, 기능적인 측면에

서 다시 정의해보면, “Physical World와 Internet으로 대표되어지는 Virtual World와의 사이를 연결해주는 가교 기술”로 정의할 수 있다. 즉, 센서를 통해 Physical World의 환경을 센싱한 아날로그 데이터를 센서 노드에서 적절한 형태로 변환한 후, 이를 센서 네트워크의 무선 통신을 통해 인터넷이 연결된 게이트웨이에 전달하게 된다. 이와 같이 인터넷으로 전송되어진 센싱 데이터는 여러 어플리케이션의 목적에 따라 적절하게 재가공 된 후 다양한 활용이 가능하다. 하지만, 센서 네트워크 기술이 다양한 산업에서 활용되기 위해서는 해결해야 할 문제가 있다. 바로 값싸고 성능 좋은 여러 형태의 센서 네트워크 디바이스가 개발되어야 함과 동시에, 센서 네트워크 관련 된 성능이 우수한 다양한 어플리케이션이 빠른 시간 내에 출시되어야 한다는 것이다. 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 전세계 300여개 이상의 센서 네트워크 연구 그룹들이 TinyOS를 센서 네트워크에 적합한 OS로 채택하여 관련 연구를 진행하고 있으며, 국내에서도 전자부품연구원을 비롯한 연구기관들과 대학교 연구실들을 중심으로 TinyOS를 기반으로 한 센서 네트워크 분야에 대한 연구를 다양하게 진행하고 있다.

본 논문에서 제안하는 센서 네트워크를 활용한

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 6. 18. 채택확정 : 2007. 9. 3.

남상업 : 국제대학 정보통신과

이민구, 강정훈, 윤명현 : 전자부품연구원

자산들의 Tracking 방법은, 이와같은 기술적 배경에서 유비쿼터스 센서 네트워크를 활용한 다양한 어플리케이션을 제안하는 과정에서 새롭게 구현된 것이다. 기존에 논문[1][2]에서 제안된 시스템들에 대한 Tracking 시스템은 다양하고도 값비싼 센서들(Magnetic 센서, GPS 모듈)을 활용하였다. 이는 값비싼 비용에 비해 만족할 만한 성능을 얻지 못했다. 확률적 센서 모델은 물체의 위치를 알고 있을 때, 관측될 수 있는 센서 정보들을 기반으로 만들어진 것이다. 센서의 특징에 따라 그 모델이 다르고 확률적 센서 모델을 통해 센서의 오차 및 노이즈와 같은 외부 환경의 영향 등을 표현하였다.

그러나 본 논문에서 제안한 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 시스템들의 Tracking USN시스템은 별도의 센서 기능을 제한적으로만 사용하고, 센서 노드들의 네트워크 형성 및 유지 정보를 기반으로 시스템들의 공간에서의 소속 정보를 획득해 냄으로써 시스템의 원활한 Tracking이 가능함을 보여주는 데 그 의미가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 시스템들의 이동/변화에 대한 효율적인 Tracking이 가능한 Application-specific 라우팅 알고리즘을 설계하여 센서 노드에 적용하였고, 나아가 예상 가능한 시스템관리 서버를 사용자의 편의를 최대한 고려하여 자바 프로그래밍 랭귀지를 이용하여 구현하였다.

특히 여러 물체에 대한 각각의 인식이 가능하여야 하는 상황에서 마그네틱 센서와 소나 센서로 이루어진 경우에는 tracking 하기가 어려워진다. 여러 개의 물체가 하나의 마그네틱 센서 근처에 존재하는 경우에 마그네틱 센서에서 출력되는 값은 여러 물체들에 의한 자성의 영향을 벡터로 표현하여 합친 결과와 같으므로 상황에 따라서 믿을 만 하다고 판단되는 정보만을 취사선택 할 필요가 있다. 본 논문에서는 정보의 취사선택을 위해 포괄주의와 열거주의 데이터 병합 방법을 적용하였다.

본 논문의 구현 목표인 사무실 내의 시스템들을 모니터링 하는 시스템관리 응용시스템의 효과적인 이해를 위한 본 논문의 구성은 시스템들을 추적하기 위한 센서 네트워크 플랫폼, 센서 네트워크 노드에 프로그래밍하기 위한 TinyOS에 대한 설명, 라우팅 알고리즘에 대해 설명하고 있다. 4장에서는 서버 측에서 동작하게 되는 시스템관리 어플리케이션 시스템에 대해서 설명하고 5장에서는 본 논문에서 실시한 실험방법과 결과를 설명하고 있다. 6장은 결론으로 본 논문에서 제안한 시스템의 실험 환경 및 결과를 통해 추후 센서 네트워크의 실제 적용시(리얼 디플로이시) 발생 가능한 문제점들을 제시하고 있다.

## II. 유비쿼터스 센서 네트워크 플랫폼

유비쿼터스 센서 네트워크 플랫폼으로 가장 대표적인 것은 U.C 버클리의 MOTE이다. 이 같은 MOTE는 1999년 처음 발표된 이후 다양한 형태(DOT, MICA, MICA2, TelosA, TelosB, MicaZ 등)로 발전되어 오고 있다.

본 논문에서 사용한 유비쿼터스 센서 네트워크 플랫폼은 (주)맥스포의 TIP 700CM을 사용하였다.

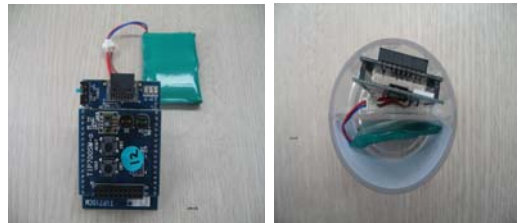


그림 1. 본 논문의 USN 시스템 구성도

Fig. 1. USN system configuration of this paper

그림 1의 TIP 700CM은 2.4GHz 무선 RF 대역을 사용하고, 무선 통신 칩셋으로는 TI사의 CC2420 모듈을 사용하였으며, 안테나로는 Inverted F-Type 세라믹 안테나를 채택하였다.

그리고 다양한 센서(빛, 온도, 습도 등)들의 기능을 지원하고 있다.

TI사의 MSP430F1611을 마이크로 컨트롤러로 사용하였으며, 프로그램을 다운로드 할 수 있는 48KB의 플래시 메모리와 10KB의 RAM을 사용하고 있다.

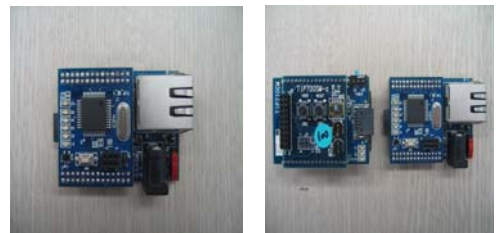


그림 2. USN 소형 게이트웨이 플랫폼

Fig. 2. An USN mini gateway platform

본 실험에서 사용한 센서 노드의 전원은 리튬 폴리머 배터리를 통해 4.2V 전원을 공급해주었으며, 프로그램 인터페이스를 USB를 이용하여 리얼 디플로이시 프로그래밍 부분을 사용하지 않아도 되는 장점 등의 소형화에 집중하여 개발되었다는 점이 기존의 센서 네트워크 노드와의 차별점이라 할 수 있다.

그림 2는 유비쿼터스 센서 네트워크 노드에서 베이스 센서 노드에 무선으로 전송한 센싱 데이터를 이더넷을 통해 자산관리 어플리케이션 서버에 전송해주는 기능을 지원하는 IP 기반의 센서 네트워크 소형 게이트웨이 플랫폼 사진이다.

본 논문에서 유비쿼터스 센서 네트워크의 노드를 위한 OS는 U.C 버클리에서 배포한 TinyOS를 사용하였다. 그림 3의 TinyOS는 센서 네트워크와 같은 네트워크 임베디드 시스템 (Network Embedded System)들을 위해 특별히 만들어진 OS이다. 이는 이벤트 기반의 어플리케이션, 소형의 코어 OS(400 바이트 정도의 코드), 작은 데이터 메모리를 갖는 초소형 용량의 OS를 만들기 위해 고안되었으며, 본 논문에서 사용되는 USN에서는 이벤트 기반의 단순 스케줄러 기능만을 사용하므로 사용하기가 적당하다.

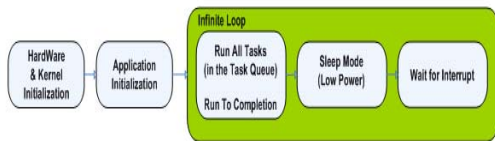


그림 3. USN에서 사용된 TinyOS 구성

Fig. 3. The TinyOS configuration that was used in USN

TinyOS는 FIFO 구조의 태스크(Task) 큐(Queue)에 처리해야 할 태스크의 유무를 확인하고 처리해준다. 이 과정이 끝나면, Sleep 상태에 빠지게 되고, 이벤트가 발생하게 되면 이벤트 핸들러가 인터럽트 서비스 루틴(ISR)에 따라 인터럽트 벡터 내에 있는 상응하는 동작을 취하게 된다. 이 과정을 완료하면 다시 Sleep 상태로 돌아가게 되므로 장시간 노드의 지속 시간을 유지할 수 있도록 설계되어 있으므로 본 유비쿼터스 센서 네트워크 노드에 적합한 초소형 OS라 할 수 있다.

### III. 라우팅 알고리즘의 설계

센서 네트워크의 성능 좋은 라우팅을 설계하는 최종 목표는, 센서를 통해 획득한 데이터들을 목적지(Base Node)에 전달하기 위해 가장 효율적이고 성능이 우수한 중간 노드들을 찾아 가는 것(Parent 선택)이라고 말할 수 있다.

이 같이 센서 네트워크를 위한 성능 좋은 라우팅 알고리즘을 설계하기 위해서는 링크의 상태와 라우

팅 정보를 저장 할 수 있는 테이블(Neighbor/Routing Table), 그리고 이를 주기적으로 유지/운영 할 수 있는 테이블 관리 컴포넌트, 효율적인 링크 평가를 할 수 있는 Link 평가 컴포넌트, 적절하게 Parent를 선택하는 컴포넌트 등이 필요하다.

센서 네트워크의 신뢰성을 높이기 위해 각 개별 노드의 이상에 관계없이 강인한 time동기화 알고리즘을 도입했으며 라우팅을 위해 LGRP(Logical Grid Riuting Protocol)알고리즘을 도입했다. LGRP 알고리즘은 센서 네트워크의 노드들의 트리구조를 이룰 때 root 센서의 위치를 고려하여 트리 구조를 구성함으로써 원형 구조를 피하기 위한 것이다. 본 논문에서는 센서 노드간의 메시지 교환을 위해 location 중심의 네트워킹을 이용하였다. 각 셀은 몇 개의 노드들로 구성되며 target이 이동함에 따라 새로운 셀을 생성되고 생성된 셀들 사이에 메시지 교환은 UW-라우팅 기법인 각 셀들의 manager노드들 간의 어드레싱을 통해 정보가 이러한 경로를 통해 전해 질 수 있도록 하였다. 각 셀에서의 manager 노드는 target detection 분야에서 이용될 space-time window상에서 신호가 가장 강한 노드로 결정되며 셀의 크기는 인신된 target 속도의 함수로 주어지게 된다. 각 셀 안에서의 target detection을 위해서 CPA(Closest Point of Approach)기법을 이용하게 된다. 이 기법은 한정된 크기의 space-time 윈도우를 정의하고 정의된 윈도우상에서 신호의 피크값을 구해 target을 감지하게된다. 얻어진 데이터로부터 노드의 위치를 이용한 삼각법을 통해 linear regression을 수행하여 target의 위치, velocity및 heading을 얻게 된다.

#### 1. 링크 에뮬레이터

링크 평가는 소스 노드에서 타깃 노드를 선택하는 과정에서 사용한다. 각각의 노드들은 패킷들의 송/수신 이벤트(Success/Fail)를 지속적으로 관찰하여, 무선 링크의 품질을 평가한다. 평가 방법은 다음과 같다.

- ① Neighbor 테이블의 수신 평가 값의 존재 여부 확인
- ② 5회 수신된 수신 평가 값을 이용하여 얻은 새로운 수신 평가 값을 Neighbor 테이블에 저장

#### 2. Neighbor 테이블 관리

Neighbor 테이블에서, 관련 데이터를 관리하여, 상태가 우수한 Neighbor들의 수를 테이블 내에 일

정하게 유지하며, 라우팅 테이블 내에 Sorting 된 값들을 넣는 작업을 수행한다.

테이블 관리는 다음 세 가지의 동작으로 구성된다. 즉, "삽입/삭제/보강"이다. 입력되는 패킷들에 대한 Neighbor가 어느 것인지에 대한 분석(Link 평가)이 수행된 후, 입력된 소스가 삽입 될 것인지 혹은, 보강될 것인지에 대해 고려된다. 이에 대한 동작은 소스가 테이블 내에 있으면, 보강 기능이 수행되고, 소스가 없거나, 테이블이 가득 차 있으면, 노드는 테이블로부터 또 다른 노드를 제거할 것인지, 혹은 소스와 관련이 있는 정보를 제거 할 것인지를 선택한다.

### 3. Parent 선택

Parent의 선택은 Neighbor 테이블에서, 조건에 가장 부합하는 Neighbor를 선택하여, Parent로 선정한다. 그리고 이러한 Parent의 선정 변화가 적을수록 더욱 안정적인 Parent로 예측 가능하다. Parent 선택을 위해 구체적으로 적용한 개념이 Cost이고, Cost의 값이 작은 것을 링크 품질이 좋은 상태로 인지한다.

## IV. 시스템관리 응용시스템의 구현

본 논문에서 제안한 시스템에 대한 Tracking 시스템은 아래 그림 4 처럼 구성되었다.

그림.5처럼 소형 게이트웨이 플랫폼에 센서 노드인 TIP-700CM이 연결되어져 센서를 통해 획득한 센싱 데이터를 각각의 센서 네트워크 노드들이 시스템 관리 응용 서버로 전달하여 xml 파일 형태로 저장한 후 이를 분석하여 적절하게 사용하였다.

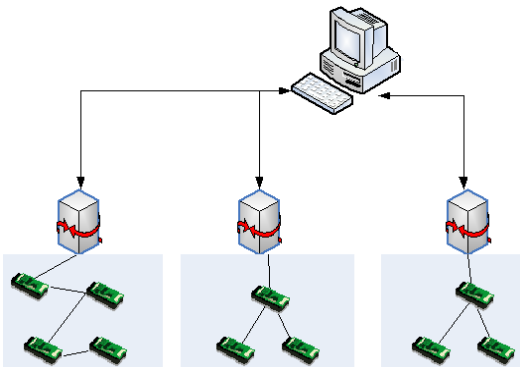


그림 4. 본 논문의 USN 시스템 구성도

Fig. 4. USN system configuration of this paper

본 논문에서 실험에 이용한 유비쿼터스 센서 네트워크 노드들이 실제 네트워크 토폴로지를 정상적으로 구성한 모니터 화면을 그림5에서 나타낸다. 시스템들의 이동을 전체 화면 가운데 좌측 부분에서 화살표를 통해 표현하고, 새롭게 추가된 시스템들에 대해서는 중간 부분에서 빨간 색으로 표현을 하도록 구현하였다. 쿼리(Query) 기능을 추가하여 사무실 내의 시스템들에 대해 검색을 할 경우 해당 항목(시스템번호, 소유자, 중요도 등)을 쿼리 창에 입력한 후, 해당 시스템들이 현재 어디에 위치하고 있는지를 검색 가능하도록 구현하였다.

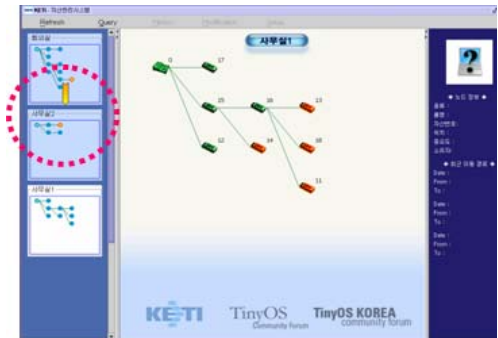


그림 5. 시스템관리 모니터링 화면

Fig. 5. A system management monitoring screen

그림 6과 같이 본 논문에서 제안한 시스템에 대한 시스템관리 응용 서버 시스템은 네트워킹 토폴로지 정보만을 제공 받아서 사물에 대한 소속 정보를 적절하게 분석하여 시스템에 대한 Tracking 이 가능함을 보여줄 수 있다.

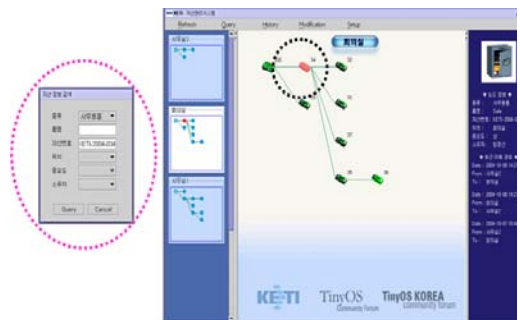


그림 6. 시스템관리 검색 화면

Fig. 6. A system management search screen

## V. 실험환경 및 결과

### 1. 실험환경

USN 구축을 위한 실험환경은 그림7처럼 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 시스템관리의 응용 시스템의 각 노드별 및 게이트웨이의 성능을 분석하기 위한 실험환경을 구축하였다. 각 센서노드는 베이스노드 8개, 모바일 노드 24개를 포함하여 총 32개의 TIP 700CM이 사용하였고 8개의 USN의 소형 게이트웨이 플랫폼을 사용하였다. 사용된 게이트웨이는 UTP케이블을 사용하여 각 플랫폼끼리를 이더넷으로 직접 연결하여 시스템관리 서버를 사용하고 각 서버는 무선으로 AP에 접속하여 네트워크를 사용한다.

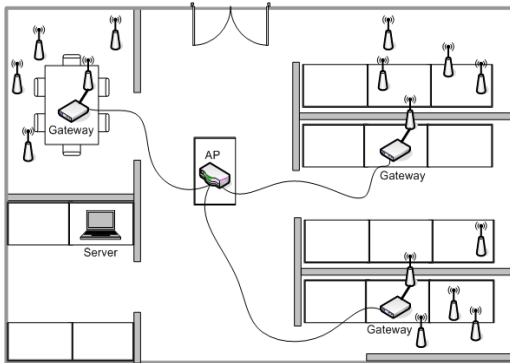


그림 7. USN 환경구축

Fig. 7. Environment implementation of USN

## 2. 실험결과

유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 시스템관리 응용 시스템의 성능을 측정하기 위하여 그림4, 그림5와 같은 시스템관리 모니터링/검색 툴을 개발하였다. 이 툴은 시스템이 실내 센서 노드들 간의 네트워크 토폴로지에 대한 모니터링을 지원할 뿐 아니라, 시스템의 이동이나 사용자가 시스템의 현 위치를 알고 싶을 때 쿼리(소유자, 시스템번호, 명칭, 중요도, 해당룸 등)를 설정하여 해당 자산을 검색할 수 있는 기능을 보유하고 있다.

본 논문에서는 실험의 편리성을 위해, 사무실내의 동일한 공간 내에서 시스템들의 이동을 트래킹하는 방법을 취하였다. 실제 환경처럼 룰간의 칸막이나 벽이 없는 동일한 공간 내에서의 자산들의 이동을 모니터링 하는 과정을 거치므로 실제 환경보다는 더욱 열악한 환경 조건으로 테스트 하였다.

실험에 사용한 조건은 두 가지이다. 첫 번째 항목은 시스템들이 다른 공간으로 이동할 때의 반응

속도를 측정하였다. 그리고 다른 한 가지 항목은 시스템들이 옮긴 위치가 아닌 다른 위치로 표시되는 오류현상의 발생 회수를 측정하였다.

측정 시 측정 오류를 줄이기 위해 각각의 조건에서 20회 반복 측정한 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 이에 대한 결과 값은 표1과 같다. 실험 결과 값처럼 각각의 베이스 노드에 센서 노드가 4개 이하로 네트워크를 형성한 경우, 센서 노드들의 추가는 2초 정도에서 자산들의 이동을 빠르게 파악하고 있다. 하지만 센서 노드들의 위치 파악 오류회수는, 베이스 노드와 네트워크를 형성하고 있는 센서 노드 수가 증가함에 따라 오류 횟수가 증가하고 있다. 이는 각각의 센서 네트워크 영역이 증가함에 따라서 서로 다른 네트워크들과의 중첩으로 인해 발생하는 오류로 추정가능하다. 즉 중첩된 네트워크 영역에서의 핑퐁 현상 발생이 그 원인이다.

표 1. 측정결과 값

Table 1. Measurement results value

항목	노드 1개	노드 2개	노드 3개	노드 4개
반응 속도 (sec)	1.9	2.1	2.0	2.2
오류 회수 (회)	0	0	1	2

모빌리티 검사를 하기 위해, 그림 8처럼 사람의 몸에 센서 네트워크 노드를 그림 8처럼 부착하고 이동간의 시스템 모니터링을 테스트 하였다. 이때 이동 중에는 다른 센서 네트워크로의 가입이 되지 않았다. 이는 이동 중에 발생하는 네트워크 송/수신의 불안정성에서 기인한 것으로 추정된다.

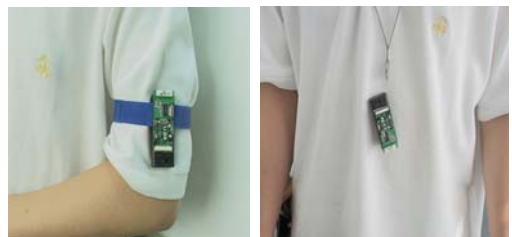


그림 8. USN의 모빌리티 검사방법

Fig. 8. A mobility inspection method of USN

## VI. 결 론

본 논문은 사무실 내의 시스템을 효율적으로 관리하기 위해서 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 시스템들의 이동을 모니터링할 수 있는 시스템을 구현하였다. 이때 테스트한 항목은 반응속도, 오류 회수, 모빌리티 이었다.

발생한 문제점은 크게 두 가지로, 센서 노드의 수가 증가함에 따라 네트워크의 중첩에서 발생하는 오류회수의 증가와, 시스템들의 이동시 새로운 네트워크에 가입되지 않는 문제점이 확인되었다.

이같은 문제점은 동일한 사무실내라는 한정된 공간 내에서 여러 개의 그룹이 서로의 공간을 물리적으로 차폐하지 않은 오픈된 공간에서 테스트를 했기 때문에 발생한 것이다.

따라서 실제 적용 시에는 본 논문에서 제기하는 네트워크 중첩으로 인한 오류회수의 발생 문제점들은 크게 고려되지 않아도 좋을 것이다. 하지만 이동시 발생하는 네트워크 미가입 현상은 실제 적용 전에 반드시 해결되어야 할 문제점으로 구분될 수 있다. 즉, 이동 중에도 안정적으로 센서 네트워크 간에 무선 송/수신을 지원하는 방법으로 개선해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Jason Hill, Robert Szewczyk, Alec Woo, Seth Hollar, David Culler, Kristofer Pister. "System architecture directions for network sensors" ASPLOS 2000, Cambridge, November 2000.
- [2] Joseph Polastre, Robert Szewczyk, Cory Sharp, David Culler. "The Mote Revolution: Low Power Wireless Sensor Network Devices" Proceedings of Hot Chips 16: A Symposium on High Performance Chips. August 22-24, 2004.
- [3] Dan Li, Kerry D.Wong., Yu Hen Hu, and Akbar M.Sayeed, "Detection classification and tracking of target," IEEE Signal processing magazine, pp 17-29, March, 2002.
- [4] Jaewon Shin, Leonidas J.Guibas, and Feng Zhao, "A distributed algorithm for managing multi-target identities in wireless Ad-hoc Sensor networks", 2003.

- [5] Juan Liu et al., "Distributed State Representation for Tracking Problems in Sensor Networks." 2004.
- [6] Arora et al. "A Line in the sand-a wireless sensor network for target detection, classification, and tracking," Computer Networks 46 pp.605-634. 2004.
- [7] Richard R. Brooks, P. Ramanathan, Akbar M Sayeed, "Distributed Target Classification and Tracking in Sensor Network," 2003.
- [8] 남상엽, 송병훈, 무선 센서 네트워크 활용, 상학당, 2005.
- [9] 남상엽, 정교일, 김성동, 유비쿼터스 센서 네트워크 구조 및 응용, 상학당, 2006.
- [10] 남상엽, 유비쿼터스 센서 네트워크 응용, 상학당, 2007.

## 저 자 소 개

### 남 상 엽

1978년 삼성종합기술원

1987년 모토로라반도체통신

2002년 단국대 전자공학과 박사

현재 국제대학 정보통신과 교수

관심분야 : 임베디드 시스템, USN, 지능형로봇, RFID, 홈네트워크

Email : r13337@unitel.co.kr

### 이 민 구

2000년 서강대 전자공학과 학사

2004년 서강대 전자공학과 석사

2000~4년(주)한화/정보통신 네트워크연구소 연구원

2001년~현재 전자부품연구원 전임연구원

관심분야 : 센서 네트워크, 라우팅 알고리즘, 네트워크 임베디드 시스템, DR

Email : emingoo@keti.re.kr

### 강 정 국

1997년 단국대 전자공학과 학사

1999년 단국대 전자공학과 석사

1999년~현재 전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅 연구센터 선임연구원

관심분야 : 센서 네트워크, 네트워크 임베디드 시스템, 스마트 스페이스 미들웨어

Email : budge@keti.re.kr

**윤 명 현**

1982년 경북대 전자공학과 학사

1984년 한국과학기술원 원자력공학과 석사

1994년 IOWA State Univ 전자공학과 박사

1982년~1989년 한국전력공사

1994년~2001년 한전 전력연구원 책임연구원

2001년~현재 전자부품연구원 수석연구원

관심분야 : 지능형 홈, 위치인식 서비스, 센서 네트워크, DR(Demand Response)

Email : yoon@keti.re.kr