

# 센서네트워크에서 무선 신호세기 Fingerprint 중첩 방식을 적용한 정밀도 개선 실내 위치인식 시스템

조형곤\*, 정설영\*, 강순주°

## Enhanced Accurate Indoor Localization System Using RSSI Fingerprint Overlapping Method in Sensor Network

Hyeong-Gon Jo\*, Seol-Young Jeong\*, Soon-Ju Kang°

### 요 약

최근 실내 위치인식 서비스를 제공하기 위해 효율적이면서도 정밀한 실내 위치인식 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해 본 연구팀은 센서네트워크 기반의 위치인식 방법인 BLIDx (Bidirectional Location ID exchange) 프로토콜을 제안하였다. 하지만 BLIDx 프로토콜은 동시에 수많은 이동노드에 대해 신속한 위치인식을 할 수 있으나 셀 기반 위치인식을 사용하기 때문에 위치 정밀도가 낮은 단점이 있었다. 본 논문은 이러한 단점을 보완하기 위해 WLAN의 fingerprinting 방법을 변형한 fingerprint 중첩 방법을 제안하고, 제안한 방법을 사용한 위치인식 시스템을 설계 및 구현하였다. 성능평가 결과 제안된 위치인식 방법은 기존 fingerprinting 방법보다 정확도 및 오차 견고성이 높게 나타났다. 이러한 방법을 통해 BLIDx의 낮은 위치 정밀도를 개선하였다.

**Key Words** : 위치인식, IEEE 802.15.4, localization, fingerprint, sensor network

### ABSTRACT

To offer indoor location-aware services, the needs for efficient and accurate indoor localization system has been increased. In order to meet these requirement, we presented the BLIDx(Bidirectional Location ID exchange) protocol that is efficient localization system based on sensor network. The BLIDx protocol can cope with numerous mobile nodes simultaneously but the precision of the localization is too coarse because that uses cell based localization method. In this paper, in order to compensate for these disadvantage, we propose the fingerprint overlapping method by modifying a fingerprinting methods in WLAN, and localization system using proposed method was designed and implemented. Our experiments show that the proposed method is more accurate and robust to noise than fingerprinting method in WLAN. In this way, it was improved that low location precision of BLIDx protocol.

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2010-0003387) "본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가위원회의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10041145, 자율 군집을 지원하는 웹밍형 정보기기 내장 소프트웨어 플랫폼 개발]"

◆ 주저자: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 실시간시스템 연구실, tsana@ee.knu.ac.kr, 정희원

° 교신저자: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 실시간시스템 연구실, sjkang@ee.knu.ac.kr, 정희원

\* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 실시간시스템 연구실, snowflower@ee.knu.ac.kr, 종신회원  
논문번호 : KICS2011-10-473, 접수일자 : 2011년 10월 17일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 5일

## I. 서 론

최근 실내를 대상으로 하는 홈서비스, 대형 건물 안내 서비스, 이동 자산관리 서비스 등의 서비스가 각광받고 있고, 어린이와 노약자 같은 사회적 약자를 보호하는 서비스들의 필요성도 증가하고 있다. 이러한 서비스들은 모두 실내 위치정보를 기반으로 하기 때문에 효율적이면서도 정밀한 실내 위치인식 방법이 필요하다.

현재 위 요구를 만족시키기 위해 다양한 방면에서 실내 위치인식 연구가 이루어지고 있다<sup>1-4)</sup>. IR, 초음파, WLAN, UWB, ZigBee 등과 같이 서로 다른 특징의 센서 및 통신 기술을 이용하기도 하고, AOA, TDOA, RSS-Based, Cell-based 와 같이 여러 가지 측위 방법을 이용하기도 한다. 각 연구들은 서로간의 장단점이 있지만 대부분의 연구가 위치인식의 정확도, 정밀도 향상을 목적으로 한다는 공통점이 있다. 이 과정에서 트레이드오프 관계에 있는 효율성이나 설치비용, 전력소비량 등은 중요시 되지 않는다. 하지만 사람이 필요로 하는 서비스가 요구하는 위치인식 조건은 위치 정밀도보다는 ‘얼마나 많은 수의 이동노드를 지원할 수 있는가’, ‘배터리로 몇 시간 동안 동작할 수 있는가’ 등이 더욱 중요하다. 일례로 위치인식 서비스 중 하나인 병원 자산 관리와 같은 서비스에서는 배터리로 동작하는 다수의 이동노드를 빠르게 추적하여 그 위치를 관리자에게 알리는 것이 핵심이고 위치의 정밀도는 그보다 덜 중요한 요소이다<sup>5)</sup>. 즉 기존의 연구들은 실제 위치인식 서비스의 요구사항들을 만족시키지 못하고 있다. 대표적으로 WLAN(Wireless LAN)을 이용한 방법은 전력소비가 비교적 크고 다수의 물체추적이 힘든 단점이 있기 때문에 위치인식 서비스를 제공하기에 적합하지 못하다.

본 연구팀은 이러한 위치인식의 요구사항을 만족시키기 위해 지원 가능한 이동 노드수와 저전력 소비에 초점을 맞춘 위치인식 프로토콜을 연구한 바 있다. 제안한 BLIDx(Bidirectional Location ID Exchange) 프로토콜<sup>6)</sup>은 WSN(Wireless Sensor Network)을 이용하며 다수의 이동물체를 통신 트래픽과 전력을 적게 사용하면서도 빠른 속도로 위치인식을 수행한다. 하지만 BLIDx 프로토콜은 단위공간마다 설치된 고정노드 사이의 거리에 의해 정밀도가 정해지는 셀 기반 위치인식을 수행하기 때문에 위치인식의 효율성에 비해 정밀도가 낮은 단점이 있었다. 따라서 본 연구는 기존 BLIDx 프로토콜의 단점을 보완하여 위치인식의 정밀도를 향상시

키는데 그 목적이 있다. 이를 위해 신호세기의 패턴을 이용하는 fingerprinting이란 위치인식 방법을 개선하여 fingerprint 중첩 기법을 제안하였다. 그리고 제안한 방법을 WSN 기반인 BLIDx 프로토콜에 적용하여 최종적으로 기존보다 정밀도가 향상된 새로운 위치인식 시스템을 설계하고 검증하였다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서 BLIDx의 기본 개념과 관련 연구에 대해 살펴볼 것이다. III장에서 제안한 위치인식 시스템을 설계하기 위한 시스템의 요구분석과 설계 요건을 알아보고, IV장에서 설계 요건에 따라 시스템을 설계하고 구현한 후, V장에서 구현한 결과물을 검증하고 성능을 평가한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 기본 개념 및 관련연구

### 2.1 BLIDx 프로토콜

BLIDx 프로토콜<sup>6)</sup>은 IEEE802.15.4 MAC 통신을 이용하여 많은 수의 이동노드의 위치를 빠르게 인식한다. 이동노드, 고정노드, 게이트웨이, 서버의 구성을 가지고 있으며 동작 시퀀스는 그림 1과 같다. 간단히 설명하면 고정노드가 방사한 비콘 메시지를 이동노드가 수집했다가 가장 강한 신호세기의 고정노드를 선택해 통신하고, 이동노드와 고정노드의 ID를 교환함으로써 위치인식과 통신 경로 확보를 한다. BLIDx 프로토콜의 위치인식은 물리적으로 나뉜 셀은 신호세기의 차이가 크기 때문에 현재 속한 셀을 쉽고 빠르게 판단할 수 있다는 것을 이용하였다. 하지만 벽과 같이 물리적으로 나누어진 공간이 아닐 경우 위치 정밀도가 낮은 한계가 있다.

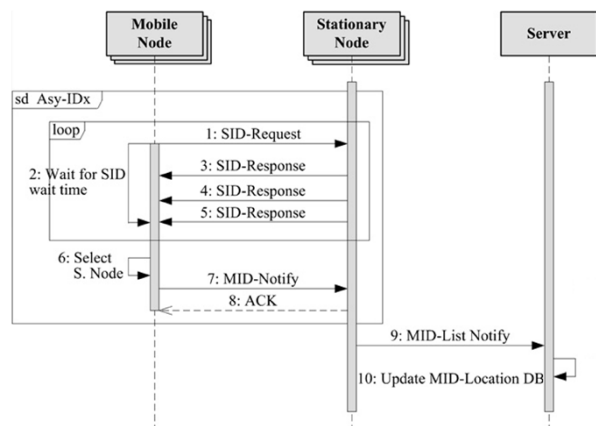


그림 1. BLIDx 프로토콜의 시퀀스 다이어그램  
Fig. 1. Sequence diagram of BLIDx protocol

## 2.2 기존 위치인식 방법 및 관련연구

WLAN에서 위치인식을 위해 많이 사용되는 방법으로 Fingerprinting 방법이 있다. 이 방법은 설치 공간에서 정해진 측정지점에 나타나는 신호세기의 패턴을 수집하여 서버에 저장하고, 실제 이동노드가 측정한 패턴을 저장된 패턴과 비교하여 가장 근접한 패턴을 가진 위치를 이동노드의 위치로 추정하는 방식이다. 이 방법은 실제 설치된 위치에서 패턴을 측정하므로 고정된 장애물에 의한 영향이 이미 반영되어 무선신호의 감쇠 계수를 찾을 필요가 없는 장점이 있다. 하지만 WLAN이 가진 한계로 인해 지원할 수 있는 이동노드의 수가 부족하고 에너지 소비가 비교적 큰 단점이 있다. 기존에 WLAN의 fingerprinting 방식을 사용한 연구로 MS사에서 개발한 RADAR<sup>[8]</sup>, Place Lab<sup>[9]</sup>, 독일의 mannheim대학이 개발한 COMPASS<sup>[10]</sup> 등이 있으나 지원 가능한 이동노드의 수나 에너지 소비량에 대한 고려가 부족한 단점이 있다.

ZigBee에서 위치인식을 위한 방법은 신호세기를 이용한 삼각측량법 혹은 최대우도예측(Maximum Likelihood Estimation) 등이 있다. 무선 신호의 거리와 신호세기의 관계를 이용하여 신호세기로 노드 사이의 거리를 추정하고 이동노드의 위치를 찾는 방법이다. 이 방법들은 신호세기와 노드 사이의 거리 함수에 너무 의존적인 단점이 있다. 따라서 신호세기에 오차가 발생할 경우 위치 정확도가 크게 떨어진다<sup>[7]</sup>. ZigBee에서 위치인식을 구현한 연구<sup>[11-13]</sup>가 있지만 위치인식 서비스의 요구사항에 대한 고려가 부족하다.

## III. 요구분석 및 설계요건

### 3.1. 위치인식 방법 선택 및 설계 요건

기존 BLIDx 프로토콜의 위치인식 성능을 개선시키기 위해 WLAN에서 주로 사용되는 Fingerprinting 방법을 적용할 것이다. 하지만 WSN에 해당 기법을 적용하기 위해서는 먼저 서로 다른 통신 방식에서 오는 차이를 고려하고, WSN 환경에 맞도록 바꾸어야 한다.

가장 큰 차이점은 두 통신방법간의 신호세기 차이이다. WSN은 WLAN에 비해 신호세기가 작기 때문에 주변 잡음에 의한 영향이 크다. 다음으로 기지국 수의 차이가 있다. 같은 크기의 공간이라도 WSN은 WLAN에 비해 많은 고정형 노드가 설치된다. 이는 노드가 판별해야 하는 특이점이 많아진다는 것인데, 많은 특이점은 위치 오차를 줄일 수 있으므로 장점이

될 수 있지만, 이로 인한 검색시간의 증가는 위치인식 시간을 증가시키는 요인이 될 수 있다.

### 3.2. 제안하는 위치인식 시스템의 설계 요건

첫 번째로 고려해야 할 것은 기존 BLIDx 프로토콜의 효율성을 최대한 살리면서 위치인식의 정밀도를 향상해야 한다는 것이다. 이를 위해 BLIDx의 프로토콜을 대부분 계승하여 효율성을 유지할 수 있도록 하고, 기존 셀 기반 위치인식과 제안하는 위치인식을 동시에 사용할 수 있도록 해야 한다.

두 번째는 신호세기의 오차에 견고한 위치인식 방법이어야 한다. 가상환경과 달리 실제 환경에서 무선신호세기는 많은 오차 요인을 가지고 있고, 이를 해결하기 위해 오차를 줄이는데 많은 노력을 기울인다. 하지만 대부분의 오차 요인은 다중 신호 전달 경로 문제, 습도에 의한 신호세기 감쇠 계수 변화 등과 같이 무선 신호 자체가 가지는 특징이다. 또한 외부환경에 의해 발생하는 신호세기 오차는 짧은 시간동안에는 무작위 분포특성을 가지기 때문에 긴 시간동안 측정하지 않으면 완전히 제거할 수 없다. 따라서 제안하는 위치인식 방법은 이미 발생한 오차에 견고하도록 설계 되어야 한다.

세 번째는 적은 자원을 사용해야 한다. 이동노드는 배터리로 동작하므로 반드시 저 전력 동작을 지원해야 하고 이를 고려한 프로토콜 설계가 필요하다. 또한 통신 대역을 적게 사용해야만 많은 수의 이동노드를 동시에 서비스 할 수 있다.

## IV. 설계 및 구현

### 4.1. 제안하는 위치인식 방법의 개념

기존의 Fingerprinting 방법은 전체 신호세기 지도를 생성하고, 지도 위의 각각의 측정 지점에서 측정한 신호세기를 fingerprint로 관리한다. 그리고 위치 측정은 지도의 fingerprint 중에서 이동노드가 측정한 것과 가장 유사한 지점을 최종 위치로 선정하는 방식이다. 이 방법은 WLAN에 맞게 고안된 것으로 기존 시스템에 적용하기 위해 III장의 설계 요건에 따라 아래와 같은 위치인식 개념을 고안하였다.

그림 2는 제안하는 위치인식 시스템의 개념을 설명한 것이다. 제안하는 방법은 크게 2단계로 나눌 수 있다. 첫 번째는 후보위치를 선정하는 단계이다. 이동노드가 측정한 신호세기를 이용하여 고정노드별로 생성된 지도에서 후보 위치를 찾게 된다. 즉 그림과 같이 후보 위치가 표시된 여러 장의 지도가

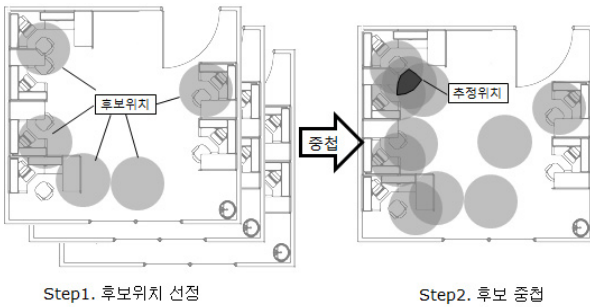


그림 2. fingerprint 중첩의 개념도  
Fig. 2. conceptual image of proposed localization method

이 단계의 결과물이다. 두 번째는 앞 단계에서 구한 후보위치를 중첩하여 최종 위치를 추정하는 단계이다. 첫 번째 단계의 지도를 중첩하면 그림 2와 같이 많이 중첩된 부분과 적게 중첩된 부분으로 나눌 수 있다. 그 중에 많이 중첩된 부분을 최종 추정 위치로 선택하고, 그 크기를 추정 오차로 생각할 수 있다.

이 방법에서 고정 노드별로 지도를 분리하는 것은 위치인식이 신호세기 오차에 보다 견고하도록 하기 위함과, 분산 구조를 구현할 때 보다 쉽게 지도를 분리할 수 있도록 하기 위함이다. 여러 장의 고정 노드별 지도를 가짐으로써 여러 개의 신호세기 중에 하나의 값에 많은 오차가 포함되어더라도, 중첩 과정에서 오차가 발생한 고정노드를 자연스럽게 걸러낼 수 있다. 또한 고정 노드별로 나눌 수 있는

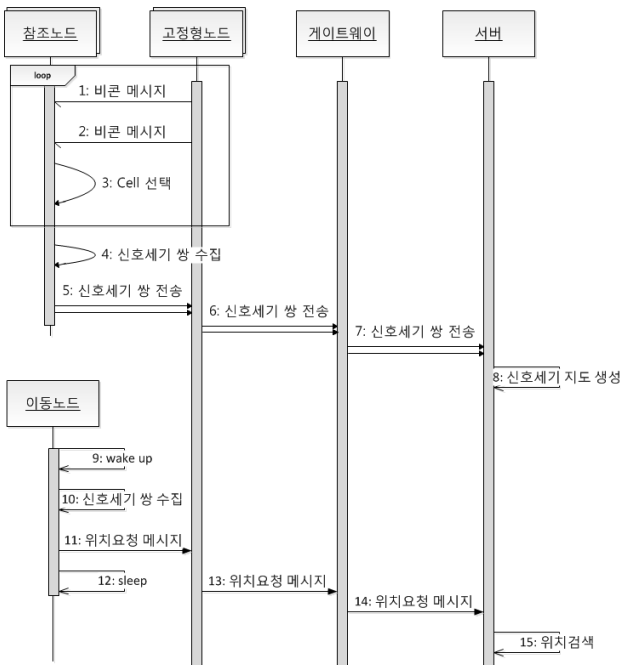


그림 3. 제안하는 시스템의 시퀀스 다이어그램  
Fig. 3. sequence diagram of proposed localization system

지도는 분산 및 배포를 쉽게 함으로써 분산 구조의 위치인식 시스템을 구현하는데 도움이 될 것이다. 후보 위치 선정에 있어서도 측정한 신호세기에 여유 값을 부여하여 오차가 포함되어 있더라도 이를 상쇄할 수 있도록 한다.

#### 4.2. 시스템 시나리오

시스템의 동작은 크게 지도 생성과정과 위치인식 과정의 두 가지로 나눌 수 있다. 두 경우 모두에서 이동노드는 고정형 노드로부터 비콘 메시지를 수신하여 자신이 속한 셀이 어디인지를 BLIDx 프로토콜을 통해 반복적으로 확인해야만 한다. 이는 단순히 위치인식 외에도 통신을 위한 최적 고정노드를 찾는 과정으로서의 의미도 있기 때문이다.

그림 3은 제안하는 시스템의 시퀀스 다이어그램을 나타내고 있다. 자세히 설명하면 1-3번 메시지는 자신이 속한 셀을 찾는 과정으로서 주기적으로 반복되는 시퀀스이다. 또한 이 과정 중에 받은 고정노드와 비콘 메시지의 신호세기 쌍은 이동노드의 메모리에 저장해 둔다. 4번 메시지는 이전까지 수집한 신호세기 쌍을 신호세기 패킷, 즉 fingerprint로 바꾸는 과정이다. 이후 이동노드는 만들어진 fingerprint를 정의된 fingerprint 전달 패킷형태로 만들어 서버로 전송한다. 이 과정은 전체 공간의 지도를 만드는 과정이므로 여러 개의 이동노드 메시지 혹은 하나의 이동노드가 여러 위치에서 전달할 수 있다. 정의된 패킷이 5-7번 메시지 형태를 통해 서버로 전달되면 서버는 정해진 프로세스에 따라 fingerprint를 신호세기 지도 형태로 변환하게 된다.

다음으로 9-15의 메시지는 위치인식 과정에 대한 시퀀스이다. 먼저 저전력을 위해 수면상태에 있던 이동노드가 깨어나고(9번) 주변 고정노드로부터 비

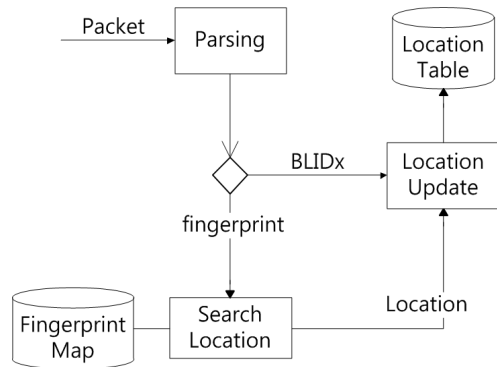


그림 4. 서버의 패킷처리 순서도  
Fig. 4. flow chart of packet processing in server program

큰 메시지를 받아 신호세기 쌍을 수집한다(10번). 이후 이동노드는 11번 메시지를 통해 수집한 신호세기 쌍을 서버로 전송하고, 다시 수면 상태로 전환한다(12번). 전송된 11번 메시지는 서버로 전달되고, 서버는 제안된 위치인식 알고리즘을 통해 위치를 찾고 서버의 위치 정보 테이블에 기록한다.

그림 4는 서버에서 수신한 패킷을 처리하는 과정이다. 먼저 위치인식 패킷이 들어왔을 때 이 패킷이 기존 BLIDx 위치 패킷인지 fingerprint 패킷인지 분류한다. BLIDx 위치 패킷은 내부에 위치정보를 가지고 있기 때문에 바로 위치 정보 테이블에 위치를 저장할 수 있다. 만약 fingerprint 패킷이라면 위치인식 알고리즘에 따라 위치를 계산한 다음, 그 결과를 위치 정보 테이블에 저장한다.

상술된 시나리오는 기존 BLIDx 프로토콜과 호환될 수 있도록 설계되었다. BLIDx 프로토콜의 셀 선택 알고리즘을 사용하고, 필요한 경우 fingerprint 위치요청을 전송하도록 함으로써 기존 프로토콜과 잘 연결될 수 있도록 하였다. 결과적으로 제안하는 위치인식 시스템은 이동노드기반 방법을 통해 빠른 위치인식을 지원하고, 서버기반 알고리즘을 통해 전체 신호세기 정보를 사용한 보다 정밀한 위치인식을 지원한다.

### 4.3. 패킷 포맷

4.2절의 시나리오를 보면 기존의 BLIDx 프로토콜의 시퀀스를 대부분 사용하였기에 별다른 패킷의 정의가 필요하지 않다. 다만 신호세기 쌍 전송과 위치 요청의 경우의 패킷을 정의할 필요가 있다. 이때 가장 중요한 것은 패킷의 크기를 줄임으로써 사용하는 통신 대역폭을 줄이는 것이다. 이를 위해 통신 프로토콜의 헤더에 포함할 수 있는 정보는 패킷에 포함하지 않았다. 해당 패킷은 서버에 전송되기 까지 통신프로토콜에 따라 총 3가지 형태로 변한다.

먼저 이동노드에서 고정노드로 전달하는 패킷의 형태는 그림 5의 (a)와 같다. 이때 통신 프로토콜은 IEEE802.15.4을 사용한다. 앞에서부터 순서대로 패킷 종류를 나타내는 CMD 필드, 길이를 나타내는 LEN 필드, 고정노드 ID와 그 고정노드로부터 수신한 신호세기의 쌍이 수집한 신호세기 쌍의 개수만큼 패킷에 포함된다. 여기에 이동노드의 ID가 포함되지 않은 이유는 BLIDx 프로토콜 정의에 의해 이동노드가 사용하는 통신 주소는 이동노드의 ID로 정해지므로 MAC 헤더를 통해 이동노드의 ID를 알 수 있기 때문이다. 두 번째로 고정노드에서 게이트

|     |     |     |                 |       |     |      |
|-----|-----|-----|-----------------|-------|-----|------|
| (a) | 0   | 1   | 2               | 3     | 4   | 5... |
|     | CMD | LEN | Stationary ID_1 | LQI_1 | ... | ...  |

|     |                 |     |                   |               |   |   |
|-----|-----------------|-----|-------------------|---------------|---|---|
| (b) | 0               | 1   | 2                 | 3             | 4 | 5 |
|     | CMD             | LEN | Src Stationary ID | Src Mobile ID |   |   |
|     | 6               | 7   | 8                 | 9...          |   |   |
|     | Stationary ID_1 |     | LQI_1             | ...           |   |   |

|     |               |     |                   |                    |    |       |
|-----|---------------|-----|-------------------|--------------------|----|-------|
| (c) | 0             | 1   | 2                 | 3                  | 4  | 5     |
|     | CMD           | LEN | Src Stationary ID | Src Stationary NWK |    |       |
|     | 6             | 7   | 8                 | 9                  | 10 | 11... |
|     | Src Mobile ID |     | Stationary ID_1   | LQI_1              |    |       |

그림 5. 위치요청 패킷 포맷 (a)이동노드에서 고정노드로 보낼 때, (b)고정노드에서 게이트웨이로 보낼 때, (c)게이트웨이에서 서버로 보낼 때  
Fig. 5. format of location request packet (a)from mobile note to stationary node, (b)from stationary node to gateway, (c)from gateway to server

웨이로 전달되는 패킷의 형태는 그림 5의 (b)와 같다. 이때 통신 프로토콜은 IEEE802.15.4 기반의 센서네트워크인 ZigBee 프로토콜을 사용한다. (a) 패킷과 다른 점은 패킷을 발생시킨 이동노드의 ID가 포함된 것과 해당 고정노드의 ID가 포함된 것이다. ZigBee 헤더에서는 이동노드의 ID를 알 수 없으므로 MAC 패킷을 ZigBee 패킷으로 바꿀 때 MAC 헤더의 주소를 이용하여 이동노드의 ID를 복원해야 한다. 마지막으로 게이트웨이에서 서버로 전달되는 패킷의 형태는 그림 5의 (c)와 같다. 이때 사용되는 통신은 유선 통신인 UART, USB, Ethernet 중 하나가 될 수 있다. (b) 패킷과 다른 점은 고정노드의 네트워크 주소를 포함하고 있는 것이다. ZigBee 패킷을 변환할 때 손실 되는 네트워크 주소를 복원하여 패킷을 재생성 한다.

### 4.4. 신호세기 지도 자료구조

신호세기 지도 자료구조를 설계할 때 각 고정노드 별로 해당 신호세기에 해당하는 위치를 검색할 수 있어야 한다는 것을 가장 중요한 요소로 삼았다. 따라서 각 고정노드 별로 신호세기를 키로 하고 위치를 값으로 가지는 map 자료구조 형태로 구성하였다. 그림 6은 제안하는 위치인식 시스템에서 신호세기 지도 자료구조의 개념적 형태를 보여준다. 전체 신호세기 지도를 저장하는 Map 구조체는 고정노드 ID를 키로 하고 하나의 신호세기 지도를 값으로 하는 map 자료구조의 형태를 가진다. 또 하위의 신호세기 지도는 신호세기를 키로 하고 그 위치를 값으로 하는 map 자료구조의 형태를 가진다. 이를 통해 신호세기의 검색을 빠르게 할 수 있고 분산 구조를 구현할 때 지도를 쉽게 분리할 수 있다.

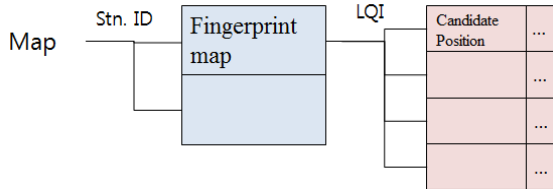


그림 6. 제안하는 시스템의 신호세기 지도 자료구조 개념도  
Fig. 6. conceptual design of signal strength map

#### 4.5. 위치 인식 알고리즘

그림 7은 위치인식 알고리즘을 표현한 것이다. 먼저 고정노드 ID와 신호세기의 짝으로 패킷을 분해한 다음(1), 각 신호세기 짝마다 고정노드 ID에 해당하는 신호세기 맵에서 신호세기 값으로 후보 위치를 찾고(2-3), 후보 위치를 최종 후보에 추가하면서 중첩의 역할을 하도록 검색 후(4), 가중치를 더 하도록 한다(5-8). 마지막으로 가중치 평균을 이용하여 최종 후보에서 위치를 검색한다(9-11).

```

1: pair < ref_ID, RSS > = parsing( Query )
2: for( each pair < ref_ID, RSS > )
3:   candidate_position = map[ ref_ID ]. candidate( RSS )
4:   for( each position = candidate_position )
5:     if( candidate.find( position ) )
6:       candidate[ position ]. increase_weight()
7:     else
8:       candidate.add( position )
9: for( each candidate < position, weight > )
10:  location += weight * position
11: return location
    
```

그림 7. 제안하는 위치인식 알고리즘의 의사 코드  
Fig. 7. pseudo code of localization algorithm

#### 4.6. 서버 프로그램

그림 8은 구현된 서버 프로그램의 구성도이다. 그림을 보면 서버 프로그램은 Map Manager와

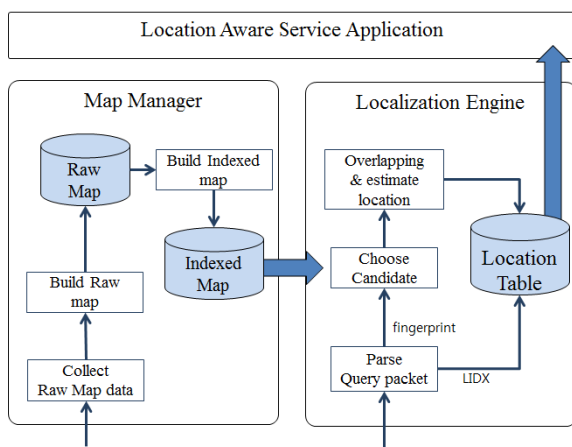


그림 8. 서버 프로그램의 구성도  
Fig. 8. architecture of server program

Localization Engine 두 개의 컴포넌트로 구성된다. Map Manager는 Map 자료구조를 관리하는데, 신호세기 지도 생성 시에 측정 노드로부터 받은 fingerprint를 이용해 Map을 생성하는 기능과 다른 컴포넌트에서 Map을 사용할 때 Interface가 되는 기능이 있다. Localization Engine은 위치인식 과정에 받은 위치 요청 패킷을 처리한다. 요청 패킷의 fingerprint를 가지고 위치인식 알고리즘을 수행한 후 최종 위치를 Location 테이블에 저장한다.

### V. 성능평가

#### 5.1. 제안하는 위치인식 방법 시뮬레이션 검증

제안하는 위치인식 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 먼저 시뮬레이션을 수행하였다. 이 과정에서 비교를 위해 fingerprinting 방식 중 하나인 probabilistic method를 구현하여 사용하였다.

##### 5.1.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 위해 실험 환경을 가상으로 생성하였다. 전체 가로\*세로 20m의 정방형 크기의 공간이고, 이곳에 1m 간격마다 측정지점을 추가하여 총 400개의 측정 위치를 가지는 신호세기 지도를 생성했다. 총 8개의 고정노드가 그림과 같은 위치에 설치되었고, 실제 실험값을 기반으로 고정노드로부터 거리가 멀어질수록 신호세기가 로그 형태로 감소하는 신호세기 값을 생성하였다. 이때 5% 정도의 신호세기 오차를 반영하였다.

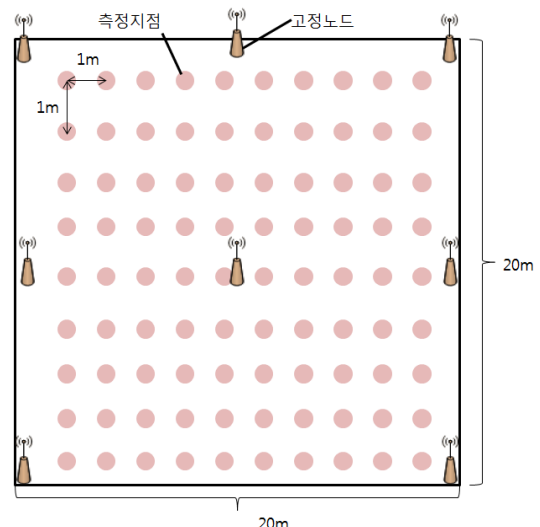


그림 9. 시뮬레이션 환경 구성도  
Fig. 9. simulation environment

5.1.2. 시뮬레이션의 위치인식 정확도

위치인식 정확도를 계산하기 위해 측정오차 15%, 고정노드 8개 쌍 중 2개의 신호값의 70% 감소의 조건을 이용하여 총 2000개의 위치요청 메시지를 생성했다. 표 1은 생성한 위치요청 메시지를 이용하여 위치인식 정확도를 측정한 결과이다. 제안한 중첩 알고리즘을 일반적인 fingerprinting 방식과 비교해 보았을 때 약 10% 정도의 위치 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

표 2. 위치인식 정확도  
Table 2. accuracy of localization

|                      | 평균 위치인식 오차 | 최대 위치인식 오차 |
|----------------------|------------|------------|
| Probabilistic method | 1.6m       | 6.4m       |
| Fingerprint 중첩       | 1.4m       | 5.0m       |

그림 10은 이동노드가 (0,0) 위치에서 (20,20) 위치로 이동하는 것을 가정하고 위치인식 요청메시지를 생성하여 실험한 결과이다. 실제 이동한 직선 경로와 추정 위치인 원이 겹쳐진 모습을 볼 수 있다. 또한 추정위치에서 예상오차를 포함한 원의 범위 내에 이동노드의 이동 경로가 모두 포함되는 것을 볼 수 있다.

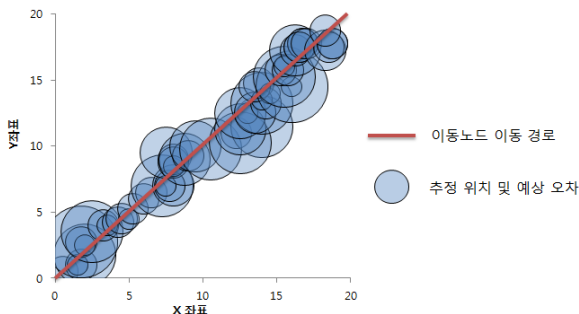
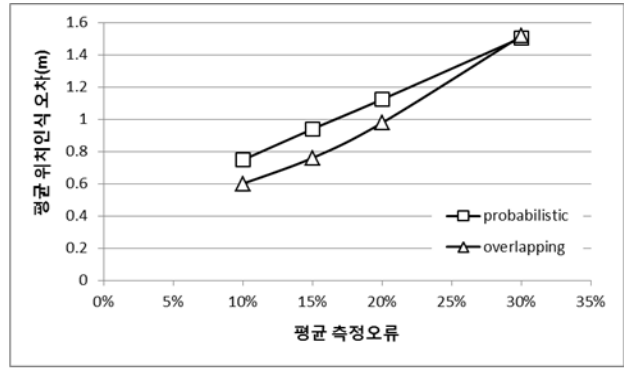


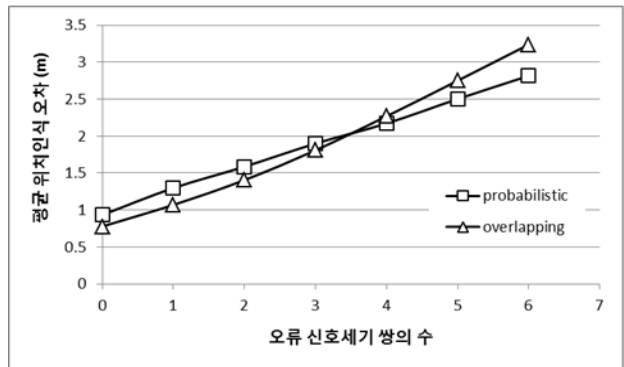
그림 10. 이동노드 이동 경로와 그 추정 위치  
Fig. 10. paths of mobile node and estimated location

5.1.3. 오차 견고성

제안한 방법의 신호세기 오차에 대한 견고성을 실험하기 위해 오류 신호세기 쌍의 개수와 평균 측정오류를 변화시키며 위치인식 메시지를 생성하고 동일한 방법으로 실험하였다. 그림 11은 실험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. (a)그래프를 보면 제안한 중첩 방법의 평균 위치인식 오차가 10%정도 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 다만 (b)그래프를 보면 오류 신호세기 쌍의 개수가 전체 고정노드 개수의 절반을 넘어 갈 경우 오히려 제안한 방법의 위치인식 오차가 더 큰 것을 알 수 있는데, 이는 후보 선택 시에 잘못된 후보의 개수가 증가하여 오차가 증가한 것으로 추측된다.



(a)



(b)

그림 11. 위치인식 오차 그래프 (a)평균 측정 오류에 따른 (b) 오류 신호세기 쌍의 수에 따른  
Fig. 11. localization error graph (a)according to average measurement error (b)according to error signal strength pair

5.2. 구현된 시스템 검증

제안한 시스템을 실제 하드웨어에 구현하고 정확도와 검색 소요시간을 측정해 보았다.

5.2.1. 위치인식 정확도

그림 12(a)와 같이 방 두 개와 중간에 복도가 있는 환경에서 총 5개의 고정노드를 설치하고 실험하였다. 전체 크기는 가로 5m, 세로 13m 정도이다. 그림 12(b)는 실험결과이다. 작은 동그라미로 표시된 부분은 실제위치이고, 각 위치에서 추정된 위치들은 서로 다른 표식으로 표현되어 있다. 그리고 각 고정노드를 중심으로 그려진 큰 원은 BLIDx에서 고정노드의 셀 범위를 나타낸 것이다. 복도에 있는 고정노드의 경우 물리적인 벽으로 가려져 셀 범위가 작은 것을 볼 수 있다.

BLIDx의 경우 그림에서 A로 분류된 지점의 위치인식은 신호세기 차가 명확하므로 평균 90%의 셀 정확도를 보이지만, B로 분류된 지점은 신호세기의 차이가 크지 않으므로 평균 50%의 셀 정확도를 보인다. 하지만 제안한 방법의 위치인식은 위치와 상관없이 평균 오차 50cm 이하의 정확도를 보임을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문의 목적은 기존의 효율성 중심의 BLIDx 프로토콜을 개선시켜 조금 더 정밀한 위치인식 시스템을 구현하는 것이다. 이를 위해 WLAN에서 이용되는 fingerprint 위치인식 알고리즘을 WSN 환경에 맞게 변형하여 fingerprint 중첩 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 방법은 신호세기 오차에 견고하고, 빠른 검색 속도를 목표로 설계 되었으며, BLIDx 프로토콜과 호환 가능하도록 이동노드와 서버프로그램을 구현하였다. 구현된 fingerprint 중첩 알고리즘은 시뮬레이션 검증결과 기존 fingerprint 방법보다 오차에 견고한 위치인식 결과를 보였지만, 잘못된 신호세기의 쌍이 전체의 절반을 넘을 경우 기존 fingerprint 방법보다 낮은 위치인식 정확도를 보였다. 실제 구현하여 실험한 결과 기존 BLIDx 프로토콜과 비교했을 때 보다 정밀한 위치인식 결과를 얻을 수 있었다. 다만 신호세기 지도 생성 단계에서 측정노드의 fingerprint가 잘못 측정될 경우, 위치인식 오차가 증가하고, 인식 결과가 안정적이지 못하고 흔들리는 단점이 있었다. 이 점은 지도 생성 과정에 주변 측정 위치의 값을 이용해 보정하고, 이동노드에 움직임 감지 센서를 추가하여 움직임이 감지되지 않을 경우 위치 이동이 이루어 지지 않도록 함으로써 해결 가능할 것이라 생각한다.

향후 위치인식 연산이 서버에 집중된 구조를 분산 구조로 구성하여 게이트웨이에서 처리함으로써 성능을 향상시키는 방법과, 환경 변화에 취약한 신호세기 지도를 자동으로 보정하는 방법 등에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *IEEE Communications Surveys &Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, 2009.

[2] G. MAO, B. FIDAN, and B. ANDERSON, "Wireless sensor network localization techniques," *Computer Networks*, vol. 51, no. 10, pp. 2529-2553, Jul. 2007.

[3] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE Transactions*

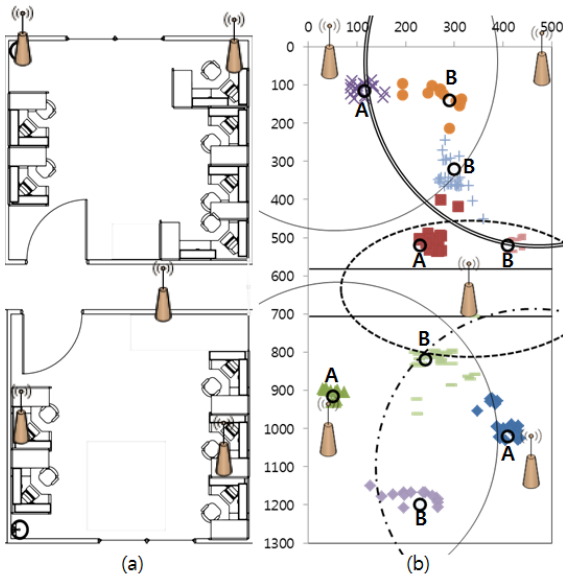


그림 12. 실물 장치에 구현하여 테스트한 결과 (a)실험환경, (b)실험 결과  
Fig. 12. test result of implemented system (a) test environments (b) localization result

표 3. 각 위치별 위치인식 정확도  
Table 3. accuracy of localization at each position

| x 좌표 (cm) | y 좌표 (cm) | BLIDx 평균 셀 정확도(%) | 제안하는 방법의 평균 위치 오차 (cm) |
|-----------|-----------|-------------------|------------------------|
| 50        | 915       | 100               | 19                     |
| 115       | 115       | 96                | 24                     |
| 230       | 520       | 83                | 43                     |
| 410       | 1020      | 88                | 43                     |
| 230       | 1200      | 59                | 47                     |
| 240       | 820       | 38                | 48                     |
| 290       | 140       | 60                | 45                     |
| 300       | 320       | 52                | 45                     |
| 410       | 520       | 42                | 27                     |

5.2.2. 위치인식 소요시간

서버에서 위치요청 메시지를 받고 추정위치를 계산하여 Location Table에 반영하기까지의 시간을 측정하여 표3과 같은 결과를 얻었다. 기대했던 것과는 달리 기존 Probabilistic 방법보다 미세하게 늦었지만 한 요청 당 0.003ms의 차이로 비슷한 소요시간을 얻었다. 또한 이 값은 IEEE 802.15.4 통신에서 하나의 패킷이 전달될 때 보통 1ms의 시간이 소요되는 점을 생각하면 위치인식 알고리즘으로 인한 성능 저하는 없을 것이라고 판단할 수 있다.

표 4. 위치인식 소요시간  
Table 4. localization time

|                      | 위치인식 소요시간 |
|----------------------|-----------|
| Probabilistic method | 0.054ms   |
| Fingerprint 중첩       | 0.057ms   |



- on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), vol. 37, no. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [4] H. S. Ahn and W. Yu, "Indoor localization techniques based on wireless sensor networks," *Mobile Robots –State of the Art in Land, Sea, Air, and Collaborative Missions*, InTech, 2009, pp. 277 - 302.
- [5] V. Kaseva, T. D. Hämäläinen, and M. Hännikäinen, "A Wireless Sensor Network for Hospital Security: From User Requirements to Pilot Deployment," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2011, no. ii, pp. 1-15, 2011.
- [6] D.K. Lee, T.H. Kim, S.Y. Jeong, and S.J. Kang, "A three-tier middleware architecture supporting bidirectional location tracking of numerous mobile nodes under legacy WSN environment," *Journal of Systems Architecture*, vol. 57, no. 8, pp. 735-748, Sep. 2011.
- [7] M. Saxena, P. Gupta, and B. N. Jain, "Experimental analysis of RSSI-based location estimation in wireless sensor networks," *3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops*, 2008, pp. 503-510.
- [8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system," in *Proceedings of 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, vol. 2, pp. 775 - 784, Tel Aviv, Israel, March 2000.
- [9] Y.C. Cheng, Y. Chawathe, A. LaMarca, and J. Krumm, "Accuracy characterization for metropolitan-scale Wi-Fi localization," *Proceedings of the 3rd international conference on Mobile systems, applications, and services*, p. 233, 2005.
- [10] T. King, S. Kopf, T. Haenselmann, and C. Lubberger, "COMPASS : A Probabilistic Indoor Positioning System Based on 802 . 11 and Digital Compasses," *Proceedings of the 1st international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation & characterization*, pp. 34-40, 2006.
- [11] Q. Yao, F.Y Wang, H. Gao, K. Wang, and H. Zhao, "Location estimation in ZigBee Network based on fingerprinting," in *2007 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 2007, pp. 1-6.
- [12] J. V. M. Aviles and R. M. Prades, "Pattern Recognition Comparative Analysis Applied to Fingerprint Indoor Mobile Sensors Localization," *10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, no. Cit, pp. 730-736, Jun. 2010.
- [13] A. Parameswaran, M. I. Husain, and S. Upadhyaya, "Is rssi a reliable parameter in sensor localization algorithms: An experimental study," *Field Failure Data Analysis Workshop*, New York, 2009.

조 형 곤 (Hyeong-Gon Jo)



2010년 2월 경북대학교 전자전  
기컴퓨터학부 공학사  
2012년 2월 경북대학교 전자전  
기컴퓨터학부 공학석사  
2012년 3월~현재 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 박사과  
정

<관심분야> 임베디드 소프트웨어, 실시간 시스템,  
무선 센서 네트워크

정 설 영 (Seol-Young Jeong)



2001년 2월 동아대학교 컴퓨터  
공학과 졸업  
2009년 2월 계명대학교 전산교  
육학과 석사  
2009년 3월~현재 경북대학교  
전자전기컴퓨터학부 박사과  
정

<관심분야> 임베디드 시스템, 센서네트워크, RTOS

**강 순 주 (Soon-Ju kang)**



1983년 2월 경북대학교 전자공  
학과 공학사

1985년 2월 한국과학기술원 전  
자계산학과 공학석사

1995년 2월 한국과학기술원 전  
자계산학과 공학박사

1985년~1996년 한국원자력연  
구소 연구원, 핵인공지능연구실 선임연구원, 전산  
정보실 실장

1996년~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 정보  
통신공학전공 정교수

<관심분야> 실시간 시스템, 소프트웨어 공학, 지식  
기반 시스템