

# RSSI를 이용한 확산지역 우선 거리 추정기법

이운용\*, 황광일\*

요약

본 논문에서는 실내 위험 작업환경에서의 실시간 작업자 위치 추적 및 확인 가능한 위치 인식 서비스를 지원하기 위한 새로운 위치 인식 알고리즘(확산지역 우선 거리추정기법)과 이를 통한 애드 혹 기반의 위치 인식시스템을 제안하고, 개발된 위치 인식 모듈로 구성된 실제 테스트 베드 구현을 통해 제안 기법의 실행 가능성(Feasibility)와 성능평가를 수행한다. 특히, 본 논문에서 고려한 위치 인식 환경은 일반적인 무선 및 인프라 구축 환경에 비해 상당히 열악하며 이로 인해 더욱 제한된 요구 사항을 갖는다. 개발된 위치 인식 시스템은 기본적으로 멀티 홉 네트워크로 구성된 무선 인프라를 사용하여 설치 및 유지보수를 보다 용이하게 하며, 애드 혹 라우팅을 수행함으로써 네트워크의 크기에 상관없이 확장성을 지원하고, 매번 측정된 RSSI 값을 기준으로 위치 인식을 수행하여 데이터의 신선함(Freshness)을 보장하며, 실시간으로 모바일 노드의 메시지를 서버에서 분석할 수 있는 기능을 가진다. 또한, 무선 회절성이 우수하며 장애물 투과율이 좋은 900MHz 대역의 무선 위치 인식 모듈을 통해 구현하였으며, 개발된 네트워크 인프라와 소프트웨어를 통해 능동/수동적 작업자 위치 확인이 가능하다.

## Symmetric Confidence Prioritized Location Estimation Algorithm Based on RSSI

Woon-yong Lee\*, Kwang-il Hwang\*

ABSTRACT

In this paper a novel location algorithm and ad hoc-based location system are proposed and also feasibility and performance are evaluated through the test-bed implementation. In particular, the environment we consider has more severe conditions than general environments that has been considered in other location systems. The developed location system facilitates installation and maintenance by utilizing a scalable multi-hop network infrastructure, guarantees freshness of location data by performing the proposed ranging algorithm, and has the functionality capable of analyzing location messages of a mobile node in real-time. Furthermore, we developed a location module based on the RF module operating on 900MHz frequency bands, which supports active and passive location identification modes associated with the developed network infrastructure and application software.

Key Words : RSSI, Location Systems, User Tracking, Location Estimation, Multi-hop Communications

---

\* 인천대학교 임베디드 시스템 공학과(✉yong000@incheon.ac.kr)

· 제1저자(First Author) : 이운용 · 교신저자(Correspondent Author) : 황광일

· 접수일(2012년 6월 1일), 수정일(1차 : 2012년 8월 20일), 게재확정일(2012년 8월 23일)

## 1. 서론

무선 통신 기술과 측위 기술을 이용하여 사용자에게 다양한 서비스를 제공하는 위치 인식 기술은 교통 상황, 생활정보, 미아방지 등의 일반적인 위치 기반 서비스 [1] 로부터 ZigBee [2] 등의 저전력/저가형 소형 무선 모듈을 활용한 다양한 환경에서의 위치 기반 서비스까지 점차적으로 새로운 서비스 영역을 확장해 나가고 있다. 특히, 본 논문에서는 GPS는 물론 3G, Wi-Fi 등의 인프라를 이용할 수 없는 실내 위험 작업환경(예, 터널공사, 대규모 관로 설비공사 등)에서의 실시간 작업자 위치 추적 서비스를 고려했다. 해당 서비스는 작업자의 생명과 안전을 지키기 위한 중요한 기술로써, 위치 인식 기술을 활용한 주요 서비스 영역으로 자리매김 할 것으로 사료된다.

실내 위험지역 작업자 위치 추적 서비스는 다음과 같이 기존의 무선 위치 기반 서비스보다 더욱 제한된 요구사항을 갖는다.

그리하여 본 논문에서는 실내 위험지역 환경에서의 실시간 작업자 위치 추적 서비스에 알맞은 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 기반의 효율적인 위치 인식기법을 개발하고, 이를 이용한 애드 혹 기반의 작업자 위치 추적 시스템을 제안한다. 제안하는 위치 인식 시스템은 기본적으로 멀티 홉 애드 혹 네트워크를 지원하여 사이트의 크기 또는 환경에 상관 없이 설치 및 UI(User Interface) 매핑이 가능하며, 과거 데이터를 기반으로 변화량의 예측을 통한 Kalman Filter 기반의 다양한 위치 인식기법과 달리, 매번의 위치 인식 시도마다 새로운 거리 측정을 기반으로 하기 때문에 이동에 따른 에러의 변화에 의한 에러의 축적문제를 해결할 수 있으며 데이터의 신선함을 제공할 수 있다. 이와 더불어 제안하는 거리 추정 기법과 위치 인식 네트워크의 실제 동작 및 성능을 평가하기 위해서, 무선 회절성이 우수하며, 장애물 투과율이 좋은 900MHz 대역 기반의 새로운 무선 위치 인

식 모듈을 개발했으며, 이를 통한 테스트 베드 구현을 통해 제안하는 거리 추정 기법과 위치 인식 네트워크의 실행가능성 (Feasibility)과 성능의 우수성을 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 다음 장에서는 기존의 위치 인식 시스템 및 거리 추정 방법을 분석한다. 제 3장에서는 본 논문을 제안하게 된 배경과 새로운 알고리즘의 개발과정 및 제안하는 알고리즘에 대한 세부적인 설명을 포함한다. 제 4장에서는 개발 시스템으로 구성된 테스트베드를 소개하고, 해당 테스트 베드 상에서 실험한 결과를 분석하고, 마지막으로 5장에서는 실험 결과 및 내용에 대한 결론 및 향후 연구 활동을 소개함으로써 본 논문을 마친다.

## II. 기존 위치 인식 기술 분석

표 1. 대표적인 위치인식 기술

Table 1. Representative Location Technologies

연구명	측위 기술	멀티 홉 기능	네트워크 확장성	데이터 실시간성 및 신선함	UI 매핑의 용이성	무선 간섭	능동/수동 위치확인
액티브태지 [3]	적외선	가능	낮음	보통	보통	높음	능동
크리켓[4]	초음파 + R F TDoA	가능	낮음	보통	낮음	높음	능동
Easy living[5]	이미지 분석	불가능	낮음	낮음	낮음	낮음	능동
RADAR[6]	RSSI(WLAN)	가능	보통	보통	낮음	낮음	능동
근거리무선 송수신[7]	RSSI(WLAN/ZigBee, RFID)	가능	보통	보통	보통	낮음	수동, 능동
USN 위치 인식[8]	RSSI	불가능	보통	낮음	보통	낮음	능동

TDoA (Time Difference of Arrival)

WLAN(Wireless Local Area Networks)

RFID(Radio Frequency Identification)

<표 1>에서는 다양한 측위 기술을 활용한 대표적인 실내의 위치 인식 서비스 및 기술을 요약한다. 하지만, 결과적으로 현존하는 대다수의 기술은 실내 위험

지역에서의 실시간 작업자 추적 서비스의 제한된 요구사항을 충분히 만족하지 못하고 있다.

또한 본 논문에서 사용하는 주된 측위 소스는 송신기에서 송신한 무선 데이터로부터 획득한 수신 단에서의 RSSI를 사용한다. 이론적으로 거리와 RSSI와의 상관관계는 일관된 함수로 나타낼 수 있으나, 실제로 수신된 RSSI 값은 멀티패스 및 기타 환경적인 요인에 의한 전파 손실에 의해 상당한 오차가 발생하여 그 값을 그대로 양 노드 간의 거리 측정을 위해 사용하는 것은 불가능하다. 그럼에도 불구하고 RSSI를 이용한 측위 기술은 다른 부가적인 하드웨어나, 정밀한 동기화 등을 요구하지 않기 때문에 지금까지 많은 연구 [9 - 14]에서 다양한 방법으로 RSSI의 값을 보정을 통해 위치 인식을 수행했다. 참고문헌 [9]과 [10]은 제한된 공간에서 이동하는 노드의 RSSI 값을 위치 인식 노드가 센싱하고 퍼지모델링과 삼각측량법, Karlman Filter를 통하여 위치를 측정한다. 하지만 제한된 공간에서만 적용된다는 점과 Karlman Filter를 통한 거리 측정은 이전 값의 데이터를 통한 변화량의 예측이기 때문에 이동방향이 변하면 오차가 커질 수 있다는 단점을 가지고 있다.

참고문헌 [11]은 사용자의 위치를 파악할 때 각각의 노드가 노드의 설치 환경에 따라 RSSI값이 변하는 것을 확인하고 정확한 위치 인식을 위하여 레퍼런스 노드의 설치 높이에 따른 RSSI변화량과 신호가 벽을 투과하였을 때의 RSSI변화량에 대하여 실험하여 RSSI값을 보정하였다.

참고문헌 [12]와 [13]은 건물 내에서 RSSI값을 이용한 위치 측위 시스템이다. 측정된 RSSI값을 삼각측량법을 이용하여 거리로 환산하고 환산한 거리값에서 오차를 지문방식과 판단나무방식(Decision-Tree Method)을 통하여 보정해서 최종 사용자의 위치를 측정하는 방식을 사용하였다. 하지만 후보지점을 찾기 위한 판단나무 기법은 훈련데이터를 통한 시스템의 학습이 필요함으로써 낮은 프로세서 성능과 적은 메

모리를 갖는 소형 위치인식 시스템에는 적합하지 않다.

또한, 단순한 거리 추정이 아닌 네트워크 기반의 애드 혹 위치 인식시스템에 관한 연구[15 - 17]들이 수행되었으며, 이를 확장하여 센서 노드들의 각 위치를 찾기 위한 센서 네트워크 기반의 애드 혹 위치 인식 알고리즘에 관한 연구[18 - 19]들도 수행되었다. 그러나 이러한 연구들은 모두 자신의 절대 좌표를 알고 있는 소수 노드로부터 네트워크를 통하여 자신의 위치를 결정하는 방식들로 대다수 센서 노드들은 정적인 것으로 고려되어, 본 논문에서 제안하는 실내에서 지속적으로 이동하는 모바일 노드를 실시간 추적하기 위한 어플리케이션과는 그 성격이 다르다.

앞서 설명한 기존의 연구들은 제한된 공간에서의 위치 측정은 오차율이 적으나 확장성이 결여되어져 있고 확장된 공간에서의 위치 측정은 많은 연산량과 큰 오차를 보이고 있으며, 대부분 통합된 위치인식 서비스 시스템이 아닌 단순 측위 기술에 한정된 아이디어를 제안하고 있기 때문에 실제 시스템으로 구현하기에는 추가적인 문제점이 따를 것으로 예상된다. 그리하여 서론에서 제시된 각 요구사항을 모두 수용할 수 있는 실내 위험 환경에서의 작업자 위치 추적을 위한 새로운 위치 인식 알고리즘과 시스템이 개발되어야 한다.

### III. 실내 위험지역에서의 실시간 작업자 위치 인식 시스템

#### 3.1 거리대비 RSSI값의 변화량 실험

실내에서 이동하는 사용자의 위치를 추정하는 알고리즘 개발에 앞서 건물복도 내에서 실제 거리와 수신 받은 RSSI와의 관계를 자체 개발한 위치 인식용 무선 모듈을 사용한 실험을 통해 살펴보았다. 실험을 위해 10dBm의 송신출력을 가지는 모바일 노드는 사용자가

착용한 안전모에 장착하였으며, 레퍼런스 노드는 지상에서 2m 높이에 설치했다. 사용자는 위치 측정 노드로부터 0 ~ 15m 사이를 이동하며 1m 간격으로 이동하되 각 구간별로 20회 씩 5 차례 RSSI값을 측정하였다. 거리별 RSSI값은 그림 1과 같다.

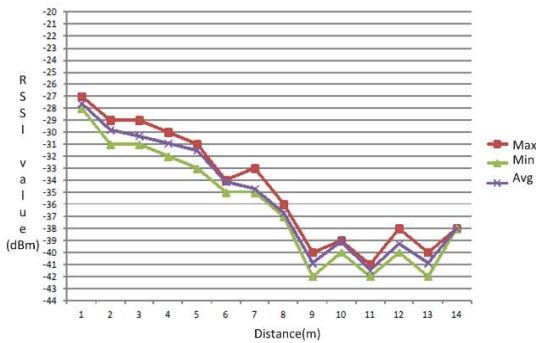


그림 1. 거리 변화에 따른 RSSI 값 측정 결과  
Fig 1. Experimental Result of RSSI variation with respect to distance

그림 1의 Max는 최댓값, Min은 최솟값, Avg는 평균값을 나타내고 있다. 그림 1과 같이 일정 거리(약 7m)까지는 거리 변화에 대한 RSSI값이 선형적인 변화를 보이지만 그 이후로는 불규칙적인 모습을 보이는 것을 알 수 있다. 거리에 따른 RSSI값이 선형적으로 변화하는 구간과 선형성을 보이지 않고 불규칙하게 변화하는 구간을 구분하기 위해, 우리는 이러한 선형구간을 확산지역이라 명명한다. 즉, 단 한번의 RSSI값만으로 사용자의 위치를 추정한다고 할 때 확산지역 내에서는 최소화된 오차를 가지고 거리 추정이 가능하나 확산지역을 벗어나게 되면 위치 추정의 오차가 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

거리와 RSSI와의 관계를 보다 정밀하게 분석하기 위해 두 개의 레퍼런스 노드 A와 B를 통한 추가실험을 수행하였다. 노드 A는 처음의 실험과 같이 일정 거리까지는 선형적인 변화를 보였고 노드 B 또한 처음에 멀리 떨어져 있을 때는 불규칙적이지만 노드 A와 같이

일정 거리 구간부터는 선형적인 변화를 보인다는 것을 알 수가 있다. 결국, 그림 2와 같이 두 개의 레퍼런스 노드의 확산지역이 대칭을 이루는 것을 알 수 있다.

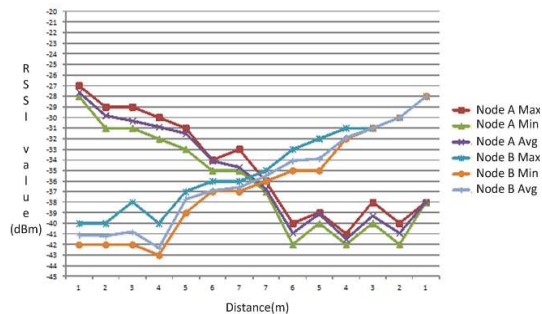


그림 2. 두 노드간 거리별 RSSI 값  
Fig 2. RSSI variation between two nodes with respect to different distances

### 3.2 상호 대칭적 확산지역 우선거리 추정 기법

RSSI를 사용하는 위치 인식 기술은 다른 측위 기술에 비해 추가적인 하드웨어 또는 동기화를 위한 고성능의 발진기를 필요로 하지 않고 데이터 통신을 수행하면서 동시에 간단히 사용할 수 있다는 장점이 있지만, 앞 절에서 실험한 결과에서 보는 바와 같이 RSSI값 자체만으로 무선 모듈간의 거리를 추정하는 것은 거의 불가능하다. 이로 인해, 거리변화에 대한 RSSI값의 비선형성을 극복하고자 다수의 연구에서 Kalman Filter 또는 Fuzzy 기술을 적용하여 위치 인식을 수행했으나, 이러한 예측 기반의 거리 추정 기법들은 모두 과거의 관측 및 추정값에 대한 노드의 현재 거리 예측을 수행함에 따라 RF 특징과 환경 변화에 의한 동적인 에러상황에 잘 대처하지 못할 뿐 아니라, 본 논문에서 제안하는 특수한 위치 인식 상황에서는 지속적으로 비정규적으로 발생하는 에러에 의해 오히려 시간이 경과함에 따라 거리 추정 오차가 축적되는 현상을 발생시킬 수 있다.

그리하여, 본 절에서는 3장 2절에서 수행된 각 실험의 결과 분석을 통해 RSSI 사용 및 구현의 간편성을 유

지하면서 거리 추정 오차의 축적을 제거한 예측기반이 아닌 실측기반의 새로운 위치 추정 알고리즘을 개발한다.

그림 3은 제안하는 위치 인식 기법의 기본적인 아이디어를 보인다. 먼저, 각 레퍼런스 노드가 자신의 위치 뿐 아니라 자신의 주위 레퍼런스 노드들과의 설치 간격 거리를 알고 있다고 가정하자. 이러한 레퍼런스 노드들 간의 거리는 설치와 UI 상에 레퍼런스 노드를 매핑할 때 그 간격을 미리 입력할 수 있다.

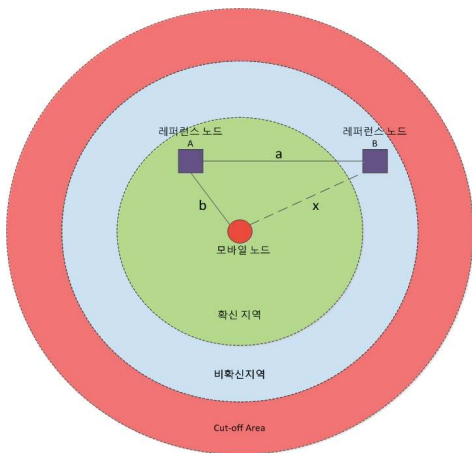


그림 3. 확산지역 우선순위기반 위치 추정기법  
Fig 3. Symmetric Confidence Prioritized Location Estimation

또한, 제안하는 위치 인식 기법은 그림에서 보는 바와 같이 모바일 노드를 기준으로 RSSI값의 유효범위에 따라 크게 확산지역, 비 확산지역, Cut-off 지역으로 구분한다. 확산지역은 실험 1과 2의 결과에서 얻어진 거리대비 RSSI값이 선형성을 나타내는 구간으로 실험을 통해 우리는 -34dBm 을 수신받은 RSSI값의 확산지역 임계치로 설정하였으며, Cut-off 지역은 수신된 RSSI값이 유효하지 않은 지역을 나타내고, 비 확산지역은 확산지역의 RSSI값의 범위를 벗어나지만, Cut-off 값(-40dBm) 보다는 큰 값을 가지는 지역을 나타낸다.

한 모바일 노드의 패킷을 통해 RSSI값을 수신한 레퍼런스 노드들 중 확산 지역 내에 있는 노드(수신된  $RSSI > \text{확신지역 임계치}$ )는 우선으로 기준 노드로 설정되고, 직접적으로 거리대비 RSSI의 방정식을 통해 모바일 노드와 해당 레퍼런스 노드와의 거리를 구한다. 만약, 두 개의 서로 다른 레퍼런스 노드들이 모바일 노드로부터 수신한 RSSI값에 의해 그림 4에서와같이 노드 A는 확산지역에 노드 B는 비 확산지역으로 구분이 되면, 거리 a의 값 (레퍼런스 노드간 설치 거리)과 거리 b의 값을 구할 수 있으므로 남은 x값에 따라 모바일 노드의 위치가 결정될 것이다. 여기서, 거리 x는 다음과 같은 조건을 만족한다.

1.  $b < x < a$
2.  $x \geq a - b$

1번의 경우, 거리 x는 우선 두 레퍼런스 노드의 설치 거리(a)보다 작다. 만약, 설치 거리(a)보다 크다면 이미 해당 레퍼런스 노드는 Cut-off 값을 벗어나게 되기 때문에 비 확산지역 이내에 있는 레퍼런스 노드와 모바일 노드와의 거리 x는 반드시 a보다 작다. 또한, 확산지역의 정의에 의해 확산지역 내에 있는 레퍼런스 노드 A와의 거리 b는 비 확산지역에 있는 레퍼런스 B와의 거리 x 보다 작다. 만약 b와 같거나 크기 위해서는 x도 확산지역 내에 존재해야 한다.

2번의 경우, 두 레퍼런스 노드가 한 모바일 노드로부터 RSSI를 수신했다는 것은 그림에서와 같이 세 노드를 점으로 하는 삼각형의 형태를 갖게 된다. 따라서 b는 a보다 작고 x는 a-b보다 크거나 같아야 한다. 여기서 x가 a-b와 같다는 것은 모바일 노드가 레퍼런스 노드 A와 B 사이에 평행하게 있다는 것을 말한다.

여기서 우리는 한 가지 조건을 더 추가한다. 만약, 수신된 RSSI 값을 통해 거리대비 RSSI값의 방정식의 결과로 얻어진 거리 x의 길이가 1번과 2번을 모두 만족하면 해당 값을 x로 설정한다. 또한, 만약 두 레퍼런스 노드가 모두 확산지역 내부에 존재할 경우에 이때는 실제 구해진 각 거리 b와 x값으로 모바일 노드의 위

치를 결정한다. 또한, 이러한 결과는 레퍼런스 노드간의 설치 거리 간격에 대한 기준을 제시한다. 각 레퍼런스 노드 간의 설치 거리 간격을 확신지역 (본 실험에서 7m) 의 거리의 두 배보다 작게 한다면, 이동하는 모바일 노드에 대해 항상 적어도 한 노드 이상의 레퍼런스 노드는 확신지역으로 포함되고, 이를 통해 기준노드로서 위치 추정이 가능하게 된다. 그리하여, 본 논문에서는 실험에서 각 레퍼런스 노드간의 간격을 10m로 설정함으로써 모바일 노드의 어떤 위치에서도 적어도 한 레퍼런스 노드는 확신지역에 포함될 수 있도록 하였다.

이와 같이 제안하는 위치 인식기법은 과거의 누적된 값에 의존하는 예측기반의 위치 인식기법이 아닌 매번 실측된 RSSI값의 우선순위 지역에 의해 모바일 노드의 위치를 추정하기 때문에 우리는 본 알고리즘을 확신지역 우선 거리추정기법이라 명명한다.

### 3.3 실내 위험 지역에서의 작업자 위치 추적 시스템

본 절에서는 앞 절에서 제안한 확신지역 우선 거리 추정기법을 이용한 멀티 홉 애드 혹 무선 네트워크 기반의 실내 위험 지역에서의 작업자 위치 추적시스템을 소개한다.

제안하는 위치인식 시스템은 기본적으로 고정된 위치에 설치된 레퍼런스 노드들과 작업자에게 부착되는 모바일 노드, 코디네이터로 구성된다. 작업자의 실시간 위치 추적과 설치의 용이함을 위해 각 레퍼런스 노드는 애드 혹 방식으로 멀티 홉 무선 인프라를 형성하고 있으며, 레퍼런스 노드들로 구성된 무선 인프라의 종단에는 코디네이터가 존재하며, 이 코디네이터는 서버에 직접 연결되어 수집된 정보를 서버 전달하는 기능을 한다. 그리하여, 최종 수집된 데이터를 기반으로 서버에서 현재 모바일 노드의 위치를 결정하게 된다.

이러한 구성요소를 통해서 개발된 위치인식 시스템

은 두 종류의 작업자 추적기능을 제공한다. 첫 번째는 주기적으로 모바일 노드가 요청메시지를 송신하여 실시간 작업자의 위치를 추적할 수 있는 능동형 위치 추적기능과, 두 번째는 서버에 의해 현재 모바일 노드(작업자)의 노드를 찾기 위해 무선 인프라로 보고요청 메시지를 브로드캐스트 하여 현재 모바일 노드의 위치를 찾는 수동형 위치인식 방식을 지원한다.

각 노드들의 오버헤드를 줄이고 보다 정밀한 위치 인식을 수행하기 위하여, 주기적으로 전송되는 보고 메시지를 수신한 레퍼런스 노드들은 수신받은 정보를 멀티 홉 네트워크를 통해 코디네이터로 전송하고, 코디네이터는 이들을 수집하여 서버로 이를 전달한다. 작업자의 최종 위치 인식 알고리즘은 서버 내부의 위치인식 엔진(Location Engine)에서 수행하고, 최종 결과 (모바일 노드의 위치)가 GUI상에 표현된다.

제안하는 위치 인식 시스템은 다음과 같이 크게 네 종류의 메시지를 사용한다. Report, Request, Command, Request\_Report. Request 패킷은 모바일 노드가 주기적으로 전송하는 요청 메시지이며, Report 패킷은 Request\_Report 패킷을 수신받은 레퍼런스 노드들이 코디네이터로 보고하는 패킷이다. Request와 Command 패킷은 서버에서 네트워크로 다양한 사용자 정의(User-defined) 명령들 및 수동형 위치인식모드에서 사용된다.

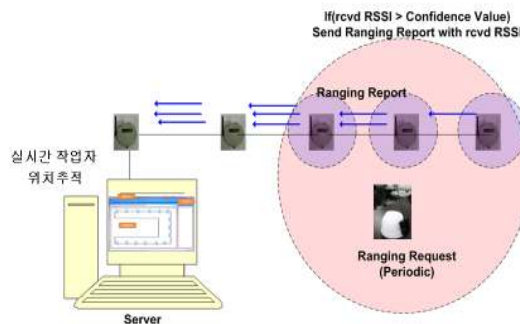


그림 4. Ad Hoc 실시간 위치추적 과정  
Fig 4. Ad hoc Real-time Location Tracking Process

그림 4는 개발된 애드혹 실시간 위치추적 과정을 보인다. 먼저, 모바일 노드는 주기적으로 Request\_Report 메시지를 브로드캐스트한다. 여기서 네트워크 트래픽과 지연을 고려하여 주기는 1초 ~ 5초 사이의 값을 갖는다. 이를 수신한 레퍼런스 노드들은 수신받은 Request\_Report 패킷으로부터 RSSI값을 확인하고, 이를 Cut-off value (Confidence Value) 보다 클 경우에만 해당 모바일 노드의 ID와 Sequence Number, 그리고 RSSI값을 Payload에 저장하여, Ranging\_Report 패킷을 생성하여, 코디네이터로 멀티홉 포워딩을 수행한다. 여기서, Confidence Value 보다 작은 RSSI는 앞 절에서 설명한 비 확산지역을 벗어나는 값이므로 무시함으로써 네트워크의 불필요한 트래픽을 줄이고 모바일 노드의 위치 추정의 범위를 제한할 수 있다. 여기서 경로 상에 있는 레퍼런스 노드들은 Report 패킷을 수신하면, 자신의 라우팅 테이블을 토대로 패킷을 코디네이터로 다시 포워딩한다. 결국, Confidence Value 이상의 RSSI를 수신받은 레퍼런스 노드(현재 모바일 노드의 주위에 있는 노드들)들의 Report 패킷은 코디네이터를 통해 서버로 전송된다.

Sequence Analyzer를 통해 Sequence 별로 구분되어 현재 가장 작은 Sequence Number를 갖는 패킷들만 Node List로 저장된다. Sequence Number를 구분하는 것은 모바일 노드의 주기적인 Request\_Report 메시지 중에서 같은 메시지를 수신한 레퍼런스 노드들을 구분하기 위해서이며, 멀티 홉을 통한 전송에 의해 지연 또는 패킷의 순서가 바뀔 수 있기 때문에 이와 같은 정렬작업이 필요하다. Ranging 모듈에서는 Node\_list에 있는 노드들을 통해 확산지역 우선순위 위치 인식 알고리즘을 수행하고, 이 결과로써 기준 노드 ID, 1개 이상의 상대노드 ID, 그리고 각 노드로부터의 거리값을 얻는다. Localization 모듈은 Ranging 모듈에서 획득한 최근의 Ranging Info와 현재 네트워크 토폴로지 정보를 토대로 Display 모듈에 작업자(모바일 노드)의 현재 위치를 디스플레이 한다. 이러한 일련의 과정은 지속적으로 이루어지며, 모바일 노드가 주기적으로 보내는 Request\_Report 패킷에 의해 실시간으로 처리되어 디스플레이 할 수 있다.

#### IV. 실험 및 성능평가

##### 4.1 위치인식 모듈 및 테스트 베드 개발

본 절에서는 앞 장에서 소개된 확산지역 우선 거리 추정 알고리즘과 이를 이용한 실내 위험지역에서의 실시간 작업자 위치 추적 시스템에 대한 시스템 구현 및 테스트 베드를 설명한다.

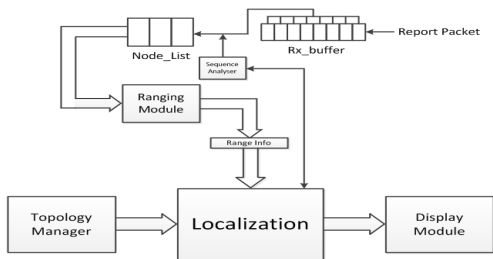


그림 5. 위치 인식 소프트웨어 내부 구성도  
Fig 5. Internal Architecture of Location Tracking Software

그림 5에서는 보는 바와 같이 서버의 위치 인식 소프트웨어는 Rx\_buffer와 Ranging 모듈, 그리고 토폴로지 Manager 와 Localization 모듈, Display 모듈로 구성된다. 코디네이터로 수신된 각 Report 패킷들은 서버의 Rx\_Buffer에 순서대로 저장되고, 이 패킷들은



그림 6. 개발된 위치 인식 모듈 프로토타입  
Fig 6. Location Tracking Module Prototype

제안된 실내 위치인식 시스템을 구성하는 모바일 노드, 레퍼런스 노드, 코디네이터 노드는 917MHz ~ 928MHz 대역에서 사용 가능한 TI사의 CC430F6137 [20] 저전력 SoC를 메인 MCU와 무선 모듈로 사용하였으며, 그림 6에서 보이는 개발된 무선 모듈은 16bit MSP430 core를 탑재하고, 32KBytes의 프로그램 메모리와 4KBytes의 SRAM, 그리고 Sub 1-GHz 대역의 RF 모듈을 포함하고 있다. 모바일 노드는 작업자에게 부착되어 사용하기 때문에 RTC를 통해 설정된 주기마다 깨어나서 Request\_Report 메시지를 브로드캐스트하고 다시 슬립모드로 들어감으로써 전력소모를 최소화할 수 있다.

개발 모듈을 통해 실내 위치 인식 테스트 베드를 구축하기 위하여, 우리는 총 길이 160m인 'ㄷ'자 구조의 건물 한 층에 레퍼런스 노드들을 10m 간격으로 16대의 레퍼런스 노드를 바닥으로부터 2m 높이에 설치하였으며, 이 레퍼런스 노드로 구성된 무선 인프라의 한쪽 끝에 코디네이터 노드를 배치하고, 코디네이터 노드는 시리얼통신을 통해 서버 PC로 직접 연결되었다.

그림 7에서 보이는 서버의 위치인식 소프트웨어는 윈도우즈 .NET 4.0 기반의 GUI 응용프로그램으로써 코디네이터와의 연결을 위한 시리얼 설정부, 위치인식에 사용될 맵 로딩기능, 맵상에 레퍼런스 노드의 생성 및 위치 설정기능, 그리고 토폴로지 확인을 위한 토폴로지 설정부와 앞 장에서 설명된 위치 인식 엔진을 포함하고 있다.

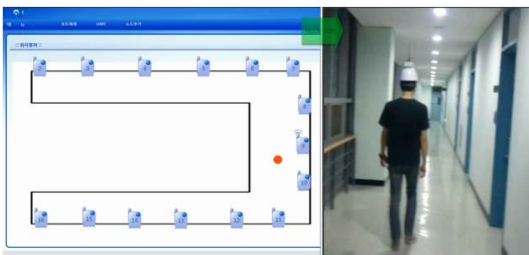


그림 7. 실내 작업자 위치 추적 테스트 베드 실험  
Fig 7. Location Tracking Test-bed

또한 모바일 노드는 작업자의 안전모에 부착되었으며, 10dBm의 신호강도로 매 2초 주기로 Request\_Report 메시지를 브로드캐스트하고, 작업자의 위치는 실시간으로 서버의 위치 인식 프로그램에서 실시간으로 붉은색 원으로 표시된다.

## 4.2 성능평가

본 절에서는 실제로 구현된 실내 위험지역에서의 실시간 작업자 위치 인식/추적 시스템 테스트 베드를 통한 실험을 통하여 제안시스템의 성능을 평가한다. 우선, 서론에서 제시된 요구사항 중 레퍼런스 노드들의 설치 및 UI로의 매핑의 용이함은 이미 4장 4절에서 언급된 바와 같이 개발된 UI를 통해 사용자가 쉽게 매핑 할 수 있는 기능을 포함하고 있으며, 5장 1절에서 언급된 바와 같이 개발 시스템 모듈은 900Mhz 대역의 RFID/USN 전용대역(한국)의 주파수를 사용하기 때문에 타 시스템으로의 간섭이 최소화 될 수 있다. 그리하여, 본 절에서는 멀티 홉 에드 혹 기능 과 네트워크의 확장성 그리고 위치추적의 실시간성과 데이터의 신선함에 관한 실험 결과를 통해 성능평가를 집중적으로 수행한다.

### 4.2.1 멀티 홉 네트워크에서의 위치 인식 지연 분석

이미 4장에서 언급된 바와 같이 제안 시스템에서는 작업자의 모바일 노드에서 주기적으로 자신의 위치 정보를 브로드캐스트 하고 이를 수신 받은 인근의 레퍼런스 노드들이 해당 RSSI값을 멀티 홉 네트워크를 통해 서버로 전송하여 사용자의 위치를 추적하는 능동형 위치인식 방식과 서버에서 필요시에 작업자의 위치를 파악하기 위해 네트워크로 Request\_Report 패킷을 전송하고, 각 레퍼런스 노드들은 본 패킷을 풀러딩 하는 과정에서 모바일 노드가 해당 Request\_Report를 수신하면 이에 대한 응답을 멀티 홉 네트워크를 통해 다시 서버로 전송하는 수동형 사용자 위치 인식을

방식을 지원한다. 그리하여, 본 절에서는 개발된 테스트 베드에서 모바일 노드를 10m ~ 160m까지 각 10m 간격으로 이동 시켰을 때의 수동방식과 능동방식 각각에서의 멀티 홉 네트워크를 통한 위치 인식 기능을 평가한다. 먼저 수동형 위치 인식의 경우 n번째 홉에 있는 레퍼런스 노드를 통한 모바일 노드의 위치 인식 총 지연은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{TotalDelay}(n) = \sum_{i=0}^n T_{Forward}(i) + T_{Request} + \sum_{i=0}^n T_{Reverse}(i) + T_{Ranging}(1)$$

여기서,  $\sum_{i=0}^n T_{Forward}(i)$  는 서버의 요청이 n 홉 떨어져 있는 레퍼런스 노드까지 도달하는데 걸리는 시간,  $T_{Request}$  는 모바일 노드가 요청을 수신하고 다시 자신의 위치 요청 메시지를 주위 노드로 전송하는 시간,  $\sum_{i=0}^n T_{Reverse}(i)$  는 n 홉만큼 서버로부터 떨어져 있는 노드가 모바일 노드의 요청을 서버로 report하는데 걸리는 시간,  $T_{Ranging}$  은 수신된 결과를 통해 서버의 Location Engine에서 사용자의 위치를 계산하고 최종적으로 UI에 위치를 표시하는데 까지 걸리는 시간을 나타낸다.

반면에 능동방식의 경우 서버의 요청에 의해 위치 인식이 이루어지지 않고, 모바일 노드가 이미 설정된 주기로 자신의 주위로 요청메시지를 보내기 때문에 능동방식에서의 총 지연은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{TotalDelay}(n) = T_{Request} + T_{Period} + T_{Ranging} + \sum_{i=0}^n T_{Reverse}(i) \quad (2)$$

여기서  $T_{Period}$  는 모바일 노드의 레인징 요청 패키지의 브로드캐스트 주기를 나타낸다.

그림 8은 개발된 시스템의 능동형과 수동형 모드 각각에서의 모바일 노드 위치에 변화에 따른 멀티 홉 네트워크를 통한 위치 인식의 총 지연 시간에 대한 실험 결과를 나타낸다. 실험은 앞서 설명한 테스트 베드 상에서 애드 혹 방식의 멀티 홉으로 구성된 최대 15홉까지의 레퍼런스 노드들 주위로 모바일 노드를 위치하고, 각 위치에서 10번의 요청메시지에 대한 평균값을

계산했다.

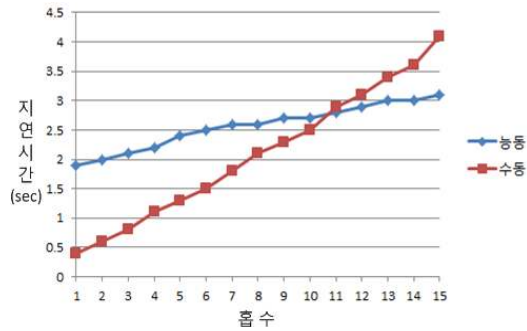


그림 8. 시스템 지연분석  
Fig 8. System Delay Analysis

먼저, 수동모드의 경우 홉의 증가에 따라 선형적으로 지연이 증가됨을 볼 수 있는데, 이것은 수동모드의 특성상 특히, 서버의 요청 메시지를 네트워크로 플러딩 함에 있어 이에 따른 각 홉에서의 데이터 충돌 방지를 위한 CSMA/CA를 포함하기 때문에 홉이 증가할수록 지연이 상대적으로 증가됨을 볼 수 있다. 반면에 능동모드의 경우 서버의 요청이 이루어지지 않기 때문에 각 위치에서의 이전 요청 메시지와 다음 요청 메시지의 수신 시간을 간격을 측정하였다.

결과에서 보는 것 같이 서버의 요청이 아닌 자신의 주기마다 (본 실험에서는 모바일 노드의 주기는 2초로 설정됨) 요청 메시지를 보내고 이를 멀티 홉 네트워크를 통해 서버로 전송되고 최종적으로 서버에서 위치를 인식하는 데 걸리는 시간은 주기를 제외하고 16홉에서도 1초 이내의 전송지연을 나타내고 있으며, 그래프에서 보는 바와 같이 홉의 증가에 크게 영향을 받지 않기 때문에 능동 모드의 경우 실시간성이 최대한 보장됨을 볼 수 있다. 결과적으로, 본 실험을 통하여 제안된 시스템은 애드 혹 멀티 홉을 통해 네트워크의 확장성을 보장할 수 있으며, 수동 및 능동 모드가 같은 인프라에서 가능하고, 특히 능동모드의 경우 실시간성이 보장되어 사용자의 움직임을 실시간으로 확인하는 것이 가능함을 보였다.

### 4.2.2 위치 인식 오차

그림 9는 모바일노드가 0 ~ 150m를 이동시킬 때 각 구간(2m단위) 별 실제 거리와 위치 인식 시스템을 통한 측정된 위치와의 오차결과를 보인다. 또한, 제안시스템의 성능을 비교하기 위해서 Filter를 사용하여 이전의 값을 현재값에 반영하는 기법과의 오차를 비교했다. Filter를 사용하는 방법은 [8]에서 사용된 Feedback Filter를 사용하였다.

$$RSSI_n = a(RSSI_n) + (1-a)(RSSI_{n-1}) \quad (3)$$

필터링에서 a값을 0.1, 0.5, 0.9로 변화함에 따른 각 구간에서의 위치인식 오차를 제안기법과 비교하였다. 그래프에서 보는 바와 같이 제안 시스템은 확산지역 우선에 기반하여 거리추정을 수행함에 따라 오차범위는 전체 지역에 걸쳐 최대 1m를 넘지않는 것을 볼 수 있는 반면 필터링을 사용하는 방법은 이전 값의 오차값이 따라 현재의 위치 추정에 영향을 미치기 때문에 그림과 같이 a값이 0.9인 경우에 (이전 값을 더욱 많이 반영하는 경우) 오차율이 5m가 넘는 구간이 상당히 많이 발생함을 볼 수 있으며, a값을 최소화하여 0.1로 할 경우에도 평균 2m의 오차를 발생함을 볼 수 있다.

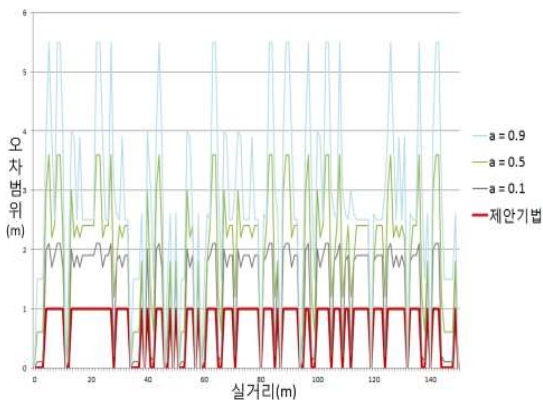


그림 9. 위치추정 오차  
Fig 9. Location Estimation Error

### V. 결론 및 향후 개발 목표

본 논문에서는 실내 위험 작업환경에서의 실시간 작업자 위치 추적 및 확인 가능한 위치 인식 서비스를 지원하기 위한 새로운 위치 인식 알고리즘 (확산 지역 우선 거리추정기법)과 이를 통한 애드 혹 기반의 위치 인식시스템을 제안하고, 개발된 위치 인식 모듈로 구성된 실제 테스트 베드 구현을 통해 제안 기법의 실행 가능성(Feasibility)와 성능평가를 수행했다.

특히, 본 논문에서 고려한 위치 인식 환경은 일반적인 무선 및 인프라 구축 환경에 비해 상당히 열악하며 이로 인해 더욱 제한된 요구사항을 갖는다. 개발된 위치 인식 시스템은 기본적으로 멀티 홉 네트워크로 구성된 무선 인프라를 사용하여 설치 및 유지보수를 보다 용이하게 하며, 애드 혹 라우팅을 수행함으로써 네트워크의 크기에 상관없이 확장성을 지원하며, 제안된 알고리즘은 매번 측정된 RSSI값을 기준으로 위치 인식을 수행하여 데이터의 신선함(Freshness)을 보장하고, 실시간으로 모바일 노드의 메시지를 서버에서 분석할 수 있다. 또한, 무선 회절성이 우수하며 장애물 투과율이 좋으며, 다른 시스템들과의 간섭을 최소화할 수 있는 900MHz 대역의 무선 위치 인식 모듈을 통해 구현하였으며, 제안된 인프라와 소프트웨어를 통해 능동/수동적 작업자 위치 확인이 가능하다.

마지막으로 본 논문은 시뮬레이션 등을 통한 단순한 아이디어 검증이 아닌 실내 위험지역에서의 실시간 위치 추적 서비스를 위한 실제 하드웨어와 소프트웨어의 구현을 바탕으로 이에 대한 실행 가능성과 성능 평가 결과를 다루고 있으며 차후 위치 인식 시스템의 개발과 관련된 서비스 분야에 있어 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

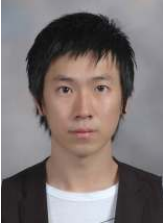
## 참고문헌

- [1] Bomi Kim, Minjin Shim, Jongeun Lee, Sangho Choi, "Ubiquitous Sensor Network technologies of the location tracking and trend," *Weekly technology trend*, 1291, pp. 27 - 37, Apr. 2007.
- [2] IEEE Std 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," IEEE Standard for Information Technology, 2006.
- [3] Want, R., Hopper, A., Falco, V., and J. Gibbons, "The Active Badge Location System", *ACM Transactions on Information Systems*, pp. 91-102, Jan. 10, 1992.
- [4] Adam Smith, Hari Balakrishnan, Michel Goraczko, and Nissanka Priyantha, "Tracking Moving Devices with the Cricket Location System," *Proc. of MobisSYS'04*, Jun, 2004.
- [5] J.Krumm et al., "Multi-Camera Multi-Person Tracking for EasyLiving," *Third IEEE International Workshop on Visual Surveillance*, pp. 3 - 10, Jul. 1, 2000.
- [6] Paramvir Bahl, and Venkata N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system," *INFOCOM*, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [7] Hakyong Kim, Donggil Seo, Dongwon Shin, "A Wireless Solution for Indoor Location Services," *Proc. of JCCI '07*, May. 2007.
- [8] Songju Kim, Youngmin Kim, "A Study on Indoor Location Estimation using RSSI of Low Power Tag in RFID/USN Environments," *Journal of KIIT*, Vol. 9, No. 10. Oct. 2011.
- [9] Jongseon Kim, Younghoon Joo, "Localization on WSN Using Fuzzy Model and Kalman Filter," *The Transaction of KIEE*, Vol. 58, No. 10, pp. 2407 - 2051, Oct. 2009.
- [10] Hyunjong Kim, Geuntaek Kang, Wonchang Lee, "Indoor Location Estimation and Navigation of Mobile Robots Based on Wireless Sensor Network and Fuzzy Modeling," *Journal of Intelligence and Information Systems*, Vol 18, pp. 163 - 168, Feb. 2008.
- [11] Marko Helén, Juha Latvala, Hannu Ikonen, and Jarkko Niittylahti, "Using Calibration in RSSI - based Location Tracking System," Mar. 2005.
- [12] Jaegeol Yim, Kyubark Shim, Seunghwan Jeong, "Implementation of a Library Function of Scanning RSSI and Indoor Positioning Modules," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 10, No. 11, pp. 1483 - 1495, Nov. 2007.
- [13] Jaegeol Yim, Chansik Park, Jaehun Joo, Seunghwan Jeong, "Extended Kalman Filter Method for Wi-Fi Based Indoor Positioning," *Journal of Information Technology Applications & Management*, pp. 51 - 65, May. 2008.
- [14] Mohit Saxena, Puneet Gupta, and Bijendra Nath Jain, "Experimental Analysis of RSSI-based Location Estimation in Wireless Sensor Network," *Communication Systems Software and Middleware and Workshops*, pp. 503 - 510, Jan. 2008.
- [15] Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS)," *IEEE Conf. on Global Communications*, pp. 2926.2931, Nov. 2001.
- [16] C. Saverese, J. M. Rabaey, and J. Beutel, "Location in Distributed Ad-Hoc Networks," *IEEE Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 2037 - 2040, May. 2001.
- [17] A. Savvides, H. Park, and M. B. Srivastava, "The Bits and Flops of the N-hop Multilateration Primitive for Node Localization Problems," *ACM Conf. on Wireless Sensor Networks and Applications*, pp. 112 - 121, Sept. 2002.
- [18] Sundaram, N., and Ramanathan, P., "Location Estimation Scheme using Connectivity Constraints for Wireless Ad Hoc Sensor Networks," *Communication Systems Software and Middleware*, pp 1 - 10, 2007.
- [19] Lederer, S., Jie Gao, and Sion, R., "Collaborative Location Certification for Ad-Hoc Sensor Networks," *2008 IEEE, Sarnoff Symposium*, pp 1 - 6, 2008.
- [20] CC430 Datasheet, Texas Instrument, <http://www.ti.com/lit/ds/slas554f/slas554f.pdf>

## 감사의 글

본 논문은 2011년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의해 연구되었음.

## 저자소개



이운용 (Woon-yong Lee)

2010년 인천대학교 임베디드시스템공학과 졸업

2011년~현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 석사과정 재학중

※ 관심분야: USN, Energy Efficient Embedded System Design



황광일(Kwang-il Hwang)

2004년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사)

2007년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (공학박사)

2007~현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 조교수

※ 관심분야: USN, Energy Efficient Embedded System Design