

랜드마크 발신기 기반의 Wi-Fi 측위 시스템의 구현

김범열^{*}, 임창준^{*}, 한광수^{*}, 이정준^{*}

Wi-Fi Based Positioning System by Using the Landmark Transmitter Device

Bum-youl Kim^{*}, Chang-jun Lim^{*}, Kwang-su Han^{*}, Jung-jun Lee^{*}

요약

본 논문에서는 Wi-Fi를 이용한 RSSI (Received Signal Strength Indication)기반의 측위 시스템에서 전파환경 변화에 민감한 시스템의 문제를 보완하기 위하여 랜드마크 발신기 기반의 측위 시스템을 제안한다. 이를 위하여 핑거프린팅 알고리즘 및 랜드마크 발신기를 구현 하였으며 간단한 측위 정확도 예측모델을 만들어 수신된 전파 세기를 기반으로 측위 정확도를 예측하였다. 이를 바탕으로 실내 TEST BED를 구축하였고 주요 지점에 랜드마크 발신기를 부착하여 시스템의 효용성을 검증하였다.

Key Words : 위치기반, Wi-Fi, RTLS (Real Time Locating system), 측위 시스템

I. 서론

최근 GPS의 보급으로 실외의 경우, 지구상에서 어디든지 손쉽게 자신의 위치를 GPS 단말을 통하여 위치정보 서비스를 받을 수 있게 되었다^[2]. 하지만 실내의 경우, GPS 위성의 신호가 잘 잡히지 않은 관계로 정확도가 떨어지는 문제점이 있다. 그러므로 제한된 공간에서 실내를 포함한 위치 추적을 위하여 RTLS(Real Time Locating System) 기술을 이용하는데 RTLS란 어떤 물리적인 공간 내에서 사람 또는 물체의 위치 및 거리를 실시간으로 결정하는 시스템을 뜻한다^[6]. 적용 분야를 살펴보면 대형 병원의 환자 위치모니터링, 피난방재, 공장자동화, 물류추적 및 관리 서비스 등에 사용된다.

RTLS는 다양한 무선통신기술을 활용하여 구현이 가능하다. 그러므로 적용되는 응용 도메인 따라 경계성, 측위 정확도, 배터리 수명 등을 고려하여 적합한 무선통신기술을 선택하여 사용할 수 있다.

특히 Wi-Fi의 경우에는 기존 통신인프라가 구축되어 있어 망 호환성 측면에서 장점이 있다^[8,12].

그러나 Wi-Fi 방식의 경우, 일반적으로 RSSI 방식으로 시스템을 구현하므로 전파환경변화에 민감하다는 단점이 있다^[1,4,13]. 즉 측위 값의 정확도가 환경 변화에 따라 불안정하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전파 세기 방식과는 달리 전파 속도를 이용한 TDOA (Time Difference Of Arrival) 및 TOA (Time Of Arrival) 방식을 이용한다. 그리고 이러한 연구는 무선 통신방식을 초음파 및 UWB(Ultra Wide Band)와 같은 노이즈에 강한 통신 방식을 이용하여 정확도 측면에서 성과를 거두고 있다^[1,3,5]. 그러나 이러한 시스템의 경우, 각 리더간의 시각동기를 위한 통신 네트워크를 구축하는데 많이 비용이 지출되는 문제로 확대적용에 제한을 드러내고 있다. 반면 Wi-Fi 방식의 경우, 우리나라에서는 최근 스마트폰의 보급으로 AP (Access Point) 망이 확대됨에 따라 Wi-Fi 방식의 RTLS가

* 본 연구는 건설교통부 첨단도시 기술 개발 사업 지능형 국토정보 기술혁신 사업과제의 연구비 지원 (07 국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

• 주저자 겸 교신저자 : LS산전(주) 스마트네트워크 연구팀, bykima@lsls.biz, 정희원

* LS산전(주) 스마트 네트워크 연구팀, cjlim@lsls.biz, kwangshan@lsls.biz, jjlee@lsls.biz

논문번호 : KICS2012-01-036, 접수일자 : 2012년 1월 30일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 3일

경제성 측면에서 대두되고 있다. 그러므로 본 논문에서는 Wi-Fi 기반 RSSI 방식의 측위 시스템에서 안정적인 정확도 확보를 위하여 랜드마크 발신기를 활용한 방법을 제시하고 기존 시스템의 단점인 환경변화에 민감한 문제점을 보완 하였다.

II. 측위 시스템의 구현

2.1. RTLS 의 구성

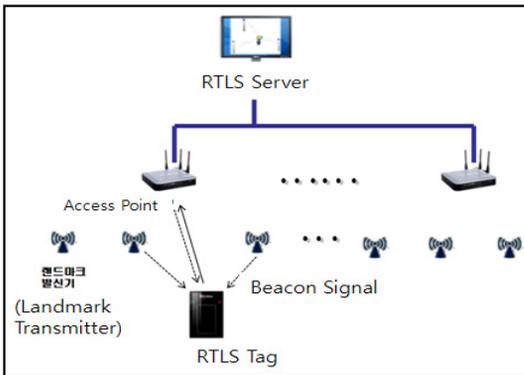


그림 1-1. 랜드마크 기반 Wi-Fi RTLS 구성
Fig. 1-1. Wi-Fi RTLS based on Landmark Transmitter

일반적인 RTLS 구성은 Tag, 리더, 측위 엔진 3 가지로 구성되지만 구현한 RTLS의 구성은 RTLS Tag, AP (Access point), 측위 엔진 그리고 랜드마크 발신기를 추가한 4가지로 구성된다. 랜드마크 발신기란 오직 SSID 및 BSSID를 주기적으로 송신할 뿐 상용 AP와 같이 BSS(Basic Service Set)를 구성하지 않는 디바이스 이다. <그림1-1>은 제안하는 랜드마크 기반 Wi-Fi RTLS의 구성을 나타내고 있다. 시스템 구성요소에 대하여 상술하면 RTLS Tag는 Tracking 하고자 하는 대상에 삽입되어 사용되며 AP 및 랜드마크 발신기는 SSID를 Broadcast 방식으로 발신하여 범위 내에 있는RTLS Tag에 송신한다. RTLS Tag는 이를 주기적으로 SSID에 대한 RSSI값을 수집을 하고 그 결과를 다시 AP(Access point)로 전송한다. RTLS 엔진은 이러한 데이터를 기반으로 위치를 계산한다. 사용되는 알고리즘은 핑거프린팅 방식, 삼각 측량법을 이용한 Least Square 방식, Centroid 방식 등이 있다^{1,7,9)}.

2.2. RTLS 정확도 예측 모델

2.2.1. 정확도 예측 모델의 유도

일반적으로 거리에 따른 Wi-Fi 신호 세기의 감쇠

식은 아래와 같다¹⁰⁾.

$$P(r)[dBm] = P(r_o)[dBm] - 10n \cdot \log\left(\frac{r}{r_o}\right) \quad (1)$$

여기서,

$P(r)$: RTLS Tag의 측정한 신호세기

r : AP 와 RTLS Tag와의 거리

r_o : AP와 기준점과의 거리 (기준점)

$P(r_o)$: 기준점에서 측정한 AP의 신호 세기

n : 경로 손실 지수

본 식을 이용하여 1m에서 30m 사이 구간에서 실제 측정 값과 함께 비교하면 <그림2-1>와 같다.

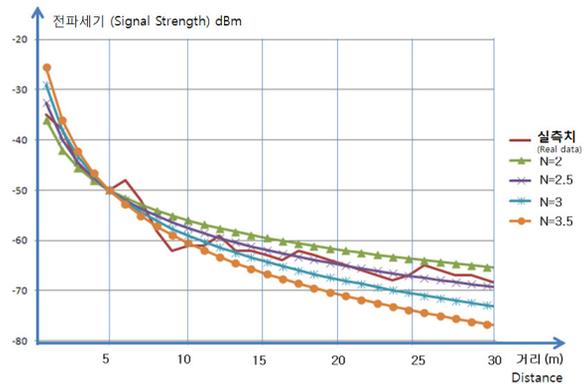


그림 2-1. 거리 변화에 따른 AP의 신호세기
Fig. 2-1. AP Signal strength depending on distance

여기서 실측 치는 구현한 실내TEST BED 내에서 직접 측정하여 얻은 값이다. 식(1)과 실측 치와 유사한 값을 얻기 위하여 기준점을 3m~15m 사이 값과 경로 손실지수 2~3.5 값을 대입하여 그 중 가장 유사한 값을 선택 하였다. 그 결과 기준점은 5m 일 때와 경로 손실지수는 2.5일 때가 가장 근접하였다. 이는 실내 경로손실 지수를 2~4 사이의 값을 이용하는 다른 연구결과와도 유사한 결과이다¹¹⁾. 전파세기를 가지고 측위 정확도를 예측하기 위하여 식(1)을 power에 대한 거리의 식으로 바꾸면 아래와 같이 식(2)와 같다. 그리고 식(2)을 P(r)에 대하여 미분을 하면 식(3)과 같다. 여기서 식(3)은 수신된 신호세기의 지점에서의 순간 거리 변화율을 뜻하므로 본 연구에서 측위 시스템의 예측 정확도로 활용하였다.

$$r = r_o \cdot 10^{\frac{P(r)-P(r_o)}{-10n}} \quad (2)$$

$$\frac{dr}{dP} = r_o \cdot 10^{\frac{P(r)-P(r_o)}{-10n}} \cdot \frac{1}{-10n} \cdot \ln 10 \quad (3)$$

그 근거는 측위 값에 대한 오차는 AP에서 보내 오는 SSID의 전파세기의 변화와 RTLS 수신단의 변화 그리고 환경변화에 따른 전파세기의 변화가 측위 오차를 결정하기 때문이다. 즉 식(3)은 전파세기에 대한 거리의 변화율이 크면 Tag의 움직임이 환경변화에 민감하다는 의미이고 작다는 것은 Tag의 움직임이 환경변화에 둔감함을 나타낸다. 그러므로 그 구간에서 RSSI 값의 변화율을 알고 있다면 그 구간에서 Tag의 위치 값의 변화 정도를 예측할 수 있다.

2.2.2. 정확도 예측 모델 분석

식(3)을 그래프로 나타내면 <그림2-2> 과 같다.

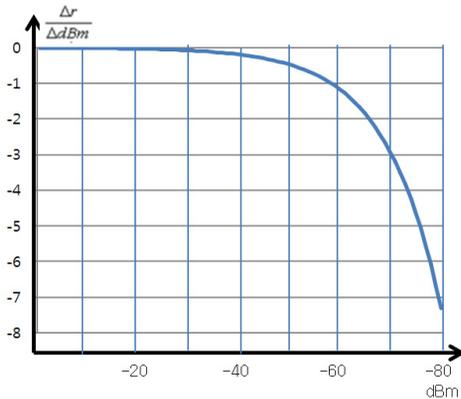


그림 2-2. 신호세기 변화에 따른 거리변화
Fig. 2-2. Signal strength variation depending on distance

<그림2-2>에서 살펴 보면 입력신호 세기가 -40dBm 일 때, 순간 거리 변화율은 -0.18m/dBm 이다. 즉 RTLS Tag의 수신한 RSSI값의 변화율이 1dBm 미만 인 경우, RTLS의 측위 정확도 오차는 0.18m 미만임을 예상 할 수 있다. 그러나 환경변수에 대한 RSSI값의 변화 정도를 고려한다면 10dBm 정도의 변화 정도를 고려해야 한다. 그 근거는 RTLS Tag 자체가 가지는 변화율 1~2dBm과 사람에 의한 전파감쇠는 약 3dBm이고^[6] Tag 자세에 대한 변화율은 약 5dBm로 알려져 있다^[9]. 그러므로 예상 측위 정확도는 0.18m의 10배인 1.8m 임을 예측 할 수 있다. 그러나 만일 수신된 세기가 -70dBm 일 경우, 변화율이 -2.9m/dBm 이므로 환경변수를 고려한다면 약29m 가 변하게 된다. 즉 전파 환경 변화에 민감하게 된다. 결국, <그림2-2> 에서 나타내는 결론은 전파세기가 강하게 수신되는 구간인

AP와 가까운 지점에서 측위를 할 경우, 측위 시스템은 환경변화에 둔감하다는 결론을 얻을 수 있다. 그러므로 정밀한 측위 정확도가 요구되는 구간에 SSID를 발신하는 랜드마크 발신기를 부착한다면 그 구간에서는 안정적인 측위 정확도를 얻을 수 있을 것이다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 특성을 살려 랜드마크 발신기 방식을 제안한다.

2.3. 랜드마크 발신기 구현

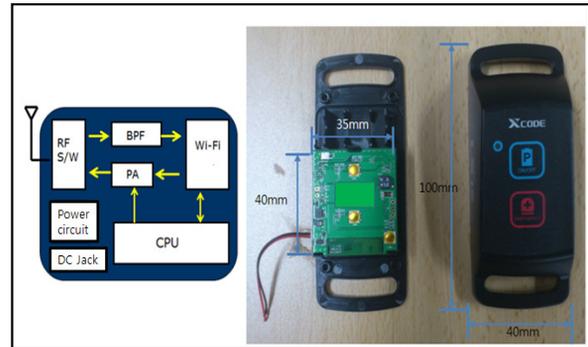


그림 3-1. 구현한 랜드마크 발신기
Fig. 3-1. Implementation of Landmarks Transmitter

랜드마크 발신기는 개발한 RTLS Tag의 대부분의 H/W를 그대로 이용하여 구현 하였으므로 RTLS Tag와 동일하다. 다른 점은 기능면에 AP 비컨 프레임 발신한다는 점과 고정 전원을 사용한다는 것인데 고정전원 사용은 안정적인 AP비컨 발신 환경을 구축하기 위함이다.

실물 및 구조는 <그림3-1>와 같다. PCB 크기는 40x35mm 이고 RTLS Tag 기구물 크기는 100x40mm 이다. 구현한 RTLS Tag의 성능을 살펴 보면 송신전력은 18dBm, 통신속도 11Mbps, 통신거리는 LOS(Line of Sight) 기준 200m, 배터리 충전 주기는 2초 주기 통신 시 180 시간을 쓸 수 있다. 사용 배터리 용량은 1,000mAh이다.

본 논문에서 RTLS Tag 및 랜드마크 발신기를 구현하기 위하여 검토한 칩셋은 G2 Microsystem사의 G2C501과 GainSpan사의 GS1011이다. 여기서는 GS1011를 이용 하였는데 장점은 칩셋 안에 2개의 CPU가 내장되어 있어 WiFi 관련 신호처리 시 전담 CPU가 처리하므로 동작이 안정적이다. 제공되는 SDK (Software Development Kit)를 이용하면 3~4개의 Client를 처리할 수 있는AP 및 WEP, WPA,WPA2와 같은 보안 알고리즘 등을 효과적으로 구현 할 수 있다. 반면 CPU 하나가 더 내장된 만큼 비컨 신호 수신 시 전력소모가 G2C501에 비

해 크다. 랜드마크 발신기는 상용 AP 비컨 프레임과 동일한 AP 프레임을 송신한다. 하지만 AP와는 달리 주 기능인 BSS (Basic Service Set)을 구성하지는 않고 별도의 네트워크와 물리적으로 연결되어 있지 않다. 비컨의 주기는 통상 100msec 주기로 비컨을 발신한다. 하지만 이 주기는 TBTT (Target Beacon Transmission Time)에 의해 최종 결정되는데 이 주기는 고정이지 않거나 그 채널이 바뀔 경우, 송신이 지연될 수 있으므로 기존 무선 랜 시스템과의 간섭은 피할 수 있다^[15]. 하지만 가장 확실한 간섭 회피 방법은 기존의 AP 채널과 랜드마크 발신기 채널을 다르게 쓰는 것이다. 현재 우리나라에서는 무선 랜 대역이 1~11번 채널을 사용하므로 기존 무선 랜 환경이 1,11번 채널을 사용한다면 발신기 채널을 6번 채널을 사용하여 간섭을 최소화 해야 한다.

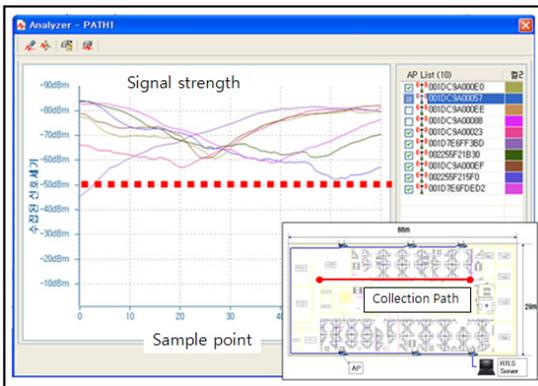


그림3-2. 랜드마크 발신기 설치 전의 전파맵
Fig. 3-2. Before Landmarks Transmitter Installation

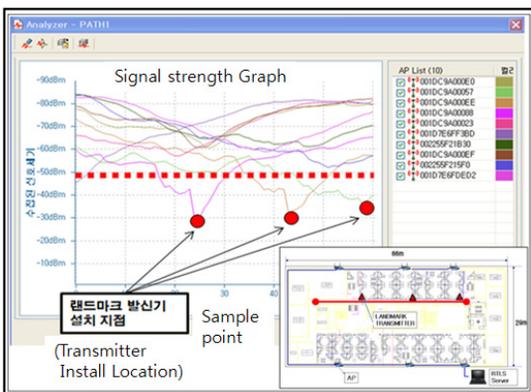


그림 3-3. 랜드마크 발신기 설치 후의 전파맵
Fig. 3-2. After Landmarks Transmitter Installation

<그림3-2>은 랜드마크 발신기 설치 전의 Wi-Fi 네트워크에 대한 전파맵이다. 수집경로 및 구간은 <그림3-2>의 우 하단에 일직선으로 표시하였다. 우측 하단의 평면도는 실제 실험환경의 평면도를 나

타낸다. 이 결과는 기존에 설치된 AP를 이용하여 전파를 수집한 결과이다. 수집 결과 대부분의 전파의 세기가 -50dBm 이하임을 확인 할 수 있다. 반면 <그림3-3>은 동일한 구간에서 랜드마크 발신기를 설치한 후의 전파맵이다. 수집구간은 <그림3-3>의 우 하단에 표시하였다. 우 하단은 구축한 RTLS 실험환경의 평면도를 나타낸다. 기존에 설치된 AP만으로 이용하여 전파를 수집한 내용과는 달리 중요 지점에 랜드마크 발신기 3개를 추가 하였다. 여기서 적색 점 ● 을 찍은 지점이 랜드마크 발신기가 SSID를 송신하는 지점이다. <그림3-3>의 우 하단에 적색의 ▲ 표기된 부분이다. 수집 결과 그 부분에서는 -50dBm 이하의 전파세기가 측정 되므로 식(3)을 기준으로 이 구간에서는 높은 측위 안정도를 예상 할 수 있다. 또한 <그림3-2>과 비교 시 전체적으로 전파맵이 좋아짐을 알 수 있으므로 측위 정확도도 높아 질 수 있음을 예상 할 수 있다. 랜드마크 발신기 설치 시 고려해야 할 점을 살펴보면 다음과 같다.

1) 기존 AP와의 간섭

기본적으로 랜드마크 발신기는 반송파 감지철차에 따라 비컨을 발신하므로 기존 AP 망에 큰 영향을 미치지 않는지만 이로 인하여 발신기에서 적절한 주기로 신호발생이 안될 수 있으므로 랜드마크 발신기의 채널 선택이 중요하다.

2) 안정적인 측위 구간 선정

사용자 요구에 따라 특정 Room, 복도, 엘리베이터 입구 등 사람이 이동이 잦고 측위 정확도가 필요로 하는 구간에 우선적으로 설치 한다.

3) 사용자 요구에 따른 정확도 선정

만일 특정구간을 5m 내외의 정확도로 시스템을 설계코자 한다면 환경변화가 10 dBm 일 경우, (3)식에 따라 순간 거리 변화율은 0.5m/dBm 미만이 되어 한다. 그러면 전파세기는 5m 거리에서 -51dBm 이상이 되게 배치 한다.

2.4. RTLS 측위 알고리즘

2.4.1. 핑거프린팅 알고리즘

본 연구에서는 랜드마크 발신기의 효율성을 검증하기 위하여 핑거프린팅 기반의 알고리즘을 사용하였다^[9]. 핑거프린팅의 기본적인 개념은 실제 측위 공간을 잘게 나누고, 각 공간에 해당하는 RSSI정보를 미리 구축한 후, 측위 시 임의의 위치에서 얻은

RSSI정보를 각 공간의 미리 얻은 RSSI정보와 비교하여 가장 확률이 높은 위치를 찾는 개념이다. 여기서의 확률 계산은 베이저안 통계 기법을 사용하였다⁹⁾. 측위 알고리즘에 대하여 상술을 하면, 측위하고자 하는 전체 공간을 L이라고 하고 L은 K개의 공간을 이루는 l_k 로 이루어진 집합으로 정의하고 A는 공간에 존재하는 AP의 집합으로 정의하면 아래와 같이 나타낼 수 있다. (여기서n은 수집된 AP의 번호를 의미함)

$$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_p, \dots, l_k\}$$

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_j, \dots, a_n\}$$

그리고 관측 할 수 있는 RSSI값의 변수를 s라고 정의 하고 그 값의 범위는 RSSI 값을 수집하는Tag가 l_p 라는 임의의 위치에서 수집된 RSSI 값이라고 하면 s의 범위는 수집하는 Tag의 성능 상 -100dBm 이상을 관측 할 수 없으므로 아래와 같이 나타 낼 수 있다.

$$-100 \text{ dBm} < s < 0 \text{ dBm}$$

그리고 관측된 AP 를 a_j 라고 하고 이 때 관측 된 RSSI 값이 o_j 라고 할 때 이 때의 확률 분포를 $p_p^j(s)$ 라고 정의하면 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sum_{s=0}^{100} p_p^j(s) = 1 \tag{4}$$

즉, $p_p^j(s)$ 란 일정한 범위를 가지는 s에 대하여 관측Tag (전파세기를 수집하는 장치)가 특정 위치인 l_p 에서 j번째 AP인 a_j 에서 보내는 신호 o_j 를 수집한 값에 대한 확률 분포를 나타낸다. Tag에서 관측된 AP들의 신호세기의 집합을 아래와 같이 O의 집합으로 표현 할 수 있다.

$$O = \{o_1, o_2, o_3, \dots, o_j, \dots, o_n\}$$

여기서 o_j 는 AP 인 a_j 의 관측된 RSSI

값이며 관측된 AP는 n개 이다. 실제 O 값은 임의의 위치 l_p 에 관측 Tag를 1.5m정도의 삼각대 위에 배치하여 일정시간 동안 a_j 에서 보내오는 RSSI 값을 수집한 값이다. 1.5m의 높이는 사람이 Tag를 착용 했을 때의 높이를 가정 한 것이다.

이렇게 임의의 위치 l_p 에 따라서 a_j 에 대한 o_j 값에 대한 DB를 구축을 한다면 실제 측위 시 어떤 특정 RSSI 값들 O 가 관측 될 때 임의의 위치 l_k 에 있을 확률을 계산 할 수 있는데 이를 베이저안 정의를 이용하여 $P(l_k | O)$ 를 아래와 같이 정의 할 수 있다

여기서 $P(O | l_k)$ 는 임의의 위치 l_k 에서 RSSI 신호 O를 획득 할 확률로써 실제 측위 전에 그 위치에 대한 사전전파수집을 통하여 얻어진다.

그리고 $P(l_k)$ 는 사전확률 분포함수 (prior probability distribution) 로써 모수의 주관적인 견해를 확률로 표현한 것이다¹⁴⁾.

$$P(l_k | O) = \frac{P(O | l_k) \cdot P(l_k)}{\sum_{i=1}^k P(l_i) \cdot P(O | l_i)} \tag{5}$$

여기서는 측위 대상이 이동을 하였을 때에 현재 측위가 주변에 있을 확률이 높다는 사실을 주관적으로 해석하여 확률로 나타내었다. 즉 이 값은 현재 위치 값에 종속되는 값으로 상수 값을 가진다. 자세한 내용은 4-4절에서 다루기로 한다.

$P(O | l_k)$ 는 각 위치에서 관측되는 각각의 AP마다 고유의 전파세기를 가지므로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(O | l_k) = \prod_{i=1}^n P(o_i | l_k) = \prod_{i=1}^n p_k^i(o_i) \tag{6}$$

여기서 n은 관측된 AP의 수를 의미 한다. (4)~(6)을 통하여 위치를 계산함에 있어서 중요한 것은 사전 확률 함수 $P(l_i)$ 값과 임의의 AP의 RSSI 값에 대한 확률분포함수인 $p_i^j(s)$ 값을 얻는 것이다. 이 부분은 다음 장인 DB 구축 과정에서 상술하겠다. 식 (5) 를 이용하여 k까지의 전체위치

에 해당하는 모든 확률 $P(l_i | O)$ 을 구하고 정렬하여 나열한 집합을 L_p 이라 하면 L_p 은 아래와 같이 정의 될 수 있다. (여기서 소문자 i 는 1에서 n 까지 변하는 변수이다)

$$L_p = \{(l_1, P(l_1 | O)), (l_2, P(l_2 | O)), \dots, (l_k, P(l_k | O))\}$$

L_p 집합 중 가장 확률이 높은 $P(l_i | O)$ 를 가진 위치 값이 최종위치가 되겠다⁹⁾.

2.4.2. DB 구축

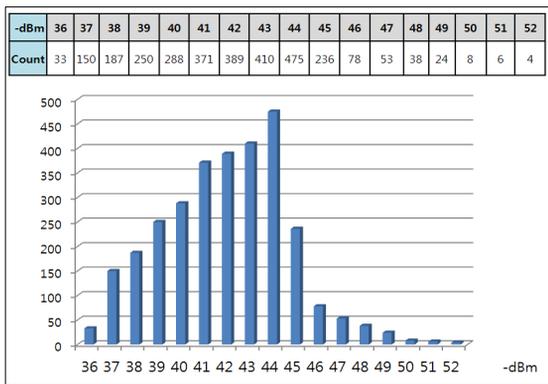


그림 4-1. l_p 위치에서 a_j 의 RSSI 관측 값
Fig. 4-1. RSSI values of a_j at l_p positions

핑거프린팅 방식의 측위를 위해서는 DB를 구축하는 것이 중요하다. 그러기 위해서는 각 위치 l_i 에 대하여 각 AP인 a_j 에 대하여 RSSI 값에 대한 확률분포함수 $P_i^j(s)$ 를 만들어야 한다. <그림4-1>과 같이 특정 위치인 l_p 에서 a_j 라는 AP의 RSSI 관측 값 측정을 통해 얻을 수 있다. 본 관측 값은 실제 구축한 TEST BED 내에서 하나의 비콘 신호에 대하여 한 시간 동안에 l_p 의 위치에서 a_j 라는 비콘 신호의 RSSI 값을 3000 point를 수집한 결과이다. 이를 전체 AP에 대한 RSSI값의 세기의 집합으로 표현하면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$O_c = \{o_1^c, o_2^c, o_3^c, \dots, o_j^c\}$$

여기서, c 는 l_p 에서 O를 받은 횟수이다. 이를 상술하면 o_j^c 의 의미는 AP인 a_j 에서 c 번

째 RSSI 값을 의미한다. 이러한 값은 불연속적인 값을 가지므로 연속적인 값을 가지는 확률분포 함수로 변환해야 한다. 그러기 위하여 모양확률분포 (shaped probability distribution) 함수를 이용할 수 있는데 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_i^j(s) = \frac{\sum_{i=0}^c e^{-\alpha|s-o_i^j|}}{E}$$

여기서, E 값은 아래와 같다.

$$E = \sum_{s=0}^{s=100} \sum_{i=0}^c e^{-\alpha|s-o_i^j|}$$

이 함수는 정규화가 되지 않았으므로 sample 수가 적을 때는 s의 전체 합이 0이 안된다. 또한 $(p')_i^j(s)$ 의 경우, 무거운 꼬리 부분에서의 확률 분포 값이 작을 경우, 계산이 힘들어 질 수 있다. 그러므로 일단 이러한 부분을 무시하면, 임의의 위치 i 에서 a_j 의 RSSI 값이 있을 확률분포함수는 식(7) 과 같이 계산된다.

$$p_i^j(s) = \frac{(p')_i^j(s)}{\sum_{s=0}^{100} (p')_i^j(s)} \tag{7}$$

이를 그래프로 나타내면, <그림4-2>와 같다.

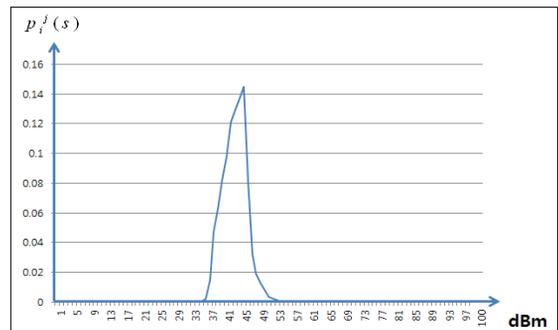


그림 4-2. l_p 위치에서 a_j 의 RSSI 확률 분포
Fig. 4-2. Probability distribution of a_j at l_p

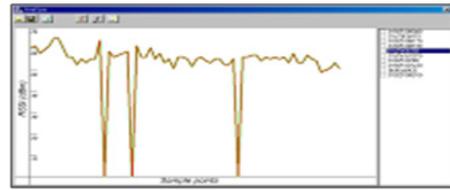
이러한 RSSI값의 샘플을 일일이 수집하고 확률 분포 함수를 위하여 샘플 수집이 많을수록 정확하다. 그러나 샘플을 많이 수집한다는 것은 많은 시간이 필요하므로 경제적이지 않다는 것을 의미한다. 실제 <그림4-1> 의 값을 얻기 위해서는 한 시간 정

도의 시간이 소모된다⁹⁾.

2.4.3. 구현한 확률분포함수 생성법

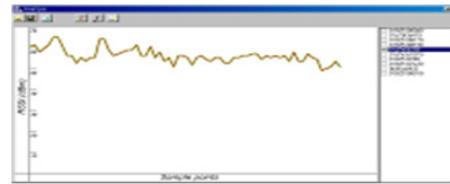
본 논문에서는 특정 위치에서 샘플 수를 한 시간 동안 한 곳에서 수집하는 방식을 생략하고 <그림 4-3>과 같은 방법으로 구현을 하였다. 예를 들면 A-B 구간에 대하여 RTLS Tag 소지자가 A1 위치에서 B10 위치까지 이동을 하면서 1초 간격으로 특정 AP에 대하여 RSSI값을 <그림4-3>의 <순서1>과 같은 그래프 값을 수집 할 수 있다. 즉 A1부터 B10 점까지 18m를 이동하는 데 걸린 시간이 18초가 경과했다면 각 포인트 마다의 거리는 1m이고 이때 수집된 RSSI값들을 알 수 있다. 이 경우, RSSI 값이 누락 될 수 있는데 이 때는 <순서 2>와 같이 이중선형 보간법(Bilinear Interpolation)에 의하여 누락된 데이터를 보간 할 수 있다. 각각의 AP에 대하여 RSSI값을 보간 한 후에는 <순서3>과 같이 특정 AP에 대한 RSSI 곡선 선정한다. 이때 변화율이 큰 곡선을 선정한다. AP의 개수는 2개인 경우는 오차가 클 수 있기 때문에 3개 이상의 AP를 선별하는 것이 좋다. 그러나 설치개수가 늘어남에 따라 측위 정확도가 높아지는 것은 아니다⁹⁾. 그러므로 3개 이상 선택 하는 것은 낭비 일 수 있지만 실제 측위 시 신호가 약한 AP의 RSSI값의 경우, 센 AP 신호에 의해 묻힐 수 있거나 그 채널이 점유되고 있을 경우, SSID를 놓칠 수 있으므로 4~5개 정도의 AP를 가지고 DB를 구축하는 것이 좋다. 선정된 AP는 <순서4>와 같이 필터링을 통해 노이즈 요소를 없애고 각 포인트에 대한 AP들의 RSSI 값을 추출한다. 추출된 RSSI값은 <순서5>와 같이 정규분포를 가지는 확률분포 함수들로 나타내며 이러한 확률분포함수들로 구성된 데이터 DB를 만들어야 한다. 여기에서 식(5)을 사용 할 경우, 특정 위치에 대하여 수집된 RSSI값의 샘플수가 적을 수록, 이상적인 확률분포함수와 거리가 먼 함수 값을 얻을 수 있다. 그렇다고 정확한 값을 얻기 위하여 한 포인트에서 3,000개의 RSSI값을 초당 수집을 한다면 한 포인트 당 50분의 시간이 지나게 되고 18 포인트의 경우 9시간이 걸리게 된다. 그러므로 본 논문에서는 l_p 위치에서의 a_j 의 RSSI에 대한 확률분포 함수를 이용하여 각각의 Point에서 얻는 확률분포함수는 이와 유사하다는 가정하에 아래와 같은 정규확률 분포함수로 표현 하였다.

<순서1> 특정 AP에 대한 RSSI 값 수집
(Collection of RSSI value for a Particular AP)



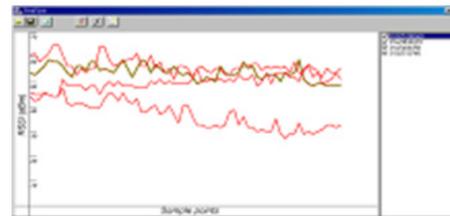
↓
Bilinear 보간 법을 통한
데이터 보정 작업

<순서2> 데이터 보간 (Data interpolation)



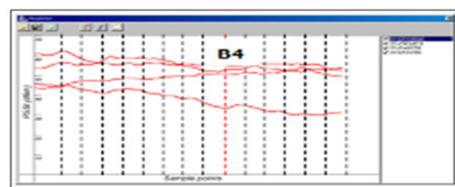
↓
보정된 Data 중 필요한 AP의
RSSI값을 선별

<순서3> 특정 AP에 대한 RSSI 곡선 선정
(Selection for a particular AP RSSI curve)



↓
데이터 필터링

<순서4> Low path 필터를 통한 필터링
(filtering through the Low path filter)



↓
확률 분포 함수 생성

<순서5> 정규분포로 데이터 DB 생성
(Data DB generation by using normal distribution)

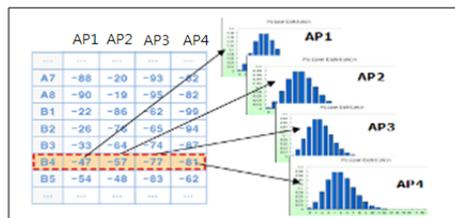


그림 4-3. 확률 분포 함수 생성 순서
Fig. 4-2. Sequence of Probability distribution function creation

$$p_i^j(s) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(s-u)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

이 때 주어진 조건은 <그림4-2>를 통해 얻으면 표준 편차 값은 7.54 이고 평균값 u 는 41.93 을 얻었다. 평균값 u 각 포인트에서 샘플링 된 RSSI 값이 되겠다. 하지만 실제 a_j 의 RSSI에 대한 확률 분포 함수와 비교 시 많은 차이를 보이므로 표준편차 값은 2.8을 사용하여 실제 측정치와 유사하게 조정하였다

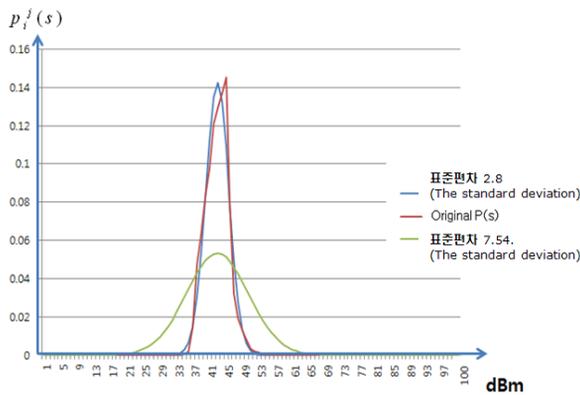


그림 4-4. 정규 분포 함수와의 비교
Fig. 4-4. Comparison of normal distribution function

이러한 방법은 앞서 설명한 실제 3000개의 RSSI 값을 수집하는 방법에 비해 정확도가 떨어질 수 있다. 그러므로 이에 따른 문제점을 보완하기 위해서는 <그림4-1>에서 수집한 데이터 외에 많은 수의 데이터를 수집하여 대표할 수 있는 값을 도출하는 것이 필요하며 향후, 정규분포 함수 외 다른 확률 함수를 이용하여 적합한 함수를 찾는 연구가 필요할 것이다. <그림4-4>는 식(8)의 정규분포함수와 실제 수집한 확률분포함수와 비교한 것이다.

2.4.4. 사전 확률 분포함수 값의 계산

앞 장에서는 확률분포함수 구하는 방법에 대하여 논하였고 이 번 장에서는 사전확률 분포함수인

$P(l_i)$ 값을 정하는 법에 대하여 논한다. 이 값의 초기 값은 1이다. 새로운 위치 x 에 대하여 근처에 있는 위치 값을 $L_k^p, L_{k-1}^p, L_{k-2}^p \dots L_1^p$ 라고 가정하고 이들의 위치는 새로운 위치 x 에 대하여 근접한 값이 라고 가정하면 추적 확률 (Tracking probability)은 아래와 같다⁹⁾.

$$P(l_i | L_k^p, L_{k-1}^p, \dots, L_1^p) = \frac{1}{k \cdot D} \sum_{j=1}^k [e^{-(j-1)} \cdot dist^{-1}(l_i, L_j^p)] \quad (9)$$

여기서, $dist(l_i, L_j^p)$ 는 l_i 과 L_j^p 사이의 거리를 의미한다. D 는 상수 값으로 l_i 과 L_j^p 사이의 최대 거리를 의미한다. 예를 들면, 사전에 tag의 위치를 획득한 좌표가 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$(L_k^p, L_{k-1}^p, L_{k-2}^p \dots L_1^p)$$

여기서 D 와 K 가 1 이면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(l_i | L_k^p, L_{k-1}^p, \dots, L_1^p) = P(l_i | L_1^p) = dist^{-1}(l_i, L_1^p)$$

이 식에서 알 수 있듯이 추적확률은 l_i 과 L_j^p 의 거리에 반비례함을 알 수 있다. 만일 계산된 거리가 사전에 얻은 값과 멀다면 L_j^p 에서 l_i 로의 이동 할 확률이 낮을 것이고 만일 거리 값이 작다면 L_j^p 에서 l_i 로의 이동할 확률은 높아진다. 그러므로 Tag가 이동 시 적은 시간에 먼 거리를 이동 할 확률은 낮아지는 것이다. 그러므로 사전 확률 분포 값은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P(l_i | L_k^p, L_{k-1}^p, \dots, L_1^p) = P(l_i)$$

그러므로 이 값은 식(5)에 적용 할 수 있다⁹⁾. 하지만 여기서 D 값에 따라 $P(l_i)$ 값이 변한다. 만일 D 을 작게 잡아 사전 확률 분포 값이 크게 나오게 잡으면 위치 계산된 결과값이 자주 변할 수 있고 작게 잡으면 RTLS Tag의 움직임 급격히 변할 때 확률계산이 작게 반영이 되어 계산된 값의 정확도가 떨어지게 된다.

만일, RTLS Tag의 수신 감도가 외부 환경에 의하여 갑자기 떨어진다거나 혹은 특정 AP의 SSID 값이 안 잡히는 경우, 또는 급격하게 Tag를 이동했을 때와 RTLS tag가 Roaming을 할 경우, 그 순간 위치를 못 잡는 경우가 발생 할 수가 있다. 즉 오차가 누적되면 엉뚱한 위치를 표기 할 수 있다⁹⁾.

그리고 제시한 확률분포함수 생성법의 경우, DB 구축 시간을 절약하기 위하여 정확한 측정값이 아닌 정규분포함수를 임의로 만든 것이므로 오차가 있다. 그러므로 이러한 요인으로 인하여 오차 누적

이 커질 수 있으므로 이를 보완하기 위하여 본 논문에서는 거리가 5m 일 때 수집된 전파세기가 -50Bm 임을 기준으로 그 이상의 전파세기가 수집되었을 경우, 사전 분포 값을 1로 리셋 하여 오차 누적을 없애도록 하였다.

Ⅲ. 성능 측정 결과

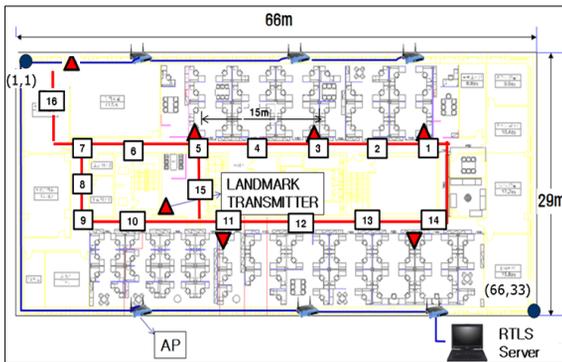


그림 5-1. 구축한 실내TEST BED 평면도
Fig. 5-1. Implementation of Indoor TEST BED

<그림5-1>은 TEST BED 평면도를 나타내고 있다. 평면도 면적은 66x33m 이고 6개의 AP가 설치되어 있다. 정확도를 높이기 위하여 랜드마크 발신기는 7개를 추가로 설치 하였다. 설치위치는 적색의 ▲ 표기를 했다. 평면도 면적은 66x33m이고 6개의 AP가 먼저 설치 되어 있다. 발신기 배치는 사람의 이동경로가 많은 복도와 엘리베이터 주변과 주요 측위 지점인 실험실에 배치 하였다. 빨간 선 부분은 전파맵을 수집한 경로 이다. 실제 측위 시 위치 표기는 빨간 선 부분 위에 추정 위치 값이 표기 된다. 측위 검증은 16개의 포인트를 정하고 RTLS Tag를 전후 좌우로 방향을 바꾸어서 수집하였다. 위치 결과값은 [표 5-1]에 나타 내었다. 최대 편차부분에 녹색으로 표기된 부분은 랜드마크 발신기 주변 3m 이내 지역을 측정된 결과 값이다. [표 5-1]의 측정결과는 환경조건에 따라 달라 질 수 있겠지만 전파세기가 센 구간 즉, 랜드마크 발신기를 설치한 구간에서는 상대적으로 높은 정확도를 보였으며 변화율도 적은 것을 확인 할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 Tag의 자세를 전후 좌우로 변화를 주어 측정하여 [표5-1] 에 나타내었다. 최대편차는 실제 위치와 전후 좌우 측정된 추정위치에서 최대 값을 적었다. 예상오차는 식(3)을 이용하였다. 그 결과 예상대로 랜드마크 발신기 주변에 대하여 환경 변화 요소인 자세변화에 둔감한 것을 확인 할 수

있었으며 실험결과 최대 3m 이내를 벗어나지는 않았다. 그러나 반대로 발신기 설치거리 및 AP와의 거리가 먼 곳 즉, 전파세기가 약하게 수신 된 측위 지점인 9번 지점에서는 최대 X방향으로 6m, Y방향으로 8m의 오차를 보였으며 8번 지점에서도 유사한 결과를 보였다. 이 연구결과는 다른 측위 시스템에 대한 연구 사례와 비교하면 정확도 측면에서는 좋은 수치는 아니다. 다른 논문에서는 핑거프린팅 알고리즘 사용 시 정확도가 약4m (95% 확률)를 제시한다^[9].

표 5-1. 측정 결과
Table. 5-1. The measured results

측위 지점 (Positioning Point)	원위치 (Original Point)		예상 최대오차 (Estimate the maximum error)		추정 측위값 (Estimated positioning values)								최대 편차 (Maximum deviation)	
					앞 (Front)		뒤 (Back)		좌측 (Left)		우측 (Right)			
	x	y	전파 세기 (dBm)	최대 오차 (m)	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	52	12	-38	1.5	51	12	50	12	53	12	52	12	2	0
2	45	12	-43	2.4	40	12	48	12	42	12	43	12	5	0
3	39	12	-32	0.8	38	12	38	12	40	12	39	12	1	0
4	30	12	-55	7.2	34	12	25	12	35	12	33	12	5	0
5	23	12	-35	1.2	25	12	22	12	25	12	24	12	2	0
6	14	12	-55	7.2	17	12	11	12	18	12	18	12	4	0
7	8	12	-45	2.9	12	12	13	12	12	12	13	12	5	0
8	8	18	-82	14	12	12	8	15	14	12	10	12	6	6
9	8	22	-58	10	12	14	14	22	8	20	12	22	6	8
10	14	22	-51	5	12	22	10	22	20	22	20	22	6	0
11	24	22	-38	1.5	26	22	22	22	23	22	22	22	2	0
12	36	22	-48	3.8	29	22	40	22	30	22	32	22	7	0
13	46	22	-49	4.2	41	22	45	22	42	22	40	22	6	0
14	51	22	-35	1.2	50	22	49	22	48	22	49	22	3	0
15	23	18	-40	1.8	23	12	23	13	23	15	23	15	0	6
16	8	4	-38	1.5	8	2	8	8	8	7	8	7	0	4

하지만 본 논문의 결과는 [표5-1]의 64개의 측정 포인트에 대한 측정결과로 보면 95% 확률로6m 이다. 그러나 본 논문의 측정방식이 사람이 Tag를 손으로 들고 전후 좌우로 자세를 바꾸어 측정된 결과인 점을 감안하면 이러한 부분에 대하여 언급이 없는 연구 결과보다는 본 논문이 실질 적인 측정결과라고 볼 수 있다. 그리고 랜드마크 주변 20 포인트에서는 약 2m(95%)의 정확도를 보였다.

Ⅳ. 결 론

본 연구에서는 환경변화에 민감한 기존의 RSSI 방식의 Wi-Fi 기반 측위 시스템에 랜드마크 발신

기를 부착하여 측위 안정성을 높였다.

특히 랜드마크 발신기는 AP와는 달리 측위에 필요한 기능만을 구현하여 소형화 및 저가 구현이 가능하다. 또한 RSSI방식의 측위 시스템에서 단점으로 지적된 환경변화의 민감성도 측정 결과 랜드마크 발생기 주변 3m 내외 (-42dBm 이상)의 구간에서는 RTLS Tag의 자세변화와는 상관 없이 안정적인 측위 결과를 얻었다. 본 연구에서 나타내고 있는 결과는 반대로 AP 및 랜드마크 발신기가 설치되지 않은 곳의 위치는 환경변화에 민감하여 측위 정확도가 불안정 하다는 것을 역으로 말하고 있다.

그러나 본 연구에서 주장하는 것은 <그림3-3>과 같이 랜드마크 역할을 할 주요 측위 지점에 랜드마크 발신기를 설치하여 신호세기가 강한 부분을 만들면 이 지점을 기준으로 보다 안정적인 전파세기 기반의 측위 시스템을 만들 수 있다는 것을 보인 것이다. 즉, 기존 측위 연구는 전체구간을 측위 하여 정확도를 높이는 방향으로 연구 한 결과지만 [6][7] 본 연구 방향은 고속도로에서 표지판 역할과 같이 실내에서 랜드마크 역할을 할 특정구간에 대한 정확도를 높인 것이다. 실제로 실내 네비게이션 기반의 서비스를 구축할 때 제안하는 시스템을 적용하면 효과적이다. 예를 들면, 대형 병원에 스마트폰 사용자가 외래약국을 찾을 경우, 대부분의 대형병원은 Wi-Fi 망이 갖추어져 있으므로 병원 관계자는 외래약국 간판과 엘리베이터 및 주요 길목에 발신기만 설치하면 하드웨어적인 비용은 더 이상 들어가지 않는다. 스마트폰이 RTLS Tag 역할을 할 수 있으므로 관련 스마트폰 어플 제공 및 응용 프로그램과 측위 엔진만 컴퓨터에 설치하면 최적의 실내 네비게이션 서비스를 사용자에게 제공 할 수 있다.

본 연구에서는 측위 알고리즘을 핑거프린팅 방식을 사용하였기에 전파수집이 된 구간만 측위가 가능하다. 만일 이 구간을 벗어나면 그와 유사한 전파수집구간을 가리키게 된다. 물론 전체구간에 대하여 전파수집을 하여 DB를 구축 할 수는 있지만 본 논문에서 주장하는 경제성과 부합하지 않는다. 그러므로 전체 구간에 대하여 측위가 필요하다면 핑거프린팅 방식보다는 Centroid방식 및 Least Square 알고리즘을 적용한 삼각 측량법을 이용하는 것이 좋다. 이 또한 특정구간에 대하여 랜드마크 설치 시 발신기 주변에 대하여 동일한 안정적인 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다. 제안하는 측위 시스템은 앞서 설명한 바와 같이 Wi-Fi 기반이므로 스마트폰

을 Tag로 사용 가능하다. 그러므로 본 연구는 실내 네비게이션, 모바일 광고 서비스 및 관련 위치기반의 서비스 모델 개발에 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Guolin Sun, "Signal Processing Techniques in Network Aided Positioning," IEEE Signal Proce. Magazine, p12-23, Jul. 2005.
- [2] P. Enge and P. Misra, "Special Issue on GPS: The Global Positioning System," Proc.IEEE87, No. 1, Jan. 1999.
- [3] L. Xinrong, "Performance of TOA estimation techniques indoor multipath channels," IEEE PIMRC, 2002.
- [4] Y. S. Joe, " Indoor and outdoor position technology continuous trends", *Electronics and communications*, vol. 22, Jun. 2007.
- [5] N.B. Priyantha, "The Cricket Compass for Context-Aware Mobile," Proceedings of the 7th Annual Conf. on Mobile Computing and Networking, Jul. 2001, p 1 - 14.
- [6] J. W. Choi, "Indoor RTLS by using the positioning reference points based on WiFi signal strength", Seoul national graduated school, p41, Feb. 2006.
- [7] LIONEL M. NI, "Indoor Location Sensing Using Active RFID", *Wireless Networks 10*, p701 - 710, 2004.
- [8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System," Proc. of IEEE Infocom2000, p775 - 784, Mar. 2000.
- [9] Z.Xiang, "A wireless LAN based indoor positioning technology," IBM J. RES. & DEV. VOL. 48 NO. 5/6, Sep.2004.
- [10] J.B. Anderson, "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels," IEEE Communications Magazine, Nov. 1994.
- [11] K.Kaemarungsi, "Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting," Proc. of the First Annual International Conf. on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and

Services, p14-23, 2004.

- [12] P. Myllymaki, "A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation," Proc. of the 3rd IEEE Workshop on Wireless LANs, p 59 - 69, Sept. 2001.
- [13] David M. Polzar, "Microwave and RF Wireless Systems," John Wiley & Sons, p163, 2002.
- [14] K. H Kang, "Bayesian Statistics," Freedom Academy, p3, September 2005.
- [15] Matthew Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide," O'Reilly, p145, Apr. 2002.
- [16] Peter Harrop, "Real Time Locating Systems 2008-2018," IDTechEX, p1, 2008.

김 범 열 (Bum-youl Kim)



1996년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업
 1998년 2월 한양대학교 전자공학과 석사
 2001년 8월~현재 LS산전(주) 스마트 네트워크 연구팀, 선임 연구원

<관심분야> RFID/USN, RTLS, 스마트 그리드, 전기차 충전 인프라, M2M 통신 외

임 창 준 (Chang-jun Lim)



2002년 2월 광운대학교 제어계측학과 졸업
 2004년 2월 광운대학교 제어계측학과 석사
 2006년 2월~현재 LS산전(주) 스마트 네트워크 연구팀, 선임 연구원

<관심분야> RFID/USN, RTLS, 전기차 충전 인프라, 산업용 유무선 통신 외

한 광 수 (Kwang-su Han)



1988년 2월 인하대학교 전자계산학과 졸업
 1994년 2월 인하대학교 전자공학과 석사
 1994년 3월~현재 LS산전(주) 스마트 네트워크 연구팀, 수석 연구원

2010년~현재 SG 표준화 포럼 상임 워킹 그룹 위원

<관심분야> 산업용 유무선 통신, RFID/USN, 신재생 연계 시스템 및 xEMS 전력분야 통신 관련 IEC 표준 외

이 정 준 (Jung-jun Lee)



1988년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업
 2005년 2월 미국 PURDUE 대학교 전기전자 공학과 박사
 2001년 8월~현재 LS산전(주) 스마트 네트워크 연구팀,

부 연구위원

2010년~현재 CIGRE Study Committee D2 한국 대표

2010년~현재 IEC/ISO JTC1 SWG on Smart Grid 위원

2010년~현재 IEC PC118 (Smart Grid User Interface) 위원

<관심분야> 스마트 그리드, AMI, Smart Metering, 전기차 충전인프라, 신재생 연계 시스템 및 xEMS, ZigBee Smart Energy Profile, 전력선 통신, 산업용 유무선 통신, RFID/ USN 외