

# 실내 환경에서 효과적인 위치 측위 시스템에 관한 연구

정회원 전 현 식\*, 준회원 김 나 리\*, 정회원 박 현 주\*\*

## A Study on Effective Location Determination System in Indoor Environment

Hyeonsig Jeon\* *Regular Member*, Na-Ri Kim\* *Associater Member*,  
Hyun-Ju Park\*\* *Regular Member*

### 요 약

유비쿼터스 환경이 도래함에 따라 실외 환경에서의 위치 기반 서비스뿐만 아니라 실내 위치 기반 서비스의 요구가 증가되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 실내 환경에서 객체의 위치를 효과적으로 측위할 수 있는 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 실내 환경에서 문제가 되는 비가시선 문제의 해결을 위해 비가시선 식별과 완화하는 기법을 도입했으며, 결과 데이터의 오류 데이터를 최소화하기 위해 잔여-가중치 알고리즘과 칼만 필터를 적용하여 위치 데이터를 보정하는 방법으로 위치 측위시 정확도를 향상시켰다. 마지막으로 제안된 실내 위치 측위 시스템의 성능을 검증하기 위해 기존의 대표적인 위치 측위인 삼각측량 기법과 제안한 위치 측위 시스템의 성능을 비교 및 분석한다.

Key Words : Indoor Environment, Location Determination System, Line of Sight/Non Line of Sight, Non Line of Sight Identification/Mitigation, Kalman Filter

### ABSTRACT

According to the advent of the ubiquitous environment, not only a location based service at the outside but also a location based service at the inside was more increased socially. Accordingly, this paper proposes the efficient determination system to locate a object in frequent change of indoor environment. Proposing system in this paper introduce the NLOS identification and mitigation to resolve NLOS problem, using this way that corrects location data as RWA and KF apply to result data can improve accuracy of a object. At last we are going to compare and analyze existing typical triangulation with proposed indoor location determination system to demonstrate algorithm efficiency for proposed indoor location determination system.

### I. 서 론

미래 사회는 언제 어디서나 누구든지 원하는 서비스를 편리하게 이용할 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous) 사회로 발전할 것이다. 현재까지 유비쿼터스 환경에서의 킬러 어플리케이션(Killer Application)으로는 유비쿼

터스 도시(U-City), 유비쿼터스 홈(U-Home), 유비쿼터스 헬스(U-Health) 등이 있으며, 위와 같은 서비스를 제공하기 위한 IT 기술은 하드웨어(Sensor, Tag, Device), 소프트웨어(Middleware, Platform), 그리고 통신 인프라(Broadband convergence Network(BcN), Ubiquitous Sensor Network(USN), WiBro) 등 사람들의 요구사항

※ 본 연구는 지식경제부 차세대 신기술 개발사업과 2단계 BK21 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 한밭대학교 정보통신전문대학원 전자공학과 (hsjeon@hanbat.ac.kr), (narinamu@hanmail.net)

\*\* 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 (phj@hanbat.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-11-516, 접수일자 : 2008년 11월 20일, 최종논문접수일자 : 2009년 1월 19일

을 만족할 수 있도록 다방면으로 발전하고 있다.

유비쿼터스 환경에서 킬러 어플리케이션을 효과적으로 구성하기 위한 핵심적인 기반기술로 객체의 위치인식, 위치추적, 행위 분석과 같은 기술이 필요하다. 현재 위치인식 기술의 대표적인 방법은 Global Positioning System(GPS)가 있으나 법적 문제와 기술적인 한계로 인해 대부분 실외 환경에서 사용된다. 하지만 유비쿼터스가 제시하는 다양한 사용자 위주의 서비스들은 사용자의 주 생활 공간인 실내에서 제공되기 때문에 실내 환경에서 효과적인 객체의 위치인식 기술이 필요하며, 이에 대한 관심과 필요성이 증가되고 있다<sup>1)</sup>.

지금까지 연구된 대표적인 실내 위치인식 시스템은 적외선을 활용한 AT&T사의 Active Badge와 초음파와 RF를 활용한 MIT의 Cricket 등이 있다. 그리고 Sensor와 RF 신호를 활용한 일본 산업기술종합 연구소의 실내 자율형 측위 시스템, WLAN 신호 정보를 활용한 후지타의 PlaceEngine, 그리고 RFID 등을 활용한 위치 인식 시스템이 있다<sup>2)</sup>. 또한 IEEE 802.15.3WG에서 제안한 Ultra Wide Band(UWB)를 활용한 위치 인식에 대한 연구가 진행되고 있다. IEEE 802.15.3에서 제안된 UWB는 실내용 거리 측정에 적합하기 때문에, 기존에 개발된 Zigbee(IEEE 802.15.4)의 PHY 부분을 개선하여 위치 인식을 가능하게 하는 IEEE 802.15.4a의 표준 그룹이 만들어졌으며, IEEE 802.15.4a 표준그룹은 임펄스, 칩(Chirp), 카오스 신호를 활용한 위치 인식 시스템을 제안하고 있다<sup>3)4)5)</sup>.

일반적으로 객체의 위치를 인식하기 위해 사용하는 기법으로 삼각측량(Triangulation)이 있다. 삼각측량법은 세 지점에 대한 위치 정보를 기반으로 거리 또는 각도 정보를 이용하여 객체의 위치를 인식하는 방법으로 비교적 정확한 위치 측정이 가능하다. 하지만 기존 삼각측량 기법은 실내 환경에서의 비가시선(Non-Line of sight(NLOS)) 특성에 의해 위치 정확도가 부정확하기 때문에 보다 효율적인 인식 알고리즘이 필요하다. 이에 본 논문에서는 앞에서 언급한 문제점을 개선하기 위해 잔여 가중치 알고리즘(Residual weighting algorithm(RWA))과 비가시선 완화 알고리즘(NLOS Mitigation Algorithm(NMA))을 도입한 실내 위치 측위 시스템을 제안한다. 미리 언급하자면 RWA와 NMA 알고리즘을 도입하여 기존 삼각측량보다 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실내

환경에서의 전파 특성에 대해 살펴보고, 제안하는 실내 위치 측위 시스템에서 활용하는 칼만필터(Kalman Filter(KF))와 잔여 가중치 알고리즘에 대해 기술한다. III장에서는 제안하는 시스템을 소개하고, 시스템의 구조와 특징, 그리고 기존 시스템과의 차별성을 설명한다. IV장에서는 본 논문에서 제안한 위치 측위 시스템의 성능 검증을 실시하고, V장에서는 논문을 맺으며, 향후 연구 과제를 설명한다.

## II. 관련연구

본 장에서는 가시선(Line of sight(LOS))과 비가시선 환경을 비교분석하고, 제안하는 알고리즘에서 활용되는 칼만필터와 잔여 가중치 알고리즘의 기본적인 개념에 대해 기술한다.

### 2.1 전파 환경의 특성

무선 통신에서는 전송 수단으로 전파파를 이용한다. 그러므로 거리에 따른 경로 손실(path loss)이 존재한다. 또한 무선 통신 환경에서는 LOS 뿐만 아니라 지형이나 지상 장애물에 따른 반사파, 회절파, 그리고 산란파와 같은 NLOS 신호가 존재하므로 복잡한 전파환경을 가진다. 이런 결과로 무선 통신은 경로 손실 특성과 페이딩 특성을 가진다.

경로 손실 특성은 전파가 송신 안테나에서 수신 안테나까지 도달하는데 전송 거리에 따른 감쇠가 존재하며, 환경적 요인 또는 객체의 이동으로 인해 발생하는 경로 손실이 발생한다. 따라서 전파 환경의 수많은 변수를 고려하여 다양한 실험을 통해 값을 얻고, 이를 기반으로 하여 전파 예측 모델을 만들었다. 대표적인 전파 예측 모델로 Okumura-Hata 모델, Bertoni-Walifsch 모델 등이 있다. 페이딩은 LOS 신호와 비교하여 산란체의 영향에 의한 NLOS 경로는 신호의 감쇠와 기산 지연이 발생되어 수신점의 전계강도가 시간적으로 변하는 현상을 말한다. 이러한 페이딩을 해결하기 위한 대표적인 방법으로 다이버시티 방식이 있다.

### 2.2 가시 환경 및 비가시 환경

무선 통신환경에서 기지국(본 논문에서는 Anchor라 명명)과 이동객체(본 논문에서는 Station of Interest(SOI)라 명명)는 [그림 1]에서 보는 것과 같이 서로 간에 방해물이 전혀 없는 LOS 환경과 방해물이 존재하는 NLOS 환경으로 나눌 수 있다.

실내 환경에서 정확한 SOI의 위치를 찾기 위한 중요 과제중의 하나는 장애물에 의하여 발생하는

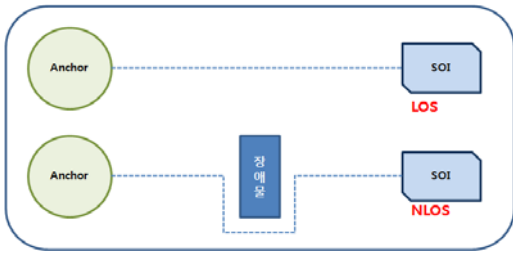


그림 1. 가시 환경과 비가시 환경

NLOS 문제의 해결이다. 전형적인 위치 인식 알고리즘은 NLOS 환경에서 불완전하게 수행되므로 NLOS를 식별할 수 있는 기법 개발과 적절한 에러 완화 기법 채택이 필요하다. 일반적으로 전형적인 위치 인식 알고리즘에서 사용하는 데이터에 해당하는 범위 측정은 (식 2-1)과 같이 모델화 할 수 있다.

식 (2-1(a))는 LOS 신호를 모델화하고, 식 (2-1(b))는 NLOS 신호를 모델화했다. 여기서  $r_m(t_i)$ 는 거리 측정,  $l_m(t_i)$ 는 실제 거리,  $n_m(t_i)$ 는 측정 노이즈,  $NLOS_m(t_i)$ 는 시간 ( $t_i$ )에서의 NLOS 에러이다.

$$r_m(t_i) = l_m(t_i) + n_m(t_i) \quad (\text{식} \cdot 2-1(a))$$

$$r_m(t_i) = l_m(t_i) + n_m(t_i) + NLOS_m(t_i), \quad m=1, \dots, M \quad (\text{식} \cdot 2-1(b))$$

하지만 NLOS 에러는 시간에 따라 변하는 위치 특성이므로 특징을 기술하기 어려운 문제점이 있다. 정확한 NLOS 식별이 가능하다면, NLOS 에러를 완화하기 위한 방법을 사용하여 더 정확한 위치 인식이 가능하다. 만약 셋 이상의 Anchor에서 측정이 가능하고 적어도 세 개의 LOS 특성을 보이는 Anchor를 찾게 되면, NLOS 특성을 보이는 Anchor에서 입력된 측정 데이터는 무시하고 3개의 LOS 특성을 보이는 Anchor에서 입력된 값으로 SOI의 위치를 측정한다. 만약 LOS 데이터가 충분하지 않다면 Range Scaling Algorithm(RSA)과 같은 에러를 완화하는 방법을 사용하여 SOI의 위치를 측정할 수 있다. 마지막으로 신호의 LOS/NLOS 상태를 알 때, NLOS 에러를 완화하기 위한 알고리즘으로는 잔여 가중치 알고리즘 등이 있다<sup>6-8)</sup>.

### 2.3 칼만필터

칼만필터는 루돌프 칼만(Rudolf E. Kalman)이 개발한 필터로 효율적인 무한 임펄스 응답필터로서 동적 시스템의 상태를 추정하는데 사용된다<sup>9)</sup>.

칼만필터의 주요 특징으로는 자료를 반복적으로 처리하는 것이다. 이처럼 자료를 반복적으로 처리함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 과거의 특정 시점의 값을 모두 기억할 필요가 없다는 것이다. 예를 들어 n 번째의 평균값을 얻을 때, 칼만필터를 활용하여 이전 값(n-1)과 현재 값(n)만 활용하면 아무 문제없이 원하는 데이터를 얻을 수 있다. 이처럼 처리할 자료의 양이 그리 많지 않을 경우에는 일괄처리 방식이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있지만, 그 자료의 양이 방대하여 저장장소 및 처리시간을 고려할 경우에 칼만필터를 사용하는 것이 효과적이다.

칼만필터의 다른 특징은 가중치(weighting) 개념을 활용한다. 즉, 각 데이터의 중요도 정보를 활용하여 각 데이터마다 가중치를 다르게 부여하여 처리하는 것이다. 예를 들어 어떤 자료의 길이를 측정할 때 정확한 측정기구를 활용하는 것과 손바닥을 이용하여 처리하는 것 중 어떤 것이 더 정확할까? 당연히 정확한 측정기구를 활용한 것이 더 정확할 것이다. 따라서 2개의 데이터 값의 가중치를 다르게 하여 적용한다. 칼만필터는 앞에서 살펴본 것처럼 반복적인 연산을 통해 최적 값을 추적하는 것으로 정의할 수 있다.

칼만필터에 사용되는 방정식은 예측을 위한 시간 갱신 방정식(Time Update Equations)과 개선된 추정 값을 얻기 위해 새 측정을 포함하기 위한 피드백을 책임지는 측정 갱신 방정식(Measurement Update Equations)으로 구성된다. 시간 갱신 방정식은 현재의 상태를 시간의 순방향으로 전달하고, 다음 시간 단계의 추적을 얻기 위한 에러 공분산을 추정한다. 칼만필터의 평가 알고리즘은 수치 문제들을 풀기 위한 예측자-교정자(predictor-corrector) 알고리즘으로, 프로세스는 [그림 2]와 같이 진행된다<sup>10-11)</sup>.

‘Time update’ 단계에서 ‘x’는 최적화를 하고자 하는 상태변수이고, 계수 ‘A’는 한 단계에서의 상태

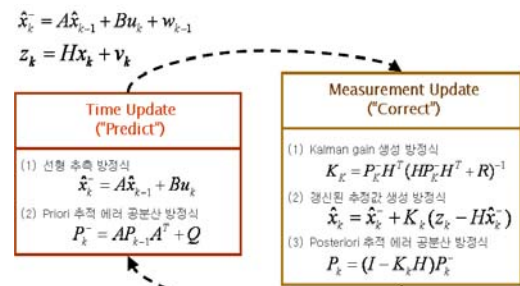


그림 2. 칼만필터의 프로세스

변수와 다음 단계의 상태변수를 연결하는 변환계수를 표현한다. 'B'와 'u'는 하나의 값으로 인식할 수 있으며, 이는 시스템에 무관한 추가 입력 값이다. 마지막으로 'Q'는 k 단계에서 상태변수 'x'의 참값과의 차이 값 또는 시스템 오차이다.

선형 추측 방정식을 통해 priori 추정 값을 생성한 후 'Measurement Update' 과정을 수행한다. 'Measurement Update' 단계에서 'z'는 관측 값이고, 이는 상태변수 'x'와 변환계수 'H'에 의해 표현되며, 'R'은 관측 값 'z'와 관측 참 값과의 오차이다.

[그림 2]에서 보듯이 측정 갱신 방정식에서 첫 번째 단계는 Kalman gain 'K<sub>k</sub>'를 계산한다. 그리고 'Z<sub>k</sub>'를 얻기 위해 실제 프로세스를 측정된 후 측정을 통합하여 posteriori 상태 추정 값을 얻는다. 각 시간과 측정 갱신 쌍들 이후의 프로세스는 새로운 priori 추정을 이용한 이전 단계 posteriori 추정들로 반복된다. 따라서 NLOS 현상으로 인해 발생하는 전파의 JUMP 현상을 완화할 수 있어 객체의 위치 추적에 효과적으로 사용할 수 있다.

### 2.4 잔여 가중치 알고리즘

잔여 가중치 알고리즘은 무선 통신 환경에서 객체의 위치 측정시 오차의 주요 원인이 되는 NLOS로 인하여 발생하는 위치측정의 오차를 줄이기 위해 제안된 알고리즘이다<sup>[12-14]</sup>.

[그림 3]과 같이 Anchor a1과 a4는 수신 디바이스 SOI에게 Anchor와 SOI의 거리정보를 포함한 신호를 전송한다. 이 때 SOI는 각 Anchor로부터 수신된 거리 값을 활용하여 최소 제곱 추정량(Least Square Estimator(LS))를 이용하여 현재 위치를 계산한다[14][15]. 삼각측량을 통해 얻은 값 (d<sub>i</sub>)과 Anchor의 위치(R<sub>i</sub>), 그리고 SOI의 위치를 변수 X로 두어 SOI의 위치( $\hat{X}$ )를 구한다. LS로 계산하여

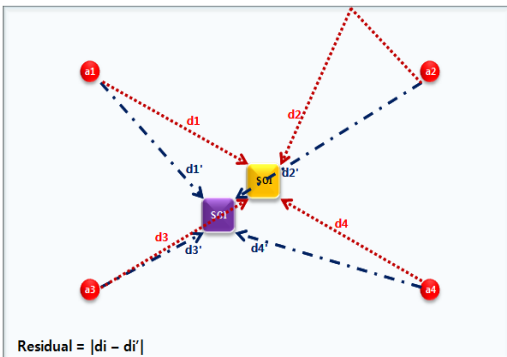


그림 3. 잔여 가중치 알고리즘의 기본개념

얻은  $\hat{X}$ 은 SOI의 위치(X)와 Anchor a<sub>i</sub>와의 거리, TOA를 이용하여 측정된 거리 d<sub>i</sub>와의 차의 제곱이 최소가 되는 지점을 의미한다. LS는 (식 2-2)로 구할 수 있다.

$$\hat{X} = \operatorname{argmin} \sum_{i \in S} (|X - R_i| - d_i)^2 \quad (\text{식 2-2})$$

(식 2-2)에서  $|X - R_i|$ 는 벡터 X와 R<sub>i</sub>의 거리를 나타내며, Anchor와 SOI 간의 거리 값인 d<sub>i</sub>는 무선 통신 환경의 특성으로 인해 LOS를 보장받지 못하기 때문에 실제거리(|X - R<sub>i</sub>| - d<sub>i</sub>)와 다른 오차가 발생한다. 따라서 (|X - R<sub>i</sub>| - d<sub>i</sub>)는 Anchor의 i번째 측정된 위치 값의 Residual 값이 된다.

RWA에서는 각 측정된 위치 값이 가지는 Residual을 측정된 위치 값의 신뢰도로 하고, 이를 위치 측정의 오차를 줄이는데 사용한다. (식 2-2)에서 구한 SOI(X)의 위치 추정값들인  $\hat{X}$ 의 Residual 값들의 합을  $R_{e_s}(\hat{X}; S)$ 라 하면, 이를 (식 2-3)을 통하여 얻을 수 있다. (식 2-3)의  $R_{e_s}(\hat{X}; S)$ 은 (식 2-2)에서 SOI의 변수 값이었던 X 대신에 (식 2-3)을 통하여 구한 SOI의 위치 추정값을 대입하여 계산한다.

$$R_{e_s}(\hat{X}; S) = \sum_{i \in S} (|\hat{X} - R_i| - d_i)^2 \quad (\text{식 2-3})$$

(식 2-3)에서 구한  $R_{e_s}(\hat{X}; S)$  값을 SOI의 위치(X)의 위치 추정값인  $\hat{X}$ 의 신뢰도로 이용하기 위해서는 위치 측정시 참여한 Anchor의 개수가 고려되어야 한다. 그래서 정규화된  $R_{e_s}(\hat{X}; S)$ 를  $\tilde{R}_{e_s}(\hat{X}; S)$ 로 정의하고, (식 2-4)로 계산한다. (식 2-4)에서 S는 Anchor 집합의 사이즈를 의미한다.

$$\tilde{R}_{e_s} = (x; S) = \frac{R_{e_s}(x, S)}{\text{Size of } S} \quad (\text{식 2-4})$$

최종적으로 SOI(X)의 위치는 다음과 같다. 만약 위치 측정에 사용된 Anchor의 집합수가 N개라면, N개의 위치 추정값  $\hat{X}_{1..N}$  과 Residual 값이  $\tilde{R}_{e_s}(\hat{X}; S)$ 이다. 이 때 RWA에서는 N개의 위치 추정값의 반영 비중을 Residual 값의 근거로 다르게 적용하기 위해 (식 2-5)와 같이 Residual 값의 역수에 따른 가중치 선형결합의 계산과정을 통해 최종적인 SOI의 위치를 구한다.

$$\hat{X} = \frac{\sum_{k=1}^N \hat{X}_k (\tilde{R}_{e_s}(\hat{X}_k; S_k))^{-1}}{\sum_{k=1}^N (\tilde{R}_{e_s}(\hat{X}_k; S_k))^{-1}} \quad (\text{식 2-5})$$

### III. 제안 알고리즘

이번 장에서는 본 논문에서 제안하는 시스템 구조를 설명한다. 제안하는 시스템은 실내 환경의 위치 인식의 문제점이 되는 NLOS 신호를 판별하는 단계를 추가하였고, 위치 인식 알고리즘은 기존 Triangulation 알고리즘과 더불어 Kalman Filter와 RWA를 도입하여 기존 시스템과 비교하였을 때 위치 정확도를 향상시켰다.

#### 3.1 제안하는 시스템의 구조

[그림 4]는 본 논문에서 제안하는 실내 위치 측위 시스템 구조의 전체 모습을 보여준다.

[그림 4]에서 보는 것과 같이 제안하는 시스템의 하위 계층으로 SOI와 Anchor 간의 ToA(Time of Arrival)를 측정하는 Ranging System이 있다. Ranging System은 임펄스(Impulse)와 캐이오틱(Chaotic) UWB를 조합한 통신 시스템을 활용한다.

제안하는 시스템은 크게 4개의 모듈로 구성되어 있다. 먼저 전체 시스템의 프로세스 제어를 총괄하는 Manager Module이 있다. 다음으로 시스템에서 입력 신호의 LOS/NLOS를 식별하는 Identification Module이 있다. LOS/NLOS의 식별 방법으로 주로 사용하는 방식으로는 표준편차(STDDev) 방식과 입력 신호의 차이 값(Different)으로 계산하는 방식이 있으며, 제안하는 시스템에서는 2개를 조합하여 활용하였다. 그리고 입력된 신호를 이용하여 SOI의 위치를 계산하는 Calculation Module이 있다. 제안하는 시스템에서는 ToA 방식으로 구현하였으며, Calculation Module은 NLOS 신호의 오차 값을 감소시키기 위해 Mitigation을 위한 계산 함수도 포함한다. 마지막으로 Filtering Module이 있다. Filtering Module에서는 Kalman Filter를 활용해서 동적 위치 데이터를 보정하며, 정적인 위치 데이터는 Residual

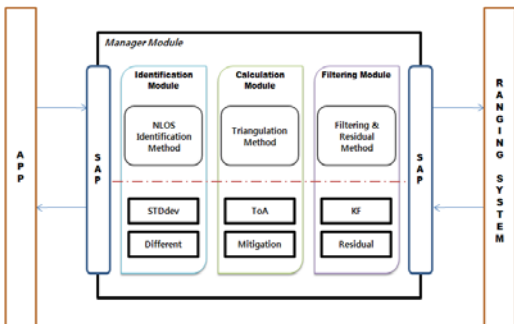


그림 4. 제안하는 실내 위치 측위 시스템의 전체 구조

Algorithm을 통해 위치 데이터를 보정한다.

Application(APP)은 Manager Module, Manager Module과 Ranging system간의 효과적인 통신을 위해 각 레이어 사이에 Service Access Protocol(SAP)가 위치하고 있다.

#### 3.2 제안하는 알고리즘의 개요

##### 3.2.1 NLOS Identification

본 논문에서 제안하는 시스템은 [그림 5]에서 살펴본 것과 같이 NLOS Identification을 위해 2가지 방법론을 사용한다. 거리에 대한 누적된 표준 편차 정보와 현재 거리와 바로 전 단계의 거리에 대한 차이 값이다. [그림 5]는 NLOS Identification을 위한 2가지 방법론을 보여준다.

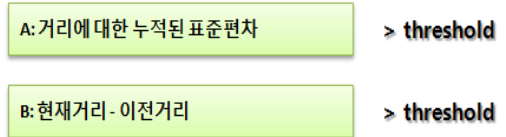


그림 5. 비가시선의 식별 방법

[그림 5]와 같이 A, B 상황을 종합하여 판단한 결과 값이 시스템에서 정한 임계 값을 초과했을 때 NLOS 신호로 판별한다. 이렇게 NLOS 신호로 판별된 거리 데이터는 시스템의 성능 향상을 위해 NLOS Mitigation을 통해 데이터를 보정한다.

- 표준 편차를 이용한 방법

표준 편차에 대한 계산은 입력되는 거리 데이터를 누적하여 계산한다. (식 3-1)은 제안하는 시스템에서 사용한 표준 편차 식이다.

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{식 3-1})$$

표준 편차를 이용한 방법론은 NLOS 식별에 영향을 주는 2가지 요인이 있다. 첫째, 하드웨어 성능에 의존하며, 하드웨어에서 분당 얼마나 많은 횟수를 측정하느냐에 따라 결과 값이 달라진다. 즉 한번 측정될 때 SOI의 평균 이동 거리에 따라 표준 편차의 임계 값이 달라진다. 둘째, 누적되는 거리 데이터의 수이다.

표준 편차란 통계학에서 여러 수치들의 산술 평균에 대한 변이성의 측도를 말한다. SOI는 끊임없이 이동하고 다양한 경로로 움직이기 때문에 모든



이동에 대한 표준 편차를 누적하여도 일정한 표준 편차 값을 얻기 어려워 NLOS 신호를 식별할 수 없었다. 다양한 실험과 연구를 통하여 누적되는 거리 데이터 수를 줄일수록 NLOS 상황에서 시스템에서 정한 임계값을 초과하는 상황을 발견하였다. 그 결과로 제안하는 시스템에서는 누적 데이터의 개수를 실험에서 얻은 결과값을 사용하여 제안하였다.

- 현재 거리와 전 단계 거리를 활용한 방법

두 번째 판별 방법론은 LOS에서 NLOS 환경으로 진입할 경우에 발생하는 NLOS 신호의 특성을 활용한다. NLOS 환경에서 측정된 신호는 LOS 환경에서 측정된 신호보다 거리 데이터가 증가하기 때문에 LOS 환경에서 NLOS 환경으로 변하는 지점에서 확인한 거리 차이가 발생한다. 이를 기반으로 하여 LOS와 NLOS 신호를 식별하는 방법론이다.

### 3.2.2 NLOS Mitigation

제안한 시스템에서 사용한 NLOS Mitigation 방법론은 [그림 6]과 같다.

현재 값은 NLOS 신호로 판별되었기 때문에 사용할 수 없거나 보정해야한다. 그러므로 제안하는 시스템에서는 이전 값을 활용하여 새로운 거리 데이터를 생성한다. 이 때 새로운 거리 데이터를 생성하기 위해 다양한 방법을 이용할 수 있으며, 제안하는 시스템에서는 다음과 같은 방법론을 사용했다.

제안하는 시스템에서는 현재 입력된 거리 데이터 Current\_dist가 NLOS로 판별되었을 때, 바로 이전의 거리데이터 Pre\_Dist에 증감 값을 곱하거나, 더하거나 빼는 방법으로 거리데이터를 보정한다. 현재 사용한 증감 값은 이전 데이터 5개를 저장하여 그 값의 차이 값을 이용해 증감 값을 생성하고, 그 차이 값의 부호가 일정하지 않을 때는 일정한 증감 값(환경과 H/W Platform에 종속)을 곱해 새로운 차이 값을 생성해서 다시 그 값을 적용하는 방법론을 사용했다. 위와 같이 보정된 결과 데이터 New\_Dist가 시스템에 반영된다.

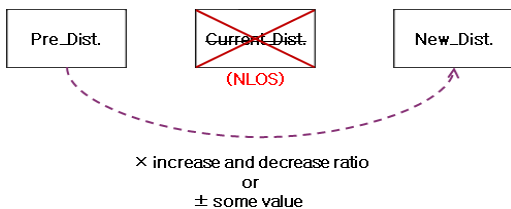


그림 6. 비가시선의 완화 방법

### 3.2.3 제안한 시스템에서의 잔여 기중치 알고리즘

본 논문에서 제안한 시스템에서의 Residual algorithm은 II장의 관련연구에서 살펴본 것과 크게 다르지 않다. Residual algorithm은 Triangulation에서 선별된 Anchor 정보를 활용한다. 선별된 Anchor 정보를 활용함으로써 다수의 Anchor를 비교하지 않기 때문에 성능향상의 이점이 있으며, 위치 정확도를 향상시킬 수 있다. Anchor 순서쌍을 선별한 후 Residual 값을 적용하기 위해 최적의 Anchor 3개를 선별(2차원 환경이기 때문)한다.

제안하는 시스템에서 Residual은 ‘추정된 위치와 Anchor와의 거리’와 ‘측정된 Anchor와의 거리’의 차이를 의미한다. Anchor 별로 Residual을 계산했을 때, 그 차이가 크다면 NLOS라 판별하고 데이터를 보정하는 방식을 사용했다. Residual algorithm은 고정 객체의 위치 측위와 이동 객체의 위치 측위에 모두 반영된다.

### 3.2.4 제안한 시스템에서의 칼만 필터

본 시뮬레이션에서 칼만 필터를 사용하여 순간적인 위치의 점프(JUMP) 현상을 방지하며, 정확한 위치, 속도 및 시간을 안정적으로 검출하기 위해 칼만 필터를 구현하여 필터링을 수행한다.

### 3.3 제안하는 알고리즘의 흐름도

본 논문의 알고리즘 흐름은 데이터를 입력받는 ‘Input data’, 입력 신호의 LOS/NLOS를 식별하고 완화하는 ‘Filtering phase’, 삼각측량을 수행하는 ‘Positioning phase’, 마지막으로 ‘Positioning phase’에서 얻은 위치 데이터를 활용하여 보정하는 ‘Correction phase’로 이루어진다. [그림 7]은 본 논문에서 제안하는 시스템의 핵심 알고리즘인 ‘Filtering phase’와 ‘Correction phase’의 흐름을 보여준다.

[그림 7]에서 보는 것과 같이 ‘Filtering phase’에서는 다수의 앵커로부터 들어오는 SOI의 위치 정보를 활용하여 NLOS Identification을 수행한다. 본 알고리즘에서 사용하는 Identification method는 표준편차 정보를 활용하는 방안과 현재와 이전 단계의 거리 값을 조합하는 방식이다.

NLOS Identification 단계를 거치면 입력된 신호가 LOS 신호인지 NLOS 신호인지 판별이 되며 LOS 신호인 경우에는 그 데이터를 활용하지만 NLOS 신호의 경우에는 이 데이터를 그대로 사용하지 않고 보정하여 사용한다. 제안하는 알고리즘에서 활용하는 보정 방안으로는 NLOS Mitigation과

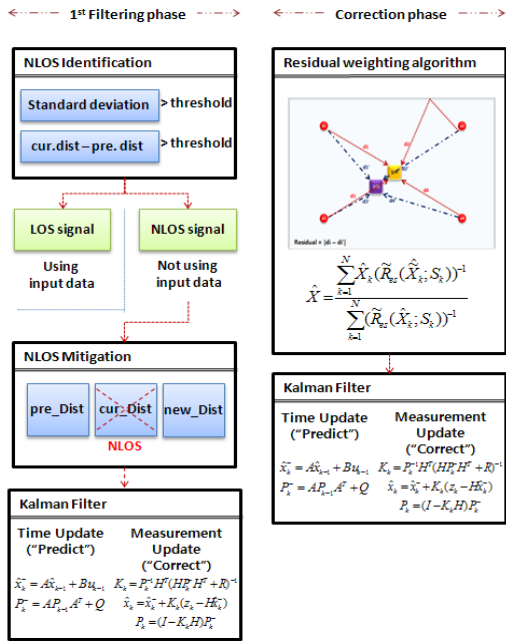


그림 7. 제안하는 알고리즘의 흐름도

Kalman Filter 방식을 이용한다.

[그림 7]에서 보는 것과 같이 ‘Correction phase’에서는 ‘Positioning phase’에서 얻은 위치 데이터를 활용하여 ‘Correction phase’에서 고정 객체는 RWA를 활용하여 최종 위치 데이터를 얻고, 이동 객체는 RWA와 KF의 조합을 활용하여 최종 SOI의 위치 데이터를 얻는다.

#### IV. 시뮬레이션 및 분석

본 장에서는 제안하는 시스템의 성능 검증을 위해 기존 Triangulation algorithm과 비교한 시뮬레이션 결과를 분석한다.

##### 4.1 시뮬레이션 환경

###### 4.1.1 컴퓨터 환경

본 논문의 성능 검증을 위해 사용된 컴퓨팅 환경은 [표 1]과 같다.

표 1. 시뮬레이션에서 활용한 컴퓨터 환경

CPU	Intel PentiumIV Q6600
RAM	4096MB
운영체제	MS Windows Vista Business K 64bit
개발도구	MS Visual Studio 2005TS sp1

##### 4.1.2 테스트 환경

본 성능 검증의 테스트 환경은 하드웨어의 부족과 다양한 제약조건으로 인해 실제 실내 환경에서 테스트하지 못하고, 실내 환경을 컴퓨터 환경에서 제작하여 테스트를 수행하였다. 본 성능 검증 환경에서 제작한 실내 환경의 특징은 실제 실내 환경과 유사한 테스트 환경을 구축하였다.

실내 환경 테스트 환경의 특징은 다음과 같다. 첫째, SOI 데이터 셋을 생성할 때 이동 객체의 속도와 이동 경로를 반영할 수 있다. 둘째, Anchor와 SOI간 전파 환경의 특성을 반영하고 전파 신호의 LOS/NLOS 신호를 생성하기 위해 장애물 정보를 추가하여 거리 정보를 실제 환경과 유사하게 추출할 수 있도록 개선하였다.

기본적인 실내 환경의 구성은 [표 2]와 같다. 본 성능 검증에서 사용한 SOI는 한 개로 가정했으며, 객체를 인지하기 위한 Anchor는 총 5개로 가정하였다. SOI의 시작 위치는 맵의 중앙이 아닌 약간 편향된 위치로 잡았으며, SOI의 궤적 정보는 설정한 이동 경로를 따라 생성하였다.

실내 환경의 측정 면적은 10mX10m의 영역에서 수행하였으며, 객체의 이동 속도는 일반 사람들이 걷는 속도인 150cm/sec와 뛰는 속도인 300cm/sec 정도로 설정했다. 그리고 본 시뮬레이션에서 활용된 거리 데이터는 LOS 데이터인 경우에 실제 값과의 오차가 ±5~10% 이내로 설정하였다. 오차를 정확하게 설정하지 않은 이유는 시스템 하드웨어의 특성과 Measurement Noise, 그리고 기타 여러 환경적 요인을 반영하기 위해서이다.

표 2. 시뮬레이션에서 활용한 테스트 환경

SOI의 수	1개
Anchor의 수	5개
SOI의 시작위치	[X] 1,660, [Y] 8,440
측정면적	[X] 10,000 [Y] 10,000
객체 이동속도	Simulation 조건에 따라 다름.
거리 데이터	Simulation 조건에 따라 다름.

###### 4.1.3 앵커의 위치와 장애물 정보

본 시뮬레이션 환경에서는 한 개의 장애물을 고려했으며, 총 5개의 Anchor를 실내 환경에 배치하였다. [그림 8]은 장애물의 좌표와 Anchor의 좌표 값을 보여준다.

· 장애물과 앵커의 위치 정보

장애물 정보	장애물의 위치		앵커 번호	앵커의 위치	
	X축	Y축		X축	Y축
1	4,000	4,000	1	5,100	8,380
	5,000	3,000	2	7,900	5,060
	6,000	6,000	3	7,140	2,220
	5,000	7,000	4	2,560	2,320
			5	1,940	6,940

그림 8. 장애물과 앵커의 위치 정보

4.1.4 시뮬레이션 단계

본 연구에서 진행한 시뮬레이션은 모두 6개의 단계로 구성된다. 먼저 환경정보를 반영하고, 데이터를 생성한 후 삼각측량을 수행했다. 그리고 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 알고리즘을 적용하였다. 마지막으로 결과 데이터를 얻은 후 삼각측량에서 얻은 결과 데이터와 비교 분석을 수행하였다. 각 단계별 상세정보는 다음과 같다.

1단계 : Setting Environment

성능 검증의 첫 번째 단계로 환경 정보를 시스템에 반영하는 단계이다. 이 단계에서 설정하는 환경 정보로는 anchor의 위치와 장애물의 위치, 그리고 SOI의 궤적정보 등을 설정하는 정보를 포함한다. 그리고 시뮬레이션에 사용할 수 있도록 다양한 파라미터 등을 설정하는 단계이다.

2단계 : Create SOI Trajectory

SOI의 궤적을 생성하는 단계이다. 본 논문에서는 Setting Environment에서 설정한 SOI 궤적 정보를 활용하여 SOI의 궤적 정보를 생성함으로써 실제 환경과 유사한 궤적 데이터를 추출했다.

3단계 : Calculator Anchor-SOI Distance

SOI Trajectory 단계에서 추출한 SOI의 좌표 정보를 활용하여 Anchor와 SOI간의 거리 데이터를 얻는 단계이다. 이 때 거리 데이터는 환경의 Measurement Noise를 반영하기 위해 실제 데이터 값의 약 ±5~10%정도 오차를 갖는다. 그리고 성능 분석을 위해 SOI의 초기 위치를 편향된 장소에 위치하도록 SOI의 위치를 조정하였다. 또한 실내 환경의 특성을 반영하기 위해 맵에 장애물을 설치하여 NLOS 데이터 정보를 실제 상황과 유사하게 반영했기 때문에 보다 현실적인 Anchor와 SOI 간의 거리 정보를 얻을 수 있다.

4단계 : Triangulation

새롭게 제안한 알고리즘과의 비교를 위해 삼각측량을 수행하는 단계이다. 본 단계에서는 기존 알고리즘에 적용된 Anchor의 선별된 정보를 이용하여 Anchor를 배치한 후 삼각측량을 수행하였다. 삼각측량을 성공적으로 종료한 후 결과 데이터를 저장하였다.

5단계 : Applying Location Algorithm

제안하는 Location Algorithm을 적용하는 단계.

6단계 : 결과값 생성 & 결과 데이터 분석

본 성능 검증의 마지막 단계로 기존 삼각측량 알고리즘과 본 문서에서 제안하는 알고리즘과의 효과적인 비교를 위해 결과 값을 생성하는 단계이고, 이전 단계에서 생성된 결과 값을 분석하는 단계이다. 결과 값은 다음 절에서 자세히 다룬다.

4.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안하는 시스템의 성능 검증을 위해 실시한 성능 검증은 [그림 9]와 같은 절차를 거쳐 수행하였다. 수행한 Simulation의 기본 조건은 다음과 같다.



그림 9. 본 논문에서 수행한 모의실험

다음은 본 모의 실험에서 사용한 범례표이다. 실제 위치에서 각 알고리즘별 측정된 위치의 차이 값을 계산하였다.

- R-TRI Real data - Triangulation data
- R-ResKF Real data - (Residual algorithm + Kalman filter data)
- R-Prop Real data - Proposal algorithm

4.2.1 시뮬레이션의 실험 조건

본 모의 실험에서 사용된 LOS 환경에서의 레인지 오차는 각 거리에 비례하여 ±5.0%와 ±10.0%이다. 이렇게 데이터를 추출한 이유는 보유하고 있는 H/W에서 얻은 데이터의 값이 ±5.0% ~ ±15.0% 사이였기 때문에 실질적으로 의미있는 데이터를 얻을



표 3. 시뮬레이션의 조건

Parameter	Contents (walk)	Contents (walk)	Contents (run)	Contents (run)
레인징 오차	±5.0%	±10.0%	±5.0%	±10.0%
SOI 이동 속도	50cm/tick	50cm/tick	50cm/tick	50cm/tick
샘플 데이터의 수	427	428	214	216

수 있을 것이라 생각되었기 때문이다. 일반적으로 성인이 걷는 속도는 초당 150cm이고, 뛰는 속도는 초당 300cm라 알려져 있다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 걷는 환경의 성능 평가이기 때문에 SOI의 이동 속도는 tick 당 50cm로 초당 3번의 tick을 받는 것으로 설정했다. 전체적인 모의 실험의 조건은 [표 3]과 같다.

4.2.2 시뮬레이션 결과 분석

[그림 10]은 제안하는 시스템을 모의실험을 통해 검증한 결과이다. [그림 10]에서 가로축은 실험환경에서 사용한 데이터의 조건을 나타내며, 세로축은 실제 위치(Real)에서 각 추정된 알고리즘의 위치를 뺀 결과 값을 보여준다.

[그림 10]의 결과에서 볼 수 있듯이 제안하는 알고리즘의 결과 값이 제일 우수한 것을 확인할 수 있다. 먼저 레인징 오차 값이 ±5.0%이고, 이동 속도가 초당 150cm일 때 Triangulation으로 추정된 값은 450.81mm의 오차를 가진다. 반면, Residual과 Kalman filter를 조합한 알고리즘을 활용했을 경우에는 약 217.26mm로 감소함을 확인할 수 있었으며, 제안하는 알고리즘을 적용했을 경우에는 약 186.01mm의 오류를 가져 가장 우수함을 보여주었다.

다음으로 레인징 오차 값이 ±5.0%이고, 이동 속도가 초당 300cm일 때 Triangulation으로 추정된 값은 472.17mm였다. 그리고 Residual과 Kalman filter를 조합한 알고리즘을 확인했을 경우에는 약 374.22 mm의 오차를 가졌으며, 제안하는 알고리즘

은 172.50mm의 오차를 보여주었다. 이 결과는 ±5.0%(walk) 때의 결과보다 좋은 결과 값을 보여주는데 제안하는 알고리즘에서 활용한 파라미터 값이 해당하는 조건에 잘 만족했던 것으로 보인다. ±10.0% 일 때도 ±5.0%일 때와 유사한 결과 값을 보여주고 있으며 전체적으로 이동 속도가 빠를 경우에 더 좋은 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다.

다음으로 모의 실험 결과와 추가적으로 실험한 모의 실험 결과를 분석한다. [표 4]는 전체 모의 실험 결과를 거리오차 비율별로 Mitigation을 적용했을 경우와 적용하지 않았을 경우를 분석했다.

[표 4]를 분석하는 방법은 다음과 같다. 좌측의 거리 오차 비율은 본 시뮬레이션에서 활용한 오차 정보이다. 보폭은 앞에서도 언급했듯이 Walk는 초당 150cm, Run은 초당 300cm 이동하는 것을 가정하였다. 다음으로 Non Mitigation과 Mitigation의 Res와 Kal의 칼럼은 각각 같은 조건에서 기존의 Triangulation과 비교시 적용한 알고리즘의 성능의 개선 정도를 표현한 것이다.

[표 4]를 보면 알 수 있듯이 기존의 Triangulation algorithm보다 Residual algorithm이 약 30% 정도 위치 보정효과가 있음을 확인할 수 있었다. 또한 Residual algorithm에 Kalman Filter를 적용했을 경우 약 37% 정도의 성능효과가 있어, Tracking 시에 KF를 적용하는 것이 Residual만 적용하는 것보다 약 7%의 성능향상이 있음을 확인할 수 있다.

마지막으로 Mitigation algorithm의 적용여부는 Mitigation algorithm을 적용했을 경우, 적용하지 않

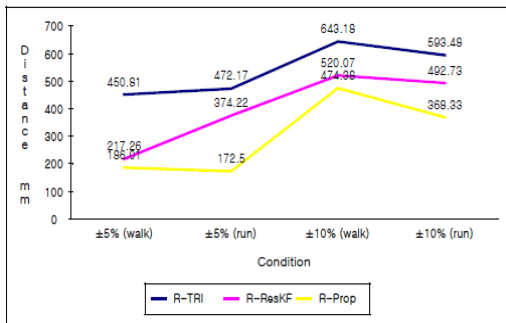


그림 10. 제안하는 시스템의 성능 (실제 데이터와의 거리 차이)

표 4. 모의 실험 결과 분석표

단위: %

거리 오차	보폭	Non Mitigation		Mitigation	
		Res	Kal	Res	Kal
± 5%	walk	45.24	51.81	52.39	58.74
	run	15.60	20.74	56.91	63.47
±10%	walk	11.28	19.14	17.05	26.71
	run	8.97	16.98	28.91	37.94
평균		20.27	27.17	38.82	46.72

있을 때보다 약 19.55%의 성능향상이 있었다. 그러나 Mitigation algorithm은 전체적으로 환경의 변화에 일관적인 모습을 보이지 못했다. 따라서 앞으로 환경에 능동적으로 대처할 수 있도록 Mitigation의 개선이 필요하며, 이것이 이루어질 경우 보다 위치 보정 효과가 클 것으로 예상된다.

### V. 결론 및 향후연구

현대 사회의 과학기술의 발전으로 유비쿼터스 시대가 도래함에 따라 사회적으로 실내 위치 인식 시스템에 대한 관심이 증가되었다. 하지만 기존 실내 위치 인식 시스템은 실내 환경의 빈번한 변화에 능동적으로 대응하지 못하거나, 실내 환경의 NLOS 특성으로 인하여 이동 객체의 정확한 위치 측정이 어려운 문제가 있다.

본 연구에서 제안하는 시스템은 실내 환경의 위치 인식의 문제점이 되는 NLOS 신호를 판별하여 완화하는 기법을 추가하였다. 이는 우리가 제안했던 Triangulation 알고리즘에 추가적으로 Kalman Filter와 RWA를 도입한 기존 시스템에 비해 위치 정확도를 향상시켰다. 그리고 모의 실험을 활용한 성능 검증을 통해 제안하는 시스템의 우수성을 증명하였다.

향후 연구 과제로는 먼저 다양한 경우의 패턴을 생성한 후 데이터를 생성하여 특성을 분석해야 한다. 왜냐하면 모의 실험 결과에서 볼 수 있듯이 Mitigation algorithm은 전체적으로 환경에 일관적인 모습을 나타내지 못하고 있다. 따라서 앞으로 환경에 능동적으로 대처할 수 있도록 Mitigation algorithm의 개선이 필요할 것으로 보이며, 개선했을 경우 보다 향상된 위치 보정 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 다음으로 제안하는 알고리즘이 전체 시스템에 미치는 오버헤드에 관해 분석해야 한다. 그 결과로 algorithm을 제안하는 시스템에 실시간으로 적용할 것인지, 아니면 후처리 후에 데이터를 적용할 것인지에 따른 기준이 필요할 것으로 예상된다. 마지막으로 실제 H/W 플랫폼과의 연동을 통한 성능 검증이 필요하며, 이와 더불어 기존 실내 위치 시스템과의 비교 분석을 위한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] J. Hightower, G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing", IEEE Computer, 34(8), pp.57-66, 2001.

[2] <http://www.aist.go.jp/>

[3] "Merged Proposal of DS-UWB with Optional CS-UWB on UWB Band for IEEE 802. 15.4a", <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>, IEEE 15-05-0127-02-004a, 2005.

[4] J.Y. Lee, R.A. Scholtz, "Ranging in a Dense Multipath Environment Using an UWB Radio Link", IEEE Journal on Selected Areas in Comm., 20(9), pp.1677-1683, 2002.

[5] R.J. Fontana, S.J. Gunderson, "Ultra-Wideband Precision Asset Location System", Proc. IEEE Conf. on Ultra Wideband Systems, pp.147-150, 2002.

[6] Bao Long Le, Ahmed K, Tsuji H. "Mobile location estimator with NLOS mitigation using Kalman filtering", IEEE Wireless Communications and Networking, Vol.3, pp.1969-1973, 2003.

[7] S. Venkatraman, J. Caffery, and H.-R. You "A Novel ToA Location Algorithm Using LoS Range Estimation for NLoS Environments", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.53, pp.1515-1524, 2004.

[8] Cha-Hwa Lin, Juin-Yi Cheng, and Chien-Nan Wu, "Mobile Location Estimation by Density-Based Clustering for NLoS Environments", IEEE AINA, 6pages, 2006.

[9] [http://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B9%BC%EB%A7%8C\\_%ED%95%84%ED%84%B0](http://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B9%BC%EB%A7%8C_%ED%95%84%ED%84%B0)

[10] B.W. Kozminchuk, A.U.H. Sheikh, "A Kalman Filter-Based Architecture for Interference Excision", IEEE Transactions on Comm., 43(234), pp.574-580, 1995.

[11] A. Smailagic et al., "Location Sensing and Privacy in a Context Aware Computing Environment", Proc. Pervasive Computing, 2001.

[12] Pi-Chun Chen, "A Non-Line-of-Sight Error Mitigation algorithm in Location Estimation", WCNC, pp.316-320, 1999.

[13] Yun Kyung Lee, Eui Hyeok Kwon, Jae Sung Lim, "Self Location Estimation Scheme using ROA in Wireless Sensor Networks", KICS Conference, 2005.

[14] Kanaan, M., Pahlavan, K., "CN-TOAG: A New

Algorithm For Indoor Geolocation”, PIMRC2004, pp.1906-1910, 2004.

- [15] Gaffery J.J., Jr., “A New Approach to the Geometry of ToA Location”, VTS2000, pp.193-1949, 2000.

전 현 식 (Hyeonsig Jeon)

정회원



2005년 2월 한밭대학교 정보통신공학과 공학석사  
2005년 3월~현재 한국대학교 전파공학과 박사과정  
<관심분야> 실내 위치 측위 시스템, 공간 데이터베이스

김 나 리 (Na-Ri Kim)

준회원



2007년 2월 한밭대학교 정보통신공학과 졸업  
2007년 3월~현재 한밭대학교 전파공학과 석사과정  
<관심분야> 실내 위치 측위 시스템, 모바일 데이터베이스

박 현 주 (Hyun-Ju Park)

정회원



1997년 2월 서울대학교 전산공학과 이학박사  
2004년 2월~현재 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 부교수  
<관심분야> 임베디드 소프트웨어, 실내 위치 측위 시스템