

## IEEE 802.15.4기반 RSSI와 LQI를 이용한 실내 위치추정 기법

김정하<sup>1</sup> · 김현준<sup>2</sup> · 김종수<sup>3</sup> · 이성근<sup>4</sup> · 서동환<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2013년 12월 24일, 원고수정일: 2013년 12월 30일, 심사완료일 : 2013년 12월 30일)

### An indoor localization approach using RSSI and LQI based on IEEE 802.15.4

Jung-ha Kim<sup>1</sup> · Hyun-jun Kim<sup>2</sup> · Jong-su Kim<sup>3</sup> · Sung-geun Lee<sup>4</sup> · Dong-hoan Seo<sup>†</sup>

**요약:** 최근 저비용 실내 측위 시스템을 구축하기 위하여 WLAN기반 RSSI를 이용한 핑거프린트 기법이 많이 연구되고 있다. 이 기법은 UWB의 측위와 비교해서 상대적으로 정확도가 떨어지므로 다양한 실내 위치기반 서비스를 구현하기 위하여 지속적으로 WLAN기반 핑거프린트의 측위 성능은 향상되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준에 포함된 RSSI와 LQI를 이용하여 실내 측위 성능을 향상할 수 있는 핑거프린트 기법을 제안한다. 제안한 기법은 RSSI와 LQI를 활용함으로써 각 위치의 특징을 더욱 뚜렷하게 만들고 변형된 유클리드 거리법을 사용하여 핑거프린트 기법을 개선하였다. 다양한 장애물이 존재하는 NLOS의 실내 환경에서 실험을 진행한 결과 측위 성능이 22% 향상되는 것을 확인하였다.

**주제어:** 위치추정, 핑거프린트, RSSI, LQI

**Abstract:** Recently, Fingerprint approach using RSSI based on WLAN has been many studied in order to construct low-cost indoor localization systems. Because this technique is relatively evaluated non-precise positioning technique compared with the positioning of Ultra-Wide-Band(UWB), the performance of the Fingerprint based on WLAN should be continuously improved to implement various indoor location. Therefore, this paper presents a Fingerprint approach which can improve the performance of localization by using RSSI and LQI contained IEEE 802.15.4 standard. The advantages of these techniques are that the characteristics of each location is created more clearly by utilizing RSSI and LQI and Fingerprint technique is improved by using the modified Euclidean distance method. The experimental results which are applied in NLOS indoor environment with various obstacles show that the accuracy of localization is improved to 22% compared to conventional Fingerprint.

**Keywords:** Localization, Fingerprint, RSSI, LQI

## 1. 서 론

정보기술(Information Technology, IT)이 발전함에 따라 언제 어디서나 필요한 정보를 제공받을 수

있는 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network, USN) 기술은 인간의 삶을 더욱 윤택하게 한다. 그중 무선통신기술을 활용하여 객체의 위치

† Corresponding Author: Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727 Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: dhseo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4412

1 Department of Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: parosai@hanmail.net, Tel: 051-410-4822

2 Department of Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: fihihhi@dreamwiz.com, Tel: 051-410-4822

3 Division of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: jongskim@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4831

4 Division of Electrical & Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: sglee48@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4821

를 실시간으로 인식하고 사용자에게 필요한 정보를 제공하기 위한 위치기반 서비스(Location-based Services, LBS)는 의료, 모바일, 환경 등 다방면에 걸쳐 폭 넓게 응용되고 있다[1]-[5]. 이러한 위치기반 서비스는 실외 및 실내의 두 가지 환경으로 구분할 수 있고 실외환경에서는 위성항법장치(Global Positioning System, GPS)를 기반으로 원활하게 운용되고 있다[6][7]. 한편, 실내환경은 GPS신호를 획득하기 어렵기 때문에 무선통신, 영상, 초음파 등을 이용하여 측위 할 수 있고, 공간적 제약으로 인하여 비교적 정밀한 위치추정 성능이 요구된다 [8]-[10]. 이 요구사항을 만족할 수 있는 서비스를 도입하기 위하여 많은 비용이 소모되기 때문에 실내 위치기반서비스를 도입하는 것은 쉽지 않은 상황이다. 따라서 경제적이며 정밀한 측위 성능을 가진 실내 위치기반 서비스를 도입하기 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 그중 근거리통신망(Wireless Local Area Network, WLAN)기반 핑거프린트가 최근에 주요한 실내측위기법으로 떠오르고 있다.

Seong et al. [11]은 신호의 세기에 따른 선형보간과 문턱치 값을 통하여 데이터베이스(Database, DB) 구성시간 및 용량을 줄이고 획득된 신호의 선택적 연산을 통해 연산량을 감소하고 위치 정확도를 향상하였다. 이러한 기존의 WLAN기반 핑거프린트 기법은 라디오맵을 구성하기 위해 RSSI(Received Signal Strength Indication)에 크게 의존하고 있는데 RSSI뿐만 아니라 더 많은 요소를 핑거프린트에 사용한다면 각 위치에서의 특징을 더욱 뚜렷하게 하므로 위치의 정확도를 향상할 수 있다. 한편, Harder et al. [12]은 LQI(Link Quality Indication)값을 기반으로 RSSI의 왜곡을 감소시키는 적응형 smoothers 기법을 제안하고 이를 통해 두 노드 간의 거리측정 성능을 향상하였다. Ha et al. [13]은 LQI 패턴을 기반으로 인공신경망(Artificial Neural Network, ANN)을 적용하여 실내 주거환경에서 구역별 측위가 가능함을 입증하였다. 이처럼 LQI는 실내 측위에서 유용하게 사용될 수 있음을 의미하고 IEEE 802.15.4 표준에서 기본적으로 제공되는 정보이기 때문에 쉽게 획득할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 널리 사용되는 무선 통신인 IEEE 802.15.4 표준에서 제공하는 RSSI와 LQI를 이용하여 핑거프린트 기법을 적용함으로써 향상되는 측위 성능을 실험을 통해 검증하였다. 라디오맵을 구성할 때 RSSI와 LQI를 구분하여 DB에 저장하고, 실제 측위를 수행할 때 획득된 RSSI와 LQI를 변형된 유클리드 거리법을 각각 적용하여 구한 후 이들의 곱으로써 현 위치의 특징점이 표현되고 이를 통하여 위치를 파악한다. 5개의 고정 노드와 1개의 이동노드를 사용하여 다양한 전파 방해 요소가 존재하는 NLOS(Non Line of Sight Propagation) 실내 환경에서 실험을 진행한 결과 위치추정 성능이 향상됨을 확인하였다.

## 2. RSSI와 LQI의 특성

### 2.1 RSSI

실내환경에서 WLAN기반 핑거프린트를 이용한 측위기법은 RSSI를 중요한 요소로 사용한다. RSSI는 수신된 전파의 신호 세기를 뜻하고, 이것은  $dBm$ 으로 표현되는데 일반적으로 사용되는 RF칩셋은  $0dBm$ 에서  $-90dBm$ 의 신호를 전달할 수 있다.  $-75dBm$ 이하의 신호는 패킷 손실률이 높아 신호의 세기가 약하다고 판단하며, 전파신호는 매질을 통하여 전달되면서 손실되기 때문에 실제환경에서  $0dBm$ 으로 수신하는 경우는 거의 없으므로 수신된 신호가  $-25dBm$ 정도이면 세기가 강하다고 판단한다. 자유공간에서 RSSI의 값은 식 (1)의 로그 감쇄 모델로 표현된다.

$$RSSI = -(10n \log_{10}d + A) \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 신호 감쇄 상수로서 매질에 따라 달라지고,  $d$ 는 신호원에서 수신노드까지의 미터단위 거리이다. 모든 신호원이 동일한 세기로 전파를 송신하지 않으므로 오프셋값이 필요한데 이 오프셋값이  $A$ 이고 이는 1미터 거리에서 측정된 RSSI값이다. 본 논문에서 사용된 CC2420칩셋은 8심볼 기간 ( $128\mu s$ )내에 수신된 신호를 평균하여 구해지며 부호 있는 8비트 값으로 제공한다. 이 값에서 약  $-45$ 를 합한 값이  $-dBm$ 단위의 RSSI이다[14].

## 2.2 LQI

수신된 패킷의 품질 및 세기의 특징을 나타내는 LQI는 IEEE 802.15.4 표준에 포함되어 있으며 이 표준에서는 부호 없는 8비트(0~255)의 값으로 정의된다. LQI는 값이 클수록 좋은 특성을 나타내며, RSSI가 강할수록 패킷 손실률이 낮아지므로 LQI는 RSSI와 비례관계로 여겨질 수 있다. CC2420 칩셋에서는 수신된 패킷의 8심볼을 검사하여 50~110까지의 상관 값을 제공하고, 일반적으로 108이상이면 우수한 품질로 판단하고, 105이하이면 낮은 품질로 판단한다. CC2420 데이터시트에서는 식 (2)를 통하여 50~110까지의 값을 0~255의 값으로 변환하여 사용하도록 언급하였다[12].

$$LQI = (CORR - a) \cdot b \quad (2)$$

여기서 *CORR*은 칩셋에서 제공하는 상관 값(50~110)을 나타내고, *a*와 *b*는 범위를 변환하기 위한 변수이다. 통신환경에 따라 상관 값이 다르게 출력되므로 *a*와 *b*값은 사용자의 경험에 의하여 직접 선정하여 사용해야 한다.

## 3. 제안한 핑거프린트 기법

일반적으로 핑거프린트 기법은 AP(Access Point)로부터 신호를 획득하여 그 특징을 DB로 구축하는 사전단계와 구축된 DB와 획득된 신호를 비교하여 현 위치를 추정하는 측위단계로 이루어진다. 제안한 핑거프린트 기법도 이와 동일하게 사전 및 측위의 두 단계로 구성되며 다음과 같이 기술된다.

### 3.1 라디오맵 구성 단계

제안한 핑거프린트 기법은 라디오맵을 구성하기 위하여 RSSI 뿐만 아니라 LQI도 함께 사용하므로 더욱 뚜렷한 특징을 만들어 낼 수 있다. 이를 위해 AP의 이름, RSSI, LQI의 세 가지 정보를 DB에 저장하여야 하며 이것은 식 (3)으로 표현된다.

$$P^i = \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \alpha_n \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \beta_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $P^i$ 는 위치가 *i*인 지점에서 수집된 모든 AP 신호들의 특징을 나타내고,  $\alpha$ 는 RSSI,  $\beta$ 는 LQI, *n*은 수집된 AP신호의 개수 및 AP의 이름을 의미한다. 동일한 *i*지점일지라도 장애물, 주변의 기타 무선통신 등의 영향으로  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 변동될 수 있는 값이므로 충분히 많은 신호를 획득하여 평균을 취하여 저장되어야 한다.

### 3.2 위치 추정 단계

측위 단계는 사전에 구축된 DB의 신호와 현재 획득한 신호를 비교하여 현재의 위치를 추정하는 핵심적인 부분이다. 추정하고자 하는 이동노드의 위치를 *r*이라 했을 때 *r*위치에서 획득된 모든 AP의 신호는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$P_r = \begin{bmatrix} \alpha_{r1} & \alpha_{r2} & \alpha_{r3} & \dots & \alpha_{rn} \\ \beta_{r1} & \beta_{r2} & \beta_{r3} & \dots & \beta_{rn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

*r*위치를 추정하기 위하여 사전에 구축했던 DB의  $P^i$ 와  $P_r$ 을 비교하여 가장 유사한 *i*의 위치를 현재 위치로 인식하며, 이를 위하여 식 (5)의 유클리드 거리법을 사용할 수 있다.

$$D(i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_j - b_{rj})^2} \quad (5)$$

여기서 *a*는 라디오맵 구성단계에서 DB에 저장되었던 신호( $\alpha, \beta$ ), *b*는 현재 이동노드에서 획득된 신호( $\alpha_r, \beta_r$ ), *D*는 *a*와 *b*의 유사한 정도이며 0에 가까울수록 유사도가 높다는 뜻이다. 하지만, 식 (5)는 Figure 1의 (a)와 (b)의 경우 동일한 결과 값 *D*를 출력하기 때문에 어떤 *i*를 현재 위치로 결정

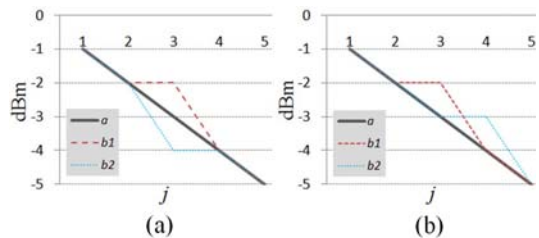


Figure 1: Examples of euclid method's problem for localization

할 것인지 모호해지는 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 식 (6)을 사용하여  $P^i$ 와  $P_r$ 의 유사한 정도를 계산함으로써 단점을 개선한다.

$$D(i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_j^2 - b_{rj}^2)^2} \quad (6)$$

이것은  $a$ 와  $b$ 의 -dBm에 제곱을 취함으로써 신호의 세기가 강하여 신뢰도가 높은  $i$ 를 우선하여 위치를 결정한다.

RSSI와 LQI는 각각의 특징을 가지며 동일한 단위가 아니기 때문에 유사한 정도를 분리하여 비교하여야 한다. 따라서 RSSI의 유사정도를 계산하는 식 (7)과 LQI의 유사정도를 계산하는 식 (8)을 통하여 유사한 정도를 별도로 계산한다.

$$D_\alpha(i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\alpha_j^2 - \alpha_{rj}^2)^2} \quad (7)$$

$$D_\beta(i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\beta_j^2 - \beta_{rj}^2)^2} \quad (8)$$

이렇게 구해진  $D_\alpha(i)$ 와  $D_\beta(i)$ 는 직교성 관계를 가질 때  $i$ 위치에서 가장 상이한 특징점을 만들어

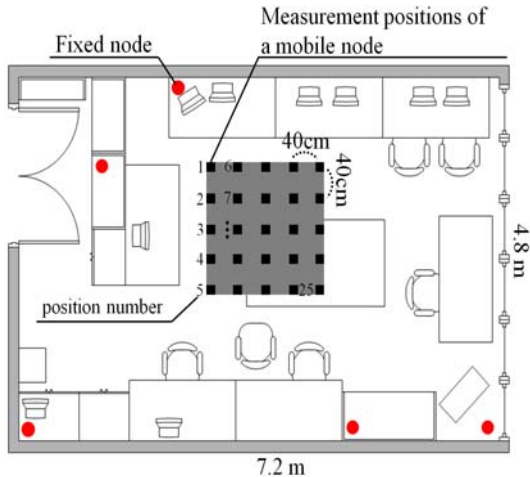


Figure 2: Experimental environment of NLOS with five Fixed nodes

낼 수 있으므로 식 (9)과 같이 이들의 곱으로써 최종적인 유사한 정도를 판별한다.

$$D(i) = D_\alpha(i) \cdot D_\beta(i) \quad (9)$$

DB에 저장된 모든  $i$ 의 신호와 현재 획득한  $r$ 의 신호에 대하여 식 (9)를 수행 후 유사한 정도가 가장 큰  $\min(D(i))$ 를 현재의 위치로 추정한다.

## 4. 실험 및 결과분석

### 4.1 실험환경 및 방법

제안한 RSSI와 LQI를 이용한 실내 측위기법의 성능을 확인하기 위하여 한국해양대학교 공과대학 건물 내부에서 실험이 진행되었으며 Figure 2는 실험장소를 나타낸다. 실제 인간이 활동하는 NLOS 환경을 위하여 의자, 테이블, 사람의 이동 등 어떠한 것도 인위적으로 재배치 되지 않은 채 자연스럽게 실험을 진행하였다. 실험 장소는 가로 7.2미터, 세로 4.8미터이고 총 5개의 고정 노드를 사용하였으며 이동노드와 직접적인 전파 전달이 어렵도록 장애물 뒤쪽에 배치하였다. 이동노드의 측위는 가로세로 40cm간격으로 총 25개의 위치에서 시행되었고 이 25개의 위치 중에서 절반 가량은 테이블 밑에서 측정되었다. Figure 3은 데이터를 수집하는 구성을 나타내며 고정노드는 1초 간격으로 이동노드에 신호를 전송하고 이동노드는 그 신호를 수신 받을 때마다 RSSI와 LQI를 추출하여 RS-232통신을 통해 PC로 전송한다. 라디오맵 구성

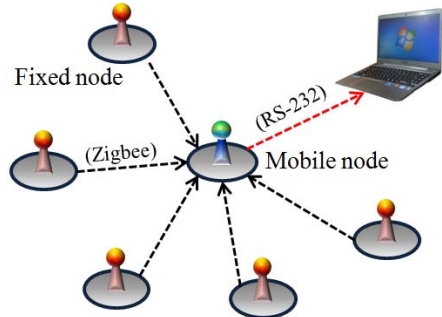


Figure 3: RSSI and LQI value measurement and gathering using Zigbee(CC2420)

단계에서 충분한 표본을 위하여 각 고정노드로부터 50개의 신호를 수신하여 평균을 취한 뒤 DB에 저장하였고, 이동노드의 측위단계에서는 각 고정노드로부터 30개의 신호를 수신 받아 평균을 취하여 사전에 구축된 라디오맵과 비교하였다. IEEE 802.15.4 표준인 지그비 무선통신으로 실험하기 위하여 Texas Instruments사의 CC2420칩셋을 사용하였다. 센서 네트워크에서 널리 사용되는 TinyOS를 8비트 마이크로 컨트롤러(Atmega128)에 탑재하여 CC2420칩셋을 제어 하였다.

#### 4.2 실험결과 및 분석

RSSI 또는 LQI를 이용하여 핑거프린트 기법을 수행할 때의 특징을 Figure 4와 Figure 5에서 보여 주며, x축은 이동노드의 이름, y축은 획득된 신호의 크기를 나타낸다. 두 그래프는 Figure 2의 5번 위치에서 라디오맵을 구성하고 Meas1, Meas2, Meas3의 3회에 걸쳐 이동노드의 위치를 추정 한 결과이다. 검은 실선은 DB에 저장된 라디오맵 신호를 나타내고 점선은 이동노드의 측위를 위해 획득된 신호를 나타낸다. 두 그래프에서 점선과 실선은 비슷한 형태를 갖추고 있으므로 핑거프린트를 이용하여 측위가 가능함을 보이고 있다. 고정노드의 개수가 증가 될수록 획득되는 신호의 개수가 증가하므로 그 위치에서 더욱 뚜렷한 특징점을 만들 수 있기 때문에 핑거프린트를 이용한 위치추정 성능은 향상된다. 만일, 비용 및 공간적 측면 등의 제약으로 고정노드의 개수를 증가시킬 수 없다면 그 위치에서 일정하게 추출될 수 있는 신호의 개수를 증가시키면 이 또한 더욱 뚜렷한 특징점을

만들어 낼 수 있다. LQI는 Figure 5에서 나타내듯이 그 위치에서 일정하게 수신되는 신호이므로 핑거프린트에 사용될 수 있는 신호이다. 따라서 LQI를 추가 이용할 경우 고정노드의 개수를 증가시키지 않고 핑거프린트의 성능을 증가 할 수 있으므로 경제적으로 측위 시스템을 구축할 수 있는 강점이 있다.

Table 1은 제안한 기법을 실험한 성능을 나타내

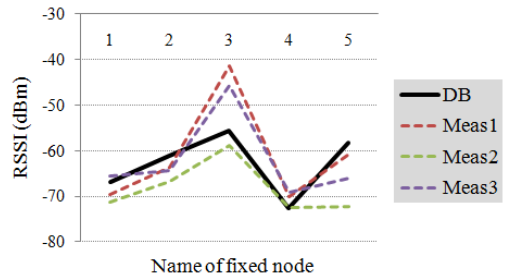


Figure 4: RSSI comparison of DB and measured values at position 5

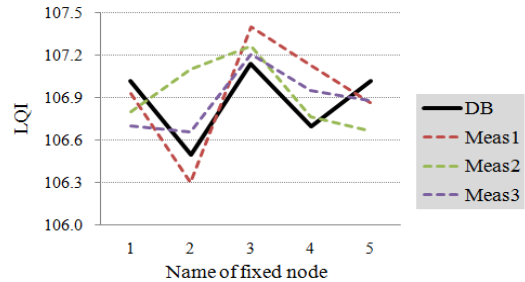


Figure 5: LQI comparison of DB and measured values at position 5

Table 1: Performance of proposed fingerprint using RSSI and LQI

항목	오차의 크기 (m)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RSSI	2.00	1.64	0.80	1.13	0.89	2.00	0.56	0.40	1.26	1.44	0.89	0.80	1.13
RSSI+LQI	0.00	1.64	0.80	1.13	0.00	0.89	0.56	0.40	1.26	1.44	0.89	0.80	1.13
Position	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Ave.
RSSI	0.00	1.26	0.00	0.00	1.26	1.44	0.40	0.40	0.00	1.26	1.78	0.40	0.92
RSSI+LQI	0.00	1.13	0.40	0.00	0.89	1.44	0.40	0.89	0.56	0.40	0.40	0.40	0.71

고 있는데, 이 표에서 Position 항목은 Figure 2에서 Position number로 표기된 25개의 위치를 의미하고, RSSI를 사용하여 위치추정 한 것과 RSSI와 LQI를 사용하여 위치추정 한 것을 비교하였다. RSSI를 사용하여 측위 했을 경우 평균 오차의 크기는 0.92미터이고 RSSI와 LQI를 사용하여 측위 했을 경우 평균 오차의 크기는 0.71미터로 약 22%가 향상되었다. 이것은 앞에서 언급한 각 고정노드로부터 획득할 수 있는 신호의 개수가 증가한다면 각 위치에서 더욱 뚜렷한 특징을 만들어 낼 수 있으므로 위치추정 성능이 향상됨을 입증하는 결과이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4의 WLAN기반 RSSI와 LQI를 이용하여 핑거프린트의 성능을 향상하는 측위 기법을 제안하였다. 제안한 기법의 성능을 검증하기 위하여 다양한 전파방해 요소가 존재하는 NLOS의 실내 환경에서 실험을 진행하였으며, 그 결과 RSSI를 사용하는 핑거프린트 기법 대비 RSSI와 LQI를 사용했을 때의 위치추정 성능이 22%가 향상됨을 확인하였다. 이것은 센서네트워크 분야에서 현재 널리 사용되는 지그비 무선통신을 활용하여 저비용으로 기존보다 정밀한 측위 시스템을 구현할 수 있음을 의미한다. 특히, 핑거프린트 기법에서 LQI정보를 추가 활용한다는 것은 이동노드의 위치에서 무선신호를 이용한 특징을 더욱 두드러지게 하는 것이므로 실내 측위분야에서 해결하기 어려운 NLOS환경에서 강점으로 적용될 수 있을 것이다. 향후 LQI와 RSSI의 상관관계를 면밀히 분석하고 이에 따라 각 요소의 특징을 더욱 효과적으로 복합할 수 있는 알고리즘을 연구할 계획이며 이에 따라 보다 정밀한 실내 측위 시스템이 구현될 수 있을 것으로 예상된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부의 지원으로 수행한 해양 에너지 전문인력 양성사업 및 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(No.20110029766)을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

- [1] T. H. Kim, N. J. Bae, M. B. Lee, C. S. Shin, J. W. Park, and Y. Y. Cho, "A study of an agricultural ontology model for an intelligent service in a vertical farm," *International Journal of Smart Home*, vol. 7, no. 4, pp. 118-126, 2013.
- [2] J. H. Seong, T. W. Lim, J. S. Kim, S. G. Park, and D. H. Seo, "An improvement algorithm for localization using adjacent node and distance variation analysis techniques in a ship", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 2, pp. 213-219, 2013 (in Korean).
- [3] H. J. Cho, K. I. Hwang, D. S. Noh, and D. H. Seo, "Real time indoor positioning system using IEEE 802.15.4a and sensors", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 36, no. 6, pp. 850-856, 2012 (in Korean).
- [4] M. Caporuscio, P. G. Raverdy, and V. Issarny, "ubiSOAP: A service oriented middleware for ubiquitous networking," *IEEE transaction on services computing*, vol. 5, no. 1, pp. 86-98, 2012.
- [5] Y. J. Chang, L. F. Lin, C. H. Chen, and W. T. Huang, "An integrated service model for community care: designing a healthy life for the elderly in Taiwan," *Journal of Public Health Frontier(PHF)*, vol. 1, no. 2, pp. 31-41, 2012.
- [6] J. Gomez-Gil, S. Alonso-Garcia, F. J. Gomez-Gil, and T. Stombaugh, "A simple method to improve autonomous GPS positioning for tractors," *Journal of Sensors*, vol. 11, no. 6, pp. 5630-5644, 2011.
- [7] D. Bajaj and N. Gupta, "GPS based automatic vehicle tracking using RFID," *International Journal of Engineering and Innovative Technology(IJEIT)*, vol. 1, no. 1, pp. 31-35, 2012.
- [8] H. J. Cho, J. S. Kim, S. G. Lee, J. W. Kim,

- and D. H. Seo, "Fixed node reduction technique using relative coordinate estimation algorithm," *Journal of The Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 2, pp. 220-226, 2013.
- [9] J. W. Kang, S. W. Bang, C. G. Atkeson, Y. J. Hong, J. H. Suh, J. W. Lee, and M. J. Chung, "Monocular vision based localization system using hybrid features from ceiling images for robot navigation in an indoor environment," *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 6, no. 3, pp. 197-209, 2011.
- [10] H. H. Lin, C. C. Tsai, and J. C. Hsu, "Ultrasonic localization and pose tracking of an autonomous mobile robot via fuzzy adaptive extended information filtering," *Journal of IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, vol. 57, no. 9, pp. 2024-2034, 2008.
- [11] J. H. Seong, J. S. Park, S. H. Lee, and D. H. Seo, "Indoor localization algorithm based on WLAN using modified database and selective," *Journal of The Korean Society of Marine Engineering*, vol. 37, no. 8, pp. 932-938, 2013.
- [12] S. H. Halder and W. J. Kim, "A fusion approach of RSSI and LQI for indoor localization system using adaptive smoothers," *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2012, article ID. 790374, pp. 1-10, 2012.
- [13] Y. G. Ha, A. C. Eun, and Y. C. Byun, "Efficient sensor localization for indoor environments using classification of link quality patterns," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2013, article ID. 701259, pp. 1-6, 2013.
- [14] Texas Instruments, <http://www.ti.com/lit/ds/sym-link/cc2420.pdf>, Accessed December 20, 2013.