

실내 무선 환경에서 3차원 위치 추적 시스템에 관한 연구

강병권*, 최성자**, 김귀정***, 박용서****
순천향대학교, 한남대학교, 건양대학교, 가천대학교

A Study on a 3-Dimensional Positioning System over Indoor Wireless Environments

Byeong-Gwon Kang*, Sung-Ja Choi**, Gui-Jung Kim***, Yong-Seo Park****
Dept. of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University*
Dept. of Multimedia Engineering, Hannam University**
Dept. Biomedical Engineering, Konyang University***
Dept. of Electrical Engineering, Gachon University****

요약 본 논문에서는 실내 무선 채널을 고려한 3차원 위치 추적 알고리즘을 제안하고 그 시스템을 구현하였다. 본 시스템에서는 IEEE 802.15.4a 표준이 적용된 나노트론사의 상용화 모듈을 이동과 고정 노드에 사용하였다. 이 모듈은 거리 측정의 해상도를 향상시키기 위하여 칩 주파수 확산 방식을 채용하였으며, 거리는 수신된 신호 세기(RSS) 크기와 삼변측량법을 바탕으로 계산되었다. 테스트베드는 제안된 알고리즘의 위치 추적 평가 오차를 측정하고 비교하도록 구현하였다. 제안된 방법의 실험 결과 위치 평가의 정확도는 사무실 건물 내의 무선 환경에서 1m 정도의 거리 오차 정확도를 확인할 수 있었다.

주제어 : 위치추정, CSS, 삼변측정, 3차원 거리 추정, 실내 채널

Abstract In this paper, we propose a novel algorithm for three dimensional positioning system and implement a system over indoor wireless channel. A commercial modules are used for mobile and fixed nodes which are product of German company Nanotron Co. This module adopts chirp spread spreading scheme as modulation method to improve the ranging resolution and the module satisfies the IEEE standard 802.15.4a. The distance computation is based on received signal strength(RSS) levels and trilateration method. A testbed was set up to measure and compare the positioning estimation error of the proposed algorithm. The experiments results showed that the accuracy of location estimation was sufficiently good as much as 1m distance error in a wireless environment in an office building.

Key Words : positioning; CSS; trilateration; 3-dimension; indoor channe

*본 연구는 2014년 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행하였음.

Received 21 September 2014, Revised 29 October 2014

Accepted 20 November 2014

Corresponding Author: Yong-Seo Park(Gachon University)

Email: yspark@gachon.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 십 수 년 동안 실내 환경에서의 정확한 위치 추적 기술에 대한 관심이 증대되어 왔다. 초기의 위치 추적 기술은 무선랜(WLAN) 인프라에 기반을 두는 핑거프린팅 기법에 초점이 맞추어져 있었다[1,2,3]. 위치 추적용 핑거프린팅 기술은 건물 각 층에 있는 여러 지점에서 수신하고 측정된 신호의 세기에 바탕을 두고 있다. 핑거프린트라고 하는 수신된 신호 세기(Received signal Strength; RSS)는 서로 다른 여러 위치에서 채집되며, 각 위치별 신호 세기로서 데이터베이스에 저장된다[1]. 사용자는 각 위치의 좌표값과 해당 지점의 RSS를 정기적으로 기록하며 이러한 과정을 RSS 조정(calibration) 또는 학습(training)이라고 한다[2]. 임의의 위치에서 새롭게 측정된 핑거프린트는 이동국의 위치를 결정하기 위하여 데이터베이스에 저장된 RSS 값들과 비교된다.

R. H. Jam [1]등은 WLAN을 위한 핑거프린트 접근 방법을 사용하여 실내 위치 센싱 시스템을 구현하였으며, 핑거프린트 데이터베이스를 구축하는데 필요한 노력을 줄일 수 있도록 하였고, 동시에 정확도를 향상시켰다. M. Wallbaum.[2]등은 전파 지도(radio map)를 구축하기 위한 수학적 모델을 제안하였는데 전파 지도는 RSS 패턴을 발생시키는데 사용된다. Z. Sun [3]등은 시간과 장비로 인하여 발생하는 전달 학습 문제를 다루기 위한 LuMA 알고리즘을 제시하였으며, 이 알고리즘은 위치 결정을 위한 RSS 조정 노력을 크게 줄였다. 이들 논문들은 핑거프린팅 방법을 고려하였으며, 실내 채널에서의 RSS 패턴 지도를 구축하기 위한 노력을 줄이고자 하였고, 2차원에 한정된 위치추적을 시도하였다.

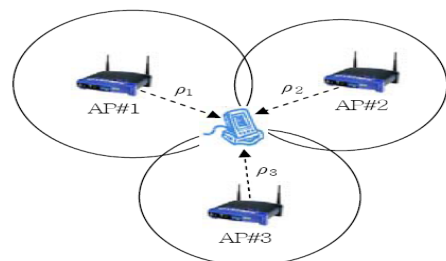
한편, 최근 들어 3차원 위치 추적에 대한 관심이 집중되고 있다[4,5,6,7]. S. Gansemer[4]등은 2차원 WLAN 핑거프린팅 위치 추적 알고리즘을 다층 건물의 3차원으로 확장하였다. 액세스 포인트(AP)로부터 전송된 여러 쌍의 신호 세기 인디케이터(Received signal Strength Indicator; RSSI)들의 값은 각 위치 오차를 수정하는 지점들에서 측정되었고, X와 Y의 두 축이 2차원 위치 좌표인 반면 Z축은 수직 방향에서 각 층을 의미한다. M. Bal[5]등은 3차원 위치 추적을 하기 위하여 무선 센서 네트워크를 사용하였으며 가시화 시스템을 구현하였다. 저자들은 해당 공간에서 다중의 센서 노드를 적용하였으며, 이를 이

용하여 무선 신호를 채집함으로써 3-D 큐빅 그리드 공간 상에 위치 측정용 핑거 프린트를 발생시켰다. 각각의 센서 노드에서 근접한 AP로부터 수신된 신호의 세기는 X,Y,Z 좌표로 기록된다. N. S. A. Hassan[6] 등은 삼각측량법을 바탕으로 3-D 위치를 결정하기 위한 방정식을 제시하였다. 삼각 측량법은 점까지의 거리를 직접 측정하지 않고, 고정된 기준선의 양 끝에 있는 고정점으로부터 그것과 이루는 각을 측정하여 한 점의 위치를 결정한다. 이들은 WLAN으로부터의 RSSI에 근거하여 IPv4 프레임워크 내에서 동작하는 추적 시스템을 구현하였다.

현재까지 대부분의 연구는 핑거프린트 구조[1,2,3,4,5]에 집중되어 있으며, 패턴 지도를 구축하는데 RSSI를 사용한다. 또한 많은 논문들은 WLAN의 AP를 이용하여 고정된 기준 노드들과 이동 노드들을 구현하였다[1,2,3,4,6]. 본 논문에서는 3차원 위치 추적을 위하여 확장된 형태의 삼각 측량법 방정식과 WLAN의 AP들로부터 수신된 RSSI가 아닌 칩 신호 방식을 이용하여 수신 신호의 세기를 측정하는 시스템을 구현하고 시험 결과를 제시하였다.

2. TOA를 이용한 2차원 삼변측량법

이동 노드는 적어도 3개의 다른 위치에 있는 센서에 의해서 수신된 신호를 보낸다. 각각의 센서는 신호의 도달시간(time-of-arrival ; TOA)을 기록하고, 임의의 쌍의 센서에서 도착하는 시간차는 모양을 알고 있는 쌍곡선상의 어딘가에 송신기가 위치해 있음을 의미한다[8]. 두 개의 센서 쌍을 이용한다는 것은 이동 노드가 두 개의 다른 쌍곡선의 교차점에 있었다는 것을 의미한다. [Fig. 1]은 이러한 상황을 설명한다.



[Fig. 1] Positioning a mobile node through trilateration

[Fig. 1]과 식 (1)은 2차원 x-y 평면에 관한 것이다. 만일 노드가 건물의 몇 층에 있는지 알고 있다고 가정한다면 방정식은 해의 차원을 증가시키지 않고 노드 높이(z)를 사용하여 쉽게 변형될 수 있다. 그러나 만일 노드 높이가 알려져 있지 않아 추정되어야 한다면 방정식은 z를 자유 변수로 포함하도록 변경되어야 하며 하나의 해를 구하기 위해서 4개의 센서가 필요하게 된다.

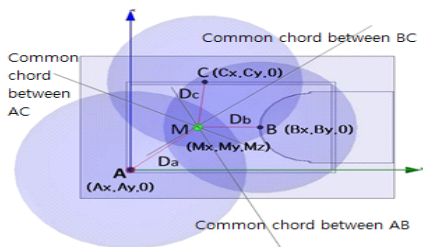
이동 노드가 위치 (x, y)에서 송신하는 시간을 t_{xy} 로 정의하면, 위치 (x_k, y_k) 에 있는 k번째 센서는 시간 $t_{-a_k} = t_{xy} + \tau_k$ 에서 신호를 검출할 것이다. 여기서, τ_k 는 신호가 이동 노드로부터 고정 노드로 전파되는데 필요한 시간이다. 이 전파 시간을 이용하면 아래 수식에 나타난 바와 같이 빛의 속도(c)로 나누어 이동 노드에서 고정 노드까지의 거리를 구할 수 있다.

$$\tau_k = \sqrt{[(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2]}/c \quad (1)$$

미지의 송신 시간 t_k 는 두 개의 노드에 도달하는 시간차($dTOA_{jk}$)를 이용하게 되면 더 이상 고려하지 않아도 된다.

$$dTOA_{jk} = t_{-a_j} - t_{-a_k} = \left[\frac{\sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{-\sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}} \right] / c \quad (2)$$

식 (2)는 $dTOA_{12}$ 와 $dTOA_{13}$ 에 대하여 [Fig. 2]에 나타난 포물선을 발생시키는데 사용된다. 두 개의 포물선의 교점에 대하여 해를 구하는 방법은 다음과 같다.



[Fig. 2] Positioning algorithm for 3D tracking with common chord method between spheres

두 개의 방정식으로부터 발생한 두 개의 포물선의 교점은 2개이다. 교점 중 하나만이 실제의 교점이고 나머지는 실제 교점이 아닌 수치상으로만 나타나는 것이다. 편의상 $\delta_{jk} = c \cdot dTOA_{jk}$ 를 정의하면 식 (2)를 제공하고 항들을 정리하여 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & \{\delta_{jk}^2 + (x_j^2 + y_j^2) - (x_k^2 + y_k^2)\} / 2 \\ & + (x_k - x_j) \cdot x + (y_k - y_j) \cdot y \\ & = \delta_{jk} \cdot \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)을 간단히 정리하기 위하여 다음을 정의하면,

$$\lambda_{jk} \equiv [\delta_{jk}^2 + (x_j^2 + y_j^2) - (x_k^2 + y_k^2)] / 2$$

노드 1, 2, 3으로부터 포물선 관계식 (4a), (4b)를 얻을 수 있다.

$$\lambda_{12} + (x_2 - x_1) \cdot x + (y_2 - y_1) \cdot y \quad (4a)$$

$$\begin{aligned} & = \delta_{12} \cdot \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2} \\ \lambda_{13} + (x_3 - x_1) \cdot x + (y_3 - y_1) \cdot y \end{aligned} \quad (4b)$$

$$= \delta_{13} \cdot \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}$$

위의 두 식을 연립하면 대상물 위치의 해는 다음 식으로 주어지는 선상에 있어야 한다.

$$\begin{aligned} & [\delta_{13} \cdot (x_2 - x_1) - \delta_{12} \cdot (x_3 - x_1)] \cdot x \\ & + [\delta_{13} \cdot (y_2 - y_1) - \delta_{12} \cdot (y_3 - y_1)] \cdot y \\ & + (\delta_{13} \cdot \lambda_{12} - \delta_{12} \cdot \lambda_{13}) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)는 등가적으로 $y = mx + b$ 의 형태로 표현할 수 있다.

$$m = - \frac{(x_2 - x_1)\delta_{13} - (x_3 - x_1)\delta_{12}}{(y_2 - y_1)\delta_{13} - (y_3 - y_1)\delta_{12}} \quad (6a)$$

$$b = -\frac{\delta_{13}\lambda_{12} - \delta_{12}\lambda_{13}}{(y_2 - y_1)\delta_{13} - (y_3 - y_1)\delta_{12}} \quad (6b)$$

최종적으로 이 직선과 앞에서 구한 포물선과의 교점을 찾기 위하여 $y = mx + b$ 형태의 식 (5)를 포물선 식 (4a)에 대입하여 항을 제공하여 정리하면 (x, y) 좌표 값이 얻어진다.

3. 제안된 3차원 위치 추적 알고리즘

본 논문에서는 3차원에서의 노드 위치를 표현하기 위하여 원이 아닌 구(sphere)를 사용한다. 우선 두 개의 원은 다음과 같이 두 개의 식(7a), (7b)로 주어진다 가정한다.

$$x^2 + y^2 + A_x + B_y + C = 0 \quad (7a)$$

$$x^2 + y^2 + A'_x + B'_y + C' = 0 \quad (7b)$$

다음 식에서 $m=-1$ 일 때 두 개의 원의 공통현은 식(8)과 같다.

$$(x^2 + y^2 + A_x + B_y + C)m + (x^2 + y^2 + A'_x + B'_y + C') = 0 \quad (8)$$

식 (8)에서 $m=-1$ 일 때 제공 항은 제거되어 결과적으로 다음 식(9)와 같이 직선의 방정식을 얻을 수 있다.

$$(A' - A)x + (B' - B)y + C' - C = 0 \quad (9)$$

이 직선은 공통현이며, 이 방정식은 3차원 공간으로 확장 될 수 있다. [Fig. 2]에서 보여진 바와 같이 하나의 공간에서 이동 노드의 위치를 표시하기 위해서는 적어도 3개의 구가 필요하다. 3개의 구 A, B, C에 대한 식은 다음의 식 (10), (11), (12)와 같다.

$$(x - A_x)^2 + (y - A_y)^2 + (z - A_z)^2 = D_a^2 \quad (10)$$

$$(x - B_x)^2 + (y - B_y)^2 + (z - B_z)^2 = D_b^2 \quad (11)$$

$$(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2 + (z - C_z)^2 = D_c^2 \quad (12)$$

3개의 식 가운데 2개의 식을 결합하여 정리하면 제곱항이 제거되어 3개의 1차 방정식을 얻을 수 있다. 이들 방정식은 2개의 구 쌍인 AB, BC, CA간에 공통현을 나타내고 있으며 다음 식(13), (14), (15)와 같다.

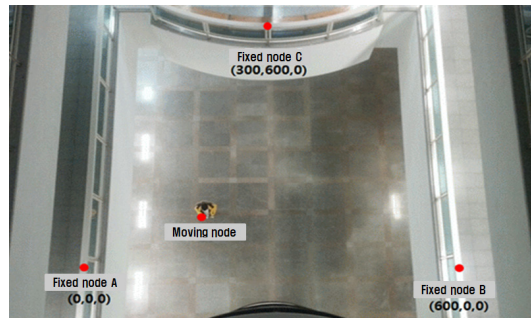
$$2(B_x - A_x)x + 2(B_y - A_y)y + 2(B_z - A_z)z + A_x^2 + A_y^2 + A_z^2 - B_x^2 - B_y^2 - B_z^2 = D_a^2 - D_b^2 \quad (13)$$

$$2(C_x - B_x)x + 2(C_y - B_y)y + 2(C_z - B_z)z + B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 - C_x^2 - C_y^2 - C_z^2 = D_b^2 - D_c^2 \quad (14)$$

$$2(A_x - C_x)x + 2(A_y - C_y)y + 2(A_z - C_z)z + C_x^2 + C_y^2 + C_z^2 - A_x^2 - A_y^2 - A_z^2 = D_c^2 - D_a^2 \quad (15)$$

4. 측정 결과

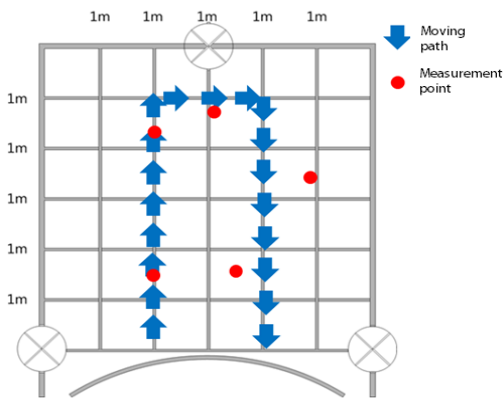
실험 장소의 사진은 [Fig. 3]과 같다. 3-D 추적을 위한 테스트베드는 대학교 캠퍼스의 6층 건물 내의 공간에서 1층과 2층 사이의 공간을 이용하여 6m×6m×6m의 크기로 설정하였다.



[Fig. 3] Picture of experiments site configuration

[Fig. 3]에서 노드 A, B, C는 고정 노드이고 중앙의 노드는 이동 노드이다. 고정 노드는 모두 2층에 배치되어 있고 이동 노드는 1층에 위치하도록 하였다. 이동 노드와 고정된 노드 간의 통신에서는 가시선이 확보된다. 고정된 노드의 (x, y, z) 좌표는 거리를 고려하여 각각 A(0, 0, 0), B(600, 0, 0), C(300, 600, 0)으로 지정하였다. 본 논문에서는 3개의 경로에 대해 이동 노드 위치 추적을 수행하였다. [Fig. 4], [Fig. 5], [Fig. 6]은 각각 이동 노드의 경로 1, 경로2, 경로3을 보여주고 있다. 그림에서 각 변에 위치

한 교차선이 있는 3개의 원은 고정노드의 위치를 의미하고, 화살표는 이동 노드의 움직임의 궤적이고 작은 원은 측정 결과로서 제안된 알고리즘에서 수신 신호 세기를 이용하여 계산된 지점을 나타낸다. 점이 화살표 상에 있거나 가까이 있으면 비교적 정확하게 위치가 추정된 것이고 화살표에서 벗어나 있으면 그만큼 오류가 발생한 것이다. 수평축과 수직축을 각각 X-축과 Y-축으로 하고, 이동 노드의 Z-축 값을 1층 바닥으로부터의 거리가 1m 상에 있도록 하였다. [Fig. 4], [Fig. 5], [Fig. 6]에서 보이는 것은 2차원의 위치 추적만을 나타낼 수 있을 뿐이며, 3차원으로 측정된 결과는 <Table 1>, <Table 2>, <Table 3>과 같다.



[Fig. 4] Experiment of mobile node tracking for path 1

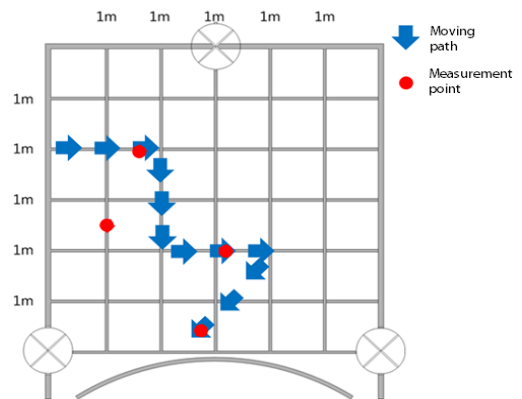
[Fig. 4]에서 경로 1에 대한 측정 결과로부터 알 수 있듯이 Z-축의 거리 오차는 이동 노드가 3개의 고정된 노드의 비교적 중심 영역에 있을 때 감소된다. 이동 노드가 특정한 고정 노드에 접근할 때 거리 오차는 <Table 1>의 1, 2, 3의 경우와 같이 상대적으로 증가된다.

<Table 1> Measured results of distance error for path 1

Case	X	Y	Z	Z_error
1	2.12m	1.25m	0.21m	0.79m
2	2.23m	4.28m	0.21m	0.79m
3	3.03m	4.76m	0.01m	0.99m
4	5.36m	3.14m	1.44m	0.44m
5	3.42m	1.76m	1.07m	0.07m

경로2에 대한 시험 경로는 [Fig. 5]에 나타나 있다. (x, y, z)좌표는 4개의 위치에서 측정되었고 이 점들은 작은 원으로 표시되어 있다. 측정 결과는 <Table 2>와 같다. [Fig. 5]에서 3개의 점은 화살표 궤적과 정확하게 겹치며 한 개의 점은 XY 평면 상에서 X-축에 대해 1m 거리 만큼 떨어져 있다.

이 실험에서의 Z축 거리 오차는 경로1의 실험에 비하여 0.5m이하로 감소되었다. 그러나 <Table 2>의 2번째 경우 거리 오차는 x-축 좌표에 대해서 약 1m 이다. 상대적으로 큰 거리 오차가 발생하는 원인은 테스트 베드 사이트에서의 다중 경로 현상과 건물 내에서 움직이는 물체로 인하여 채널 조건이 변했기 때문인 것으로 사료된다.

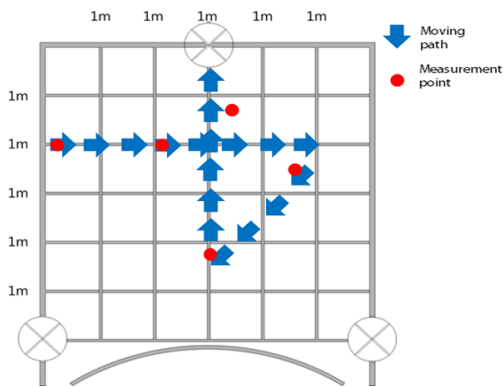


[Fig. 5] Experiment of mobile node tracking for path 2

<Table 2> Measured results of distance error for path 2

Case	X	Y	Z	Z_error
1	1.60m	4.03m	1.17m	0.17m
2	1.07m	2.42m	1.32m	0.32m
3	3.30m	1.93m	1.04m	0.04m
4	2.56m	0.36m	1.32m	0.32m

[Fig. 6]은 경로 3에 대한 실험 과정을 나타내고 있다. 실험결과 측정된 X좌표와 Y좌표는 이동 경로와 매우 비슷함을 알 수 있다.



[Fig. 6] Experiment of mobile node tracking for path 3

테스트 과정을 통하여 <Table 3>의 결과를 얻었다. <Table 3>으로부터 Z좌표의 오차는 경로 1에 대한 실험과 비슷한 정도의 오차를 보이지만 실험이 진행되면서 오차가 작아짐을 볼 수 있다.

<Table 3> Measured results of distance error for path 3

Case	X	Y	Z	Z_error
1	2.12m	1.25m	0.21m	0.79m
2	2.23m	4.28m	0.21m	0.79m
3	3.03m	4.76m	0.01m	0.99m
4	5.36m	3.14m	1.44m	0.44m
5	3.42m	1.76m	1.07m	0.07m

5. 결론

본 논문에서는 노드의 3차원 공간 위치를 결정하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하고, 성능을 평가하기 위하여 위치추적 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 Nanotron사 칩을 채용하였으며, 이 칩에서의 신호는 칩 변조방식을 사용한다. 주파수 변조 연속파 (frequency modulated continuous wave; FMCW)로 알려진 칩 신호는 코릴레이션 특성이 우수하여 위치를 보다 정확하게 추정할 수 있다. 본 논문에서 수행된 실험을 통하여, Z-축의 거리 오차는 이동 노드가 3대의 고정된 노드로부터 거의 동일 거리에 있는 중심 지역에 있을 때 작아진다는 사실을 알 수 있었다. 만일 이동 노드가 한 쪽으로 치우쳐, 한 고정 노드에 상대적으로 가깝게 접근한다면 거리 오차가 증가한다. 거리 오차는 각 경로에서 1m 이내로서 상용으로 적용될 가능성을 보였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Soonchunhyang University research fund of 2014.

REFERENCES

- [1] Rong-Hong Jan and Yung Rong Lee, "An Indoor Geolocation System for Wireless LANs," Intl. Conf. on Proceedings of Parallel Processing Workshops, 2003, pp. 29-34.
- [2] Wallbaum. M and Spaniol. O, "Indoor Positioning Using Wireless Local Area Networks," JVA '06, IEEE John Vincent Atanasoff 2006 International Symposium on Modern Computing, 2006, pp. 17-26.
- [3] Zhuo Sun, Yiqiang Chen, Juan Qi and Junfa Liu, "Adaptive Localization Through Transfer Learning in Indoor Wi-Fi Environment," Proc. of IEEE 7th Intl. Conf. on ICMLA, 2008, pp. 331-336.
- [4] Gansemmer. S, Hakobyan. S, Puschel. S and Grossmann. U, "3D WLAN Indoor Positioning in Multi-Storey Buildings," Proc. of IEEE Intl. Workshop on IDAACS, 2009, pp. 669-672.
- [5] Bal. M, Xue. H, Weiming Shen and Ghenniwa. H, "A 3-D Indoor Location Tracking and Visualization System Based on Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE Intl. Conf. on SMC, 2010, pp. 1584-1590.
- [6] Hassan. N.S.A, Hossain. S. and Wahab. N.H.A., Ariffin. S.H.S., Faisal. N., Latiff. L.A., Abbas. M. and Choong Khong Neng, "An Indoor 3D Location Tracking System using RSSI," Proc. IEEE 6th Intl. Conf. on SITIS, 2010, pp. 323-328.
- [7] S. H. Yang, H. S. Kim, Y. H. Son and S. K. Han, "Three-Dimensional Visible Light Indoor Localization Using AOA and RSS with Multiple Optical Receivers," IEEE Journal of Light Wave Technology, Vol. 32, No. 14, 2014, pp. 2480-2485.
- [8] ISO/IEC FDIS 24730-2, Information Technology - Real Time Locating Systems(RTLS) - Part 2: 2.4GHz Air Interface Protocol, 2006.

- [9] G. Regula, I. Gozse and A. Soumelidis, "Position Estimation Using Novel Calibrated Indoor Positioning System," Proc. Of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2012, pp. 1142-1147.
- [10] T. Ye, B. Denby, I. Ahriz, P. Roussel, R. Dubois and G. Dreyfus, "Practical Indoor Localization Using Ambient RF," Proc. Of IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2013, pp. 1125-1129.
- [11] R. H. Lee, J. C. Wu, S. H. Chang, S. F. Chang, C. C. Chang and Y. M. Chen, "Radar Design for Wireless Indoor Positioning Applications," Proc. Of IEEE European Microwave Conference, 2013, pp. 846-849.
- [12] Y. T. Kim, Y. S. Jeong and G. C. Park, "Energy-efficient Routing Protocol based on Localization Identification and RSSI Value in Sensor Network," Journal of Digital Convergence, vol. 12, no. 1, pp. 339-345, Jan. 2014.
- [13] H. D. Park, "Sensor Node Control Considering Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks," Journal of Digital Convergence, vol. 12, no. 2, pp. 271-276, Feb. 2014.
- [14] K. Gorski, M. Groth and L. Kulas, "A Multi-building WiFi-based Indoor Positioning System," Proc. of IEEE 20th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communication, pp. 1-4, 2014.

강 병 권(Kang, Byeong Gwon)



- 1986년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
- 1993년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 1997년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신기술연구단 선임연구원

- 2005년 8월 ~ 2006년 7월 : 미국 조지아공대 방문 교수
- 1997년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수

- 관심분야 : ITS, RTLS, RFID, 홈네트워킹
- E-Mail: bgkang@sch.ac.kr

최 성 자(Choi, Sung Ja)



- 1991년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1997년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 한남대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 1996년 1월 ~ 2000년 9월: 하이퍼정보통신 선임연구원

- 2006년 9월 ~ 현재 : 시간강사
- 관심분야 : 시스템 아키텍처, OPENCL, BCI
- E-Mail : irecomm@naver.com

김 귀 정(Kim, Gui Jung)



- 1994년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 한남대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 경희대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
- 2001년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 의공학부 교수

- 관심분야 : 의료정보시스템, 3D e-learning
- E-Mail : gjkim@konyang.ac.kr

박 용 서(Park, Yong Seo)



- 1982년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 전기공학과(공학박사)
- 1993년 1월 ~ 12월 : 미국 남 플로리다 대학교 객원교수

- 1989년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전기공학과 교수
- 관심분야 : ITS, 무선 및 이동통신, CDMA
- E-Mail : yspark@gachon.ac.kr