

위치추정 전자지문기법을 위한 전파전달 모델 및 공간상관기법 기반의 효율적인 데이터베이스 생성

Radio Propagation Model and Spatial Correlation Method-based Efficient Database Construction for Positioning Fingerprints

조성윤*, 박준구
 (Seong Yun Cho^{1,*} and Joon Goo Park²)

¹Department of Applied Robotics, Kyungil University

²School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

Abstract: This paper presents a fingerprint database construction method for WLAN RSSI (Received Signal Strength Indicator)-based indoor positioning. When RSSI is used for indoor positioning, the fingerprint method can achieve more accurate positioning than trilateration and centroid methods. However, a FD (Fingerprint Database) must be constructed before positioning. This step is a very laborious process. To reduce the drawbacks of the fingerprint method, a radio propagation model-based FD construction method is presented. In this method, an FD can be constructed by a simulator. Experimental results show that the constructed FD-based positioning has a 3.17m (CEP) error. In this paper, a spatial correlation method is presented to estimate the NLOS(Non-Line of Sight) error included in the FD constructed by a simulator. As a result, the NLOS error of the FD is reduced and the performance of the error compensated FD-based positioning is improved. The experimental results show that the enhanced FD-based positioning has a 2.58m (CEP) error that is a reasonable performance for indoor LBS (Location Based Service).

Keywords: indoor positioning, fingerprint database, radio propagation model, spatial correlation

I. 서론

다양한 위치기반서비스(LBS: Location Based Service)의 출현 및 요구사항 증가로 인해 이를 위한 여러 기반기술들이 연구 및 개발되어오고 있다[1,2]. 기반기술에는 위치추정기술, 통신기술, 단말기술, 솔루션기술, 플랫폼기술, 등이 있으며 이 중에서 단말기술은 스마트폰 사용이 일반화되면서부터 개발분야에서 제외되고 있다. 본 논문은 LBS의 기반기술 중 위치추정기술에 해당하며 특히 실내분야의 LBS를 위한 WLAN 기반의 위치추정기술을 다룬다.

무선통신 인프라 기반의 위치추정기술에는 신호의 무선공간의 전송시간 기반의 거리정보를 활용하는 방법(삼변측량법: trilateration method) [3-6]과 무선신호의 송수신 각도정보를 이용하는 방법(삼각측량법: triangulation method) [7], 그리고 수신된 신호의 세기정보(RSSI: Received Signal Strength Indicator)를 이용하는 방법 [8]이 있다. 최근 실내공간에서의 LBS를 위한 인프라로 WLAN을 많이 사용하고 있으며 WLAN 기반의 위치추정기술에는 주로 RSSI를 이용하는 방법이 사용된다[8]. RSSI를 사용하여 계산된 AP (Access Point)와 단말기 사이의 거리정보 기반으로 삼변측량법을 사용하는 방법 또는 간단한 무게중심법(Centroid method)을 통해 단말의 위치를 추정할 수 있으나 이를 이용한 위치추정기술의 정확도는 비교적 낮은 수준이다. RSSI를 이용하는 또 다른 위치추정기술에는

전자지문기법(fingerprint method)이 있다. 이 방법은 앞의 방법에 비해 정확도는 높으나 사전에 전자지문 데이터베이스(FD: Fingerprint Database)를 구축해야 하는 번거로움을 갖고 있다. 또한 한번 구축된 FD는 실내 구조의 변경 또는 AP의 위치 변경 등이 발생할 때마다 새롭게 구축해야 하며 이를 위해 시간과 인력소모가 많은 단점으로 인해 실 구현 및 상용화에 어려움을 갖고 있다. 이 단점을 해결하기 위해 다양한 방법들이 연구되어 오고 있으며[10,11] 본 논문에서는 시뮬레이터 기반으로 기존의 방법들보다 더 간단히 FD를 구축하는 방법을 제시한다. 또한 정확도 향상을 위한 오차보상 기법을 함께 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II 장 1절에서 기존에 사용되던 일반적인 FD 구축 기법에 대해 설명하고 2절에서는 본 논문에서 제시하고자 하는 전파전달(radio propagation) 모델 기반의 FD 구축 기법에 대해 설명한다. 그리고 III 장에서는 II 장 2절에서 제시한 방법에 의해 구축된 FD의 오차를 보상하기 위한 공간상관기법 중 하나인 그리그격자법(kriging)을 소개하고 이를 기반으로 오차를 추정하는 식을 정리한다. IV 장에서는 시뮬레이션 및 실 시험 결과를 통해 제시된 기술의 성능을 검증하고 마지막 장에서는 결론을 맺는다.

II. 실내 위치추정을 위한 전자지문 데이터베이스 구축 기법

WLAN AP에서 송출된 신호를 단말기에서 수신하여 획득한 RSSI 정보를 사용하여 실내 위치추정을 하는 경우 현재 가장 정확한 방법론으로 알려져 있는 전자지문기법이 사용된다. 전자지문기법을 사용하기 위해서는 먼저 FD를 사전에 구축해야 한다. 이 장에서는 기존에 일반적으로 사용되던

* Corresponding Author

Manuscript received February 4, 2014 / revised April 17, 2014 / accepted April 25, 2014

조성윤: 경일대학교 로봇융합학과(sycho@kiu.kr)

박준구: 경북대학교 전자공학부(jgpark@ee.knu.ac.kr)

FD 구축기법을 설명하고 본 논문에서 새롭게 제시하고자 하는 전파전달 모델 기반으로 FD를 구축하는 기법을 설명한다.

1. 일반적인 전자지문 데이터베이스 구축 방법

FD 구축에 두 가지 방법이 주로 사용되었다. 하나는 직접 획득기법(direct acquisition)이며 다른 하나는 직접 획득과 공간 보간법(spatial interpolation)을 같이 사용하는 방법이다[10]. 그림 1에 개념을 나타내었다.

직접 획득기법에서는 그림 1(a)에서 도시한 것과 같이 응용 공간 내에서 일정한 간격으로 격자점(grid point)을 설정하고 WLAN 모델과 RSSI 획득 소프트웨어를 탑재한 단말기를 각 격자점상에 위치한 다음 해당 위치에서 수신할 수 있는 모든 AP 송출신호의 RSSI를 획득한다. 각 격자점 상에서 획득된 RSSI 정보를 해당 위치 좌표와 함께 저장함으로써 FD를 구축한다. 격자점 사이의 간격이 좁을수록 위치추정 정확도는 증가하는 것이 일반적으로 알려진 사실이다. 그러나 시간과

인력소모가 증가하는 단점이 있다.

이 문제를 극복하기 위해 그림 1(b)에서 도시한 것과 같이 격자점 사이의 간격을 넓게 설정하고 해당 격자점에서 RSSI 정보를 직접 획득한 다음 격자점 사이의 공간에서 획득하게 되는 RSSI 정보를 공간 보간법을 사용하여 추정하는 방법이 사용되고 있다. 이런 방법이 가능한 이유는 직접 획득기법으로 획득된 RSSI 정보는 해당 격자점 주위의 공간상의 RSSI 정보를 내포하고 있기 때문이다. 그러나 이 방법 또한 실내 공간에 대한 구조정보 없이 실측한 데이터만을 사용하기 때문에 추정된 RSSI 정보의 정확도는 복잡한 실내공간에서는 떨어지게 되며 따라서 격자점의 간격을 넓게 설정하는데 어려움이 존재한다.

2. 전파전달 모델 기반의 전자지문 데이터베이스 구축방법

WLAN AP에서 송출된 신호의 세기는 공간을 전파하면서 점차 감소하는 특성을 가지며 다음과 같이 모델링 할 수 있다[12].

$$S(r) = S(r_0) - 10\alpha \log_{10} \frac{r}{r_0} + v(r), \quad v(r) \sim N(0, V) \quad (1)$$

여기서 $S(r)$ 는 거리 r [m]에서 수신되는 RSSI [dBm]이며, r_0 는 기준거리를 나타낸 것이다. 그리고 α 는 공간상의 감쇠율(attenuation factor)을 나타낸 것이다.

실내 공간상에는 벽, 기둥, 가구 등과 같은 전파가 전달되는데 방해하는 구조물들이 다수 존재한다. 이런 환경에서는 변칙적인 전파전달 특성을 야기한다. 따라서 기존의 공간 보간법으로 격자점 사이의 공간상의 RSSI 정보 추정이 쉽지 않다. 본 장에서는 전파전달 모델 기반으로 FD를 구축하는 방법을 제시한다. 비교적 정확한 RSSI 정보 생성을 위한 방법으로 광선 추적법(ray tracing)이 있다. 광선 추적법에서는 전파가 구조물과 만났을 때 투과(penetration), 반사(reflection), 회절(diffraction), 산란(scattering)이 발생하는 것을 구현한 것이다. 그러나 이를 위해서는 정확한 3D 지도가 필요하며 많은 계산 시간을 요구한다. 또한 구조물의 재질에 대한 정확한 수치특성 정보를 필요로 한다. 본 논문에서는 실내 환경을 위한 전파전달 모델을 다음과 같이 간략화하여 나타내었다.

$$\begin{aligned} \tilde{S}(r) &= S(r_0) - 10\alpha \log_{10} \frac{r}{r_0} - \sum_{i=1}^n \zeta_i + \delta S(r) + v(r) \\ &\equiv \bar{S}(r) + \delta S(r) + v(r) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ζ 와 n 는 구조물의 투과 계수와 AP에서 송출된 신호가 RSS 계산 위치까지 LOS (Line of Sight)로 전달되는 동안 만나는 구조물의 수를 각각 나타낸 것이다. 즉 본 논문에서 사용하는 전파전달 모델에서는 2D 상에서 신호의 구조물 투과만을 고려하여 간략하게 나타냄으로써 계산 시간을 단축하였으며 이로 인해 발생하는 오차를 δS 로 나타내었다.

이 식을 사용하기 위해 먼저 $S(r_0)$ 와 α 를 추정해야 하며 $n=0$ 인 LOS 환경에서 실 시험을 통해 계산한다. 즉, 본 과정에서는 구조물 투과로 인한 전파 감쇠와 다중경로로 인해 발생하는 오차항을 무시한다. 우선 r_0 는 1.0 [m]로 설정한다. AP로부터 일정 거리를 두고 단말기를 설치한 다음 RSS를 측정하여 평균값을 구한다. 그리고 측정 값을 사용하여 다음과

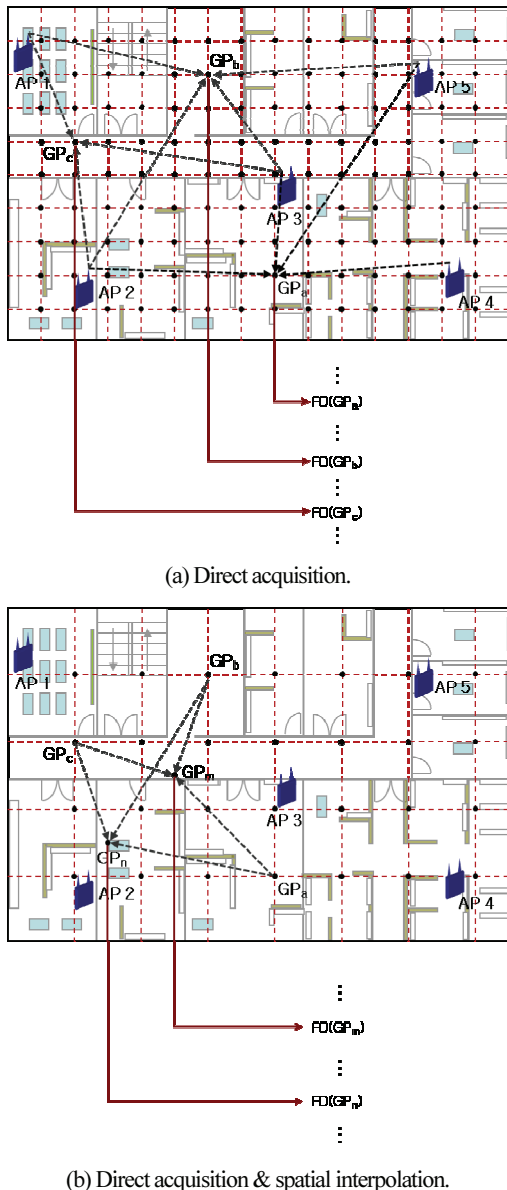


그림 1. 기존의 전자지문 데이터베이스 생성 방법론.

Fig. 1. Conventional fingerprint database generation methodology.

같이 파라미터를 추정한다[8].

$$\hat{X} = (M^T M)^{-1} M^T Y \quad (3)$$

여기서

$$X = \begin{bmatrix} S(r_0) \\ \alpha \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -10 \log_{10}(r_1/r_0) \\ 1 & -10 \log_{10}(r_2/r_0) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -10 \log_{10}(r_m/r_0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$Y = \begin{bmatrix} RSSI_m(r_1) \\ RSSI_m(r_2) \\ \vdots \\ RSSI_m(r_m) \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서 m 은 측정된 RSSI의 수이며 $RSSI_m(r_i)$ 는 거리 r_i 에서 측정된 RSSI의 평균값이다.

III. 공간상관기법 기반의 전자지문 데이터베이스 오차 보상

전파전달 모델을 사용하여 구축한 FD는 전파전달 모델에서 $\delta S(r)$ 을 제외하고 RSSI를 계산하였기 때문에 오차를 포함하게 된다. $\delta S(r)$ 은 전파가 구조물과 만났을 때 발생하는 반사, 회절, 산란에 의한 다중경로(NLOS: Non Line of Sight) 오차이다. 실내 공간 상에서 다중경로오차는 해당 위치의 구조물에 의해 특징적으로 나타나는 신호 현상으로 전자지문기법에 의한 위치추정에서는 정확도에 중요한 영향을 미친다. 따라서 다중경로에 의한 영향은 FD에 반드시 포함시켜야 한다. 다중경로 신호에 의한 영향을 추정하기 위해 (2)를 다음과 같이 나타낸다.

$$\tilde{S}^i(P_k) = \bar{S}^i(P_k) + \delta S^i(P_k) + v^i(P_k) \quad (7)$$

여기서 $\tilde{S}^i(P_k)$ 는 AP $i[x^i \ y^i]^T$ 로 부터 거리 r^i 에 있는 위치 $P_k = [x_k \ y_k]^T$ 에서의 RSSI를 나타낸 것이다. $\bar{S}^i(P_k)$ 는 전파전달 모델을 기반으로 계산된 RSSI를 나타낸 것이며, $\delta S^i(P_k)$ 는 다중경로 신호에 의한 영향을 나타낸 것이다. 그리고 $v^i(P_k)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸 것이다.

본 장에서 공간상관기법 중 하나인 그리그격자법[10,13,14]을 사용하여 다음과 같은 특성을 갖는 $\delta S^i(P_k)$ 를 추정한다.

$$E[\delta S^i(P_k)] = Z^i(P_k) \quad (8)$$

여기서 $Z^i(P_k)$ 는 다음과 같은 경향(trend)을 갖는 것으로 가정한다.

$$Z^i(P_k) = \begin{bmatrix} f_0^i(P_k) & f_1^i(P_k) & f_2^i(P_k) & f_3^i(P_k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_0^i \\ \chi_1^i \\ \chi_2^i \\ \chi_3^i \end{bmatrix} + \delta^i(P_k) \quad (9)$$

$$:= h^i(P_k)X^i + \delta^i(P_k)$$

여기서

$$E[\delta^i(P_k)] = 0 \quad (10a)$$

$$f_0^i(P_k) := 1 \quad (10b)$$

$$f_1^i(P_k) := x \quad (10c)$$

$$f_2^i(P_k) := y \quad (10d)$$

$$f_3^i(P_k) := r^i \quad (10e)$$

(9)는 다수의 기준위치(RP: Reference Position)상의 측정치를 사용하여 다음과 같이 행렬 형태로 나타낼 수 있다.

$$Z^i = H^i X^i + D^i \quad (11)$$

여기서

$$Z^i := \begin{bmatrix} Z^i(P_1) \\ Z^i(P_2) \\ \vdots \\ Z^i(P_n) \end{bmatrix} \quad (12a)$$

$$H^i := \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & r_1^i \\ 1 & x_2 & y_2 & r_2^i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & r_n^i \end{bmatrix} \quad (12b)$$

$$X^i := \begin{bmatrix} \chi_0^i \\ \chi_1^i \\ \chi_2^i \\ \chi_3^i \end{bmatrix} \quad (12c)$$

$$D^i := \begin{bmatrix} \delta^i(P_1) \\ \delta^i(P_2) \\ \vdots \\ \delta^i(P_n) \end{bmatrix} \quad (12d)$$

여기서 $Z^i(P_k) = \tilde{S}^i(P_k) - \bar{S}^i(P_k)$ 는 측정된 RSSI와 계산된 RSSI의 차를 의미하며 n 은 기준위치의 수를 의미한다.

고정된 실내 환경에서 다중경로 신호에 의한 오차의 기대치의 경향은 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{X}^i = ((H^i)^T (W^i)^{-1} H^i)^{-1} (H^i)^T (W^i)^{-1} Z^i \quad (13)$$

여기서 가중치 W^i 는 다음과 같은 반분산도(semivariogram)으로 설정할 수 있다[10].

$$W^i = \begin{bmatrix} \gamma^i(P_1, P_1) & \gamma^i(P_1, P_2) & \cdots & \gamma^i(P_1, P_n) \\ \gamma^i(P_2, P_1) & \gamma^i(P_2, P_2) & \cdots & \gamma^i(P_2, P_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma^i(P_n, P_1) & \gamma^i(P_n, P_2) & \cdots & \gamma^i(P_n, P_n) \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서 $\gamma^i(P_a, P_b)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\gamma^i(P_a, P_b) := \frac{1}{2} \text{Var}[\delta^i(P_a) - \delta^i(P_b)] \quad (15)$$

최종적으로 추정된 다중경로 신호 오차를 포함하는 RSSI는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{S}^i(P_k) = \bar{S}^i(P_k) + T^i(P_k) + R^i(P_k) \quad (16)$$

여기서 $T^i(P_k)$ 는 추세요인(trend component)이며 $R^i(P_k)$ 는 잔류요인(residual component)을 의미하며 다음과 같이 계산된다.

$$T^i(P_k) := h^i(P_k) \hat{X}^i \quad (17)$$

$$R^i(P_k) := (w_k^i)^T (W^i)^{-1} (Z^i - H^i \hat{X}^i) \quad (18)$$

여기서

$$w_k^i = [\gamma^i(P_k, P_1) \quad \gamma^i(P_k, P_2) \quad \cdots \quad \gamma^i(P_k, P_n)]^T \quad (19)$$

IV. 시뮬레이션 및 시험 결과

제안된 전파전달 모델 기반의 전자지문 데이터베이스 구축 및 공간상관기법 기반의 오차 보상 방법의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실 시험을 수행하였다.

1. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 다중경로에 의한 RSSI 오차를 다음과 같이 설정하였다. 이 오차는 실 환경을 반영하기 보다 공간상관기법 기반으로 오차를 추정하는 성능을 분석하기 위해 간략하게 모델링 하였다.

$$\delta S(r) = 3.0 + 2.0/3.0 * randn + r/5.0 + r/50.0 * randn \quad (20)$$

여기서 $randn$ 은 정상분포 $N(0, (1)^2)$ 의 랜덤 수를 의미하며, RSSI 오차의 단위는 [dBm] 이다.

50 [m] × 40 [m]의 실내 공간에 4개의 AP가 다음의 위치에 설치되는 것으로 가정하였다.

- AP 1: (14.4 [m], 8.8 [m])
- AP 2: (11.2 [m], 28.0 [m])
- AP 3: (38.7 [m], 26.4 [m])
- AP 4: (41.2 [m], 11.4 [m])

격자점 사이의 간격은 0.5m로 설정하면 격자점의 수가 총 8,181개가 된다. 이 중에서 실측 데이터를 획득하는 기준위치의 수는 12개로 다음과 같이 설정하였다.

- RP 1: (5.0 [m], 2.0 [m])
- RP 2: (5.0 [m], 18.0 [m])
- RP 3: (5.0 [m], 32.0 [m])
- RP 4: (18.0 [m], 2.0 [m])
- RP 5: (18.0 [m], 18.0 [m])
- RP 6: (18.0 [m], 32.0 [m])
- RP 7: (31.0 [m], 2.0 [m])
- RP 8: (31.0 [m], 18.0 [m])
- RP 9: (31.0 [m], 32.0 [m])
- RP 10: (44.0 [m], 2.0 [m])
- RP 11: (44.0 [m], 18.0 [m])
- RP 12: (44.0 [m], 32.0 [m])

이 시뮬레이션 조건에 의한 실내 공간에서 각 AP에서 송출된 신호를 각 격자점 상에서 수신하는 경우의 신호세기 정보를 그림 2에서 등고선 형태로 나타내었다. 각 그림에서 신호 세기가 가장 크게 나타나 있는 곳이 AP가 설치된 위치이며

12개의 원으로 표시된 곳이 기준위치이다.

(20)에서 설정된 오차는 그림 3(a)와 같이 나타난다. AP에서 멀어질수록 많은 NLOS 신호가 발생하며 이로 인해 오차가 주로 커지는 경향이 있다. III 장에서 제안된 공간상관기법 기반으로 추정된 오차는 그림 3(b)와 같으며 설정된 오차인 그림 3(a)와 유사하게 추정됨을 알 수 있다. 그림 3(c)는 추정오차를 나타낸 것이며 추정 값을 이용한 보상 전후의 오차를 표 1에 정리하였다. 이 결과를 통해 전파전달 모델기반으로 구축된 FD에서 신호의 다중경로로 인한 오차를 본 논문에서 제시한 기법으로 잘 추정됨을 확인할 수 있다. 오차보상 전후의 FD 오차 요약을 표 1에 나타내었다.

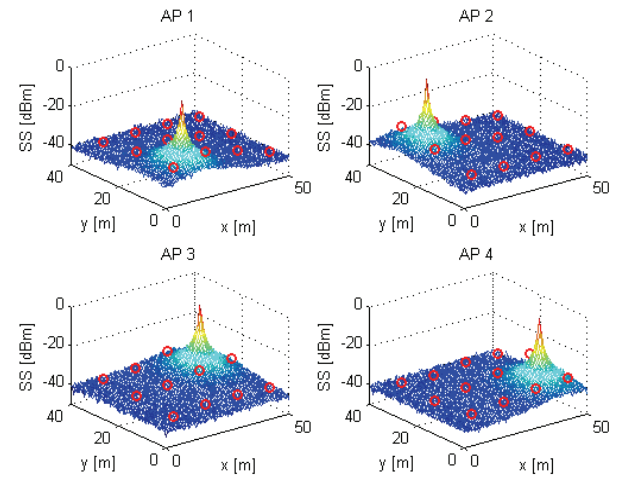


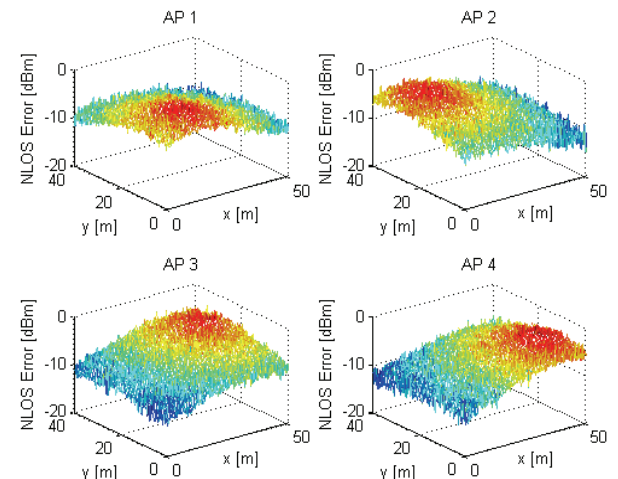
그림 2. 신호 세기 지도.

Fig. 2. Signal strength map.

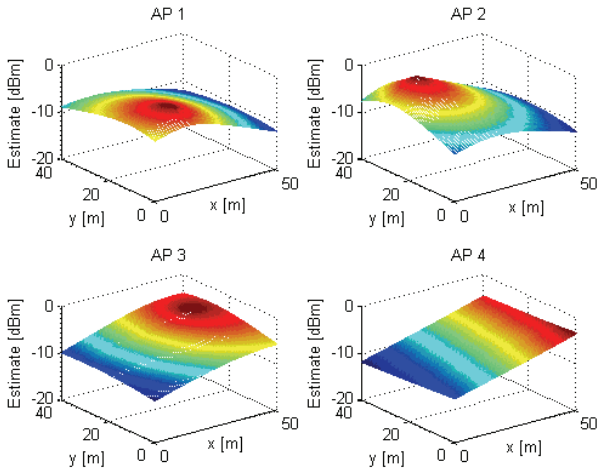
표 1. NLOS 오차 보상 전후의 FD 오차 ([dBm]).

Table 1. FD error before/after NLOS error compensation.

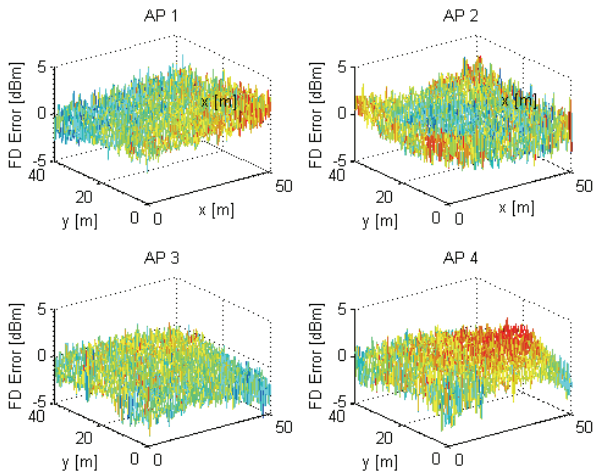
	NLOS 오차 보상 전		NLOS 오차 보상 후	
	평균	표준편차	평균	표준편차
AP 1	-4.74	0.99	-0.51	0.98
AP 2	-6.92	1.32	-0.09	0.77
AP 3	-9.39	1.67	-0.44	0.93
AP 4	-8.91	1.69	-0.34	0.91



(a) NLOS error.



(b) NLOS error estimate.



(c) Estimation error.

그림 3. NLOS 오차와 추정치.

Fig. 3. NLOS error and estimate.

2. 시험 결과

그림 4는 실내 위치추정을 위한 테스트베드 공간의 CAD 정보를 사용하여 구축한 가상의 실내공간을 나타낸 것으로 1.0m 간격으로 격자점을 설정한 것이다. Visual C++을 사용하여 개발하였으며 CAD 정보의 node-link 데이터만을 사용하여 실내공간을 구축하고 각 구조물의 투과 계수 등을 설정할 수 있도록 하였다. 실 환경에서 9개의 AP를 설치하였으며 그림 4에서 그 위치 및 관리 번호를 확인할 수 있다.

그림 5는 1.0m 간격으로 설정된 격자점상에서 계산된 AP 5로부터 전송된 신호의 수신 신호세기 정보를 나타낸 것으로 전파전달 모델 기반으로 계산된 것이다. 이 데이터는 실 환경에서 신호의 다중경로 및 투과와 반사에 의한 감쇠 등의 영향을 정확하게 반영하지 못하므로 발생하는 오차를 포함하고 있다. 이 오차를 실 환경의 기준위치에서 수신된 정보를 활용하여 추정한다. 그림 6은 총 29개의 기준위치를 나타낸 것으로 가로 6.0m 간격, 그리고 세로 3.0m 간격으로 설정하였다.

29개의 기준 위치에서 실측한 RSSI 정보를 활용하여 다중 경로 등에 의한 오차를 III장에서 제시한 공간상관기법 기반으로 추정하였다. 그 결과 오차를 보정한 신호 세기 지도를 그림 7에 나타내었다. 그림 7을 그림 5와 비교해 보면 벽과

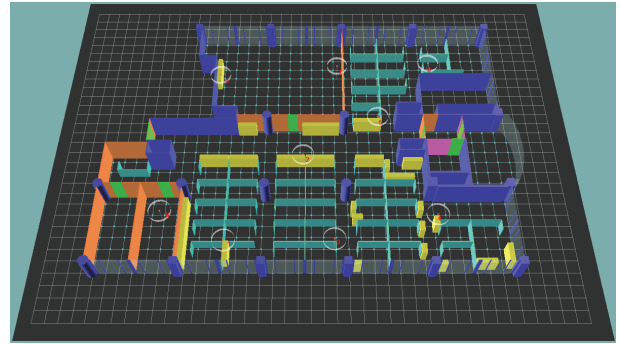


그림 4. 가상의 실내공간 및 격자점 설정.

Fig. 4. Virtual indoor environment and grid points setting.

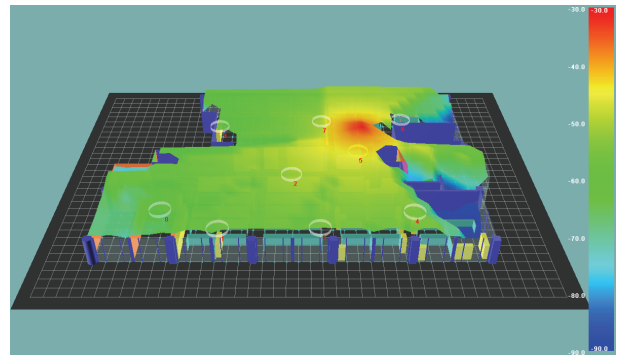


그림 5. 전파전달 모델 기반으로 계산된 신호 세기 지도 (AP 5).

Fig. 5. Calculated signal strength map based on the radio propagation model (AP 5).

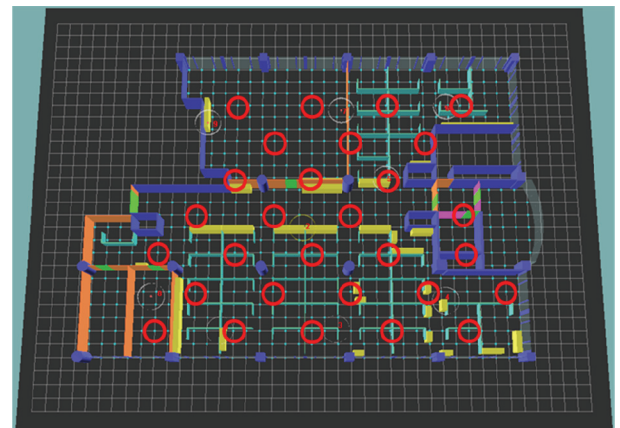


그림 6. 기준 위치.

Fig. 6. Reference points.

같은 구조물을 통과하면서 전파 감쇠 현상이 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 전파전달 모델만으로는 벽과 같은 구조물에 의한 신호 감쇠를 정확하게 계산하기 어렵기 때문이다.

AP별로 추정된 오차 지도를 그림 8에 나타내었다. 그림 4의 지도와 비교해 보면 AP에서 거리가 멀어지고 벽 투과가 많아질수록 오차가 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 전파전달 모델에서 다중경로 신호에 의한 영향을 고려하지 않음으로써 발생하는 오차를 그대로 대변하는 결과이며 이 오차를 공간상관기법 기반으로 추정한 결과를 나타낸 것이다.

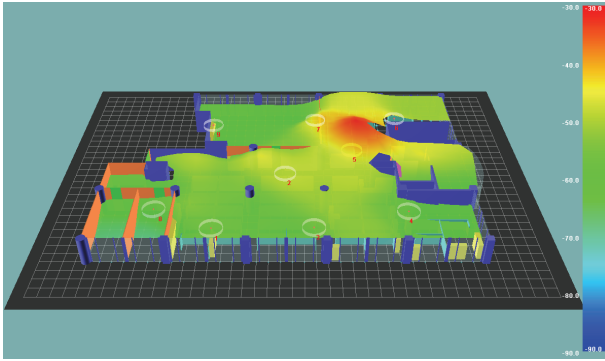
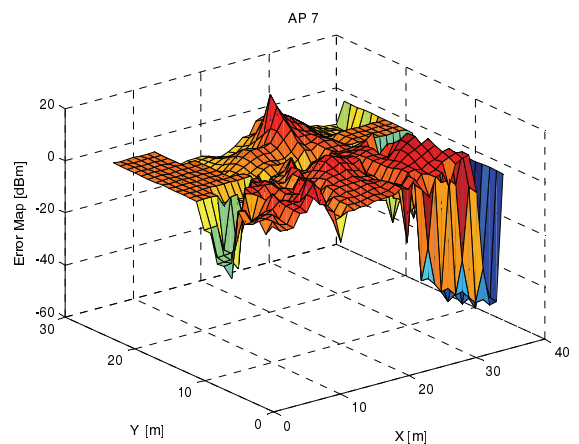
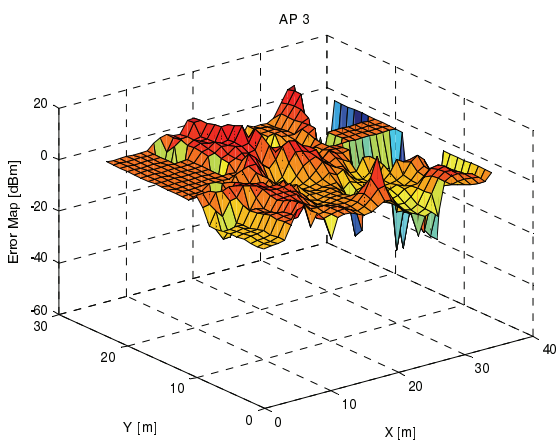
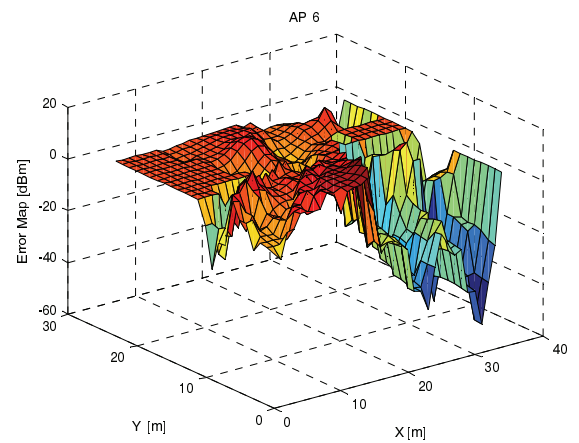
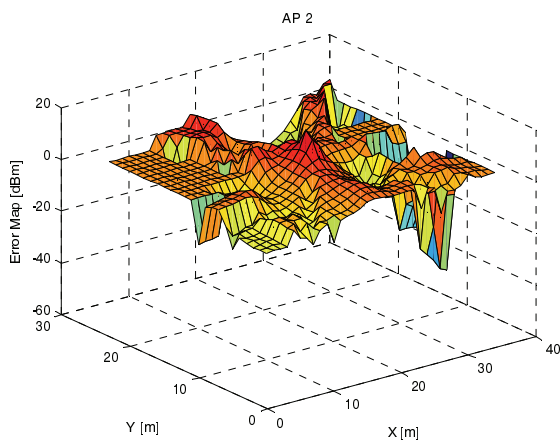
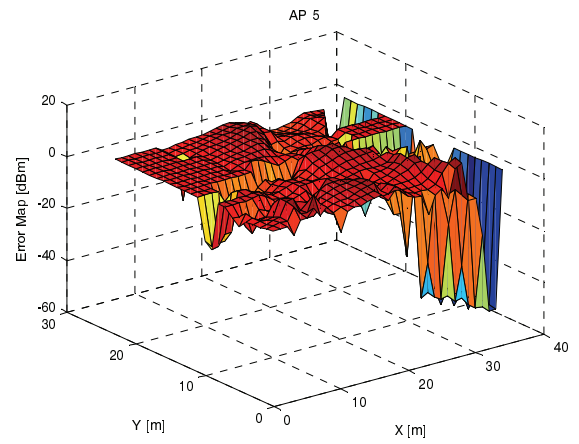
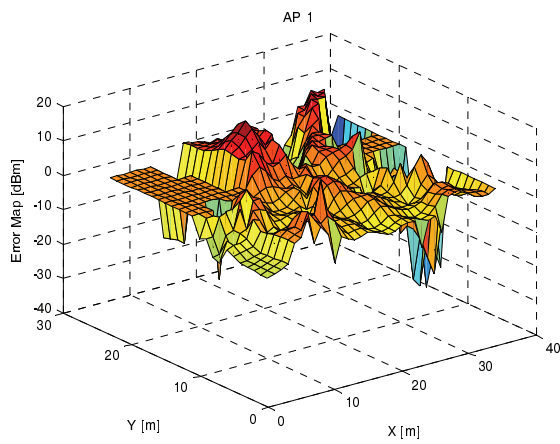
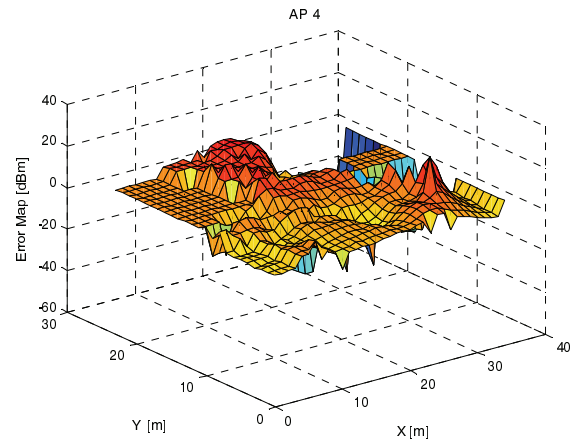


그림 7. 오차보상 후 신호 세기 지도 (AP 5).

Fig. 7. Signal strength map after error compensation (AP 5).



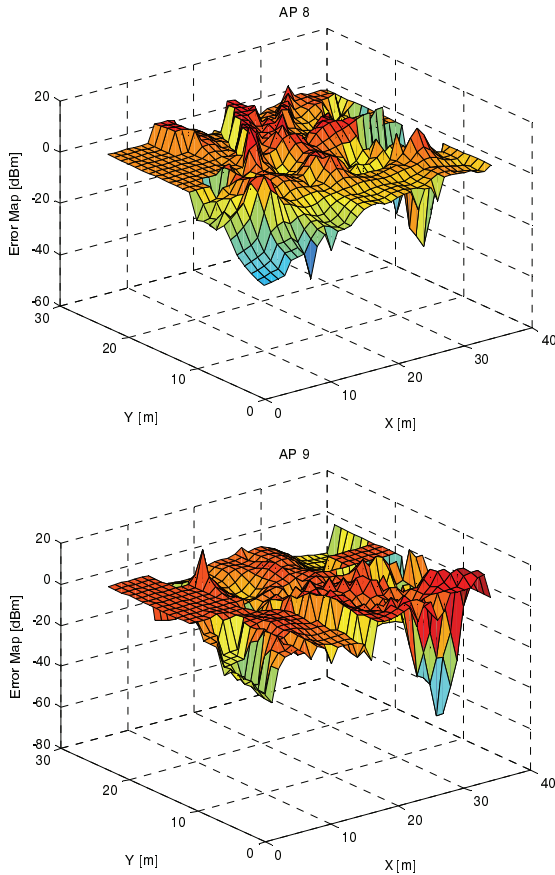


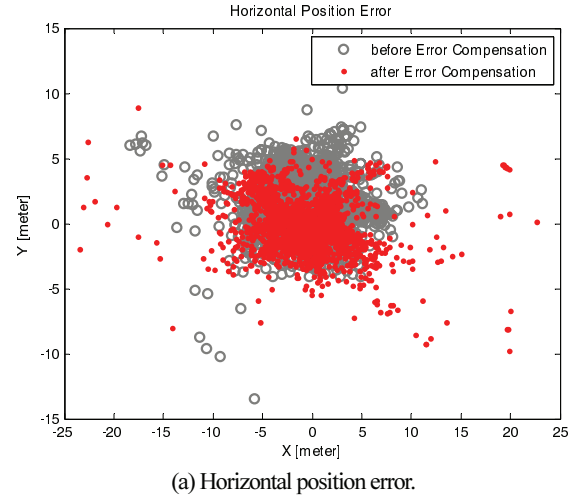
그림 8. 추정된 오차 지도.

Fig. 8. Estimated error map.

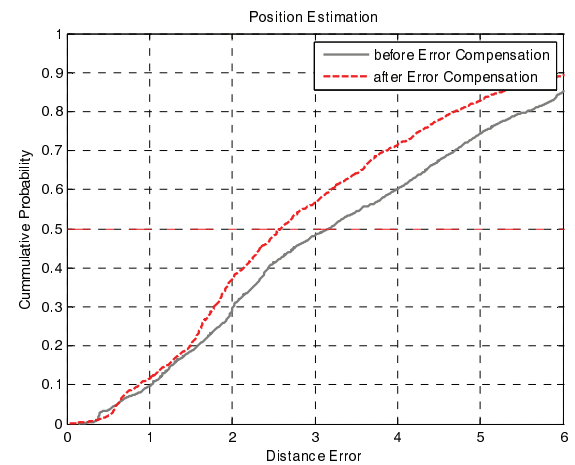
오차추정 기법에 의해 향상된 FD를 사용한 위치추정의 성능이 향상되는 것을 확인하기 위해 실내공간상의 임의의 10 지점에서 위치추정 시험을 수행하였으며 그 결과를 그림 9에 나타내었다. 전파전달 모델 기반으로 구축된 FD와 공간상관기법 기반으로 추정된 오차를 보상하여 생성된 FD를 사용하여 위치추정 결과를 나타낸 것이다. 이 결과를 통해 오차 보상 전의 FD를 사용하는 경우 y축으로 바이어스가 존재하는 것을 볼 수 있으며 오차 보상 후의 FD를 사용하는 경우 이 바이어스가 보상되는 것을 볼 수 있다. 그림 9(b)에서 나타낸 누적 정규분포(cumulative error distribution)를 통해 오차 보상 전 후의 오차가 각각 3.17m (CEP)와 2.58m (CEP)가 되는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 공간상관기법 기반으로 추정된 오차 지도를 사용하여 보상된 FD 기반으로 추정된 위치의 정확도가 보상 전보다 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한 전파전달 모델 기반으로 구축된 FD 만으로도 비교적 정확한 위치 해를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 즉 실측 데이터를 사용하지 않고도 지도정보만으로 FD를 구축하여 위치추정에 사용할 수 있으며 소수의 실측 데이터를 사용하여 오차를 보정함으로써 정확도가 향상된 위치 해를 제공할 수 있음을 결론 내릴 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 WLAN RSSI 기반의 실내 위치추정에서 전자지문 기법을 사용하는 경우에 구축해야 하는 전자지문



(a) Horizontal position error.



(b) Cumulative error distribution.

그림 9. 오차보상 전후의 위치추정 결과.

Fig. 9. Positioning results before/after error compensation.

데이터베이스를 전파전달 모델 기반으로 시뮬레이션 만으로 구축하는 방법과 이때 발생하는 오차를 공간상관기법으로 추정 및 보상하는 방법을 제시하였다. 설정된 격자점 상에서 실측된 RSSI를 사용하여 데이터베이스를 구축하는 방법 및 실측 데이터와 공간 보간법으로 격자점 사이의 RSSI를 추정하여 데이터베이스를 구축하는 방법 등이 사용되는 기존의 방법대신 실내공간 지도정보를 사용하여 전파전달 모델 기반으로 데이터베이스를 구축하는 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터에서는 복잡한 광선 추적법 대신 간단한 전파전달 모델을 사용하여 간격이 좁은 격자점 상의 RSSI 정보를 추정할 수 있다. 그러나 추정된 RSSI 정보는 오차를 포함하고 있다. 본 논문에서는 공간상관기법 중 그리그격자법을 사용하여 이 오차를 추정 및 보상하는 방법을 제시하였다. 그리고 해당 기법을 시뮬레이터에 구현하였다. 제안된 기법의 성능은 시뮬레이션과 실 시험을 통해 검증하였다. 특히 실내공간상의 실 시험 결과 전파전달 모델 기반으로 구축된 전자지문 데이터베이스를 사용하여 추정된 위치는 3.17m (CEP)의 오차를 가지며, 공간상관기법 기반으로 오차가 보상된 전자지문 데이터베이스를 사용하여 추정된 위치는 2.58m (CEP) 오차를 갖는 것을 확인하였으며 이 결과를 통해 제안된 기법의 성능이

우수하며 이 기법을 사용하는 경우 전자지문 데이터베이스 구축에 시간과 인력소모를 최소화할 수 있음을 결론 내릴 수 있다.

REFERENCES

- [1] K. W. Kolodziej and J. Hjelm, *Local Positioning Systems: LBS Applications and Services*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [2] M. Hazas, J. Scott, and J. Krumm, "Location-aware computing comes of age," *IEEE Computer*, vol. 37, no. 2, pp. 95-97, 2004.
- [3] S. Y. Cho, "Hybrid closed-form solution for wireless localization with range measurements," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 7, pp. 633-639, Jul. 2013.
- [4] K. H. Lee, C. H. Yu, J. W. Choi, and Y. B. Seo, "ToA based sensor localization algorithm in underwater wireless sensor networks," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 6, pp. 641-648, Jun. 2009.
- [5] S. Y. Cho and Y. W. Choi, "Access point-less wireless location method based on peer-to-peer ranging of impulse radio ultra-wideband," *IET Radar, Sonar and Navigation*, vol. 4, no. 5, pp. 733-743, 2010.
- [6] M. Bocquet, C. Loyez, and A. Benlarbi-Delai, "Using enhanced-TDOA measurement for indoor positioning," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 10, pp. 612-614, Oct. 2005.
- [7] S. H. Lee, D. H. Kim, G. H. Roh, K. S. Park, and T. K. Sung, "Development of an AOA location method using self-tuning weighted least square," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 13, no. 7, pp. 683-687, Jul. 2007.
- [8] S. Y. Cho, "Localization of the arbitrary deployed APs for indoor wireless location-based applications," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 56, no. 2, pp. 532-539, May 2010.
- [9] A. S. Kim, J. G. Hwang, and J. G. Park, "Enhanced indoor positioning algorithm using WLAN RSSI measurements considering the relative position information of AP configuration," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 19, no. 2, pp. 146-151, Feb. 2013.
- [10] B. Li, Y. Wang, H. K. Lee, A. Dempster, and C. Rizos, "Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN," *IEEE Proceedings - Communications*, vol. 152, no. 5, pp. 580-586, Oct. 2005.
- [11] M. Enkhtur and S. Y. Cho, "Positioning fingerprint DB construction and efficient DB update based on signal propagation feature map," *Telecommunications Review*, vol. 20, no. 6, pp. 1017-1030, Dec. 2010.
- [12] J. B. Andersen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation measurements and models for wireless communications channels," *IEEE Communications Magazine*, vol. 33, no. 1, pp. 42-49, Jan. 1995.
- [13] N. Cressie, *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons, INC., New York, 1991.
- [14] M. Armstrong, *Basic Linear Geostatistics*, Springer, Berlin, 1998.



조 성 윤

1998년 광운대학교 제어계측공학과 졸업. 2000년 동 대학원 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 졸업(공학박사). 2004년 서울대학교 기계항공공학부 BK21 박사후연구원. 2004년 9월~2013년 8월 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원. 2008년 3월~2013년 2월 과학기술연합대학원대학교 겸임교수. 2013년 9월~현재 경일대학교 로봇응용학과 조교수. 관심분야는 항법기술(INS/GPS/Vision/Map 결합항법기술, PDR, WSN 및 무선위치추정기술, 로봇항법기술), MEMS 센서 응용, 선형/비선형 필터 설계, ITS/Telematics/LBS.



박 준 구

1994년 서울대학교 제어계측공학과 졸업. 1996년 동 대학원 졸업(공학석사). 2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학과 대학원 졸업(공학박사). 2005년~현재 경북대학교 IT 대학 전자공학부 교수. 관심분야는 모바일 네비게이션 알고리즘, 이동통신 프로토콜.