

# LTE Signal Propagation Model-based Fingerprint DB Generation for Positioning in Emergency Rescue Situation

Seong Yun Cho<sup>†</sup>

Department of Robotics Engineering, Kyungil University, Gyeongsan 38428, Korea

## ABSTRACT

Fingerprinting method is useful when estimating the location of a requestor based on LTE signals in an urban area. To do this, it is necessary to acquire location-based signals everywhere in the service area for fingerprint DB generation in advance. However, there may be signal uncollected area within a wide service area, which may cause a problem that the positioning accuracy of the requestor is low. In order to solve this problem, in this paper, signal propagation modeling is performed based on the obtained measurements, and based on this model, the signal information in the non-acquisition region is estimated. To this end, techniques for modeling signal propagation according to a method using measurements are proposed. The performance of the proposed techniques is verified based on the measurements obtained on a test bed selected as Seocho-gu, Seoul. As a result, it can be seen that signal propagation modeling performed based on multidivision segmented measurements has the most performance improvement.

**Keywords:** LTE, fingerprint DB, signal propagation model

## 1. INTRODUCTION

112/119 호출에 따른 긴급구조 상황에서 요구조자의 위치정보는 성공적인 구조활동을 위해서 반드시 필요하며, 특히 위치정보의 정확도는 신속한 구조활동을 가능하게 하는 핵심적인 역할을 담당한다. 요구조자의 위치정보는 요구조자가 소지한 이동통신 단말기에서 획득된 신호를 기반으로 추정되며, 추정된 위치정보는 구조활동을 수행하는 기관에 제공된다. 이때 이동통신 단말기에서 획득된 신호의 종류에 따라 다양한 방법으로 해당 단말기의 위치정보를 추정할 수 있다 (Cho & Ji 2019).

요구조자가 Global Navigation Satellite System (GNSS) 신호를 정상적으로 수신할 수 있는 곳에 위치하는 경우에는 요구조자의 위치정보를 쉽게 추정할 수 있으며 그 정확도 또한 높다. 그러나 건물 내, 도심지역, 산속 등과 같은 곳에 요구조자가 위치하는 경우에는 GNSS 신호를 획득할 수 없거나, 획득된 미약한 신호를 기반으로 오차가 큰 위치정보를 추정하게 된다. 따라서 이런 경

우에는 일반적으로 무선통신/이동통신 기지국 (Base Station)에서 전송된 신호의 수신정보를 기반으로 해당 단말기의 위치를 추정하게 된다. 기지국과 단말기 사이에 높은 정확도의 시각동기가 되어있는 경우에는 Time of Arrival (ToA), Impulse Radio-Ultra Wideband (IR-UWB)의 경우에는 Two Way Ranging (TWR), 기지국 사이에서만 시각동기가 되는 경우에는 Time Difference of Arrival (TDoA), 안테나의 송출 방향이 정해져 있는 경우에는 Angle of Arrival (AoA), 시각동기 및 안테나 방향 정보가 전혀 없는 경우에는 Received Signal Strength Indicator (RSSI) 등의 정보를 사용하여 삼변측위 (Trilateration), 삼각측위 (Triangulation), 전자지문법 (Fingerprinting), 기하학적 중심법 (Centroid), Cell-ID 등의 알고리즘을 기반으로 단말기의 위치를 추정할 수 있다 (Kolodziej & Hjelm 2006, Vo & De 2016, Cho 2019).

본 연구에서는 Long Term Evolution (LTE) 신호의 Reference Signal Received Power (RSRP) 정보를 사용하여 전자지문법 기반으로 LTE 단말기의 위치를 추정하기 위해 전자지문용 DB를 생성하는 것을 목적으로 한다. LTE는 4G 이동통신 기술로 전국망으로 구축되어 있기 때문에 음영지역 없이 항상 단말기는 기지국과 연결이 가능하다. 이동통신사는 850 MHz 대역 (Band 5), 900 MHz 대역 (Band 8), 1800 MHz 대역 (Band 3), 2100 MHz 대역 (Band 1), 그리고 2600 MHz 대역 (Band 7) 주파수를 할당하여 사용화하였다. 하향링크 주파수 대역을 통해 전송되는 기지국 신호를 단말

Received Aug 03, 2020 Revised Aug 29, 2020 Accepted Aug 29, 2020

<sup>†</sup>Corresponding Author

E-mail: sycho@kiu.kr

Tel: +82-53-600-5584 Fax: +82-53-600-5599

Seong Yun Cho <https://orcid.org/0000-0002-4284-2156>

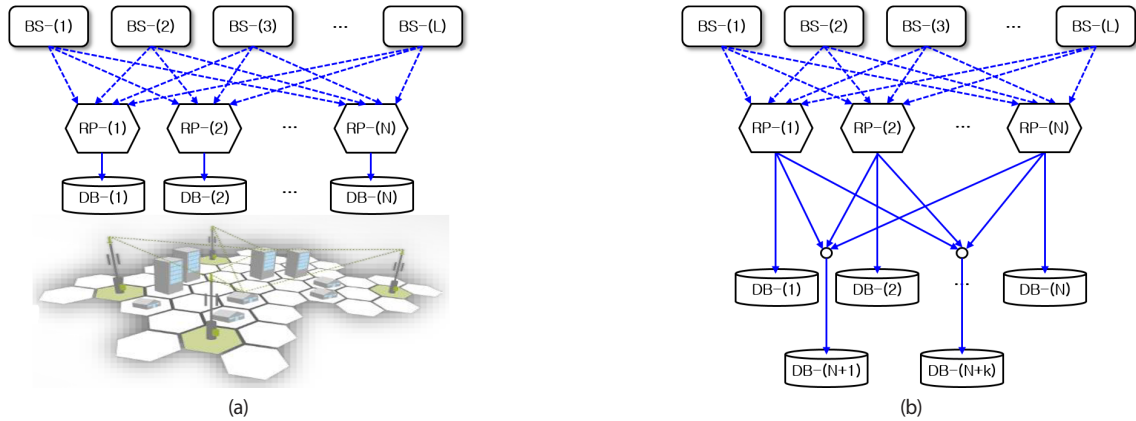


Fig. 1. Conventional fingerprint DB generation methods. (a) measurements-based, (b) measurements and interpolation-based.

기에서 측정하여 획득된 RSRP 정보를 위치추정에 사용한다. 이를 위해 차량에 탑재된 GNSS와 LTE 신호를 시각동기화 하여 측정 및 저장할 수 있는 장치를 사용하여 도로상에서 LTE의 위치 기반 RSRP 정보를 획득한다. 그리고 이 정보를 사용하여 전자지문용 DB를 생성한다. 이런 방법으로 수집된 각 기지국별 RSRP 정보를 사용하여 DB를 구축하는 경우에는 신호를 수집하지 못한 영역이 존재한다. 이때 요구조자가 신호 미 수집된 영역에 위치하는 경우에는 제대로된 요구조자의 위치를 추정하기 어렵다. 이런 문제에 동기부여를 받아 본 연구에서는 수집된 데이터를 기반으로 미 수집된 영역에서 수신가능한 신호의 정보를 생성하여 DB를 구축하는 기법을 제안한다. 이를 위해 먼저 수집된 데이터를 기반으로 신호 전파 모델링 (SPMing: Signal Propagation Modeling)을 수행한다. 그리고 각 기지국의 위치정보와 생성된 신호 전파 모델 (SPM: Signal Propagation Model)을 사용하여 미 수집된 영역에서 획득 가능한 신호 정보를 추정하여 생성한다. 본 논문에서는 도심 환경에서 SPMing을 수행하는 다양한 방법들을 제안하고 이 기법들의 성능을 실험을 기반으로 분석한다.

본 논문의 2장에서는 기존의 전자지문용 DB 생성 기법들을 설명하고, 3장에서는 SPM 기반으로 전자지문용 DB를 생성하는 방법들을 설명하였다. 그리고 4장에서는 실험을 통해 제안된 기법들의 성능을 분석하고 마지막 장에서 결론을 맺는다.

## 2. CONVENTIONAL FINGERPRINT DB GENERATION METHODS

전자지문법의 원리는 다수의 기지국으로부터 송출된 신호의 획득 정보의 조합이 위치에 따라 다르며, 이상적으로는 하나의 정보 조합에 해당하는 위치는 유일하다는 것이다. 이를 위해서는 Fig. 1a와 같이 서비스 지역 전역을 일정한 간격으로 나누고 각 위치에서 획득된 정보의 조합을 위치 정보와 함께 DB로 저장해야 한다. 전자지문법의 정확도는 DB 생성을 위해 측정치를 획득하는 기준위치 (RP: Reference Point)의 간격에 반비례한다. 여기서 두 가지 문제가 존재한다. 첫 번째는 서비스 지역이 넓은 경우 정보 획득을 위해 나누는 기준위치의 간격이 클 수밖에 없으며 특정 공간에서는 신호를 획득할 수 없는 경우도 존재한다. 두 번째

는 서비스 지역 내에서 구조물의 변경이 발생하면 DB를 새롭게 구성해야 한다. 이 두 가지 문제로 인해 도심 공간 내에서 전자지문용 DB를 구축하는 것이 현실적으로 쉽지 않다. 이 문제를 해결하기 위해 Fig. 2b와 같이 측정치와 보간법을 함께 사용한다. 즉, 기준위치의 간격을 크게 설정하고 측정치를 획득한 다음 기준위치 사이의 공간에서 획득 가능한 신호정보를 측정치를 사용하여 추정한다. 이때 추정하는 방법은 Inverse Distance Weighting (IDW) 기반의 k-Nearest Neighbors (kNN) 기법, Kriging 기법 등이 있다. 이 기법은 비 모델링 기반 추정법으로 측정치들과 거리가 먼 곳의 신호정보를 추정하는 경우에 오차가 클 수 있다는 단점이 존재한다 (Li et al. 2005).

## 3. SPM-BASED FINGERPRINT DB GENERATION METHODS

이 장에서는 모델 기반으로 SPMing을 수행하고, 이를 기반으로 전자지문용 DB를 생성하는 기법을 소개한다. 이를 위해 먼저 LTE용 SPM을 설명하고, 측정치를 사용하여 SPMing을 수행하는 다양한 기법을 설명한다.

### 3.1 LTE Signal Propagation Modeling

기지국의 안테나에서 송출된 신호는 공간을 전파하면서 신호의 파워는 점점 약해지며, 건물과 같은 구조물을 만나면 추가적으로 파워가 감쇄된다. 정확한 3D 지도 및 구조물의 재질 등의 정보가 있는 경우 전파전파 (Ray Tracing) 기법을 통해 위치에 따라 비교적 정확한 신호정보를 추정할 수 있다. 그러나 일반적으로 식 (1)과 같은 간략화된 거리에 따른 전파 감쇄 모델을 사용한다 (Hamid & Kostanic 2013, Zyoud et al. 2016, Liu et al. 2017, Cho & Kang 2019).

$$R_j = R_0 - 10\alpha \log_{10}(r_j) + w(\sigma) \tag{1}$$

여기서  $R_j$ 와  $R_0$ 은 기지국의 안테나에서 거리가  $r_j$ 와 기준거리 (예: 1 m)인 곳에서 각각 측정되는 RSRP이며,  $\alpha$ 는 전파 감쇄 계수,  $w$

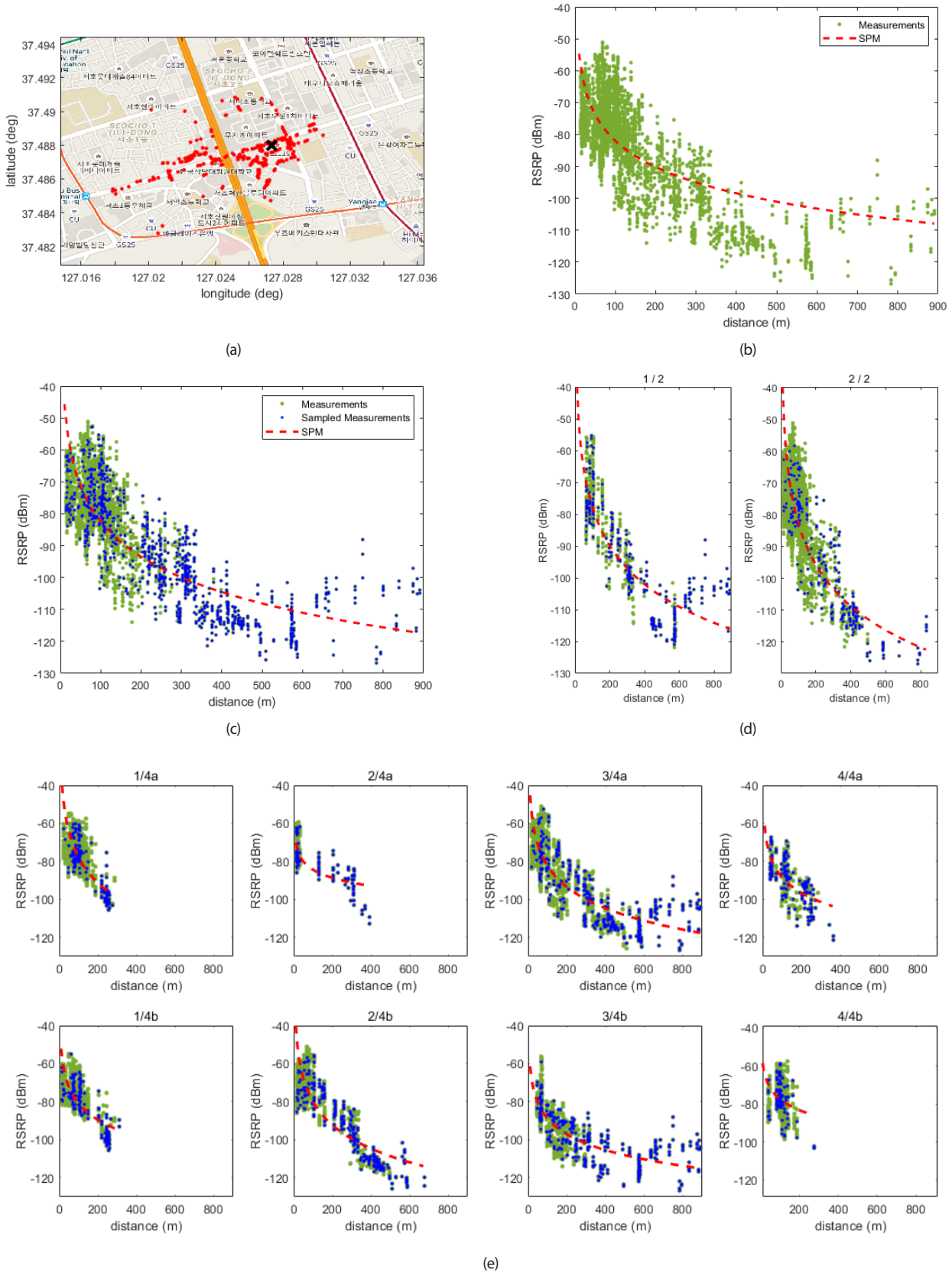


Fig. 2. SPM results for PCI-144. (a) location of measurements on the map, (b) all measurements-based, (c) sampled measurements-based, (d) bisected regions-based, (e) multidivided regions-based.

리고  $w(\sigma)$ 은 표준편차가  $\sigma$ 인 잡음을 나타낸 것이다.

측정치  $\alpha$ 의 수가  $N$ 인 경우 식 (1)은 식 (2)와 같이 행렬형태로 나타낼 수 있다 (Cho & Park 2014).

$$\begin{bmatrix} \tilde{R}_1 \\ \vdots \\ \tilde{R}_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -10 \log_{10}(r_1) \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -10 \log_{10}(r_N) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_0 \\ \alpha \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\Leftrightarrow Z = HX + W$

여기서

$$r_j = \sqrt{dN_j^2 + dE_j^2} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} dN_j &= (Lat_{BS} - Lat_{RP-(j)})R_m \\ dE_j &= (Lon_{BS} - Lon_{RP-(j)})R_l \cos(Lat_{RP-(j)}) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $[Lat_{BS} Lon_{BS}]^T$ 와  $[Lat_{RP-(j)} Lon_{RP-(j)}]^T$ 는 각각 기지국과 기준 위치  $j$ 의 수평 위치값이며, 위도방향과 경도방향의 지구 타원체의 반지름은 식 (5)와 같이 계산된다 (Farrell & Barth 1999).

$$R_m = R_0(1 - e^2) / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 Lat_{RP-(j)}} \quad (5a)$$

$$R_l = R_0 / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 Lat_{RP-(j)}} \quad (5b)$$

여기서  $R_0=6,378,177(m)$ 와  $e=0.0818191908$ 는 각각 적도 반지름과 지구 이심률 (Eccentricity)을 나타낸 것이다.

식 (2)에서  $R_0$ 와  $\alpha$ 는 최소자승법을 사용하여 식 (6)과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \hat{R}_0 \\ \hat{\alpha} \end{bmatrix} = \hat{X} = (H^T H)^{-1} H^T Z \quad (6)$$

Fig. 2b는 Fig. 2a에서 나타난 지도상의 측정치 4,027개를 모두 사용하여 수행된 SPM의 결과를 보여주고 있다. Fig. 2a에서 'x'로 표시한 곳에 기지국이 있으며, 기지국으로부터 약 900 m 거리까지 측정치가 획득되었다. 그러나 거리 200 m 내에서 3,291개의 측정치가 획득된 것을 Fig. 2b를 통해 알 수 있으며, 측정치를 모두 사용하는 경우에 기지국에서 먼 거리에서 획득된 측정치보다 가까운 거리에서 획득된 측정치가 SPMing에 더 많은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

### 3.2 Sampled Measurements-based SPMing

이 문제로 인해 모델 기반으로 추정된 신호정보는 기지국에서 거리가 멀수록 오차가 커지게 된다. 이 문제를 최소화하기 위해 측정치를 거리에 따라 선택적으로 사용하는 방법을 사용할 수 있다. 먼저 측정치를 100 m 단위로 나누어 블록화 한다. 각 블록별로 최대 200개의 측정치만 샘플링하도록 한다. 랜덤하게 샘플링하기 위해 Matlab에서 식 (7)과 같이 샘플 인덱스를 생성한다.

$$index = floor(rand * Num_{Block}) \quad (7)$$

여기서  $rand$ 는 구간 (0, 1)에서 균일하게 분포된 난수를 발생시키는 Matlab 명령어이며,  $floor()$ 는 실수를 정수로 변환하는 Matlab 함수이다. 그리고  $Num_{Block}$ 는 해당 블록별 측정치의 수이다.

각 블록별 측정치의 수가 200 이상이면 이렇게 생성된 서로 다른 200개의 샘플 인덱스에 해당하는 측정치만 사용하며, 측정치의 수가 200 이하이면 모두 사용한다. Fig. 2c는 전체 측정치와 샘플링된 측정치, 그리고 이를 기반으로 수행된 SPMing의 결과를 나타내고 있다. 이 결과를 Fig. 2b와 비교해 보면 측정치가 획득된 전체 영역에서 고른 분포로 측정치가 사용되어 SPMing이 수행된 것을 볼 수 있다.

### 3.3 SPMing in Regions Bisected in the Detected Street Direction

Fig. 2a를 보면 기지국을 중심으로 도로를 따라 측정치가 많이 획득되는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 도심 지역에서 많은 건물에 의한 신호 감쇄 현상으로 가까운 거리에서도 기지국으로부터 전송된 신호를 수신하지 못하는 현상이 발생하기 때문이다. 즉 도로를 따라 전파하는 신호의 감쇄는 건물 밀집지역을 따라 전파하는 신호의 감쇄보다 작게 나타날 것으로 예상된다. 이런 이유로 측정치를 통해 도로를 인지한 다음, 도로 방향 측정치와 건물 방향 측정치를 나누어 SPMing을 각각 수행하는 방법을 제안한다.

측정치의 획득 위치 분포가 도로 방향으로 넓게 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 이것을 통해 도로 방향을 추정한다. 먼저 기지국 위치를 중심으로 측정치 획득 위치의 분산을 계산하면 식 (8)과 같다.

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - BS)(M_i - BS)^T \quad (8)$$

여기서  $M_i=[Lon_{RP-(j)} Lat_{RP-(j)}]^T$ 와  $BS=[Lon_{BS} Lat_{BS}]^T$ 는 각각 기준 위치  $i$ 와 기지국의 수평 위치벡터이다. 지도상에서 수평축이 경도, 수직축이 위도이므로 위치벡터를 경도-위도 순서로 생성한다.

도로 방향으로 단위벡터를  $u$ 로 설정한다. 그 다음 각 위치벡터를  $u$ 로 투사 (Projection) 하여 스칼라 값의 분산을 계산하면 식 (9)와 같다 (Bishop 2006).

$$u^T V u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u^T M_i - u^T BS)^2 \quad (9)$$

이 분산값을 최대로 하는  $u$ 를 계산하기 위해 Lagrange Multiplier를 적용한다.

$$L = u^T V u + \lambda(1 - u^T u) \quad (9)$$

이 식을  $u$ 에 대하여 미분한 다음 0으로 설정하면 식 (10)과 같이 정리할 수 있다.

$$V u = \lambda u \quad (10)$$

따라서  $u$ 는  $V$ 의 고유벡터 (Eigenvector)가 되는 것을 알 수 있

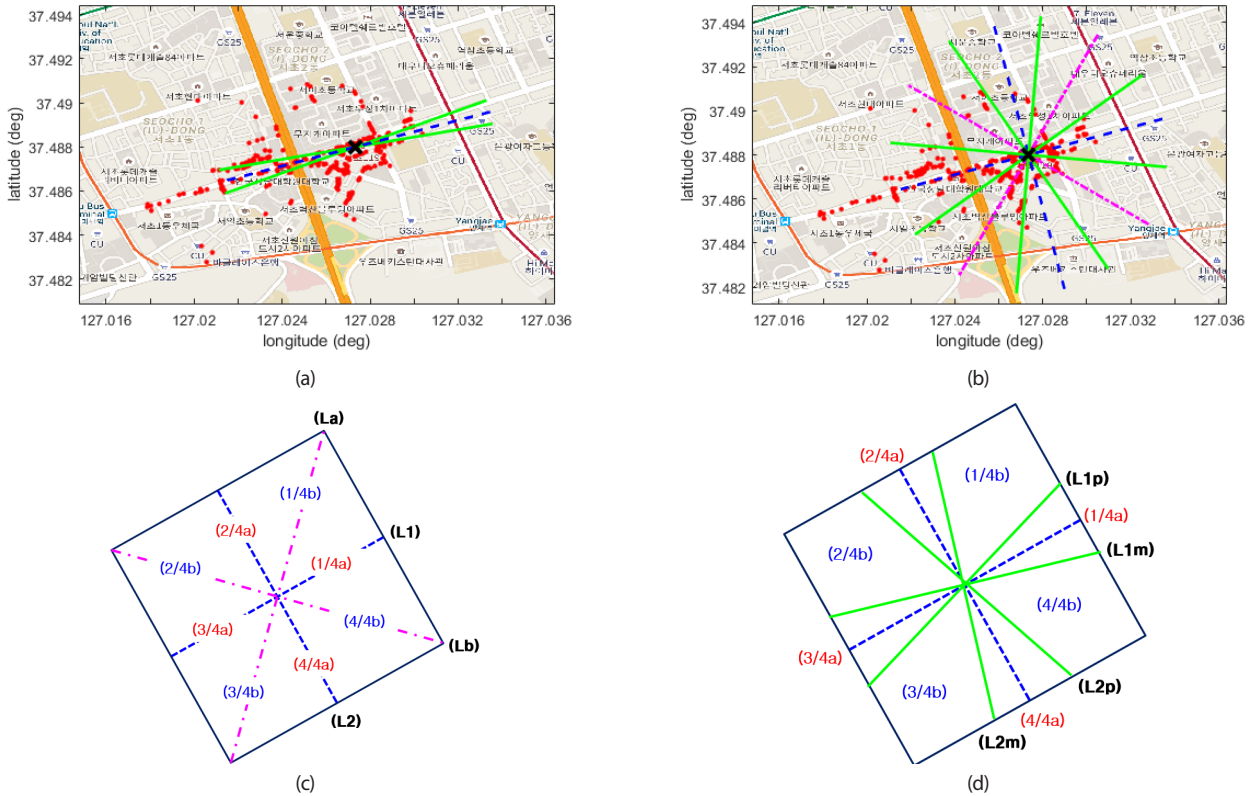


Fig. 3. Multi-section segmentation for SPMinG. (a) bisection, (b) multi-section, (c) boundary lines for multidivision, (d) boundary lines for gap filling in fingerprint DB.

며, 도로 방향은 최대 고유값 (Eigenvalue)  $\lambda$ 를 갖는 고유벡터로 결정된다. 즉 기지국을 지나는 도로 방향의 선형 방정식은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = \frac{EV_2}{EV_1}(x - Lon_{BS}) - Lat_{BS} \quad (11)$$

여기서  $EV_j$ 는 도로 방향으로 결정된 고유벡터의  $j$ 번째 구성요소이다.

Fig. 3a에서 파란색 점선으로 나타낸 것이 식 (11)을 통해 나타낸 도로 방향 벡터이다. 그리고 이 방향을 기준으로 도로 방향 측정치 영역을 설정하기 위해  $\pm 5^\circ$ 로 하여 실선으로 나타내고 있다. 총 4분면으로 나누어지지만 도로 방향 양 쪽 영역을 1/2 분면으로 하고, 측면 두 방향 영역을 2/2 분면으로 설정한 다음 해당 영역의 측정치만을 사용하여 SPMinG을 수행한 것이 Fig. 2d에 나타나고 있다. 이 그림에서 초록색 굵은 점은 측정치이며, 파란색 작은 점은 100 m 간격으로 최대 50개씩 샘플링한 것이다. 그리고 빨간색 점선으로 나타낸 SPM을 보면 도로 방향보다 측면 방향으로의 감쇄 계수가 크게 추정되는 것을 알 수 있다. 즉, 도로 방향을 기준으로 측면 방향으로의 건물 밀도 때문에 신호가 전파되면서 파워가 더 많이 감쇄되기 때문이다.

이분 (Bisection)되어 수행된 SPMinG을 통해 두 개의 SPM을 형성하고, 전자지문용 DB를 생성할 때에도 이분된 영역별로 SPM을 구분하여 사용하게 된다.

### 3.4 Multidivision-based SPMinG

도시 지역에서는 건물에 의한 신호 감쇄가 많이 발생하며 기지국을 중심으로 방향별로 다른 신호 감쇄 특성이 나타난다. 3.3절에서 설정한 도로 방향을 기준으로 세분화된 방향을 설정하고 SPMinG을 수행하는 것을 제안한다.

Fig. 3c는 다중영역 분할을 위한 경계선을 나타내고 있다. (L1)은 도로 방향 벡터이며, (L2)는 도로 방향에서 90도 차이가 나는 방향 벡터이다. 그리고 그 사이 45도 간격으로 (La)와 (Lb)를 설정한다. 먼저 (La)와 (Lb)에 의한 4분면에서 각 영역 측정치만을 사용하여 SPMinG을 수행한다. 각 영역 이름을 그림처럼 (i/4a)로 한다. 그 다음 (L1)과 (L2)에 의한 4분면에서 각 영역 이름을 (i/4b)으로 한 다음 해당 영역 측정치만을 사용하여 SPMinG을 수행한다. 지도 상에서 영역을 나누는 것은 Fig. 3b에서 볼 수 있으며, SPMinG 결과는 Fig. 2e에서 확인할 수 있다. 도로 방향에 해당하는 영역에서는 측정치가 거리별로 많이 모델링 하기가 쉽다. 반대로 측면 방향으로의 건물에 의해 측정치의 수가 비교적 작은 것을 알 수 있다. 이렇게 나누어진 영역별로 측정치의 수가 작거나 거리에 따른 측정치의 분포가 제한적으로만 나타나면 영역을 확장하는 것이 필요하다.

SPMinG 후 전자지문용 DB를 구성할 때 영역별 SPM은 Fig. 3d와 같이 설정한다. 도로 방향 벡터와 이와 90도 차이 나는 벡터를 기준으로 각각  $\pm 20^\circ$ 에 해당하는 벡터를 (L1m), (L1p), 그리고 (L2m), (L2p)로 설정하면 총 8분면이 생성된다. 그리고 Fig. 3d에서 나타낸 것처럼 각 영역별로 할당된 SPM을 사용하여 전자지문용 DB를 생성한다.

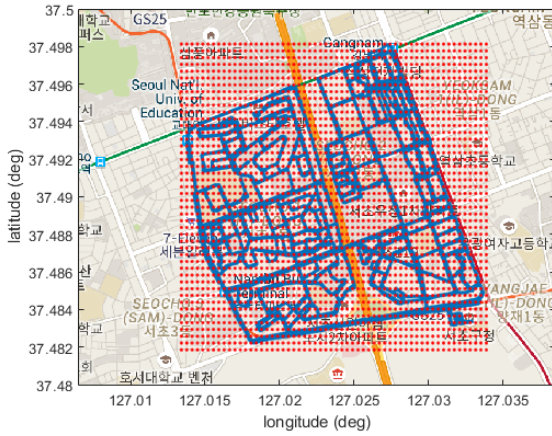


Fig. 4. Service area and grid points for fingerprint DB.

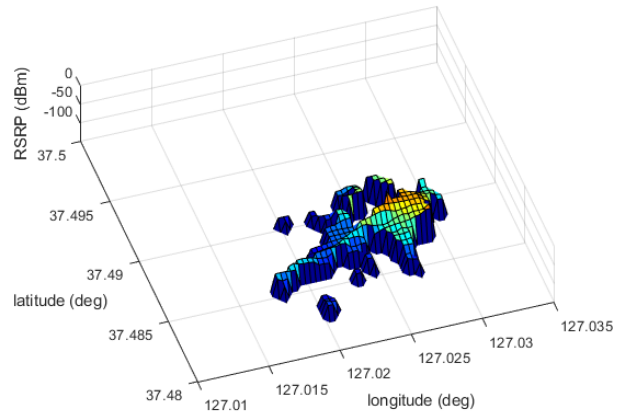
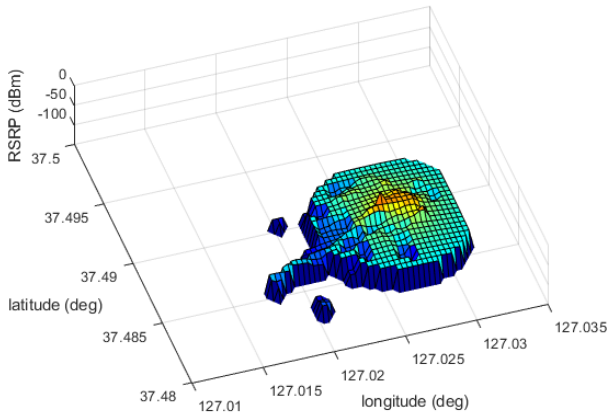
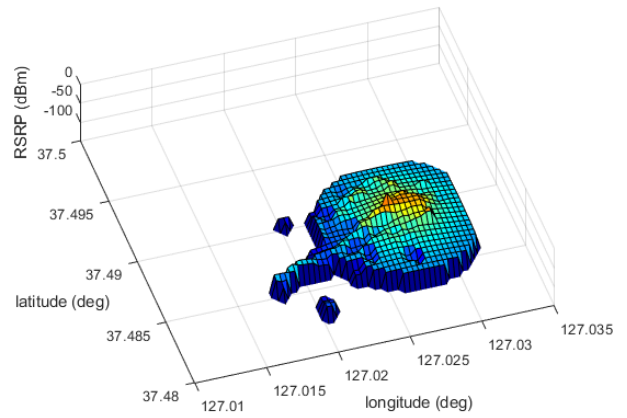


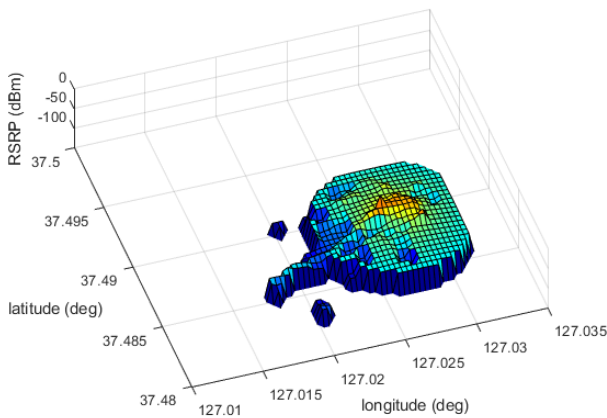
Fig. 5. Measurements-based generated fingerprint DB information of base station with PCI-144.



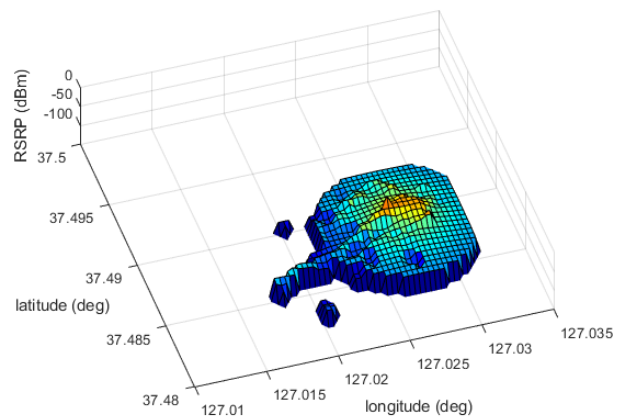
(a)



(b)



(c)



(d)

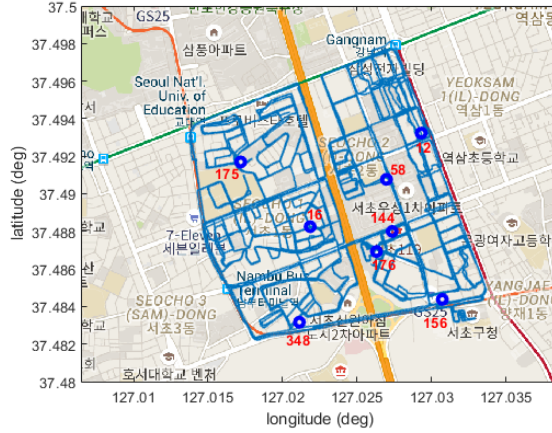
Fig. 6. Measurements and SPM-based generated fingerprint DB information of base station with PCI-144. (a) all measurements-based, (b) sampled measurements-based, (c) bisected regions-based, (d) multidivided regions-based.

### 3.5 Signal Propagation Model-based Fingerprint DB Generation

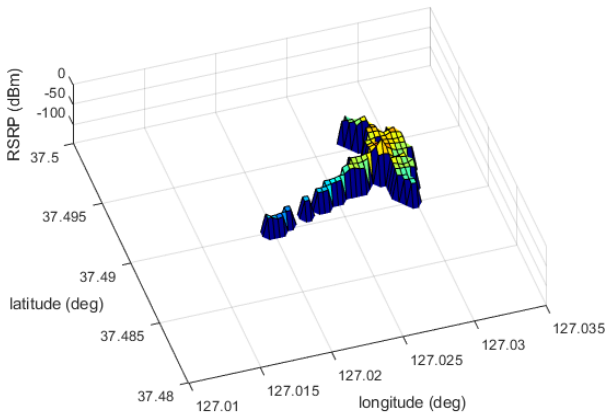
서비스 영역이 정해지면 격자구조로 전자지문용 DB 공간을 생성한다. Fig. 4는 서비스 지역과 격자점 (Grid Point)을 나타내

고 있다. 지도상에서 파란색 점들은 측정치를 획득한 위치로 도로상에서만 획득된 것을 알 수 있다. 그리고 빨간색 점들은 일정한 간격으로 생성된 격자점을 나타낸 것으로, 격자점 간격을 분해능으로 하는 전자지문용 DB를 생성한다.

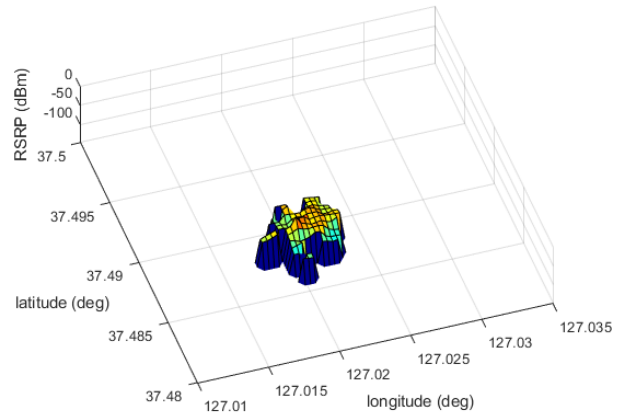
먼저 측정치를 사용하여 인근 격자점 상의 DB를 채워넣는다.



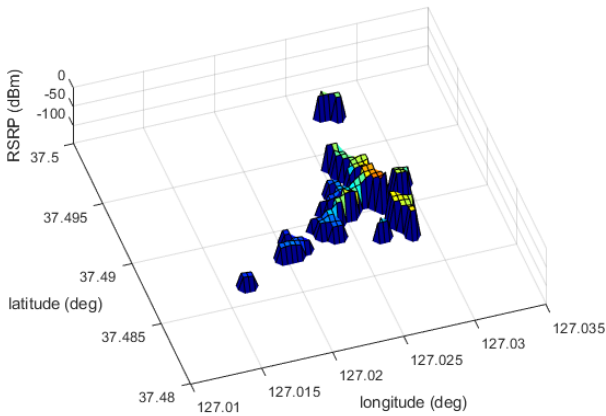
(a)



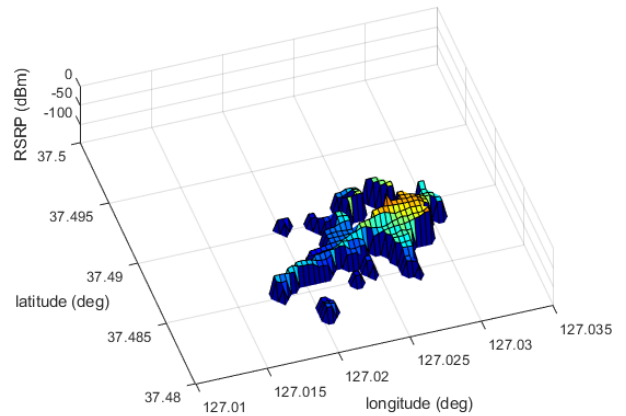
(b)



(c)



(d)



(e)

**Fig. 7.** Location of base stations and measurements (a) base station locations, (b) measurements of base station (PCI-12), (c) measurements of base station (PCI-16), (d) measurements of base station (PCI-58), (e) measurements of base station (PCI-144), (f) measurements of base station (PCI-156), (g) measurements of base station (PCI-175), (h) measurements of base station (PCI-176), (i) measurements of base station (PCI-348).

측정치와 격자점의 위치가 일치하지 않으므로 각 격자점을 기준으로 격자점 간격 내에 위치하는 측정치를 사용하여 해당 격자점의 DB 정보를 생성한다. 격자점 간격 내에 있는 측정치의 수가 다수개이면 IDW 기반으로 가중치를 부가하여 하나의 정보를 생성한다. Fig. 5는 측정치 기반으로 생성된 전자지문용 DB 정보의 일

예를 보여주고 있다.

인근에서 실측된 데이터가 없는 격자점에서는 앞에서 모델링한 SPM 기반으로 식 (12)와 같이 추정하여 채워넣는다.

$$\hat{R}_{GP-j} = R_0 - 10\hat{\alpha} \log_{10}(r_j) \quad (12)$$

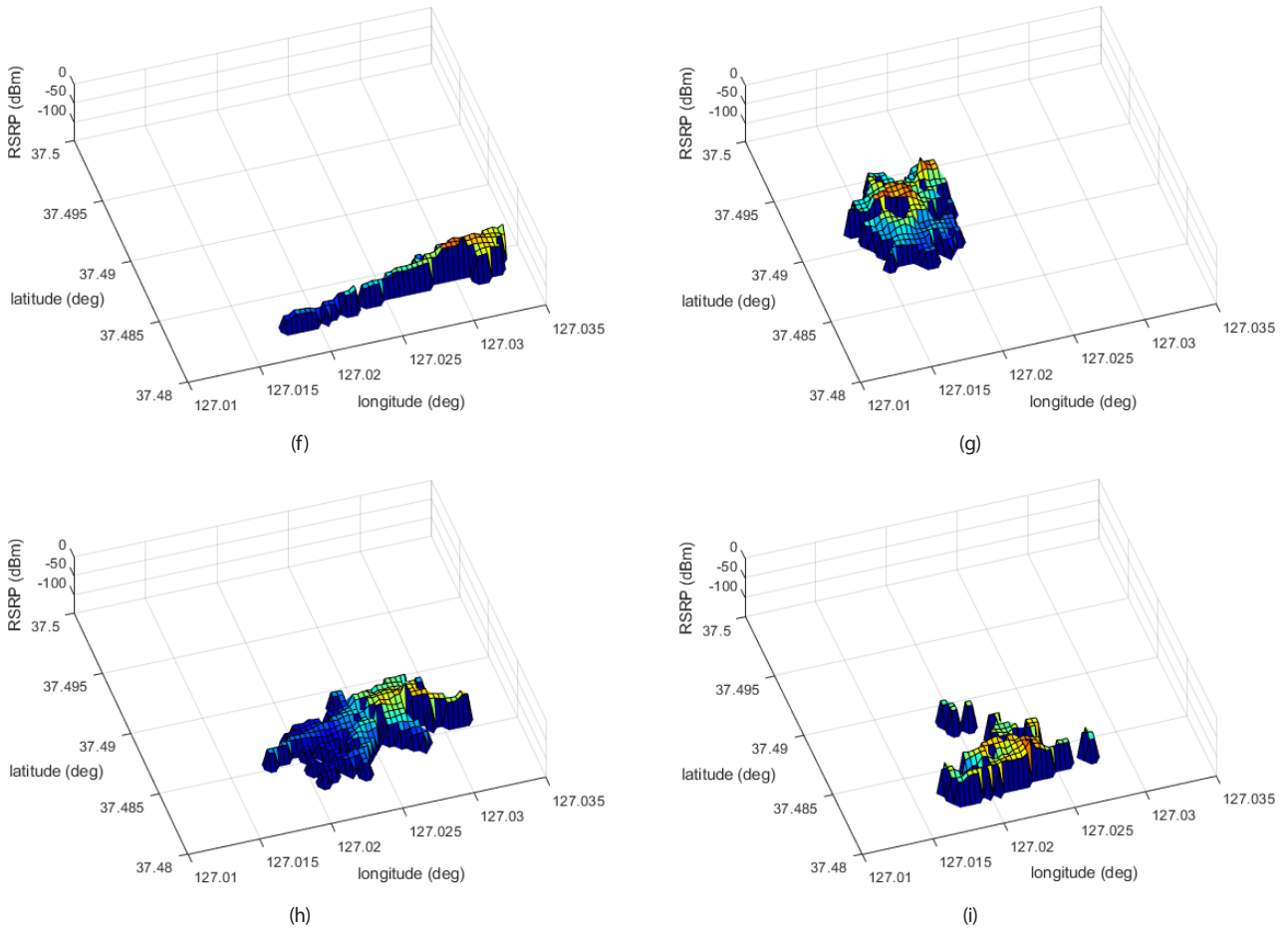


Fig. 7. Continued

여기서  $\hat{R}_{GP-j}$  는 격자점  $j$ 에서 추정된 RSRP 정보이며,  $\hat{R}_0$ 와  $\hat{\alpha}$ 는 각 SPMing 기법별로 식 (6)을 통해 추정된 값을 사용한다. 그리고  $r_j$  은 기지국과 격자점  $j$  사이의 거리값을 계산하여 사용한다.

Fig. 6은 앞에서 제안한 4가지 SPMing 기법별로 전자지문용 DB를 생성한 정보를 나타내고 있다. 이때 추정하여 채워 넣는 범위는 도심지역에서 LTE 신호의 도달 거리 (Coverage)를 고려하여 설정한다. Fig. 6에서는 기지국으로부터 500 m 이내의 격자점만 추적 가능 범위로 한정할 예를 나타내고 있다.

### 4. EXPERIMENTAL ANALYSIS

3장에서 제안한 4가지 SPMing 기법의 성능을 분석하기 위하여 실시할 수 수행하였다. 시험 장소는 서울시 서초구 서초1, 2동이며, Galaxy 폰에 탑재된 Nemo Handy를 사용하여 측정치를 획득하였다. KT 기지국 신호를 획득하도록 하였으며, 차량을 통해 이동하며 Fig. 4와 같이 도로상에서만 측정치를 획득하였다. 기지국 신호를 수신함으로써 다양한 정보를 획득할 수 있으며, 이 중에서 GNSS 기반 위치정보와 RSRP 정보를 함께 저장하였다.

수집된 기지국 데이터 중에서 측정치의 수가 많은 기지국 10개

Table 1. Summary of evaluation tests.

PCI	Mean of RMSE values w.r.t. SPMing method (dBm)			
	All measurements based	Sampled measurements based	Bisected regions based	Multidivided regions based
12	11.925	13.863	11.887	11.262
16	11.558	11.608	11.692	10.507
58	10.632	10.846	10.325	8.558
144	10.099	10.621	10.999	9.241
156	9.384	9.687	9.902	8.693
175	12.802	12.854	12.885	12.139
176	11.552	11.792	12.013	8.881
348	9.576	12.272	9.566	9.576
Mean	10.941	11.693	11.159	9.857

를 선정하였다. DB 구축을 위한 데이터만 수집하였으므로 획득된 측정치의 100개를 제외하고 DB를 생성한 다음 제외된 측정치를 사용하여 생성된 DB의 성능을 분석하도록 한다. 제외하는 100개의 측정치는 전체 측정치 중에서 랜덤으로 선정하였으며, 100번의 다른 랜덤 측정치 세트를 사용하여 생성된 DB와의 차이를 계산한 다음 Root Mean Squared Errors (RMSE) 오차를 계산하도록 하였다.

서비스 지역 내에 위치하고 도로 시험에서 획득된 측정치가



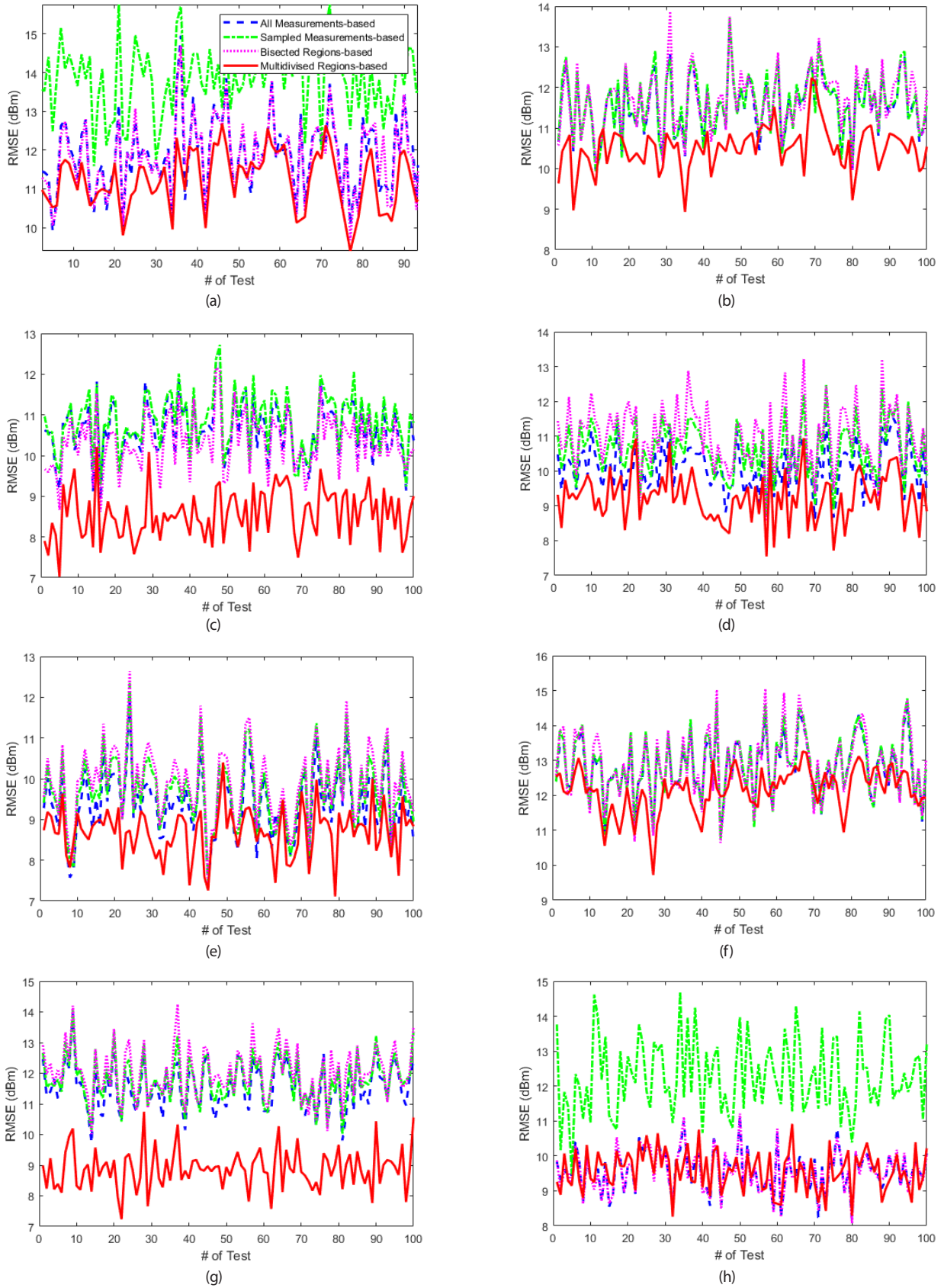


Fig. 8. RMSE of evaluation tests (a) PCI-12, (b) PCI-16, (c) PCI-58, (d) PCI-144, (e) PCI-156, (f) PCI-175, (g) PCI-176, (h) PCI-348.

많은 기지국 8개를 선정하였으며 해당 PCI를 크기 순서로 배열하면 12, 16, 58, 144, 156, 175, 176, 348와 같다. Fig. 7은 사용된 기지국의 지도상 위치와 기지국별 측정치를 위치기반으로 나타낸 것이다. 측정치를 지도와 비교해보면 대체적으로 도로 방향으로 측정치가 길게 형성되어 있는 것과 도로와 상관없이 일정 범위 내에 측정치가 위치해 있는 것으로 나누어볼 수 있다. 12, 58, 156, 348번 기지국은 도로 인근에 위치하고 있으며 측정치가 주로 도로 방향으로 형성되는 것을 알 수 있다. 이 현상은 건물에 의한 영향 뿐 아니라 안테나의 방향과도 무관하지 않다. 16, 175번 기지국은 건물 밀집지역에 위치하며, 측정치는 기지국을 중심으로 일정 범위 내에만 존재하는 것을 알 수 있다. 그리고 144, 176번 기지국은 도로 인근에 위치하지만 측정치가 대체적으로 넓게 퍼져 있는 것을 볼 수 있다.

각 기지국별로 획득된 측정치를 사용하여 앞에서 제안한 SPMing 기법을 적용한 결과를 Fig. 8에서 나타내고 있다. 즉 100개의 분석용 측정치를 제외하고 사용하여 SPMing을 수행하고 분석용 측정치와 SPM을 사용한 추정치와의 RMSE를 계산한 것으로 100번을 각각 수행한 것이다. 그리고 100번 계산된 RMSE의 평균 값을 Table 1에서 나타내고 있다. 이 시험 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다. 먼저 모든 측정치를 사용한 방법을 기준으로 샘플링한 측정치를 사용한 방법의 성능이 나쁘게 나오는 것을 볼 수 있다. 이것은 분석용 측정치 부재에 의한 일시적인 현상으로 분석된다. 기지국 근처에서 많은 측정치가 획득된 것을 Fig. 2를 통해 알 수 있으며 이 측정치들 중에서 랜덤으로 추출한 100개의 분석용 샘플이 기지국 근처에 많이 위치할 것으로 판단된다. 따라서 모든 측정치를 사용하여 SPMing을 하는 것이 기지국 근처에서 획득되는 측정치를 더 많이 반영할 수 있기 때문에 샘플링한 측정치를 사용한 것의 성능이 더 나쁘게 나오게 된다. 따라서 이 기법의 성능은 추후 분석용 측정치를 획득한 다음 추가적인 분석이 필요하다. 두 번째, 거리 방향 검출 및 이를 기반으로 이분된 영역별로 SPMing한 결과는 당초 예상과는 달리 모든 측정치를 사용한 방법과 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 그 이유는 Fig. 2b를 통해 확인할 수 있듯이 신호는 거리 방향으로 더 잘 전파되지만 측면 방향의 기지국 인근 지역에서 더 많은 측정치가 획득된 것에 그 원인을 두고 설명된다. 이 경우에도 분석용 측정치를 다방면에서 획득하여 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된다. 마지막으로 다중영역 분할된 측정치 기반으로 수행된 SPMing의 결과는 다른 방법들에 비해 상대적으로 향상된 성능을 보이고 있다. 당초 계획대비 성능 향상의 크기는 다소 낮지만, Fig. 2를 통해 확인할 수 있는 도심 지역에서 거리에 따른 신호의 분산을 고려하면 약 1 dBm의 오차 감소는 작지 않은 것으로 판단된다.

추후 기지국의 위치를 기준으로 측정치의 획득 분포를 고려하여 건물의 밀집도를 유추하고, 이를 기반으로 다중영역 분할 범위를 가변하여 환경 및 측정치의 수에 적응적인 SPMing이 가능하도록 하면 성능이 더 많이 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 이를 기반으로 측정치가 수집되지 않은 지역에서의 전자지문용 DB를 효율적으로 구축하고, 긴급구조 상황에서 요구조자의 위치추정이 원활하게 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. CONCLUSIONS

본 논문에서는 도심 지역에서 LTE 신호 기반의 전자지문용 DB 구축을 위한 신호 전파 모델링을 하는 방법을 제안하였다. 획득된 모든 측정치를 사용하는 방법, 거리별 측정치의 수를 제한하는 샘플링된 측정치를 사용하는 방법, 거리 방향을 추정하고 거리 방향과 측면 방향으로 이분된 영역에서 각각 획득된 측정치를 사용하는 방법, 그리고 거리 방향을 기준으로 다중영역 분할된 측정치를 사용하는 방법을 설명하였다. 그리고 실측된 데이터를 기반으로 각 방법의 성능을 분석하였다. 분석 결과를 기반으로 다중영역 분할된 방법이 모든 측정치를 사용하는 방법 대비 모델 기반 신호 추정치의 RMSE가 약 1 dBm 이상 향상되는 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안된 기법을 기반으로 측정치가 획득되지 않은 지역에서도 전자지문용 DB를 생성할 수 있게 됨으로써 LTE 신호 기반 요구조사 위치추정이 효율적으로 이루어질 수 있을 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2019-0-01401, Multi-source based 3D emergency Localization using machine learning techniques.).

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

- Bishop, C. M. 2006, Pattern recognition and machine learning (NY: Springer).
- Cho, S. Y. 2019, Two-step calibration for UWB-based indoor positioning system and positioning filter considering channel common bias, *Measurement Science and Technology*, 30, #025003. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aaf40e>
- Cho, S. Y. & Kang, C. H. 2019, Positioning of wireless base station using location-based RSRP measurement, *Journal of Positioning, Navigation, and Timing*, 8, 183-192. <https://doi.org/10.11003/JPNT.2019.8.4.183>
- Cho, S. Y. & Park, J. G. 2014, Radio propagation model and spatial correlation method-based efficient database construction for positioning fingerprints, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, 20, 774-781. <https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2014.14.0010>

- Cho, Y. S. & Ji, M. I. 2019, Feasibility analysis on LTE RSRP fingerprint DB estimation using sparse war-driving collecting data for emergency location, in ISGNSS 2019, Jeju, 29 Oct - 1 Nov 2019, 51-58. [http://ipnt.or.kr/isgnss2019/bbs/board.php?bo\\_table=2019proc&wr\\_id=6](http://ipnt.or.kr/isgnss2019/bbs/board.php?bo_table=2019proc&wr_id=6)
- Farrell, J. A. & Barth, M. 1999, *The Global Positioning System & Inertial Navigation* (NY: McGraw-Hill)
- Hamid, M. & Kostanic, I. 2013, Path Loss Models for LTE and LTE-A Relay Stations, *Universal Journal of Communications and Network*, 1, 119-126. <https://doi.org/10.13189/ujcn.2013.010401>
- Kolodziej, K. W. & Hjelm, J. 2006, *Local positioning systems: LBS applications and Services* (Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group). <https://doi.org/10.1201/9781420005004>
- Li, B., Wang, Y., Lee, H. K., Dempster, A., & Rizos, C. 2005, Method for yielding a database of location fingerprints in WLAN, *IET Proceedings - Communications*, 152, 580-586. <https://doi.org/10.1049/ip-com:20050078>
- Liu, G. Y., Chang, T. Y., Chiang, Y. C., Lin, P. C., & May, J. 2017, Path Loss Measurements of Indoor LTE System for the Internet of Things, *Applied Sciences*, 7, 537. <https://doi.org/10.3390/app7060537>
- Vo, Q. D. & De, P. 2016, A survey of fingerprint-based outdoor localization, *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, 18, 491-506. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2448632>
- Zyoud, A., Habaebi, M. H., & Islam, R. 2016, Parameterized Indoor Propagation Model for Mobile Communication Links, *Microwave and Opticl Technology Letters*, 58, 823-826. <https://doi.org/10.1002/mop.29671>



**Seong Yun Cho** received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Control and Instrumentation Engineering from Kwangwoon University in 1998, 2000, and 2004, respectively. From 2004 to 2013, he was with Electronics and Telecommunications Research Institute as a senior researcher. In 2013, he joined the faculty of the Department of Robotics Engineering at Kyungil University, where he is currently an associate professor. His current research topics include positioning and navigation systems, filtering theory for linear/nonlinear systems, sensors-based motion detection, and LBS application systems.