

Performance Enhancement of Emergency Rescue System using Surface Correlation Technology

Beomju Shin, Jung Ho Lee, Donghyun Shin, Changsu Yu, Hankyeol Kyung, Taikjin Lee[†]

Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 02792, Korea

ABSTRACT

In emergency rescue situations, the localization accuracy of the rescue requestor is a very important factor in determining the success or failure of the rescue. Indoors where Global Navigation Satellite System (GNSS) is not operated, there is no choice but to use Wi-Fi or LTE signals. However, the performance of the current emergency rescue system utilizing those RF signals is exceedingly low. In this study, the effectiveness of the surface correlation technology using the accumulated signal pattern of RF signals was verified in relation to the emergency localization technology. To validate the proposed system, we configured and tested an emergency rescue scenario in multi-floors building. When the emergency rescue was requested, it was confirmed that the initial localization error was large owing to the short length of the accumulated signal pattern. However, the localization error decreased over time, which eventually led to the accurate location information being delivered to the rescuer.

Keywords: surface correlation, emergency rescue, LTE, mobile phone

1. INTRODUCTION

긴급구조시스템은 경찰과 소방 등에서 행방을 모르는 요구조자의 위치를 추정하기 위한 기술이다. 긴급 상황에서 요구조자의 정확한 위치 정보는 생명과 직결된 매우 중요한 정보이기 때문에, 구조 요청 시 빠른 시간 안에 정확한 위치를 추정하고, 해당 정보를 즉시 수요자(긴급 구조 기관)에게 전달해야 한다. 미국 연방통신위원회 (Federal Communications Commission)에서도 이동통신 사업자를 대상으로 Wireless E911의 수직 위치와 수평 위치의 정확도에 대한 규정을 제시하고 있다 (FCC 2010). 또한 국내에서도 관련 연구가 각계에서 진행 중이다.

현재 요구조자의 위치 정보를 추정하기 위해 다양한 기술

이 사용되고 있다. 가장 많이 사용하는 기술 중 하나는 Global Navigation Satellite System (GNSS) 기술이다. GNSS는 10~20 m 수준의 정확한 위치정보를 제공해준다. 그러나 GNSS의 특성 상, 도심에서는 성능 저하가 발생하고, 실내에서는 위치해를 제공할 수 없다. 따라서 현재 우리나라의 이동통신 서비스 회사(SKT, KT, LGU+)들은 도심이나 실내 환경에서 요구조자의 위치를 추정하기 위해 Wi-Fi (Joshi et al. 2013)나 Long-Term Evolution (LTE) (Goetz et al. 2011)과 같은 Radio Frequency (RF) 신호를 활용하여 요구조자의 위치를 추정하고, 이를 긴급구조기관에 제공하고 있다.

LTE 기지국 기반 측위 기술 (Cell-ID, TDOA)은 매우 높은 측위 성공률을 보이지만, 수백 m에 달하는 위치 정확도로 인해 위치해의 신뢰성이 매우 낮다 (Frobe et al. 2014). Wi-Fi 신호를 활용한 측위 기술의 경우, 기지국 기반 측위 기술 (Cell-ID)에 비해 비교적 정확한 측위 성능(수십 m 수준)을 보인다. 하지만 Wi-Fi 인프라 환경에 따라 측위 정확도가 달라질 뿐만 아니라, Wi-Fi fingerprinting 데이터베이스가 없는 경우에는 측위 자체를 할 수 없는 단점이 있다 (Barcelo-Arroyo et al. 2007). GNSS를 활용할 수 없는 실내공간에서 긴급 측위의 성능을 높이기 위한 방안은 전국 단위의 Wi-Fi fingerprinting 데이터베이스를 구축하고 이를 지속적으로 관리하는 방안과 기지국 측위의 성능을 향상시키는 방안이 있지만, 현실적으로 단기간에 해당 시스템을 구축하거나

Received Aug 11, 2020 Revised Sep 01, 2020 Accepted Sep 02, 2020

[†]Corresponding Author

E-mail: takijin@kist.re.kr

Tel: +82-2-958-5717 Fax: +82-2-958-5709

Beomju Shin <https://orcid.org/0000-0002-3743-9127>

Jung Ho Lee <https://orcid.org/0000-0002-9000-4018>

Donghyun Shin <https://orcid.org/0000-0001-6378-7451>

Changsu Yu <https://orcid.org/0000-0002-0155-326X>

Hankyeol Kyung <https://orcid.org/0000-0002-3216-4099>

Taikjin Lee <https://orcid.org/0000-0001-6158-0705>

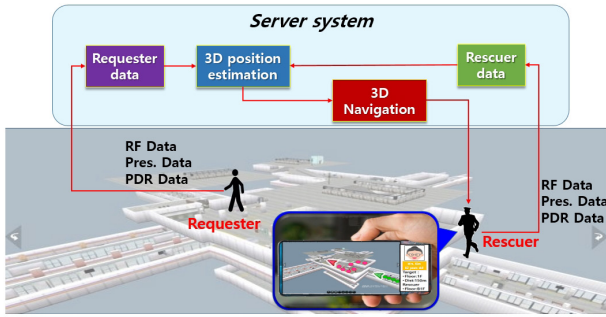


Fig. 1. The example of the proposed technology.

혹은 지속적으로 유지, 관리하는 것은 쉽지 않다.

본 논문은 긴급 측위 상황에서 LTE 신호를 이용한 새로운 측위 방법을 제시하고, 해당 기법의 유효성을 검증하려 한다. 현재 서비스되고 있는 긴급구조시스템의 위치 추정기법은 매우 짧은 시간에 측정된 LTE 신호의 신호세기 혹은 타이밍 측정치를 기반으로 구조자의 위치를 추정한다. 문제는 위치 오차가 수백 미터에 달하여, 구조자가 요구조자의 정확한 위치를 알 수 없게 되고, 이로 인해 골든 타임을 놓쳐 구조 실패로 이어질 가능성이 높다는 점이다. 반면 제안하는 방안은 수 m에서 수십 m 수준의 위치해를 제공하는 것을 목표로 한다. 위치해의 정확도를 향상시키기 위해, 제안 기법은 요구조자 단말에서 측정가능한 최근 수십 초에서 수분 정도의 LTE 신호세기를 사용한다. 이렇게 저장된 LTE 신호세기의 공간패턴을 이용하여, 보다 정확한 위치해를 추정하게 된다. 다만 이는 요구조자 단말의 측정치를 단시간에 일회성으로 사용하는 현재의 긴급구조시스템에는 적용할 수 없다. 다만 지속적으로 획득 가능한 LTE 신호세기 측정치를 긴급 측위에 이용하는 것은 기술적으로 문제가 없기 때문에, 정책적인 논의만 이루어진다면 얼마든지 적용 가능한 방안이다.

본 논문의 2장에서는 제안 기술을 소개한다. 3장에서는 제안 기술의 구성 및 제안 측위 알고리즘에 대하여 설명하고, 4장에서는 제안 시스템의 실험 결과에 대하여 기술한다. 그리고 5장에서 결론으로 마무리한다.

2. PROPOSED SYSTEM

제안 기술은 현재 서비스되는 긴급구조시스템이 일회성으로 기지국 신호를 수신하여 위치를 추정하는 것과 달리, 지속적으로 기지국 신호를 수신하고 이를 활용하여 위치를 추정하는 것을 특징으로 한다. Fig. 1은 제안하는 긴급 측위 시스템의 예시를 보여준다.

본 논문에서는 현재 서비스되는 이동통신 신호 중, 가장 많이 사용되는 LTE 신호를 사용하였다. LTE는 private Access Point (AP)가 많이 활용되는 Wi-Fi와 달리 통신 사업자가 관리하기 때문에, 기지국의 위치가 변하거나 새로운 기지국이 설치되는 등 통신망의 관리와 관련된 모든 사항이 통신 사업자에 의해 철저히 관리된다. 이러한 특징은 fingerprinting 방식에서 데이터베이스를 관리하는데 큰 장점이라 할 수 있다.

앞에서 언급한 것처럼 제안 기법은 수십 초 혹은 수 분 동안 LTE 신호세기 데이터를 패턴화하여 위치 정확도를 향상시키는 기법이다. 따라서 요구조자에 대한 위치해를 요청하는 순간부터 수십 초 혹은 수 분 후에 위치해의 제공이 가능해진다. 혹은 이러한 방법은 데이터가 모임에 따라 위치해의 정확도가 향상되는 것을 의미한다. 다만, 만약 요구조자가 긴급측위 요청 전부터 일정 기간 동안의 기지국 신호를 저장하고 있었다면, 요구조자에 대한 위치해를 요청하는 순간 바로 정확한 위치해를 추정할 수도 있다. 그렇지 않더라도, 요구조자 단말의 측정치를 지속적으로 획득할 수 있다면, 구조자가 현장에 출동하는 시간 동안 요구조자 단말의 추가적인 기지국 측정치를 획득할 수 있어, 구조자가 현장에 도착했을 때, 보다 정확한 요구조자의 위치해를 제공할 수 있을 것이다.

3. SURFACE CORRELATION BASED EMERGENCY RESCUE SYSTEM

3.1 Surface Correlation

제안 기술은 fingerprinting 기술에 기반한다. 요구조자의 스마트폰에서 측정되는 LTE 신호세기를 수집하고, 수집된 신호세기를 패턴화하여 측위에 활용한다. 다시 말해, 요구조자가 이동하는 동안 측정된 LTE 신호의 공간적 패턴(spatial pattern)을 fingerprinting 데이터베이스와 비교하여 위치를 추정하는 것이다. 기존 fingerprinting 방식에서는 최근 측정된 Received Signal Strength (RSS) 정보만을 활용하여 데이터베이스와 비교하기 때문에 위치 분별력이 매우 떨어진다. 특히 RF 신호를 방송하는 신호 송신기의 개수가 매우 적은 이동통신시스템에서는 사용이 쉽지 않다. 제안 기술은 요구조자가 움직이는 동안 누적된 LTE 신호세기의 공간적 패턴을 활용하여 위치 분별력을 높이는 방법으로 측위 정확도를 향상시킨다. 본 연구에서는 수신 신호세기의 공간적 패턴을 surface라 정의하며, Eq. (1)과 같이 행렬 형태로 나타낼 수 있다.

$$s^m = \begin{bmatrix} RSS_{x_1, y_1}^m & \cdots & RSS_{x_I, y_1}^m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ RSS_{x_1, y_J}^m & \cdots & RSS_{x_I, y_J}^m \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, s^m 은 총 M 개의 기지국 중 m 번째 기지국으로부터 수신된 신호에 대한 공간적 패턴이다. 해당 surface는 $(I \times J)$ 의 행렬로 구성되며, surface의 크기는 PDR 궤적의 길이에 따라 결정된다. RSS_{x_i, y_j}^m 는 PDR로부터 산출된 좌표 (x_i, y_j) 에서의 RSS 값을 나타낸다. Surface correlation 기술은 (Lee et al. 2019) 이렇게 생성된 surface를 데이터베이스 내에서 선택된 candidate와의 유사도 산출을 통하여, 가장 유사한 RSS 패턴을 갖는 candidate를 선택하게 된다. 생성된 surface와 candidate와의 유사도는 Eq. (2)와 같이 Euclidian distance를 기반으로 하여 결정된다.

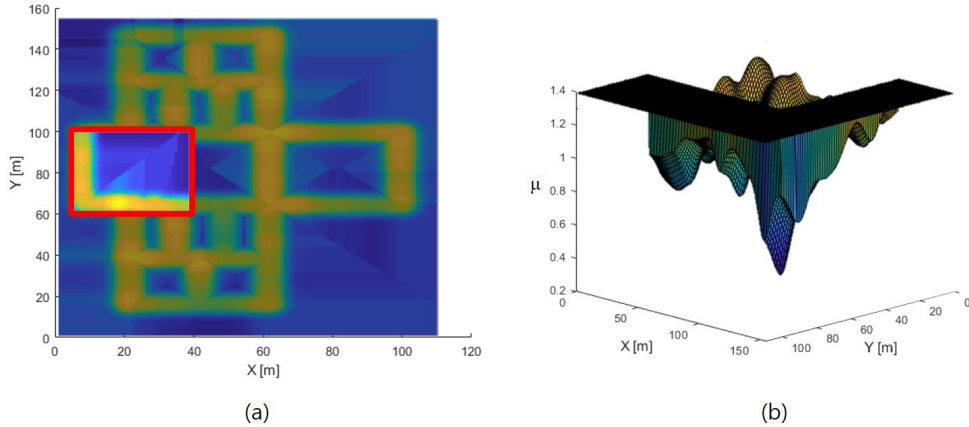


Fig. 2. Surface correlation (a) comparison between surface and database, (b) similarity pattern.

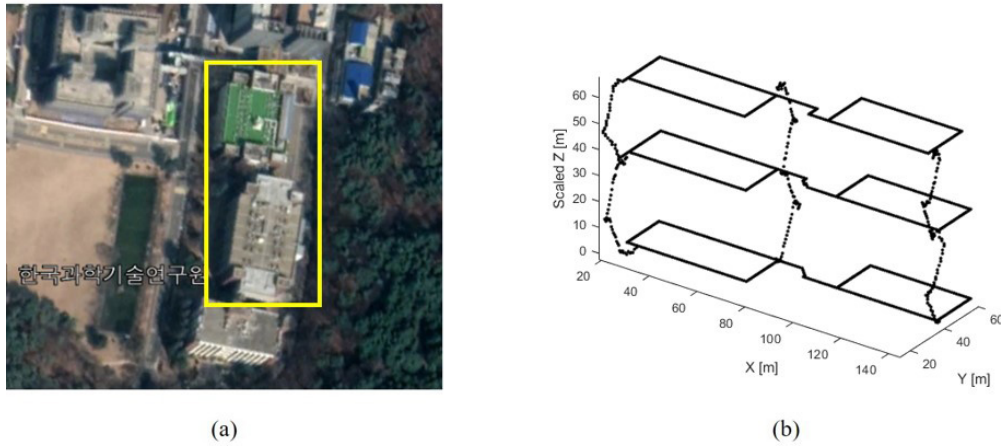


Fig. 3. Test site (a) test buildings, (b) reference points on test site.

$$\mu_{x_k, y_l} = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (s_{i,j}^m - DB_{i+k, j+l}^m)^2} \quad (2)$$

여기서, μ_{x_k, y_l} 는 데이터베이스 내 좌표 (x_k, y_l) 를 기준으로 생성된 candidate의 유사도를 나타낸다. $DB_{i+k, j+l}^m$ 는 데이터베이스 내에서 m 번째 기지국으로부터 좌표 (x_{i+k}, y_{j+l}) 에서 수신된 RSS 값을 의미한다. Fig. 2a는 요구조자의 스마트폰에서 생성된 공간적 RSS 패턴을 데이터베이스와 비교하는 과정이며, Fig. 2b는 이를 통하여 생성된 각 candidate에서의 유사도 패턴을 나타낸다. Fig. 2b에서 가장 낮은 유사도 값을 갖는 candidate가 현재 요구조자의 위치로 판단된다.

3.2 Fingerprinting Database

제안 기술은 일회성 RSS 측정치를 데이터베이스와 비교하는 기존의 fingerprinting 방식과 달리, 누적된 공간적 RSS 패턴을 데이터베이스와 비교하여 위치를 산출한다. fingerprinting 데이터베이스는 2차원 공간에 대해 surface 형태로 정의된다. 제안 기술에서의 데이터베이스는 Eq. (3)과 같이 행렬 형태로 정의된다.

$$DB^m = \begin{bmatrix} RSS_{x_1, y_1}^m & \cdots & RSS_{x_K, y_1}^m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ RSS_{x_1, y_L}^m & \cdots & RSS_{x_K, y_L}^m \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, DB^m 은 m 번째 LTE 기지국으로부터 수신된 RSS 데이터베이스를 의미한다. RSS_{x_k, y_l}^m 는 좌표 (x_k, y_l) 인 RP에서의 RSS 값을 나타낸다. 본 연구에서는 PDR를 활용하여 정해진 경로를 따라 움직이는 데이터베이스 수집자의 개략적인 위치를 산출한다. 수집자의 턴 정보를 기준으로 map-matching 알고리즘을 적용함으로써 보다 정확한 위치를 산출하게 된다. 이렇게 산출된 위치가 RP의 좌표로 정의된다.

앞에서 언급한 바와 같이, surface correlation 기법을 적용하기 위해서는 수집된 경로상에서의 RSS 뿐만 아니라 실내 공간 전체에 대한 RSS 정보를 정의하여야 한다. 이를 위하여, 제안 기술은 RSS 수집 경로 주변으로 가상의 RP를 생성한다. 이 가상 RP에서의 RSS는 Eq. (4)와 같이 stretched-exponential function 기반의 RSS 전파 모델 (AlAmmouri et al 2017)을 통해 정의된다.

$$RSS_v = RSS_n - \frac{RSS_0}{1 + e^{(5 + \alpha d)}} \quad (4)$$

여기서, RSS_v 는 가상 RP에서의 RSS 값을 의미하며, RSS_n 은 가상

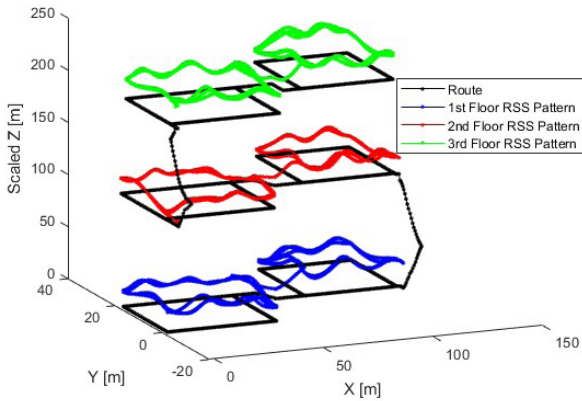


Fig. 4. RSS patterns for the fingerprinting database on each floor.

RP에서 가장 가까운 수집 경로상의 RP를 의미한다. RSS₀는 수신 가능한 LTE RSS의 최대 값으로, 본 연구에서는 -45 dBm으로 설정하였다. α 는 감쇄 상수로 거리 n 번째 RP로부터의 거리 d 에 따른 RSS 감쇄 정도를 결정한다. 요구조자가 이동하며 생성된 공간적 RSS 패턴은 실제 길로 매칭이 되어야 하며, 이를 유도하기 위하여, 거리에 따른 RSS 감쇄 정도가 커야 한다. 하지만, PDR을 기반으로 생성되는 RSS 패턴은 drift 오차가 존재하기 때문에 이를 함께 고려한 감쇄 상수가 선정되어야 한다. 본 연구에서는 이를 고려하여, 감쇄 상수를 2로 설정하였다.

4. PERFORMANCE ANALYSIS

4.1 Test Environment

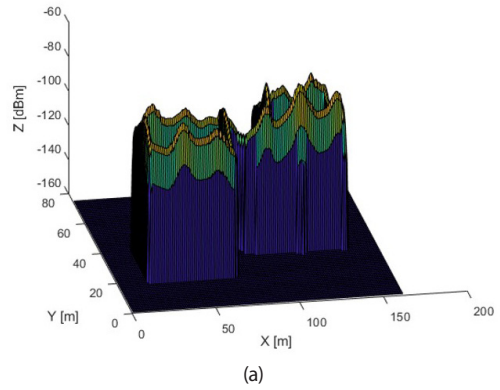
제안된 기술의 성능을 분석하기 위하여, 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 독립된 두 건물에서 테스트를 수행하였다. 이 두 건물은 2층과 3층이 모두 구름다리로 연결된 구조이다.

위 테스트 영역에서 데이터베이스를 구축하기 위하여, Samsung Galaxy S10 기종을 활용하였다. 데이터베이스 생성을 위하여 활용된 데이터는 아래와 같다.

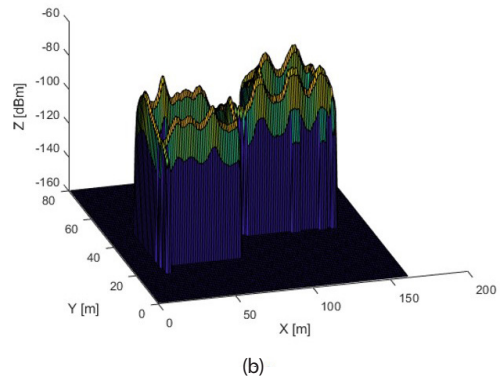
- 가속도 센서 및 자이로 센서: 40 Hz
- 기압 센서: 40 Hz
- LTE Physical Cell ID (PCI) 및 RSS: 0.5 Hz

데이터베이스 구축을 위해 Fig. 3b와 같이 정해진 경로를 따라 1층부터 3층까지 여러 번 반복 이동하며, 데이터를 수집하였다. 수집된 센서데이터를 기반으로 개략적인 PDR 경로를 산출하였으며, map-matching 알고리즘을 적용하여 Fig. 4와 같이 보다 정확한 RP의 좌표를 생성하였다.

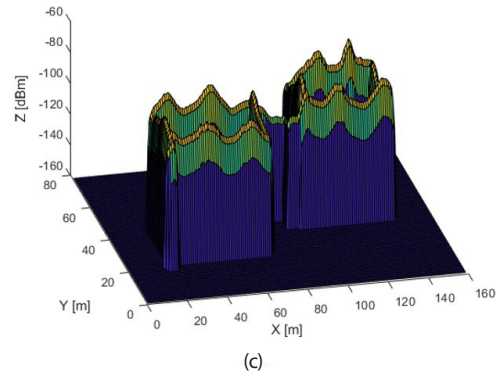
이렇게 생성된 RP에 stretched-exponential function 기반의 RSS 전파 모델을 적용하여 Fig. 5와 같이 각 층별 RSS 데이터베이스를 생성하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 테스트 환경에서 활용 가능한 LTE PCI는 단 1개이다. LTE 신호의 신호 도달 거리는 일반적으로 Wi-Fi 보다는 길고, 또한 실내에서는 다수의 repeater를 사용한다. 이러한 문제로 인해 실내 환경에서 기존의 fingerprinting 기법을 사용한 위치 분별력이 매우 떨어진다. 제안



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Fingerprinting database for each floor (a) 1st floor, (b) 2nd floor, (c) 3rd floor.

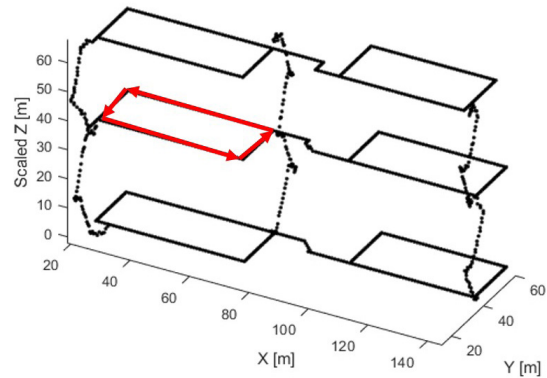


Fig. 6. Test route for performance check.

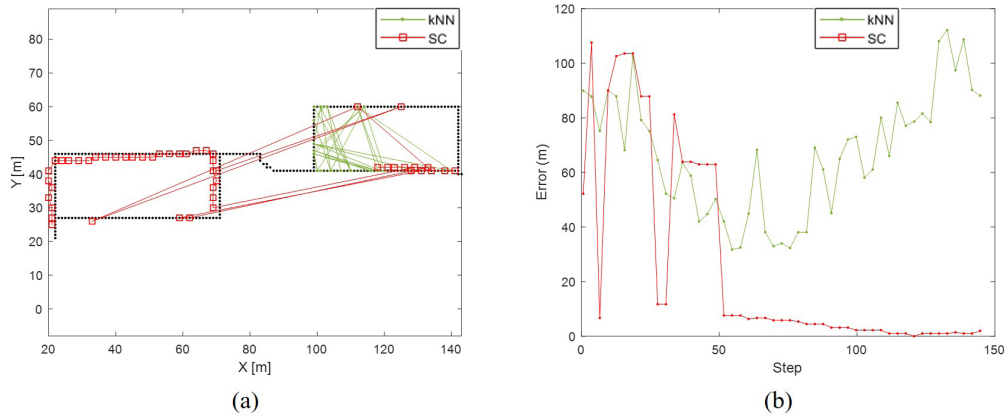


Fig. 7. Localization results of kNN-based fingerprinting method and surface correlation (a) localization results, (b) localization errors.

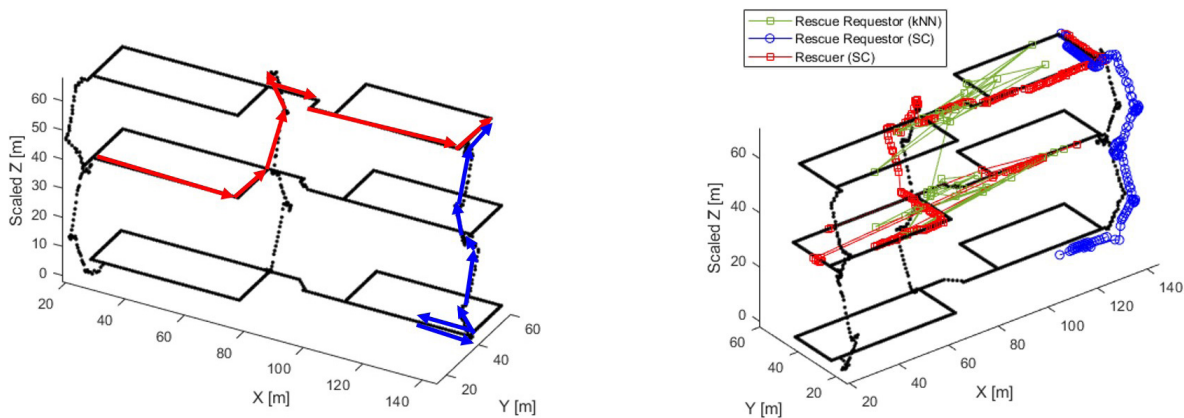


Fig. 8. Test routes for rescue requester and rescuer.

기술은 누적된 RSS 패턴을 활용함으로써 위의 테스트 환경에서도 정확한 위치 추정이 가능하다.

4.2 Performance Analysis

제안 기술의 정확도를 검증하기 위하여, Fig. 6의 경로와 같이 테스트를 수행하였다. Surface correlation 성능 검증을 위하여, 기존 kNN 기반의 fingerprinting 기법과 성능을 비교하였다. 실제 긴급 측위에 활용되고 있는 TDOA 기반 측위 기술은 timing 정보를 활용하고, 또한 기지국 위치정보를 이용하기 때문에, 이동통신사의 지원 없이 위치해 계산이 어렵다. 다만 위치 정확도는 수백 m 수준으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 제안 surface correlation 기술처럼 신호세기를 사용하는 fingerprinting 기법인 kNN과의 성능 비교를 수행하였다. Fig. 7은 kNN surface correlation의 측위 결과이다. Fig. 7a와 같이, 기존 fingerprinting 기술은 일회성 기지국 신호를 활용하기 때문에 위치 분별력이 떨어진다. 하지만, 제안 기술은 누적된 RSS 패턴을 활용하기 때문에 위치 분별력이 향상되어 보다 정확한 위치정보를 제공할 수 있다. 특히, Fig. 7a와 같이 51 step 이후로 매우 정확한 위치 정보를 제공할 수 있다. 51 step 이전에는 RSS 패턴이 충분히 누적되지 못하여 위치 분별력이 떨어지기 때문에 위치

오차가 크게 발생하였다. 위치 분별력이 크게 향상되는 51 step 이후, 제안 기술은 3.42 m의 Root Mean Square Error (RMSE) 오차를 보였다. kNN 기반 fingerprinting 기법은 66.78 m의 RMS 오차를 보였다.

제안 기술을 활용하여 긴급 측위 기술에서의 활용 가능성을 파악하고자, Fig. 8과 같이 요구조자 및 구조자가 각각 2층에서 3층으로, 1층에서 3층으로 움직여 서로 만나는 테스트를 수행하였다. Surface correlation을 기반으로 한 측위를 수행하기 위하여, 기압 센서를 활용하여 층을 판단하였다. 해당 층에서의 데이터베이스와 PDR을 통해 생성된 surface를 비교하여 위치를 산출하였다.

Fig. 9는 surface correlation 기술을 통하여 산출된 요구조자와 구조자의 위치 결과이다. 기존의 fingerprinting 기법은 활용 가능한 LTE PCI가 단 1개인 테스트 환경에서 위치 분별력이 매우 떨어지기 때문에 요구조자의 위치를 정확하게 파악하지 못한다. 비록, 초기에는 surface correlation 기술 역시 매우 부정확한 위치 정보를 제공하지만, 특정 시점(수렴 시점) 이후로는 정확한 위치를 제공하는 것을 볼 수 있다. PCI가 하나만 활용 가능한 테스트 환경에서 패턴이 충분히 누적되지 않은 초기에는 위치 분별력이 매우 떨어져, 실제 위치한 건물이 아닌 다른 건물에서 위치가 산출되는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 충분한 패턴이 누적된 이후에는 매우 정확하게 위치가 추정되는 것을 확인할 수 있다.

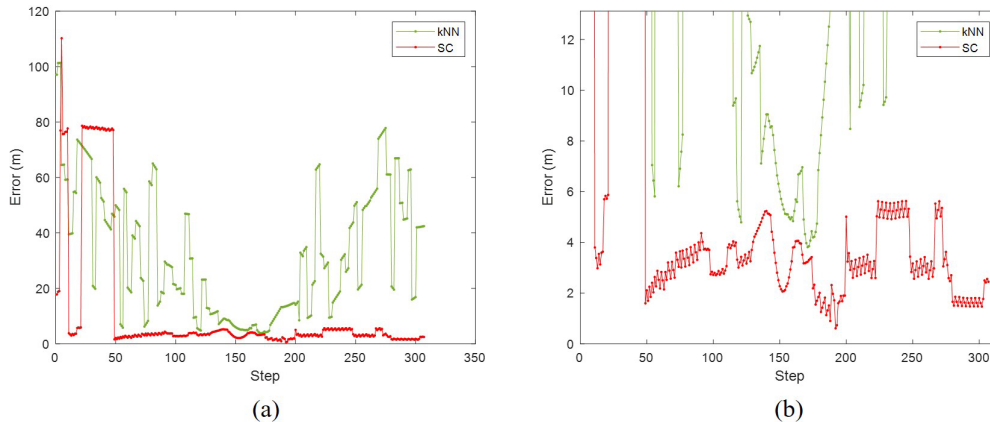


Fig. 10. Localization error of the rescue requestor (a) localization error on each step, (b) localization error except initial error.

Fig. 10a는 요구조자에 대한 위치 오차를 나타낸다. 기존 fingerprinting 기법의 경우, 위치 분별력이 떨어져 실제 요구조자가 위치한 건물이 아닌 옆 건물에서 위치가 추정되는 등 정확도가 매우 떨어져 39.68 m의 RMS 오차를 보였다. 위에서 언급한 바와 같이, surface correlation 기술은 충분한 RSS 패턴이 누적되기 이전인 50 step 이전에는 매우 큰 위치 오차를 보이는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 위치 분별력이 높아지는 50 step 이후에는 위치 오차가 6 m 이내로 매우 정확한 것을 확인할 수 있다. 위 결과에서 50 step은 32 m로, surface correlation 기술이 오직 하나의 PCI가 활용 가능한 LTE 환경에서 위치 분별력을 갖기 위한 거리이다. 50 step 이후, 제안 기술은 3.38 m의 RMS 오차를 보였다. 제안 기법은 단 한개의 LTE 기지국만 존재하는 실내 환경에서 누적된 RSS 패턴을 활용함으로써, 위치 정확도를 향상시킬 수 있었다. 다만 초기에 위치해가 수렴하는 시간이 필요한데, 긴급구조 서비스의 경우 구조자가 출동하여 현장에 도착하는데 일정 시간이 소요됨을 감안한다면, 수용 가능한 약점이라고 판단된다.

5. CONCLUSIONS

본 논문에서는 긴급구조시스템에서 위치 정확도를 향상시키기 위한 위치인식 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 LTE 신호세기를 누적하여, 공간 패턴을 형성하고, 이를 기반으로 위치를 추정하는 기법이다. 제안 알고리즘에 대한 성능 검증을 위해 3층 실내 건물에서 위치인식 실험을 수행하였다. 해당 건물에서는 단 한개의 LTE 기지국 신호만 사용 가능했다. 제안 알고리즘은 이러한 환경에서도 수 m 수준의 위치해를 제공할 수 있었다. 다만 제안 알고리즘이 신호세기 측정치를 누적하여 패턴을 형성하는 방식이기 때문에, 측정치가 충분히 누적되기 전에는 위치해의 정확도가 떨어지는 문제를 안고 있다. 이러한 기술적 약점 극복을 위해 초기 수렴 시간을 줄이는 방안에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

그럼에도 불구하고, 긴급구조서비스의 특성 상, 구조자가 현장에 도착하는데 일정 시간이 소요되는 바, 제안 기술을 긴급구조시스템에 적용함으로써 얻을 수 있는 장점이 더 많다고 판단된다.

다. 특히 Wi-Fi 신호가 없는 지하주차장과 같은 공간에서도 수 m 수준으로 요구조자의 위치를 획득할 수 있다는 점은 큰 장점이라 판단된다. 이를 위해서는 보다 다양한 환경에서의 실험과 검증이 필요하다고 생각된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2019-0-01401, Multi-source-based 3D Emergency LOCALization using machine learning techniques (MELOC)).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

This work was undertaken with collaboration among all authors. B. S. and J. L.; conceptualization, methodology, formal analysis. D. S. and C. Y.; software, H. K.; resources, T. L.; conceptualization, review and editing.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- AlAmmouri, A., Andrews, J. G., & Baccelli, F. 2017, SINR and throughput of dense cellular networks with stretched exponential path loss, *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17, 1147-1160. <https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2776905>

Barcelo-Arroyo, F., Ciurana, M., Watt, I., Evenou, F., De Nardis, L., et al. 2007, Indoor location for safety application using wireless network, 1st ERCIM Workshop on Mobility, 21 May 2007, Coimbra, Portugal.

Federal Communications Commission, Wireless E911 Location Accuracy Requirements [Internet], cited 2010 Sept 23, available from: <https://www.fcc.gov/document/wireless-e911-location-accuracy-requirements-5>

Frobe, W., Gates, H. M., Hsieh, T. Y., Shrinivasan, V., & Wolfe, V. 2014, Feasibility study of utilizing 4G LTE signals in combination with unmanned aerial vehicles for the purpose of search and rescue of avalanche victims, University of Colorado at Boulder Research Report

Goetz, A., Rose, R., Weigel, R., & Zorn, S. 2011, A time difference of arrival system architecture for GSM mobile phone localization in search and rescue scenarios, in 2011 IEEE Workshop on Positioning, Navigation and Communication, Dresden, Germany, 7-8 April 2011

Joshi, R., Kulkarni, A., Leong, W. K., Leong, B., & Wang, W. 2013, Feasibility study of mobile phone WiFi detection in aerial search and rescue operations, in 4th Asia-Pacific workshop on systems, NY, USA, 29-30 July 2013

Lee, J. H., Shin, B., Shin, D., Park, J., Ryu, Y. S., et al. 2019, Surface correlation-based fingerprinting method using LTE signal for localization in urban canyon, *Sensors*, 19, 3325. <https://doi.org/10.3390/s19153325>



Beomju Shin received the B.S. and M.S. degrees in information and communication engineering from Sejong University, Seoul, South Korea, in 2010 and 2012, respectively. From 2012 to 2014, he was a researcher with the Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul.

In 2020, he received Ph.D. degrees in School of Mechanical and Aerospace Engineering in Seoul National University. He has been working as a postdoctoral research at Korea Institute of Science and Technology. His current interests include pattern recognition, machine learning, and indoor navigation system.



Jung Ho Lee received B.S. degree in Hongik University and M.S. degree in Korea University, in 2010 and 2012, respectively. Also, he is Ph.D. candidate in Korea University, Seoul, Korea. He has been with Korea Institute of Science and Technology in Sensor System Research Center since 2012. His area of interests are

wireless communication, indoor navigation.



Donghyun Shin received the B.S. and the M.S degree in the Aerospace Engineering from Sejong University, Seoul, South Korea, in 2017 and 2019. He is working in the Korea Institute of Science and Technology as a navigation engineer, since 2019. His research interests are GPS, IMU, navigation using the smartphone and MEMS-based pedestrian dead reckoning.



Changsu Yu received his B.S in the Mechanical Engineering from Seoul National University of Science and Technology, Seoul, South Korea in 2019. He is working in the Korea Institute of Science and Technology in Sensor System Research Center since 2019. His area of interests are indoor navigation, IMU and pedestrian

dead reckoning.



Hankyeol Kyung received B.S. degree in SEOULTECH, in 2019. Also, he is M.S. candidate in Korea University. His research interests are indoor navigation, reinforcement learning.



Taikjin Lee received the B.S. and Ph.D. degrees in School of Mechanical and Aerospace Engineering in Seoul National University, Seoul, Korea in 2001 and 2008, respectively. In 2008, he was with the School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University where he was a postdoctoral fellow.

Since 2010, he has been with Korea Institute of Science and Technology as a senior researcher. The areas of interests are indoor navigation system, pattern recognition, and sensor network.