DBpia

논문 20-45-07-14 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '20-07 Vol.45 No.07
https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.7.1234

장애물 이동 환경에서 실시간 최적 차 핑거프린트 기반 실내 위치추정 알고리즘

김 태 완◆, 이 동 명°

Indoor Localization Algorithm Based on Real-Time Minimal Difference Fingerprint in NLoS Mobile Environment

Tae-Wan Kim◆, Dong Myung Lee°

요 약

최근 스마트 기기(Smart Device)의 보급이 늘어남에 따라 실내 위치측위에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 추세에 따라 본 논문은 장애물 기반 NLoS (non-line of sight) 이동 환경에서의 실내 위치측위에 있어서 기존의 기법에 비해 실시간 처리 속도 및 위치추정 정확도가 우수한 실시간 최적 차 핑거프린트 알고리즘 (real-time minimal difference fingerprint algorithm, RMDFA)을 제안하였다. 또한, 본 논문에서는 제안한 알고리즘 (RMDFA)의 성능을 위치추정 정확도, 평균 및 최대 누적 오차거리, 그리고 평균 측정시간 항목에 대해 일반적인 핑거프린트 알고리즘 (general fingerprint algorithm, GFA) 및 가우시안 분포 핑거프린트 알고리즘 (Gaussian distribution fingerprint algorithm, GDFA)과 서로 비교하였다. 실험결과, 제안한 RMDFA는 GFA와 GDFA에 비해 98.6%의 실내 위치추정의 정확도와 37% 이상의 실내 위치추정 측정시간 단축이 가능함을 확인하였다.

Key Words : Wi-Fi, NLoS, Fingerprint, Indoor Localization, Real-time Minimal Difference

ABSTRACT

Recently, as the spread of smart devices increases, interest in indoor positioning is increasing. In accordance with this trend, this paper proposes the RMDFA (real-time minimal difference fingerprint algorithm) with higher real-time processing speed and localization accuracy compared to conventional indoor localization algorithm in an obstacle-based non-line of sight (NLoS) mobile environment. In addition, in this paper, the performance of the proposed algorithm (RMDFA) is compared with the GFA (general fingerprint algorithm) and the GDFA (Gaussian distribution fingerprint algorithm) for localization accuracy, average and maximum cumulative error distances, and average measurement time. As a result of the experiment, it was confirmed that the proposed RMDFA has an indoor localization accuracy of 98.6% and an indoor localization measurement time reduction of more than 37% compared to GFA and GDFA.

Ⅰ. 서 론

최근 스마트 기기 (smart devices)의 보급이 늘어남에 따라 위치기반서비스 (location-based service, LBS) 연구가 활발하게 진행되고 있다. LBS 기술 중 가장 보편적으로 사용하고 있는 GPS (global

※ 이 논문은 2019년도 BB21+사업에 의하여 지원되었음.
◆ First Author : Department of Computer & Media Engineering, Tongmyong University, wanykt@gmail.com, 학생(박사), 학생회원
° Corresponding Author : Department of Computer Engineering, Tongmyong University, dmlee@tu.ac.kr, 정교수, 종신회원
논문번호 : 202002-038-C-RN, Received February 27, 2020; Revised April 19, 2020; Accepted April 28, 2020

www.dbpia.co.kr

positioning system)는 자동차 네비게이션, 군용무기, 드론 등에서 사용되고 있다. 그러나 GPS의 경우 실내 및 고층 빌딩 사이의 환경에서는 낮은 신호품질 현상 때문에 실제 사용하기 어려운 경우가 빈번하게 발생하고 있다. 이와 같은 문제점의 개선과 안정적인 위치 기반서비스 제공을 위하여 근거리 통신기술을 활용한 실내 위치측위 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-3].

본 논문에서는 Wi-Fi 신호를 이용하고 장애물 환경인 NLoS (non-line of sight)에서 최소 Wi-Fi AP (access point)로 신호세기를 측정하여 다양한 환경적 요인으로부터 위치추정의 정확도를 개선할 수 있는 실시간 최적 차 핑거프린트 알고리즘 (real-time minimal difference fingerprint algorithm, RMDFA)을 제안하였다. 이 알고리즘에서 사용한 실내위치추정 방법은 기존의 DMFPA (difference means based on fingerprint)[4]를 근간으로 하고, 이동 환경에서의 위치추정 정확도와 실시간 처리속도 성능을 개선한 점이 특징이다.

Ⅱ. 관련연구

Wi-Fi 환경에서 주로 사용되는 위치추정 방법으로 핑거프린트 (fingerprint) 방법과 삼변측량법 (trilateration)이 있다. 핑거프린트 방법은 미리 구축된 학습데이터를 기반으로 확률적으로 위치를 추정하면 삼변측량법보다 더 정밀한 위치추정이 가능하다.

그러나 핑거프린트 방법은 무선 신호세기를 이용하여 위치를 추정하기 때문에 신호품질에 따라 정확도가 달라지는 한계가 있다. 또한 미리 신호지도를 생성하여야 하며 참조구역이 늘어남에 따라 측정시간도 비례하여 증가하는 단점을 가진다[4-7]. 아울러 이 방법은 여전히 위치추정의 한계를 가지고 있으며, 참조구역 (reference point, RP) 수가 많아질수록 실시간 위치추정을 위한 측정시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다[7-16].

실내 위치추정에 핑거프린트 기반의 가우시안 분포 (Gaussian distribution)를 이용한 알고리즘도 제안되고 있다. 이 알고리즘은 Wi-Fi 신호세기 지도의 학습단계와 실시간 위치추론 단계로 구성된다. 이 알고리즘의 특징은 연속적인 위치에서 신호세기 측정 및 위치추정이 가능하며, 학습데이터의 지역적 밀도를 이용하기 때문에 신호세기에 잡음이 포함되어 있더라도 일반적인 핑거프린트 방법에 비해 거 개선된 위치추정이 가능하다. 그러나 가우시안 분포 계산과정이 복잡하고 참조구역의 수가 많아질 경우 계산 시간이 늘어나 실시간 위치추정에 어려움이 발생한다[4-6,17-18].

[4]에서 제안된 DMFPA는 두 단계로 구성된다. 핑거프린트 학습 단계는 측정 구역설계, Wi-Fi AP 배치 설계, Wi-Fi 정보측정, 신호지도 DB구축 순으로 진행되고, 실내 위치추정 단계는 측정구역 이동, Wi-Fi 정보측정, DMFPA 수행, 위치추정 서비스 순으로 구성된다[4-6].

Ⅲ. 장애물 환경에서 실시간 최적 차 핑거프린트 실내 위치추정 알고리즘

본 논문에서는 2개의 듀얼 주파수 (2.4GHz, 5GHz) Wi-Fi AP를 이용하여 장애물 이동 환경에서 실시간 실내 위치추정 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 RMDFA는 위치추정 정확도 및 실시간 처리속도 측면에서 기존 핑거프린트 방법에 비해 우수한 성능을 내도록 설계되었다.

3.1 제안한 실내 위치추정 알고리즘의 구성

RMDFA는 그림 1과 같이 핑거프린트 학습 단계와 실내 위치추정 단계의 두 단계로 구성된다. 제안한 RMDFA의 단계는 [4]와 같이 두 단계 이지만 각 단계별 방법이 다르다. 핑거프린트 학습 단계에서는 환경 구축, AP 배치, RSSI 데이터 측정, 신호지도 학습이 진행되며, 실내 위치추정 단계에서는 이동 경로 설정, RSSI 데이터 측정, RMDFA 수행, 위치계산, 위치추정 서비스가 진행된다.

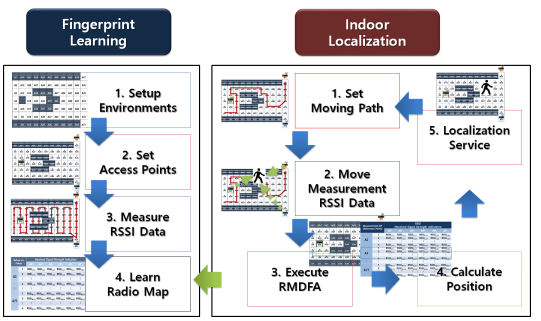

그림 1. 제안한 실내 위치추정 알고리즘 구성
Fig. 1. Configuration of proposed algorithm (RMDFA).

3.2 핑거프린트 학습 단계

3.2.1 환경 구축 및 AP 배치

제안하는 RMDFA은 핑거프린트 학습 단계에서 환경 구축 및 AP를 그림 2와 같이 11m × 7m 내에서 1m 간격으로 77개의 참조구역으로 배치하여 구성하

www.dbpia.co.kr

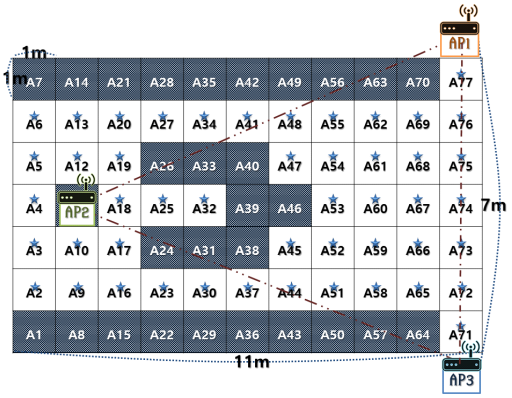

그림 2. 실내위치추정 환경 구축 및 AP 배치
Fig. 2. Environment setup and AP arrangement for indoor localization.

였다[4]. 여기에서 장애물을 제외한 이동 가능 경로의 참조구역은 48개이며, 3개의 AP를 삼각형 형태로 A77, A11 및 A71 구역에 AP_1, AP_2 및 AP_3을 각각 배치하였다.

3.2.2 RSSI 데이터 측정 및 신호지도 학습

핑거프린트 학습 단계에서 RSSI 데이터 측정 방법은 그림 3과 같다[4]. 위치추정 정확도 성능개선을 위하여 듀얼 주파수 (AP: 2.4GHz, AP': 5GHz) 통신이 가능한 AP를 참조구역에 배치하였다. 장애물 환경으로 이루어진 이동 가능 경로의 참조구역 에서 AP로부터 RSSI 데이터를 n번 측정하여 $AP_{1\sim3}$, $AP'_{1\sim3}$ 항목으로 저장한다.

신호지도 학습은 각 참조구역에서 저장된 AP로 부터 수집된 n개의 RSSI 데이터를 측정하여 식 (1)을 이용하여 계산한다. 여기에서 i는 각 참조구역 위치, j는 각 참조구역에서의 AP, k는 해당 AP에서 측정한 RSSI 개수이다[4].

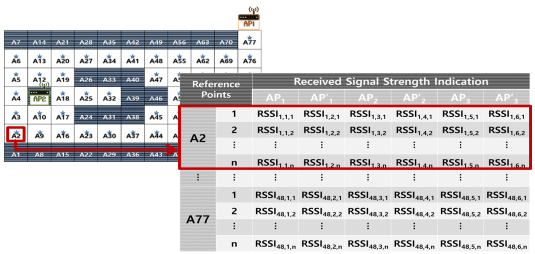

그림 3. 신호지도 학습을 위한 RSSI 데이터 측정 방법
Fig. 3. RSSI data measuring method for learning of radio map.

$$AVR_{ij} = (\sum_{k=1}^{n} RSSI_{ijk})/n \quad (1)$$

3.3 실내 위치추정 단계

3.3.1 이동 경로 설정 및 RSSI 데이터 측정

이동 환경에서 실시간 위치추정을 위한 이동 경로는 그림 4에서 보는 바와 같이 사용자가 참조구역 A2에서 시작하여 장애물을 피해 참조구역 A77로 이동하여 장애물을 빠져 나가도록 설정하였다. 장애물은 그림 4의 중앙에 표시된 6개의 참조구역에 설치가 되었다.

그림 4. 실시간 위치추정을 위한 이동경로 설정
Fig. 4. Moving path setup for real-time localization.

3.3.2 제안 알고리즘(RMDFA) 및 위치계산

제안 알고리즘인 RMDFA에서 위치는 식 (2)를 사용하여 계산된다. $Position_{(x,y)}$는 현재 추정된 위치좌표이며, 실시간 위치좌표 추정은 학습된 신호지도 데이터 $RadioMap_{(i,j)}$에서 현재 측정된 $RSSI_{(j)}$의 차의 합의 결과가 최소가 되는 참조구역으로 결정된다. i는 현재 학습된 신호지도 위치를, j는 측정된 AP 정보를 각각 의미한다.

$$P_{osition\,(x,y)} \leftarrow Min\,(repeat_{i=1}^{n}(\sum_{j=1}^{n}|R_{adioMap(i,j)} - R_{SSI(j)}|))_{(x,y)} \quad (2)$$

RMDFA 및 위치계산 과정은 그림 5의 매크로 코드의 Line 1~9)와 같다.

- Line 1: RMDFA는 이전의 측정된 현재 위치 정보 (*current*)와 측정된 RSSI 정보 (*measure*)를 입력으로 실행된다.

www.dbpia.co.kr

```
1)  procedure RMDFA (current, measure)
2)  For i = 1 in length of RadioMap
3)     compare = RadioMap(i)
4)     For j = 1 in length of measure
5)        compare.total += abs(compare.rssi(j) - measure.rssi(j))
6)        If compare.total > current.total then
7)           continue
8)     current = compare
9)  return current
```

그림 5. RMDFA의 매크로 코드
Fig. 5. Macro code on RMDFA.

- Line 2~8: 참조구역 크기 (*length of RadioMap*) 만큼 반복하여 알고리즘을 수행한다.
- Line 3: 이미 학습한 신호지도 정보 (*RadioMap*)에서 비교할 신호 지도 정보 (*compare*)를 가져온다.
- Line 4~7: 현재 측정된 RSSI 정보의 AP 크기 (*length of measure*)만큼 반복적으로 계산한다.
- Line 5: 비교할 신호 지도 정보 (*compare*)의 합계 (*total*)에 비교할 신호 지도 정보의 AP 신호세기 (*rssi*)와 측정 AP 신호세기 (*rssi*) 차를 계산하고 절대값 (abs)을 계산하여 기존의 합계에 더하여 저장한다.
- Line 6~7: 만약 비교할 신호 지도 정보의 합계가 현재 위치 정보의 합계보다 크면 Line 4~7이 종료되고, Line 3 다음 신호세기 정보를 비교한다.
- Line 8: Line 4~7의 계산이 정상적으로 종료되면 현재 위치 정보에 비교할 신호 지도 정보를 저장한다.
- Line 9: 모든 신호지도 정보의 비교 계산을 수행하게 되면 현재 위치 정보를 반환한다.

Ⅳ. 실험 및 성능분석

4.1 측정 및 실험환경

4.1.1 RSSI 데이터 측정 및 실험환경

Wi-Fi RSSI 데이터 측정 환경은 Octa-Core 1.9GHz + 1.3GHz CPU와 3GB의 메모리를 가진 삼성 갤럭시 Note4 S-LTE 장치에서 안드로이드 6.0 버전의 OS, Andorid API 21 기반으로 구축되었다[4]. 아울러 실험 및 성능분석 환경은 Intel Dual-Core 3.4GHz의 CPU와 8GB의 PC에서 Windows 10 Professional x64 OS로 구축되었고, SW는 .net C# framework 4.5 기반으로 구현되었다.

4.1.2 실내 측정 환경

실내 측정은 본 대학 제1정보통신관 중앙 출입구에서 실시되었으며, 장애물 및 AP를 그림 6과 같이 배치하였다[4]. 그리고 사용자가 본 대학교 중앙 출입구로 들어와 장애물을 피해 복도로 이동하도록 이동 경로를 설정하였다.

그림 6. 실내 측정 환경
Fig. 6. Measurement environment on indoor space.

4.1.3 성능분석 방법 및 항목

제안한 실내 위치추정 알고리즘인 RMDFA의 성능은 일반적인 핑거프린트 알고리즘 (general fingerprint algorithm, GFA) 및 가우시안 분포 핑거프린트 알고리즘 (Gaussian distribution fingerprint algorithm, GDFA)과 100회 비교실험을 통해 분석되었다.

4.2 성능분석

4.2.1 위치추정 정확도

참조구역의 위치추정 정확도는 그림 7에서 보는 바와 같이 평균 98.6%로 GFA 보다 2.2% 높고 GDFA 보다 16.9% 높은 것으로 확인되었다.

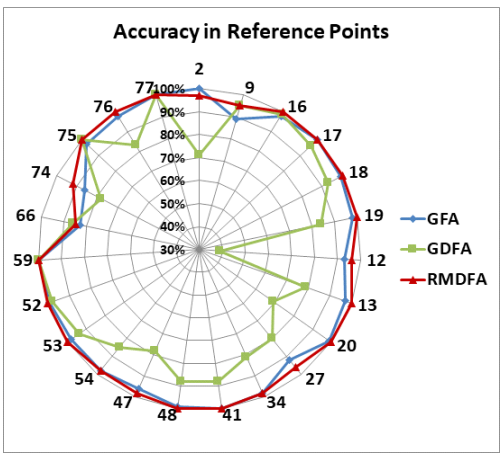

그림 7. 참조구역의 위치추정 정확도
Fig. 7. Localization accuracy in reference points.

www.dbpia.co.kr

4.2.2 평균 및 최대 누적 오차거리

참조구역에서 측정된 평균 (왼쪽) 및 최대 (오른쪽) 누적 오차거리는 그림 8과 같다. 제안한 RMDFA의 평균 오차는 0.65m이며, 이는 GFA의 1.63m, GDFA의 2.51m 보다 각각 0.98m, 1.86m 작다. 또한 제안한 RMDFA의 최대 오차 평균은 0.87m이며, 이는 GFA의 1.83m, GDFA의 3.21m 보다 각각 0.96m, 2.34m 작다.

제안한 RMDFA의 평균 누적 오차거리는 15.04m으로 GFA의 37.44m, GDFA의 57.64m 보다 2배 이상 짧음을 확인하였다. 제안한 RMDFA의 최대 누적 오차거리는 20.12m로 GFA의 41.99m, GDFA의 73.77m 보다 각각 21.87m, 53.65m 작다. 최대 누적 오차거리도 평균 누적 오차거리의 경우와 마찬가지로 GFA와 GDFA 보다 2배 이상의 짧음을 알 수 있다.

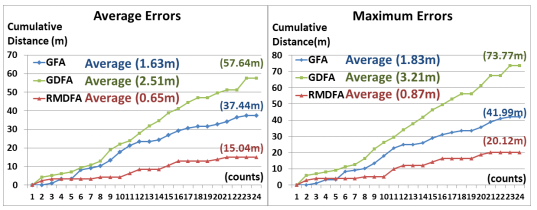

그림 8. 평균(왼쪽) 및 최대(오른쪽) 누적 오차거리
Fig. 8. Cumulative error distances of average (left) and maximum (right).

4.2.3 평균 측정시간

참조구역마다 평균 측정 시간은 그림 9에서 보는 바와 같다. 제안한 RMDFA은 68.15ms로 GFA의 109.29ms, GDFA의 122.59ms 보다 각각 41.14ms, 54.44ms로 측정 시간이 감소되었음을 확인하였다.

따라서 제안 알고리즘인 RMDFA의 처리속도는 GFA와 GDFA 보다 각각 37.7%, 44.4% 향상되었다. 그러나 참조구역 A16, A18, A27에서 측정시간은 80ms로 평균 값 보다는 측정시간이 더 소요되었지만 GFA, GDFA 보다는 작은 값임을 확인하였다.

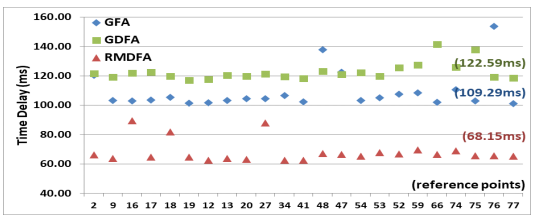

그림 9. 참조구역의 평균 측정시간
Fig. 9. Average measurement time in reference points.

V. 결 론

저자는 이전 연구논문인 [4]에서 LOS (line of sight) 환경에서 이동 환경 및 신호지도 DB를 구축하여 성능분석용 시뮬레이터를 통해 각 참조구역별 성능시험을 진행한 바 있다. 본 논문에서는 장애물 이동 환경에서 위치추정 알고리즘의 속도를 개선하기 위해 [4]의 DMFPA보다 개선된 RMDFA을 제안하고 실험을 통해 성능을 분석하였다.

제안한 RMDFA는 GFA와 GDFA를 비교해서 37% 이상 짧은 실내 위치추정 측정 시간과 98.6%의 높은 실내위치추정의 정확도를 보였다. 발생된 평균 누적 오차거리는 0.65m, 발생된 최대 누적 오차거리는 0.87m로 기존의 GFA 및 GDFA에 비해 낮음을 확인하였다. 이는 장애물 이동 환경에서 제안한 알고리즘이 실내위치추정 성능 향상에 도움이 됨을 의미한다.

향후에는 제안한 RMDFA를 기반으로 실제 건물 전체의 실내 환경에서 이동 실험 및 성능분석을 수행할 예정이다. 현재 판단으로는 제안한 RMDFA을 실제 상황에 응용하더라도 동일한 성능치가 예상된다.

그러나 제안한 RMDFA은 제한된 환경에서 실험 및 성능분석을 진행하였기 때문에 건물 전체에 이를 적용 할 경우 예상치 못하는 상황이 발생 할 가능성도 있다. 따라서 충분한 실험 실시와 각 환경적 요인들을 분석하여 상황 적응형의 알고리즘 도출이 필요할 것으로 생각된다. 아울러 더 넓은 범위에서도 우수한 성능의 효과를 볼 수 있는 객관적 실내 위치추정 알고리즘 연구도 필요하다.

References

[1] S. W. Lee and S. W. Kim, "Indoor location positioning technology trend and outlook," *J. KICS*, vol. 32, no. 2, pp. 81-88, Jan. 2015.

[2] H. Y. Kim, S. D. Kim, D. G. Seo, J. K. Ji, and H. T. Jang, *Near Tracking Technology Trends*, IITA, 2007.

[3] H. Y. Kim, *Internet of Things - Concept, Enabling technologies and Business*, Hongrung Publishing Company, 2014.

[4] T. W. Kim and D. M. Lee, "The indoor localization algorithm using the difference means based on fingerprint in moving Wi-Fi environment," *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp.

www.dbpia.co.kr

1463-1471, Nov. 2016.

[5] D. M. Lee and T. W. Kim, “Development of the indoor localization system using fingerprint-based difference-means algorithm in Wi-Fi environment,” in *Proc. 7th Int. Conf. IPIN 2016*, pp. 50-53, Alcala de Henares, Madrid, Spain, Oct. 2016.

[6] D. M. Lee and T. W. Kim, “Fingerprint-based difference-means algorithm for indoor positioning in Wi-Fi environment,” *IJ. ITEE*, vol. 8, pp. 917-921, Jun. 2019.

[7] M. I. Ji, Y. S. Cho, S. J. Park, and D. S. Im, “Wi-Fi-based indoor localization technology development trend,” *J. KICS*, vol. 28, no. 7, pp. 52-58, Jun. 2011.

[8] Y. Kim, H. Shin, and H. Cha, “Smartphone-based Wi-Fi tracking system exploiting the RSS peak to overcome the RSS variation problem,” *Pervasive and Mob. Comput.*, vol. 9, no. 3, pp. 406-420, Jun. 2013.

[9] C. Laoudias, R, Pich, and C. G. Panayiotou, “Device self-calibration in location systems using signal strength histograms,” *J. Location Based Serv.*, vol. 7, no. 3, pp. 165-181, Aug. 2013.

[10] E. E. L. Lau, B. G. Lee, S. C. Lee, and W. Y. Chung, “Enhanced RSSI-Based high accuracy realtime user location tracking system for indoor and outdoor environments,” *J. Smart Sensing and Intell. Syst.* (ICST), vol. 1, no. 2, Jun. 2008.

[11] S. Son, Y. Park, B. Kim, and Y. B, “Wi-Fi fingerprint location estimation system based on reliability,” *J. KICS*, vol. 38, no. 6, pp. 531-539, Jun. 2013.

[12] I. Ha, Z. Zhang, H. Park, and C. Kim, “Analysis of Wi-Fi signal characteristics for indoor positioning measurement,” *J. KIICE*, vol. 16, no. 10, pp. 2177-2184, Oct. 2012.

[13] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, “Modeling of indoor positioning system based on location fingerprint,” in *Proc. IEEE. INFOCOM 2004*, vol. 2, pp. 1012-1022, Wan Chai, Hongkong, Mar. 2004.

[14] T. Lin and P. Lin, “Performance comparison of indoor positioning techniques based on location fingerprint in wireless networks,” in *Proc. IEEE WIRELESSCOM 2005*, vol. 2, pp. 1569-1574, Hawaii, USA, Jun. 2005.

[15] A. Hatami and K. Pahlavan, “Comparative statistical analysis of indoor positioning using empirical data and indoor radio channel models,” in *Proc. IEEE CCNC 2006*, vol. 2, pp. 1018-1022, Nevada, USA, Jan. 2006.

[16] I. H. Jeoung, C. M. Kim, Y. S. Choi, S. B. Kim, and Y. Lee, “A study of establishment on radiomap that utilizes the mobile device indoor positioning DB based on Wi-Fi,” *J. KOGSIS*, vol. 22, no. 3, pp. 57-69, Sep. 2014.

[17] H. K. Oh and I. C. Kim, “WiFi location estimation in indoor environments using gaussian processes,” *J. KIISE*, vol. 17, no. 10, pp. 564-568, Oct. 2011.

[18] *Normal Distribution* (Gaussian Distribution), Retrieved May 3, 2020, from https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution.

김 태 완 (Tae-Wan Kim)

2012년 2월 동명대학교 컴퓨터공학과 (학사)
2014년 2월 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 (석사)
2016년 2월 동명대학교 컴퓨터미디어공학과 (박사수료)

<관심분야> 센서 네트워크, 임베디드, 위치추정시스템, 영상처리

[ORCID:0000-0003-2596-436X]

www.dbpia.co.kr

이 동 명 (Dong Myung Lee)

1982년 2월 숭실대학교 전자계산학과 (학사)
1990년 8월 숭실대학교 전산공학과 (석사)
1997년 8월 숭실대학교 전자계산학과 (박사)
1982년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원 책임연구원
2000년 3월~현재 동명대학교 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> 이동통신시스템, 센서 네트워크, 위치추정 시스템
[ORCID:0000-0002-1314-8763]

www.dbpia.co.kr