

클라우드 무선접속 네트워크에서 상향링크 채널 상태 정보를 이용한 핑거프린팅 기반 실내 측위에 관한 연구 시스템

우상우* 이상헌** 문철***

Study of Localization Based on Fingerprinting Technique Using Uplink CSI in Cloud Radio Access Network

Sangwoo Woo*, Sangheon Lee**, and Cheol Mun***

본 연구는 2018년 한국교통대학교 지원과 교육부 및 한국연구재단의 이공분야기초연구사업 (NRF-2018RID1A3B07050327)의 연구결과로 수행하였음.

요 약

최근 5G 표준화가 본격화되고 실내위치관련 서비스에 대한 수요가 증가하면서, 실내 측위 기술에 대한 연구가 다양한 산업분야에서 연구되고 있으며, WLAN(Wireless Local Area Network)을 이용한 핑거프린팅 기법의 연구가 대표적이다. 본 논문은 UDN(Ultra Dense Network) 환경에서 C-RAN(Cloud Radio Access Network) 구조와 상향링크 CSI(Channel State Information)를 측위 기반정보로 사용하는 실내 측위 기술을 제안한다. 기존의 핑거프린팅 방식에 머신러닝 기술 중 하나인 KNN(K Nearest Neighbor) 기술을 결합하여 측위 정확도를 개선하였으며, 성능 분석을 위해 구축된 테스트베드에서 수행된 기존 실내 측위 기술과 제안 기술의 성능 비교 실험을 통해, 제안하는 기술이 측위 정확도를 개선함을 확인하였다.

Abstract

With 5G standards proceeding in earnest and increasing demand for services of indoor localization, research on indoor location recognition is being studied in various industrial fields, and research based on fingerprint recognition technology using Wireless Local Area Network (WLAN) is representative. In this paper, we propose an indoor positioning system based on fingerprinting technique that uses Cloud Radio Access Network (C-RAN) architecture and Channel State Information (CSI). In order to improve the performance in indoor positioning, we combined existing fingerprinting method and K nearest neighbor (KNN) technology which is one of the machine running technique. The performance improvements of the proposed indoor positioning system was verified by comparative experiments with the existing localization technique in a indoor localizztion testbed.

Keywords

cloud radio access network, indoor positioning, indoor localization, fingerprinting method

* 한국교통대학교 정보기술융합학과

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0383-1147>

** 연세대학교 전기전자공학부

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4688-9426>

*** 한국교통대학교 전자공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2358-8375>

· Received: Dec. 18, 2018, Revised: Jan. 22, 2019, Accepted: Jan. 25, 2019

· Corresponding Author: Cheol Mun

Dept. of Electronics Engineering, Korea

Tel.: +82-43-841-5368, Email: chmun@ut.ac.kr

I. 서 론

실내 측위에 대한 연구는 군사용으로 개발된 GPS(Global Positioning System)가 2000년도부터 민간 사용이 허용된 이후 민간 위치 정보의 정밀도가 크게 향상되면서 급속도로 발전하였다[1]. GPS는 위성을 이용하여 지상의 위치를 찾는 시스템으로 GPS 신호를 이용하여 자동차의 주행경로를 안내해주는 내비게이션이 도입되면서 크게 보편화되었다[1]. 하지만 GPS신호는 실내에서는 안정적으로 수신할 수 없어 단점이 있어 다른 기술을 이용하는 방향으로 발전하였다.

최근 무선통신기술의 급격한 발전으로 WLAN(Wireless Local Area Network)과 이동통신 그리고 Bluetooth와 ZigBee같은 무선통신을 이용한 실내 측위 연구가 수행되었다[2]. 이 중 가장 많이 연구되고 있는 WLAN을 이용한 실내 측위 기술은 고정된 위치의 송신기로부터 송신되어 측위 대상의 수신기에 수신된 다운링크 신호의 수신신호 세기 및 CSI(Channel State Information)를 실내 측위의 정보로 사용하여 수신기의 위치를 찾는 기술로 핑거프린팅(Fingerprinting)기법과 삼각측량방식의 실내 측위가 대표적이다[3][4]. 또한 무선통신 이외에도 지구의 지자기를 실내 측위의 정보로 활용하는 실내 측위 시스템과 카메라를 이용하여 이미지를 실내 측위의 정보로 이용하는 기술도 개발되고 있다.

다가오는 5G 이동통신에서는 Mission-critical의 주요 분야로 스마트 팩토리를 위한 산업자동화가 부각되고 있으며 이를 위해서는 사물과 센서등 모든 객체들이 무선 네트워크를 통해 연결되어 제어 및 관리 되어야한다. 또한 사업자동화에 요구되는 로봇들은 이동하면서 다양한 작업을 수행 할 수 있어야하고 그로인해 로봇의 정확한 위치를 파악하는 실내 측위 시스템에 대한 연구가 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 산업자동화 및 위치기반 서비스에서 요구되는 고정밀도 실내 측위 시스템을 제안한다. 제안하는 실내 측위 시스템은 클라우드 무선접속 네트워크, C-RAN(Cloud Radio Access Network)에서, 한 송신기에서 송신되어 C-RAN의 다수의 RRH(Remote Radio Head)들에서 수신되는 신호들의 CSI를 기반으로 핑거프린팅 기법과 KNN(K

Nearest Neighbors Algorithm) 머신러닝 알고리즘을 사용하는 실내 측위 기술을 제안하였다.

제안하는 실내 측위 시스템의 성능을 분석하기 위해 기존 WLAN에서 AP(Access Point)로부터 수신된 수신신호 세기를 이용하는 핑거프린팅 기반 실내 측위 시스템과 성능을 비교 분석하였다.

II. 제안하는 실내 측위 시스템

제안하는 실내 측위 시스템이 사용된 네트워크 구조인 C-RAN과 측위 정보로 사용된 CSI 그리고 실내 측위 기법으로 사용된 핑거프린팅 기법 및 KNN 알고리즘에 대해 설명한다.

2.1 클라우드 무선접속 네트워크

5G 이동통신의 단위 면적당 용량 증대를 위해 좁은 영역에서 많은 기지국들이 밀집되어 운용되는 UDN(Ultra Dense Network)이 제안되고 있으며, UDN 환경에서는 기지국간 간섭을 효과적으로 억제할 수 있는 C-RAN이 필수적으로 요구된다[5].

C-RAN은 이동통신에서 RFFE(Radio Frequency Front End)단과 물리계층으로 구성된 RRH(Remote Radio Head)와 RRH로부터 기저대역 신호를 통합하여 제어하는 BBU(Baseband Unit)로 구성된다[5]. C-RAN은 서비스 영역에 RRH를 분산 설치하고 프론트홀(fronthaul)을 통해 연결된 하나의 BBU에서 통합하여 신호를 송수신한다[6]. 제안된 실내 측위 시스템은 C-RAN을 기반으로 하고, 이동국으로부터 송신된 신호는 다수의 RRH에서 수신되어 BBU에 전달되며, 이동국에서 모든 RRH로의 상향링크 CSI는 BBU에서 공유된다.

2.2 측위에서의 RSSI 및 CSI

RSSI(Received Signal Strength Indication)는 무선통신에서 수신기에 수신된 신호의 전력 크기를 나타내는 정보이다. 기존 WLAN기반 실내 측위 기술은 이동국이 AP로부터 수신하는 신호의 RSSI 정보를 사용하여 측위를 수행한다. RSSI를 사용하는 실내 측위 기술은 일반적으로 단일 RSSI를 사용하지 않

고 여러 개의 AP로부터 들어오는 RSSI 정보를 융합하여 사용한다.

CSI는 채널 추정 기법으로 구해진 채널 추정치를 의미한다. OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplex) 시스템에서는 부반송파별로 채널의 크기와 위상 정보를 추정할 수 있으며, 부반송파별 크기 정보만 이용하더라도 기존 RSSI 보다 안정성이 높다고 알려져 있다[7]. 본 논문에서는 OFDM 시스템에서 추정된 CSI를 활용하며, 채널상태 추정기법은 LS(Least Square)기법을 가정한다[8]. LS 채널 추정 기법은 송신기와 수신기가 서로 알고 있는 신호인 훈련신호를 사용하여 채널을 추정하는 기법으로 송신기에서 훈련신호(training sequence)를 송신하고 수신기에서 수신한 훈련신호를 송신기에서 송신한 것과 같은 훈련신호로 나누어 채널 추정치를 구한다.

수신기에서 수신한 시간 영역 훈련신호 $t[n]$ 은 OFDM 복조 과정에서 N -point DFT(Discrete Fourier Transform)를 통해 각 l 번째 부반송파에 수신된 주파수 영역 심볼 $y[l]$ 로 복조되며 식 (1)과 같다.

$$y[l] = \sum_{n=0}^{N-1} t[n] e^{-jnl(2\pi/N)}, l = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

각각의 주파수 영역 심볼 $y[l]$ 은 송신기에서 송신한 것과 동일한 훈련신호 $x[l]$ 로 나누어 채널 추정치 $\hat{h}(l)$ 을 구하며, 복소수이므로 식 (2)와 같이 표현된다.

$$\hat{h}(l) = \frac{y(l)}{x(l)} = \rho(l) e^{j\theta(l)} \quad (2)$$

여기서 $\rho(l)$ 와 $\theta(l)$ 는 각각 l 번째 부반송파의 채널 크기와 위상을 나타낸다. 이론적으로 CSI의 크기 $\rho(l)$ 와 위상 $\theta(l)$ 을 모두 활용할 수 있지만, 테스트 베드에 사용된 SDR(Software Defined Radio)하드웨어의 성능 한계로 인해 각 RRH에서 수신된 신호의 초기 위상이 동기화 되지 않아, 본 논문에서는 부반송파의 크기 정보인 $\rho(l)$ 만을 사용하였다.

2.3 실내 측위 알고리즘

제안하는 실내측위 시스템은 C-RAN에서 상향링크 CSI를 사용하여 측위를 수행한다. 즉, 이동국에서 전송된 신호가 분산된 M 개의 RRH에서 각각 수신되고, BBU에서 수신된 신호를 핑거프린팅 기법과 KNN 알고리즘을 적용하여 위치를 결정한다[9].

핑거프린팅 기법은 두 가지 과정으로 나눌 수 있는데, 첫 번째 과정은 측위 알고리즘의 기준데이터를 형성하는 오프라인 단계로 측위 공간을 일정한 간격의 공간으로 분할하고 분할된 공간마다 CSI를 측정하고 저장하여 데이터베이스를 구축한다. 두 번째 과정은 온라인 단계로 측위 대상의 CSI를 측정하고 오프라인 단계에서 생성한 데이터베이스와 비교하여 측위 대상의 실제 위치를 측위하게 된다. 본 논문에서는 핑거프린팅 온라인 단계의 예측 알고리즘으로 KNN 알고리즘에 기반한 회귀분석(Regression) 기법을 적용하였다.

식 (2)에 의해 m 번째 RRH로부터 추정된 l 번째 부반송파의 CSI를 $\hat{h}_m(l)$ 이라고 할 때, L 부반송파들의 채널상태벡터, $\mathbf{c}_m$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{c}_m = [\hat{h}_m(1) \ \hat{h}_m(2) \ \dots \ \hat{h}_m(l) \ \dots \ \hat{h}_m(L)] \quad (3)$$

데이터베이스를 형성하기 위해 편의상 측위 대상에 대해 바닥면을 기준으로 직각좌표계를 사용하여, 좌표 (i, j) 에서 송신되어 M 개의 RRH들에서 추정된 채널벡터 $\mathbf{b}_{i,j}$ 은 다음과 같다.

$$\mathbf{b}_{i,j} = [\mathbf{c}_1 \ \mathbf{c}_2 \ \dots \ \mathbf{c}_M] \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{b}_{i,j}$ 는 $1 \times LM$ 의 크기를 갖는 벡터이다.

첫 번째 과정에서, 핑거프린팅 오프라인 단계에서 기준점 좌표 $(1, 1)$ 을 기준으로 최대 (I, J) 좌표를 포함하는 측위대상 공간에 대한 데이터베이스 행렬 $\mathbf{B}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_{1,1} & \dots & \mathbf{b}_{1,J} \\ \vdots & & \vdots \\ \mathbf{b}_{I,1} & \dots & \mathbf{b}_{I,J} \end{bmatrix} \quad (5)$$

두 번째 과정에서 데이터 베이스 $\mathbf{B}$ 을 기준으로 KNN 알고리즘을 적용하기 위하여 측위 대상의 위

치 (x_p, x_q) 에서 추정된 CSI $\tilde{\mathbf{b}}_{p,q}$ 로 데이터 베이스의 각 위치에서의 CSI와 유클리드 거리를 계산한 행렬, $\mathbf{D}$ 를 구한다.

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \|\mathbf{b}_{1,1} - \tilde{\mathbf{b}}_{p,q}\| & \dots & \|\mathbf{b}_{1,J} - \tilde{\mathbf{b}}_{p,q}\| \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \|\mathbf{b}_{I,1} - \tilde{\mathbf{b}}_{p,q}\| & \dots & \|\mathbf{b}_{I,J} - \tilde{\mathbf{b}}_{p,q}\| \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)으로부터 가장 작은 크기를 갖는, 즉 유클리드 거리가 짧은, K 개의 근접 값, $\{p_k\}_{k=1,\dots,K}$ 을 뽑고 해당 인덱스 벡터 $\{(x_k, y_k)\}_{k=1,\dots,K}$ 를 구한다. 여기서, p_k 는 식 (6)의 전체 요소 중에 k 번째 근접하는 유클리드 거리 값이고, (x_k, y_k) 은 k 번째 근접하는 좌표를 의미한다.

마지막으로 KNN 회귀분석을 위해, K 개의 근접 좌표에 유클리드 거리의 역수로 구해지는 가중치 w_k 를 각각 곱하고 평균하여, 대상의 추정위치 $(\hat{x}_p, \hat{y}_p)$ 를 다음과 같이 구한다.

$$\hat{x}_p = \sum_{k=1}^K w_k x_k, \quad \hat{y}_p = \sum_{k=1}^K w_k y_k \quad (7)$$

여기서 $w_k = p_k^{-2} / \sum_{i=1}^K p_i^{-2}$ 이다.

III. 실내 측위 시스템 구현

실내 측위 시스템은 NI사의 SDR 플랫폼인 USRP (Universal Software Radio Peripheral)을 이용하여 구축하였으며, 송수신기 물리계층은 Labview Communications로 프로그래밍 하였다. USRP는 안테나와 PC 간 인터페이스 장비로 안테나쪽 포트의 RF signal과 PC쪽 포트의 I/Q형태의 기저대역 디지털 데이터를 서로 변환해 주는 장치이다.

그림 1은 구축된 테스트베드를 보여주며, 빨간색 테두리는 C-RAN의 RRH에 해당하는 안테나가 설치된 USRP를 표시하고 있으며, 총 8대의 RRH가 유선 케이블을 통해 BBU의 역할을 하는 PC에 연결된다. 각 RRH들은 바닥으로부터 2.4m 위에 설치되어 있으며, 초록색 원은 측위 대상의 역할을 하는 송신기이며, 역시 USRP와 안테나로 구성되어 있다.



그림 1. 실내 측위 테스트베드
Fig. 1. Indoor experimental space of test bed

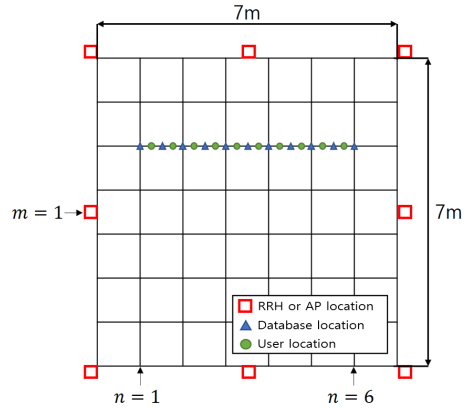


그림 2. 0.5m 간격 데이터베이스의 실내 측위 공간
Fig. 2. Indoor experimental space with database with 0.5m interval

실내 측위 공간을 2차원 평면으로 나타내면 그림 2와 같다. 실내 측위 공간은 가로 7m, 세로 7m, 그리고 높이 2.7m이고 제안한 실내 측위 시스템의 RRH 위치를 빨간색 상자로 표시하였다. 또한, 기존 핑거프린팅 기반 실내 측위 시스템의 AP 위치를 제안 시스템의 RRH와 동일한 위치로 하였다.

제안시스템은 그림 2에서 삼각형으로 표시된 데이터베이스 위치에서 측정되어 저장된 CSI와 좌표를 참조하여, 원으로 표시된 측위 대상 위치에서 송신기가 송신하고 RRH에서 수신한 CSI를 분석하여 좌표를 추정한다. 반면에, 기존 실내 측위 시스템은 그림 2에서 AP에서 송신되고 삼각형으로 표시된 데이터베이스 위치에서 측정되어 저장된 RSSI와 좌

표를 참조하여, 원으로 표시된 측위대상 위치에서 AP로부터 수신된 RSSI를 분석하여 좌표를 추정한다. 또한, 사용하는 채널정보에서 있어서 제안하는 시스템은 신호의 진폭 CSI 정보를 사용하는 반면에 기존 시스템은 RSSI를 사용한다.

무선채널 환경 변화는 테스트베드의 측위 공간에서 두 가지 환경으로 나누어진다. 첫 번째 환경은 측위 환경 1로 정의 하였으며 측위 공간은 시스템 구성을 위한 필수 요소만 존재하는 환경으로 산란체를 최소화한 환경이다. 두 번째 환경은 측위 환경 2로 정의 하였으며 측위 공간은 여러 대의 책상을 분산 배치하여 산란체를 추가한 환경으로 송신기와 수신기 사이의 무선 채널은 LOS와 NLOS가 혼재된다. 각각의 측위 공간을 그림 3와 4로 나타내었다.



그림 3. 측위 환경 I

Fig. 3. Positioning environment I



그림 4. 측위 환경 II

Fig. 4. Positioning environment II

표 1. 송신기 및 수신기 파라미터

Table 1. Parameter of transmitter and receiver

Carrier frequency	2.4 GHz
Bandwidth	200 kHz
Transmitter power	28 dBm
Modulation	OFDM
Fast Fourier Transform size	64
CP length	16

시스템 구성에 사용한 송신기와 수신기는 표 1의 파라미터로 동작하고, 여러 개의 RRH간의 동기는 VanDeBeek 동기화 알고리즘을 사용하였다[10].

IV. 실내 측위 결과 및 성능분석

제안하는 실내 측위 시스템의 측위 성능을 분석한다. 측위 성능을 분석하기 위해 추정된 좌표와 실제 좌표를 비교하여 측위 오차를 계산하고 측위오차의 CDF를 구한다. 성능을 비교 분석하기 위해, WLAN 시스템에서 RSSI를 이용하여 측위를 하는 기존 실내 측위 시스템과 제안하는 실내 측위 시스템의 성능을 비교 분석한다.

그림 5와 그림 6은 각각 측위 환경 I과 측위 환경 II에서 기존 시스템과 제안하는 시스템의 측위 오차의 CDF를 비교하여 보여준다. 여기서, KNN 회귀분석을 위해, $K=20$ 으로 20개의 근점 좌표를 고려하였다. 결과를 보면 측정환경 I과 측위환경 II에서 제안하는 시스템이 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다. 이는 제안하는 시스템에서 사용하는 CSI의 진폭정보가 기존 시스템의 RSSI 정보보다 데이터 신뢰도가 높고, 제안하는 시스템은 다수의 RRH들에서 수신되는 신호들의 진폭정보를 BBU에서 동시에 고려하여 위치를 결정할 수 있다는 장점이 반영된 결과이다. 환경 I에서는 50% 에러율을 기준으로 측위오차는 제안하는 시스템이 75cm이고 기존 시스템은 225cm로, 제안시스템의 측위오차가 기존 시스템 측위 오차의 33.3%에 해당함을 확인할 수 있다. 비가시영역이 대부분인 환경 II에서는 제안하는 시스템과 기존 시스템의 측위 성능 차이가 감소하지만 전체적으로 제안하는 시스템의 성능이 우수하다.

그림 7은 측위 환경 II에서 참여하는 RRH 개수를 4개에서 8개로 증가하였을 때 측위 오차의 CDF 그래프를 보여주고 있다. RRH수가 증가하면 전구간에서 측위 성능이 개선되었으며, 50% 에러율을 기준으로 측위오차는 RRH가 4개일 때 125cm이고 8개일 때는 75cm로, RRH 수의 증가에 따라 측위 오차가 40% 감소함을 확인할 수 있다. 특히, 비가시영역에서는 단위 면적당 RRH 수가 많은 것이 측위 성능을 개선하는데 핵심적인 요소임을 확인할 수 있다.

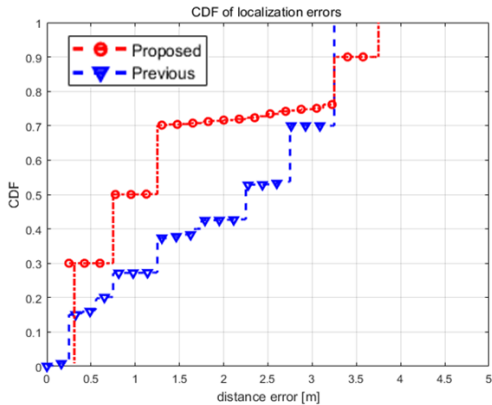


그림 5. 측위환경에서 기존 및 제안하는 측위 성능 비교
Fig. 5. Positioning performance comparison between existing and proposed system in environment I

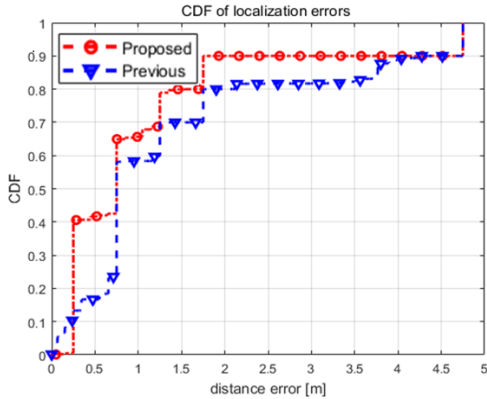


그림 6. 측위환경 II에서 기존 및 제안하는 측위 성능 비교
Fig. 6. Positioning performance comparison between existing and proposed system in environment II

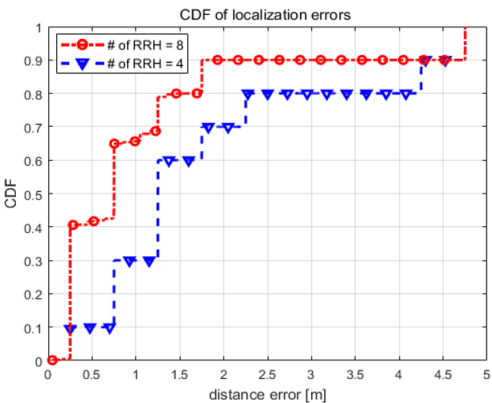


그림 7. 측위환경 II에서 RRH수에 따른 측위 성능 비교
Fig. 7. Positioning performance comparison according to the number of RRH in environment II

V. 결 론

본 논문에서는 C-RAN 구조에서 KNN 기반 회귀 분석 알고리즘을 적용한 실내 측위 시스템을 제안하였으며, 테스트베드 구축을 통해 측위 성능을 분석하였다. 제안하는 시스템이 CSI를 사용하고 다수의 RRH에서 동시에 수신되는 다수의 신호를 결합하여 측위 정확도를 향상시킬 수 있음을, 기존 측위 시스템과의 성능을 비교 분석하여 확인할 수 있었다. 또한, 단위 면적당 RRH의 개수를 증가시켜 비가시영역 환경에서도 측위 성능을 개선시킬 수 있음을 확인하였다. 향후 제안된 기술의 실내 측위 정확도를 향상시키기 위하여 딥러닝 구조로 된 알고리즘으로 발전시키고, 단위 면적당 RRH 개수와 실내 측위 정확도와의 상관관계를 좀 더 명확히 분석하는 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] Wu, Chenshu, et al., "WILL: Wireless indoor localization without site survey", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 24, No. 4, pp. 839-848, Apr. 2013.
- [2] Ki Young Lee, "A Study on Accuracy Enhancement of Indoor Local Positioning System Based on Zigbee", Journal of KIIT, Vol. 8, No. 5, pp. 85-91, May 2010.
- [3] J. J. Lee, J. A. Park, and S. H. Bae, "KNN/PCM Hybrid Algorithm for Indoor Location Determination in WLAN", Journal of KIIT, Vol. 9, No. 6, pp. 81-88, Jun. 2011.
- [4] del Peral Rosado, "Survey of Cellular Mobile Radio Localization Methods : from 1G to 5G", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 20, No. 2, pp. 1124-1148, Secondquarter 2018.
- [5] Checko, "Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview", IEEE Communications Surveys & Tutorials Vol. 17, No. 1, pp. 405-426, Firstquarter 2015.
- [6] Jose F Monserrat, "METIS research advances

towards the 5G mobile and wireless system definition", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Mar. 2015.

- [7] Xuyu Wang, Lingjun Gao, Shiwen Mao, and Santosh Pandey, "CSI-based fingerprinting for indoor localization: A deep learning approach" IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, No. 1, pp. 763-776, Jan. 2017.
- [8] Yong Soo Cho, Jackwon Kim, Won Young Yang, and Chung G. Kang, "MIMO-OFDM wireless communications with matlab", Wiley, pp. 190-191, Oct. 2010.
- [9] Yogita Chapre, "CSI-MIMO: Indoor Wi-Fi Fingerprinting System", 39th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, pp. 202-209, Sept. 2014.
- [10] JJ van de Beek, "Synchronization and Channel Estimation in OFDM Systems", Lulea University of Technology, pp. 107-110, Sep. 1998.

문 철 (Cheol Mun)



1995년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학사)
1997년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학석사)
2001년 2월 : 연세대학교
전자공학과(공학박사)
2003년 8월 ~ 현재 :

한국교통대학교 전자공학과 교수

관심분야 : 무선통신, MIMO 시스템, 차량통신 등

저자소개

우 상 우 (Sangwoo Woo)



2016년 2월 : 한국교통대학교
정보통신공학과(공학사)
2018년 2월 : 한국교통대학교
정보기술융합학과(공학석사)
2018년 6월 ~ 현재 : (주)범감
연구원
관심분야 : 무선통신

이 상 현 (Sangheon Lee)



2013년 2월 : 한국교통대학교
정보통신공학(공학사)
2013년 9월 ~ 현재 : 연세대학교
전기전자공학부 석박사통합과정
관심분야 : Neural network,
machine learning, 무선통신,
채널 추정, 무선 측위