

실내 VLC 환경에서 강화학습 기반 위치 결정 방안

오성현, 김정곤*

한국공학대학교 전자공학부

osh119@tukorea.ac.kr, jgkim@tukorea.ac.kr*

Reinforcement Learning-based Positioning in Indoor VLC Environment

Sung Hyun Oh, Jeong Gon Kim*

Dept. of Electronic Engineering, Tech University of Korea

요약

최근 위치기반서비스 산업이 발달함에 따라 정밀한 위치 측위 시스템이 요구되고 있다. 현재, 실외환경은 GPS(Global Positioning System) 기술로 사용자의 위치를 비교적 정확하게 측위할 수 있다. 그러나, 실내환경의 경우 건물 내부에서 발생하는 전파손실 등의 문제로 GPS를 적용하기에 한계가 존재한다. 따라서, 본 논문에서는 실내환경에서 사용자의 위치를 정밀하게 측위하기 위한 연구를 수행하였다. 사용자의 위치를 측위하기 위한 통신기술로는 VLC(Visible Light Communication) 기술을 적용하였으며, 측위 알고리즘으로 강화학습을 적용하였다. 먼저, 실내 VLC 환경의 채널특성에 대해 분석을 수행하였으며, 이후 강화학습의 구성요소인 Agent, State, Action, Reward를 정의하였다. 제안하는 방법에서 Agent는 현재 State에서 Action 수행 후 획득하는 Reward를 기반으로 정책을 학습하며, 학습이 완료된 강화학습 모델은 사용자의 위치를 5cm 이내 정밀한 측위 시스템을 달성하고자 한다.

I. 서론

위치기반서비스는 사용자들의 편의성 및 요구를 기반으로 급격한 성장에 이르고 있다. 사용자가 방문을 원하는 장소를 찾거나, 화재 시 소방관 지원 등과 같이 개인 및 공공의 목적을 기반으로 한다[1]. 이러한 위치기반서비스가 사용자들에게 효과적으로 제공되기 위해서는 정밀한 위치 측위 시스템이 필요하다.

실외환경의 경우 일반적으로 GPS(Global Positioning System)를 기반으로 하며, 개활지의 경우 3m 이내의 측위 정확도를 달성한다. 그러나, 실내환경의 경우 건물 내부에 존재하는 장애물 및 벽들로 인한 전파손실 등의 문제로 GPS의 측위 정확도가 현저하게 감소한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 실내에서 사용자의 위치를 정밀하게 측위하기 위한 연구들이 진행되고 있다[3].

실내에서 위치 측위를 위해 사용되는 보편적인 통신기술로는 WiFi, Bluetooth, UWB(Ultra Wide Band) 등이 있다. 각 통신기술 기반의 측위 시스템은 통신기술 특징에 따른 장단점이 존재하게 된다. 또한, 차세대 통신으로 주목받는 VLC(Visible Light Communication) 기술 기반의 측위 시스템과 관련한 연구가 진행되고 있다[4]. 이러한 통신기술을 기반으로 사용자의 위치를 도출하는 측위 알고리즘은 다음과 같다. 보편적으로 RSS(Received Signal Strength), AoA(Angle of Arrival), ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival) 등이 포함된다. 최근에는 사용자의 위치 측위를 위해 AI(Artificial Intelligence) 기술을 적용하는 방법들이 제안되고 있다[5].

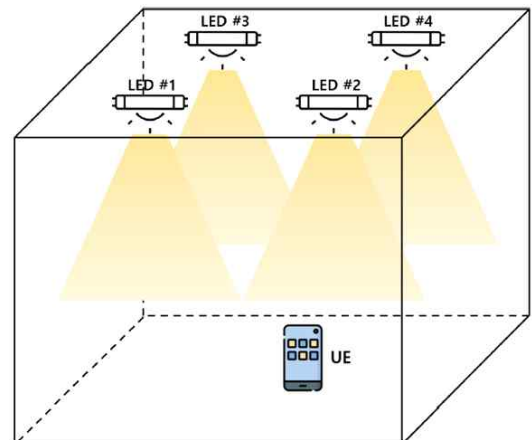
따라서, 본 논문에서는 실내 VLC 환경에서 채널특성 분석을 통해 RSS를 획득하고 이를 기반으로 사용자의 위치를 측위하는 연구를 수행한다. 특히, 정밀한 측위 정확도 달성을 위해 AI 기술 중 한 가지인 강화학습

기반의 측위 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 시스템 모델 및 제안하는 강화학습기반 측위 기법을 설명한다. 이후, 3절에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구방향을 기술한다.

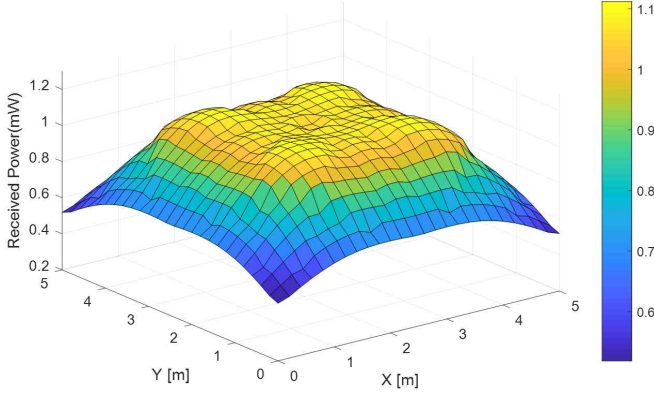
II. 본론

본 논문에서는 VLC 기술과 강화학습을 기반으로 사용자 측위 방안을 제안한다. 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위한 시스템 모델은 [그림 1]과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이, LED AP(Access Point)는 4개가 3m 높이의 천장에 배치되어 있으며, UE(User Equipment)는 1개가 실내환경에 존재한다. 이때, UE는 0.7m의 높이로 바닥과 평행하게 이동하는 환경을 가정하여, z축에 대한 측위는 고려하지 않는다. 다음과 같은 환경에서 UE가 LED AP로부터 수신하는 RSS는 식 (1)과 식 (2)로 구할 수 있으며,



[그림 1] 실내 VLC 통신 환경

* : 교신저자



[그림 2] VLC 채널의 직접 및 반사파 경로를 함께 고려한 RSS 분포

전체 채널의 RSS 분포는 [그림 2]와 같다.

$$h_{r,LOS}^i = P_t \frac{A(m+1)}{2\pi d^2} \cos^m(\theta) T_s(\psi) C(\psi) \cos(\psi) \quad (1)$$

$$h_{r,NLOS}^i = P_t \frac{A(m+1)}{2\pi d_1^2 d_2^2} \rho \cos^m(\theta) d A_{wall} \cos(\alpha) \cos(\beta) T_s(\psi_r) C(\psi_r) \cos(\psi_r) \quad (2)$$

위 식에서, P_t 는 AP의 송신전력, m 은 램버시안 방출 계수, A 는 수신기의 감지 영역, d 는 AP와 UE 사이의 거리를 의미한다. $T_s(\psi)$ 는 optical filter 이득, $C(\psi)$ 는 optical concentrator 이득을 나타내고, ψ_c 는 수신기의 FOV(Field of View)이다. VLC 환경에서 UE가 수신한 RSS 획득 완료 후, 강화학습 모델의 학습이 수행된다.

본 논문에서 제안하는 강화학습 모델의 각 구성요소 Agent, State, Action, Reward는 아래와 같이 설명할 수 있다.

1. Agent는 현재 State를 기반으로 Action을 수행하여 예측 포인트 $P_E(x, y)$ 를 이동시키는 역할을 수행한다.
2. State S 는 현재 UE가 각 AP로부터 수신한 RSS와 예측 포인트 P_E 의 (x, y) 좌표를 포함한다.

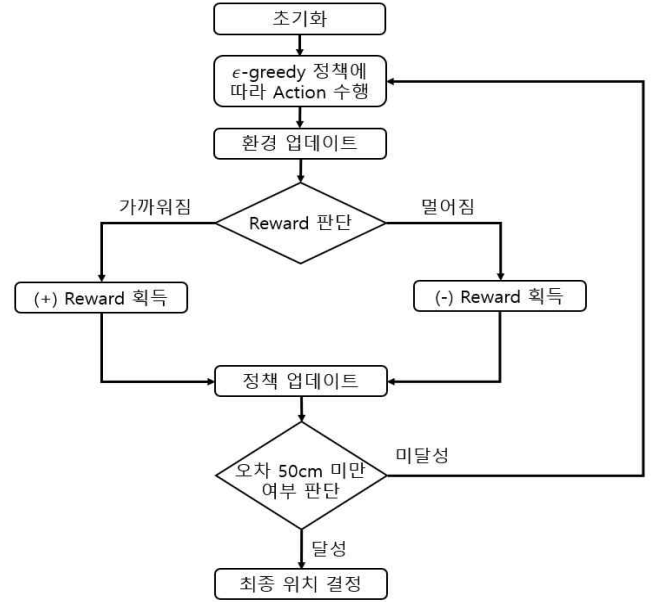
$$S = (RSS_1, RSS_2, \dots, RSS_i, P_E(x, y))$$

3. Action A 는 현재 상태 S 에서 Agent가 예측포인트 P_E 를 이동시키는 것을 의미하며 다음과 같이 4가지의 Action을 포함한다.

- “Right” : $P_E(t+1) = (x_{t+1}, y_{t+1}) = (x_t + 1, y_t)$
- “Left” : $P_E(t+1) = (x_{t+1}, y_{t+1}) = (x_t - 1, y_t)$
- “Up” : $P_E(t+1) = (x_{t+1}, y_{t+1}) = (x_t, y_t + 1)$
- “Down” : $P_E(t+1) = (x_{t+1}, y_{t+1}) = (x_t, y_t - 1)$

4. Reward R 은 현재 상태 S 에서 다음 상태 $S(t+1)$ 로 변화할 때 취한 Action 수행 결과 예측 포인트 P_E 가 Target에 근접하면 양의 보상을 얻고, 이와 반대로 멀어지면 음의 보상의 받도록 설계하였다.

제안하는 강화학습 기반 위치추위 기법의 순서도를 [그림 3]에 도시하였다. 그림에서 ϵ -greedy 정책은 확률적 정책으로서, ϵ 확률로 랜덤한 행동을, 그리고 $1-\epsilon$ 확률로 탐욕적인 행동을 취하는 정책이다.



[그림 3] 제안하는 강화학습 기반 추위 기법의 흐름도

III. 결론 및 향후 연구방안

본 논문에서는 VLC 기술 및 강화학습을 기반으로 사용자의 위치를 추위하는 방법을 제안한다. 먼저, VLC 기반 실내환경의 채널특성 분석을 통하여 UE가 각 AP로부터 수신하는 RSS를 도출하였다. 이후, Agent의 학습을 위해 State, Action 및 Reward를 정의하였으며, Python 3.9를 기반으로 하여 학습을 수행할 환경 구성을 완료하였다. 추후, 구성이 완료된 환경에서 Pytorch 기반하여 각 구성요소를 코드로 구현할 예정이다. 구현 완료 후 UE가 이동하는 환경에서 제안 기법을 기존 기법과 비교함으로써 제안 기법의 효용성을 검증할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2021R1F1A1063845).

참고 문헌

- [1] Shim, T. S. Shin, S. H. “Study on Indoor Positioning Technology and Standardization Trends,” Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 1146-1147, Feb. 2020.
- [2] Hassan N.U., Naeem A., Pasha M.A., Jadoon T., Yuen C. “A Survey on the Design of Visible LED Lights Based Indoor Positioning System,” ACM Computing Surveys(CSUR), pp.1-32, Nov. 2015.
- [3] Zhang, Y., Wang, H., Wang, H. “Indoor Navigation System Design based on Particle Filter,” Proceedings of the 2016 International Conference on Intelligence Transportation, Big Data & Smart City(ICITBS), pp.105-108, Dec. 2016.
- [4] Zvanovec, P.C.S., Haigh, P.A., Ghassemlooy, Z. “Visible light communications towards 5G,” Radioengineering, pp.1 - 9, Apr. 2015.
- [5] Ahn, H. W., Moon, N. M. “Artificial intelligence-based indoor positioning technology trends and prospects,” Broadcasting and media magazine, pp.75 - 82, Jan. 2020.