

AI 기반 최적 주차 공간 추천 및 혼잡도 예측 시스템에 관한 연구

이락행*, 김지오*, 김효진*, 남채빈*, 문효찬*, 조강홍*

*동양미래대학교 웹응용소프트웨어공학과

*{mh07011, kimjih7795}@gmail.com, {gywls10826, starbin922, gycks114}@naver.com, khcho@dongyang.ac.kr

AI-Based Optimal Parking Space Recommendation and Congestion Prediction System

Rak-haeng Lee*, Ji-oh Kim*, Hyo-jin Kim*, Chae-bin Nam*, Hyo-chan Moon*

*Dept. of Web Application Software Engineering, Dongyang Mirae University

요약

본 논문은 본 연구는 컴퓨터 비전과 실내 측위 기술을 융합한 AI 기반의 최적 주차 공간 추천 및 혼잡도 예측 시스템을 제안한다. 현대 도시의 주차난 해소를 위해 개발된 본 시스템은 YOLOv8 객체 탐지 알고리즘을 활용하여 Unity로 제작된 주차장 CCTV 영상에서 차량과 빈 주차공간을 실시간으로 인식한다. 또한, 수집된 입출차 데이터를 기반으로 현재 주차 차량 수와 전체 주차 면수를 분석하여 혼잡도를 산출하고, 이를 시각화하여 운전자에게 제공한다. 특히 GPS 신호 수신에 불가능한 실내 주차 환경을 극복하기 위해 비콘(Beacon)과 칼만 필터(Kalman Filter), 삼변측량 기술을 적용하여 정밀한 사용자 위치 추적을 구현하였다. 운전자는 모바일 앱을 통해 자신의 방문 목적(엘리베이터, 매장 등)에 가장 적합한 주차 공간을 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘으로 추천받을 수 있으며, Unity 기반의 3D 디지털 트윈 환경을 통해 직관적인 경로 안내를 제공한다. 본 시스템은 주차장 내 배회 시간을 단축시키고 사용자 편의성을 극대화하는 데 기여하였다.

I. 서론

본 논문에서는 도시화의 가속화와 차량 등록 대수의 지속적인 증가는 심각한 주차난을 야기하고 있다. 운전자가 목적지 주변에서 주차 공간을 찾기 위해 배회하는 행위인 '크루징(Cruising)'은 전체 교통 혼잡의 약 30%를 차지한다는 연구 결과가 있으며, 이는 운전자의 스트레스를 유발하는 주요 원인이 된다.[1] 한국교통연구원(KOTI)의 조사에 따르면, 도심지 주차장 수급불균형으로 인해 발생하는 사회적 비용은 매년 증가하고 있는 추세이다.[2]

기존의 주차 유도 시스템은 주차장 입구에서 층별 잔여 자리수를 안내하거나, 주차면 상단의 녹색/적색 LED를 통해 빈자리를 알리는 수준에 머물러 있다. 그러나 이는 운전자의 최종 목적지를 고려하지 않은 단순한 정보 제공으로, 운전자의 동선을 최소화하는 데 한계가 있다.[3] 또한, 대형 복합 쇼핑몰이나 지하 주차장과 같은 실내 환경에서는 위성 항법 시스템(GPS)의 신호가 차단되어, 기존 내비게이션 앱으로는 정밀한 경로 안내가 불가능하다는 기술적 난제도 존재한다.

이에 본 연구에서는 컴퓨터 비전 기술인 YOLOv8을 활용하여 별도의 고가 센서 없이 Unity로 제작한 CCTV 영상만으로 실시간 주차 현황을 파악하고, BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘 기반의 실내 측위 기술을 융합하여 사용자 맞춤형 최적 주차 공간 추천 시스템을 제안한다. 본 시스템은 영상 인식을 통해 수집된 데이터를 바탕으로 주차장 혼잡도를 정량적으로 산출하고, 다익스트라(Dijkstra) 알고리즘을 적용하여 사용자의 목적까지 도보 이동 거리가 가장 짧은 주차면을 안내함으로써 주차 효율성을 극대화하는 것을 목표로 한다.

II. 본론

1. 시스템 구성

본 시스템은 크게 주차 현황을 인식하는 '영상 처리 모듈', 사용자의 위치를 파악하는 '실내 측위 모듈', 데이터를 분석하고 서비스를 제공하는 '서버 및 클라이언트'로 구성된다. 주차 공간의 점유 여부를 실시간으로 판별하기 위해 YOLOv8 모델을 사용하였다. Unity로 제작한 가상의 주차장을 입력받아 차량 객체를 탐지하고, 사전에 정의된 주차 구역(ROI) 내에 차량 객체의 중심점이 위치하는지를 분석한다. 이를 통해 각 주차면의 상태를 '점유(Occupied)' 또는 '비어있음(Empty)'으로 분류하고 데이터베이스에 실시간으로 반영한다. 복잡한 딥러닝 모델 대신, 실시간 데이터에 기반한 직관적인 통계적 방법을 사용하여 혼잡도를 산출한다. 혼잡도는 식(1)과 같이 전체 주차 면수 대비 현재 주차된 차량의 비율로 계산된다.

$$C = \frac{V_{current}}{V_{total}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 C는 혼잡도(%), current는 현재 주차된 차량 수, total은 전체 주차 가능 면수이다. 시스템은 산출된 수치에 따라 주차장 상태를 '여유(30% 이하)', '보통(30~50%)', '혼잡(50~80%)', '매우 혼잡(80% 이상)'의 4단계로 구분하여 앱에 표시한다. 이를 통해 사용자는 주차장의 상황을 직관적으로 인지할 수 있다.

2. 핵심 기술

GPS 음영 지역인 실내 주차장에서 사용자의 위치를 추적하기 위해 BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘을 활용하였다. 비콘 신호의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)값을 수신하여 거리를 계산하며, 신호 간섭에 의한 오차를 줄이기 위해 칼만 필터(Kalman Filter)를 적용하였다. 보정된 거리 데이터를 바탕으로 3개 이상의 비콘 신호를 이용한 삼변측량법(Trilateration)을 수행하여 사용자의 (x, y) 좌표를 특정한다.

다. 주차장 내부를 노드(Node)와 엣지(Edge)로 모델링하였다. 주차면, 통로, 교차로를 노드로 설정하고, 각 노드 간의 이동거리를 가중치(Weight)로 부여하였다. 사용자가 앱에서 방문목적(백화점, 푸드코트 등)을 선택하면, 시스템은 현재 사용자의 위치(진입점)에서 해당 목적지와 도로 이동거리가 짧은 '빈 주차 공간'을 목적지로 설정한다. 이후 다익스트라 알고리즘을 통해 해당 주차면까지의 차량 최단 이동 경로를 산출하여 안내한다.

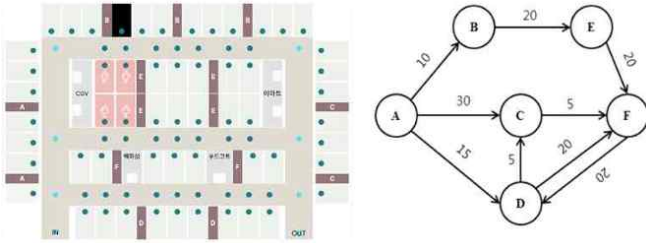


그림 1 주차장 그래프 모델링 및 다익스트라 알고리즘

3. 시스템 구조도

주차장 인프라 계층은 데이터 수집의 핵심 역할을 수행한다. Unity로 제작된 CCTV는 실시간 영상을 획득하여 YOLOv8 모델로 전송함으로써 빈 주차 공간과 차량 유무를 판별한다. 또한, 주차장 내부에 설치된 비콘(Beacon) 센서는 사용자의 실내 위치 데이터를 생성하며, 차량 번호 인식기는 입출차 차량의 정보를 수집하여 주차 관제 시스템과 연동된다. 중앙 서버에서는 수집된 데이터를 처리하고 저장한다. AI서버인 FastAPI와 백엔드 서버인 Node.js기반의 서버는 주차장 인프라로부터 수신한 차량 점유 정보, 위치 데이터, 차량 번호 정보를 가공하여 데이터베이스에 적재한다. 이곳에서는 실시간 혼잡도 예측 알고리즘이 수행되며, 사용자의 방문 목적과 현재 위치를 기반으로 최적의 주차 위치와 경로를 산출하여 클라이언트에 제공한다. 마지막으로 사용자는 애플리케이션을 통해 서비스를 공판한다. 사용자는 앱을 통해 목적지를 선택하고 실시간 주차 공간 현황 및 혼잡도 정보를 확인한다. 서버로부터 수신한 추천 경로 데이터는 Unity 엔진을 통해 3D로 시각화되어, 운전자에게 직관적인 내비게이션 환경을 제공한다.

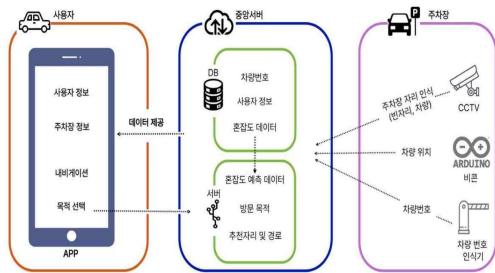


그림 2 시스템 구조도

4. 구현 결과

사용자의 애플리케이션은 Flutter 프레임워크를 사용하여 Android와 iOS 환경을 모두 지원하도록 개발되었다. 앱 내주차장 안내 화면은 Unity 엔진을 연동하여 3D로 구현하였다. 이를 통해 2D 지도보다 공간감이 뛰어난 디지털 트윈(Digital Twin) 환경을 제공하며, 사용자는 자신의 차량 위치와 추천 주차면, 이동 경로를 3차원 주차 공간 상에서 직관적으로 확인할 수 있다. 백엔드 서버는 Node.js, AI 서버는 FastAPI를 사용하여 구축하였으며, 실시간성이 중요한 주차 데이터 처리를 위해 비동기 통신 방식을 채택하였다. 데이터베이스는 Supabase를 활용하여 차량 번호, 주차 상태, 사용자 정보를 관리하며 입출차 시 차량 번호 인식기에서 전송된 데

이터를 즉시 반영하여 주차 완료 알림을 발송한다.

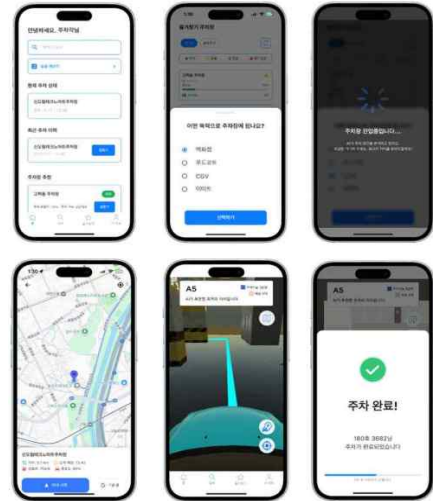


그림 3 구현 앱 화면

III. 결론

본 논문에서는 컴퓨터 비전 기술(YOLOv8)과 실내 측위 기술(Beacon)을 결합하여, 단순한 빈자리 안내를 넘어 사용자의 목적에 최적화된 주차 공간을 추천하는 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 고가의 센서 설치 없이 Unity로 제작된 CCTV와 저전력 비콘만을 활용하여 경제적인 실내 내비게이션 및 주차 관리 솔루션을 구축할 수 있음을 확인하였다. 특히 통계 기반의 혼잡도 제공과 3D 시각화를 통해 운전자의 주차 편의성을 크게 향상시켰다. 향후 연구에서는 축적된 데이터를 바탕으로 시간대별 혼잡도 패턴을 분석하여 보다 정교한 예측 서비스를 추가하고, 다중 사용자 동시 접속 시의 경로 안내 최적화 알고리즘을 보완할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 조강홍 교수님(동양미래대학교)의 지도 및 지원 하에 수행되었다. 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Shoup, D. C., "The High Cost of Free Parking," Journal of Planning Education and Research, vol. 17, no.1, pp. 3-20, 2005.
- [2] 한국교통연구원(KOTI), "국가교통조사 및 DB구축 사업: 전국 주차장 수급실태 및 이용특성 분석," 2022
- [3] Lin, T., Rivano, H., and Le Mouel, F., "A Survey of Smart Parking Solutions," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 18, no. 12, pp. 3229-3253, 2017.
- [4] Redmon, J., et al., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 779-788, 2016.