

객체 탐지 기반 무인 결제 시스템 구현

이제희¹, 김동건¹, 김효원¹, 백채연¹, 김태국^{2*}

¹국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 학생, ²국립부경대학교 컴퓨터·인공지능공학부 교수

Implementation of Unmanned Payment System Based on Object Detection

Je-Hui Lee¹, Dong-Geon Kim¹, Hyo-won Kim¹, Chae-Yeon Baek¹, Tae-Kook Kim^{2*}

¹Student, Division of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

²Professor, Division of Computer and Artificial Intelligence Engineering, Pukyong National University

요약 본 연구는 객체 탐지 기술을 활용한 무인 결제 시스템을 설계 및 구현하여, 기존 무인 결제 방식에서 요구되는 고비용 센서 인프라와 사용자 신뢰성 문제를 완화하는 것을 목표로 한다. 제안 시스템은 YOLO 기반 객체 탐지 모델을 이용해 장바구니 내 상품을 실시간으로 인식하고, 프레임 누적 기반 추적 알고리즘을 적용하여 일시적인 인식 오류를 보정함으로써 결제 대상 상품을 안정적으로 판단한다. 또한 BLE 비콘을 활용하여 사용자의 매장 입·퇴장을 자동으로 감지하고, 모바일 애플리케이션과 연동하여 가상 장바구니 및 전자 영수증을 실시간으로 제공한다. 실험 결과, 제안 기법은 다양한 실제 매장 환경에서 안정적인 인식 성능을 보였으며, 순간적인 탐지 오류로 인한 결제 오류를 효과적으로 감소시킴을 확인하였다. 제안한 시스템은 별도의 고가 센서 없이도 구현 가능한 경량 무인 결제 아키텍처를 제시함으로써, 중·소규모 매장에서의 실용적인 무인 서비스 확산에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : 무인 결제 시스템, 객체 탐지, YOLO, 제품 추적, BLE 비콘, 에지 디바이스

Abstract This study aims to design and implement an object detection-based unmanned payment system to alleviate the high infrastructure costs and user reliability issues associated with conventional automated checkout technologies. The proposed system employs a YOLO-based object detection model to recognize products placed in a shopping cart in real time and applies a frame-accumulation-based tracking algorithm to compensate for transient recognition errors, thereby enabling robust identification of payable items. In addition, BLE(Bluetooth Low Energy) beacons are utilized to automatically detect customer entry and exit, while a mobile application provides real-time visualization of a virtual shopping cart and electronic receipts. Experimental results demonstrate that the proposed approach achieves stable recognition performance across various real-world retail environments and effectively reduces payment errors caused by momentary detection failures. The proposed system presents a lightweight unmanned payment architecture that can be implemented without expensive sensor infrastructure, and is expected to contribute to the practical adoption of unmanned services in small- and medium-sized retail stores.

Key Words : Unmanned Payment System, Object Detection, YOLO, Product Tracking, BLE Beacon, Edge Device

1. 서론

최근 소매 환경에서는 대면 접촉을 최소화하려는 소비 트렌드와 기술 수용 확산으로 인해 셀프 서비스 테크놀로지(Self-Service Technology, SST)가 빠르게 보급되고 있다. SST는 비대면·비접촉(비대면) 특성과 신속성, 편리성, 통제성 등 소비자 효용을 제공함으로써 무인 매장 및 자동 결제 시스템의 성장을 가속화하고 있다. 실제로 국내 오프라인 유통 업체는 키오스크, 셀프 계산대, 비대면 결제 시스템 등 다양한 SST 기반 서비스를 적극 도입하며 운영 효율성 향상과 비용 절감을 추진하고 있다. 그러나 이러한 확산에도 불구하고, 사용자들은 SST를 이용하는 과정에서 기술적 요인으로 인해 사용 과정의 신뢰성과 예측 가능성이 저하되는 문제를 겪기도 한다. 선행연구에서는 이러한 기술적 불확실성이 시스템에 대한 사용자 신뢰도를 저하시켜 SST 사용 의도 및 실제 이용 행동을 제한하는 주요 요인으로 보고하고 있으며, 이는 무인 결제 시스템의 구조를 기술적으로 개선할 필요성을 시사한다[1-3].

무인 결제 기술의 발전은 바코드 기반 셀프 계산대에서 출발하여 RFID(Radio-Frequency Identification) 기반 자동 결제 시스템, 그리고 최근에는 카메라·센서·딥러닝 기술을 결합한 아마존 고(Amazon Go)의 저스트 워크 아웃(Just Walk Out, JWO) 방식으로까지 확장되었다[4]. 그러나 JWO 기술은 높은 구축 비용, 복잡한 운영 구조, 낮은 투명성으로 인한 사용자 불신 등 여러 문제점이 지적되고 있으며, 실제로 아마존은 JWO 기술 적용 매장을 축소하거나 중단하는 등 구조적 한계를 인정한 바 있다. 국내외 언론 분석 결과에서도 JWO 방식의 비용 부담, 운영 안정성 문제, 고객 불만 등이 지속적으로 제기되고 있음을 확인할 수 있다[5,6]. 이러한 사례는 무인 결제 기술이 단순 자동화 수준을 넘어 실질적인 사용자 경험 개선으로 이어지기 위해서는 기술적·서비스적 요소의 재구성이 필수적임을 보여준다.

기존 무인 결제 시스템의 공통적인 한계는 크게 세 가지로 요약된다. 첫째, 고가의 센서 및 인프라 구축 비용으로 인해 대규모 매장을 제외한 일반 매장에서의 도입이 어렵다는 점이다. 둘째, 시스템 내부에서 이루어지는 복잡한 판단 과정이 사용자에게 투명하게 제공되지 않아 결제 오류 및 불안감이 발생한다는 점이다. 셋째, 상품 인식 과정의 정확도와 실시간성 부족으로 인해 실제 쇼핑 환경에서의 활용성이 제한되고 있다는 점이다. 이러한 문제들은 무인 결제 시스템의 확산을 저해하는 핵심

요인으로 작용하고 있다.

이에 본 연구는 객체인식 기반 무인 결제 시스템을 설계하여 기존 기술의 한계를 보완하고자 한다. YOLO 계열 객체 탐지 모델을 기반으로 한 실시간 제품 인식 방식을 적용함으로써 고가의 센서를 사용하지 않고도 안정적인 인식 성능을 확보하고, BLE(Bluetooth Low Energy) 기반 출입 비콘을 통해 사용자의 입·퇴장 상태를 자동으로 식별하여 쇼핑 세션을 관리한다. 또한 모바일 애플리케이션을 통해 가상 장바구니를 실시간으로 제공함으로써 사용자가 결제 과정에 대한 불안 없이 쇼핑 정보를 즉시 확인할 수 있도록 하였다.

이러한 기술 요소의 통합은 기존 무인 결제 시스템의 비용 문제, 사용자 불안감, 운영 효율성 문제를 동시에 완화할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 더 나아가, 본 연구는 중·소규모 매장에서도 적용 가능한 경량화된 무인 결제 구조를 제안함으로써 무인 서비스의 실질적 확산 가능성을 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

2.1 YOLO

YOLO(You Only Look Once)는 합성곱 신경망 기반의 대표적인 1단계(one-stage) 객체 탐지 모델로, 단일 추론 과정에서 객체의 위치와 범주를 동시에 산출하는 방식이다. 이는 후보 영역 생성 후 분류를 수행하는 R-CNN 계열 2단계(two-stage) 모델에 비해 구조가 단순하며 실시간 처리에 유리하다는 장점을 가진다. 특히 YOLO11은 경량화된 구조와 향상된 탐지 성능을 제공하여



[Fig. 1] Detection results produced by the YOLO-based model

다양한 엣지 디바이스에서 효율적으로 동작할 수 있으며, 공식적으로 제공되는 Docker 기반 실행 환경을 통해 배포와 활용이 용이하다.

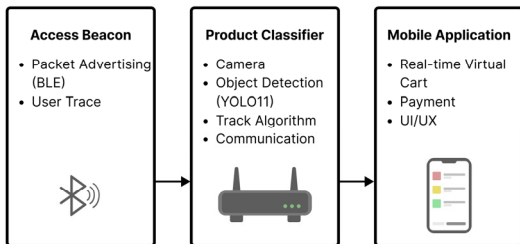
YOLO의 출력은 [Fig. 1]과 같이 객체의 클래스와 바운딩 박스를 포함한다.

2.2 BLE

BLE는 저전력 근거리 무선 통신을 위한 기술로, 일방향 브로드캐스팅 방식에 기반하여 동작한다. BLE 비콘은 고유 식별자와 신호 정보를 포함한 광고 패킷을 주기적으로 송출하며, 수신 단말은 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 활용하여 비콘과의 상대적 거리 변화를 추정할 수 있다. 이러한 구조적 특성은 배터리 소모가 적고 구현 비용이 낮다는 장점을 제공하여 다양한 산업 분야에서 위치 기반 서비스 구현을 위해 활용되고 있다. 다만 RSSI 기반 거리 추정은 환경적 요인에 따라 오차가 발생할 수 있어, 정밀한 위치 인식이 요구되는 경우에는 보조 기술과의 결합이 필요하다[7].

3. 객체 탐지 기반 무인 결제 시스템 구성

본 장에서는 제안하는 객체 탐지 기반 무인 결제 시스템의 전체 구성과 동작 흐름을 설명한다. [Fig. 2]는 시스템의 전체 구조를 나타내며, 본 시스템은 출입 비콘, 객체 탐지 기반 제품 분류기, 모바일 애플리케이션의 세 가지 핵심 구성 요소로 이루어져 있다. 각 구성 요소는 서버를 중심으로 유기적으로 연동되어 사용자의 쇼핑 과정 전반을 자동으로 처리한다.



[Fig. 2] Overall architecture of the proposed unmanned payment system

3.1 객체 탐지 딥러닝 모델

3.1.1 데이터셋 구성 및 전처리

본 연구에서는 실제 소매 환경에서의 활용 가능성을

고려하여 AI 개발 지원 플랫폼인 AI-Hub에서 제공하는 공개 데이터셋을 활용하였다. 학습 데이터는 과자, 면류, 의약품, 홈클린, 통조림 등 소매점에서 빈번하게 판매되는 제품군으로 구성하였으며, 각 클래스별로 최소 114장 이상의 이미지를 확보하였다. 또한 오탐(오검출)을 줄이기 위해 전체 데이터의 약 10%에 해당하는 배경 이미지를 포함하였다.

데이터 전처리는 모델의 일반화 성능을 고려하여 제한적으로 수행하였다. Albumentations 라이브러리를 활용한 외부 전처리 기법과 YOLO 학습 프레임워크의 내장 증강 기법을 병행 적용하였으며, 조명 변화, 부분 가림, 시점 변화 등 실제 매장 환경을 반영한 증강을 통해 모델의 강건성을 향상시키고자 하였다[8].

3.1.2 하이퍼파라미터 설정 및 모델 학습

YOLO11은 백본 및 넥 구조의 개선을 통해 특징 추출 효율을 향상시키고, 내부 연산 구조를 최적화하여 파라미터 수 대비 높은 성능을 제공한다. 이러한 특성은 연산 자원이 제한된 엣지 디바이스 환경에서도 실시간 추론이 가능하도록 하며, 시스템 전체 서비스 품질 향상에 기여한다[9].

본 연구에서는 YOLO11 학습 과정에서 객체 탐지 성능에 영향을 미치는 주요 하이퍼파라미터를 설정하고, 손실 함수의 가중치를 조정하여 모델을 학습하였다. 객체 탐지 학습에는 위치 정확도, 분류 정확도, 객체 존재 여부를 종합적으로 고려하는 다중 손실 구조가 적용된다. YOLO11에서 사용되는 주요 손실 항목은 다음과 같다.

- box loss는 예측된 바운딩 박스와 실제 객체 박스 간의 위치 및 크기 차이를 최소화하기 위해 IoU 기반 손실 함수를 사용하여 공간적 위치 정확도를 학습한다.
- cls loss는 예측된 객체의 클래스 분류 정확도를 평가하기 위한 손실 항목으로, 다중 클래스 분류 문제를 이진 교차 엔트로피 기반으로 학습한다.
- dfl loss는 바운딩 박스 좌표를 확률 분포 형태로 예측하도록 유도하여 경계 위치의 정밀도를 향상시키기 위한 손실 항목이다.
- kobj loss는 각 예측 위치에 객체가 존재하는지를 판단하기 위한 손실로, 배경과 객체를 효과적으로 구분하도록 학습을 유도한다.

<Table 1>은 본 연구에서 사용한 주요 학습 하이퍼파라미터 설정을 나타낸다[10].

(Table 1) Hyperparameter settings used for training the YOLO model

Hyperparameter	Value
epoch	50
patience	20
batch size	8
box	7.5
cls	2.5
dif	1.5
kobj	1.0

3.2 제품 분류 알고리즘

본 절에서는 객체 탐지 결과를 기반으로 실제 결제 대상 제품을 판단하는 제품 분류 알고리즘을 설명한다. YOLO 모델은 프레임 단위로 제품의 위치와 범주를 인식할 수 있으나, 무인 결제 환경에서는 단발성 검출 결과를 그대로 결제 판단에 활용할 경우 오검출이나 사용자 행동에 따른 일시적 인식 변화가 결제 오류로 이어질 수 있다. 특히 사용자의 손 움직임, 제품 간 가림 현상, 카메라 흔들림 등 실제 매장 환경에서는 탐지 결과가 프레임 단위로 변동될 수 있으므로, 탐지 결과를 시간적으로 해석하는 추가적인 판단 로직이 요구된다.

이에 본 연구에서는 객체 탐지 결과를 시간 축에서 누적 및 분석하는 제품 분류 알고리즘을 설계하였다. 제안하는 알고리즘은 (1) 프레임 단위 객체 탐지 결과 입력, (2) 프레임 간 제품 추적을 통한 동일 객체 식별, (3) 누적 조건 기반 결제 판단의 세 단계로 구성된다. 이러한 구조를 통해 단발성 검출에 의존하지 않고, 실제 결제 상황에 적합한 안정적인 제품 판단을 수행할 수 있다. 이하에서는 각 단계별 알고리즘의 세부 동작을 순차적으로 설명한다.

3.2.1 프레임 단위 제품 추적

본 시스템에서는 제품 추적기는 YOLO 객체 탐지 모델의 출력 결과를 입력으로 받아 연속된 프레임 간 동일 객체를 연결하는 역할을 수행한다. 각 추적 객체는 바운딩 박스 위치 정보, 연속적으로 추적된 프레임 수, 그리고 일시적인 미검출 상태를 함께 관리함으로써, 프레임 단위 탐지 결과를 시간적으로 누적·해석한다. 이러한 추적 상태 관리는 단일 프레임에서 발생할 수 있는 오검출이나 순간적인 검출 실패가 최종 결제 판단에 직접 반영되는 것을 방지하기 위한 것이다.

프레임 간 동일 객체 판단을 위해 본 연구에서는 객체

간 공간적 유사도를 측정하는 지표로 IoU(Intersection over Union)을 사용하였다. IoU는 예측 박스와 실제 박스 간의 겹치는 영역을 전체 합집합 영역으로 나눈 값으로 정의되며, 다음과 같이 표현된다.

$$IoU = Area(B_{track} \cap B_{det}) \div Area(B_{track} \cup B_{det})$$

IoU는 YOLO와 같이 바운딩 박스 기반 출력을 제공하는 객체 탐지 모델과 직접적으로 연계가 가능하며, 추가적인 외형 특징 추출 없이도 프레임 간 객체의 공간적 일관성을 효율적으로 평가할 수 있다는 장점을 가진다 [11,12]. [Fig. 3]은 연속된 프레임에서 IoU 기반으로 제품을 추적하는 과정을 개략적으로 나타낸다.



[Fig. 3] Frame-by-frame object tracking based on IoU matching between consecutive frames

실제 매장 환경에서는 하나의 프레임 내에 다수의 객체가 동시에 탐지될 수 있으며, 이로 인해 여러 개의 추적 객체와 탐지 결과 간의 매칭 문제가 발생한다. 이러한 상황에서 IoU가 가장 큰 객체를 순차적으로 연결하는 greedy 방식은 전체 매칭 결과의 안정성을 보장하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 전역 최적화를 통해 추적 객체와 탐지 객체 간의 대응 관계를 결정하기 위해 헝가리안 알고리즘(Hungarian algorithm)을 적용하였다. 헝가리안 알고리즘을 통해 도출된 매칭 결과 중 IoU 값이 사전에 설정된 임계값 이상인 경우에만 동일 객체로 판단하여 추적 상태를 갱신하며, 기준에 미달하는 경우에는 새로운 객체로 등록하거나 해당 프레임에서 미검출 상태로 처리한다.

3.2.2 누적 프레임 기반 추가 판단

본 연구에서는 프레임 단위로 추적된 객체가 연속된 프레임에서 일정 횟수 이상 안정적으로 관측된 경우에만 실제 장바구니에 추가되는 결제 대상 제품으로 판단한다. 단발성으로 검출되거나 짧은 시간 동안만 관측된 객체는 결제 판단에서 제외함으로써, 무인 결제 환경에서 발생할 수 있는 오검출이 결제 결과에 반영되는 것을 방

지한다. 결제 대상으로 확정된 제품 정보는 서버 통신 로직을 통해 백엔드 서버로 전달되어 가상 장바구니에 반영된다. [Fig. 4]는 누적 프레임에 기반한 추가 판단 과정을 나타낸다.



[Fig. 4] Decision process based on accumulated frame-level object tracking results

또한 실제 매장 환경에서는 사용자의 손 움직임, 제품 간 가림 현상, 조명 변화, 카메라 흔들림 등으로 인해 객체 추적이 일시적으로 중단될 수 있다[1]. 이러한 환경적 요인을 고려하여, 본 연구에서는 연속된 프레임에서 객체가 검출되지 않는 경우를 일정 횟수까지 허용하는 miss threshold를 도입하였다. 이를 통해 추적이 일시적으로 끊기더라도 동일 제품에 대한 추적 상태를 유지할 수 있으며, 결과적으로 환경 노이즈에 강인한 결제 판단 로직을 구현할 수 있다.

3.3 출입 비콘

본 시스템에서 출입 비콘은 사용자의 매장 입장 및 퇴장 상태를 비접촉 방식으로 식별하여 쇼핑 세션의 시작과 종료를 판단하기 위한 보조 제어 수단으로 활용된다. 이를 통해 시스템은 사용자의 명시적인 입력 없이도 쇼핑 세션을 자동으로 관리할 수 있다.

출입 비콘은 BLE 기반으로 동작하며, 매장 입·출구에 설치된 비콘 장치가 고유 식별자를 포함한 광고 패킷을 주기적으로 송출한다. 모바일 단말은 해당 신호를 수신하여 RSSI 변화를 감지하고, 이를 기반으로 사용자의 입장 및 퇴장 이벤트를 판단한다. 본 연구에서는 정밀한 위치 추정이 아닌, 특정 영역 진입 여부를 판단하는 용도로 비콘을 활용함으로써 환경적 요인에 따른 오차 영향을 최소화하였다.

BLE는 저전력 특성과 간단한 구축 구조로 인해 유지 비용이 낮아 소매 환경과 같은 지속 운용 시스템에 적합하다. 이러한 특성으로 인해 BLE 기반 출입 비콘은 무인 결제 시스템에서 사용자 상태 인식을 위한 효율적인 보조 수단으로 활용될 수 있다[13,14].

3.4 백엔드 서버

본 장에서는 제안하는 객체 탐지 기반 무인 결제 시스템에서 백엔드 서버의 핵심 역할을 간략히 설명한다. 백엔드 서버는 사용자, 카드, 제품 인식 장치, 모바일 애플리케이션을 연계하는 중앙 제어 모듈로서, 쇼핑 세션의 생성과 종료, 제품 정보 처리 및 결제 요청 수행을 통합적으로 관리한다. 사용자 인증, 카드 할당, 제품 인식 결과 수신 등 주요 제어 로직은 서버를 중심으로 수행된다.

서버는 관계형 데이터베이스와 실시간 통신 구조를 결합하여 시스템 상태를 관리한다. 사용자-카드 매핑 정보와 장바구니 상태는 데이터베이스에 저장되며, 상태 변경 사항은 실시간 통신 채널을 통해 클라이언트와 동기화된다. 이러한 구조는 다수의 사용자와 카드가 동시에 운용되는 환경에서도 시스템 상태의 정합성을 유지하기 위한 기반을 제공한다.

3.4.1 실시간 통신 구조 및 WebSocket 적용

기존 웹 기반 시스템에서는 서버와 클라이언트 간 데이터 동기화를 위해 HTTP Polling 또는 Long Polling 방식이 주로 사용되어 왔다. 그러나 이러한 방식은 클라이언트의 반복적인 요청에 의존하는 구조적 특성으로 인해 불필요한 네트워크 트래픽이 발생하고, 상태 변화가 즉시 반영되지 못하는 지연 문제가 존재한다. 특히 사용자 수가 증가하거나 장바구니 정보와 같이 갱신 빈도가 높은 데이터를 처리하는 환경에서는 서버 부하와 통신 오버헤드가 증가하는 한계가 있다.

이에 본 시스템은 이벤트 기반(event-driven) 통신을 지원하는 WebSocket을 적용하여, 서버가 클라이언트의 요청 없이도 상태 변경 정보를 즉시 전달할 수 있도록 설계하였다. WebSocket은 지속적인 세션을 유지함으로써 불필요한 요청을 제거하고, 실시간성이 요구되는 무인 결제 환경에 적합한 통신 구조를 제공한다.

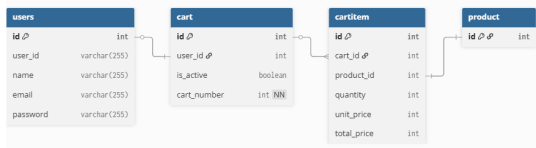
이러한 구조를 통해 클라이언트는 반복적인 요청 없이도 서버로부터 변경 사항을 즉시 수신할 수 있으며, 이는 시스템의 실시간성과 통신 효율성을 동시에 향상시키는 효과를 가진다[15].

3.4.2 데이터베이스 구조 및 사용자-카드 상태 관리

[Fig. 5]는 본 시스템에서 사용되는 데이터베이스 다이어그램의 일부를 나타낸다. 사용자(user) 테이블과 카드(cart) 테이블은 외래키(user_id)를 통해 직접 연결되며, 이를 통해 서버는 특정 사용자가 현재 이용 중인 카

트를 식별할 수 있다. 사용자가 매장에 입장하여 카트를 할당받는 시점에, 서버는 해당 카트의 user_id를 갱신하고 카트 상태를 활성(is_active)으로 전환한다. 이와 동시에 사용자의 현재 이용 매장 정보가 갱신되며, 카트 번호를 기준으로 한 WebSocket 통신 채널이 생성된다. 이를 통해 물리적인 카트 한 대는 디지털 환경에서 특정 사용자와 일시적으로 1:1 매핑 관계를 형성하게 된다.

이후 쇼핑 과정에서 백엔드 서버는 장바구니에 추가된 상품 정보를 cartitem 테이블에 누적 저장하고, 갱신된 장바구니 정보를 연결된 사용자 세션으로 실시간 전송한다. 이러한 구조를 통해 서버는 사용자별 쇼핑 상태를 지속적으로 관리할 수 있다.



[Fig. 5] Database schema of the proposed unmanned payment system

3.4.3 쇼핑 종료 처리 및 자원 재사용

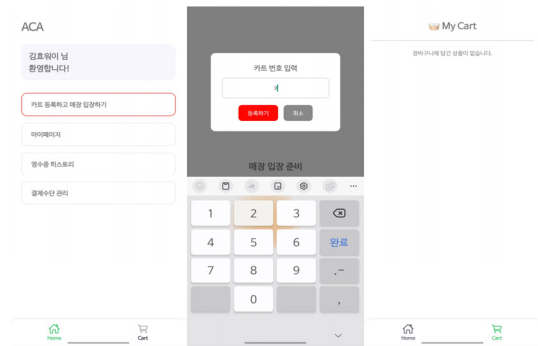
사용자가 쇼핑을 종료하고 퇴장 요청을 전송하면, 서버는 장바구니 데이터를 기반으로 결제 처리를 수행한 후 해당 세션을 종료한다. 이후 장바구니 데이터를 초기화하고 사용자와 카트 간의 연동을 해제하며, 카트 상태를 대기 상태로 전환함으로써 다음 사용자가 재사용할 수 있도록 관리한다.

이와 같이 설계된 사용자-카트 연동 및 서버 제어 구조는 쇼핑 전 과정을 데이터 기반으로 체계적으로 관리할 수 있도록 하며, 실시간 처리 성능과 운영 효율성을 동시에 확보할 수 있는 무인 결제 시스템 구현의 기반을 제공한다.

3.5 모바일 애플리케이션

본 절에서는 객체 탐지 기반 무인 결제 시스템에서 모바일 애플리케이션이 수행하는 사용자 인터페이스 관점의 기능을 중심으로 설명한다. 모바일 애플리케이션은 쇼핑 정보의 시각화, 결제 이력 조회 등 사용자가 쇼핑 과정을 인지하고 검증할 수 있도록 정보를 제공하는 역할을 담당한다.

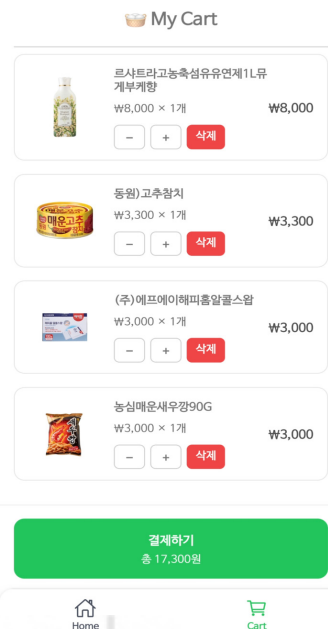
3.5.1 매장 입장 및 카트 등록 인터페이스



[Fig. 6] Mobile application interface for store entry and cart registration

모바일 애플리케이션은 사용자가 쇼핑을 시작하기 위한 인터페이스로서, 카트 번호 입력을 통해 사용 의사를 명시적으로 전달하는 기능을 제공한다. 이후 출입 비콘 인식 결과에 따라 입장 여부가 판단되며, 해당 결과는 애플리케이션 화면 전환을 통해 사용자에게 안내된다. 이 과정에서 모바일 애플리케이션은 입장 상태를 표시하는 역할만 수행하며, 실제 사용자-카트 연동 및 세션 관리의 백엔드 서버에서 처리된다. [Fig. 6]은 모바일 애플리케이션 관점에서 입장 과정을 나타낸다.

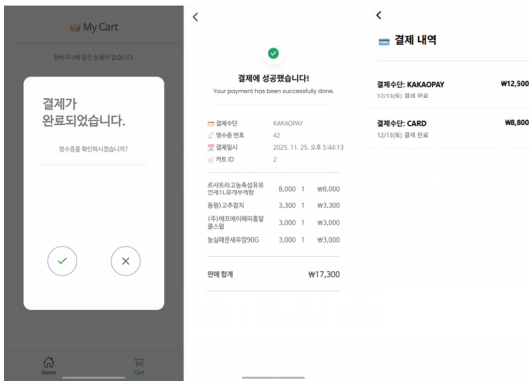
3.5.2 실시간 장바구니 시각화



[Fig. 7] Virtual shopping cart interface

모바일 애플리케이션의 장바구니 화면은 제품 분류 알고리즘을 통해 확정된 결제 대상 제품 정보를 사용자에게 시각적으로 제공하는 기능에 초점을 둔다. [Fig. 7]에 나타난 장바구니 화면에는 인식된 상품 목록과 누적 결제 금액이 표시되며, 해당 정보는 서버로부터 전달된 결과를 기반으로 갱신된다. 이를 통해 사용자는 쇼핑 정보를 실시간으로 확인할 수 있으며, 결제 과정의 투명성을 확보할 수 있다.

3.5.3 결제 결과 확인 및 전자 영수증



[Fig. 8] Payment result and electronic receipt interface

모바일 애플리케이션은 결제 완료 이후 사용자가 거래 결과를 확인할 수 있도록 전자 영수증 조회 기능을 제공한다. 결제 이력 화면에서는 이전 거래 내역이 목록 형태로 제공되며, 개별 거래를 선택할 경우 상세 영수증 정보가 표시된다. 이러한 기능은 무인 결제 환경에서 발생할 수 있는 사용자 불안감을 완화하고, 사후 검증 수단을 제공한다는 점에서 사용자 신뢰성 향상에 기여한다. [Fig. 8]은 모바일 애플리케이션의 결제 과정과 영수증 내역 화면을 나타낸다.

4. 결론

본 연구는 객체 탐지 기술을 기반으로 한 무인 결제 시스템을 설계하고 구현함으로써, 기존 무인 결제 기술이 가지는 비용 부담과 사용자 불안감 문제를 완화하고자 하였다. 특히 고가의 센서나 복잡한 인프라에 의존하지 않고, 단일 카메라와 딥러닝 기반 객체 탐지 모델을 활용하여 실질적인 무인 결제 환경을 구성하였다는 점에서 의의를 가진다.

본 연구의 핵심 기여는 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, YOLO 계열 객체 탐지 모델을 기반으로 프레임 누적 및 추적 개념을 결합한 제품 분류 알고리즘을 제안하여, 단발성 검출에 따른 오결제를 효과적으로 감소시켰다. 둘째, BLE 기반 출입 비콘을 활용하여 사용자의 입·퇴장 상태를 비접촉 방식으로 인식하고, 쇼핑 세션의 시작과 종료를 자동으로 관리하는 구조를 설계하였다. 셋째, 백엔드 서버와 모바일 애플리케이션을 연계하여 실시간 가상 장바구니와 전자 영수증을 제공함으로써, 무인 결제 과정의 투명성과 사용자 신뢰성을 향상시켰다. 이러한 통합 구조는 중·소규모 매장 환경에서도 적용 가능한 경량화된 무인 결제 시스템의 가능성을 제시한다.

한편, 본 연구에는 몇 가지 한계점이 존재한다. 먼저, 신제품 출시나 제품 패키지 변경과 같은 환경 변화에 대응하기 위해서는 지속적인 학습 데이터셋의 확보 및 갱신이 필요하다는 점에서 운영상의 부담이 존재한다. 또한 본 연구에서는 시스템 구현과 적용 가능성에 초점을 두었기 때문에, YOLO 기반 객체 탐지 성능(정확도, mAP 등) 및 제품 추적 알고리즘의 오·검출 감소 효과에 대한 정량적 평가가 충분히 제시되지 못한 한계가 있다. 특히 실제 매장 환경에서의 다양한 변수(조명 변화, 가림 현상, 사용자 행동 등)를 고려한 정량적 성능 검증이 추가적으로 요구된다.

또한 현재 시스템은 장바구니 단위로 옛지 디바이스가 독립적으로 딥러닝 추론을 수행하는 분산 구조를 취하고 있어, 장바구니 수 증가에 따라 동일 수의 모델 및 장치가 필요하다는 제약이 존재한다. 이는 장비 확보 비용 증가뿐 아니라 디바이스 간 성능 편차로 인해 서비스 품질이 불균형해질 가능성을 내포한다. 더불어 BLE 기반 출입 인식의 경우 RSSI 신호 특성상 환경에 따른 오차가 발생할 수 있으며, WebSocket 기반 실시간 동기화 과정에서 네트워크 지연이나 연결 실패와 같은 비정상 상황이 발생할 가능성이 있다. 이러한 요소들은 시스템의 안전성과 신뢰성 측면에서 추가적인 고려가 필요하다.

향후 연구로는 이러한 한계를 보완하기 위해 중앙집중식 추론 구조를 도입하는 방안을 고려할 수 있다. 해당 구조에서는 각 옛지 디바이스가 영상 데이터만을 미들웨어로 전달하고, 중앙의 고성능 서버가 복수의 입력 영상을 통합적으로 처리하여 추론 결과를 반환함으로써 옛지 디바이스의 연산 부담을 줄이고 모델 관리 효율성을 향상시킬 수 있다. 또한 정량적 성능 평가를 위해 다양한 환경과 제품군을 포함한 데이터셋을 구축하고, 객체 탐지 정확도 및 추적 안정성에 대한 체계적인 실험을 수행

할 필요가 있다.

다만 중앙집중식 구조는 단일 장애 지점(Single Point of Failure)을 형성할 수 있으며, 네트워크 장애 발생 시 전체 시스템에 영향을 미칠 수 있다는 한계가 있다. 따라서 향후에는 로드 밸런싱, 장애 복구(failover), 이상 상황 감지 및 보정 메커니즘을 포함한 안정성 중심의 시스템 아키텍처 설계가 병행되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] S.M.Kim, "The Effect of Self-service Technology on Cognitive Response and Purchase Intention in Fashion Retail Store," Master's Thesis, Dept. of Textiles, Merchandising and Fashion Design, Seoul National University Graduate School, 2019.
- [2] B.J.Na, "The effect of the customer experience on Self-checkout system used at unmanned stores on deriving customer's revisiting intention of through untact tendency," Master's Thesis, Chung-Ang University Graduate School of Industrial and Entrepreneurship Management, 2022.
- [3] E.G.Jang, E.B.Kang, G.Y.Jung, J.H.Jung, T.H.Lee, "Design and implementation of unmanned payment and inventory management systems using RFID technology," Proceedings of the Korean Society of Computer Information Conference 2021 , pp.515-516, 2021.
- [4] S.A.Lee, "Service Process Design for Customer Experience in a Just Walk Out Store," Master's Thesis, Hongik University, 2021.
- [5] Retail Tech Innovation Hub, Why Amazon's Just Walk Out initiative failed - and why it's not the end of checkout-free technology[Internet], <https://retailtechinnovationhub.com/home/2024/4/18/why-amazons-just-walk-out-initiative-failed-and-why-its-not-the-end-of-checkout-free-technology/>.
- [6] Retail Insight Network, Just Walk Out customer feedback forces Amazon U-turn[Internet], <https://www.retail-insight-network.com/news/just-walk-out-customer-feedback-forces-amazon-u-turn/>.
- [7] T.K.Kim, "Technology Trends of Indoor Localization Scheme," Journal of Internet of Things and Convergence, Vol.11, No.2, pp.173-177, doi: 10.20465/kiots.2025.11.2.173, 2025.
- [8] B.Peng, T.K.Kim, "YOLO-HF: Early Detection of Home Fires Using YOLO," IEEE Access, Vol.13, pp.79451-79466, 2025.
- [9] M. Choi, Y. Jung, and Y. Lee, "YOLO Algorithm Model Performance Research using the Edge Device for Harmful Birds Detection System," in Proceedings of KIIT Conference, pp. 615-618, 2024.
- [10] S.H.Choi, "Fall detection using improved loss function

of YOLO model," Master's Thesis, Hanyang University, 2024.

- [11] E.S.Oh, S.R.Gwon, J.M.Oh, B.Peng, T.K.Kim, "Implementation of a real-time public transportation monitoring system," Journal of Internet of Things Convergence, Vol.10, No.4, pp.9-19, 2024.
- [12] S.B.Park, Y.J.Jeong, D.E.Lee, T.K.Kim, "A Study on the Elevator System Using Real-time Object Detection Technology YOLOv5" Journal of Internet of Things Convergence, Vol.10, No.2, pp.103-108, 2024.
- [13] B.I.Yang, "A User Authentication Mechanism of the Access Control System Utilizing BLE Scan," Master's Thesis, Ajou University, 2016.
- [14] S.M.Park, T.H.Kang, J.Yang, B.W.Lee, B.H.Roh, "Intelligent Entrance Security Control System Using BLE Beacon Based on the Mobius IoT Platform," in Proceedings of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers Conference, pp.1602-1604, 2016.
- [15] B.Pandey and P.Gill, "Enhancing Real-time Web Applications with WebSockets: Performance and Responsiveness," International Journal of Novel Research and Development, Vol.9, No.6, pp.810-812, 2024.

이 제 희(Je-Hui Lee)

[준회원]



■ 2024년 3월 ~ 2026년 2월 :
국립부경대학교 컴퓨터·인공지능
공학부

<관심분야>

임베디드 시스템, 차량 소프트웨어

김 동 건(Dong-Geon Kim)

[준회원]



■ 2020년 3월 ~ 2026년 2월 :
국립부경대학교 컴퓨터·인공지능
공학부

<관심분야>

사물인터넷(IoT), 임베디드 시스템

김 효 원(Hyo-Won Kim) [준회원]



- 2024년 3월 ~ 2026년 2월 :
국립부경대학교 컴퓨터·인공지능
공학부

<관심분야>
모바일 애플리케이션

백 채 연(Chae-Yeon Baek) [준회원]



- 2024년 3월 ~ 2026년 2월 :
국립부경대학교 컴퓨터·인공지능
공학부

<관심분야>
백엔드 시스템 아키텍처

김 태 국(Tae-Kook Kim) [중신회원]



- 2004년 8월 : 고려대학교
전기전자전파공학부(공학사)
- 2006년 8월 : 고려대학교
메카트로닉스학과(공학석사)
- 2014년 8월 : 고려대학교
모바일솔루션학과(공학박사)

- 2016년 3월 ~ 2022년 2월 : 동명대학교 AI학부 교수
- 2022년 3월 ~ 현재 : 국립부경대학교 컴퓨터·인공지능
공학부 교수

<관심분야>
사물인터넷(IoT), 콘텐츠 전송 네트워크(CDN), 이동성, 인
공지능(AI), 빅데이터(big data), 모바일 서비스