

A Playground Child Entry-Exit Detection System Using a Fixed Smart Device and BLE Beacons

Myoungbeom Chung*

*Associate Professor, Dept. of Faidea, Sungkyul University, Anyang-si, Korea

[Abstract]

For semi-open playground environments, it is important to manage the safety of young children without relying on complex infrastructure, while still reliably detecting whether a child has entered or exited the playground. This paper proposes a lightweight playground child entry-exit detection system that uses a fixed smart device installed in the playground and commercially available BLE beacons carried by children, focusing on binary inside, outside state detection rather than precise coordinate estimation. The proposed system applies an exponentially weighted moving average filter to BLE RSSI to mitigate signal fluctuations, and employs a time-accumulated state transition model with four states based on filtered RSSI, entry and exit thresholds, and time delay parameters. Field experiments in three playgrounds repeatedly entering and exiting showed that the proposed method achieved average detection delays of about 5.7 seconds for entry and 7.6 seconds for exit. Compared with a simple RSSI threshold-based baseline, it reduced false positives while maintaining Precision, Recall, and F1-scores above 0.95 for both entry and exit events. These results indicate that child entry-exit monitoring can be realized in small-scale playgrounds using only low-cost BLE beacons and a single smart device.

► **Key words:** Child safety, BLE beacon, Entry-exit detection, RSSI filtering, State transition model

[요 약]

반개방 놀이터에서 유아 및 초등 저학년 아동의 안전을 효율적으로 관리하려면, 복잡한 인프라 없이 놀이터 출입 여부를 신뢰성 있게 파악할 수 있는 경량 감지 기술이 필요하다. 본 논문에서는 놀이터에 설치된 고정형 스마트 기기와 아동이 휴대하는 상용 BLE 비콘을 이용하여 정밀 좌표 계산 없이 놀이터 내부, 외부 상태를 판정하는 입장, 이탈 감지 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 BLE RSSI에 지수가중 이동평균 필터를 적용하고, 필터링된 평균 RSSI를 입장, 이탈 임계값과 시간 지연 파라미터에 따라 네 가지 상태로 구분하는 시간 누적 상태 전이 모델을 사용한다. 성능 검증을 위해 놀이터 3곳에서 현장 실험을 수행한 결과, 평균 입장 검출 지연 약 5.7초, 이탈 검출 지연 약 7.6초를 보였으며, 단순 RSSI 임계값 방식보다 오검출을 줄이면서 입장, 이탈 이벤트의 Precision, Recall, F1-score를 0.95 이상 유지하였다. 이를 통해 저가 BLE 비콘과 단일 스마트 기기만으로 소규모 놀이터에서 실용적인 아동 출입 감지가 가능함을 확인하였다.

► **주제어:** 아동 안전, BLE 비콘, 출입 감지, RSSI 필터링, 상태 전이 모델

-
- First Author: Myoungbeom Chung, Corresponding Author: Myoungbeom Chung
 - Myoungbeom Chung (nzine@sungkyul.ac.kr), Dept. of Faidea, Sungkyul University
 - Received: 2026. 06. 04, Revised: 2026. 07. 24, Accepted: 2026. 07. 27.

I. Introduction

현대 도시 환경에서 유아 및 초등 저학년 아동은 어린이 집과 학교뿐 아니라 아파트 단지 내 놀이터, 근린공원, 소규모 공공 놀이터 등 다양한 반개방 공간에서 상당한 시간을 보낸다. 이러한 환경에서 보호자는 아동의 위치와 활동 범위를 지속적으로 시야로 추적하기 어렵고, 짧은 시간 내 발생하는 놀이터 이탈이나 안전사고를 즉시 인지하기 어려운 한계가 있다[1]. 국내에서도 어린이 통학 차량, 학교 주변, 공동주택 단지 등을 중심으로 아동 실종과 안전사고 사례가 꾸준히 보고되고 있으며, 아동의 위치와 이동을 기술적으로 지원하는 안전 관리 시스템에 대한 사회적 요구가 증가하고 있다[2].

이러한 요구에 따라 GPS(Global Positioning System)와 이동통신망, Wi-Fi, RFID(Radio-Frequency Identification), Bluetooth 등 다양한 무선 기술을 활용한 아동 위치 추적 및 안전 모니터링 시스템이 제안되어 왔다. GPS와 셀룰러 네트워크를 결합한 웨어러블 장치는 넓은 범위에서 아동 위치를 파악하는 데 유리하지만, 실내 및 반개방 공간에서의 위치 정확도 저하와 통신 요금, 배터리 소모 문제로 인해 일상적인 착용과 운영에 부담이 따른다[3, 4]. Wi-Fi 기반 위치 인식이나 RFID 기반 출입 관리 시스템은 학교나 통학 차량 등 특정 환경에서 입·퇴장 확인에는 효과적이지만, 소규모 놀이터와 공동주택 단지처럼 별도의 인프라 구축이 어려운 환경에서는 도입 비용과 유지보수 측면의 제약이 크다[5].

BLE(Bluetooth Low Energy) 비콘을 활용한 위치 인식 및 근접 감지(Proximity detection) 기술은 iBeacon과 Eddystone의 등장 이후 실내 위치 기반 서비스, 자산 추적, 매장 내 동선 분석 등에서 널리 연구·상용화된 성숙한 기술로 자리 잡았다[6, 7]. RSSI(Received Signal Strength Indication)를 이용한 다중 비콘 삼각측량, 핑거프린팅, Centroid 기반 위치 추정, 칼만 필터 및 이동 평균 기반 RSSI 평활화, 비콘 밀도 최적화 등 다양한 알고리즘이 제안되었으며, 통제된 실내 환경에서 수 미터 내외의 정밀 위치 추정을 달성하는 연구들이 진행되었다[8, 9]. 그러나 놀이터와 같이 개방·반개방 구조물이 혼재하고 아동이 활발히 이동하는 환경에서는 인체 차폐, 금속 놀이기구에 의한 다중 경로 반사, 주변 Wi-Fi/Bluetooth 간섭 등으로 RSSI 변동성이 증가하여, 실내 측위 기법을 그대로 적용할 경우 오검출과 미검출이 증가할 가능성이 있다.

또한 유아 및 저학년 아동에게 스마트 폰과 같은 고가의 스마트 기기를 상시 휴대하게 하고 위치 추적 애플리케이션을

션을 항상 실행하도록 요구하는 것은 현실적인 제약이 크다[10]. 보호자는 집 안이나 인근 카페 등에서 다른 활동을 하면서도 자녀가 놀이터 내부에 머무르고 있는지, 놀이터 경계를 벗어났는지를 간단히 확인하기를 원하지만, 복잡한 인프라나 고가 장비를 설치하지 않고 이를 달성하는 것은 쉽지 않다. 따라서 정밀 좌표를 계산하기보다 아동이 놀이터 내부에 머무르고 있는지와 경계를 벗어났는지를 안정적으로 판정할 수 있는 경량 이벤트 기반 시스템이 요구되며, 설치·운영 비용이 낮고 별도의 전용 게이트웨이나 서버 인프라 없이도 운영 가능한 구조가 바람직하다.

본 연구는 이러한 요구에 대응하여, 놀이터에 설치된 고정형 스마트 기기(출시된 지 2년 이상 된)와 아동이 휴대하는 상용 BLE 비콘을 이용하여 놀이터 입장·체류·이탈 이벤트를 탐지하는 영역 기반 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 BLE RSSI 시계열을 지수가중 이동평균 기반으로 평활화한 후, 평균 신호 수준을 이용한 시간 누적 상태 전이 모델을 적용함으로써 반개방 놀이터 환경에서의 신호 변동성에도 불구하고 실용적인 수준의 놀이터 입장, 이탈 이벤트 검출 지연과 높은 이벤트 검출 정확도를 달성하는 것을 목표로 한다. 놀이터에서 아동의 위치에 따라 발생하는 이벤트는 외부(S0), 입장후보(S1), 내부(S2), 이탈 후보(S3) 네 가지로 구성하며, 제안 애플리케이션은 입장 임계값과 이탈 임계값, 입장 지연 파라미터, 이탈 지연 파라미터에 의해 각각의 상태를 결정한다. 그리고 애플리케이션은 아동의 이탈 이벤트 발생 시 알림 서버로 즉시 정보를 전달하여 해당 부모에게 놀이터 이탈 알림을 전송한다. 제안 시스템의 성능 검증을 위해 단일 고정형 스마트 기기와 상용 BLE 비콘을 이용하여 세 곳의 각기 다른 구조의 놀이터에서 10명의 아동을 동시에 모니터링하는 놀이터 입출입 감지 실험을 진행하였고, 단순 RSSI 임계값 기반 방식과 제안 방식의 입장, 이탈 이벤트 검출 지연과 Precision, Recall, F1-score를 비교 분석하여 시간 누적 기반 상태 전이 구조를 적용한 제안 시스템이 보다 나은 성능을 보이는 것을 확인하였다. 기존 BLE 기반 위치 추정 연구들은 주로 실내 환경에서의 정밀 좌표 추정이나 다중 비콘을 이용한 위치 계산에 초점을 두고 있다. 반면 본 연구는 반개방형 놀이터 환경에서 아동의 정밀 위치 추정보다 입장·체류·이탈 여부를 안정적으로 판정하는 데 초점을 두었으며, 단일 고정형 스마트 기기와 상용 BLE 비콘만으로 동작하는 경량 이벤트 기반 시스템을 제안한다. 또한 지수가중 이동평균(EWMA: Exponentially Weighted Moving Average) 기반 RSSI 평활화와 시간 누적 상태 전이 모델을 결합하여, RSSI 변동성이 큰 놀이터 환경에

서도 오검출을 줄이고 실용적인 출입 감지를 구현했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 BLE 비콘 기반 위치 추적 기술을 이용한 아동 안전 관련 국내외 연구를 검토하고, 기존 연구의 특성을 확인한다. 3장에서는 제안하는 놀이터 아동 추적 시스템의 전체 구조와 동작 원리를 설명하고, 비콘을 지닌 아동의 입장과 이탈 판정 방식을 상세히 설명한다. 4장에서는 놀이터 세 곳에서 수행한 실험 환경과 평가 방법을 제시하고, 입장, 이탈 이벤트 검출 지연 시간 및 위치 인식 정확도 측면에서 제안 시스템의 성능을 분석한다. 5장에서는 연구 결과를 요약하고, 향후 연구 방향을 논의한다.

II. Related Work

아동 안전을 위한 위치 추적 및 모니터링 기술은 스마트 환경과 사물인터넷 기술의 확산과 함께 GPS, GSM, Wi-Fi, RFID, Bluetooth 등 다양한 무선 기술을 기반으로 꾸준히 연구되어 왔다. 일부 연구는 GPS와 이동통신망을 결합한 웨어러블 장치를 통해 아동의 위치를 보호자에게 전송하는 방식으로 광역 위치 추적을 구현하였으며, 보호자가 스마트폰 애플리케이션을 통해 실시간으로 위치 정보를 확인할 수 있도록 설계하였다[11]. 그러나 이러한 방식은 실내 또는 반개방 환경에서 GPS 정확도 저하 문제가 발생하고, 통신 요금과 배터리 소모에 대한 부담이 커 일상적인 착용과 운영에 제약이 있다. 또한 아동이 착용하는 기기의 크기와 무게, 착용 편의성, 내구성 등도 실제 보급의 장애 요인이 되었다.

BLE 비콘을 활용한 위치 인식 및 근접 감지 기술은 실내 위치 기반 서비스, 자산 추적, 매장 내 동선 분석 등에서 널리 활용되고 있으며, BLE 비콘 밀도와 배치 위치가 위치 정확도에 미치는 영향에 대한 분석 연구도 수행되었다[12]. 국내 연구에서도 비콘 RSSI 특성과 방향성에 따른 수신 강도 변화를 분석하거나, RSSI 기반 측위에서 칼만 필터 파라미터를 최적화하는 연구가 보고되었다[13]. 이러한 연구는 주로 공장, 실험실, 학교 복도, 상점 등 구조가 비교적 고정된 실내 환경에서 수 미터 내외의 정밀 위치 추정을 목표로 하였다.

BLE 기반 아동 안전 및 모니터링 시스템도 다양한 형태로 제안되었다. 일부 연구는 BLE 비콘과 스마트 기기를 연동하여 유모차 도난 방지, 통학차량 승·하차 알림, 실내·실외 아동 위치 추적 시스템을 구현하고, 보호자 또는 담당자에게 아동의 상태를 알림으로 제공하는 구조를 제시하였다. 예를 들어 듀얼 비콘의 거리 측정을 활용하여 유

모차 도난을 방지하는 기술, 학교 통학 차량 승·하차 과정에서 BLE 비콘과 스마트 디바이스를 연동한 승·하차 알림 시스템이 제안되었으며, 이는 차량과 승·하차 지점에 비콘을 설치하고 아동이 특정 영역에 진입하거나 이탈할 때 자동으로 알림을 전송하는 구조를 갖는다[14, 15]. 이와 같은 시스템은 차량이나 건물 출입구와 같이 비교적 명확한 경계를 가진 환경에서 효과적이지만, 놀이터와 같이 개방·반개방 구조물이 혼재하고 아동이 자유롭게 이동하는 환경에 특화된 연구는 상대적으로 부족하다.

BLE 기반 근접 센싱(Proximity sensing) 및 사물 인터넷(IoT: Internet of Things) 응용에서는 고정형 스캐너와 이동형 BLE 태그 구조가 자산 추적, RTLS(Real-Time Locating System), Occupancy monitoring, 지오펜싱(Geofencing), Wearable Safety Monitoring 등 다양한 분야에서 널리 사용된다. 고정 스캐너가 주변 태그의 광고 패킷을 수신하여 존재 여부, 근접 여부, 특정 영역 출입 여부를 판정하는 구조는 이미 표준적인 설계 패턴으로 활용되고 있으며, RSSI 기반 임계값 판정과 시간 지연을 결합한 이벤트 검출 방식도 반복적으로 제안되어 왔다. 그리고 RSSI 기반 근접 감지에서 신호 변동성에 대응하기 위해 칼만 필터와 지수가중 이동평균, 이동 평균 등 다양한 필터링 기법이 적용되었고, 특정 임계값을 일정 시간 이상 초과/미만일 때만 이벤트를 발생시키는 시간 누적 기반 상태 머신 구조가 사용되었다.

이와 같이 BLE 기반 위치 인식 및 아동 안전 시스템 분야에서는 다양한 필터링·판정 기법과 시스템 구조가 많이 제안되어 왔으며, 고정 스캐너-이동 태그 구조와 Kalman/EWMA 기반 RSSI 평활화, 시간 누적 상태 전이 모델 자체는 새로운 개념이 아니다. 본 연구는 이러한 선행 연구들을 바탕으로, 반개방 놀이터 환경에서 아동의 놀이터 입장·체류·이탈이라는 구체적인 이벤트에 초점을 맞추어, 지수가중 평활화 된 RSSI와 시간 누적 상태 전이 모델을 결합한 경량 판정 기법을 설계하고, 단순 RSSI 임계값 기반 방식과의 정량적 비교를 통해 놀이터 아동 안전 관리 도메인에서의 적용 가능성을 평가한다는 점에서 차별성을 갖는다.

III. A Playground Child Entry-Exit Detection System Using a Fixed Smart Device and BLE Beacons

본 장에서는 놀이터 환경에서 다수의 아동이 동시에 활

동하는 상황에서, 각 아동이 BLE 비콘을 휴대하고 놀이터 내에 위치한 스마트 기기를 이용하여 아동 추적 및 체류 상태를 추적하는 시스템의 전체 구조와 동작 원리를 설명한다. 제안 시스템은 그림 1과 같이 놀이터 내에 설치된 고정형 스마트 기기, 아동이 휴대하는 BLE 비콘, 푸시 알림 서버와 보호자 스마트 폰으로 구성된다. 놀이터에 설치된 스마트 기기(Playground gateway)는 BLE 스캐너 역할을 수행하며, 주변 비콘에서 송신되는 광고 패킷을 주기적으로 수신하여 각 비콘 ID와 RSSI 값을 기록한다. 보호자는 자녀에게 상용 BLE 비콘을 목걸이 또는 허리 벨트 형태로 착용하게 하고, 비콘 ID와 아동 정보, 알림을 받기 위한 부모 스마트 기기를 사전에 제안 시스템에 등록한다. 고정형 스마트 기기는 LTE 또는 Wi-Fi를 통해 푸시 알림 서버와 연결되어, 아동의 놀이터 입장·이탈 이벤트가 감지될 경우 보호자의 스마트 폰으로 알림을 전송한다.

아동이 지닌 비콘은 일정 주기로 BLE 패킷 신호를 송신하며, 패킷에는 고유 ID와 기본 정보(배터리 상태, 프로파

일 타입 등)가 포함된다. 놀이터에 설치된 스마트 기기는 BLE 스캐닝 모드를 활성화한 상태로 상시 동작하며, 주변에서 수신되는 모든 BLE 광고 패킷을 수집한다. 이때 시스템은 등록된 비콘 ID 목록을 유지하고 있으며, 해당 목록에 포함되지 않은 비콘은 무시한다. 비콘 RSSI 신호에 대해 스마트 기기는 그림 2와 같은 절차로 비콘을 지닌 아이들의 상태를 관리한다. 그림 2에서 등록된 비콘 ID에 대해 최초로 RSSI가 감지되면, 해당 아동이 놀이터 인근에 도착한 것으로 간주하고 “입장 후보(S1)” 상태가 된다. 단 발성 노이즈를 방지하기 위해, 짧은 시간 윈도우 동안 연속적으로 RSSI가 감지될 경우에만 최종적인 “내부(S2)”로 결정한다. 놀이터에 입장한 것으로 판정된 아동의 경우, 스마트 기기는 주기적으로 RSSI를 수집해 그 값을 갱신한다. RSSI가 정의한 임계값 범위 내에 유지되는 경우, 아동은 여전히 놀이터 영역 안에 있는 것으로 판단한다. 그리고 일정 시간 동안 연속적으로 RSSI가 전혀 감지되지 않거나, 필터링 된 값이 놀이터 경계 기준보다 약한 상태가

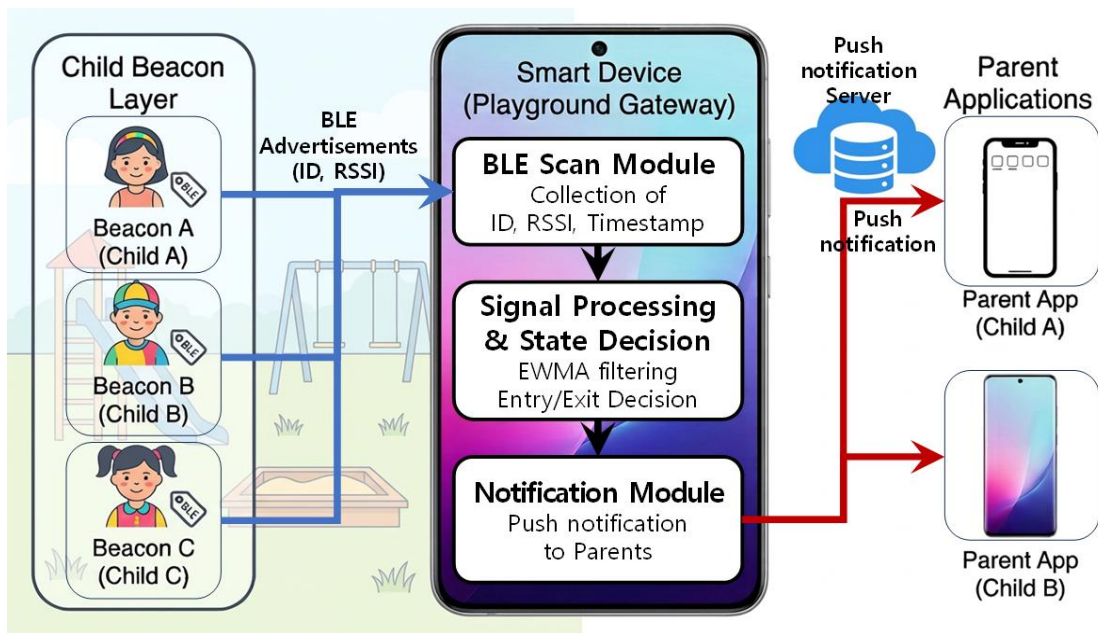


Fig. 1. The flow of the playground child entry-exit detection system

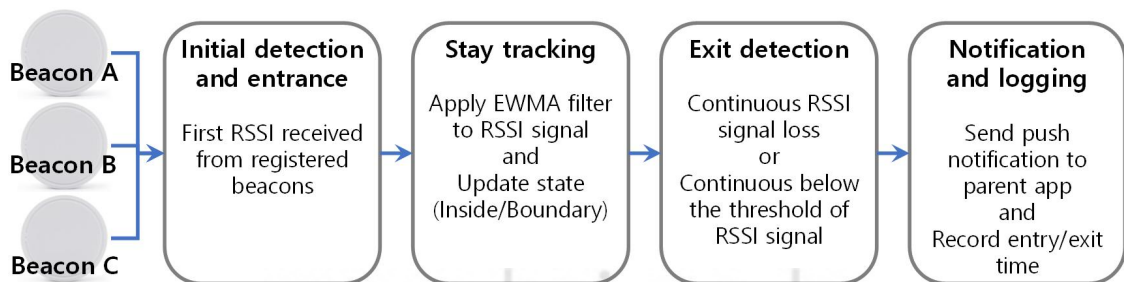


Fig. 2. Child tracking and entry/exit detection procedures on smart device

지속되면 “이탈(S3)” 이벤트를 발생시킨다. 이때 시스템은 마지막으로 유효한 RSSI가 감지된 시점을 기준으로 이탈 시간을 기록하고, 보호자에게 이탈 알림을 전송한다.

RSSI는 환경 요인과 측정 노이즈에 의해 순간적으로 크게 변동하는 특성이 있으므로, 제안 시스템에서는 관측된 RSSI 시계열을 평활화하여 평균 신호 수준을 추정된 후 이를 기반으로 상태 판정을 수행한다. 본 연구는 1차원 칼만 필터와 동일한 형태의 EWMA 기반 필터를 적용한다. 시간 t 에서 특정 비콘에 대해 관측된 RSSI를 r_t , 필터링된 평균 RSSI $\bar{r}_t$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{r}_t = \alpha r_t + (1 - \alpha) \bar{r}_{t-1} \quad (1)$$

식 1에서 α 는 $0 < \alpha < 1$ 범위의 평활화 계수로, 최신 관측값과 과거 평균값의 가중치를 조절하는 역할을 한다. α 가 클수록 필터는 최신 관측값을 빠르게 반영하지만 노이즈에 민감해지고, α 가 작을수록 노이즈 제거 효과는 커지지만 응답 속도가 느려진다. 본 연구에서는 실험을 통해 다양한 α 값에 대해 오검출과 미검출, 검출 지연을 비교한 뒤, RSSI 변동성을 완화하면서도 입장, 이탈 이벤트 검출 지연을 과도하게 증가시키지 않는 범위에서 α 값을 설정한다. 즉, 제안 시스템의 필터는 칼만 필터에서 칼만 이득을 고정 계수로 단순화한 형태로 볼 수 있으며, RSSI의 잡음을 제거하기 위한 경량 필터로 사용된다. 필터링된 평균 RSSI $\bar{r}_t$ 를 기반으로, 제안 시스템은 각 비콘의 놀이터 출입 상태를 네 가지 상태로 정의하고 상태 전이 규칙에 따라 입장-체류-이탈 이벤트를 판정한다. 상태는 외부(S0), 입장후보(S1), 내부(S2), 이탈 후보(S3) 네 가지로 구성되며, 입장 임계값 θ_{in} , 이탈 임계값 θ_{exit} , 입장 지연 파라미터 τ_{enter} , 이탈 지연 파라미터 τ_{exit} 에 의해 상태 전이가 결정된다. θ_{in} 과 θ_{exit} 는 놀이터 내부와 경계 부근에서의 평균 RSSI 분포를 기반으로 설정된 값으로, 테스트에서 여러 경계 후보를 적용하여 오검출과 미검출의 균형을 고려해 결정한다. τ_{enter} 와 τ_{exit} 는 필터링된 RSSI가 임계값 이상/이하로 유지되어야 하는 최소 시간이다.

필터링된 평균 RSSI $\bar{r}_t$ 를 기반으로 상태 전이 조건은 다음과 같이 정의한다. 먼저 $\bar{r}_t$ 가 입장 임계값 θ_{in} 이상인 상태가 연속적으로 유지되는 시간을 입장 누적 시간 $T_{in}(t)$ 로 두고 식(2)와 같이 계산한다.

$$T_{in}(t) = \begin{cases} T_{in}(t-1) + \Delta t, & \bar{r}_t \geq \theta_{in} \\ 0, & \bar{r}_t < \theta_{in} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 Δt 는 BLE 스캔 주기이며, $T_{in}(t) \geq \tau_{enter}$ 가 되는 시점에 상태를 내부 S2로 전이하여 입장 이벤트로 판정한다. 그리고 이탈 누적 시간 $T_{out}(t)$ 은 $\bar{r}_t$ 가 이탈 임계값 θ_{exit} 이하인 상태가 연속적으로 유지되는 시간을 의미하며, 식 (3)으로 정의한다.

$$T_{out}(t) = \begin{cases} T_{out}(t-1) + \Delta t, & \bar{r}_t \leq \theta_{exit} \\ 0, & \bar{r}_t > \theta_{exit} \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 $T_{out}(t) \geq \tau_{exit}$ 가 되면 상태를 외부 S0로 전이하고 이탈 이벤트로 판정한다. 즉, 임계값 조건을 일정 시간 이상 만족할 때만 상태를 변경함으로써, 반개방 놀이터 환경에서 발생하는 순간적인 RSSI 변동과 단발성 스캔 누락으로 인한 오검출과 미검출을 완화할 수 있다. 제안 필터와 상태 전이 규칙은 반개방 놀이터 환경에서 발생하는 RSSI 변동성과 스캔 누락을 고려하여 설계하였다. EWMA 필터는 RSSI 시계열에서 노이즈와 단일 스캔 누락에 민감한 변동을 완화하고, 시간 누적 기반 상태 전이는 일정 시간 이상 임계값 조건이 유지될 때만 입장, 이탈 이벤트를 선언함으로써, 단순 임계값 기반 방식에서 빈번하게 발생할 수 있는 오검출과 미검출을 줄일 수 있다.

IV. Experiments and Evaluation

제안 시스템의 성능을 검증하기 위해 그림 3과 같이 스마트 기기 애플리케이션(놀이터 입출입 감지 애플리케이션)을 Galaxy Note 20 기반으로 개발하였다. 그림 3에서 오른쪽 위에 Gateway Connected는 푸시 알림 서버와 연결되었고, 체류 측정이 진행됨을 의미한다. 제안 애플리케이션의 평활화 계수 α 는 여러 후보값에 대해 오검출, 미검출 및 검출 지연을 비교한 뒤, RSSI 변동성 완화와 응답 지연 사이의 균형을 고려하여 0.4로 설정하였다. 등록된 비콘을 지닌 아이가 놀이터로 입장한 경우 아이 번호와 함께, Entry 시간을 표시하고 푸시 알림 서버에 정보를 전송한다. 지속적으로 체류 중인 경우 Inside로 나타나며, 놀이터를 이탈한 경우 Exit 시간이 측정되고 상태를 Exited로 표시하고 이탈 정보를 푸시 알림 서버에 전송한다.

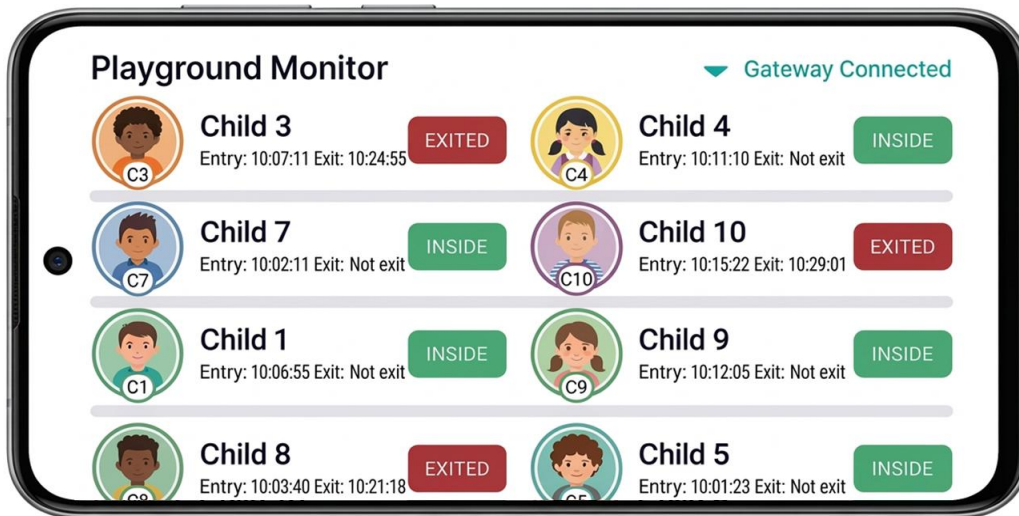


Fig. 3. The screen capture of the child tracking and entry-exit detection application

제안 애플리케이션과 비콘을 이용한 실험은 세 곳의 놀이터(아파트 단지 내 놀이터 1곳, 근린공원 내 놀이터 1곳, 유치원 부속 놀이터 1곳)를 대상으로 현장 실험을 수행하였다. 실험은 주로 평일 오후 시간대의 맑은 날씨 조건에서 수행하였으며, 각 놀이터는 주변 수목, 금속 놀이기구, 인접 도로 및 주변 무선기기(Wi-Fi AP, Bluetooth 단말 등)를 포함하는 반개방 환경을 가진다. 각 놀이터의 면적은 약 150~250 m² 범위이며, 미끄럼틀, 그네, 모래놀이, 벤치 등 다양한 놀이시설과 주변 수목, 울타리, 인접 도로 등을 포함하는 반개방 구조를 가진다. 각 놀이터에는 주변 시야가 확보되는 위치에 BLE 5.0을 지원하는 Galaxy Note 20을 설치하고, 놀이터 입출입 감지 애플리케이션을 실행하였다. 고정형 스마트 기기는 각 놀이터 중앙에 지면으로부터 약 1.2m~1.5m 높이에 설치하여 BLE 수신 범위를 확보하였고, 실외 운용을 위해 방수·방진 케이스 및 도난 방지 고정을 적용하였다. 실험 시간 동안 배터리 소모를 줄이기 위해 보조 배터리를 상시 연결하여 충전 상태를 유지하였으며, 화면 잠금 시 BLE 스캔이 중단되는 제약을 고려하여 자동 화면 잠금을 비활성화한 상태에서 실험을 진행하였다. 네트워크 연결은 LTE 또는 Wi-Fi를 사용하고, 알림 서버와의 연결 안정성을 사전 점검한 후 실험을 수행하였다. 스마트 기기의 BLE 스캔 주기를 0.5초로 하였고 LTE를 통해 푸시 알림 서버와 연결되도록 구성하였으며, 놀이터별 입장, 이탈 임계값, 시간 지연 파라미터 τ_{enter} 와 τ_{exit} 는 표 1과 같다. 각 놀이터에 따라 입장, 이탈 임계값을 다른 이유는 입장 임계값 θ_{in} 과 이탈 임계값 θ_{exit} 은 각 놀이터의 구조적 특성과 주변 무선 환경을 반영하기 위해 사전 캘리브레이션을 통해 결정하였다. 구체적으로, 놀이터를 중심으로 동, 북동, 북, 북서, 서, 남서, 남, 남동

의 8개 방향에서 각각 약 10분간 RSSI를 측정하고, 각 방향에서 관측된 평균 RSSI 값을 종합하여 내부와 외부 상태를 구분할 수 있는 대표 임계값으로 표 1과 같은 입장 임계값 θ_{in} 과 이탈 임계값 θ_{exit} 을 설정하였다. 이는 각 놀이터의 면적, 주변 수목 및 구조물의 분포, 그리고 전파 반사 및 차폐 특성이 서로 다르기 때문에, 동일한 임계값을 일괄 적용하기보다 현장 측정값에 기반하여 놀이터별로 구분한 것이다.

Table 1. Entry and exit RSSI thresholds and time delay parameters for each playground

Place (Playground)	Thresholds (dBm)		Parameters (seconds)	
	θ_{in}	θ_{exit}	τ_{enter}	τ_{exit}
In apartment	-70	-82	5	7
Neighborhood park	-72	-85	5	7
Kindergarten park	-67	-80	5	7

이러한 방식은 단순한 이론적 기준이 아니라 실제 환경에서 관측된 RSSI 분포를 반영함으로써, 영역 기반 입장·이탈 판정의 안정성을 높이기 위한 것이다. 입장 지연 시간 τ_{enter} 과 이탈 지연 시간 τ_{exit} 은 BLE RSSI의 순간적인 변동성과 스캔 누락에 따른 오검출을 완화하기 위해 설정하였다. 입장 이벤트는 아동이 놀이터 내부로 실제 진입한 이후 RSSI가 비교적 빠르게 안정화되는 특성이 있으므로 5초로 설정하였으며, 이탈 이벤트는 경계 부근에서 일시적으로 RSSI가 약해지거나 다시 회복되는 현상이 빈번하게 나타나므로 불필요한 이탈 알림을 방지하기 위해 7초로 더 길게 설정하였다. 즉, 본 연구에서는 이탈 판정을 보다 보수적으로 수행하도록 설계하여, 실제 운영 환경에서의 안정성과 신뢰성을 높이고자 하였다.

실험에는 B-Fon의 Beacon E7을 손에 지니는 형태로 참가자 10명이 참여하였다. Beacon E7는 출결 관리용으로 판매되는 Bluetooth 5.0 기반 상용 비콘으로, 광고 주기 약 0.9 s, 송신 전력 0 dBm, CR2477 코인 배터리(약 1000 mAh)를 사용하며, 본 연구에서는 출고 기본 설정 상태로 참가자가 손에 지닌 형태로 실험을 진행하였다.

본 연구는 실제 아동을 대상으로 한 인체 대상 연구가 아니라, 제안 시스템의 기능 및 성능 검증을 위해 성인 지원자 10명을 대상으로 수행한 실험이다. 실험 과정에서 수집한 데이터는 BLE 비콘 ID, RSSI, 입·이탈 시각 등 시스템 동작 평가에 필요한 항목에 한정되었으며, 개인을 직접 식별할 수 있는 아동 정보는 수집하지 않았다. 푸시 알림 서버와 등록된 스마트 기기는 알림 기능 검증을 위한 실험 환경의 일부로 사용되었으며, 관련 참여자에게는 사전 설명 후 동의를 받은 뒤 실험을 진행하였다. 실험 인원을 10명으로 한 것은 각 놀이터 면적 150~250 m² 내에서 평일 1시간 단위로 아이들의 이용 인원을 확인한 결과 10명이 넘어가는 경우는 많지 않았기 때문이다. 각 참가자는 놀이터 외부 약 20~30 m 지점에서 출발하여 천천히 놀이터 내부로 진입하고, 최소 5분 이상 자유롭게 이동하며 체류한 후, 출구 방향으로 이동하여 놀이터 경계 밖 20~30 m 지점까지 이탈하는 시나리오를 1인 최소 2회 이상 여러 차례 반복하여 약 60분 동안 실험을 진행한다. 이때 여러 시점에 참가자들이 서로 다른 시간에 입장하거나 이탈하도록 하여 다수 아동이 동시에 이동하는 상황을 재현하였다. 놀이터의 아동 입장·이탈 시점은 진행요원이 시각 동기화된 타이머를 사용하여 기록하였으며, 시스템 로그에 기록된 입장, 이탈 이벤트 시각과 비교하여 검출 지연을 계산하였다. 각 놀이터별 입장 이벤트 수, 이탈 이벤트 수, 입장과 이탈 감지 평균 지연 시간 결과는 표 2와 같다. 표 2에서 각 놀이터별 입장 수에 대응하는 퇴장 수가 나온 것을 볼 수 있는데, 이는 입장과 퇴장 모두 오검출과 미검출

없이 정확히 입장, 퇴장을 인식한 것이다. 그리고 세 놀이터에서 측정된 입장 검출 지연 시간은 평균 5.7초, 이탈 검출 지연 시간은 평균 7.8초이다. 이는 시스템에 설정한 스캔 주기와 지수가중 이동평균 필터를 적용한 입장·이탈 판정 지연 시간을 고려할 때, 실험 의도에 부합하는 결과이다. 또한, 입장 지연 파라미터를 이탈 지연 파라미터보다 2초 적게 하였기 때문에, 입장 검출 시간은 이탈에 비해 다소 짧게 측정되는 경향을 보인 것으로 추측된다.

Table 2. Number of entry and exit events for each playground and the results of average delay time of entry and exit detection

Place (Playground)	Number of events		Delay time for detection (seconds)	
	Entry	Exit	Entry	Exit
In apartment	38	38	5.3	7.5
Neighborhood park	41	41	6.0	8.0
Kindergarten park	46	46	5.8	7.9

표 2에서 근린공원과 같이 주변 수목과 구조물이 많은 곳에서는 RSSI 변동성이 커서, 입장, 이탈 검출 시간이 길어지는 경향을 보였으나, 세 환경에서 8초 이내로 이탈을 검출하는 것이 가능하였다. 이는 보호자가 실시간으로 화면을 주시하지 않더라도, 약 10초 이내에 자녀의 놀이터 이탈 여부를 알림으로 전달받을 수 있음을 의미한다.

세부적인 결과 확인을 위해 각 놀이터별 10분 이내 시간 동안 참가자 10명이 임의의 시간에 입장, 퇴장하는 실험을 진행하였다. 표 3은 각 놀이터별 실제 입장, 이탈 시간과 제안 애플리케이션에 기록된 입장, 이탈 시간을 분 단위 실수로 작성한 것이다. 표 3에서 아파트 단지 내 놀이터 Child 1은 2.75분(2:45)에 입장하고, 입장 검출 시간은 2.88분(2:53)으로 7.9초의 입장 판정 지연 시간을 보인다. Child 1은 8.17분(8:11)에 이탈하였고, 검출 시간은

Table 3. Actual Entry/Exit Times and Detected Entry/Exit Times by the Application for Each Playground

Place (Playground)		Child 1		Child 2		Child 3		Child 4		Child 5		Child 6		Child 7		Child 8		Child 9		Child 10	
		In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out	In	Out
Apartment	True (min)	2.75	8.17	4.46	9.52	3.25	9.11	3.24	8.84	2.11	8.08	1.41	7.67	2.72	8.62	1.93	9.55	3.26	8.46	2.03	7.29
	Detected (min)	2.88	8.26	4.54	9.65	3.34	9.22	3.30	8.99	2.20	8.17	1.51	7.79	2.82	8.73	2.01	9.67	3.36	8.57	2.10	7.4
Neighborhood	True (min)	5.72	9.2	1.05	5.02	2.87	8.61	4.19	9.03	6.32	9.51	1.98	6.68	4.98	8.01	3.22	7.91	1.97	7.88	2.87	8.91
	Detected (min)	5.83	9.32	1.11	5.12	2.94	8.69	4.28	9.14	6.44	9.59	2.05	6.82	5.06	8.13	3.3	8.02	2.06	8.01	2.95	9.05
Kindergarten	True (min)	1.19	8.31	5.03	8.91	3.31	8.35	2.45	7.7	4.92	8.91	1.95	6.67	3.31	9.62	4.01	8.83	2.98	8.42	3.47	9.09
	Detected (min)	1.27	8.4	5.1	9.03	3.41	8.49	2.49	7.82	5.0	9.06	2.01	6.78	3.38	9.71	4.08	8.94	3.06	8.57	3.52	9.21

8.26분(8:16)으로 이탈 판정 지연 시간은 5.0초인 것을 확인할 수 있다. 근린공원 내 놀이터의 Child 1은 5.72분(5:43)에 입장하고, 입장 검출 시간은 5.83분(5:50)으로 6.6초의 입장 판정 지연 시간을, 9.2분(9:12)에 실제 이탈하고, 이탈 검출 시간은 9.32분(9:19)으로 이탈 판정 지연 시간은 7.2초인 것을 확인할 수 있다. 유치원 부속 놀이터의 Child 1은 실제 입장과 입장 검출 시간의 지연 시간 4.8초, 이탈 지연 시간 5.4초를 나타냈으며, Child 2는 입장 지연 시간 4.2초, 이탈 지연 시간 7.2초를 나타냈다. 이를 종합하여, 각 놀이터에 실험 참가자의 입장 및 이탈 지연 시간은 그림 4와 같이 통계 그래프로 나타낼 수 있다.

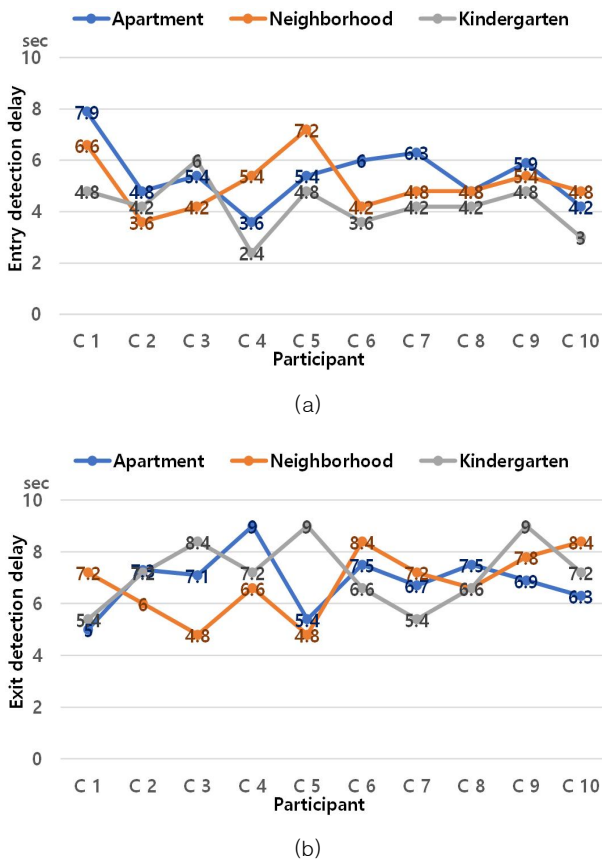


Fig. 4. Entry and exit detection delay for each playground: (a) Entry detection delay, (b) Exit detection delay

그림 4(a)는 놀이터 입장 측정 시간과 애플리케이션에서 검출한 입장 시간의 차이를 각 놀이터별로 나타낸 것이다. 각각의 놀이터에서 입장 검출 지연 시간은 2초 이상 8초 이내를 나타냈으며, 아파트 단지 내 놀이터 평균 5.43초, 근린공원 내 놀이터 평균 5.1초, 유치원 부속 놀이터 평균 4.2초의 입장 검출 지연 시간을 보였다. 그림 4(b)에서는 놀이터 이탈 측정 시간과 애플리케이션에서 검출한 이탈 시간의 차이를 각 놀이터별로 나타낸 것이다. 각 놀이터에

서 이탈 검출 지연 시간은 4초 이상 10초 이내를 나타냈으며, 아파트 단지 평균 6.87초, 근린공원 평균 6.78초, 유치원 부속 평균 7.2초의 이탈 검출 지연 시간을 보였다. 이때 입장 검출 지연 시간이 이탈 검출 지연 시간 보다 적은 이유는 표 2에서와 같이 입장 지연 파라미터를 이탈 지연 파라미터보다 적게 한 부분의 영향으로 예상된다.

다음으로 단순 RSSI 임계값 기반 방식, 단순 임계값에 시간 누적만 적용한 방식, 그리고 제안 기법의 비교 실험을 진행하였다. Baseline 방식은 RSSI 필터링이나 시간 누적을 적용하지 않고, 관측된 RSSI가 입장 임계값 θ_{in} 이상으로 상승할 때 즉시 입장으로, 이탈 임계값 θ_{exit} 이하로 감소할 때 즉시 이탈로 판정하는 구조를 사용하였다. 그리고 시간 누적만 적용한 방식은 EWMA 기반 RSSI 평활화를 하지 않고 단순 RSSI 임계값 기반 방식에 시간 누적을 적용한 것이며, 제안 방식은 3장에서 설명한 바와 같이 EWMA 기반 RSSI 평활화와 시간 누적 상태 전이 모델(S0-S3)을 결합한 구조이다. 두 방식 모두 동일한 BLE 스캔 주기(0.5초)와 동일한 θ_{in} , θ_{exit} 를 사용하여 공정한 비교가 이루어지도록 설정하였다.

Baseline 방식, 시간 누적을 적용한 방식, 그리고 제안 방식의 입장, 이탈 검출 지연은 실제 입장, 이탈 시각과 시스템이 이벤트를 출력한 시각의 차이로 정의한다. 놀이터별, 이벤트 유형별로 평균(Mean), 표준편차(Standard Deviation), 최소값(Min), 최대값(Max), 95th percentile을 산출하여 세 방식의 응답 값을 비교하였다. 실험은 앞서 진행한 실험과 동일한 형태로, 각 놀이터별 10분 이내 시간 동안 실험 참가자 10명이 임의의 시점에 입장하고, 퇴장하는 실험을 총 3회씩 수행하였으며, 표 4는 세 놀이터에서의 입장 및 이탈 이벤트 검출 지연에 대한 요약 통계 결과이다. 표 4에서 Baseline 방식은 평균 지연이 상대적으로 짧게 나타나는 경우가 있었으나, RSSI의 순간 변동에 민감하여 지연 분포의 분산과 최대값이 크게 증가하는 경향을 보였다. 시간 누적만을 적용한 방식에서는 Baseline에 비해 순간적인 오검출을 일부 완화하여 평균 지연의 안정성이 개선되었으나, RSSI 변동 자체를 충분히 억제하지는 못해 여전히 일부 환경에서 지연 분산이 크게 나타났다. 제안 방법은 입장 평균 검출 지연 약 5.7초, 이탈 평균 검출 지연 약 7.6초 수준이었으며, 95 percentile 기준으로도 세 환경 모두에서 10초 이내에 입장, 이탈 이벤트를 검출하는 것이 가능하였다. 즉, 제안 방식은 EWMA 기반 RSSI 평활화와 시간 누적 상태 전이 모델을 결합함으로써 평균 지연을 일정 수준으로 유지하면서도 분산과 최대값을 추가로 줄였다. 이는 단순 임계값 판정에

비해 시간 누적의 효과가 유의미하며, 여기에 RSSI 평활화를 결합할 때 가장 안정적인 응답 특성을 얻을 수 있음을 보여준다.

Table 4. Statistics for performance comparison of entry and exit event detection delays

Event type	Method	Mean (s)	Std (s)	Min (s)	Max (s)	95 (s)
Entry	Baseline	4.1	3.2	0.5	18.3	9.8
	Time accumulated	4.9	2.8	0.9	13.9	9.6
	Proposed	5.7	2.1	1.2	11.4	9.5
Exit	Baseline	5.3	4.5	0.6	22.7	12.1
	Time accumulated	6.4	3.6	1.3	17.4	10.6
	Proposed	7.6	2.6	1.8	13.0	9.9

다음으로 단순 RSSI 임계값 기반 방식, 시간 누적 적용 방식, 그리고 제안 기법의 이벤트 검출 정확도를 비교하기 위해 입장 및 이탈 이벤트에 대한 False alarm rate, Missed exit rate, Precision, Recall, F1-score를 산출하였으며, 그 결과는 표 5와 같다. False alarm rate는 실제로 이벤트가 발생하지 않았거나 혹은 이벤트 발생 후 일정 시간 내에 검출되지 않아 불필요한 알람이 발생한 경우와 필요한 알람이 발생하지 않은 경우의 비율로 정의하였고, Missed exit rate는 실제 이탈이 발생하였음에도 일정 시간 내에 이탈 이벤트로 판정되지 않은 비율로 정의하였다. 본 연구에서는 False alarm rate와 Missed exit rate 계산 시 표 4의 이탈 Baseline 95 percentile 값인 12.1초를 기준 시간으로 사용하였다. True Positive(TP)는 실제 입장 또는 이탈이 발생하였고 시스템이 해당 이벤트를 올바르게 검출한 경우, False Positive(FP)는 실제로 해당 이벤트가 발생하지 않았는데 시스템이 잘못 검출한 경우, False Negative(FN)는 실제 이벤트가 발생했으나 시스템이 검출하지 못한 경우로 정의하였다. Precision, Recall, F1-score는 각각 다음 식으로 계산하였다.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (4)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

$$F1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (6)$$

표 5의 결과를 보면, Baseline 방식은 입장 및 이탈 검출에서 상대적으로 높은 False alarm rate와 Missed exit rate를 보였으며, 이는 경계 부근에서 RSSI가 순간적으로 변동할 때 오검출 또는 미검출이 발생하기 쉬움을 의미한다. 시간 누적 적용 방식은 Baseline에 비해 두 지표가 모두 개선되어, 시간 조건을 추가하는 것만으로도 불필요한 알람과 이탈 누락을 상당 부분 줄일 수 있음을 보여준다. 그러나 제안 방식은 EWMA 기반 RSSI 평활화와 시간 누적 상태 전이 모델을 함께 적용함으로써 가장 낮은 False alarm rate와 Missed exit rate를 달성하였으며, 그 결과 Precision과 Recall, F1-score 역시 가장 높은 수준을 유지하였다. 특히 근린공원과 같이 수목과 구조물이 많은 환경에서 Baseline 방식은 RSSI의 일시적 감소로 인해 오검출이 증가하는 경향을 보였으나, 제안 방식은 이러한 변동을 완화하여 보다 안정적인 이벤트 판정을 제공하였다. 따라서 표 4의 지연 성능과 표 5의 이벤트 검출 정확도 지표를 종합하면, 제안 방식은 반개방 놀이터 환경에서 실용적인 수준의 입장 및 이탈 자동 감지를 구현할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 보호자가 화면을 상시 주시하지 않더라도, 수 초 이내에 자녀의 놀이터 이탈 여부를 알림으로 전달받을 수 있음을 의미하며, 반개방 놀이터 환경에서도 상용 저가 비콘과 단일 스마트 기기만으로 실용적인 수준의 입장, 이탈 이벤트 자동 감지가 가능하다.

Table 5. Detection accuracy of entry and exit events

Method	Event type	TP	FP	FN	False alarm rate	Missed exit rate	Precision	Recall	F1
Baseline	Entry	85	9	5	17.778%	7.778%	0.904	0.944	0.924
	Exit	83	11	7			0.883	0.922	0.902
Time accumulated	Entry	88	5	2	9.444%	4.444%	0.946	0.978	0.962
	Exit	86	6	4			0.935	0.956	0.945
Proposed	Entry	90	0	0	0.556%	1.111%	1	1	1
	Exit	89	0	1			1	0.989	0.994

V. Conclusions

본 논문은 반개방 놀이터 환경에서 유아 및 초등 저학년 아동의 입장, 체류, 이탈 이벤트를 자동으로 감지하기 위해, 놀이터에 설치된 고정형 스마트 기기와 아동이 휴대하는 상용 BLE 비콘을 이용한 놀이터 어린이 출입 감지 시스템을 제안하였다. 제안 방법은 필터링 된 RSSI와 시간 누적 상태 전이 모델을 사용하여 아동의 놀이터 내부, 외부 상태를 판정함으로써, 단일 스마트 기기만으로도 아동의 출입 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있음을 보여주었다. 세 곳의 실제 놀이터에서 수행한 현장 실험 결과, 입장, 이탈 이벤트에 대해 수 초 수준의 검출 지연과 높은 이벤트 검출 정확도를 달성하여, 보호자가 화면을 상시 주시하지 않더라도 자녀의 놀이터 이탈 여부를 빠르게 인지할 수 있는 실용적 가능성을 확인하였다.

본 연구는 세 곳의 놀이터, 10명의 참가자 수준의 제한된 실험에 기반하고 있으며, 계절·시간대·인파 밀도·무선 간섭 등 다양한 환경 조건을 충분히 반영하지 못한 한계를 가진다. 향후에는 더 많은 놀이터와 장기간 데이터를 대상으로 성능을 검증하고, 클라우드 기반 다양한 놀이터 통합 관리, 보호자·교사 대상 사용성 평가를 포함한 설계 가이드라인을 마련함으로써, 실제 현장에서 활용 가능한 아동 놀이터 안전 서비스로 발전시키는 연구가 필요하다. 또한 본 연구는 단일 종류의 상용 BLE 비콘을 기준으로 실험을 수행하였으므로, 비콘 하드웨어의 종류에 따른 성능 편차는 충분히 검토하지 못한 한계가 있다. 향후에는 송신 출력, 광고 주기, 수신 안정성이 서로 다른 다양한 BLE 비콘을 대상으로 반복 실험을 수행하여, 비콘 종류에 따른 입장·이탈 검출 성능 차이를 정량적으로 분석할 필요가 있다. 아울러 비콘 특성 변화가 입장 임계값, 이탈 임계값, 입장 지연 시간, 이탈 지연 시간의 설정에 미치는 영향을 함께 검토함으로써, 다양한 장치 환경에서도 적용 가능한 파라미터 설정 기준과 일반화된 설계 지침을 마련할 필요가 있다. 마지막으로 실제 운용 측면에서 본 연구는 다수 아동이 동시에 밀집하는 경우 BLE 패킷 증가로 인한 스캔 지연·누락 가능성이 있으며, 보호자 스마트폰 알림은 LTE/Wi-Fi 및 서버 상태에 따라 지연·누락이 발생할 수 있다. 또한 안드로이드의 BLE 스캔 제한 정책 및 화면 잠금 시 스캔 중단, 악천후에 따른 장치 내구성과 착용 상태 변화 등은 상용 서비스에서 추가로 고려해야 할 요소이며, 이러한 조건을 반영한 장기간 현장 평가가 필요하다.

REFERENCES

- [1] S. R. Kim and M. S. Kim, "Improving children's playground environment through comparative analysis of related laws on the installation and operation of children's playgrounds in Korea," *Korean Journal of Child Care and Education Policy*, Vol. 17, No. 2, pp. 27-51, Sep. 2023. DOI: 10.5718/kcep.2023.17.2.27
- [2] Korea Internet & Security Agency, A case study on the application of location-based service technology in industrial sites and in-depth interview with CEOs of small and medium businesses in Korea, Korea Internet & Security Agency, 2020. <https://www.kisa.or.kr/20204/form?postSeq=233>
- [3] V. Shireesha, K. A. Krishna, S. Aghileswari, V. Agilandewari and K. Bhargavi, "Design of BLE based child tracking device," *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, Vol. 2, No. 3, pp. 70-74, March 2019.
- [4] S. M. Hattaraki, R. M. Hatti, N. B. Rotti, P. Duddagi, A. Katavi and P. Nayak, "Child safety and tracking system (CSATS)," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, Vol. 18, No. 1, pp. 1048-1052, April 2023. DOI: 10.30574/wjarr.2023.18.1.0725
- [5] A. B. Suryavanshi, V. S. Jadhav, K. K. Iyer, S. S. Jadhav and S. Jadhav, "Children's safety application with secure tracking device," *Proceedings of 2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Lalitpur, Nepal, pp. 1527-1530, April 2024. DOI: 10.1109/ICICT60155.2024.10544884
- [6] Y. Gong, J. O. Seo, T. W. Kim, S. J. Ahn and Y. F. Luo, "Field validation of beacon-based indoor tracking and localization system for construction workers," *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 29, No. 2, p. 100017, Feb. 2025. DOI: 10.1016/j.kscej.2024.100017
- [7] J. E. Baek, J. W. Suh and Y. S. Choi, "Analysis of received signal strength index from Bluetooth beacons to develop proximity warning systems for underground mines," *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Vol. 55, No. 6, pp. 604-613, Dec. 2018. DOI: 10.32390/ksmer.2018.55.6.604
- [8] A. Bilbao-Jayo, A. Almeida, I. Sergi, T. Montanaro, L. Fasano, M. Emaldi and L. Patrono, "Behavior modeling for a beacon-based indoor location system," *Sensors*, Vol. 21, No. 14, p. 4839, July 2021. DOI: 10.3390/s21144839
- [9] C. Hernández-Goya, D. Cruz-Rodríguez, R. Aguasca-Colomo and P. C. Gil, "BLE beacon system for smartphone secure tracking," *Proceedings of International Conference on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence*, pp. 1031-1040, Nov. 2022. DOI: 10.1007/978-3-031-21333-5_103
- [10] C. H. Hung, Y. Y. Fanjiang, Y. S. Lee and Y. C. Wu, "Design and implementation of an indoor warning system with physiological signal monitoring for people isolated at home," *Sensors*, Vol. 22, No. 2, p. 590, Jan. 2022. DOI: 10.3390/

s22020590

- [11] C. Anushka, L. Ansh, I. Mayur, T. Rushikesh, T. Ayush and U. W. Kaware, "Child safety device for location tracking," *International Journal of Scientific Research and Engineering Development*, Vol. 8, No. 6, pp. 1-5, Nov. 2025. DOI: 10.5281/zenodo.17696650
- [12] Y. C. Lee, J. Lee, S. Lee and B. Kang, "A study on the accuracy improvement of beacon signals for positioning over indoor environments," *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 20, No. 9, pp. 43-50, Sep. 2022. DOI: 10.14801/jkiit.2022.20.9.43
- [13] J. Kim, Y. Kim and G. Hoang, "A study on indoor position-tracking system using RSSI characteristics of beacon," *The Journal of Intelligent Information*, Vol. 17, No. 5, pp. 85-90, Oct. 2017. DOI: 10.7236/JIIBC.2017.17.5.85
- [14] M. B. Chung, "Theft prevention technology for smart stroller using distance measurement of dual beacon," *Journal of Internet Computing and Services*, Vol. 21, No. 6, pp. 71-79, Dec. 2020. DOI: 10.7472/jksii.2020.21.6.71
- [15] H. S. Lee, S. J. Yoo, S. H. Cha and A. S. Oh, "Bluetooth beacon-based entry and exit notification system for the prevention of accidents in school vehicles," *Proceedings of Korea Institute of Information and Communication Engineering Conf.*, Vol. 24, No. 1, pp. 149-151, 2020.

Authors



Myoungbeom Chung received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Dept. of Digital Media from Soongsil University, Korea, in 2004, 2006 and 2010, respectively. Dr. Chung worked on BK21 project as a post-doctoral

follow at the Soongsil University at Seoul, in 2010 and 2011. From 2012 to 2014, he was with the School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University (Korea). Since 2015, he is now an associate professor of Department of Faidea, Sungkyul University (Korea). His research interests include high frequency communication, copyright protection technique, mobile computing, mobile software development, audio signal processing, and recommendation system.