

AR과 IoT 기술을 기반으로 한 건물 화재 모니터링 및 탈출 내비게이션 시스템

왕문도[°] 이승용¹ 박상훈² 윤승현^{*}

동국대학교 VR·AR 테크놀로지학과[°], 동국대학교 컴퓨터·AI 학과¹
서강대학교 메타버스전문대학원², 동국대학교 AI소프트웨어융합학부^{*}

wwtvrar@163.com[°], randysylee@dongguk.edu¹, mshpark@sogang.ac.kr², shyun@dongguk.edu^{*}

Building Fire Monitoring and Escape Navigation System Based on AR and IoT Technologies

Wentao Wang[°] Seung-Yong Lee¹ Sanghun Park² Seung-Hyun Yoon^{*}

Department of VR·AR Technology, Dongguk University[°], Department of Computer·AI, Dongguk University¹
Graduate School of Metaverse, Sogang University², Division of AI Software Convergence^{*}

요약

본 논문에서는 증강 현실 (AR) 기술과 사물 인터넷 (IoT) 기술을 융합하여 새로운 실시간 화재 모니터링 및 대피 내비게이션 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 건물 내에 설치된 IoT 온도 측정 디바이스를 통해 온도 데이터를 수집하고, 이를 IoT 플랫폼을 통해 MySQL 클라우드 데이터베이스에 자동으로 전송함으로써 실시간으로 정확한 데이터를 모니터링한다. 이후, 건축 정보 모델링 (BIM)을 통해 생성된 3D 건물 모델에 실시간 IoT 데이터를 가시화하고, AR 기술을 통해 현실 세계에 모델을 표현함으로써 직관적으로 화재 발생 위치를 파악할 수 있다. 또한, Vuforia 엔진의 Device Tracking 및 Area Targets 기능을 활용하여 사용자의 실시간 위치를 파악하고, 개선된 A* 알고리즘을 통해 여러 비상구 중 최적의 대피 경로를 찾는다. 본 논문에서는 다양한 가상 화재 시나리오를 기반으로 사용자 실험 평가를 진행하여 제안된 시스템의 실용성과 빠르고 안전한 대피 효과를 입증한다.

Abstract

This paper proposes a new real-time fire monitoring and evacuation navigation system by integrating Augmented Reality (AR) technology with Internet of Things (IoT) technology. The proposed system collects temperature data through IoT temperature measurement devices installed in buildings and automatically transmits it to a MySQL cloud database via an IoT platform, enabling real-time and accurate data monitoring. Subsequently, the real-time IoT data is visualized on a 3D building model generated through Building Information Modeling (BIM), and the model is represented in the real world using AR technology, allowing intuitive identification of the fire origin. Furthermore, by utilizing Vuforia engine's Device Tracking and Area Targets features, the system tracks the user's real-time location and employs an enhanced A* algorithm to find the optimal evacuation route among multiple exits. The paper evaluates the proposed system's practicality and demonstrates its effectiveness in rapid and safe evacuation through user experiments based on various virtual fire scenarios.

키워드: 화재 모니터링, AR 내비게이션, IoT 센서, BIM

Keywords: Fire monitoring, AR navigation, IoT sensor, BIM

*corresponding author: Seung-Hyun Yoon/Dongguk University(shyun@dongguk.edu)

1. 서론

건물 내 화재 발생 시 신속하고 안전하게 대피하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 건물에는 비상시 대피를 위한 2D 도면이 마련되어 있다. 그러나 실제 화재 상황에서는 도면을 찾기 어려우며, 도면을 찾더라도 가장 가까운 비상구까지의 경로에 화재가 확산되었는지를 파악할 수 없어 실용성이 떨어진다 [1]. 또한, 탈출에 실패해 다른 비상구로 이동하는 경우에도 화재 상황 속에서 자신의 현재 위치를 인지하기 어려워 대피가 어렵다. 신속하고 안전한 대피를 위해서는 현재 자신의 실시간 위치와 주변 상황에 대한 인식이 필요하며, 가장 안전한 비상구의 위치를 파악해 신속하게 움직이는 것이 중요하다. 이를 위해 화재를 빠르게 감지하고 모니터링할 수 있는 시스템과 실시간으로 탈출 경로를 안내해주는 내비게이션이 필요하다.

첨단 기술의 급속한 발전은 기존의 문서로 된 정적인 대피 안내를 넘어 동적인 정보를 제공하는 시스템을 가능하게 했다. 그 중 사물 인터넷 (IoT) 기술은 건물 내 다양한 센서와 장치를 네트워크로 연결해 장치들의 집중 관리와 데이터 분석을 가능하게 했다. 이를 통해 소방관이나 건물 관리자는 다양한 센서들의 실시간 데이터를 기반으로 화재 발생 여부 및 화재 발원지를 모니터링할 수 있다 [2]. 또한 비정상적인 데이터를 측정할 센서의 ID와 위치를 파악해 중앙 서버에서 건물 내 비상구 표시등과 피난 유도선을 조정해 특정 경로로만 대피할 수 있게 안내할 수 있다 [3]. 더 나아가 대피자들은 실내 내비게이션 애플리케이션이나 웹 플랫폼을 통해 자신의 현재 위치에서 최적의 대피 경로를 안내받을 수 있다. 이때 사용자의 위치는 모바일 디바이스와 건물 내 비치된 BLE (Bluetooth Low Energy) 비콘 또는 Wi-Fi 공유기를 통해 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 활용한다 [4].

그러나 이러한 화재 모니터링 및 실내 내비게이션 안내 방법들은 모두 직관성이 부족한 단점이 있다. 화재 모니터링의 경우 센서의 ID를 통해 화재 발원지를 대략 파악할 수는 있지만, 정확한 위치를 확인하기 위해서는 센서가 위치한 장소를 도면으로 다시 확인해야 하는 추가 작업이 필요하다. 대피 안내의 경우 실제 화재 시 비상구 표시등이나 피난 유도선이 파손되어 대피자가 정확한 방향을 찾지 못할 수 있으며, 비콘이나 공유기가 파손되거나 신호에 섞이는 잡음에 의해 발생하는 오차로 대피자의 정확한 위치를 파악하기 어려워 최적의 경로를 안내할 수 없다.

증강 현실(AR)의 등장은 이러한 단점을 크게 보완해주었다. AR 기술은 가상의 정보를 현실 세계에 표현하여 직관적인 정보를 제공하며, 간편하게 모바일 디바이스를 통해 쉽게 구현할 수 있다. 이를 활용해 모바일 화면 속 실제 세계에 탈출 경로를 표현함으로써 대피자는 탈출 경로를 정확히 인지하고 빠르게 탈출할 수 있다 [5]. 하지만 기존 연구들은 AR 사용자의 위치를 파악하기 위해 대체적으로 이미지 마커를 활용하게 되는데, 이는 실제 화재 시 마커를 제대로 찾지 못할 뿐만 아니라 모바일 디바이스의 카메라를 사용하여 인식하는 것이 사실상 어렵다 [5, 6].

본 논문에서는 IoT와 AR을 융합하여 직관적인 실시간 화재

모니터링 및 탈출 내비게이션 시스템을 제안한다. 건물 내 직접 제작한 IoT 온도 측정 디바이스들을 비치하고 이를 Alibaba IoT Platform에 연결해 실시간 데이터를 클라우드에 저장한다. 이러한 데이터를 건축 정보 모델링 (BIM)을 이용해 건물의 3D 모델에 맵핑하여 화재 발원지를 한눈에 파악할 수 있는 화재 모니터링 시스템을 구현한다. 또한, LiDAR 카메라로 건물을 스캔해 3D 모델을 생성한 후, 데이터베이스로부터 실시간 화재 정보를 얻어 모델에 맵핑한다. 이후 Vuforia 엔진의 Device Tracking과 Area Targets 기능을 활용해 카메라 이미지를 기반으로 하여 대피자의 실시간 위치를 파악하고, 개선된 A* 알고리즘을 사용해 여러 비상구에 대한 최적의 대피 경로를 안내한다. 본 연구에서 제안하는 시스템은 다음과 같은 장점을 가진다:

- 직관성: IoT와 AR 기술을 융합하여 건물 내 화재 발생 시 실시간 데이터를 바탕으로 화재의 발원지를 3D 건물 모델 위에서 한눈에 파악할 수 있다. 이는 화재 상황에서 빠르고 정확한 대응을 가능하게 한다.
- 정확성: Vuforia 엔진의 Device Tracking과 Area Targets 기능을 통해 기존의 마커를 찾아 인식해야 하는 추가적인 행위나 오차가 많은 비콘이나 Wi-Fi의 RSSI를 활용하는 것보다 더욱 신속하고 정확하게 사용자의 위치를 파악할 수 있으며, 실시간 경로 탐색이 가능해 사용자가 혼란 없이 신속하게 대피할 수 있도록 도와준다.
- 신뢰성: 다양한 첨단 기술을 통합하여 오류를 최소화 함으로써 시스템의 전체적인 안정성과 신뢰성을 강화하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 건축 분야에서 IoT와 AR 기술이 사용된 관련 연구에 대해 서술한다. 3절에서는 시스템의 전반적인 개요와 프레임워크를 설명하고, 4-6절에서는 프레임워크의 각 모듈(IoT 데이터 수집 및 처리, AR 실시간 화재 모니터링 구현, AR 내비게이션 구현)에 대해 자세히 설명한다. 마지막으로, 7절에서는 본 연구에서 제안한 시스템의 효과를 입증하기 위해 가상 화재 상황을 구현하여 모니터링 및 대피 실험을 진행한 후 사용자 평가를 진행하였으며, 8절에서 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 IoT 기술 응용

IoT 기술은 센서 및 장치들을 인터넷에 연결함으로써 건축 환경을 실시간으로 모니터링할 수 있게 한다. Mekni 등 [2]은 건물의 각 부분에서 화재와 연관된 온도나 습도와 같은 중요 데이터를 지속적으로 수집하고 분석하여 일상적인 건축 관리뿐만 아니라 긴급 상황에서의 화재 감지 및 경보를 지원하는 IoT 스마트 시스템을 제안했다. Kim 등 [3]은 IoT 센서 네트워크를 이용하여 실시간으로 건물 내부의 화재 정보를 감시하고, 화재 발생 시 적절한

대피 경로를 제안하는 화재 대피 유도 시스템 모델을 제안했다. 시스템은 센서 정보 모듈, 행위 제안 모듈, 비상 장치 제어 모듈로 구성된다. 센서 정보 모듈은 센서 네트워크에서 수집한 정보를 주기적으로 감시해 화재 여부를 판단하고 위험 센서 목록을 만든다. 이후 행위 제안 모듈에서는 위험 센서들을 기반으로 화재 지역을 파악해 비상등 방향을 제시한다. 비상 장치 제어 모듈은 제시된 방향에 따라 관련 비상 장치를 제어한다. 이 시스템은 본 논문에서 제안된 시스템과 유사하지만, 화재 발생의 정확한 위치를 직관적으로 파악할 수 없으며 화재로 인한 비상등의 파손시 안전한 대피가 어렵다는 단점을 가진다. Shaharuddin 등 [7]은 스마트 건축 환경에서 실내 화재 위험 상황에 대한 IoT 센서의 응용을 분석하고 여러 연구에 대한 체계적인 리뷰를 수행했다. 이 연구는 IoT 센서를 AR, 인공지능, 딥러닝 및 BIM과 같은 첨단 기술과 결합함으로써 스마트 건축에서 실내 화재 위험을 관리하는데 있어 안전성과 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

2.2 AR 기술의 응용

AR 기술은 사용자의 실제 시야에 디지털 정보를 증강함으로써 사람들의 현실 인식 능력을 현저하게 향상시킨다. 건축 안전 분야에서 특히 화재 대피와 긴급 대응에서 AR 기술은 이미 공간 인식 능력과 의사 결정 속도를 크게 향상시키는 것으로 입증되었다. Kanangkaew 등 [5]은 BIM과 AR 기술을 통합하여 가상의 녹색 라인, 음성 안내, 방향 화살표 등 대피 유도 정보를 실시간으로 표시하는 소방 대피 시스템을 제안하였다. 사용자의 위치 파악을 위해 이미지 마커를 사용하였으며 대피로의 장애물들을 실시간으로 파악해 비상 대피 경로를 수정할 수 있다. Choi 등 [8]은 A* 알고리즘을 기반으로 한 AR 스마트 피난 안내도를 제안하였다. 화재 발생 시 사용자가 건물 곳곳에 비치된 QR코드를 카메라로 스캔하면, 중앙 서버에서 사용자의 현재 위치를 파악해 최적의 경로를 계산한다. 해당 연구는 층별 대피 경로를 확인할 수 있는 장점을 가진다. 이러한 시스템들은 [5, 8]은 모두 실시간 화재 상황에 정확한 위치 파악을 위해 이미지 마커나 QR 코드를 스캔해야 하는 한계점이 있다. 이를 극복하기 위해 Nam 등 [9]은 사전에 촬영한 실내 이미지와의 특징점 (feature point) 비교를 통해 사용자의 위치를 파악하여 최적의 경로를 안내하는 AR 실내 내비게이션을 제안했지만, 실시간 주변의 화재 상황을 고려하지 못한다는 단점을 가진다. 또한 해당 실험은 연기가 많이 없는 상황을 전제로 하여 실제 상황에 적용하기 어려운 한계점을 가진다.

2.3 IoT와 AR 기술의 연동

AR과 IoT 기술의 결합은 앞서 선행 연구들의 단점과 한계점을 극복하고자 하였다. Natephra 등 [10]의 연구는 BIM, IoT의 환경 인식 능력 및 AR 기반 시각화 기술을 활용하여 실시간으로 쾌적한 실내 환경을 위한 다양한 요소들의 수치를 모니터링할 수 있는 시스템을 제안하였다. 직관적인 AR 디스플레이를 통해 실

내 쾌적도에 큰 영향을 미치는 실내 환경 변수를 쉽게 평가할 수 있었다. Chen 등 [11]은 본 논문과 흡사한 프레임워크를 가지고 BIM, AR/VR 및 IoT 기술의 융합적인 적용에 대한 여러 사례를 보여주었다. 세 가지 주요 사례는 IoT 기술을 기반으로 한 동적 화재 모니터링 및 경고, AR 기반의 실시간 경로 내비게이션 및 VR 기반의 소방 훈련으로 이루어져 있다. 하지만 해당 연구에서는 AR 실시간 경로 내비게이션의 경우 실질적인 활용이 어렵다는 한계점을 갖는다.

3. 시스템 소개

3.1 시스템 개요

본 연구에서 개발된 시스템은 AR 및 IoT 기술을 통합고 건축물의 BIM 모델과 결합함으로써, 화재 상황에서 건물의 모니터링 효율성을 높이고 탈출 안내의 정확성을 향상시키며, 사용자에게 긴급 상황에서 신속한 대응과 효과적인 탈출 경로를 제공하는 것을 목표로 한다.

시스템의 기본 개요는 다음과 같다. 먼저, 건물 내에 설치된 IoT 디바이스로부터 Alibaba IoT 플랫폼으로 임계값을 초과하는 온도 데이터가 송신될 경우, 건물 관리자는 IoT 플랫폼을 통해 건물 내 각 구역의 화재 상황을 실시간으로 모니터링할 수 있다. 동시에 건물 내 사람들은 모바일 애플리케이션을 통해 정보 메시지를 수신하고, AR 기술을 이용해 화재 상황이 매핑된 3D BIM 모델을 사용자의 실제 환경에 표시함으로써 화재 상황의 실시간 변화를 동적으로 확인할 수 있다. 이를 통해 사용자는 종이나 특별한 컴퓨터 장치에 의존하지 않고도 건물 내부의 현재 상태를 직관적으로 파악할 수 있으며, 주변 환경에 대한 공간 인식 능력을 크게 향상시켜 탈출 시 더 정확한 결정을 내릴 수 있다. 또한, 시스템은 AR 실시간 내비게이션을 통해 사용자에게 최적의 탈출 경로를 제공한다. 탈출 경로는 화살표나 지시 표지의 형태로 현실 세계에 표시되어 사용자를 가장 가까운 출구로 신속하고 안전하게 안내한다.

3.2 프레임워크

제안된 프레임워크는 크게 IoT 데이터 통신 및 처리, AR 실시간 화재 모니터링 구현, 그리고 AR 내비게이션 구현의 단계로 구성된다(Figure 1):

- **IoT 데이터 통신 및 처리:** 본 연구에서는 ESP8266 NODE MCU 개발 보드, DTH22 온도 센서 그리고 OLED 디스플레이를 사용하여 IoT 디바이스를 제작하였다. 이 디바이스들은 건물 내부 주요 위치에 배치되어 IoT 화재 센서 네트워크를 구축한다. 각 디바이스가 측정한 온도 데이터를 효율적인 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜을 통해 IoT 플랫폼으로 전송한다. 플랫폼에서 초기 분석을 완

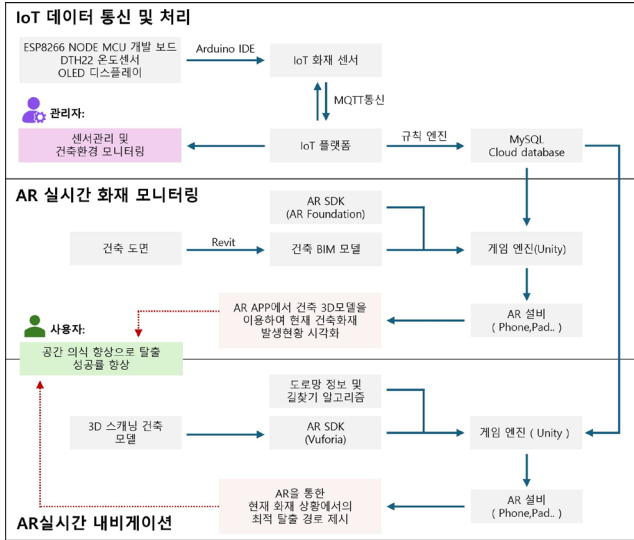


Figure 1: Overall framework.

료한 후, 데이터는 안전하게 클라우드 MySQL 데이터베이스에 저장되어 추가 처리 및 응용에 활용된다.

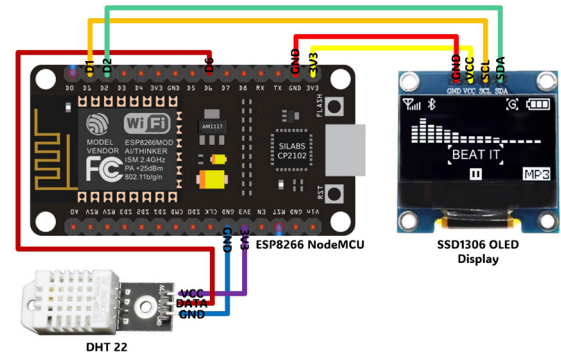
- **AR 실시간 화재 모니터링 구현:** 건축 도면을 기반으로 Revit 소프트웨어를 활용하여 BIM 모델을 FBX 파일로 생성한다. Unity 게임 엔진 내에서 클라우드 데이터베이스에 저장된 IoT 데이터를 BIM 모델에 매핑하고 AR Foundation의 평면 인식 기능을 활용하여 매핑된 3D 건물 모델을 사용자의 스마트 디바이스에 증강시킨다. 증강된 건물 모델에 전반적인 화재 상황을 실시간으로 표시하여 사용자가 현재 화재 상태를 인식 할 수 있도록 한다.
- **AR 실시간 내비게이션 구현:** LiDAR 카메라를 활용해 건물 내부를 스캔하고, Vuforia 엔진의 Area Target 기능을 사용하여 스캔 모델을 생성한다. Device Tracking 기술을 활용해 카메라로 들어오는 주변 환경을 인식하고 사용자의 장치를 추적해 실시간 위치를 파악한다. 사용자의 현재 위치와 클라우드에서 제공하는 실시간 환경 데이터를 반영해 개선된 A* 알고리즘을 통해 여러 비상구에 대한 최단 거리를 실시간으로 계산하여 안전하고 신속한 최적의 탈출 경로를 제공한다. 이때 사용자는 모바일 기기를 통해 탈출 경로를 안내하는 AR 화살표를 따라가게 된다.

4. IoT 기술 기반 데이터의 통신 및 처리

4.1 IoT 온도 측정 디바이스

화재 감지에는 여러 가지 요소가 존재하지만, 본 연구에서는 경제성과 간편성을 고려하여 온도를 주요소로 선택했다. 이를 위해 온도 센서를 활용한 IoT 디바이스를 제작했으며, 이 디바이스는 세 개의 모듈로 구성된다: CPU, 온도 센서, 디스플레이. ESP8266 NodeMCU 개발 보드는 CPU 역할을 하며, 내장된 Wi-Fi 모듈을

통해 클라우드 플랫폼과 통신한다. DHT22 온습도 센서는 높은 정확도와 신뢰성을 바탕으로 온도와 습도를 측정한다. SSD1306 OLED 디스플레이는 센서가 측정한 수치와 센서의 상태를 실시간으로 표시한다. 각 모듈은 Figure 2(a)의 회로도를 가지며, (b)의 형태로 IoT 디바이스를 제작하였다.



(a)



(b)

Figure 2: IoT device: (a) each module and circuit and (b) exterior.

하드웨어를 제작한 후, IoT 화재 감지 시스템 소프트웨어 개발을 위해 Arduino IDE를 기반으로 여러 라이브러리를 통합하여 디바이스와 클라우드 플랫폼 간의 안정적인 통신을 구현하였다. DHT 라이브러리를 통해 측정된 온도 데이터 및 IoT 디바이스의 ID와 패스워드는 ArduinoJson 라이브러리를 통해 JSON 파일로 변환되며, PubsubClient 라이브러리를 통해 MQTT 프로토콜을 기반으로 IoT 플랫폼으로 전송된다. 본 연구에서는 Alibaba IoT 플랫폼을 사용하였기 때문에, AliyunIoTSdk 라이브러리를 통해 장치 인증 및 안전성을 보장하면서 데이터를 전송한다. 추가적으로, SSD1306Wire 라이브러리를 활용해 OLED 디스플레이를 제어하며, Wire 라이브러리는 각 모듈 간의 I2C 통신을 지원한다. 이렇게 제작된 IoT 디바이스는 정기적으로 센서 정보를 읽고 데이터 유효성을 검증하며, 이를 실시간으로 OLED 화면에 표시하고, MQTT 프로토콜을 통해 JSON 형식으로 IoT 플랫폼에 전송한다.

4.2 Alibaba IoT 플랫폼 설정 및 데이터 전송과 저장

4.1에서 제작한 IoT 디바이스들을 연결하고 데이터를 수집 및 저장하기 위해서는 IoT 플랫폼이 필요하다. 본 연구에서는 아시아 시장에서 큰 지분을 차지하고 있는 Alibaba IoT 플랫폼을 활용하였으며, 이는 유연한 디바이스 관리 기능을 제공하며, 강력한

데이터 전달(data forwarding) 기능을 통해 장치 데이터를 사전에 설정된 규칙에 따라 자동으로 다양한 클라우드 서비스로 전달할 수 있는 장점을 가진다. 본 연구에는 클라우드 서비스로 MySQL 클라우드 데이터베이스를 사용하였다.

IoT 디바이스로부터 수신한 데이터를 처리하고 전달하기 위해서는 Alibaba IoT 플랫폼의 규칙 엔진을 설정해야 한다. Alibaba IoT 인터넷 플랫폼의 규칙 엔진은 Figure 3과 같은 구조를 가지며, 데이터 소스, 데이터 파서(parser), 데이터 목적지 단계로 구성된다. 데이터 소스 단계에서는 각 디바이스로부터 JSON 형태의 파일을 수신한다. 데이터 파서 단계에서는 JSON 파일에서 디바이스의 ID, 패스워드 및 온도 데이터를 추출하고 각 디바이스에 해당하는 테이블에 기록한다. 데이터 목적지 단계에서는 파서를 통해 생성된 테이블들을 저장할 MySQL 클라우드 데이터베이스를 목적지로 설정하고 데이터를 저장한다.

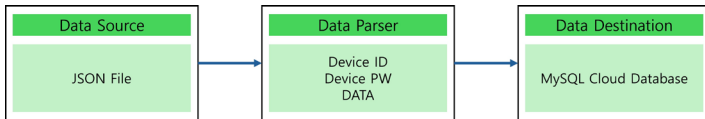


Figure 3: Rule engine of Alibaba IoT platform.

5. AR 실시간 화재 모니터링 시스템

본 절에서는 AR과 IoT 기술을 결합한 AR 실시간 화재 모니터링 시스템을 소개한다. 이 시스템은 건물 정보 모델링 (BIM) 모델을 통해 사용자에게 직관적인 화재 모니터링을 제공한다. 이를 통해 사용자는 주변의 화재 상태와 잠재적인 화재 위험을 깊이 이해할 수 있으며, 화재 상황을 실시간으로 표시하여 신속하고 안전한 탈출 경로 선택에 도움을 주는 것을 목표로 한다.

5.1 건축 BIM 모델 제작

BIM 기술은 현대 건축 설계에서 매우 중요하며, 설계 효율성과 품질을 높이고 프로젝트 관리의 정확성을 향상시킨다 [12]. 본 논문에서는 Figure 4와 같은 프레임워크를 기반으로 BIM 모델을 제작하였다. Revit 소프트웨어를 사용하여 동국대학교 신공학과 5층의 건축 도면을 기반으로 3D 모델링을 수행하였다. 모델링이 완료된 후, Navisworks를 통해 모델을 검토하고 최적화하여 구성 요소 간의 충돌 문제를 해결하고 모델의 정확성과 일관성을 확보한다. 최종적으로 BIM 모델을 Unity에서 가용한 FBX 파일 형식으로 저장해 건축 설계에서 게임 개발 엔진으로의 원활한 전환을 실현하였다.

5.2 AR 기술의 적용과 데이터 시각화

본 논문에서는 실시간 데이터를 가시화한 AR 모델을 만들기 위해 Unity 게임 엔진을 활용하였다. 실시간 IoT 온도 데이터를 조



Figure 4: Framework of BIM model generation.

회해 5.1절에서 만든 3D 모델 위 실제 디바이스 위치에 3D 텍스트로 표현한다. 만약, 설정한 임계값을 초과하는 온도 데이터가 존재할 경우 해당 위치에 3D 화재 애니메이션 UI를 표시한다. 호주 표준 AS1670에 따르면 고층 건물의 온도는 일반적으로 45°C를 넘지 않으므로, 본 연구에서는 화재 임계 온도를 50°C로 설정하였다. 시스템은 해당 상황이 발생할 경우 화재 대응 이벤트를 발생시켜 대피 안내 문자를 송신하며 건물 내 사람들은 모바일 디바이스를 활용해 해당 AR 모델을 확인할 수 있다. 이때, AR Foundation의 평면 탐지 기능을 활용하여 사용자의 실제 환경에서 AR 모델을 배치하기 적합한 평면을 인식하고, 사용자는 간단한 클릭을 통해 AR 건물 모델을 확인할 수 있다. Figure 5은 실제 환경에 배치된 AR 모델을 보여준다.



Figure 5: AR fire monitoring.

6. AR 화재 탈출 내비게이션

본 절에서는 AR과 IoT 기술을 결합한 AR 화재 탈출 내비게이션을 소개한다. 이 시스템은 실시간 데이터를 활용하여 사용자에게 최적의 대피 경로를 안내하고, 사용자에게 직관적인 탈출 경로 안내를 제공한다.

6.1 IoT 화재 센서 데이터와 결합한 화재 탈출 경로 검색 알고리즘

정확한 경로 계산을 위해 먼저 건물에 대한 상세한 노드와 도로망을 설정해야 한다. 본 연구에서는 다음과 같은 규칙을 기반으로 노드 및 도로망을 설정하였다.

- 주요 출입구, 계단, 엘리베이터, 복도 모퉁이 및 주요 기능 구역(예: 강의실, 실험실, 화장실)을 우선순위를 두어 노드를 선택해 도로망 생성 및 경로 계산의 효율성과 실용성을 보장한다.
- 노드 간의 연결은 건물 내 실제 통로와 일치하고 장애물을 고려한다.
- 너무 가까운 거리나 중복되는 영역에 노드를 설정하지 않아 경로 네트워크를 단순화하고 계산 복잡성을 줄였다.

이러한 원칙을 바탕으로 우리는 Figure 6와 같이 신공학관 5층의 상세한 노드와 도로망 지도를 제작하였으며 빨간 점이 노드를 의미하며 각 노드를 파란색 선으로 연결해 도로망을 만들었다.

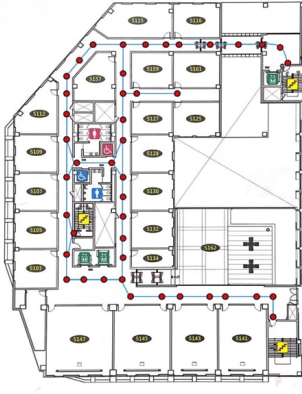


Figure 6: 2D building map with node and road network.

도로망을 기반으로 탈출 경로를 계산하기 위해 적절한 경로 탐색 알고리즘을 선택해야 한다. A* 알고리즘은 경로 탐색 알고리즘 중 하나로 대중화된 경로 탐색 알고리즘인 Dijkstra와 BFS의 장점들을 결합하여 효율적으로 최단 경로를 찾으며 Eq.1와 같은 식으로 표현된다.

$$f(n) = g(n) + h(n), \quad (1)$$

여기서 휴리스틱 함수 $h(n)$ 는 현재 노드에서 목표 노드까지의 예상 비용을 추정하는 함수이며 $g(n)$ 은 시작 노드에서 현재 노드까지의 실제 경로 거리를 나타낸다. $f(n)$ 는 현재 노드에서 목표 노드까지의 총 예상 비용을 의미하며 이 값을 최소화하는 경로를 찾아 최단 경로를 구한다. 이러한 A* 알고리즘은 일반적으로 정적인 환경에서 하나의 시작점과 하나의 도착점을 두고 최적의 경로를 찾아낸다. 따라서 본 연구에서는 실제 화재 상황에 맞게 동적으로 최적 경로를 변화시키는 다중 목표점 A* 알고리즘을 활용하였다. 이를 위해 기존 휴리스틱 함수인 $h(n)$ 을 여러 목표 지점까지의 최단 거리를 평가하도록 Eq.2와 같이 재정의했다.

$$h(n) = \min(\text{dist}(n, t_1), \text{dist}(n, t_2), \dots, \text{dist}(n, t_k)), \quad (2)$$

여기서 $\text{dist}(n, t_i)$ 는 노드 n 에서 목표 노드 t_i 까지의 거리이며,

$t_k, k = 1, \dots, N$ 은 총 N 개의 목표 노드들이다. 이 방식을 통해 경로 계획 과정에서 여러 탈출구를 동시에 고려해 각 탈출구에 대해 따로 경로 탐색 알고리즘을 실행하는 것보다 더욱 적은 계산량으로 효율적으로 최단 경로를 계산할 수 있다.

화재 탈출 경로 계획은 단순히 최단 경로뿐만 아니라 실시간으로 변화하는 위험 지역을 피하는 것도 고려해야 한다. 이를 위해 클라우드 데이터 베이스와 실시간으로 통신하여 센서가 측정한 온도 데이터를 도로망 노드에 업데이트하였다. 온도 데이터가 임계값을 초과하면 해당 영역에 화재 위험이 있다고 판단하고, 센서 주변 3미터 범위 내의 노드 상태를 통행 불가로 설정한다. 성능 최적화를 위해 도로망 업데이트 빈도는 3초에 한 번으로 제한하였다.

6.2 내비게이션 경로 AR로 시각화

본 연구에서는 iPhone 15 PRO에 내장된 LiDAR 카메라를 사용하여 Vuforia의 Vuforia Creator App을 통해 동국대학교 신공학관 5층을 3D 스캔하였다. Vuforia 공식 문서에 따르면 핸드헬드(Hand-held) 스캔의 정확도가 낮고 스캔 면적이 클수록 오차가 커지기 때문에 스캔 면적을 10m^2 에서 50m^2 사이로 제한한다. 따라서, 정확도를 보장하기 위해 신공학관 5층을 일곱 부분으로 나누어 각각 스캔하였고 결과를 일곱 개의 3dt 파일로 저장하였다.

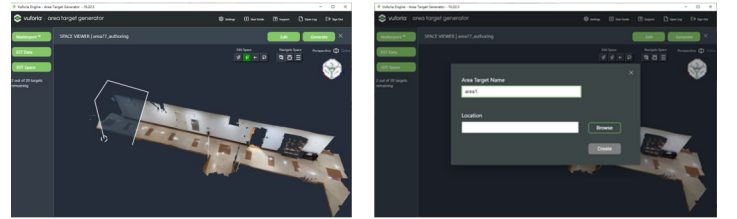


Figure 7: Area Target Generator.

그 다음으로 Vuforia의 Area Target Generator 프로그램을 사용하여 생성한 포인트 클라우드 데이터는 최적화 및 재구성을 거쳐 노이즈를 제거하고 데이터의 빈틈을 채워 모델의 완전성과 정확성을 확보하였다. 최종적으로 이 데이터들은 실시간 환경 매칭 및 추적에 필요한 모든 정보를 포함한 데이터셋 파일, 메쉬 및 Unity 패키지로 컴파일했다.

AR 프로젝트를 제작하기 위해 먼저 Unity에서 Vuforia의 AR Camera를 설정하고 앞서 생성한 스캔 모델과 Unity 패키지를 불러온다. 스캔 모델의 위치를 조정하여 동국대학교 신공학관 5층의 전체 레이아웃을 조립하고 필요한 최적화 처리를 수행한다. 이렇게 생성한 건물 모델 내에 경로 네트워크 노드를 정확하게 배치하고 상세한 도로 네트워크를 구축해 최종적으로 Figure 8와 같은 모델을 생성하고, 다중 목표점 A* 알고리즘을 사용하여 최적의 탈출 경로를 계산한다.

정확한 경로 계산을 위해서는 AR 모델 속 사용자의 정확한 위치 파악이 중요하다. 이를 위해 AR 애플리케이션이 실행되는 동안 Vuforia 엔진의 Device Tracking 및 Area Target 기능을 활용

해 모바일 디바이스의 카메라로 실시간 이미지를 캡처하고, 이 이미지를 스캔 된 모델과 매칭해 사용자의 현재 위치와 시점을 정확하게 인식한다. Device Tracking 기능은 목표 영역의 시각적 특징이 부족하더라도 기기의 방향을 지속적으로 추적하여 추적의 연속성과 정확성을 보장한다. 따라서 사용자가 이동할 때 AR 애플리케이션은 내비게이션 지시 화살표와 가상 표시를 현실 환경에 정확하게 오버레이 할 수 있다. 사용자가 실제 애플리케이션에서 탈출 경로를 명확하게 인식할 수 있도록 계산된 경로에 눈에 띄는 빨간색 화살표를 추가하여 시각적으로 표시한다. 또한, 모델 내의 안전 출구 위치에 녹색 안전 출구 표시를 추가하여 시각적 단서로 활용하고, 사용자가 긴급 상황에서도 출구 방향을 빠르게 인식할 수 있도록 한다.

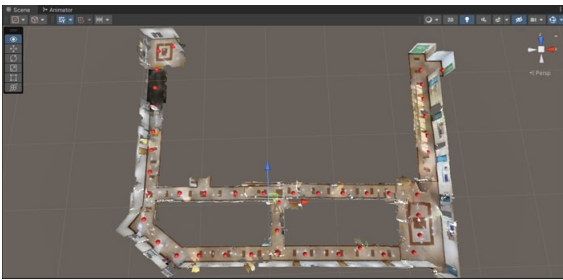


Figure 8: Building model with node illustrated.

7. 실험 및 사용자 평가

7.1 실험 설계

본 연구에서는 실시간 건축 화재 모니터링 및 탈출 내비게이션 시스템의 효과와 실용성을 평가하고 검증하기 위한 초기 테스트를 수행했다. 실험에는 삼성 Galaxy Tab S9 태블릿을 활용하여 진행되었다.

7.1.1 화재 시나리오 디자인

본 논문에서는 실시간 탈출 내비게이션 체험 평가를 위해 동국대학교 신공학관 5층을 배경으로 세 가지의 화재 모의 시나리오를 설계했다. 첫 번째 시나리오는 세 개의 비상구 중 두 개가 화재로 인해 불가용 상황을 구현해, 복잡한 화재 상황에서 시스템의 내비게이션의 정확성과 효율성을 테스트하는 것을 목표로 한다. 두 번째 시나리오는 하나의 비상구가 불가용 상황을 구현해, 다중 경로 선택에서 시스템의 유도 능력을 실험한다. 세 번째 시나리오는 특정 지역에서 대규모 화재가 발생하는 것을 구현한다. Figure 9는 세 가지 시나리오를 2D 도면에 표현한 이미지를 보여준다. 파란색 별 모양이 실험자가 탈출을 시작하는 위치이며, 불 아이콘이 화재가 발생한 위치를 의미한다.



Figure 9: Indoor fire scenarios.

7.1.2 실험 방법

실험은 두 부분으로 나뉜다. 첫 번째 부분에서는 참가자들이 실제 화재 상황을 가정하여 AR 실시간 화재 모니터링 시스템을 직접 체험하고 화재 시 주변 환경에 대한 인식과 안전 출구 위치의 직관성과 정확성을 평가한다. 실험을 위해 실제 화재를 발생시킬 수 없기 때문에, 특정 디바이스의 온도를 임의로 높여 화재 상황을 가정하였다. Figure 10(a)는 화재 상태가 발생하지 않은 초기 화재 모니터링 시스템의 BIM 모델이며, Figure 10(b)는 비이상적 온도가 측정되어 화재가 발생한 상황을 보여준다. 두 번째 부분에서는 참가자들이 7.1.1절의 각 세 가지 화재 시나리오를 기반으로 내비게이션 시스템 사용 유무에 따른 총 여섯 번의 모의 탈출을 수행한다. 하나의 시나리오에 대해 내비게이션 사용 유무를 이어서 진행할 시 두 번째 시행에서 시나리오를 학습하는 것을 방지하고자 모든 여섯 번의 모의 탈출은 무작위로 진행되었다. Figure 11은 내비게이션의 유무의 차이점을 보여준다. 두 실험을 모두 마친 뒤에는 사용자 평가를 진행해 전체적인 시스템의 정성적 평가를 진행하였고, 두 번째 실험에서는 사용자의 탈출 시간을 측정해 제안한 실내 내비게이션의 효과를 분석하였다.

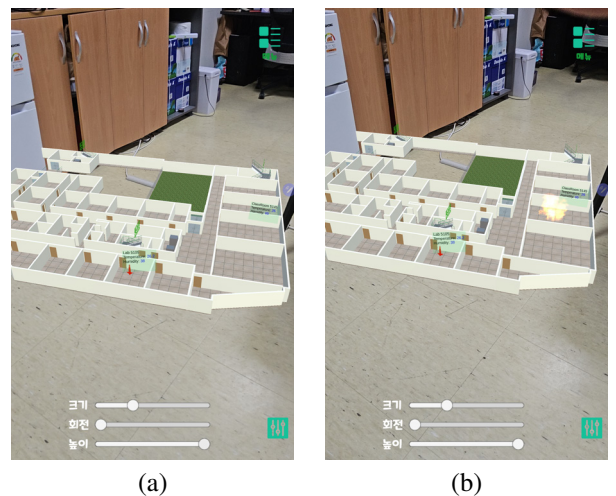


Figure 10: Screenshot of the real-time fire monitoring system: (a) initial BIM model, (b) BIM model with fire situation.

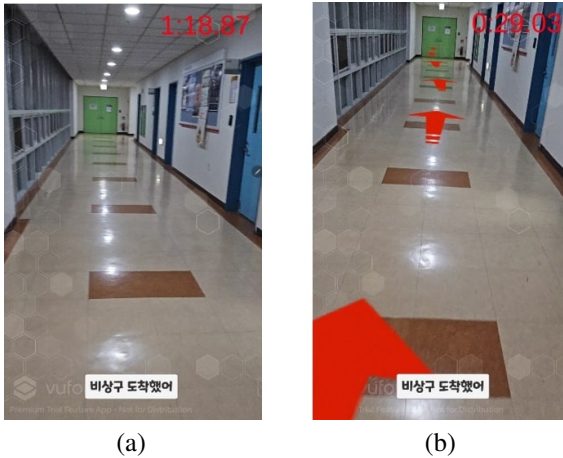


Figure 11: Screenshot of the navigation system: (a) without navigation, (b) with navigation.

7.2 실험 결과

본 실험에는 총 17명의 참가자가 참여했다. 이 중 남성 참가자가 6명, 여성 참가자 11명이며 동국대학교 학생 6명, 기타 대학 학생 11명이었다. 나이는 최소 21세부터 최대 27세로 실험을 진행했다.

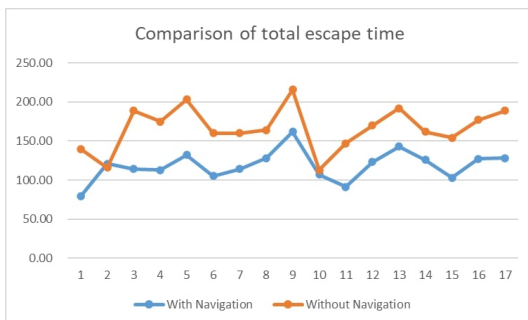


Figure 12: Total elapsed escape time.

실험 데이터에 따르면, AR 내비게이션 시스템은 다양한 화재 시나리오에서 탈출 시간에 뚜렷한 차이를 보여주었다. Figure 12는 각 실험자가 세 개의 시나리오에서 탈출한 모든 시간을 합한 결과를 보여준다. 파란색 선은 내비게이션 시스템을 활용한 탈출 소요 시간, 주황색 선은 내비게이션 시스템을 사용하지 않았을 때의 탈출 소요 시간을 나타낸다. Figure 12에서 볼 수 있듯이, 대부분의 실험자들은 본 논문에서 제안한 내비게이션 시스템을 활용했을 때 탈출 시간이 내비게이션 시스템을 사용하지 않았을 때보다 단축되었다. 반면, 2번과 10번 실험자의 경우, 큰 차이가 없거나 오히려 제안된 내비게이션 시스템을 활용한 탈출 시간이 더 오래 걸리는 결과를 보였다. 이에 대한 원인을 파악하기 위해 내비게이션 사용 유무에 따른 각 시나리오 평균 탈출 시간을 비교하고, 내비게이션 사용 유무의 유의미성을 평가하기 위해 가설 검정을 수행하였다 (Table 1).

가설 검정에서는 내비게이션 시스템을 활용하지 않은 경우와

Table 1: Average elapsed escape time of each scenario.

Fire Scenario	Without Navigation	With Navigation	p-value
Fire Scenario 1	82.94 s	43.12 s	0.00
Fire Scenario 2	37.18 s	28.71 s	0.01
Fire Scenario 3	46.18 s	46.77 s	0.86
Total	166.29 s	118.59 s	0.00

활용한 경우의 평균 탈출 시간이 동일하다는 귀무 가설과, 내비게이션 시스템을 사용한 경우의 평균 탈출 시간이 더 짧다는 대립 가설을 세웠다. t-검정을 통해 통계량을 계산하고, p-value의 임계값을 0.05로 설정하였다. 첫 번째 화재 시나리오에서 AR 내비게이션 시스템을 사용한 참가자들의 평균 탈출 시간이 약 40초 단축되었으며, 이는 사용자가 상황을 신속하게 판단하고 이용 가능한 비상구를 선택하는 데 효과적임을 나타낸다. p-value가 0.00이므로 귀무 가설이 기각되어 제안된 AR 내비게이션 시스템의 효과가 입증된다. 두 번째 화재 시나리오에서 AR 내비게이션 시스템을 사용한 참가자들의 평균 탈출 시간이 약 10초 단축되었으며, 이는 다중 경로를 선택해야 하는 상황에서 시스템의 유도 능력이 우수함을 보여준다. p-value가 0.01이므로 귀무 가설이 기각되어 제안된 AR 내비게이션 시스템의 효과가 입증된다. 그러나, 세 번째 시나리오에서는 AR 내비게이션 시스템을 사용한 경우의 평균 탈출 시간이 사용하지 않은 경우보다 0.6초 증가하는 결과가 나타났다. p-value 또한 0.86으로, 제안된 내비게이션 시스템의 효과가 없다는 결론이 도출된다. 이는 세 번째 시나리오에서 화재 범위가 넓어 사용자가 화재의 대략적인 위치를 신속하게 판단하여 AR 내비게이션 시스템보다 직관적인 인지를 통해 반응했기 때문이며, 내비게이션 확인 과정이 경로를 확인하는 시간을 증가시켜 탈출 시간을 약간 연장시킨 결과로 해석된다.

전반적으로, 실험 데이터는 긴급 탈출 상황에서 AR 내비게이션 시스템의 상당한 실용 가치를 입증한다. Table 1의 마지막 행에서 확인할 수 있듯이, 세 가지 시나리오의 총 평균 탈출 시간이 약 50초 감소했음을 보여준다. 또한, p-value가 0.00이므로 제안한 AR 내비게이션 시스템의 효과가 통계적으로 유의미함을 입증한다. 특히 경로 선택이 복잡하거나 불확실성이 높은 화재 시나리오에서 뛰어난 성능을 보여주었으며, 대규모 화재 시나리오에서의 효율성 문제와 같은 특정 조건에서 시스템이 직면할 수 있는 한계점도 확인할 수 있었다.

7.3 사용자 평가

Table 2에는 사용자 평가의 질문들과 각 문항에 대한 평균 점수를 보여준다. 1-3번 질문은 AR 실시간 화재 모니터링 시스템의 효과와 관련된 질문이며, 각 문항에 대한 점수를 통해 제안한 AR 실시간 화재 모니터링은 화재 발생을 인식하는데 크게 도움이 되었으며 (1번: 4.73 점), 기존의 방법과는 다르게 주변 화재 상태에 대한 이해를 돕고 대피 방법을 결정하는데 미치는 영향이 매우 효과적이며 사용자의 공간 인식 및 긴급 상황에서 주변 환

Table 2: Questions and scores of usability test

Question	Average Score
(1) Completely unhelpful (2) Slightly helpful (3) Moderately helpful (4) Very helpful (5) Extremely helpful	
1. IoT 화재 모니터링 시스템이 화재 발생을 인식하는 데 도움이 되었습니까?	4.73
2. AR 건물 모델 화재 모니터링 시스템이 주변 화재 상태에 대한 이해를 돕고 대피 방법을 결정하는 데 미치는 영향은 어느 정도입니까?	5
3. 기존의 평면도나 3D 모델과 비교하여 AR 디스플레이 방법이 주변 화재 상태에 대한 이해를 돕고 대피 방법을 결정하는 데 미치는 영향은 어느 정도입니까?	4.82
4. 사용자의 위치에 따른 실시간 경로 안내가 탈출에 얼마나 도움이 되었습니까?	4.91
5. 기존의 2D 화재 대피 안내도 보며 탈출하는 것보다 AR 탈출 내비게이션을 사용해 탈출하는 것이 얼마나 심리적 안정에 도움이 되었습니까?	4.73
6. 실시간 대피 안내가 가능한 AR 내비게이션의 용이성에 대해 어떻게 생각하십니까?	4.55
7. 본 시스템의 이번 체험에 대한 전반적인 만족도는 어떻습니까?	4.91
Average Score	4.81

Table 3: Subjective questions of usability test

Question
1. 이번 AR 실시간 화재 모니터링 시스템을 사용한 경험을 장단점을 포함하여 말씀해 주세요.
2. 실시간 대피 안내가 가능한 AR 내비게이션을 사용한 경험을 장단점을 포함하여 말씀해 주세요.
3. 전체 시스템이 화재 발생 시 공간 인식과 대피(대응) 능력을 향상시킬 수 있다고 생각하십니까? 그리고 시스템의 개선의 여지가 있다면 어떤 점이 개선 될 수 있을지 자세히 설명해 주세요.

경을 이해하는데 높은 성능을 보였다는 결론을 내릴 수 있었다 (2번: 5 점, 3번: 4.82 점). 4-6번 질문은 AR 실시간 내비게이션 시스템의 효과와 관련된 질문이며, 제한한 AR 실시간 내비게이션 시스템은 신속하고 안전한 탈출에 큰 기여를 하였으며 (4번: 4.91 점), 기존의 2D 도면을 활용한 탈출보다 심리적 안정감에 큰 도움을 주었다 (5번: 4.73 점). 하지만 AR 내비게이션의 용이성은 다른 질문들 보다 상대적으로 점수가 낮았지만 (6번: 4.55 점), 이는 AR 내비게이션을 사용해본 경험이 없어 여전히 학습 곡선이 존재하기 때문일 수도 있다. 종합적으로 보았을 때, AR 화재 탈출 내비게이션 시스템은 참가자들로부터 일반적으로 긍정적인 평가를 받았으며 평균 점수는 4.81점으로 시스템의 효율성과 사용자 만족도가 높음을 나타냈다. 점수를 매기는 항목 외에도, Table 3와 같은 주관적 질문도 포함되어 사용자의 주관적인 의견을 수집하여 시스템을 더 잘 분석하고 개선점을 정리하였다.

수집된 설문조사 결과에 따르면, 사용자의 경험은 전반적으로 매우 긍정적이었다. 대부분의 참가자들은 시스템이 건축 화재 상황 인식을 효과적으로 강화할 수 있으며, 특히 긴급 상황에서 직관적인 AR 디스플레이를 통해 공간 인식을 효과적으로 향상시키고 화재 발생 위치와 안전 출구를 빠르고 정확하게 파악하여 올바른 탈출 결정을 내리는 데 큰 도움이 되었다고 생각한다.

그러나 일부 사용자는 시스템의 잠재적인 단점과 개선 방향을 제시했다. 일부 사용자들은 화재가 발생했을 때 두려움과 긴장으로 인해 조치를 취하기 전에 휴대폰을 열어 화재 상황을 확인하는 경우가 드물어 시스템의 실용성에 대한 한계점을 지적했으며, 기술적인 한계점으로는 일부 연결 통로에 약간의 오차가 있어 특히 조명이 부족한 경우 지시 화살표 위치를 찾는 것이 어렵다는 의견이 있었다. 개선점으로는 내비게이션 사용 시 전체 탈출 경로 및 본인의 위치를 확인할 수 있는 작은 2D 지도를 추가하는 것이 탈출에 더 도움이 될 것 같다는 의견과 사용자 인터페이스 디자인을 최적화하여 긴급 상황에서도 빠른 접근 및 사용할 수 있도록 하여 조작 난이도를 낮추는 것이 있었다.

종합적으로 볼 때, 본 실험과 사용자 평가를 통해 AR 실시간 화재 모니터링 및 탈출 내비게이션 시스템이 공간 인식과 탈출 효율성을 향상시키는 데 뚜렷한 효과를 보였지만 기술적으로 개

선할 여지가 있음을 알 수 있다. 또한, 본 논문에서는 실험자가 20대로 한정 되어 있다는 한계점이 존재한다.

8. 결론

본 논문에서는 AR 기술과 IoT 기술을 결합하여 건축 화재 모니터링 및 탈출 내비게이션 시스템을 제안하였으며, 이는 화재 대응 시 공간 인식 능력, 의사 결정 효율 및 탈출 효율을 향상시키는 것이 목표이다. 온도 센서를 포함한 IoT 디바이스를 제작하여 Alibaba IoT 플랫폼을 통해 IoT 네트워크를 구성하고, 실시간으로 데이터를 MySQL 데이터베이스에 저장하였다. 건물의 BIM 모델을 제작하고 실시간 데이터와 결합한 후, AR 기술을 활용해 건물 관리자와 사용자에게 직관적인 실시간 화재 모니터링 시스템을 제공하였다. 또한 Vuforia의 Area Target과 Device Tracking 기술을 기반으로 실시간 환경을 반영하는 실내 내비게이션 시스템을 제안하였다. 이 시스템은 기존의 최적 경로 탐색 방법인 A* 알고리즘을 수정하여 다중 목표점을 계산할 수 있도록 하였다. 이러한 시스템을 활용한 실험을 통해 실시간 화재 모니터링 시스템과 실내 내비게이션의 효과를 입증하였다.

제안된 새로운 시스템은 다양한 장점을 제공한다. 먼저, 실시간 화재 모니터링 시스템은 기존 문서로 작성된 대피 요령과는 달리, 실제 화재 상황에서 주변의 화재 상황이나 공간 인식 능력을 증진시키는 높은 직관성을 제공한다. 실내 내비게이션의 경우, 이전 연구에서 많이 사용된 비콘이나 WI-FI와 사용자의 디바이스의 RSSI를 계산하여 사용자의 실내 위치를 파악하는 방식보다 Device Tracking 기술을 기반으로 카메라 비전 이미지를 활용하여 사용자 위치 파악에 있어 높은 정확도를 제공한다. 또한, 하나의 경로만을 계산하는 것이 아닌 다중 목표점을 계산할 수 있는 A* 알고리즘을 활용하여 단 한 번의 계산으로 모든 비상구에 대한 최적 거리를 계산하는 높은 효율성을 보여준다. 마지막으로, 다양한 첨단 기술을 활용하여 오류를 최소화하고, 시스템의 전체적인 안정성을 강화하여 높은 신뢰성을 제공한다.

AR 기술과 IoT의 융합이 건축 화재 감시 및 탈출 내비게이션 시스템에서 상당한 잠재력과 이점을 보였지만 아직 보완점들이

존재한다. 실제 화재 상황에서 IoT 디바이스와 IoT 플랫폼 사이의 불안정한 연결 상태로 인해 화재 모니터링이 불가능하거나 실시간 내비게이션 경로를 계산하는데 오류가 발생할 수 있다. 대체로 현대 건물은 단층으로 이루어져 있지 않기 때문에 사용자가 해당 층에만 탈출하는 수평적 탈출 이외에도, 다른 층으로의 대피인 수직적 탈출 방법도 매우 중요하다. 따라서 향후 연구에서는 실제 화재 상황에서 IoT 디바이스로부터 연결이 끊어질 시의 화재 데이터 복원에 대한 연구와 제한한 실내 내비게이션을 활용한 수직적 탈출이 가능한 시스템을 개발할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이고(RS-2023-00251681), 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업(RS-2023-00259099)과 메타버스융합대학원(RS-2022-00156318)의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] B. Wang, H. Li, Y. Rezgui, A. Bradley, H. N. Ong, *et al.*, “Bim based virtual environment for fire emergency evacuation,” *The Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [2] S. K. Mekni, “Design and implementation of a smart fire detection and monitoring system based on iot,” in *2022 4th International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID)*, vol. 1. IEEE, 2022, pp. 1–5.
- [3] Y.-W. Kim, D.-H. Kim, H.-Y. Kwak, and H.-D. Park, “A study of fire shunt guidance based on wireless sensor networks,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 11, no. 11, pp. 1547–1554, 2008.
- [4] Y.-J. Cho, S.-Y. Park, S.-H. Youn, S.-H. Choi, and S.-J. Yoo, “Machine learning based optimal evacuation route guidance ar navigation system in indoor fire situations,” *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 47, pp. 88–97, 01 2022.
- [5] S. Kanangkaew, N. Jokkaw, and T. Tongthong, “Bim-based and augmented reality combined with a real-time fire evacuation system for the construction industry,” 07 2023.
- [6] D. Paes, Z. Feng, M. King, H. K. Shad, P. Sasikumar, D. Pujoni, and R. Lovreglio, “Optical see-through augmented reality fire safety training for building occupants,” *Automation in Construction*, vol. 162, p. 105371, 2024.
- [7] S. Shaharuddin, K. N. A. Maulud, S. A. F. S. A. Rahman, A. I. C. Ani, and B. Pradhan, “The role of iot sensor in smart building context for indoor fire hazard scenario: A systematic review of interdisciplinary articles,” *Internet of Things*, p. 100803, 2023.
- [8] J.-H. Choi, Y.-J. Kim, S.-J. Han, and H. Lee, “Ar smart evacuation map using qr code,” *Journal of Digital Contents Society*, vol. 25, no. 3, pp. 789–796, 2024.
- [9] G. H. Nam, H. S. Seo, M. S. Kim, Y. K. Gwon, C. M. Lee, and D. M. Lee, “Ar-based evacuation route guidance system in indoor fire environment,” in *2019 25th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*. IEEE, 2019, pp. 316–319.
- [10] W. Natephra and A. Motamedi, “Live data visualization of iot sensors using augmented reality (ar) and bim,” 05 2019.
- [11] H. Chen, L. Hou, G. K. Zhang, and S. Moon, “Development of bim, iot and ar/vr technologies for fire safety and upskilling,” *Automation in Construction*, vol. 125, p. 103631, 2021.
- [12] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building information modeling (bim) for existing buildings—literature review and future needs,” *Automation in construction*, vol. 38, pp. 109–127, 2014.
- [13] Y. Qu, T.-T. Wong, and P.-A. Heng, “Manga colorization,” *ACM Transactions on Graphics*, pp. 1214–1220, 2006.
- [14] P. Alliez, D. Cohen-Steiner, O. Devillers, B. Levy, and M. Desbrun, “Anisotropic polygonal remeshing,” *ACM Transactions on Graphics*, pp. 485–493, 2003.
- [15] S. Kanangkaew, N. Jokkaw, and T. Tongthong, “A real-time fire evacuation system based on the integration of building information modeling and augmented reality,” *Journal of Building Engineering*, vol. 67, p. 105883, 2023.
- [16] M. gyun Cho, “Life-Road : Development of an Emergency Evacuation Application using Augmented Reality and Beacon,” *Journal of Digital Policy*, vol. 2, pp. 11–15, 2023. [Online]. Available: <https://www.earticle.net/Article/A439368>

〈 저 자 소 개 〉



왕 문 도

- 2022 중앙대학교 건축공학과 학사
- 2022 ~ 현재 동국대학교 VR.AR
테크놀로지와 석사
- <https://orcid.org/0009-0000-8399-2196>



이 승 용

- 2023 동국대학교 멀티미디어공학과 학사
- 2023 ~ 현재 동국대학교 컴퓨터AI학과
석사과정
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 기하 모델링, 렌더링
- <https://orcid.org/0009-0005-1441-4794>



박 상 훈

- 1993 서강대학교 수학과 학사
- 1995 서강대학교 컴퓨터학과 석사
- 2000 서강대학교 컴퓨터학과 박사
- 2022 ~ 2005 대구가톨릭대학교
컴퓨터정보통신공학부조교수
- 2001 University of California, Davis 방문
연구원
- 2005 ~ 2023 동국대학교 멀티미디어학과 교수
- 2023 ~ 현재 서강대학교 메타버스전문대학원
교수
- 관심분야 : 실시간 렌더링, 사실적 렌더링,
과학적 가시화, 고성능 컴퓨팅 등
- <https://orcid.org/0000-0001-5383-7005>



윤 승 현

- 2001 한양대학교 수학과 학사
- 2007 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2007 ~ 현재 동국대학교 AI소프트웨어융합학부
조교수/부교수/교수
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 기하모델링, 가상/
증강/혼합현실
- <https://orcid.org/0000-0002-0015-8305>