

딥러닝 기반 1인 가구 범죄 예방을 위한 긴급 상황 인식 스마트 도어록 개발

이진선*, 한지은*, 유현아*, 박주연*, 김형훈**, 심현민*

*동서울대학교 전자공학과

**㈜ 삼성전자

withire32@kakao.com, haneul2069@naver.com, ydz2008@naver.com,
juyeon_0222@naver.com, pastelom@naver.com, hmslim@du.ac.kr

Development of Smart Door Lock with Emergency Situation Recognition to Prevent Crime in Single Household Based on Deep Learning

Jinsun Lee*, Jieun Han*, Hyuna Yoo*, Juyeon Park*, Hyung Hoon Kim**,
Hyeon-min Shim*

*Dept. of Electronic Engineering, Dong Seoul University

**Samsung Electronics Co. Ltd

요 약

매년 1인 가구를 대상으로 한 범죄가 증가하고 있다. 이에 따라 지문인식, 스마트키와 같은 도어록 제품들이 출시되었지만 오히려 범죄에 악용되는 사례들이 발생하였다. 본 논문에서는 얼굴인식장치(face identifier, FI)를 통해 객체를 인식하고, 원격 도어록 관리자(remote door lock manager, RDM)를 통해 잠금제어부(locking control unit, LCU)를 관리하는 긴급 상황 인식 스마트 도어록을 제안한다. 사용자의 얼굴을 얼마나 빠르고 정확하게 인식하는지 속도와 신뢰도에 대한 테스트를 진행하였고, 긴급 상황 시 사용자가 안전하게 집으로 들어갈 수 있음을 확인하였다. 본 제품을 통해 주거 침입, 스토킹 등 1인 가구 대상 범죄율과 도어록 악용 범죄율이 낮아질 것으로 사료된다.

1. 서론

매년 1인 가구가 증가하면서 집에 아무도 없는 시간을 노려 침입을 시도하거나 혼자 사는 여성의 집까지 따라가 성범죄를 일으키는 주거침입 관련 범죄 사례가 증가하고 있다[1-3]. 이를 예방하고자 지문인식, 스마트키 등 다양한 도어록 제품들이 출시되었다. 하지만 도어록의 키패드에 남아있는 지문을 채취하거나 카드키를 복사하는 등 도어록이 오히려 범죄에 악용되는 문제가 있다[4].

이성원, 박상용 등은 스마트폰 앱을 통해 실시간 스트리밍, 원격제어가 가능하고 영상을 통해 사람을 자동으로 감지하여 스마트폰으로 알림을 전송하는 스마트 도어록을 연구하였다[5,6]. 이는 스마트폰의 활용과 영상을 통한 보안 향상 기법에 대해 제시한 반면, 긴급 상황에 대비하지 못한다는 점과 비밀번호 키패드가 범죄에 악용되는 문제점은 여전히 남아있다.

이러한 문제를 보완하기 위해 본 논문에서는 긴급

상황 인식 기능을 도입한 스마트 도어록을 제안한다. 위 시스템은 스토킹과 같은 긴급 상황이 발생하면 사용자의 FI가 얼굴을 인식하고 속도를 측정하여 도어록이 자동으로 열리도록 구현된다. 또한 평상시에는 스마트폰의 RDM을 통하여 도어록을 제어하기 때문에 생체 정보가 유출되지 않으며 카드키의 분실 위험도 없어 도어록 범죄를 예방할 수 있도록 구현한다. 이러한 시스템은 얼굴 검출에 있어서 빠른 인식 속도가 매우 중요하다[7]. 이를 해결하기 위해 edge TPU(tensor processor unit)를 내장한 가속기를 임베디드 시스템과 연결하여 알고리즘을 처리하는 방법을 제안한다.

2. 시스템 설계

그림 1은 도어록의 전체적인 구성도이다. 본 시스템은 크게 얼굴인식장치(face identifier, FI)와 잠금제어부(locking control unit, LCU), 스마트폰 앱인 원

격 도어록 관리자(remote door lock manager, RDM), 그리고 Push Notification으로 구성되며 각각의 구성 간의 통신에는 Wi-Fi를 사용하였다.

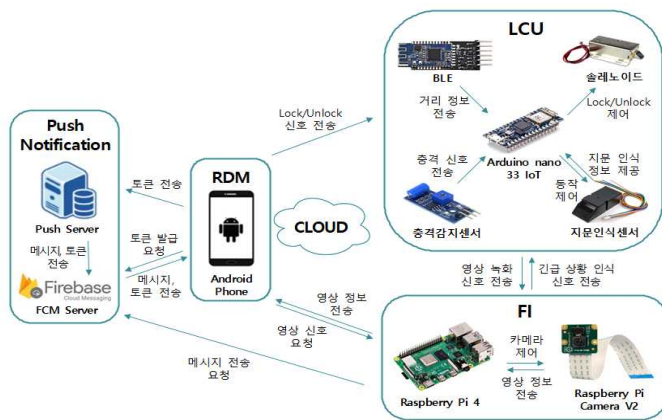


그림 1. 시스템 구성도.

FI는 주 컴퓨터로 Raspberry Pi 4, 영상 촬영용인 Raspberry Pi camera V2, 인공지능 연산속도를 향상시키기 위한 Google Coral USB Accelerator로 구성하였다. 운영체제는 Raspberry Pi OS를 탑재하였고 Python 3.7.4로 프로그램을 작성하였다.

그림 2는 LCU의 H/W 설계도이다. LCU는 제어용 마이크로컨트롤러 보드로 Arduino nano 33 IoT, 사용자 위치 인식을 위한 BLE Beacon, 잠금장치 구현을 위한 솔레노이드 밸브, 도어록 동작 실행 알림을 위한 버저, 지문 등록과 인식을 위한 지문인식센서, 외부인의 침입을 인식하기 위한 충격감지센서로 구성하였다. Arduino 제어프로그램은 Arduino IDE를 이용하여 C++로 프로그래밍 하였다. RDM은 안드로이드 운영체제 기반의 스마트폰에서 동작한다. Push Notification은 Google firebase 기반의 Push 서비스인 FCM(firebase cloud messaging)을 이용하였다.

본 도어록은 일반 모드, 긴급 상황 모드, 예외 모

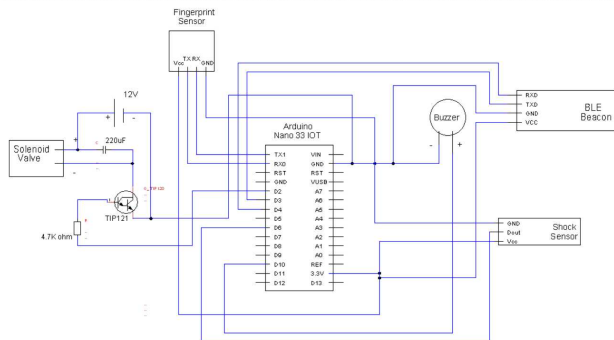


그림 2. LCU H/W 설계도.

드의 세 가지 상황에 따라 개폐방식이 달리하도록 설계하였다. 일반 모드는 RDM에서 비밀번호를 입력하여 인증이 성공하면 LCU로 신호를 보내 도어록이 개방되도록 설계하였다. 긴급 상황 모드는 FI에서 영상 속 사용자가 차지하는 픽셀 수를 계산하여, 사용자가 달려온다고 판단되면 Beacon 활성화 신호를 LCU로 보낸다. Beacon은 수신신호강도(received signal strength indication, RSSI)를 이용하여 사용자가 도어록과 얼마나 떨어져 있는지에 대한 정보를 LCU로 보내며, 사용자가 도어록과의 거리 5m 내에 도달하면 LCU는 도어록을 자동 개방한다. 예외 모드는 스마트폰을 사용할 수 없는 예외상황이 발생하면 지문인식센서를 통해 도어록을 개방한다.

3. S/W 설계

3.1 객체인식

그림 3은 인공지능을 이용한 긴급 상황 인식 기능의 전체 흐름도이다. Raspberry Pi에 Python으로 코드를 작성하여 긴급 상황을 판단하는 FI를 구현하였다. 긴급 상황 인식 S/W는 사용자와 외부인을 판별하고 판별 결과의 신뢰도와 인식률을 향상시키기 위해 TensorFlow Lite 기반의 딥러닝 라이브러리로 구현하였다.

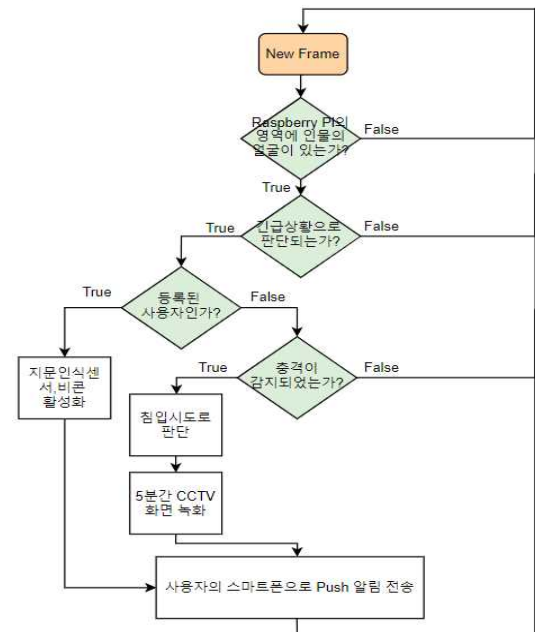


그림 3. 긴급 상황 인식 기능 흐름도.

긴급 상황은 사람이 인식되었을 때 얼굴 면적을 표시하는 rectangle 테두리의 좌측 상단부와 우측 하단부의 좌표를 이용하여 얼굴 면적을 계산하고 이 변화율에 따라 판단할 수 있으며 오류 신호 값은 이

동 평균을 이용하여 개선할 수 있다.

$$s = w \times h$$

$$EI = \left| \frac{(s - s')}{\Delta t} \right| \quad (1)$$

여기서 w 는 인식된 얼굴 구역의 폭, h 는 얼굴 구역의 높이, s 는 넓이이다. 또한 시간의 변화 Δt 동안 변화한 넓이는 s' 이며, EI 는 긴급 상황 지수이다.

3.2 Web Server

RDM으로의 원격 접속을 위한 웹서버는 Raspberry Pi 개발보드에서 HTML 파일로 프로그래밍 하였다. Raspberry Pi camera 영상을 웹기반의 실시간 스트리밍으로 송출하기 위해서 mjpg streamer를 이용하였다[8]. 위 streamer 링크와 도어록을 개방하는 LCU 링크를 병합하여 원격 개폐 Web Server를 구성하였다. Web Server 개발환경을 구성하면서 설치된 MariaDB는 Push Notification의 Token 메시지 생성과 History 저장에 사용된다.

3.3 Push Notification

도어록의 상태 변경 내용과 긴급 상황에 대한 알림, 방문객에 대한 알림 등의 전달을 위해 Push를 사용하였다. Push Notification은 Google의 교차 플랫폼 메시징 솔루션인 FCM을 통해 구현하였다. FCM이 연동된 RDM을 스마트폰에 설치하면 Token이 발급되는데 이를 Raspberry Pi 서버로 전달하여 MariaDB의 저장소에 저장하도록 하였다. Push Notification은 PHP 스크립트를 통해 MariaDB에서 가져온 Token과 메시지를 FCM Server로 전달하여 스마트폰으로 메시지가 전송되도록 구현하였다.

3.4 원격 도어록 관리자(RDM)

그림 4는 Android studio를 통해 개발한 RDM 화면이다. History 확인, 원격 개폐, 도어록 제어 기능을 실행하는 버튼과 긴급 상황 발생 시 주변 지인들에게 도움을 요청할 수 있는 사이렌 버튼으로 구성



그림 4. RDM UI.

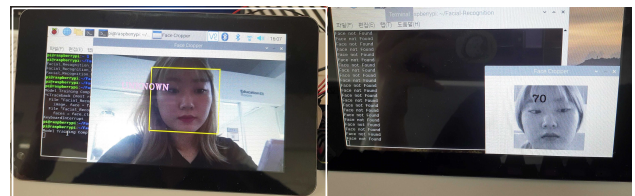
된다. 간단한 버튼과 심플한 디자인으로 모든 연령층이 불편함 없이 사용할 수 있도록 제작하였다.

4. 시스템 검증

객체인식을 통한 긴급 상황 기능 구현이 적합한지 확인하기 위해 얼굴 인식 속도와 신뢰도를 측정하는 실험을 진행하였다. 사람 검출의 성능은 카메라의 위치 및 각도 등에 큰 영향을 받기 때문에 고정하여 사진 데이터를 수집하였다[9]. 얼굴인식을 위한 인공지능 모델은 Google MobileNet Coco object detection 모델을 사용하였으며, 본 도어록에 적용하기 위해 TensorFlow Lite, Raspberry Pi, Raspberry Pi camera를 사용하였고, 추가 영상 이미지를 이용하여 특징인을 인식하기 위한 전이학습을 하였다. 딥러닝 기반의 얼굴인식 속도를 향상시키기 위해 Google USB Accelerator를 Raspberry Pi에 연결하여 사용하였다.

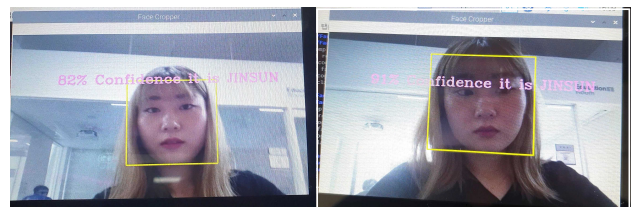
실험은 다음과 같이 실시하였다. 영상에 판별하고자 하는 얼굴이 존재하지 않는 경우에는 'Face not Found'라는 결과를 출력하고, 미리 등록되지 않은 사람의 얼굴이 인식되는 경우에는 'Unknown'으로 출력하며, 등록된 사람의 얼굴이 인식되면 해당 레이블을 출력하는지 확인하고, 인식 속도를 측정하였다.

5. 실험결과 및 고찰



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 5. 얼굴인식 실험 결과.

(a) 등록되지 않은 얼굴을 인식했을 경우

(b) 얼굴을 찾지 못한 경우

(c) 등록된 얼굴을 인식한 경우

(d) 전이학습을 통하여 얼굴인식의 신뢰도를 높인 경우

표 1. 데이터 수에 따른 신뢰도와 인식 속도 변화

데이터셋(장)	촬영속도(초)	학습속도(초)	신뢰도평균(%)	평균인식속도(fps)
10	4	1	82.875	16.219
20	4	1	90.769	16.222
30	7	1	92.068	16.222
40	9	1	92.312	16.132
50	9	1	95.167	16.092
60	10	1	96.625	15.871
70	18	2	94.714	15.86
80	25	2	94.222	15.866
90	31	2	92.364	15.869
100	38	2	93.633	15.866

그림 5(a)는 카메라에 인식된 얼굴이 등록되지 않은 사람일 때의 경우의 결과를 보여준다. 'UNKNOWN' 문구가 함께 출력되며 외부인임을 알 수 있다. 그림 5(b)는 구동 중인 카메라에 얼굴이 포착될 때까지 'Face not Found'라는 문구를 출력하는 사진이다. 그림 5(c)는 사용자를 등록하고 얼굴을 인식하였을 때의 신뢰도를 나타낸다. 신뢰도를 높이기 위해 추가 데이터를 학습시켰더니 신뢰도와 인식속도가 향상되었다. 그림 5(d)는 추가 학습 후의 얼굴 인식 사진이다.

표 1을 보면 전이학습 실시 후 등록된 사용자에게 대한 얼굴인식 신뢰도 평균이 82%에서 96%까지 올라감을 확인할 수 있다. 하지만 추가 학습데이터를 50장까지 적용하였을 때에는 점차 향상되다가 그 이상의 추가학습 데이터를 적용하니 다시 감소하는 경향을 보였다. 이는 학습데이터에 지나치게 맞는 모델을 학습함으로써 일반화 성능이 떨어지는 과적합(Overfitting) 현상으로 보이며, 추가 데이터의 학습이나 드롭아웃(Dropout)을 적용하여 해결할 수 있다 [10]. 또한 실험 결과 인식에 걸리는 속도는 평균적으로 16.022fps의 인식률을 보여 긴급 상황을 인식하기에 적합하다고 판단된다.

6. 결론

본 논문에서는 1인 가구를 대상으로 하는 범죄를

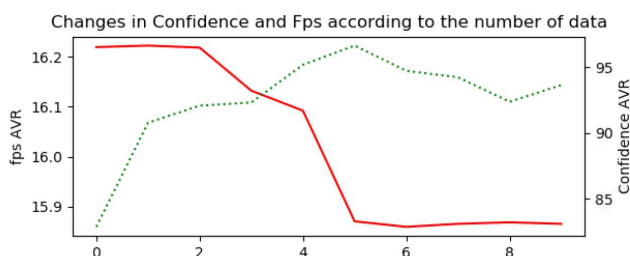


그림 6. 데이터 셋의 증가에 따른 신뢰도와 인식 속도의 변화.

예방하고 대처할 수 있는 긴급 상황 인식 스마트 도어록을 제안하였다. 객체인식을 통한 긴급 상황 기능 구현이 적합한지 확인하기 위해 얼굴인식 신뢰도를 측정하는 실험을 진행하였고 그 결과 학습을 통해 신뢰도를 높일 수 있음을 확인하였다.

위 객체인식을 통해 긴급 상황에서 정확한 판단을 수행할 수 있으며 범죄율 감소에 기여할 것으로 기대한다. 향후 RDM과 Web Server 해킹을 방지하기 위해 Blockchain 기술을 도입할 예정이다.

Acknowledgement

본 논문은 과학기술정보통신부 정보통신창의인재 양성사업의 지원을 통해 수행한 ICT멘토링 프로젝트 결과물입니다.

참고문헌

- [1] 경찰청, 2018년 경찰통계연보, 2019, p. 384.
- [2] “귀가여성 집까지 쫓아가 추행한 경찰관...1심 집행유예,” [Internet]. Available: https://newsis.com/view/?id=NISX20200207_0000912254&cID=10201&pID=10200
- [3] “여성 1인 가구 증가의 그림자... ‘주거침입’ 5년 새 2배,” [Internet]. Available: <https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20200225012007>
- [4] “도어락 지문 보고 비번 알아내 빈집 8차례 텅 30대 범정구속,” [Internet]. Available: <https://www.yna.co.kr/view/AKR20190121099600064>
- [5] 이성원, 유제훈, 심귀보, “스마트 도어록 시스템을 위한 IoT 기반의 실시간 스트리밍 및 원격 제어,” 한국지능시스템학회 논문지, 25권 6호, pp.565-570, 2015
- [6] 박상용, 강화영, 이강희, “OpenCV기반 디지털 도어락 시스템의 설계 및 구현,” 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 27권 2호, pp.321-324, 2019
- [7] 이호근, 정성태, “빠른 얼굴 검출을 이용한 실시간 얼굴 인식 시스템,” 정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용, 32권, 12호, pp.1247-1260, 2005
- [8] mjpg streamer, [Internet]. Available : <https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>
- [9] 길종인, 김만배, “실내 환경에서 검출 속도 개선을 위한 2D 영상에서의 사람 크기 예측,” 방송공학회논문지, 21권 2호, pp.252-260, 2016
- [10] 문재완, 최민진, 이종욱. “임베딩 드롭아웃을 활용한 세션 기반 신경망 추천 모델의 성능 개선,” 한국정보과학회 학술발표논문집, pp.76-78, 2020