

IoT 기술을 접목하여 원격으로 방문객을 응대하고 배달 물품을 수령하는 기능을 가진 스마트 도어 시스템

Smart door system with the ability to remotely serve visitors and receive delivery items by incorporating IoT technology.

신 정 한*, 정 태 훈, 김 예 영, 신 동 민

(Jeong Han Shin¹, Tae Hoon Jeong¹, Ye Yeong Kim¹ and Dong Min Shin¹)

¹Kwangwoon University

Abstract: In a situation where the number of single-person households and the demand of delivery-related services are increasing, there is a need for a convenient and safe system that can cope with visitors in the absence and prevent related crimes. Thus, we developed a smart door system that provides convenient functions to users by combining IoT technology that connects the front door and personal smartphones. To accomplish this, we designed a personal storage that automatically opens and collapses when needed and developed SW & Communication technology to remotely control various operations using smartphones.

Keywords: IoT, DC Motor Control, Door-Lock Control, Real-Time Camera Streaming, Remote Communication, Smart Door, User-Friendly Smartphone Application, Foldable Storage Box

I. 서론

1인 가구의 범죄피해에 관한 연구에 따른 [그림 1]을 보면 1인 가구는 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 현상과 함께 [표 1]에서는 1인 가구가 다른 가구와 비교하면, 범죄 피해를 경험한 적이 있다는 응답 비율이 조부모와 손자녀의 가구에 이어 두 번째로 높다고 조사되었다. ‘1인 가구 증가’라는 사회 현상과 함께 증가하는 범죄 피해를 줄이기 위하여 불필요한 대면을 방지할 필요가 있다.

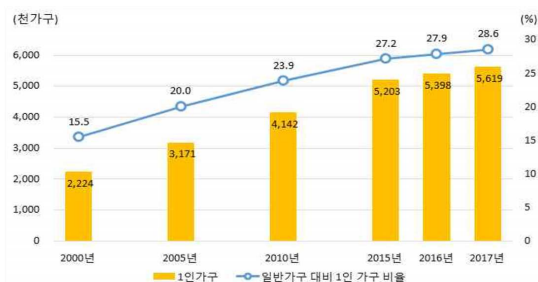


그림 1. 1인 가구 변화 추이 : 2000-2017년.^[1]

Fig. 1. Single-person household change trend : 2000-2017.

표 1. 가구유형별 피해율.^[2]

Table 1. Damage Rate by Household Type.

			가구 유형								전체	χ^2
			1인 가구	부부	부부+ 자녀	한부모 +자녀	3세대 이상	형제자매로만	조부모+ 손자녀	비혈연/ 기타		
전체 피해	있음	N	169	174	507	101	55	8	10	17	1041	51,476 ***
	%		5.4%	2.6%	3.8%	3.9%	3.2%	3.7%	5.6%	4.7%	3.7%	
	N		2948	6418	12397	2504	1669	206	169	341	27252	
	없음	%	94.6%	97.4%	96.2%	96.1%	96.8%	96.3%	94.4%	95.3%	96.3%	

우선 ‘배달’이라는 대면 상황을 생각해보자. 현행법(운수사업법)상 성범죄자는 ‘택배 배달’을 할 수 없다. 하지만 택배 배달을 제외한 ‘배달’은 예외^[3]이기 때문에 이와 관련된 범죄가 많이 발생하고 있다. 성범죄 전과 배달원 사건^[4]에서는 “성범죄 전과가 있는 배달원이 동종 범죄를 저지른 사건이 많아 1인 여성 가구나 자영업자들이 우려한다.”라고 전했다.

그렇다고 ‘택배 배달’과 관련된 범죄가 없는 것은 아니다. 원룸 택배 절도사건^[5]에서는 “문 앞에 놓여있는 택배물들이 범죄의 표적이 될 수 있다...무인택배함이 설치된 원룸도 있지만 그렇지 않은 곳이 훨씬 많다.”라며 문 앞에 놓여있는 택배물과 선택적으로 설치되는 무인택배함의 한계점을 지적했다.

이에 우리 프로젝트의 목적을 ‘집 밖에서의 불필요한 대면을 미리 방지하여 범죄의 위험성을 낮추는 것’으로 정하였고, 배달이 왔을 때 CCTV로 방문자를 확인할 수 있고 물품이나 음식 등을 보관할 수 있는 보관함이 달린 출입문을 개발하였다. 이 출입문은 IoT 기술을 바탕으로 CCTV, 보관함, 도어락 그리고 이를 원격으로 제어할 수 있는 어플리케이션이 집적된 ‘스마트 도어 시스템’이다.

논문지도교수: 백 주 훈 (인)

신정환: 광운대학교 로봇학부, 2013741057, jjrjh0814@naver.com

정태훈: 광운대학교 로봇학부, 2013741024, jungtaehun94@naver.com

김예영: 광운대학교 로봇학부, 2016741017, angela9829@naver.com

신동민: 광운대학교 로봇학부, 2016741056, dongmin8661@naver.com

II. System Design

1. System Architecture

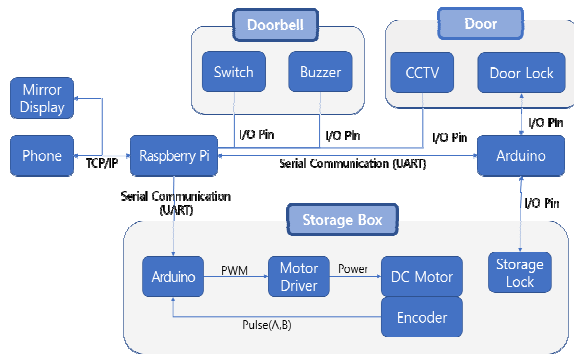


그림 2. 시스템 구조.

Fig. 2. System Architecture.

프로젝트를 진행하는데 있어 스마트 도어의 제작과 원활한 동작을 수행하기 위한 시스템을 [그림 2]와 같이 구성하였다. 아두이노와 라즈베리파이의 통신, 라즈베리파이와 어플리케이션의 통신을 기반으로 라즈베리파이에서 받은 영상이미지를 어플리케이션으로 보내주고, 아두이노에서의 도어락의 제어와 모터 제어를 라즈베리파이를 통해 어플리케이션에서 원격제어가 가능하도록 하였다.

표 2. 스마트 도어 시스템 제품 사양.^{[6][7][8][9]}

Table 2. Smart Door System Products Spec.

	Company	Product	Num
Motor	D&J WITH	IG-42GM	2EA
Motor Driver	Cytron Technologies	MDD10A	1EA
Power Supply	MEAN WELL	LRS-200	1EA
Encoder	CUI Devices	AMT-102V	2EA

Smart Door System은 크게 Motor 2EA, Motor Driver & Power Supply 1EA, Encoder 2EA로 구성되어있다. Motor는 D&J WITH사의 IG-42GM 제품을 사용하였고, Motor Driver는 최소 5A 이상이고 기동 시 돌입 전류와 회전방향 전환시의 부하를 고려하여 각 모터당 지속적으로 10A, 피크 전류 30A를 공급할 수 있는 Cytron Technologies사의 MDD10A를 사용하였다. Power Supply는 Motor Driver와의 호환성과 안정적인 전원 공급을 고려하여 출력 전압 12V, 정격 출력 용량 204W인 MEAN WELL사의 LRS-200을 사용하였고, Encoder는 아두이노의 처리속도와 정확도 사이의 균형을 잡기 위해서는 넓은 분해능 조정 범위가 필요하기 때문에 CUI Devices의 광학식 증분형 Encoder인 AMT-102V를 사용하였다.

III. Smart Door System Hardware

1. Smart Door System H/W Design

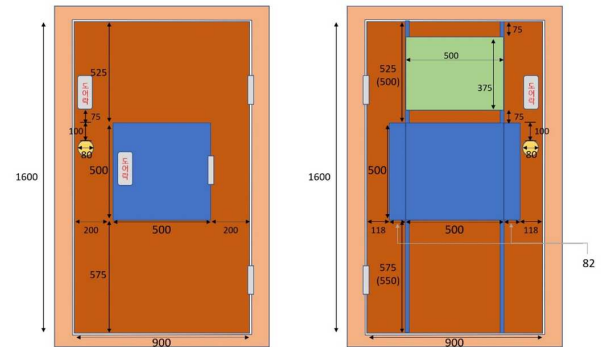


그림 3. 스마트 도어 설계도.

Fig. 3. Smart door schematic.

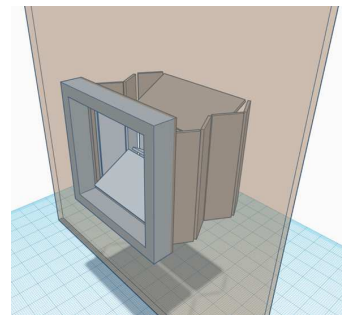


그림 4. 보관함 3D 도면.

Fig. 4. Foldable storage Box 3D drawing.

Smart Door System은 [그림 3]과 같이 Hardware(이하 H/W)를 설계하였다. H/W Design은 Autodesk사의 Inventor 프로그램을 사용하여 설계하였다.



그림 5. 보관함.

Fig. 5. Foldable storage Box.

[그림 5]와 같이 Smart Door System의 보관함은 정육면체 모양의 접이식 박스이다. 윗면과 아랫면은 가로로 2등분 되어 박스 안쪽으로 접히는 구조이고, 옆면은 세로로 4등분 되어 중앙 힌지가 바깥쪽으로 접히는 구조이다. 보관함이 쓰이지 않을 때 접히는 부분이 외부로 노출되는 정도를 최소화하여 사용자가 문을 사용하기에 불편함이 없게 하였고,

물건을 적재하고 모양을 유지시키기에 적당한 힘을 전달하도록 설계하였다.

보관함은 집 외부 방향과 내부 방향으로 2개의 문이 존재한다. 외부 문을 열어 물건을 투입하고 내부 문을 열어 집 내부에서 물건을 수령할 수 있다. 보관함이 펼쳐졌을 경우, 사용자가 내부 문을 열지 않는 한 외부에서 보관함을 통하여 집 내부를 들여다보거나 침입을 할 수 없도록 보관함이 접히는 부분과 겹면을 강도가 있는 재료를 사용하여 제작하고 틈이 생기지 않도록 설계하였다.



그림 6. 보관함 프레임.
Fig. 6. Foldable storage box frame.

적당한 강도와 경량화를 위해 알루미늄 프로파일을 가공하여 보관함을 제작하였고, 접히는 부분은 PVC 재질의 경첩을 사용하였다. 현관문과 보관함의 겹면은 비용절감과 경량화를 위해 각각 목재와 합판을 가공 및 부착하였다.

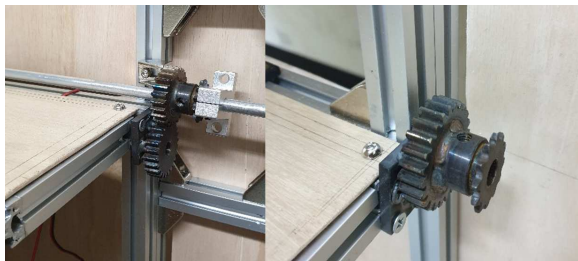


그림 7. 보관함의 기어부 (위/아래).
Fig. 7. Gear part of foldable storage box (upper/lower).

Motor를 구동하여 보관함을 접고 펼 때, 체인과 체인기어를 사용하여 동작을 제어하였다. 윗면은 아래쪽으로 접히고, 아랫면은 위쪽으로 접히기 때문에 평기어를 통해 회전 방향에 맞게 구동하도록 설계하였다. 체인기어와 평기어는 직접 제작하여 용접으로 프레임에 고정하였다.

2. Smart Door Motor Control

모터제어를 위해 아두이노 보드 기반으로 Motor, Motor Driver 그리고 Encoder를 사용하였다.

아두이노에서 Encoder의 pulse를 interrupt로 받아 값의 변화를 추적하였고, 이를 누적시켜 Motor가 회전한 방향과 각도를 얻었다. 아두이노는 목표 값을 바탕으로 Motor Driver에 PWM 신호를 출력하고 Encoder 값을 입력 받는 것을 반복하여 PID control를 구현하였다. 또한 serial 통신으로 라즈베리파이를 통한 개폐 조작이 가능하도록 하였다.

3. Smart Door System Circuit Design

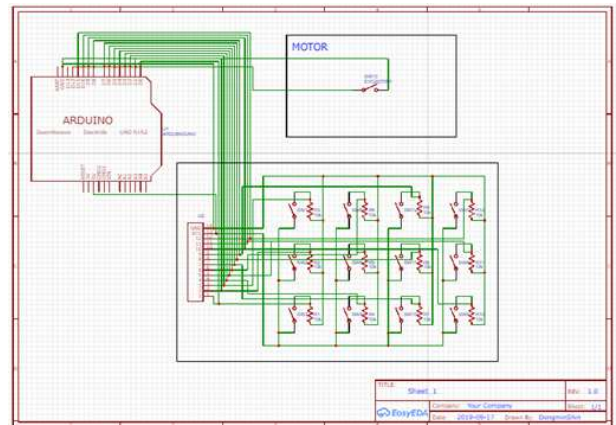


그림 8. 도어락-아두이노-키패드 연결 회로도.
Fig. 8. Door-lock-Arduino-Keypad Connection Diagram.

총 15개의 digital pin/analog pin과 통신이 가능한 보드가 필요했기 때문에 아두이노 우노를 사용하였다. 아두이노 우노의 input voltage는 12V로 레귤레이터가 3.3V, 5V를 만들어 준다.

도어락은 키패드 부분에서 제품 외관은 그대로 사용하였고, 어플리케이션과의 통신을 위해 아두이노와 연결된 내부 회로를 별도로 제작하였다.

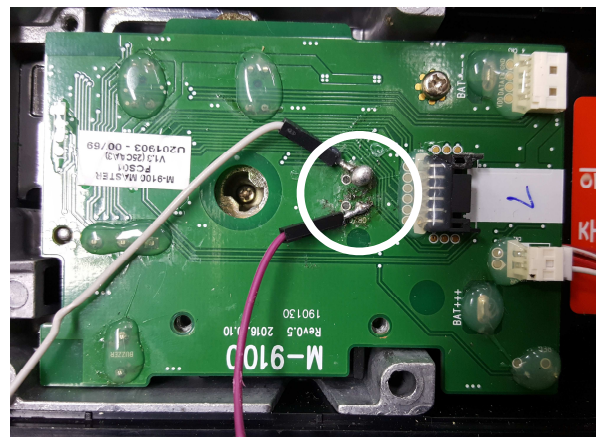


그림 9. 도어락 내부 회로.
Fig. 9. Door-lock internal circuit.

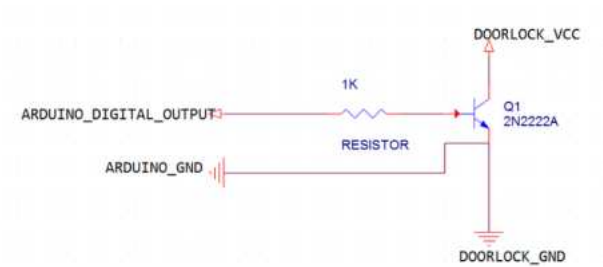


그림 10. 도어락 OPEN/CLOSE 스위치와 digital pin12 연결 회로도.

Fig. 10. Door-lock OPEN/CLOSE switch and digital pin12 connection schematic diagram.

어플리케이션과의 통신을 통해 도어락 자체 모터를 작동시키기 위해서 트랜지스터와 10K 저항을 사용하여 아두이노 우노와 연결하였다.^[10]

어플리케이션을 통해 들어온 입력신호가 아두이노 digital pin12를 통해 들어오게 되면, emitter와 collector의 전류의 흐름을 통해 도어락 자체 모터가 작동된다.

V. Smart Door System Software

1. UI Design



그림 11. UI 디자인.

Fig. 11. UI Design.

사용자의 편의성에 초점을 맞춰 안드로이드 스튜디오를 사용하여 UI를 디자인하였다. 아이콘과 글씨체는 오픈되어 있는 이미지와 글씨체를 사용하였다.

기능은 총 4가지로 출입문과 보관함을 원격으로 열 수 있는 기능과 CCTV를 확인할 수 있는 기능, 열렸을 때와 비밀번호의 오류 알람을 설정할 수 있는 기능으로 구성하였다.

2. Remote Communication

2.1 Android-Raspberry Pi

메인보드로 라즈베리파이를 사용하였고, 파이썬 언어를 통해 제어하였다. 어플리케이션은 안드로이드 스튜디오 프로그램을, 프로그래밍 언어는 자바를 사용하였다.

무선으로 장소의 제약이 없고, 모바일 어플리케이션을 통하여 메인 보드와 통신하기 위해서는 인터넷 네트워크를 통한 통신이 필요하고, 스마트도어의 보안성을 높이기 위한 정확한 정보 전달과 그에 따른 작업 수행이 요구된다. 그 결과 연결지향형 TCP/IP 방식의 socket 통신 프로토콜을 사용하였고, 라즈베리파이에 server를 두고 어플리케이션을 client로 하여 서로 socket을 연결해 데이터를 교환하였다.

라즈베리파이와 안드로이드에서 사용하는 언어의 차이로 데이터 타입을 동일하게 설정하고, encoding/decoding 방식은 UTF-8을 사용하였다.

2.2 Raspberry Pi-Arduino

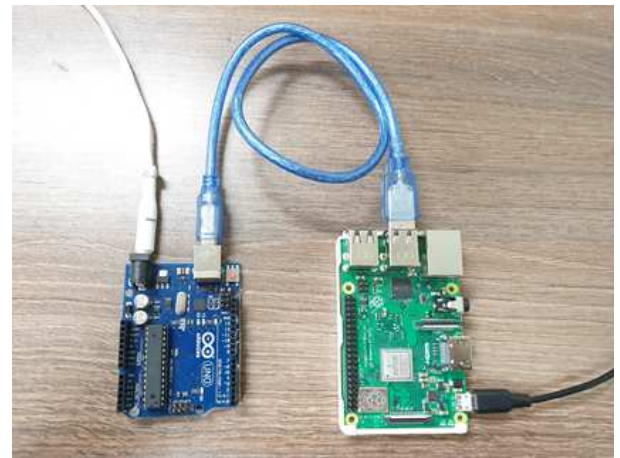


그림 12. 라즈베리파이와 아두이노 보드의 연결부.

Fig. 12. Connection between Raspberry Pi and Arduino Board.

```
ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
ser.write([0])
ser.close()
```

그림 13. 라즈베리파이에서 아두이노로 '0'을 보내는 테스트.

Fig. 13. Test to send '0' from Raspberry Pi to Arduino.

라즈베리파이와 아두이노 보드의 I/O pin 전압이 3.3V와 5V로 서로 상이하기 때문에 각각의 pin끼리 직접적으로 연결하여 통신하게 될 경우 문제가 발생할 위험성이 존재한다. 이를 고려하여 라즈베리파이와 아두이노 사이의 통신방법으로 USB 케이블을 통한 serial 통신(UART)을 활용하는 방법을 사용하였다.^[11]

데이터를 주고받을 경우에는 라즈베리파이에 아두이노 IDE를 설치한 후 USB 케이블을 통해 연결된 serial port에 접근한 뒤 통신을 위한 baud rate를 설정해야 한다.

안드로이드 어플리케이션을 통해 사용자로부터 특정 명령을 라즈베리파이로 받아 수행하도록 하기 위해서 아두이노 보드로 직접 구현한 통신 프로토콜로 데이터를 전달한다. 아두이노에서도 라즈베리파이와 동일한 serial port와 baud rate로 데이터를 받고, 명령 수행 결과에 대한 데이터를 다시 라즈베리파이로 전송한다.

3. Camera Streaming

CCTV 역할을 하는 카메라 영상을 어플리케이션을 통해 확인하기 위해서 UV4L이라는 서버 모듈을 사용하였다. 다른 오픈소스나 모듈에 비해 높은 해상도와 적은 지연으로 UV4L 모듈을 선정하였고, UV4L은 실시간으로 HTTP/HTTPS 스트리밍 서버를 제공하여 IP 카메라처럼 Web 상으로 영상 데이터 조절 및 확인이 가능하다.^[12]

외부 인터넷 창에서는 라즈베리파이에 할당된 IP주소와 전용 port 번호를 이용하여 실시간 영상을 볼 수 있고, 전용 안드로이드 어플리케이션에서는 WebView를 통해 해당 URL로 접근하여 영상을 확인할 수 있다.^[13]

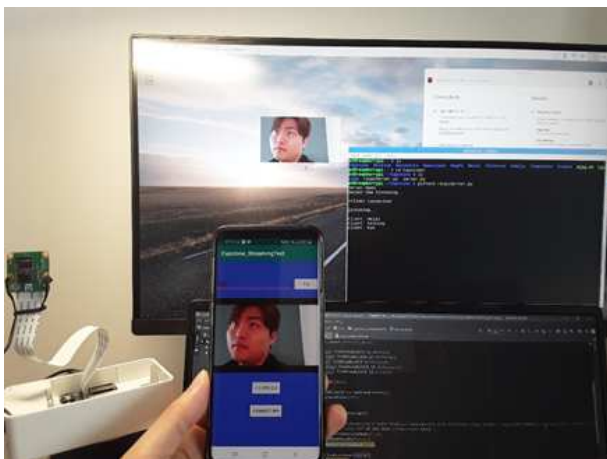


그림 14. 실시간 카메라 스트리밍.

Fig. 14. Real-time camera streaming.

VI. Add-ons : Mirror display



그림 15. 미러 디스플레이.

Fig. 15. Mirror display.

편의 기능을 제공하기 위해 미러 디스플레이를 스마트 도어에 설치하였다. Android OS를 바탕으로 전용 어플리케이션을 제작하여 기능을 구현하였다.

미러 디스플레이의 내장 기능으로는 메모, 날씨, 뉴스, CCTV 스트리밍 영상 확인이 있다. 또한 기능을 이용하지 않아 LCD를 켜둘 때에는 미러 필름을 사용하여 제작하였기 때문에 거울 역할을 한다.

메모 기능은 미러 디스플레이뿐만 아니라 어플리케이션을 통해서 확인 및 수정이 가능하다. 일기예보 기능은 기상청 API로부터 지역 일기예보를 parsing하여 3시간 간격으로 업데이트된다. 뉴스 기능은 Daum 사이트의 뉴스 중 화제 순으로 정렬된 기사를 제목, 썸네일, 기사 미리보기를 parsing하여 목록으로 제공한다. parsing은 XmlPullParser API의 기능을 제공하는 XmlPullParser 인터페이스를 사용하여 구현하였다.^[14] CCTV 스트리밍 영상 확인 기능은 라즈베리파이와 연결된 카메라 영상 스트리밍을 WebView를 통해 보여준다.

VII. Results and Discussions

1. Results

방문자가 왔을 경우 초인종을 누르면 사용자는 전용 어플리케이션을 통하여 알람을 받게 된다. 실시간으로 CCTV를 통해 방문자를 확인할 수 있어 현관문을 열어주거나 접혀있던 보관함을 펼칠 수 있고, 보관함을 통해 무인으로 물품을 수령하기도 한다.

사용자는 귀가 후 보관된 물품을 확인하고 보관함 버튼을 눌러 사용하지 않는 보관함을 접어둔다.



그림 16. 복도에서 본 스마트 도어.

Fig. 16. Smart Door seen from hallway.



그림 17. 집에서 본 스마트 도어.

Fig. 17. Smart Door seen from home.

2. Discussions

Smart Door System을 구동하면서 크게 두 가지 문제점이 있었다. 첫 번째로 PID control 시 부하로 인해 속도가 제한된다는 것이고, 두 번째로는 보관함이 완전히 펼쳐지면 특이점(singular point)에 도달하여 주어진 모터 제어로는 보관함을 구동할 수 없다는 문제점이 있었다.

첫 번째 문제의 경우, 비례제어 값과 미분제어 값에 따른 Motor의 포화상태나 현재 오차에 따라 적분기를 초기화시켜, 비례-미분제어로는 오차 해소가 빠르게 이루어지지 않는 구간에서만 적분제어를 사용하였다.^[15]

두 번째 문제의 경우, 다양한 프로토타입을 제작하고 시행착오를 겪은 결과, 보관함이 완전히 펴지지 않으면서 물건을 보관하기에 무리가 없는 각도를 찾아냈고, 그 각도를 유지하기 위한 지지물과 케이블을 연결하여 해결하였다.

이 외에도 아두이노에서 polling을 사용할 경우 루프의 내용이 추가될수록 각도가 부정확하게 나오는 문제가 발생하였다. 로그를 남겨 문제 원인을 파악해본 결과, Encoder에서 나오는 일부 신호가 누락된다는 것을 알아내었다. 아두이노의 성능으로는 polling을 통하여 Encoder pulse를 읽는 것이 어렵다고 판단하였는데, polling을 사용하는 경우 데이터가 생성되어 실제로 이용되기까지 비예측적인 시간을 대기하게 되고, 미처 이용되기 전에 새로운 데이터로 갱신되기도 하는 것을 원인으로 파악하였다.^[16] 이 경우 실시간성을 확보할 수 없었고, 일부 비트가 누락되어 회전 각도가 부정확하게 나오는 결과로 이어졌다. 증분형 Encoder를 사용함에 있어 비트의 누락은 치명적이므로, 가장 우선순위가 높은 작업이라 판단하였기 때문에 polling이 아닌 interrupt를 통해 Encoder의 신호를 읽어오도록 하여 문제를 해결하였다.

참고문헌

- [1] 강지현, “1인 가구의 범죄피해에 관한 연구”, pp. 300, June 2017.
- [2] 통계청, “인구주택총조사에 나타난 1인 가구의 현황 및 특성”, pp. 2, Sep. 2018.
- [3] 사공성근, “[백브리핑]성범죄자 배달원의 사각지대…불안한 ‘1인 여성’”, CHANNEL A, Nov. 3, 2019.
- [4] 이영민, “그놈이 배달원이 돼서 왔다”, 머니투데이, No v. 7, 2019.
- [5] 정기형, “원룸 택배 절도 피해 잇따라”, 부산경남대표 방송KNN, July 29, 2019.
- [6] (주)디엔지워드, “IG-Series W/EC-IG-42GM”, last modified n. d, accessed May 13, 2019, http://www.dnj.co.kr/bbs/board.php?bo_table=planetary_en&wr_id=68..
- [7] Cytron Technologies, “MDDA10A Dual Channel 10A D C Mot or Driver”, pp. 4, Dec. 2013.
- [8] MEAN WELL, “LRS-200-SPEC”, pp. 2, Aug. 2018.
- [9] CUI DEVICES, “AMT10”, pp. 1-2, Oct. 2018.
- [10] “아두이노로 도어락 열기”, 즐거운오형육짬은이, last modified May 5, 2013, accessed May 16, 2019, <https://m.blog.naver.com/otofu/130167575497>.
- [11] “라즈베리파이 아두이노 시리얼 통신하기”, CreAmp, last modified Jan. 7, 2016, accessed Apr. 10, 2019, <https://creamp.tistory.com/m/3>.
- [12] “UV4L - (advanced) Projects”, (advanced) Projects, last modified n. d, accessed Mar. 21, 2019, <https://www.linux-projects.org/uv4l/>.
- [13] “안드로이드 스튜디오 - 라즈베리파이 카메라와 UV4 L로 스트리밍 앱 만들기(1)”, 사소한 시선(視線), last modified Sep. 30, 2016, accessed Mar. 26, 2019, <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=cosmosjs&logNo=220824316155&categoryNo=80&parentCategoryNo=0&viewDate=¤tPage=1&postListTopCurrentPage=1&from=postView>.
- [14] “XmlPullParser”, Android developers, last modified n. d, accessed May 10, 2019, <https://developer.android.com/reference/org/xmlpull/v1/XmlPullParser>.
- [15] “Integral (Reset) Windup, Jacketing Logic and the Velocity PI Form”, Control Guru, accessed May 30, 2019, <http://controlguru.com/integral-reset-windup-jacketing-logic-and-the-velocity-pi-form/>.
- [16] 구철희, “디바이스 데이터 입출력에 있어서 폴링 방식과 인터럽트 구동 방식의 데이터 처리 방법”, 한국항공우주학회지, Vol. 33, No. 9, pp. 113-119, Sep. 2005.



신 정 한

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.
관심분야는 Internet of Things(IoT),
Artificial Intelligence, Embedded S/W.



정 태 훈

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.
관심분야는 Microcontroller.



김 예 영

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.
관심분야는 Robot Software, H/W
Design.



신 동 민

2019년 광운대학교 로봇학부 재학 중.
관심분야는 Circuit Design, Robot
Control, Image Processing.