

자이로센서와 플렉스 센서를 이용한 이동형 로봇팔 원격 제어

장재석* · 김민수* · 김성진* · 이철근* · 박형근**

Remote Control of Movable Robot Arm using Gyro Sensor and Flex Sensor

Jae-Seok Jang* · Min-Soo Kim* · Seong-Jin Kim* · Cheol-Keun Lee* · Hyoung-Keun Park**

요약

재난상황이나 인명 구조, 위험물 처리와 위험지역 정찰 등 사람들이 하기 어려운 위험작업을 대신 처리해 실질적으로 많은 도움을 줄 수 있는 로봇들이 지속적으로 이슈가 되고 있다. 따라서 본 논문에서는 사람의 모션 의지를 로봇팔에 구현하여 상황에 따른 능동적인 대응이 가능하도록 한다. 또한 손동작에 따라 차량을 제어하여 이동성을 부여할 수 있는 이동형 로봇팔을 구현하고자 한다. 플렉스 센서와 자이로센서를 활용하여 컨트롤러를 제작하고 자이로센서 2개의 Roll과 Pitch 값을 조절하여 로봇팔의 각도를 제어하며 차량의 방향을 지정한다. 또한 플렉스 센서 3개의 레벨을 지정함으로써 손동작에 따라 모터가 동작되며 물체를 집고 이동할 수 있도록 로봇팔을 구현하였다.

ABSTRACT

Robots that can actually help people a lot by dealing with dangerous tasks that are difficult for people to do, such as disaster situations, lifesaving, handling dangerous goods, and reconnaissance of dangerous areas, continue to become an issue. Therefore, in this paper, we intend to implement a mobile robot arm that can implement a human motion will on the robot arm to enable active response according to the situation and control the vehicle according to hand movements to give mobility. A controller is manufactured using a flex sensor and agyro sensor, and the roll and pitch values of the two gyro sensors are adjusted to control the angle of the robot arm and specify the vehicle direction. In addition, by designating the levels of the three flex sensors, the motor is operated according to hand movements, and a robot arm is implemented so that objects can be picked up and moved.

키워드

Arduino, Bluetooth, Flex Sensor, Gyro Sensor, Robot Arm
아두이노, 블루투스, 플렉스 센서, 자이로 센서, 로봇 팔

* 남서울대학교 전자공학과(whit9448@naver.com, tnffo0904@naver.com, tjdwls8629@naver.com, huhj2580@naver.com)

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

• 접수일 : 2021. 10. 18
• 수정완료일 : 2021. 11. 17
• 게재확정일 : 2021. 12. 17

• Received : Oct. 18, 2021, Revised : Nov. 17, 2021, Accepted : Dec. 17, 2021

• Corresponding Author : Hyoung-Keun Park

Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University.

Email : phk315@nsu.ac.kr

1. 서 론

최근에 로봇에 관한 관심이 증가하면서 홍수, 화재, 지진 등과 같은 재난상황이나 인명 구조, 위험물 처리 등 인력 투입으로는 어려운 상황에서 로봇의 필요성을 느끼고 있다. 따라서 이러한 극한 상황에서 임무 수행을 하기 위한 로봇의 연구가 활발히 진행되고 있다[1-2]. 또한 산업현장에서는 사회 전체가 고령사회로 발전함에 따라서 인력이 부족해지는 현상을 겪고 있으며 이를 보완하고자 생산라인에 로봇의 보급이 증가하고 있고 산업용 로봇팔 연구 또한 진행되고 있다[3].

하지만 재난 상황이나 위험물 처리, 인명구조를 해야 하는 상황처럼 제한된 환경에서의 작업은 돌발적인 상황의 발생이 많기 때문에 환경 변화에 따른 제약이 많게 된다. 때문에 정해진 프로그램에 따라 반복 작업하는 일반적인 산업용 로봇으로는 상황에 따른 즉각적인 대처나 섬세한 작업에 상당한 어려움이 따르며 위험물 작업이나 사람이 접근하기 어려운 장소에서는 원격으로 로봇을 제어하여 작업자의 안전을 보장하여야 한다[4-6].

따라서, 본 논문에서는 자이로 센서와 플렉스 센서 등으로부터 값을 산출하여 센서들의 움직임에 따라 로봇팔과 차량을 제어할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 그리고 블루투스 모듈을 이용하여 먼거리에서도 원격으로 로봇팔과 차량을 제어하여 작업자의 안전을 보장하고 사람의 모션 의지에 따라서 로봇팔을 제어함으로써 능동적인 대응이 가능하도록 시스템을 구현하였다. 또한 차량에 로봇팔을 부착하여 이동성을 부여함으로써 작업영역을 넓힐 수 있도록 하였다.

II. 이동형 로봇팔 동작 및 구성

2.1 동작 원리

플렉스 센서는 휘어지는 정도에 따라 저항값이 변화되는 가변 저항이다. 휘어짐의 방향에 따라 저항값이 증가, 감소하며 본 논문에서는 4.5인치의 플렉스 센서 3개를 이용하여 컨트롤러에 연결하였으며 플렉스 센서 3개의 데이터 값을 통해서 차량의 이동 방향이나 집게 동작을 결정한다.

그림 1은 Roll, Pitch, Yaw의 원리를 나타낸 그림이다. Roll은 물체의 좌우 기울어짐 정도, Pitch는 물체의 상하 기울어짐 정도, Yaw는 수평 회전 정도를 나타낸다. MPU6050을 사용하기 위해 코딩을 호환한 후 동작제어를 위해 X좌표는 Roll, Y 좌표는 Pitch, Z 좌표는 Yaw의 값을 출력하도록 하였으며 Yaw의 경우 중력의 영향을 받지 않는 평면이기 때문에 상보 필터를 적용하였을 때 자이로 값만을 이용하여 각도가 계산되고 Drift 현상이 발생하여 정확한 데이터를 얻어낼 수 없다는 단점이 있다. 때문에 본 논문에서는 Roll과 Pitch 값만을 사용하여 로봇팔의 각도와 차량의 방향을 제어하였다.

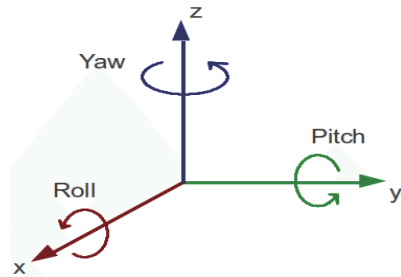


그림 1. Roll, Pitch, Yaw 좌표계
Fig. 1 Roll, Pitch, Yaw Coordinate system

2.2 상보 필터

그림 2는 상보 필터의 블록선도이다. MPU6050은 자이로 센서와 가속도 센서를 합친 센서이며 가속도 센서의 경우 진동에 약하기 때문에 짧은 시간 변화에는 약하지만 긴 시간에 대해서는 정확한 각도를 산출해낼 수 있다. 자이로 센서는 진동에 강하기 때문에 짧은 시간에 대해서는 정확한 각도를 얻을 수 있지만 시간이 지나면서 오차가 누적되어 긴 시간에는 취약하다.

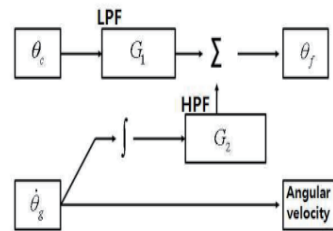


그림 2. 상보 필터 블록선도
Fig. 2 Complementary Filter block diagram

이처럼 가속도 센서는 센서 특성상 고주파 영역에서 노이즈가 많이 발생하게 되어 정확한 값을 얻기 어렵다. 따라서 노이즈 영역을 제거하고자 고역은 감쇄시키고, 낮은 주파수 영역을 통과시키는 Low Pass Filter를 적용하였다. 자이로 센서의 경우 특성상 저주파 영역에서 값이 변하는 Drift 현상이 발생하여 정확한 값을 기대하기가 어려우므로 저역을 감쇄시키고 노이즈가 적은 고역을 통과시키기 위한 High Pass Filter를 적용해 주면 정확도가 올라가게 된다. 이러한 각각의 필터를 통과해서 노이즈가 걸러진 값들을 합하여 보다 더 정확한 각도 값을 얻게 된다. 그림 2를 전달함수의 형태로 표현하면, 필터의 결과 각도(θ_f)는 식(1)과 같다.

$$\theta_f(s) = G_1(s)\theta_c(s) + G_2(s)\left(\frac{1}{s}\dot{\theta}_g(s)\right) \quad (1)$$

이때 θ_c 는 가속도 센서에서 얻은 각도이고, $\dot{\theta}_g$ 는 자이로 센서에서 얻은 각속도이며, θ_f 는 필터의 결과이다. 또한, G_1 은 저역 통과 필터이고, G_2 는 고역 통과 필터이다[7].

2.3 시스템 구성도

그림 3은 본 논문에서 구현하고자 하는 전체 시스템의 구성도를 나타낸 것이다. 컨트롤러의 제어부 Arduino Uno는 플렉스 센서 3개와 자이로 센서 2개, 가변저항의 값을 입력받고 마스터 모드인 블루투스를 통해 슬레이브 블루투스로 데이터 값을 전송한다. 전송한 데이터는 슬레이브로 지정된 블루투스를 통해 값을 수신 받고 차량과 로봇팔의 제어부인 Arduino Mega에 입력된다. 입력된 값에 따라 로봇팔과 차량이 동작하도록 설정하였고 차량은 자이로 센서의 값과 플렉스 센서의 값에 따라 동작이 제어된다. 로봇팔의 경우 자이로 센서, 가변저항의 입력 값에 따라 관절을 움직이고 플렉스 센서의 입력값에 따라 집게를 제어할 수 있도록 설정하였다.

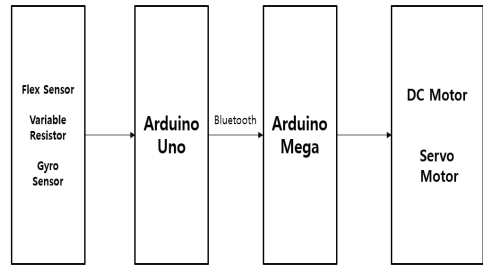
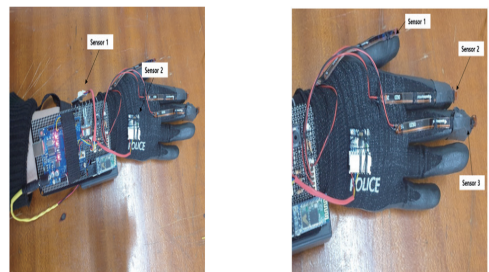


그림 3. 시스템 구성도
Fig. 3 System configuration chart

III. 이동형 로봇팔 설계 및 알고리즘

3.1 하드웨어 설계

그림 4는 시스템을 제어하기 위한 컨트롤러로 PCB 기판을 이용하여 회로를 설계하였으며 장갑에 플렉스 센서 1번(엄지), 2번(검지), 3번(중지)을 부착하여 손 동작에 따라 DC 모터 및 집게의 서보모터의 동작을 제어할 수 있도록 제작하였다. 손등에 1번 자이로 센서와 손목 좌측 부분에 2번 자이로 센서를 부착하여 팔의 움직임과 손목의 움직임에 따라 로봇팔의 움직임을 추종할 수 있도록 하였다. 그림 5는 차량과 로봇팔을 나타낸 것으로 2층으로 나누어 부품들을 배치하였으며 1층에는 DC 모터와 모터 드라이브 등의 부품을 부착하였고, 2층에는 로봇팔을 부착하였다. 로봇팔의 경우 6축으로 6개의 서보모터를 사용하여 구성하였다.



Gyro Sensor

Flex Sensor

그림 4. 컨트롤러 외형 디자인
Fig. 4 Controller exterior design

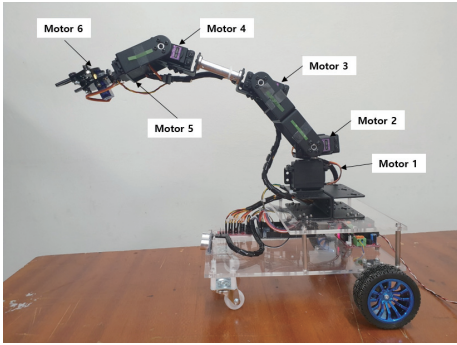


그림 5. 차량 및 로봇팔 외형 디자인
Fig. 5 The exterior design of the vehicle and robot arms.

3.2 시스템 동작 알고리즘

그림 6과 7은 Arm Mode의 알고리즘이다. 로봇팔은 1번 자이로 센서의 Roll1과 Pitch1, 2번 자이로 센서의 Pitch2, 가변저항, 3번 플렉스 센서의 값을 이용하여 각도를 제어하며 마스터에서 센서들의 데이터 값들을 입력받고 그 값들을 매핑하여 슬레이브로 수신한다. 슬레이브로 수신한 값들을 서보모터가 입력받고 Pitch1의 경우 1번 서보모터를 제어하고 Roll1은 4번 서보모터를 제어한다. Pitch2의 값은 2번과 3번 서보모터의 각도를 제어하며 2번 서보모터는 180에서 매핑 한 Pitch2 값을 빼주어 각도를 제어하도록 설정하였다. 또한 매핑 한 가변저항의 값에 따라서 5번 서보모터가 각도를 제어할 수 있도록 하고 3번 플렉스 센서의 값에 따라서 집게의 각도를 조절한다.

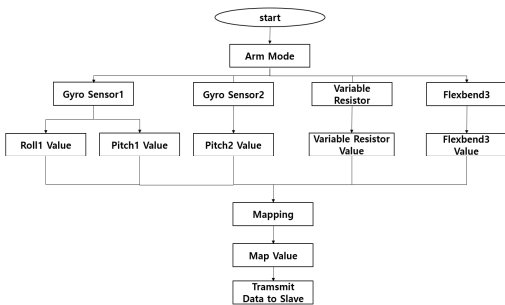


그림 6. Arm Mode(Master) 알고리즘
Fig. 6 Arm Mode(Master) algorithm

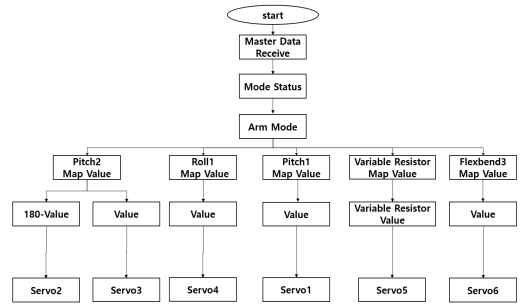


그림 7. Arm Mode(Slave) 알고리즘
Fig. 7 Arm Mode(Slave) algorithm

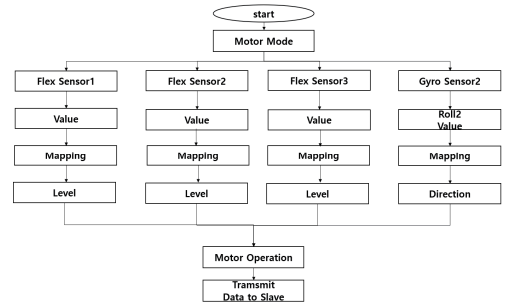


그림 8. Motor Mode(Master) 알고리즘
Fig. 8 Motor Mode(Master) algorithm

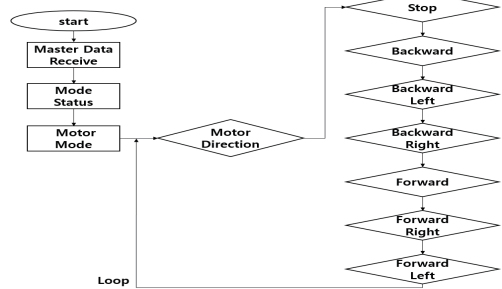


그림 9. Motor Mode(Slave) 알고리즘
Fig. 9 Motor Mode(Slave) algorithm

그림 8와 9는 Motor Mode의 알고리즘이다. Motor Mode일 경우 3개의 플렉스 센서 값들을 입력받고 입력된 값들을 매핑한다. 매핑 한 값들의 범위를 각각 지정하고 지정된 범위에 따라서 0(L), 1(M), 2(H)로 레벨을 지정하며 3개의 플렉스 센서의 레벨 값에 따라서 모터의 동작 명령을 지정한다. 또한 Roll2 값을

매핑하여 나타내고 매핑한 값들의 범위를 지정하여 동작 방향 명령을 지정한다. 입력된 모터의 동작과 방향 명령을 슬레이브로 송신하고 데이터를 수신 받은 슬레이브 블루투스는 동작의 방향을 확인하고 모터의 동작을 출력한다.

IV. 실험 및 고찰

4.1 플렉스 센서의 평균값 측정

본 논문에서는 4.5 인치의 플렉스 센서를 사용하였으며 플렉스 센서의 동작 구분을 위한 레벨의 범위를 설정하기 위해서 실험을 진행하였다. 실험은 주먹을 쥐었을 때의 최저값과 주먹을 폈을 때의 최대값을 측정하여 표1과 표2에 나타내었다. 5초 간격으로 5회 측정하였고 플렉스 센서의 경우 매우 민감한 센서이기 때문에 실험 대상자 손의 크기에 따라 값의 변화가 심하여 실험은 조원 1명의 실험값으로 나타내었다.

표 1. 주먹을 쥐었을 때의 데이터 최소값
Table 1. Clench Fist Minimum Data Value

number	minimum		
	sensor 1	sensor 2	sensor3
1	483	465	450
2	480	443	432
3	493	455	421
4	497	458	443
5	490	450	435
average	488.6	454.2	436.2

표 2. 주먹을 폈을 때의 데이터 최대값
Table 2. Open Fist Maximum Data Value

number	maximum		
	sensor 1	sensor 2	sensor 3
1	312	275	277
2	324	290	254
3	315	283	264
4	305	287	272
5	320	268	256
average	315.2	280.6	264.6

주먹을 쥐었을 때 플렉스 센서의 최저 평균값이 1번부터 3번까지 순서대로 488.6, 454.2, 436.2의 값을 나타내었고 주먹을 폈을 때의 최대 평균값은 315.2, 280.6, 264.6의 값을 나타내었다.이 값들을 바탕으로 차량과 짐게가 안정적인 동작을 하도록 센서 값의 범위를 지정하여 동작을 구현하였다.

4.2 자이로 센서 Roll, Pitch 값 선정

손목 좌측에 2번, 손등에 1번 자이로 센서를 부착한 후 실험을 진행하였으며, Roll과 Pitch 동작을 수행하며 각 동작별 자이로 센서의 최대값과 최소값을 표3과 같이 설정하였다.

표 3. 자이로 센서 최소값, 최대값
Table 3. Gyro Sensor Maximum, Minimum Value

	minimum value	maximum value
Roll 1	-40	50
Pitch 1	-80	40
Roll 2	-30	70
Pitch 2	-50	60

로봇팔을 제어하는 Roll1의 경우 10을 기준으로 10 이상이 되면 4축이 시계방향으로 회전하고 10이하가 되면 반시계 방향으로 회전한다. Pitch 1은 1축을 제어하며 -20을 기준으로 -20 이상이 되면 좌측으로 회전하고 -20 이하가 되면 우측으로 회전한다. Pitch2의 값은 5이상이면 2축은 반시계방향으로, 3축은 시계 방향으로 동작한다. 5이하가 되면 2축은 시계방향으로 회전하고 3축은 반시계 방향으로 회전하게 된다. Roll2 값의 경우는 차량을 방향을 지정하며 -10이하가 되면 차량이 좌측으로 움직이고 40이상이면 우측으로 움직이는 방향 명령을 지정하였다.

4.3 손동작 따른 차량 동작 인식을 실험

손동작 따른 차량의 동작 인식을 확인하기 위하여 실험을 진행하였다. 그림 10은 손동작에 따른 차량의 동작 명령을 나타낸 그림이다. 표 4와 같이 플렉스

센서의 레벨을 설정하고 레벨에 따른 차량의 동작을 확인하였고 실험은 10회씩 5초간 진행하였다.



그림 10. 손동작에 따른 차량 동작
Fig. 10 Vehicle motion according to hand motion

표 4. 차량 동작 인식률
Table4. Vehicle motion recognition rate

Level Command	sensor1	sensor2	sensor3	(%)
forward	L	L	H	90
left forward	L	L	H	80
right forward	L	L	H	80
back	L	H	H	80
left back	L	H	H	80
right back	L	H	H	70

손동작에 따른 인식률은 전진일 경우 가장 높은 인식률을 나타내었고 우후진일 경우 가장 낮은 인식률을 나타내었다.

4.4 신체 움직임에 따른 서보모터의 각도 변화량 측정 실험

실제 팔 및 손목의 움직임인 각도와 서보모터의 각도의 변화량, 각도 오차를 확인하기 위하여 실험을 진행하였다. 그림 11은 실험자의 팔 및 손목을 10도씩 움직였을 때 서보모터가 회전한 각도 변화량을 수치화하여 그래프로 나타낸 것이다. Pitch 와 Roll 동작을

수행하면서 각 서보모터 당 90도까지의 각도의 변화량을 측정하였고 그림 11은 서보모터별 각도 변화량을 나타낸 그래프이다. Servo1 과 Servo 4는 손목의 상하 움직임과 좌우 움직임에 따른 서보모터의 각도 변화량을 나타낸 것이고, Servo2와 Servo3는 팔의 상하 움직임에 따른 서보모터의 각도의 변화량을 나타낸 것이다. 실험은 각 동작 당 4회씩 진행하였다.

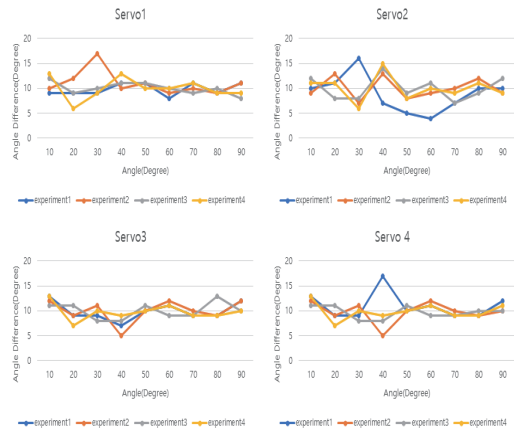


그림 11. 서보모터별 각도 변화량
Fig. 11 angle change of Servo Motor

각 서보모터에 대한 각도 변화는 최소 5도부터 최대 17도까지 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 신체 각도에 따른 서보모터의 오차각도는 최소 -5 에서 최대 7도까지의 값이 도출되는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 2개의 자이로 센서와 3개의 플렉스 센서를 이용하여 손동작 및 팔 동작으로 로봇팔과 차량을 동작할 수 있는 컨트롤러를 구현하였다. 동작은 Arm Mode와 Motor Mode로 구분하여 로봇팔과 차량의 간섭을 최소화하였고 Arm Mode에서는 2개의 자이로 센서를 활용해 1번, 2번, 3번, 4번의 서보모터 각도를 제어하고 가변저항을 통하여 5번 서보모터의 각도를 제어할 수 있다. 또한 플렉스 센서를 이용해 6 번 서보모터를 제어하여 집게로 물체를 집을 수 있도록 구현하였다. Roll 과 Pitch 값을 이용하여 팔과 손

목의 움직인 각도와 서보모터의 각도 변화의 오차를 측정할 결과 전체적인 서보모터의 오차는 최소 -5도 부터 최대 7도 인 것을 확인할 수 있었고 각도의 오차는 최소 -5도에서 최대 7도를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Motor Mode에서는 Roll2 값을 통해서 차량의 방향을 지정하고 플렉스 센서의 데이터 값의 레벨을 지정해 레벨 값에 따른 DC 모터의 동작을 출력할 수 있도록 제작하였고 손동작에 따른 플렉스 센서의 평균 값을 측정하고 이 데이터 값을 이용하여 레벨을 설정한 후 동작 인식률을 측정하였다. 전진의 경우 가장 높은 인식률을 나타내었으며, 우후진의 경우 70%로 가장 낮은 인식률을 나타내었다.

본 논문에서는 플렉스 센서, 가변저항, 자이로 센서 Roll과 Pitch 값을 이용하여 신체 움직임에 따른 로봇팔의 자세 제어를 통해서 상황에 따른 능동적인 움직임을 구현하였다. 사용자의 숙련도나 토크가 약한 서보모터 사용으로 인한 자세의 처짐, 집계의 약력 저하 문제 등을 해결한다면 실제 현장에서도 사용이 가능할 것이다.

References

[1] S. Kim, "Risk Work Robot", *Science and Technology Knowledge Infrastructure SCIENCEON*, vol. 42, no. 2002, pp. 44-51.

[2] J.-I. Kang, H.-S. Choi, B.-H. Jun, D.-H. Ji, J.-Y. Oh, and J.-Y. Kim, "Design and Control of Robot Arm for Inspection and Rescue Operations," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 22, no. 11, Nov. 2016, pp. 888 - 894.

[3] C. Park and K. Taek, "Design and Control of Industrial Dual Arm," *Robot J. of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 25 no.11, 2008, pp. 58-65.

[4] S. Lee, "Implementation of a motion detection-based driving control system using a flex sensor," *J. of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 42, no. 10, 2017, pp. 2030 - 2035.

[5] N.-H. Kim Nam-Ho "Development of globe-type radio mouse using gyro sensor," *J. of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences*, vol. 13, no. 8, 2009, pp. 1721 - 1728.

[6] B.-I. Jeon, H.-C. Cho, and H.-T. Jeon, "The Implementation of the Intelligent Exoskeleton Robot Arm Using ElectroMyogram(EMG) vital Signal," *J. of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 5, Oct. 2012, pp. 533 - 539.

[7] H.-G. Min, J.-H. Yoon, J.-H. Kim, S.-H. Kwon, and E.-T. Jeung, "Design of Complementary Filter using Least Square Method," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 17, no. 2, Feb. 2011, pp. 125 - 126.

[8] H. Choi and G. Heo, "128 Aduino : An Extension of the Arduino Platform for ATmega128," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 10, Oct. 2020, pp. 1369-1375.

[9] S. Kim, "A Study on the Effectiveness of IoT Coding Education Using Microbit," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 2, Apr. 2020, pp. 363-369.

[10] B. Kim, S. Ro, and J. Park, "Development of an NC System with a G-code Interpreter," *Korean Society for Precision Engineering*, vol. 2008, no. 6, June 2008, pp. 81-82.

저자 소개

장재석(Jae-Seok Jang)



2016년 3월~ 남서울대학교 전자공학
학과 4학년 재학 중
2022년 남서울대 전자공학과 졸업
예정

※ 주 관심분야 : 로봇제어



김민수(Min-Soo Kim)

2016년 3월~ 남서울대학교 전자
공학과 4학년 재학 중
2022년 남서울대 전자공학과 졸업
예정

※ 주 관심분야 : 인공지능 및 빅데이터



김성진(Seong-Jin Kim)

2016년 3월~ 남서울대학교 전자공
학과 4학년 재학 중
2022년 남서울대 전자공학과 졸업
예정

※ 주 관심분야 : 전기 및 전자시스템 생산공정



이철근(Cheol-Keun Lee)

2016년 3월~ 남서울대학교 전자
공학과 4학년 재학 중
2022년 남서울대 전자공학과 졸업
예정

※ 주 관심분야 : 반도체 및 디스플레이 제조공정



박형근(Hyung-Keun Park)

1993년 원광대학교 전자공학과 졸업
(공학사)
1995년 원광대학교 대학원 전자공학과
졸업(공학석사)
2000년 : 원광대학교 대학원 전자공학
과 졸업(공학박사)

1998년 5월 ~ 2001년 9월 :

(주)미디어서브기술연구소 선임연구원

2005년 3월 ~현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 반도체 회로설계, 마이크로프로세서
응용설계