

學士學位卒業論文

초음파센서를 이용한 주인 추적로봇

Master tracking robot using ultrasonic sensor

지도교수 이 우 택

이 論文을 學士學位卒業論文으로 제출함.

2017년 12월 일

창원대학교

제어계측공학과

오 완호, 오상민, 성진영, 부데바오

목 차

I. 서론

II. 본론

1. 초음파센서

2. 모터

2-1 DC모터 드라이버 실험

2-2 모터 선정

3. 리모컨

3-1 라디오 송수신 모듈

3-2 리모컨 구조

4. 로봇의 거리 및 각도 계산

4-1 초음파센서를 이용한 거리판단 실험

4-2 초음파센서 수신 가능 범위 판단 실험

4-3 삼각측량법

5. 알고리즘

6. 실험결과

III. 결론

참고문현

I. 서론

일상생활에서 어떠한 화물들을 들고 옮기는 일은 매우 흔한 일이다. 가볍거나 작은 화물의 경우는 적은 힘으로 쉽게 옮길 수 있지만 크거나 무거운 화물의 경우에는 체력소모가 많거나 시야 혹은 공간 등의 제약에 의해서 옮기는 것이 쉽지 않다.

또한 산업현장 등에서와 같이 중장비를 사용하지 않으면 안되거나 중장비의 사용이 제한되어 한 번에 여러 사람이 붙어서 옮기지 않으면 안되는 경우가 있다.

이러한 제약들을 극복하기 위해서 인류는 수레, 지게 등의 화물을 수송하기 위한 다양한 도구들을 개발하게 되었고 이러한 도구들을 바탕으로 화물을 옮기는 것을 더욱 더 작은 힘으로, 혹은 같은 힘으로 더욱 더 많은 화물을 옮길 수 있게 되었다.

그러나 여전히 사람이 직접적으로 혹은 도구를 통해서 접해있는 상태로 화물을 옮기는 상황이 계속되고 있다.

이러한 상황에서 내가 직접 화물을 옮기거나 도구를 이용해서 옮기는 것이 아닌 수레에 화물을 실어두고 이동하면 그 수레가 직접 화물을 옮기기 위해 이동하는 사람을 찾고, 그 사람을 쫓아가는 로봇에 대해서 구상하게 되었다.

본 논문에서 기술하는 로봇은 초음파센서와 라디오 송수신 장치를 이용해서 화물을 옮기려 하는 사람을 추적하고 그 사람을 따라서 이동하는 주인추적로봇으로 라디오 송수신 장치를 이용해서 신호의 발신각도를 찾고 거기서 출력되는 초음파를 로봇이 수신해 신호를 발신하는 주인과의 거리를 판단하는 로봇에 대해 기술한다.

2장에서는 본 논문에서 기술하는 로봇에 필요한 단위 실험과 그 결과들, 그리고 이를 구성한 알고리즘에 대해서 기술하며 3장에서

는 이를 바탕으로 한 결론에 대해서 기술한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 로봇을 구동하기 위해 필요한 요소로는 상기 언급한 바와 같이 초음파를 이용해 주인의 위치를 판단하고 주인의 뒤를 따라 이동하는 로봇이다.

이를 구동하기 위해서 우선적으로 로봇과 주인간의 상호 위치 파악을 위한 초음파 신호에 대한 파악이 필요하며 로봇이 이동하는데 필요한 구동기의 설정 및 실험이 필요하다.

또 로봇의 주인측에서 초음파 신호를 발생하는 시기를 로봇이 직접 조절하기 위한 방법에 대해서 고려할 필요가 있으며 로봇 구동을 위한 전체 동작 알고리즘이 필요하다. 본론에서는 이러한 정보들을 다룬다.

1. 초음파 센서

제안하는 로봇은 초음파센서를 이용하여 신호를 발신하는 주인과의 거리를 판단하고 로봇의 정면에서 주인이 어느 방향에 있는지를 판단한다. 사용한 초음파센서는 송신모듈로는 HG-M40TAI를 사용했으며 수신모듈로는 HG-M40RAI를 사용했다.

초음파센서의 원리는 초음파센서 송신부 내부의 압전 진동자에 전압이 인가되면 전동자가 매우 강하게 진동하는 공진주파수를 가진다. 이 공진주파수는 압전체의 탄성 진동 주파수에 의존한다. 전압이 압전기에 인가되면 압전체가 진동을 하며 이 진동을 쿤이라는 정합체를 이용하여 초음파를 공중에 방사한다.

수신부는 위의 송신부에서 발생한 초음파를 받아들일 경우 펄스를 발생시킨다.

초음파센서의 배치방법에 따라 용도와 그 특징이 달라진다.

아래의 표는 그 배치방법에 따른 특징 표이다.

초음파센서 배치방식	특징
대향형 (직접형) 	-감출감도의 설정이 자유로우며 설치 장소가 2곳이 필요 -단일 사용으로는 거리 측정에 부적합
반사형 (독립형) 	-초음파가 송신부에서 수신부로 직접 들어가는 문제에 대한 대책 필요 -송수신부 각각의 전용 센서를 사용할 수 있어 효율이 좋다 -지근거리 검출 용도가 많다
반사형 (겸용형) 	-송신과 수신을 교대로 할 수 있는 회로 필요 -근거리 측정이 어려움

표 1 초음파센서의 송/수신부 배치형태와 특징

단순히 전방에 있는 물체를 탐지할 경우에는 위의 반사형 초음파센서 중 거리에 맞는 형태를 선택하면 되지만 본 논문에서 제안하는 로봇은 추적하는 대상의 위치가 유동적이기 때문에 반사형 초음파센서의 사용이 제한된다.

이를 해결하기 위해 대향형 센서를 이용해 거리판단이 가능한 방법을 고려했으며 그 방법으로 삼각측량법을 이용했다.

2. 모터

본 논문에서 제안하는 로봇의 구동 방법은 DC모터 2개를 동력으로 하여 수신부를 가진 주인과 일정거리를 두고 이동하도록 구동 된다.

수신부를 가진 주인과 거리가 멀 경우는

속도가 높아야 하며 가까울 경우 충돌하지 않기 위해 속도를 줄이거나 정지해야만 한다.

이러한 조건을 만족하는 제어방법으로 PWM 제어를 이용하여 DC모터의 속도를 제어 할 수 있다.

속도를 판단하는 기준으로는 초음파센서에서 받아들인 신호를 통해 수신부를 가지고 있는 주인과 로봇사이의 거리를 판단한다.

이후 이 거리를 바탕으로 하여 제어부에서 구동부가 동작할지 정지할지에 대해 판단한다.

또한 동작할 때에는 주인과 떨어진 거리에 따라서 속도가 달라지기 때문에 DC모터를 직접 제어하기 보다는 모터드라이버를 이용하여 모터의 속도 및 방향을 제어한다.

위와 같이 구동부의 동작에 대한 신호 전달도는 아래의 그림과 같다.

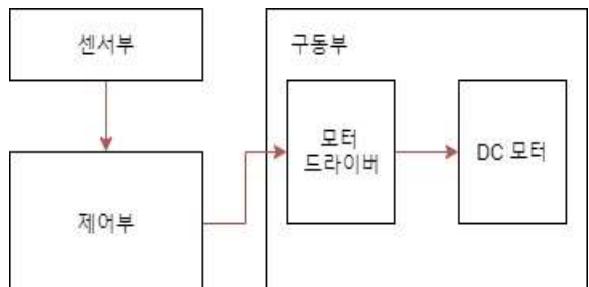


그림 4 모터 구동을 위한 구동부 신호 전달도

본 로봇에서는 모터가 동작하는 속도 및 방향의 쉬운 제어를 위해 모터 드라이버를 통해 DC모터를 제어했다.

2-1 모터선정

본 논문에서 제안하는 로봇의 궁극적인 동작목적은 주인을 따라가는 기능을 가진 추적로봇이다. 따라서 로봇의 이동속도는 사람의 이동속도를 고려하여야 하며 이러한 사항이 고려된 모터를 선정해야 한다.

사람이 평균적으로 걷는 속도는 약 4km/h이다. 이를 초 단위로 환산하면 1.11m/s 의 속도를 가진다.

이 속도에 맞춰서 로봇의 시간당 모터 회전수를 판단하면

$$\text{모터회전수/s} = 1.11\text{m/s} \div (\text{바퀴지름} * \pi) \text{ 이다.}$$

본 로봇에서 이용하는 바퀴의 지름이 약 0.063m이므로 초당 5.6바퀴 회전해야 하며 RPM으로 환산하면 약 340RPM이 된다.

이를 기준으로 로봇의 무게와 바퀴의 지름, 모터의 회전수를 판단하여 모터의 토크를 계산하면 필요한 최대 토크는 약 0.1375kg*cm 가 나온다.

모터를 선정하면서 운전 토크 여유분을 판단하여 정격전압이 4.5V RPM이 340RPM, 운전토크가 0.15kg*cm 인 모터 GM24-KTX를 선정했다.

2-2 DC모터 드라이버 실험

앞에서 언급한 바와 같이 모터의 속도와 방향의 제어를 용이하게 하기 위해서는 모터와 MCU의 직접적 연결 이외에도 추가적으로 기전력 등의 문제를 해결하기 위해 회로적인 설계가 필요하다.

DC 모터의 속도를 제어하기 위한 방법으로 다양한 방법이 있지만 본 논문에서는 PWM 제어방식을 이용하여 속도를 제어한다.

PWM 제어는 일정한 스위칭 주기 T에서 부하에 전원을 공급하는 구간의 비율인 듀티비를 조절함으로써 출력전압의 평균값을 변화시키는 것이다.

듀티비를 작게 하면 평균 출력전압이 낮아지고 듀티비를 크게 하면 평균 출력전압이 높아진다.

이러한 특성을 이용해 모터에 인가되는 평균전압을 조정함으로써 모터의 속도를 제어한다.

DC 모터의 회전 방향을 제어하기 위한 방법으로 본 논문에서 제안하는 로봇에서는 H-브릿지 회로를 이용해 브릿지의 트랜지스터에

신호를 주는 방식에 따라 모터가 회전하는 방향을 다르게 제어한다.

또한 모터의 스위칭 소자의 동작이 턴 오프 될 때 모터 내부의 전기자 권선의 인덕턴스에 의해 회로에 큰 서지전압이 발생한다.

이러한 서지전압을 방지하기 위해 프리휠링 다이오드가 스위칭 소자 옆에 반드시 설치되어야 한다.

이러한 방식으로 DC모터 제어 회로를 직접 설계하고 제작하는 것도 가능하지만 같은 역할을 하고 회로를 간략화 하기 위해 본 로봇에서 모터드라이버 TA8050P를 사용했다.

다음은 TA8050P의 내부구조이다.

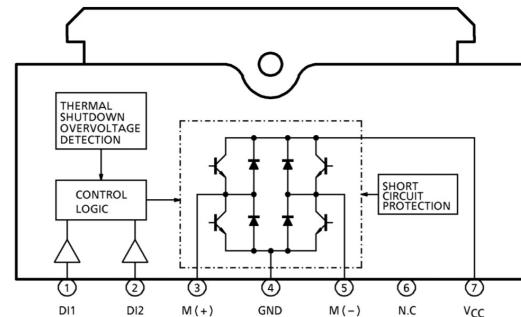


그림 5 TA8050P의 내부구조

DI1과 DI2에 입력신호를 입력하고 입력된 신호에 따라서 전압이 Vcc에서 모터의 (+) 축 부분과 연결된 M(+)에 전압이 들어가 모터의 (-)축 부분과 연결된 M(-)로 나온 후 GND로 인가 되거나 전압이 반대방향으로 인가된다.

다음 표는 DI1과 DI2에 입력된 전압에 따라서 모터에 인가되는 전압의 방향이다.

입력		출력	
DI1	DI2	M(+)	M(-)
H	H	L	L
H	L	H	L
L	H	L	H
L	L	Off (High Impedance)	

표 2 모터드라이버 입력신호에 따른 출력방향
DI1에 High 신호가 인가되고 DI2에 Low 신호가 인가될 경우 모터에 인가되는 전압은

모터의 (+)극에서 (-)극 방향으로 인가되며 DI1에 Low, DI2에 High가 인가되면 모터의(-)극에서 (+)극 방향으로 인가된다.

입력신호 2개의 상태가 다 High 일 경우 휴식모드로 전환되며 모터에 인가되는 신호는 Low 상태이며 입력신호가 둘 다 Low 일 경우 정지모드로 판단한다.

위의 표에 따라서 모터의 회전방향을 결정 할 수 있으며 모터에 입력하는 신호중 High 신호를 입력할 때 PWM 신호로 입력함으로써 모터의 회전속도를 제어할 수 있었다.

3. 리모컨

로봇이 주인을 쫓아갈 때 전방에 있는 것이 벽인지 사람인지, 사람이라면 주인이 맞는지 판단하는 척도가 필요하다.

초음파센서를 이용하여 앞에 장애물이 있는지 판단을 할 수 있지만 앞에 있는 것이 정확하게 무엇인지는 판단하기 힘들다.

그를 극복하기 위해 삼각측량법을 이용해 거리와 각도를 판단할 수 있는 방법에 대해 고안했지만 송신부에서 초음파를 발생하는 시간을 수신부에서 제어하지 않으면 정확한 거리 및 각도를 판단하기 힘들다.

본 논문의 로봇은 위의 삼각 측량법을 사용해 주인의 위치를 파악하기 위해 라디오 송수신모듈을 같이 이용하는 방법을 사용했다.

리모컨의 라디오 송신기에서 라디오 신호를 송신하면 로봇에서 송신된 라디오 신호를 수신한다.

이후 리모컨에서 초음파를 발신하며 발신된 신호를 로봇의 초음파센서에서 수신하여 제어부에서 로봇과 리모컨 사이의 거리 및 로봇의 정면에서 리모컨이 어느 정도의 각도를 이루고 있는지 판단한다.

이러한 동작을 리모컨에 마이크로컨트롤러 없이 동작시키기 위해서 라디오 수신기에 신호가 수신될 경우 바로 초음파 신호를 송신할 수 있도록 회로를 구성한다.

3-1 라디오 송수신 모듈

상기 언급한 바와 같이 로봇에서 라디오 송신부를 이용하여 리모컨에서 초음파를 송신할 수 있도록 라디오 신호를 송신한다고 설명한 바 있다.

라디오 송수신 모듈의 원리는 송신부의 경우는 원래 보내야 하는 신호를 수신 모듈에서 받아들일 수 있는 영역의 고주파로 변조한 후 신호를 송신한다.

수신부의 경우는 송신부에서 보낸 변조된 주파수를 받고 수신한 신호를 다시 복조한다.

다음의 그림은 라디오 송수신 모듈의 원리이다.

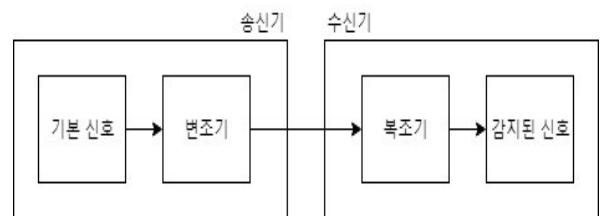


그림 6 라디오 송수신 모듈 신호 전달 원리

위와 같은 라디오 송수신 모듈의 특징을 이용하여 로봇에서 리모컨으로 신호를 보내며 신호를 받은 리모컨에서 초음파를 발생시킨다. 발생된 초음파를 로봇의 초음파 수신부가 수신함으로써 로봇이 주인의 위치를 파악할 수 있다.

3-2 리모컨 구조

앞의 초음파센서 부분과 라디오 송수신 모듈 부분에서 얻은 자료들을 기반으로 별다른 조작을 하지 않고, 마이크로컨트롤러를 이용하지 않으면서 로봇에게 자신의 위치를 알리기 위한 초음파를 발생시키는 구조로 제작한다.

리모컨 동작원리로는 트랜지스터의 스위칭 회로의 원리와 같다.

로봇에서 송신한 라디오 주파수를 리모컨의

수신부에서 받으면 이 신호의 High 상태일 때 동안 리모컨의 초음파센서 송신부에서 초음파를 생성한다.

이 생성된 초음파를 로봇이 수신함으로써 로봇이 로봇과 주인사이의 거리 및 각도를 판단한다.

4. 로봇의 거리 및 각도 계산

4-1 초음파센서를 이용한 거리판단 실험

상기 언급한 바와 같이 주인과의 거리를 판단하기 위해 본 논문에서 기술하는 로봇은 초음파센서와 라디오 송수신 모듈을 이용한다.

실험을 위해 초음파센서의 송신부와 수신부를 서로 직선상에서 마주보도록 배치한다.

이때 걸리는 시간을 측정하고 초음파가 도달하는데 걸리는 시간을 산출 후 역으로 거리를 계산하는 식을 산출해내 실제 거리와 산출되어 나온 거리를 비교해 어느 정도의 정밀성이 있는지 판단하는 실험을 진행했다.

이때 걸리는 시간을 측정하고 초음파가 도달하는데 걸리는 시간을 산출 후 역으로 거리를 계산하는 식을 산출해내 실제 거리와 산출되어 나온 거리를 비교해 어느 정도의 정밀성이 있는지 판단하는 실험을 진행했다.

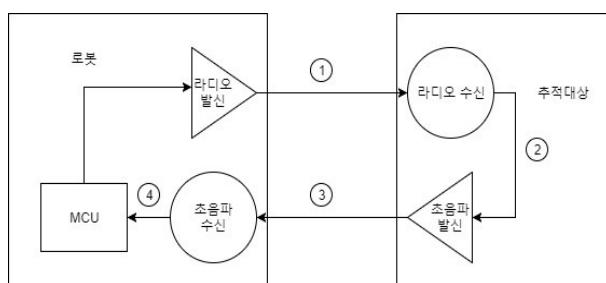


그림 7 거리판단을 위한 초음파센서 실험의 신호 전달도

아래의 표는 50cm간격으로 초음파센서의 송신부를 이동해 얻은 실험데이터를 이용하여 다시 역으로 거리를 산출해낸 표이다.

이 표를 이용해 산출해낸 식은

거리(cm)	시간(us)	시간차이(us)	산출거리(cm)
50	1943.68	-	50.0578
100	34380.51	1494.83	101.1810
150	4895.22	1456.71	151.0005
200	6349.35	1454.13	200.7317
250	7783.12	1433.77	249.7667
300	9285.892	1475.77	301.1614
350	10717.86	1458.35	350.1348
400	12176.84	1458.97	400.0319
450	13635.81	1458.54	449.9287

표 3 거리에 따른 초음파 전달 시간과 결과를 통해 산출한 식을 통한 시간에 따른 거리산출

$거리 = 342 * (\text{시간}(us) - 480) * 0.000001$ 와 같은 식을 구할 수 있었다.

4-2 초음파신호 수신 가능 범위 판단 실험

상기 실험에서 초음파센서의 송신모듈에서 초음파를 송신해 수신모듈에서 수신하는 데 걸리는 시간을 통해 거리를 판단하는 실험을 진행했다.

본 논문에서 기술하는 로봇에서 초음파센서가 하는 역할은 단순하게 직선상의 거리만을 판단하는 것이 아닌 2개의 초음파센서 수신부를 이용해 발신부와 수신부의 중심이 이루는 각도를 판단하는 실험을 진행했다.

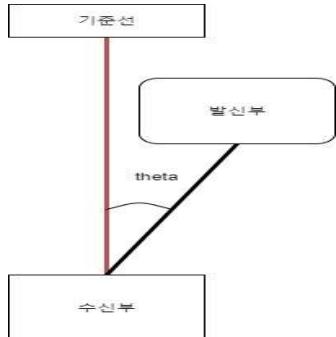


그림 8 초음파 센서 신호 수신범위 측정 실험방법

수신부 센서의 정면을 기준으로 하여 50cm단위로 발신부를 움직여 각 거리에서 발신부의 신호를 감지할 수 있는 최대각도를 찾은 후 그 실험 결과를 토대로 표를 작성했다.

아래의 실험결과표를 이용해 각 거리별로 선을 그은 후 그 선의 끝을 이음으로써 초음파 센서가 신호를 수신할 수 있는 수신 범위를 추상적으로 산출 할 수 있었다.

거리(cm)	각도(Theta)
50cm	65
100cm	58
150cm	52
200cm	46
250cm	39
300cm	35
350cm	28
400cm	15

표 4 각 거리별 최대 수신 가능 각도표

산출한 데이터를 바탕으로 선을 그린 결과 다음과 같은 타원형 범위로 초음파센서의 신호를 수신할 수 있었다.

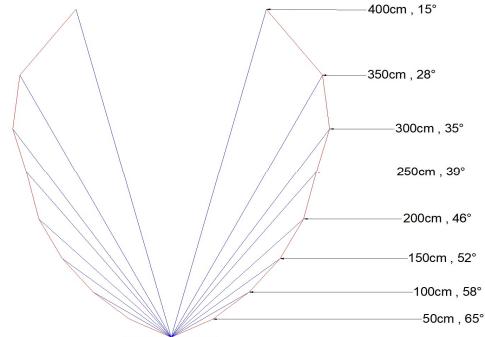


그림 9 초음파 센서 수신부가 신호 수신이 가능한 범위

4-4 삼각측량법

초음파센서를 이용한 삼각측량법의 원리는 송신부에서 보내준 초음파가 각 수신부에 도달하는데 걸리는 시간차이를 이용해서 송신부와 수신부 사이의 거리와 각도를 판단한다.

앞의 두 실험을 통해 초음파센서가 신호를 수신할 수 있는 범위를 알 수 있었으며 거리에 따른 초음파 도달시간 산출 및 이 결과를 이용해 역으로 거리를 구하는식을 산출했다.

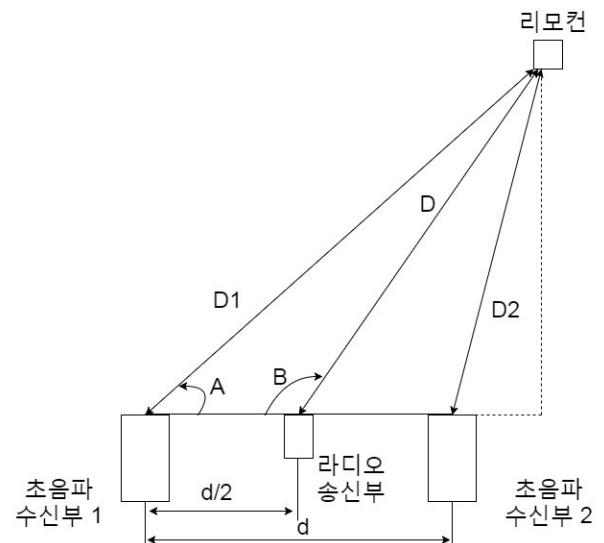


그림 10 삼각측량법 도식

명칭	기호	값
초음파 수신부와 초음파 송신부 사이의 각도	A	$-75^\circ \sim 75^\circ$

라디오 수신부와 라디오 송신부 사이의 각도	B	$-75^\circ \sim 75^\circ$
라디오 송신부와 라디오 수신부 사이의 거리	D	$0m \sim 4.5m$
초음파 수신부1에서 리모컨까지 거리	D1	$0m \sim 5m$
초음파 수신부2에서 리모컨까지 거리	D2	$0m \sim 5m$
초음파 수신부간의 거리	d	$100cm$
ToF1	t1	초음파 센서1의 체공시간
ToF2	t2	초음파 센서2의 체공시간

표 5 삼각측량법 명칭, 기호 및 단위

위와 같이 기호를 선정하면 리모컨에서 초음파센서까지의 거리는 각각 $D1 = v \times t1$, $D2 = v \times t2$ 로 나타낼 수 있으며 초음파센서의 수신부와 리모컨의 초음파센서 송신부 사이의 각도는 $A = \cos^{-1} \left(\frac{d^2 + D2^2 - D1^2}{2 \times d \times D2} \right)$,

라디오 송신부와 라디오 수신부 사이의 거리를

$$D = \sqrt{D2^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 - 2 \times D2 \times \frac{d}{2} \times \cos A}, \text{ 라디오}$$

수신부와 라디오 송신부 사이의 각도를

$$B = \cos^{-1} \left(\frac{D^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2 - D2^2}{2 \times \left(\frac{d}{2}\right) \times D} \right) \text{로 구할 수 있다.}$$

이를 통해 로봇과 리모컨 사이의 거리 및 각도를 구할 수 있다.

5. 전체 알고리즘

상기 진행한 단위실험의 결과를 토대로 본 로봇이 동작하는데 필요한 알고리즘을 고려할 필요가 있다.

로봇이 동작을 시작하면 우선적으로 라디오 신호를 송신한다.

로봇의 라디오 송신부에서 송신된 신호를 리모컨에서 수신하면 리모컨에서 초음파 신호를 송신한다.

이후 리모컨에서 송신된 초음파를 로봇에서 수신하면 리모컨과 로봇사이의 거리 및 각도를 판단한다.

판단한 거리에 따라서 로봇의 이동속도와 이동방향을 판단하며 이러한 동작들을 계속 반복한다.

로봇에서 초음파를 수신 못하거나 거리가 4m 이상 혹은 0.5m 이내일 경우 로봇에서 부저를 울린다.

양측의 초음파센서 중 1개의 센서만 신호를 감지할 경우 그 방향으로 회전한다.

이러한 알고리즘과 선행된 실험을 바탕으로 로봇의 동작에 필요한 코드를 작성한다.

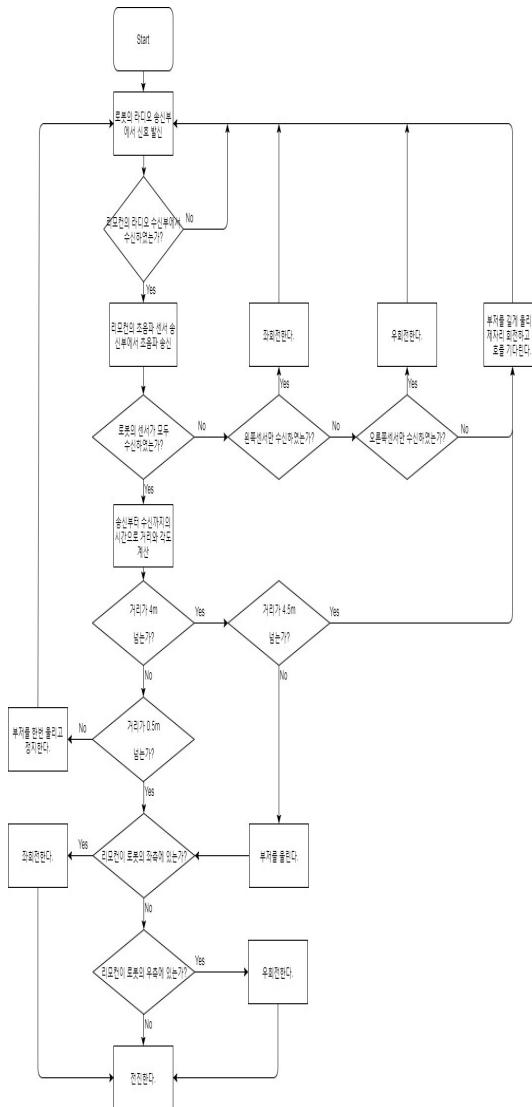


그림 11 로봇의 알고리즘 블록선도

6. 실험결과

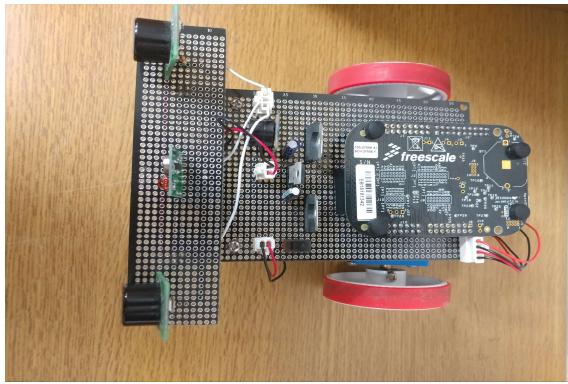


그림 12 제작 로봇의 상면도

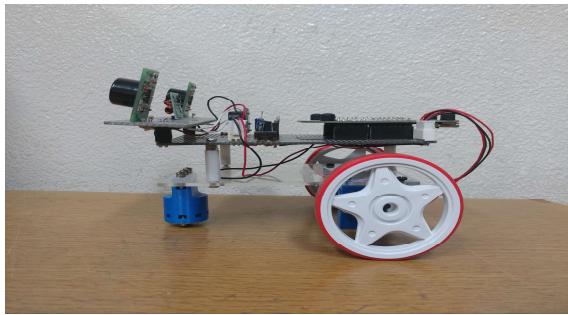


그림 13 제작 로봇의 측면도

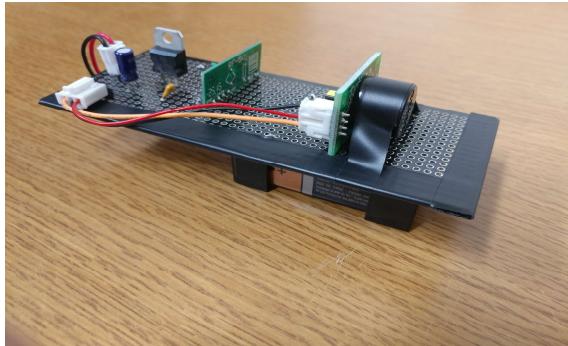


그림 14 제작 리모컨

본 논문에서 제안하는 로봇이 제대로 동작하는지 확인하기 위해 반경 10m이내에 별다른 장애물이 없는 곳에서 실험을 진행했다.

주인이 정면에 있을 때는 약 1m~1.2m 사이의 간격을 둔 상태에서 로봇이 주인을 찾아서 이동했다.

측면에 있을 때에는 센서 2개에 대 인식될 경우에는 정면과 거의 비슷한 간격을 유지한 채로 주인을 찾아 이동했으며 1개에만 인식될 경우 로봇이 주인이 있는 방향으로 회전 후 이동했다.

센서의 범위에 감지되지 않았을 때에는 정상적으로 부저가 작동했으며 제자리에서 회전해 초음파 신호를 탐지했다.

리모컨 위치	동작
	약 1m~1.2m 사이의 간격을 둔 상태에서 로봇이 주인을 찾아서 이동
	왼쪽 센서에만 감지되었으므로 왼쪽으로 회전
	오른쪽 센서에만 감지되었으므로 왼쪽으로 회전
	센서 범위에 감지되지 않았을 경우 부저가 울리면서 제자리에서 회전

표 6 센서 감지 위치에 따른 동작

III. 결론

본 논문에서는 초음파센서를 이용하여 주인을 추적하는 로봇에 대해서 기술했다. 먼저 로봇과 주인 사이의 거리 등을 판단하기 위한 수단으로 초음파 센서를 선정했다.

또한 로봇과 사람사이의 거리 및 각도를 판단하기 위한 리모컨을 제작했으며 이를 위해 초음파 센서 이외에도 라디오 송수신 장치를 이용했다.

초음파센서 수신부 정중앙에 라디오 송신부를
둠으로써 삼각측량법을 이용하여 거리 및
각도를 판단할 수 있게 되었다.

현재 시험으로 만든 본 로봇에서는 서론에서
말한 목적인 화물 운송을 위한 칸을 고려하지
않고 제작했다. 그리고 사람과 로봇사이에
장애물이 있을 경우 탐지가 어려우며 현지
로봇의 구동부가 화물을 수송하기에는 힘들며
인식의 정확도가 계획보다 낮다.

참고문헌

1. 민남기 , “센서공학 입문” ,동일출판사 ,
P.225-230 , 2013
2. 윤덕용 , “직류전동기 제어 기술” Ohm
사 , 2015
3. Behzad Razavi , “RF 전자공학” , 홍릉
과학출판사 , 2007
4. TA8050P Datasheet
5. HG-M40 Datasheet
6. 433Mhz RF Transmitter With
Receiver Kit Datasheet