

본 연구는 97년도 교육부 학술 연구 조성비(기계공학 ME97-D-07) 및 98년 과학기술 기초 중점 연구과제(98-018-E0098)에 의하여 연구되었습니다.

음성에 의한 경로교시 기능과 충돌회피 기능을 갖춘 자율이동로봇의 개발

박민규*, 이민철**, 이석**

Development of an Autonomous Mobile Robot with the Function of Teaching a Moving Path by Speech and Avoiding a Collision

Min Gyu Park*, Min Cheol Lee**, Suk Lee**

ABSTRACT

This paper addresses that the autonomous mobile robot with the function of teaching a moving path by speech and avoiding a collision is developed.

The use of human speech as the teaching method provides more convenient user-interface for a mobile robot. In speech recognition system, a speech recognition algorithm using neural network is proposed to recognize Korean syllable. For the safe navigation, the autonomous mobile robot needs abilities to recognize a surrounding environment and to avoid collision with obstacles. To obtain the distance from the mobile robot to the various obstacles in surrounding environment, ultrasonic sensors is used. By the navigation algorithm, the robot forecasts the collision possibility with obstacles and modifies a moving path if it detects a dangerous obstacle.

Key Words : autonomous mobile robot(자율이동로봇), DSP(digital signal processor, 디지털 신호 처리기), CAN(controller area network), ultrasonic sensor(초음파 센서), speech recognition(음성 인식), neural network(신경회로망), collision avoidance(충돌회피)

1. 서론

일반적으로 자동화 등에 이용되는 이동로봇은 정해진 경로를 따라 움직이거나 단순한 장애물 회피 정도의 기능을 가지고 있다. 또한 새로운 이동 경로를 교시하기 위해서는 경로지도 생성을 위한 프로그램의 재 입력이 요구되는데, 이러한 프로그

램에 의한 이동경로의 교시는 전문적인 엔지니어가 아니면 어려운 일이며, 이러한 이동경로 교시를 담당할 엔지니어의 수는 한정되어 있다⁽¹⁾. 한편, 음성은 인간의 가장 자연스러운 의사 전달 수단으로서, 로봇의 교시에 음성을 사용함으로써 인간에게 보다 친숙하면서 전문가가 아니더라도 이동로봇의 이동 경로 교시를 가능하게 하여, 전문 엔지니어 양성

* 부산대학교 지능기계공학과 대학원

** 부산대학교 기계공학부

및 프로그램 재개발에 따른 비용과 시간의 절감 효과를 가져올 수 있다. 또한 이러한 음성인식 자율 이동로봇을 손의 사용이 어려운 신체 장애자를 위한 휠체어 등에 활용하면 인간의 복지 향상에도 기여할 수 있을 것이다⁽²⁾. 한편, 자율이동로봇이 임의의 작업 환경에서 안전하게 이동하기 위해서는 장애물에 대한 충돌회피 기능이 요구되며, 이러한 기능의 구현을 위해서는 센서에 의한 환경인식이 필수적이다⁽³⁾. 하지만 자율이동로봇은 작업공간이 제한되어 있지 않기 때문에 환경의 변화가 다양하며, 장애물의 각도나 재질, 노면의 상태 등도 일정하지 않다. 이에 로봇의 위치 오차나 센서의 불확실성 등의 문제가 발생하며, 로봇의 충돌회피를 위해서는 이러한 요소들을 고려하여, 로봇의 주행 특성이나 센서 특성에 알맞은 주행 알고리즘이 개발되어야 한다⁽⁴⁾.

본 연구에서는 음성에 의한 로봇의 이동방향 교시와 초음파 센서에 의한 환경인식을 통해 장애물 회피를 가능하게 하여 로봇의 이동경로 생성이 용이하고 임의의 환경에서의 안전한 주행이 가능한 자율이동로봇을 개발하고자 한다. 거친 지형에서의 주행 강인성을 위하여 **tracked wheel** 구동 방식의 로봇 차체를 제작하고 로봇 제어를 위한 제어기를 구성, 통합하였다. 로봇 제어기는 주제어부, 음성인식부, 초음파 센서부, 서보 모터 제어부의 4개 모듈로 구성되며, 제어모듈간의 통신은 향후 지능형 자율이동로봇으로의 발전을 고려하여 CAN을 이용, 각 모듈의 범용성과 확장성을 높이고 데이터 송수신에 안정성을 꾀하고자 하였다.

로봇의 이동방향 교시를 위한 음성인식 시스템의 음성인식 방법을 선정함에 있어 음성인식부의 하드웨어적 메모리 용량과 처리속도 등의 조건하에서 실시간 음성인식이 가능한 알고리즘의 데이터 양과 계산량을 고려하여 비교적 간단하고 적용이 용이한 신경회로망을 이용한 음절단위의 음성인식 방법을 채택하여 사용하였다⁽⁵⁾. 이때, 신경회로망의 인식률 향상을 위해 음성의 특성 추출을 위한 **Mel-scaling** 구간의 최적화와 표본 데이터에 의한 편차 정보를 신경회로망의 입력으로 사용하는 방안을 제안한다.

또한 개발된 자율이동로봇의 주행 특성과 센서 특성에 알맞은 환경인식과 충돌회피 알고리즘을 제안하고자 한다. 장애물과의 충돌회피를 위하여 12조의 초음파 센서에 의한 장애물 정보를 통해 충돌

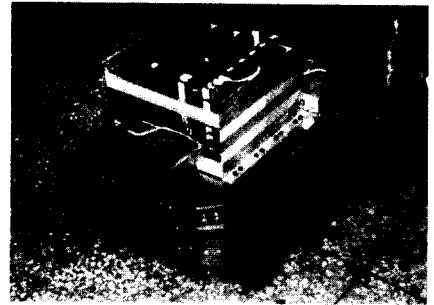


Fig. 1 Developed mobile robot

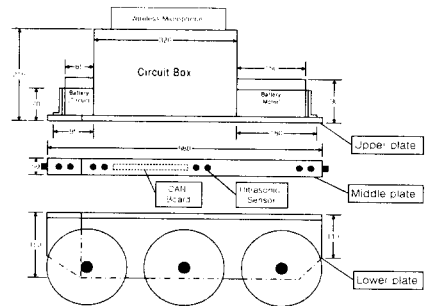


Fig. 2 Side view of mobile robot

가능성을 예측하고 안전한 이동 방향을 선정하여 이동하는 충돌회피 알고리즘을 제안하고 로봇에 적용하여 그 성능을 확인한다.

2. 자율이동로봇의 구성

본 연구에서 개발한 이동 로봇의 외관은 Fig. 1과 같다. 로봇은 두 개의 DC 서보 모터(servo motor)에 의해 구동되며 좌우 바퀴의 속도 차에 의해 조향이 가능하다. 바퀴의 구동에 있어서는 좌우 3개씩의 바퀴가 서로 커플링 되어 동일한 운동 특성을 가지는 **tracked wheel** 방식을 적용하여 지면과 바퀴의 마찰력을 증가시킴으로써 미끄럼에 의한 위치 오차를 줄이고 노면의 상태가 좋지 않은 지형에서도 원활한 주행이 가능토록 하고자 하였다. 그 구조는 Fig. 2와 같이 하판, 중판, 상판의 3층으로 구성되어 있다. 하판은 구동부로서 DC 서보 모터와 기어 박스, 타이밍 벨트의 조합으로 최대 1m/s의 속도를 낼 수 있도록 구성되어 있으며, 중판에는 초음파 센서와 CAN 보드, 상판에는 로봇 제어기와 배터리가 장착되어 있다. 본 이동로봇은 사람의 음성으로 교시되는 명령을 인식하여 이를 추종하

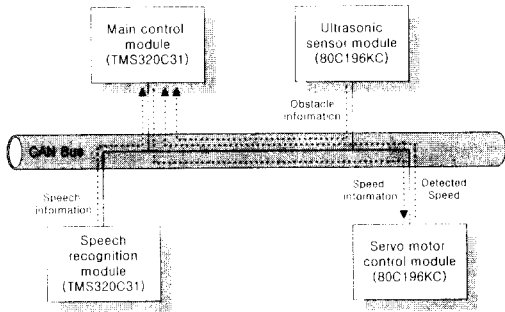


Fig. 3 Signal flow through CAN bus

면서 초음파 센서에 의한 환경인식을 통해 장애물과의 충돌을 회피하게 된다. 이러한 기능의 구현을 위하여 로봇 제어 시스템은 주제어부, 음성인식부, 초음파 센서부, 서보 모터 제어부의 4개 모듈로 구성되어 있다. 주제어부와 음성인식부는 DSP(digital signal processor)칩인 TI사의 TMS320C31을 사용하여 제작하였고, 초음파 센서부와 서보 모터 제어부에는 Intel사의 80C196KC를 사용하였다. 각각의 컨트롤 모듈간의 통신에는 CAN을 이용함으로써 각 모듈의 범용성과 시스템의 확장성을 높이고 데이터 송수신에 안정성을 꾀하고자 하였다. 각 모듈간의 신호흐름은 Fig. 3과 같다. 주제어부는 서보 모터 제어부, 초음파 센서부, 음성인식부로부터 현재 로봇의 이동 속도와 장애물의 거리 정보, 교시 명령에 관한 정보를 각각 제공받아 서보 모터 제어부로 제어 속도값을 전달하게 된다.

3. 로봇의 이동경로 교시를 위한 음성인식 알고리즘의 개발

3.1 음성신호의 전처리

음성인식부에는 Fig. 4와 같은 음성 신호의 전처리부와 12비트의 AD 변환기가 장착되어 있다. 마이크로폰(micro phone)을 통해 전압으로 변환된 음성신호는 약 1000배정도 증폭된 후 음성 주파수 대역의 신호만을 추출하기 위해 차단 주파수가 10 Hz인 고역통과필터와 8 kHz인 저역통과필터를 거치게 된다. 필터링을 거친 신호는 12비트의 분해능을 갖는 AD변환기를 이용하여 디지털 데이터로 변환되며 이때의 샘플링 주파수는 음성의 최대 주파수와 하드웨어적 처리 속도를 고려하여 6 kHz로 설정하였다.

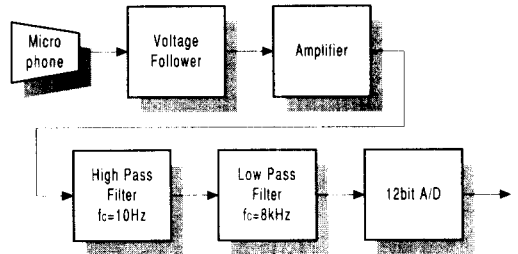


Fig. 4 Preprocess of speech signal

3.2 음성인식 성능 향상을 위한 주파수 영역 특성 추출 알고리즘

음성의 주파수 영역 특성을 추출하기 위해 AD에 의해 6 kHz로 샘플링되는 음성 데이터를 128개씩 FFT하게 되는데, 데이터의 불연속에 의한 스펙트럼 오차를 줄이기 위하여 hamming window를 사용하였다⁽⁶⁾. Fig. 5는 “가” 음의 파형을 나타내는데, 점선으로 구분된 구간은 128개의 데이터 영역을 나타내며 각 구간별로 FFT가 이루어진다. 실제 음성이 나타나는 구간만을 추출하기 위해 FFT를 통해 얻어진 진폭(magnitude)의 합을 이용한다. 즉, 모든 주파수 영역에 대한 진폭의 합이 일정치 이상이면 음성으로 간주하게 된다. Fig. 5에서 음성영역(speech zone)으로 구분된 부분은 진폭의 합이 일정치 이상 되어 음성으로 판단된 영역이다. 이 음성영역 내에서는 각 FFT에서 생성된 64개의 파워 정보를 주파수대별로 합하여 전체 음성영역에 대한 진폭 스펙트럼을 얻게 된다. Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는 음성 “가”와 “서”의 진폭 스펙트럼을 나타낸다. 진폭 스펙트럼 정보는 음성의 패턴 인식을 위해 사용되는데, 이 때 생성되는 64개의 데이터는 그 개수가 너무 많아 메모리 용량이나 처리속도를 고려할 때 신경회로망의 입력으로 사용되기에는 부적절하다. 따라서 데이터 개수의 축소를 위하여 Mel-scaling을 이용한다. 본 연구에서는 인식률의 향상을 위해 Mel-scaling 구간의 설정 시, 미리 획득된 표본 음성을 이용, 음성의 특성에 기여도가 큰 주파수 영역은 Mel-scaling 구간을 조밀하게 설정하고 상대적으로 기여도가 작은 주파수 영역은 Mel-scaling 구간을 넓게 설정하고자 하였다. 주파수 대역에 따른 음성 특성의 기여도를 검출하기 위해 음성에 따른 각 주파수 대역 별 진폭 스펙트럼의 변화량을 이용하였다. 이를 위해 각 인식 음성에 대해 3개씩의 표본 음성을 획득하였다. 획득한

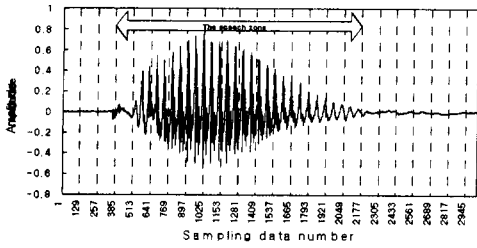


Fig. 5 Wave-form of voice "ga"

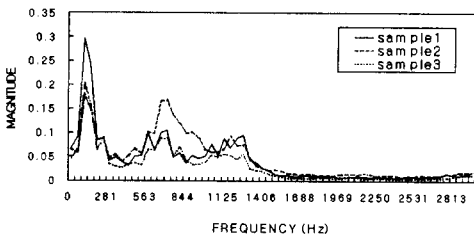


Fig. 6(a) Magnitude spectrum of voice "ga"

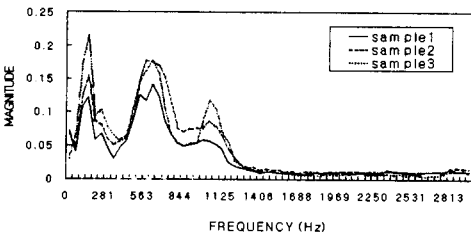


Fig. 6(b) Magnitude spectrum of voice "seo"

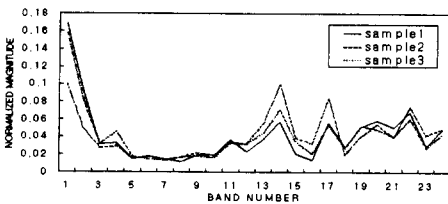


Fig. 7(a) Mel-scaling of voice "ga"

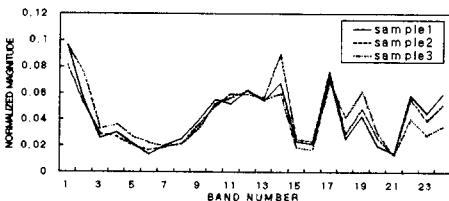


Fig. 7(b) Mel-scaling of voice "seo"

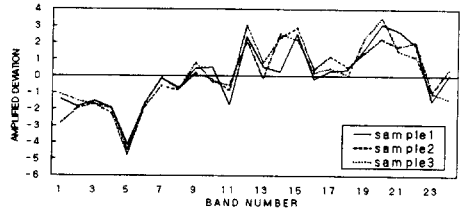


Fig. 8(a) Deviation of voice "ga"

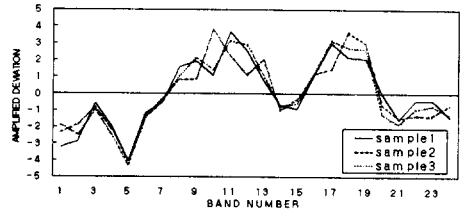


Fig. 8(b) Deviation of voice "seo"

표본 음성에 대한 진폭 스펙트럼의 64개 주파수 구간별 평균값을 구한 후 이 평균값에 대한 각 표본 음성의 편차를 구한다. 이어, 각 표본음성의 편차에 대한 절대값을 구하고 이를 모든 표본 음성에 대해 주파수 구간별로 합하여 그 평균값을 구한다. 각 주파수 영역에서의 진폭의 편차의 크기를 이용하여 각 주파수 대가 음성에 미치는 영향을 예측 할 수 있다. 따라서 주파수 구간별 편차의 크기가 큰 구간에서는 Mel-scaling 구간을 조밀하게 설정하고 주파수 구간별 편차가 작은 부분은 Mel-scaling 구간을 넓게 설정함으로써 음성의 특성 추출에 미치는 기여도에 따른 Mel-scaling 구간의 설정이 가능하다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각각 음성 "가"와 "서"에 대한 Mel-scaling 결과를 나타낸다.

이때 생성된 Mel-scaling 결과는 화자의 발성음 크기나 마이크와 화자와의 거리에 따라 그 값의 크기 변화가 크다. 따라서, 이러한 차이를 보정하기 위해 Mel-scaling에서 생성된 전체 데이터의 합이 1이 되도록 정규화 과정을 거치게 된다.

정규화된 Mel-scaling 결과를 패턴인식을 위한 신경회로망의 입력으로 사용할 수 있다⁷⁾. 그러나 Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)의 음성 "가"와 "서"의 Mel-scaling 결과를 비교해 볼 때 서로 다른 음성이지만, 주파수 영역의 특성이 유사한 부분이 많으며, 대역 10, 17, 21 근처에서 두 음성의 특성차가 나타나나 그 차이가 만족 할 만큼 크지 않은 문제점이 있다.

또한 이 결과를 그대로 신경회로망의 입력으로 사용할 경우, 값의 범위가 항상 양의 영역에만 존재하므로 신경회로망의 뉴런의 출력값 또한 특정 구간으로 제한되어 패턴인식 시 입출력 관계가 명확하지 않은 문제가 있다⁽⁸⁾. 따라서, 본 연구에서는 인식을 향상을 위해 표본데이터에 의해 미리 획득된 대역별 평균을 이용하고 정규화된 데이터들의 대역별 진폭에 대한 편차를 구해 신경회로망의 입력으로 사용하여 음성에 따른 특성차를 명확히 하며, 신경회로망의 입력 범위를 확대하고자 하였다. Fig. 8(a), Fig. 8(b)는 음성 “가”, “서”에 대한 대역별 편차를 나타낸다. 이 결과를 Fig. 7(a), Fig. 7(b)와 비교해 볼 때 대역 10, 17, 21 근처에서 음성에 따른 특성차가 더 명확히 나타남을 알 수 있다. 또한 값의 범위가 0을 중심으로 균일하게 분포하고 있어 신경회로망의 입력을 보다 다양하게 나타낼 수 있으며, 그 입출력 관계를 좀 더 명확히 할 수 있다.

3.3 신경회로망에 의한 패턴인식

앞서 추출된 주파수대별 편차는 패턴인식을 위한 신경회로망의 입력으로 작용하게 된다. 본 연구에서 사용한 신경회로망은 비선형 문제를 해결하는데 우수한 특성을 지닌 Rumelhart가 제안한 오차역전파(error back propagation) 다층 신경회로망을 사용하였다⁽⁹⁾⁻⁽¹¹⁾. 본 논문에서 사용한 신경회로망은 2개의 은닉층(hidden layer)을 가지고 있다. 입력층(input layer)에는 입력에 대응하는 24개의 뉴런(neuron)이 있으며, 첫 번째 은닉층은 16개, 두 번째 은닉층은 10개, 출력층(output layer)에는 인식 음성에 대응하는 5개의 뉴런을 가진다. 은닉층을 구성하는 뉴런의 개수는 우수한 출력을 갖도록 시행착오적으로 설정하였다. 로봇의 명령교시를 위해 사용된 음성은 “가”, “서”, “좌”, “우”, “앞”, “뒤”의 6개 음성이며, Table 1은 인식 음성에 대한 신경회로망의 출력 패턴을 나타낸다. 각 출력 뉴런은 대응하는 인식음성의 입력에 대하여 1이 출력되고 그 외의 경우에는 0이 출력되도록 학습하였다. 음성 “가”와 “앞”은 서로 다른 음성이지만 로봇에 같은 명령으로 작용하기 때문에 신경회로망에서 동일한 출력 패턴을 가지도록 설정하였다. 그리고, 신경회로망의 출력에 대한 음성의 판별 조건은 식 (1)과 같다.

$$(O_i / \sum_j O_j) \times 100\% \geq 50\% \quad (1)$$

Table 1 Output pattern of neural network

Speech for recognition \ Output neuron	1	2	3	4	5
“Ga”	1	0	0	0	0
“Seo”	0	1	0	0	0
“Zowa”	0	0	1	0	0
“U”	0	0	0	1	0
“Ap”	1	0	0	0	0
“Dui”	0	0	0	0	1

즉, 인식가능 음성의 수를 N이라고 할 때, 특정 node의 출력이 전체 출력의 50% 이상이면 그 출력 node에 해당하는 음성으로 인식하게 된다. 판별조건을 이와 같이 설정한 것은 특정 음성에 해당하는 뉴런의 출력이 그 외의 뉴런의 출력에 비해 현저히 높을 때만 음성인식이 이루어지도록 하기 위한 것으로 50%의 비율은 우수한 인식 성능을 가지는 값을 실험적으로 선정된 것이다.

3.4 음성인식 실험 및 고찰

음성인식 알고리즘의 수행은 DSP를 이용해 구성된 음성인식 보드에서 이루어진다. 음성인식모듈을 구성하기 위해 “가”, “서”, “좌”, “우”, “앞”, “뒤” 여섯 개의 적용 음성에 대해 각 3개씩의 표본 데이터를 미리 획득하여 신경회로망의 학습과 Mel-scaling 구간의 최적화를 수행하였다. 로봇의 주행을 위한 속도 제어는 주제어부에서 이루어지며, 이동경로교시 명령에 따른 로봇의 동작 설정 및 실제 로봇의 동작은 Table 2와 같다. 로봇의 주행은 굴곡이 없고 마찰이 작은 지면에서 행하였으며, 5회 실험을 반복하여 Table 2와 같은 평균 속도를 측정하였다. 측정된 결과를 살펴보면 주어진 음성 교시 명령에 따라 로봇의 속도변화가 이루어짐을 알 수 있다. 교시 명령은 비교적 소음이 적은 환경의 실험실에서 무선 마이크를 이용하여 로봇과 3m 이상의 거리를 유지함으로써 로봇 구동음의 영향을 받지 않도록 하였다. 실험에 의한 음성 인식률은 Table 3과 같다. 전체 인식률은 95.8%로 나타났으나, “좌” 음의 인식률이 특히 낮게 나타났다. 음성 “좌”의 경우 오인식 시 그 결과가 모두 “가”로 나타났는데 이는 “좌” 음의 경우 그 모음부가 “가”와 유사하여 그 주파수 영역 특성 또한 서로 비슷하게 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

Table 2 Definition of robot action and real action

Command	Ga, Ap	Seo	Zowa	U	Dui
Action of robot	Forward moving	Stop	Turn left	Turn right	Backward moving
Setted velocity	0.5 m/sec	-	$\pi/4$ rad/sec	$\pi/4$ rad/sec	0.5 m/sec
Measured velocity	0.529 m/sec	-	0.27π rad/sec	0.26π rad/sec	0.503 m/sec

Table 3 Rate of speech recognition

Speech for recognition	"Ga"	"Seo"	"Zowa"	"U"	"Ap"	"Dui"
Rate of recognition	100% (20/20)	95% (19/20)	85% (17/20)	100% (20/20)	95% (19/20)	100% (20/20)

4. 로봇의 충돌회피 주행 알고리즘 개발

로봇은 음성 교시 명령을 추종하면서 초음파 센서에 의해 장애물을 인식하여 충돌 회피를 수행하게 된다. 로봇의 동작은 교시 명령에 따라 전진, 후진, 좌회전, 우회전, 정지로 나누어지며, 로봇이 전진하는 경우에만 장애물과의 충돌회피가 이루어지도록 하였다. 로봇의 충돌회피를 위해 먼저 로봇의 제어 주기를 T라고 할 때 로봇은 제어주기 T 후의 장애물과의 충돌 가능성을 예측한다. 그 후 현재의 이동방향이 안전하다고 판단되면 계속 전진하게 되며, 충돌 위험이 있다고 판단되는 경우에는 장애물을 회피할 수 있는 안전한 이동 경로를 선정하여 방향 전환을 하게 된다.

4.1 초음파 센서에 의한 환경인식

Fig. 9는 위에서 본 로봇의 형상으로 초음파 센서에 의한 로봇의 환경인식 방법을 나타낸다. 그림에서 O점은 로봇의 중심 바퀴와 동일 선상에 위치하며, 로봇의 이동이나 회전의 기준이 된다. 즉, 로봇이 이동 할 때 로봇의 좌표를 나타내는 기준이 되며, 로봇이 정지 상태에서 회전 시 O를 중심으로 회전이 이루어지게 된다. 따라서 장애물에 대한 정보 즉, 장애물과의 각도와 거리 또한 O를 기준으로 이루어지는 것이 주행 알고리즘의 개발에 용이하다. Fig. 9와 같이 임의의 장애물이 존재 할 때 첫 번째 초음파 센서 ①에 의하여 센서와 장애물과의 거리 d_1 를 측정 할 수 있다. 이 정보를 이용하여 중심 O에 대한 장애물의 각도 θ_1 과 거리 D_1 을

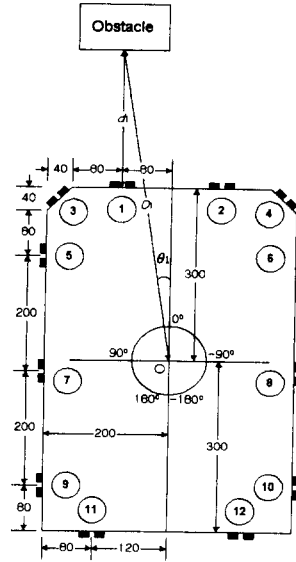


Fig. 9 Recognition of the environment

구할 수 있다. 식 (2)와 (3)은 d_1 에 대하여 기하학적으로 산출된 θ_1 과 D_1 의 관계식을 나타낸다.

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{80}{300 + d_1} \quad (2)$$

$$D_1 = \sqrt{80^2 + (300 + d_1)^2} \quad (3)$$

비슷한 방법으로, 나머지 센서에 대해서도 초음파 센서에 의해 센서와 장애물과의 거리가 검출되었을 때 로봇 중심에 대한 장애물 정보를 산출할 수 있다.

4.2 장애물 정보에 의한 충돌 가능성 예측

로봇은 음성명령에 따라 동작하며, 이동은 직선 방향의 전진과 후진에 의해 이루어지며, 방향전환은 정지상태의 회전에 의해서만 이루어진다. 로봇의 장애물 회피는 전진 동작 시만 이루어지도록 하였다. Fig. 10은 로봇이 전진할 때, 장애물과의 충돌 가능성여부의 판단 방법을 나타낸다. 로봇은 자유로운 방향전환을 위하여 항상 회전이 자유로워야 한다. 로봇의 회전에 요구되는 반경을 R이라 할 때 반경 R내의 영역에는 어떠한 경우에도 장애물이 있어서는 안 된다. 이때 R은 식 (4)와 같이 설정하였다.

$$R = \lambda_1 \times 390mm \quad (4)$$

여기서 390mm는 바퀴를 포함한 로봇 차체의 크기에 의해 실제 로봇이 회전하는데 필요한 반경이며 λ_1 은 초음파 센서가 검출하지 못하는 각도의 장애물에 대한 요소를 보상하기 위한 안전계수이다. 로봇에는 12조의 초음파 센서가 장착되어 그에 따른 12방향의 장애물을 검출할 수 있지만 실제 장애물은 정확히 검출된 각도에만 존재하는 것이 아니며 검출 각도를 중심으로 임의의 형태로 존재하게 된다. 따라서 안전한 장애물 회피를 위해서는 장애물이 실제 검출 각도 보다 넓은 영역에서 존재한다고 가정하여야 하며, 이러한 요소를 보상하기 위해 안전계수 λ_1 을 사용하였다. 적절한 λ_1 값은 로봇의 주행 실험을 통해 실험적으로 결정하게 된다. 로봇의 이동 속도를 v , 로봇의 제어 주기를 T 라고 할 때, 로봇의 장애물에 대한 충돌 가능성 판단 방법은 다음과 같다. Fig. 10에서 로봇의 현재 위치를 O 라고 하고 임의의 장애물을 검출하여 이에 대한 정보 θ_i 와 D_i 를 획득하였을 때, 로봇은 제어주기 T 이후에 O' 의 지점에 위치하게 된다. 이때, O' 에 대한 장애물과의 거리 D'_i 가 로봇의 회전 반경 R 보다 작다면 충돌의 가능성이 있다고 판단할 수 있다. θ_i 의 범위가 식 (5)와 같을 때, 기하학적으로 D'_i 값을 식 (6)과 같이 산출할 수 있다. 로봇이 임의의 D'_i 에 대하여 식 (7)을 만족한다면 로봇은 충돌 가능성이 있다고 할 수 있다.

$$|\theta_i| < 90^\circ \quad (5)$$

$$D'_i = \sqrt{(D_i \cos \theta_i - \lambda_2 v T)^2 + (D_i \sin \theta_i)^2} \quad (6)$$

$$D'_i < R \quad (7)$$

여기서 vT 는 로봇이 제어주기 T 동안 이동한 거리이며, λ_2 는 센서의 불확실성과 센싱 주기를 보상하기 위한 안전 계수이다. 로봇에 사용된 초음파 센서는 그 특성상 장애물의 각도나 재질에 따라서 장애물을 검출하지 못하는 경우가 빈번히 발생하며, 또한 로봇 주제어부의 제어 주기 T 는 초음파 센서부의 센서 스캔 주기인 160msec와 일치하지 않기 때문에 초음파 센서에 의한 장애물 정보는 현재 시간보다 최대 160msec 이전의 정보일 수 있다. 따라서 이러한 요소들의 보상을 위해 안전계수 λ_2 를 사용하였다. 적절한 λ_2 값은 로봇의 주행 실험을 통해 실험적으로 결정하게 된다.

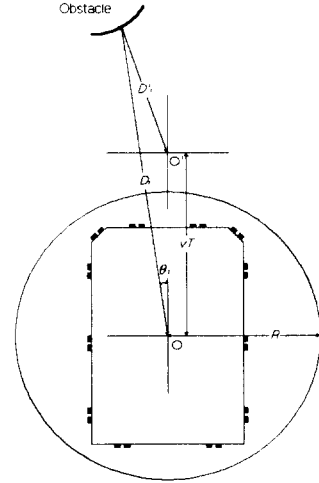


Fig. 10 Forecast of the collision probability

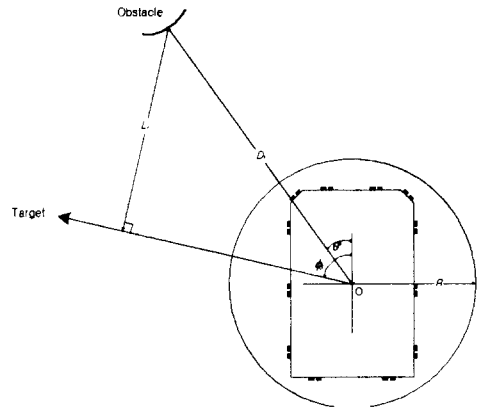


Fig. 11 Decision of the safe direction of robot

4.3 로봇의 안전한 이동 방향 선정

로봇이 전진 이동하는 도중 장애물과의 충돌 가능성이 있다고 판단되면 로봇은 안전한 이동 방향을 선정하여 회전하게 된다. Fig. 11은 로봇이 안전한 이동방향을 선정하는 방법을 나타낸다. 로봇이 ϕ_j 의 각도로 회전하여 이동하고자 할 때, 장애물이 θ_i 의 각도에 위치한다고 하면, θ_i 의 범위가 식 (8)과 같을 때 로봇이 장애물에 대해 충돌하지 않고 안전하게 이동할 조건은 식 (9), (10)과 같다. 이때, $|\phi_j - \theta_i|$ 의 범위를 식 (8)과 같이 제한한 것은 장

에물의 위치가 로봇이 이동하고자 하는 방향의 $\pm 90^\circ$ 범위 즉, 전방에 존재할 때 만 충돌의 위험이 있기 때문이다.

$$|\phi_j - \theta_i| < 90^\circ \quad (8)$$

$$L_i > R \quad (9)$$

$$L_i = D_i \sin |\phi_j - \theta_i| \quad (10)$$

로봇이 모든 장애물에 대하여 안전하게 이동하기 위해서는 모든 i 에 대하여 식 (9)를 만족하여야 한다. 충돌에 대해 안전하면서 로봇의 회전을 최소로 하는 회전각을 얻기 위해 식 (11)과 같이 ϕ_j 를 선정하고 이 중 안전성을 만족하면서 $|\phi_j|$ 가 최소인 값을 이동방향으로 선택한다.

$$\phi_j = j \times 15^\circ - 180^\circ \quad (j=1, 2, \dots, 24) \quad (11)$$

이때, 로봇 회전의 분해능은 15° 로 선정하였으며, ϕ_j 값 또한 15° 간격으로 설정되게 된다. 로봇의 이동방향이 선정되면 로봇은 다시 전진 이동에 대한 충돌 가능성 여부를 확인하고 안전하다고 판단될 경우 전진 이동하며, 그렇지 않을 경우 다시 안전한 방향을 선정하여 회전하게 된다.

4.4 주행 실험 및 고찰

주행 알고리즘을 로봇의 주제어부에 이식하여 실제 주행 실험을 행하였다. 로봇의 이동속도 v 는 0.5m/sec, T 는 0.2sec로 설정하였다. 원활한 장애물 회피를 위하여 로봇의 주행에 필요한 안전 계수 λ_1 과 λ_2 를 실험을 통해 시행 착오적으로 조정하여 적절한 값을 선정하였다. λ_1 이 클 수록 안전한 충돌 회피가 이루어 졌지만 좁은 지형에서 로봇이 이동하지 못하는 문제가 있었다. λ_2 는 3.0이하로 설정할 경우 전방장애물과의 충돌이 일어나는 경우가 있어 항상 그 이상으로 설정해줄 필요가 있었다. 본 실험에서는 λ_1 과 λ_2 를 각각 1.1과 4.0으로 설정하였다. Fig. 12는 로봇의 주행 실험 결과를 10초 간격으로 나타낸 것이다. 80cm×20cm 크기의 블록을 조합하여 Fig. 13과 같은 실험환경을 구성하였으며 로봇은 블록을 장애물로 인식하여 충돌회피를 행하며 블록에 의해 형성된 경로를 따라 이동하게 된다. 실험 결과 로봇은 장애물인 벽면과의 충돌회피를 성공적으로 수행하면서 주어진 경로를 따라 이동하였다.

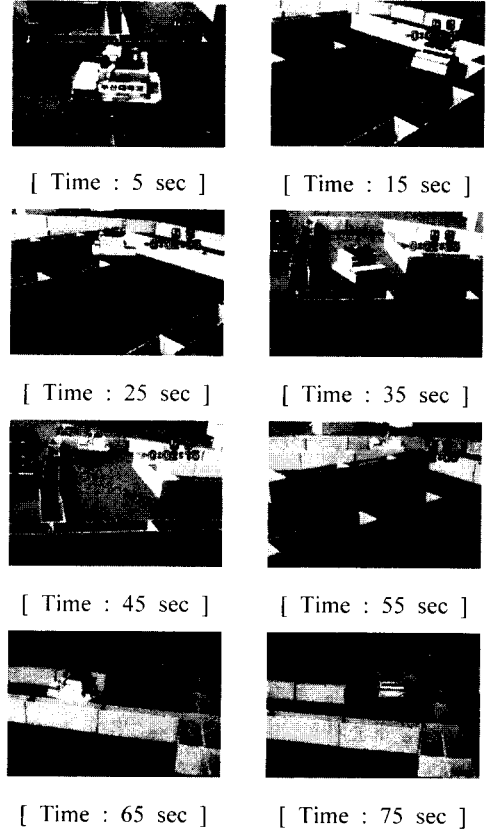


Fig. 12 Motion of the driving experiment

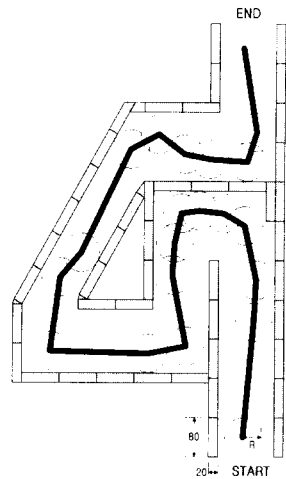


Fig. 13 Result of the driving experiment

5. 결론

본 연구에서는 음성에 의한 이동경로 교시 기능과 충돌회피 기능을 갖춘 자율이동로봇을 개발하였다. Tracked wheel 방식 구동의 차체를 제작하고 제어기 모듈을 하드웨어적으로 구성하여 CAN을 이용하여 통합하였다. 로봇의 음성에 의한 이동경로 교시 기능과 충돌회피 기능을 위한 알고리즘 개발 및 적용과 성능 평가에 대한 연구를 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 로봇의 이동경로를 음성에 의해 쉽게 교시할 수 있는 음성인식 알고리즘을 개발, 적용하였다. 음성인식 시스템을 구성하기 위하여 DSP를 이용한 음성인식 보드를 제작하였으며, 제한된 성능하의 음성인식 보드 상에서 실시간 음성인식을 수행하기 위해 비교적 적용이 용이하고 구성이 간단한 신경회로망을 이용한 음절단위의 음성인식 알고리즘을 개발하였다.

2) 인식률의 향상을 위해 Mel-scaling 구간의 최적화와 표본 데이터에 의한 편차 정보를 이용한 패턴인식 알고리즘을 도입하여 만족할 만한 인식률을 얻을 수 있었다. 로봇의 교시명령은 “가”, “서”, “좌”, “우”, “앞”, “뒤”의 여섯 개 음으로 설정하였으며, 실제 로봇에 적용하여 95.8%의 인식률로 이동방향의 교시가 가능하였다.

3) 임의 환경에서의 로봇의 안전한 주행을 위하여 로봇의 특성에 적합한 주행 알고리즘을 개발하였다. 로봇은 12초 센서 정보에 의한 환경인식을 통해 충돌 가능성을 예측하고 안전한 이동 방향을 선정하여 로봇의 경로를 수정할 수 있었다. 제안한 알고리즘을 실제 장애물 환경에 적용하여 실험한 결과 장애물 회피에 만족할만한 성능을 얻을 수 있었다.

robot with forecast learning function,” *Fuzzy Sets & Systems*, Vol. 72, No. 1, pp.51-60, 1995.

4. 이재경, 김승호, “로봇 기술을 응용한 원자력 발전소에서의 극한 작업 무인 자동화,” *제어 · 자동화 · 시스템 공학회지*, 제2권 제5호, pp. 49-54, 1997.
5. Lawrence Rabiner and Biing-Hwang Juang, “Fundamentals of Speech Recognition,” New Jersey: Prentice Hall, 1993.
6. Edward P. Cunningham, “Digital filtering: An introduction,” Houghton Mifflin Company, 1992.
7. 심상현, 이민철, “음성에 의한 작업교시 기능을 갖춘 이동로봇에 관한 연구,” '98 한국자동제어 학술회의 논문집, pp.768-771, 1998.
8. Jang, Sun, and Mizutani, “Neuro-Fuzzy and Soft Computing,” Prentice-Hall, 1997.
9. James A. Freeman and David M. Skapura, “Neural Networks : Algorithms, Applications, and Programming Techniques,” Addison Wesley, 1991.
10. A. Waibel, T. Hanazawa, G. Hinton, K. Shikano and K. J. Lang, “Phoneme Recognition Using Time-Delay Neural Networks”, *Proc. of the IEEE*, Vol 37, pp. 328-339, No. 3, March 1989.
11. K. J. Lang and A. Waibel, “A Time-Delay Neural Network Architecture for Isolated Work Recognition,” *Neural Networks*, Vol. 3, pp. 23-43, 1990.

참고문헌

1. Phillip John McKerrow, “Introduction to Robotics,” Addison Wesley, 1993.
2. Roe D. B. and Wilpon. J. G., “Whither Speech Recognition : The Next 25 Years,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 31, No. 11, pp. 54-62, November 1993.
3. Mikio Maeda, Manabu Shimakawa, Shuta Murakami, Predictive fuzzy control of an autonomous mobile