

본 연구는 97년도 교육부 학술 연구 조성비(기계공학 ME97-D-07) 및 98년 과학기술 기초 중점 연구과제(98-018-E0098)와 99년도 두뇌한국 21사업 핵심분야에 의하여 연구되었습니다.

장애물 패턴을 이용한 자율이동로봇의 예측주행 및 충돌회피 알고리즘 개발

이민철*, 김범재**, 이석***

Development of an Algorithm for Predictable Navigation and Collision Avoidance Using Pattern Recognition of an Obstacle in Autonomous Mobile Robot

Min Cheol Lee*, Beom Jae Kim**, and Seok Lee***

ABSTRACT

In the navigation for a mobile robot, the collision avoidance with unexpected obstacles is essential for the safe navigation and it is independent of the technique used to control the mobile robot. This paper presents a new collision avoidance algorithm using neural network for the safe navigation of the autonomous mobile robot equipped with CAN and ultrasonic sensors. A tracked wheeled mobile robot has a stability and an efficiency to move on a rough ground. And its mechanism is simple. However it has difficulties to recognize its surroundings. Because the shape of the tracked wheeled mobile robot is a square type, sensor modules are generally located on the each plane surface of 4 sides only. In this paper, the algorithm using neural network is proposed in order to avoid unexpected obstacles. The important character of the proposed algorithm is to be able to detect the distance and the angle of inclination of obstacles. Only using datum of the distance and the angle, informations about the location and shape of obstacles are obtained, and then the driving direction is changed. Consequently, this algorithm is capable of real time processing and available for a mobile robot which has few sensor modules or the limited sensing range such as a tracked wheeled mobile robot. Effectiveness of the proposed algorithm is illustrated through a computer simulation and an experiment using a real robot.

Key Words : autonomous mobile robot(자율이동로봇), neural network(신경망), predictable navigation(예측 주행), obstacle avoidance(장애물 회피), ultrasonic sensor(초음파 센서), CAN(Controller Area Network)

* 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

** 삼립산업(주)

*** 부산대학교 기계공학부, 기계기술연구소

1. 서론

최근 산업계의 생산 체제가 자동화, 무인화 되어 감에 따라서 건물 내에서의 제품의 운반이나, 건물 외부로의 반출 등을 담당할 자율이동로봇의 필요성이 높아지고 있다. 자율이동로봇(autonomous mobile robot)은 기존의 AGV(Automatic Guided Vehicle)와는 달리 임의의 작업 환경에 대해서 자율적인 판단 능력과 주행 능력을 가지면서 제한된 작업 영역을 가지는 로봇 매니플레이터에 비해 다양한 작업 환경을 가지는 유연성이 큰 이동 가능한 로봇이다. 이러한 자율이동로봇은 사람의 접근이 어려운 유해 환경, 해저, 우주 등에서의 탐사에 사용될 수 있으며, 무인 창고 시스템에서의 물자 운반에서부터 화재 예방이나 야간 경비 작업, 무인 청소기 등의 가정용으로도 사용되어질 수 있다⁽¹⁾.

또한 최근에는 지능화 된 자율이동로봇을 구현하기 위해 주변 환경 인식, 경로계획, 충돌회피, 맵핑(mapping) 기술과 같은 요소기술 분야에 많은 연구가 이루어지고 있다⁽²⁻¹¹⁾. 그러나 센서의 불확실성, 정보처리 속도, 기억용량, 원거리 이동 시 발생하는 위치 오차 누적 등의 문제점들로 실제 적용에는 많은 한계를 가지고 있으며 지속적인 연구가 요구된다. 실제로 주변 환경 인식과 충돌회피 기술의 경우 대체로 센서의 실제 감지 능력을 배제하기 때문에 시뮬레이션 상에서는 우수한 능력을 발휘하나 실제 시스템에 적용하면 센서의 감도에 따라 이론과 많은 차이를 보인다. 또한 로봇의 형태와 조향 방식, 사용한 센서의 종류와 감도, 배치 방법에 따라서도 이러한 기술을 각각의 시스템에 적합하도록 구성해야 하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 이러한 요소기술 중 주변 환경 인식과 충돌회피를 가능하게 하는 알고리즘을 개발하고, 그 성능을 평가하고자 한다. 특히 실제 센서의 특성을 파악하고 그 실험 데이터를 바탕으로 시스템 적용 시 충돌회피가 가능하도록 한다.

본 연구에서의 자율이동로봇은 CAN을 이용하여 각 모듈간의 효율적인 통신을 갖추면서 비교적 거친 지형에 이동이 가능한 tracked wheel 구동 방식을 사용하였다. 이때 충돌 회피를 위해 초음파 센서 12조를 6방향에 나누어 배치하여 사용하므로 일반적으로 사용되는 조향 전용 바퀴와 원형 구조에 의해 일정 각도로 센서를 고루 배치한 형태의

로봇에 적용한 충돌회피 알고리즘을 이용하기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 실험을 통해 장애물의 경사도에 따른 거리 데이터를 취득하여 하나의 센서만으로도 장애물의 거리는 물론 장애물이 놓인 패턴을 인식할 수 있도록 하였고 안전한 충돌회피 거리 확보를 위해 센서 배치에도 변형을 주었다. 이러한 인식 기법을 이용하여 센서 배치각이 큰 tracked wheel 구동방식의 자율이동로봇에서도 경사도가 심한 장애물을 인식하여 방향 전환을 할 수 있도록 하였다. 알고리즘은 신경회로망을 이용하였고 여러 형태의 장애물에 대한 거리 정보를 입력으로 하여 거리값에 대한 경사각을 학습시켜 패턴을 인식하도록 하였으며 그 값에 따라 좌, 우 모터의 회전 속도가 원하는 속도의 출력을 내도록 하였다. 그리고 이러한 알고리즘을 개발한 자율이동로봇에 적용하여 타당성을 검토하고 시뮬레이션과 실험을 통해 임의의 경사각을 가진 장애물의 경우에도 충돌회피 가능성을 입증하였다.

2. 시스템 구성

2.1 CAN 장착형 자율 주행 로봇의 구성

개발한 자율이동로봇은 슬립에 의한 위치 오차를 줄이고 거친 지형에도 이동이 가능하도록 하기 위해 tracked wheel 방식을 채택하였으며 각 모듈간의 통신은 CAN 버스에 의해 이루어지도록 구성하였다⁽¹²⁾. 개발한 자율이동로봇의 형태는 Fig. 1과 같고 실제 제작한 사진은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서와 같이 한쪽에 바퀴를 3개씩 연결하여 좌우 바퀴의 속도차에 의해 자율이동로봇의 방향을 전환시키도록 하였다.

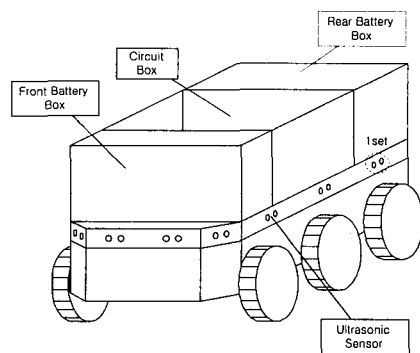


Fig. 1 Structure of the mobile robot

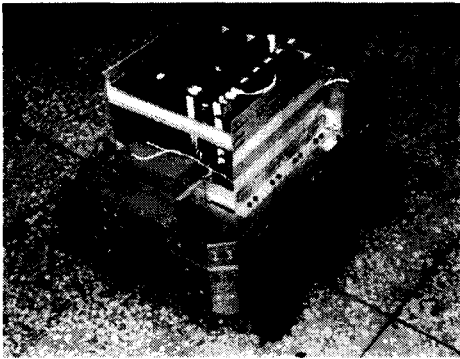


Fig. 2 Shape of the developed mobile robot

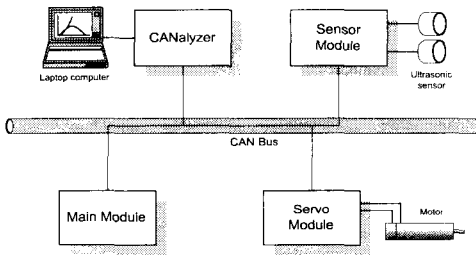


Fig. 3 Signal flow in the mobile robot

개발한 자율이동로봇은 세 개의 모듈로 구성되어 있고 모든 시스템 모듈은 CAN 버스로 연결되어 있다. 주제어기는 CAN 버스를 통해 서보 제어기, 초음파 센서 모듈 등을 관리하고, 항법(navigation) 제어기의 기능을 담당한다. 주제어기는 DSP 칩인 TI사의 TMS320C31을 사용하였고, 초음파 센서 모듈과 서보 제어기는 Intel사의 80C196KC 원칩 마이크로컨트롤러를 사용하였다. Fig. 3은 자율이동로봇내의 신호 흐름도 및 CANalyzer를 이용한 레이저 송수신 흐름도를 나타낸다.

2.2 충돌회피를 위한 초음파 센서 모듈 구성 및 성능평가

환경에 대한 인식능력을 갖기 위하여 자율이동로봇에 사용하는 대표적인 센서로는 CCD 카메라, 초음파 센서 그리고 레이저 거리계등이 있다. 이중 초음파 센서는 센서 자체의 정보의 불확실성이 크고 거울 효과에 의한 그릇된 정보가 다수 존재하지만 가격이 저렴하고 제작 및 설치가 용이하며 다른 센서들에 비하여 정보 처리가 빠른 장점이 있어

본 연구에서는 초음파 센서를 이용하였다⁽⁹⁾.

거리 계측을 위한 초음파 센서로는 MURADA사의 MA40A5(R/S)를 사용하였고, 이에 맞는 초음파 송수신회로를 직접 설계, 제작하였으며, 80C196KC CPU 내부의 고속 I/O (HSI/HSO)를 이용하여 센서와 인터페이스 했다.

자율이동로봇의 주행시 장애물 회피를 위해 초음파 센서 12조를 사용하였다. Fig. 4는 초음파 센서 모듈의 구성도인데 왼쪽 번호는 발신부 센서 번호이고 오른쪽 번호는 수신부의 센서 번호를 나타낸다. 센서 모듈은 12조의 초음파 센서를 3조가 한 그룹이 되게 하여 80C196KC의 3조의 HSI 포트를 이용하여 네 번의 스캔(scan)으로 자율이동로봇의 주변 정보를 취득할 수 있도록 했다. 이때 한번 탐색시 40ms가 걸리므로 12조의 센서를 스캔하는데 걸리는 시간은 총 160ms가 된다. Fig. 5는 장애물이 임의의 방향으로 있어도 검출을 용이하게 할 수 있도록 하기 위한 그룹별 센서 배치를 나타낸 개략도로서 센서 번호 (1, 2, 3)이 하나의 그룹이고 (4, 5, 6), (7, 8, 9), (10, 11, 12)가 각각 하나의 그룹이 되게 하였다. 초음파 스캔은 그룹별로 순차적으로 돌아 주변 환경을 스캔한다.

또한 그룹내의 센서는 동시에 동작하므로 모두 배치 방향이 다르다. 이는 센서 간의 간섭으로 인

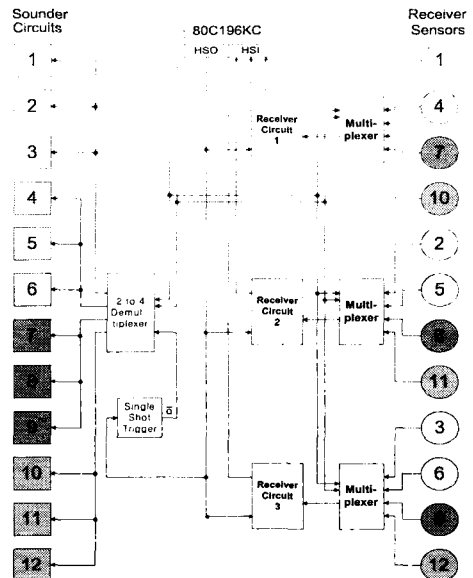


Fig. 4 Structure of ultrasonic sensor module

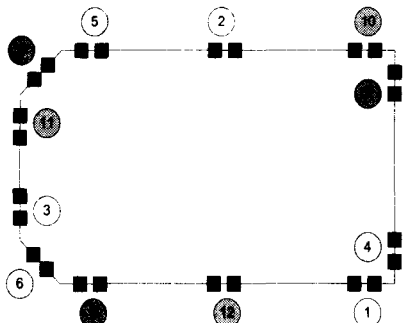


Fig. 5 Arrangement of ultrasonic sensor module

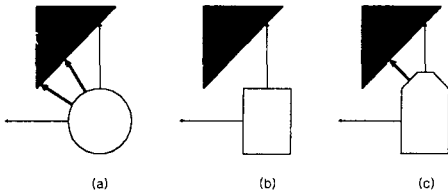


Fig. 6 Ability to recognize an inclined object

한 오동작을 막기 위해서이다. Fig. 5에서 전방 양모서리에 45° 경사를 준 것은 자율이동로봇의 정면에 45° 이상의 경사도를 지닌 장애물이 나타나더라도 대각 센서를 이용하여 장애물과 어느 정도 떨어진 거리에서도 장애물의 유무를 판별할 수 있도록 하기 위해서이다. 이에 반해 정면 센서만을 이용할 경우에는 45° 이상의 경사를 가진 장애물이 있을 경우 10cm까지 접근해야만 인식되므로 안전한 충돌회피를 위한 회전 반경을 확보할 수 없다. Fig. 6에 이 같은 상황을 도시하였다. (a)는 360° 전방향을 센싱할 수 있는 형태의 로봇으로 일반적인 충돌회피 알고리즘의 기본 모형이다. (b)는 전후방 및 측면에 센서를 배치한 형태의 로봇으로 45° 경사의 장애물에 접근할 때 인식이 어려움을 나타내고 있고 (c)와 같은 형태가 이 같은 단점을 극복할 수 있는 센서의 배치 모습이다. 진행 방향의 정보가 경로 설정의 주체이므로 전방에만 경사가 있을 경우에는 (a)와 같은 효과를 얻을 수 있다.

본 연구에서 구성한 초음파 센서의 측정 성능을 평가하기 위해 장애물의 경사도에 따른 최대 인식각도를 실험해 보았다. 마이크로 컨트롤러는 초음파 센서의 송신부를 통해서 발신된 초음파가 벽에 반사되어 수신부에서 수신된 시간을 계산하여, 그

거리를 개인용 컴퓨터에 RS-232C를 통해서 넘겨지게 된다. 실험을 통해 자율이동로봇의 진행중 장애물 감지시의 거리 정보와 주변 센서와의 데이터 비교를 통해 대략적인 장애물의 놓인 각도와 형태를 예측할 수가 있으며, 본 실험 결과를 자율이동로봇의 센서 배치를 최적으로 선정하는데 이용하였다. Fig. 7, Fig. 8과 Table 1은 거리에 따른 초음파 센서의 장애물 최대 인식 각도를 표시한 것이다. 실험 결과를 통하여 장애물 검출 최대 거리는 초음파 신호의 송수신 방향에 대한 장애물의 방향각이 ±3° 이내로 들어 온 경우 107cm이고 최소 거리는 장애물의 방향각이 45° 에 근접했을 때 약 5cm임이 확인되었다. 이 실험을 통해 근접 거리에서의 장애물 인식률은 높지만 거리가 멀어질수록 장애물이 놓여진 방향이나 형태에 따라 인식률이 저조해짐을 알 수 있었다.

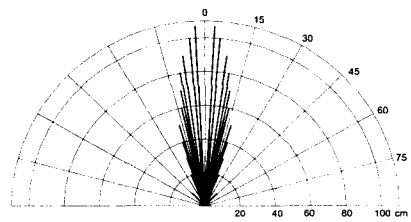


Fig. 7 Recognition distance as angle of obstacle

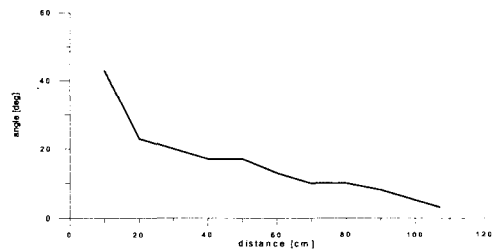


Fig. 8 Relation of between recognition angle and distance

Table 1 Maximum recognition angle as distance

거리	107cm	100cm	90cm	80cm	70cm	60cm
각도	±3°	±5°	±8°	±10°	±10°	±13°
거리	50cm	40cm	30cm	20cm	10cm	X
각도	±17°	±17°	±20°	±23°	±43°	

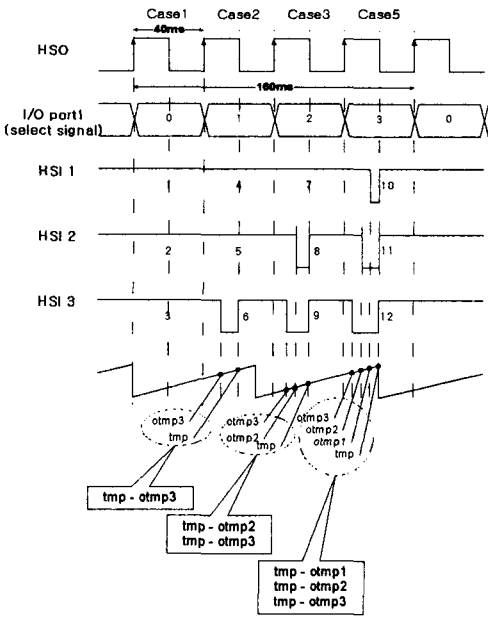


Fig. 9 Scanning principle of ultrasonic sensor module

Fig. 9는 초음파 스캔 알고리즘의 구현 원리이다. Fig. 9와 같이 HSO 포트에서 40ms마다 초음파 송신 신호가 나오고 그 때마다 I/O port1을 통해 스캔 그룹을 업데이트한다. 이때 스캔 그룹값과 HSI의 어느 핀에 신호가 들어왔는지를 체크하여 센서 번호를 알 수 있다. 그리고 거리값은 초음파를 수신했을 때의 신호와 RS-latch를 통한 HSO 하강 에지의 트리거 신호를 통해 얻은 신호 사이의 시간을 내부 타이머를 이용하여 계산한 후 그 값을 HSO 반주기에서 빼면 송수신 시간이 계산되고 이를 통해 거리값을 얻을 수 있다. 초음파 스캔 알고리즘의 순서는 어느 핀에 신호가 들어왔는지 먼저 체크하고 그 신호가 하강신호인지 상승신호인지 확인하여 상승 에지일 때 센싱 주기와 센서 번호, 장애물과의 거리 정보를 CAN을 통해 주제어기로 전송한다.

2.3 전송패킷의 정의 및 DATA 전송 실험

자율이동로봇 시스템을 위해 구성한 세 개의 모듈들은 네트워크를 통하여 다른 모듈들에게 필요한 정보를 제공하거나 다른 모듈을 제어할 수 있어야 한다. 효율적인 전송을 위하여 먼저 각각의 모듈에

서 발생할 수 있는 입, 출력 신호들을 조사하였고, 신호들을 묶어 네트워크 상에 전송할 세 가지 패킷을 구성하였다.

센서 번호는 초음파 센서가 총 12조이므로 1에서 12까지를 4개의 비트로 정의하였고 장애물 거리는 255cm까지를 표현할 수 있도록 1바이트로 정의하였다. 센싱 주기는 1비트로 표현이 가능하지만 2바이트를 맞춰주기 위해 4비트로 정의하였다. 좌, 우 모터의 속도와 검출 속도 정보는 -3000에서 3000rpm까지가 가능한 속도 범위이므로 2바이트로 정의하였다.

이상과 같이 정의된 패킷에 따라 자율이동로봇 내의 정보를 교환하기 위한 수단으로 CAN을 적용하였고 교환 정보는 초음파를 통한 거리 정보, 구동 모터의 엔코더에서 생성된 검출 속도 정보, 주 제어기의 주행을 위한 속도 정보가 있다. 서보부는 주제어기에서 CAN 버스를 통해 데이터 정보를 받는 역할을 하고 센서부는 데이터 정보를 CAN 버스를 통해 주제어기에 전달하는 역할을 한다. 그리고 주제어기는 이 같은 정보를 중계하는 기능을 하며 입출력 관계는 서보부로 속도 명령 정보를 주고 센서부에서 거리 정보를 받는다.

프로그램 개발의 편의를 위해 CAN 에뮬레이터인 CANalyzer를 이용해 데이터 전송 상태를 파악하고 에러 유무를 체크하였다. Fig. 10은 실험을 위해 자율이동로봇 주변에 임의로 장애물을 배치한 모습이다.

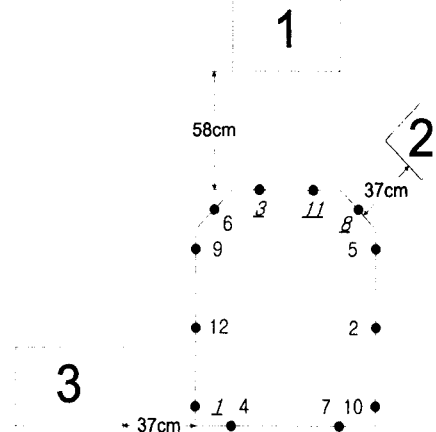


Fig. 10 Arrangement of obstacles for scan test

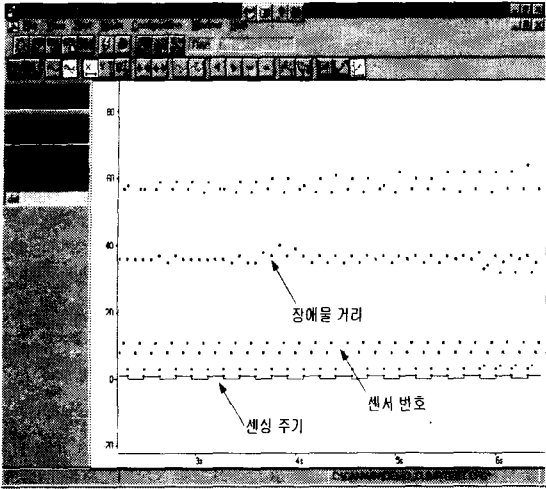


Fig. 11 Result of scan experiment(stop)

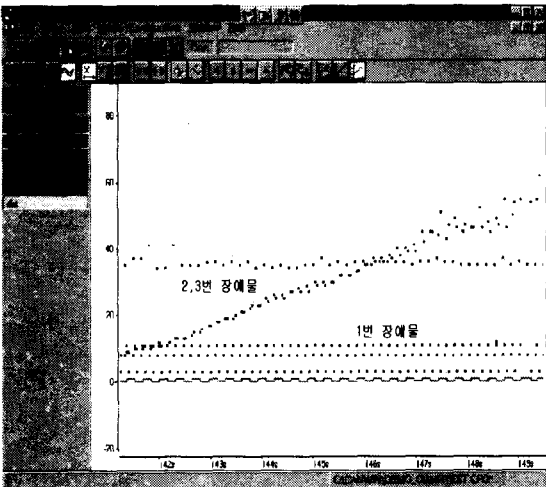


Fig. 12 Result of scan experiment(move)

Fig. 11, Fig. 12는 초음파 모듈 스캔 실험을 통해 CANalyzer를 이용하여 얻은 그래프이다. Fig. 11의 맨 아래 스텝 파형은 각각 0, 1인 상태 동안이 한 주기를 나타낸다. 여기서 주기란 초음파 센서 12조를 전체 스캔하는 시간을 말한다. 스텝 파형 위의 Y축으로 20 이하의 점들은 센서 번호를 나타내며 한 주기에 4개의 점들이 존재하고, 30 이상에는 각각의 거리값이 점으로 나타나 있다. 본 그래프는 장애물이 Fig. 10과 같이 있을 때의 거리 정보이며 계측한 결과 센서 1번이 37cm, 3번이 59cm, 8

번이 37cm, 11번이 57cm로 나타났다. Fig. 12는 3번 장애물을 없애고 전방의 1번 장애물을 로봇의 가까이에서 멀리 옮길 때의 센서 번호와 거리 그래프이다. 센서 8번의 거리값은 그대로이고 3번, 11번은 10cm에서 60cm까지 변하고 있다. 이 경우 그래프에서 가로축은 시간, 세로축은 거리를 의미한다. 이상과 같은 CAN을 통한 실험에 의해 초음파 센서에서 얻어진 정보를 잘 전송하고 있음이 확인되었다.

3. 신경회로망을 이용한 장애물 패턴 인식 및 충돌회피 알고리즘

초음파 거리 정보가 장애물의 위치 정보는 되지만 상태 정보는 될 수 없다. 이에 초음파 거리 정보를 이용하여 장애물의 위치와 크기, 상태(놓여진 각도) 및 형태 데이터를 취득할 수 있는 방안을 제안 하고자 한다. 또한 이 정보를 이용해 충돌회피시 자율이동로봇의 회전 방향을 결정할 후 좌, 우 모터에 충돌회피에 적합한 속도값을 넘겨줄 수 있는 알고리즘을 개발하여 적용, 평가하고자 한다.

일반적인 VFF(virtual force field) 방법⁽¹²⁾은 거리 확보가 안 되면 근접 거리에서의 충돌회피에 불안한 면을 보인다. 특히 특이 형태 장애물의 감지 효율 저하에 따른 충돌 위험이 내재하는데 장애물 감지 거리에 따른 패턴 인식 알고리즘을 추가하여 이를 개선하고자 한다. Fig. 13은 거리에 따른 최대 인식 경사도를 나타낸다. 구성한 초음파 센서의 최대 인식 거리는 1m 정도이므로 주행 중 1m 거리이내의 수평 장애물의 경우 인식이 가능하다. 그러나 경사진 장애물은 2.2절에서 밝힌 바와 같이(Table 1 참조) 각이 커질수록 근접해야만 인식이 가능하다. 따라서 45° 이상의 경사도를 가진 장애물은 Fig. 13에서 보듯이 자율이동로봇과 거의 충돌하게 된다. 결국 약 40° 이상의 경사도를 지닌 장애물이 자율이동로봇에 정면으로 접근하는 초음파 센서만으로는 인식이 어렵고 다른 센서의 도움이 필요해진다. 본 로봇에서는 전면의 양 모서리에 45° 경사를 준 곳에 센서를 장착하여 경사도가 심해도 모서리를 제외한 경사면으로 접근하게 하여 장애물의 인식이 가능하도록 센서를 배치하였다. 또한 약 40° 이내의 경사도를 지닌 장애물은 전면 센서만으로 장애물의 형태를 파악하여 충돌회피 알고리즘을 수행하고 40° 이상의

경우는 경사면으로 접근하는 경우만을 가정하여 충돌 회피가 가능하도록 하였다.

한편 장애물의 경사 패턴은 최초 검출된 거리 값에 따라 유추할 수 있음이 2.2절에서의 실험을 통해 확인되었다. 따라서 초음파 센서로부터 검출된 거리 입력에 따른 장애물의 경사 각도를 예상할 수 있도록 하기 위해 신경회로망을 이용하여 Fig. 14의 장애물 형태에 따른 검출된 거리값과 그 때의 이동로봇이 장애물을 회피할 수 있는 동작을 패턴으로 학습시켰으며 활성화함수로 시그모이드(sigmoid) 함수를 이용하여 거리 변화에 따른 비례적인 출력을 내도록 함으로써 유사한 입력 패턴에 반응할 수 있도록 하였다.

이 때 사용한 신경회로망은 역전파 신경회로망이며, Fig. 15는 사용한 신경회로망의 구조를 나타낸다⁽¹³⁾. 본 신경회로망의 입력층(input layer)은 12개의 뉴런(neuron)으로 구성되어 있고 은닉층(hidden layer)은 2층으로 되어 은닉층 1은 10개의 뉴런, 은닉층 2는 6개의 뉴런으로 구성되었으며, 출력층(output layer)은 4개의 뉴런으로 구성되어 있다. 입력층의 12개의 뉴런에서는 초음파 센서 12조에서 각각 검출된 장애물과의 거리값을 입력 받는다. 출력층의 4개의 뉴런의 출력은 속도값으로 좌, 우측 +, - 속도가 존재하므로 4개의 출력을 가진다.

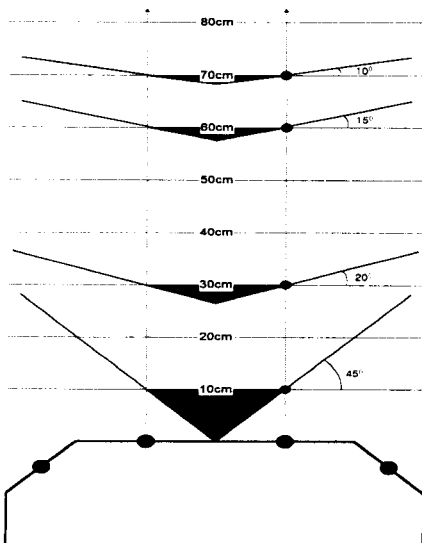


Fig. 13 Recognition Angle as Distance

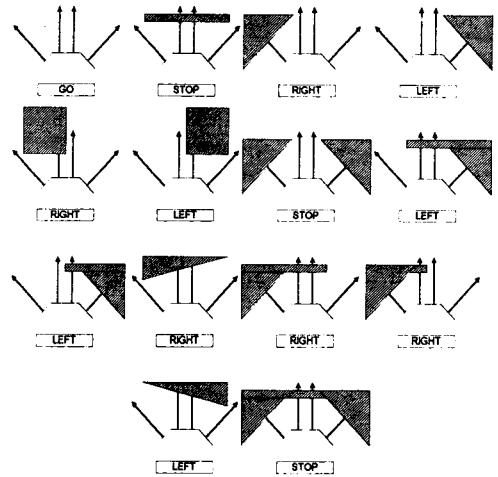


Fig. 14 Learning samples of neural network

Table 2 Definition of RPM of output as direction

Command	Right RPM	Left RPM
GO	-1000	1000
STOP	0	0
RIGHT	500	500
LEFT	-500	-500

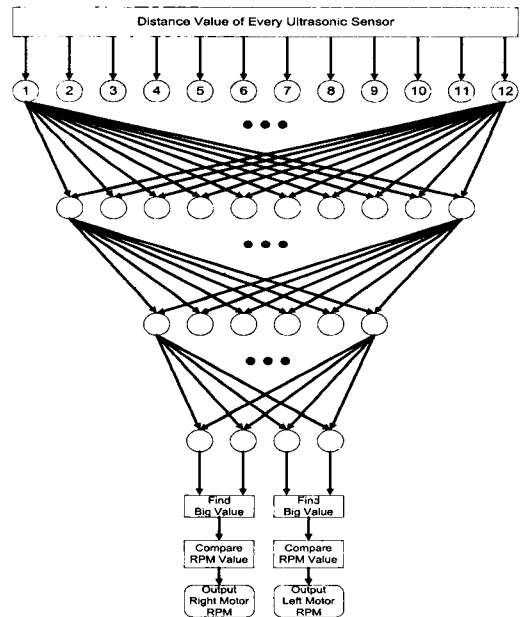


Fig. 15 The proposed neural network

입력층이 센서 수에 따라 12개지만 진행 방향에 영향을 미치는 것은 전방 센서이므로 Fig. 16의 입력 뉴런과 같이 전방 센서 3, 6, 8, 11에 의한 거리 정보의 입력 신호를 구분하여 진한 색으로 표시하였다. 입력값은 실제 거리값을 100으로 나누어 0과 1사이의 값이 되게 하였다. 장애물이 없으면 최대 인식 거리인 1로 하고 거리가 가까워질수록 0에 근접한다. 신경회로망 학습시 전방 이외의 센서는 1로 두어 진행에 영향을 미치지 않도록 하였다.

Table 2는 신경회로망의 출력결과에 따른 자율 이동 로봇의 진행 방향과 출력 RPM의 관계를 나타낸다. 구성된 자율이동로봇은 좌, 우 모터가 대칭으로 연결되었으므로 각 모터의 회전 RPM 부호가 반대일 때 전진이나 후진을 하고 부호가 같으면 좌, 우회전을 한다. 경사도를 가진 장애물은 근접 거리에서 인식이 가능하므로 회전은 제자리에서 하도록 RPM을 정의하였다. 매번 학습 시마다 가중치를 업데이트하여 수행한 결과 10회 학습한 후로는 출력값 향상이 둔화되었다. 따라서 15회 학습을 수행한 후 그때의 가중치를 최종적으로 이용하였다.

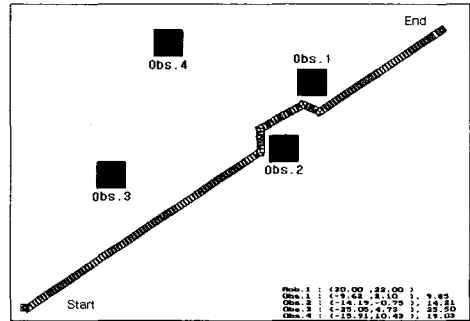
4. 시뮬레이션

실제 초음파 센서의 능력과 동일한 환경을 구성하여 장애물 충돌회피 시뮬레이션을 수행하였다. 일반적으로 센서 감지영역을 충돌 반경으로 정의하여 주변 전체 영역을 감지하나 본 연구에서는 실제 시스템에 맞게 로봇 프레임 주변에 12개의 좌표를 지정하여 좌표에서 로봇 외부 수직 방향으로 1m만을 감지할 수 있게 하였고 전방은 양 모서리에서 45° 방향으로 1m를 지정하였다.

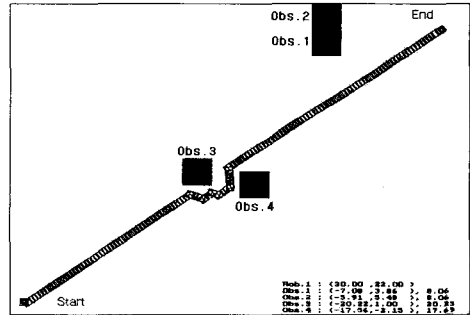
시뮬레이션은 C++ 언어⁽¹⁴⁾를 이용하여 프로그래밍하였으며 실험 조건은 자율이동로봇의 운동 경로 상에 4개의 장애물이 랜덤하게 생성되도록 하였다. 시뮬레이션 조건은 Table 3과 같다. 로봇의 주행 시작점은 왼쪽 하단, 도착점은 오른쪽 상단에 주었고 장애물이 없을 시에는 최단거리로 진행하고, 장애물이 검출되면 충돌회피 알고리즘에 의해 경로를 수정하도록 하였다. 시뮬레이션에서 자율이동로봇은 대각 방향으로 진행하고 장애물은 수직으로 놓여 있어 본 연구에서 언급한 최악의 조건인 대략 45° 방향으로 로봇이 장애물에 접근하는 형태를 보여준다.

Table 3 Conditions for simulation

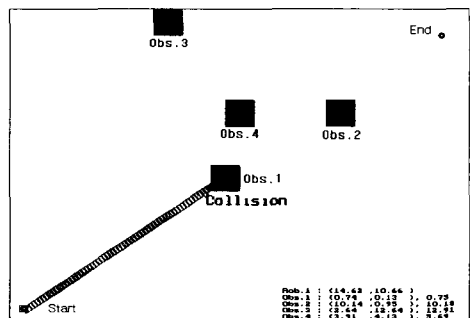
	Mobile robot	Fixed obstacle
Magnitude	Length : 0.6m, Width : 0.5m	Left and right side : 1.75m
Maximum velocity	0.5m/s	X
Moving direction angle	$\pm 180^\circ$	



(a) Avoidance action(1)



(b) Avoidance action(2)



(c) Case of collision

Fig. 16 The navigation simulation of the robot for collision avoidance

Fig. 16은 장애물이 주어졌을 때의 자율이동로봇의 충돌회피 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 오른쪽 하단의 좌표는 각 스텝에서의 좌표 값을 의미한다. 각각의 좌표 중에서 Rob.1로 표시된 좌표는 자율이동로봇의 절대 좌표를 나타내고, Obs.1~Obs.4는 자율이동로봇에 대한 상대 좌표를 나타내며 옆의 숫자는 로봇에서 장애물까지의 거리를 나타낸다. Fig. 16(a), (b)는 충돌회피 동작이 원활히 이루어지고 있음을 보여주고 있는데 이는 전면의 모서리 부분에 장착한 센서에 의해 45° 방향으로 감지를 할 수 있도록 하였기 때문에 로봇이 장애물을 향해 한쪽으로 치우쳐 접근하는 경우에는 충돌회피 동작이 원활히 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 Fig. 16(c)와 같이 로봇의 진행방향에 대해 45° 방향으로 있는 장애물의 경우 로봇이 모서리의 가운데 방향으로 접근하면 모서리에 장착한 대각 센서의 경우에는 감지할 수가 없게 되어 전면 센서만으로는 충돌할 수밖에 없는 상황이 발생하게 된다.

이상의 시뮬레이션을 통해 전면 대각 센서의 장착으로 경사도가 심한 장애물도 어느 정도 회피가 가능함을 알 수 있었다. 하지만 정면의 장애물이 45°의 경사진 모서리를 가지고 있고 이러한 모서리를 향해 자율이동로봇이 전진하는 Fig. 17(c)와 같은 상황에서는 충돌함을 알 수 있었다. 따라서 경사각이 45°에 가까운 장애물에 접근할 경우에는 레이저나 비전 시스템 같은 상위 레벨의 인식도구가 필요하다.

5. 실험 및 결과 고찰

신경회로망을 이용하여 앞서 정의한 진행 방향으로 집할 수 있는 다양한 형태의 장애물에 따른 출력 형태를 학습시켜 선정한 최종 가중치를 이용하여 신경회로망을 재구성한 뒤 이를 이용하여 센서값에 따라 정해진 RPM을 출력할 수 있는 충돌회피 알고리즘을 구현하였다. 구현한 알고리즘은 주 제어기인 DSP보드에 이식하였고 CAN버스로 서보 제어기와 초음파 제어기를 연결하였다. 아직 환경 맵 작성에 의한 목표점 지정이 되지 않기 때문에 로봇을 바닥으로부터 떼어놓고 장애물을 로봇에 접근시켜 가며 RPM 변화를 측정하여 실제 장애물을 회피하기 위한 충돌 회피 동작을 하는가를 실험적으로 검토하였다.

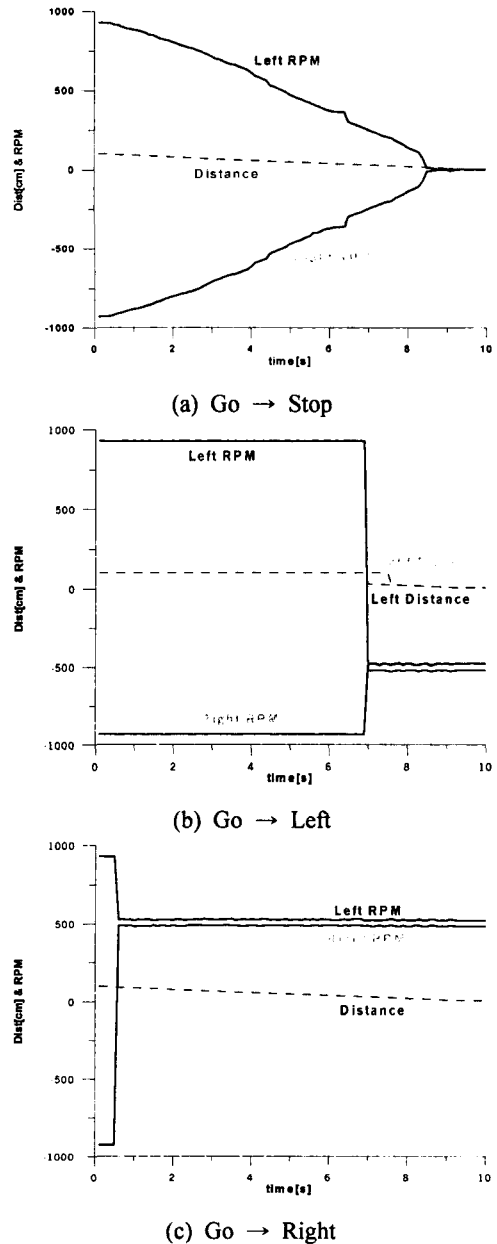


Fig. 17 RPM changes of each wheel due to an obstacle

Fig. 17은 장애물의 접근 형태에 따른 RPM 변화 곡선이다. 충돌회피 동작은 전방 센서만으로 수행하므로 4조의 센서를 통해 앞서 정의한 몇 가지 패턴의 장애물 접근시의 RPM 변화를 보여주고 있

6. 결론

다. Fig. 17(a)은 전방 가운데 2조의 초음파 센서에 수평 장애물이 접근하는 예로, 가운데의 점선이 센서값이고 대칭적으로 보이는 직선이 좌,우 모터의 RPM 값이다. 대칭인 경우는 앞에서 정의했듯이 직선 주행을 의미한다. 센서에서 측정된 장애물과의 거리값이 작아질수록 RPM이 0에 수렴함을 알 수 있다. Fig. 17(b)는 경사도를 지닌 장애물이 접근하는 형태이다. 가운데 직선이 센서이고 한동안 인식되지 않다가 일정거리에서 인식이 되고 있는데 오른쪽 센서가 먼저 인식이 되어 그에 따라 왼쪽 모터의 RPM이 장애물을 회피하기 위해 -500으로 정확히 추종하여 왼쪽 회전 운동이 이루어지도록 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 17(c)는 왼쪽 전방 대각 센서에 장애물이 접근하는 형태로 장애물이 인식되면 바로 오른쪽 회전을 위해 오른쪽 모터의 RPM이 500으로 바뀌고 있음을 알 수 있다. 하지만 양쪽 모터의 RPM이 정확히 일치하지 않아 근접 거리에서의 정지 회전이 어려워 안전한 충돌반경 확보에는 아직 문제가 있다.

Fig. 18은 스케일을 줄여 전진시 500RPM, 회전시는 250RPM으로 정의하여 경사도를 가진 물체가 접근했다 물러날 때의 한쪽 모터만의 접근시의 센서값과 RPM을 나타내는 것으로 일정 거리에서 갑자기 인식되었다가 원위치 되었고 그때의 RPM 역시 경사진 장애물에 따른 급변화에도 제어가 잘되고 있음을 알 수 있다.

이상의 실험 결과에서 실험적으로 제안한 알고리즘에 의해 장애물 회피를 위해 좌우 바퀴의 RPM이 조절되고 있음이 확인되었다.

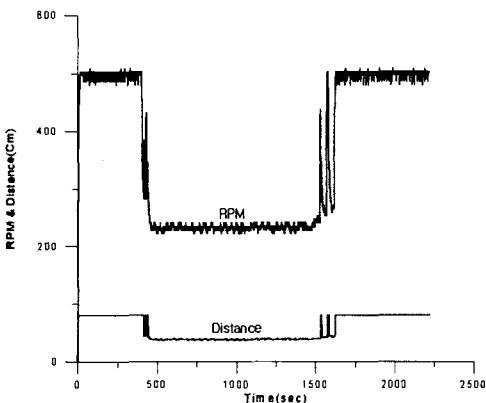


Fig. 18 Inclined plane

본 연구에서는 tracked wheel 방식의 자율이동로봇을 제작하여 통합시스템 구성을 위한 각 모듈별 평가를 마쳤다. 충돌회피 알고리즘은 초음파 센서에 대한 실험 데이터를 이용하여 거리정보를 통해 대략적인 장애물의 패턴을 예측할 수 있었으며, 이를 지능적 제어 기법인 신경회로망을 이용하여 맵에 의한 환경 정보 없이도 어느 정도 제어가 가능함이 확인되었다. 이는 입력에 대한 출력을 예측할 수가 있었기 때문에 가능하였고 복잡한 동역학적 계산식이 없어도 목표 지점까지 장애물을 회피하면서 도달 가능하다는 이점이 있다. 이러한 결과를 통해 주행 알고리즘 작성시 위의 충돌회피 알고리즘을 적용하면 셀(cell)정보나 전위장(potential)을 이용한 진행 방향 결정보다 계산 시간이 적어 실시간 적용이 가능하고 메모리의 양도 줄일 수 있다. 향후에는 본 연구에서의 시뮬레이션과 기초실험을 바탕으로 환경맵 작성에 의한 경로 설정 알고리즘을 추가하여 위치 제어를 통해 자율 이동 로봇 주행의 정확성과 안정성을 평가할 계획이다.

참고문헌

1. 성경학, 김진오, 김성권, "공장자동화를 위한 지능 로봇 시스템," 제어 · 자동화 · 시스템 공학회지, 제2권 제3호, pp. 16-24, 1997.
2. Y. Watanabe and S. Yuta, "Position estimation of mobile robots with internal and external sensors using uncertainty evolution technique," Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2011-2016, 1990.
3. C. L. Shin, T. T. Lee and W. A. Gruver, "A unified approach for robot motion planning with moving polyhedral obstacles," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. 20, No. 4, pp. 903-915, 1990.
4. Q. Zhn, "Hidden Markov model for dynamic obstacle avoidance of mobile robot navigation," IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp. 390-397, 1991.
5. B. H. Lee and C. S. G. Lee, "Collision-free motion planning of two robots," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol. 17, No. 1, pp. 21-32, 1987.
6. E. Krotkov and M. Hebert, "Mapping and

- positioning for a prototype lunar rover," Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2913-2919, 1995.
7. 노영식, "이동로봇의 위치 측정을 위한 PSD 센서 시스템에 관한 연구," 제어 · 자동화 · 시스템 공학 논문지, 제2권, 제4호, pp. 330-336, 1996.
 8. 고낙용, 이범희, "충돌 회피 가능도를 이용한 로봇의 이동 장애물 회피," 제어 · 자동화 · 시스템 공학 논문지, 제3권, 제2호, pp. 169-178, 1997.
 9. 김정훈, 이기성, "초음파센서와 모멘트 기법을 이용한 다양한 물체인식과 보완," '95 한국자동제어학술회의논문집, pp. 820-823, 1995.
 10. 박준혁, 이민철, "신경회로망을 이용한 이동로봇의 이동 장애물 충돌회피," '97 한국자동제어학술회의논문집, pp. 1238-1241, 1997.
 11. 최치원, 조영조, 유범재, 오상록, 윤태웅, "고속전철을 위한 CAN의 응용층 설계 및 성능 해석," Proc. 12th 한국자동제어학술회의 논문집, pp. 883-886, 1997.
 12. J. Borenstein and Y. Koren, "the vector field histogram-fast obstacle avoidance for mobile robots," IEEE Trans, Robotics and Automation, Vol. 7, No. 3, pp. 278-288, 1991.
 13. James A. Freeman, David M. Skapura, "Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques," Addison-Wesley, 1991.
 14. Robert Lafore, "Object-Oriented Programming in C++," Waite Group Press, 1994.