

하나의 구형바퀴를 가지는 새로운 전 방향 이동로봇의 개발

Development of a New Omnidirectional Robot with One Spherical Wheel

최병준*, 이연정*

*경북대학교 전자·전기공학부(Tel : 053-950-6562; Fax : 053-950-5505; E-mail : yjlee@palgong.kyungpook.ac.kr)

Abstracts In this paper, a new omnidirectional robot with one spherical wheel is proposed. The peculiar structure of the proposed mobile robot makes it possible not only to move sideways but to be easy to implement. The wheel is derived by two stepping motors and equipped with 8-infrared sensors. To prove the validity of the proposed robot, the experiment of going through a way is performed.

Keywords Mobile robot, Omnidirection, Spherical wheel, Navigation, Infrared sensor

1. 서론

현재 연구 중인 많은 이동 로봇 들은 바퀴가 갖는 구조적 결함[4] 때문에 특이한 조건에서의 이동에 제약을 받거나 많은 어려움이 따른다. 예를 들면 좁은 공간이나 장애물이 많은 곳에서 주행을 할 경우 불가피하게 로봇의 측면 또는 임의의 방향으로의 이동을 필요로 할 때가 생긴다. 이때 기존의 바퀴구조는 측면으로 진행할 수 있는 운동력이 없고 운동력이 주어져도 바퀴의 지면과의 마찰력으로 인하여 주행이 거의 불가능하며 주행을 하기 위해서는 로봇의 방향을 돌리기 위한 많은 공간 또는 회전을 위한 동작이 요구 되어진다.

이점을 개선하기 위하여 주어진 위치에서 임의의 방향으로 이동이 가능한 전 방향 이동 로봇의 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 현재 연구되고있는 로봇들은 구조가 복잡[4]하고 다수의 모터[5]를 사용하므로 제어가 어려운 단점을 갖는다. 그러한 문제를 해결하기위해서 유니버설 휠[1,2] 이라는 특별한 구조의 바퀴를 이용한 이동 로봇이 연구되고있으며, 다수의 볼휠[3]을 이용한 이동 로봇이 제안되고있다.

본 논문에서는 간단한 기계적 구조를 가지며 2개의 모터를 사용하는 새로운 형태의 전 방향 이동 로봇을 제안한다. 새로운 구조를 갖는 로봇은 기존에 있는 메카니즘과는 다른 새로운 요소인 구형바퀴와 볼 베어링, 그리고 새로운 제어 방법을 필요로 하게한다. 이러한 구조와 제어 방법을 하드웨어의 구현과 실험을 통하여 제안된 전 방향 이동 로봇의 타당성을 검증한다.

2. 구형바퀴의 구조

2.1 구형바퀴의 원리

새롭게 제안된 구형바퀴의 원리는 그림 1에서 보는 바와 같이 컴퓨터의 볼 마우스의 원리를 반대로 적용 시킨 것이다. 즉 볼 마우스는 볼을 굴리면 볼에 직각 구조로 붙어있는 두 개의 롤러가 움직이는 반면에 구형바퀴는 직각구조로 붙어있는 두 개의 롤러를 돌리면 롤러와 볼의 마찰력으로 볼이 움직이도록 구성 되어있다.

2.2 구형바퀴의 제작

제안된 로봇의 구형바퀴는 진행 방향으로의 운동력과 지면과의 미끄러움을 보상하기 위하여 바퀴의 겉 재질은 고무를 사용하여 지면과의 마찰력을 크게 했고 내부는 다른 물질로 채웠다. 내부에 채워진 물질은 에폭시라 물리는데 액체 상태인 두 물질은 석인 후 딱딱하게 굳어진다.

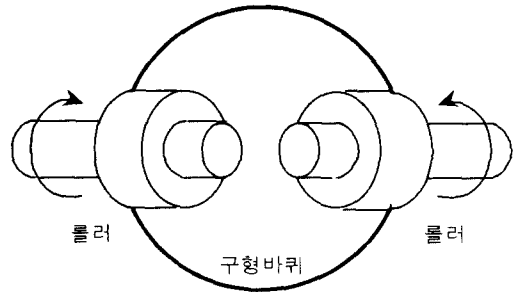


그림 1 구형바퀴의 원리.

Fig.1 The principle of the spherical wheel.

2.3 볼 베어링의 설계

볼 베어링은 이동 로봇의 중요한 부분 중 하나이다. 구형바퀴 위에 로봇의 몸체를 싣고 움직여야 하기 때문에 구형바퀴와 몸체 사이에 마찰력을 줄여주는 구조물인 베어링이 삽입되어야 한다. 그러나 일반 베어링은 구형바퀴의 회전방향에 대해서 마찰력을 줄여주는 것이 아니라 오히려 마찰력을 증가 시키므로 새로운 구조의 베어링을 설계하게 되었다.

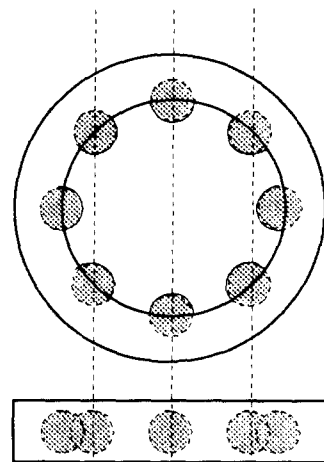


그림 2 볼 베어링의 구조.

Fig.2 The structure of the ball bearing.

새로운 구조의 볼 베어링은 그림 2에서 보는 것 과같이 동근 링과 같은 구조물 속에 작은 쇠 구슬이 여러 개 박혀있다.

작은 쇠 구슬은 자유롭게 회전할 수 있는 형태이며 구형바퀴는 쇠 구슬 사이에서 마찰력을 줄인 상태로 임의의 방향으로 자유로이 회전을 할 수 있다.

2.4 구형바퀴의 기구학적 응용

구형바퀴의 기구학적인 응용은 그림 3에서 보는 바와 같다.

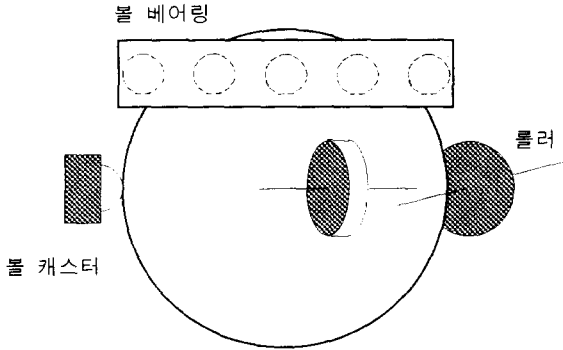


그림 3 구형바퀴의 배치.

Fig.3 The arrangement of the spherical wheel.

구형바퀴에 붙은 두개의 직각 구조로 된 롤러는 구형바퀴에 각각 구형바퀴를 반대 방향으로 밀어내는 마찰력이 존재한다.

이 힘으로 인하여 구형바퀴가 반대 방향으로 밀리지 않으려면 롤러의 반대쪽에 두 롤러와 이동변삼각형을 이루는 꼭지점 위치에 볼 캐스터를 달고 구형바퀴를 지지한다. 이때 사용되는 볼 캐스터는 둥근 볼이 자유롭게 회전할 수 있는 구조물이며, 볼 캐스터와 롤러는 구형바퀴의 중앙에 위치시켜야 롤러를 회전시킬 때 동일한 마찰력을 가질 수 있다.

2.5 구형바퀴의 제어

구형바퀴의 제어는 두개의 롤러가 직각 구조를 이루고 있으므로, 그림 4에서 보는 것과 같이 구형바퀴의 임의의 회전속도 V_r 에 대해 속도 R , 각도 θ , 속도 V_x, V_y 를 결정할 수 있다.

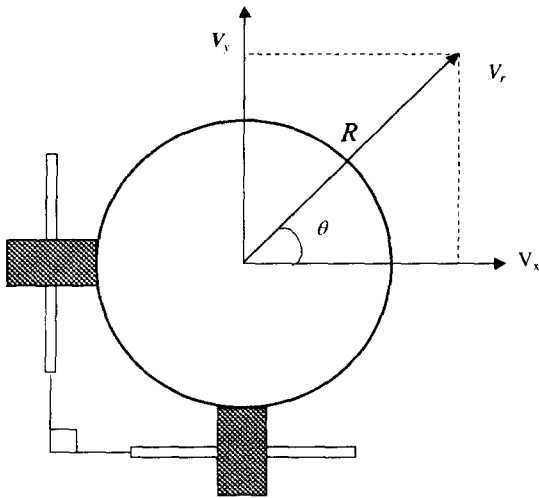


그림 4 구형바퀴의 제어.

Fig.4 The control of the spherical wheel.

구형바퀴의 임의의 속도 V_r 에 대한 속도 V_x, V_y 는 다음과 같이 표현되고 여기서 R 은 로봇의 진행 속력이다.

$$V_x = R \cos \theta \quad (1)$$

$$V_y = R \sin \theta \quad (2)$$

따라서 V_x, V_y 를 조정하면 구형바퀴를 임의의 원하는 방향으로 회전시켜서 로봇을 이동시킬 수 있다.

3. 스텝모터를 이용한 구형바퀴의 제어

스텝모터는 인가된 펄스의 갯수만큼 스텝을 회전한다. 따라서 펄스의 on시간을 고정시키고 off시간을 변화시켜서 구형바퀴의 속도제어에 응용하고자 한다. 스텝모터에 응용하기 위해서 먼저 속도 V_x, V_y 를 펄스의 주기로 바꾸어 표현하여야 한다.

스텝모터의 펄스의 주기는 속도와 반비례하므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T_x = k/V_x \quad (3)$$

$$T_y = k/V_y \quad (4)$$

여기서 k 는 스텝모터의 기계적 상수이다.

주어진 식은 임의의 속도 V_x , 속력 R , 방향 θ 에 대해 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

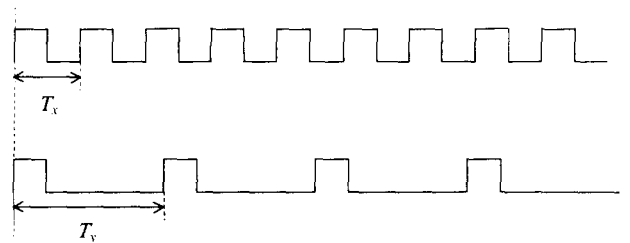


그림 5 스텝모터의 펄스.

Fig.5 The pulse of the step motor.

스텝모터에 인가될 펄스의 주기를 계산하는 부담을 줄이기 위해 삼각함수의 계산부분을 속력 R 과 방향 θ 만 주어진다면 T_x, T_y 로 변환시켜주는 룩업테이블(Look-up table)을 만들어 사용하였다.

4. 전체 시스템의 구조

4.1 전체 시스템의 외형도

전체 시스템의 외형도는 그림 6에 나타난 것과 같으며 각 부분의 명칭은 다음과 같다.

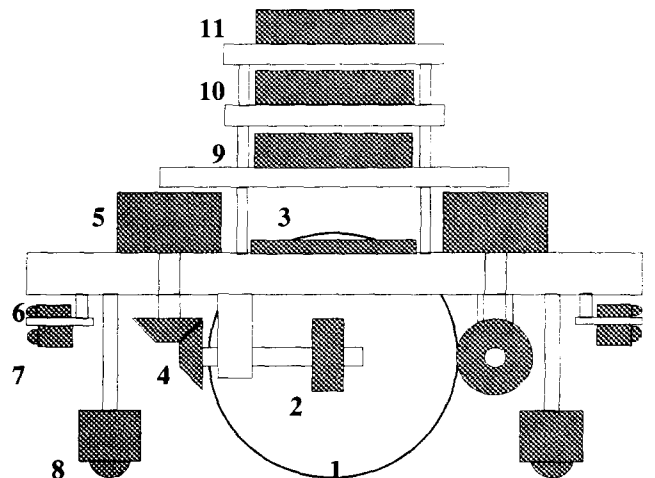


그림 6 전체 시스템의 구조.

Fig.6 The structure of the full system.

시스템의 주요부분의 명칭

1. 구형바퀴
2. 롤러
3. 볼 베어링
4. 베벨 기어
5. 스텝모터
6. 적외선 센서 (발광부)
7. 적외선 센서 (수광부)
8. 보조 바퀴
9. 모터 드라이브
10. 센서 드라이브
11. 메인 보드

시스템을 세부적으로 살펴보면 A/D 컨버터가 내장된 80c196 20MHz CPU를 사용하여 센서와 모터를 제어하였고, 스텝모터의 구동드라이버는 7024를 사용하여 정전류 구동하였다. 스텝모터는 작은 크기에 속도비 토크특성이 좋은 것을 사용하여 고속에서도 주행에 충분한 토크를 가지도록 했다.

적외선 센서의 발광부는 적외선 다이오드 EL-1L2를 사용하여 많은 전류를 짧은 시간동안 흘리는 펄스 구동방식을 사용하였고 수광부는 포토 트랜지스터를 사용하여 반사되는 광량을 센싱하도록 하였다. 센서의 발광부와 수광부 사이에는 검은색 칸막이를 사용하여 발광부의 빛이 직접적으로, 또는 간접적으로 산란 되어져 생기는 잡음을 막았다. 센서를 통하여 검출된 아날로그 신호를 CPU에 내장된 A/D 컨버터를 사용하여 디지털 신호로 바꾼 후 거리로 변환하였다. 구형바퀴에 붙어있는 롤러는 구형바퀴와 충분한 마찰력을 가질 수 있도록 표면에 고무를 입혔으며, 모터와 롤러 사이에는 동력전달 기구로서 베벨기어를 이용하였다.

로봇의 몸체에는 4개의 보조바퀴를 장착하였는데 보조바퀴 각각에는 위에서 지면으로 향하는 충격을 보상할 수 있는 완충장치를 만들어서 평탄하지 못한 길에서도 로봇의 몸체가 기울어 지지않고 주행이 가능하게 하였다.

4.2 적외선 센서의 배치도

전방향 이동로봇은 로봇의 앞면이 위치하는 방향과 관계없이 임의의 방향으로 로봇의 자세를 바꾸지않고 이동할 수 있어야 하기 때문에 센서의 배치는 아주 중요하다. 따라서 제안된 로봇의 센서의 역할이 중요한 만큼 여기서는 8 조의 적외선 센서를 그림 7과 같이 45° 만큼 등 간격으로 배치를 하여 사방을 살피도록 하였다.

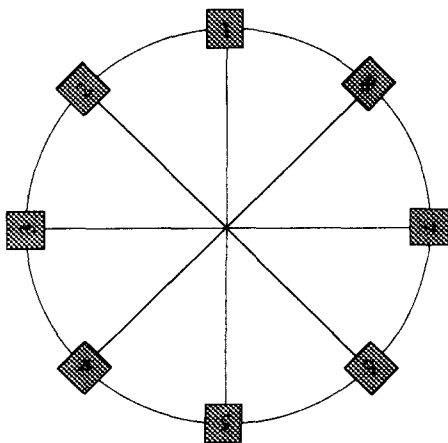


그림 7 적외선 센서 배치도.
Fig.7 The arrangement of the infrared sensor.

5. 주행 알고리즘

이동 로봇은 주어진 방향으로 진행을 시킬 경우 주어진 길을 바르게 진행할 수 가 없다. 왜냐하면 로봇은 주행 중에 바퀴의 미끄러짐이나 로봇의 진동으로 인하여 진행방향이 변한다. 이때 진행방향을 변했다는 것을 로봇이 알고있어야 하고 진행방향이 얼마나 변했는가를 알지못하면 결국, 주위의 장애물에 부딪힌다. 가령 진행방향의 변화를 알고있어도 로봇의 바퀴를 알맞게 제어하지못하면 마찬가지로 문제가 생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 전 방향 이동로봇의 주행 알고리즘은 그림 8과 같다. 주행 알고리즘을 세부적으로 살펴보면 로봇의 진행 방향은 주어진 각도 θ 방향으로 진행을 한다. 따라서 각 센서들의 위치가 로봇의 몸체에 고정되어 있으므로 초기에 주어진 진행 방향쪽의 센서를 중 가장 먼 거리, 즉 수광량이 가장 적은 센서쪽을 진행 방향으로 잡는다. 가장 먼 거리를 나타내는 센서 앞쪽에 장애물이 없거나 있어도 상대적으로 아주 먼 거리에 장애물이 있다고 예상할 수 있다.

또한, 선택된 진행 방향쪽 센서의 좌,우 각각 2개의 센서들 중 가장 가까운 거리를 나타내는 센서쪽에 장애물이 있으므로 그 센서 반대 방향을 보정방향으로 결정한다. 보정방향의 각도 θ 의 변화를 주면 로봇은 장애물을 회피할 수 있다. 이때 각도 θ 의 변화량은 장애물과의 거리에 비례한다.

결국 로봇은 진행방향과 보정방향 두 방향의 벡터합 방향으로 주행을 한다.

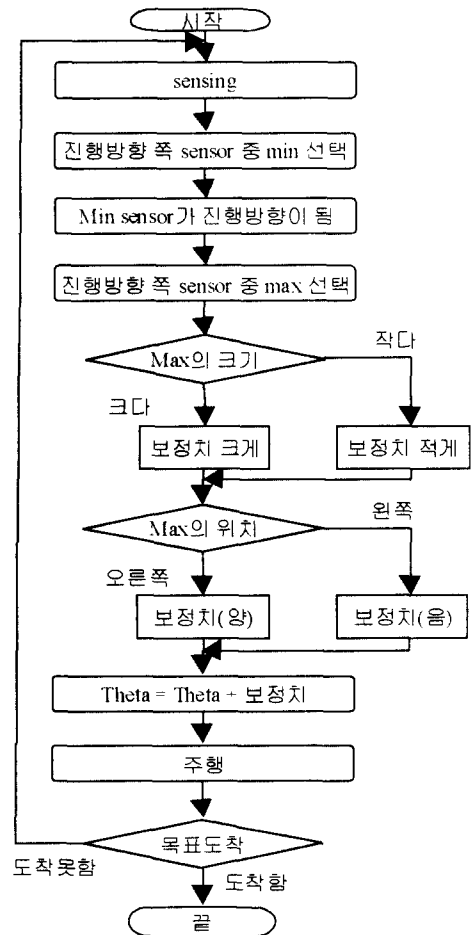


그림 8 주행 알고리즘.
Fig.8 The navigation algorithm.

6. 실험 결과

본 논문에서 제안된 전방향 이동 로봇의 타당성을 검증하기 위해서 로봇을 직접 제작하였다. 로봇의 전원은 전선을 통하여 외부에서 공급하고 CPU 80196 을 사용하여 로봇을 제어 하도록 하였다. 로봇의 외형은 그림 9에서 보는 바와 같다. 로봇의 전체 높이는 0.17m 이고, 본체의 높이는 0.05m, 지름은 0.17m 이다. 센서의 위치는 지면에서 0.04m 이고, 구형 바퀴의 지름은 0.063m 이며, 롤러의 지름은 0.018m 이다.

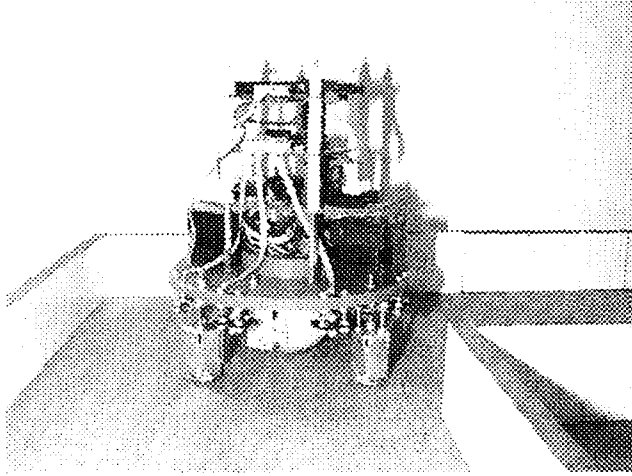


그림 9 로봇의 실제 모습.

Fig.9 The feature of the mobile robot.

제작된 로봇이 주행할 수 있는 길을 만들기 위해서 직접 미로를 제작하였다. 미로는 가로, 세로 1m의 정사각형 나무판 위에 그림 10에서와 같이 높이 0.05m의 벽을 만들었고, 두 벽 사이의 간격은 0.25m로 하였다. 두 벽 사이로 로봇이 벽과 부딪히지 않고 이동을 하여야 한다. 벽의 표면은 센서의 발광부에서 나오는 빛이 잘 반사 되도록 흰색으로 칠하였고, 길의 구조는 직선길과 90° 꺾이는 길, 45° 꺾이는 길 세가지로 만들어서 연결 하였다.

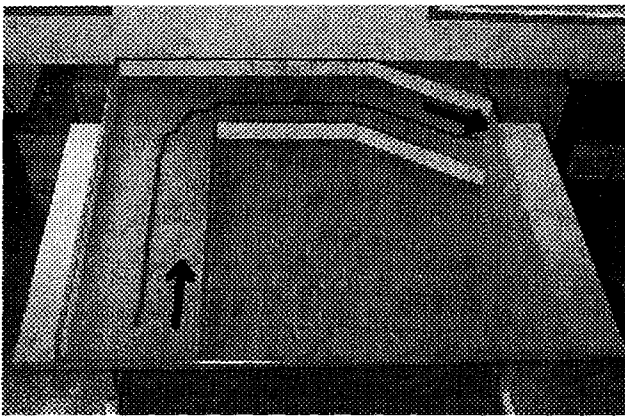


그림 10 로봇의 주행곡선.

Fig.10 The trajectory of the mobile robot.

실험 결과로서 로봇의 주행한 길을 그림 10에 나타내었고 두 벽사이의 검은색 선이 실제 로봇이 주행한 길이다. 주행한 길의 표시는 구형바퀴 표면에 검은 물감을 칠한 후 로봇을 주행시

로봇이 지나간 길에 검은색 표시가 나타나게 하였다.

실험결과 제안된 로봇은 하나의 구형바퀴로 벽에 부딪히지 않고 주어진 경로의 주행에 성공하였다.

7. 결론

기존에 연구되어온 전방향 이동 로봇들은 기계적 구조가 복잡하고 많은 수의 바퀴와 모터를 사용하여 제어를 어렵게 하는 문제가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 하나의 구형바퀴를 갖는 전방향 이동 로봇을 새롭게 제안하였다.

제안한 구형바퀴와 구형바퀴의 제어 방법, 구형바퀴를 로봇의 몸체와 결합시킬 수 있도록 새롭게 고안된 볼 베어링들을 사용하여 로봇을 제작 실험하였다. 추후 과제로는, 로봇의 몸체에 붙어 있는 센서와 센서 사이에 벽의 모서리가 있을 때 센서가 벽을 감지하는 능력이 떨어지는 경우가 있어, 이를 보상하는 것을 계속 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] L. Ferriere, B. Raucent and G. Campion, "Design of Omnimobile Robot Wheels", IEEE Proceedings on Robotics and Automation, Minneapolis, pp. 3664-3670, April, 1996.
- [2] L. Ferriere, B. Raucent and J.-C. Samin, "ROLLMOBS, a new omnidirectional Robot", ICRA '97 Workshop on Innovative Designs of Wheeled Mobile Robots, April, 1997.
- [3] M. West and H. Asada, "Design and Control of Ball Wheel Omnidirectional Vehicles", Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.1931-1938, May, 1995.
- [4] M. Wada and S. Mori, "Holonomic and Omnidirectional Vehicle with Conventional Tires", IEEE Proceedings on Robotics and Automation, Minneapolis, pp. 3671-3676, April, 1996.
- [5] S.M. Killough and F.G. Pin, "Design of an Omnidirectional and Holonomic Wheeled Platform Prototype", IEEE Proceedings on Robotics and Automation, Nice, pp. 84-9, May, 1992.