

자동차 로봇의 휠 배치 가변 구조 연구

김선욱\*, 정하민\*, 김홍필\*\*, 이세한\*, 김동현\*  
 경남대학교\*, 경일대학교\*\*

Variable Wheel Position Mechanism with Full Mobility for a Car-Like Robot

Sun-Wook Kim\*, Hahmin Jung\*, Hong-Pil Kim\*\*, Se-Han Lee\* and Dong Hun Kim\*  
 Kyungnam University\*, Kyungil University\*\*

**Abstract** - In this paper, an attempt has been made by incorporating variable wheel arrangement for a car-like robot. In this scheme, the car-like robot controls its body height and the length of forward and backward wheels while driving in omni-direction. Experimental results show that the proposed car-like robot with wheel arrangement variable structure presents effectiveness of several situations.(a. left and right turn, b. longitudinal and latitudinal parking, c. control of body height and the length of forward and backward wheels, d. passing over obstacles, e. adaptive cruise control.)

1. 서 론

네 바퀴로 움직이는 일반 자동차는 논 홀로노믹 제한(non-holonomic constraints) 때문에 제 자리에서 회전 혹은 직접 측면으로 움직이는 것이 불가능하다. 산업용이나 서비스 로봇의 움직임을 위해 휠을 갖고 있는 이동 로봇들은 대체로 두 바퀴가 독립적으로 제어 되는 차동구동(differential drive) 방식으로 구현된다. 이러한 이동 로봇은 휠속도 값을 독립적으로 다르게 하여 제자리에서 회전은 가능하지만, 자세의 전환 없이 직접 측면으로 움직이는 것은 불가능하다. 이러한 운동의 제약을 극복하기 위해서 전방향 이동로봇(omnidirectional mobile robot)이 제안되었으며, 2차원 평면에서 몸체의 자세 전환 없이 임의의 방향으로 주행이 가능하다[1]. 현재까지 여러 종류의 전방향 이동로봇이 연구되어 왔으며, 주로 휠 구조를 다르게 하여 만든 유니버설 휠[2], 볼 휠[3] 등이 널리 알려져 있다. 하지만, 오랫동안 전방향 이동로봇에 관한 연구 및 개발이 수행되었음에도 불구하고, 복잡한 구조의 전방향 바퀴, 직진 주행에서의 큰 마찰, 낮은 통과장애물 높이 등 실용성의 문제로 인해 산업현장이나 서비스 분야 등에서의 전방향 이동로봇의 활용은 아직은 활발하지 못한 상황이다[5].

수동롤러 또는 볼로 구성된 전방향 바퀴를 사용하는 전방향 이동로봇은 대부분 3륜 또는 4륜의 형태로 전방향 구동을 수행한다. 주행의 안정성이 중요한 경우에는 4륜 로봇을 사용하게 되며[4], 이 경우 4개의 바퀴가 독립적으로 구동된다. 하지만, 4륜 전방향 이동로봇 또한 수직 및 수평 진동유발, 낮은 에너지 효율, 노면과의 슬립 문제에 의해 장거리를 가거나 속도가 필요한 용도의 이동로봇, 자동차로봇으로 사용하기에는 부적합하다. 이와 다르게, 자동차에 사용되는 일반적인 바퀴는 수동롤러를 갖는 전방향 바퀴에 비하여 노면이 고르지 못한 환경에서 주행성능이 우수하다. 이는 수동롤러를 갖는 전방향 바퀴의 통과 가능한 요철의 높이는 바퀴의 가장 작은 수동롤러의 반경과 롤러의 마찰력에 의해 결정되는 반면에, 일반적인 바퀴는 바퀴의 반경과 타이어의 마찰력에 의해 결정되기 때문이다. 일반적인 직진 주행에서 전방향 구동 능력은 오히려 에너지 효율을 저하시키는 요인이 된다. 이러한 상황에서는 4개의 바퀴가 평행하게 배치되는 구조가 직진 주행에서 가장 효율적인 구동을 가능하게 한다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 4륜 자동차 구조 형태에서 전방향 구동과 더불어 차동구동(differential drive)도 구현할 수 있는 자동차 로봇을 개발하였다. 전방향 이동로봇이 가지는 단점들을 개선하기 위하여, 일반적인 바퀴를 대상으로 2 자유도에 의해 휠배치를 가변으로 하는 메카니즘을 제안한다. 제안하는 휠 배치 가변 구조를 갖는 자동차 로봇 시스템의 장점들을 논문에서는 다섯 가지 상황으로 고려하였다.

2. 본 론

2.1.1 자동차 로봇 시스템 구성

본 논문에서는 전방향 이동로봇이 가지는 직진주행의 문제점을 해결하고, 전방향 이동로봇의 특징들을 갖기 위하여 2 자유도에 의한 휠배치 가변 메카니즘을 제안한다. 4륜 구조 형태로 각 휠당 3개의 모터가 사용되었으며 이 중 2개의 서보모터가 휠배치를 가변 하기 위해 사용되었고, 1개는 휠 구동용으로 사용되었다.

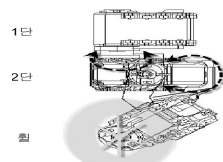
IR 센서 3조가 자동차 로봇 바닥면에 부착하여 벽면 감지를 위해 사용되었다. 전방의 물체 감지(야간용)와 영상정보 전송을 위해 소형 카메라가 사용하였으며, 카메라 회전을 위해 서보모터를 설치하였다. 그림 1에 (a)가 실제 제작된 자동차 로봇의 외형이고, (b)는 센서와 비전 H/W 배치도를 보여준다. 자동 수평 주차 시스템을 위하여 좌우 양면에 각각 적외선 센서를 사용하였다. 고유의 ID를 가진 서보모터들은 하나의 버스 상에서 Packet통신으로 제어되며, TTL 기반의 네트워크를 사용하여 주 제어기에서 필요한 서보모터를 제어할 수 있다. 제어기와 무선 조정기와는 Zigbee를 이용하여 통신하였다.



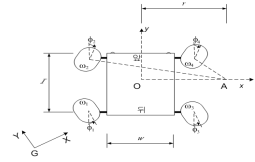
(a) 자동차 모델 (b) 센서 배치도  
 <그림 1> 자동차 모델과 센서 배치도

2.1.2 휠배치 가변구조

본 논문을 통해 제작된 자동차로봇은 휠배치 가변 구조를 갖는다. 4륜 자동차의 기본 구조에서 각각의 휠은 2개의 모터들로 이어진 차대에 연결되어 있다. 그림 2에서 2개의 모터들은 휠을 상하, 좌우로 움직이게 한다. 1단 모터에 의해 휠을 좌우로 움직이게 하며, 2단 모터에 의해 휠을 상하로 움직이게 할 수 있다. 1단 모터의 각도 영역은 -90°에서 90° 사이의 전체 180° 영역으로 제한되어 있고, 2단 모터의 각도 영역은 0°에서 90° 사이의 전체 90° 영역으로 제한되어 있다.



<그림 2> 2DOF를 가진 휠

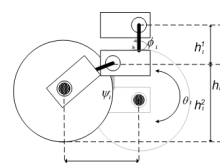


<그림 3> 자동차 로봇 모델

2.1.3 로봇 모델

그림 3은 4휠을 가진 자동차 로봇 모델을 보여준다. 여기서,  $O_{xy}$ 는 자동차 로봇 차체 관점에서 보는 지역좌표 시스템을 나타내고,  $G_{XY}$ 는 지면 관점에서 보는 전역좌표시스템을 나타낸다. 두 시스템간의 각도는  $\beta$ 로 나타낸다. 따라서, 자동차로봇의 위치와 방향은  $(X, Y, \beta)$ 로 나타낸다. 그림 3에서  $\phi_{1-4}$ 은 네 휠의 조향 각도를 나타내고,  $\theta_{1-4}$ 은 네 휠의 회전각도를 나타낸다.

그림 4는 2개의 모터와 휠 구조에서의 관련 각도와 치수를 나타낸다.



<그림 4> 모터와 휠 모델

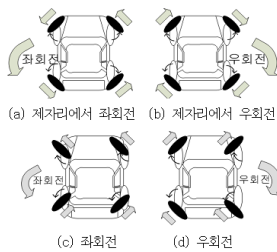
각각의 휠에서 이동좌표는 다음의 수식으로 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= -\frac{2ar}{l} \sin\phi_i \sin\beta \dot{\theta}_i & (1) \\ \dot{Y} &= \frac{2ar}{l} \sin\phi_i \cos\beta \dot{\theta}_i \\ \dot{\beta} &= \frac{2a}{l} \sin\phi_i \dot{\theta}_i \end{aligned}$$

식(1)은 자동차로봇에서 기하중심의 모션과 휠 모션과의 관계를 나타내준다.  $i$ 는 휠 번호를 나타낸다.

### 2.2.1 좌,우회전

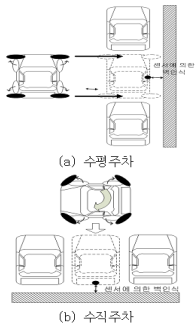
1단 모터에 의해 모든 휠을 X자 형태로 모은 후 휠에 같은 속도를 유지하며, 휠 회전방향만 그림 5와 같이 달리하여 쉽게 좌회전, 우회전 할 수 있다. 그림5.(a)에서 자동차로봇은 좌회전하기 위해 왼쪽 위 휠은 후진, 오른쪽 위 휠은 전진, 왼쪽아래 휠은 후진, 오른쪽아래 휠은 전진시킨다. 그림5.(b)에서 자동차로봇은 우회전하기 위해 왼쪽 위 휠은 전진, 오른쪽 위 휠은 후진, 왼쪽아래 휠은 전진, 오른쪽아래 휠은 후진시킨다. 그림5.(a),(b)는 제자리에서 좌회전, 우회전을 가능하게 해준다. 그림5.(c),(d) 역시 좌회전, 우회전이 가능하지만 그림 3의 r 만큼의 회전 반경을 갖고 회전하게 된다.



<그림 5> 모터의 회전방향에 따른 좌, 우 회전

### 2.2.2 수평, 수직 주차

1단 모터에 의해 그림 6.(a)와 같이 휠을 좌우로 움직여 수평 주차한다. 수평주차를 위해 로봇이 이동한 후 로봇 바닥 측면에 있는 센서에 의해 벽의 위치를 감지하여 자동으로 멈춘다. 그림 6.(b)는 로봇 자동차가 그 자리에서 휠의 각도를 X 형태로 바꾸어 그림5의 (b)처럼 우회전 한 후, 휠의 각도를 I자 형태(일반 자동차의 휠 배치)로 바꾸어

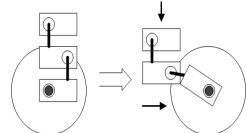


<그림 6> 수평, 수직 주차

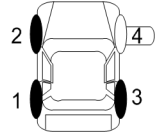
후진 주차 하는 것을 보여준다. 후면 센서에 의해 벽의 위치를 감지하여 자동으로 멈춘다.

### 2.2.3 저속, 고속 주행시 차체 상하, 차간간격 제어

2단 모터에 의해 그림 7과 같이 휠을 상하로 움직여 차체를 상하로 움직일 수 있다. 차체를 가장 낮게 만들 때 휠간의 간격이 가장 크게 늘어나서 자체의 안정성을 높일 수 있다. 고속으로 차를 움직일 때는 2단 모터에 의해 차체를 낮추고, 휠간 간격을 넓혀 자체의 안정도를 높인다. 지면이 오프로드처럼 울퉁불퉁할때는 SUV처럼 차체를 높여 바닥이 지면에 닿는것을 막을 수 있다.



<그림 7> 차체 상하, 차간간격 제어



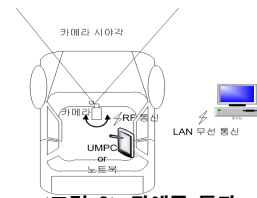
<그림 8> 장애물 통과

### 2.2.4 장애물 통과

자동차 로봇이 지나가기 어려운 장애물을 만났을 때, 휠 배치 가변 구조의 도움으로 통과하는 경우를 다룬다. 그림 8은 휠 4번 근처에 지나가기 어려운 장애물을 만났을 경우를 보여준다. 이러한 경우에 각 휠에 설치된 2단 모터의 도움으로 휠4를 수직으로 높이 들고, 휠1,2,3의 수직 높이를 낮추어 휠 3개만으로 무게 중심을 잡아 앞으로 전진하여 통과하는 장면을 보여준다. 이러한 기능에 의해 제안된 자동차 로봇은 눈이나 구덩이에 휠이 빠진 상황에서도 쉽게 탈출 할 수 있다.

### 2.2.5 카메라를 이용한 비전정보

제작된 자동차 로봇은 그림 9와 그림 1 (a)처럼 무선 카메라를 전방에 달고 있다. 용도로는 어두운 밤길에 사람 혹은 자동차의 움직임 영상이 들어오면 경고음을 알려준다. 카메라 밑면에 모티가 장착되어서 자동차로봇의 전방과 자동차 내부의 운전자 얼굴 등에 대한 정보를 UMPC 혹은 노트북 PC에 RF 통신으로 전송한다. WiFi와 같은 무선 인터넷을 이용하여 운전자의 얼굴 혹은 전방화면과 같은 정보를 다른 인터넷 환경에 있는 사람들이 볼 수 있다. 또한 자동차 로봇 전방에 있는 현재 영상 정보들을 컴퓨터에 저장 할 수 있다.



<그림 9> 장애물 통과

## 3. 결 론

본 논문에서는 2 자유도에 의해 휠배치를 가변으로 하는 메카니즘을 제안하였다. 네 개의 휠이 독립적으로 각도를 움직이며, 차체에서 휠에 대한 높이도 각각 다르게 할 수 있었다. 제안된 자동차 로봇은 일반 사륜 자동차의 휠 구조와 전방향 이동로봇이 가지는 장점들만을 갖추기 위하여 고안되었다. 제안된 로봇은 가변 휠 배치 구조에 의해 자동차로봇의 길이만한 주차 공간에서도 쉽게 수평주차 가능하고, 수직주차 역시 많은 편리성을 제공한다. 좌회전, 우회전시에도 적은 회전 반경만으로 옆으로 이동 가능 하며, 제자리에서 회전 반경 없이 좌회전, 우회전도 가능 하였다. 또한, 차체의 높이를 상하로 제어 가능하고, 앞뒤 휠간 간격 제어 역시 쉽게 제어 가능하다. 따라서, 고속도로, 오프로드 같은 지면 상태에 따라 고속, 저속에 따라 안정된 자세를 취할 수 있었다. 바위가 지나가기 어려운 장애물을 만났을 상황에서도 각각의 휠 배치를 변경하여 쉽게 통과 할 수 있었다. 제안된 가변 휠배치 구조를 갖는 메카니즘은 목적에 맞게 실제 자동차 혹은 이동 로봇들에 적용 가능하다.

### [참 고 문 헌]

- [1] M. Wada, H. Asada, "Design and control of a variable footprint mechanism for holonomic omnidirectional vehicles and its application to wheelchairs," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol. 15, no. 6, pp. 978-989, 1999.
- [2] J. F. Blumrich, "Omnidirectional vehicle," United States Patent 3,789,947, 1974.
- [3] M. West, H. Asada, "Design of ball wheel mechanisms for omnidirectional vehicles with full mobility and invariant kinematics," Journal of Mechanical Design, vol. 119, pp. 153-161, 1997.
- [4] 송재복, 김정근, "조향 가능한 전방향 바퀴를 갖는 전방향 이동로봇의 에너지효율 개선," 제어·자동화·시스템 공학 논문지 제 11 권, 제 8호, pp. 696-703, 2005.
- [5] [www.kyungnam.ac.kr/~dhkim/pds.html](http://www.kyungnam.ac.kr/~dhkim/pds.html)