2륜 이동로봇의 합리적인 하드웨어 설계 노하우 : 세그웨이를 중심으로

Reasonable Hardware Design Methods for 2-Wheeled Mobile Robots : Based on Segway Type Mobile Robots

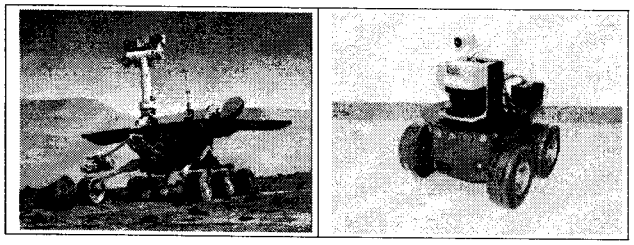
조 정 우*, 박 귀 태**
Joh, Jung-Woo. Park, Gwi-Tae.

Abstract - In this paper, we discuss how to design 2-wheeled mobile robot hardwares as reasonable and practical as possible. A segway type mobile robot consists of 2 wheels only, placed in parallel rather than horizon. 2-wheeled mobile robots make you overcome high cost and time consuming maintenance procedures of the robot by reducing the number of robot hardwares. The most challenging thing in a 2-wheeled mobile robot that has many more valid virtues than the traditional mobile robots is to make it balance itself whenever it stands still or goes forward. But balancing itself is not an easy matter and there are many researches and experiments on this issue. When researchers test theories on 2-wheeled mobile robots to improve its self balancing performance, they should consider how to design hardwares of that mobile robot. No matter how great those new theories are, if a testbed for those theories is not suitable, performance output would be poor and meaningless. In this point of view, to design a proper 2-wheeled mobile robot as a testbed is a very important issue with development of new theories. So we define 4 guide lines to design segway type mobile robots reasonably; about motor, battery, and MCU selection and shock-proof design with robust motor setting.

Key Words : 이동로봇, 세그웨이, 하드웨어, 설계, Mobile Robot, Segway, Hardware, Design.

1. 서 론

직관적으로 구성하기 간편하고 이동이 용이한 로봇은 바퀴를 이용한 로봇이다. 다양한 형태의 로봇이 바퀴로 이동한다. 대표적인 예가 바퀴 4개 이상을 가진 로봇이다. (그림 1) 이

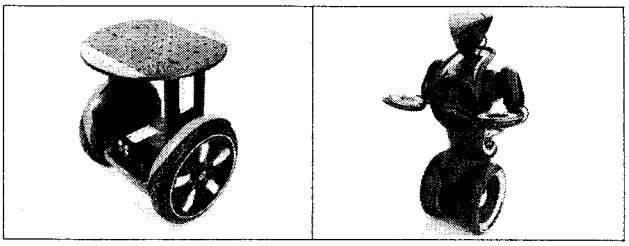


<그림 1> 대표적인 이동로봇 구조. 왼쪽은 화성탐사로봇 Spirit, 오른쪽은 상업용 연구로봇(Pioneer).

러한 구조의 이동로봇은 몸체의 균형과 안정성을 잘 유지할 수 있어 개발한 이론을 비교적 편하게 적용하고 결과를 관찰할 수 있다.

그러나 로봇을 구동하는 바퀴의 수가 많다는 것은 곧 로봇 몸체를 구성하는 하드웨어의 구성요소가 증가한다는 의미가 된다. 증가한 하드웨어 구성요소에 비례하여 로봇을 만드는데 필요한 비용이 같이 증가한다. 또한 하드웨어가 그만큼 복잡해지므로 유지, 보수에 필요한 시간과 노력도 많아지게 된다. [1][2]

2개의 바퀴만으로 구동 가능한 세그웨이형 이동로봇은 기존 이동로봇의 이러한 단점들을 보완할 수 있다. (그림 2) 2



<그림 2> 2개의 바퀴만으로 균형을 유지하면서 이동 가능한 로봇. 왼쪽은 세그웨이 RMP, 오른쪽은 AMPbot.

개의 바퀴만으로 이동이 가능하므로 4개 이상의 바퀴를 사용할 때에 비해 로봇 하드웨어 구성이 단순해진다. 즉, 바퀴의 개수가 줄고, 그에 따라 바퀴 구동을 위한 모터의 개수 역시 줄일 수 있다. 구동해야 할 모터의 개수가 감소하면 이를 제어하기 위한 회로와 부가적인 부품들도 감소한다. 이러한 하드웨어 구성요소의 변화는 곧 로봇 설계비용의 감소로 이어지고 유지, 보수 측면에서도 많은 이점이 있다. [1] 그러나 2륜 이동로봇의 가장 큰 단점은 바퀴가 2개 이므로 로봇이 넘어지지 않고 스스로 균형을 유지하도록 하는데 높은 수준의 이론과 기술이 필요하다는 점이다. 이러한 균형유지 조건의 성능향상을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 새로 개발된 이론들은 실제로 설계된 2륜 로봇에 적용되고 테스트되어 결과를 관찰하게 된다.

이 때 고려해야 할 점이 2륜 이동로봇의 하드웨어 설계 방법이다. 고안한 이론이 아무리 뛰어나다 하더라도 이를 적용하여 테스트하는 하드웨어가 적절치 못하면 정확하고 의미있

저자 소개
* 정 회 원 : 고려대학교 전기전자전파공학과 석사과정
** 정 회 원 : 고려대학교 전기전자전파공학과 정교수

는 결과를 얻기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 2륜 이동로봇의 하드웨어를 설계할 때 고려해야 할 핵심 기준 요소들을 정하고 이를 토대로 합리적으로 로봇을 설계하는 방법에 대해 논한다. 2장에서 모터, 배터리, MCU, 그리고 로봇 외형 및 모터배치에 대해 논하고 3장에서 논문을 결론짓는다.

2. 합리적인 하드웨어 구성 및 설계방법

2륜 이동로봇은 크게 4가지 하드웨어 구성으로 나누어 생각할 수 있다. ① 적절한 토크의 모터, ② 충분한 용량의 배터리, ③ 모터와 주변 장치를 무리없이 제어할 수 있는 MCU, ④ 외형설계 및 모터배치. 실험목적에 적합하게 로봇의 4가지 하드웨어 구성요소들을 설계하면 기본적인 2륜 이동로봇의 뼈대가 완성된다.

2.1 모터

2륜 이동로봇을 비롯하여 모든 이동로봇의 구동부 역할을 하는 모터를 합리적으로 선정하는 과정은 4가지 하드웨어 선정과정 중에서 가장 중요하다. 3가지의 하드웨어가 합리적으로 선정되었다 하더라도 이를 물리적으로 표현할 구동부 모터의 성능이 충분하지 못하면 로봇은 정지시나 이동시 균형을 유지하지 못한다. 로봇의 실험여건에 맞는 합리적인 모터 선정은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. [3]

① 로봇의 전체 중량(Weight), 바퀴 지름(Diameter), 초당 바퀴회전수(Frequency), 가속시간(Time)을 정한다. 이 때 로봇의 전체 중량은 예상 값을 사용하고 이후 모든 하드웨어들이 결정되면 다시 검증과정을 거친다. 초당 바퀴회전수는 1분당 원하는 이동거리를 기준으로 바퀴 지름을 고려하여 산출한다.

② 극관성(또는 부하관성) 모멘트를 계산한다.

$$J = \frac{Weight \times Diameter^2}{8} \tag{1}$$

③ 등속토크를 계산한다. 등속토크란 로봇이 일정한 속도로 이동할 때 필요로 하는 토크를 말한다.

$$T_m = \frac{\mu \times Weight \times Diameter}{4} \tag{2}$$

여기서 μ 는 마찰계수를 뜻한다. 정확한 마찰계수는 보통 알기 어렵고 상황에 따라 다양한 값을 가지게 된다. 계산시 0.1 또는 0.09를 사용한다.

④ 가속토크를 계산한다. 가속토크란 가속시간(Time)동안 로봇이 원하는 등속도를 달성하는데 요구되는 토크를 말한다.

$$T_a = \frac{J}{g} \times \frac{2\pi \times Frequency}{Time} + T_m \tag{3}$$

여기서 g 는 중력가속도를 뜻한다.

⑤ 도출된 등속토크 T_m 와 가속토크 T_a 는 순수하게 이론적인 값으로 다양한 기계적 요소를 고려하지 않은 상태에서 얻어진 값이다. 그러므로 안전계수를 곱하여 필요로 하는 토크에 여유를 둔다.

$$\begin{aligned} T_a &= T_a \times 1.5 \\ T_m &= T_m \times 1.5 \end{aligned} \tag{4}$$

⑥ 최종적으로 계산된 토크 중 큰 값을 가지는 토크 T_a 와 원하는 분당 바퀴회전수(RPM)를 만족하는 성능의 모터를 선택한다. 이 때 대부분의 모터는 높은 회전수와 낮은 토크 특성을 가지므로 감속기를 사용하여 도출된 토크와 원하는 분당 바퀴회전수를 맞춘다. 즉 감속기를 사용하면 감속비에 비례하여 출력단의 회전수는 낮아지고 토크는 높아진다. 감속기는 기어의 조합으로 구성되며 이 때 기어 간 마찰로 에너지손실이 발생한다. 이러한 에너지 손실은 곧 모터의 토크를 필요로 하므로 실제 출력단의 토크는 감속기를 거친 토크의 50~60% 로 책정한다.

$$\begin{aligned} &T \times \text{감속비 역수} \times (50 \sim 60\%) \\ &= \text{모터에서 감속기를 거친 최종 토크} \end{aligned} \tag{5}$$

그러므로 최종 토크가 T_a와 일치하는 토크 T를 가지는 모터를 선정한다.

2.2 배터리

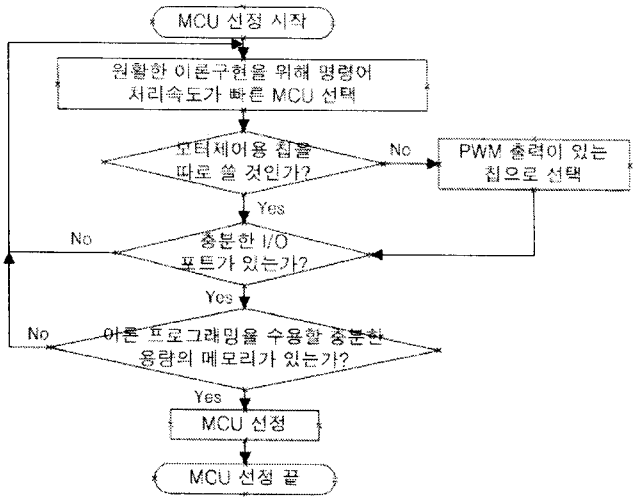
모터가 선정되면 모터, MCU 및 회로에 전원을 공급할 배터리를 선정할 수 있다. 적정 전압으로 일정하게 충분한 전류를 공급해주지 못하면 모터와 회로가 정상적으로 기능을 하지 못하므로 배터리 선정은 중요하다. 선정된 모터로부터 모터가 요구하는 전압과 정격 부하 시 소모하는 전류의 양을 알 수 있다. 이를 기준으로 배터리를 선정한다. 대부분의 MCU와 회로 소자들은 5V 내외의 전압을 필요로 한다. 모터가 필요로 하는 전압과 회로에 공급해줘야 하는 전압을 비교하여 더 높은 전압을 배터리 전압으로 정한다.

전압값 결정 후 전류값을 도출한다. 2개의 모터에서 각각 소모하는 전류량에 MCU와 회로에서 소모하는 전류량를 추산하여 총 필요로 하는 전류값을 예상한다. 이 때 로봇이 정지해있는 상태에서 처음 출발할 때와 가속할 때 필요로 하는 전류는 모터 정격 부하 시 필요로 하는 전류의 수배~십수배에 달한다. 그러므로 모터의 경우 정격 전류값의 5~10배가 되는 전류값을 추산하도록 한다. 추산된 전류를 충분히 공급해 줄 수 있는 배터리를 선정해야 로봇이 최초 기동시 원활하게 출발 후 가속하여 등속운동을 할 수 있다.

그러나 실제 배터리 중에는 도출된 수십A의 전류를 만족하는 경우가 없다. 보통 배터리의 고용량 전류 단위는 5000mAh 전후가 대부분이다. mAh는 배터리 전류용량의 단위로 mA로 배터리 전류를 사용할 경우 1시간까지 전류를 일정한 수치로 공급할 수 있다는 뜻이다. 5A로는 수십A를 얻을 수 없다. 이 때 배터리의 방전율 C를 고려한다. mA에 방전율 C를 곱한 값이 배터리가 로봇에 제공해 줄 수 있는 최대 전류가 된다. 대신 전류 공급시간은 C에 비례하여 감소하게 된다.

2.3 MCU

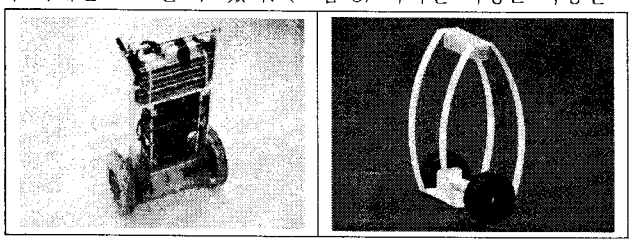
구현하고자 하는 로봇의 기능과 부가적인 장치들을 무리없이 구동하기 위해서는 그에 적합한 MCU를 선정해야 한다. 즉 올바른 MCU를 선정하기 위해서는 개발하고자 하는 로봇의 성능과 기능을 설계자가 잘 알고 있어야 한다. 그래야 해당하는 기능을 구현하기위해 요구되는 MCU의 특성이 무엇인지 알고 이로부터 선정기준을 세울 수 있다. [4] 요구되는 MCU의 특성이 정해지면 다음 순서도를 따라 올바른 MCU를 선정할 수 있다. [5]



순서도에서 언급한 MCU의 빠른 명령어 처리속도는 클럭과 MIPS, 데이터버스의 크기로 가늠할 수 있다. MIPS는 한 클럭 당 연산처리 개수를 나타내는 단위다. MIPS가 높으면서 클럭수가 높으면 더 빠른 연산성능을 보인다. 데이터버스의 크기는 데이터를 한 번에 읽고 쓸 수 있는 크기를 나타내는 것으로 MCU의 성능과 직결된다. 같은 클럭이라도 16비트의 데이터버스를 갖는 MCU가 한 번에 읽고 처리하는 데이터를 8비트의 데이터버스를 갖는 MCU는 두 번에 걸쳐 읽고 처리하게 된다. [4]

2.4 외형설계 및 모터배치

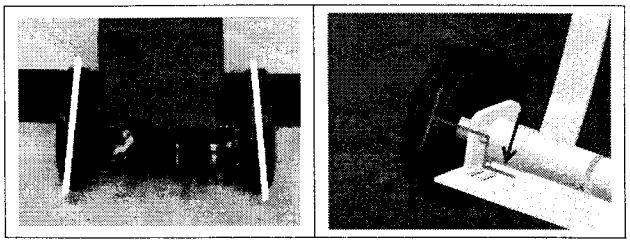
기존의 이동로봇과는 달리 2륜 이동로봇은 실험 중 몸체의 쓰러짐 현상이 필연적으로 동반된다. 이 때 몸체가 쓰러져 바닥과 충돌시 가해지는 충격은 로봇 몸체와 여러 민감한 하드웨어에 손상을 줄 수 있다. 또 정밀한 회로에 충격이 가해져 기능을 상실하게 될 수 있다. 이러한 쓰러짐에 대한 대비로 이동로봇의 외형을 타원형으로 설계하면 바닥과 충돌시 충격을 완화할 수 있고 하드웨어와 회로를 충격 손상으로부터 최대한 보호할 수 있다. (그림 3) 이러한 외형은 다양한



<그림 3> 왼쪽 2륜 로봇의 경우 바닥에 쓰러지면 하드웨어와 회로 전체가 심각한 손상을 받을 수 있다. [6] 반면 오른쪽 로봇은 쓰러져도 충격을 완화할 수 있다.

3D CAD 프로그램으로 설계 가능하다.

외형 설계와 함께 모터를 로봇의 몸체에 정확한 방향과 위치로 고정하는 것도 중요하다. MCU에서 연산을 거쳐 최종적으로 결과를 반영하고 외부로 나타내는 곳이 모터와 바퀴다. 이 때 모터가 몸체에 수평으로 고정되어 있지 않으면 결과적으로 2개의 바퀴는 서로 평행하지 않게 되고 지면에 수직이 아니게 된다. 이러한 상태에서는 연산결과를 정밀하게 로봇에 반영할 수 없고 정확한 실험결과를 얻을 수 없다. 모터를 몸체에 수평하게 고정하고 바퀴가 지면에 수직이 되도록 하는 방법에는 기구학적 관점에서 여러 가지가 있다. 여기서는 그 중 가능한 하나의 방법을 제시한다. (그림 4)



<그림 4> 왼쪽 로봇은 바퀴가 지면과 수직하지 않아 모터로부터 오는 정밀한 제어를 정확히 반영하기 어렵다. [7] 오른쪽에 이러한 문제를 해결할 수 있는 가능한 대안 중 하나의 방법을 제시하였다.

3. 결 론

2륜 이동로봇은 기존의 이동로봇에 비해 하드웨어 구성과 유지, 보수 측면에서 유리한 조건이 많다. 그러나 이러한 유리한 조건들은 2륜 이동로봇이 스스로 안정적으로 균형을 유지할 수 있을 때 얻어진다. 이에 최근 들어 정지시와 주행시 로봇이 안정적으로 균형을 유지하도록 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 다양한 이론들이 제안되고 실제로 실험되고 있는 반면 이론을 적용할 테스트베드에 대한 정교한 작업은 거의 이루어지지 않고 있다. 제안한 이론이 뛰어나더라도 이를 적용하는 하드웨어가 적절치 못하면 정확하고 의미있는 실험결과를 얻을 수 없다.

본 논문에서는 2륜 이동로봇의 하드웨어를 합리적으로 설계할 수 있는 4가지 기준을 제시하였다. 로봇 성능의 핵심이 되는 모터, 모터와 MCU 및 주변 회로에 충분한 전압과 전류를 공급할 수 있는 배터리, 구현할 이론과 주변장치들을 무리없이 구동시킬 수 있는 능력의 MCU, 그리고 마지막으로 소홀하기 쉬운 로봇 외형 설계와 모터 배치시 고려해야 할 점들에 대해 논하고 기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Hoa G. Nguyen, John Morrell, Katherine Mullens, Aaron Burmeister, Susan Miles, Nathan Farrington, Kari Thomas, and Douglas W. Gagee, "Segway Robotic Mobility Platform", SPIE Proc. 5609: Mobile Robots XVII, Philadelphia, PA, October 27-28, 2004.

[2] Dole, U., Beatty, S., Jamshidi, M., "Modified Hardware Design for Cooperative Mobile Robots", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, vol. 4, pp. 3358-3363, October 5-8 2003.

[3] Maxon Catalogue, 1999

[4] 이재완, "내게 꼭 맞는 임베디드 프로세서 고르기", 마이크로소프트웨어, 2003. 5.

[5] 김종환, "로봇 축구 시스템", 2000.

[6] http://up-e.tistory.com/375

[7] 김광일, 김봉석, 김영환, 박기남, 이승진, 정희욱, 진봉승, "DSP를 이용한 Two-Wheel Balancing System의 제작 및 제어", 창원대학교 제어계측공학과 학사학위논문, 2007.