

이동 로봇의 설계와 생산

*오 세훈

한국기계연구원로봇공학실

Design and Manufacturing of a Mobile Robot

Se-hoon Oh

KIMM Robotics Lab.

ABSTRACT

The mobile robot may be composed of a robot and an AGV. In this paper, the dynamics of a robot part, such as reaction forces or required torques, are studied with assumption of the AGV in motion. These forces of a mobile robot are different from those of an industrial robot. A new robot is designed and manufactured for the mobile robot.

1. 서론

최근 생산성 향상을 위하여 추진되는 생산공정의 자동화에 있어서, 물류 흐름의 자동화는 가공공정 및 생산관리 시스템의 자동화와 함께 큰 비중을 차지한다. 그러나 컨베이어, 벨트, 로울러 등의 기존 이송 수단이나, 고정궤도를 주행하는 무인반송 시스템(AGV)등은 설치비용이나 유연성 그리고 장애물 회피 등에 큰 제약이 따르게 된다.

이동형 지능 로봇트는 이러한 한계점을 극복하고, Transportation과 Material Handling기능을 갖춤으로써 유연성 확보가 가능하다. 따라서 이러한 로봇트를 개발하기 위해서는 AGV와 Robot의 동역학을 해석하여야만 한다. 본고에서는 AGV가 운동 중에 있을때 로봇트에 걸리는 반력과 필요 토크를 구하는 방법과 AGV구동에 필요한 토크를 구하는 방법을 소개하였다. 이동형 로봇트의 설계에서 로봇트 부의 역할은 주로 물체의 핸들링에 있다고 가정하였으며 이를 위해서 사람의 팔 운동에서 아이디어를 얻어서 설계 하였다. 즉 사람이 물체를 다룰때 앉은 자세에서 상체(로봇트 본체)는 상하운동을 하지 않고 팔의 상반부를 위 아래로 움직여 상하운동을 얻는다.

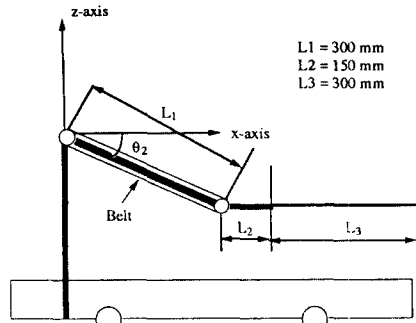


그림 A

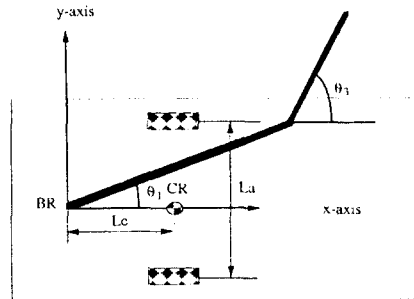


그림 B

그림 1. 이동로봇트의 조립도면

그림 1. A 에서 알수 있는 것과 같이 Arm-1 이 회전운동을 할때 Arm 내부에들어있는 벨트에 의하여 Arm-2를 수평으로 유지하게 되는 것이다. 그림 1. B에 나타낸 모델을 가지고 Kinematics와 Dynamics를 전개해 나갔다. 물론 다른 모델에도 적용이 가능하리라 사료된다.

2. Kinematics

이동 로봇은 위치선택에서 Redundant가 되므로 먼저 AGV가 목표위치를 결정하고난 다음으로 보트에 의해 최종위치를 결정하는 것으로 한다. 로봇의 기구학적 모델링에 Denavit - Hartenberg를 사용할수 있지만 오히려 더욱 복잡해지고, 기구학적 관계를 직감적으로 인식할수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 기하학적 모델링을 통하여 Inverse Kinematics와 Kinematics를 구하겠다.

2-1 AGV의 Kinematics

먼저 AGV의 기구학적 관계를 구해보자. 이동로봇의 회전중심 CR(Centre of Rotation)을 몸체중심으로 가정하고 이의 궤적을 생각하자. 이동로봇의 이동궤적은 바퀴의 속도 및 가속도 향으로 주어지며 이값에 따라 로봇도 AGV의 가속계에 들어가게 된다. 먼저 AGV의 운동에 따른 로봇지지부 RB (Robot Base)의 Kinematics를 구해보자. 좌우구동 바퀴의 각속도를 $\dot{\theta}_{a1}$, $\dot{\theta}_{a2}$ 와 이동로봇 몸체중심 V_{cr} 의 속도 관계는 다음과 같다.

$$V_{cr} = \frac{R}{2} (\dot{\theta}_{a1} + \dot{\theta}_{a2}) \hat{i} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega_{cr} = \frac{R}{L_a} (\dot{\theta}_{a2} - \dot{\theta}_{a1}) \hat{k} \quad \dots\dots\dots (2)$$

가속도와 각가속도와의 관계는 다음과 같다.

$$a_{cr} = \frac{R}{2} (\ddot{\theta}_{a2} + \ddot{\theta}_{a1}) \hat{i} + \frac{1}{2} \left(\frac{R^2}{L_a} (\ddot{\theta}_{a2}^2 - \ddot{\theta}_{a1}^2) \right) \hat{j} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{R}{L_a} (\ddot{\theta}_{a2} - \ddot{\theta}_{a1}) \hat{k} \quad \dots\dots\dots (4)$$

로봇베이스에서의 속도와 각가속도는

$$V_{rb} = \frac{R}{2} (\dot{\theta}_{a1} + \dot{\theta}_{a2}) \hat{i} - \frac{RL_c}{L_a} (\dot{\theta}_{a2} - \dot{\theta}_{a1}) \hat{j} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$a_{rb} = \frac{R}{2} (\ddot{\theta}_{a2} + \ddot{\theta}_{a1}) \hat{i} + \frac{1}{2} \left(\frac{R^2}{L_a} (\ddot{\theta}_{a2}^2 - \ddot{\theta}_{a1}^2) \right) \hat{j} - \frac{RL_c}{L_a} (\ddot{\theta}_{a2} - \ddot{\theta}_{a1}) \hat{j} \quad \dots\dots\dots (6)$$

역기구학(Inverse Kinematics)은 식 (1)-(4)를 이용하면 쉽게 구할수 있을 것이다.

2-2 Robot Kinematics

AGV에 대한 상대적 위치로 그림1.B과같이 주어 진 경우를 고려하자. 그림1.B로 부터 관절의 회전각과 직교좌표계와의 관계는 기하학적으로 부터 다음과 같이 유도될수가 있다.

$$\begin{aligned} X_a &= (L_1 \cos\theta_2 + L_2) \cos\theta_1 + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ Y_a &= (L_1 \cos\theta_2 + L_2) \sin\theta_1 + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_3) \\ Z_a &= L_1 \sin\theta_2 \end{aligned} \quad \dots(7)$$

여기서 첨자 a는 AGV에 대한 상대적 위치를 의미한다.

Inverse Kirematics는 다음과 같이 주어질 것이다.

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{Z_a}{L_1} \right)$$

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{X_a^2 + Y_a^2 - L_a^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \right)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{Y_a}{X_a} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{L_2 \sin\theta_2}{L_a + L_2 \cos\theta_2} \right)$$

여기서 $L_a = L_1 \cos\theta_2 + L_2$ 이다. θ_3 에는 2개의 값이 주어진다. 즉 "elbow-down"과 "elbow-up"의 형태가 존재한다. 이는 로봇트부에 장애물이 어느쪽에 존재하느냐에 따라 결정하면 될것이다.

3. Dynamics 해석

이동로봇은 무인반송시스템과 로봇트로 구성 되어 있으므로 동역학적 해석이 용이하지 않다. 본고에서는 자유물체도를 이용해서 이동로봇에 작용하는 힘을 나타내었다. 이방법을 이용하여 각조인트에 걸리는 반력과 구동토크를 구할수 있을 것이다. 그림 2은 이동로봇의 자유물체도이며 무인반송시스템의 질량 중심은 CR에 위치한 것으로 가정하였다.

4 Motion 제어기설계

이동형 로봇트는 이송부와 관절부로 구성된다. 제어기는 두개로 나누어서 바퀴와 각종 장애물 또한 궤적을 찾는 제어부와 로봇트만을 제어하는 부로 나누었다. 주 제어기로는 IBM PC를 사용하고 여기에 로봇트 구동 actuator의 각축위치 제어 장치는 HCTL-1100를 사용하려한다.

HCTL-1100는 PWM 제어 PORT가 있어 DC Motor를 쉽게 제어할 수가 있다. 1-2축은 바퀴를 제어하고 3-6축은 로봇트를 제어한다.

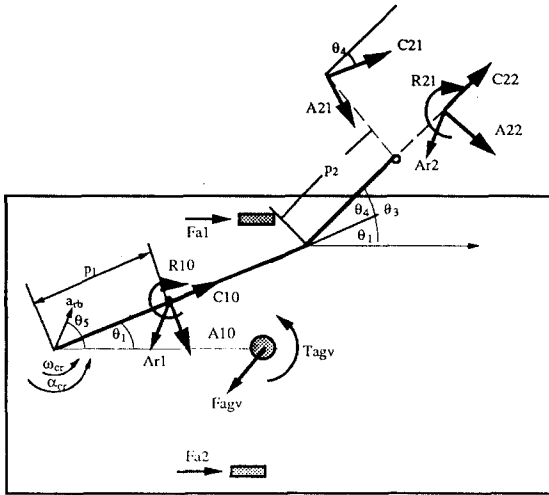


그림 2. Free Body Diagram of a mobile Robot

$F_{agv} = m_a a_{cr}$	$T_{agv} = I_a \alpha_{cr}$
$A_{r1} = m_1 a_{rb}$	$A_{r2} = m_2 a_{rb}$
$R_{10} = I_1 (\ddot{\theta}_1 + \alpha_{cr})$	$A_{10} = m_1 p_1 (\ddot{\theta}_1 + \alpha_{cr})$
$C_{10} = m_1 p_1 (\dot{\theta}_1 + \omega_{cr})^2$	$R_{21} = I_2 (\ddot{\theta}_3 + \alpha_{cr})$
$A_{21} = m_2 L_a (\ddot{\theta}_1 + \alpha_{cr})$	$C_{21} = m_2 L_a (\dot{\theta}_1 + \omega_{cr})^2$
$C_{22} = m_2 p_2 (\dot{\theta}_3 + \omega_{cr})^2$	$A_{22} = m_2 p_2 (\dot{\theta}_3 + \alpha_{cr})$

여기서

- P_i : Distance from joint to gravity center
- I_i : Inertia moment of link i
- m_i : mass of link i
- L_i : length of link i
- T_i : Input torque of joint i
- m_a : Mass of AGV.
- I_a : Inertia moment of AGV
- $L_a = L_1 \cos \theta_2 + L_2$

각부재에 걸리는 힘은 각각의 부재에 대한 자유물체도를 이용하여 구할 수 있으며, AGV 바퀴의 구동에 필요한 힘도 그림 2로부터 구할 수 있다. 본고에서는 상세한 과정은 생략하였다.

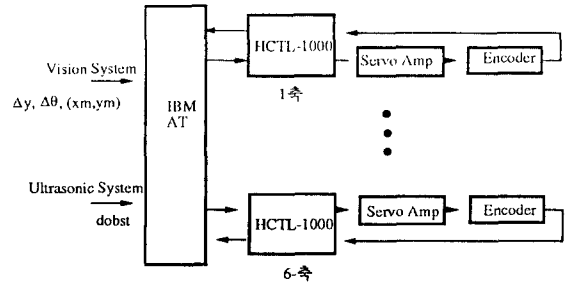


그림 3. 이동로봇트의 운동제어시스템

주 제어기로서 범용의 PC를 사용한 이유는 Main Hardware 개발에 따르는 Load를 줄이고 제작된 제품을 사용함으로써 동작 안정성을 확보할 수 있으며, 기존 시스템의 O/S와 각종 UTILITY SOFTWARE를 사용하여 다른 개발 장비 없이 새로운 소프트웨어 개발과 확장이 용이하기 때문이다. 구동부는 각축에 각각의 제어 CPU가 할당되어 있기 때문에 PC의 부담을 줄이며 그 시간 동안에 PC는 직선 보간 또는 원호 보간 등을 수행할 수가 있게된다. 그림 4는 위치제어 Block Diagram를 나타낸다.

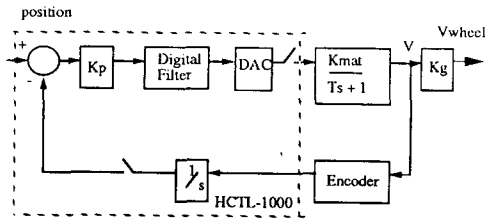


그림 4. The Block Diagram of the position servo.

General Motion controller는 다음과 같이 여러가지 제어 기능을 가지고 있다.

1. Position control
2. Proportional velocity control
3. Trapezoidal Profile control
4. Integral velocity control (Linear Acceleration)

여기서 Position control 은 Point to Point 궤적제어를 의미한다. 위의 제어 모드는 프로그램에 의하여 선택 할 수가 있게된다.

5. 결론

이송수단으로서 뛰어난 적응성, 유연성, 주행능력을 가지는 이동로봇의 산업적 실용화에 필요한 제반기술의 개발에는 여러가지 연구가 행해져야 할것이나 본고에서는 이동로봇의 경량화를 위한 방편으로 동역학을 부분적으로나마 해결을 하였고 로봇트부를 설계 제작하였다.

참고문헌

- [1] 이동형지능로봇 개발 (1991.12)
한국기계연구원
- [2] 이학영 " 이동로봇의 동특성을 고려한 절대 위치추정에 관한 연구 " (1991) 한국과학기술원 PP 11-18
- [3] S. Mohammed, " Position and Force control of Direct drive Robot arms " Ph. D. Thesis 1987 Imperial College.
- [4] A. Sen, " A study of free ranging Automated Guided Vehicle Systems " Ph. D. Thesis 1987 Imperial College.
- [5] K. S. Fu, R.C. Gonzalez and C.S.G. Lee, Robotics control, sensing, vision, and intelligence Macgraw-Hill, 1987. pp82-143
- [6] C.S.G. Lee, P. R. Chang " efficient Parallel Algorithm for robot inverse Dynamics computation IEEE TSMC vol 16 no. 4 1986
- [7] C. H. Suh, and C. W. Radcliffe, Kinematics & Mechanism Design 1978, John Wiley & Sons. pp4-14