

가상의 힘 정보를 이용한 이동로봇의 적응임피던스 제어

임재남, 김일명, 윤경식, 진태석, 이장명
부산대학교 공과대학 전자공학과
전화 : 051-510-1696 / 핸드폰 : 016-881-9891

Adaptive Impedance Control for Mobile Robot Using Virtual Force

Jae Nam Lim, Yil Myung Kim, Kyoung Sik Yun, Tae Seok Jin and Jang Myung Lee
Department of Electronics Engineering, Pusan National University
E-mail : lim7474@pusan.ac.kr

Abstract

본 논문은 고정 및 이동물체와의 효율적인 충돌회피 알고리즘으로 적응임피던스제어 알고리즘을 제안하였다.

일반적인 충돌회피 알고리즘은 이동로봇의 동적 특성을 고려하지 않고 최적의 경로생성에만 관심을 둬서 실제 이동로봇이 추종하기 어려운 경로를 생성하기 쉽다. 그러므로 이동로봇의 동적 특성을 고려한 충돌회피 알고리즘을 위해, 이동로봇과 장애물과의 상호작용관계를 가상의 힘으로 정의한 임피던스제어 알고리즘을 사용하였다. 하지만 이런 단순 임피던스제어 알고리즘만으로는 갑작스런 장애물의 출현 시 이동로봇의 속도가 증가하고 장애물이 사라지면 속도가 감소하는 비효율적인 속도제어라는 문제점을 가지고 있다. 그러므로 충돌가능성에 따른 새로운 속도제어 방식을 고려한 적응임피던스제어 알고리즘을 제안하고 검증하고자 한다.

1. 서론

이동로봇에 있어서 목표지점을 향한 정확한 주행능력과 주행시 실시간 장애물회피는 주요한 문제다. 그 동안 발표된 이동로봇의 경로계획에 관한 연구들은 대부분 고정된 장애물을 회피하는데 관심을 두었다.

WFM(Wall Following Method)[1]은 미리 정해진 간격으로 벽면을 따라 주행하는 방법이다. 만일 주행중 장애물을 만나면 이 장애물을 다른 벽으로 간주하고 기준 경로를 찾을 때까지 계속해서 우회해간다. 이는 건물 내 복도와 같은 특수한 환경 내에서만 적합하다.

PFM(Potential Field Method)[2]는 이동로봇과 목표지

점간에는 인력이 작용하고, 주행시 만나는 장애물과는 척력이 작용한다고 생각하는 방법이다. 이 방법은 가까이 있는 장애물에 대해 빠르게 경로계획을 할 수 있다.

하지만 이 방법은 장애물이 밀집해 있는 경우 이동로봇이 주행을 못하는 경우가 생긴다. 또 기존의 충돌회피 경로계획 방법들은 대개 계획의 최적성에 초점이 맞추어져 있으므로 계획계획과 계획된 계획에 시간정보를 설정하는 시간계획이 서로 분리되어 이루어진다.

이처럼 기존의 경로계획 알고리즘은 이동로봇의 동특성을 고려하지 않고 경로의 최적성만을 계획하므로 실제 이동로봇이 추종하기 어려운 경로가 생성될 수 있다.

그러므로 경로를 쉽게 추종하기 위해서는 이동로봇의 동특성을 고려한 알고리즘이 필요하다. 이를 위해 경로계획에 임피던스제어 알고리즘을 사용하였다. 임피던스제어란 불확실한 환경과 로봇과의 상호작용을 임피던스로 모델링하여 피드백되는 힘에 의해 위치를 조정하며 일정한 힘을 유지해 나가는 알고리즘이다[3]. 하지만 경로계획에 임피던스제어 알고리즘을 사용할 경우 이동장애물의 출현시 비정상적인 속도증가로 충돌회피 알고리즘으로 적합하지 못하다. 그러므로 이를 보완하기 위해 장애물과 이동로봇의 충돌가능성에 따라 적절한 속도제어가 가능한 적응임피던스제어 알고리즘을 사용하였다.

본 논문의 구성은 먼저 2절에서 우리가 사용하게 될 이동로봇의 구조에 대해서 설명하고, 3절에서는 이동로봇의 동특성을 고려한 임피던스제어 알고리즘에 대해서 설명하고, 4절에서 시뮬레이션을 통해 이를 확인한다. 그리고 5절에서는 임피던스제어 알고리즘의 문제점과 이를 보완하기 위한 적응임피던스 알고리즘에 대해 설

명하고, 6절에서 이를 시뮬레이션을 통해 검증하고, 마지막으로 7절에서 결론을 맺으려 한다.

II. 이동로봇의 구조

로봇의 이동부는 Wheeled Vehicle 구조로 설계된 2구동륜의 차동속도에 의해 진행방향 속도와 회전각속도가 제어된다. 그리고 로봇의 방향은 회전각속도를 적분한 값으로 식(1)의 형태로 구한다.

$$\theta[n] = K \sum_{k=b}^n \left(\frac{1}{m} \sum_{i=n-m}^n (V[i] - offset) \right) \Delta t \quad (1)$$

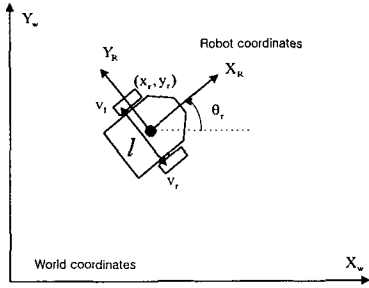


그림1. 이동로봇 모델

$$u = \frac{1}{2}(v_R + v_L), \quad \theta = \frac{1}{L}(v_R - v_L) \quad (2)$$

이동로봇의 운동을 해석하기 위하여 그림1과 같이 좌표계를 설정하고 2차원 평면으로 구성된 전역좌표계에서 이동로봇의 상태를 위치와 방향을 갖는 벡터 $p = [x \ y \ \theta]$ 로 표현한다. 일반적으로 이동로봇의 운동은 두 제어입력인 선형속도 u 와 각속도 w 에 의해 제어되는 시스템으로 모델링된다[4].

III. 임피던스제어 알고리즘

장애물과 이동로봇과의 상호작용을 가상의 힘으로 정의하고, 이동로봇 경로상의 각각의 지점을 서로 스프링과 댐퍼로 연결된 임피던스관계로 모델링한다[5]. 이렇게 모델링된 시스템상에서 이동로봇의 운동방정식은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} & \ddot{p}_i(t) + \frac{d}{m} \dot{p}_i(t) + \frac{k}{m} p_i(t) \\ &= \frac{d}{m} (\dot{p}_{i+1}(t) + \dot{p}_{i-1}(t)) \\ &+ \frac{k}{m} (p_{i+1}(t) + p_{i-1}(t)) + \frac{1}{m} f_i(t) \end{aligned} \quad (3)$$

($1 \leq i < n$)

단, $\dot{p}_0 = \dot{p}_n = 0, \quad \ddot{p}_n = \ddot{p}_0 = 0$

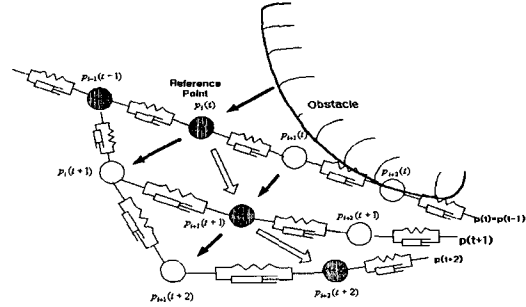


그림2. 임피던스 모델링에 의한 경로계획

여기서 m, d, k 는 각각 이동로봇의 질량, 댐핑계수, 탄성계수를 나타낸다.

그림2에서처럼 시간 $t-1$ 에서는 장애물이 관측되지 않으므로 기준경로 $p(t-1)$ 는 변하지 않는다. 하지만 시간 t 에서 이동로봇의 기준경로 $p(t)$ 는 이동로봇의 현재 위치 $p_i(t)$ 에서 장애물에 의한 가상의 힘 $f_i(t)$ 가 작용하므로 식(3)에 의해

$$p_i(t) \rightarrow p_i(t+1), \quad p_{i+1}(t) \rightarrow p_{i+1}(t+1), \dots,$$

$$p_n(t) \rightarrow p_n(t+1).$$

로 이동하여 현재 이동로봇의 동적 특성을 고려한 새로운 경로 $p(t+1)$ 을 생성하게 된다. 즉, 이동로봇은 현재 위치 $p_i(t)$ 에서 새로운 경로 $p(t+1)$ 을 추종하기 위해 시간 $t+1$ 에서는 $p_{i+1}(t+1)$ 로 움직여야 한다. 즉 이때 이동로봇의 진행방향속도와 회전각속도는 다음 식(4)와 식(5)과 같다.

$$u = \frac{d}{dt} |p_{i+1}(t+1) - p_i(t)| \quad (4)$$

$$w = \frac{d}{dt} \angle(p_{i+1}(t+1) - p_i(t)) \quad (5)$$

그러므로 식(2)에 의해 이동로봇의 제어입력 v_R, v_L 을 구할 수 있다.

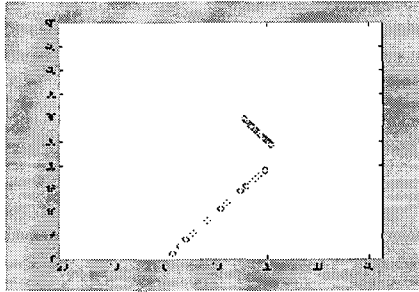
이런식으로 이동로봇은 현위치에서 장애물의 정보를 실시간으로 측정하여 그에 따른 새로운 기준경로를 생성하며 장애물을 회피해 간다.

IV. 임피던스 알고리즘을 이용한 충돌회피 시뮬레이션

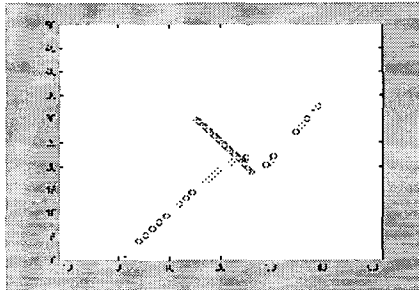
일반적인 고정장애물의 경우, 3절에서 설명한 임피던

스제어 알고리즘만으로도 장애물을 효과적으로 회피할 수 있다. 하지만 식(3)에서처럼 이동장애물의 경우, 장애물과의 충돌가능성이 커질수록 즉, 측정된 힘 $f_i(t)$ 가 커질수록 \bar{p} 가 증가하여 이동로봇의 속도 $v = [u \ w]^T$ 역시 증가하게 된다. 이것은 장애물이 없을때 ($f_i(t)=0$) 보다 장애물이 관측될수록 이동로봇의 속도는 증가하고 장애물이 사라지면 다시 감소하게 된다. 이처럼 비효율적인 속도제어가 이루어진다.

그림3에서, (a)와같이 이동로봇이 진행하다가 이동장애물에 의해 힘 $f_i(t)$ 가 갑자기 증가하면 (b)에서처럼 경로의 갑작스런 변화가 생기게 되며, 이로 인해 이동로봇의 경로가 진동하는 경우가 발생한다. 또 이런 갑작스런 경로상의 변화를 실제 이동로봇이 추종하지 못할 경우 충돌 할 수도 있다.



(a)



(b)

그림3. 임피던스 알고리즘을 이용한 충돌회피 시뮬레이션

그러므로 좀더 효과적인 충돌회피 알고리즘이 필요하게 되었다.

V. 적응 임피던스제어 알고리즘

효과적인 충돌회피 알고리즘을 위해 힘 $f_i(t)$ 를 다음식 (9)과 같이 정의한다.

$$f_i(t) = \frac{a \ddot{x}_i(t) + \dot{b}_i(t) + c}{x_i(t)^2} \quad (6)$$

여기서 $x_i = p_i - o_i$

p_i 는 이동로봇의 위치이고 o_i 는 장애물의 위치이다. 가까이 있는 이동장애물의 접근속도·가속도, 후퇴속도·가속도에 따른 가상힘의 크기와 멀리있는 이동장애물의 접근속도·가속도, 후퇴속도·가속도에 따른 가상힘의 크기를 서로 다르게 정의 함으로써 장애물의 상황에 따라 적합한 가상힘이 생성되도록 하였다. 물론 4절 그림3의 시뮬레이션에서도 동일한 함수 $f_i(t)$ 를 사용하였다.

그리고 가상힘 $f_i(t)$ 의 크기에 따른 이동로봇의 속도 v 를 식(7)과같이 정의하였다.

$$v(t) = \frac{v_{\max}}{|f_i(t)| + 1} \quad (7)$$

여기서 v_{\max} 는 장애물이 관측되지 않을때 이동로봇의 정상속도이다.

즉 가상의 힘 $f_i(t)$ 이 커질수록 장애물과의 충돌가능성은 커지므로 속도를 줄여 정밀한 제어를 가능하게 한다.

하지만 위와 같은 방법은 식(3)에서 구한 경로계획과 분리된 속도계획을 가지게 된다.

그러므로 하나의 통합된 식을 유도하기 위해 식(3)을 식(8)과 같이 수정하였다.

$$\begin{aligned} \ddot{p}_i(t) + 2\frac{d}{m} \dot{p}_i(t) + \frac{k}{m} p_i(t) \\ = \frac{d}{m} (\dot{p}_{i+k}(t) + \dot{p}_{i-k}(t)) + \frac{k}{m} (p_{i+k}(t) + p_{i-k}(t)) + \frac{1}{m} f_i(t) \end{aligned} \quad (8)$$

여기서

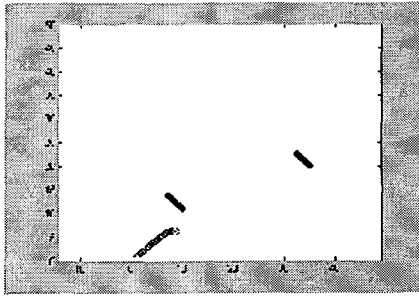
$$k = \text{digit}\left(\frac{v_{\max}}{|f_i(t)| + 1}\right)$$

이다.

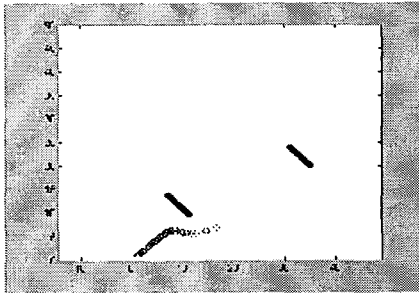
식(8)의 k 는 식(7)의 속도 v 의 정수값이므로 k 값 즉, 다음 참조점까지의 간격을 조정함으로써 속도제어를 가능하게 한다.

VI. 적응임피던스 알고리즘을 이용한 충돌회피 시뮬레이션

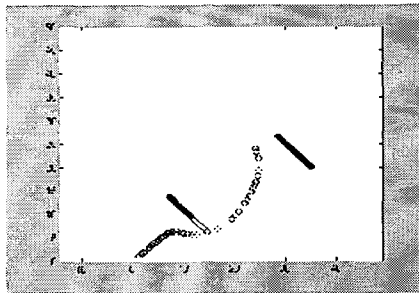
그림4는 이동장애물에 의한 이동로봇의 충돌회피 경로를 보여준다.



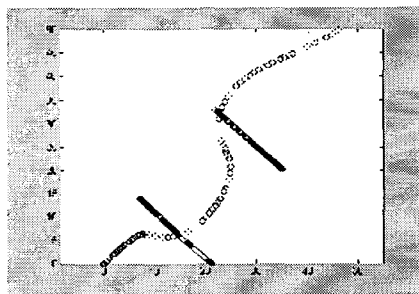
(a)



(b)



(c)



(d)

그림4. 적응임피던스 알고리즘을 이용한 충돌회피 시뮬레이션 결과

(a)에서 이동로봇은 1차 장애물을 관측하고 속도를 줄여 정밀제어를 하게 된다. 그리고 (b)에서 장애물을 회

피하고 (c)에서 2차장애물이 관측되면 다시 속도를 감속하며 정밀제어를 한다. 그리고 (d)처럼 장애물을 회피하며 원래의 정상속도로 돌아가게 된다.

이처럼 충돌가능성이 커질수록 이동로봇은 속도를 줄여 정밀제어를 함으로써 충돌을 회피하고 충돌가능성이 작아지면 다시 원래의 장애물이 없을때의 정상속도로 돌아오는 효과적인 속도제어방식이다.

VII. 결론

일반적인 충돌회피 알고리즘은 이동로봇의 동적 특성을 고려하지 않고 최적의 경로생성에만 관심을 두으로써 실제 이동로봇이 추종하기 어려운 경로를 생성하기 쉽다. 그러므로 3절에서는 이동로봇의 동적 특성을 고려하기 위해 임피던스제어 알고리즘을 사용하였다. 하지만 이런 단순 임피던스제어 알고리즘만으로는 갑작스런 장애물의 출현시 부적합한 속도제어를 하게된다는 것을 4절 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 그러므로 5절에서는 새로운 속도제어 방식을 고려한 적응임피던스제어 알고리즘을 사용하였다.

즉 장애물과의 충돌가능성의 크기에 따라 속도를 제어하는 적응임피던스 알고리즘이 보다 효과적인 충돌회피알고리즘이라는 것을 6절 시뮬레이션을 통해서 확인하였다.

참고문헌

- [1] H. P. Moravec, and A. Elfes, "High Resolution Maps from Wide Angle Sonar", IEEE Conf. on Robotics and Automation, Washington D.C., pp.116-121, 1985.
- [2] O. Khatib, "Real-time Obstacle Avoidance for robot manipulator and mobile robots", The International Journal of Robotics Research, Vol. 5, No. 1 pp. 90-98, 1986.
- [3] N. Hogan, " Impedance Control : An Approach to Manipulation, " IEEE J. Dynamic Systems, Measurement, & Control, 1985, pp, 1-23.
- [4] Yilin. Zhao and Spencer L. BeMent, "Kinematics, Dynamics and Control of Wheeled Mobile Robots," IEEE Conf. Robotics and Automation, pp. 91~96, 5. 1992
- [5] Suck Han Lee, Soo Yeong Yi, Jong Oh Park and Chong Won Lee, "Reference Adaptive Impedance Control and Its Application to Obstacle Avoidance Trajectory Planning," Proc IEEE/RSJ Int. Workshop Intel. Robotics and Systems'97, vol. 2, pp. 1158-1162, 1997