

Unicycle형 이동로봇을 위한 안정된 목표추적 제어기 설계

이성은, 황보명*, 조영조, 유범재, 오상록, 김광배,
한국과학기술연구원(KIST) 지능제어연구센터

A Stable Target-Tracking Control for Unicycle Mobile Robots

Sung-On Lee*, Myung Hwang-Bo, Young-Jo Cho, Bum-Jae Yu, Sang-Rok Oh, Kwang-Bae Kim
† Intelligent Control Research Center, KIST

Abstract - 본 논문은 이동로봇의 목표 추적제어기 설계에 대한 것을 다룬다. 목표 추적이란, 정해진 목표를 이동 로봇이 실시간으로 파악하면서 그 목표를 일정한 거리와 각을 유지하면서 따르는 것을 말한다. 시각 시스템과 이동성을 지닌 이동로봇이 제어기 설계에 기본 가정이 되었다. 우선, 목표 추적을 좀 더 명확히 분류하고 정의한 뒤, 그에 적합한 제어기를 제안한다. 그리고 다양한 시뮬레이션을 통하여 그 유용성을 확인하도록 하였다.

1. 서 론

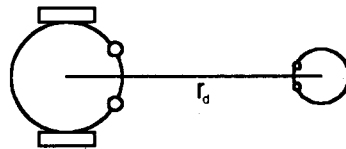
현재 까지 이동로봇에 관한 연구는 매우 다양하게 행하여져 왔다. 지도 생성(Map Building), 위치 파악(Localization), 경로 계획(Path Planning), 경로 추적 제어(Path Tracking Control), 무경로 제어법(Posture Stabilization) 등이 그것들이라고 하였다.

본 논문은 목표 추적제어를 다루고자 한다. 이것은 정해진 목표에 대해서, 경로 계획(Path Planning)을 하고 이를 추적하는 경로 추적 제어기(Path Tracking Controller)를 설계하는 것이다. 그런데, 이렇게 두 작업을 분해하고 나면 문제가 생기게 된다. 왜냐하면, 목표는 정지된 물체가 아닌 자유롭게 이동하는 것으로 가정되었기 때문이다. 물론 이에 맞추어 실시간 경로계획을 실시하면서 추적 알고리즘을 적용하면 그 가능성은 보이나, 이는 경로계획의 비효율성으로 인한 전체적인 알고리즘이 비효율적이 되어버리기 쉽다. 또한, 경로 추적제어기란 이동로봇이 움직이고 있다는 가정하여 만들어져 있기 때문에 목표가 정지하여서 더 이상의 경로가 생성되지 않는다면 이 제어기는 작동하지 않는다. 물론 이 부분도 경로가 끝나는 부분에 대해서 다른 제어방식을 채택하게 하면 문제를 해결할 수 있지만, 이 또한 귀찮은 작업이 아닐 수 없다. 이러한 모든 비효율성과 불편성은 이동 로봇의 비홀로노믹 제약조건에 의한 것으로 본질적인 것이다. 즉, 경로계획 자체도 이로 인하여 일반적인 로봇의 경로 계획보다 복잡하며 경로 추적제어기 또한 위에서 언급한 문제를 지니게 된다. 정리하자면, 위에서 나눈 방식과 같이 목표추적을 두 단계로 나누어서 해결하려고 하면, 비홀로노믹 제약조건으로 인한 문제를 두 번이나 고려해야하기 때문에 문제가 더욱 더 어려워지게 되는 것이다. 따라서 본 논문은 목표 추적 자체

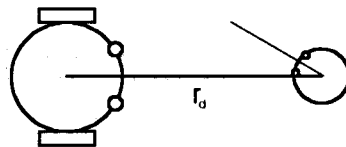
를 하나의 문제로 정의하고 이를 해결하기 위한 제어 알고리즘을 제안하기로 한다. 본론에서는 우선, 목표 추적을 정확히 정의하고 정의된 문제에 부합된 제어기를 설계한다. 그리고 시뮬레이션을 통한 결과를 보이도록 하겠다.

2. 본 론

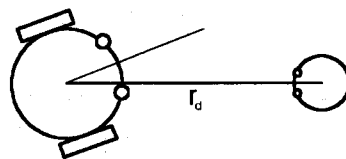
2.1 목표 추적의 분류(Classification of Target-Tracking)



I. Target posture tracking ($r > r_d, \phi \rightarrow 0, \psi \rightarrow 0$)



II. Target semi-posture tracking ($r > r_d, \phi \rightarrow 0$)



III. Target position tracking ($r > r_d, \psi \rightarrow 0$)

그림 1 목표 추적의 분류

유용한 목표 추적 방법은 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다.

- I. Target posture tracking ($r > r_d, \phi \rightarrow 0, \psi \rightarrow 0$)
- II. Target semi-posture tracking ($r > r_d, \phi \rightarrow 0, \psi \rightarrow -x$)
- III. Target position tracking ($r > r_d, \phi \rightarrow -x, \psi \rightarrow 0$)

그림 1 이러한 목표 추적을 구분해 놓은 것이다. 여기서 r 은 로봇과 목표사이의 상대적 거리이고, ϕ 는 로봇

이 물체를 바라보는 각이며, ϕ 는 물체에서 로봇을 바라보는 각이 된다.

첫 번째 것은, 세 가지의 변수를 모두 제어하는 것으로서 이것은 결국 이동로봇의 Posture Stabilization 문제와 같아지게 된다. Posture Stabilization 문제란, 이동로봇이 도달해야 할 목표 지점과 그 지점에서의 이동로봇의 각이 주어지면 제어를 통해서 그러한 목적을 달성하도록 제어하는 것이다. 현재까지 이를 위한 몇몇 제어기들이 제안되었다. 하지만, 이동로봇이 비홀로노믹 제약조건으로 인하여 이러한 목적을 달성하는 제어는 매우 비효율적인 움직임은 보일 수 밖에 없다. 예를 들어 이동로봇의 각은 영으로 둔 채로 목표물이 바퀴의 수직 방향으로 움직인 경우를 생각해 보자. 이동로봇은 바퀴의 수직 방향으로 움직여야 하므로 앞으로 움직이는 불필요한 거동을 해야 한다. 이러한 점은 자동차용 바퀴를 가진 모든 비홀로노믹 물체에서 나타나는 본질적인 문제이다. 이상과 같이 첫 번째 목표는 모든 변수를 제어할 수 있다는 점에서 가장 추구해야 할 것으로 보이나 이동로봇의 비홀로노믹 제약조건으로 인하여 효율적인 제어기 설계에는 한계가 있다.

두 번째 제어는 로봇과 목표 사이의 거리와 로봇이 물체를 바라보는 각을 제어 목적으로 하는 것이다. 목표물을 기준으로 어느 방향에 있도록 하는 것은 제어 대상에서 빠지게 된다. 이렇게 되면, 목표물을 일정한 거리로 두면서 그것을 바라보면서 추적한다는 것으로 보통 우리가 쉽게 생각할 수 있는 목표 추적을 수행하는 것이라고 할 수 있다.

세 번째 경우는, 목표물과의 거리와 목표물을 기준으로 어느 방향에 있어야 하는 것인가를 제어하는 것이다. 여기서는 이동로봇이 목표물을 바라보고 있는 그렇지 않은 상관하지 않게 된다. 다시말해, 목표물로부터 정해지는 상대좌표계내의 한 위치 (x, y) 로 이동로봇을 제어하되 이동로봇의 오리엔테이션은 상관하지 않겠다는 것이다. 언뜻 보면 이것은 목표 추적과 무관해 보일지도 모른다. 하지만, 얼굴 추적과 같은 제어를 생각해 보자, 이동로봇 위에는 간단한 팬 앤 틸트(pan and tilt) 모션을 할 수 있는 비전시스템이 장착되어 있다고 하자. 이렇게 생각하면, 이동로봇은 얼굴을 가장 잘 볼 수 있는 목표의 정면으로 일정한 거리가 떨어지게 제어하면 된다. 그러면, 팬 앤 틸트 모션에 의해서 카메라는 목표를 주시하게 되고 이렇게 하면 이동로봇으로 얼굴 추적을 수행할 수 있게 된다.

두 번째와 세 번째의 제어의 경우, 제어할 목적 변수가 2가지가 되어 제어기 설계가 첫 번째의 것보다 훨씬 쉬워진다. 또한, 실제 응용에 있어서도 언급한 것과 같은 제어를 달성한다면 우리가 일반적으로 생각하는 목표 추적을 이루기에 충분하다고 보인다.

그런데 본 논문에서는 처음 가정과 같이 이동로봇이 목표를 바라보며 일정한 거리를 유지하면서 추적하는 제어인 두 번째 제어를 설계 하도록 하겠다.

2.2 제어기 설계

일반성을 잃지 않는 범위에서 목표물을 원점에서 X축을 바라보고 있다고 가정한다.

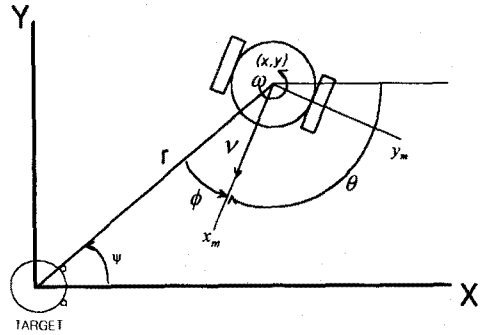


그림 2 각 변수의 정의

잘 알려진 바와 같이 unicycle형 이동로봇의 식은 다음과 같다.

$$\dot{x} = v \cos \theta$$

$$\dot{y} = v \sin \theta$$

$$\dot{\phi} = \omega$$

위의 그림 2와 같이 정의하면 다음과 같은 식을 이동로봇 식으로부터 유도할 수 있다.

$$\dot{x} = -v \cos \phi,$$

$$\dot{\phi} = \omega + \frac{v}{r} \sin \phi$$

여기서 r, ϕ 는 제어할 목적이 된다. 여기서는 모두 0으로 제어하는 제어를 설계하도록 하겠다. 이것은 주시 하다시피 일정한 값으로 수렴하도록 간단히 바뀔 수 있다. 적절한 입력 v, ω 를 다음과 같이 선택하면,

$$v = K_1 \cdot \cos \phi \cdot r$$

$$\omega = -\frac{v}{r} \sin \phi - K_2 \cdot \phi$$

위의 r, ϕ 는 다음과 같은 식으로 유도된다.

$$\dot{x} = -K_1 \cdot \cos^2 \phi \cdot r$$

$$\dot{\phi} = -K_2 \cdot \phi.$$

위의 식은 r, ϕ 가 모두 0으로 점근적으로 (asymptotically) 수렴함을 나타낸다. 물론 $\phi = \pm 90^\circ$ 인 경우에는 r 이 수렴하지 않지만, 우리는 일반적으로 $\phi = 0$ 인 경우로 제어하기에 이것은 문제가 되지 않는다.

2.4 충돌 회피

그림 3은 어떻게 충돌회피를 고려할 것인가를 나타낸다. 그림에서 P는 원래 방해물이 없는 경우 이동로봇이 가 고자 했던 목표점이고 Pm은 방해물로 인해 변경된 목표점을 나타낸다. 이런 변경된 점은 다음과 같이 구해진다.

우선, 현재 로봇의 위치로부터 목표점까지의 벡터를 구한다. 방해물이 발견되면 그 방향의 축 O_t 와 그것의 수직 방향 O_n 축 방향으로 그 벡터를 분리한다. 그 다음 방해물 방향의 성분을 weighting factor를 곱하여 적절한 크기로 줄이거나 없애는 것이다.

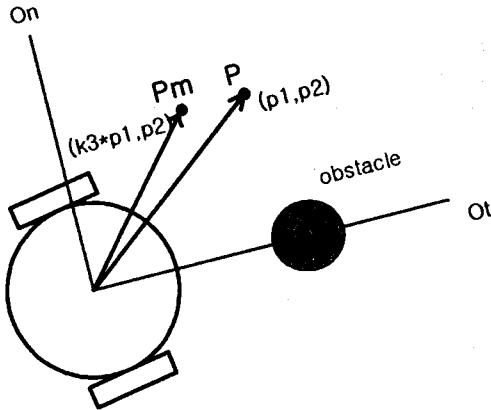


그림 3 충돌 회피를 위한 목표점 이동

$$P_m = (k_3 \cdot p_1, p_2) \quad \text{where, } 0 < k_3 < 1$$

이 방법은 직관적으로 보이나 다양한 시뮬레이션과 실험을 통하여 매우 유용한 것으로 생각된다.

3. Simulations

그림은 제안된 제어를 가지고 시뮬레이션을 한 결과이다. 여기서 목표물은 정지해 있으며 우리의 제어 목적은 이 목표까지의 거리를 t_0 하고 목표물을 바라보도록 제어하는 것이다. 다양한 초기 자세에서 시작하여도 모두 목적에 맞게 제어됨을 볼 수 있다.

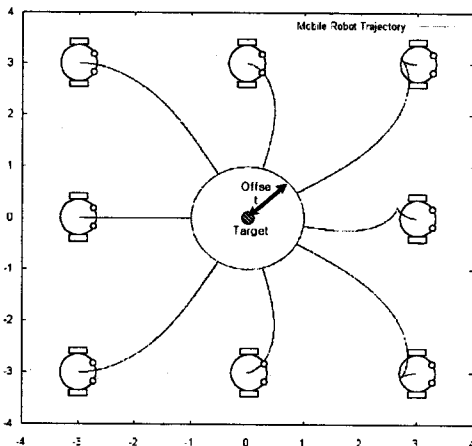


그림 4 정지한 물체의 추적(simulation)

4. 결론

본 논문을 통하여 우리는 첫째로 unicycle 형 이동로봇의 목표 추적을 분류하였으며, 그 중에서 적절한 것을 찾아 그 목적을 만족시키는 제어기를 설계하였다. 제안된 제어기는 비선형 상태 되먹임을 하는 제어기로 점근적 안정성(asymptotically stable characteristics)을 지닌다. 여기에 덧붙여 간략하지만 유용한 충돌회피 알고리즘 역시 추가되었다. 그리고 간단한 시뮬레이션 결과를 보였다. 현재 우리는 이 알고리즘을 실제 이동로봇인 KARA(Kist Autonomous Robot Assistant)에 적용하여 다양한 실험을 하였다. 이를 통하여 제안된 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] C. Samson and K. Ait-Abderrahim, "Feedback control of a nonholonomic wheeled cart in Cartesian space," Proc. of IEEE Int. conf. on Robotics and Automation, pp. 1136-1141, 1991.
- [2] Y. Kanayama, Y. Kimura, F. Miyazaki and T. Noguchi, "A stable tracking control method for an autonomous mobile robot," Proc. of IEEE Int. conf. on Robotics and Automation, pp.384-389, 1990.
- [3] C. Canudas de Wit and O.J. Sordalen, "Exponential stabilization of mobile robots with nonholonomic constraints," IEEE Trans. on Automatic Control, vol.37, no.11, pp.1791-1797, 1992.
- [4] A.M.Bloch and N.H.McClamroch, "Control and stabilization of nonholonomic dynamic systems," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 37, no. 11, pp. 1746-1757, 1992
- [5] Sordalen and C. Canudas de Wit, "Exponential control law for a mobile robot: extension to path following," IEEE Trans. on Robotics and Automation, vol.9, no.6, pp.837-842, 1993.
- [6] C. Samson, "Time-varying feedback stabilization of nonholonomic car-like mobile robots," Int. J. of Robotics Research, vol. 12, no. 1, pp. 55-64, 1993.
- [7] R. M. Murray and S. S. Sastry, "Nonholonomic motion planning: steering using sinusoids," IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 38, no. 5, pp. 700-716, 1993.
- [8] N. Sarkar, X. Yun and V. Kumar, "Control of mechanical systems with rolling constraints : application to dynamic control of mobile robots," Int. J. of Robotics Research, vol.13, no.1, pp.55-69, 1994.
- [9] B. d'Andrea-Novet, G. Campion and G. Bastin, "Control of nonholonomic wheeled mobile robots by state feedback linearization," Int. J. of Robotics Research, vol.14, no.6, pp.543-559, 1995.
- [10] C. C. de Wit, B. Siciliano and G. Bastin(Eds), Theory of Robot Control, Springer, 1996.
- [11] S. Lee, Y. Youm and W. Chung "Control of Car-like Mobile Robots for Posture Stabilization," Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp.1745-1750, 1999.