동역학을 기반으로 한 모바일플랫폼 궤적제어

이민중*, 박진현**, 진태석*, 차경환*, 최영규***
*동서대학교/ **진주산업대학교 / ***부산대학교 전기공학과

Tracking Control for Mobile Platform based on Dynamics

Min-Jung Lee* · Jin-Hyun Park** · Tae-Seok Jin* · Kyung-Hwan Cha* · Young-Kui Choi***
*Dongseo University · **Jinju National University · ***Pusan National University
E-mail : mnjlee@gdsu.dongseo.ac.kr

요 약

일반적으로 이동로봇은 제약조건을 갖는 비선형시스템으로 알려져 있다. 이러한 이동로봇의 궤적제어를 수행하기 위해서 기존의 연구자들은 기구학적인 제어기와 동역학 제어기 2가지 제어기를 동시에 설계하고 있다. 본 논문에서는 수치실험결과 일반적으로 많이 알려져 있는 것과 같이 기구학적 제어기 없이 기존의 PID 제어기를 사용하여도 시스템이 발산되지 않는 다는 것을 알 수 있었다. 그러나 궤적에러는 비선형시스템의 Limit Cycle과 같은 형태의 일정한 위치에러가 발생되었다. 그래서 본 논문에서는 이와 같은 궤적에러를 최소화 할 수 있도록 지능제어기법을 이용한 궤적제어기를 제안하고자 한다. 마지막으로 수치실험을 통한 성능을 평가하고자 한다.

ABSTRACT

The mobile robot is known as a nonlinear system with constraints. The general tracking controller for the mobile platform has been divided into the kinematic and the dynamic controller. The reason of dividing controller is the constraints. We can get some information through some numerical experiments. When the reference linear and angular velocity were given, the stability of mobile robot without the kinematic controller depend on the start point of reference cart. Therefore this paper composed of two controller for solving tracking problem. The main controller is the dynamic controller which used generally such as the PID controller. And this paper adopts the auxiliary controller in order to compensate the difference of initial point between the reference cart and a mobile robot. Finally, the numerical experiment is performed in order to show the validity of our method.

키워드

Mobile robot, Kinematic controller, Dynamic controller, PID control

Ⅰ. 서 론

최근 몇 년동안 국내외 적으로 지능형 로봇에 대한 많은 관심을 보이면서 국가적으로 기술 개발 및 인프라 구축에 많은 지원을 하고 있다.

국내 및 국외 연구자들은 인간에게 서비스를 하기 위한 목적으로 바퀴로 이동하는 형태의 이동형 로봇 및 인간과 같이 2발 또는 4발로 걸을 수 있는 Biped 로봇과 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다.

특히 바퀴로 이동하는 이동형 로봇은 지능형 서비스 로봇영역과 산업용 로봇영역에서도 널리 사용되고 있다.

산업분야에서의 이동로봇은 넓은 범위에서 작업 수행이 가능하므로 공장 설비의 점검 및 수리, 우주에서 의 정보수집, 원자력 시설의 점검 등 인간이 행하기 위험한 작업을 대신할 수 있다는 장점이 있어 산업자동화 분야에서 그 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근에는 건물내의 자동화 서비스를 제공하기 위한 자율이동로봇에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

그리고 지능형 서비스 로봇 분야에서는 청소용 로봇, 안내로봇 및 교육용 로봇 등은 네트워크 기술 및 HRI(Human-Robot-Interaction) 기술을 바탕으로 계속해서 연구가 진행되고 있다[1].

이동로봇의 연구 분야는 주변 상황에 대한 정

보를 센서를 통하여 입력받아 그 정보를 표현하는 정보 획득 방법에 대한 연구, 실제 환경에서 최적의 경로를 생성하여 안정성 및 경제성을 보장하기 위한 경로 생성 방법에 대한 연구, 주어진 경로와 주위 환경 정보를 바탕으로 로봇이 자신의 위치를 파악하고 기준 위치에 도달하기 위한 오차 보상 방법에 관한 연구 및 최근에는 이동 로봇이 스스로 판단하여 경로 생성 및 장애물 회피를 하도록 하기 위한 지능적 이동 로봇에 관한 연구도 활발히 진행 중이다.

이러한 연구 분야 중 기준 궤적에 대한 로봇의 궤적 추종에 대한 제어기 설계분야는 로봇 구동시 가장 기초적인 부분을 담당한다.

이러한 궤적 추종 제어기는 이동 로봇이 가지는 nonholonomic 제한 특성에 기인하여 smooth time-invariant state feedback으로 안정성을 보장받을 수 없기 때문에[2] 안정성 보장에 대한 연구를 중심으로 이루어 졌다.

제어기의 구성은 기구학만을 고려한 nonlinear feedback controller와 동력학을 함께 고려한 제어기, 지능제어 방법을 이용한 제어기 등이 있다 [3]-[7].

이러한 연구들에서 기구학만을 고려한 상태에서 Lyapunov 이론에 근거하여 안정성을 보장한 제어기의 경우 이득 값의 범위만을 한정할 수 있고, 그 이득 값을 찾기 위한 방법이 제시되지 않은 경우가 많으며 하나의 이득 값으로 여러 가지 경로에 대한 최적의 성능과 안정성을 보장하기에는 어려움이 있다.

그래서 대부분의 일반적으로는 이동로봇 궤적 제어기를 구성할 때, 기구학을 고려한 자세제어기와 동역학을 고려한 제어기를 동시에 설계를 하여 기준궤적을 추종하는 것이 대부분이다.

본 논문은 주제어기로 동역학만을 고려한 제어기를 설계하여 기준 선속도 및 각속도를 추종하고, 지능기법을 이용하여 실제 기준 위치와 이동 로봇의 위치를 최소화 할 수 있는 보조제어기를 구성하였다. 그리고 수치실험을 통하여 제어기의 성능을 분석하였다.

II. 모바일 플랫폼 동역학

이동형 모바일 플랫폼에 대한 동역학을 n차원의 Euler-Lagrangian 형태로 표현하면 다음과 같다[8].

$$M(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+F(\dot{q})+G(q)+\tau_d=B(q)\tau-A^T(q)\lambda \quad (1)$$

여기서 $M(q)\in R^{n\times n}$은 대칭이면서 양의 한정 inertia 행렬이고, $C(q,\dot{q})\in R^{n\times n}$은 코리올리 행렬이고, $F(\dot{q})\in R^{n\times 1}$은 표면마찰력을 나타내고, $G(q)\in R^{n\times 1}$은 중력에 영향을 받는 중력 벡터이고, τ_d는 크기에 한정을 갖는 외란을 나타내고, $B(q)\in R^{n\times r}$은 입력 변환 행렬이고, $\tau\in R^{n\times 1}$은 입력 벡터이고, $A(q)\in R^{m\times n}$은 제약조건을 나타내는 행렬이고, $\lambda\in R^{m\times 1}$은 constraint 힘을 나타내는 벡터이다.

Constraints는 시간에 대해서 독립적이라고 가정을 하면 수식 (1)에서 제약행렬은 다음과 같다.

$$A(q)\dot{q}=0 \quad (2)$$

여기서, n×(n-m) full rank 행렬 $S(q)$를 다음과 같이 정의하자.

$$A(q)S(q)=0 \quad (3)$$

Constraints 속도는 항상 $A(q)$의 null space에 있으므로 수식 (2)와 (3)에서

$$\dot{q}=S(t)v(t) \quad (4)$$

그림 1은 일반적인 nonholonomic 모바일 플랫폼을 나타내었다. 로봇은 그림 1과 같이 앞쪽에 하나의 바퀴를 가지고 있으며, 뒤쪽에 구동 시킬 수 있는 두 개의 바퀴를 가지고 있다. 여기서 뒤쪽의 두 개 바퀴는 서로 축이 일치한다. 그리고 두 개의 바퀴는 서로 독립된 두 개의 엑추에이터를 가지고 모션과 방향을 조절하게 된다. 가상의 전역 축 {X, O, Y}에 있는 로봇의 위치는 로봇의 중심축인 C를 기준으로 나타낼 수 있다.

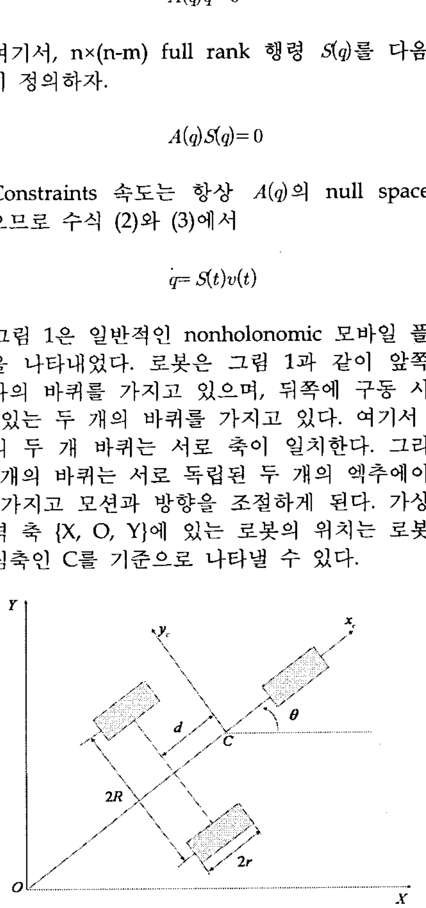

그림 1. Nonholonomic 모바일 플랫폼
Fig. 1. Nonholonomic mobile platform

여기서 이동형 모바일 플랫폼의 nonholonomic contraints 조건인 pure rolling, non-slipping과 로봇은 구동되는 휠의 축과 직각방향으로 움직일 수 없다는 조건을 수식을 표현하면 다음과 같다.

$$\dot{y}cos\theta-\dot{x}sin\theta-d\dot{\theta}=0 \quad (5)$$

수식 (2)에서 $A(q)$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A(q)=[-\sin\theta\cos\theta-d] \quad (6)$$

수식 (3)에서

$$S(q)=\begin{bmatrix}\cos\theta & -d\sin\theta \\ \sin\theta & d\cos\theta \\ 0 & 1\end{bmatrix} \quad (7)$$

그러므로 수식 (4)에서

$$\dot{q}=\begin{bmatrix}\dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\theta_c & -d\sin\theta_c \\ \sin\theta_c & d\cos\theta_c \\ 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}v \\ \omega\end{bmatrix} \quad (8)$$

III. 궤적 제어 문제제시

두 바퀴를 구동하여 주어진 기준 궤적을 추종하는 문제는 이미 많은 논문에서 다루고 있다 [2-7].

그러나 기 논문에서 제안된 대부분의 제어기구조는 기구학을 고려한 자세제어기와 동역학을 고려한 동역학 제어기와 같이 2가지의 제어기가 서로 밀접한 관계를 가지고 제어기의 안정도를 판별하고 있다.

이절에서는 제세 제어기를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대하여 수치실험을 수행한 결과이다. 수치실험은 Frank Lewis 논문의 데이터를 이용하여 수치실험을 수행하였다.

그림 2는 자세제어기가 없는 PD제어기를 사용하여 수치실험을 수행한 결과이다.

기준모델의 초기위치와 로봇의 초기위치가 서로 상의할 때에는 그림 2와 같이 선속도(v)오차와와 각속도(ω)오차가 적절하게 추종하고 있지만 로봇의 위치 오차값은 일정한 간격을 두고 오차를 발생하고 있음을 알 수 있다.

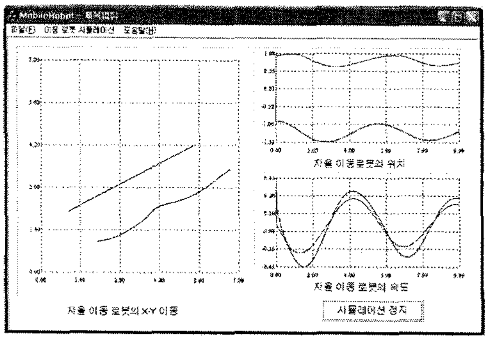

그림 2. PD 제어기의 서로 다른 초기위치 값에 대한 수치실험 결과

Fig. 2. Numerical experiment results for PD controller with different initial condition

그림 3은 일반적으로 많이 알려져 있는 Backstepping 방법을 사용하여 수치실험을 수행한 결과이다. Backstepping 방법은 Kayneyama가 제안했던 자세 제어기에서 생성된 새로운 선속도와 각속도 값을 기준 속도값으로 고려하여 동역학 제어기를 구성하는 방법이다.

그림 3에서 보는 것과 같이 로봇의 초기위치가 기준모델의 초기위치가 서로 상의해도 선속도와 각속도의 오차 및 로봇의 위치 오차도 '0'으로 수렴하는 것을 알 수 있다.

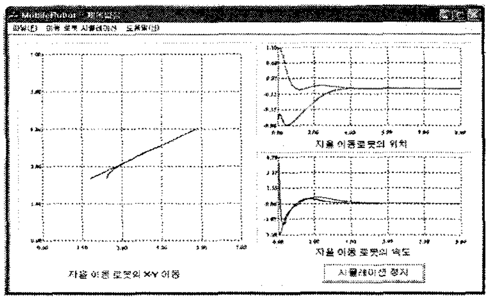

그림 3. Backstepping의 서로 다른 초기위치 값에 대한 수치실험 결과

Fig. 3. Numerical experiment results for Backstepping with different initial condition

그림 4는 자세제어기가 없는 PD제어기를 사용하여 기준모델을 로봇과 같은 초기값 위치에서의 수치실험을 나타내었다.

그림 4에서 로봇과 같은 위치의 초기값을 갖는 기준모델에서의 수치실험결과 로봇의 선속도 오차 및 각속도 오차는 모두 '0'으로 수렴하고 있고, 위치오차도 '0'에 가깝게 수렴하고 있음을 알 수 있다.

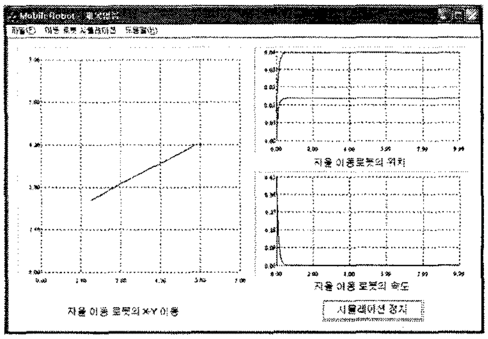

그림 4. PD 제어기의 같은 초기위치 값에 대한 수치실험 결과

Fig. 4. Numerical experiment results for PD controller with same initial condition

그림 5는 일반적으로 많이 알려져 있는 Backstepping 방법을 사용하여 기준모델을 로봇과 같은 초기값 위치에서의 수치실험을 나타내었다.

그림 5의 수치 실험결과 자세 제어기에서 생성

된 궤적을 로봇이 추종하였을 때, 선속도 오차 및 각 속도 오차는 '0'으로 수렴하고 있지만, 위치오차는 일정한 오차를 발생하고 있음을 알 수 있다.

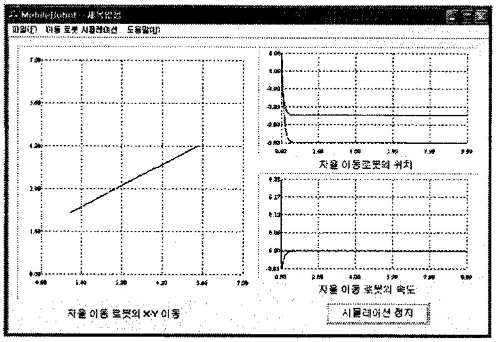

그림 5. Backstepping의 같은 초기위치 값에 대한 수치실험 결과
Fig. 5. Numerical experiment results for Backstepping with same initial condition

Ⅳ. 결 론

일반적으로 로봇의 하위제어기인 궤적추종 제어기는 잘 수행된다고 생각하고 대부분은 센서에 의해서 입력되어지는 값에 따른 행동선택기에 대한 연구가 최근 많이 이루어지고 있다. 하지만 본 연구에서는 일반적으로 지능형 로봇으로 많은 연구가 수행되고 있는 두 바퀴로 이동하는 이동형 모바일 플랫폼에 대한 새로운 시각을 제시하였다고 생각한다.

상위제어기 설계 시, 이동형 모바일 플랫폼에의 궤적추종제어기에 대한 고려도 필요할 것으로 사료가 된다.

Ⅴ. 향 후 과제

본 논문은 아직 수행이 끝나지 않은 관계로 이번 논문에서는 모두 다 간과할 수 있는 문제점을 제기하여 보았다. 그리고 향후에는 제기된 문제점을 이용하여 지능형 기법을 이용하여 보다 간단한 방법으로 이동형 모바일 플랫폼이 정확하게 추종할 수 있는 제어기를 구현하고자 한다.

감 사 의 글

본 논문은 지식경제부의 지역혁신센터의 연구결과로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 조용호, 지능형 로봇 2008, 전자부품연구원, 2008

[2] Kolmanovsky, I. and McClamroch, N.H. "Developments in nonholonomic control problems," IEEE Control Systems Magazine, Vol. 15, pp. 20-36, Dec. 1995.

[3] Pomen, J.-B, Thuilot. B., Bastin. G. and Campion. G., "A hibrid strategy for the feedback stabilization of nonholonomic mobile robots," IEEE International Conference on Robobics and Automation, Vol. 1, pp.129-134, 1992.

[4] Ti-Chung Lee, Kai-Tai song, Ching-Hung Lee and Ching-cheng Teng, "Tracking contorl of mobile robots using staturation feedback controller," IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 4, pp.2639-2644, 1999.

[5] Starker, N. and Xiaoping Yun, "Traction control of wheeled vehicles using dynamics feedback approach," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 1, pp.413-418, 1998.

[6] Bloch, A.M. Reyhanglu, M. and McClamorch, N. H., "Control and stabilization of nonholonomic dynamics systems ," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 37, pp. 1746-1757, 1992.

[7] Deng, Z. and Brady, M., "Dynamic tracking of a wheeld mobile robot," IEIEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp1295-1298, 1993.

[8] Tiemin HU and Simon X. Yang, " Real-time Motion Control of a Nonholonomic Mobile Robot with Unknown Dynamics," Computational Kinematic Conference, 2001.