

퍼지 논리 시스템을 이용한 자율 이동 로봇의 슬립 보정

· 강성호^{*} · 김주웅^{*} · 이용구^{**} · 정경권^{***} · 엄기환^{*}
· 동국대학교 · **한림성심대학 · ***유한대학

Slip Compensation of Autonomous Mobile Robot Using Fuzzy Logic System

Seong-ho Kang^{*} · Joo-woong Kim^{*} · Yong-gu Lee^{**} · Kyung-kwon Jung^{***} · Ki-whan Eom^{*}
· Dongguk University · **Hallym College · ***Yuhan College
E-mail : ksh7209@dgu.edu

요 약

본 논문에서는 이동로봇의 슬립을 고려하여 슬립 발생 시 이동 로봇의 위치를 퍼지논리 시스템을 이용하여 보정하는 방식을 제안한다. 퍼지 논리시스템의 뛰어난 추론능력으로 슬립을 추론 할 수 있을 것이다. 제안된 방식의 유용성을 확인하기 위하여 differential 구동형 로봇의 슬립을 모델링 하고, 추정오차에 대하여 시뮬레이션한 결과 우수한 성능을 확인 하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose fuzzy logic system that compensates position of robot in robot slip. The fuzzy logic system can infer robot slip in its capability. In order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed the simulation for position compensation of robot slip. The results showed a good performance.

Keyword: Robot slip, Fuzzy, Differential drive

1. 서 론

퍼지 논리이론은 1965년 L.A. Zadeh 교수에 의해 제안된 이론으로, 애매한 정보로부터 유용한 정보를 추론해 낼 수 있는 이론적 바탕을 제공해 주고 있다. 1974년 Mamdani 가 퍼지 논리 시스템을 모형 증기 기관 제어에 성공적으로 적용한 후 제어분야 뿐만 아니라 많은 분야에서 연구 응용되고 있다[1][2].

일반적으로 이동 로봇 분야에서 로봇의 슬립을 고려하지 않는 것이 보편화 되어 있다 [3-5]. 하지만, 오늘날 과학문명의 발달로 이동 로봇의 이동속도는 빨라지고 있으며 이는 과거의 로봇에 비해 로봇의 슬립이 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다. 로봇의 위치를 감지하는

센서가 주행 기록센서로 가정하면 슬립 발생시 로봇은 슬립을 기록하지 못할 것이다.

본 논문에서는 이동로봇의 슬립을 고려하여 슬립 발생 시 이동 로봇의 위치를 퍼지논리 시스템을 이용하여 보정하는 방식을 제안한다. 퍼지 논리시스템의 뛰어난 추론능력으로 슬립을 추론 할 수 있을 것이다.

제안된 방식의 유용성을 확인하기 위하여 differential 구동형 로봇의 슬립을 모델링 하고, 추정오차에 대하여 시뮬레이션한 결과 우수한 성능을 확인 하였다.

II. 퍼지 논리 시스템을 이용한 슬립 보정

일반적으로 이동 로봇 분야에서 로봇의 슬립을 고려하지 않는 것이 보편화 되어 있다. 하지만, 오늘날 과학문명의 발달로 이동 로봇의 이동 속도는 빨라지고 있으며 이는 과거의 로봇에 비해 로봇의 슬립이 발생할 확률이 높다는 것을 의미한다. 로봇의 위치를 감지하는 센서가 주행 기록센서로 가정하면 슬립 발생시 로봇은 슬립을 기록하지 못할 것이다.

본 논문에서는 이동로봇의 슬립을 고려하여 슬립 발생시 이동 로봇의 위치를 퍼지논리 시스템을 이용하여 보정하는 방식을 제안한다. 퍼지논리시스템의 뛰어난 추론능력으로 슬립을 추론할 수 있을 것이다.

로봇 슬립의 Pacejka의 Magic식에 지배를 받는다고 가정하며, 제안한 퍼지논리 시스템의 블록선도는 그림2-1과 같다.

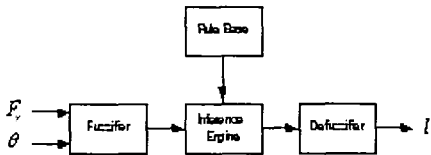


그림 2-1. 제안한 퍼지논리 시스템.

그림에서 F_y 는 로봇이 회전할 때 발생한 구심력, θ 는 로봇의 회전각을 의미하며, 퍼지논리 시스템의 입력이 된다. I 은 퍼지 논리 시스템의 출력으로 슬립으로 발생한 로봇의 센싱 오차를 보정하기 위한값으로 오차보정거리이다.

퍼지화기(Fuzzifier)는 일반적인 집합개념인 crisp한 집합을 언어적인 변수인 퍼지집합으로 변환하는 부분으로 이러한 변환은 소속함수를 사용하여 언어적인 변수로 변환한다. 소속함수의 형태는 삼각형, 사다리꼴형, 가우시안형등 다양한 형태가 존재하나, 제안한 방식의 경우 사다리꼴형과 삼각함수형 소속함수를 이용함으로써 로봇의 슬립에 대하여 보다 명확한 언어적인 변수로 지정할 수 있다.

규칙기반(Rule Base)은 일반적으로 전문가로 획득한 경험적인 언어적인 규칙이나 실험 데이터로부터 획득한 규칙들을 IF-Then퍼지규칙인 언어적인 규칙 형태로 저장한다. 제안한 방식에서는 시뮬레이션과 실험 데이터들을 토대로 규칙기반을 구성한다.

추론엔진(Inference Engine)은 IF-Then퍼지 규칙으로부터 입력공간의 퍼지집합들을 출력공

간의 퍼지집합들로 맵핑시킨다. 이러한 추론엔진에는 최소-최대추론, 최대-최소추론, 적-합 추론방식등을 이용된다. 추론방식은 시스템의 특성에 따라 다르게 선택될수 있으며, 제안한 방식에서는 추론능력이 뛰어난 최소-최대추론 방식을 이용한다.

비퍼지화기(Defuzzifier)는 추론엔진에서 추론된 퍼지집합들을 공학적으로이용 가능한 crisp 집합으로 변환시킨다. 비퍼지화기에는 최대값 방법(maximum criterion method), 최대평균값(mean of maximum method), 무게중심법(center of gravity)등이 있으며, 제안한 방식에서는 가장 성공적으로 적용되고 있는 무게중심법을 이용한다.

결론적으로 보정된 주행 기록센서의 출력값을 식으로 표현하면 식(2.1)과 같다.

$$y_c(k) = y_r(k) + \alpha(k) \tag{2.1}$$

여기서, $y_c(k)$ 는 보정된 측정값, $y_r(k)$ 는 측정값, $\alpha(k)$ 는 퍼지 논리 시스템의 출력값이며, 비퍼지화 과정에서 무게중심법을 이용하므로 $\alpha(k)$ 는 식(2.2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\alpha(k) = \frac{\sum_{i=1}^R b_i \mu_i}{\sum_{i=1}^R \mu_i} \tag{2.2}$$

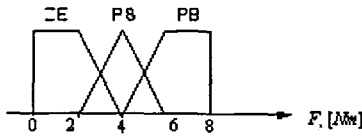
여기서, b_i 는 소속함수의 중심을 나타내며, μ_i 는 입력값에 대한 소속의 정도를 나타내는 인자이다.

III. 시뮬레이션

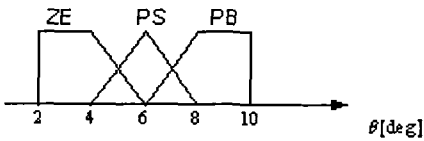
제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Matlab 프로그래밍 언어를 이용하여 시뮬레이션 하였다.Pacejka의 Magic식에 대하여 differential 구동형 로봇의 상태 방정식을 유도하면 식(3.1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{al} + C_{ar} & -x \\ mx & \\ 0 & \frac{a^2 C_{al} + b^2 C_{ar}}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

여기서, C_{al} 는 왼쪽 바퀴의 cornering stiffness, C_{ar} 는 오른쪽 바퀴의 cornering stiffness, m 은 로봇의 질량, \dot{x} 는 전방향 속도, a 는 로봇의 무게 중심에서 왼쪽 바퀴와의 거리, b 는 로봇의 무게 중심에서 오른쪽 바퀴와의 거리, I_z 는 관성 모멘트, $\dot{\gamma}$ 는 구심속도, $\ddot{\gamma}$ 는 구심 가속도, $\dot{\theta}$ 는 로봇의 각속도, $\ddot{\theta}$ 는 로봇의 각가속도를 의미한다. Cornering stiffness는 슬립각과 구심력사이의 비율을 의미하며, 슬립각 (slip angle)은 바퀴가 향하고 있는 방향과 실제 움직이는 방향사이의 각도차를 의미하며 단위는 도(°)이다. 그림3-1은 시뮬레이션에 이용한 퍼지논리 시스템 각각 입력에 대한 소속함수에 대한 그림이다.



(a) 입력 F_y 에 대한 소속함수



(b) 입력 θ 에 대한 소속함수

그림 3-1. 퍼지논리 시스템의 입력소속함수.

그림에서 F_y 는 구심력, θ 는 슬립각, α 는 퍼지 논리 시스템의 출력으로 측정 보정 가중치이다. **ZE**는 "zero", **PS**는 "positive small", **PB**는 "positive big"을 의미하는 언어적인 변수이다. 표6.1는 시뮬레이션 및 실험 데이터를 토대로 구축한 퍼지논리 시스템의 규칙기반을 나타내는 표이다.

표 3.1. 규칙기반

$F_y \backslash \theta$	ZE	PS	PB
ZE	SM	SM	ME
PS	SM	ME	LA
PB	ME	LA	LA

출력에 대한 소속함수는 그림3-2과 같다. 그림에서 **SM**는 "small", **ME**는 "medium", **LA**는 "large"를 의미하는 언어적인 변수이다.

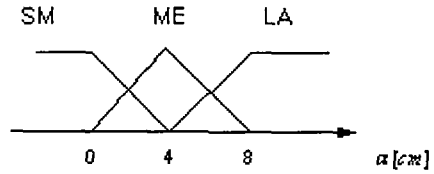


그림 3-2. 출력소속함수.

비퍼지화는 무게 중심법을 이용하였다. 시뮬레이션에 이용한 cornering stiffness관한 식은 (3.2)와 같으며, 이것은 cornering stiffness정규화한 식이다.

$$F_y(t) = 1.18 \left\{ 1 - e^{-(10\alpha)} \right\} - \frac{\alpha}{2} \quad (3.2)$$

그림3-3는 정규화된 이론적인 cornering stiffness를 나타내는 그림이다.

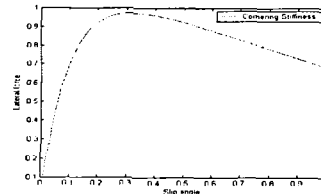


그림 3-3. 정규화된 cornering stiffness.

그림3-3에서 기울기가 양에서 음으로 변화는 경우 슬립각은 비선형 적으로 변하며 이것은 바퀴의 슬립을 의미한다. 그림6-12는 로봇 슬립에 대하여 시뮬레이션한 결과로 로봇의 좌,우 바퀴의 회전 비율은 1:2로 슬립각이 일정하 유지되도록 하였고, 시간에 비례하여 전압을 인가함으

로써 바퀴속도를 증가 하도록 하였다. 그림3-4는 실제 슬립을 고려한 시뮬레이션 결과이고 그림3-5는 각 좌표축에 따른 이동의 변화를 나타내는 그림이다.

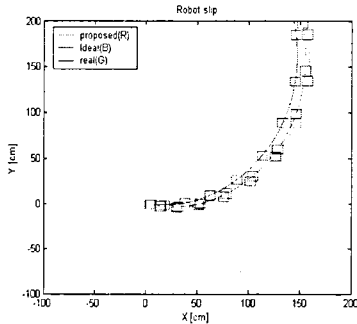


그림 3-4. 로봇 슬립.

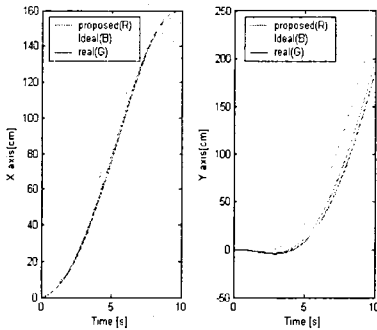


그림 3-5. 축에 따른 로봇의 이동.

그림에서 확인 할 수 있듯이 슬립 발생시 제한한 방식은 상당히 근사하게 슬립을 추정할 수 있음을 확인 할 수 있다. 제한한 방식은 X축에 대하여 평균 $2.24cm$, Y축에 대하여 평균 $4.68cm$ 위치 오차가 발생 했으며, 슬립을 고려하지 않을시 X축에 대하여 평균 $-9.26cm$, Y축에 대하여 평균 $-17.81cm$ 위치 오차가 발생했다.

IV. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 슬립을 고려하여 슬립 발생 시 이동 로봇의 위치를 퍼지논리 시스템을 이용하여 보정하는 방식을 제안하였다. 제안된 방식의 유용성을 확인하기 위하여 differential 구동형 로봇의 슬립을 모델링 하고, 위치 추정에 대하여 시뮬레이션한 결과 우수한 성능을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Kevin M. Passino, Stephen Yurkovich, "Fuzzy control", Addison-Wesley, 1997
- [2] Li-Xin Wang, "A course in fuzzy systems and control", Prentice Hall, Inc., 1997
- [3] Robin R. Murphy, *INTRODUCTION TO AI ROBOTICS*, The MIT Press, 2000.
- [4] Stefano Nolfi, Dario Floreano, *Evolutionary Robotics*, The MIT Press, 2000.
- [5] Joseph L. Jones, *Robot Programming(A Practical Guide to Behavior-Based Robotics)*, McGraw-Hill, 2004.