

이동로봇을 위한 퍼지관측기 설계

김진환*, 김상욱*, 이웅근*, 김보열*, 김영봉*
*인하공업전문대학 전기정보과학과

Fuzzy Observer Design for Mobile Robot

Jin-Hwan Kim*, Sang-Uk Kim*, Young-Gun Lee*, Bo-youl Kim*, Young-bong Kim*
*Dept. of Electric and Information Science, Inha Technical College

Abstract - 본 논문에서는 이동로봇의 마찰력 보상을 위해 퍼지 외란 관측자를 설계한다. 이동로봇은 주행 바닥면에 따라 주행 특성이 달라질 수 있다. 주행 중 발생하는 마찰력은 비선형적인 특성을 가지므로 이에 검출할 수 있는 퍼지 관측기를 설계하도록 한다. 설계된 퍼지 관측기를 적용함으로써 주행 바닥 면의 상태에 따라 발생하는 마찰력의 영향을 최소화시킴으로써 주행 특성을 효과적으로 개선시킬 수 있다.

1. 서 론

이동로봇은 주거 생활의 편리성을 위해 미래의 필수적인 가정용 기기로서 홈-오토메이션(Home Automation) 분야에서 다양하게 사용 가능할 것으로 예상된다. 따라서 홈-오토메이션 분야에서 사용하기 위해서는 지능적이며 자율적으로 주행 가능하도록 설계되어야 한다.

이동로봇의 제어 및 설계를 위해 90년대 이후 많은 연구 결과들이 발표되고 있다[1-4]. 대부분 연구 결과들은 이동 로봇의 경로 추정 성능이나 장애물 회피 등에 초점이 맞춰지고 있다[1-3]. 이동로봇의 자율 주행 성능 향상을 위해 이러한 문제점들도 해결해야 하지만, 바퀴로 주행하는 이동 로봇의 경우 주행 바닥면에 재질이나 상태에 따라 주행 성능이 변하게 되고 이러한 영향은 마찰력에 의한 것으로 판단되고 외란으로 간주할 수 있다. 따라서 바닥면의 재질이나 상태에 따라 이동로봇의 바퀴에 인가되는 마찰력을 제거함으로써 이동로봇의 주행특성을 개선할 수 있다.

이동로봇의 주행 바닥 상태에 따라 발생하는 마찰력의 형태는 비선형적인 특성을 보인다. 마찰력 보상을 위한 연구결과와 이동로봇 외에 2축 시스템에서 많이 다루어진다. 본 논문에서는 비선형적인 마찰력 특성을 효과적으로 제거하기 위해 퍼지 이론을 도입하여 퍼지 관측자를 설계하도록 한다.

2. 이동로봇의 모델링

본 논문에서 고려하는 이동로봇은 2개의 주행용 바퀴를 가지고 각 주행 바퀴는 모터에 의해 구동되는 것으로 한다. 이동로봇의 각 바퀴의 모델은 식(1)과 정의한다.

$$\begin{aligned} w_{mi} &= \frac{1}{J_m s + B_m} (\tau_{mi} + F_i) \\ v_{mi} &= R w_{mi} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 w_{mi} , J_m , B_m , τ_{mi} , F_i 은 각각 각 바퀴 구동 모터의 각속도, 관성계수, 점성계수, 구동토크, 바퀴에 가해지는 마찰력이고 v_{mi} , R 바퀴의 구동바퀴에 의한

선속도와 바퀴의 반지름이다. 첨자 $i=R$, $i=L$ 은 각각 오른쪽 바퀴와 왼쪽 바퀴를 나타낸다.

구동 바퀴에 가해지는 마찰력은 식(2)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} F_i &= B_i(v_i - v_{mi}) + f_i \\ f_i &= T_v(w_{mi}) + T_c \operatorname{sgn}(w_{mi}) + \beta_i \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 B_i , v_i , f_i 는 각각 바닥면의 점성계수와 바퀴의 실제 선속도, 바퀴에 연결된 모터의 마찰력이고 T_v , T_c , β_i 는 각각 점성 마찰력, 쿨롱 마찰력, 스트리백 효과(stribeck effect)에 의한 정지 마찰력이다. 식(2)의 마찰력에서 f_i 는 2축 시스템에서 발생하는 마찰력의 모델로 생각할 수 있다. 식(2)에서 실제 바퀴가 바닥면을 주행할 때의 선속도 v_i 는 바퀴에 연결된 구동 모터에 의해 발생하는 선속도 v_{mi} 와의 속도 차이는 바닥면의 상태, 즉 점성계수 B_i 에 의해 마찰력으로 바퀴에 다시 가해지게 된다. 이것은 이동로봇의 구동 시작이나 곡선 주행시에 마찰력으로서 작용하게 된다.

3. 퍼지 외란 관측기 설계

퍼지 외란 관측기의 식(2)의 F_i 를 관측하기 위해 설계된다. 사용하는 퍼지 모델은 Takagi-Sugeno 모델이다[5]. Takagi-Sugeno 모델은 후건부를 선형 회귀식을 사용하기 때문에 퍼지 모델을 세울 때 LS(Least Square)를 사용하여 후건부 계수를 최적화시킬 수 있다. 설계된 퍼지 모델의 규칙은 식(3)과 같다.

$$R_l : \text{If } v_d \text{ is } FS_l, \text{ Then } F_l = \alpha_l v_d \quad (3)$$

여기서 R_l , v_d , FS_l , F_l , α_l 는 각각 l -th 퍼지 규칙, $v - v_m$, 퍼지 셋, l -th 마찰력, 후건부 계수이다.

식(3)을 이용하여 구해지는 퍼지 추론 값은 무게중심법에 식(4)와 같이 정의한다.

$$F = \frac{\sum_l c_l F_l}{\sum_l c_l} \quad (4)$$

여기서 F , c_l 은 바퀴의 마찰력과 l -th 규칙의 추론 값이다.

최적화 된 퍼지 모델을 세우기 위해 퍼지 규칙의 개수와 퍼지 셋의 설정 등 여러 가지 문제점을 해결해야 한

다. 그러나 퍼지 모델을 사용하는 이유는 비선형 모델을 처리하기 위함이기 때문에 모든 동작 구간에서 최적된 모델을 구하기 보다 제한된 동작 구간에서 최적화된 모델을 구해야 한다. 따라서 식(3)의 퍼지 모델은 관측하고자 하는 이동로봇의 마찰력 범위를 얼마 정할지 고려해야 할 것이다. 최적화된 퍼지 모델을 설계하기 위해 많은 연구결과들이 발표되고 있다. 이 중에서 데이터 인식 분야에서 많이 사용되는 FCM(Fuzzy c-means) 클러스터링 방법을 사용하도록 한다[6]. FCM은 주어진 데이터를 지정한 클러스터 개수에 의해 중심값을 설정한 후 기준 퍼지 셋을 구하는 방법이다.

본 논문에서 설계한 식(3)의 퍼지모델의 전건부 변수 $v_d = v - v_m$ 를 FCM에 의해 구해보면 그림 1과 같다.

4. 모의 실험

본 논문에서 설계하는 이동로봇의 마찰력 보상을 위한 퍼지 관측기의 성능을 모의실험을 통해 확인해 보도록 한다. 이동로봇의 2개의 바퀴의 구동 모터의 계수가 모두 동일하다는 가정 하에 한 축의 바퀴에 대해서만 모의 실험을 하도록 한다.

그림 2와 같은 구동 토크 입력을 축의 연결된 구동 모터에 입력하여 FCM을 사용하여 그림 1과 같은 v_d 의 기준 퍼지 셋을 구한다. 그림 2와 같은 구동 토크 입력에 의해 발생하는 축 바퀴의 마찰력 F_f 와 식(3)과 (4)에 의해 구해지는 퍼지 관측기의 결과가 그림 3에 보여진다. 그림 3에서 보여지는 바와 같이 퍼지 관측기를 통해 축 바퀴의 마찰력이 정확히 검출됨을 볼 수 있다. 그림 4는 구동 토크 입력은 정현파 형태를 인가할 때, 즉 곡선 주행 시를 고려할 때에 마찰력과 퍼지 관측기로 검출되는 마찰력의 결과이다. 그림 3에서와 마찬가지로 정확히 검출됨을 볼 수 있다.

다음은 설계한 퍼지 관측기를 축 바퀴에 적용한 경우를 보도록 한다. 그림 5와 6은 축 바퀴에 간단한 PID 제어를 적용한 결과이다. 그림에서 보듯이 퍼지 관측기를 적용한 경우 기준 속도에 추종하는 성능이 퍼지 관측기를 적용하지 않는 경우보다 향상됨을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 이동로봇의 마찰력 보상을 위해 퍼지 관측기를 설계하였다. 이동로봇의 마찰력은 주행 바닥면의 상태에 따라 이동로봇의 주행 성능을 저하시킨다. 이를 극복하기 위해 퍼지 관측기를 설계하여 적용함으로써 주행 성능을 향상시킴을 확인할 수 있었다. 향후의 추가 연구과제는 이동로봇의 경로추정이나 장애물 회피를 고려하여 마찰력을 포함한 외란 보상을 고려하도록 할 것이다.

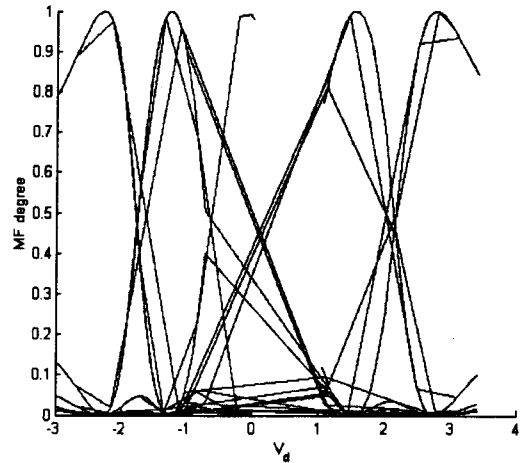


그림 1. v_d 의 기준 퍼지 셋

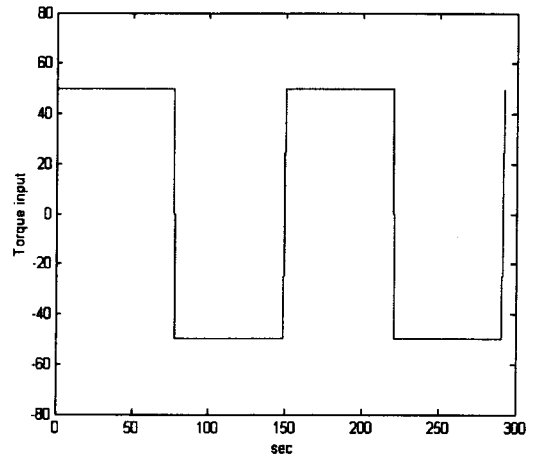


그림 2 구동 토크 입력

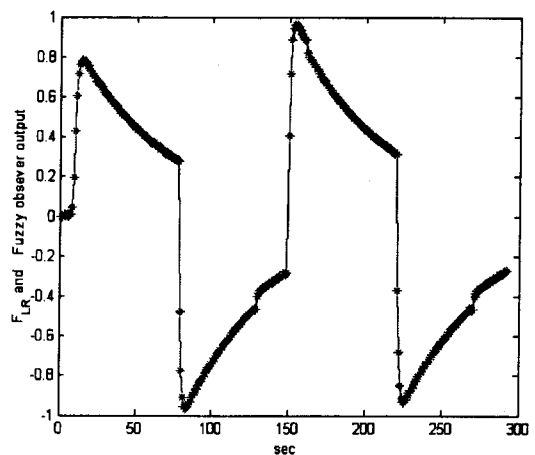


그림 3 축 바퀴의 마찰력(실선)과 퍼지 관측기 출력(**선)

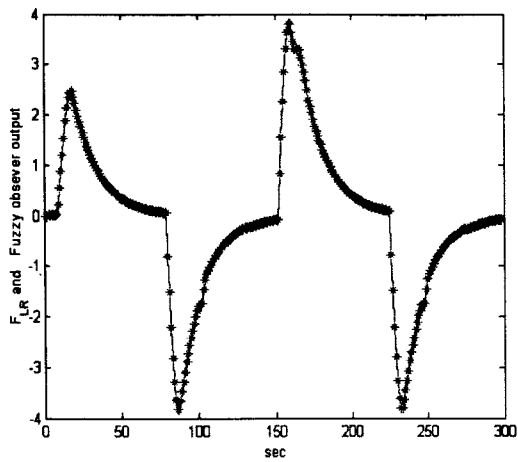


그림 4 축 바퀴의 마찰력(실선)과 퍼지 관측기 출력(*선)

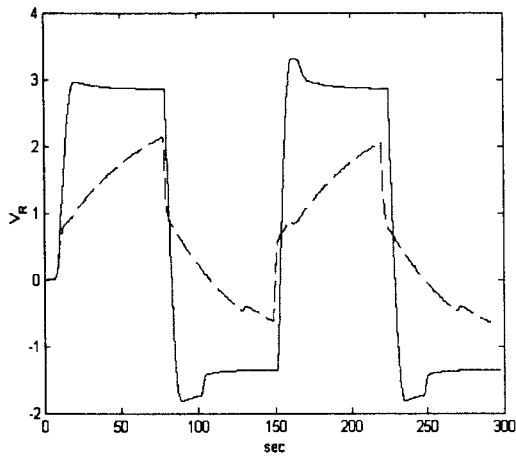


그림 5 축 바퀴의 실제 선속도 : 퍼지 관측기를 적용한 경우(실선)과 적용하지 않은 경우('선)

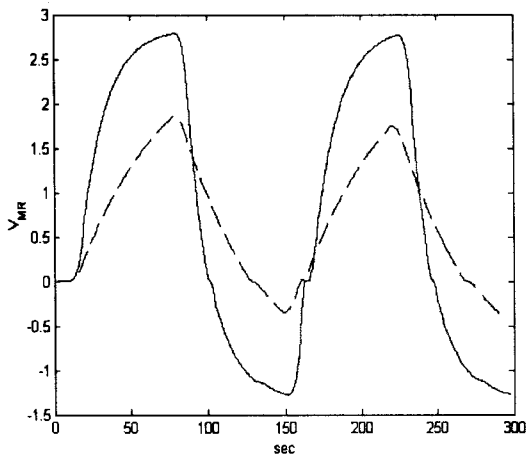


그림 6 축 바퀴 구동모터의 선속도 : 퍼지 관측기를 적용한 경우(실선) 과 적용하지 않은 경우('선)

(참고 문헌)

- [1] O. J. Sordalen and C. Canudas de Wit, "Exponential Control Law for a Mobile Robot : Extension to Path Following", *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation Nice, France*, pp 2158-2163, May 1992.
- [2] Guangyan Xu, Danwei Wang, and Keliang Zhou, "Robust Control of Full State Tracking of a Wheeled Mobile Robot", *Proc. of the 39th IEEE CDC Sydney, Australia*, pp. 3007-3012, Dec. 2000.
- [3] Dong Sun, H. N. Dong, and S. K Tso, "Tracking Stabilization of Differential Mobile Robots Using Adaptive Synchronized Control", *Proc. of 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation Washington DC*, pp. 2638-2643, May 2002.
- [4] Tarek Hamel and Dominique Meisel, "On robustness and precision of mobile robots missions", *Automatica*, Vol 37, pp.437-444, 2001.
- [5] T. Tkagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control", *IEEE Trans. on Sys., Man, and Cyber.*, Vo l. 15, No. 1, pp. 116-132, Jan/Feb. 1985.
- [6] W. Pedrycz, "An identification algorithm in fuzzy relational systems", *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 13, pp. 153-167, 1984.