

다중 센스를 이용한 Kalman-Fuzzy 제어

강성호*, 정성부**, 이현관***, 엄기환*

*동국대학교, **서일대학, ***호남대학교

Kalman-Fuzzy Control Using Multi-Sensor

Seong-ho Kang*, Sung-boo Chung**, Hyun-kwan Lee***, Ki-hwan Eom*

*Dongguk University, **Seoil College, ***Honam University

E-mail: ksh7209@dgu.edu

요 약

본 논문에서는 다중센스 환경에서 센스정보를 Kalman-Fuzzy 시스템을 이용하여 정보를 통합하고 정확하게 프로세스의 상태를 예측하는 시스템을 제안한다. 제안한 방식은 Kalman 필터를 이용하여 보다 신뢰할 수 있는 센스정보를 획득하고, 다중센스로부터 정보를 퍼지 시스템을 이용하여 통합할 수 있다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Electro-Hydraulic 액추에이터를 대상으로 위치 추적을 시뮬레이션 하였고 제안한방식의 우수한 성능을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a Kalman-Fuzzy control method using multi-sensor. The proposed method is to obtain a robust sensor data and to integrate multi-sensor data using fuzzy system. in order to verify the effectiveness of the proposed method, we performed the simulation for the position of an electro hydraulic actuator. The results showed a good performance.

Keyword: Multi-sensor, Kalman, Fuzzy

I. 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].

Kalman 필터는 1960년대 Kalman이 이산데이터 선형필터링 문제에 대한 순환적인 해를 설명하는 논문을 발표하였다. 그 이후 디지털 컴퓨팅의 발전으로 Kalman 필터는 여러 분야에 응용되고 확대 연구되고 있다[6].

일반적으로 비디오키메라 센스, 레이저 센스등은 각각의 장단점 들이 있다. 이러한 센스들을

적당하게 통합함으로써 보다 우수한 시스템성능을 보장 받을 수도 있다[3-5].

본 논문에서는 다중 센스환경에서 센스 입력 데이터를 Kalman 필터를 이용하여 판별하고 판별된 데이터는 Fuzzy 논리 시스템을 이용 데이터를 통합하고 정확한 정보를 얻는 방식을 제안한다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Electro-Hydraulic 액추에이터를 대상으로 위치 추적을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 시스템의 우수성을 확인 하였다.

II. 다중센스 환경

일반적으로 안전을 위한 장애물 감지 시스템은 센스의 측정 정확성, 빠른 응답시간, 최대측정 범위 등이 요구된다. 장애물 감지나 측정에

있어 센스의 속성은 주로 적용된 기술과 설계 파라미터에 의존한다. 기본적인 기술의 차이는 예로, 레이더 센스들은 정확하고 고감도 범위 측정이 요구되는 반면 비디오 시스템은 충분한 각 측정이 요구된다.

더욱이, 각 기술들은 응용분야에 따라 적당하게 변형 되어야 한다. 따라서, 근거리 감지를 위한 센스는 최대 범위 감지 시스템과는 비교하여 다르게 설계 된다. 그림2-1은 센스의 감지 범위를 나타내는 그림이다.

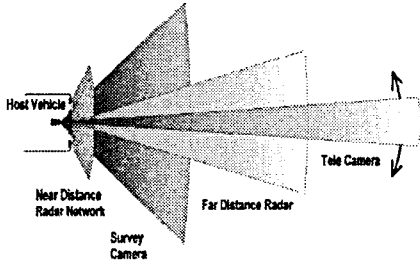


그림2-1. 센스의 감지 범위.

일반적으로 이러한 센스들은 주로 각각 장단점을 갖고 있으며, 독립적으로 연구되거나 이용되어 왔다. 그러나 이러한 센스들을 적당하게 통합함으로써 시스템의 우수한 성능을 보장 받을 수도 있다[3-5].

III. Kalman 필터

Kalman 필터는 피드백 제어 형태로 프로세스를 추정한다. 즉, 필터는 프로세스의 상태를 추정 한 후에 측정값을 피드백 형태로 받아 들인다. 그래서, Kalman 필터의 관한 방정식은 시간갱신 (time update) 방정식과 측정갱신(measurement update) 방정식 두 부분으로 분류할 수 있다. 표 3-1 과 표3-2는 각각 시간갱신과 측정갱신을 나타내는 방정식들이다.

표3-1. 시간갱신 방정식

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (3.1)$$

$$P_{\square}^{\square} = AP_{\square\square}A^{\square} + Q \quad (3.2)$$

표3-2. 측정갱신 방정식

$$K_k = P_{\square}^{\square}H^{\square}(HP_{\square}^{\square}H^{\square} + R)^{\square} \quad (3.3)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (3.4)$$

$$P_{\square} = (I - K_{\square}H)P_{\square}^{\square} \quad (3.5)$$

시간갱신을 나타내는 표3-1에서 식(3.1)은 상태를 예측하는 식이고 식(3.2)는 시간 k-1에서 k까지의 공분산을 계산하는 식이다. 측정갱신 동안 첫 번째 과정은 Kalman 이득을 식(3.3)와 같이 계산하는 것이다. 다음 단계는 측정값 z_k 를 얻기 위해 실제 프로세스를 측정하고 식(3.4)와 같이 측정값으로 posteriori 상태 계산한다. 마지막 단계로, 식(3.5)를 이용하여 posteriori 오차 공분산을 얻는 것이다[6].

IV. Fuzzy 논리 시스템

퍼지 논리 시스템은 Fuzzification, Rule-base, Inference mechanism, Defuzzification으로 구성된다. 그림4-1은 Fuzzy 논리 시스템의 블록도이다.

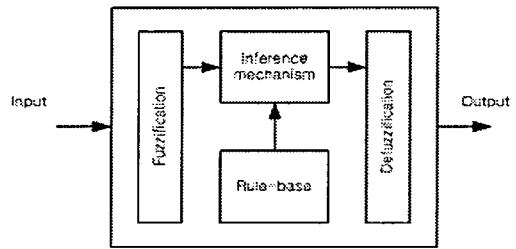


그림4-1. 퍼지논리 시스템 블록도.

Rule-base는 규칙들의 집합 형태로 전문가의 경험이나 숫자적인 데이터를 바탕으로 IF-THEN 형식의 언어적인 규칙으로 표현되며, 이러한 지식들을 저장하고 있다.

Inference mechanism은 Rule-base에서 사용된 제어규칙을 이용하여 추론을 하여 결론을 내리는 논리연산 부분으로, 이러한 추론연산에는 최소-최대연산, 최대-최소연산, 적-대수합 연산등이 있다.

Fuzzification은 입력 단계 위치하며, 퍼지논리 시스템의 crisp한 입력신호를 퍼지 논리로 변환하고 Rule-base에 규칙들과 비교된다. 퍼지 논리로 변환해주는 퍼지 소속함수는 일반적으로 삼각형, 사다리꼴, 가우시안 소속함수등이 있다. Defuzzification은 Inference mechanism에 의해 만들어진 퍼지 추론의 결과값인 퍼지 논리값을 crisp한 출력으로 변환한다. 이러한 변환방식에는 최대값 방식, 최대평균값, 무게중심법등이 있다[1][2].

V. 제안한 방식

본 논문에서는 다중센스 환경에서 센스정보를 Kalman-Fuzzy 시스템을 이용하여 정보를 통합하고 정확하게 프로세스의 상태를 예측하는 시스템을 제안한다. \tilde{X}_k 를 Kalman-Fuzzy 상태예측 이라고 한다면, 측정오차 e_z 는 식(5.1)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$e_z = z_k - H\tilde{X}_k \quad (5.1)$$

여기서, z_k 는 측정값이고, H 는 출력행렬이다. 측정오차 e_z 를 퍼지 소속함수에 대응하는 입력으로 이용함으로써, 무게 중심법을 이용한 crisp한 출력은 식(5.2)와 같이 나타 낼 수 있다.

$$u^{crisp} = \frac{\mu_i(e_{z_i})}{\sum_{i=1}^s \mu_i(e_{z_i})} \quad (5.2)$$

여기서, μ_i 는 퍼지 소속함수를 나타낸다. 제안한 시스템의 블록도는 그림 5-1과 같다.

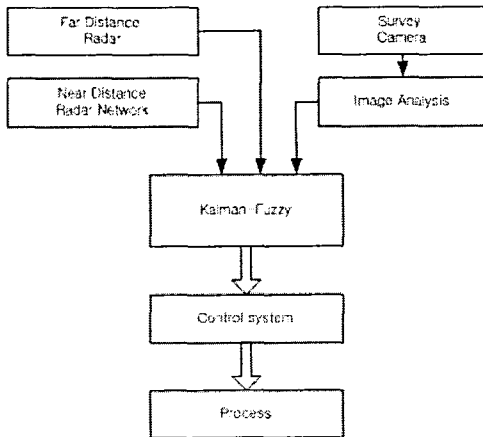


그림 5-1. 제안한 시스템.

그림 5-1에서 다중의 센스출력 데이터는 Kalman-Fuzzy 시스템으로 입력되고 Kalman-Fuzzy 시스템은 센스 데이터를 통합하고 정확하게 프로세스의 상태를 예측한다. 예측된 프로세스의 상태는 제어 시스템의 입력으로 인가되고 프로세스를 제어하게 된다.

VI. 시뮬레이션

제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Matlab 프로그래밍 언어를 이용하여 Electro-Hydraulic 액추에이터를 대상으로 위치 추적을 시뮬레이션 하였다. 액추에이터의 상태방정식은 식(6.1)과 같다.

$$X_{k+1} = AX_k + BU_k + w_k \quad (6.1)$$

상태벡터의 각각 성분은 액추에이터의 위치, 속도, 가속도이고 초기값은 0으로 가정한다. 액추에이터의 시스템 행렬은 식(6.2)와 같다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0.001 & 0 \\ 0 & 1 & 0.001 \\ -522.2 & -28.616 & 0.9418 \end{pmatrix} \quad (6.2)$$

액추에이터의 입력행렬은 식(6.3)와 같다.

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 542.02 \end{pmatrix} \quad (6.3)$$

시스템 노이즈는 최대크기가 0.001이고 화이트 가우시안 노이즈인 것으로 가정한다. 액추에이터의 출력방정식은 식(6.4)와 같다.

$$z_k = HX_k + v_k \quad (6.4)$$

여기서, 출력 행렬은 식(6.5)와 같다.

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6.5)$$

시뮬레이션의 샘플링 시간은 0.001초로 가정하고, 측정오차는 최대크기가 0.1이고 화이트 가우시안 노이즈인 것으로 가정한다. 그림 6-1은 Electro-Hydraulic 액추에이터의 노이즈가 포함된 Kalman-Fuzzy 입력신호에 대하여 출력 결과 신호를 나타내는 그림이다.

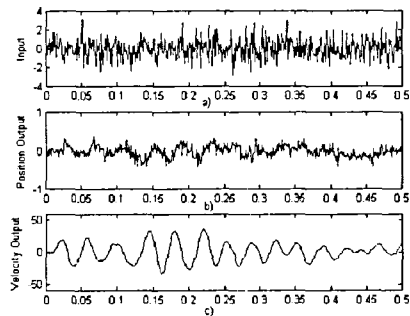


그림 6-1. 입출력 결과.

그림 6-1로부터 신호의 SNR이 상당히 개선 되었

다는 것을 확인할 수 있다.

VII. 결론

본 논문에서는 다중센스 환경에서 센스정보를 Kalman-Fuzzy 시스템을 이용하여 정보를 통합하고 정확하게 프로세스의 상태를 예측하는 시스템을 제안하였다. 제안한 방식의 유용성을 확인하기 위하여 Electro-Hydraulic 액추에이터를 대상으로 위치 추적을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 시스템의 우수성을 확인할 수 있었다.

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] S. Spors, R. Rabenstein and N. Strobel, "A Multi-Sensor Object Localization System", VMV, 2001
- [4] N. Strobel and R. Rabenstein, "Robust speaker localization using a microphone array", In Proceedings of the X European signal processing Conference, vol.III, p 1409-1412, 2000
- [5] N. Strobel, S. Spors, and R. Rabenstein, "Joint audio-video object localization and tracking", IEEE Signal Processing Magazine, 18(1):22-31, Jan 2001
- [6] Mohinder S. Grewal and Angus P. Andrews, "Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB", John Wiley & Sons, Inc., 2001