

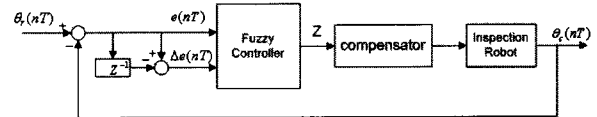
미지의 불 진동을 위한 퍼지 제어를 사용한 탐사 로봇의 위치 제어

이승철, 한병조, 박기광, 장기호, 양해원
한양대학교 전자전기제어계측공학과

Position Control of Inspection Robot with Unknown Boom Vibration Using Fuzzy Controller

Seung-Chul Lee, Byung-Jo Han, Ki-Kwang Park, Gi-Ho Jang, Hai-Won Yang
Dept. of Elec. Elec. Con. & Inst. Eng. Hanyang Univ.

Abstract - This paper proposed a robust controller in order to handle the boom vibration of inspection robot. While a inspection robot moves on boom with vibration by weight occurs. Therefore, Boom as structure like cantilever beam appears vibration by weight of inspection robot. The Z axis of inspection robot operates with Sliding structure. inspection robot is used "Fuzzy Controller" for position control with Z axis. The developed robot system is composed of the specially designed car for inspection robot. The proposed Fuzzy Controllers are used to track position reference signal of Z axis. A Experiment verify that the proposed Fuzzy Controller design method can achieve favorable control performance with regard to external disturbance.



<그림 2> 탐사 로봇의 블록 선도

아래 식(1)과 (2)에서는 오차, 오차의 변화를 정의하였다. 여기서 T>0이다.

$$e(nT) = \theta_r(nT) - \theta_c(nT) \tag{1}$$

$$\Delta e(nT) = e(nT) - e(nT-T) \tag{2}$$

1. 서 론

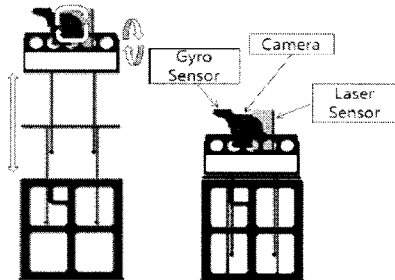
다양한 산업 분야에 걸친 자동화 시스템과 로봇의 개발 및 응용 기술은 해마다 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 그러나 교량 안전 진단 분야에 대해서는 자동화 시스템 및 로봇기술이 매우 낙후되어 있는 실정이다. 현재 교량 유지 관리는 열악한 환경에서 숙련공들이 직접 조사한 정보를 통하여 수작업적으로 관리 되어진다[1][2]. 실제적으로 숙련공들은 교량 하부의 균열수를 확인하고 균열의 최대 크기를 측정하여 안전한 상태인가를 점검하게 된다. 숙련공들은 수작업을 통해 얻은 정보로 교량의 안전을 진단함에 있어 오류를 범하게 된다. 이런 점에서 교량 산업은 안전성 확보를 위하여 다양한 위험 요소를 제거할 필요성이 있다. 그러므로 작업 환경의 개선과 기술 혁신을 통한 검사자의 안전성 확보는 교량 검사에 있어서 가장 중요한 요인이 되고 있다.

국내 업체는 아직까지 교량 시설물에 대한 검사 장비 개발보다는 외국의 개발에 의존하는 형태를 유지하고 있다. 이를 해결하기 위하여 탐사 로봇을 개발하게 되었다. 탐사 로봇은 정확한 위치와 속도로 동작하여 보다 정확한 교량 정보를 수집하는 것을 목적으로 하고 있다. 하지만 차량의 불과 탐사 로봇에서 일어나는 진동으로 인하여 Z축으로 탐사 로봇의 정확한 위치 제어가 힘들어 교량의 정보를 정확하게 알 수 없게 된다.

이러한 점을 고려하여 본 논문에서는 실제 로봇에 적용하기 전에 실험을 통해서 퍼지 제어를 설계하여 경험적 지식을 통하여 위치 제어를 하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 탐사 로봇의 시스템 구성, 3장에서는 시스템의 모델링, 4장에서는 퍼지 제어기 설계, 5장에서는 실험 결과, 6장은 결론 등으로 구성되었다.

2. 탐사 로봇의 시스템 구성

아래의 <그림 1>는 탐사 로봇의 위치 제어 메커니즘이다. 탐사 로봇은 슬라이딩 구조로 Z축 방향으로 상하로 움직인다. 탐사 로봇의 위치 제어 메커니즘은 교량 하부를 관찰할 수 있는 카메라와 카메라를 항상 수직으로 유지해주는 자이로 센서 및 일정한 거리를 유지 시켜주는 레이저 센서로 구성되어 있다.



<그림 1> 탐사 로봇의 위치 제어 메커니즘

<그림 2>의 탐사 로봇의 블록 선도에서 $\theta_r(nT)$ 는 기준 입력, $e(nT)$ 는 오차, $\Delta e(nT)$ 는 오차의 변화, Z는 퍼지 제어기의 출력, $\theta_c(nT)$ 는 탐사 로봇의 출력을 나타낸다.

3. 시스템의 모델링

BLDC 모터를 등가 회로로 나타내면 <그림 3>과 같다. <그림 3>에서 BLDC 모터를 보면 각 a, b, c상마다 R과 L 그리고, 역기전력의 관계로 이루어져 있다. BLDC 모터의 모델식은 식(3)로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + L \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \tag{3}$$

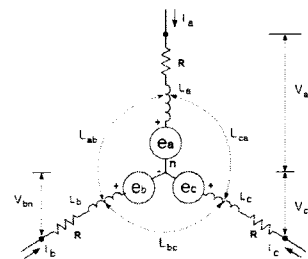
여기서, V_{as}, V_{bs}, V_{cs} 는 각 상의 전압이고, i_a, i_b, i_c 는 각 a, b, c상의 전류, R은 모터의 각상의 저항, L은 모터의 각상 인덕턴스이며, e_a, e_b, e_c 는 각상의 역기전력이다. 발생하는 전기적 토크식은 다음과 같다.

$$T_e = \frac{(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c)}{\omega} \tag{4}$$

여기서, ω 는 각속도이다. 기계적 속도 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{T_e - T_L - B \cdot \omega}{J} \tag{5}$$

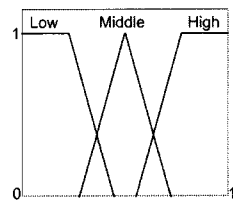
여기서, T_L 는 부하토크, B는 마찰계수, J는 회전자 관성 모멘트이다.



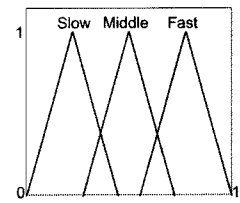
<그림 3> BLDC 모터의 등가회로

4. 퍼지 제어기 설계

아래의 <그림 4>와 <그림 5>는 퍼지 제어기의 입력 멤버십 함수이다.



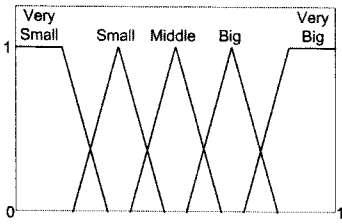
<그림 4> 위치 멤버십 함수



<그림 5> 속도 멤버십 함수

두개의 입력값 $e(nT)$, $\Delta e(nT)$ 는 퍼지화를 통하여 <그림 4>와 <그림 5>와 같이 구간 [0,1]에서 오차, 오차의 변화 값에 대해 각각 3개로 구성되어 있다.

아래의 <그림 6>은 퍼지 제어기의 출력 멤버십 함수이다.



<그림 6> 퍼지 제어기의 출력 멤버십 함수

퍼지화에 의해 추론된 값들은 IF-THEN 규칙을 통하여 정의 하였다. 아래에 보이는 규칙과 같이 각각 9개의 규칙을 정의 하였다.

If $e(nT)$ is A_i and $\Delta e(nT)$ is A_j then U_j is B_i

IF-THEN 규칙에서 A_i , A_j 는 입력 언어 변수이고, B_i 는 출력 언어 변수이다. IF-THEN 규칙을 통하여 아래의 <표 1>과 같이 표현 하였다. 여기서 SL(Slow), M(middle), F(Fast), L(Low), H(High), VS(Very Small), S(Small), B(Big), VB(Very Big)이다.

<표 1> 규칙표

$\Delta e(nT) \backslash e(nT)$	SL	M	F
L	VS	S	M
M	S	M	B
H	M	B	VB

퍼지 제어기는 비퍼지화 하기 위해 가장 많이 사용하는 방법인 무게 중심법(Center of Gravity Method)를 사용하였다. 무게 중심법은 식(6)와 같이 표현 할 수 있다.

$$u^* = \frac{\sum_{j=1}^n u_{B_j}(u_j)u_j}{\sum_{j=1}^n u_{B_j}(u_j)} \quad (6)$$

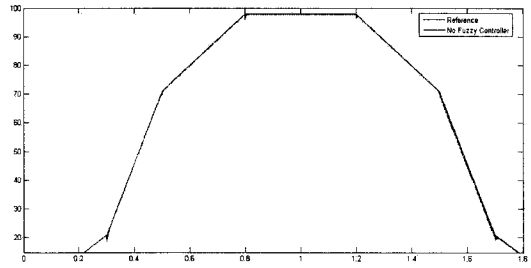
u^* 는 언어 변수에 의한 추론결과, u_j 는 언어 변수에 대한 멤버십 함수, $u_{B_j}(u_j)$ 는 언어 변수의 멤버십 함수가 최대일 경우 논리 영역의 값이고, n 은 출력의 개수이다.

5. 실험 결과

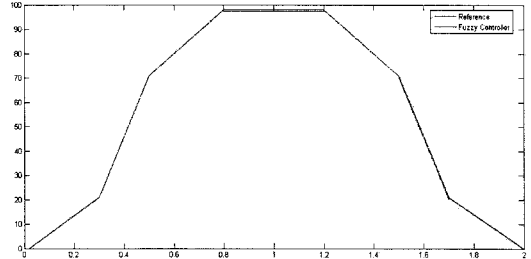
탐사 로봇은 특장차로부터 붐의 끝단에 장착하여 로봇이 교량 하부에 따라 Z축으로 움직일 때마다 진동이 일어나는 것을 컴퓨터와 DSP2812 사이에 CAN통신을 이용하여 실험 결과 값을 작성하였다. 탐사 로봇은 BLDC 모터 전압 24[V], 전류 0.024[A/mNm], 토크 41.86[mNm/A], 출력 207[W], 회전수 228[rpm/v], 인덕턴스 220[μH], 저항 0.690[Ω], 최대전류 5.05[A], 최대토크 197.8[mNm], 최대회전수 16000[rpm], 역기전력 4.384[mV/rpm], 회전자 관성 130[gm²], 무게 22[kg], 속도 0~2000[rpm]를 갖으며 Z축으로 움직이면서 실험한 결과이다.

<그림 7>과 <그림 8>은 Fuzzy 제어기를 사용 하지 않은 경우와 사용한 경우이며 구간별로 탐사 로봇이 상하로 움직일 때를 기준으로 하였다. 탐사 로봇이 처음 상승 할 때 0~0.02초 정도 지연 시간 후 0.02~0.3초 구간까지 21cm 상승하고 0.3~0.5초 구간에서 71cm까지 급격하게 상승했다가 다시 0.5~0.8초 구간에서 98cm까지 상승하였다. 98cm에서 0.4초동안 시간 지연 후 1.2~1.5초 구간에서 71cm까지 하강 했다가 1.5~1.7초 구간에서 다시 급격하게 21cm까지 하강 후 1.7~2초 구간에서는 완만하게 하강을 하였다.

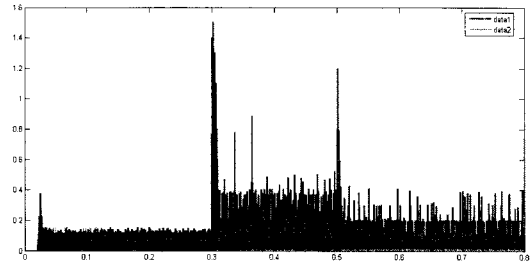
퍼지 제어기를 사용하지 않은 <그림 7>은 탐사 로봇이 상하로 움직일 때 구간마다 진동의 차이가 다르다는 것을 알 수 있었다. 그러나 퍼지 제어를 사용한 <그림 8>에서는 구간마다 진동의 차이가 다르지 않고 일정하게 잘 추정하였다. <그림 9>와 <그림 10>은 탐사 로봇이 상하로 움직일 때마다 나타내어지는 에러 값들이다. <그림 9>와 <그림 10>에서 각각 data1은 퍼지 제어기를 사용하지 않은 경우이고, data2는 퍼지 제어기를 사용한 경우이다. <그림 9>의 상승 에러 값에서는 구간과 구간이 바뀌는 시점에서 에러의 변화가 심하게 일어나지 않지만 <그림 10>의 하강 에러 값에서는 구간과 구간이 바뀌는 시점에서 에러의 변화가 심하게 일어났다.



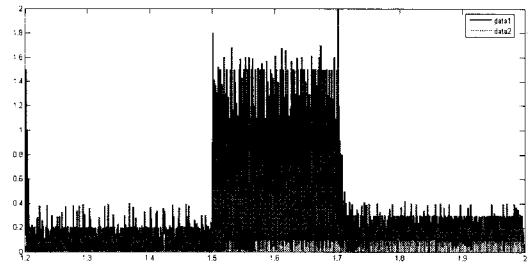
<그림 7> Fuzzy 제어기를 사용 하지 않은 경우



<그림 8> Fuzzy 제어기를 사용한 경우



<그림 9> 상승 에러 값



<그림 10> 하강 에러 값

6. 결 론

본 논문은 미지의 붐 진동으로 탐사 로봇이 현장에서 정확한 위치 제어가 힘들어 작업에 어려운 문제점이 있었다. 이를 해결 하기 위해 경험적 지식을 바탕으로 한 퍼지 제어기를 탐사 로봇에 적용하여 진동의 값을 추정하고 위치 값을 보정하여 정확한 위치 제어를 가능하게 하였다. 퍼지 제어를 사용하지 않은 경우보다 사용한 경우의 에러가 적게 발생하였다.

Acknowledgement

"본 연구는 2008년도 건설교통부 재원으로 교량 검사로봇 개발 사업단(BIRDI)의 지원을 받아 연구되었음."

[참고 문헌]

- [1] Federal Highway Administration (FHWA), "Bridge inspections Training Manual", July 1991.
- [2] "Bridge Maintenance Training Manual US Federal Highway Administration", FHWA-HI-94-034, Prepared by Wilbur Smith Associate, 1992.
- [3] 이안용, 오재근, 최영진, 이병주, 양해원, "교량 탐사 로봇 시스템의 원격 제어와 퍼지 PID제어", 제2회 한국 지능로봇 학회 종합 학술대회, pp. 167-172, June, 2007.