

교량 탐사 로봇을 위한 퍼지+PID 제어기

이안용, 황영호, 양해원
한양대학교 전자전기제어계측공학과

Fuzzy+PID Controller for Bridge Inspection Robot

An Yong Lee, Young Ho Hwang, Hai Won Yang
Dept. of Elec. Elec. Con. & Inst. Eng. Hanyang Univ.

Abstract - This paper presents a Fuzzy+PID control method for a Bridge Inspection Robot(BIR) system. The BIR has been developed with the aim of checking the safety status of a real bridge, gathering accurate data and performing maintenance. The developed robot system is composed of the specially designed car for bridge inspection, the guide rail and the inspection robot. The proposed Fuzzy+PID controllers are used to track speed reference signal of X axis and position reference signal of Z axis. Experimental results verify that the proposed Fuzz+PID control design method can achieve favorable control performance with regard to external disturbance.

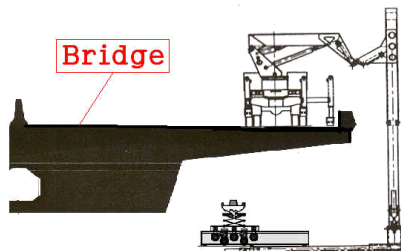
1. 서 론

다양한 산업 분야에 걸친 자동화 시스템과 로봇의 개발 및 응용 기술은 해마다 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 그러나 교량 안전 진단에 대해서는 자동화 시스템 및 로봇기술이 매우 낙후되어 있는 실정이다. 현재 교량 유지, 관리는 열악한 환경에서 숙련공들이 직접 조사한 정보를 통하여 수작업 되어졌다[1][2]. 실질적으로 숙련공들은 교량 하부의 균열 수를 확인하고 균열의 최대 크기를 측정하여 안전한 상태인가를 점검하게 된다. 숙련공들은 수작업을 통해 얻은 정보를 주관적으로 교량의 안전진단을 판단하게 되어 오류를 범하게 된다. 이런 점에서, 교량 산업은 안전성 확보를 위하여 다양한 위험 요소를 제거할 필요성이 있다. 안전장치와 안전기준의 부재는 교량 검사 현장에서 재해를 유발한다. 그러므로 작업 환경의 개선과 기술 혁신을 통한 검사자의 안전성 확보는 교량 검사에 있어서 가장 중요한 요인이 되고 있다. 그러나 국내 업체는 아직까지 교량 시설물에 대한 검사 장비 개발 보다는 외국의 개발에 의존하는 형태를 유지하고 있다. 이를 해결하기 위하여 교량 탐사 로봇을 개발하게 되었다. 교량 탐사 로봇은 원격지에서 원격 조정을 하기 위해서 센서 모듈과 모터 제어기로서 PID 제어기를 사용 하였다. 하지만 PID 제어기는 긴 지연시간(dead time), 강한 비선형성을 내포하고, 자체 특성이 일정하지 않고 잦은 부하변동 및 잡음이 존재하는 시스템에 대하여 많은 단점을 갖고 있으므로 퍼지 제어를 결합하여 이러한 단점을 개선함으로써 외부 외란, 마찰력에서도 정확하게 목표 위치까지 접근 가능한 교량 탐사 로봇을 개발하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교량 탐사 로봇에 대한 전체 시스템, 3장에서는 퍼지+PID 제어기 설계에 대해서 다루고 있다. 4장 교량 탐사 로봇에 적용한 PID제어와 퍼지+PID 제어기를 비교 분석 하였다.

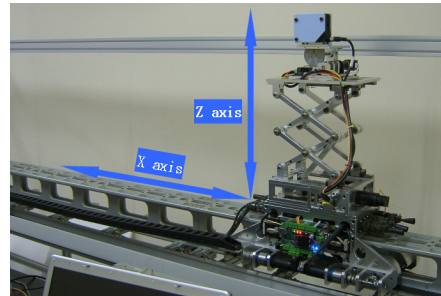
2. 교량 탐사 로봇에서의 전체 시스템

교량 탐사 로봇의 전체 시스템은 특장차, 이송 레일, 탐사 로봇으로 <그림 1>에서와 같이 구성 되어 있다. 이송 레일은 특장차로부터 접하지 않는 붐의 끝단 위에 위치하게 된다. 그리고 탐사 로봇 시스템은 이송레일 위에 장착되어 진다. 장착된 로봇이 넓은 교량 하부를 정밀하게 조사하기 위하여 이송 레일 위를 동작할 수 있게 설계 하였다.



<그림 1> 교량에서의 전체적인 시스템

<그림 2>는 교량 탐사 로봇 시스템의 구성에 대해 설명하고 있다. 교량 탐사 로봇 플랫폼은 교량 하부 균열을 찾을 수 있게 X축으로 동작하는 기본 플랫폼과 Z축으로 동작하는 플랫폼 그리고 카메라를 결합할 수 있는 기구부, 이렇게 3부분으로 구성 되어 있다.

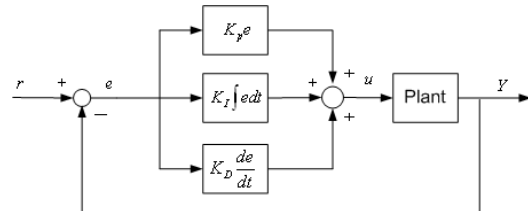


<그림 2> Scissors 형태의 교량 탐사로봇과 이송 레일

3. 퍼지+PID 제어기 설계

3.1 PID 제어기 구조

일반적으로 PID(Proportional, Integrate, Derivative)제어기는 가장 많이 사용되며 오차 신호를 피드백 하여 제어기의 신호를 출력 할 수 있는 <그림 3>과 같은 제어기 구조이다.



<그림 3> PID 제어기 구조

PID 제어 입력값 U_{PID} 는 식(1)과 같이 정의 할 수 있다.

$$U_{PID} = K_p e + K_i \int edt + K_D \frac{de}{dt} \quad (1)$$

여기서 K_p 는 오차신호에 곱해지는 비례이득이며, K_i 는 오차신호를 적분한 값에 곱해지는 적분이득이고, K_D 는 오차신호를 미분한 값에 곱해지는 미분이득이다.

3.2 퍼지 제어기 구조

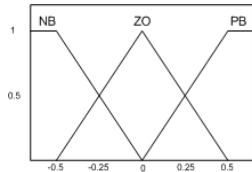
<그림 4>를 보면 퍼지 시스템은 3가지의 구조로 되어있다[3].



<그림 4> 퍼지 제어기 구조

- 퍼지화기: 입력 값이 Crisp 함수이므로 퍼지 집합론을 기반으로 한 입력 값을 설정함.
 - 기본 규칙: 퍼지 시스템에서 퍼지 규칙에 의해서 동작을 설정함.
 - 비퍼지화기: 추론된 출력 퍼지량에 대응되는 수치 값들 중 가장 적당한 값을 선택함.
- 두 개의 입력 값을 퍼지화기를 통하여 <그림 5>와 같이 [-1,1]인 영

역에서 언어적 제어 변수인 오차, 오차의 변화 값에 대해 각각 NB(Negative Big), ZO(zero), PB(Positive Big)의 3개로 구성되어 있다.



〈그림 5〉 퍼지 제어기의 멤버십 함수(입력/출력)

퍼지화기에 의해 추론된 값들은 IF-THEN 규칙을 통하여 <표 1> 과 같이 표현 하였다. 아래 보이는 규칙과 같이 각각 9개의 규칙을 정의하면 다음과 같다.

if e(nT) is E_i and Δe(nT) is ΔE_j then U_j is U_m

IF-THEN 규칙에서 E_i, E_j는 입력 언어변수이고, U_m은 출력 언어 변수이다.

〈표 1〉 퍼지 제어기의 규칙 표

E \ ΔE	NB	ZO	PB
NB	NB	NB	ZO
ZO	NB	ZO	PB
PB	ZO	PB	PB

비퍼지화기의 입력은 퍼지 설정이고 비퍼지화기의 출력은 Crisp 함수이다. 두 가지인 퍼지 제어기는 비퍼지화기 하기 위한 가장 많이 사용하는 방법인 무게 중심법(center of gravity)을 사용하였다.

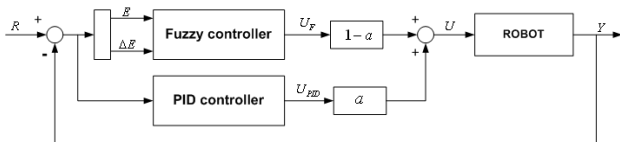
무게 중심법은 식(2)과 같이 표현 할 수 있다.

$$U_F = \frac{\sum_{j=1}^n u(u_j)u_j}{\sum_{j=1}^n u(u_j)} \quad (2)$$

U_F는 언어 변수에 의한 추론 값, u_j는 언어 변수의 멤버십 함수가 최대일 경우 논리 영역의 값. u(u_j)은 언어 변수에 대한 멤버십 이고, n은 논리 영역에서 독립된 값이다.

3.3 퍼지+PID 제어기 구조

퍼지+PID는 PID 제어기와 퍼지 제어기로 구성된다. 퍼지+PID 제어기의 기본 구조는 <그림 6>과 같다.



〈그림 6〉 퍼지+PID 제어기 구조

퍼지+PID 제어 입력은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

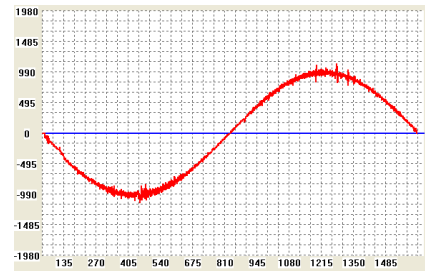
$$U = \alpha \cdot U_{PID} + (1 - \alpha) \cdot U_F \quad (3)$$

<그림 6>에서 E는 오차, ΔE는 오차의 변화, (1-α)는 퍼지 제어기의 가중치, α는 PID 제어기의 가중치이고 U_{PID}는 PID 제어기의 출력, U_F는 퍼지 제어기의 출력, U는 로봇에 입력, Y는 로봇의 출력을 나타낸다.

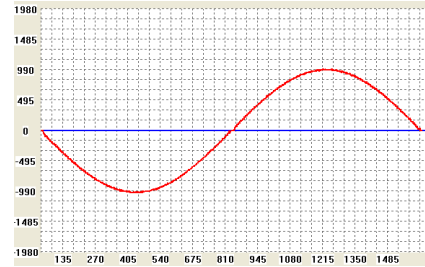
4. 교량 탐사 로봇에 대한 PID제어기와 퍼지+PID제어기의 성능 비교

교량 탐사 로봇의 이송레일 경사를 약 5° 정도 기울여 놓고 컴퓨터와 DSP2812 사이에 RS232통신을 이용하여 실험 결과 값을 작성하였다. <그림 7, 8>은 교량 탐사 로봇이 X축으로 0~1000rpm 속도를 갖으며 좌우로 이동하면서 실험한 결과이다. <그림 7, 8>에서 음의 방향으로 내려가 있는 부분은 로봇이 레일을 내려가는 것이고 양의 방향은 로봇이 레일을 올라오는 것을 나타낸다. 로봇과 이송레일에서 발생하는 마찰력과 외란에 의해 <그림 7>에서 오차가 나타나는 것을 볼 수 있지만 <그림 8>에서는 오차가 줄어들었음을 볼 수 있다.

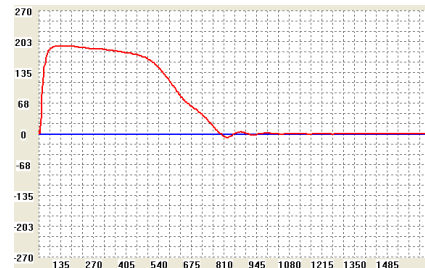
<그림 9, 10>은 Z축으로 가상의 교량과 교량 탐사 로봇 사이의 거리를 레이저 센서에서 나오는 거리 값을 938[mm]로 설정하여 발생하는 위치 오차를 그래프로 나타낸 것이다. <그림 9>에서는 오버슈트에 의해 오차가 발생 하지만 <그림 10>에서는 오차가 줄어들었음을 보여주고 있다.



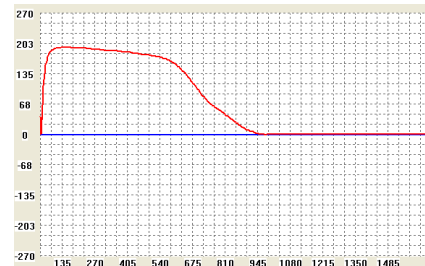
〈그림 7〉 PID 제어기를 사용한 X축에 관한 속도



〈그림 8〉 Fuzzy+PID 제어기를 사용한 X축에 관한 속도



〈그림 9〉 PID 제어기를 사용한 Z축에 관한 위치 오차



〈그림 10〉 Fuzzy+PID 제어기를 사용한 Z축에 관한 위치 오차

5. 결 론

본 논문에서는 외란, 마찰력에 대한 교량 탐사로봇의 속도 및 위치 제어의 성능을 높이기 위하여 퍼지+PID제어기를 적용하였고 제안된 제어기의 성능이 기존 PID제어기의 성능 보다 향상되었음을 실험을 통하여 보여 주었다.

Acknowledgement

본 연구는 2007년도 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] Dr.F.H.Ali and Maher M.F.Algreer "Fuzzy PID control for Positioning Plants with Uncertain Parameters Variation", Department of Computer Engineering, 2006.