

LabVIEW를 이용한 3-축 SCARA 로봇 최적 튜닝 기법 연구 Study on Optimal Tuning Method of 3-axis SCARA Robot Using a VI

*김정현¹, 김효곤¹, 정원지²

*J. H. Kim¹, H. G. Kim¹, #W. J. Chung(wjchung@changwon.ac.kr)²

¹창원대학교 기계설계공학과, ²창원대학교 기계설계공학과

Key words : LabVIEW®, Gain tuning, PID control, Frequency Response Method,

1. 서론

현대 산업에 있어서 로봇의 역할은 점점 증가하고 있다. 단순한 물건을 옮기거나 용접하는 작업 분야에 사용되던 로봇은 수 마이크로 미터의 오차범위 내의 정밀성을 필요로 하는 초정밀 작업에까지 사용되고 있다. 로봇이 이러한 초정밀 작업을 수행하기 위해서는 로봇을 구동하는 서보 모터의 성능을 향상시키고 초정밀 제어가 가능한 서보 제어기의 개발이 필요하다. 초정밀 제어를 위해서는 로봇 기구부의 동적 특성을 고려한 제어가 필요하지만, 이를 위해서는 수학적으로 복잡한 연산이 필요하며 실제 제어기에 적용하기에는 기술적으로 많은 문제점이 있다.

현재 일반적인 서보 제어기는 PID(Proportional Integral Derivative) 제어를 기초로 한 폐루프 제어방식을 이용한다. 그러나 로봇의 이송 속도가 빠를수록 프로그램에 의해 교시된 경로를 크게 벗어나는 현상이 발생하고, 속도 변화에 따라 기구부의 진동이 발생하게 되어 로봇의 저진동, 고정밀 모션제어가 힘들어지게 된다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 로봇의 동적 특성을 고려한 PID Gain 설정이 필요하다.

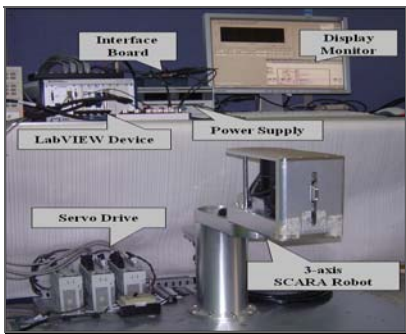


Fig. 13 is R Ro ot

본 논문에서는 LabVIEW®를 이용하여 3축 SCARA 로봇의 최적 튜닝 기법에 대하여 연구하였다. LabVIEW®를 이용하여 주파수응답법(Frequency response method)을 이용한 Dynamic signal analyzer 구현하고, 이를 이용하여 3축 스카라 로봇의 (3-Axis SCARA) 동적 특성을 고려한 최적 튜닝기법을 연구하였다.

2. Gain Tuning Using a VI

3축 스카라 로봇의 동적 특성을 고려한 최적 튜닝을 위해서는 주파수응답기법을 이용하였다. 주파수 응답기법이란, 시스템의 해석과 설계를 위한 실제적이며 중요한 방법으로 $X\sin(\omega t + \phi)$ 식과 같이 주파수가 변하는 삼각함수 입력신호에 대한 시스템의 정상상태응답으로 정의된다. 여기서, X는 진폭, ω 는 각주파수, ϕ 는 위상각이다.

삼각함수는 특별한 입력신호로서 그에 의한 선형시스템의 출력신호나 시스템 내부의 모든 신호들은 정상상태에서 $Y\sin(\omega t + \phi)$ 와 같이 입력파형의 크기와 위상각이 다른 삼각함수 형태가 된다. 이와 같이 실험적으로 결정된 시스템의 주파수응답으로부터 모르는 시스템의 전달함수를 유도할 수 있다. 또한 설계자는 주파수영역에서 시스템을 설계함으로써 시스템의 대역폭, 또는 원하지 않는 잡음이나 외란

에 대한 시스템의 응답의 척도들을 조정할 수 있다.

Fig.2는 LabVIEW®를 이용한 3축 스카라 로봇의 게인 튜닝을 위한 하드웨어 연결선도이다. 본 실험에서 DUT(Device Under Test, 피시험장치)는 3축 스카라 로봇의 각 축의 액츄에이터(Actuator)로 사용한 AC 서보 모터이며, 주파수응답시험에서 입력신호는 속도 제어 루프의 속도 명령 신호로서, 2HZ~500Hz 까지 변하는 Sine 파형이며 속도 명령 신호의 전압레벨은 0.5 ms이다.

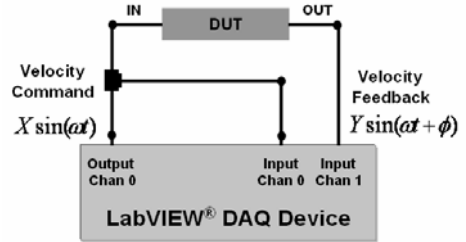


Fig. 2 Frequenc Response Measurement onnection Diagram

주파수응답기법을 이용한 로봇의 최적 튜닝을 위한 LabVIEW® DAQ 하드웨어 구성은 다음과 같다. PXI-4472B는 Analog Input 장치로서 $X\sin(\omega t + \phi)$ 형태의 입력신호를 발생시키며, PXI-6763은 Analog Output 장치로서 DUT를 통과한 출력신호를 수집한다. 또한 PXI-7350은 Motion Controller로서 3축 스카라 로봇의 모션 제어를 담당하게 된다.

Fig.3은 LabVIEW®를 이용한 게인튜닝을 위한 프로그램을 보여주고 있다. (a)는 Block Diagram으로 주파수가 변하는 Sine 속도 명령을 3축 스카라 로봇에 인가하고 실제 명령에 대한 속도 결과를 수집하여 주파수 응답 결과를 분석하고 보드선도(Bode Plot)로 변환해 주는 실제 프로그램이며, (b)는 Front Panel로써, 사용자가 프로그램의 초기값을 설정하고 실험결과등을 확인할 수 있는 그래픽 유저 인터페이스(Graphical User Interface (GUI))이다.

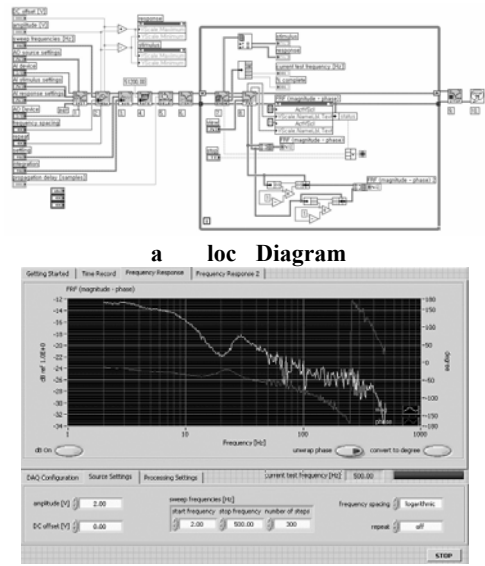


Fig. 3 raphical Programming for ain Tuning Using a VI

상기 실험 장치와 프로그램을 이용한 게인튜닝 순서는 속도 루프 비례게인, 적분게인, 그리고 위치 제어 루프의 비례게인 순으로 설정하게 된다.

Closed Loop 의 Bode Diagram 은 식 (1)과 같이 Closed Loop Transfer Function $G_c(s)$ 와 Open Loop Transfer Function $G(s)$ 사이의 관계가 존재하므로 추출된 Closed Loop 의 Bode Plot 으로 쉽게 Open Loop Bode Plot 을 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{G_c(s)}{1 - G_c(s)} \quad (1)$$

Open Loop 의 Bode Plot 으로부터 Gain Margin (Phase 가 180 도 되는 지점)과 Phase Margin(Magnitude 가 0 이되는 지점)을 구하고 Proportional Gain 선정 기준으로 삼는다. 그리고 일반적으로 Gain Margin 은 -6db ~ -20db 로 사이에 Phase Margin 은 45 도 이상이 되도록 Proportional Gain 을 조정한다.

$$G = \frac{-s+1}{s} = \left(\frac{T_i s + 1}{T_i s} \right) \quad (2)$$

Velocity Loop 의 적분 Gain 은 적분 시정수에 의해 결정된다. Open Loop Transfer Function 은 식 (2)와 같으며, 적분기에 의한 Open Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 특성은 적분시정수 1/Ti 의 10 배되는 지점에서 Phase 는 0 에 가까워지므로 적분기를 사용하여도 Phase Margin 이 변하지 않도록 Phase Margin 이 계산된 지점(Gain Cross Over Frequency)의 1/10 이 되는 지점에 적분기의 시정수가 있도록 한다. 따라서 Velocity Loop 의 적분 시정수는 Proportional Gain 조정시에 얻은 Phase Margin 이 변하지 않도록 Gain Cross Over Frequency 의 1/10 이 되는 지점을 적분시정수로 정한다.

Velocity Loop 의 Proportional Gain 을 조정하기 위해 추출된 Closed Loop Transfer Function 의 Bode Diagram 으로부터 Magnitude 가 -3dB 되는 지점이 Position Loop 에 유효한 Velocity Loop 의 Bandwidth(Cut-Off Frequency)가 된다. 위에서 얻은 Velocity Loop 의 Cut-off Frequency 로 Velocity Loop 의 Transfer Function 을 1 차 시스템으로 근사화 시키면 식 (3)과 같이 Position Loop 의 Transfer Function 을 구할 수 있다.

$$G(s) = \frac{2\pi f_c}{s(s+2\pi f_c)} = \frac{2\pi f_c}{s^2 + 2\pi f_c s + 2\pi f_c} = \frac{\omega^2}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \quad (3)$$

$$\zeta\omega = \pi f_c, \quad \omega^2 = 2\pi f_c \quad (4)$$

여기서, Position Control Loop 의 Damping Ratio 인 ζ 가 결정되면 Proportional Gain 인 K_p 와 Bandwidth f 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$K_p = \frac{\pi f_c}{2\zeta^2}, \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{f_c}{2\zeta} \quad (5)$$

이상의 방법을 이용하여 3 축 스카라 로봇의 동적 특성을 고려한 게인 튜닝 결과는 Table 1 과 같다.

Table 1 Tuning Result of 3-axis Robot

	Gain margin (db)		Phase margin (Degree)		Gain Cross over Frequency (Hz)	Kv		Ki		Kp	
	before	after	before	after		before	after	before	after	before	after
1st Joint	-17	-11	-	-68	13.8	50	177	100	201	20	43
2nd Joint	-19	-13	-	-46.5	14	50	223	100	305	20	44
3rd Joint	-15	-8.5	-91.3	-116	243	50	141	100	1014	20	700

3. experiments

LabVIEW[®]를 이용한 최적 튜닝 기법을 이용한 3 축 스카라 로봇의 성능 평가를 위한 실험을 수행하였다. 0.5 ms 를 속도 명령으로 인가했을 경우 기존 게인 값과 튜닝 후의 게인 값을 적용하였을 경우의 속도 응답을 측정하여 평균 명령 오차값을 비교하였다. Fig.4 는 그 결과를 보여주고 있으며, Table 2 는 각 축의 평균 응답 오차값을 보여주고 있으며 본 논문에서 제안한 게인 튜닝 후 응답 오차율이 현저히 감소하였음을 볼 수 있다.

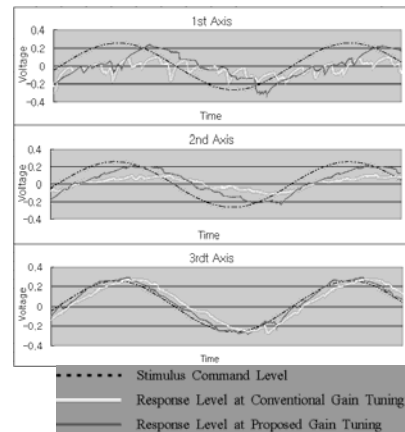


Fig. 4 Response Test of 3-axis Robot

Table 2 Average of Response Error Voltage

Axis	Case	Conventional gain tuning	Proposed gain tuning
The 1st Axis		0.081842	0.048192
The 2nd Axis		0.041385	0.022487
The 3rd Axis		-0.00443	-0.00141

4. 결론

본 논문은 LabVIEW[®]를 이용한 3 축 스카라 로봇의 동적 특성을 고려한 최적 튜닝 기법에 관한 연구를 수행하였다.

주파수 응답해석을 위한 LabVIEW[®]프로그래밍을 수행하였으며, 이를 이용하여 3 축 스카라 로봇의 PID 게인 튜닝을 수행하였다. 속도 제어 루프의 비례게인을 선정하고, 속도 제어 루프의 적분게인을 선정하였으며, 마지막으로 위치 제어 루프의 비례게인을 선정하였다.

또한, 본 논문에서 제안한 튜닝 결과를 적용하여 성능 평가를 수행하기 위하여 LabVIEW[®] 모션제어보드를 이용하여 여 기존에 비해 모든 축의 평균 응답 오차가 현저히 감소함을 확인 할 수 있었다

후기

본 논문은 한국 산업기술재단 지원으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구 인력양성 사업의 지원으로 수행된 연구결과입니다. 이 연구에 참여자는 [2 단계 BK 21 사업]의 지원비를 받았습니다.

참고문헌

1. National Instruments, LabVIEW Fundamentals, 2005
2. BENJAMIN C. KUO, "Automatic control systems," Prentice-Hall, Inc, 1991.
3. Haugen, Finn(NA), "PID control of dynamic systems," Intl specialized book service inc, 2004.
4. E. Bolton, "Mechatronics," Addison Wesley Longman Limited, 1999.
5. 이웅중, 유우중, 송승호 공역, "산업용 서보모터의 제어 시스템 설계," 대영사, 2005.