

DSP 콘트롤러를 이용한 협조 스칼라 로봇 매니플레이터의 개발에 관한 연구

박 예 구¹⁾, 崔 炯 植²⁾

A Study on the Development of Two-Cooperating SCARA Robot Manipulators using DSP Controller

Ye-Gu Park, Hyeung-Sik Choi

Abstract

In this paper, using a pair of four axes SCARA robot manipulator, a two-cooperating robot system is studied. As a first step, the kinematics of four axes robot manipulator and mathematical modeling motion dynamic of each links are shown. When the end-effector of robot manipulator moves by means of PTP(point to point)method, direct kinematics and inverse kinematics by four axes SCARA robot manipulator should be specified. The dynamic equation of the robot manipulator is derived from the Lagrange equation. Path planing of the manipulator expressed each link position as time function using LSPB(linear segments with parabolic blends) method to coordinate smoothly the end-effector of manipulator. Adaptive and fuzzy control algorithm is used to regulate unknown parameter. Based on all these, numerical simulation is performed using three links robot manipulator propriety of the controller.

In hardware implementary two-cooperating robot system using SAMSUNG

1) 한국해양대학교 기계공학과 석사과정 메카트로닉스 전공
2) 한국해양대학교 기계공학과 조교수

and LG four axes SCARA robot manipulator are developed. The gripper is operated by the solenoid valve which is operated by computer I/O card. To control the motion of the robot manipulators, PC-DSP and TMS320C31-DSP control board is used.

1. 서론

초기의 로봇은 유압, 공압을 동력원으로 하여 직각좌표계, 원통좌표계, 극좌표계 등으로 인간이 직관적으로 알기 쉬운 동작구조를 가진 것이었다. 그러나 마이크로 컴퓨터가 등장함으로써 직각좌표계와 로봇이 동작하는 좌표계 사이의 변환이 수행 가능하게 되었고 우수한 전자적 성능을 활용하여 로봇의 제어에 새로운 길을 열어주었다.

로봇 매니플레이터는 단순하고 반복적이며 위험한 일들을 인간을 대신하여 수행함으로써 능률을 올리고 산업재해를 예방하는데 큰 역할을 담당하고 있다. 이러한 로봇매니플레이터는 산업현장에서 매니플레이터간 협조 없이 단일로 작업하는 경우가 대부분이었다. 하지만 인간이 양손으로 작업하듯이 협조 로봇 매니플레이터를 사용하면 조립가공 및 보수유지와 같은 작업에서 하나의 매니플레이터로 작업물체를 잡고 다른 매니플레이터를 이용하여 작업을 하면 유연성을 가질 수 있다.^(1,2)

본 논문에서는 두 대의 4축 스칼라 로봇 매니플레이터를 이용하여 협조 로봇 시스템을 구축하고자 한다. 우선 4축 로봇 매니플레이터의 기구학을 살펴보고 각 링크들의 운동역학을 수학적으로 모델링하였다. 그리고 로봇 매니플레이터의 불확실한 파라미터에 유연하게 대처할 수 있는 적응제어 알고리즘과 퍼지제어 알고리즘을 사용하였으며 제어기의 타당성을 검증하기 위하여 3관절 로봇 매니플레이터를 이용하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다.

그리고 삼성 4축 스칼라 로봇 매니플레이터와 LG 4축 로봇 매니플레이터를 이용하여 협조 로봇 시스템을 구성하였다. 핸드그립은 공압을 이용하여 작동되도록 하였으며 온/오프동작은 컴퓨터 I/O카드를 이용한 전자밸브로 작동되도록 구성하였다. 로봇 매니플레이터의 실시간 동작제어를 위한 제어기로는 PC-DSP보드와 TMS320C31 DSP 보드를 사용하였다. 이들 제어기로 부터의 신호중폭을 수행하기 위하여 삼성과 LG 모터드라이버를 이용하였다. 이와같이 구성된 협조 로봇 시스

템의 제어는 한 대의 컴퓨터로 2대의 4축 로봇 매니퓰레이터를 동시에 제어할 수 있도록 하였다.

2. 시스템 모델링 및 제어기의 설계

매니퓰레이터의 좌표 모델링은 작업좌표에서 매니퓰레이터 끝점이 점대점방법으로 이동할 때 관절좌표계로 표현하기 위하여 4축 스칼라 로봇 매니퓰레이터를 대상으로 순기구학과 역기구학을 구하였고 매니퓰레이터의 운동방정식은 Lagrange 식을 이용하여 유도하였다. 궤적계획은 매니퓰레이터의 원활한 운동을 위하여 역기구학에서 구한 각 관절의 위치를 직선과 포물선의 조합 알고리즘을 이용하여 시간의 함수로 각속도를 표현하고 제어기의 기준입력으로 하였다. 제어기로는 로봇 매니퓰레이터의 불확실한 파라미터에 유연하게 대처할 수 있는 적응 제어기와 퍼지제어기를 설계하였다.

2.1 시스템 모델링

기준좌표계에 관한 손목까지의 위치 및 방향은

$$T = A_1 A_2 A_3 A_4 = \begin{pmatrix} c_{12}c_4 + s_{12}s_4 & -c_{12}s_4 + s_{12}c_4 & 0 & l_1c_1 + l_2c_{12} \\ s_{12}c_4 - c_{12}s_4 & -s_{12}s_4 - c_{12}c_4 & 0 & l_1s_1 + l_2s_{12} \\ 0 & 0 & -1 & -l_4 - d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

이다.^(3,4) 따라서 각 관절의 각도 $\theta_1, \theta_2, \theta_4$ 가 주어지면 식(2.1)로부터 기준좌표계에 대한 손목 부분까지의 위치와 방향을 구할 수 있다. 로봇 매니퓰레이터의 역기구학을 구하는 방법은 대수적인 방법과 기하학적인 방법으로 구할 수 있으나 본 연구에서는 대수적인 방법으로 역기구학의 해를 구하였다.

로봇의 운동방정식은 다음과 같이 표현되는 Lagrange 방정식을 이용하여 유도하였다.⁽⁵⁾

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \tau \quad (2.3)$$

여기에서 $L = KE - F$ 이다. KE 는 운동에너지이며 F 는 위치에너지이다. 4축 스칼라 로봇 매니플레이터의 운동방정식을 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\tau = M(\theta) \ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}) \dot{\theta} + G(\theta) \quad (2.6)$$

여기에서

θ : 조인트 각 변위인 $n \times 1$ 벡터

τ : 액추에이터 토크입력인 $n \times 1$ 벡터

$M(\theta)$: 부가질량 및 관성모멘트를 포함하는 링크의 질량과 관성모멘트로 구성된 $n \times n$ 벡터

$C(\theta, \dot{\theta})$: $n \times n$ 부가질량을 포함하는 코리올리력, 원심력인 비선형 힘벡터

$G(\theta)$: 중력의 $n \times 1$ 벡터 이다.

2.2 제어기의 설계

제어기 설계의 선행과정은 궤적을 설계하는 것이다. 이러한 제어기의 궤적은 제어기의 원하는 입력으로 이용된다. 즉 제어기의 설계는 이러한 원하는 궤적을 미리 계획하는 궤적계획과 적응 제어기, 퍼지 제어기 등과 같은 제어기를 이용하여 로봇 매니플레이터를 원하는 경로를 따르도록 제어하는 것이다.⁽⁶⁾

2.2.1 궤적계획

로봇의 끝점이 움직여야 할 공간상의 곡선을 경로라 하며 이 경로를 시간의 매개변수로 원하는 경로로 설계하는 것을 궤적계획이라 한다. 관절공간에서 궤적을 찾는 방법으로 등속구간이 가능한 직선과 포물선의 조합 알고리즘을 사용하였다.^(6,7)

2.2.2 적응제어기

로봇 매니플레이터의 운동방정식은 비선형의 형태로 존재하기 때문에 일반적으로

많이 사용하고 있는 계산토크 제어기으로써는 명확한 제어가 이루어지지 않을 뿐만 아니라 파라미터의 변화에 유연하게 대처를 하지 못한다. 따라서 이러한 문제점들에 유연하게 대처할 수 있는 적응제어 알고리즘을 사용하고자 한다. 본 논문에서 사용한 적응 제어기법은 Slotine과 Lie가 제안한 형태의 적응 제어 알고리즘을 적용하였다.^(8,9,10)

2.2.3 퍼지 제어기

퍼지제어기는 근본적으로 비선형 PD 또는 PID제어기의 구조를 가지고 있고 선형특성은 규칙행렬에서 쉽게 파악할 수 있으며 퍼지 제어기에서 오차와 오차 변화를 이용하여 규칙을 정하는 경우는 PD 제어기에서 오차와 오차 미분치를 이용하는 경우와 대응되며, 퍼지 제어기에서 오차, 오차변환 그리고 오차의 적분치를 사용하는 경우는 PID 제어기의 것과 대응된다. 그러나 PD 제어기와 PID 제어기가 선형성에 그 바탕을 두고 있는데 반해 퍼지 제어기는 비선형 특성을 갖고 있으며 이러한 특성은 규칙행렬을 조정하여 변화시킨다. 특히 퍼지제어기는 시스템이 매우 비선형적이거나 모델링이 어려운 경우에 적합하다.^(11,12,13) 퍼지제어기의 구조는 퍼지화, 지식베이스, 퍼지추론, 비퍼지화로 구성된다.

3. 시뮬레이션

모의 실험은 3축 로봇 매니퓰레이터 운동식을 이용하여 실행하였고 모의실험에 사용된 시스템의 변수들의 수치는 다음과 같다.

시스템 변수 링크	질량	관성력	길이	중심	반경
	m_i (kg)	I_i (kg · m · m)	l_i (m)	l_{α} (m)	r(m)
1	8	0.5017	0.5	0.25	0.05
2	5	0.2004	0.4	0.2	0.03
3	2	0.0001	0.2	0.1	0.01

표 3.1 링크 변수

링크1과 링크2의 형상은 각주이며 따라서 관성력은 $I_1 = (1/12)m_1(r_1^2 + 3l_1^2)$ 와

$I_2 = (1/12)m_1(r_2^2 + 3l_2^2)$ 을 사용하였고 링크3의 형상은 원통실린더의 형상으로 관성력은 $I_3 = (1/2)m_3r^2$ 을 사용하여 계산되었다. 각 링크의 회전각은 말단부 위치초기 좌표 (x_0, y_0) 와 최종좌표 (x_1, y_1) 를 역기구학 방정식을 이용하여 계산되도록 하였다. 로봇 매니플레이터의 말단부 위치 좌표 변화를 초기 위치 좌표 $(0, 0)$ 에서 최종 위치 좌표 $(0.7(m), 0.3(m))$ 로 하고 z축 회전각을 30° 로 하였을 경우 역기구학 방정식에 의해 계산되어진 각 매니플레이터의 회전각은 링크1의 회전각 $-0.67(\text{rad})$, 링크2의 회전각 $1.31(\text{rad})$, 링크3 회전각이 $1.88(\text{rad})$ 이고 속도는 $0.533(\text{rad/sec})$ 와 같이 주어졌다. 그리고 경로생성은 등속이 가능한 LSPB 방법을 사용하였다. 그림 3.1~3.3과 같이 전체 궤적생성 시간을 $5(\text{sec})$ 로 하고 가속에서 등속구간으로 변화하는 시간은 $1.5(\text{sec})$, 등속에서 가속으로 변화하는 시간은 $3.5(\text{sec})$ 로 하였다. 입력된 기준 위치궤적에 대한 추종성을 알아보기위해 계산토크 제어기와 적응 제어기, 퍼지제어기를 적용하였을 경우의 시뮬레이션을 비교하고자 한다.

3.1 적응 제어기

제어 입력을 다음과 같이 선택하였다.

$$\begin{aligned} \tau_1 &= Y_{11}\hat{m}_1 + Y_{12}\hat{m}_2 + Y_{13}\hat{m}_3 + k_{v1}(\dot{e}_1 + a_1e_1) \\ \tau_2 &= Y_{21}\hat{m}_1 + Y_{22}\hat{m}_2 + Y_{23}\hat{m}_3 + k_{v2}(\dot{e}_2 + a_2e_2) \\ \tau_3 &= Y_{31}\hat{m}_1 + Y_{32}\hat{m}_2 + Y_{33}\hat{m}_3 + k_{v3}(\dot{e}_3 + a_3e_3) \end{aligned} \quad (3.1)$$

그리고 적응 규칙을 다음과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{m}}_1 &= \gamma_1[Y_{11}(a_1e_1 + \dot{e}_1) + Y_{21}(a_2e_2 + \dot{e}_2) + Y_{31}(a_3e_3 + \dot{e}_3)] \\ \dot{\hat{m}}_2 &= \gamma_2[Y_{12}(a_1e_1 + \dot{e}_1) + Y_{22}(a_2e_2 + \dot{e}_2) + Y_{32}(a_3e_3 + \dot{e}_3)] \\ \dot{\hat{m}}_3 &= \gamma_3[Y_{13}(a_1e_1 + \dot{e}_1) + Y_{23}(a_2e_2 + \dot{e}_2) + Y_{33}(a_3e_3 + \dot{e}_3)] \end{aligned} \quad (3.2)$$

식(3.1)을 제어 입력으로 사용하여 시스템의 변수를 이미 알고 있다는 가정 하에

서 제어기의 변수로 작용하게 되는 각각의 이득을 다음과 같이 설정하였다.

$$\begin{aligned} \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 &= 102.0, & \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 &= 35.0 \\ \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 &= 2.5, & k_{v1} = k_{v2} = k_{v3} &= 20.0 \end{aligned}$$

그리고 시스템의 변수인 질량과 관성력을 변화시켰을 경우에 식(3.2)의 적응규칙에 의한 질량의 추정은 완벽하게 이루어지지 않았으나 위치 추종은 그림 3.4~3.9에서 볼 수 있듯이 잘 이루어짐을 알 수 있었다. 그리고 시스템의 외적인 외란이나 갑작스런 환경의 변화에 큰 영향을 받지 않고 강건성을 유지함을 알 수 있었다.

3.2 퍼지 제어기

퍼지 전체 집합 영역에 대한 소속 함수는 7개의 삼각형 함수의 형태로 정의하였다. 그리고 출력 값에 대한 소속 함수는 Singleton 형태를 취한다. 입력 값 위치 오차와 속도 오차로부터 출력을 추론하기 위한 퍼지규칙은 19개의 규칙을 사용하였다. 퍼지추론은 최대-최소 합성 추론에 의해 추론을 수행하였으며 추론 결과로부터의 비퍼지화는 무게중심법을 이용하여 수행하였다. 수치 시뮬레이션 방법은 시스템의 변수를 알고 있다는 가정에서 퍼지 제어기의 변수로 작용하는 각 링크의 입력 Scaling Factor를 495.0과 25.0으로 설정하고 출력 Scaling Factor를 2.0으로 설정하였다. 그리고 로봇 시스템의 변수를 변화시켰을 경우의 위치 추종 특성은 그림 3.4~3.9에서 알 수 있듯이 시스템 외적인 환경의 변화에 큰 영향을 받지 않으며 강건성을 유지함을 알 수 있었다.

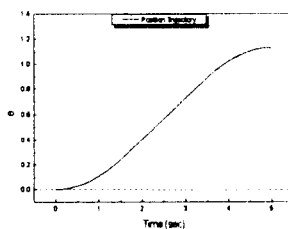


그림 3.1 기준위치궤적

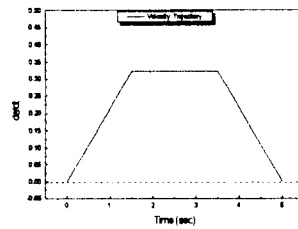


그림 3.2 기준속도궤적

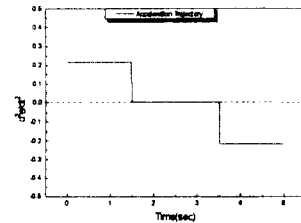


그림 3.3 기준가속도궤적

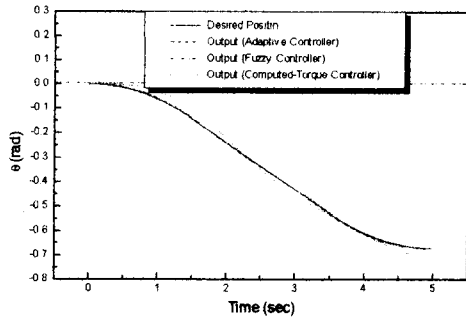


그림3.4 Link1 기준계적과 응답

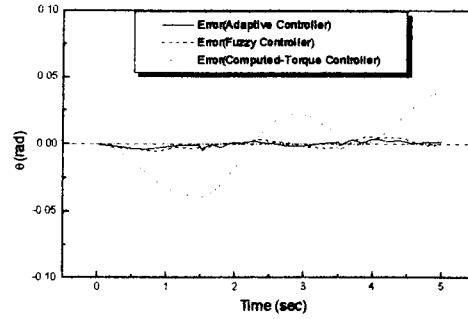


그림3.7 Link1 위치오차

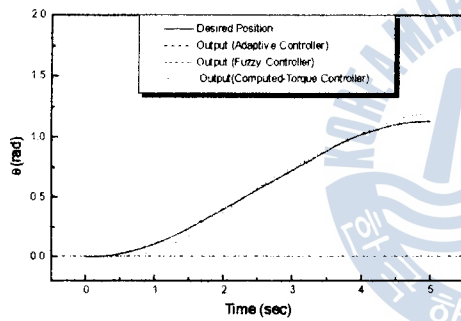


그림3.5 Link2 기준계적과 응답

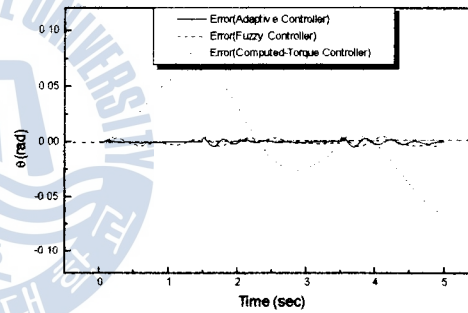


그림3.8 Link2 위치오차

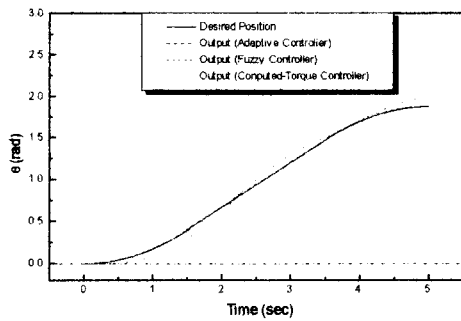


그림3.6 Link3 기준계적과 응답

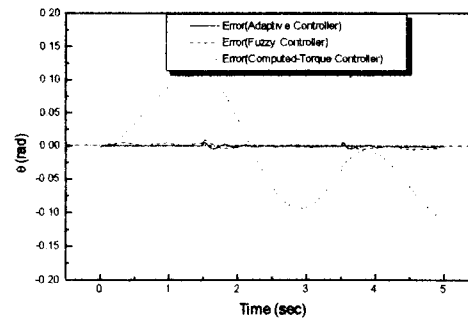


그림3.9 Link3 위치오차

4. 협조 스칼라 로봇 시스템 구성

본 연구에서 사용한 협조 스칼라 로봇 시스템은 그림 4.1과 같이 구성하였다. ①은 기구부로 2대의 4축 로봇 매니퓰레이터를 나타내며 ②는 핸드그립부로서 2개의 전자밸브를 이용하여 작동방향이 변화하도록 하였으며 I/O보드를 이용하여 전자밸브의 작동을 제어하도록 하였다. ③은 제어기인 DSP 보드를 퍼스널 컴퓨터에 설치하여 동시에 2대의 로봇매니퓰레이터를 제어할 수 있도록 하였다. ④는 모터드라이버로 각 축에 대한 출력신호의 증폭작용을 하는 것으로 8개의 드라이버를 구비하도록 하였다. 그림 4.2는 구현된 협조 로봇 시스템을 나타낸다.

4.1 기구부

본 논문에서 제안한 협조 로봇 시스템의 기구부는 LG와 삼성 4축 스칼라 로봇 매니퓰레이터로 각 관절은 위치 정보를 얻기 위한 센서가 달린 4개의 서보모터를 이용하여 구동되도록 되어있다.

LG 로봇 시스템의 기구부는 4개의 DC 서보모터로 구동된다. 각 모터의 회전수는 약 3000rpm 정도이다. 그리고 각 모터의 회전 정보를 제공하는 센서로는 1회전당 1000 펄스를 정도를 발생시키는 옵티컬 엔코더를 사용하였다. A축과 B축 서보 모터는 모터의 회전수를 줄이기 위한 감속기(하모닉 드라이버)에 연결되어 있으며 감속기의 출력은 A축과 B축 암에 연결되도록 되어 있다. 각 감속기의 감속비는 1/50 정도이다. Z축은 타이밍 벨트로 연결된 볼스플라인의 너트를 회전시켜 볼스플라인의 샤프트를 회전시킨다. W축은 하모닉드라이버에 비해 중량이 무겁고 부피가 크지만 강성과 백래쉬면에서 좋은 특성을 가지는 볼스크류를 이용하여 1/18정도의 감속을 거쳐 상하 동작을 수행한다.

삼성 4축 스칼라 로봇의 기구부는 4개의 AC 서보모터를 나타낸다. 그리고 각 모터의 회전속도정보를 얻기위하여 회전 각속도에 따른 전류의 변화를 이용하는 리졸버를 사용하였다. 로봇매니퓰레이터를 구동하기위한 각 모터의 위치는 구동에 따른 관성력의 감소와 각 축을 구동하기위한 모터의 용량을 감소하기위해 A축 모터는 기구부 베이스부분의 내부에 장착되어 있다. 그리고 Z축을 구동하기위한 모터는 베이스부의 상단부인 A축 아암의 상에 위치하여 타이밍 벨트를 이용하여 B축을 거쳐 Z축의 볼스플라인 스크류에 연결되도록 되어 있다. W축 모터는 B축

하단부에 위치하여 볼스크류를 이용하여 볼스플라인에 연결되어 상하 동작을 수행하도록 되어 있다.⁽¹⁴⁾

4.2 핸드그립부

로봇매니플레이터의 말단부에 설치되는 핸드그립(엔드이펙트)은 공압을 이용하여 작동하도록 하였다. 핸드그립부는 모터정격은 1 마력(HP)으로써 작동압력은 8 Kg/cm² 인 공기압축기, 입력최대 압력은 10 Kg/cm² 이며 출력최대압력은 7 Kg/cm² 인 공압레귤레이터, 정격전압 DC 12V로 유체의 사용압력은 1.5 Kg/cm² 에서 7 Kg/cm²까지 허용되는 전자밸브로 구성된다.

4.3 제어부

본 연구에서 구성된 제어부는 퍼스널컴퓨터에 설치되는 PC-DSP 보드와 TMS320C31 보드로 구성되며 센서로부터 입력된 위치정보와 지령위치간의 차이를 계산하여 다시 드라이버로 출력하여 지령위치에 도달할 때까지 루프를 반복하여 실행한다. LG 스칼라 로봇의 제어기로는 PC-DSP보드를 이용하였고 삼성 스칼라 로봇의 제어기로는 TMS320C31-DSP 보드를 사용하였다.⁽¹⁵⁾

4.4 모터드라이버

제어기에서 출력되는 5V 정도의 미약한 신호로서는 서보 모터를 구동하지 못한다. 서보 모터를 구동하기 위해서는 60V 정도의 전압으로 증폭이 되어야 한다. 이러한 전압 증폭의 기능을 서보 모터 드라이버에서 수행한다. 그리고 센서로부터 주어진 전압과 지령위치와의 차이를 오차 증폭기에서 증폭하여 모터로 출력하여 모터가 지령된 위치까지 동작 제어가 가능하도록 하고 있다. 본 연구에서는 LG 서보모터드라이버와 삼성 서보모터드라이버를 사용하였다.⁽¹⁶⁾

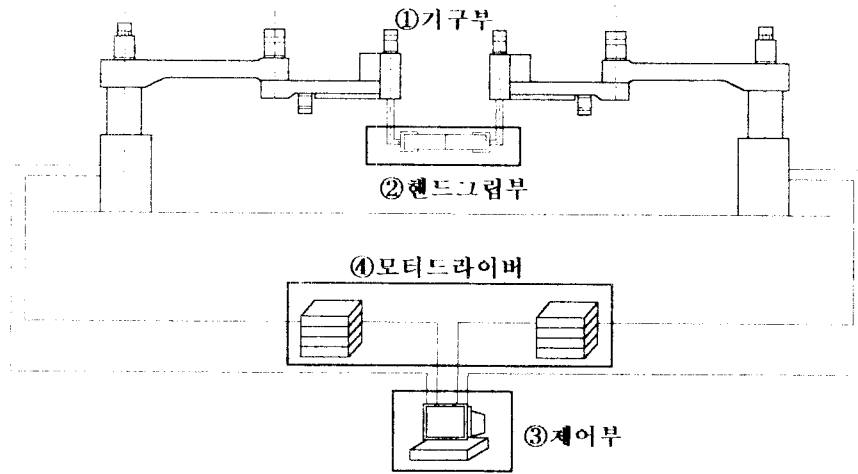


그림 4.1 협조 스칼라 로봇 시스템



그림 4.2 구현된 협조 스칼라 로봇 시스템

4.5 제어방법

그림 4.3은 두 대의 4축 스칼라 로봇 매니플레이터를 동시에 구동하기 위한 개략도이다. 두 대의 로봇 매니플레이터 운동명령은 Host PC상의 프로그램상에서 동시에 입력된다. 즉 로봇 각각의 핸드그립의 위치를 (x,y)좌표로 입력한다. 입력된 좌표는 Host PC에서 역기구학의 방정식을 거쳐 모터축 각각의 회전각으로 계산되어진다. 계산되어진 회전각은 궤적생성방정식에 의해 시간의 함수로 표현되는 위치와 속도의 지령으로 변환된다. 변환된 위치와 속도지령은 제어기(DSP 보드)로 입력된다. 제어기로 입력되어진 지령정보는 서보드라이버로 출력된다. 그리고 센서로부터의 위치정보가 드라이버를 거쳐 제어기에 입력되면 지령위치와 실제위치의 차를 이용하여 수정된 제어입력이 제어기에서 다시드라이버로 출력된다. 그림 4.4는 한 대의 퍼스널 컴퓨터로 두 대의 협조 로봇을 동시에 구동하기 위한 전체 신호 흐름도를 나타낸다.

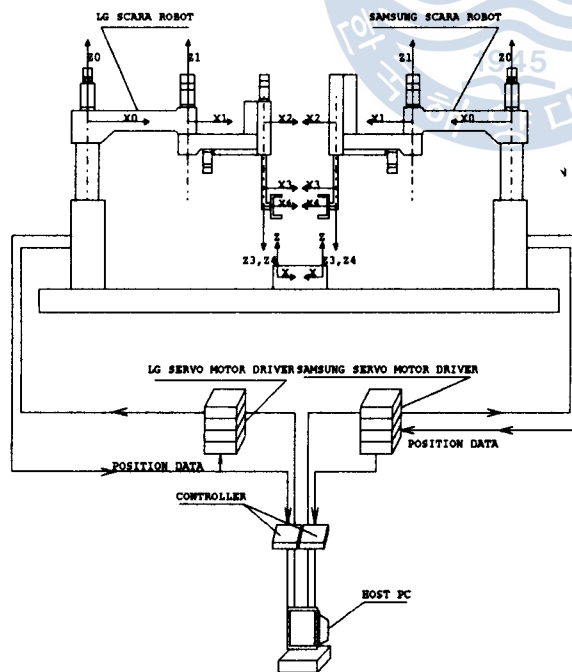


그림 4.3 제어방법

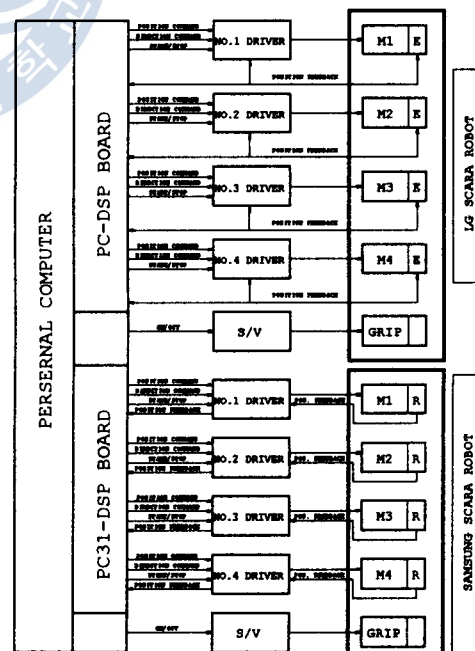


그림 4.4 제어신호 다이어그램

5. 결론

본 논문에서는 2대의 4축 스칼라 로봇 매니플레이터를 이용하여 협조 로봇 시스템을 구축하기 위하여 단일의 4축 스칼라 로봇 시스템을 모델링하였다. 그리고 질량을 알 수 없는 물체를 잡고 작업 할 때의 로봇 매니플레이터를 제어하기 위한 제어기로 계산토크 제어기, 적응 제어기, 퍼지 제어를 설계하였고 시뮬레이션을 통하여 제어기의 위치추종 특성을 살펴보았다. 그리고 시뮬레이션 결과 3축 로봇 매니플레이터의 마지막 링크의 질량이 변화하지 않은 경우 즉 모델링이 정확하게 이루어진 경우 계산토크 제어기와 적응 제어기, 퍼지 제어기의 위치 오차는 미소하게 발생하지 않았으나 마지막 링크의 질량과 관성력의 변화가 있을 때 계산토크 제어기를 적용하였을 경우에는 오차가 크게 발생하였다. 하지만 비선형적인 특성을 가지는 적응 제어기와 퍼지 제어를 적용하였을 경우에는 위치추종 오차가 작게 발생하였고 외란과 외부 환경의 변화에 크게 영향을 받지 않고 강건성을 유지함을 알 수 있었다.

수치 시뮬레이션을 통하여 살펴본 로봇 매니플레이터의 운동 특성을 기초로 하여 하드웨어적인 구현을 하기 위하여 한 대의 컴퓨터로 2대의 스칼라 로봇 매니플레이터를 동시에 구동할 수 있는 협조 로봇 시스템을 설계하였다. 구현된 로봇 시스템의 특징은 첫째, 현재의 상용화된 스칼라 로봇 시스템은 현장에서 작업자에게 편리하게 사용할 수 있도록 로봇 끝단의 궤적 발생이 단편적으로 이루어지도록 되어 있으므로 용접선과 같이 여러 개의 서플라인 곡선의 조합이 불가능하나 실시간 동작 제어를 위한 컨트롤러로 DSP 보드를 사용함으로써 다양한 궤적 발생이 가능하다. 둘째, 시뮬레이션을 통하여 알 수 있듯이 현재 주로 사용되고 있는 PID제어기 보다 비선형적인 특성을 가지는 로봇 매니플레이터의 제어에서 보다 정확한 위치 제어를 위해서는 적응 제어기와 퍼지 제어기와 같은 형태의 제어기의 적용이 바람직하며 이러한 제어기의 적용이 가능하다. 셋째, 한 대의 컴퓨터 내부에 2개의 컨트롤러가 동시에 설치되어 있으므로 로봇 서로간의 상대 위치 파악이 용이하며 로봇 서로 간의 간섭의 영향을 감소시킬 수 있고 2대의 스칼라 로봇 매니플레이터 동시 제어가 가능하다.

6. 참고문헌

- (1) 최형식, "A Study on the Control of Two-Cooperating Robot Manipulators for Fixtureless Assembly", 1997.
- (2) 이만형, "산업용 로봇 공학", 대광서림, 1992, pp. 195~224.
- (3) Mark W. Spong, M. Vidyasagar, "Robot Dynamic and Control", John Wiley, 1989, pp. 259 ~ 284.
- (4) Richard M. Murray, Zexiang Li, S. Shankar Sarstry, "A Mathematical Introduction", CRC, 1994, pp. 81~154.
- (5) F. L. Lewis, C. T. Abdallah, D.M. Dawson, "Control of Robot Manipulators", Macmillan, 1993, pp. 255~297.
- (6) Yoram Koren, "Robotic for Engineerings", Mc Graw-Hill, 1987, pp.127~173
- (7) Richard D. Klafter, Thmos A. Chmielewski, Michael Negin, "Robotic Engineering An Integrated Approach", Prentice Hall, 1989.
- (8) 최상해, 이대길, "로보틱스", 형설출판사, 1991, pp. 272~305.
- (9) T. Jordanides, B. Torby, "Expert System and Robotics", NATO ASI Series for Computer and System Science vol. 71, 1991, pp. 397~418.
- (10) Kumpati S. Narendra, Anura M. Annaswamy, "Stable Adaptive Systems", Prentice Hall, 1989, pp.443~454.
- (11) J. Yan, M. Ryan, James Power, "Using Fuzzy Logic toward Intelligent Systems", Prentice Hall, 1994, pp. 14~146.
- (12) Mohammad Jamshidi, Nader Vadiiee, Timothy J. Ross, "Fuzzy Logic and Control", Prentice Hall, 1993, pp. 292~328.
- (13) 오광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용", 홍릉과학출판사, 1991.
- (14) 한국기계연구소, "산업용 로봇 기술개발", 동양정판, 1984.
- (15) 박귀태, 이상락, "C언어로 쉽게 쓰는 TMS320C31", 대영사, 1996, pp. 2.3~2.74.
- (16) 이주현, "메카트로닉스를 위한 모터제어기술", 성안당, 1992.