

TMS320C31을 이용한 홍익직접구동팔의 제어에 관한 연구

최종문⁰, 이종수*

⁰홍익대학교 대학원 전기제어공학과, *홍익대학교 전자전기공학부

A Study on the Control of Hong Ik Direct Drive Arm Using TMS320C31

Choi, Jong-Moon⁰, Lee, Jong-Soo*

⁰Dept. of Electrical & Control Eng., *School of Electric & Electrical Eng., Hong Ik Univ.

Abstract - The Hong Ik Direct Drive Arm(HIDDA) is a SCARA typed direct drive manipulator with two degrees-of-freedom(DOF) using the direct drive motor of the NSK company. The direct NSK motors are used to give a large torque directly to the link, to reduce the modeling errors from the gears and chains. But, since the nonlinear coupling torques are transferred to the motor shaft without any reduction, we must consider a dynamic control algorithm.

In this paper, we designed a robot controller for the HIDDA using a TMS320C31, which has the highest performance among the third DSP chips in the TI company. And we developed the integrated environment software of the robot management system to give the users an easy way of programming, running and simulation of the robot on the PC.

1. 서론

현재의 산업용 로봇은 컴퓨터에 의해 제어되며 용도가 일반적인 조작체로서 작업공간내의 지지대로부터 각 연동부인 로봇 손에는 도구가 장착되어 있어 물건을 조작하거나 조립작업을 하도록 되어 있다. 이러한 로봇을 산업자동화에 이용함에 있어서 운동경로의 오차를 작게 하고 운동속도를 개선하여 생산성을 향상시키고 품질을 개선하는 것이 목적이다. 그러나, 현재의 산업용 로봇은 많은 동적 제어 알고리즘이 개발되고 있음에도 큰 기어비와 관질의 마찰 등으로 정확한 로봇의 동적운동방정식을 알아내기 어렵다. 이러한 단점을 보완하기 위해 관질간의 마찰과 기어의 백 래시 현상을 줄일 수 있는 직접구동로봇의 개발이 시작되었다. 직접 구동로봇은 동력전달 장치에 의한 모델링 오차를 줄일 수 있으나, 반면에 관질간의 결합 토크 등의 동적상호 간섭이 감쇄없이 모터축에 전달되므로, 동력학을 고려한 토크에 의한 제어를 필요로 하게 되었다. 또한, 1960년대 오프라인 프로그래밍 언어의 개발 이후 로봇 프로그래밍 기술은 고수준 프로그래밍 언어로 변화했다. 로봇 응용 범위의 확대와 자동화 수준의 향상, 그리고 로봇 주변 환경의 컴퓨터화로 오프라인 로봇 프로그래밍 언어가 널리 보급될 것으로 예상된다.

본 논문에서는 홍익 직접 구동팔의 제어기로 제3세대 DSP칩 중에서 연산 능력이 가장 뛰어난 것으로 알려진 TI사의 TMS320C30의 저가 버전인 TMS320C31을 사용한 에뮬레이터 보드(PC31)를 사용하였다. 그리고, 제어기의 연계적 운용과 사용자에게 편리성을 제공하는 인터페이스의 개발이 요구되어, 로봇이 갖추어야 할 기본적인 명령어를 모두 포함하는 VAL언어 수준의 로봇 언어를 개발하고, 이를 사용자가 쉽게 프로그램하고 실행시키는데 필요한 모든 편의를 제공할 수 있도록 로봇

운영 시스템의 성격을 갖는 통합 소프트웨어를 개발하였다. 개발한 소프트웨어는 한글 출력이 되도록 하였으며, 프로그램 명령어들과 입력 방식을 메뉴 방식에 의해 구동되도록 하여 사용자의 편의성이 최대로 보장되도록 하였다. 또한, 로봇의 동적인 특성과 기하학적인 특성을 컴퓨터 모니터 상에서 그래픽으로 관찰할 수 있다.

2. 홍익직접구동팔의 구성

2.1. 제원

본 연구에서 소개하는 로봇 매니퓰레이터의 기구학적 형태는 그림1과 같다. 이 로봇 매니퓰레이터는 2개의 NSK Mega Torque Motor, 2개의 Motor 구동 Unit, 2개의 듀얼루민 관절로 구성되어 있다. 그리고, NSK Mega Torque Motor의 사양은 표 1, 각각의 관절의 제원은 표2와 같다.

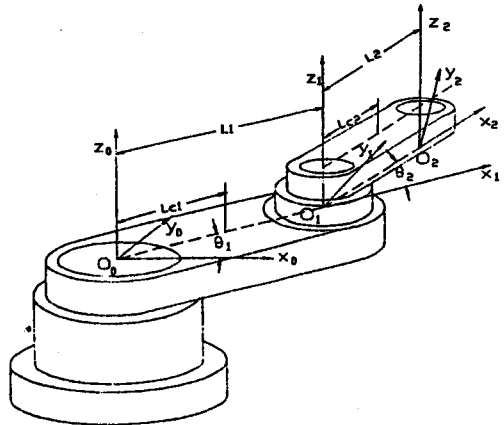


그림 1 Kinematic configuration of Hong-Ik Manipulator with DH Coordinate Frame Assignment

Specification	Model RS 1410	Model RS 0608
Maximum Torque	245 N · m	39 N · m
Rotor Inertia	0.2675 Kg · m ²	0.0075 Kg · m ²
Maximum Speed	1.16 rev/s	1.16 rev/s
Mass	73.0 Kg	14.0 Kg
Resolver resolution	153600 pulse/rev	153600 pulse/rev

표 1 NSK Mega Torque Motor Specifications

Symbol	Value	Definition
I_1	0.3644755 [Kg m ²]	Lower Link Inertia
I_2	0.087443 [Kg m ²]	Upper Link Inertia
I_3	0.2675 [Kg m ²]	Rotor Inertia of the Lower Motor
I_4	0.0075 [Kg m ²]	Rotor Inertia of the Upper Motor
I_{4s}	0.040 [Kg m ²]	Stator and Housing Inertia of the Upper Motor
I_p		Payload Inertia
M_1	13.02 [Kg]	Lower Link Mass
M_2	6.37366 [Kg]	Upper Link Mass
M_3	73.0 [Kg]	Lower Motor Mass
M_4	14.0 [Kg]	Upper Motor Mass
M_p		Payload Mass
L_1	0.37 [m]	Lower Link Length
L_2	0.25 [m]	Upper Link Length
L_{c1}	0.1632 [m]	Distance from c.g. of the Lower Link to the Lower Motor Axis
L_{c2}	0.125 [m]	Distance from c.g. of the Upper Link to the Upper Motor Axis

표 2 Physical Parameters of Hong-Ik Manipulator

2.2. 기구학

로봇 매니퓰레이터의 기구학에 일반적으로 이용되는 Denavit-Hartenberg 표시법으로 기구학을 구하면 다음과 같다.

$$X = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$Y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin (\theta_1 + \theta_2)$$

(x,y)좌표가 주어질 때, 각 관절의 가도는 구하는 역기구학은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \text{atan2}(D, C) \\ \theta_1 &= \text{atan2}(y, x) - \text{atan2}(L_2 \sin \theta_2, L_1 + L_2 \cos \theta_2) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, $C = \frac{r^2 - L_1^2 - L_2^2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2}$, $D = \pm \sqrt{1 - C^2}$, $r^2 = x^2 + y^2$ 이다.

2.3. 동력학

이 로봇 매니퓰레이터의 병진 에너지와 운동에너지를 구하여 Lagrangian을 취하면 다음과 같은 동적 운동 방정식을 구할 수 있다.

$$\bar{M}(\theta(t)) \dot{\omega}(t) + \bar{v}(\theta(t), \omega(t)) = \bar{\tau}(t) - \bar{f}(t, \theta(t), \omega(t), \tau(t)) \quad (3)$$

여기서 $\bar{M}(\theta(t))$ 는 대칭형 positive definite 일반화된 관성행렬, $\bar{v}(\theta(t), \omega(t))$ 는 코리올리 가속도와 원심 가속도에 기인한 벡터, $\bar{\tau}(t)$ 는 액츄에이터에 의하여 가해지는 입력 Torque, $\bar{f}(t, \theta(t), \omega(t), \tau(t))$ 는 마찰 Torque 벡터이다. 식(1)에서의 각 항의 요소들은 다음과 같다.

$$\bar{\tau}(t) = \begin{bmatrix} \tau_1(t) \\ \tau_2(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

관성행렬 :

$$\bar{M}(\theta(t)) = \begin{bmatrix} p_1 + 2p_3 \cos \theta_2 & p_2 + p_3 \cos \theta_2 \\ p_2 + p_3 \cos \theta_2 & p_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, p_1, p_2, p_3 항은 다음과 같이 주어진다.

$$p_2 = I_2 + I_{4r} + I_p + L_{c1}^2 M_2 + L_2^2 M_p$$

$$p_1 = I_1 + I_3 + I_{4s} + L_{c1}^2 M_2 + L_1^2 (M_2 + M_4 + M_p) + p_2$$

$$p_3 = L_1 L_{c2} M_2 + L_1 L_2 M_p$$

코리올리 벡터 :

$$\bar{v}(t) = \begin{bmatrix} -\omega_2 (2\omega_1 + \omega_2) p_3 \sin \theta_2 \\ \omega_2^2 p_3 \sin \theta_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

마찰항의 행은 다음과 같다.

$$\bar{f} = \begin{bmatrix} f_{f1} \\ f_{f2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$f_{fi} = \begin{cases} Th_i \text{sign}[\omega_i(t)] & \text{if } |\omega_i(t)| > 0 \\ Th_i \text{sign}[\tau_i(t)] & \text{if } |\omega_i(t)| = 0 \text{ and } |\tau_i(t)| > Th_i \\ \tau_i(t) & \text{if } |\omega_i(t)| = 0 \text{ and } |\tau_i(t)| \leq Th_i \end{cases}$$

여기서, Th_i 콜롱 마찰력 torque의 threshold 값이다.

3. 제어기의 구성

3.1. PC31보드의 운용

PC31에서 PC의 통합환경 프로그램으로 부터 규정경로를 넘겨 받기 위하여, PC31은 내부 타이머에 의해서 1ms단위로 PC에 SRQ(Service Requests)를 발생시켜, PC에 인터럽트를 걸면, 이때 PC는 이 인터럽트를 주기로 규정경로를 정해진 DPRAM(Dual Port RAM)에 보내고, DPRAM에서 현재의 Motor의 위치값을 받는다. 그리고 PC31은 SRQ신호를 발생시키고 난 후, DPRAM에서 규정경로를 받고, 현재의 Motor 위치값을 보낸다. 이렇게 하므로서 샘플링 시간 1ms단위로 제어를 실현한다. 그림으로 나타내면 그림2와 같다.

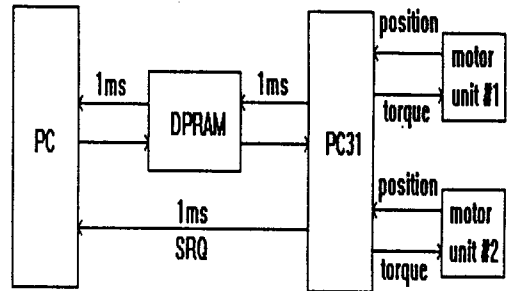


그림 2 PC31보드의 인터페이스

3.2. 통합관리환경

로봇 운영 시스템의 목적은 사용자가 로봇의 경로 계획을 작성하고 실행하는데 필요한 모든 편의를 제공하는데 있다. 본 연구에서는 첫째, 사용자에게 로봇 프로그램의 작성 및 실행에 편의를 제공하며 전체 시스템의 작업을 관리하는 로봇 운영 시스템 프로그램의 개발하고, 둘째, 실제 프로그램에 사용되는 언어를 정의하고 프로그램을 실행하기 위한 컴파일러 형식을 가진 인터프리터의 개발하였으며, 셋째, 실제로 컴파일된 프로그램의 시뮬레이션 기능과 한 라인씩 실행할 수 있는 기능의 추가하였다.

본 연구에서 사용하는 로봇 언어는 VAL언어 수준으로 크게 이동명령과 전체프로그램 제어 명령으로 나뉜다. 표 3에 이를 분류해 놓았다. 필요한 위치 정보는 변수표를 이용할 수도 있고, 직접 수치를 줄 수도 있다. 변수는 입력모드 변환에 의해 관절 좌표계의 Degree, Radian이 모두 입력 가능하며, (x,y)의 직각 좌표제도 가능하다. 이동에 필요한 경로는 경로계획 함수를 선택하여 알맞는 경로를 발생시킨다.

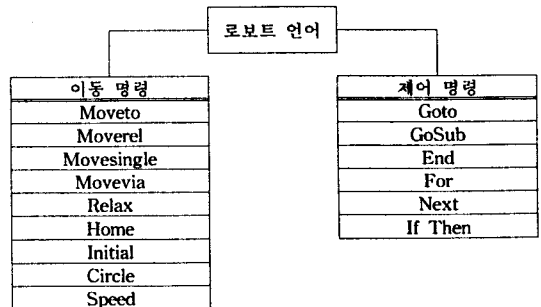


표 3 프로그래밍 언어의 분류

본 운영 시스템은 사용자의 편의를 강조한 대화형의 통합환경으로서 프로그램을 작성하기 위한 편집모드, 미리 동작에 필요한 계수만을 보관하는 컴파일 모드, 그리고 프로그램의 오류를 쉽게 발견할 수 있는 시뮬레이션 모드, 그리고 설계의 하드웨어의 접속에 의해 로보트를 구동시키는 실행 모드로 구성되어 있으며 그림 3은 전체 구성 블록도이다.

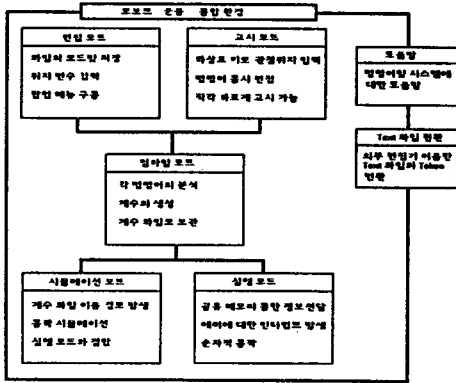


그림 3 시스템 블록도

컴파일 모드에서는 소스 파일을 분석하여 그 명령어별로 미리 정의된 약속에 의하여 경로 계획 함수를 선택한 후 계수를 생성해서 파일로 저장하는 역할을 한다. 그림 4는 컴파일의 흐름도를 나타낸다.

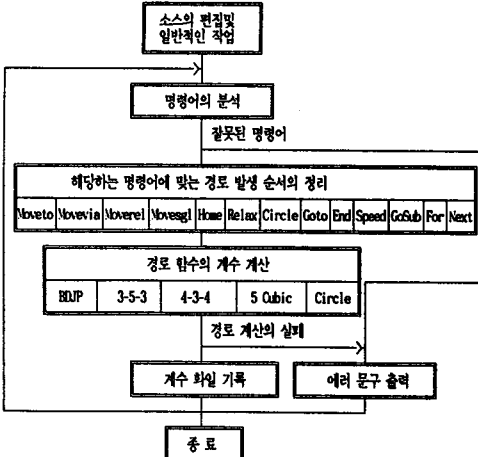


그림 4. 경로 계획 분석의 흐름도

3.3. PC31보드의 구성

본 연구에서 사용되는 에뮬레이터는 제3세대 DSP 칩인 TMS320C31을 사용하며, 사용되는 PC상의 I/O 어드레스는 280번지이다. 전체적인 PC31의 블록도는 그림5와 같다.

PC31과 motor driver unit과의 연결은 별도의 보드를 통해서 그림6과 같이 연결된다. 여기서, driver unit의 CN1은 직렬 포트이고, CN2는 motor의 resolver signal 출력 포트이고, CN3는 아나로그 입력 포트 포트이고, CN5는 디지털 입력 포트이다.

4. 결론

본 연구에서는 직접 구동 로봇팔의 동적 제어기 개발을 위하여

- * 경로 계획 및 제어용 언어 개발
- * 통합관리 환경개발

* TMS320C31을 이용한 에뮬레이터 보드의 구성과 실험에 대한 연구를 시행하였다.

본 연구에서는 로봇이 갖추어야 할 기본적인 명령어를 모두 포함하는 로봇 언어를 개발하고, 이를 사용자가 쉽게 프로그램하고 실행시키는데 필요한 모든 편의를 제공할 수 있도록 통합 관리 로봇 운영 시스템의 성격을 갖는 통합 소프트웨어를 개발하여 휴익 직접 구동 로봇에 적용하였다.

본 연구의 결과로, 로봇의 동적 제어 알고리즘 개발 및 이의 실현을 위한 하드웨어 개발에 필요한 소프트웨어 기술을 제공할 수 있으며, 나아가 로봇 언어 및 로봇 관리 통합 환경을 개발하는데 소프트웨어 기술을 제공할 수 있을 것이다. "휴익 직접 구동 로봇 팔"은 이론을 연구 개발함에 있어서 현대 제어 이론에 바탕을 둔, 로봇의 동역학을 고려한 토오크 제어 알고리즘을 개발하고 그 효용성을 실제로 평가하는 도구로 활용될 것이 기대된다.

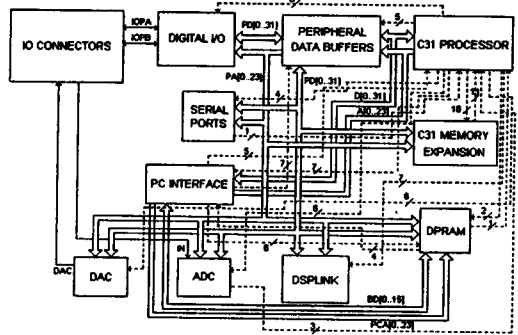


그림 5 PC31의 블록도

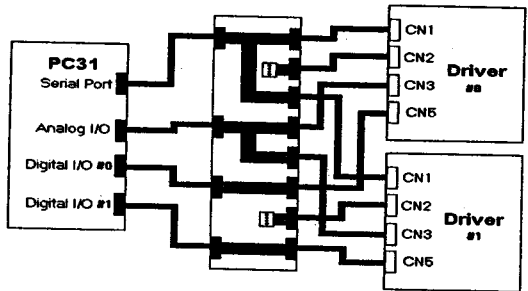


그림 6. PC31과 motor drive unit의 interface

5. 참고 문헌

- [1] J.J.Craig, "Introduction to Robotics-Mechanics and Control", Addison Wesley, 1989.
- [2] K.S.Fu, R.C.Gonzalez, C.S.G.Lee, "Robotics-Control, Sensing, Vision, and Intelligence", McGraw Hill, 1987.
- [3] P.J.McKerrow, "Introduction to Robotics", Addison Wesley, 1991.
- [4] "TMS320C3x User's Guide", Texas Instruments, 1994.
- [5] "TMS320C3x Floating-Point DSP Optimizing C Compiler User's Guide", Texas Instruments, 1991.
- [6] 이종수, 로봇의 하이브리드 제어기설계에 관한 연구, 박사 학위논문, 서울 대학교, 1987.

본 연구는 95년 홍익대학교 교내연구비에 의해 연구된 결과임