

## TMS320c30을 이용한 직접 구동형 로봇 매뉴플레이터의 설계

### A Design on the Control of Direct Drive Robot Manipulator Using TMS320c30

°손장원], 이종수\*

°홍익대학교 대학원 전기제어공학과, \*홍익대학교 전자전기공학부

Son Jang-Won], Lee, Jong-Soo\*

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

**Abstracts** The Direct Drive Arm(DDA) is a SCARA typed direct drive manipulator with two degrees-of-freedom(DOF) using the direct drive motor of the NSK company. A controller system for the SCARA robot of DDA is designed using a DSP (TMS320c30), which has the highest performance among the third DSP chips in the TI company. The design objective of the system is to implement dynamic control algorithms and neural control algorithms for real time learning which require a lot of calculations and large memory and have been tested only by simulations so far. The controller uses a DSP, a high speed D/A, 32-bit Counter and a large DRAM to implement advanced robot control algorithms.

#### 1. 서론

로봇트는 자동화 산업 사회를 이끌어 나가는데 있어서 아주 중요한 역할을 담당하고, 공정 자동화의 확산에 따라 산업용 로봇트는 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 점차 고정밀화, 고속화를 추구하고 있다.

그러나 현재의 산업용 로봇트는 운동방식식이 비선형이며, 마찰력의 영향 및 작업중의 부하변동과 같은 외란이 존재하므로, 이들 비선형 성분을 보상하고, 파라미터의 변동에 대응하지 않는 한 그 성능도 개선될 수 없다. 이러한 문제에 대해 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔고 이에 따라 고도의 일을 수행하기 위한 많은 알고리즘이 개발되고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 증명되었다. 그러나 이러한 우수한 알고리즘이 개발되어 왔음에도 불구하고 실제 산업용 로봇트에 적용된 예는 적다. 이러한 이유는 산업용 로봇트는 큰 기어비와 관절의 마찰 등으로 정확한 로봇트의 동적운동방정식을 알아내기 어렵고 또한 알고리즘을 실제 로봇트에 적용할 하드웨어 시스템이 발전하지 못함에 있다.

이에 본 논문에서는 보다 빠른 연산 처리 능력과 제어기의 규모를 줄이는 필요성에 의해 TI사의 TMS320c30 DSP칩을 이용한 제어기를 설계하여 관절간의 마찰과 기어의 백 래쉬 현상을 줄일 수 있는 직접 구동형 로봇트에 적용하였다.

이 제어기는 로봇트뿐만 아니라 다른 여러 응용에 이용될 수 있게 Xilinx를 이용하여 I/O Port를 커넥터를 이용하여 외부와 연결하도록 설계하였고, DRAM를 이용하여 보다 많은 메모리를 확보하여 뉴런을 이용한 알고리즘에 실시간 학습을 가능하게 설계하였다. 또한 PC와의 데이터 교환에 있어 Serial Port를

사용하지 않고 16 bit 2k의 DPRAM 이용하여 PC와 제어기 양쪽에 메모리 공간을 할당하여 보다 빠르고 쉽게 데이터 교환을 처리하게 설계하였다. 로봇트 제어를 위해 고속의 D/A converter와 Digital I/O port, Xilinx로 구현한 32 bit Counter를 I/O board에 장착하였다.

#### 2. 직접 구동형 로봇트 구성

##### 2.1. 재원

본 연구에서 소개하는 로봇트 매니플레이터의 기구학적 형태는 그림1과 같다. 이 로봇트 매니플레이터는 2개의 NSK Mega Torque Motor, 2개의 Motor 구동 Unit, 2개의 듀랄루민 관절로 구성되어 있다. 그리고, NSK Mega Torque Motor의 사양은 표 1, 각각의 관절의 재원은 표2와 같다.

표 1 NSK Mega Torque Motor Specifications

Specification	Model RS 1410	Model RS 0608
Maximum Torque	245 N · m	39 N · m
Rotor Inertia	0.2675 Kg · m <sup>2</sup>	0.0075 Kg · m <sup>2</sup>
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

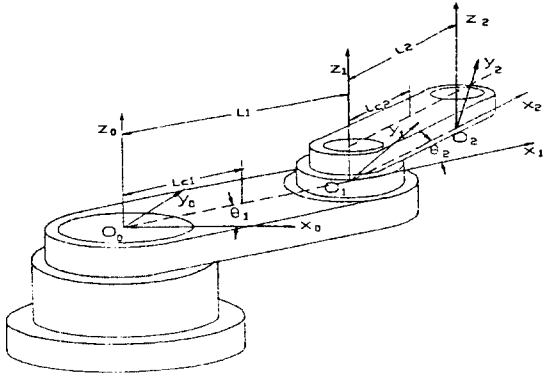


그림 1 Kinematic configuration of Hong-Ik Manipulator with DH Coordinate Frame Assignment

표 2 Physical Parameters of Hong-Ik Manipulator

Symbol	Value	Definition
$I_1$	0.3644755 [Kg m <sup>2</sup> ]	Lower Link Inertia
$I_2$	0.087443 [Kg m <sup>2</sup> ]	Upper Link Inertia
$I_3$	0.2675 [Kg m <sup>2</sup> ]	Rotor Inertia of the Lower Motor
$I_{4r}$	0.0075 [Kg m <sup>2</sup> ]	Rotor Inertia of the Upper Motor
$I_{4s}$	0.040 [Kg m <sup>2</sup> ]	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

## 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.

$$\theta_2 = \text{atan2}(D, C)$$

$$\theta_1 = \text{atan2}(y, x) - \text{atan2}(L_2 \sin \theta_2, L_1 + L_2 \cos \theta_2) \quad (2)$$

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

## 2.3. 동역학

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 관성 행렬,  $\bar{v}(\theta(t), \omega(t))$ 는 코리올리 가속도와 원심 가속도에 기인한 벡터,  $\bar{\tau}(t)$ 는 에츄에이터에 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.

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

관성 행렬 :

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

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 :

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

마찰항의 행은 다음과 같다.

$$\bar{f} = \begin{bmatrix} f_{r1} \\ f_{r2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

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

여기서,  $Th_i$  쿨롱 마찰력 torque의 threshold 값이다.

## 3. 직접 구동팔 제어기

### 3.1. 제어기의 구성

이 제어기는 보다 빠른 연산 처리 능력과 제어기의 규모를 줄이기 위해 DSP Chip TMS320c30-33MHz를 이용하여 제작하였으며, 직접 구동팔의 제어기 외에 다른 여러 분야에 응용될 수 있도록 설계하였다. 이 제어기는 크게 TMS320c30 Primary Bus를 이용한 Main board와 Expansion Bus을 이용한 I/O board로 나눌 수 있다.

이 제어기의 전체 block Diagram 및 주요 사양은 그림 2와 표 3과 같다.

#### 3.1.1 Main Board의 구성

Main board는 TMS320c30의 Primary Bus를 이용하였으며 PC와의 인터페이스 부분과 메모리 부분으로 나뉘어져 있다.

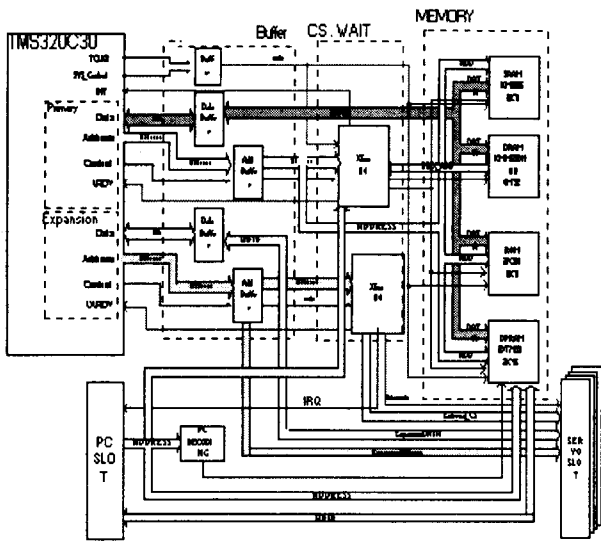


그림 2. 전체 Block Diagram

표 3. 제어기의 주요 사양

항목	세부사항
DSP	TMS320c30-33
MEMORY	32K*32 ROM& 32K*32 SRAM& 2K*16 DPRAM& 4M*32 DRAM
	2 Channel (12bits) -10 ~ +10
# of DAC	2 Cannel (32bits)
# of COUNTER	16 Inputs & 8 Outputs
Serial port	

PC와의 인터페이스 부분은 보다 빠른 통신을 위하여 직렬 통신을 사용하지 않고 Dual-port RAM을 이용하였고 TMS320c30에서 2개의 interrupt와 PC에서의 2개의 Service Requests를 할당하였다. 그리고 Xilinx을 이용하여 각 메모리의 번지 할당 및 메모리 종류에 의한 여러가지 신호들을 Xilinx을 수정함으로써 기존 회로의 변동 없이 적용할 수 있게 하였고 응용 분야에 따른 I/O를 Xilinx내의 회로를 고침으로 가능하게 구현하였다. 또한 보다 많은 양의 저렴한 메모리 확보를 위하여 DRAM을 이용하여 제작하였다.

### 3.1.2 I/O Board의 구성

I/O board는 TMS320c30의 Expansion Bus를 이용하여 직접 구동팔에 응용할 수 있게 설계하였다.

직접 구동팔의 Torque 명령을 위하여 고속의 2개의 DAC와 Position data 획득을 위하여 두개의 32 bit counter를 Xilinx로 구현하였다. 또, Digital I/O와 직접 구동팔의 초기화 및 초기 위치 제어를 위하여 Serial port를 구현하였다.

### 3.2 제어기의 운용

TMS320c30에서 PC로부터 규정 경로를 넘겨받기 위해 1ms마다 PC에 SRQ(Service Requests)를 발생시키고, PC는 규정 경로를 정해진 DPRAM(Dual Port RAM)번지에 보내게 된다. 그리고 TMS320c30은 이때마다 DPRAM의 일정한 번지에 현재의 Motor의 위치 값을 보내고 Torque를 계산하여 모터를 구동시킨다.

이것을 그림으로 나타내면 그림3과 같다.

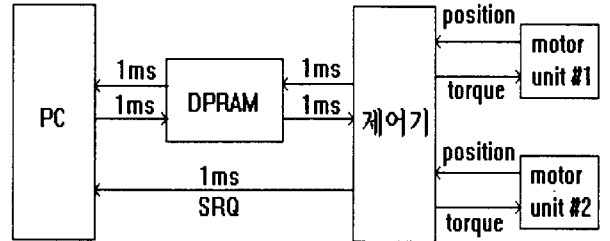


그림 3 TMS32c30 board Interface

## 4. 결론

본 논문에서는 DSP를 이용한 직접 구동 로봇트 팔의 동적 제어기 개발하였고 성능 및 실용성을 보이기 위해 직접 구동형 로봇트 팔에 응용하여 보았다. 이 제어기는 다른 상용의 제어기에 비해 보다 많은 Memory와 Host와의 통신을 DPRAM을 이용하여 보다 빠르게 할 수 있는 장점이 있다.

개발한 이 제어기는 로봇트 제어에서 Neural 학습에 의한 실시간 학습 제어 알고리즘과 다른 여러가지 동역학 알고리즘을 적용할 수 있도록 설계하였으며 뿐만 아니라 다른 여러 응용 분야에도 쉽게 이용될 수 있게 설계되었다.

이 제어기를 개발함에 있어서 현대 제어 이론에 바탕을 둔, 로봇트의 동역학을 고려한 토오르 제어 알고리즘의 효율성을 실제로 평가하는 도구로 활용될 것을 기대한다.

## 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, 1995.
- [5] 'TMS320C3x Floating-Point DSP Optimizing C Compiler User's Guide', Texas Instruments, 1995.
- [6] 이종수, "로봇트의 하이브리드 제어기 설계에 관한 연구", 박사 학위논문, 서울 대학교, 1987.
- [7] 박귀태, 이상락, 'C언어로 쉽게 쓰는 TMS320C31-하드웨어, 소프트웨어, 한글 통합개발환경', 대영사, 1995.

본 연구는 96년 홍익대학교 교내 연구비에 의해 연구된 결과임