

## TMS320c31을 이용한 Rhino XR-3 로봇 제어기 설계

박윤기, 이쾌희  
서강대학교 전자공학과

## A Design on the Rhino XR-3 Robot Controller Using TMS320c31

Won Ki Park, Kuae Hi Lee  
Dept. of Electronic Eng., Sogang Univ.

**Abstract** - A robot manipulator is a nonlinear time varying MIMO system. Therefore, when a robot manipulator operates at high speeds, the performance of pursuing its trace becomes worse due to the increased nonlinearity of system. Several nonlinear control methods are introduced for solving this problem. But, these methods need a large amount of calculations, so it is necessary to use the controller equipped with a faster and more efficient processing ability.

In this paper, we designed the Rhino XR-3 Robot Controller which controls five joints concurrently. To reduce the size of the controller and to control 6 dc-servo motors in real time, we use the TMS320c31, the high-speed digital signal processor

## 1. 서 론

현대 산업 사회에서는 생산력 증대와 품질 향상을 위해 생산 공정의 자동화를 추구함으로써 로봇이 중요한 역할을 담당하게 되었다. 로봇을 이용한 자동화 시스템은 대량 생산 체제에서뿐만 아니라 초량 단품종 생산에 절대적으로 필요한 유연 생산체제의 구현에 유리함에 따라 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며 점차 저가격, 고정밀화, 고속화를 추구하고 있다.

그러나 로봇 매니퓰레이터는 비선형이며 다중 입력과 다중 출력을 갖는 시변 시스템으로 작업 중 관절의 구동부에서 나타나는 마찰력의 영향과 부하 변동에 의한 파라미터의 변동과 같은 동특성상 존재하는 비선형 요소 및 외란을 보상하고 대응하여야만 시스템의 성능을 더욱 개선할 수 있다. 특히 고속으로 운영할 때 시스템의 비선형성이 증가하여 로봇의 작업 궤적 추적 성능이 나빠진다. 이에 많은 이론들이 도입되었지만 산업용 로봇의 경우 이러한 이론들의 실제 적용 사례가 적은데 그 이유는 로봇을 정확히 수학적으로 모델링 할 수 없고 이런 기법들은 보다 많은 계산량을 요구하므로 보다 빠르고 우수한 연산 처리 능력을 갖는 제어기의 사용을 필요로하게 되어 더욱 고가의 복잡한 시스템 사양이 요구되기 때문이다.

본 논문에서는 5자유도를 갖는 Rhino XR-3 교육용 로봇의 제어기를 TI사의 32비트 부동 소수점 연산용 디지털 신호처리 프로세서인 TMS320c31을 사용하여 고속 연산처리 능력과 유연성을 갖는 시스템을 설계하였다.

## 2. Rhino XR-3 로봇

## 2.1 Rhino XR-3 로봇의 구조

Rhino XR-3 교육용 로봇은 5자유도를 갖는 다관절 형로봇 매니퓰레이터이다. 전체적인 구조는 각 관절을

조절하는 5개의 DC 모터와 물체를 잡을 수 있는 gripper로 구성되어 있다. 각 관절과 gripper를 구동하는 총 6개의 DC 모터 축에는 optical encoder가 부착되어 있고 이 optical encoder에 의한 출력 펄스로부터 각 링크의 회전방향과 위치, 속도 등의 정보를 얻을 수 있다. 각 모터에는 감속 기어가 장착되어 있고 각 관절은 chain 기어로 연결되어 구동된다. 한편 자체 내에 각도 보상 장치가 있어서 기구학적 위치 및 역기구학적 위치 계산 시 이점을 반드시 고려해야 한다. 보상되는 관절은 elbow 관절과 hand 관절이다.

다음의 그림 1에 Rhino XR-3 교육용 로봇의 외관과 표 1에 관절 모터의 제원을 나타내었다.

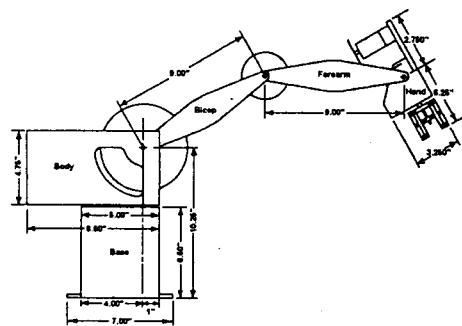


그림 1. Rhino XR-3 로봇의 외관

표 1. 관절 모터의 제원

관절모터	기호	Resolution(deg)	Gear ratio	Chain ratio
Base motor	F	0.000687022	65.5	36/9
Shoulder motor	E	0.000343511	65.5	72/9
Elbow motor	D	0.000343511	65.5	72/9
Hand motor	C	0.000343511	65.5	72/9
Wrist motor	B	0.00046875	96.0	64/16
Gripper motor	A	n/a	96.0	no chain

## 2.2 Rhino XR-3 로봇의 기구학

그림 2에 나타낸 Rhino XR-3 로봇의 link coordinates와 표 2의 link coordinate parameter로부터, 로봇 관절의 각도가 주어졌을 때 end effector의 공간상의 위치와 좌표를 구하는 기구학적 위치(kinematic position)는 Denavit-Hartenberg 방법으로 구하면 다음과 같다.

$$n_x = C_1 C_{234} C_5 + S_1 S_5 \quad (1)$$

$$n_y = S_1 C_{234} C_5 - C_1 S_5 \quad (2)$$

$$n_z = -S_{234} C_5 \quad (3)$$

$$o_x = -C_1 C_{234} S_5 + S_1 C_5 \quad (4)$$

$$o_y = -S_1 C_{234} S_5 - C_1 C_5 \quad (5)$$

$$o_z = S_{234} C_5 \quad (6)$$

$$a_x = -C_1 S_{234} \quad (7)$$

$$a_y = -S_1 S_{234} \quad (8)$$

$$a_z = -C_{234} \quad (9)$$

$$p_x = C_1(a_2 C_2 + a_3 C_{23} + a_4 C_{234} - d_5 S_{234}) \quad (10)$$

$$p_y = S_1(a_2 C_2 + a_3 C_{23} + a_4 C_{234} - d_5 S_{234}) \quad (11)$$

$$p_z = d_1 - a_2 S_2 - a_3 S_{23} - a_4 S_{234} - d_5 C_{234} \quad (12)$$

여기서.  $d_i$  : joint distance .  $a_i$  : link length

$$S_i = \sin \theta_i , \quad C_i = \cos \theta_i .$$

$$S_{23} = \sin(\theta_2 + \theta_3) , \quad C_{23} = \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

$$S_{234} = \sin(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4) , \quad C_{234} = \cos(\theta_2 + \theta_3 + \theta_4)$$

end effector의 공간상의 위치와 좌표가 주어졌을 때 각 관절의 각도를 구하는 역기구학적 위치(inverse kinematic position)를 기구학적 위치로부터 대수적으로 구한 결과는 다음과 같다.

$$\theta_1 = \text{atan}2(p_y, p_z) \quad (13)$$

$$\theta_2 = \text{atan}2((a_2 + a_3 C_3)a - a_3 S_3 \beta, (a_2 + a_3 C_3)\beta + a_3 S_3 \alpha) \quad (14)$$

$$\theta_3 = \text{atan}2(S_3, C_3) \quad (15)$$

$$\theta_4 = \theta_{234} - \theta_2 - \theta_3 \quad (16)$$

$$\theta_5 = \text{atan}2(S_1 n_x - C_1 n_y, S_1 o_x - C_1 o_y) \quad (17)$$

여기서.  $\theta_{234} = \text{atan}2(-(C_1 a_x + S_1 a_y), -a_z)$

$$\alpha = d_1 - a_2 S_{234} - d_5 C_{234} - p_z$$

$$\beta = C_1 p_x + S_1 p_y - a_4 C_{234} + d_5 S_{234}$$

$$C_3 = \frac{\alpha^2 + \beta^2 - a_2^2 - a_3^2}{2a_2 a_3}, \quad S_3 = \pm \sqrt{1 - C_3^2}$$

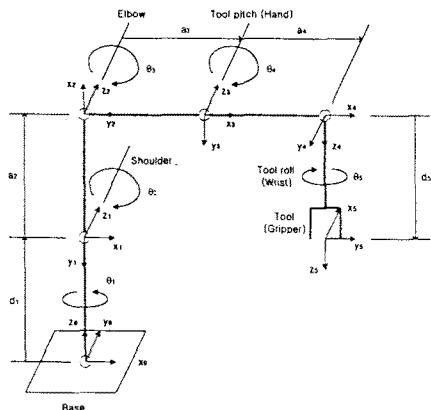


그림 2. Rhino XR-3 의 link coordinates

표 2. Rhino XR-3 의 link coordinate parameter

Axis	$\theta$	$a$	$a$	$a$
1	$\theta_1$	$d_1 (= 26.04\text{cm})$	0	$-\pi/2$
2	$\theta_2$	0	$a_2 (= 22.86\text{cm})$	0
3	$\theta_3$	0	$a_3 (= 22.86\text{cm})$	0
4	$\theta_4$	0	$a_4 (= 0.95\text{cm})$	$-\pi/2$
5	$\theta_5$	$d_5 (= 16.83\text{cm})$	0	0

### 3. 제어기 설계

#### 3.1 설계 목표

5축 이상의 로봇 시스템의 정/역 기구학은 2축 로봇에 비해 훨씬 복잡하므로 직선 및 원호 동작시 많은 계산량을 필요로 하며, 로봇의 성능의 향상을 위한 정교한 알고리듬의 사용시 이에 따라 소요되는 계산량도 크게 늘어난다. 더불어 디지털 제어기가 아날로그 제어기에 가까운 동특성을 유지하려면 실시간 동작이 요구되므로 고속의 연산속도가 필요하다. 한편 기존의 다축 로봇 제어기에서 관절제어기는 각 축당 프로세서를 두어 제어기 구조 및 소프트웨어 구조가 복잡하고 규모가 크다는 단점이 있다.

이에 본 논문에서는 TMS320c31 50MHz 32비트 부동소수점 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하여 관절의 위치 및 모터 제어기를 구성하고 시분합제어를 함으로써 간소화된 하드웨어 및 소프트웨어 구조를 가지며 5축의 실시간 동시 제어가 가능한 저가, 소규모의 관절 제어기 설계를 목표로 하였다.

#### 3.2 시스템 하드웨어 구조

본 논문에서 설계한 Rhino XR-3 로봇 제어기의 전체 개략도를 그림 2에 나타낸 것과 같이 IBM PC를 주제어기로 하고 TMS320c31을 관절의 위치 및 모터 제어기로 하여 주 제어기의 병렬 포트를 이용한 테이터의 입출력이 가능하도록 구성하였다.

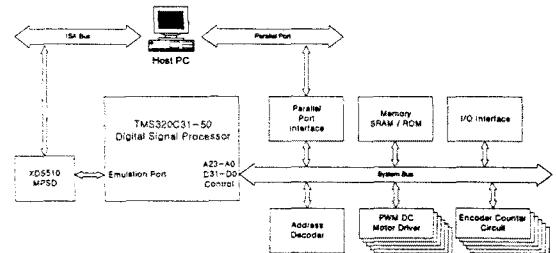


그림 3. Rhino XR-3 로봇 제어기의 개략도

##### 3.2.1 Joint Controller Board 구성

Joint controller board는 TMS320c31의 Primary Bus를 이용하였으며, PC 인터페이스 부분과 메모리 부분, 디지털 I/O, Counter부분, 외부 인터럽트 신호 처리부로 나뉘어 있다.

본 논문에서는 Joint controller board를 로봇의 관절 위치 제어기 및 모터 제어기로 사용한다. 주제어기로부터 Parallel port를 통해 위치 명령을 받아서 모터의 위치가 목표 위치를 추종토록 하는데 이때 제어 출력의 디지털 값은 디지털 I/O를 통해 디지털 PWM DC motor driver로 속도 명령을 인가함으로써 모터의 속도와 토크를 제어한다. joint controller board로 피드백 되는 위치 데이터는 2상 500CPR (Cycle /Rev)를 갖는 엔코더 신호로 이를 4채배 하여 사용함으로써 65.5:1의 기어비를 갖는 모터 감속기상의 위치 제어 해상도는 0.002748°이며 16비트 카운터를 사용함에 따라 하드웨어적으로 최대 32회전을 계수 할 수 있다. Rhino XR-3 로봇의 경우 각 축에 한 개씩 달려있는 6개의 limit 스위치로부터 로봇의 기준좌표계에 대한 기본자세를 잡기 위해 외부 인터럽트 신호 처리부를 두었다. 프로그램 및 하드웨어 디버깅을 위한 MPSD (Modular port scan device) emulator connector를 두었다.

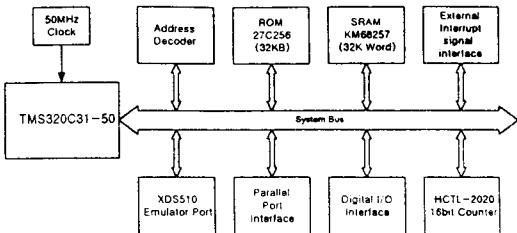


그림 4. Joint controller board 구성 블럭도

표 3. Joint controller board 설계 사양

항목	세부사항
DSP	TMS320C31-50
MEMORY	32K*8 ROM 32K*32 SRAM
Digital I/O	6 channel (32bits)
Counter	6 channel (16bits)
PC Interface	XDS510 Emulator port Parallel port

### 3.2.2 구동부 구성

Rhino XR-3는 brevel motor(Model 713) 4개와 small pittman motor(GM8712) 2개, 총 6개의 DC 모터로 5개의 관절과 gripper를 구성한다. 모터 드라이버에서 사용되는 스위칭 파워 소자로 Darlington Transistor TIP122와 TIP127을 사용하여 브릿지형태로 구성하였으며, TTL 레벨의 PWM(Pulse Width Modulation) 신호에 의해 구동이 이루어지므로 optical isolator pic817을 사용하였다. PWM기법을 사용하여 brevel motor의 경우 무부하시 최대 속도 2633 rpm, small pittman motor의 경우 무부하시 최대 속도 2600rpm까지 제어한다.

본 논문에서 사용한 디지털 PWM 신호 발생회로는 카운터와 비교기를 이용하여 설계하였으며 7비트 속도 데이터와 1비트 방향정보로 이루어져 128 level의 해상도를 갖는다.

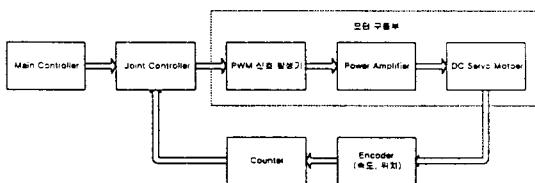


그림 5. 구동부 구성 및 제어 흐름도

## 4. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 TMS320c31을 이용하여 Rhino XR-3 교육용 로봇 매니퓰레이터의 제어기를 설계 및 제작하여 직접 운용해 본 결과 우수한 동적 특성을 나타내었다. 특히 DSP를 관절 위치 제어기 와 모터 제어기로 사용하고 시분할 방식에 의한 전체 관절의 위치 제어를 수행함으로써 기존의 관절위치 제어기 보다 하드웨어 및 소프트웨어의 구조가 간단해졌다.

설계한 제어기는 하드웨어 및 소프트웨어에서 유연성을 갖고 있고 용적이 작기 때문에 Laptop computer를 주제어기로 사용하는 소형 mobile robot의 구동부 등 다른 제어 시스템에 별다른 수정 없이 운용할 수 있다.

현재 Rhino XR-3 로봇 시스템의 동력학 모델상의 파라미터를 정확히 알 수 없기 때문에 파라미터의 추정

과 이를 바탕으로 동력학을 고려한 토크 제어 알고리듬을 적용하기 위한 연구가 계속 진행 중이다.

## (참고문헌)

- [1] K.S.Fu, Robotics Control, Sensing, Vision, and Intelligence, McGraw-Hill, 1987
- [2] R.J.Schilling, Fundamentals of Robotics Analysis & Control, Prentice-Hall, 1990
- [3] TI, TMs320c3x User's Guide, Texas Instruments, 1994
- [4] TI, TMs320c3x DSP Starter Kit User's Guide, Texas Instruments, 1996
- [5] TI, TMs320 Floating-Point DSP Optimizing C Compiler User's Guide, Texas Instruments, 1994
- [6] TI, TMs320 Floating-Point DSP Assembly Language Tools User's Guide, Texas Instruments, 1995
- [7] TI, TMs320c3x General-Purpose Application User's Guide, Texas Instruments, 1998
- [8] TI, TMs320c3x C Source Debugger User's Guide, Texas Instruments, 1995
- [9] 이상락, C언어로 쉽게 쓰는 TMs320c31하드웨어, 소프트웨어, 한글 통합 개발환경, 대영사, 1996
- [10] 윤덕용, TMs320c31 마스터, Ohm사, 1998