

## 로봇 매니플레이터 원격 제어

김인수, 현웅근  
호남대학교

### A remote control robot manipulator using force feedback joystick

In-Soo Kim, Woong-Keun Hyun  
Honam University

**Abstract** - We propose a remote controlled robot manipulator using force feedback joystick. User can control easily 5 d.o.f robot manipulator in 3 dimensional space using general joystick. A force sensor attached in developed gripper sends signal to main robot controller so as to know gripper grasp the object. The signal also sent to user through force feedback joystick. We designed a dexterous 5 d.o.f robot manipulator analysis the kinematics and inverse kinematics. The robot was simply developed using serial RC motor. As a main robot controller, we use 32bit MPU(AT91SAM7256) and micro C/OS. To show the validity of our developed robot, a several experiments were demonstrated.

#### 1. 서 론

과학기술이 발달하고 생활 수준이 향상됨에 따라 인간은 소위 3D 직종을 기피하려는 경향을 갖게 되었다. 또한 작업환경의 변화가 심하고 위험한 심해저나 원자력 발전소, 우주공간에서의 작업등은 인간이 맡게 되면 엄청난 인건비가 소요되고, 작업자의 안전을 보장할 수가 없게 된다. 로봇을 이용하여 이러한 작업들을 대체하게 될 경우 무엇보다도 작업자를 보호할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 순간적인 판단과 작업을 반복하거나 돌발적인 사고에 대처하는 능력이 로봇에게는 절대적으로 부족하기 때문에, 반대 급부적으로 원격 제어 시스템의 가치가 점점 높아지고 있다.

원격 제어 로봇은 우주 공간, 방사능 지역 등에서의 작업시 인간을 보호하고, 작업의 효율성 증대에 기여할 뿐만 아니라, 최근에 활발히 연구가 진행되고 있는 초정밀 로봇을 이용한 원격 수술(telesurgery)이나 사람이 들 수 없는 무게를 작업자의 의도대로 다룰 수 있게 하는 등 인간의 한계를 극복하는 데도 큰 몫을 담당할 것으로 기대되기 때문에 지속적인 연구를 필요로 하고 있다.

본 연구에서는 힘 피드백 조이스틱을 이용한 원격 로봇 매니플레이터를 개발하였다. Force feedback Joystick을 이용하여 로봇 팔을 제어하며, 로봇의 그리퍼 부분에서 느끼는 힘을 전달받고, Joystick을 조정하여 3차원 공간에서 로봇을 조정할 수 있는 원격제어 로봇 시스템을 개발하였다. 로봇의 개발은 직렬RC모터를 연결 설계하여 5축의 로봇팔을 제작하였으며, 제어를 위하여 설계된 로봇의 기구학 분석 및 해석을 하였다. 또한 그리퍼의 원활한 조작을 위하여 힘센서를 이용한 파지정도를 제어할 수 있는 시스템을 개발 하였다.

#### 2.1 직렬 RC모터를 이용한 5축 로봇팔의 설계

로봇팔이 움직이기 위해선 로봇의 손끝의 위치인 End\_effector에 따라 그 위치 및 방향에 따른 로봇의 각 관절 조인트 값을 계산해야 하는데 이를 역기구학의 해 라고 한다. 간단한 매니플레이터의 경우 해가 존재하지만 축이 늘어날수록 해가 무수히 많아지게 된다. 따라서 6축의 매니플레이터의 경우 3축이 서로 교차하지 않으면 닫힌 해가 존재하지 않아 특수한 경우를 제외하고는 닫힌 해가 존재하도록 설계하고 있다. 사람과 같은 정교하고 자유로운 움직임을 위해서는 높은 자유도의 매니플레이터가 필요하지만 그에 따라 구조가 복잡해지고 축이 늘어나게 되고 해가 무수히 많아지게 되므로 계산되어지는 식이 많아지게 된다.

따라서 최대한 높은 자유도를 보장하면서 간단하게 제어하게 제어할 수는 5축 매니플레이터를 연구 하였다. 로봇의 끝점을 이동시키기 위해 한번에 5축의 조인트를 제어해야 하는데 계산식도 복잡해지고 여러 해가 존재하기 때문에 자유자재로 원격제어하기가 어렵다. 그래서 간단하게 하기 위해서 역기구학 분리법을 이용하였다. 위치와 회전을 inverse position kinematics 와 inverse orientation kinematics로 분리 하였다. 이렇게 분리하면 위치 담당하는 축과 회전을 담당하는 축으로 나뉘고 그에 따라서 계산과 제어를 빠르게 할 수 있다.

#### 2.1.1 직렬 RC모터특징

로봇팔에 쓰이는 모터는 DX-117을 사용하였다. 이 모터의 경우 한번의 명령 패킷으로 여러 개의 모터를 동시에 제어할 수 있고 모터 현재 상태 패킷을 리턴하기 때문에 모터의 토크가 크고 분해능이 높기 때문이다 때문에 로봇팔을 구동하는데 이상적이다.

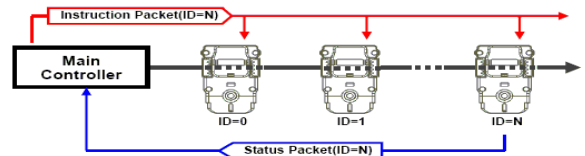


Fig.1 Connection for control of serial RC Motor

<Fig.1>과 같이 메인 컨트롤러에서는 RS485통신을 이용해 각 모터에 대한 명령어를 ID와 함께 한번에 전송하고 각 모터에서는 자신의 고유 ID에 대한 명령패킷을 전송받고 그에 따른 상태패킷을 리턴한다.

#### 2.1.2 설계 및 기구학

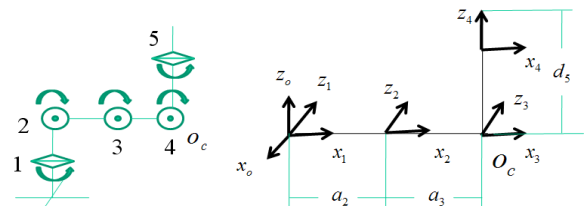


Fig.2 Simplified design of 5 d.o.f robot manipulator

로봇의 회전축은 <Fig.2>와 5축으로 구성하였다. 계산을 간단하게 하기 위해 손목좌표계  $O_c$ 를 기준으로 1,2,3축은 위치를 4,5축은 회전을 담당하는 축으로 설계하였다.

$$A_1 = \begin{bmatrix} C_1 & 0 & -S_1 & 0 \\ S_1 & 0 & C_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_2 = \begin{bmatrix} C_2 - S_2 & 0 & a_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & a_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_3 = \begin{bmatrix} C_3 - S_3 & 0 & a_3 C_3 \\ S_3 & C_3 & 0 & a_3 S_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_4 = \begin{bmatrix} C_4 & 0 & -S_4 & 0 \\ S_4 & 0 & C_4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, A_5 = \begin{bmatrix} C_5 - S_5 & 0 & 0 \\ S_5 & C_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

식(1)은 각 관절의 좌표계에서 다음좌표계로의 변환을 위한 행렬로 Denavit-Hartenberg 표현을 기초로 하였다.

$$T_n^0 = A_0 A_1 A_2 \dots A_n = \begin{bmatrix} R_n^0 & O_n^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$O_j^i = T_{j-1}^i + R_{j-1}^i O_j^{i-1} \quad (3)$$

$$O = O_c^o - R \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ d_5 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O_x - d_5 r_{13} \\ O_y - d_5 r_{23} \\ O_z - d_5 r_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

식(1)을 이용하여 식(2)와 같이 베이스좌표계에서 말단좌표계까지 회전행렬(R)과 위치행렬(O)로 이루어져 있는  $T_n^o$  행렬로 표현할 수 있다. 로봇의 End-effector가 위치와 회전이 정해졌을때 식(3)처럼 베이스에서 손목의 위치와 손목에서 End-effector까지 회전과 위치의 합이다. 로봇

끝의 회전R과 거리  $d_5$ 는 알고 있기 때문에 손목좌표계를 알 수 있다.

식(5)처럼 역행렬을 이용해서 풀면

$$A_1^{-1} \times H_c = (A_1^{-1})A_1A_2A_3 \quad (5)$$

$$x_c C_1 + y_c S_1 = a_3 C_{23} + a_2 C \quad (6)$$

$$-y_c = a_3 S_{23} + a_2 S_2 \quad (7)$$

$$-x_c S_1 + y_c C_1 = 0 \quad (8)$$

(8)식을 이용해서  $\theta_1$  다음과 같이 구할 수 있다

$$-S_1 = -\left(\frac{y_c}{x_c}\right)C_1, \quad \theta_1 = \tan^{-1} \frac{y_c}{x_c}$$

식(6)과 식(7)을 제곱해서 더해주면  $\theta_3$ 를 구할 수 있으며  $\pm S_5$ 에 의해서 2개의 값을 가질 수 있어 자세도 2가지가 나온다.

$$C_3 = \frac{(x_c C_1 + y_c S_1)^2 + (-z_c)^2 - a_3^2 - a_2^2}{2a_2 a_3}, \quad S_3 = \pm \sqrt{-C^2}$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \frac{S_3}{C_3}$$

식(6)과 식(7)을 역행렬을 이용해서  $C_2$ 와  $S_2$ 를 구할 수 있다.

$$C_2 = (x_c C_1 + y_c S_1)(C_3 a_3 + a_2) + (S_3 a_3)(-z_c)$$

$$S_2 = (x_c C_1 + y_c S_1)(-S_3 a_3) + (C_3 a_3 + a_2)(-z_c)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{S_2}{C_2}$$

앞에서 구한  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$ 를 이용해서  $\theta_4 \theta_5$ 를 구하면

$$R_5^3 = (R_3^0)^{-1} R = (R_3^0)^T R$$

$$C_4 = C_1 S_{23} r_{13} + S_1 S_{23} r_{23} + C_{23} r_{33}$$

$$S_4 = C_1 C_{23} r_{13} + S_1 C_{23} r_{23} - S_{23} r_{33}$$

$$C_5 = -S_1 r_{12} + C_1 r_{22}$$

$$S_5 = -S_1 r_{11} + C_1 r_{21}$$

$$\theta_4 = \tan^{-1} \frac{S_4}{C_4}, \quad \theta_5 = \tan^{-1} \frac{S_5}{C_5}$$

End\_effector에 따른 각 모터에 따른 조인트 값  $\theta_1 \theta_2 \theta_3 \theta_4 \theta_5$ 를 구할 수 있다.

### 3. 시스템 구성

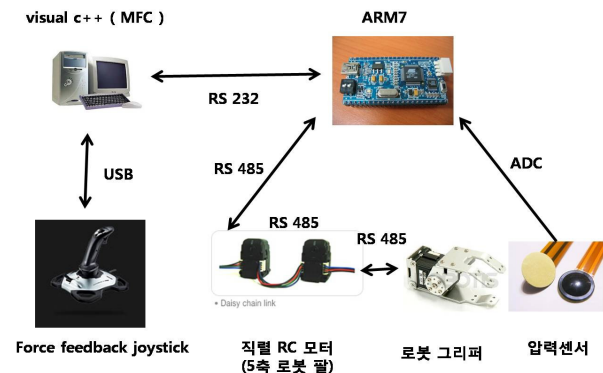


Fig.3 Layout of whole force-feedback robot manipulator

전체 시스템을 5축 로봇팔 제어부로서 32bit MPU인 AT91SAM7S256을 사용하였고, 8bit MPU가 내장된 직렬 RC모터 5개로 구성된 5축 로봇팔과 1 d.o.f 그리퍼, 그리퍼에 부착된 압력센서 및 Force feedback Joystick으로 구성되어 있다. 로봇 제어부인 32bit MPU는 각축의 경로 계획, 역기구학, 직렬모터 동기제어 등을 위하여 Real time OS인 micro C/OS를 탑재하였다. user가 3차원 공간인 Cartesian space에서 3차원 공간상의 위치 및 자세를 제어하면, 이러한 명령어는 PC내의 Direct X에서 해석되어 RS232를 통해 로봇 주 제어부로 전달되고, 명령어에 의해 로봇의 역기구학을 생성하여, 각 조인트의 위치값이 결정된다. <Fig.3>은 개발된 전체 시스템 구성도를 나타낸다. <Fig.4>와 <Fig.5>는 각각 전체 실험모습과 설계 개발된 5축 로봇팔을 나타내었다.



Fig.4 Figure of whole system Fig.5 d.o.f robot manipulator

### 4. 실험 및 결과

<표 1> 역기구학 적용

Desired position(mm)			inverse kinematics (degree)			실제 모터 이동값 (degree)		
x	y	z	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$
60	40	30	33.69	71.97	-98.78	33.90	69.93	-100.92
45	-65	-10	-55.3	41.18	-96.77	-55.25	39.22	-99.16
70	-55	-10	-38.15	35.30	-83.41	-38.24	33.36	-85.38
65	-45	-25	-34.69	28.74	-92.58	-35.01	26.91	-94.18
-50	50	20	134.98	68.02	-104.47	134.49	66.79	-106.20

로봇의 말단장치의 위치에 대한 기구학 및 역기구학으로 구한 모터의 조인트 값과 실제로 모터가 구동위치에 대한 오차는  $\theta_1 \theta_2 \theta_3$  각각 0.09%, 0.58%, 0.53%로써 5축 매니퓰레이터 위치의 역기구학해석은 우수하게 설계되었고 적용할 수 있음을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 힘 되먹임 조이스틱을 이용한 원격 로봇 매니퓰레이터를 개발하였다. Force feedback Joystick을 이용하여 로봇 팔을 제어하며, 로봇의 그리퍼 부분에서 느끼는 힘을 전달받고, Joystick을 조정하여 3차원 공간에서 로봇을 조정할 수 있는 원격제어 로봇 시스템을 개발하였다. 로봇의 개발은 직렬RC모터를 연결 설계하여 5축의 로봇팔을 제작하였으며, 제어를 위하여 설계된 로봇의 기구학 분석 및 해석을 하였다. 또한 그리퍼의 원활한 조작을 위하여 힘센서를 이용한 피드백도를 제어할 수 있는 시스템을 개발 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] John J. Craig, "introduction to Robotics Mechanics & Control", Prentice Hall (1989.01)
- [2] Thomas R. Kurfess, "ROBOTICS AND AUTOMATION HANDBOOK", CRC PRESS (2005)
- [3] JEAN JLABROSSE, MicroC/OS-II: The Real-Time Kernel (2nd Edition, Revised), CMP Books (2002)
- [4] Mark W. Spong, Seth Hutchinson, M. Vidyasagar, "Robot Modeling and Control", WILEY (2006)
- [5] Renata Melamud. "An Introduction to Robot Kinematics" (2005.12)
- [6] 정운용, 최승진, 현웅근. "영상추적 로봇 암 시스템", KIEE (2007)
- [7] 윤덕용, AT81SAM7S256으로 시작하기, Ohm사 (2007)

This research was supported by the program for the Training of Graduate Students in Regional Innovation and the program for Regional Strategic Industries which was conducted by the Ministry of Commerce Industry and Energy of the Korean Government.