

원격 머니플레이터의 관리제어 시스템에 관한 연구 (A Study on the Supervisory Control System for a Remote Manipulator)

金 英 吉*, 鄭 明 振**, 卞 增 男**

(Young Gill Kim, Myung Jin Chung and Zeungnam Bien)

要 約

본 논문에서는 원격 머니플레이터를 위한 관리 제어시스템에 기능 향상을 위한 문제를 다루었다. 위험한 환경에서 이용하기에 적합함은 물론 복잡하고 섬세한 조립 작업에도 용이하게 이용될 수 있게끔 현재 상용되는 모우드를 포함하여 컴퓨터 모우드와 수동 모우드가 채택되었으며 손쉬운 이동 경로 편집을 위하여 상호대화 방식의 편집 방법이 다루어졌다. 관리제어 컴퓨터로서는 IBM PC/XT를, 원격 머니플레이터로서는 Rhino 로봇 시스템이 사용되었으며 여러가지 작업 조건하에서 제안된 시스템의 성능을 평가 하였다.

Abstract

This paper describes the functional enhancement of the supervisory control system for a remote manipulator.

For working in delicate assembly jobs as well as in hazardous environments, appropriate control modes such as computer mode, manual mode including commercially available modes are selected. Especially, "interactive path edit" method is discussed for easy path editing. Performance evaluation of the overall system was carried out by using an IBM PC/XT and a Rhino robot system as a supervisory control computer (SCC) and a remote manipulator respectively for various working conditions.

I. 서 론

산업 사회가 고도화 됨에 따라 인간의 작업 영역은 인간이 접근하기에 바람직스럽지 못하거나 위험한 환경까지 확장되어 왔다. 구체적으로 이러한 작업환경은 방사능 지역, 우주공간, 심해 등을 들 수 있는데 일반적으로 이러한 환경은 공간적인 제약이 많고 조작자가 접근하기 곤란해서 기존의 산업용 로봇드 제어 시스템

으로는 작업을 수행하는 것이 부적합하다. 이와 같은 환경에서는 인간을 대신하여 작업할 수 있는 원격 머니플레이터(remote manipulator)가 절실히 요구된다. 또한 원격 머니플레이터를 작동시키기에 편리하며 다양한 기능을 갖는 제어 시스템이 요구된다.^{1,2}

원격 머니플레이터를 위한 제어방식으로는 원격 머니플레이터를 조작자와 가능한 한 밀접하게 결합시키는 주종관계를 갖는 머니플레이터(master-slave manipulator) 제어방식과 전체제어 루우프를 2가지 계층으로 나누어 제어하는 관리제어(supervisory control) 방식이 있다.^{3,4,5} 부연하여 설명하면 전자는 조작자가 원격 머니플레이터의 제어 루우프에 밀접하게 결합되어 있어 조작자가 항상 주의를 기울여야 하는 단점이 있는 반면에 후자는 원격 지점에 있는 컴퓨터에 의해

*正會員, 韓國에너지研究所 計測 制御室
(Instrument and Control Lab., KAERI)

**正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., KAIST)

接受日字: 1986年 9月 22日

제어우프 제어를 받게 되고 이에 따라 간단하고 평범한 결정을 내릴 수 있으며 조작자는 관리자로서 윗 계층의 동작 순서를 결정하고 판단을 내리게 할 수 있다. 후자의 방법은 주종관계 방식의 단점을 보완함은 물론 기능을 분리시킴으로써 마이크로 컴퓨터 정도로 서도 실현이 가능해진다.

본 논문에서는 관리제어 방식을 이용하여 용이하게 작업을 수행할 수 있는 원격 매니퓰레이터를 위해 제어 시스템을 개발하는 것과 그 유용성을 보이는데 목적을 두었다. 이를 위해 기존의 로봇 시스템이 갖는 모든 교시(teaching) 기능을 포함함은 물론 아래의 기능을 추가로 갖는 시스템 개발에 중점을 두었다.

- (1) 원격 매니퓰레이터의 손(gripper)이 3 차원적으로 조작자가 가하는 힘의 방향과 크기에 비례하는 속력으로 이동케한다.
- (2) 경로(path)의 상호대화 방식의 편집 기능을 부여하여 순쉬운 경로 계획을 할 수 있게 한다.
- (3) 수동 모우드와 컴퓨터 모우드의 기능을 독립적으로 이용할 수 있게하여 작업 조건에 유연성을 더한다.

II. 관리제어 시스템의 구성과 기능

1. 관리제어 시스템의 구성

원격 매니퓰레이터를 위한 관리 제어시스템의 주요 부분은 그림 1 과 같이 3 개의 루우프로 구성된다.

첫째, 원격 루우프는 원격 지점에 위치한 ACC(arm control computer)를 통해 제어우프를 형성하여 아래 계층의 제어를 수행한다.

둘째로 관리 루우프는 조작자를 통해 제어우프를 형성하고 원격 매니퓰레이터의 작업 목표를 설정하며 필요에 따라 직접 매니퓰레이터를 동작시킬 수 있게 했다.

셋째는 부분 루우프인데 원격 매니퓰레이터와는 독립되어 있고 단지 원격 시스템에 대한 모델링을 기반으로 시스템을 구성한 루우프로서 실제의 원격 매니퓰

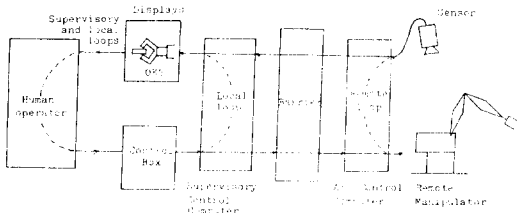


그림 1. 원격 매니퓰레이터의 관리제어 구성도
Fig. 1. Schematic Diagram of Supervisory Control of Remote Manipulator.

레이터의 동작을 예측하고 감독 기능을 향상시키는 역할을 한다.

이와 같이 기능이 분리됨에 따라 조작자는 윗 계층의 결정만 고려하면 되기 때문에 늘 주의를 기울일 필요가 없어지고 역할이 분단됨에 따라 명령의 전달시 지연시간이 줄어든다.

2. 관리제어 시스템의 기능

조작자와 원격 매니퓰레이터간의 상호 정보교환 및 조작자가 지시하는 명령을 수행하기 위한 데이터를 형성한다. 자세한 관리제어 시스템의 역할은 아래와 같다.

- 원격 매니퓰레이터를 위한 ACC와의 데이터를 송수신하며 상태를 점검한다.
- 매니퓰레이터의 기구학과 역기구학의 해를 구하여 경로계획을 수행한다.
- 직교 좌표상에서의 현재 위치와 조인트 공간에서의 각 조인트의 현재 각도를 계산 기억한다.
- 조이스틱에 대한 속력 프로파일을 설정한다.
- 기억된 경로를 디스크에 기록, 저장하여 재현할 수 있게 한다.
- 교시 상자상의 스위치 상태와 조이스틱의 변위에 따라 적절한 데이터 처리를 하여 ACC에 데이터를 보낸다.
- 조작자에게 현재의 위치와 오류 메시지등의 정보를 제공한다.

3. 교시 상자의 기능

기존 로봇 시스템은 스위치를 사용하여 매니퓰레이터를 움직이고 기억된 경로의 점들을 편집할 때 모니터상에 나타나는 데이터만을 보고 편집하기 때문에 정확한 3 차원 공간상의 추적이 곤란하다. 이 사항을 고려하여 다음과 같은 항목에 중점을 두어 기능을 설정하였다.

- (1) 2 개의 조이스틱을 사용해 3 차원적으로 조작자가 가하는 힘에 비례하는 속력으로 그리고 힘이 가해지는 방향으로 이동한다.
- (2) 조작자가 직접 조이스틱을 사용하여 기억시키고자 하는 점까지 이동하고 기억된 점을 변경(insert, replace, delete, erase)시 SCC가 자동적으로 기억된 점을 한 지점씩 이동하면서 조작자에게 변경 여부를 물어 보도록 함으로써 상호대화 방식의 편집 기능을 갖게 한다.
- (3) 편집후 재 편집된 경로를 추적하는 기능을 넣어 필요시 디스크에 저장시킬 수 있도록 한다.
- (4) 필요시 컴퓨터 모우드와 조이스틱을 사용한 수동 모우드를 결합시켜 두 모우드의 장점을 이용한다.

4. 모드별 기능

위에서 서술된 편집 기능과 이동 기능을 구현하기 위하여 아래 그림2와 같이 6 개의 주 모드와 각 주 모드에 필요한 서브 모드를 설정하였다. 필요한 모드의 기능을 간략하게 서술하면 다음과 같다.

(1) 컴퓨터 모드

조작자가 명령어와 데이터 값을 직접 입력하여 동작을 수행하는 모드로 세분하면 아래와 같은 서브 모드로 나누어진다. 괄호안은 실제 명령어의 의미를 표시한다.

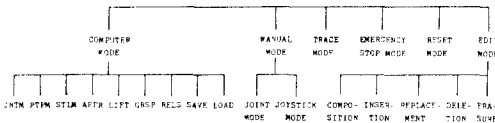


그림 2. 교시 상자의 기능에 따른 각종 모드
Fig. 2. Functioning Mode of Teaching Box.

1) JNTM (joint mode)

조인트를 각각 이동한다.

2) PTPM(point to point move)

경로의 중간 점과는 관계없이 오직 최종 도달점의 위치만을 고려하는 이동을 한다.

3) STLM(straight line move)

직선 경로로 직교 좌표상에서 이동을 한다.

4) APPR(approach)

로봇 손의 접근 벡터를 일정하게 유지하면서 물체에 직선적으로 접근한다.

5) LIFT(lift)

로봇 손의 접근 벡터를 일정하게 유지하면서 물체에서 직선적으로 벗어 난다.

6) GRSP(grasp)/RELS(release)

물체를 잡거나 놓는 동작을 수행한다.

7) SAVE(save)

SCC의 기억장치에 기억시킨 원하는 경로를 디스크에 저장한다.

8) LOAD(load)

디스크에 저장된 특정 경로를 SCC로 옮겨 저장시킨다.

컴퓨터 모오드에서 사용되는 명령어와 파라미터는 다음 표1과 같다.

(2) 수동 모드

조작자가 수동으로 움직이게 하는 모드로 다음 2 가지 서브 모드로 나누어진다.

1) 조인트 모드(joint mode)

교시 상자의 6 개의 토글 스위치를 사용하여 조인트

표 1. 컴퓨터 모우드의 명령어

Table 1. Instruction Set of Computer Mode.

| Instruction | Paramaters | Explanation |
|-------------|--------------------------|---------------------|
| JNTM | J1, J2, J3, J4, J5, C | Joint move |
| PTPM | PX, PY, PZ, J4, J5, sign | Point to point move |
| STLM | PX, PY, PZ | Straight line move |
| APPR | length | Approach forward |
| LIFT | length | Lift up |
| GRSP | none | Grasp |
| RELS | none | Release |
| SAVE | none | Save to disk |
| LOAD | none | Load from disk |

공간상에서 이동케 한다.

2) 조이스틱 모드(joystick mode)

2 개의 조이스틱을 사용해 조작자가 가하는 힘의 방향으로 힘이 크기에 비례하는 속력으로 이동하게 하며 조이스틱에 부착되는 스위치로 로봇 손의 접근 방향과 열고 닫음을 조정할 수 있다.

(3) 편집 모드(edit mode)

조작자와 컴퓨터간의 상호대화 방식의 편집이 행하여지는 모우드로 다음과 같은 기능이 있다.

1) 경로 구성 기능(path composition)

2 개의 조이스틱을 이용해 주 기억장치 또는 필요시 디스크에 저장시킬 경로를 구성하는 기능이다.

2) 경로 삽입 기능(path insertion)

SCC에 저장된 경로중 삽입할 경로가 있을 때 SCC가 기억된 경로를 차례로 이동해 가면서 삽입여부를 조작자와 대화 형식으로 수정하는 기능이다.

3) 경로대체 기능(path repacement)

SCC에 기억된 경로중 교체할 경로가 있을 때 필요한 기능이다.

4) 경로삭제 기능(path deletion)

SCC에 기억된 경로중 삭제시킬 경로가 있을 때 사용하는 기능이다.

(4) 경로재현 모우드(path trace mode)

SCC에 저장된 경로를 재현해 보는 모우드이다.

5) 긴급 정지 모우드(emergency stop mode)

원격 머니플레이터의 경우 위험한 환경에서 작업을 수행하기 때문에 돌발사태시 즉시 정지시키는 모우드이다.

6) 리셋 모우드(reset mode)

조인트의 분해도가 변하거나 장애물 충돌등으로 조인트의 미끄러짐이 발생했을 때 이를 보정하는 모우드이다.

Ⅲ. 관리 제어 시스템의 구현

전절에서 제안된 관리제어 시스템의 기능을 구현하기 위해서 실제로 구성된 전체 시스템과 하드웨어와 소프트웨어 부분에 대해서 각각 설명하고자 한다.

1. 전체 시스템의 구성

전체 시스템의 개략적인 구성도는 그림 3 과 같다.

SCC로는 IBM-PC/XT를 사용하여 조작자와 원격 머니플레이터간의 상호 정보교환 및 각종 데이터 처리를 하며 ACC에 각 조인트가 이동해야 할 각도를 보내주며 수시로 ACC를 점검하여 현재까지의 이동정도, 제한 스위치와의 접촉여부등의 상태를 받아들인다. 원격 머니플레이터로서는 Rhino XR-3 로보트를 이용하여 위치 정보를 ACC에 보낸다. ACC는 MarkⅢ 제어기이며 조인트의 이동 각도를 구동 장치에 필요한 신호로 전환하는 역할을 한다.

교시 상자상에는 2 개의 조이스틱과 주 모드 선택 스위치 그리고 서브 모드 선택 스위치가 있으며 스위치의 상태를 SCC로 보내주기 위한 인터페이스가 내장되어 있어 병렬전송 방식으로 데이터를 전송한다. (그림 4 참조)

SCC와 ACC간에는 직렬 전송(9600 baud rate, 7data bits, 2 stop bits) 방식으로 연결되어 있다.

2. 하드웨어의 구성

SCC에서 A/D 변환기를 통해 조이스틱의 중심에서의 변위를 읽어 들이는 개략적인 구성은 그림 5와 같고 사용된 변지수는 표 2와 같다.¹⁾²⁾³⁾

기존 A/D변환기가 시작신호를 주면 end of conversion 신호가 발생할 때까지 기다린 후 읽어들이는 방식인데 반하여 설계된 방식은 조이스틱의 변위가 12bit A/D 변환기에 지속적으로 보내지고 변환이 끝날때 마다 12bit 3-state register에 기억시키고 SCC에서는 데이터를 읽

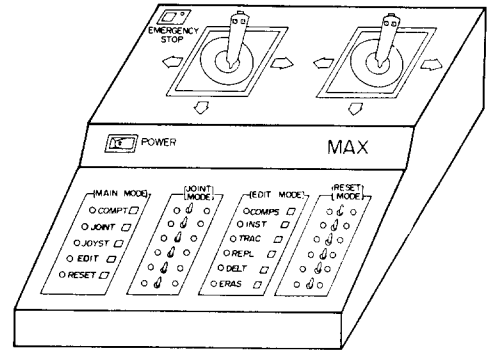


그림 4. 교시 상자
Fig. 4. Teaching Box.

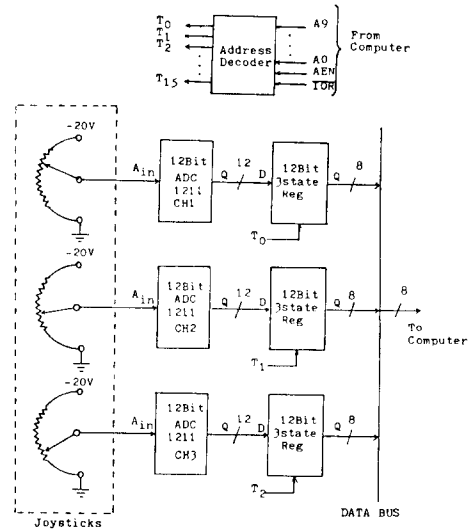


그림 5. 조이스틱으로 부터의 정보취득
Fig. 5. Data Acquisition from Joystick.

표 2. A/D 변환기의 변지수

Table 2. Address of A/D Converter.

| Byte | Address (hexa) |
|--------|----------------|
| CH 1 L | 300h |
| CH 1 H | 301h |
| CH 2 L | 302h |
| CH 2 H | 303h |
| CH 3 L | 304h |
| CH 3 H | 305h |

고자 할 때만 변지수를 지정하여 레지스터에 기억된 안정된 값을 기다림없이 받아 들인다. 상술한 A/D 변환기는 채널 수가 적은 반면 데이터 처리량이 많아

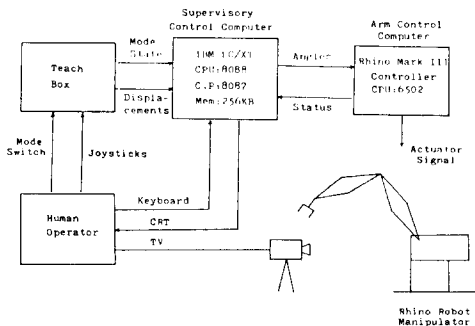


그림 3. 전체 시스템의 구성도
Fig. 3. Block Diagram of Overall System.

A/D변환하는데 시간을 할당하기 곤란한 실시간 제어 시스템에 상당한 효과를 거두는 방법이다.

다음으로 교시 상자상의 스위치들의 현재 놓여진 상태를 읽어 들이기 위해 사용한 번지수와 각 바이트(byte)가 나타내는 의미는 표 3 과 같다. 어드레스 버스에 $31 \times h$ (\times 는 don't care)가 나타나면 TTL7430의 출력이 영으로 떨어지고 이것이 Demux 74154의 G_1 및 G_2 를 통해 74154를 동작시킨다. 번지를 나타내는 비트는 A_3, A_2, A_1, A_0 가 000B이면 T_0 가 동작되면서 8bit Latch 74374를 동작시켜 주 모우드 선택 스위치들의 상태가 SCC에 입력된다.

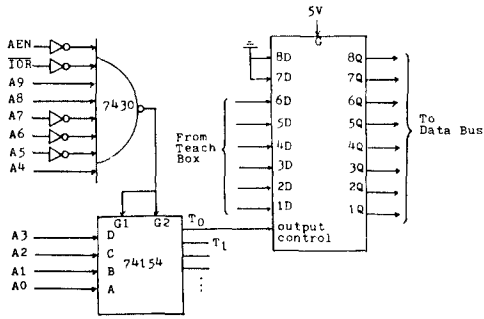


그림 6. IBM PC와 교시 상자간의 인터페이스 회로
Fig. 6. Interface Circuit Between IBM PC and Teach Box.

표 3. 교시 상자의 어드레스 맵
Table 3. Address Map of Teaching Box.

| Address | Usage Explanation |
|---------|-------------------|
| 310h | Main Mode Select |
| 311h | Joint Mode+ |
| 312h | Joint Mode- |
| 313h | Edit Mode |
| 314h | Reset Mode |
| 315h | Joystick Mode |

3. 소프트웨어의 구성

전체적인 소프트웨어는 원격 머니플레이터로 사용되는 Rhino 로봇의 제원에 따라 고려되는 부분과 교시 상자의 기능을 실현하기 위한 일반적인 부분으로 대별되어진다. 전체 소프트웨어의 흐름도는 그림 7과 같다. 우선 현재의 로봇 자세를 알기 위해 일단 리셋 자세로 로봇의 각 조인트를 이동시킨 후 이를 기준으로 로봇의 조인트 값을 증가시킨다. 다음은 원하는 로봇 자세 (above arm/below arm)을 정한 후 현재 조이스틱이 위

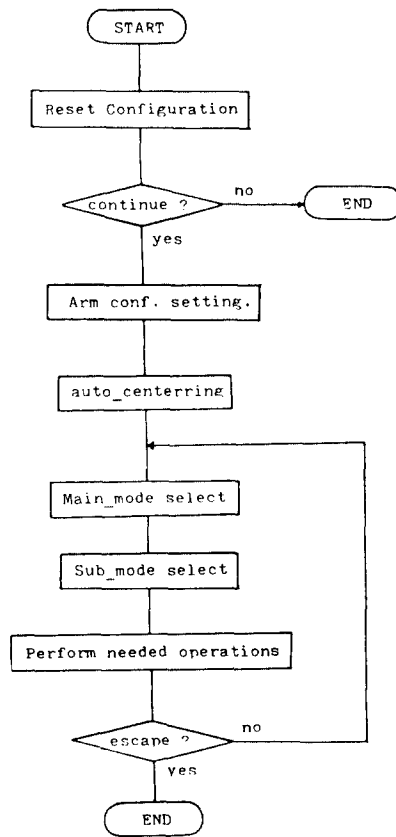


그림 7. 소프트웨어 전체 흐름도
Fig. 7. Flow Chart of Overall Software.

지한 상태를 중심으로 지정한 다음 작동중에 중심점의 위치가 변화됨으로서 발생하는 오차를 보상해 준다. 위와 같은 과정이 끝나면 일반적으로 주 모우드와 서브 모우드를 점검하여 필요한 동작을 수행한다.

전체 흐름도에서 요구되는 기능을 실현시키기 위해서는 먼저 대상 로봇 시스템(Rhino)의 제원에 따라 다음의 기본적인 기능을 고려해야 한다.^{1)7.8.9.11)}

- (1) 6 축 동시 연속이동
- (2) 리셋 자세(reset configuration)
- (3) 작업 영역 점검
- (4) 역 기구학 문제 해결(inverse kinematics)
- (5) 실제 이동해야 할 펄스수의 계산
- (6) 경로의 분할

Rhino 로봇 시스템의 제어기 부분은 각 모우터를 구동하기 위한 최대 허용 펄스를 95로 잡고 있으며 그 이상일 경우 오동작을 일으킨다. 또한 원하는 시간에 원하는 로봇 자세를 얻기 위해서는 모든 모우터가

동시에 연속적으로 움직여 주어야 한다. 이 문제를 해결하기 위해서 제층제어 방식의 일환으로 주 프로세서와 다수의 종속 프로세서를 이용하는 방법이 있으나 구성상의 어려움이 많으므로 소프트웨어적인 해결 방법을 택하였다. 흐름도는 그림 8 과 같다. 사용된 용어의 의미는 아래와 같다.

- total(i) : i번째 모우터에 보내주어야 할 전체 펄스 수
- empty(i) : i번째 레지스터에 허용치 이상을 발생시키지 않고 보낼 수 있는 최대 펄스 수
- flag : 잘못이 발생되면 전체 루우틴이 끝났다는 것을 알려줌

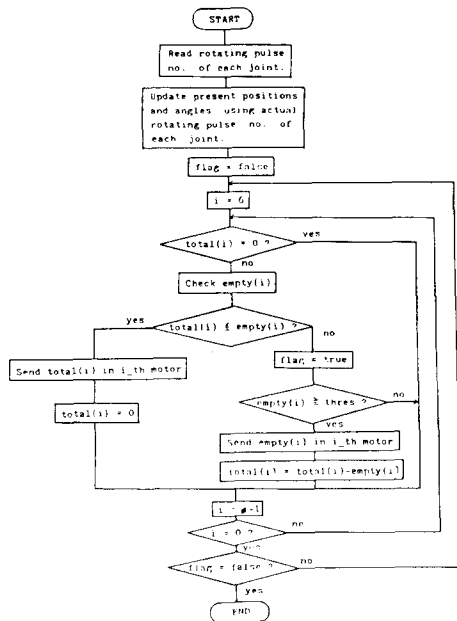


그림 8. 동시 연속 6축 전동기를 구동하기 위한 흐름도

Fig. 8. Flowchart for Simultaneous Movement of Six Actuators in the Rhino Robot System.

전력인가시 현재의 로봇 자세를 알지 못하므로 먼저 기준이 되는 자세로 이동하여야 한다. 각 모우터가 제한 스위치로 이동하여 캠(cam)이 제한 스위치에 닿은후 이 자세로 부터 일정량 만큼 이동하면 된다. 이동 끝날 때의 각 조인트의 각도는 0°로 정의한다. [그림 9 참조]

이 자세를 기준으로 현재의 위치 및 각도는 표 4와 아래의 식을 이용하여 구한다.*

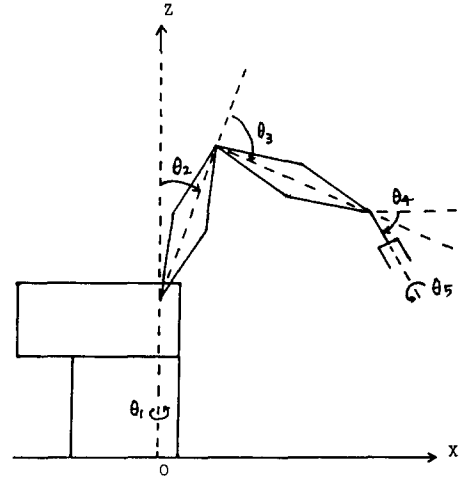


그림 9. 기준 좌표계
Fig. 9. Basic Coordinate Frame.

표 4. 각 전동기의 방향과 해상도
Table 4. Resolution and Direction of Motor.

| Link Name | Direction | Resolution(deg/pulse) |
|-----------|-----------|-----------------------|
| Base | + = CCW | 0.1374 |
| | - = CW | |
| Shoulder | + = down | 0.1145 |
| | - = up | |
| Elbow | + = up | 0.1138 |
| | - = down | |
| Hand | + = up | 0.1091 |
| | - = down | |
| Wrist | + = CCW | 0.2397 |
| | - = CW | |
| Gripper | + = close | 60 pulse* |
| | - = open | |

$$\begin{aligned}
 \theta_{1, \text{now}} &= \theta_1 + \text{pulse \# 1} * \text{res \# 1} \\
 \theta_{2, \text{now}} &= \theta_2 + \text{pulse \# 2} * \text{res \# 2} \\
 \theta_{3, \text{now}} &= \theta_3 - \text{pulse \# 2} * \text{res \# 2} - \text{pulse \# 3} * \text{res \# 3} \\
 \theta_{4, \text{now}} &= \theta_4 - (\text{pulse \# 4} + \text{pulse \# 3} * \text{calib}) * \text{res \# 4} \\
 \theta_{5, \text{now}} &= \theta_5 + \text{pulse \# 5} * \text{res \# 5} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{calib} &= 7/180 = 0.0389 \\
 \text{px} &= r \cos \theta \\
 \text{py} &= r \sin \theta \\
 \text{pz} &= l[\cos \theta_2 + \cos(\theta_2 + \theta_3)] \quad (2) \\
 r &= l[\sin \theta_2 + \sin(\theta_2 + \theta_3)]
 \end{aligned}$$

로봇가 도달할 수 있는 영역이 제한되어 있으므로 이동하기 전 이동 가능 범위내에 위치하는지의 여부를 결정하여야 한다. 로봇가 팔이 최대로 뻗은 경우에 대

하여 다음식을 이용해 이동가능 여부를 판정한다.

$$px^2 + py^2 + (pz - 25)^2 < 2000 < (L + 1)^2 \quad (3)$$

다음역 기구학 문제는 모든 조인트에 대해 구할 수 있으나 관리 제어의 특성과 Rhino 로봇의 기구학적 특성을 이용하여 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 에 대해 아래의 식을 이용하여 해를 구했다.

$$\theta_1 = \text{atan2}(py/px)$$

$$\theta_3 = \begin{cases} 2 \text{atan2} \left[\frac{4l^2 - r^2 - (pz - L)^2}{r^2 + (pz - L)^2} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{if } 4l^2 \geq r^2 + (pz - L)^2 \text{ and above arm} \\ \pi - 2 \text{atan2} \left[\frac{r^2 + (pz - L)^2 - 4l^2}{r^2 + (pz + L)^2} \right]^{\frac{1}{2}} & \text{if } 4l^2 < r^2 + (pz - L)^2 \text{ and above arm} \end{cases}$$

$$\theta_3 = -\theta_3 \text{ below arm}$$

$$\theta_2 = \text{atan2} \left[\frac{r(1 + \cos \theta_3) - (pz - L) \sin \theta_3}{r \sin \theta_3 + (pz - L)(1 + \cos \theta_3)} \right] \quad (4)$$

각 조인트의 최종 각도가 정해지면 실제 각 조인트가 회전할 때 필요한 펄스 수를 쉽게 구할 수 있다. 다음으로 직선 경로를 계획시에 일반적인 형태의 로봇 팔에 대한 직선 운동이 구하기 힘들므로 이에 따라 등간격 분할(equi-distance segmentation)을 이용하여 직선을 구한다.^(6,10) 제한된 이탈분할(bounded deviation segmentation) 방법은 위 방법에 비하여 실제로 분할된 점들이 재 배열될 때 소요되는 시간이 분할 수가 증가하는데 대하여 n^2 배로 증가한다. 위의 방법이 비교적 간편하므로 등간격 분할 방법을 채택하여 조작자가 분할 수를 입력케 한다.

앞에서 고려된 사항으로 부터 교시 상자상의 기능 중 컴퓨터 모우드는 구현될 수 있다. 직선 운동에 대한 흐름도는 그림 10에 나와 있고 수동 모우드에서 조인트 모우드는 앞의 방법으로 쉽게 구현되며 조이스틱 모우드는 수동 모우드 뿐 아니라 편집 모우드에도 적용되고 있다. 전술한 바와 같이 조이스틱에 가해지는 힘에 따라 변위가 증가하게 되는데 이에 상응하여 이동할 거리가 증가하도록 하면 이동되는 평균 속도도 증가하게 되어 외관상 속도 제어와 동일한 효과를 얻을 수 있다. 그림 11은 조이스틱 모우드의 흐름도이다. 편집 모우드는 상호대화식의 경로 편집 기능을 갖게 하였으며 컴퓨터 모우드나 수동 모우드와 결합되어 변경 여부를 물어 편집할 수 있게 했다. 편집 모우드중 가장 기본이 되는 흐름도는 그림 12와 같다. 재현 모우드는 주기억장치에 저장된 경로를 재현해 보는 모우드로 필요에 따라 컴퓨터 모우드와 수동 모우드를 결합시켜 물체 근처에서의 정밀한 동작을 수행할 수 있다. 재현 모우드의 흐름도는 그림 13과 같다.

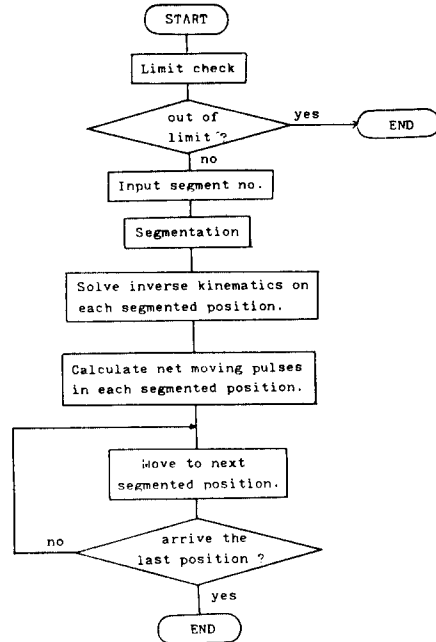


그림 10. 직선 운동을 위한 흐름도
Fig. 10. Flow Chart of Straight Line Move.

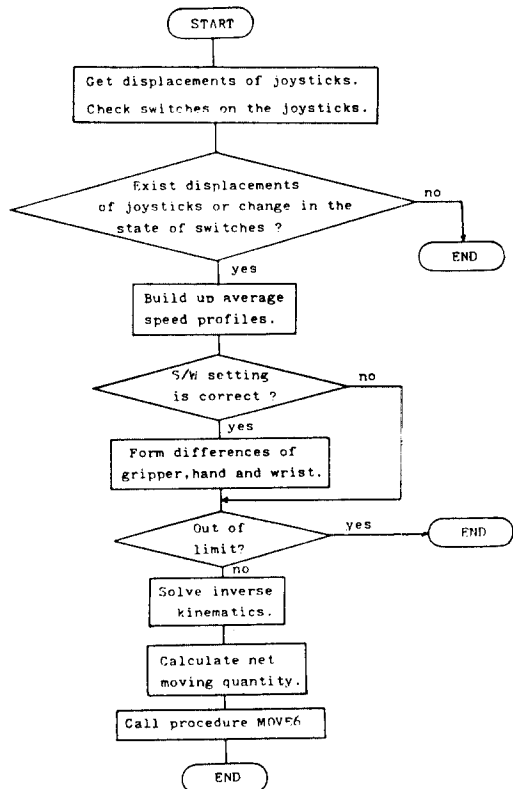


그림 11. 조이스틱 모우드의 흐름도
Fig. 11. Flow Chart of Joystick Mode.

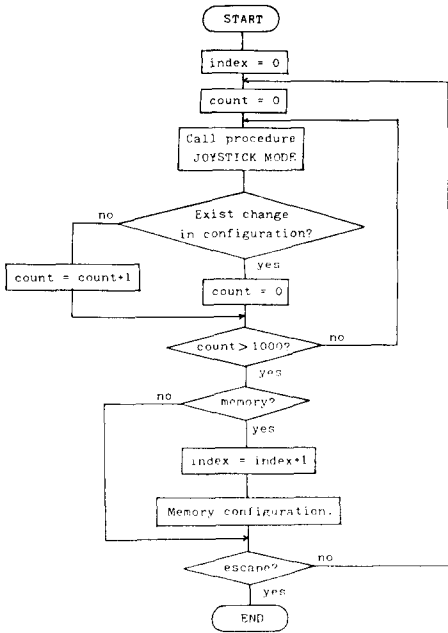


그림12. 조합 동작의 흐름도 (편집 모드)
 Fig. 12. Flowchart of Composition Operation (edit Mode).

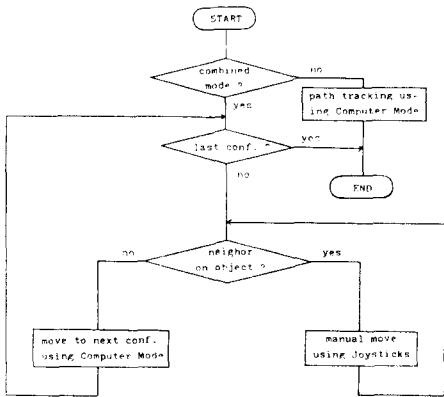


그림13. 재현 모드의 흐름도
 Fig. 13. Flowchart of Trace Mode.

IV. 실험 결과

본 논문에서 구성한 시스템(그림14 참조)을 사용하여 다음과 같은 점에 중점을 두어 실험을 하였다.

- (1) 조이스틱을 이용한 수동이동 방법의 편리함과 정확성
 - (2) 상호대화 방식의 경로편집 기능의 용이함
 - (3) 수동 모드와 컴퓨터 모드의 결합효과
- 이를 위해 각종 모드에 대해 여러 종류의 나무 블

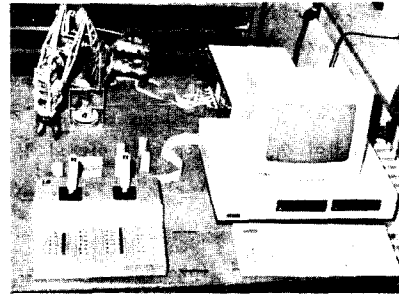


그림14. 구현된 전체 시스템
 Fig. 14. Implemented Overall System.

록 쌓기와 수평/수직 구멍에 물체 삽입을 수행하였다. 모든 경우에 대하여 조이스틱을 사용한 수동 이동시 약간의 떨림이 있었지만 일반적인 위치 오차는 2mm 이하로 비교적 정확한 동작을 보여 주었다.

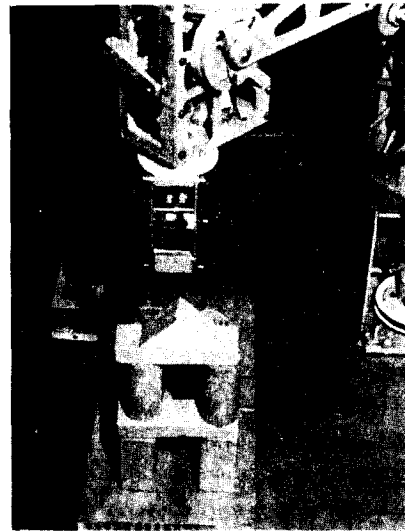


그림15. 나무 블록 쌓기
 Fig. 15. Block Stacking.

첫번째 그림15와 같은 나무 블록 쌓기 경우는 작업 공간상의 여러 점에 3~4cm 간격으로 흩어져 있는 4 가지 종류의 8 개의 나무 블록을 작업대의 좌단에 옮겨 집 형태로 조립하는 과정으로서 수동 모드를 이용하여 평균 3분 34초 소요되었으며 상호대화 방식의 경로 편집시에는 한 물체를 옮기는데 10개의 다른 로봇 자세를 기억시켰으며 전 과정의 소요시간은 9분이었고 컴퓨터 모드에 의한 재현시에는 평균 1분 58초였다. 두번째 그림16과 같은 수평/수직 구멍 삽입의

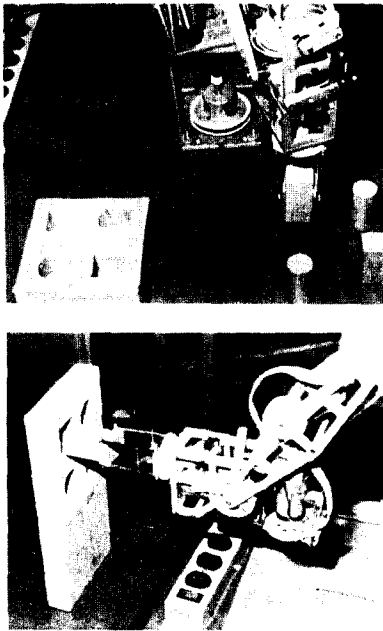


그림16. 수평/수직 구멍에 물체 넣기
Fig.16. Block Insertion to Horizontal/Vertical Hole.

경우는 두가지 다른 형태의 4 개의 나무 블록을 여유도가 3mm 이하인 구멍에 각각 옮겨 삽입하는 것으로 수동 모우드로 평균 1분 45초가 소요되었으며 상호작용 방식의 교시시에는 평균 4분 30초 그리고 재현 시간이 1분 2초로 두 경우 비슷한 소요시간이 걸렸다.

상용의 경우 로봇트 언어만을 이용하거나 교시 상자를 이용한 조인트 이동방식의 경로 계획시보다 편리함을 볼 수 있었으며 원격 매니플레이터의 제어시 조작자가 항상 제어 루우프에 있지 않아도 되는 여러 이점을 볼 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 원격 매니플레이터에 적합한 관리자 제어시스템을 기존의 로봇트 시스템을 이용하여 구현하였으며 기존 상용에서 이용되는 모우드를 포함하고 특히 관리 제어시 절대적으로 필요한 3 가지 기능을 추가하여 조작자의 로봇트 이용시 편리함을 보였다.

전체 시스템은 두 가지 계층으로 구성되어 수동 조작시 편리함과 반복 작업시에도 적합함을 보여 주었다. 그러나 앞으로의 정교한 작업을 수행하기 위해서는

자유도 6의 새로운 방식의 교시 장치와 양방향 제어방식에 대한 연구가 앞으로의 과제로 남아 있다.
(bilateral control)

參 考 文 獻

- [1] K. Corker, A.H. Mishkin and J. Lyman, "Research issues in implementing remote presence in teleoperator control", *Proc. of 17th Conf. on Manual Control*, pp. 109-126, Oct. 1981.
- [2] A.K. Bejczy, "Advanced teleoperators," *Astronautics & Aeronautics*, vol. 17, no. 5, pp. 20-31, May 1979.
- [3] G.P. Starr, "Supervisory control of remote manipulation: a preliminary evaluation," *Proc. of 17th Conf. on Manual Control*, pp. 95-108, 1981.
- [4] T.B. Shridan and W.R. Ferrell, "Supervisory control of remote manipulation," *IEEE Spectrum*, vol. 4, no. 10, pp. 81-88. Oct. 1967.
- [5] S.H. Lee, G. Bekey and A.K. Bejczy, "Computer control of space-borne teleoperators with sensory feedback," *IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 205-214, May 1985.
- [6] C.S.G. Lee, *Tutorial on Robotics*, pp. 45-65, IEEE press, 1983.
- [7] 원종화, "조립용 로봇트를 위한 매니플레이터 제어기," 한국과학기술원, 석사논문, 1984.
- [8] 조영조, "조합 기능을 갖는 로봇트 시스템의 동적 계획 및 프로그램 개발에 관한 연구" 한국과학기술원, 석사논문, 1985.
- [9] 김영길, "원격 매니플레이터의 관리자 제어에 관한 연구," 한국과학기술원, 석사논문, 1986.
- [10] M. Brady. et al., *Robot Motion: Planning and Control*, pp. 276-281, MIT Press, 1982.
- [11] L. Heath, *Fundamentals of Robotics-Theory and Application*, Reston Publishing Company, 1985.
- [12] L.C. Eggebrecht, *Interfacing to the IBM Personal Computer*, Haward W. Sames & Co., 1983.
- [13] P. Abel, *Assembler for the IBM PC and PC-XT*, Reston Publishing Company, 1984.