

로봇 매니퓰레이터 제어를 위한 광학적 근접센서의 설계 및 그 응용

고 명 삼 *

* 서울대학교 공과대학 제어계측공학과

○ 송 진 일 **

** 삼성전자

Optical Proximity Sensor Design and Its Application to PUMA 560 Robot Manipulator

Myoung Sam Ko *

Jin Il Song **

* Dept. of Control Inst. Eng., Seoul National Univ. ** Sam Sung Electric Co. Ltd.

Abstract

In this paper we deal with a method of controlling PUMA 560 robot manipulator using a newly developed optical proximity sensor and the PDP-11/44 computer.

The sensor output is different somewhat depending on an color of the object. The range of sensing vary from 38.4mm to 109.5mm for a real object, 39mm to 111.65mm for yellow, and 40.55mm to 107.25mm for blue.

When an obstacle is encountered on the path of end-effector the system acknowledge immediately the existence of the obstacle ; and holds the motion of arm at a given distance. And also the system is capable of making the end effector avoid the obstacle automatically and keep on its motion.

1. 서 론

오늘날 산업용 로봇트는 운동의 시작점과 끝점의 교시 (Teach)에 의해, 로봇트 매니퓰레이터 손끝 (End-Effector)의 운동 경로 (Trajectory)는 무시되는 스팟 용접 (Spot Welding)에 적합한 점간 (Point-to-Point) 운동을 반복하는 로봇트와, 오프라인 (Off-Line) 프로그램에 의해 정해진 경로 (Trajectory)를 따라가야 하는 페인팅 (Painting) 작업동에 적합한 연속 경로 운동 (Continuous Trajectory Motion)을 하는 로봇트로 구별된다. (1)

그러나 교시 방법에 의해 로봇트를 제어하는 경우 로봇트 손끝의 중간 경로 중에 물체가 존재하는 경우에는 로봇트 손끝과 물체와의 충돌에 의해 로봇트가 손상되는 단점을 갖고 있다. (2)

또한 오프 라인 프로그램에 의해 로봇트를 제어하는 경우 복잡한 작업 환경에 대해서는 프로그램이 복잡해지고, 작업 환경이 변할때 마다 새로운 프로그램에 의해서 로봇트를

제어해야 하는 단점을 갖고 있다. (3)

위와 같은 로봇트에 작업 환경에 대해 정보를 알려주는 센서 시스템을 부착함으로써 로봇트 손상의 방지와, 작업 환경에 능동적으로 대처할 수 있는 기능을 부여할 수 있다. 센서로부터의 정보를 로봇트 제어에 이용하는 경우, 기존의 로봇트 시스템의 전용언어를 사용하지 않고, 사용자의 새로운 컴퓨터에 의해 로봇트를 제어하는 경우 전용언어에 의해 정의된 로봇트 운동의 수학적 표현과 다른 새로운 운동의 수학적 표현이 가능하며, 로봇트에 판단 기능을 부여하여 효과가 있다. (4)

본 논문에서 설계 제작된 광학적 근접 센서를 이용하여 로봇트 매니퓰레이터의 운동 경로상에 장애물이 존재하는 경우 장애물과 매니퓰레이터 손끝과의 일정한 거리에서 정지하여 로봇트의 손상에 대한 방지와, 정해진 운동의 끝점까지 장애물을 피해 안전하게 동작할 수 있는 기능을 부여함으로써 로봇트 매니퓰레이터에 간단한 기능을 부여하는 방법을 제시한다.

2. 로봇트 제어 시스템

제어 시스템의 구성은 PUMA 560 로봇트 매니퓰레이터 콘트롤러의 LSI-11/02 마이크로 컴퓨터 부분을 새로운 컴퓨터로 대체하기 위한 PDP-11/44 컴퓨터, 로봇트의 외부 환경으로 부터 정보를 얻기 위한 광학식 근접 센서, 센서의 출력을 디지털화 하기 위한 12 비트 A/D 변환기, PUMA 로봇트 콘트롤러의 서어보 구동 부분, 교시 (Teach)에 의해 로봇트를 동작시키기 위한 교시 상자, 그리고 PUMA 로봇트 팔 (Arm)로 구성되어 있다.

그림 1은 로봇트 제어 시스템의 구성을 나타내는 블록선도이다.

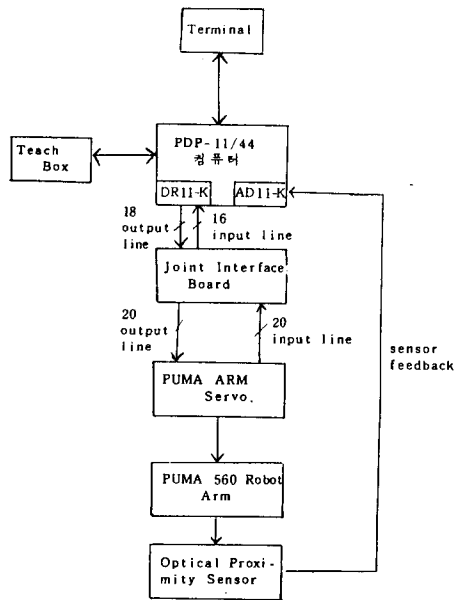


그림.1 로봇트 제어기의 구성도

3. 광학식 근접 센서의 설계

3.1 센서의 원리

근접 센서는 매니퓰레이터의 손끝 (End-Effector)과 매니퓰레이터가 잡거나 피해야할 물체 (Object)간의 거리 정보 및 센서의 감지 영역안에서 물체의 존재 여부를 판단 하는데 사용된다. (5)

근접 센서를 제작하는 방법으로는 마그네틱 효과, 용량성 (Capacitive) 효과, 음향 (Acoustic) 효과, 광학 효과등을 이용하는 방법이 있으며 최근의 전자-광학 (Electro-Optical) 소자의 발달로 광학 효과를 이용하는 방법이 일반적으로 널리 사용되고 있다. (6) 광학 소자를 사용하는 경우 외부 광원에 의한 잡음에 의해 센서가 오동작하는 문제점이 발생하는데 이를 해결하는 방법으로는

- (1) 적외선의 이용
- (2) 렌즈의 이용
- (3) 변조광의 이용
- (4) 광 필터에 의한 외부 광원의 차폐 등이 있다. (7)

본 논문에서는 위의 (1), (2), (3) 방법을 이용하여 광학식 근접센서를 설계 제작하였으며, 센서의 원리는 발광 소자와 수광 소자의 앞에 초점거리가 같은 렌즈를 붙여 하나의 점에 초점이 일치하도록 렌즈를 설치하면, 초점이 전후로 감지 영역 (Sensitive Volume) 이 형성된다.

3.2 센서 시스템의 설계

센서의 전체 구성은 발광 소자 (적외선 LED), 수광 소자 (Silicon Photo Transister), 발광 소자를 구동 시키는 발광부, 수광 소자로부터 원하는

신호를 검출하는 수광부, 일정한 초점을 형성 시키는 렌즈 (2개), 초점이 한곳에 집중되도록 빛의 경로를 바꾸어 주는 프리즘, 그리고 위의 요소들을 고정 시키기 위한 알루미늄 상자로 구성 된다.

3.3 실험 결과 및 검토

빨강, 노랑, 파랑색의 물체 표현에 대해 센서의 물체가 각각인 상태에서 물체를 이동시키며, A/D 변환기의 출력을 측정하였다.

A/D 변환기의 해상도상 측정할 수 없는 범위의 출력에 대해서는 0.025밀리미터 마다 Lagrange's 인터폴레이션을 하였다.

그림 2 는 빨강, 노랑, 파랑색의 물체표면에 대해 측정된 데이터를 비교한 그림으로써, 센서의 출력은 물체의 반사율에 따라 약간의 차이가 있음을 알수 있다. 빨강, 노랑, 파랑색의 물체에 대한 감지 영역은 각각

38.4 - 109.5 (mm), 39. - 111.65 (mm), 40.55 - 107.25 (mm) 이며 초점 거리 (65mm)에서 각각 최대 출력 8.88볼트, 9.08볼트, 8.50볼트를 가지며, 초점 거리 전후로 출력이 감소한다.

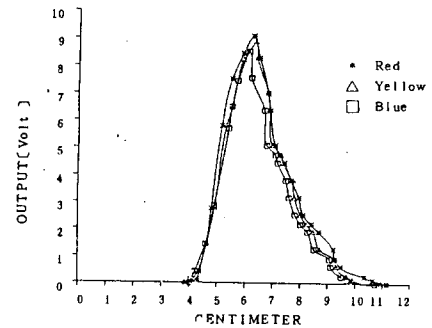


그림.2 빨강, 노랑, 파랑색의 물체표면에 대해 측정된 데이터의 비교

4. PUMA 560 로봇 매니퓰레이터 컨트롤러의 구조

PUMA 560 로봇 매니퓰레이터의 컨트롤러는 ISI-11/02 마이크로 컴퓨터 부분과, 서어보 구동 부분으로 이루어진 계층적 (hierarchical) 제어 구조 시스템이다. (8). ISI-11/02 마이크로 프로세서는 사용자의 프로그램과 데이터를 저장하는 32Kbyte 의 램, 전용언어인 VAL을 저장하는 28Kbyte 의 EPROM, 그리고 그밖의 터미널, 플로피 디스크, 교신상자 (Teaching Box) 와 ISI-11/02 프로세서와 데이터 전송을 위한 직렬 인터페이스 보드인 DLV-11J 보드, 서어보 구동 부분과 데이터전송을 위한 조인트 인터페이스 보드, 그리고 ISI-11/02 프로세서의 Q-BUS 와 조인트 인터페이스 보드와 데이터 전송을 위한 DRV-11 보드로 구성되어 있다. 서어보 구동부분은 6개의 각 관절을 제어 하기 위한 6개의 6503마이크로프로세서, 이 프로세서에서

전달된 오차신호를 아날로그화 하는 변환기, 그리고, 서어보 모터를 구동하기 위한 전류 증폭기로 구성 되어 있다.

5. LSI-11/02 마이크로 프로세서와 서어보 인터페이스 보드와의 입출력 관계

5.1 팔을 움직이기 위한 콘트롤 데이터

PDP-11/44 컴퓨터로 PUMA 로봇의 서어보 부분을 구동하기 위해서는 LSI-11/02 CPU 부분에서 서어보 부분으로 보내내는 데이터가 콘트롤용 데이터인지 혹은 각축을 움직이기 위한 데이터인지의 구별과 콘트롤용 데이터중 각 관절에 해당하는 데이터의 구별이 필요하다.

또한 PDP-11/44 컴퓨터에서 로봇의 각 관절의 현재위치 정보를 알기위해서 LSI-11/02 프로세서에서 서어보 부분으로 각 관절의 현재위치 정보를 요구하는 콘트롤용 데이터의 구별이 필요하다. 그림3은 DRV-11 보드의 데이터 버스에서 측정한 콘트롤용 데이터의 구별을 나타낸다.

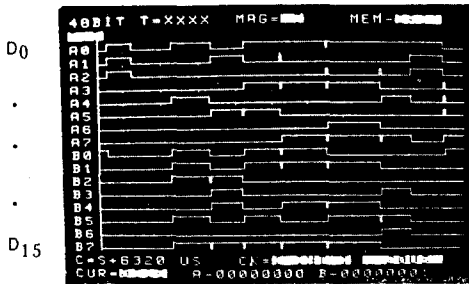


그림 3 DRV-11 버스 상에서 측정한 각축의 콘트롤 데이터와 증분 데이터

그림4는 콘트롤 데이터와 각 관절 데이터의 구별을 나타낸 타이밍 다이어그램이다. 즉 CSR 0 를 수반하지않는 데이터는 각축 데이터이고 CSR 0 를 수반하는 데이터는 콘트롤 데이터이다.

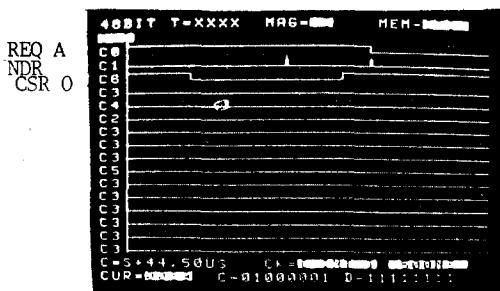


그림 4 콘트롤 데이터와 각 관절 데이터의 구별

5.2 각 관절의 데이터 증분양과 속도와 관계

PUMA 560 로봇트는 서어보 부분에서 낼수 있는 최대속도인 110%를 기준으로 사용자가 0-110 % 사이의 속도로 팔을 움직일수 있도록 되어있다. PDP-11/44 컴퓨터를 사용하는 경우 위와같은 기능을 갖도록 하기 위해서는 팔의 속도를 증가시키면서 매 28m sec마다 LSI-11/02 프로세서에서 서어보 구동 부분으로 보내내는 데이터의 증분양을 조사함으로써 0 - 110% 속도 사이에서 PDP-11/44 컴퓨터로 사용자가 원하는 속도로 팔을 제어할수 있다. 속도와 각 관절 데이터의 증분양은 선형관계가있다.

5.4 NEW DATA RDY, CSR 0, REQA, DATA TRANS의 기능

DRV-11 과 서어보 인터페이스 보드와의 데이터 전송은 NEW DAT RDY, CSR 0, REQA 그리고 DATA TRANS 신호의 조합에 의해 이루어진다. 즉 NEW DATA RDY 는 LSI-11/02프로세서에서 서어보부분으로 데이터를 보내내는 경우 데이터를 DRV-11 의 출력버퍼에 쓸때, 서어보 인터페이스 보드에 알려주는 기능을 하고 DATA TRANS 는 LSI-11/02 프로세서로 부터 서어보 부분에서 데이터를 읽어오는 경우 LSI-11/02 프로세서에서 DRV-11 보드의 입력버퍼 내용을 읽어 온후, 서어보 인터페이스 보드에 알려주는 기능을 한다.

REQA 는 서어보 부분에서 LSI-11/02 로 데이터를 전송할때 DRV-11 보드에 인터럽트를 거는 기능을 갖고 있다.

6. PUMA 560 로봇트 매니퓰레이터의 서어보와 PDP-11/44 컴퓨터와의 인터페이스 회로 설계

6.1 CSR 0 와 DATA TRANS 발생회로 5장에서도설명하였듯이 서어보 인터페이스 보드에서 CSR 0 의 수반역부에 따라 콘트롤데이터와 각 관절의 데이터로 구분하기 때문에 CSR 0 는 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 PDP-11/44 컴퓨터의 DR11-K 는 CSR 0 를 발생하는 콘트롤 라인이 없기 때문에 CSR 0 를 발생하는 회로가 필요하게 된다. 이것은 콘트롤 데이터의 간격은 300 sec 이상이지만 각 관절의 데이터는 콘트롤 데이터 0005(16) 다음 24 sec 후에 내보내지기 때문에 이것을 이용하여 DR11-K 의 콘트롤 라인인 DATA RDY 신호로 CSR 0 와 NEW DATA RDY 신호를 만들었다.

6.2 PDP 11/44 컴퓨터의 입력 회로

PDP-11/44 컴퓨터에서 PUMA 로봇트의 현재 위치를 읽기 위해서는 DRV-11 의 출력라인과 입력라인의 데이터를 LSI-11/02 프로세서의 상태를 변화시키지 않고 교대로 읽어야 한다. 이렇게 하기 위한 전환회로가 필요한데 이것은 PDP-11/44 컴퓨터의 DR11-K 에서 외부 디바이스 데이터를 읽고난후 외부 디바이스에 알려주기 위해 발생하는 콘트롤 신호인 DATA TRANS 펄스를 사용하여 해결했다.

7. PUMA 560 로봇의 KINEMATICS, INVERSE KINEMATICS

PDP-11/44 컴퓨터를 이용하여 PUMA 로봇을 제어하는 경우 VAL 에 의해 정의된 Kinematics와 역 Kinematics 를 사용하지 않고 사용자가 임의의 좌표계를 세워 로봇 매니퓰레이터의 새로운 Kinematics 를 세워 경로보간 운동시 이용할 수 있다. 기존의 PUMA 560 로봇의 역 Kinematics 구하는 방법은 PAUL 에 의한 대수적인 해법 (Algebraic Approach)(9), JTcker, Denabit Hartenberg 에 의한 반복해법 (Iteration Approach) (10) 그리고 Lee 에 의한 기하학적 해법 (Geometric Approach) (11) 등이 있다.

대수적인 해법은 팔의 형상에 따라 여러개의 해를 갖는 단점이 있으며 반복해법은 대수적인 해법보다 많은 계산을 요하며 또한 팔의 위치가 갈수없는 상황 (Degenercy) 의 경우는 해가 수렴하지 않는 난점을 갖고 있다.

반면 기하학적 해법은 매니퓰레이터가 단순할 경우 위의 2가지 방법보다 좋은 해를 구할 수 있다. (11)

본 연구에서는 Lee 의 방법인 기하학적 해법을 이용하여 Kinematics 역 Kinematics 의 해를 구하여 PDP-11/44 컴퓨터로 PUMA 로봇 팔을 제어하는데 이용하였다.

8. 실험 방법과 결과 및 검토

8.1 실험 방법

로봇의 손끝과 일치하도록 광학식 근접 센서를 설치하였다. 로봇 손끝의 운동 경로는 시작점과 끝점 사이를 교시 상자에 의해 직선 운동한 후, 교시한 경로를 따라 움직이도록 컴퓨터에서 제어 신호를 계산한다.

로봇이 낼수 있는 최대 속도를 기준으로 속도를 증가시키면서 운동 경로상에 물체가 존재하는 로봇 손끝과 물체와의 거리가 62cm 에서 정지하도록 하였으며 물체를 제거했을때 로봇이 다시 끝점까지 운동하도록 하였다.

위의 실험에서 사용한 물체는 가로 세로, 높이가 각각 15cm, 3cm, 10cm 인 노랑색의 직육면체이다.

또한, 교시 상자에 의해 여러 개의 점을 교시한 후 점들 사이를 직선 운동하도록 PDP-11/44 컴퓨터로 제어한 후 교시한 점들 사이에 물체가 존재하는 경우 로봇이 정지한 후, 로봇 외부의 직각 좌표 (World Coodinate) 보았을때 Z축으로 20cm 을 나간후 다음의 교시한 점으로 이동하도록 하였다.

물체의 존재 여부를 판단하기 위해 물체와의 거리가 62 mm 인 경우 센서 출력을 A/D 변환해본 결과 2690 - 2698₁₀ 사이의 값을 가지며 위의 문턱값을 이용하여 물체의 존재 여부를 판단하였다.

실험 1 : 로봇 손끝과 물체와의 거리가 62mm 일때 로봇의 운동을 정지하는 실험
PUMA 로봇이 운동할 수 있는 최대 속도인 110%를 기준으로 속도를 5%씩 증가시키며 로봇이 정지했을 경우 로봇의 손끝과 물체와의 거리를 측정하였다. A/D 컨버터의 샘플링 주파수는 AD11 - X 의 최대 주파수인 8KHZ 로 하여 센서로부터의 정보를 얻었다.

그림 5 로봇 팔을 제어하기 위한 주흐름도이며 그림 6 로봇이 물체 앞에서 정지하기 위한 흐름도를 나타내며, 그림 7은 실험 결과를 나타낸다. 즉 PUMA 로봇의 서어보 구동부로 매 28m SEC 마다의 각 관절의 증분양을 내보낸후 물체의 존재 여부를 조사하기 때문에 속도가 증가할수록 각 관절이 28m SEC 사이의 증분양이 커지므로 로봇의 속도가 증가할수록 오차가 커질수 있다.

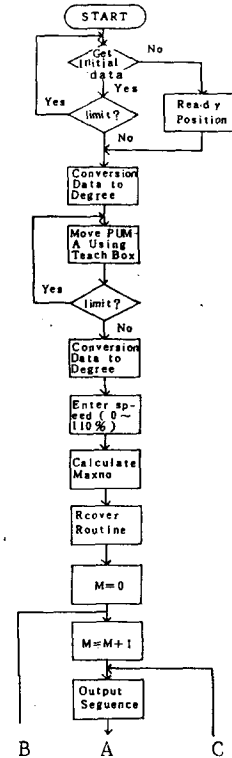


그림5 로봇 팔을 제어하기 위한 주흐름도

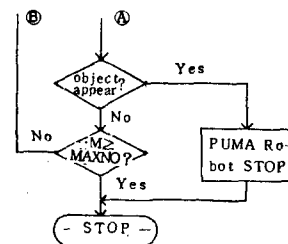


그림6, 로봇 정지를 위한 흐름도

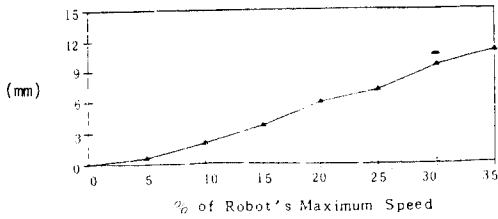


그림 7. 로봇의 오버슈트

그림8은 물체앞에 정지한 로봇의 모습을 나타내준다.

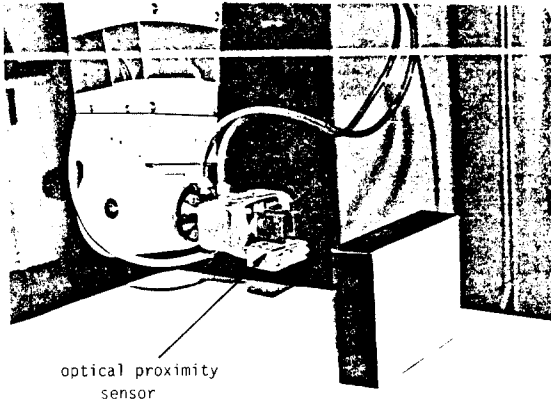


그림8. 물체앞에 정지한 로봇의 모습

실험 2 : 물체 앞에서 정지한후 물체를 제거했을 경우의 실험 로봇의 운동 경로상에 여러개 물체가 존재한다고 가정하기 위해 운동의 시작점과 끝점을 여러번 반복운동을 하도록 고시 상자에 의해 고시 한후, PDP - 11/44 컴퓨터를 이용하여 외와같은 동작을 하도록 제어하였다. 운동 경로의 임의의 장소에 물체를 놓았을 경우 로봇은 물체 앞에서 정지한후, 물체를 제거했을때 다음 동작을 계속 해서 하였다. 그림 9는 위를 위한 흐름도를 나타 낸다.

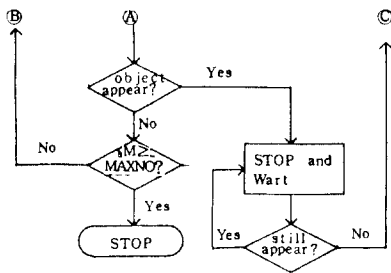


그림9. 실험2를 위한 흐름도

실험 3 : 로봇이 물체 앞에서 정지한후 물체를 피해 다음의 위치까지 운동 하는 실험. 로봇의 운동 경로상에 물체가 존재할때 정지한후

물체를 피해 원하는 위치까지 운동하기 위해서는 로봇의 외부 직각 좌표 (World Coordinate) 에서 보았을때, 팔행렬 (Arm Matrix) 에서, 각각의 요소를 변화시켜 물체를 피해 다음의 운동을 계속할 수 있는 위치 및 손끝의 회전 상태를 결정한 후, 다시 역 Kinematics 에 의해 각 관절의 각도를 구할 수 있다.

본 논문에서는 로봇이 정지한후 팔행렬 Pz 성분을 양의 방향으로 20Cm 변화시켜 물체를 피해 다음의 위치로 이동하는 것에 대해 실험하였다.

그림 10 에 위의 실험에 대한 흐름도를 나타낸다.

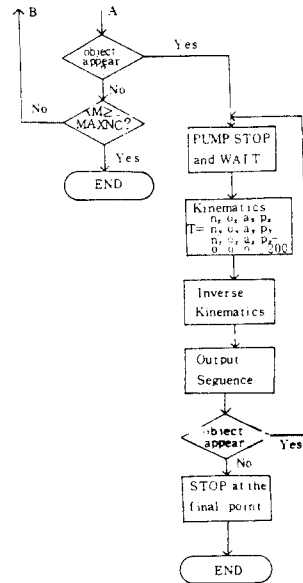


그림10 실험 3을 위한 흐름도

9. 결 론

본 논문에서는 PUMA 560 로봇 컨트롤러의 LSI - 11/02 마이크로 프로세서 부분을 PDP - 11/44 컴퓨터로 대체하여, 기존의 VAL 에 의해 정의된 PUMA 로봇 운동의 수학적 표현과 다른 수학적 표현이 가능하고, 센서를 이용한 로봇 제어가 가능하도록 서어보 구동 부분과 인터페이스한후, 설계 제작된 광학식 근접센서를 로봇의 손끝에 부착하여 PUMA 로봇의 전용 언어인 VAL 을 사용하지 않고 FORTRAN 프로그램에 의해 센서로부터의 정보를 로봇 제어에 이용하여 로봇에 간단한 지능을 부여 하는 문제를 다루었다.

참 고 문 헌

1. W.A. Gruver, "Evaluation of Commercially Available Robot Programming Language", Proceedings of 13th ISIR, Oct. 1983.

2. W.D. Koenigsberg, "Noncontact Distance Sensor Technology", Robots IV Conference, Oct. 1979.
3. Donald S. Seltzer, "Use of Sensory Information for Improved Robot Learning", Robot IV Conference, October, 1979.
- Ryosuke Masuda and Kensuke Hasegawa, "Total Sensory System for Robot Control and its Design Approach", Preceeding of 13th ISIR, Oct. 1981.
4. Bruce E. Shimano, Clifford C. Geschke, and Charles H. Spalding III, "VAL-II : A Robot Program Language and Control System", Robotics, Research, The MIT Press, 1984.
5. Antal K. Bejczy, "Introduction Robot Mechanism, Models, Sensors, and Control", Robot Workshop, San Diego. CA, June, 1984.
6. Antal K. Bejczy and Alan R. Johnston, "New Technique for Terminal Phase Control of Manipulator Motion", JPL, Feb. 1974.
7. 金山裕, 浦田博一, "マイコンによるロボット制御," CQ出版社, 1983
8. C.S.G. Lee, "Hierarchical Control Structure using special Purpose processors for the Control of Robot Arms", Tutorial on Robotics, pp.181-187. 1984.
9. R.P. Paul, B.E. Shimano, and G. Mayer, "Kinematic Control Equations for Simple Manipulators", IEEE Trans. of S.M.C Vol. SMC-11, No.6, pp.449-455, 1981.
10. J.J. Uicker, J. Denavit, and R.S. Hartenberg, "An Intration Method for the displacement Analysis of Spatial Mechanism", Trans. of ASME, Journal of Applied Mechanism, Vol.31, p.309-314, 1964.
11. C.S.G. Lee and M. Ziegler, "A Geometric Approach in Solving the Inverse Kinematics of PUMA Robots", 13th ISIR Oct. 1983.
12. 고명삼, 송진일, "광학식 근접센서의 설계," 대한전기학회 하계 학술회의논문집, pp. 98 ~ 101 1985.7.
13. Charles Wampier, "Multiprocessor Control of a Telemanipulator with Optical Proximity Sensor", The International Journal of Robotics Research, Vol.3, No.1, Spring, 1984.
14. Charles A. Rosen, "Use of Sensors in programmable Automation", IEEE, Computer, Vol.10, No.12, pp. Dec. 1977.
15. B. Espiau and J.Y. Catros, "Use of Optical Reflectance Sensors in Rebotics Applications", IEEE SMC, Vol, SMC-10, No.12, Dec. 1980.
16. Unimation Inc., "PUMA Technical Manual", Tokyo, 1982.
17. Digital Equipment Co., "RSX-11M/M-plus Executive Reference Manual", Massachusetts, 1979.