

다중 로봇 제어 시스템의 개발.

서일홍*, 한운근*, 김태원*, 여희주*, 허우정*, 이경호*, 양승원*,
임준홍*, 오상록**, 오영석***, 김재욱****, 윤승중****.
* :한양대학교 전자공학과., ** : 한국 과학 기술원.
*** : 금오공과대학 , **** : 삼성항공.

Development of Multi-Robot Control System.

I.H Suh*, W.K. Hyun* , T.W. kim* , H.J. Yeo*, W.J. Heo*, K.H. Lee*, S.W. Yang*,
Joonhong Lim*, S.R. Oh**, Y.S. Oh***, J.O. Kim****, S.J. Yoon****
* : Hanyang Univ. ** : KIST.
*** : Kumoh Inst. of Tech. **** : SamSung Aerospace Co.

요 약.

본 논문에서는 다중로봇의 제어를 위하여 비전 센서등 여러가지 센서신호를 처리할 수 있고 로봇의 충돌회피 및 협조제어를 할 수 있는 제어시스템을 개발하였다. 본 제어 장치는 시스템 전체를 관리하며 언어 및 로봇 동작의 교시 그리고 자기진단등의 기능을 하는 Supervisory Processor, vision에 대한 정보를 담당하는 vision processor, 그리고 로봇의 제어를 담당하는 로봇 제어 processor등 여러개의 프로세서로 나누어 분산처리 구조를 갖도록 하여 확장성 및 유연성이 높은 시스템이 되도록 하였다. 실험적으로 본 시스템을 이용하여 로봇으로 하여금 puzzle을 맞추는 작업을 수행시킴으로써 본 시스템의 우수성을 입증하였다.

1. 서 론.

지난 10여년간 산업용로봇을 응용한 공장자동화에 대한 계속되는 노력은 최근에는 생산성 향상을 통한 국제 경쟁력 강화 및 노동자의 처우개선등을 위하여 더욱 자동화에 대한 요구가 증가하고 있다. 자동화 공장에서의 산업용 로봇의 응용은 단순한 물건을 집어 옮기기 또는 간단한 작업물 분류를 넘어서 연속된 경로를 오차없이 추적하며 작업을 하는 아크 용접작업이나 고도의 정밀을 요하는 조립작업에 까지 확대 되고 있다. 그러나 이들 대부분은 한대의 로봇을 이용하여 작업을 하고있어 그 응용이 제한되어 있다. 예를들어 한대의 로봇이 옮기기에는 부적합한 특수한 모양의 작업물을 이동시키거나, 작업물을 잡고 두팔을 이용하여 정밀 조립작업을 하거나 하는 일등에는 인간과 같이 두팔 또는 그 이상의 로봇이 협조적인 동작을 취해야만 하고 또한 생산라인에 여러대의 로봇을 배열해 놓았을때 이들 로봇간의 작업공간이 서로 겹치게 되므로 효과적인 작업을 위해서는 이들 복수개 로봇의 협조적인 제어를 해주어야 한다. 따라서 작업장내에 있는 여러 로봇뿐만 아니라 주변장치들을 동시에 제어할 수 있고 또한 로봇을 이용하여 복잡하거나 정밀한 조립 작업을 하기 위해서는 힘센서나 비전센서, 근접센서등 여러 센서신호를 사용해야 하는바 현재의 대부분의 산업용 로봇 제어장치와는 다른 보다 발전된 형태의 다중로봇 및 주변장치, 다중 센서신호를 처리할 수 있는 새로운 형태의 로봇 제어시스템이 필요하다. 이러한 다중 로봇 및 다중센서를 처리할 수 있는 로봇 시스템 제어기의 개발은 현재까지 연구되어온 한개의 로봇 제어에 관한 연구결과를 그대로 확장, 응용할 수 있는 단계를 넘어서서 새로운 방법을 개발하여야 한다. 다중로봇은 첫째,

In-Line Robot Workcell에서 효율적으로 작업하기 위해서, 둘째, 보다 큰 물체를 조작할 수 있는 Potential Advantage때문에, 셋째, 단일 로봇으로 수행하는것 보다 훨씬 복잡한 작업을 수행하기 위해서 필요로 하며, 결국 한대의 로봇으로 작업할 때보다 더 복잡하거나 정교한 작업을 할 수 있다는 필요성 때문에 최근에 이르러 미국이나 일본등에서는 Workshop이나 Conference등을 통해 서로의 아이디어를 공유하며 이 분야에 관한 많은 연구를 하고 있다. 구체적으로, 두 로봇의 motion에 있어서의 co-ordinate control[1] 이나, 두 로봇의 Dual arm control [2] 그리고 Compliance Control에 관한 연구[3] 등이 활발히 진행되고 있다. 한편, 일본의 YASKAWA사나 스웨덴의 ABB사등에서는 완벽하지는 못하나 다중로봇을 제어할 수 있는 제어시스템을 이미 상품화하여 생산라인에 사용하고 있다. 그러나 국내에서는 아직 단일 로봇 시스템 제어장치만 상품화된 상태이며 다중로봇 시스템 제어장치에 관한 연구는 일부대학이나 연구소에서 기초적인 연구를 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 다중 로봇의 제어 장치로써 비전센서 등 여러가지 센서의 신호를 처리하고 로봇의 충돌회피 및 협조제어를 위하여 여러개의 프로세서를 이용하여 분산 처리 구조를 갖는 제어 장치를 개발하였으며 아울러, 시스템 전체를 관리하며 언어 및 로봇 동작의 교시 그리고 자기진단등의 기능을 하는 Supervisory Processor, vision에 대한 정보를 담당하는 vision processor, 그리고 로봇의 제어를 담당하는 로봇 제어 processor등 여러개의 프로세서로 나누어 분산처리 구조를 갖도록 하여 확장성 및 유연성이 높은 시스템이 되도록 하였다. 실험적으로 본 시스템을 이용하여 로봇으로 하여금 puzzle을 맞추는 작업을 수행시킴으로써 본 시스템의 우수성을 입증하였다.

2. 다중 로봇 제어 시스템의 구성

2-1. 시스템의 기능별 구성.

본 연구에서는 다음과 같은 기능을 갖는 다중 로봇 제어 시스템을 구성하였다. 먼저, 물체의 위치와 자세 및 형태를 인식하는 비전시스템, 물체를 로봇의 작업영역까지 이동하는 이동시스템, 다중 로봇으로 하여금 상호협조하여 복잡한 정밀작업등을 수행할 수 있는 로봇 제어 시스템과 위의 시스템을 교시 및 총괄적인 관리 운영을 할 수 있는 supervisory 시스템 그리고 먼 머신 인터페이스를 위한 display 시스템등으로 구성되어 있는바 각 시스템별 자세한 기능은 다음과 같다.

2-1-1 Supervisory system

Supervisory system에서는 기능별로 크게 Diagonois mode, Setup mode, Teach mode, Edit mode, Look mode들을 두었다.

가) Diagonois mode

시스템의 자기진단 mode이며 main system과 로봇트 제어 CPU board 그리고 Common memory등을 check 하며 시스템 이상 동작시 시스템의 응답과 현상에 따라 조치를 취하고 이상상태를 display 한다.

나) Set up mode

각 로봇트의 파라미터(Robot 타입, 제어 로봇트의 갯수, 로봇트가 갖는 tool의 좌표및 종류..) 시스템이 사용하는 센서, 좌표계등을 설정한다.

다) Teach mode.

로봇트의 end-effector를 정의된 여러좌표를 기준으로 이동시켜, 로봇트손의 "위치"와 "방향"을 memory에 기억시키고 name을 assign해서 운동계획에 사용한다. 이때 로봇트 자체의 무게가 큰 경우에 Free teach 하기가 쉽지 않기 때문에 본 연구에서는 여러 좌표계를 준비해서 teaching 하게 하는 한편, Edit mode 와 Teach mode를 상호간 process switching 할수있게 함으로써 location 지정 또한 편리하게 한다.

라) edit mode

본 시스템에서 사용하는 로봇트 언어가 자연어에 유사하므로 기능기로 로봇트 언어를 선택하는데는 한계가 있으므로 몇가지 판넬으로 하기보다는 터미날이나 PC의 풀키(Full keyboard)를 이용하여 프로그램을 작성한다. 따라서 프로그램을 작성하는 에디터가 중요한 역할을 담당한다. 본 에디터는 라인 에디터와 스크린에디터의 중간 형태로 베이직과 비슷한 형태를 갖는다. 프로그램의 편집기능 및 작성된 프로그램을 디스크에 읽고 쓰기가 가능하며 기능기에 에디트 명령을 부여하여 사용자가 편리하게 이용할수있도록 되어있다.

마) Look 모드.

Look모드는 크게 선처리와 후처리로 나눌 수 있다. 선처리는 카메라 선택 (4대중 한대를 선택), image grab, snap 임계치를 이용한 binary processing등의 기능이 있고 후처리에서는 윈도우 처리 및 물체학습, 저장 기능이 있다. 물체학습은 각 물체의 특성에 따라 chain code, projection, matching등 여러가지 방법을 선택할수 있다. 학습된 물체의 특징량은 그 이름과 함께 common memory에 저장된다. 이 데이터는 Supervisory CPU가 Run mode에서 물체를 인식하여 동작할때 쓰인다.

2-1-2 vision 시스템.

비전 시스템은 VME사양에 맞게 설계된 DT1451을 사용하였는데 해상도가 512 x 480 이고 명암도가 256단계 이다. 비전 시스템은 최대 4대의 카메라를 사용할 수 있으므로 필요 부분에 설치하여 효율을 높일 수 있다.

2-1-3 로봇트 제어 시스템.

로봇트 제어 시스템을 Supervisory 시스템에서 받은 로봇트 움직임에 대한 inverse kinematics를 풀고 이를 joint motion으로 바꾸어(직각좌표계 움직임인 경우) 로봇트 각 축의 모터를 구동하며 로봇트에 부착된 센서및 외부 센서를 받아 해석하여 Supervisory 시스템에 주거나 교신된 움직임에 반영한다. 이 시스템은 실제로 로봇트를 구동하는 시스템이므로 모든 프로세스는 real time 으로 운용되어야

하므로 각축 모터를 움직이도록 명령을 내리고 감시하는 주기인 5msec 를 로봇트 제어 CPU 내부의 timer interrupt 를 사용하여 이를 기본 단위로 Supervisory 시스템과의 communication (50msec)과 협조 제어시 각 로봇트와의 communication 등을 한다.

2-1-4 디스플레이 시스템.

man machine interface 시스템이며 key board scanning및 전체 시스템을 monitoring을 하는 시스템이다. 기존의 terminal이 화면 구성시 시간이 많이 필요하며 key board 로 부터 나오는 신호가 복잡하여 시스템 프로그램이 어려워지는 경우가 발생하므로 본 시스템에서는 CRT에 Hercules 그래픽 카드를 interface 시켜서 화면 구성을 빠르고 간편히 했다.

2-2 전체 구성 H/W 구조

다중 로봇트 제어장치는 그림 2.에서와 같이 4개의 microprocessor(6002 board)한개와 common memory그리고 vision board(DT1451)로 구성되며 terminal과의 통신을 하기 위한 ACIA board를 갖고 있다.microprocessor는 MC68000을 사용하였으며각각 subsystem인 supervisory processor, vision processor 그리고 로봇트 2대의 제어용 processor를 각각 1개씩을 사용하고있다. 이들 각 processor를 간의 통신은 그림과 같이 common memory를 통해 이루어지며 inverse kinematics를 연산하는 로봇트 1과 로봇트 2 그리고 Trajectory planning을 하는 supervisory co_processor는 floating point연산을 위하여 MC68881 co_processor가 탑재되어있다.

외부의 sensor signal및 외부device를 구동하기 위하여 I/O board도 local bus에 연결되어 있으며, 로봇트의 각 motion을 제어하는 DC motor전용 제어용 chip을 사용한 position board를 사용 하였고 이는 각 로봇트 제어용 CPU의 local bus를 통해 CPU와 communication을 한다.

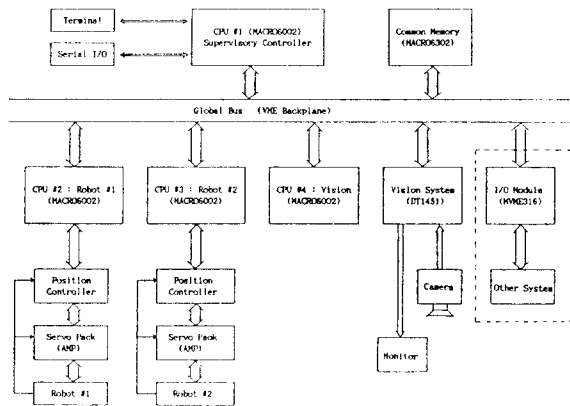


그림 1. 전체 H/W 구성도

3. 관리제어 시스템

관리 제어 시스템은 여러 부분으로 구성된 서브 시스템을 전체 시스템의 사양에 맞게 동작 하도록 총괄 조정하는 시스템으로써 일의 본담및 조정, 명령 수행의 지시및 명령 수행 결과의 확인은 물론 자기 진단, 사용자와 시스템간의 통신 기능을 수행한다. 본 연구에서는 다중 로봇트 관리 제어 시스템을 마이크로 컴퓨터용의 운영 체제인 XINU를 하에서 개발하였는데 이는 멀티 테스크에 적합한 Concurrent Programming을 할수있고 통신용Protocol이 확립 되어 있어서 다중 프로세서 시스템의 확장이 용이하다

는 장점을 가지고 있다. 구체적으로 설명하면, 터미널 상에서 문자를 표시하는 기능, 멀티 테스크를 위한 다수의 계산 프로그램의 동시 수행과 이들 사이에 동기화를 위한 프로그램들 사이의 메시지 전달 기능, 인터럽트 처리 및 예약된 일정한 시간의 지연을 위한 Sleep 기능과 다른 프로세스 및 프로세서와의 통신 기능 등이다. XINU 환경 하에서 본 연구의 다중 로봇 관리 제어 시스템의 구성은 다음과 같다.

3-1. 다중 로봇 관리 제어 시스템의 구성

상기한 XINU 상에서의 다중 로봇 관리 제어 시스템을 Top Down 방식으로 다음과 같이 구성하였다. 우선, 각 프로세서의 모드별 기능을 확립하고 그 모드가 구성되는데 필요한 더 작은 기능 별 프로세스를 확립하여 전체 관리 제어 시스템을 구성 한다. 이러한 구성 원리로부터 다중 로봇 제어 장치의 관리 제어 시스템은 Supervisory Processor에서 주로 관장하게 되는데 여기서는 자기진단을 위한 Diagonosis mode와 System의 초기화 및 파라미터들을 설정하는 Set Up mode, Vision 시스템을 관리하는 Look mode 그리고 각 로봇의 움직임을 교시하는 teach 모드,

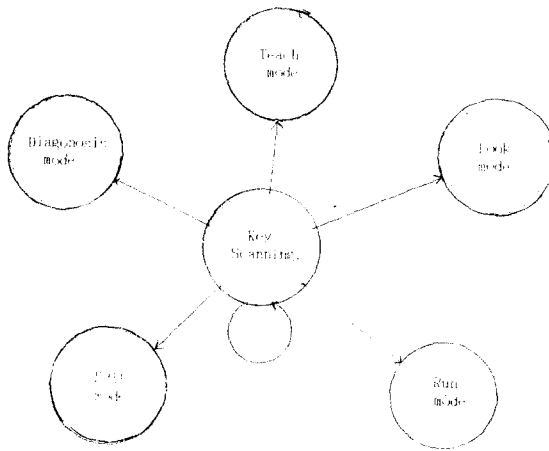


그림 2. XINU 하에서의 각 mode의 구성.

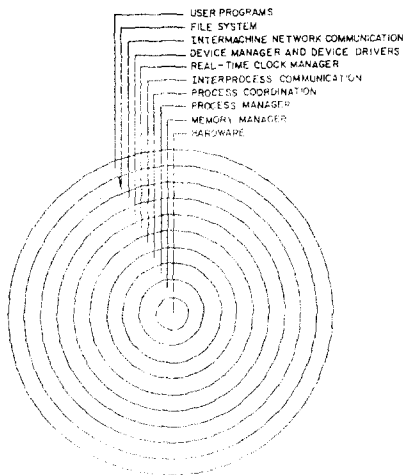


그림 3. XINU의 계층적 구조.

교시한 대로 제어대상을 수행시키는 Run모드 그리고 다중 로봇 시스템의 primitive Language로 교시한 일련의 작업을 compile 하는 edit 모드 등이 있으며 이러한 각 모드를 구성 하는 더 작은 기능의 process 로써 구성되어 있다. Vision Processor에서는 Supervisory processor의 Look mode에서 명령한 내용을 수행한 Vision Primitive Language 및 이를 지원하는 process들을 관리 제어한다. Robot Control Processor에서는 Supervisory processor에서 명령한 로봇의 움직임에 대한 양을 구동 pulse로 환산하여 이를 분배하는데 로봇 움직임에서 각축 모터의 움직임은 Time Critical한 부분 이기 때문에 XINU상에서 각 프로세스 간을 Contact Switch 할 경우 소비되는 시간에 영향을 받을수 있으므로 CPU Board 내의 Timer Interrupt를 사용하여 5msec를 기본 단위로 하여 각 프로세스를 순서에 맞게 동작 시키며 이를 기본 OS 로 한다.

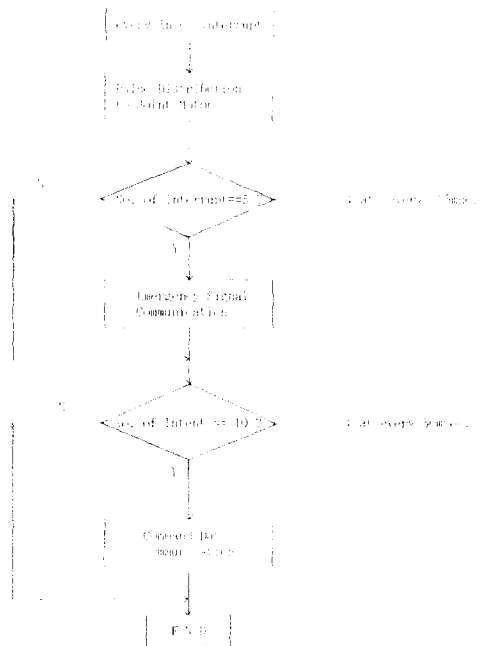


그림 4. 로봇 제어 프로세서에서의 O.S

4. 다중 로봇 언어.

본 시스템에 사용된 언어는 기존의 single robot용 언어의 기능을 거의 다 포함한 외에[8] 일반 computer의 high level language에서 구한 가능한 기능이 추가되었다. 반복 동작을 위하여 FOR loop, WHILE loop가 있으며, 조건 판단을 위하여 boolean expression 및 IF, ELSE statement가 준비되어 있다. 또한 다중 로봇 시스템의 가장 큰 특징이라고 할 수 있는 동시작업을 위하여 COBEGIN, COEND statement가 XINU를 이용하여 구현되었다. COBEGIN과 COEND 사이의 명령은 동시에 일을 수행하게 된다. 따라서 로봇 두대간에 충돌할 가능성이 있으므로, 이를 위하여 motion statement에 로봇간에 따라 움직이는 조건부 motion statement가 추가되었다. 기존의 로봇 언어는 좌표만이 다른 반복 작업의 경우 Job shift 등의 방법을 이용하여 작업을 이용하였으나, 본 시스템에서는 high level language에서 처럼 함수 호출 방법을 이용하여 이해하기 쉽게 하였다.

I/O board를 이용한 입출력을 비롯하여 vision sensor의 정보를 이용하기 위해서 vision system을 구동할 수 있는 language가 추가되었다.

5. 실험 및 결과

제안된 다중 로봇 제어 시스템을 위한 구성은 그림 3과 같으며 이송 장치 및 vision camera 설치는 그림 4와 같다. 실험은 우선 특정한 글자인 "삼성 항공"과 어떤 symbol을 임의적으로 홀드러 놓고 이것을 담은 작업대를 이송 장치가 두대의 로봇의 공동 작업영역까지 이송하면 이것을 vision이 보고 인식하여 두대의 로봇이 상호 협조하여 puzzle조각을 다시 정리하는 실험이다. 이러한 작업을 본 다중 제어 시스템으로 다음과 같이 수행하였다.

supervisory 프로세서의 Set up mode에서 로봇의 type 과 world 및 user 좌표계등을 설정하고, Look mode에서 puzzle의 물체를 인식한후 각 물체의 이름을 명명한다. 그 다음 Edit mode에서 본 연구에서 개발한 다중 로봇 제어 시스템을 위한 primitive Language를 이용하여 puzzle을 맞추는 작업을 수행할 프로그램을 작성하여 Run mode로가서 실행을 시킨다. 그 경우 시스템의 내부 동작은 다음과 같다.

물체가 (제어대상) 로봇의 공동 작업영역 안에 들어와 Camera가 물체를 보고 시각 정보를 받아들일 경우 이 정보는 vision processor에서 영상의 특징을 추출하여 vision memory에 저장한다음 물체의 형상을 인식하고 물체의 자세와 위치를 알아낸후 그 데이터를 VME Bus를 통해 supervisory processor로 보내며 supervisory processor에서는 물체가 놓여져야할 위치 및 이동 경로를 결정하여 로봇을 움직이는 명령을 내리는데 이 경우 두 로봇의 충돌여부에 따라 각 로봇의 작업 순서 및 경로를 바꾸게 된다. 로봇의 이동 경로가 결정되면 매 50 msec당 supervisory processor는 각 로봇 제어 processor에 가야할 위치 및 자세에 대한 정보를 제공한다. supervisory processor 와 Robot 제어 processor간의 통신은 common memory를 통해 이루어지며, 협조 제어시 두 로봇간의 동기를 맞추기 위한 통신은 common memory를 통해 매 5msec 마다 이루어진다. 이 작업의 완수를 통해 본 다중 제어 시스템 및 본 연구에서 개발한 primitive Language가 로봇의 온전시 충돌회피 및 협조제어 그리고 다중 센서의 정보처리를 할 수 있다는 것을 보였다.

6. 결 론.

본 논문에서는 다중 로봇의 제어 장치로서 비전센서 등 여러 가지 센서의 신호를 처리하고 로봇의 충돌회피 및 협조제어를 위하여 여러개의 프로세서를 이용하여 본산처리 구조를 갖는 제어 장치를 개발하였으며 아울러, 시스템 전체를 관리하며 언어 및 로봇 동작의 고시 그리고 자기진단등의 기능을 하는 Supervisory Processor, vision에 대한 정보를 담당하는 vision processor, 그리고 로봇의 제어를 담당하는 로봇 제어 processor 등 여러개의 프로세서로 나누어 본산처리 구조를 갖도록 하여 확장성 및 유연성이 높은 시스템이 되도록 하였다. 실험적으로 본 시스템을 이용하여 로봇으로 하여금 puzzle을 맞추는 작업을 수행시킴으로써 본 시스템의 우수성을 입증하였다.

< 참고 문헌 >

1] C.D.Kopt and T.Yabata, "Experimental Comparison of

master/Slave and Hybrid Two Arm," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, Vol. 3, April 1988, Philadelphia, Penn, pp1633-1637

[2] S.A.Schneider and R.H.Cannon, Jr., "Object Impedance Control for Cooperative Manipulation: Theory and Experimental Results," Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, Vol. 2, pp1076-1083, 1989

[3] T.Ishida, "Force Control in Coordination of Two Arms," Proc. of the 5th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, CA94305, May, 1989

[4] 한양대, 삼성항공, "다중 로봇 제어 시스템 개발 중간 보고서", 1990. 5.

[5] 권호열, 이도남, 서일홍, "보행 로봇을 위한 관리 제어 시스템", 88 한국 자동제어 학술 회의, vol.1, pp 349 - 352.

[6] 변중남, 오상록, 서일홍, 유범재, 안태영, 김재복, "반도체 소자용 Die Bonding System의 개발", 88 한국 자동제어 학술 회의, vol.1, pp 353 - 359.

[7] VME-Bus Manufactures Group, "VME - bus specification", 1982. [9] Douglas Comer, "Operating System Design: The XINU Approach", Prentice-Hall, 1984.

[8] Motoman Series with YASKAWA ERC Operator's manual, YASKAWA, Japan.

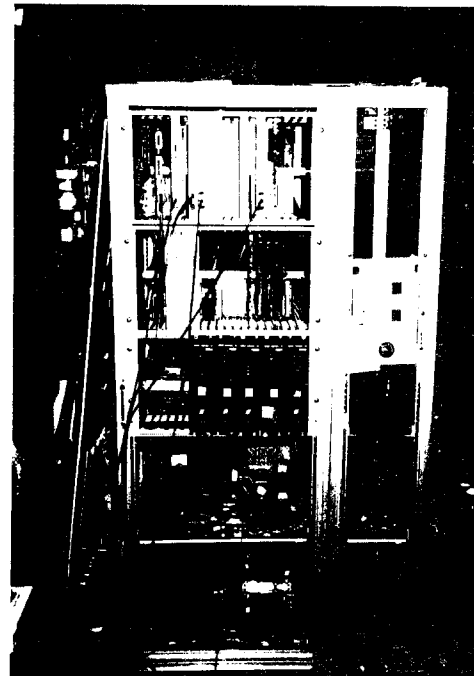


그림 5. 다중 로봇제어 시스템



그림 6. 전체 다중 로봇 제어장치 구성.
(Puzzle 순서 맞추기 작업중.)

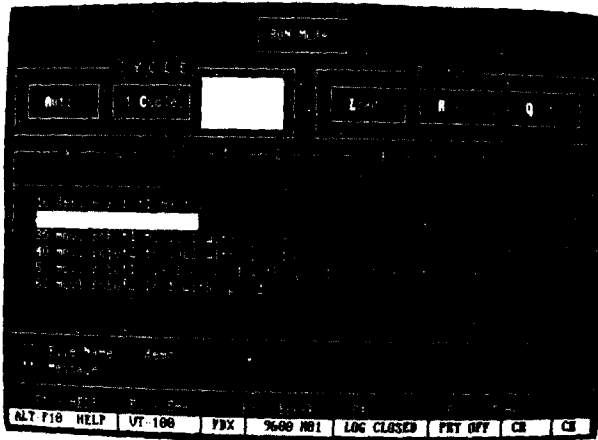


그림 7. Run mode의 display.