

# 복수개의 로봇과 다중센서를 이용한 정밀조립용 로봇 시스템 개발에 관한 연구

임 미 섭 · 조 영 조 · 이 준 수 · 박 정 민 · 김 광 배

한국 과학 기술 연구원 제어시스템 연구실

Development of high precision multi arms robot system  
consist of two robot arms and multi sensors

Mee Seub LIM\* · Young Jo CHO\* · Joon Soo LEE\* · Jeung Min PARK\* · Kwang Bae KIM\*

Control Systems Labs. Korea Institute of Science and Technology

## ABSTRACT

In this paper, we are designed a hierachical system controller and builed a robot system for high precision assembly consisting in multi-arms and multi-sensor. For the control of a multi-arms robot system, the robot system are consisted of cell controller, station controller and device. The Operating System of a cell controller is VxWorks for real-time multi-processing. Using by C-language, we are proposed a multi-arms robot control language based a RCCL, and this control language is partially implemented and tested in multi-robot control system.

## 1. 서론

공장자동화에서 산업용 로봇의 응용은 단순히 물건을 집어 옮기거나 간단한 작업을 분류를 넘어 서연속된 경로를 오차없이 추적하며 작업하는 아크 용접이나 고도의 정밀도를 요하는 조립작업에까지 영역이 확대되고 있다[1]. 현재 생산 라인에 투입되는 대부분의 산업용 로봇에 의한 작업은 단일 로봇에 의해 이루어지고 있어, 특수한 모양의 작업물을 이동시키거나 작업물을 잡고 두팔을 이용하여 협조제어를 통한 정밀한 조립작업을 할 필요가 있을 때 기술력의 부족으로 적용상에 큰 제약이 있었다. 이에, 로봇을 이용하여 복잡하고도 정밀한 조립작업을 수행하기 위해서는 인간과 같이 두팔 또는 그이상의 로봇이 같이 협조적인 동작을 취해야만 하고 효과적인 작업을 수행하기 위해서는 복수개의 로봇에 의해서 생기는 작업공간을 제어하기 위해서는 협조제어가 필요하다고 볼수있다[2]. 또한, 로봇을 이용하여 복잡하고도 정밀한 조립작업을 수행하기 위해서는 힘센서나 비전센서, 근접센서 등 여러 센서신호를 사용하여 복수개 로봇의 동작계획 비롯하여 다중센서 신호를 효과적으로 처리할수 있는 제어시스템을 개발하여야 한다[3].

본 연구에서는 복수개의 로봇과 다중센서를 이용하여 복잡하고도 정밀한 조립작업을 수행할수있는 정밀 조립 로봇시스템을 구성하였다[4,5]. 복수개 로봇( Move Master, Adept One)와 복수개의 Sensor System( Force/Torque, Vision)을 제어하기 위해 그림 1과 같이 cell controller, station controller, 그리고 device로 이루어진 계층적 제어 구조를 갖도록 시스템을 구성하였다. cell controller에서는 다중처리를 위해 real-

time O.S인 VxWorks를 이용하였으며, RCCL 을 기초로 하여 각각의 system control function과 motion/sensor control processing function을 정의하고 C-Library화 하여 다중처리로 복수개의 로봇과 복수개의 센서를 제어하였다[6]. 또한 다중로봇 제어언어를 구현하기 위하여 동작제어에 필요한 데이터 구조를 정의하고 이를 로봇 동작지원용 C-Library로 데이터베이스로 구축하여 cell controller에 구현하여 실효성과 효율성을 입증하였다.

## 2. 시스템 Integration과 Interface

두대의 로봇 및 다중 센서를 이용한 정밀 조립 작업을 수행할 수 있는 다중 로봇 시스템을 개발하기 위해 cell controller, station controller, device로 이루어진 계층적 구조로 설계 되어있다. 그림 1.에서는 정밀 조립 로봇의 전체 시스템 구성도를 묘사하였다. device 계층에서는 2대의로봇(Move Master, Adept One)와 1대의 camera, 그리고 Force/Torque sensor로 구성되어 있다. 수평 다관절 SCARA형 로봇인 Adept One은 작업대상 물체의 고정과 이동

(position 제어)을 위해 주로 사용되며 수직 다관절형 로봇인 Move Master는 hand에 camera를 부착하고 gripper에 Force/Torque sensor를 장착하여 작업대상 물체를 추적하면서 정밀한 조립작업들을 협동제어 하며 상위계층인 station controller와 연결되어 정보를 교환하며 작업을 수행하게 된다. station controller 계층에서는 각각의 device 들을 제어하기위하여 두대의 로봇 controller와 vision sensor controller, Force/Torque sensor controller로 구성되어 있으며, cell controller계층은 single board computer인 MVME 147과 MVME 133으로 구성되어 있으며 다중처리를 위해 real-time O.S. 인 VxWorks환경하에서 동작되며 system control function 과 motion/sensor processing function을하위 계층인 station controller로 RS-232C serial을 통해 전달하게 되어 있으며 system console인 work station(sun SPARC1)에서 cell controller를 관장하게된다. cell controller와 station controller의 하드웨어의 구성은그림 2.와 같이 되어 있다.

cell controller는 single board computer인 MVME 147과 MVME 133로 이루어지는데 MVME 147의 4개의 serial port를 통해 두대의 로봇 controller와 FT sensor controller에 연결되어 있으며 MVME 133에는 vision sensor controller에 연결되어 image processing

module 에서 처리된 작업대상 물체를 포함한 작업공간내의 영상정보를 처리하게 된다. 또한, VMEbus를 통해서 system control processor인 MVME 147로 필요한 정보들을 전달하게 된다.

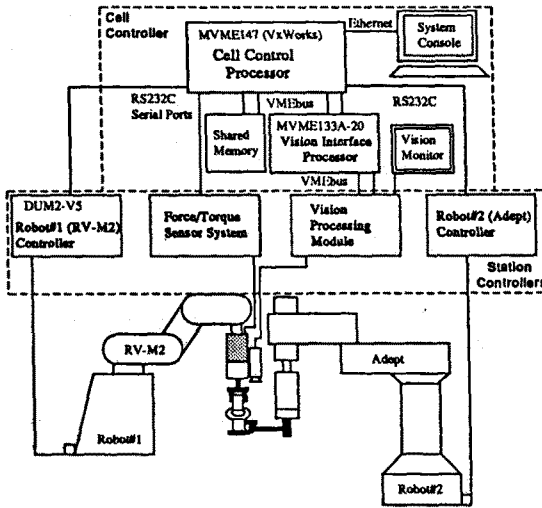


그림 1. 정밀 조립 로봇의 전체 시스템 구성도

한편, 복수개의 로봇과 복수개의 센서로 구성된 시스템을 관리제어하기 위해서는 다중처리를 해야 하며 이를 위해 real time O.S 인 VxWorks를 탑재하여 실시간 다중처리를 할 수 있도록 하였다. cell controller의 운영은 system console인 SUN works station에서 RCCL에 기초한 C-라이브러리 function으로 구현하게되며 두대의 로봇 controller와 두대의 sensor controller를 제어하기 위한 C-library는 Host computer(Sun SPARC)에서 programming 되어 main robot control language에 link 되어 cell controller의 해당 프로세서 모듈로 load되며 수행시에 station controller에 command를 제공하게된다. 그림 3.에서는 cell controller의 software의 구조와 서로의 interface를 나타내었다. station controller 사이의 database를 위해 shared RAM board 인 MVME255-3(1 MB)를 사용하여 station 간의 데이터 교환을 VMEbus를 통해 공유 메모리를 access하도록 하였다.

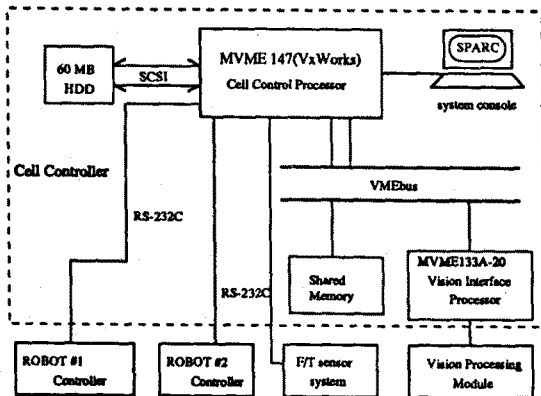


그림 2. cell controller의 하드웨어 구성도

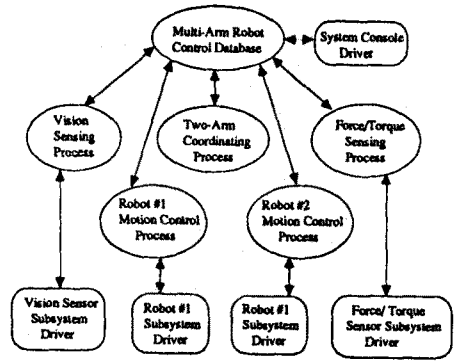


그림3. cell controller의 소프트웨어의 구성과 Interface

### 3. 다중로봇제어 언어

cell controller를 제어하기 위한 로봇 언어를 구현하기 위하여 본 연구에서는 두대의 로봇과 두대의 sensor station controller를 제어할 수 있는 station 제어 command에 대한 정의를 하였으며 정의된 command 들은 C-언어로 라이브러리화된 Function으로 RCCL을 기초로한 로봇제어언어를 정의 하였다. 한편, 복수개의 로봇과 복수개의 센서를 제어하기 위해서는 일반적으로 단일로봇에서의 로봇 중심의 월드좌표계에서 작업물체 나 Tool의 좌표를 설정하여 로봇을 제어하는 좌표계의 설정과 변환으로는 작업영역을 공유하는 복수개의 로봇들을 제어할 수는 어렵다고 볼수 있다. 따라서 본연구에서는 RCCL에서 사용하는 homogeneous Transformation Eq.을 이용한 기하학적 관계로부터 어느 한 부분에 월드좌표를 설정하고 이를 중심으로 각각의 로봇가 움직여야할 목표지점을 계산하는 방법으로 RCCL의 world model 설정방법을 이용하여 상대의 위치를 변환하여 계산해 내는 방법을 사용하였다.

한편, 로봇 언어를 구현 함에 있어서 cell controller가 로봇의 동작을 제어하기 위해 필요한 위치 및방향은 cartesian 좌표상에서 작업공간의 월드좌표계와 각 로봇의 기본좌표계, end effector 좌표계, tool좌표계, 그리고 작업대상 물체의 좌표계 등을 설정하고 이를 데이터베이스화 하기위해 6개 위치성분으로서 cartesian 좌표를 표현할수있는 데이터 구조와 공간상에서 좌표 변환에 필요한 homogeneous transform 을 표현하는 데이터 구조를 정의를 하여 데이터베이스를 구성하였다. 또한 이를 이용하기 위한 routine들을 C-라이브러화하여 cell controller에서 로봇의 위치 및 동작제어를 가능하게하였다. 이를 위하여 좌표계 연산을 위한 function으로 "Robot Language Pre\_Processor(rpp)"를 YACC를 사용하여 만들어서 좌표계 계산시 복잡한 matrix 연산도 보통의 연산과 같이 입력할수 있도록 하였다. 이 방법을 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 그림 4.에서는 로봇 한대가 물체를 잡아 지정된 위치에 놓는 경우를 가정하여, 이때 필요한 좌표계 변환 행렬인 ROBOT1, TOOL, OBJECT, OBJGRASP, T6등은 이들 행렬 사이의 관계는 아래와 같은 closed-chain을 형성하는 관계식을 만족하여야 한다.

$$ROBOT1 * T6 * TOOL = OBJECT * OBJGRASP$$

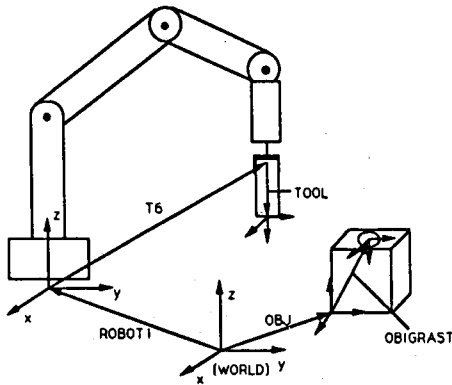


그림4. 로봇이 물체를 잡아서 지정된 위치로 옮길때의 좌표계 설정 및 변환 관계를 나타낸 그림

여기서 ROBOT1, TOOL, OBJECT, OBJGRASP는 사용자가 설정 가능한 수치이며 일반적으로 T6 값을 구하여 로봇제어기에 명령어로 전달하여 로봇을 제어하지만 여기에는 T6를 구하기 위해서는 아래식 처럼 4x4 matrix 연산이 요구되어 여러번의 function call 을 사용하여야 한다.

$$T6 = ROBOT1^{-1} * OBJECT * OBJGRASP * TOOL^{-1}$$

여기에서 Pre-Processor Library를 이용하여 쉽게 얻을 수가 있다.

또한, 다중 로봇제어 언어의 범용성과 효율성을 높이기 위하여 world coordinate를 parameter로 하여 두대의 로봇 controller를 제어할수있는 C-언어 function을 개발하여 위치 및 동작을 제어하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 복수개의 로봇과 복수개의 센서를 이용한 정밀조립 다중로봇시스템을 cell controller와 station controller로 분산화된 계층구조로 구성하였으며, cell controller를 multi-processor구조를 갖는 실시간 다중처리 운영체제인 VxWorks를 사용하여 구현하였다. 또한, RCCL을 기초로한 다중로봇 제어 언어를 개발하여 cell controller에 구현하였다. 이상의 결과에서 확장성과 범용성을 갖는 시스템을 개발하기 위해서는 효율적인 Database 구축과 기본라이브러리, 그리고 로봇의 동작을 지원해줄수있는 라이브러리의 추가 및 관리에 대한 연구가 있어야 할것이며 아울러 로봇 제어언어의 off-line programming 기능과 task planning 기능도 추가되어야 할것이다.

#### 참고문헌

[1] S.Hayati :, "Hybrid Position/Force control of Multi-Arm Cooperation Robots", Proce of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation Vol. 1, pp 82-89, 1986

[2] J.Lim , "Cooperative Control of a Two Robots Arms", Ph.D,Dissertation,University of IOWA,1986

[3] David J. Miller and R. Charleene Lennox, "Object Oriented Environment for Robot System Architectures", .Proc of IEEE Int'l conf. on Robotics and Automation. pp. 14-23. 1990

[4] "Adept Technology", Adept Technology Inc. 1989.

[5]"Force/Torque Sensing System Installation and Operation Manual ", BL Autotec, LTD., August ,1990

[6]"Robot Manipulator Control under Unix RCCL : A Robot Control "C" Library., Richard P. Paul,,"Proc of The Internation Journal of Robotics Research, vol.5, No.4, winter 1986

[7] John Llyod, Mike Parker, and Rich Mclaiin,"Extending the RCCL Programming Environment to Multiple Robots and Processors", Proc,of Computer vision and Robotics Laboratory.,McGill Research Center for Intelligent Machines McGill Univ. Montreal, Canada.