

## 다중 프로세서를 이용한 메카트로닉 시스템의 제어기 설계 기술과 그 적용사례

下 增 男, 李 然 定  
韓國科學技術院電氣 및 電子工學科

### I. 서론

메카트로닉스(Mechatronics)란 말은 70년대 후반 로봇의 산업 현장 적용이 활발히 진행되던 일본에서부터 생겨났다.<sup>[1]</sup> 기존의 기계 기술에 마이크로프로세서 및 센서 등을 이용한 전자, 제어 기술이 접목된 이른바 메카트로닉스 기술의 도입은 그 이전에 고정 시퀀스에 의해 물건을 집어 나르는 기존의 단순 작업용 로봇에서 프로그램의 변경이 용이하여 기구적 변경이 없이도 다양한 작업에 적용 가능한 로봇로의 발전을 가져왔다. 그 후 발전을 거듭한 메카트로닉스 기술은 오늘날에 이르러 로봇 및 산업용 자동화 기기에는 물론이고 가전제품, 자동차, 의료기기 등에 이르기까지 광범위한 분야에 적용되고 있다.<sup>[1]</sup> 이들 메카트로닉 시스템의 발전 방향은 기술적인 측면에서는 소프트화, 지능화하는 방향으로, 기능적인 측면에서는 점차 복잡하고 다양해지는 방향으로 전개되어 가고 있다. 이러한 복잡, 다양한 기능을 갖는 시스템을 제어하는데 있어, 하나의 프로세서를 사용하는 방법은 처리 속도 및 처리 가능 data량에 한계가 있으므로 해서, 이를 극복하기위한 한 방법으로 여러대의 프로세서를 사용한 다중프로세서(Multi-processor) 제어 방법이 널리 사용되고 있다. 다중프로세서를 이용한 제어기의 도입으로 얻어지는 장점은 요구되어지는 복잡, 다양한 기능을 처리할 수 있음은 물론 시스템을 기능별로 모듈화가 가능하도록 하여주며, 확장이 용이한 점등을 들 수 있다.

본 글에서는 약 10여년 동안 한국과학기술원 변중남 교수 연구실에서 수행한 메카트로닉스 관련 연구 경험을 토대로, 그 간 견지해온 다중프로세서를 이용

한 메카트로닉 시스템의 제어기 설계 기술에 대해 살펴보고, 이를 기본 골격으로 개발된 로봇 및 산업 자동화 기기에 적용한 사례를 간략히 살펴보고자 한다.

### II. 다중프로세서 시스템의 분류 및 선정

일반적으로 다중프로세서 시스템을 나누는 방법에는 Logical Structure에 의한 방법, Physical Structure에 의한 방법, Interaction 정도에 의한 방법이 있다.<sup>[2]</sup>

#### 1. Logical Structure에 의한 방법

이 방법은 프로세서 간의 논리적 계층 구조에 따라 구분하는 방법으로 크게 Symmetric 구조와 Asymmetric 구조로 나뉜다.

##### 1) Asymmetric 구조

이 구조는 프로세서 간에 논리적으로 Master-Slave의 수직적 계층 관계를 갖는 구조로서, 전체 시스템에 일이 주어지면 Master는 이를 분할하여 각 Slave에 분담하여 수행하도록 하게된다. 이 구조는 구성하기가 간편하고, 기능별로 프로세서를 할당할 수 있는 장점을 가지고 있어 기능 분류가 구체화되어 있는 시스템에 적합하다. 그러나, Master를 중심으로 시스템이 운용 되므로 Master의 고장이나 수행 시간 지연이 전체 시스템의 성능에 직접적으로 영향을 주고, 프로세서별 기능이 정해져 있으므로 유연성(flexibility)이 떨어지는 단점이 있다.

##### 2) Symmetric 구조

이 구조는 모든 프로세서가 논리적으로 동등한 수

평적 관계를 갖는 구조로서, 상호 연결이 자유롭고 주어진 일과 각 프로세서의 상태에 따라 일의 분량을 적절히 분배할 수 있는 장점이 있는 반면, 구현하기가 어렵고 프로세서 간의 통신시 Dead-Lock 문제가 발생하기 쉬운 단점이 있다.

2. Physical Structure에 의한 방법

이 방법은 프로세서 간에 서로 연결되는 Topology에 의한 구분 방법으로, 크게 Common Bus 구조, Ring 구조, 완전 상호 결합 구조로 나뉜다. 이외 다른 Topology들은 대부분 이런 기본 구조들의 조합으로 나타낼 수 있다.

3. Interaction 정도에 의한 방법

1) Loosely Coupled 구조

이 구조는 위치적으로 떨어져 있는 프로세서(또는 컴퓨터)들이 통신 라인을 통해 연결되어 있어 Network화 되어 있는 구조이며, 대규모 시스템을 제어하기 위한 분산 제어 시스템(DCS: Distributed Control System)에서 흔히 볼 수 있는 구조이다.

2) Tightly Coupled 구조

이 구조는 프로세서들이 물리적 Bus 등으로 상호 연결되어 메모리, 입출력장치 등을 공유하는 구조로 그 연결 형태에 따라 다음 3가지 구조로 나누어 볼 수 있다. (참조 [그림 1])

(1) Time Shared/Common Bus 구조

이 구조에서는 하나의 Bus에 프로세서와 메모리들이 연결되어 있으므로 한 프로세서가 메모리를 사용하기 위하여 Bus를 사용할 때는 다른 프로세서는 Bus를 사용할 수 없으므로 Bus를 시분할해서 사용해야하는 구조이다. 이에 따라 Bus 사용권을 분배해주는 Arbiter 등이 필요하다.

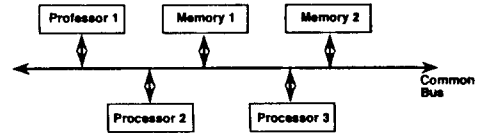
(2) Cross Bar Switch System 구조

이 구조는 프로세서 및 메모리들 간에 통신을 제어해주는 Switching System이 있는 구조로, 프로세서들은 이 Switching System에 특정 메모리와의 연결을 요구하여 경로가 형성된 프로세서만이 메모리 사용이 가능하게된다. 또한, 동시에 여러 경로가 형성될 수 있으므로 여러 프로세서가 동시에 다른 메모리를 사용할 수 있다. 따라서, 전체 data 전송율은 높은 반면 Switching System의 구성이 복잡한 구조이다.

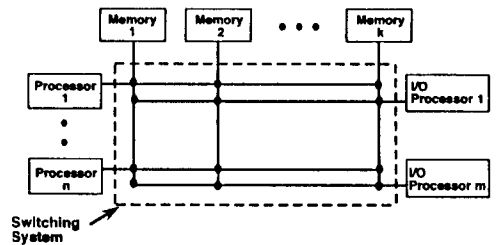
(3) Multiport Memory System 구조

이 구조는 여러개의 통신 port를 가지는 메모리를 이용하여 프로세서 하나 마다 모든 메모리의 한 port

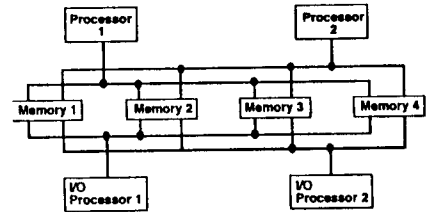
를 연결하여 사용할 수 있는 구조이다. 따라서, 이 구조도 Cross Bar Switch System 구조와 같이 data 전송율이 높으나, 각 메모리가 통신 port 제어기를 가져야 하므로 메모리부의 가격이 고가인 구조이다.



(a)Time Shared/Common Bus System의 기본구조



(b)Cross Bar Switch System의 기본 구조도



(c)Mutliport Memories System의 기본구조도

그림 1. Tightly Coupled System의 종류

위의 세 가지 Tightly Coupled 구조를 갖는 다중 프로세서 시스템을 구성시 가격면, 확장성, 구성의 복잡성, 그리고 data 전송율 등의 관점에서 비교해보면 [표 1]과 같다. 앞서 기술한 다중프로세스 분류 방법별 구조들을 조합하면 구성 하고자 하는 메카트로닉 시스템의 규모 및 종류에 따라 다양한 제어기 구성 방법이 생각되어 질 수 있다. 그러나, 일반적으로 메카트로닉 시스템에 적합한 다중프로세서 시스템은 Logical Structure로는 Master-Slave 구조를 갖고 Interaction 정도

표 1. Tightly Coupled 구조를 갖는 다중프로세서 시스템의 성능 비교

내용	종류		Cross Bar Switch 구조	Multiport Memory 구조
	Time Shared/ Common Bus 구조	구조		
구성시 가격	쌘	쌘	비쌘	비쌘
확장성	쉬움	쉬움	복잡	복잡
구성시 복잡성	간편	간편	복잡	복잡
Data 전송율	낮음	낮음	높음	높음

는 Tightly Coupled 방식중 Time Shared/Common Bus 구조를 갖는 것이다.

그 이유로는 먼저, 메카트로닉 시스템은 대부분 생산 제어 시스템이 아닌 단위 시스템 내에 집중된 제어를 필요로 하고, 실시간 제어 및 센서 정보 처리를 필요로 함에 따라 Tightly Coupled 방식이 효과적이며, 그 중 Time Shared/Common Bus 방식은 구성하기 쉽고, 확장이 간편하며 비교적 가격이 싼 장점 때문이다. 또한, 일반적으로 메카트로닉 시스템의 기능은 세분할 수 있으므로 논리적으로 각 Slave에 특정 기능을 할당하고 이들 Slave를 총괄하는 Master를 갖는 Master-Slave 구조가 적합하다.

한편, Time Shared/Common Bus 구조의 가장 큰 단점은 data 전송율이 낮은 것이나, Master-Slave 구조에서 Master와 각 Slave간의 필요한 data 전송량은 Master로부터 명령들과 Slave로부터의 수행 결과 data 등으로 이들 data의 양이 일반적으로 많지는 않다. 따라서, Master-Slave 구조와 Time Shared/Common Bus 방식의 제어기에서는 data 전송율은 크게 문제되지 않으며, 상기한 여러면에서 메카트로닉 시스템 제어기로 적합한 구조라 할 수 있다. 더구나, 상용의 Bus(VME Bus, Multi Bus 등)가 이러한 Common Bus 방식을 기본적으로 채택하고 있으며, Bus Arbitration 기능을 포함한 여러 프로세서 모듈 제품도 상용화되어 있어, 실제 널리 사용되는 구조이다.

### III. 제어 시스템 설계

일반적으로 메카트로닉 시스템은 기계, 전자, 제어, 그리고 정보 기술등이 복합된 기술집약형 시스템일 뿐 아니라, 그 기능이 복잡, 다양하다. 이와같이,

여러 기술과 기능이 복합되어 있는 메카트로닉 시스템의 제어를 설계하는데 있어 무엇보다도 중요시되는 것은 모듈화이다.

모듈화는 시스템 개발시 연구 업무 분담을 위한 기술 분야별, 시스템 기능별 모듈화, 다중프로세서 구조를 이용한 하드웨어 구성의 모듈화, 그리고 소프트웨어 구성에 있어서의 모듈화 등 다양하게 고려되어야 한다.<sup>3,4)</sup> 이러한 모듈화는 각 기능을 분명하게 구분하여주므로써, 전체 연구 진행을 효율적으로 하여 줄 뿐 아니라 전체 시스템 제작 단계에서 일어날수 있는 오류의 원인 분석을 효율적으로 할 수있도록 하여 주며, 시스템의 확장성 및 유연성을 좋게한다. 그러나, 모듈화에 있어 중요하게 다루어야할 사항은 모듈간의 인터페이스 부분을 명확히하는 일이며, 이에 대한 고려가 소홀히될 경우에는 상기한 바와 같은 모듈화의 잇점이 희석되게 될 것이다.

제어기를 Master-Slave 구조와 Time Shared/Common Bus 방식의 다중프로세서 구조로 구현하는 경우에 있어 중요하게 고려 되어야할 상호 인터페이스 부분은 첫째, Master 모듈의 입출력 파라미터에 대한 정의이다. Master-Slave 구조를 갖는 경우는 Master가 각 Slave와 모두 관계하므로 제어기 내부의 입출력 data는 Master 입출력 data와 같게되며, 이들은 전체 시스템의 기능 정립과 밀접하게 관계한다. 둘째는, 프로세서간의 통신 방식이다. Time Shared/Common Bus 방식의 경우는 일반적으로 공유 메모리를 통한 프로세서간의 통신이 이루어지게 되는데 이때 서로 주고 받는 data의 정확한 전달을 위해서 통신에 관한 Protocol 부분이 구체적으로 정해져야 한다.

메카트로닉 시스템 제어기 또한 모듈화할 수 있는데, 그 전형적인 구성 요소(기능 모듈)에 대해 살펴 보면 다음과 같다. (참조 [그림 2]) 그 요소를 크게 5가지로 나누어보면

첫째, 각종 센서로부터 들어온 신호를 처리 분석하여 주어진 작업에 적합한 정보를 제공하는 센서 정보 처리부

둘째, 기구부를 동작시키기 위한 각종 액츄에이터의 속도 및 위치를 제어하는 서보 제어부

셋째, 사용자에게 시스템의 동작 상태를 보여주고, 사용자로부터 각종 명령을 받아들이는 사용자 인터페이스부, 그리고, 마지막으로 전체 시스템에 주어진 일을 세부적으로 계획하고 그 계획에 따라 세분화된

작업을 각 Slave(센서 정보 처리부, 서보 제어부, 사용자 인터페이스부)의 기능에 따라 분배하고 상태를 점검하는 등의 제어기 전체를 총괄하는 관리 제어부로 나눌 수 있다. 특히, 관리 제어부는 Master-Slave 구조에서 Master의 역할을 담당하는 부분이 된다.

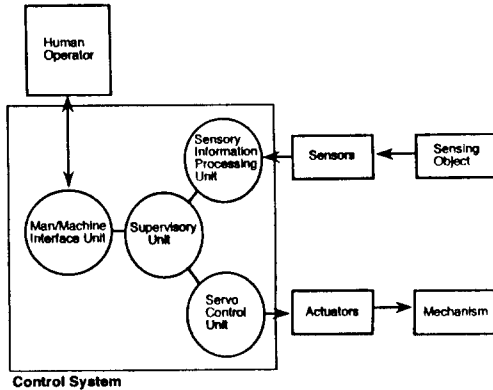


그림 2. 메카트로닉 시스템의 제어기 구성

위의 Die의 양, 불량을 시각 장치를 통하여 인식한 후, 양호한 Die의 경우는 고속 고정도 매니플레이터가 이를 집어 리드프레임의 패드에 Die를 붙이는 기능을 갖는 장치이다. (참조 [그림 3])

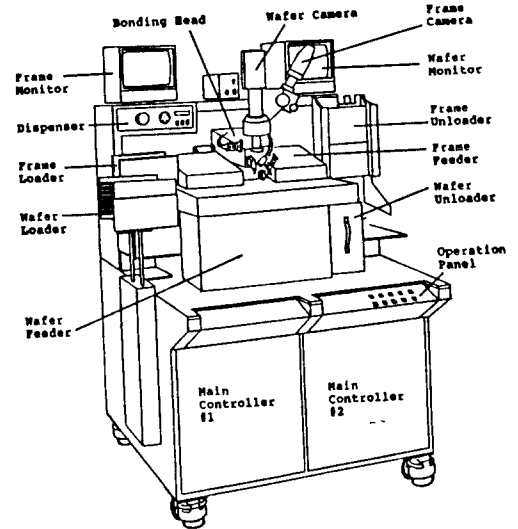


그림 3. 자동 Die Bonder 조립 장치

#### Ⅳ. 다중프로세서를 이용한 제어기 적용 사례

본 장에서는 전장에서 일반적으로 기술한 제어기 구성 요소(관리 제어부, 센서 정보처리부, 서보제어부, 사용자 인터페이스부)를 기본 골격으로 하고 Master-Slave 구조와 Time Shared/Common Bus 방식의 다중프로세서 제어기를 갖는 3가지 적용 사례에 대해 살펴본다. 이들 사례는 한국과학기술원 변중남 교수 연구실에서 개발한 메카트로닉 시스템 중 주요한 것들로 실제 구성에 있어 시스템별 특성에 따른 주요 사항에 대해 간략히 살펴본다.

이들 시스템은 자동 Die Bonder 장치(연구기간: 1985 - 1988), 4각 보행 로봇 시스템(연구기간: 1987 - 1990), 그리고 칼라 브라운관 자동 조정 장치(연구기간: 1991 - 1993)로서 각각 자동 조립 장치, 지능 로봇 시스템 및 자동 조정 장치의 좋은 일예가 될 것이다.

##### 1. 자동 Die Bonder 장치.<sup>15)</sup>

이 장치는 반도체 조립 장치의 하나로서, 웨이퍼

이 장치의 제어기 구조는 [그림 4]와 같으며, 이 제어기의 특징은 관리 제어부, 시각 정보 처리부, 사용자 인터페이스 부가 각각 서보 제어기의 역할인 DC motor, Step motor, 공압 Solenoid 등의 제어 기능을 분산하여 포함하고 있는 점이다. 이는 논리적인 기능의 모듈화가 하드웨어의 모듈화와 반드시 일치할 필요는 없음을 보여주며, 각 프로세서 모듈의 능력을 최대한 활용하여 제어기 구현시 가격면에서 효과적인 한 방법이라 할 수 있다.

##### 2. 4각 보행 로봇 시스템.<sup>16)</sup>

이 로봇은 4개의 다리를 갖고 있어 계단이나 웅덩이 등이 있는 비평탄 지형에서 걷는 로봇이다. (참조 [그림 5]) 이 시스템 제어기의 특징은 Guide-Mark를 이용한 로봇의 3차원 위치 및 자세를 검출할 수 있도록 하기 위한 Stereo 시각 장치를 갖는 점과 산업용 6축 매니플레이터의 자유도에 2배에 해당하는 12축 동시 제어 서보 제어부를 가지며, 보행 로봇의 움직임을 제어하는데 있어 핵심이 되는 걸음새 제어기(Gait Controller)가 기본 골격에 비해

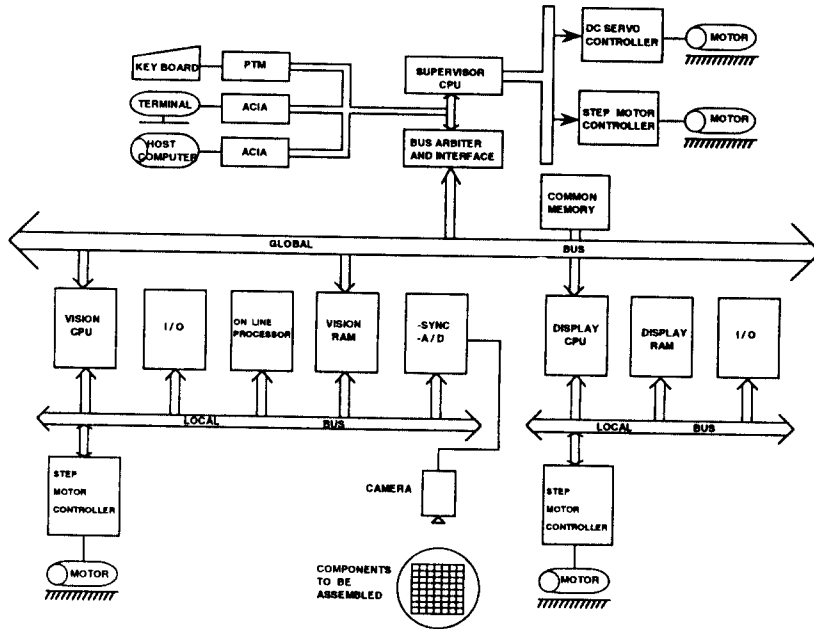


그림 4. 자동 Die Bonder 조립 장치의 제어기 구조

관리 제어기와 서보 제어기 사이에 추가되어 있는 점을 들 수 있다. (참조 [그림 6])

대개 사용된 점과 사용자 인터페이스에 PC(Personal Computer)를 사용하여 관리제어기와 Ethernet TCP/IP 형식으로 통신을 하는 점을 들 수 있다.

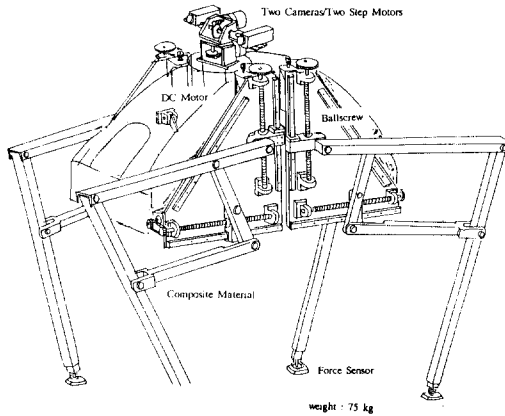


그림 5. 4각 보행 로봇 (KAISER-II)

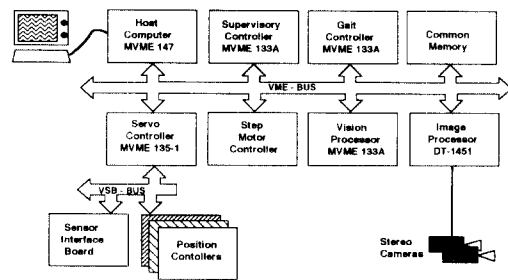


그림 6. 사각 보행로봇의 제어기 구성도

3. 칼라 브라운관 조정 장치.<sup>[7]</sup>

이 장치는 칼라 브라운관의 색순도와 적, 녹, 청 3 전자빔의 집중도를 조정하는 장치이다. (참조 [그림 7]) 이 장치의 제어기 구조는 [그림 8]과 같으며 그 특징은 센서 정보처리부의 비중이 매우 큰 시스템으로서 CCD Camera 9대와 Color Linear Array 32

이 세 시스템의 특성을 비교해보면 [표. 2]와 같다. 이들 3 적용 사례를 통하여 Master-Slave 구조와 Time Shared/Common Bus 방식을 갖는 다중프로세서 제어기의 효율성을 알 수 있으며, 각 시스템의 특성에 따라 적절히 변형될 수 있으므로 그 유연성과

확장성이 우수함을 알 수 있다.

표 2. 적용 사례 시스템들의 특성 비교

항목	세부 항목	자동 Die Bonder 장치	4각 보행 로봇	칼라 브라운관 조정 시스템
제어기 Hardware	Processor	MC6800X(16 bit) 3 대	MC68020(32 bit) 4 대	MC68030(32 bit) 6 대
	Bus	VME Bus	VME Bus	VME Bus
	개발 Host	micro VAX	MVME147 System	SUN
제어기 OS		자체 개발	VMEBasec	VRTX
주요 센서 종류 및 수량		CCD camera 2대	CCD camera 2대 Force sensors	CCD camera 9대 Color Linear Array 32대
	Actuator 종류 및 수량	DC servo motor 5대 AC servo motor 1대 Step motor 12대 그외 공압 장치 다수	DC servo motor 12대 Step motor 2대	Strip motor 11대 그외 공압 장치 다수

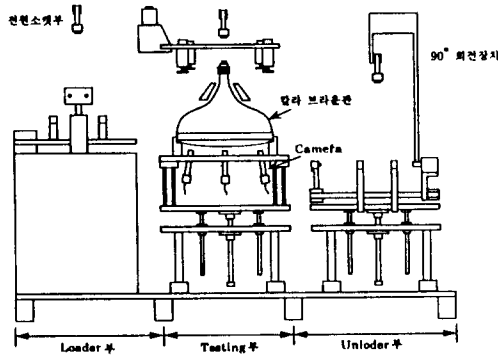


그림 7. 칼라브라운관 조정 장치

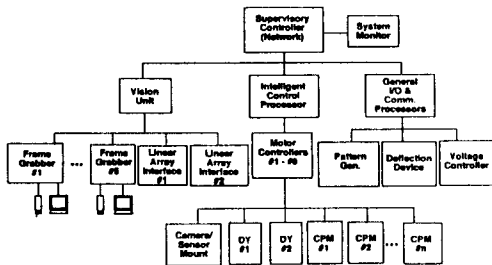


그림 8. 칼라브라운관 자동 조정 장치의 제어기 구성도

[표 2]로부터 알 수 있듯이 다중프로세서를 이용한 제어기 구성 기술은 각 프로세서는 16bit에서 32bit로, 개발 Host는 SUN과 같은 Workstation으로, 제어기 OS는 점차 범용 RTOS(Real-time OS)로 옮겨가는 추세이다. 이러한 기술의 발전 추세는 보다

복잡해지는 시스템의 제어를 위해 제어기 성능을 향상시키고자하는 면과 보다 편리한 개발 환경을 사용함으로써 개발 기간을 단축시키고자하는 두 가지면에서 설명되어 질 수 있다.

V. 결론

본 글에서는 로봇 및 산업용 자동화 기기와 같이 비교적 그 기능이 복잡하고 다양한 메카트로닉 시스템의 제어기를 구성함에 있어, 다중프로세서를 이용한 설계 기술에 대하여 살펴보았다. 제어기 구성 방법에 있어서는 Master-Slave 구조와 Time Shared/Common Bus 방식의 다중프로세서 구조를 갖고 관리 제어부, 센서 정보 처리부, 서보 제어부, 사용자 인터페이스부로 모듈화된 기능 요소를 갖는 방법에 관해 기술하였다.

또한, 세가지 주요 시스템, 즉 자동 Die Bonder 조립 시스템, 4각 보행 로봇 시스템, 그리고 칼라 브라운관 자동 조정 시스템에 제시된 다중프로세서 구조를 기본 골격으로하는 제어기의 적용 사례에 대해 살펴보았다. 이러한 적용 사례를 통하여, 다중프로세서를 이용한 제어기의 범용성과 유연성 및 타당성을 알 수 있었다.

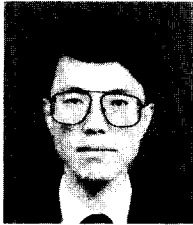
앞으로, 이러한 다중프로세서를 이용한 제어기는 메카트로닉 시스템이 점차 그 기능이 복잡, 다양해짐에 따라 더욱 그 유용성이 확대될 것으로 사려된다.

參考文獻

- [1] Special Issue on intelligent Mechatronic Products, Systems, Control and Information, Vol. 35, No. 8, 1991 (in Japanese)
- [2] Philip Enslow, Multiprocessor and Parallel Processing, John Wiley & Sons, N. Y., 1974.
- [3] V. Salminen and A. Verho, "Systematic and Innovative Design of a Mechatronic Product," Mechatronics, Vol. 2, No. 3, pp. 257-275, 1992.

- [4] C. Barrientos and C. A. Klein, "Design of a Multimicroprocessor-Based Controller Using a Structured Design Approach," *IEEE Trans. Indut. Elec.*, Vol. 31, No. 4, 1984.
- [5] 반도체 소자용 자동 Die Bonder 기계 장치발, 한국과학기술원, 연구보고서, 1988.
- [6] 다각보행로봇의 개발 중-시각장치 및 보조센서를 이용한 Feedback Controller 및 지능을 갖는 관리제어시스템 개발, 한국과학기술원, 연구보고서, 1990.
- [7] ITC 자동 조정용 제어 시스템의 개발, 한국과학기술원, 연구보고서, 1993. ㉠

筆者紹介



李 然 定  
 1961年 9月 10日生  
 1984年 2月 한양대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)  
 1986年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)  
 1994年 2月 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)

1986年 3月 ~ 1989年 9月 한국기계연구소 연구원  
 1994年 3月 ~ 현재 한국과학 기술원 정보전자 연구소 연수 연구원

주관심 분야 : Gait Control and Path Planning of Legged Robots, Fuzzy Control



下 增 男  
 1943年 10月 11日生  
 1969年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 (학사)  
 1972年 5月 The Univ. of Iowa, Dept. of Electrical Eng.(석사)  
 1972年 12月 The Univ. of Iowa, Dept. of Mathematics(석사)  
 1972年 12月 The Univ. of Iowa, Dept. of Electrical Eng.(박사)

1977年 7月 ~ 현재 한국과학 기술원 교수  
 1981年 9月 ~ 1982年 8月 The Univ. of Iowa 객원교수

주관심 분야 : Fuzzy Control, Fault Tolerent Control, Learning Control, Machine Vision등