'91 韓國自動制御學術會議論文集 1991. 10.22~24

삼성 파라 스카라 로봇시스템

김 성 권, 신 기 범, 김 동 일, 전 재 욱
김 영 철, 오 인 환, 황 찬 영, 임 상 권
김 효 규, °오 학 서, 김 동 범, 박 순 호

삼성전자 가전부문 생산기술본부

SAMSUNG FARA SCARA ROBOT SYSTEM

Sung-Kwun Kim, Gi-Bum Shin, Dong-Il Kim, Jae Wook Jeon
Young-Cheol Kim, In-Whan Oh, Chan-Yung Hwang, Sang-Kwun Lim
Hyo-Gyu Kim, Hak-Seo Oh, Dong-Buhm Kim, Soon-Ho Park

Production Engineering Division
SAMSUNG Electronics

ABSTRACT

SAMSUNG Electronics has developed a SCARA robot system, SM3, which is applicable to several assembly, inspection, and adjustment tasks. This robot system drived by AC servo motors has attained a $\theta 1$ and $\theta 2$ axis maximum composite speed of 5.4 m/sec, a repeatibility of ±0.05 mm, and a cycle time of 1.2 sec. The robot controller based on three 8086 and one 8087 processors consists of the main controller, the joint position controller, and the motor controller. The robot controller has plentiful self-diagonosis and control capabilities, and can be interfaced to other external device. The robot language FARAL is designed such that every task is easily programmed.

In this paper, the main features of the body, controller, and FARAL of SM3 will be described. In particular, the control method designed for a stable and fast robot motion will be explained. Finally, the future development will be addressed.

1. 서론

오늘날 산업계에서 생산력 증가와 제품 품질 향상을 위해 자동화의 중요성이 증대되고 있으며, 특히 로봇을 이용한 자동화에 대해 많은 관심이 집중되고 있다. 이는 로봇을 사용하지 않는 종래의 대부분의 자동화는 각 기계마다 미리 결정된 기능만을 수행하고 특정 상품만을 생산할 수 있게 라인이 구성되어 있어서 타 상품을 생산하려면 전체적으로 라인을 수정하여야만 되기 때문이다. 반면에 로봇을 이용한 자동화 라인은 로봇 프로그램의 수정으로 생산상품의 변경이 가능하다. 최근에 생산체제가 대량생산에서 다품종 소량생산 형태로 천이함에 따라 이러한 로봇의 유연성 (flexibility)이 여러 자동제조공정에서 로봇의 적용을 절대적으로 필요로 하게 만든 것이다. 국내에서도 여러 여건악화에 따른 어려움을 극복하기 위해 생산성 향상과 제품 품질 향상이 급선무인 현 시점에서 로봇을 이용한 공장 자동화는 필수적인 과제라 할 수있다. 이러한 공장

자동화는 시설투자 절감, 작업환경개선, 위험작업 수행등의 부과적인 효과를 얻을 수 있기 때문에 더욱 더 절실하다 할 수 있다.

위와 같은 로봇중에서 특히 조립검사, 조정용 등으로 많이 사용되는 것이 바로 스카라(SCARA) 형의 로봇이다. 본 논문에서는 최근 삼성전자에서 서울대의 기초연구를 기반으로하여 국내에서 최초로 순수 독자 기술로 개발에 성공한 4축 FARA SCARA 로봇시스템에 관해 논하고자 한다 「1」.

2. 로봇시스템 전체 구성

본 로봇 시스템은 크게 로봇 몸체와 로봇 제어기로 구성되어 있으며 로봇 제어기에 터미날과 키보드, 교시상자(Teaching Box), 프로그램 로더(Program Loader), 퍼스널 컴퓨터(Personal Computer), MAP Board 를 연결하여 사용할 수 있다 (그림 1, 2) 「2」. 로봇 몸체는 4축 (1, 2, Z, θ) 구조이며 AC 서보 모터를 이용하여 구동한다. 로봇 제어기는 계층적 (hierarchical) 구조로 되어 있으며 「3」 (그림 2) 主제어기는 터미날을 통하여 사용자와 대화하며 전체 시스템을 제어한다. 위치 제어기는 각 관절의 위치제어와 모터 구동 시스템의 감시 기능을 수행한다. 판넬보드(Panel Board)는 제어기 전면판에 부착되어 터미날과 함께 내부 제어 방식에 의해 사용자가 명령을 실행할 때 입출력 장치로서의 역활을 한다. 또한 RS232C나 RS422 방식에 의해 主제어기와 퍼스널 컴퓨터, 터미날, 교시상자를 연결하여 준다. 터미날은 사용자가 사용할 수 있는 명령어 및 편집 프로그램 언어를 입력시킬때 사용하며 자기진단 등의 정보도 이를 통하여 출력된다. 프로그램 로더는 터미날이 갖고 있는 모든 기능을 갖추고 있으며 또한 보조기억 장치로서 사용자 프로그램을 EPROM에 보관시에 사용하며 이 내용을 다시 제어기 측으로 불러낼때 이용된다. 교시상자는 로봇의 동작을 교시할 때 이용한다. 특히 LCD를 부착하여 사용자가 교시상자 만을 이용하여 터미날의 기능을 대치할 수 있게 하였다. 외부 I/O 릴레이(Relay)는 제어기와 외부 환경과의 필요한 제어신호의 교환을 위해 사용된다.

3. 로봇 몸체

FARA SCARA 로봇 SM3 는 4 축 모두 AC 서보 모터 (DC Brushless Motor)에 의해 구동된다. 1, 2축 구동 모터는 각각 첫번째, 두번째 관절에 위치하고 있으며 하모닉드라이버(Harmonic Driver) 를 통해 1, 2축을 동작시킨다. Z, θ축 구동 모터는 링크(link) 2에 위치하며, Z축 모터는 볼스크루(Ball Screw) 를 통해서 Z축을 상하 운동시키고 θ축 모터는 타이밍풀리벨트(Timing Pulley Belt) 의해서 θ축을 구동시킨다. 몸체 사양은 표 1과 같으며 외부구조는 그림 3과 같이 나타난다 「2」.

4. 로봇 제어기

4.1 제어기 구성

SM3 로봇 제어기 (Compact Controller)의 전체 구조는 그림 2.와 같이 계층적 구조 (hierarchical structure)를 갖고 있으며 主제어기, 위치제어기, 모터제어기로 크게 분류할 수 있다. 제어기의 사양은 표 2와 같다 「2」.

한장의 보드로 구성된 메인보드(Main Board)상에는 기능상으로 보았을 때 8086/8087을 중심으로 ROM 192K, RAM 192K, DPRAM 2K, 타이머(Timer), 인터럽트제어기

(Interrupt Controller) 등의 주변회로로 구성된 主제어기와 8086 두개, ROM 64K, RAM 64K, 인터럽트제어기(Interrupt Controller)로 구성된 위치제어기로 분류할 수 있다「4」.

主제어기는 로봇제어와 사용자간의 모든 대화와 로봇 몸체 동작에 관한 사항을 관장한다. 즉 主제어기에서는 사용자의 명령을 받아드리고, 로봇 작업프로그램을 작성하는 기능을 제공하고, 로봇 상태를 사용자에게 알려주며, 사용자가 지정한 작업을 수행하기 위해 위치제어기로 적절한 명령을 보내는 작업을 담당한다.

위치제어기는 2개의 동등한 부분으로 나누어지며 각 부분마다 CPU 8086을 중심으로 구성되어 2개의 모터제어기를 제어하여 전체적으로 4개의 모터제어기를 제어한다. 위치제어기의 기능은 主제어기에서 보내온 위치 명령에 따라 로봇 각 관절의 모터 위치를 제어하며 모터제어기의 상태를 主제어기에 보고하는 기능을 갖고 있다. 主제어기에서 발생되는 위치명령은 매 32 msec 마다 전송되어지며, 위치제어기는 이 위치명령을 매 2 msec마다 있어야 할 위치 명령으로 보간(interpolation) 한 다음, 매 2 msec 마다 현재 모터의 위치를 읽어서 필요한 속도 명령을 계산한 뒤, 모터제어기로 전송한다 (그림 4).

모터 제어기는 AC 서보 모터의 속도제어를 담당하며 속도제어 loop, 전류제어 루프(loop)로 크게 분리할 수 있다. 모터의 위치 및 속도는 리졸버(resolver) 신호를 R-D 변환기(Resolver to Digital Converter)를 통해 얻어지며 4096 Pulse/revolution의 분해능(resolution)을 갖는다. 전류제어는 홀센서(Hall Sensor)를 통해 얻어진 전류신호를 이용해 이루어진다.

4.2 적용 제어기법

4.2.1 위치제어기

위치제어기 기능을 블락도(Block Digram)으로 나타내면 그림 5와 같다. 主제어기에서 위치명령이 주어지면 이 위치명령으로부터 원하는 속도와 가속도를 계산하여 이를 feedfoward 시킨다. 또한 주어진 위치명령과 실제 위치 차이에 의해서 위치오차 (Positional Error)를 계산하여 이 오차에 대해 PID (Propotional Interal Derivative) 기능을 하여 모터제어기에 입력한다.

주목할 만한 것은 모터제어기 온도 Drift를 보상하기 위한 부가적인 입력을 모터제어기에 입력시키는 것이다. 모터제어기 온도 Drift란 온도변화에 따른 모터제어기의 특성변화로 인해 똑같은 속도 명령을 모터제어기에 입력시켰다 해도 다른 온도에서는 모터의 출력이 동일하지 않게 나타나는 것을 말한다. 만약 이 모터제어기 온도 Drift의 효과를 보상하지 않으면 정상상태오차(Steady State Error)가 생기게 된다. 종래의 위치제어기에서는 적분작용(Integral Operation)에 의해 모터제어기 온도 Drift를 보상해왔다. 즉 적분기 이득(Integral Gain)이 모터제어기 온도 Drift 효과를 보상해주는 만큼 더 커져야만 했던 것이다. 그러나 이 지나치게 큰 적분이득은 과도상태(Transient State)에서 로봇 끝단의 오버슈트(Overshoot)를 유발하기 쉽다. 따라서 그림 5에 나타나는 것처럼 부가적으로 모터제어기 온도 드리프트(Drift)를 보상해주면 적은 적분이득을 사용해도 되므로 오버슈트(Overshoot)를 피할 수 있게 되는 것이다. 이에 대한 작동원리는 다음과 같다. 초기에 모터제어기 온도 드리프트(Drift) 보정기의 출력을 영(zero)으로 잡는다. 그리고 로봇이 원하는 위치에 도달하여 정상상태에서 정지하고 있을 때 피드포워드

(feedforward) 값은 영이 되므로 이때 PID 출력값이 영이 아니라면 이 값은 모터제어기의 온도 드리프트(Drift) 효과를 상쇄하는 값이라고 볼 수 있다. 따라서 로봇이 다음 위치로 이동하기 전에 이 값을 모터제어기 온도 드리프트 (Drift) 보상기 값으로 잡아주고 로봇이 이동 후 정상상태에서 정지할 때마다 이러한 방법에 의해 모터제어기 온도 Drift 보상기의 값을 정해준다. 이러한 방법에 의해 모터제어기 온도 드리프트(Drift) 효과를 상쇄시킬 수 있는 것이다.

4.2.2. 모터제어기

스카라(SCARA) 로봇의 액튜에이터(Actuator)로써 사용되는 AC Servo 모터를 구동하기 위한 모터제어기는 그림 6과 같이 구성되어 있다. 그림 6의 제어기는 AC Servo 모터의 속도제어를담당하고 있으며 로봇의 원하는 동작을 구현하기 위하여 2 msec 마다 위치제어기로부터 입력을 받아들인다. 입력된 속도명령값을 추종하기위하여 PI (Proportional-Integral) 제어기가 사용되며 실제 모터의 속도는 R/D변환기로부터 궤환(feedback) 된다. R/D 변환기는 입력으로 4KHz로 여자되는 리졸버 출력을 사용하며, 속도제어를 위한 속도비례전압과 위치제어를 위한 모터 회전자의 절대위치값을 출력시킨다. PI 제어기의 출력은 모터의 토오크 명령값의 크기를 나타내며, 모터의 상전류와 역기전력(Induced Voltage)사이의 위상차를 제거하여 모터 발생토오크를 최대로 만드는 정보를 발생시키는 동기검파기의 출력들과 곱해진다. 이와 같이 발생된 모터의 각 상 전류 명령값들은 홀센서를 통하여 궤환되는 실제 모터 전류들과 함께 전류제어기에 입력되어, 12 KHz의 삼각파와 비교되어 기본 PWM 신호를 발생시킨다. 실제로 전류제어기는 PWM 신호분배기 및 MOSFET 인버터와 함께 전류제어형 인버터의 특성을 나타내게 설계되어 있으나, 인버터에 공급되는 직류전압의 크기의 제한 및 모터 각 상의 저항과 인덕턴스의 영향으로 전류제어 루프(loop)의 대역폭 (Bandwidth)에 제한을 받게 된다. 따라서 이러한 물리적 제한요소를 극복하여 모터의 일정부하 운전영역을 확대하기 위해서 모터의 속도에 따른 위상값을 전류 명령값에 보상하는 위상보상기가 동기검파기에 연결되어 있다. 기본 PWM 신호는 PWM 신호분배기에 입력되어 3상 Half Bridge 인버터로 구성된 6 개의 Power소자를 구동하는 PWM 신호를 발생시킨다. 한편 로봇이 실제사양을 초과하여 구동될 경우, 물리적인 과부하는 모터제어기에서 이상상태로 나타나게 된다. 모터제어기는 이러한 이상상태(과전류, 과부하, 과속, 과열)와 저전압, 과전압, 리졸버 단선등의 이상상태를 검출하며, 보호기능을 제공하기 위하여 One Chip 마이크로프로세서 NEC 7810 을 사용하고 있다. 이 마이크로프로세서는 전류제어 loop의 대역폭을 확대하기 위하여 모터의 속도에 따른 위상 보상값을 계산하여 위상보상기에 출력하는 기능도 담당하고 있다. 모터및 모터제어기 보호용 알고리듬은 0.5 msec 마다 수행되며, 이상상태 발생시 인버터의 Power소자들에 인가되는 PWM 신호들을 차단시킨 후 위치제어기를 통하여 로봇의 主제어기에 이상상태정보를 제공한다. 반면에 위상보상알고리듬은 5 msec 마다 연산되어 위상보상기로 출력된다.

4.3 제어기 소프트웨어(software)

主제어기 소프트웨어는 C언어와 8086 어셈블러 (assembler)언어를 이용하여 작성되며 main CPU (8086/8087)가 수행할 명령으로 구성된다. 主제어기의 소

프트웨어 구성도는 그림 7과 같이 나타나며 각 모듈의 기능은 표 4에서 같이 설명된다.

위치제어기 소프트웨어는 主제어기의 파워가 켜졌을 때 (power on) 됐을 때 위치제어기의 하드웨어(hardware)를 초기화 한 후, 主제어기로 부터 32msec와 2msec마다 인터럽트(interrupt) 신호가 들어오면 그때마다 主제어기로 부터의 명령에 따라 동작한다. 하드웨어 초기화로써 8259 인터럽트제어기(interrupt controller), D/A 변환기 등의 디바이스(device)를 적절한 모드(mode)로 정한다. 그리고 동작을 시작하기 전에 위치값을 리셀(reset) 시키고 主제어기로 부터 각종 이득값 (그림 5에서의 PID 와 피드포워드(feedforward) 이득값)을 받아드린다. 위치제어기 소프트웨어를 기능별로 구분하면 主제어기로 부터 받은 위치명령과 실제 위치로 부터 모터제어기 속도명령을 만드는 기능과 (그림 5), 모터의 현재 위치를 계산하는 위치 카운팅(counting) 기능, 로봇을 영점위치(zero position)로 가도록 하는 영점복귀(zero return) 기능, 主제어기에서 주어진 32 msec 마다 위치명령으로 부터 2 msec 마다 가야 할 위치를 구하는 보간(interpolation) 기능 등이 있다.

개발된 로봇언어 FARAL은 스카라형 로봇을 조립검사 조정 등의 작업에 편리하게 사용할 수 있도록 많은 기능을 보유하고 있다. 특히 로봇 동작 제어 명령뿐만 아니라 여러 로봇 작업에 필요로 하는 명령을 다양하게 보유하고 있는 것이다. 로봇언어를 기능별로 표 3과 같이 분류할 수 있다.

5. 앞으로의 주요 연구 개발 방향

현재 SM3 로봇시스템은 삼성전자의 여러 조립,검사, 조정등의 공정에 사용되어 생산량 증대와 품질향상 그리고 인원절감 효과를 가져오고 있다. 이러한 로봇시스템의 효과를 더욱 증대시키기 위해서 앞으로 다음과 같은 노력이 요구된다. 첫째 로봇 신뢰성 기술의 확보이다. 그동안 국내에서 많은 연구소에서 신문지상을 통해서 독자기술에 의해 로봇 시스템을 개발 하였다고 발표되었지만 상품화에 성공하지 못한 것도 바로 이 신뢰성 기술의 미비로 인한 것이라 볼 수 있다. 삼성전자에서도 나름대로 신뢰성 기술을 확보하고 있지만 평균고장시간(Mean Time Between Failure, MTBF)이 100개월이나 되는 선진수준에 비하면 많이 뒤떨어져 있다고 할 수 있다. 로봇의 기능이 앞선다 해도 이 신뢰성이 뒤떨어져 있으면 결코 그 경쟁에서 이길 수 없기 때문에 이에 대한 연구가 시급히 요구되며 앞으로 많은 노력이 있으리라 예상된다. 둘째로 로봇 동작의 고속화 이다. 이것은 로봇이 실제 생산라인에 적용되었을 때 제품의 생산율을 결정하는 요소이기 때문이다. 이를 위해서는 효과적인 로봇 몸체 설계와 함께 제어기 hardware의 처리속도 개선, 적용 제어기법에서의 개선이 요구된다. 셋째로 각종 sensor와의 접속이다. 이는 로봇의 기능을 대폭적으로 확장 시킬 수 있을 것이다. 따라서 기존의 로봇으로 대치가 불가능하여 사람의 손에 의존할 수 밖에 없는 작업의 무인화를 이룰 수 있을 것이다. 넷째로 로봇시스템 상호간과 로봇시스템과 타 자동화 기기간의 정보교환을 위한 통신기능의 부가이다. 이는 차후 로봇시스템을 이용한 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 구축에 절대적으로 요구되는 것이라 할 것이다. 넷째로 현재 국내외 적으로 활발히 연구가 진행되고 있는 지능제어의 응용이다. 이것은 로봇의 응용범위를 현재에 비해 훨씬 넓일 수 있으며 초정밀 초고속 로봇의 구현을 위해서도 절대적으로 요구되는 것이라 할 수 있다.

6. 결론

우리는 앞에서 국내에서 최초로 순수 독자 기술에 의해 개발에 성공한 삼성전자의 스카라(SCARA) 로봇시스템에 관해 기술했다. 이미 삼성전자의 많은 생산라인에 사용되고 있는 이 로봇시스템은 앞으로 국내 타 생산라인에도 적용되어 국내 공장 자동화에 많은 기여를 할 것이다. 특히 앞으로 계속될 연구 개발에 의해 그 기능과 성능을 확장 개선하여 차후 더 우수한 시스템이 될 것으로 예상된다.

7. 참고문헌

「1」 1990년 12월 5일자 「중앙일보」 외 11 국내 조간 석간 신문

「2」 Fara Scara Robot SM3 Operator Guide, 삼성전자

「3」 C. S. G. Lee, T. N. Mudge, and J. L. Turney, "Hierarchical Control Structure Using Special Purpose Processors for the Control of Robot Arm," Proceedings of the 1982 Pattern Recognition and Image Processing Conference, pp. 634-640.

「4」 삼성전자 가전부문 생산기술본부 기술자료

표 1. 몸체시양
Table 1. Body Specification

	항목		사양 (중형 SM3)
1	형식		수평다관절 SCARA TYPE
2	자유도		4
3	작업영역	1 축	± 120°
		2 축	± 145°
		Z 축	150 mm
		θ 축	± 180°
4	최대속도	1 축	360° / sec
		2 축	360° / sec
		1,2 축 합성	5.4 m/ sec
		Z 축	400mm/ sec
		θ 축	720° / sec
5	반복정밀도		± 0.05mm
6	CYCLE TIME		1.3 sec
7	가반중량		고속: 2.5kgf, 중속:5kgf, 저속:10kgf
8	본체중량		59 kgf

표 2. 제어기사양
Table 2. Controller Specification

항목		사양
제어방식		microprocessor[illegible] 동시제어
동작방법		PTP, ARCH, [illegible], [illegible]CP
제어축수		4 축
기억용량		포인트 : [illegible] 프로그램 :45 Kbyte
최대 프로그램수		32
위치검출방식		(RESOLVER)
최소 설정단위	1 축	0.002°
	2 축	0.002°
	θ 축	0.002°
	Z 축	0.006 mm
	입력	(512 점까지 확장가능)
	출력	(512 점까지 확장가능)
외부조작용 신호	입력	기동, 정지, 비상정지, 서보 ON, 원점복귀, PAUSE CLEAR RESET, [illegible]
	출력	외부 제어, PAUSE REQUEST, 원점복귀완료, PROGRAM RUN 중 서보 전원 ON, ERROR SYSTEM, PROG)
교시방법	포인트 방식	티칭박스: TEACHING BOX로 [illegible] 좌표계: X,Y,Z,θ(J1,J2,Z,θ)를 TERMINAL로 입력 SERVO FREE·ARM을 [illegible] 이동
	프로그램방식	로봇언어 (FARAL)을 이용하여 [illegible] 입력
프로그램 편집 기능		프로그램: 작성, 삭제 라인: 삽입, 삭제
속도 설정 방식		[illegible]: 고속, 중속, 저속 프로그램 : 1-100 %
TORQUE 제어기능		서보 ON/OFF
OFFSET 기능		좌표계 이동
PROGRAM 기능		FARAL을 이용한[illegible]
운전방식		스텝, 싸이클, 연속
동작 제한 방식		HARD LIMIT ([illegible] SENSOR), SOFT LIMIT
보조 기억 장치		EPROM (64K bytes)

표 3. 로봇언어 FARAL
Table 3. Robot language FARAL

[illegible]	명령어
[illegible]	[illegible] MOVEP MOVES MOVEA [illegible] [illegible] UP DOWN [illegible] [illegible] [illegible]CHANGE
GRIPPER 제어	[illegible] OPENI CLOSE CLOSEI
[illegible]	[illegible] SETI [illegible]
[illegible]	SIGNAL [illegible] THEN GOTO[illegible] [illegible] SIGOUT
[illegible]	[illegible] GOTO(A) GOSUB RETURN [illegible] PAUSE IF THEN FOR NEXT REMARK
속도제어	SPEED

표 4. 主제어기 소프트웨어 모듈기능
Table 4. Main software module function

Module	기능설명
Editor	line editor 로서 사용자 프로그램을 작성
Compiler	사용자 프로그램의 로봇언어 syntax를 점검하고 사용자 프로그램을 수행하기 위한 실행 프로그램을 작성
Excution Service Routine	실행 프로그램을 수행
File Manager	file을 생성 혹은 제거하고 file을 관리
Location & Variable Manager	location 값의 저장및 관리를 수행하며 사용자의 모든 변수를 관리
Monitor Command Interpretor	모니터에서 사용자의 명령을 받아서 필요한 동작을 수행
Self Diagnostic Routine	자기 진단 기능을 수행
Trajectory Planner	동작에 필요한 경로를 생성
Motion Controller	경로에 따라 로봇을 제어
Kinematics & Inverse	kinematic 와 inverse kinematics 계산
I/O Driver	터미널, panel, 외부 relay I/O 등의 통신을 관리
Teaching Box Program	교시상자 기능 관리

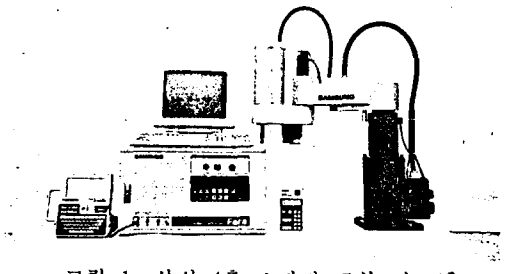

그림 1. 삼성 4축 스카라 로봇 시스템
Fig 1. SAMSUNG 4-axis SCARA robot system

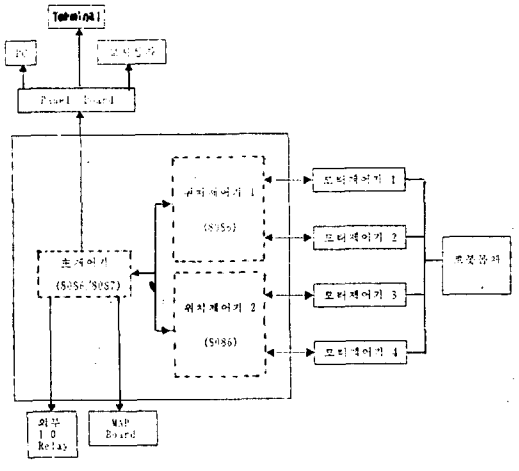

그림 2. 제어기 전체 구성도
Fig 2. Controller block diagram

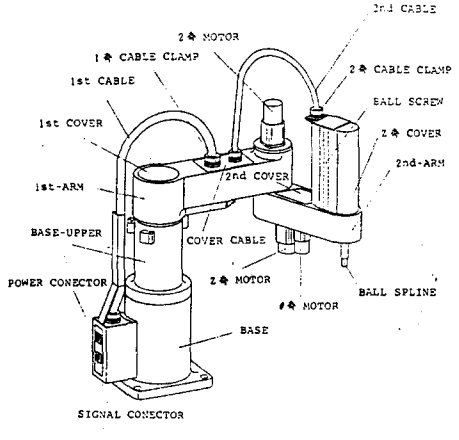

그림 3. 몸체 외부 구조도
Fig 3. SM3 body structure

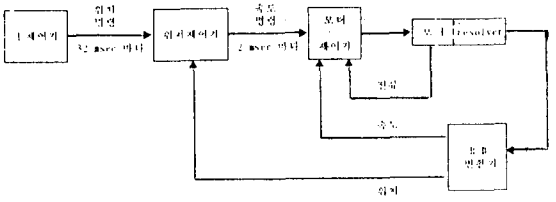

그림 4. 로봇제어기 구조
Fig 4. The structure of FARA robot controller

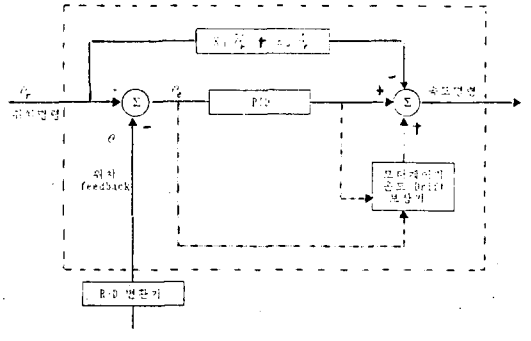

그림 5. 위치제어기 구조
Fig 5. The structure of JPC

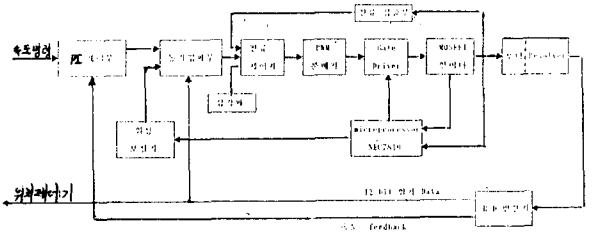

그림 6. 모터제어기 구조
Fig 6. The structure of motor controller

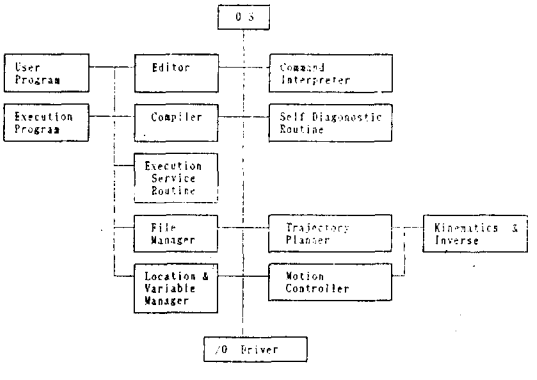

그림 7. 主제어기 소프트웨어 구성도
Fig 7. The structure of main software