

16 bit CPU와 Modula-2 언어를 사용한
6축 산업용 로봇의 디지털 제어기 제작에 관한 연구

이 주 장, 김 양 한, 윤 형 우
한 국 과 학 기 술 대 학

Design of digital controller of six degree of freedom
industrial rotot using 16 bit CPU and Modula-2 language

Ju Jang Lee, Yang-Han Kim, Hyung Woo Yoon
Korea Institute of Technology

ABSTRACT

The main work of this paper are the manufacture of six degree of freedom industrial robot control hardware of 16 bit CPU and the development of five motion control software. The work would draw on KIT of Robotics Laboratroy whose extensive experience in these areas; in particular the 68000 assembler and Modula-2 languages, and existing robot control systems.

We found that this controller is good for the robot controller of PID types. But, for the use of self-tunig algorithms and real time calculations we need 32 bit CPU robot controller such as MC 68020 microprocessor.

1. 서론

60년대 들면서 등장한 산업용 로봇은 세계 각국에서 여러가지 용도로 산업현장에서 널리 사용되고 있다. 여러가지 물건에 대량생산을 위하여 공장자동화가 이루어지게 되었고 이러한 공장자동화에서 산업용 로봇은 중요한 역할을 분담하게 되었다. 또한 산업용 로봇의 필요성을 점차 증가하는 로봇시장의 크기로 미루어 짐작할 수 있다. 국내에서도 각 대학 및 여러 산업체에서 이미 오래전부터 여러 형태의 산업용 로봇 개발에 힘을 기울여 왔다. 이에 따라 국내 로봇생산 기술도 커다란 진전을 보아 왔으며 현재도 계속 연구중에 있다. 그러나 컴퓨터 계산능력의 향상과 전자공학의 발전 등으로 고도의 지능을 가진 로봇 생산을 위해서는 좀 더 수행속도가 빠르고 다양한 기능을 가진 로봇 제

어기 개발이 요구되고 있으며 이와 같은 제어기를 개발함으로써 로봇에 여러가지 형태로 수반되는 각종 자동화 시스템의 능력을 최대한 향상시킴으로서 공장자동화의 개선에 이바지할 것이다.

본 연구에서는 본교에 있는 SUN-3 워크스테이션 [1]을 이용하여 소프트웨어를 개발하고 이 소프트웨어를 16bit 마이크로프로세서 [2]의 메모리에 적입 실행시킴으로써 소프트웨어 개발의 효과를 높였다. 또한 16 bit 마이크로프로세서의 주변에 패밀리 (family) IC들을 부착함으로써 제어기 사용의 다양성을 제공하였고 소프트웨어로서 Modula-2 [3]를 사용하여 각 모듈별로의 개발의 효과와 디버깅의 편리를 꾀할 수 있다.

제어기의 구동로봇은 Anthropomorphic형 [4]으로서 6축 구동 다관절형 로봇이다. 산업용 로봇은 일반적으로 6자유도를 지니며 그중 3축은 공간상의 위치제어를 위해 사용되며 3축은 로봇손의 효과적인 제어를 위하여 사용된다 [5]. 이와 같이 로봇을 제어하기 위해서는 제어기에서 6개의 구동모터를 동시에 제어할 수가 있어야 하고 효율적인 제어를 위한 제어용 프로그램이 필요하다.

제어기의 구동모터는 직류 서보모터를 사용하였다. 이러한 직류 서보모터를 제어하기 위해서는 위치제어와 속도제어가 필요하며 위치제어는 업/다운 펄스 카운트 방식을 채용하였고 [6] 속도제어는 모터가 대형화할 경우 소비전력의 감소를 기대할 수 있는 PWM 방식을 채용하였다 [7].

본 제어기의 개발에서는 속도지령 및 비례 적분 위치제어의 일부를 16 bit 마이크로컴퓨터내의 소프트웨어로 대체함으로써 로봇 제어알고리즘의 정확성과 안정성을 꾀하고 제어기 구성의 간략화를 이룰 수 있었다.

논문의 구성은 본 제어기의 하드웨어 구성 및 소프트웨어의 구성, 제어알고리즘 및 제어기의 6축 산업용 로봇에의 적용 등

으로 되어 있다.

2. 산업용 로봇 디지털 제어기의 하드웨어 구성

제어기의 하드웨어 구성의 개념을 살펴보면 그림 1과 같다.

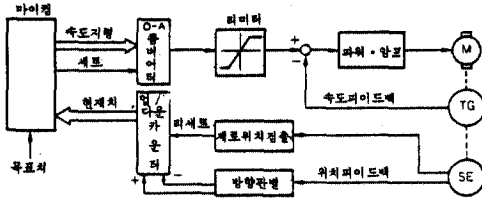


그림 1 업/다운 카운터 방식

마이크로컴퓨터의 내부에서 한 주기에 필요한 모터의 이동량을 비교기를 통해 나온 값을 고려하여 이 이동량에 해당하는 속도 지령을 하고 있으며 모터를 마이크로컴퓨터로 제어하기 위해 D-A 변환기와 업/다운 펄스 카운트가 필요하다.

그림 1과 같은 하드웨어 구성의 개념아래 실제 제어기의 구성도를 살펴보면 그림 2와 같다.

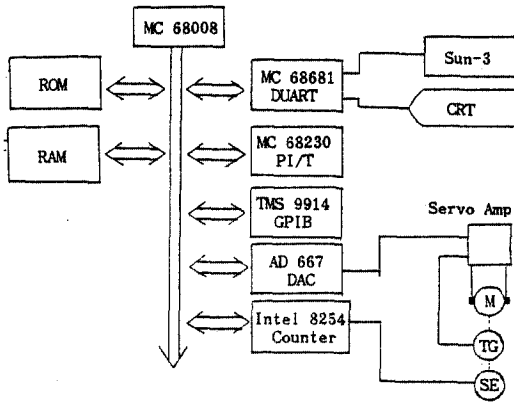


그림 2 하드웨어 구성도

CPU로서는 16비트 마이크로프로세서 MC 68008을 채용하였고 주변 메모리와 back-up용 메모리가 있다.

위의 하드웨어 구성은 모터제어카드와 모터 입출력카드로 나누어 제작하였다.

이와 같이 제어카드와 입출력 카드로 분리 제작함으로써 로봇의 주변 자동제어장치에 필요한 부분을 현재의 제어기에 입출력 카드만 증설함으로써 만들 수 있으며 하나의 제어카드아래 모든 입출력 카드를 제어할 수 있는 편리함이 있다.

각 모듈간의 접속은 STE-1000 버스를 사용하였다.

제어카드에는 그림 2에서 메모리 부분과 DUART, PI/T, GPIB를 포함하는 카드이다. 입출력 카드에는 그림 2에서 D/A 변환기와 업/다운 카운터를 포함하는 부분이다.

먼저 모터제어 카드를 살펴보면 다음과 같다.

MC 68681 DUART를 통하여 제어기와 SUN-3 워크스테이션이 연결된다. 연결선은 RS-232C 인터페이스 카드가 이용되며 이 라인을 통하여 제어기와 SUN-3 워크스테이션의 대화가 이루어진다. 실험실에서는 SUN-3 워크스테이션과 연결되어서 지속적인 대화가 실험의 편리함을 가져다 주며, SUN-3 워크스테이션의 분리가 필요할 때는 언제든지 SUN-3 워크스테이션에서 개발된 프로그램을 제어기의 메모리에 실장시킬 수 있다.

TMS-9914 GPIB에 IEEE-488 Bus를 연결할 수 있고 이 Bus를 통해 제어기에 홈 컴퓨터 등 여러가지 다른 컴퓨터를 부착할 수 있도록 하였고 MC 68230 PI/T를 부착하여 사용자가 제어기내의 입출력이 필요할 시 사용할 수 있도록 하였다.

모터를 직접 제어하기 위한 입출력 카드는 제어모터의 수에 따라 내부의 회로가 반복된다. 컴퓨터에서 출력되는 속도정보에 해당하는 아날로그 값을 모터에 전달하는 역할을 AD 667 D-A 변환기가 담당하고 있으며 이러한 D-A 변환기의 기본원리는 입력 디지털량과 출력 아날로그량이 선형비례한다는 것이다.

위치제어를 위하여 모터에는 인크리멘탈 엔코더가 부착되어 있으며 90°의 위상차를 가진 두개 슬롯이 엔코더에 붙어 있다. 이 엔코더를 빠져나온 출력은 업/다운 펄스로 바뀌어져 입출력 모듈 내의 Intel 8254 counter IC로 들어가게 된다. 그림 3에 2상신호에 의한 업/다운 펄스의 발생개념을 도시하였다.

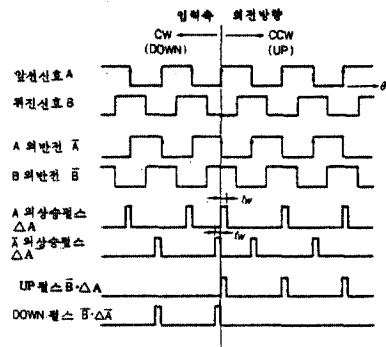


그림 3 2상신호에 의한 업/다운 펄스의 발생

모터의 속도제어를 위해서 서보 앰프를 모터의 입력전단에 부착하였다. 이 서보앰프는 모터내에 설치되어 있는 타코메터의 속도정보를 서보 앰프내의 비교기에 받아들인 후 PWM 제어방식에 의하여 속도제어를 원활하게 할 수 있다. 또 모터의 정역회전을 자유롭게 할 수 있도록 모터 구동회로가 서보 앰프내에 설치되어 있고 전류 제한회로도 포함되어 있다. 모터구동회로의 개략도는 그림 4와 같다.

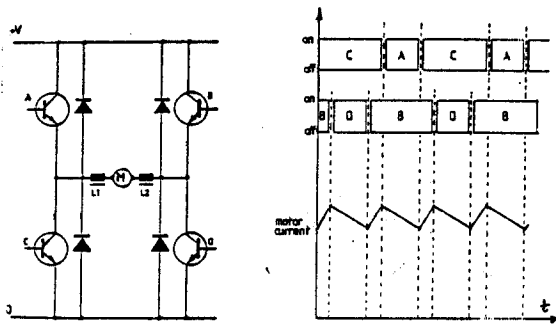


그림 4 모터구동회로 및 출력단계

제어기를 위한 소프트웨어로서는 SUN-3 워크스테이션에서 사용되는 MC 68000 어셈블러와 고급언어 Modula-2 언어를 사용하였다. 주 컴퓨터인 SUN-3 워크스테이션에서는 제어기내의 저장 프로그램을 위해서 68000 어셈블러와 다른 처리가능한 고급언어를 혼용하여 사용할 수 있다.

제어용 프로그램은 여러 화일들로 구성되어 있다. 크기는 어셈블러로 짜여진 화일과 Modula-2로 짜여진 화일들로 구성되어 있으나 Modula-2의 언어상의 특징으로 인하여 이와 같은 화일들의 분리는 각 화일들의 개발에 편리함을 가져다 주며 디버깅의 편리를 도모할 수 있다.

68000 어셈블러로 짜여진 제어모듈 화일은 제어기를 구성하고 있는 모든 IC들의 초기화와 동작을 제어하는 프로그램으로 이루어져 있다. 프로그램의 개념도는 그림 5와 같다.

Module-2로 짜여진 제어프로그램은 모니터에 출력하는 메시지를 전달하고 키보드의 입력값은 제어기에 전달하는 제어기와 콘솔간의 대화를 담당하는 프로그램이다. 이 프로그램의 개념도는 그림 6과 같다.

제어모듈 화일은 그림 5에서와 같이 제어기내의 모든 IC들을 동작대기상태로 만들어 모터의 디지털 제어를 위한 각 주기의 가로제기 동작을 제어해 준다. 가로제기 동안 sample position, Servo Axis, Linear Move 동작이 순차적으로 진행되며 sample position의

서브루틴에서 제어기는 업/다운 카운터로부터 현재의 위치를 읽어들이고 이 값은 제어기의 요구치와 비교하여 다음 주기동안의 이동량을 정의하게 된다.

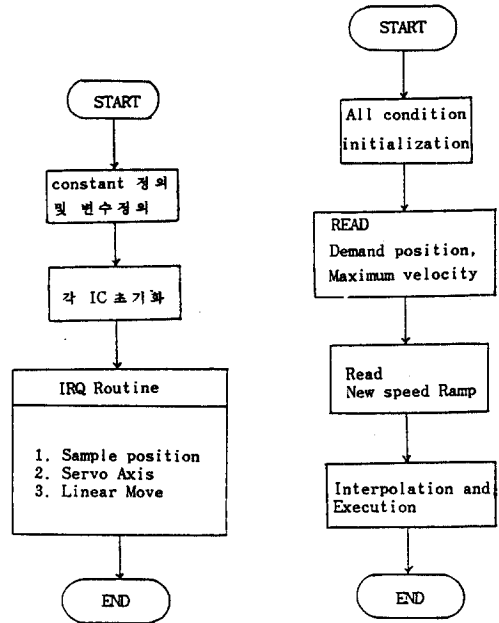


그림 5 제어모듈화일의 제정도 그림 6 제어프로그램의 제정도

Servo Axis 동작에서 이와 같은 이동량을 이에 대응하는 속도로 변환하여 서보 모터를 구동하게 된다. Linear Move 동작에서 다음 주기동안의 필요한 모터의 이동량을 계산하게 되는데 이 서브루틴에서 속도 프로파일링이 이루어진다. 단순한 속도 프로파일링에 의하면 전체 모터구동시에 모든 모터의 도착시간의 불일치로 인하여 로보트 알고리즘에 따른 구동의 어려움과 시각적인 면의 불합리성을 겪게 된다. 따라서 본 제어기에서는 최대 거리 이동모터의 거리이동량을 기준으로 보고, 이 값으로 모든 모터의 이동거리를 환산함으로써 모든 모터의 도착시간의 일치를 이루었다.

제어프로그램은 사용자가 각 모터를 제어하기 편리하도록 메시지를 모니터에 출력하게 되며 모터구동을 위한 데이터값을 사용자에게 요구하고 사용자가 메시지에 따라 데이터 입력시 제어기에 이 데이터를 전달하게 된다. 이외에 로보트 알고리즘의 분석에 따라 로보트 액츄에이터가 거리이동시 직선이동을 위한 보간계산이 이루어질 수 있으며 정역회 해석에 따른 위치제어, 동역학 해석에 따른 동역학 보상제어 프로그램이 첨가될 수 있다.

4. 6축 산업용 로봇에의 적용

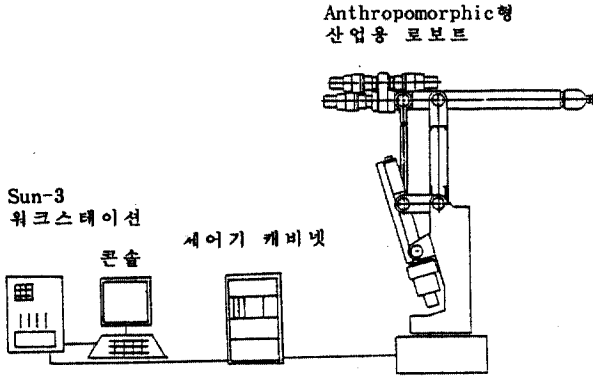
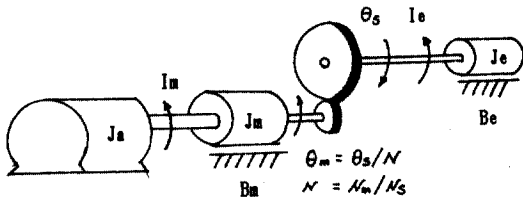


그림 7 산업용 로봇과 제어기의 구성도

그림 7과 같은 구조를 갖는 6축 구동 다관절형 산업용 로봇을 제어하기 위해서는 각 축에 필요한 6개의 직류 서보 모터의 동시 제어가 필요하다. 각축의 변화량의 제어는 이러한 직류 서보 모터의 구동속도와 비례관계에 따르고 서보모터와 액추에이터간의 관계를 표시하면 그림 8과 같다.



J_a : 액추에이터 관성

J_m : 매니퓰레이터 조인트 관성

J_e : 매니퓰레이터 링크 관성

B_m : 액추에이터의 뎀핑상수

B_e : 부하면의 뎀핑상수

i_m : 평균 마찰 토크

I_g : 관성 토크

I_m : 액추에이터 축 발생 토크

I_e : 관성 부하 토크

θ_m : 액추에이터 축의 각변위

θ_s : 부하면의 각변위

N_m, N_s : 액추에이터 축과 부하축의 기어 잇수

그림 8 구동모터와 액추에이터간의 구성도

그림 7에서 로봇팔이 공간상에서 자유롭게 물체를 잡기 위해서는 그림 8에서의 각축의 각변위 θ_s 에 따른 로봇의 베이스에서 로봇 손까지의 정역학이 필요하다. 이러한 정역학 해석이래 역 정역학 해석이 이루어지고 모든 공간의 로봇팔의 위치제어가 가능하게 된다.

산업용 로봇이 작업장에서 운반하거나 로봇팔이 작업함에 의해 걸리게 되는 부하가 클 경우에는 그림 8의 개념아래 충분한 동역학 해석이 이루어져야 한다. 로봇손이 작업하는 동안 각 샘플링 시간동안 역 동역학 해석이 처리됨으로서 로봇팔에 무리가 가지 않는 충분한 제어가 가능하다.

5. 결과 및 검토

본 제어기는 마이크로 프로세서로 MC 68008을 사용함으로써 처리속도를 높였으므로 산업용 로봇에 필요한 동역학 해석 등 모든 계산을 각 샘플링 시간동안 처리가 가능하게 하였다. 제어기를 제어카드와 입출력카드로 분리 제작함으로써 작업장에서 로봇에 수반되는 여러 자동제어장치의 증설에 따른 제어기의 확장을 편리하게 할 수 있게 하였다.

앞으로 제어기에 마이크로프로세서로 MC 68020 32 bit로 대체함으로써 연산프로그램의 함량을 피할 수 있고 자기동조제어 알고리즘을 직접 적용할 수 있다. 다음의 연구진행은 마이크로프로세서로 32 bit로 대체함과 동시에 산업용 로봇을 작업장에서 좀더 원활하게 제어하기 위해서 적응제어 알고리즘을 가진 훌륭한 제어 프로그램의 개발이 기대된다.

참고문헌

- [1] Sun-3 UNIX Interface Reference Manual, microsystem, 1986, 2., vol 14.
- [2] Kelly-Bootle and Fowler, "68000, 68010, 68020 Primer", Sams.
- [3] Modula-2 software development system, SDS-XP.
- [4] Yoram Koren, "Robotics for Engineers", McGraw-Hill Book Company,
- [5] R. Paul, "Robot Manipulators Mathematics, programming and control", The MIT Press, 1982
- [6] 김영태역, "센서 인터페이스", No. 3, 기전연구사, 1986.
- [7] 편지부역, "DC모터의 제어회로 설계", 도서출판 세운, 1985.