

KIMM ROBOT II의 서보제어기 구성

여인택 · 김일환 · 김문경*

Servo Control System of KIMM ROBOT II

*In Teak, Yea · Il Hwan, Kim · Mun Kyong, Kim**

1. 서 론

대부분의 制御機에서와 마찬가지로 로봇제 어기도 주제어기와 서보제어기로 나눌 수 있다. 이 중에서 서보제어기는 주제어기로부터 움직일 각도량과 속도에 대한 정보를 받아 이를 實時間적으로 기구계의 특성을 고려하여 실현시키는 역할을 맡게 된다. 그러므로 서보제어기는 로봇제어기의 실제적인 성능에 직접적인 영향을 주게 된다. 이 실제적인 성능이란 바로 로봇이 우리가 원하는 바의 운동을 하느냐 하는 것을 나타내므로 로봇에 어떠한 일을 시킬 것인가를 고려하여 주제어기와 협력하여 어떠한 제어방식을 택할 것인가를 고려하여 설계제작을 해야 한다. 이와같은 생각하에 본 연구에서는 회로구성에 있어 디지털방식을 택하여 制御精度

를 높이고 또한 연속제어의 성질을 그대로 가질 수 있게 실시한 지령펄스 발생기, 위치제어기를 제작하고 AC 서보모터 및 驅動裝置를 써서 서보제어기를 구성하였다.¹⁾

2. 본 론

본 연구에서 구성한 서보계는 그림(1)과 같이 구성하였다. 8086CPU를 중심으로 한 주제어기로부터 Position(θ)과 Velocity($\dot{\theta}$)를 받은 후 Interpolator는 이를 펄스열의 명령으로 위치제어기에 보내면 위치제어기는 Motor 驅動軸에 붙어 있는 Incremental encoder로부터 받은 펄스와 비교하여 모터구동장치에 속도 명령을 내어 이에 따라 모터를 구동함으로써 원하는 양만큼의 각도를 움직이도록 하였다. 또한 구동모터로 Brushless DC servo motor를 사

* 창원본소 자동제어실 : Member of Automatic Control Lab.

(註) 1) 안의 숫자는 참고문헌 표시임

용하여 이 모터가 갖는 경량화 및 보수용이라는 장점을 취하였으며 DC servo motor에 못지 않는 位置制御精度를 갖는다는 것을 확인하였다.

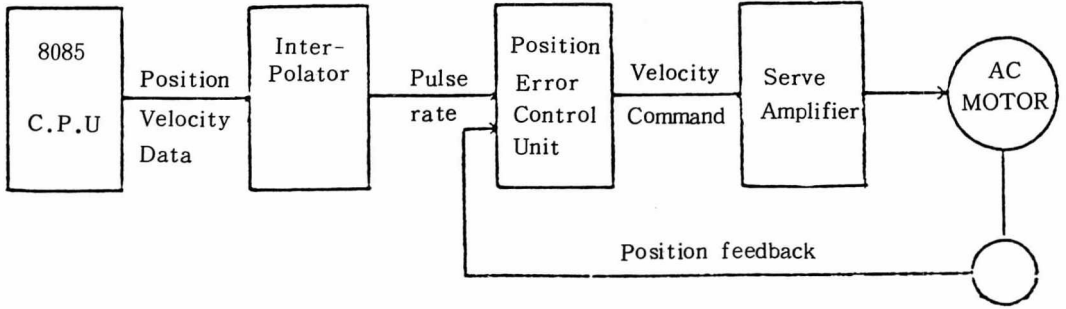


그림 1. 서보제어기 구성도

2.1 실시간 지령펄스 발생기(Interpolator)

Interpolator는 주제어계와 구동계를 연결시켜 주는 일을 하며 주제어기로부터 움직일 각도(θ)와 움직일 속도($\dot{\theta}$)에 대한 정보를 받아 실시간 명령인 펄스열로 바꿔주는 역할을 하는데 이때 모터의 매끄러운 운동을 위하여 펄스 빈도에 대한 加減速을 행하며 특히 連續經路制御를 할 때에는 각 Segment에 대한 θ 와 $\dot{\theta}$ 의 수행은 물론 주제어기의 시간을 빼지 않고 펄스를 분배하는 일을 하도록 하였으며 설계에 있어서 고려한 사항은 다음과 같다.

- 최대 펄스빈도 500K PPS
- PTP의 시작 및 끝점과 CP의 각 Segment 사이에서의 자동 가속
- CP에서 펄스분배중에 다음 Seg. 정보 받음
- 각 Seg.의 시작과 끝에서 주제어기와 Handshake

위와 같은 기능을 갖기 위해서 가장 필요한 것은 물론 아주 빠른 실시간 처리능력을 갖고 또한 유연성을 가져 회로의 기능을 쉽게 고치거나 더하게 하는 것으로 본 연구에서는 이를 위하여 Bit-Slice microprocessor를 써서 회로를 그림 2와 같이 구성하였다.

여기서 지령펄스 한 개를 내게 되면 모터 Encoder가 한 회전당 2,000개의 펄스를 내게 되어 있고 한 펄스를 4분주하고 구동축의 감속비를 100:1로 하였으므로 $360 / (2,000 \times 4 \times 100) = 0.00045 \text{ deg.}$ 움직이게 되므로 360 deg.를 나타내기 위해서 24Bit CPU를 만들었다.

그림 2를 간단히 설명하면 이 회로는 Am2901 6개로 이루어진 24-Bit CPU와 Am 2901을 중심으로 한 순서제어기와 주제어기와의 정보교환을 위해 필요한 I/O부분 및 모든 정보교환을 공급하는 256×38 Bit microprogram memory로 구성되어 있다.³⁾

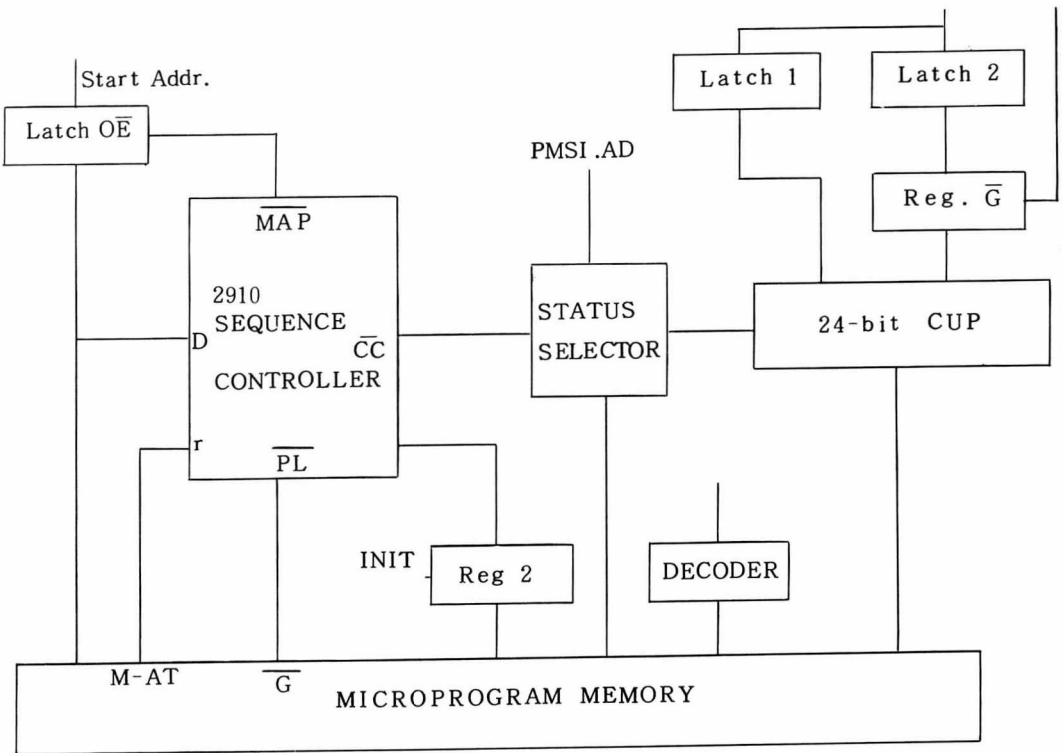


그림 2. 실시간 펄스발생기 구성

이 회로를 제어하는 마이크로프로그램의 내용은 주제어기로부터 정보를 받기 위한 Routine, P-TP 및 CP를 위한 실지 펄스발생 Routine으로 구성되어 있으며 펄스발생시에 가감속시간을 S/W 적으로 쉽게 변화시킬 수 있게 하였으며 특히 회전축의 방향이 변할 때는 시간을 S/W 적으로 제어할 수 있게 하였다. 여기서 가감속을 S/W 적으로 하는 것을 구체적으로 설명하면 다음과 같다.⁴⁾

그림 3을 수식화하면,

$$dx = (F_i - F_o) \cdot dt, \quad X(0) - Y(0) = 0$$

$$dY = F_a \cdot X \cdot dt$$

$$F_o \cdot dt = dY / 2^n \quad \text{이므로}$$

$$F_o = F_i \cdot [1 - \exp(-k \cdot F_z \cdot t / 2^n)],$$

$$(0 < t < T_d)$$

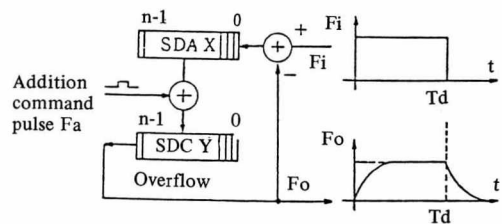


그림 3. 가감속 과정의 블록선도

여기서 T_d 는 감속이 시작되는 시점이며 이 식에서 F_i 및 F_o 에 펄스가 하나 발생할 때마다 X 에 몇개를 더하든가 빼든가에 따라 $\dot{\theta}$ 가 감속시간을 조절할 수 있으므로 특히 연속경로제어의 경우 Seg.와 Seg.사이에 $\dot{\theta}$ 의 변화를 매끄럽게 지정

하여 關節形 로봇의 경우와 같이 서보특성이 복잡하게 얽혀 있는 시스템을 제어하는 것이 용이하도록 PTP의 경우는 가감속 시간이 450m sec. Cp 경우는 10m sec. 가 되게 하였다.

2.2 위치제어기 구성

위치제어기는 실시간 지령펄스 발생기로부터의 지령펄스와 위치검출기로부터의 케환펄스를 받아 모터의 속도제어기에 아날로그 속도지령전압의 일을 담당하며 이를 위한 위치제어기의 구성은 그림 4와 같다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 위치제어기는 Receiver, Discriminator 및 DMR 그리고 CMR 및 Sine으로 이루어진 케환 및 지령펄스 처리부분과 74191 4개로 이루어진 16Bit error counter와 D/A 변환기로 구성되어 있다. 각 부분을 좀더 자세히 설명하면 Receiver는 75113을 써서 만들었는데 특히 Receiver는 로봇 Body모양상 모터에 전력을 공급하는 Cable과 케환펄스를 신는 Line이 가깝게 있고 AC 서보모터 구동에 있어서 Power transistor의 On/Off로 인해 생기는 Harmonics 성분의 영향으로 인한 간섭현상으로 Noise가 발생하므로 이를 차단하기

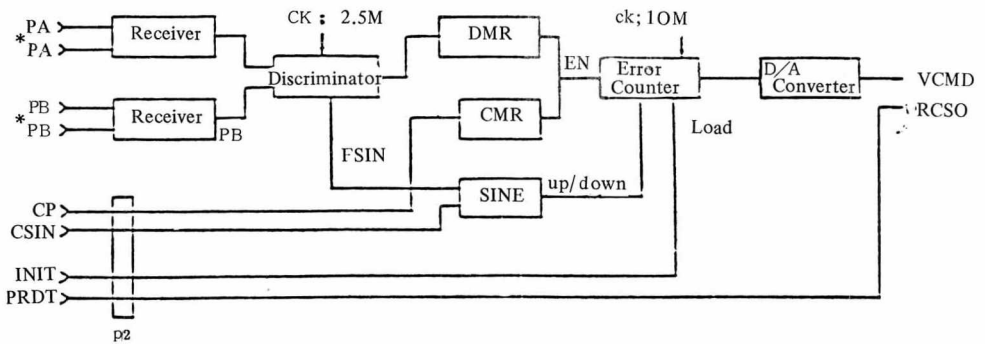


그림 4. 위치제어기의 구성도

위하여 Impedance balancing을 시켜 케환펄스를 받게 하였다.⁵⁾ 다음에 Discriminator는 Encoder의 PA 및 PB상 펄스로부터 모터의 회전 방향을 각 펄스마다 결정하고 케환펄스와 지령펄스를 시간적으로 격리시켜 처리함으로써 펄스를 잃어버리지 않고 Gear 비가 다른 경우나 속도 Resolution을 달리할 때 DMR, CMR 회로를 통하여 한 개의 펄스를 각각 다른 갯수의 펄스로 셀 수 있도록 하였다. 또 모터의 최대 회전속도가 3000rpm이므로 케환펄스는 최대 2000pulse/

rev. $\times 3000 \text{ rev.} / 60 \text{ sec.} \times 4 = 400\text{KHz}$ 이므로 Clock을 10MHz로 하였고 Error counter는 Synchronous counter로 설계하여 Synchronous 방식의 설계에서 발생하는 Noise 문제로 인한 Counter의 불안정을 피했으며 비동기 방식의 경우 D/A Converter의 값이 변할때 생기는 D/A Converter 값의 불안정을 우려했으나 Counter의 Clock이 10M이므로 D/A Converter의 변환시간이 늦기 때문에 문제가 없었다.

2.3 전체 서보시스템 구성 및 고찰

공작기계의 미끄럼운동을 제어대상으로 하는 것과는 달리 關節形 로봇의 서보시스템은 각 관절에 순간순간 다른 값의 Effective load inertia를 가능한 한 작게 로봇 Body를 설계하는 것이 바람직하지만 機構設計에서는 이를 고려하는 것이 어려운 일이므로 Inertia에 관련이 있는 가감속성분을 효과적으로 만들어내서 Effective load inertia의 영향을 적게 받는 것이 바람직하므로 본 연구에서는 가감속을 Exponential 함수 형태로 하였다.⁶⁾

또한 제어 Loop는 위치제어를 중심으로 생각하여 시스템을 구성하였다. 그래서 정상상태의 오차를 줄이기 위해 Position feedback gain을 높여 보았으나 자주 Error counter가 포화로 회전속도가 급격하게 변하게 되어 Effective load inertia의 영향을 받아 Body가 떨리는 현상이 나타나게 되므로 실험을 통하여 적절한 Gain을 선정하였다. 다음에 Error Counter의 값을 D/A 변환한 값이 되는 것을 염두에 두고 속도제어기의 입력전압이 10V일때 최대 2000 rpm이고 속도제어기의 속도제어 분해능을 고려해서 결정해야 한다. 즉 Bit수를 n이라 하고 속도제어 분해능을 d라 하고 D/A Converter의 이득을 h라 하면

$$d \cdot 2^{n-1} \cdot h = 10V \text{가 된다.}$$

여기서 속도분해능을 1 rpm으로 생각하면,
 $h = 10V / 2000 \text{ rpm} = 0.005V / \text{rpm}$ 이 되고 이를 1로 했을 경우

$$2^{n-1} = 10 / 0.005 = 2000 \text{ 이므로}$$

Error counter의 Bit수는 13이 됨을 알 수 있다. 그러나 모터의 순간속도는 Torque 일정 제어의 최대속도인 2000 rpm을 넘는 경우가 많고 실제속도의 분해능이 1 rpm이라 해도 명령을 1/2나 1/4로 생각해 주는 것이 바람직하다고 생각하여 본 연구에서는 16Bit로 만들어 정확한 위치제어를 도모했다.

그러나,실지로는 OP Amp의 Offset 및 속도

제어증폭기의 Offset 및 Dead zone이 있으므로 정확하게 한개 한개의 펄스를 서어비스하게 될지는 의문이다. 실험을 통해 확인한 바에 의하면 보통 서너개의 펄스는 수행을 못하고 있었다. 그러나,이 Error는 누적이 되는 것이 아니기 때문에 실제의 사용에는 문제가 없는 것으로 나타난다.

다음에 모터 및 모터구동장치를 Brushless DC servo motor로 선정하여 Rotor inertia가 적고 Motor의 무개를 줄여 Effective inertia를 적게 하였다. 이 모터는 구동방식은 AC이나 특성은 DC이므로 정확한 위치제어가 가능하였다. 그러나, 이 모터는 기계적인 Commutator가 없는 대신 전자적인 Commutator를 비교적 높은 Switching 주파수를 가지고 만들기 때문에 이로 인해 생기는 Noise 문제를 다루는 것이 DC Motor를 쓰는 경우에 비해 좀더 어렵다는 것을 알 수 있었다. 또한 Switching 성분의 Harmonics에 의한 소음문제도 단점으로 지적할 수 있다. 또한 미끄럼구동계와 달리 축을 중심으로 회전운동을 하는 로봇 Body와 같이 Load가 순간적으로 많이 변화하는 경우에는 특히 Torque 특성을 고려해 Torque 변화에 의한 속도가 낮아지지 않도록 충분한 Torque를 가진 모터를 선정해야 한다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 관절형 로봇의 서보계를 구성하였다. 서보계는 실시간 지령펄스 발생기, 위치제어기, 모터구동기 및 Brushless DC servo motor로 구성하였다. 설계에 있어 고려한 기본적인 사항은 실시간 지령펄스 발생기의 경우 최대펄스빈도 500K PPS, 자동 가감속 수행 및 가감속 시간의 S/W 적 결정 가능, 주제어기의 수행시간 단축이고, 위치제어기의 경우는 케환펄스와 지령펄스의 분리처리 및 구동축의 기어비가 다른 경우 일정한 속도지령을 낼 수 있고, 펄스 처리시의 Error를 없애는 것이다. 실험을 통해

서보계가 잘 동작하는 것을 확인하였으며, 실제 정하였다.
설계효과 및 Parameter의 선정을 확인하고 보

《參 考 文 獻》

1. T. UCHIYAMA; "A Small Articulated Robot with High Positioning Resolution" 12th ISIR p. 231-p. 240.
2. T. Iwakane, H. Inokuchi; "AC Servo Motor Drive for Precise Positioning Control" IEPO-Tokyo '83 p. 1453-p. 1464
3. Donnamaie E. White; "Bit-Slice Design; Controllers and ALUS", Garland STPM Press
4. 여인택, 노태석; "마이크로 프로세서를 이용한 인터플레이터," 전기학회논문지, '84, vol - 33, NO. 2
5. Henry W. OTT; "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems", Wiley-Interscience Publication
6. Richard P. Paul; "The Dynamics of the PUMA Manipulator", Purdue Univ. TA6-8:30