論 文

論文 78-15-6-10

마이크로프로세써의 制御 應用을 위한 소프트웨어 開發에 關한 硏究

(A Study on Software Development for Control Application of Microprocessors)

李 太 遠*
(Rhee, Tae Weon)

要 約

Micropocessor를 機械系의 制御에 應用하기 위하여 drilling machine의 自動化를 위한 Software를 開發하였다. Work table의 座標軸 方向의 變位를 담당하는 pulse motor가 指令 pulse에 忠實히 應答할 수 있도록 하기 위하여 最適 start-stop pulse rate를 調査하여 이를 matrix化 함으로서 實際 作業時에는 入力 data에 依하여 最適 pulse rate로 始動 또는 停止의 正確을 기하도록 하였다. Workt able의 x-y 平面內에서의 移動은 x軸 motor와 y軸 motor에 pulse를 교대로 보냄으로서 變位 時間을 短縮시켰다.

Program을 package化하여 作業仕樣에 따른 data만을 入力함으로서 使用의 便宜를 도모하였다.

Abstract

An assembly package program is developed for a computerized operation of a drilling machine system utilizing a microprocessor. Different drilling instruction requires merely the input of different sets of input data.

To make pulse motors to follow their input pulse trains with fidelity, an optimum start-stop rate matrix is proposed, whose elements are determined according to the pulse motor torque and the load inertia of the mechanical system composed of a workpiece and a worktable.

1. 序 論

工作 機械의 工程에 관한 情報를 數値化하여 종이 tape와 같은 記憶 媒體에 수록 하였다가 이것을 數値制御用 制御裝置에 入力시켜서 工作 工程을 制御하는 機能을 가지는 數値制御(以下 NC라고 略稱한다)工作機械[4]의 開發 硏究는 1940年代 末에 美空軍의 依賴에 따라 MIT의 Servo 機構 硏究所에서 시작 되었다. 그 結果로 1952年에 最初의 NC Milling machine이 製作되었으며 機械 工作의 精密度와 迅速性을 目標로 NC機械의 生産이 活潑하여졌다.

1960年代 中般에 들어서서 Minicomputer의 普及에 따라 從來의 NC 制御 裝置의 hardware를 minicomputer로 代置하게 되어 Computer Numerical control (CNC라고 略稱한다)의 槪念을 만들었으며 그 後에 INTEL 8080을 始初로 하는 Microprocessor의 出現으로 인하여 Microcomputer의 CNC 應用이 本 格化되었다.

國內에서는 이 分野에 關하여 韓國科學院[1,2]에서 硏究된 바 있는데 Minicomputer를 使用하는 方式이었다.

本 論文에서는 位置의 自動 制御를 所定 順序에 따라 實行하는데 필요한 program의 開發을 위하여 Drilling machine을 制御 對象 機種으로 하여 이것의 制御 機能을 hardware인 NC controller가 實行하는 model을 만들었다. 이 model의 hardware를 可能限

*正會員, 高麗大學校 工科大學電子工學科
(Dept. of Electronics Engr., Korea University)
接受日字 : 1978年 10月 18日

software化 하기 위하여 各種 問題點을 考察 하였으며 MC6800을 CP를 中心으로 하는 microcomputer를 利用하는 Cross Assembler에 의한 應用 program을 開發하였다.

2. CNC Drilling machine의 制御 model 決定

工作物의 구멍의 位置, 直經, 깊이를 選定하기 위하여 worktable의 x,y,z의 3方向의 移動과 drill tip의 選擇을 위한 drill fip mount의 廻轉等의 4個의 變數의 制御를 위하여 4個의 step motor가 必要하다. 그러나 電子回路 構成에 使用되는 PCB에서는 구멍의 直經과 깊이가 一定하므로 被制御 變數는 x,y의 두개 뿐이다.

Worktable의 x,y方向의 位置 選定, 그리고 구멍의 깊이와 直經의 選定의 順序로 考案한다. 이들의 制御에 必要한 step motor는 closed loop에 들어 있어서 變位目標量과 現在의 變位量의 比較가 可能한 것으로 假定한다.

xy方向의 位置 調節에 必要한 命令을 표 1과 같이 2bit로 符號化 한다.

표 1. x,y方向 變位 命令 符號

機 能	x方向 變位	y方向 變位
信號變數	CX	CY
命令符號	00 停止 01 x 增加 10 x 減少 11 停止	00 停止 01 y 增加 10 y 減少 11 停止

穿孔 工程에서 普通 方式은 停止하고 있는 工作物 上部 表面으로 drill tip이 下降하지만 本 研究에서는 drill tip이 固定되고 worktable이 z方向으로 變位하게 한다.

그러나 worktable의 xy方向 變位時와는 달리 z方向의 變位時에는 drill tip이 穿孔을 위하여 工作物에 壓力을 가하게 되므로 그 變位 速度를 고려하여야 한다. z方向의 制御를 위한 信號 變數를 CZ라 하고 필요 명령의 停止는 OO, 零變位(原點)로의 復歸는 10, z增加는 01, 停止를 11로 2bit 符號化 한다.

구멍의 直經은 4個의 tip의 選擇으로 制御한다. 4個의 drill tip을 worktable面과 垂直인 圓周上에 90°간격으로 放射線形으로 配置한 drill tip mount를 step motor로 廻轉시켜서 要求하는 tip이 work table을 直角으로 向하게 한다. drill mount의 廻轉 命令은 變數CD로 하며 1bit의 符號로서 0이면 drill mount 廻轉停止, 1이면 다음의 位置까지 90° 廻轉 시킨다.

以上의 네개의 變數 즉 CX, CY, CZ CD의 命令에 의한 現在의 變位量을 각각 X,Y,Z,D 라고 한다.

Drilling machine의 自動 制御에 所要되는 命令과 data는 종이 tape에 punch하여 paper tape reader로 入力 시킨다. reader를 作動시키기 위하여 Reader 制御信號 RC가 1로 入力되면 tape에 수록 되었던 情報인 RD와 reader 動作完了信號 ROC가 出力된다. RC가 1이되면 ROC는 0이 되어 tape의 한 column의 情報RD가 reader buffer로 傳送된 다음 ROC는 1이 되고 RC는 0으로 reset 된다.

work table의 x,y,z 方向의 識位 變數 X,Y,Z와 drill tip의 選擇을 위한 變數 D의 4個의 變數를 擔當하는 4個의 制御部에는 各變數의 目標準과 現在値의 位置變化命令, 動作完了信號, 變數選擇信號의 5個의 信號가 關聯되어 있다. 이것들을 羅列한 것이 표 2와 같다.

표 2. 變數制御 信號

變數 / 信號種類	X	Y	Z	D
目標變數値	DX	DY	DZ	DD
現在變數値	X	Y	Z	D
動作完了信號	OCX	OCY	OCZ	OCD
位置變化命令	CX	CY	CZ	CD
變數選擇信號	NSX	NSY	NSZ	NSD

이 變數制御를 擔當하는 各 block의 制御 論理를 다음과 같이 定한다.

A) X 制御 論理

入力 : X, DX, NSX

出力 : CX, OCX

$[OCX]=[1]$ if $[X]=[DX]$ and $[NSX]=[1]$

$[OCX]=[0]$ 上記 以外의 狀態

$[CX]=[0,0]$ if $[X]=[DX]$ and $[NSX]=[1]$ or if $[NSX]=[0]$

$[CX]=[0,1]$ if $[X]<[DX]$ and $[NSX]=[1]$

$[CX]=[1,0]$ if $[X]>[DX]$ and $[NSX]=[1]$

B) Y 制御 論理

入力 : Y, DY, NSY

出力 : CY, OCY

$[OCY]=[1]$ if $[Y]=[DY]$ and $[NSY]=[1]$

$[OCY]=[0]$ 上記 以外의 狀態

$[CY]=[0,0]$ if $[Y]=[DY]$ and $[NSY]=[1]$ or if $[NSY]=[0]$

$[CY]=[0,1]$ if $[Y]<[DY]$ and $[NSY]=[1]$

$[CY]=[1,0]$ if $[Y]>[DY]$ and $[NSY]=[1]$

C) Z 制御 論理

入力 : Z, DZ, NSZ

出力=CZ, OCZ

$[OCZ]=[1]$ if $[Z]=[DZ]$ and $[NSZ]=[1]$

$[OCZ]=[0]$ 上記 以外의 狀態

$[OCZ]=[0,0]$ if $[Z]=[DZ]$ and $[NSZ]=[1]$

or if $[NSZ]=[0]$

$[CZ]=[0,1]$ if $[DZ]=>[Z]$ and $[NSZ]=[1]$

$[CZ]=[1,0]$ if $[DZ]=[Z]$ and $[NSZ]=[1]$

D) D 制御 論理

入力 : D, DD, NSD

出力 : CD, OCD

$[OCD]=[1]$ if $[D]=[DD]$ and $[NSD]=[1]$

$[OCD]=[0]$ 上記 以外의 狀態

$[CD]=[0]$ if$[D]=[DD]$ and [NSD]=[1]

or if $[NSD]=[0]$

$[CD]=[1]$ if $[D]\neq[DD]$ and $[NSD]=[1]$

以上의 各 block를 包含하는 drilling machine의 全體的인 制御系統圖는 그림 1과 같다. 여기에서 主 switching 回路網은 Reader buffer와 system의 殘餘部와의 interface 機能을 가진다. Reader buffer에는 制御 對象인 4個의 變數中의 1個만에 關聯되는 命令과 data가 收錄되므로 主 制御部로 부터의 制御信號에 따라 그 情報를 該當變數의 制御部와 Instruction register로 傳送한다.

主 制御部에 入力되는 命令信號의 內容은 표 3과 같다.

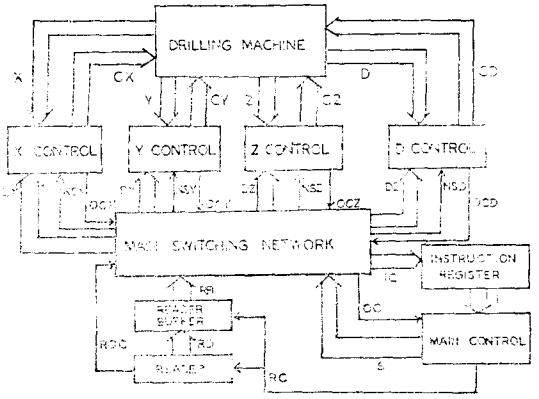

그림 1. Drilling machine의 制御 系統圖

Fig.1. Control system diagram of a drilling machine.

표 3. 主 制御部 命令 信號

命 令	關聯變數	I	命令符號
x方向移動	X	i_1	001
y方向移動	Y	i_2	010
穿孔	Z	i_3	011
Drill tip 選擇	D	i_4	100
work table의 z 方向 原位置復歸	없음	i_5	101
停止	없음	i_6	000

표 4. 主 switching部 入出力 信號

制 御 種 類	入力信號	符 號 化	出 力
入力 read	S_0	000	모든 出力信號=[0]
Instruction register를 set	S_1	001	$[IC]=[RB$의 命令部$]$
X制御	S_2	010	$[DX]=[RB$의 data部$]$ $[NSX]=[1]$, $[OC]=]OCX]$
Y制御	S_3	011	$[DY]=[RB$의 data部$]$ $[NSY]=[1]$, $[OC]=[OCY]$
Z制御	S_4	100	$[DZ]=[RB$의 data部$]$ $[NSZ]=[1]$ $[OC]=[OCZ]$
D制御	S_5	101	$[DD]=[RB$의 data部 $[NSD]=[1]$, $[OC]=[OCD]$
Work table의 原位置 復歸	S_6	110	$[NSZ]=[1]$ $[OC]=[OCZ]$

主 Switching部가 主制御로부터 받는 入力信號 S와 主 制御部로 보내는 出力信號인 $[OC]$, $[IC]$等의 內容은 표 4와 같다.

主 制御部의 機能을 flow chart로 나타낸 것이 그림 2이다.

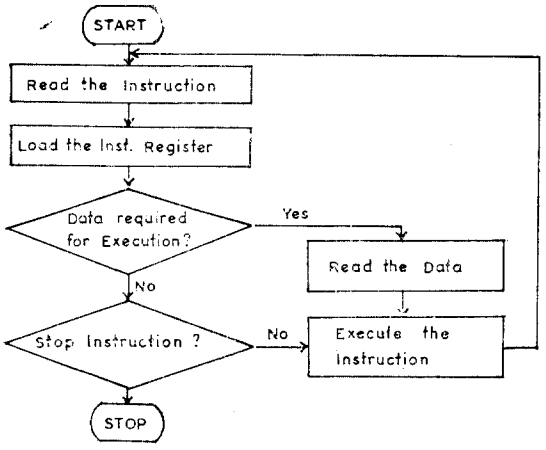

그림 2. 主 制御機能 flow chart
Fig.2. Main Controller function flow chart.

主 制御部의 機能을 그림 3의 상태 遷移圖로 나타내었다.

그림에서 q_0부터 q_5까지의 6個의 상태는 다음과 같다.

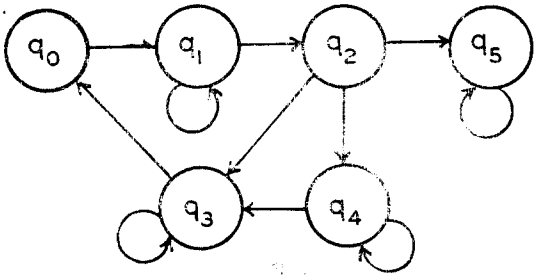

그림 3. 主制御部의 상태遷移圖
Fig.3. State transition diagram of main controller.

q_4: 命令實行에 必要한 data를 read하는 상태

q_5: 命令實行이 完了 된 상태

主 制御部의 入力은 $I=\{i_0,i_1,i_2,i_3,i_4,i_5\}$, $OC=\{0,1\}$이고 出力은 $S=\{s_0,s_1,s_2,s_3,s_4,s_5,s_6\}$, $RC=\{0,1\}$이므로 그림 3의 各 transition path에 $(I,OC)/(S,RC)$로 入出力 信號를 明示하여야 함으로 그 內容을 표 5에 나타내었다.

3. 驅動機構에 對한 考察

Microcomputer에 의해서 制御되는 펄스列을 받아서 Worktable의 正確한 x,y,z方向의 移動과 drill tip

표 5. 狀態遷移表

現在狀態	다음狀態	入 力	出 力	備 考
q_0	q_1	$[I]$,$[OC]$不問	$[S]=[S_0]$,$[RC]=1$	
q_1	q_1	$[I]$不問, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_0]$, $[RC]=[0]$	Read 未完了상태
q_1	q_2	$[I]$不問, $[OC]=[1]$	$[S]=[S_1]$, $[RC]=[0]$	
q_2	q_5	$[I]=[i_0]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_0]$, $[RC]=[0]$	
q_2	q_4	$[I]=[i_0Vi_2Vi_3]$	$[S]=[S_5]$, $[RC]=[1]$	
q_2	q_3	$[I]=[i_4]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_5]$, $[RC]=[0]$	
		$[I]=[i_5][OC]=[0]$	$[S]=[S_6]$, $[RC]=[0]$	
q_3	q_3	$[I]=[i_1]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_2]$, $[RC]=[0$	命令實行未
		$[I]=i_2]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_3]$, $[RC]=[0]$	完了상태
		$[I]=[i_3]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_4]$, $[RC]=[0]$	
		$[I]=[i_4]$, $[OC]=[0]$	$[S]=[S_5]$, $[RC]=[0]$	
		$[I]=[i_5]$, $[OC]=[0]$	$S=[S_5]$, $[RC]=[0]$	
q_3	q_0	$[I]=i_1Vi_2Vi_3Vi_4Vi_5]$	$[S]=[S_0]$	
		$[RC]=[1]$	$[RC]=[0]$	
q_5	q_5	$[I]$, $[OC]$ 不問	$[S]=[S_0]$, $[RC]=0$	
q_4	q_3	$[I]$不問, $[OC]=[1]$	$[S]=[S_0]$, $[RC]=[0]$	
q_4	q_4	$[I]$不問, $[OC]=[1]$	$[RC]=[0]$, $[S]=[S_5]$	data read 未完了 상태

q_0: initial state

q_1: Reader에서 命令을 read하는 상태

q_2: Instruction register에 load하는 상태

q_3: 命令을 實行하는 상태

回轉을 可能하게 하는 驅動力은 pulse motor[5,6]로 얻는 것으로 한다. 공급 받은 pulse의 個數에 比例하는 角變位의 軸回轉을 얻는 Digital-analog 變換 機能을 가지는 pulse motor의 捲線에는 順序的인 勵磁信號

가 必要한데 pulse列을 이 勵磁信號로 變換하는 state generator, 이 state geneator의 出力이 pulse motor의 驅動에 充分하도록 하기 위하여 電力增幅器가 必要하다.

實際로는 x,y,z方向의 直線變位를 위하여 3個의 pulse motor의 使用하나 그림 4와 같이 그중의 하나만을 擇하여 驅動系統을 나타내었다. Pulse motor를 2相驅動 方式으로 택하였을 때의 State generator의 回路圖의 한例[1]를 그림 5에 보였다. 이 그림에서 Direction signal은 motor의 回轉方向을 時計方向으로 또는 反時計 方向으로 定하기 위한 것이며 이 回路의 出力인 A_1, A_2, B_1, B_2는 motor에 必要한 勵磁信號로서 電力 增幅器에 入力된다.

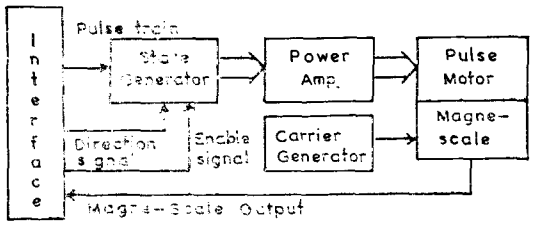

그림 4. pulse motor의 驅動系의 블럭圖
Fig. 4. Pulse motor driving system block diagram.

驅動系가 Closed loop系를 구성하기 위한 Feedback sensor로서 Magne-scale[7]을 설치하여 pulse列에 의한 pulse moter의 軸回轉의 結果인 直交座標 方向의 變位를 指令値와 비교할 수 있게 하였다.

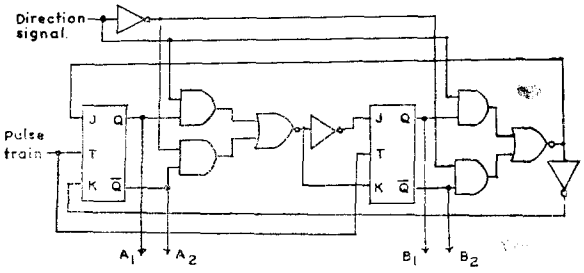

그림 5. 2相驅動 方式의 state generator 回路
Fig. 5. State generator network for two-phase driving of pulse motor.

眞線形의 磁性體에 一定 波長으로 磁氣 記錄한 것을 scale로 하여 機械의 可動 部分에 裝置하고 multigap head (MGH)를 써서 可動部의 變位値를 읽어내며 그 原理圖는 그림 6과 같다.

이 그림에서 두개의 head에 sin $\frac{wc}{2}t$인 搬送波를 入力시키면 그 出力은 각각 다음과 같다.

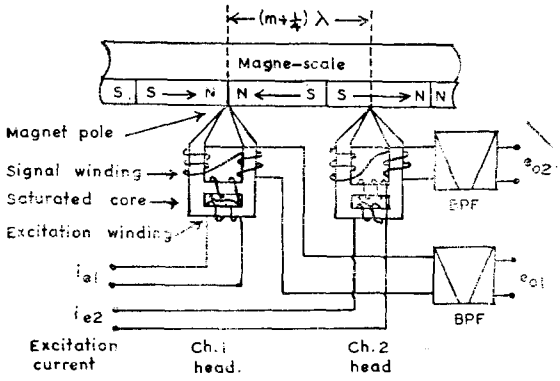

그림 6. Magne-scale 原理圖
Fig. 6. Schematic diagram of Magne-scale.

$$\left.\begin{aligned} e_{01} &= A \sin w_{ct} \cdot \sin 2\pi\, x/\lambda \\ e_{02} &= B \sin w_{ct} \cdot \cos 2\pi\, x/\lambda \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

여기서 x는 scale의 變位이고

λ는 scale上의 記錄된 NS의 波長이다. e_{01}의 搬送波의 位相을 90°移相하게 하고 e_{01}와 e_{02}의 振幅을 같게 하면

$$e = A \sin(w_c t + 2\pi x/\lambda) \quad (2)$$

가 되어 scale의 變位에 따른 位相變調 信號를 얻음으로 이것을 comparator로 矩形 pulse化하여 Interface로 feedback 시켜준다.

pulse motor의 pulse當 回轉角을 A_p[°], motor軸의 worm gear의 pitch를 G_p[mm]라면 N_p個의 pulse에 忠實히 應答 하였을 때의 直線變位値 D_p[mm]는

$$D_p = \frac{A_p}{360^\circ} G_p \cdot N_p \quad (3)$$

magne-seale上의 記錄波長을 L_w (mm), magne-scale의 出力 pulse를 N_m이라 하면 可動部의 實際的인 變位値는 $N_m \cdot L_w$이므로

$$E_p = \frac{360^\circ |D_p - L_w \cdot N_m|}{A_p \cdot G_p} \quad (4)$$

로 表示되는 個數의 error 교정 pulse를 error의 符號에 따라 定해지는 方向의 回轉이 이루어지도록 加해준다.

實際的인 경우의 A_p는 1.8°, G_p는 1mm 內外인데 2個의 pulse로 因한 直線變位는 1/100 [mm]이므로 이것을 誤差 許容値로 定한다면 變數로 表示된 誤差許容値 E_R은

$$E_R = \frac{A_p \cdot G_p}{180} \quad (5)$$

가 된다.

機械的인 負荷가 걸린 pulse motor에 순간적으로 pulse列을 加하거나 이를 차단할 경우에 주어진 pulse를 忠實히 받아서 始動하거나 停止하기 위해서는 pulse rate의 上限値를 고려하여야 하는데 이것은

표 6. 最適 start-stop Pulse Rate 表 [steps/s]

Load Inertia \ Torque	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	206	198	182	160	147	130	114	92	87
4	267	255	235	215	198	182	153	129	100
10	330	316	290	278	255	225	198	167	129
20	445	426	391	374	330	295	255	215	160
40	600	550	505	484	426	377	330	278	206

pulse motor의 torque의 機械的 負荷의 慣性能率에 의해서 決定된다. 代表的인 範圍를 調査[1]한 바 표 6과 같다.

표에서 Torque의 單位는 [*OZ*-in], Load intertia는 [*Lb*-in^2]이다. torque와 Load gnertia를 이 표보다 細分하고자 할 경우에는 다음과 같은 2次元 配列의 matrix를 만들어서 Index의 技法으로 最適pulse-rate를 구하도록 한다

$$[M]=\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13}\cdots\cdots r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23}\cdots\cdots r_{2m} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33}\cdots\cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \quad \vdots \\ r_{i1} & r_{i2}\cdots\cdots & r_{im} \end{pmatrix} \qquad (6)$$

여기서 行方向은 pulse motor의 torque, 列方向은 Load inertia에 따라 配列한 것이다. 이 두 parameter를 等差級數的으로 細分할 때 torque의 公差를 T_q, Load inertia의 것을 L_i라면 (6)의 配列의 S_{ab}인 要素는 $a \cdot L_i$인 Load inertia와 $b \cdot T_q$인 torque의 경우의 最適 start-stop pulse rate가 된다.

일단 始動한 pulse motor의 回轉에 따라 x,y 座標軸方向으로 work table이 移動할 때 컴퓨터로부터 보내어지는 指令 pulse는 x,y 方向을 交代로 보냄으로써 實際의 work table이 移動은 目標 座標로 最短거리를 따르게 한다.

4. 마이크로 컴퓨터의 構成

本 硏究를 위하여 使用하는 Microprocessor는 Motorola의 MC 6800[8]이며 이 MPU를 中心으로 構成한 Microcomputer system은 그림 7과 같다.

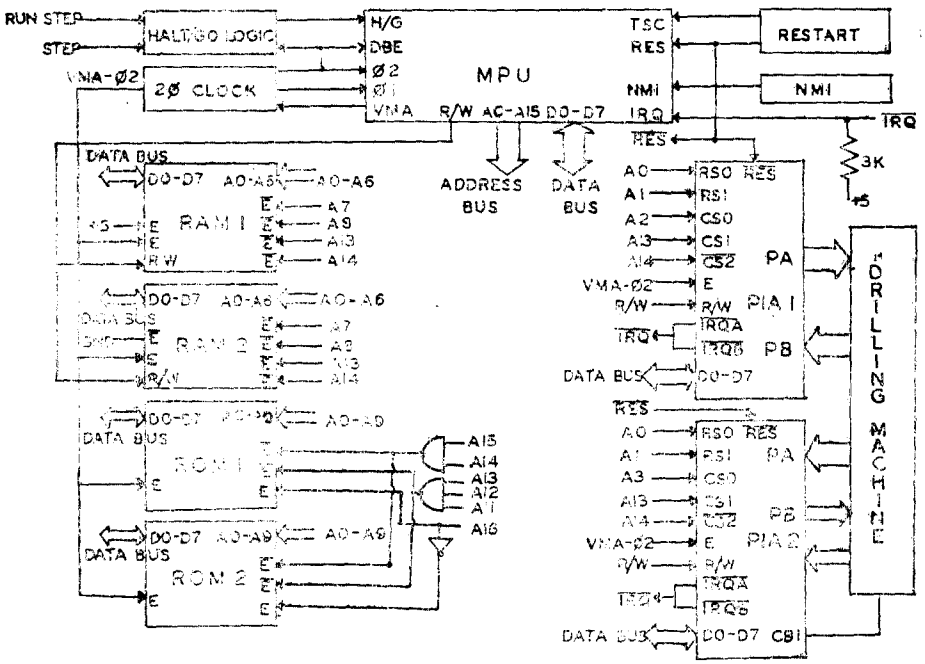

그림 7. Microcomputer 構成圖
Fig. 7. Microcomputer system.

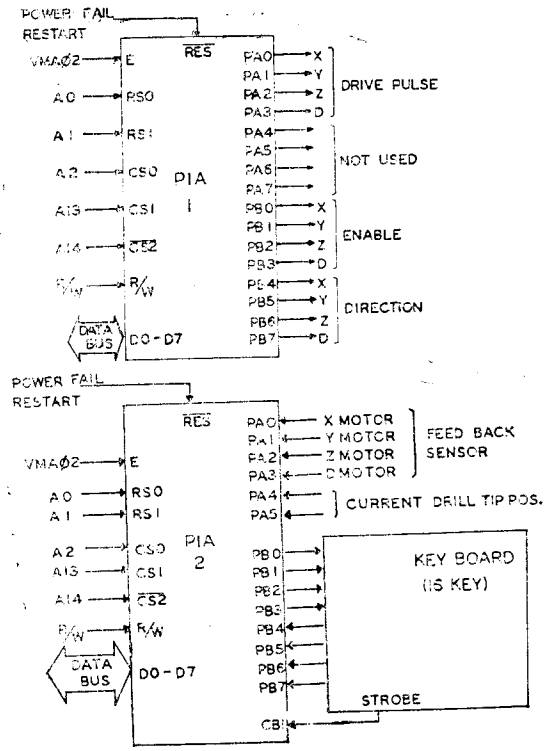

그림 8. PIA入出力 說明圖
Fig. 8. PIA connections.

中央處理裝置와 機構部, 入力 Keyboard와의 入出力을 위하여 두 개의 PIA (Peripheral Interface Adaptor)를 썼는데 이 部分을 그림 8에 상세히 나타내었다.

그림 8에서 PIA로 부터의 出力信號로는

1) 各 座標軸 motor와 drill tip 回轉用 motor로의 drive pulse 各 bit씩)
2) 各 pulse motor의 Enable 信號(各 1bit씩)
3) 各 pulse motor의 回轉方向 選擇信號(各 1 bit씩)
4) drill tip 角 位置 指令 code (2bit)

의 14bit의 信號가 PIA1의 A port와 B port를 통해서 出力되며 入力信號로는

1) *X,Y,Z,D* motor의 feedback sensor의 出力 pulse(各 1bits씩)
2) Drill tip의 現在 角位 置를 表示하는 code(2bit)

, PIA 2의 *A* port로 入力된다.

PIA 2의 *B* port의 8個는 16key로 된 keyboard가 連結되고 control signal bit CB1은 keyboard strobe로 쓴다.

5. Software 設計

Drilling machine의 computer數値制御, 特히 Microprocessor를 利用하는 數値制御에는 制約 要件이 있으므로 Compiler 言語에 의한 program은 不可能하므로 本 硏究에서는 M6800 Cross Assembler[9]를 使用하는 것으로 하며 現場의 作業仕樣에 따른 所要 data의 入力만으로 作業이 自動化 되도록 하였다.

作業의 精度를 위하여 worktable의 直線變位를 위한 座標値는 $\frac{1}{100}$mm 單位로 하고 座標値는 2 個 byte에 收錄 될 수 있는 650mm를 最大 限度로 하였다.

所要入力 data를 다음과 같이 分類하여 그 變數를 規定한다.

1) Drilling machine System自體의 規格에 관한 data
   ⓐ *M*(2 bytes): Pulse motor의 torque [OZ-in]
   ⓑ *GP*(1byte): motor 回轉軸의 worm gear의 pitch $\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓒ *AP*(1byte): Pulse當의 motor 回轉軸의 回轉角 $\left[\frac{1}{10}\text{度}\right]$
   ⓓ *WV*[1byte]: Magne-scale의 波長$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓔ *HC* (2bytes): drill의 spindle의 下端과 work table의 上面間의 거리$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$

이러한 data는 作業仕樣에 關係 없는 것 들이다.

2) 作業仕樣에 따라 必要한 data
   ⓐ *IL* (1 byte,以後 byte를 *B*로 表示한다) : 被工作物과 worktable을 포함한 系의 Load inertia [Lb-in^2]
   ⓑ *HW* (2B): 被工作物의 두께$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓒ *JN*(1B): 穿孔할 구멍의 數
   ⓓ *X*(2B): 구멍의 x좌표$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓔ *Y* (2B): 구멍의 y좌표$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓕ *Z*(1B): 구멍의 깊이$\left[\frac{1}{100}\text{mm}\right]$
   ⓖ *D*(2bit): 所要 tip의 指定 code

program의 實行에 必要한 그外의 變數를 다음과 같이 規定한다.

CV(2B): 直線거리로부터 所要 pulse數로의 變換係數
DS(2B): 最適 start-stop pulse rate에 의한 1秒間의 直線變位値
DI (2B): drill tip이 被工作物 表面까지 移動하는 거리
RP(2B): drill tip을 90°回 轉시키는데 要하는 pulse數

XP,YP(各 2B): 앞의 作業의 각각 *x,y*軸 座標値

PCX, PCY. PCZ. PCD(各 2B): 各 座標軸의 直線變位및 drill tip 回轉을 위해서 motor에 보내는 Pulse 計數

NFX, NFY, NFZ (各 2B): 各 座標軸 方向의 feed-back sensor로 부터의 pulse 計數

DPX, DPY(各 2B): 앞의 作業의 座標値와 比較한 각각 *X*및 *Y*軸 方向의 所要移動거리

NSP(2B): 最違 start-stop pulse rate [steps/s]

NPX, NPY, NPZ(各 2B): *DPX, DPY, DPZ*를 각각 pulse數로 換算한 값

PR(2B): 所要移動 거리중에서 最適 start-stop rate로 移動하는 區間을 除한 殘餘區間 거리를 pulse數로 換算한 값

EX, EY, EZ 2B): 各各 座標軸 方向의 變位指令値와 實際變位値와의 差

NVX, NVY(各2B): 앞의 作業의 各 座標値를 pulse數로 換算한 값

DP (2bits): 앞의 作業에서의 drill tip 位置表示 code

ND(2B): 目標 角 位置로 tip이 回轉하기 위한 所要 pulse數

PKX, PKY, PKZ(各 2B): feedback sensor의 出力과 比較하여 判明된 較正變位를 위하여 各 座標軸 motor로 보내는 Pulse 計數

PHD(2B): 穿孔할 깊이를 pulse數로 換算한 것

ZD(2B): 穿孔 作業을 위하여 drill tip이 下降하여야 할 目標거리

ZS(2B): *Z*軸 方向의 worktable의 實際的 變位値

SZD(2B): 實際로 穿孔 作業을 위하여 drill tip이 下降한 거리

ER(2B): 誤差許容値

x,y 座標로 定해지는 穿孔 位置로의 最短거리 移動을 위해서 *x,y*軸을 담당하는 두 motor로 보내는 pulse는 Enable을 *x,y*軸에 pulse step마다 교대로 하여 實際로는 work table이 目標位置로 直進한다. 그러나 移動하여야 할 變位値가 다를 경우에는 그림 9의 實線과 같은 經路를 따라서 *A*에서 *B*로 移動한다. 그림에서 (*XP, YP*)는 앞의 穿孔作業의 *xy* 座標値이며 (*X,Y*)는 目標位置의 座標이다. *C*點의 *y*座標는 $Y' = YP + (X - XP)$가 된다.

Data의 入力 format는 그림 10과 같다.

그림에서 *X,Y,Z,D*에 붙은數字는 구멍의 順番을 나타낸다. 所要 data는 整數型으로 되어 있으며 Keyboard의 該當 numeric key를 눌러서 10進數로 入力

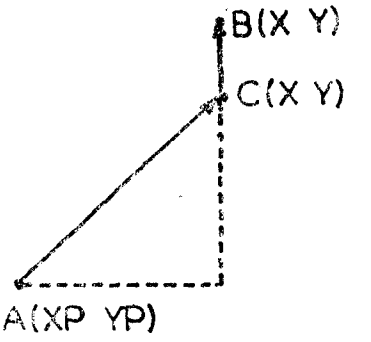

그림 9. *x-y*平面에서의 移動
Fig. 9. Actual movement on *x-y* plane.

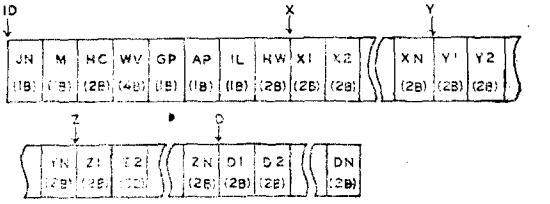

그림 10. 入力 format
Fig. 10. Input format.

시키며 Control key로서 다음의 5個를 定한다.

ID key: 구멍의 位置나 깊이에 關한 data以前에 必要한 上記 1)項의 data의 入力에 앞서 눌러야 하는 key

X key: *x* 座標値의 入力에 앞서서 눌러야 하는 key

Y key: *y* 座標値 入力直前에 누르는 key

Z key: 구멍의 깊이의 入力直前에 누르는 key

D key: drill tip선택 code入力直前에 누르는 key

그림 10의 화살표 위의 表示는 눌러야 할 key의 종류를 나타낸 것이다.

Drilling machine의 穿孔 作業을 自動 制御하기 위한 program 作成에 必要한 flowchart는 그림 11과 같은데 JOB DATA READ, KEY DETECTION, PULSE GENERATION의 3個의 SUBROUTINE이 있다.

이 flowchart에 따라서 作成한 Assembly listing은 943個의 line을 차지하며 그 앞의 부분을 附錄에 나타내었다.

6. 結 論

Microprocessor를 中心으로 한 microcomputer를 써서 drilling machine의 穿孔 作業을 自動하기 위한 software를 構成하여 作業仕樣에 따른 data만의 入力

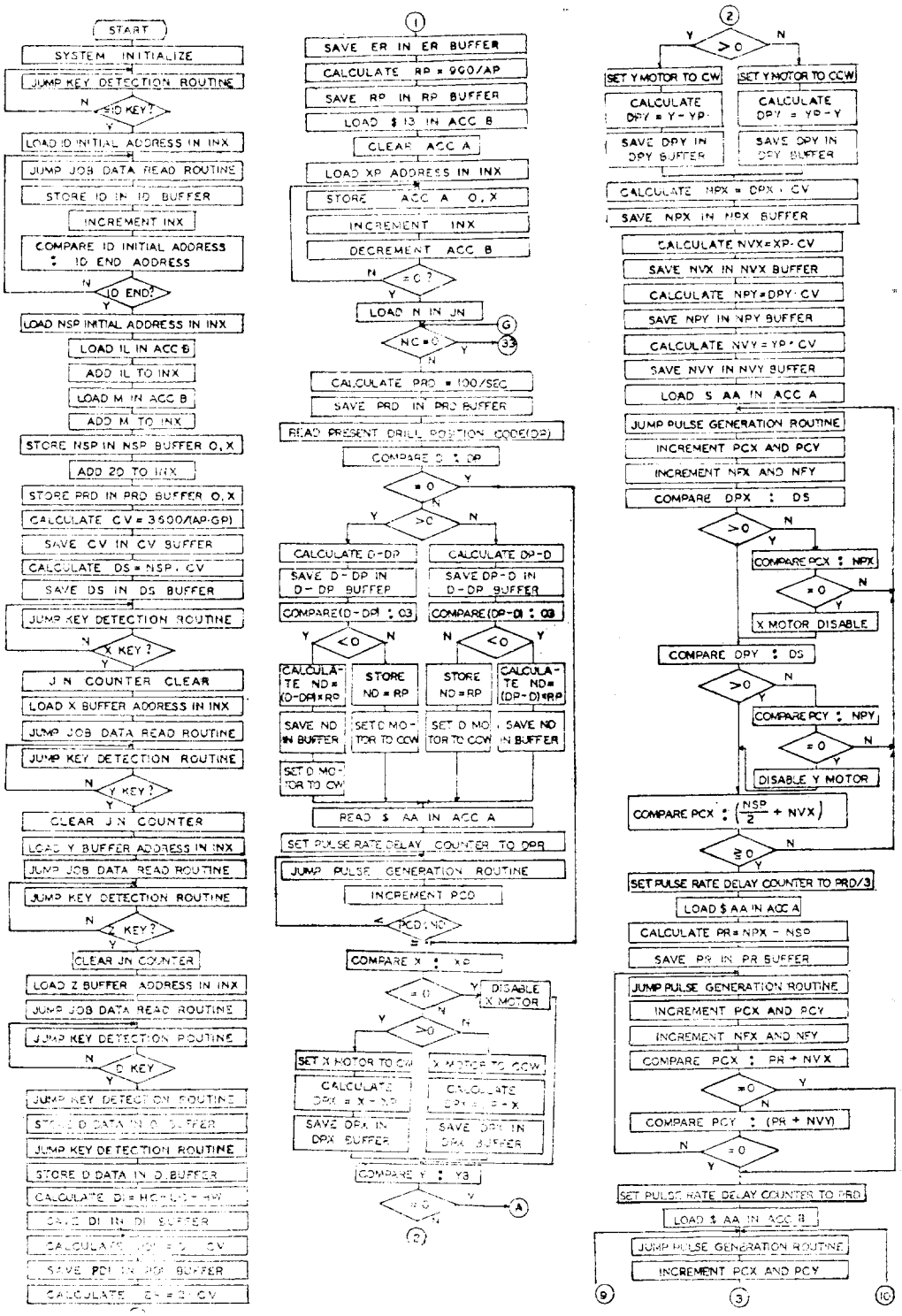

그림 11. 全體 Flow chart
Fig. 11. Total Flow chart.

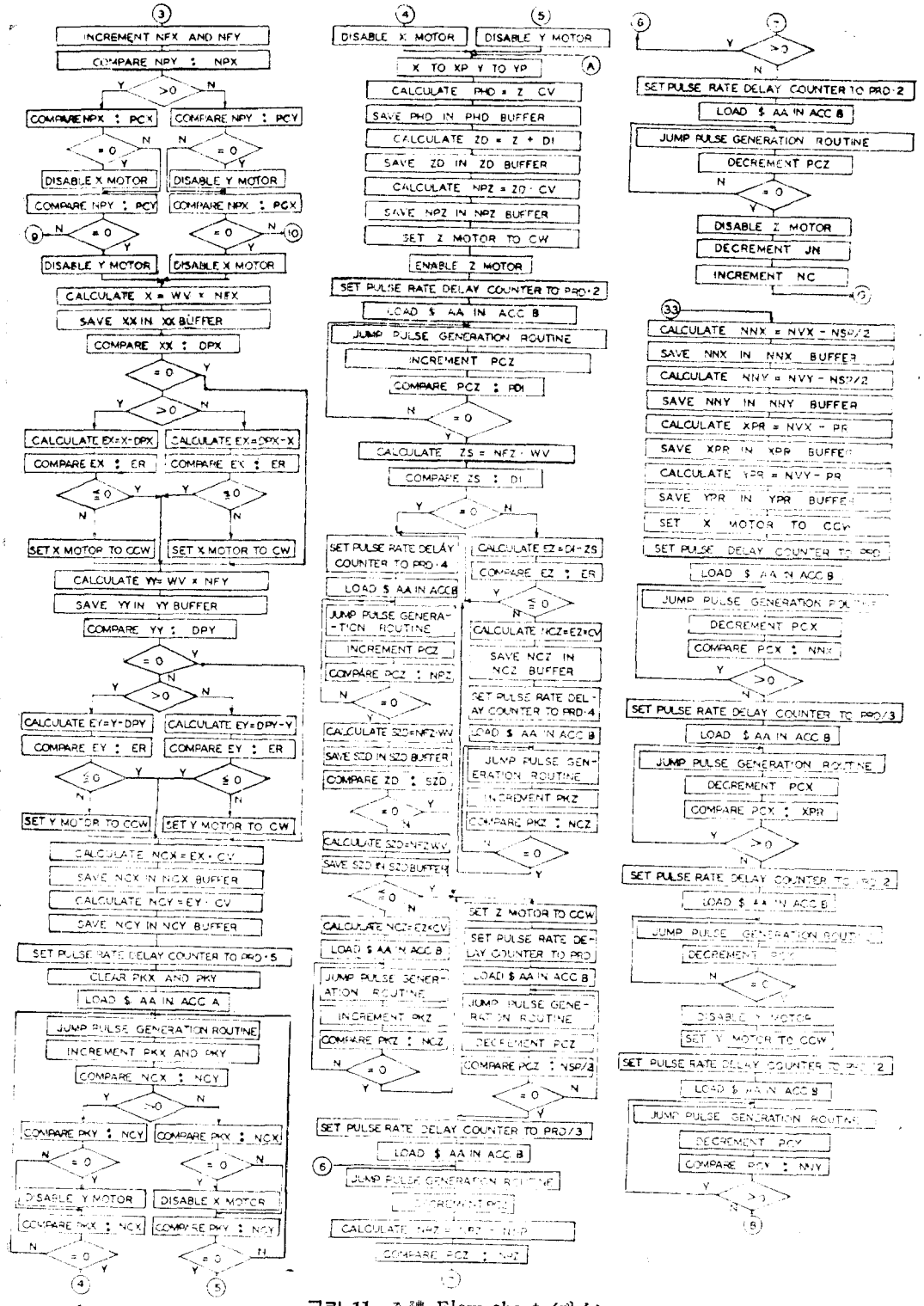

그림 11. 全體 Flow chart (계속)
Total flow chart (cont'd)

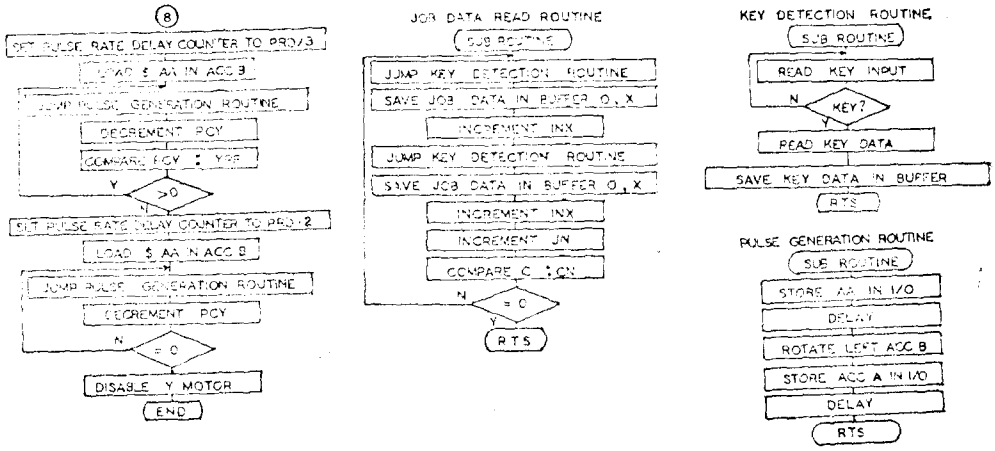

그림 11. 全體 Flow chart (계속)
Fig. 11. Total Flow chart. (cont'd)

으로서 實行이 可能하도록 이를 package化하 였다.

座標軸 方向의 變位가 指令値에 忠實히 따르면서 始動 또는 停止할 수 있도록 最適 start-stop pulse rate를 調査하여 이를 matrix化 함으로써 motor의 pulse torque와 Load inertia가 주어지면 忠實한 始動과 停止에 必要한 最高速度의 pulse rate로 workt able이 移動하되 始動및 停止區間을 除外한 區間에서는 이 puls rate를 3倍로 함으로서 移動時間 短縮을 도모하였다. 그러나 軸方向의 Z移動에서 worktable과 被工作物의 荷重, 穿孔에 따른 機械的 抵抗을 감안하여 穿孔始開始時부터는 pulse rate를 x,y軸方向의 始動 pulse rate의 半으로 하였다.

本 硏究는 峨山社會福祉事業財團의 硏究 開發費에 의하여 이루어졌다.

參 考 文 獻

1. 이종흥外, "기존 Milling Machine의 Numerical Control" 科學技術處硏究報告書 1975.
2. Moon Sub Song,"On-line Computer Control of Machine-tool," KAIS 1976.
3. Taylor L. Booth, "Sequential Machines and Automata Theory", John Wiley, 1967 (pp' 282~303).
4. 伊藤外, "工作機械事典"新光社 1973.
5. Jacob Tal, "Step Motor Control for Maximum Torque", IEEE Transactions on Automatic Control, April 1976.
6. Toacse and Culpi, "Time-Optimal Control of a Stepping Motor", IEEE Transactio n on Industrial Electronics and Control Instrumentation, Vol IECI-23, No.3, August 1976.
7. 大久保浩之, "精密 Digital位置表示 System", 機械와 工具 Feb.1975.
8. Motorola, "M 6800 Microcomputer System Design Data", Motorola, 1976.
9. Motorola, "M6800 Microprocessor Application Manual", Motorola, 1977.

附 錄

```
PAGE  001   MACP   ** MICROPROCESS CONTROL AFFLICATION PACKAGE PROGRAM**

00001                              NAM    MACP
00002                              TTL    ** MICROPROCESS CONTROL AFFLICATION
00003                              OPT    REL
00004B 0000                        BSCT
00005B 0000     0001  A N          RMB    1          NUMBER OF DRILLING JOB
00006B 0001     0001  A M          RMB    1          MOTOR TORQUE
00007B 0002     0003  A HC         RMB    3          SPINDLE-WORK TABLE GAP
00008B 0004     0001  A WV         RMB    1          MAGNETIC SCALE WAVE LENGTH
00009B 0005     0001  A GP         RMB    1          GEAR PITCH
00010B 0006     0001  A AP         RMB    1          ANGLE OF A PULSE
00011B 0007     0001  A IL         RMB    1          LOAD INERTIA
00012B 0008     0003  A HW         RMB    3          WORK THICKNESS
00013B 000A     0003  A NSP        RMB    3          START-STOP PULSE RATE
00014B 000C     0003  A PRD        RMB    3          PULSE RATE DELAY
00015B 000E     0003  A CV         RMB    3          DISTANCE-PULSE CONVERSION
00016B 0010     0002  A OS         RMB    2          OPTIMUM START-STOP RATE OI
00017B 0012     0001  A JN         RMB    1          JOB  NUMBER COUNTER
00018B 0013     0003  A DI         RMB    3          DRILL TIP-WORK PIECE DISTA
00019B 0015     0003  A PDI        RMB    3          DRILL TIP-WORK PIECE DISTA
00020B 0017     0002  A ER         RMB    2          ERROR TOLERANCE
00021B 0019     0002  A RF         RMB    2          DRILL TIP ROTATION ANGLE F
00022B 001B     0002  A XP         RMB    2          PREVIOUS JOB X COORDINATE
00023B 001D     0002  A YP         RMB    2          PREVIOUS JOB Y COORDINATE
00024B 001F     0003  A PCX        RMB    3          X MOTOR DRIVE PULSE STEPS
00025B 0021     0003  A PCY        RMB    3          Y MOTOR DRIVE PULSE STEPS
00026B 0023     0003  A PCZ        RMB    3          Z MOTOR DRIVE PULSE STEPS
00027B 0025     0003  A DPR        RMB    3          DRILL PULSE RATE
00028B 0027     0002  A DF         RMB    2          DRILL POSITION
00029B 0029     0003  A PCD        RMB    3          D MOTOR DRIVE PULSE STEPS
00030B 002B     0003  A DPX        RMB    3          X AXIS DISPLACEMENT
00031B 002D     0003  A DPY        RMB    3          Y AXIS DISPLACEMENT
00032B 002F     0003  A NPX        RMB    3          REQUIRED PULSES FOR DPX
00033B 0031     0003  A NPY        RMB    3          REQUIRED PULSES FOR DPY
00034B 0033     0003  A NVX        RMB    3          XP*CV
00035B 0035     0003  A NVY        RMB    3          YP*CV
00036B 0037     0003  A PR         RMB    3          NPX-NSP
00037B 0039     0002  A XX         RMB    2          WV*NPX
00038B 003B     0002  A YY         RMB    2          WV*NPY
00039B 003D     0003  A NCX        RMB    3          EX*CV
00040B 003F     0003  A NCY        RMB    3          EY*CV
00041B 0041     0003  A PHD        RMB    3          Z*CV
00042B 0043     0002  A ZD         RMB    2          Z*DI
00043B 0045     0002  A NPZ        RMB    2          ZD*CV
00044B 0047     0002  A ZS         RMB    2          NPZ*WV
00045B 0049     0002  A EZ         RMB    2          DI-ZS
00046B 004B     0002  A SZD        RMB    2          NPZ*WV
00047B 004D     0002  A NRZ        RMB    2          NPZ-NSP
00048B 004F     0002  A NNX        RMB    2          NVX-NSP
00049B 0051     0002  A NNY        RMB    2          NVY-NSP
00050B 0053     0002  A XPR        RMB    2          NVX-PR
00051B 0055     0002  A YPR        RMB    2          NVY-PR
00052B 0057     0002  A NSPI       RMB    2          NSP INITIAL ADDRESS HOLDER
00053B 0059     000C  A            RMB    12
00054B 0065     0002  A LC         RMB    2
00055B 0067     0003  A ND         RMB    3          (D-DP)*RF
00056B 0069     0001  A NC         RMB    1          JOB DATA COUNTER
00057B 006A     0003  A            RMB    2
00058B 006C     0002  A NFX        RMB    2

PAGE  002   MACP   ** MICROPROCESS CONTROL AFFLICATION PACKAGE PROGRAM**

00059B 006E     0003  A NFY        RMB    3          MAGNETIC SCALE COUNTER
00060B 0070     0003  A NXR        RMB    3          PR*NVX
00061B 0072     0003  A NYR        RMB    3          PR*NVY
00062B 0074     0003  A            RMB    3          ADDEND BUFF (74)
00063B 0076     0003  A            RMB    3          ADDER BUFF
00064B 0078     0003  A EX         RMB    3          NX-DPX
00065B 007A     0003  A EY         RMB    3          YP-DPY
00066B 007C     0003  A PKX        RMB    3          STOP COUNTER
00067B 007E     0003  A PKY        RMB    3          STOP COUNTER
00068B 0080     0002  A PKZ        RMB    2
00069B 0082     0002  A NFZ        RMB    2          MAGNETIC SCALE
00070B 0084     0002  A NCZ        RMB    2          EZ*CV
0071A F000                         ORG    $F000
00072                      NOPX    MACR
00073                      0000    LDAA \0
00074                      0000    LDAB \0+1
00075                      0000    SUBB \1+1
00076                      0000    SBCA \1
00077                      0000    ENDM
00078A F000 4F                     CLRA               CLEAR PIA
00079A F001 CE 2000  A             LDX    #$2000
00080A F004 A7 00    A CLP         STAA   ,X
00081A F006 08                     INX
00082A F007 8C 2008  A             CPX    #$2008
00083A F00A 26 F8 F004             BNE    CLP
00084A F00C 86 FF    A             LDAA   #$FF        INITIALIZE PIA
00085A F00E B7 2004  A             STAA   $2004
00086A F011 86 FD    A             LDAA   #$FD
00087A F013 B7 2006  A             STAA   $2006
```

```
0008BA F016 CE 2001  A          LDX   #$2001
0008DA F019 86 04    A          LDAA  #$04
0008FA F01B A7 00    A INP      STAA  ,X
00091A F01D 08                  INX
00092A F01E 08                  INX
00093A F01F 8C 2009  A          CPX   #$2009
00094A F022 26 F7 F01B          BNE   INP
00095A F024 BD F778  A KDT1     JSR   KEDET    ID KEY DETECTION
00096A F027 81 84    A          CMPA  #$84
00097A F029 26 F9 F024          BNE   KDT1     IS IT ID KEY?
00098A F02B CE 0000  A          LDX   #$0000
00099A F02E BD F78F  A JDR1     JSR   JDAT     JOB DATA READ
00100A F031 A7 00    A          STAA  ,X
00101A F033 08                  INX
00102A F034 8C 0009  B          CPX   #HW+1
00103A F037 26 F5 F02E          BNE   JDR1
00104A F039 CE 0100  A          LDX   #$0100   NSP INITIAL ADDRESS
00105A F03C DF 57    B          STX   NSPI
00106A F03E 96 07    B          LDAA  IL
00107A F040 9B 58    B          ADDA  NSPI+1
00108A F042 9B 01    B          ADDA  M
00109A F044 97 58    B          STAA  NSPI+1
00110A F046 DE 57    B          LDX   NSPI
00111A F048 AE 00    A          LDS   ,X
00112A F04A 9F 0A    B          STS   NSP
00113A F04C 86 59    A          LDAA  #$59     PRD ADDRESS MANIPULATE
00114A F04E 9B 58    B          ADDA  NSPI+1
00115A F050 97 58    B          STAA  NSPI+1
00116A F052 DE 57    B          LDX   NSPI

PAGE  003   MACP   ** MICROPROCESS CONTROL APPLICATION PACKAGE PROGRAM**

00117A F054 A6 00    A          LDAA  ,X       PRD SEARCH
00118A F056 97 0C    B          STAA  PRD      SAVE PRD
00119A F058 A6 01    A          LDAA  1,X
00120A F05A 97 0D    B          STAA  PRD+1
00121A F05C 7F 005D  A          CLR   $5D
00122A F05F 7F 005F  A          CLR   $5F
00123A F062 96 06    B          LDAA  AP
00124A F064 97 5E    A          STAA  $5E      STORE AP IN MULTIPLICAND B
00125A F066 96 05    B          LDAA  GP
00126A F068 97 60    A          STAA  $60      STORE GP IN MULTIPLIER BUF
00127A F06A BD 0000  A          JSR   MUTP     JMP MULTIPLICATION ROUTINE
00128A F06D CE 0E10  A          LDX   #3600
00129A F070 DF 59    A          STX   $59      STORE 3600 IN DIVIDEND BUF
00130A F072 DE 5D    A          LDX   $5D
00131A F074 DF 5B    A          STX   $5B      STORE AP*GP IN DIVISOR BUF
00132A F076 BD 0000  A          JSR   DIVS     JUMP DIVISION ROUTINE
00133A F079 DE 59    A          LDX   $59
00134A F07B DF 0E    B          STX   CV       SAVE CV
00135A F07D DE 0A    B          LDX   NSP
00136A F07F DF 59    A          STX   $59      STORE NSP IN MULTIPLICAND
00137A F081 DE 0E    B          LDX   CV
00138A F083 DF 5B    A          STX   $5B      STORE CV IN MULTIPLIER BUF
00139A F085 BD 0000  A          JSR   MUTP     JMP MULTIPLICATION BUFF
00140A F088 DE 59    A          LDX   $59
00141A F08A DF 0A    B          STX   NSP      SAVE DS
00142A F08C BD F778  A KDT2     JSR   KEDET    X KEY DETETION
00143A F08F 81 44    A          CMPA  #$44
00144A F091 26 F9 F08C          BNE   KDT2     IS IT X KEY?
00145A F093 7F 0012  B          CLR   JN       CLEAR JN
00146A F096 CE 0160  A          LDX   #$0160   X ADDRESS TO IDX
00147A F099 BD F78F  A          JSR   JDAT     JUMP JOE DATA READ
00148A F09C BD F778  A KDT3     JSR   KEDET    Y KEY DETECTION
00149A F09F 81 48    A          CMPA  #$48
00150A F0A1 26 F9 F09C          BNE   KDT3     IS IT Y KEY?
00151A F0A3 7F 0012  B          CLR   JN       CLR JN
00152A F0A6 CE 0150  A          LDX   #$0150   Y ADDRESS TO IDX
00153A F0A9 BD F78F  A          JSR   JDAT     JUMP JOB DATA READ
00154A F0AC BD F778  A KDT4     JSR   KEDET    Z KEY DETECTION
00155A F0AF 81 81    A          CMPA  #$81
00156A F0B1 26 F9 F0AC          BNE   KDT4     IS IT Z KEY?
00157A F0B3 7F 0012  B          CLR   JN       CLEAR JN
00158A F0B6 CE 01A0  A          LDX   #$01A0   Z ADDRESS TO IDX
00159A F0B9 BD F78F  A          JSR   JDAT     JUMP JOB DATA READ
00160A F0BC BD F778  A KDT5     JSR   KEDET    D KEY DETECTION
00161A F0BF 81 82    A          CMPA  #$82
00162A F0C1 26 F9 F0BC          BNE   KDT5     IS IT D KEY?
00163A F0C3 BD F778  A          JSR   KEDET
00164A F0C6 B7 01C0  A          STAA  $1C0     SAVE D
00165A F0C9 7F 0069  B          CLR   NC       CLEAR NC
00166A F0CC DE 02    B          LDX   HC
00167A F0CE DF 61    A          STX   $61      STORE HC IN MINUEND BUFF
00168A F0D0 DE 65    B          LDX   LC
00169A F0D2 DF 63    A          STX   $63      STORE LC IN SUBTRAHEND BUF
00170A F0D4 BD 0000  A          JSR   SUBT     JUMP SUBTRACTION
00171A F0D7 DE 08    B          LDX   HW
00172A F0D9 DF 63    A          STX   $63      STORE HW IN SUBTRAHEND BUF
00173A F0DB BD 0000  A          JSR   SUBT     JUMP SUBTRACTION
00174A F0DE DE 61    A          LDX   $61
```