

인체동작의 컴퓨터 분석모델

(A Computer-aided Analysis and Model of Human Motion)

김 영 길*

Abstract

Film data photographed by Motor Drive Camera were gathered and recorded in the FM Tape Recorder via computer-aided Location Analyzer and Voltage Generator.

The recorded analogue data are converted into digital voltage values corresponding to the location of 14 landmarks by Analog-to-Digital Converter attached to digital computer.

Using these converted values, the human motions were reproduced by CalComp Plotter and computer screen.

This author concludes that any human motions can be analyzed by computer and we can find some methods of improvements of motions in work places, sports science, or operations of military equipments.

I. 서 론

현대 과학의 첨단이라 할 수 있는 컴퓨터 산업의 발전은 생체역학(Biomechanics) 분야에서도 인체 동작을 연구하는데 컴퓨터가 주요 도구로 사용되어 왔다. 컴퓨터 기술의 발달로 대화적이고 도형화 능력(Interactive and Graphical Capability)을 갖추게 됨으로써 과거 시스템의 제한사항인 Batch 처리 방식의 범주를 극복하게 되었다.

과거의 인체 동작에 관한 연구는 상호 연결된 링크 시스템을 모형으로 사용하여 직접 신체 마디의 변수를 측정하거나 단순한 비율, 또는 회귀식을 이용한 계산 등의 방법으로 신체 마디의 변수들을 측정하였다.

최근에 이르러 많은 측정 방법이 개발되어 가능한 짧은 시간내에 측정된 자료를 컴퓨터에 입력시키고 문제해결 과정에서 프로그래머와 컴퓨터가 상호간에 대화형태를 취하는 Interactive system으로 컴퓨터를 운용하면서 이해하기 쉬운 도해형식(graphics)으로 출력하는 추세로 옮겨가고 있다.

이러한 관점에서 다음과 같은 목적으로 본 연구를 하게 되었다.

첫째,

인체 동작의 경로, 인체 마디의 순간적인 상태를 도형으로 출력할 수 있도록 설계된 전산화 모델을 이용하여 인체 동작을 분석하고,

* 해군본부 OR/SA실

둘째,

개발된 Interactive Computer Graphic Model 을 인체 동작의 재생, 인체 동작의 시뮬레이션 등에 이용할 수 있도록 하며,

셋째,

연구 결과를 산업계, 체육계, 의학계 및 군사분야에 응용할 수 있는 기초 개념을 제공하도록 한다.

II. 연구 배경

1. 인체 운동학 (Human Kinematics)

인체 운동을 일으키는 내, 외부적 힘에는 무관하게 운동 자체만을 상세히 다루는 학문을 인체 운동학이라 한다.

가장 단순한 운동 하나만을 완전하고 정확하게 정량적으로 기술한다 해도 방대한 량의 자료와 수 많은 계산을 거쳐 많은 도형으로 표현하여야 한다.

예를 들어 하반신 부분의 한 보폭 (stride) 을 측평면 (sagittal plane) 상에 나타내자면 50개의 변수가 필요하다.

이러한 특성을 나타내 주는 변수들은 선형 이동 거리, 선형 속도, 선형 가속도, 각 이동 거리, 각 속도, 각 가속도, 각 관절의 각도, 신체 중량 중심 (center of gravity : COG)의 위치 등이다.

위와 같은 여러 변수들을 측정하는 신체 부위는 각 신체 마디 (body segment)의 중량 중심, 수족 마디의 끝 부분, 주요 해부학적 돌출 부분 등이다.

측정 방법으로는, 관절각 (joint angle)을 측정하기 위해 관절 부위에 부착시킬 수 있는 전압 발생 장치인 goniometer, 주어진 신체 부위에 부착하여 가속도를 측정하는 accelerometer 등의 직접 측정법 (direct measurement technique) 과 무비·카메라 촬영을 이용한 cinematography, 텔레비전 모니터를 이용한 TV 측정, 한개 프레임에 여러개의 인체 동작을 촬영할 수 있는 다중 노출법 (multiple exposure), 특수한 전구를 인체에

부착시켜 특수 카메라로 촬영하는 selspot, 골격 운동을 촬영할 수 있는 X-ray 등의 영상 측정법 (imaging measurement technique) 이 있다.

자료 변환 기법으로는 아날로그 입력 신호를 샘플링 기법을 사용하여 디지털 형태로 바꿔주는 analog-to-digital converter, 스크린에 영상을 비추고 기계적인 X-Y 좌표계를 움직이거나, 특수 펜을 격자 시스템에 접촉 함으로써 자동적으로 좌표 자료가 컴퓨터에 입력되는 movie conversion 기법, 전자 신호인 TV 화면상 (screen image) 을 60 μ sec 간격으로 스캐닝하여 analog-to-digital converter 로 신호를 보내 자료를 변환하는 TV conversion 기법 등이 있다.

2. 대화식 컴퓨터 그래픽 프로그램

Boysen et al 에 의하면 지금까지 대화식 컴퓨터 프로그램을 이용한 인체 동작 연구는, Miller가 calcomp plotter 를 이용하여 다이빙 단계를 다이어그램 및 수치로 표현하였고 Dainis는 highbar 동작을 분석하였고, Mc Daniel 은 인체 측정치를 변화시키면서 작업장을 설계하였다.

한편, Riley와 Garrett는 필름자료의 reduction, 분석 및 저장에 Boysen et al 은 자유낙하 조건에서의 인체 동작을 분석하였다.

위에서 본 바와 같이 대화식 컴퓨터 그래픽 시스템을 이용한 인체 동작의 분석은 그리 많지 않으며, 더우기 우리나라에서는 이러한 모델이 가용하지 않다.

III. 분석 및 프로그램

1. 자료의 측정 및 분석

본 연구에서는 인체를 13개의 견고한 body-link 로 연결되어 있는 것으로 가정하고 14개의 landmark 를 각 body-link 의 접속

부분 및 주요 돌출부분에 부착시켜 이들 landmark가 이동하는 위치를 $x - y$ 좌표계로 측정하였다.

이들 landmark 부착 위치는 표 1과 같다.

표 1. Landmark 부착 위치

순서 기호	관 절 명 칭
1 RH	우측중지의 내측 끝부분
2 RW	우측 손목 관절
3 RE	우측 팔꿈치 관절
4 RS	우측 어깨 관절
5 LE	좌측 팔꿈치 관절
6 LW	좌측 손목 관절
7 LH	좌측 중지의 내측 끝부분
8 RF	우측 5번째 발가락 내측 끝부분
9 RA	우측 발목 관절
10 RK	우측 무릎 관절
11 HP	둔부 우측 돌기 부분
12 LK	좌측 무릎 관절
13 LA	좌측 발목 관절
14 LF	좌측 5번째 발가락 내측 끝부분

자료는 모터 드라이브 카메라를 사용하여, 초당 3.5프레임으로 동작 준비 자세에서 부터 동작이 끝나는 순간까지 연속 촬영하였다. 슬라이드로 제작된 필름을 86cm x 86cm 크기의 위치분석기(location analyzer)에 투영시켜 직경 2cm의 백색 landmark 위에 위치분석기에 부착된 T-자를 고정시키고 누름단추를 누르면 그 위치에 해당되는 $x - y$ 좌표에 대응되는 전압이 voltage generator에서 0 ~ 4.5 V 범위로 발생되어 FM 테이프 레코더의 서로 다른 채널을 통해 기록된다. 이렇게 기록된 자료는 아날로그 신호이므로 디지털 형태로 변화시킬 필요가 있다.

따라서 FM테이프 레코더를 AD11-K A/D converter에 연결시켜 디지털 형태로 변환시키고, 자료를 다시 컴퓨터에 기억시켜 이 자료

를 이용하여 인체 동작을 재생, 분석하였다.

이상의 자료 측정, 수집 및 분석의 장비와 절차를 그림 1에 불력 다이어그램으로 나타 내었다.

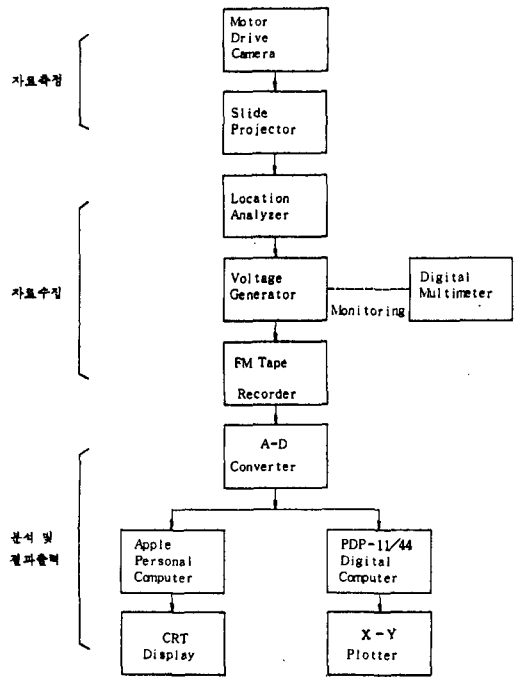


그림 1. 자료측정, 수집 및 분석의 장비와 절차

2. 프로그램의 구성

자료의 입력 및 스케일링 프로그램은 포트란 언어와 BASIC 언어로 짜여 있고, soft-copy로 출력하는 프로그램은 BASIC 언어, hard-copy로 출력하는 프로그램은 포트란언어로 짜여 있다.

프로그램은 모듈 형태로 구성되어 다른 모델에서도 서브루틴으로 사용될 수 있으며, 일반적인 흐름은 그림 2와 같다.

하드 카피 출력 및 소프트 카피 출력 프로그램 리스트가 부록 1과 부록 2에 각각 나와 있다.

3. 프로그램 예제 - 농구의 Jump Shoot 동작

자유투의 준비 자세에서부터 점프 슛한 후 동작이 끝나는 순간까지의 연속 동작 4프레임을 촬영하여, 매 프레임의 14개 Land mark 위치와 머리 끝 부분을 측정하였다.

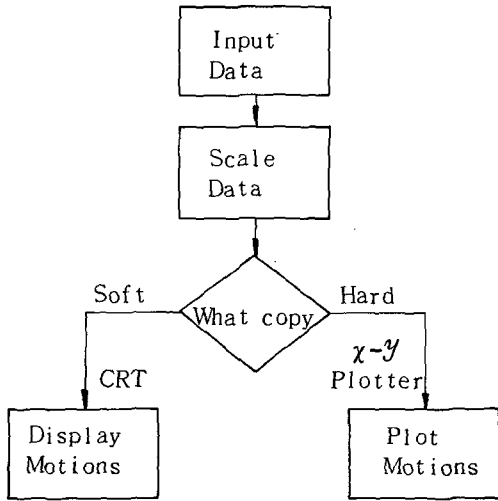


그림 2. 업무흐름도

표 2는 점프 슛 동작의 원자료 측정치(전압 : V)이고, 표 3은 전압치를 실제 공간 좌표계(cm)로 변화시킨 자료이다.

이 자료를 이용하여 $\chi - y$ Plotter를 사용하여 재생시킨 동작이 그림 3에 나와 있다.

IV. 결론 및 토의

앞에서 기술한 바와 같이 카메라를 이용하여 동작을 연속 촬영한 후, 자료를 측정하고 컴퓨터 프로그램으로 동작을 분석하여 그래픽으로 재생시킬 수 있다.

카메라로 촬영하여 슬라이드를 제작하여 자료를 측정하고 입력시키기 때문에 매우 긴 시간이 소요된다. 또한 카메라의 촬영 속도 제한(3.5 프레임/초) 때문에 미세 시간 간격의 자료 측정이 곤란하다.

그러나 고속도 촬영 카메라를 직접 컴퓨터에 연결시켜 자료의 측정, 변환, 분석, 재생과정을 단일 과정으로 실행한다면 즉각적인 분석 결과 및 동작에 관한 정보의 피드백을 분석자에게 제공할 수 있다. 더욱이 이러한 장비가 구비되고 모델의 개선으로 작업자의 작업 동작 개선, 고도의 군사 훈련, 운동 선수 훈련 및 환자의 rehabilitation 등에 이용할 수 있을 것이다.

표 2. 점프 슛 동작의 전압 측정치 (V)

관절기호	FRAME 1		FRAME 2		FRAME 3		FRAME 4	
RH	2,230	3,100	1,840	4,200	2,450	4,300	2,870	3,100
RW	2,330	3,000	1,960	4,200	2,470	4,200	2,880	2,900
RE	2,330	2,600	2,210	3,900	2,360	3,700	2,640	2,600
RS	1,870	2,600	1,920	3,500	2,060	3,400	2,230	2,700
LE	2,370	2,500	2,260	3,700	2,440	3,300	2,560	2,500
LW	2,400	2,900	2,050	4,100	2,360	3,700	2,620	2,800
LH	2,390	3,100	1,970	4,200	2,360	3,900	2,650	3,000
RF	2,370	0,300	2,230	0,600	2,620	0,600	2,670	0,400
RA	2,100	0,500	2,070	1,000	2,340	0,800	2,400	0,500
RK	2,510	1,000	2,270	1,600	2,490	1,400	2,760	1,100
HP	1,890	1,400	2,120	2,400	2,240	2,200	2,240	1,600
LK	2,210	0,800	2,020	1,600	2,180	1,400	2,500	0,900
LA	1,630	0,600	1,760	1,100	1,930	0,900	2,000	0,500
LF	1,800	0,400	1,850	0,700	2,110	0,600	2,140	0,400
HD *	1,920	3,100	1,850	4,100	2,060	3,800	2,350	3,100

* HD: 머리상단 부위

표 3. 점프 슛 동작의 변화된 자료 (Cm)

관절기호	FRAME 1		FRAME 2		FRAME 3		FRAME 4	
RH	114,879	159,697	94,788	216,364	126,212	221,515	147,848	159,697
RW	120,030	154,545	100,970	216,364	127,242	216,364	148,364	149,394
RE	120,030	133,939	113,848	200,909	121,576	190,606	136,000	133,939
RS	96,333	133,939	98,909	180,303	106,121	175,152	114,879	139,091
LE	122,091	128,788	116,424	190,606	125,697	170,000	131,879	128,788
LW	123,636	149,394	105,606	211,212	121,576	190,606	134,970	144,242
LH	123,121	159,697	101,485	216,364	121,576	200,909	136,515	154,545
RF	122,091	15,455	114,879	30,909	134,970	30,909	137,545	20,606
RA	108,182	25,758	106,636	51,515	120,545	41,212	123,636	25,758
RK	129,303	51,515	116,939	82,424	128,273	72,121	142,182	56,667
HP	97,364	72,121	109,212	123,636	115,394	113,333	115,394	82,424
LK	113,848	41,212	104,061	82,424	112,303	72,364	128,788	46,364
LA	83,970	30,909	90,667	56,667	99,424	46,364	103,030	25,758
LF	92,727	20,606	95,303	36,061	108,697	30,909	110,242	20,608
HD	98,909	159,697	95,303	211,212	106,121	195,758	121,061	159,697

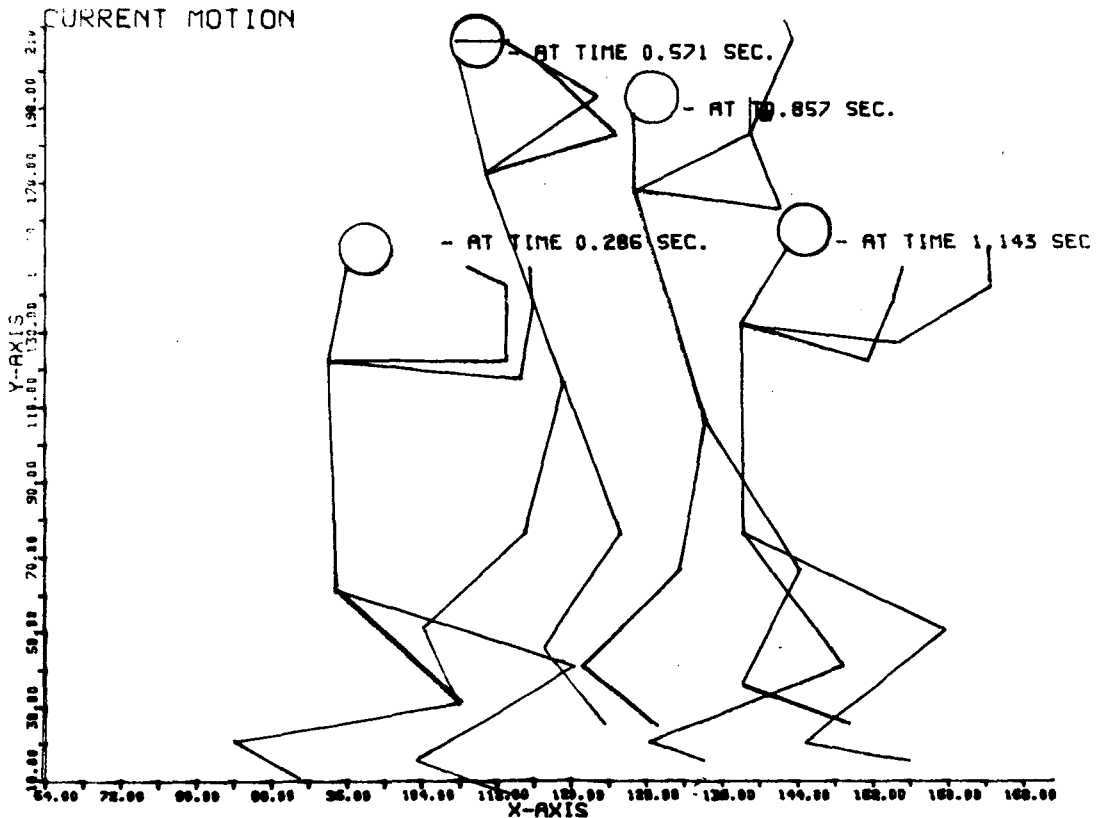


그림 3. X - Y Plotter 로 재생시킨 점프 슛 동작

부록 1. Soft -copy 출력 프로그램 리스트(BASIC)

이 프로그램은 Apple II Plus 개인용 컴퓨터로 실행되었다.

```

100 REM -----
-----
110 REM ---HUMAN.BAS --- MAIN
120 DIM XL(10,15),YL(10,15)
130 REM -----INPUT RAW DATA FROM DATA FILE-----
-----

160 GOSUB 1000
170 REM -----SCALE THE SCREEN COORDINATES FOR GRAPHICS-----
-----

180 GOSUB 2000
190 REM -----DRAW MOTIONS ON THE SCREEN-----
-----

200 GOSUB 3000
210 END : REM END OF MAIN PROGRAM
1000 REM -----BEGIN INPUT SUBROUTINE-----
-----

1010 D$ = CHR$(4): REM CTRL-D
1020 INPUT "FILE NAME ? ";F$
1030 INPUT "NO.OF FRAMES ? ";NF: INPUT "NO.OF LANDMARKS/FRAME ? ";NL
1040 PRINT : PRINT : PRINT "PLEASE WAIT !,DATA FILE READING"
1050 PRINT D$;"OPEN";F$;"",L20"
1060 FOR I = 1 TO NF: FOR J = 1 TO NL
1070 PRINT D$;"READ";F$;"",R";(I - 1) * NL + J
1080 INPUT XL(I,J): INPUT YL(I,J)
1090 NEXT J: NEXT I
1100 PRINT D$;"CLOSE";F$
1120 PRINT D$;"NOMON C,I"
1130 RETURN : REM ---END OF INPUT SUBROUTINE
2000 REM -----BEGIN SCALE SUBROUTINE-----
-----

2010 X0 = XL(1,1):Y0 = YL(1,1):X9 = X0:Y9 = Y0
2020 FOR I = 1 TO NF: FOR J = 1 TO NL
2030 IF XL(I,J) < X0 THEN X0 = XL(I,J)
2040 IF XL(I,J) > X9 THEN X9 = XL(I,J)
2050 IF YL(I,J) < Y0 THEN Y0 = YL(I,J)
2060 IF YL(I,J) > Y9 THEN Y9 = YL(I,J)
2070 NEXT J: NEXT I
2080 PRINT "HI-RESOLUTION GRAPHICS SIZE IS 279 BY 159"
2090 INPUT "YOUR GRAPHICS SIZE ? : (XMAX,YMAX) ";XX,YX
2100 XD = (X9 - X0) / XX:YD = (Y9 - Y0) / YX
2110 PRINT "SEPERATED FRAMES ? (S)": PRINT "CONTINUOUS FRAMES ? (C)"
2120 GET Z$
2130 REM 0.9031 = RATIO OF BOTH ARM REACH PLUS CHEST BREATH (81.37
) TO PRONE LENGTH(90.1")
2140 IF Z$ = "C" THEN XD = XD * XX / YX * 0.9031
2150 IF Z$ = "S" THEN XF = INT (XX / NF):XD = XD * NF * 0.9031
2160 RETURN : REM END OF SCALE SUBROUTINE
3000 REM -----BEGIN PLOT GRAPHICS SUBROUTINE-----
-----

```

```

3010 IF Z# = "5" THEN GOTO 3500
3100 REM -----FOR CONTINUOUS FRAMES
3110 HOME : VTAB 24
3120 PRINT "CONTINUOUS MOTIONS OF ";NF;" FRAMES"
3130 HGR : REM ---OPEN HIGH-RESOLUTION GRAPHICS
3140 HCOLOR= 7: REM PEN COLOR IS WHITE 2
3150 HPLOT 0,0 TO 0, INT (YX) TO INT (XX), INT (YX)
3160 JCOL = 0
3200 FOR I = 1 TO NF
3201 JCOL = JCOL + 1
3202 IF JCOL = 4 THEN JCOL = JCOL + 1
3203 IF JCOL > 7 THEN JCOL = JCOL - 7
3204 HCOLOR= JCOL
3210 XX = (XL(I,1) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,1) - Y0) / YD + 0.5: HPLLOT
XX,Y%
3220 FOR J = 2 TO 7:XX = (XL(I,J) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,J) - Y
0) / YD + 0.5: HPLLOT TO XX,Y%: NEXT J
3230 XX = (XL(I,8) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,8) - Y0) / YD + 0.5: HPLLOT
XX,Y%
3240 FOR J = 9 TO 14:XX = (XL(I,J) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,J) -
Y0) / YD + 0.5: HPLLOT TO XX,Y%: NEXT J
3250 XX = (XL(I,11) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,11) - Y0) / YD + 0.5:
HPLLOT XX,Y%
3260 XX = (XL(I,4) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,4) - Y0) / YD + 0.5: HPLLOT
TO XX,Y%
3270 XX = (XL(I,15) - X0) / XD + 0.5:Y% = YX - (YL(I,15) - Y0) / YD + 0.5:
HPLLOT TO XX,Y%
3280 I% = YX / 8 / 3 + 0.5: REM ONLY FOR CIRCLE
3290 HPLLOT TO XX - I%,Y% + I% TO XX - I%,Y% + 2 * I% TO XX,Y% + 3 * I% TO
XX + I%,Y% + 3 * I% TO XX + 2 * I%,Y% + 2 * I% TO XX + 2 * I%,Y% + I%
TO XX + I%,Y% TO XX,Y%
3300 NEXT I
3400 RETURN : REM END OF CONTINUOUS FRAMES
3500 REM -----FOR SEPERATED FRAMES
3510 HOME : VTAB 24
3520 PRINT "SEPERATE MOTIONS OF ";NF;" FRAMES"
3530 HGR : REM OPEN HIGH-RESOLUTION GRAPHICS
3540 JCOL = 0
3600 FOR I = 1 TO NF
3610 HCOLOR= 7: REM PEN COLOR IS WHITE 2 FOR CAPTOR
3620 XC = (I - 1) * XF: HPLLOT XC,0 TO XC,YX TO XC + XF,YX
3630 JCOL = JCOL + 1
3631 IF JCOL = 4 THEN JCOL = JCOL + 1
3632 IF JCOL > 7 THEN JCOL = JCOL - 7
3633 HCOLOR= JCOL
3640 XX = (XL(I,1) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,1) - Y0) / YD + 0
.5: HPLLOT XX,Y%
3650 FOR J = 2 TO 7:XX = (XL(I,J) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,J)
) - Y0) / YD + 0.5: HPLLOT TO XX,Y%: NEXT J
3670 XX = (XL(I,8) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,8) - Y0) / YD + 0
.5: HPLLOT XX,Y%
3680 FOR J = 9 TO 14:XX = (XL(I,J) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,

```

```

      J) - Y0) / YD + 0.5: HPLLOT TO X%,Y%: NEXT J
3690 X% = (XL(I,11) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,11) - Y0) / YD +
      0.5: HPLLOT X%,Y%
3700 X% = (XL(I,4) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,4) - Y0) / YD + 0
      .5: HPLLOT TO X%,Y%
3710 X% = (XL(I,15) - X0) / XD + 0.5 + XC:Y% = YX - (YL(I,15) - Y0) / YD +
      0.5: HPLLOT TO X%,Y%
3720 I% = YX / 8 / 3 + 0.5: REM ONLY FOR CIRCLE
3730 HPLLOT TO X% - I%,Y% + I% TO X% - I%,Y% + 2 * I% TO X%,Y% + 3 * I% TO
      X% + I%,Y% + 3 * I% TO X% + 2 * I%,Y% + 2 * I% TO X% + 2 * I%,Y% + I%
      TO X% + I%,Y% TO X%,Y%
3740 NEXT I
3800 RETURN : REM END OF SEPERATED FRAMES

```

부록 2. Hard-copy 출력 프로그램 리스트 (FORTRAN)

이 프로그램은 PDP-11/44 Digital Computer 로 실행되었다.

```

C PLOT MOTION STATUS ON THE X-Y PLOTTER
C
      SUBROUTINE PLOTMP(XTEMP,YTEMP,IRP,NFR)
C
      INTEGER*2 BLNK,ITITL(7)
      DIMENSION XTEM(102),YTEM(102),XTEMP(5,20),YTEMP(5,20)
C
      DATA XLPG,XUPG,YLPG,YUPG/0.0,33.8,0.0,28.0/
      DATA BLNK/' '/
      DATA ITITL/'CU','UR','EN','T ','MO','TI','ON'/
C
C TRANSFORM 2-DIMENSIONAL ARRAY INTO 1-DIMENSIONAL ARRAY
C
      NDATA = 15
      DO 200 I=1,NFR
          DO 100 J=1,NDATA
              XTEM((I-1)*NDATA+J) = XTEMP(I,J)
              YTEM((I-1)*NDATA+J) = YTEMP(I,J)
          100 CONTINUE
      200 CONTINUE
C
C INITIALIZE PLOTTER
C
      IDOWN = 2
      IUP = 3
      LDEV = 5
      IF(IRP) 9999,99,99
      99 CALL PLOTS(0,0,LDEV)
      9999 CALL NEWPEN(2)
C
C SCALE FACTOR FOR X AND Y COORDINATES
C
C FOR X
      AXLEN = XUPG-XLPG-7.0

```



```

CALL SCALE(XTEM,AXLEN,NDATA*NFR,1)
XFIRST = XTEM(NDATA*NFR+1)
XDELTA = XTEM(NDATA*NFR+2)
C FOR Y
AYLEN = YUPG-YLPG-5.0
CALL SCALE(YTEM,AYLEN,NDATA*NFR,1)
YFIRST = YTEM(NDATA*NFR+1)
YDELTA = YTEM(NDATA*NFR+2)
C
C DRAW X AND Y AXIS WITH TICK MARKS
C
CALL AXIS(XLPG+2.,YLPG+2.,'X-AXIS(UNIT:CM)',-15,
1 AXLEN,0.0,XFIRST,XDELTA)
CALL AXIS(XLPG+2.,YLPG+2.,'Y-AXIS(UNIT:CM)',+15,
1 AYLEN,90.,YFIRST,YDELTA)
C
C DRAW CAPTION OF PLOT
C
DO 1006 I=1,7
IF(ITITL(I).EQ.BLNK) GO TO 1011
1006 CONTINUE
1011 NCHAR = (I-1)*2
CALL SYMBOL(XLPG+2.0,YUPG-3.0,0.508,ITITL,0.0,NCHAR)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.508,' ',0.0,3)
CALL NEWPEN(0)
C PLOT CURRENT MOTION
C
XDIV = AXLEN
YDIV = AYLEN
C
DO 2000 NF=1,NFR
CALL NEWPEN(NF+1)
DELTIM = (NF-1)/3.5
XPAGE = (XTEMP(NF,1)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,1)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IUP)
DO 1031 IS=1,7
XPAGE = (XTEMP(NF,IS)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,IS)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IDOWN)
IF(IS.NE.4) GO TO 1031
XP4 = XPAGE
YP4 = YPAGE
1031 CONTINUE
XPAGE = (XTEMP(NF,8)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,8)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IUP)
DO 1036 IJ=9,14
XPAGE = (XTEMP(NF,IJ)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,IJ)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IDOWN)
1036 CONTINUE

```

```

XPAGE = (XTEMP(NF,11)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,11)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IUP)
CALL PLOT(XP4,YP4,IDOWN)
XPAGE = (XTEMP(NF,15)-XFIRST)*XDIV/XRNG
YPAGE = (YTEMP(NF,15)-YFIRST)*YDIV/YRNG
CALL PLOT(XPAGE,YPAGE,IDOWN)
CALL CIRCLE(XPAGE,YPAGE,XPAGE+0.5,YPAGE+0.5,0.0,1)
CALL SYMBOL(XPAGE+1.0,YPAGE,0.381,' - AT TIME ',0.0,11)
CALL NUMBER(999.0,999.0,0.381,DELTIM,0.0,3)
CALL SYMBOL(999.0,999.0,0.381,7H SEC. ,0.0,7)
IF(IRP.EQ.0) XLPG = XLPG+2.5
2000 CONTINUE
C
C CLOSE X-Y PLOTTER
C
CALL NEWPEN(0)
RETURN
9999 CALL PLOT(10.0,10.0,999)
RETURN
END

```

參 考 文 獻

1. Andriacci, T.P., Anderson, G.B.J., Fermier, R.W., Stern, D.P.M., Galante, J.O. (1980), "A Study of Lower-Limb Mechanics during Stair-climbing", *J. Bone Joint Surg.*, 62A (5):749-757.
2. Boysen, J.P., Francis, P.R., Thomas, R.A. (1977), "Interactive Computer Graphics in the Study of Human Body Planar Motion under Free-Fall Conditions", *J. Biomech.*, 10:783-787.
3. Calcomp International, (1981), "Calcomp Model 81 Plotter Host Computer Basic Software Manual, Part No. 10255-901-017-1", Sanders.
4. Cappozo, A., Leo, T., Pedotti, A. (1975), "A General Computing Method for the Analysis of Human Locomotion", *J. Biomech.*, 8(5):307-320.
5. Chaffin, D.B., Baker, W.H. (1970), "A Biomechanical Model for Analysis of Symmetric Sagittal Plate Lifting", *Trans. AIIE* 2:16-27.
6. Chaffin, D.B., Kilpatrick, K.E., Hancock, W.M. (1970), "A Computer-Assisted Manual Work Design", *Trans. AIIE*:348-354.
7. Dainis, A. (1980), "Whole Body and Segment Center of Mass Determination from Kinematic Data", *J. Biomech.*, 13: 647-651.
8. Dapena, J. (1980), "An Interactive Graphics Package for Calculating Cross-Sectional Properties of Complex Shapes", *J. Biomech.*, 13:59-64.
9. Dapena, J. (1981), "Simulation of Human Airborne Movement", *J. Biomech.*, 14: 81-89.
10. Digital Equipment Corporation (1981), "PDP-11 FORTRAN-77 Users Guide. Order-No. AA-1884-D-TC", Maynard Massachusetts.
11. Foley, C.D., Quanbury, A.O., Stenke, T. (1979), "Kinematics of Normal Child Locomotion-Statistical Study Based on TV Data", *J. Biomech.*, 12:1-6.
12. Jackson, K.M., Joseph, J., Wyard, S.

- (1978), "A Mathematical Model of Arm Swing During Human Locomotion", J. Biomech., 11:277-289.
13. Kairento, A.L., Hellen, G. (1981), "Biomechanical Analysis of Walking", J. Biomech., 14(10):671-678.
 14. Langrana, N.A. (1981), "Spatical Kinematic Analysis of the Upper Extremity Using a Biplanar Videotaping Method", Trans. ASME. J. Biomech. Eng., 103: 11-17.
 15. Roebuck, Jr. J.A., Kroemer, K.H.E., Thomson, W.G. (1975), "Engineering Anthropometry Methods", John Wiley & Sons.
 16. Winter D.A. (1979), "Biomechanics of Human Movement", John Wiley & Sons.
 17. Zarrugh, M.Y. (1981), "Kinematic Prediction of Intersegment Loads and Power at the Joints of the Leg in Walking", J. Biomech., 14(10):713-725.
 18. 김영길 (1983), "An Analysis of Human Motions Using Computer-Aided Location Analyzer", 서울공대 석사학위 논문