

研究简报

IBM AT 计算机上的 von Bertalanffy 鱼类生长方程的计算程序设计*

PROGRAMMING OF VON BERTALANFFY'S FISHES GROWING EQUATION ON IBM AT COMPUTER SYSTEM

曹渠江

Cao Qujiang

(上海水产大学)

(Shanghai Fisheries University)

鱼类生长的研究,是鱼类生理、生态学的重要内容之一。描述鱼类生长过程的数学表达式,因鱼类本身的生长规律及运用数学分析手段的不同而异。von Bertalanffy(1938)从生理学角度出发,假设鱼类体重与其体长的立方成正比,提出了著名的 von Bertalanffy 生长方程,迄今在鱼类生物学与资源学中广为使用。

本程序设计是在 IBM AT 计算机上用 Advanced Basic 语言实现对 von Bertalanffy 生长方程中的生物学参数及体长、体重、体长生长速度、体重增长速度、体长生长加速度和体重增长加速度六个方程的系统计算,并分别自动描绘出它们各自的函数曲线图形。体长生长曲线和体重增长曲线直观明了地反映出鱼类的体长生长和体重增长的拐点。本程序将为从事研究鱼类生长规律的科研工作者,对概括描述鱼类生长模型和研究控制鱼类生长的时机提供一种快速有效的分析手段。

一、计算方法的简述

von Bertalanffy 生长方程:

基本假设: $w = aL^b$

式中 a 、 b 为因鱼而异的生物学参数,其中 b 为同一瞬时的相对体重增长率与相对体长生长率之比, a 、 b 值在本程序中仅作为已知参数直接输入。

$$\text{生长式: } L(t) = L_{\infty}[1 - e^{-k(t-t_0)}] \tag{1}$$

$$W(t) = W_{\infty}[1 - e^{-k(t-t_0)}]^3 \tag{2}$$

$$\text{生长速度: } \frac{dL}{dt} = L_{\infty} \cdot k \cdot e^{-k(t-t_0)} \tag{3}$$

$$\frac{dw}{dt} = 3 \cdot W_{\infty} \cdot k \cdot e^{-k(t-t_0)} [1 - e^{-k(t-t_0)}]^2 \tag{4}$$

$$\text{生长加速度: } \frac{d^2L}{dt^2} = -L_{\infty} \cdot K^2 \cdot e^{-k(t-t_0)} \tag{5}$$

$$\frac{d^2w}{dt^2} = 3 \cdot W_{\infty} \cdot K^2 \cdot e^{-k(t-t_0)} \cdot [1 - e^{-k(t-t_0)}] [3 \cdot e^{-k(t-t_0)} - 1] \tag{6}$$

*本计算程序是以上海水产大学李思发教授原来采用计算器进行计算的方法、实验数据以及手工描绘的函数曲线图象为分析基础进行设计的,对此表示深切的感谢。

(1)~(6)式中的四个未知参数分别为:

$L_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} L(t)$ 称为极限体长;

$W_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} W(t)$ 称为极限体重;

$t_0 = t |_{L=0}$ 称为理论生长起点年龄;

K 称为相对生长指标。

要求解 von Bertalanffy 生长方程, 必须先求出上述四个主要参数, 现以新安江水库蒙古红鲢的各年龄体长的实验数据为例, 简单介绍计算步骤如下:

原始数据:

年龄 t_i 的取值	1	2	3	4	5
体长 l_{i+1} 的值	21.18	26.81	30.88	39.68	45.42
体长 l_i 的值	8.78	21.13	26.31	30.88	39.68

第一步:

用最小二乘法线性回归求 $l_{i+1} = a + bl_i$ 式中系数 a, b 。

由于实测体长 l 时存有一定的误差, 所以对应 t_i 年龄的体长 l_i 与其真实值之间就有一定的差异, 因此我们必须对线性关系式进行必要的修正, 修正后的线性关系式为:

$l_{i+1} = a + bl_i + \varepsilon_i$ 其中的 ε_i 为实测时所产生的误差值。由此我们可以得到: $\varepsilon_i = l_{i+1} - a - bl_i$

两边平方:

$$\varepsilon_i^2 = (l_{i+1} - a - bl_i)^2$$

令:

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (l_{i+1} - a - bl_i)^2$$

由数学分析的极值原理知道, 要使 a, b 满足以下方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b} = 0 \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (l_{i+1} - a - bl_i) = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (l_{i+1} - a - bl_i) l_i = 0 \end{cases}$$

则 a, b 就是使 Q 最小的回归系数。

令:

$$\bar{l} = \sum_{i=1}^n l_i / n \quad \bar{l}' = \sum_{i=1}^n l_{i+1} / n$$

则上述方程组即变形为:

$$\begin{cases} n \cdot a + n \cdot \bar{l} \cdot b = n \cdot \bar{l}' & (7) \\ n \cdot \bar{l} \cdot a + \sum_{i=1}^n l_i^2 \cdot b = \sum_{i=1}^n l_i \cdot l_{i+1} & (8) \end{cases}$$

由于该方程组的系数行列式为:

$$D = \begin{vmatrix} n & n\bar{l} \\ n\bar{l} & \sum_{i=1}^n l_i^2 \end{vmatrix} = n \left(\sum_{i=1}^n l_i^2 - n(\bar{l})^2 \right) = n \cdot \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2 \neq 0$$

故它有唯一的一组解, 用加减消去法可得:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (l_i l_{i+1}) - n\bar{l} \cdot \bar{l}'}{\sum_{i=1}^n l_i^2 - n(\bar{l})^2}$$

代入(7)式即可得:

$$a = \bar{l}' - b \cdot \bar{l}$$

第二步:

$$\text{计算 } L_{\infty} = \frac{\text{截距}(a)}{1 - \text{斜率}(b)}$$

$$W_{\infty} = A \cdot L_{\infty}^B (A, B \text{ 值为已知})$$

第三步:

$$\text{计算 } k = -mb$$

第四步:

计算 t_0

首先分别求出对应于 t_i 的 $\ln(l_{\infty} - l_i)$ 的值 ($i = 1, 2, \dots, n+1$), 然后再用最小二乘法线性回归求 $\ln(l_{\infty} - l_i) = a + bt_i$ 式中的系数 a, b , 方法与第一步相同。

因为 $t_i = 0$ 时 $l_i = 0$ 所以 $\ln(l_{\infty}) = a + bt_i$

$$\text{因此有 } t_0 = \frac{a - \ln l_{\infty}}{-b}$$

最后把求得的 $L_{\infty}, W_{\infty}, K$ 及 t_0 这四个参数代入(1)~(6), 便可得到 von Bertalanffy 生长方程的各个函数值来了。

二、程序说明

1. 简单变量说明

N——要计算分析的某种鱼的 l_i 和 l_{i+1} 的体长原始数据的组数, 由20语句行的键盘输入语句输入其值, 本例取值为5。

A1, B1——为公式 $W = aL^b$ 中的参数 a, b 的变量名, 其值由460语句行的键盘输入语句输入, 本例中 $a = 0.0101$; $b = 3.101$ 。

SCAL——为函数曲线的幅度调节倍率因子。不同的函数图象可以根据计算得到的该函数的极值来选取合适的值。

M_1 ——这是一个与 SCAL 因子密切相关的函数值坐标轴的量化单位长度(单位为1个象素)。

六条曲线的 SCAL 和 M_1 的值由1060语句行的键盘输入语句输入, 本例中的取值为:

SCAL	5	0.1005	20.1	0.742	100	2.49
M_1	50	30	20	37.5	50	25

COX, COY——为描绘函数曲线的当前的起点位置坐标值。

COX1, COY1——为描绘函数曲线的当前的终点位置的坐标值。

2. 数组说明

$A(N+1), B(N+1)$ ——为存放待线性回归分析的数据所开设的数组变量。

$A1(N+1), B1(N+1)$ ——为保存原始数据所开设的数组变量。

$C\$(6)$ ——为存放六个生长方程的函数名称所开设的字符串数组变量。

$Z(6, 40)$ ——为存放六个生长方程的函数值所开设的数组变量。

3. 程序段的主要功能说明

50—240: 输入 N 组 l_i 和 l_{i+1} 的原始数据, 并检查其正确与否, 待确认数据正确后, 再打印输出它们的值。

270—调用最小二乘法线性回归子程序。

280—310: 计算 L_{∞} 、 K , 打印输出值取四位小数的精度。

320—360: 保存原始数据。

380—420: 计算对应于 $t_i (i=1, 2, \dots, n+1)$ 的 $\ln(L_{\infty} - L_i)$ 的值, 并第二次调用最小二乘法线性回归子程序, 计算表达式: $\ln(L_{\infty} - L_i) = a + bt_i$ 中的回归系数 a, b (程序中用的变量名是 C、B)。

430—580: 计算 t_0 值、输入公式 $W = aL^b$ 中的系数 a, b 值, 计算 L_{∞} 的值, 最后一起打印输出 a, b 系数及 $L_{\infty}, W_{\infty}, K, t_0$ 这四个参数的值。

600—650: 建立六个生长方程的函数名称。

660—800: 分别计算与 t_i 相对应的 $L_i, W_i, dL/dt, dW/dt, d^2L/dt^2, d^2W/dt^2$ 这六个生长方程的函数值 (t_i 从 0—10, 步长为 0.25)。

810—1010: 列表输出计算结果, 即六个生长方程的函数值。

1020——暂停语句, 程序执行至此已完成了六个生长方程的函数值计算, 若需要进一步描绘并输出各自的函数曲线图象, 可按 F_1 功能键 (即 CONTINUE 键), 命令程序继续执行以实现上述要求。

1030—1280: 即绘图程序段, 其中 1040 语句行是调用一个绘制坐标轴的子程序的语句; 而 1100 语句行是调用一个绘制二坐标轴上量化单位刻度的子程序的语句, 程序采用人机对话方式对函数图象显示的幅度调节倍率因子 SCAL 和函数值坐标轴的量化单位刻度值 M1 实现动态调整。具体方法以本例中的 $L(t)$ 曲线为例, 简单说明如下:

首先根据已计算得到的 40 个 $L(t)$ 值, 取绝对值为最大的数 57.08 为基准, 拟定以六个分度格 (每格代表 10) 来表达 $L(t)$ 函数图象为宜, 因为作者根据计算机系统所配置的 720×350 像素分辨力的 CRT 之技术参数, 拟定了函数值坐标轴的有效长度为 600 个像素 (从 1540 语句行可以看出), 正负值表示范围各取一半, 即为 300, 因此 $M1 = 300/6 = 50$ (除不尽时则用截尾法取二位小数即可); 然后根据比例关系: $300:60 = X: 57.08$, $SCAL = \frac{300}{60} = 5$ (若除不尽, 则取小数四位, 即足以能满足要求)。

本程序段中的 1080 和 1140 语句行是为了防止在 SCAL 的值输入过大, 图形超出屏幕的显示范围, 出现 overflow 错误所设置的自动排错语句。

若要输出函数图形的硬 COPY, 可用 $[SHIFT] [PrtScr] [Q]$ 组合命令键 COPY 显示屏幕 (不过在进入 BASICA 状态前的 DOS 状态下, 必须运行 GRAPHICS 命令文件, 具体操作即打 GRAPHICS \checkmark 即可), 而后键入 “Y” 以继续描绘下一帧屏幕的图形, 直至六条函数曲线都一一显示并打印输出为止。

1290—1530: 为描绘坐标轴的子程序。

1540—1600: 为描绘坐标轴上量化单位刻度的子程序。

1610—1750: 为最小二乘法线性回归子程序。

4. 使用说明

(1) 若读者的 IBM XT/AT 计算机系统所配置的 CRT 是目前国内最常见的 640×200 像素分辨力的彩色 CRT, 则 1030 语句行以后的部分程序段中涉及控制显示像素位子的个别语句必须作相应的修改 (详见附录中: 修改语句行输出清单), 同时 SCAL 和 M_1 的值也应作相应的修改。关于 SCAL 和 M_1 值的估算方法与前面介绍的方法相同, 不过函数值坐标的正负值表示范围应改为 250 个像素 (这与修改后的 1540 语句行相对应的)。以下的六组修改后的 SCAL 和 M_1 的值供读者运行时参考:

SCAL	4.2	0.068	16.76	0.625	88	1.91
M1	41.66	25	16.66	31.25	41.66	1.92

(2) 若要求在 COPY 屏幕上显示的图象前对函数图形作必要的文字和量值的注释, 可用四个方向键直接控制光标的位子, 并由键盘输入即可, 但切不可按 RETURN 的回车键, 以免破坏原来屏幕上显示的函数图形, 若要删除或修改屏幕上显示的字符(如提示信息等), 可用空格键或新的内容直接键入以复盖之。

三、计算与验证结果

本程序所计算得到的函数值(详见输出列表)比原来用计算器算出来的结果在精度上有了较大的提高; 程序绘制出来的六条函数曲线(鉴于登载篇幅的限制, 曲线图象未能列出, 读者只要运行本程序即可获得其 COPY), 与原来用手工绘制的曲线图相比较, 两者所反映的函数变化规律完全一致, 然而曲线的平滑性和准确性比原来有较明显的改善, 例如体重增长速度的极值点与体重增长加速度的拐点所对应的自变量 t_i 的值的一致性甚佳, 克服了原来由于数据精度不高和手工绘制曲线所引入的误差给造成的偏离。同时, 程序绘制的曲线准确直观地反映出鱼类的体长生长和体重增长的拐点及其在拐点前后的变化规律。年龄小于 6 年时, 体重增长速度上升, 体长生长速度下降较急; 反之, 当年龄大于 6 年时, 体重增长速度下降, 体长生长速度下降趋势转缓。同样的在体重增长加速度曲线上可以看出, 当 $t_i < 6$ 时, 体重增长加速度是正值, 以 1.75 年为最高, 在 $t_i > 6$ 时, 体重增长加速度就转为负值。同时, 从体长生长加速度曲线中也可显见, 体长生长加速度是随年龄的增加而负加速度地上升, 且当 $t_i > 6$ 时转缓, 这表明新安江水库蒙古红鲌年龄在 6 年之前生长较快, 6 年之后生长较慢。上述生长规律的体现表明了本程序所计算的 von Bertalanffy 生长方程及其描绘输出的曲线更为研究鱼类的生长规律提供了进一步定量分析的丰富信息。

THE ORIGINAL DATA AS FOLLOWING:

L(I+1): 21.13 26.31 30.88 39.68 45.42

L(I): 8.78 21.13 26.31 30.88 39.68

IN THE FORMULA: $W = AL^B$ A = .0101 B = 3.101

THE CALCULATED RESULTS AS FOLLOWING:

Linfinity = 67.7804

Winfinity = 4814.767

K = .1896

TO = .2628

FUNCTION

NAME	TO	Ti - 0.75	Ti - 0.5	Ti - 0.25	Ti - 0	Ti
Lt	-8.46	- .16	2.98	5.98	8.850001	1
		11.57	14.18	16.66	19.02	2
		21.28	23.44	25.49	27.45	3
		29.31	31.1	32.79	34.41	4
		35.96	37.43	38.84	40.18	5
		41.45	42.67	43.84	44.94	6
		46	47.01	47.97	48.89	7
		49.76	50.6	51.39	52.15	8
		52.88	53.57	54.22	54.85	9
		55.45	56.02	56.57	57.08	10
		0	.41	3.31	10.7	1
		23.97	44.05	71.47	106.47	2
		149.05	199.01	256.03	319.69	3
		389.48	464.87	545.29	630.15	4
		718.89	810.93	905.72	1002.75	5
		1101.52	1201.57	1302.46	1403.8	6
		1505.21	1606.38	1708.99	1806.78	7
		1905.49	2002.93	2098.9	2193.23	8
		2285.8	2376.46	2465.14	2551.74	9

		2636.19	2718.45	2798.49	2876.26	10
dL/dt	13.51	12.88	12.29	11.72	11.18	1
		10.66	10.16	9.689999	9.25	2
		8.82	8.41	8.020001	7.65	3
		7.29	6.96	6.63	6.33	4
		6.03	5.75	5.49	5.23	5
		4.99	4.76	4.54	4.33	6
		4.13	3.94	3.76	3.58	7
		3.42	3.26	3.11	2.96	8
		2.83	2.7	2.57	2.45	9
		2.34	2.23	2.13	2.03	10
dW/dt	7.5	.02	5.07	19.46	40.56	1
		66.22	94.75	124.78	156.22	2
		185.25	214.22	241.67	267.25	3
		290.74	312	330.95	347.58	4
		361.92	374.02	383.99	391.92	5
		397.93	402.15	404.71	405.74	6
		405.38	403.74	400.96	397.16	7
		392.44	386.93	380.71	373.88	8
		366.53	358.75	350.59	342.15	9
		333.47	324.61	315.63	306.56	10
d^2L/dt^2	-2.56	-2.44	-2.33	-2.22	-2.12	1
		-2.02	-1.93	-1.84	-1.75	2
		-1.67	-1.59	-1.52	-1.45	3
		-1.38	-1.32	-1.26	-1.2	4
		-1.14	-1.09	-1.04	-.99	5
		-.95	-.9	-.86	-.82	6
		-.78	-.75	-.71	-.68	7
		-.65	-.62	-.59	-.56	8
		-.54	-.51	-.49	-.46	9
		-.44	-.42	-.4	-.38	10
d^2W/dt^2	-60.01	-2.5	40.83	72.54	94.79	1
		109.41	117.91	121.57	121.43	2
		118.37	113.11	106.25	98.26999	3
		89.56	80.44	71.15	61.9	4
		52.84	44.08	35.72	27.8	5
		20.38	13.47	7.09	1.24	6
		-4.09	-8.91	-13.24	-17.11	7
		-20.53	-23.54	-26.16	-28.41	8
		-30.32	-31.92	-33.24	-34.3	9
		-35.11	-35.71	-36.12	-36.35	10

四、源程序清单

```

10 PRINT "THE GROUP NUMBER OF DATA. N = ";
20 INPUT N
30 PRINT N
40 DIM A(N+1), B(N+1), A1(N+1), B1(N+1), Z(6,40), C$(6)
50 FOR I=1 TO N
60 PRINT "INPUT THE DATA L(I) & L(I+1) UNTIL I=N OR I="; N;" NOW I="; I

```

```
70 INPUT A(I), B(I)
80 PRINT "IS THE DATA CORRECT? Y/N";
90 INPUT CH$
100 PRINT
110 IF CH$ = "Y" THEN GOTO 140
120 PRINT "INPUT THE CORRECT DATA AGAIN PLEASE."
130 GOTO 70
140 NEXT I
150 LPRINT "THE ORIGINAL DATA AS FOLLOWING:"
160 LPRINT "L(I+1):";
170 FOR I=1 TO N
180 LPRINT TAB(10 * I); B(I);
190 NEXT I
200 LPRINT
210 LPRINT "L(I):";
220 FOR I=1 TO N
230 LPRINT TAB(10 * I); A(I);
240 NEXT I
250 LPRINT
260 LPRINT
270 GOSUB 1610
280 LL = C / (1 - B)
290 L = INT(LL * 10000 + .5) / 10000
300 KK = - LOG(B)
310 K = INT(KK * 10000 + .5) / 10000
320 FOR I=1 TO N
330 A1(I) = A(I)
340 B1(I) = B(I)
350 NEXT I
360 A1(N + 1) = B(N)
370 N = N + 1
380 FOR I=1 TO N
390 B(I) = LOG(LL - A1(I))
400 A(I) = I
410 NEXT I
420 GOSUB 1610
430 TOO = (C - LOG(LL)) / (- B)
440 TO = INT(TOO * 10000 + .5) / 10000
450 PRINT "INPUT THE COEFFICIENT OF a & b IN THE FORMULA  $W = a * L \wedge b$ ."
460 INPUT A1, B1
470 PRINT "IS THE VALUE OF a & b CORRECT? Y/N";
480 INPUT C$
490 IF C$ = "Y" THEN 520
500 PRINT "INPUT THE CORRECT VALUE OF a & b AGAIN PLEASE."
510 GOTO 460
520 WW = A1 * LL ^ B1
530 W = INT(WW * 10000 + .5) / 10000
540 LPRINT "IN THE FORMULA:  $W = A * L \wedge B$ ";
550 LPRINT "A = "; A1, "B = "; B1
560 LPRINT
```

```

570 LPRINT "THE CALCULATED RESULTS AS FOLLOWING:"
580 LPRINT "Linfinity = "; L, "Winfinity = "; W, "K = "; K, "TO = "; TO
590 LPRINT
600 C$(1) = "Lt"
610 C$(2) = "Wt"
620 C$(3) = "dL/dt"
630 C$(4) = "dW/dt"
640 C$(5) = "d^2L/dt^2"
650 C$(6) = "d^2W/dt^2"
660 FOR I=0 TO 40
670 T = .25 * I
680 LT = LL * (1 - EXP(-KK * (T - TOO)))
690 Z(1, I) = LT
700 WT = WW * (1 - EXP(-KK * (T - TOO)))^3
710 Z(2, I) = WT
720 VBL1 = LL * KK * EXP(-KK * (T - TOO))
730 Z(3, I) = VBL1
740 VBW1 = 3 * WW * KK * EXP(-KK * (T - TOO)) * (1 - EXP(-KK * (T - TOO)))^2
750 Z(4, I) = VBW1
760 VBL2 = -LL * KK^2 * EXP(-KK * (T - TOO))
770 Z(5, I) = VBL2
780 VBW2 = 3 * WW * KK^2 * EXP(-KK * (T - TOO)) * (1 - EXP(-KK * (T - TOO))) * (3 * EXP
(-KK * (T - TOO)) - 1)
790 Z(6, I) = VBW2
800 NEXT I
810 LPRINT "FUNCTION"
820 LPRINT "NAME"; TAB(13); "TO"; TAB(26); "Ti-0.75"; TAB(39); "Ti-0.5"; TAB(52);
830 LPRINT "Ti-0.25"; TAB(65); "Ti-0"; TAB(77); "Ti"
840 LPRINT
850 FOR I=1 TO 6
860 LPRINT C$(I);
870 J2=12
880 FOR J=0 TO 4
890 LPRINT TAB(J2); INT(Z(I, J) * 100 + .5)/100;
900 J2=J2+13
910 NEXT J
920 LPRINT TAB(77); "1"
930 FOR J=1 TO 9
940 J2=25
950 FOR J1=J*4+1 TO (J+1)*4
960 LPRINT TAB(J2); INT(Z(I, J1) * 100 + .5)/100;
970 J2=J2+13
980 NEXT J1
990 LPRINT TAB(76); J+1
1000 NEXT J
1010 NEXT I
1020 STOP
1030 FOR I=1 TO 6
1040 GOSUB 1290
1050 PRINT "INPUT THE DISPLAY FACTOR & UNIT OF FUNCTION-----SCAL & MI";

```



```
1060 INPUT SCAL, M1
1070 COX = Z(1,0) * SCAL + 300
1080 IF COX > 719 OR COX < 0 GOTO 1040
1090 COY = 50
1100 GOSUB 1540
1110 FOR J = 1 TO 40
1120 P = Z(I, J) * SCAL
1130 COX1 = 300 + P
1140 IF COX1 > 719 OR COX1 < 0 GOTO 1040
1150 COY1 = COY + 5
1160 LINE(COX, COY) - (COX1, COY1)
1170 COX = COX1
1180 COY = COY1
1190 NEXT J
1200 PRINT "IS THE VALUE OF FACTOR OR UNIT SUITABLE? Y/N";
1210 INPUT C$
1220 PRINT
1230 IF C$ = "Y" THEN 1270
1240 PRINT "INPUT THE SUITABLE VALUE OF FACTOR OR UNIT AGAIN PLEASE."
1250 CLS
1260 GOTO 1040
1270 NEXT I
1280 END
1290 SCREEN 2, 0
1300 CLS
1310 KEY OFF
1320 DRAW "BM0, 50"
1330 DRAW "R630"
1340 DRAW "BM300, 50"
1350 DRAW "D213"
1360 DRAW "BM300, 275"
1370 D1 = 7
1380 D2 = -7
1390 D3 = 0
1400 DRAW "TA = D1; NU12"
1410 DRAW "TA = D2; NU12"
1420 DRAW "BM297, 263; TA = D3; NR7"
1430 DRAW "BF2"
1440 DRAW "P1, 3"
1450 DRAW "BM645, 50"
1460 D1 = 70
1470 D2 = 20
1480 DRAW "TA = D1; NU8"
1490 DRAW "TA = D2; NU19"
1500 DRAW "BM627, 47; TA = D3; ND6"
1510 DRAW "BF2"
1520 DRAW "P1, 3"
1530 RETURN
1540 FOR N1 = 0 TO 600 STEP M1
1550 LINE(N1, 50) - (N1, 53)
```

```

1560 NEXT N1
1570 FOR N1 = 50 TO 250 STEP 20
1580 LINE (300, N1) - (304, N1)
1590 NEXT N1
1600 RETURN
1610 S1 = 0
1620 S2 = 0
1630 T1 = 0
1640 T2 = 0
1650 FOR I = 1 TO N
1660 S1 = S1 + A(I)
1670 S2 = S2 + B(I)
1680 T1 = T1 + A(I) * B(I)
1690 T2 = T2 + A(I) * A(I)
1700 NEXT I
1710 Q = S1/N
1720 R = S2/N
1730 B = (T1 - N * Q * R) / (T2 - N * Q * Q)
1740 C = R - B * Q
1750 RETURN

```

五、附 录

为改用 640 × 200 象素分辨率的彩色 CRT 对本程序进行相应修改的部份语句行清单:

```

1070 COX = Z(I, 0) * SCAL + 250
1080 IF COX > 640 OR COX < 0 GOTO 1040
1090 COY = 30
1140 COX1 = 250 + P
1140 IF COX1 > 640 OR COX1 < 0 GOTO 1040
1150 COY1 = COY + 3.5
1320 DRAW "BM0,30"
1330 DRAW "R530"
1340 DRAW "BM250, 30"
1350 DRAW "D148"
1360 DRAW "BM250, 190"
1420 DRAW "BM247, 178; TA = D3; NR7"
1450 DRAW "BM545, 90"
1500 DRAW "BM527, 27; TA = D3; ND6"
1540 FOR N1 = 0 TO 500 STEP M1
1550 LINE (N1, 30) - (N1, 33)
1570 FOR N1 = 30 TO 170 STEP 14
1580 LINE (250, N1) - (254, N1)

```