

测绘科研论文选集

二、航测与遥感



编 者 的 话

测绘科学研究所是测绘学科的综合性的研究机构，一九五九年建立，文化大革命期间被迫撤消，一九七三年重建，今年是测绘科学研究所重建十周年。

十年来，我所广大科研及工作人员，在党的正确方针政策的指引下，积极开展科研工作，取得了一批有价值的、直接为国民经济建设服务的研究成果，诸如全国天文大地网整体平差方案、全国卫星多普勒大地网的建立、珠峰高程的测定、1:1万航测成图新技术方案、6875全色红外片及HCJ—2彩色红外片的研制、独立模型法平高区域网平差方法、化学涂层聚酯绘图薄膜、我国土地面积量算、全国1:200万土地利用彩色卫星影象略图、少数民族地区地名译音规则等。在仪器研制方面有：小型人卫摄影仪、DCH红外测距仪，HCT—2立体测图仪、1818立体坐标量测仪的自动读数设备，数控测图及数控正射投影仪、地图静电复印机和编绘投影仪等。还撰写了大量的学术报告和专题论文以及测绘科技情报研究文献等，为促进我国测绘事业的发展作出了一定的贡献。

测绘科学研究所重建十周年之际，我们汇集了近三年来的部分论文，出版这本《论文选编》，并按大地测量、航测与遥感、地图制图专业分三集出版。

由于时间仓促，在文章的选取、审阅及编辑方面一定存在不少问题，谨请读者提出宝贵意见。

目 录

一、数控测图仪介绍	刘先琳 周一 周祚域 刘四宁	(1)
二、步进电机驱动程序与中断方式 2	赵先恒	(15)
三、独立模型法区域网平差程序 DM—PG	毛可标 文沃根 任维春 王秀琴 俞文琬	(21)
四、TP801 单板机控制的象片坐标记录装置	徐道盈 赖川	(57)
五、独立模型法区域网平差系统误差对区域网的影响	毛可标 王秀琴 任维春 俞文琬	(73)
六、解析测图仪综合报道	张西文	(79)
七、航空像片数字化纠正的算法和程序	杨明辉 任维春	(99)
八、数据传送系统在数据采集、回访和 201 机性能测定上的应用	朱德愉 陈思义	(111)
九、18MSP 大相幅多光谱航空摄影技术方案的研究	夔中羽	(129)
十、世界卫星遥感发展的现状	楚良才	(147)
十一、论我国土地资源调查制图的方法和任务	李伯衡	(157)
十二、应当重视测绘工作在国土资源开发中的作用	李道义	(167)
十三、卫片在土地利用调查制图中定性定量分析的研究	李伯衡	(176)
十四、专题卫星影像地图等积投影设计、变换及精度分析	唐棣 李莉 张军	(190)
十五、CCT 磁带格式及其正确读取	文沃根	(209)
十六、卫片平面定位和误差源	李伯衡	(221)
十七、利用现有 1:1 万, 1:2.5 万, 1:5 万, 1:10 万地形图编制土地利用现状图	李炳亚	(268)
十八、遥感制图的现代发展和任务	李伯衡	(276)
十九、土地面积计算中的若干变形改正	唐棣	(292)
廿、编制卫星影像地图的工艺流程 (1:50 万 1:100 万,)	李伯衡	(300)
廿一、土地资源数据库国外发展现状综述	李道义	(329)
廿二、关于建立测绘科技文献主题情报检索系统问题	文湘北	(340)
廿三、陆地资源卫星多光谱图象的假彩色合成	李洁英	(346)
廿四、评价数字化影象多级匹配法的效能	楚良才	(364)

数 控 测 图 仪 介 绍*

刘先琳 周 一 周祚域 刘四宁

提 要

本文提出了一种数控测图系统,介绍了其中的方法、硬件、软件,着重叙述了等高线曲线拟合及数据压缩的思想。

可以这样说:航空摄影测量学的理论加电子计算机就能够实现航测自动化。而电子计算机的应用似乎是沿着

“算题——实时控制——信息工程(数据库)——智能”的道路发展,我们目前也许正处于进入第三阶段的时期。

实践证明,比较理想的行之有效的数据库是DTM数据库,所以本文着眼于建立DTM数据库。“库”并不可怕,采用数据压缩技术就可用简单的技术加以实现。传统的方法是用航测方法建立模型之后,再测定 X, Y, Z ,这是一种物方测图思想。而本文采用的是象方测图思想,即测定象方格网点上的坐标 X, Y, P ,然后计算对应的 X, Y, Z 。这样做的好处首先是避免了建立模型的误差(例如数字导杆的惯性等等),其次降低了对计算机的要求,只需对所测的象点改正该点的上下视差即可,在一般解析测图仪中为维持每秒50次循环程序,这对计算机的要求是不低的。但象方测图的缺点是对应的物方点位不标准。这一缺点在一定的软件技术下可以克服。特别对于用DTM输出曲线而言,象方测图的这一缺点就不复存在,一点不方便都没有。未来一种测图与用图合一的智能系统将会出现,它生产的是最便于使用的“活”地图,而不是纸地图。

目前,根据现有条件,按如下框图构成系统。

*本文的英文本曾在1980年7月西德汉堡召开的第14届国际摄影测量学会会议上报告。

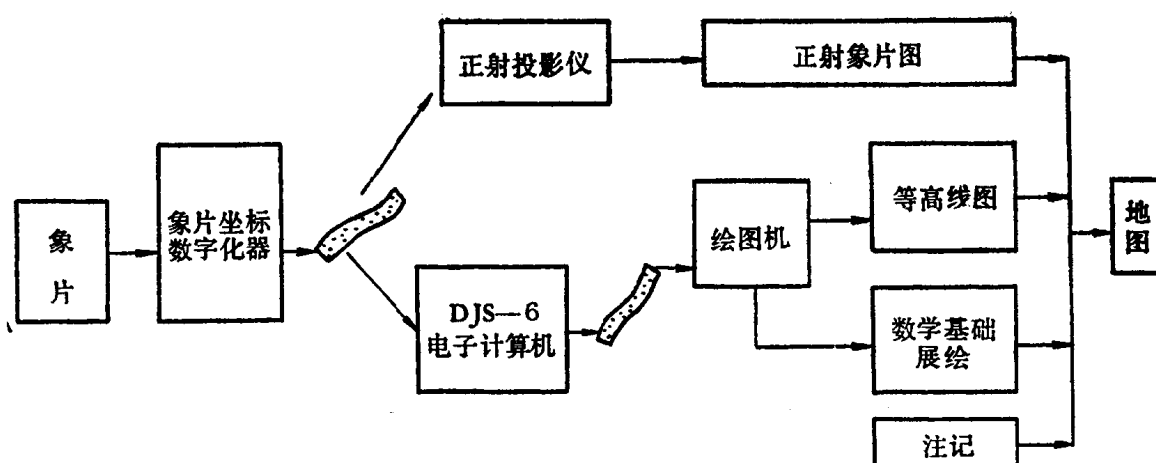


图 1

这样构成的脱机系统便于利用现有设备，便于不同速度的设备之间相匹配。
现分别简要介绍如下：

(一) 硬 设 备

硬设备主要包括象片坐标数字化器，数控绘图机，数控正射投影仪及一台通用电子计算机等几台各自独立的仪器。

象片坐标数字化器 这是一套能把象片上具有特定 x ， y 坐标的象点的 P 正确记录下来的设备。它的主机是一台1818立体坐标量测仪，并配备一台计算机，计数器，步进电机驱动器，一台五单位纸带穿孔机及一台光电输入机。

各部分之间的关系如框图（图3）所示。

作业员只需控制操纵杆和摇 P 手轮就可以测定相对定向点，绝对定向点，测完后机器自动转入相对定向和绝对定向运算，然后在人的操纵下观测地形特征点。特征点测完后机器自动进入以左片坐标为基准的正方格网扫描，测定各扫描点 P 值，并穿孔输出各有关数据。

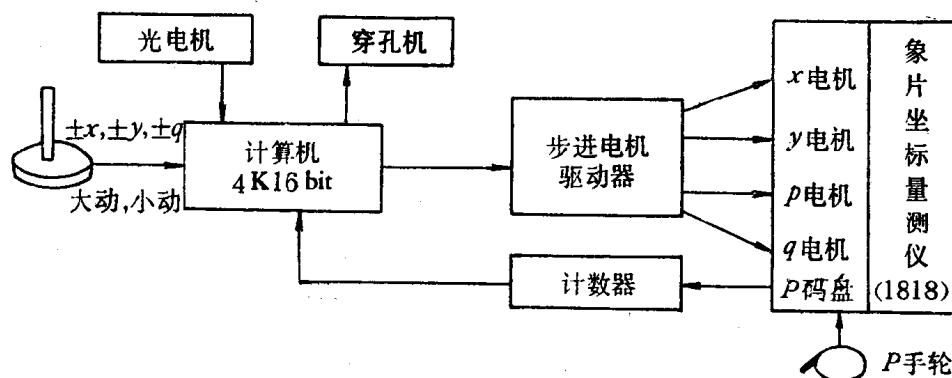


图 3

我们的象片坐标数字化器有如下特点:

1. 全机只有一个8bit的计数器,用来记录p的尾变化数。这是一个自行设计的循环码可逆计数器,工作稳定可靠,线路简单,用软件恢复p的完整读数。

2. 扫描过程中可以预报观测点的p值,减轻观测者的劳动强度。根据扫描间隔 Δx , Δy ,即得到下一点的x, y,根据已测过的有关扫描点的p值能预算出下一点的p', q,由电机驱动四个坐标走到预定值,人只要稍动P手轮即可使测标精确切准地面。

3. 间歇扫描,可以提高观测精度。在测标切准地面后P手轮就不再动了,计算机侦察得知人的决心已定,才将该p值储存并开始走一个扫描步距转入下一点,这样可以把动态观测的精度估计由0.4%提高到0.2%左右,而且使扫描速度与观测速度相匹配。

4. 管理性程序齐备。尽可能降低劳动强度。输出数据步步检核,以使其后的运算不出错,不会出现大范围的返工。扫描时还可以测地形特征点,或抹去某一观测不准的扫描点,再重测。

5. 备有用户程序,可以直接输出地形断面或地面正方格网的DTM,供重力地形改正,高压线选线等等专业部门应用。

数控绘图机 为了实现高精度脱机绘图,我们自行装配了一台由小型电子计算机控制的接触式绘图机,它能直接刻图,其精度和线条质量可满足地图要求。

它的系统构成,完全与数字化器共用同样的硬设备,只是把被控制的坐标仪改成绘图桌,软件一更换就行了。这样可以提高设备利用率,白天数字化,晚上自动绘图。

该部分的框图如下:

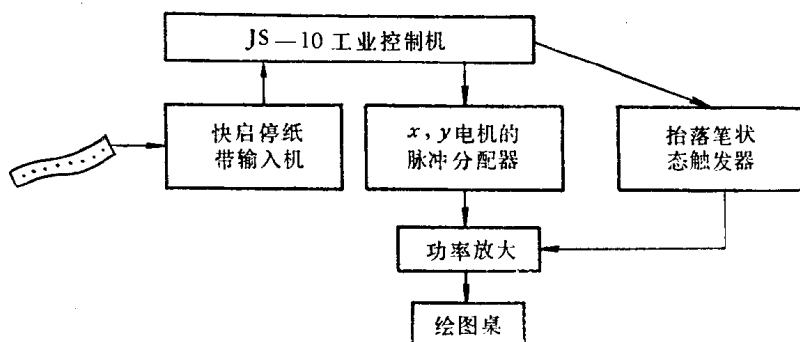


图5

硬设备简单,没有任何硬插补器,由计算机直接加工成两个电机所需要的正反走脉冲。并由程序负责把脉冲均匀化和频率的递增,递减。光电机所得代码接总线,中导孔信号接中断申请,用程序实现引导。设备号寄存器不用,输出信口也直接从总线输出,这就保证了接口电路最大限度的压缩。

其特点如下:

1. 用纸带脱机绘图,成本大为下降。这需要有专门的压缩技术,否则纸带脱机绘图线是难以应用的。

2. 一般的绘图机只对X, Y方向的速度进行控制, 所以45°方向的线速度就比0°方向大 $\sqrt{2}$ 倍, 这对刻图是不利的, 而本机器受控的是线速度。

3. 随时可以输出曲线的即时切向、曲率、曲率变化率作为控制用。

4. 备有专门的等高线注记程序, 控制带只需指出这根曲线有无注记, 高程多少, 绘图机就能以一定的间隔自行在曲率小的地方安排注记。并能实现如下指标: 字的中心落在等高线上, 并且字的中心的曲线距离相等, 字的横轴方向与字中心处等高线的切线方向一致, 字头朝向山顶。以上控制软件在一般通用绘图机内是没有的。

数控正射投影仪 仪器仍然以数控的方式脱机工作, 采用线元素纠正, 扫描点投影, 使之比直接投影有较好的影象质量和更高的精度, 并能晒制彩色正射象片。

(二) 方法与软件

由数字化器出来的纸带, 以一幅图为单元一起送入DJS-6计算机进行计算, 经过数据处理, 航测运算, 内插DTM, 找等高线, 曲线拟合, 数据压缩编辑等工序, 最后输出一根八单位纸带用来控制绘图机绘制曲线。下面分别给予介绍。

数据处理 这部分程序比较简单, 扫描点在纸带上记录的只是p的增量, 每一个点用qbit记录。数据处理程序首先把这个特殊格式的纸带引导(输入)至内存, 然后把p的完整形式恢复起来, 并配以对应的x, y留待备用。

航测运算程序

1. 象点坐标改化公式 航测运算采用改化为理想象对象片坐标的方法, 对一个象对十二个外方位元素(相对定向, 绝对定向)采取联立一次解出。

12个外方位元素为:

X_s, Y_s, Z_s (S ——左投影中心在大地坐标系中的坐标)

B_x, T, V (基线的三个分量, 其中 $T = \frac{B_x}{B_x}, V = \frac{B_z}{B_x}$)

φ, ω, χ (左片的三个角元素)

φ', ω', χ' (右片的三个角元素)

2. 外方位元素的解求

欲求12个外方位元素, 象对内一般要有四个已知控制点, 每个点可列下面三个方程四

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -X_D + X_s + \frac{B_x}{p^0} x^0 = 0 \\ F_y &= -Y_D + Y_s + \frac{B_x}{p^0} y^0 = 0 \\ F_z &= -Z_D + Z_s + \frac{B_x}{p^0} (-f) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

个点共12个方程。

除此以外还可以列一种Q方程，即每一对象点的理想坐标 y^0 应该等于 $y^{0'}$

$$F_0 = y^0 - y^{0'} = 0 \quad (2)$$

每点一个Q方程，8个定向点共可列8个方程。

线性化后得到20个误差方程式，便可通过最小二乘法求解。

误差方程式的系数列表于65页

3. 特殊的前方交会

除观测8个定向点外，我们还扫描观测了成千上万个格网点。在解出12个外方位元素后，怎样根据这些格网点的象片坐标 x, y, x' 来解求其大地坐标 X_D, Y_D, Z_D 呢？这里需采用一种特殊的前方交会法。现将其公式推导如下。

为讨论方便，暂以右投影中心5为原点，坐标 $(0, 0, 0)$ ；左投影中心4坐标 $(-B_x, -B_y, -B_z)$ ；左象点3坐标 $(X_3 - B_x, Y_3 - B_y, Z_3 - B_z)$ ，见（图6）。

现在右方象片上作两个辅助点1, 2，象点1坐标 $x'_1 = x'_3, y'_1 = +100^{\text{mm}}$ ；象点2坐标 $x'_2 = x'_3, y'_2 = -100^{\text{mm}}$ 。这二点的空间坐标为 (X_1, Y_1, Z_1) 和 (X_2, Y_2, Z_2) 。由5, 1, 2三点组成的一个平面其方程为：

$$\begin{vmatrix} X & Y & Z \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

由4, 3两点组成的直线方程为：

$$\frac{X + B_x}{X_3} = \frac{Y + B_y}{Y_3} = \frac{Z + B_z}{Z_3} = \kappa$$

则有

$$\left. \begin{aligned} X &= \kappa X_3 - B_x \\ Y &= \kappa Y_3 - B_y \\ Z &= \kappa Z_3 - B_z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

不难看出，该直线与平面的交点就是所求的模型点 (X_D, Y_D, Z_D) 。

由（3），（4）式联立解，可得投影系数：

$$\kappa = \frac{\begin{vmatrix} B_x & B_y & B_z \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} X_3 & Y_3 & Z_3 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}} \quad (5)$$

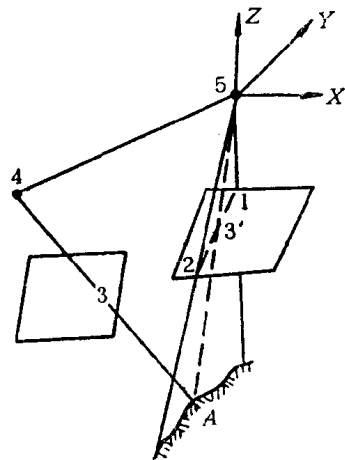


图 6

未知数	X_s	Y_s	Z_s	B_x	T	V	φ	ω	x	φ'	ω'	x'	L (在等号左边)
4个 F_x 方程	1	0	0	$\frac{x}{P}$	0	0	0	0	$-\frac{Bx}{P}y$	0	0	0	$X_s + \frac{Bx}{P^0}y^0 - Y_b$
4个 F_y 方程	0	1	0	$\frac{y}{P}$	0	0	0	0	$-\frac{Bx}{P}x$	0	0	0	$Y_s + \frac{Bx}{P^0}y^0 - Y_b$
4个 F_z 方程	0	0	1	$-\frac{f}{P}$	0	$\frac{Bx}{P}x'$	$M\left(f + \frac{x^2}{f}\right)$	$M\frac{xy}{f}$	$-My$	$-Mx \times \left(f + \frac{x'^2}{f}\right)$	$-M\frac{x'y'}{f}$	My'	$Z_s + \frac{Bx}{P^0}(-f) - Z_b$
8个 F_q 方程	0	0	0	0	$-P$	$-\frac{Py'}{f}$	$-\frac{xy}{f}$	$f + \frac{y^2}{f}$	x	$-\frac{x'y'}{f}$	$-\left(f + \frac{y'^2}{f}\right)$	$-x'$	$y^0 - y'^0$

注 1. 表中 $M = \frac{Bxf}{p^2}$

2. 在建立系数时, 全部的 x, y, x', y' 均用紧挨着的前一次改化过后的 x, y, x', y' 而不是原始观测值。这样, 系数的精度就提高了。
3. 考虑到控制点的辨认误差中平面远大于高程, 故平面误差方程中, 除 x, X_s, Y_s, B_x 四项以外, 其余系数全部为零。

最后将坐标原点仍移至左投影中心，则得

$$\begin{aligned} X_D &= \kappa X_3 + X_s \\ Y_D &= \kappa Y_3 + Y_s \\ Z_D &= \kappa Z_3 + Z_s \end{aligned} \quad (6)$$

内插数字地面模型

在较大区域内按最小二乘配置法内插地面数字模型，在理论上是比较理想的。但是计算时间长，协方差矩阵难以准确估算。从某种意义上说，采用在关键的点（线）上加测特征点或适当加密的办法，对提高精度更为显著。所以我们未采用配置法，而是用带有特征点的二次曲面内插（小区域）。如果说这样内插带有一定的误差，那么在其后的等高线曲线拟合中能得到一定程度的补偿。

二次曲面内插方法很简单，首先沿结构线来一次加密，使特征点的数量得以增多，然后用基本点周围相距一步的点（扫描点、特征点）来建立一个小二次曲面。用最小二乘法求出待定系数，这样一来小区域内各内插点高程就可以求出来了。

寻找等高点列

经过内插已经得到一个加密后的，其间隔约为 0.3^{mm} （象片上）。在 x 方向有 N 个大格（大格是指观测的点） $3N$ 个小格， y 方向 M 个小格 $3M$ 个小格。

这十几万个点的高程以字节的形式保存在内存中，每一大格并配有一根逻辑尺作控制用。搜索曲线的过程分四重循环。最内层是核心，负责把一根曲线追踪到底，只要有一个等高线头该程序就能把它“走”到整个区域的边界或重新回到出发点。这个程序的外层即第三重循环负责把某一大格的等高线头找完，例如从某大格出发有一根曲线已被第四重循环追踪完毕，这时要回到原来的大格看看是否还有别的高程的等高线头？直到把这个格子的各种高程的等高线头全部“抓完”为止。全部 $M \times N$ 个格子都要经过这个“找头循环”的处理。第一、二重循环就是负责把 $M \times N$ 个格子引入这个“找头循环”的，可称为“搜索循环”。

第一重循环：换圈（从外向内收缩搜索）。循环次数最多 $\frac{M}{2}$ （或 $\frac{N}{2}$ ，看谁小）次。循环变量为 U_3, V_3 。 U_3, V_3 的路线为 $1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow \dots$ 。纵 $U(1-M)$

第二重循环：走圈，沿每圈逆时针搜索。循环变量为 U_2, V_2 。路线是 $1, 1 \rightarrow 1, 8 \rightarrow 6, 8 \rightarrow 6, 1 \rightarrow 1, 1$ 。

第三重循环：找头（在一个大格内依等高线高程由低 $\rightarrow$ 高）。第一圈找到的全部是开曲线的头，其后则全部是闭曲线了。

第四重循环：一根曲线跟踪到底的循环，次数随机。自变量 U_1, V_1 由示意图7看 U_1, V_1 路线，等高线(1)为 $1, 1 \rightarrow 2, 1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 4, 2 \rightarrow 4, 1 \rightarrow 3, 1$ 。

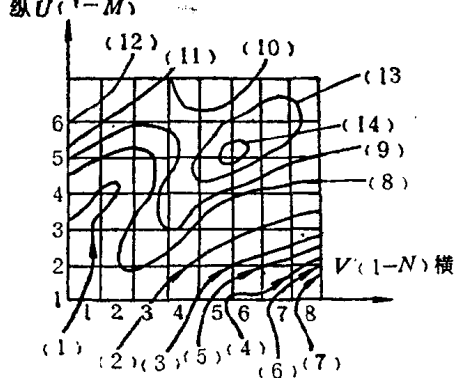


图7

程序中包含下列子程序：（1）求一大格中16个点（9个小格）的地面坐标；（2）求大格有几条曲线和未画过的等高线中最低一条的高程；（3）求等高线头坐标；（4）跟踪曲线子程序；（5）等高线留迹程序等等。现在重点介绍跟踪曲线子程序的思想。

一般方法中采用距离原则和方向原则来跟踪等高线都不够好，计算速度慢而且有漏洞。我们使用的是一种“多重链”方法，这是一个软件技巧。

从一个小格的一条边开始，如果这条边上肯定有一个等高线点，可以断言其他三个边上一定至少有一个等高线点。由一个出发边向某一个探索边进行探索叫做一次行动。而一个方格的四个边都可能作为出发边，每个出发边又可能有三个探索方向，也就是说有12种行动路线。每一种行动路线都有自己的地址修改法等等特性，所以每一种行动对应于一个占内存八个单元的动作元素表，12个动作元素表互相记载着与己有关的另一行动表的头地址。这样的表就叫链。链在程序设计中极有用。表中存放了：（1）本行动的地址修改法（整型数）；（2）本行动若成功转入下一方格的某种行动的表头地址；（3）本行动若失败下次行动的表头地址；（4）本行动若成功了又到达大格边界（一个大格内有9个小格）时下一个出发边的地址以及大格下标怎样修改。所以表的内容既有地址，又有指令，又有常数；整个跟踪曲线程序由于有了这个链结构变得很简单。

这种链的结构并不是简单的首尾相接而是复杂地交织在一起，故称为多重链。在此基础上，为提高速度采取保留切线方向的探索，以减少搜索次数。同时需对同一个格子四条边均出现同一高程的等高点这一例外情形加以特殊处理。如若等高线正巧通过格网点则必需把该点的高程人为提高 $0.00001M$ ，以防止退化。

曲线拟合：

原始的等高线点列必须经过曲线拟合完成运算之后方能达到等高线线划图的出版要求。

曲线拟合的关键问题是选用什么曲线去拟合等高线点列。例如可以用二次曲线、三次曲线、圆以及以弧长为参数的二次参数方程、张力样条等等。但是由于等高线走向的随机性它没有什么对称中心，对称轴，走向也是任意的。虽然等高线上的每一个点可以用直角坐标来标定，但在直角坐标系内描述随机曲线似乎存在一定的困难。以上各方式用来描述等高线的形态很不理想。为此我们寻求了一种新的、独特的与等高线的随机性能很好适应的一种曲线，我们且称之为 s 曲线。

在直角坐标系中以弧长为参数的参数方程为：

$$x = f_1(s) \quad (7)$$

$$y = f_2(s) \quad (8)$$

对这二式求导、相除、求反正切后得到

$$\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{dx/ds}{dy/ds}\right) = f_3(s) \quad (9)$$

显然方程左边的含义就是曲线在弧长为 s 的点处的切线弧度值。我们用 a 来代表它，并用多项式来逼近 f_3 ，则有

$$a = a_0 + KS + JS^2 + IS_3 + \dots \quad (10)$$

上式就是我们要用的曲线。它既不是在笛卡尔坐标系内定义，也不是在极坐标系内定义，而是一个“局部方向坐标系”。实践证明这种曲线在确定的系数条件下对应着唯一确定的形态。很有趣，它的每个系数都有明确的几何意义：由 S 的零次方开始依次是旋转系数、滑动系数、缩放系数，仿射变换系数……。

为了便于运算，我们只取到平方项。

$$a = a_0 + KS + JS^2 \quad (11)$$

式中 S 是弧长， a_0 、 K 、 J 是方程的系数， a 是弧长为 S 点上的曲线切线方向的弧度值（从中央子午线正北方向开始顺时针记为正）。这个方程的意思是： $K=J=0$ 时为直线；如果 $J=0$ ， $K \neq 0$ 就是一个圆， $K>0$ 为顺圆， $K<0$ 为逆圆；当 $J \neq 0$ ， $K \neq 0$ 时是一个曲率在弧长方向线性改变着的圆，可称之为变曲率圆。形态如图8。很象一个曲线板。这就是我们用来拟合等高点列的形态可变的“解析曲线板”。

就用数千块这种解析曲线板上的各段以一阶光滑度连接起来表现等高线。

这种曲线的曲线发生程序很容易由“求和”运算来实现，控制绘图机的控制程序比较好编。另外，这种曲线比较适应于大挠度随机曲线，并且信息量很小。



图8

而要用这种曲线拟合等高线，必须回答如下问题：

1. 已知一根曲线的全部参数：起始点坐标 x_0 、 y_0 、起始切线 a_0 、起始曲率 K 、曲率变化率 $2J$ ，求在规定弧长 S_1 点的直角坐标（图9）。

已知 x_0, y_0, a_0, K, J

求 x_1, y_1

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 + \int_0^{S_1} \cos(a_0 + KS + JS^2) dS \\ y_1 &= y_0 + \int_0^{S_1} \sin(a_0 + KS + JS^2) dS \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

很容易证明

上式很难进一步化简成为便于计算机运算的形式。

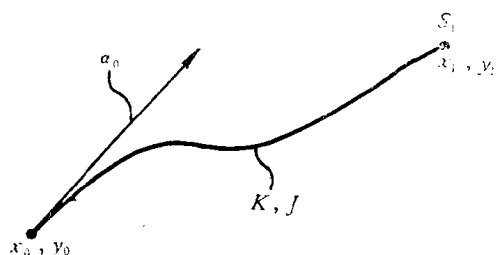


图9

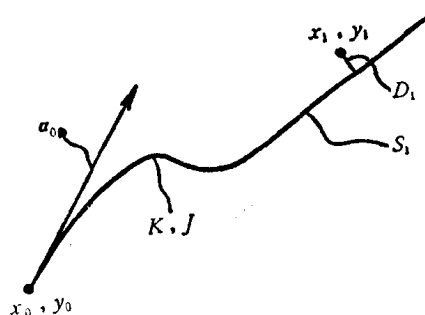


图10

2. 已知一根曲线的全部参数, 和一个被拟合点的直角坐标, 求该点偏离该曲线的法向偏差与弧长 (图10)。

已知 $x_0, y_0, a_0, K, J, x_1, y_1$

求 D_1, S_1

3. 已知一根曲线的全部参数和被拟合的几个点的法向偏差如何求得起始曲率 K , 曲率变化率 $2J$ 的期望值, 使得新曲线按最小二乘配赋原则穿过这几个点。解决这一问题的关键是每个点的误差方程式怎样求 (图11)。

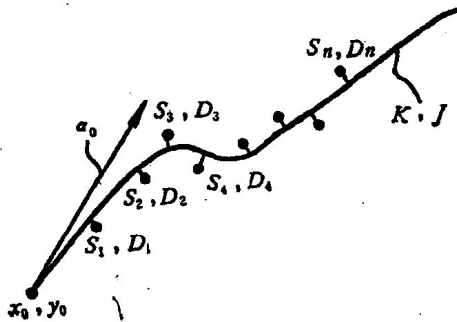


图11



图12

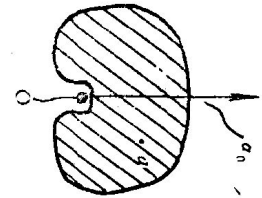


图13

已知 $x_0, y_0, a_0, K, J, \frac{D_1, \dots, D_n}{S_1, \dots, S_n}$

求 $\Delta K, \Delta J$, 使 $[PDD] \rightarrow \min$

回答上述问题在数学上是困难的, 然而有了计算机, 我们可以用“直接模拟”算法。对第一个问题采用数值积分方法, 对第二个问题采用逐点试探, 第三个问题采用近似公式的迭代算法。以上这些方法计算速度非常慢。为此我们发展了一种快速拟合算法, 其基本思想是“让机器具有经验”——数据回收。从一个起始点, 和一个起始切线出发通过前方一个指定点 a 可以作无穷多根这种曲线。对曲线方程的系数 K, J 进行量化, 并规定了它的最大值后, 这无穷多根曲线就变成了一族根数有限的曲线。再移动 a 点就能获得若干族曲线。让机器先花大量时间, 把每一族的每一根曲线的量度性质和微分性质都作一次侦察, 并将侦察的结果“建库”。然后对这个库进行一次不丢失应有精度的压缩 (曲面拟合或编码压缩) 把数据库的体积缩小成一个“表”存放在计算机内, 在以后的生产性曲线拟合运算时只要不断的查表就行了。

图12显示了我们的“曲线资源”的若干分之一。实际上 a 点并不允许任意移动。这就出现一个视野问题。在 xy 平面上有一个点 O 和起始切线 a 。如果在 xy 平面内有一个 a 点, 能够从我们的“曲线资源库”中找到一族曲线通 a 点, 则称 a 点在视野内。经过计算机侦察发觉我们的视野图如下 (阴影部分为在视野以内) (图13)

前述三个问题在计算机的帮助下一一得到解决。获得了很高的拟合速度。

因为被拟合的是随机曲线, 所以程序中要引入较多的随机变量而决不能用常数来代替

这些随机变量，这是很重要的经验。这些随机变量计有：

1. 参加拟合的型值点间隔，它应随地面坡度增大而缩小。
2. 每个点的残留法向偏差的允许最大值，它随地面坡度加大而减小。
3. 每一段S曲线的长度，它随着等高线的客观形态而定（在法向偏差允许的情况下尽可能长），这有利于信息压缩。

4. 参加拟合的点的权，因地面坡度而异。

5. 分段曲线之间重叠部分的弧长随曲线挠度改变，挠度加大，重叠部分弧长减小。

所有这些随机变量均是地面坡度、曲线挠度这些原始随机变量的函数。都是些什么样的函数关系呢？程序编通之后需要对这些函数关系（体现为一些常数的确定）来一个“多元优选”以获得最佳值。而在生产时，编绘人员又能通过调整这些常数而获得不同的编图效果。特别是残留法向偏差的允许值 ϵ 很有一点“综合”的意思。当 ϵ 太小曲线紧贴着等高点走此时取舍太少曲线不光滑不必要的小弯弯太多，信息量太大。而 ϵ 太大时曲线极为光滑，信息量很小，但由于拟合精度下降，以致个别情况下相邻曲线相交。经过试验， ϵ 取为当地等高线水平间距 $1/5 \sim 1/7$ 为好。

所有这些随机变量都有自己的上界与下界，实用上随机变量值被估算出来后还要与它的上界取 $\min$ ，与下界取 $\max$ 。

$$P := \max (P, P_{\min}) ;$$

$$P := \min (P, P_{\max}) ;$$

这一步骤是很必要的。

使用这种曲线的好处是实现不等权的法向配赋。非最小二乘法的拟合（点点都要通过）是不合理的，因为等高点本身带有误差。而把拟合偏差分解为 Δx ， Δy 两个方向，配赋显然也不好。等权的法向配赋也不够好，因为地面坡度越小要求等高线的位置精度就越低。不等权的法向配赋还带来了“综合”的效果。此外由于使用了这种曲线来拟合等高线使信息量大大减少，一般的绘图机一幅地图大约需要一盘磁带，而我们只需要一盘纸带就行了。另外，它给控制绘图带来不少好处。随时都有切线方向、曲率、曲率变化率的即时值作为控制切向，控制线速度的参数。

实践表明这种拟合程序在等高线密集的条件下也基本上能胜任（图14）。

压缩数据

由于条件限制，目前我们使用的是“纸带文件”。但这有一个好处，迫使我们在数据压缩方面取得了进展。

信息压缩的方法分为方法的和编码的两种。考虑一个一阶光滑度的分段S曲线，其中每一段都需要记录自己的起始点坐标、起始切线、起始曲率和曲率变化率。由于第二段曲线与第一段交界处有公共的切线方向和公共的切点，所以第二段就不再需要自己的起始点坐标和起

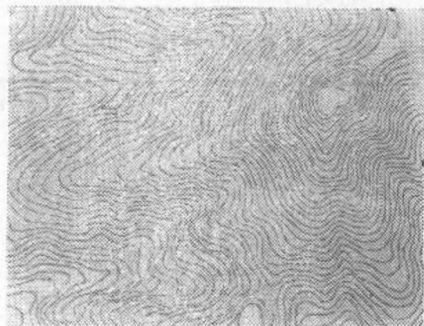


图14

始切线，如果是二阶光滑度，连起始曲率也不需要。估计等高线还是一阶光滑度为好，个别情况下连一阶光滑度也难以保证。曲线的各种参数需要经过量化处理以整型量的形式储存、传递。一个合理的量化单位既可不丢失精度，又能压缩信息。有些参数若进行非线性量化则可以进一步压缩信息。因为曲线是随机的，所以描述它的参数也是一些随机量而且其分布是正态的，如果重新编码使取值概率大的量对应着“比特数”小的码则信息量又进一步压缩。要想压缩至最低限度，技术上是极为复杂的，一般只适合用较简单的压缩技术。我们目前做到了对扫描的格网点每点用九个比特记录，等高线控制数据图面上每毫米长的曲线约需 7 Bit 记录。

编辑 直至现在所获得的数据都是以单个象对为单位的等高线数据，为了以整幅图的形式输出曲线，还要经过一次图形编辑。

图形编辑程序是一件比较复杂的事情，在一个好的文件系统支持下能较顺利地解决。我们目前只有对一幅图的数据进行编辑的简单编辑程序。其功能只限于在象对交界处把等高线接起来，在图廓边把等高线截断这样一些简单的内容。

(三) 成果的初步应用及试验结果

数学地面模型的应用十分广泛，它与地质勘探、水利、电力、铁道、公路、农业、林业等部门的规划设计相结合，可产生一场大的变革，显示出明显的优越性。目前，我们仅在提供“重力地形改正结点高程”“高压输电线路的断面高程”以及由 DTM 输出带高程标注的等高线图等方面做了一些试验。情况如下：

(1) 内插重力地形改正结点高程

用改化后的数控测图程序，在 DJS—6 计算机上，根据数字地面模型内插出 $50m \times 50m$ 的格网结点高程，高程数据由窄行打印或宽行打印机输出，并可同时由 xy 绘图仪按点的位置自动书写结点高程数据，小数点表示结点位置。

用地质局物探队的资料试验。在象片坐标数字化器上扫描，电算内插出结点高程共 373 个，与重力点相重合的点有 44 个，统计其精度如下。

高程中误差 $m_h = \pm 1.14$ 米

用同样资料，在 Topocart B 地形测图仪进行量测，其中误差为 ± 1.85 米

	误差分布范围					
	0~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	3.1~4.0	4.1~5.0	> 5 米
点 数	29	10	3	1	0	1
%	66	23	7	2	0	2

（2）高压输电线路的断面高程

利用数字地面模型可直接内插得到高压输电线路方向上的断面高程以及沿线两旁 ± 16 米的断面高程。分别用国内三个省水电勘测设计院的象片资料，象片比例尺 $\approx 1:12000$ ，试验结果与野外实测成果比较，高程精度 ± 0.3 米，满足设计要求。

（3）数控绘图机自动刻绘地形图的数学基础的试验。只须将四个图廓点坐标及待展点的大地坐标穿孔输入计算机，绘图机便能自动展绘内外图廓线及全部公里格网线；自动展点，自动书写该点高程，并能写少量汉字。图15 7741.7一点最后展出为了检验展点精度有意安排在公里网交点处。

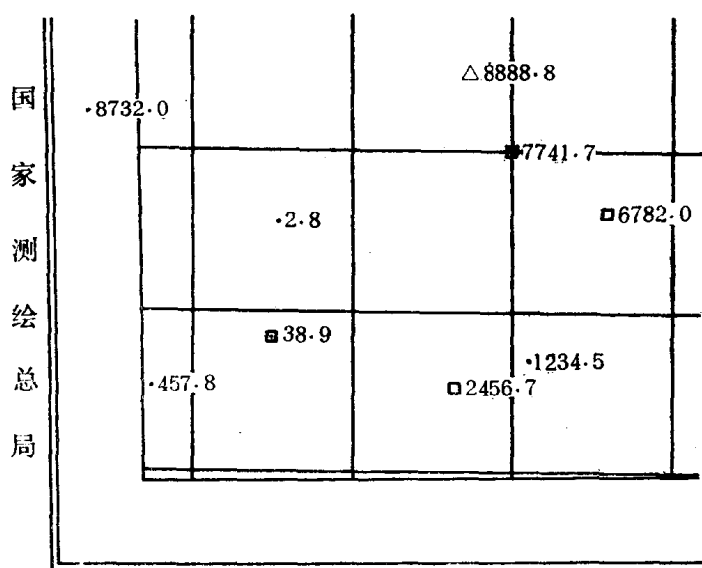


图 15

（4）数控绘图机自动刻绘曲线和自动注记计曲线高程的试验。

用 DJS—6 机输出的一根八单位控制纸带，通过快启停光电输入机分段输入曲线的头坐标及曲线参数，绘图机用红石刻针便能在刻图膜上将曲线直接刻绘出来，从而可省去大量手工清绘劳动（图16）。

（5）确定“综合系数”的试验。

要实现综合可通过修改参加拟合的型值点间隔的方法，这可称为距离综合法。也可以限制曲线的挠度来达到综合的目的，这可称为方向综合法。而这里所说的综合系数是指拟合的法向偏差的限差。下图是拟合偏差规定为等高线水平间距的 $1/18$ 和 $1/6$ 两个系数的绘图效果。试验表明该值取为 $1/5 \sim 1/7$ 效果较好。



图 16



图 17

AN INTRODUCTION TO COMPUTER- CONTROLLED DIGITAL MAPPING SYSTEM

Liu Xianlin, Zhou Yi, Zhon Zuoyu, Liu Sining

Abstract

This paper presents a computer-controlled digital mapping system and the involved method, hardware as well as software, with emphasis on the concept of curve fitting and data reduction.