

# 扫描图象细化后象点点位精度研究

葛永慧

(太原理工大学测绘科学与技术系, 太原 030024)

**摘要** 该文提出了一种计算扫描图象细化后象点点位中误差的方法. 通过实验, 得出的主要结论是: 扫描图象细化后的点位精度由固定误差和比例误差两部分组成; 不同细化算法对点位精度影响不大, 但扫描仪可能存在系统误差, 其大小有待进一步研究. 图象细化是扫描图象矢量的基础, 研究扫描图象细化后的精度对某些应用领域(如图象转换为GIS数据库的数据)有着重要的意义.

**关键词** 扫描图象 象点点位精度 计算方法

中图分类号: TP234.4 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2000)02-0163-04

## A Study of Pixel Position Accuracy of Scanned and Thinned Image

GE Yong-hui

(Department of Science and Technology of Surveying and Mapping, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024)

**Abstract** An algorithm for estimating mean square error of the pixel position of scanned and thinned image is put forward in this paper. Based on some experiments, the conclusion is obtained that mean square error of pixel position is generally composed of both constant error and ratio error, the effect of different thinning approach on the accuracy is too small and the scanner may exist regular error etc. Thinned and scanned image is the basis of tracing vectorization and its accuracy is important in such areas as translating it into datum used by GIS. So it is necessary to study pixel accuracy of scanned and thinned image.

**Keywords** Scanned image, Pixel position accuracy, Method of estimation

## 0 引言

地图数字化是地理信息系统采集数据的一种主要手段, 扫描技术的进一步发展和完善, 为地图数字化提供了新的途径. 关于传统手扶数字化仪数字化地图的精度情况已有较多的论述<sup>[1,2]</sup>; 而自动化程度高、劳动强度小、速度快的扫描屏幕数字化技术将逐渐取代数字化仪数字化, 而成为地图数字化的主流<sup>[3]</sup>. 目前扫描图象的屏幕跟踪数字化方法已得到了广泛应用, 自动跟踪数字化的方法也在逐渐地得到应用, 无论是扫描图象的屏幕跟踪数字化方法, 还是自动跟踪数字化方法都基于细化算法, 数字化的精度取决于扫描图象细化后象点的精度, 但对于扫

描图象细化后能达到怎样的精度尚未见报道.

目前 GIS 在社会各领域正得到日益广泛的应用, 其建立数据库, 要求采集的数据应达到一定的精度, 以保证根据这些数据作出的各种决策正确, 符合实际. 用扫描地图的方法采集到的数据(图象), 经细化后的精度取决于扫描仪的精度和被扫描图纸的精度以及细化过程的精度, 前两者的精度主要受扫描仪制造工艺的影响和图纸质量的影响, 而后者与细化算法有着一定的联系. 本文主要研究扫描图象细化后象点点位精度的有关问题.

## 1 扫描图圆半径的中误差

图上的圆周, 经扫描后形成一个二值图象点集

{x, y}, 由点集{x, y}可计算得到该圆周的重心坐标  $P(x_0, y_0)$  和圆的平均半径  $R_0$ . 设  $n$  为点集{x, y}中所包含象素点的个数, 则

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, R_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

令

$$v_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - R_0, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

圆的半径  $R$  的方差  $D_R$  为

$$D_R = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i \times v_i)}{n - 1} \quad (4)$$

圆的半径  $R$  的中误差  $M_R$  (均方误差) 为

$$M_R = \pm \sqrt{D_R} \quad (5)$$

首先对图上实际直径由 7mm 至 167mm 大小不等的 49 个圆, 以一定的分辨率每旋转 15° 扫描一次, 共进行 7 次扫描, 采用一定的算法细化后, 生成 7 幅单象素线宽的图象. 然后, 对每一幅图象计算其中每一个独立模式(圆)的  $x_{0j}, y_{0j}, R_{0j}, M_{Rj}$ , 进而计算这 7 幅图象的平均中误差  $\bar{M}_{Rj}$  和平均半径  $\bar{R}_{0j}$  (以象素为单位,  $j$  表示不同的半径,  $k$  表示第  $k$  次扫描).

$$\bar{M}_{Rj} = \sum_{k=1}^7 M_{Rjk}, \bar{R}_{0j} = \sum_{k=1}^7 R_{0jk} \quad (j = 1, 2, 3, \dots, 49)$$

按上述方法, 用 2 台不同厂家生产的平板式 A4 扫描仪, 以 300dpi 和 200dpi 两种分辨率扫描, 分别用文献[4]和文献[5]所述方法对扫描圆进行细化和计算平均中误差  $\bar{M}_{Rj}$ 、平均半径  $\bar{R}_{0j}$ , 并进行回归计算, 得到回归方程(圆周半径中误差的表达式)

$$\bar{M}_{Ri} = a + b \times \bar{R}_{0i} \quad (\text{相关系数 } \rho) \quad (6)$$

两台扫描仪扫描、细化后的中误差、平均半径经回归计算的固定误差  $a$ 、比例误差  $b$  和相关系数  $\rho$  见表 1 和表 2. 由相关系数  $\rho$  可知, 回归计算是有效的, 因此式(6)为圆周半径中误差的表达式. 对于所使用的扫描仪圆周半径中误差的表达式分别为

$$\bar{M}_{RjA} = 0.38 + 0.00128 \times \bar{R}_{0j};$$

$$\bar{M}_{RjB} = 0.37 + 0.00160 \times \bar{R}_{0j}$$

式中, A、B 分别代表扫描仪代号.

表 1 A 扫描仪回归计算固定、比例误差值

分辨率	细化方法	a	b	ρ
300dpi	文献[4]	0.35	0.00131	0.976
300dpi	文献[5]	0.47	0.00128	0.979
200dpi	文献[4]	0.30	0.00118	0.983
200dpi	文献[5]	0.40	0.00130	0.969
平均值		0.38	0.00128	0.978

表 2 B 扫描仪回归计算固定、比例误差值

分辨率	细化方法	a	b	ρ
300dpi	文献[4]	0.29	0.00168	0.998
300dpi	文献[5]	0.44	0.00160	0.998
200dpi	文献[4]	0.31	0.00158	0.998
200dpi	文献[5]	0.43	0.00152	0.997
平均值		0.37	0.00160	0.998

## 2 扫描后的点位中误差的计算

对式(2)全微分, 并考虑到  $x_0, y_0$  的方差很小, 因而可将它们视为常量, 经整理得

$$D_{Ri} = \left| \begin{array}{cc} \frac{x_i - x_0}{R_i} & \frac{y_i - y_0}{R_i} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} D_{xi} \\ D_{yi} \end{array} \right| \quad (7)$$

对式(7)运用协方差传播律得

$$D_{Ri} = D_R = \left| \begin{array}{cc} \frac{x_i - x_0}{R_i} & \frac{y_i - y_0}{R_i} \end{array} \right| \left| \begin{array}{cc} D_{xixi} & D_{xyi} \\ D_{xyi} & D_{yiyi} \end{array} \right| \times \left| \begin{array}{cc} \frac{x_i - x_0}{R_i} & \frac{y_i - y_0}{R_i} \end{array} \right|^T \quad (8)$$

设:  $x_i$  和  $y_i$  相互独立, 即  $D_{xyi} = D_{yixi} = 0$ ;  $D_{xixi} = D_{yiyi}$  代入式(8), 得

$$D_R = D_{xixi} \times \left[ \frac{(x_i - x_0)^2}{R_i^2} + \frac{(y_i - y_0)^2}{R_i^2} \right] = D_{xixi} = D_{yiyi} \quad (9)$$

事实上, 目前在应用平板式扫描仪工作时, 图象放置在平板上, 从光源发出的光经聚光后, 入射到被摄图象上, 经光电倍增管放大后便成为图象信号, 而扫描过程则是通过平台沿两轴方向的机械运动来实现, 因此可以认为同一个扫描点的  $x$  分量和  $y$  分量是相互独立的随机变量. 用  $D_{zi}$  表示点位方差, 则

$$D_{zi} = D_{xixi} + D_{yiyi} = 2D_{xixi} = 2D_R \quad (10)$$

点位中误差

$$M_{zi} = \sqrt{2D_R} = \sqrt{2} M_R \quad (11)$$

用平均中误差  $\bar{M}_{Rj}$  代替  $M_R$ , 用计算点相对于基准点的距离  $D_i$  代替  $R_{0i}$ , 并将式(6)代入式(11)得点位中误差

$$M_{zi} = \sqrt{2} M_R = \sqrt{2} a + \sqrt{2} b \times D_i \quad (12)$$

由式(1)~(3)可知, 所得各方差、中误差是以圆的重心坐标  $P(x_0, y_0)$  为基准的, 也即各方差和中误差是相对于基准点  $P(x_0, y_0)$  的方差和中误差.  $D_i$  是计算点相对于基准点  $P$  的距离. 由式(12)可知

(1) 扫描图象细化后点位中误差由固定误差和比例误差两部分组成, 其关系式为

$$M_{zi} = a + b \times D_i \quad (13)$$

如果  $M_{zi}$  和  $D_i$  以象素为单位,  $a$  和  $b$  的大小与扫描分辨率无关.

(2) 不同扫描仪的扫描结果精度不同. 试验用的 A、B 两台扫描仪的点位精度分别为(象素单位)

$$M_{ziA} = 0.54 + 0.0018 \times D_i \quad (14)$$

$$M_{ziB} = 0.52 + 0.0023 \times D_i \quad (15)$$

(3) 对矢量化地形图的影响. 为了保证图上 0.1mm 宽的线段不至于产生断裂和使数据量尽量小, 矢量化的地形图通常用 300dpi 的分辨率扫描, 也即每毫米 11.8 条扫描线. 地形图图幅大小一般为 500mm×500mm, 对应于 300dpi 分辨率的扫描, 每幅图的象素数约为 6 000×6 000. 以图幅中心为计算中误差参考点, 最大  $D_i = \sqrt{2} \times 3 000$ , 试验用的 A、B 两台扫描仪的点位中误差最大值分别为:

$$\begin{aligned} M_{ziA} &= 0.54 + 0.0018 \times \sqrt{2} \times 3 000 \\ &= 8.17 \text{ 象素} = 0.69\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ziB} &= 0.52 + 0.0023 \times \sqrt{2} \times 3 000 \\ &= 10.27 \text{ 象素} = 0.87\text{mm} \end{aligned}$$

### 3 平均半径相对差

实验中, 发现不同扫描仪对相同半径圆周的扫描结果所计算的平均半径有着较大的差异, 为了度量这种差异, 引入平均半径相对差的概念. 定义平均半径相对差为

$$\Delta = \frac{R_{0iA} - R_{0iB}}{R_{0iA}} \times 100\% \quad (16)$$

式(16)中 A 和 B 为不同的扫描仪代号. 不同扫描仪的扫描结果, 以两种细化算法细化后计算所得的平均半径相对差见表 3 和表 4. 表中平均半径相对差由 49 个不同半径的圆(圆半径为 990 至 40 象素单位) 计算而得到. 由表中可见, 细化算法的差异对扫描图象的精度有一定影响, 但不显著; 不同的扫描仪缩放比例不一致, 不同扫描仪用相同的分辨率

和细化算法所得的平均半径  $R_{0i}$  的相对差  $\Delta$  约为 1.0%, 这表明在试验所用的 2 台扫描仪中, 至少有一台扫描仪存在系统误差. 对于以 300dpi 的分辨率, 扫描 500mm×500mm 图幅大小的地形图, 对角线的象素数约为  $\sqrt{2} \times 6 000$ , 其最大误差绝对值为  $\sqrt{2} \times 6 000 \times 1.0\% = 84$  个象素, 这对于数字化地形图是不可忽略的.

表 3 文献[4] 细化法平均半径相对差(%)

0.94	0.97	0.97	0.98	1.02	1.03	1.02
0.95	0.97	0.97	0.98	1.02	1.03	0.99
0.95	0.97	0.97	0.99	1.02	1.03	0.97
0.96	0.97	0.97	0.99	1.02	1.04	0.99
0.96	0.97	0.97	1.00	1.03	1.04	0.96
0.96	0.97	0.97	1.01	1.03	1.04	0.93
0.97	0.97	0.97	1.02	1.02	1.03	0.84
平均值= 0.986%						

表 4 文献[5] 细化法平均半径相对差(%)

0.94	0.97	0.97	0.97	1.01	1.02	1.02
0.94	0.97	0.96	0.97	1.01	1.03	0.98
0.95	0.97	0.96	0.98	1.02	1.02	0.96
0.95	0.97	0.96	0.99	1.02	1.02	0.95
0.95	0.97	0.96	0.99	1.02	1.03	0.93
0.96	0.97	0.96	1.00	1.02	1.04	0.90
0.96	0.97	0.97	1.01	1.02	1.02	0.82
平均值= 0.979%						

### 4 结 论

(1) 通过试验, 获得扫描图象细化后, 其点位中误差与固定误差及比例误差的关系式

$$M_{zi} = a + b \times D_i$$

如果  $M_{zi}$  和  $D_i$  以象素为单位, 则  $a$  和  $b$  的大小与扫描分辨率无关. 在对数字化精度要求较高时, 应对所使用的扫描仪进行检验.

(2) 本试验用的 A、B 两台扫描仪的点位精度(象素单位) 分别为

$$M_{ziA} = 0.54 + 0.0018 \times D_i$$

$$M_{ziB} = 0.52 + 0.0023 \times D_i$$

(3) 细化方法对扫描图象的精度有一定影响, 但不显著; 可是一些存在端点收缩的细化算法对不闭合的图形有着一定的影响. 用于地图数字化时, 应选取端点收缩不显著的细化算法.

(4) 扫描仪可能存在系统误差.

(5) 鉴于上述理由, 在估计扫描图象的精度时, 主要应顾及扫描仪的偶然误差  $M_z$  和系统误差以及图纸变形误差.

(6) 本文所讨论的是扫描图象细化后的内拟合精度,对于扫描图象细化后的外拟合精度尚需作进一步的研究.

**致谢** 本文得到武汉测绘大学於宗俦教授、刘志德教授指导,特此致谢.

### 参考文献

- 1 刘文宝,黄幼才. 地图曲线数字化误差估计. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 19(4): 352~ 358.
- 2 戴洪磊,吴守荣,徐泮林等. GIS 中平面线位误差带的可视化表达. 中国图象图形学报(A版), 1999, 4(3): 256~ 260
- 3 杨德麟等. 大比例尺数字测图的原理、方法与应用. 北京: 清华大学出版社, 1998, 88~ 100.
- 4 周新伦,韦剑,李锋. 一种并行细化算法及其硬件实现. 模式识别与人工智能, 1994, 7(1): 1~ 6.

- 5 Stover D L and Iverson R D. A one-pass thinning algorithm and its parallel implementation. CVGIP, 1987, 40(1): 30~ 40.
- 6 Kuo-Chin Fan, Den-Fong Chen, Ming-Gang Wen. Skeletonization of binary image with nonuniform width via block decomposition and contour vector matching. Pattern Recognition, 1998, 31(7): 823~ 838.
- 7 於宗俦,于正林. 测量平差原理. 北京: 测绘出版社, 1990, 30~ 35.



**葛永慧** 1982年和1997年分别获得武汉测绘科技大学学士和硕士学位,1997年开始任太原理工大学测绘科学与技术系副教授,现为武汉测绘科技大学博士生.主要从事测量数据处理和数字图象处理的研究,发表论文30余篇,获省级科技进步奖22项.