

基于计算机视觉的专题图读取系统*

林宗坚 卢 健 邱凯昌

【摘要】本文提出了一种基于计算机视觉的专题图读取系统方案。该系统用CCD相机获取专题图影象，通过线划跟踪、弧段矢量化、拓扑结构形成、数据压缩、几何纠正与拼接等步骤，实现专题图的自动读取，继而进行各种几何量算和统计，建立专题信息库。

【关键词】计算机视觉；专题图读取；划线跟踪；拓扑结构

1 引言

专题图数字化是地理信息系统数据采集的一种主要手段。目前数字化的方式主要有两种：一是手扶跟踪数字化的方法，由于操作简便而在生产部门获得了广泛的应用，但此方法作业速度较慢，作业员手、眼疲劳时，精度和速度都会降低；二是扫描数字化的方法，已出现的系统和方法多是基于二值图象处理技术的^{〔5·6·7〕}，即通过二值化、细化等处理提取线划信息，避免了大量的手扶跟踪工作，作业速度较快，但是它对图纸的质量要求比较高，二值化阈值难以确定，不同的阈值会得到不同的结果，阈值取的不好时，会带来大量的图形编辑工作。

通过借鉴其它系统的经验，我们开发了一套基于计算机视觉的图纸读取系统——CV2系统，它的处理是基于多级灰度图象的，目前已开发的主要功能是地形图、专题图、工程图的读取^{〔1〕}。CV2系统的基本思想是基于计算机视觉技术，用计算机模拟人眼识别与跟踪线划的智能过程，实现线划信息提取的自动化；用摄影测量和计算机图形学的有关技术，进行数据的自动组织与转换，如纠正、拼接、拓扑结构形成等；而在属性识别与输入等现阶段难以实现自动化的环节上结合手工作业的经验采用高效率的人工干预手段，力求使系统在整体上达到自动化与人工操作在现阶段的最优组合。本文着重介绍其中的专题图读取。

2 系统构成与系统处理框图

系统构成如图1。采用CCD相机，是由于它几何稳定性好、灵敏度高及易于变动摄象比例尺等原因。CCD相机固定在一个机械扫描架上，由电机驱动，在X、Y方向运动，也可做

收稿日期：1991—12—13

* 本文研究是国家自然科学基金资助项目。

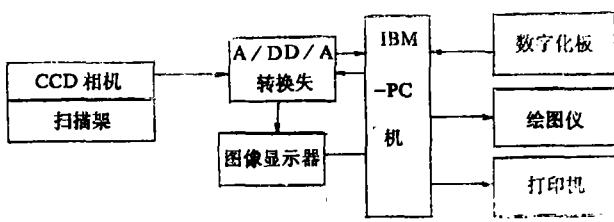


图 1 系统构成

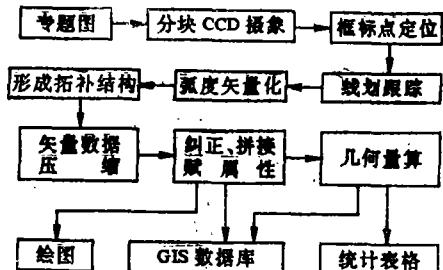


图 2 系统处理框图

Z方向的升降。

一张图纸分成若干块扫描，图象显示器用于显示灰度图象，处理结果加上彩色，便于人机交互；数字化板主要用于人机交互处理，如选择菜单、图形编辑、输入属性等。故可采用小幅图，如A3。系统处理框图如图2。

3 主要技术环节

3.1 框标点定位

每一扫描块四角均有十字形的框标点（通常利用地图公里格网线），它们作为纠正和拼接用的控制点，需要很高的定位精度。只要人工指引光标到框标点附近，系统便可自动获取多个特征点，采用最小二乘拟合方法进行精确定位，定位精度达到子象元级。由于采用了框标的结构信息，因而可以抵抗其它线划的干扰。

3.2 线划跟踪

线划跟踪是一种顺序方式提取线划的方法，直接在多灰度图象中进行。同二值化方法相比，线划跟踪的主要优点是以可利用刚刚获得的信息，较好地顾及局部特性，从而避免由于光照不均匀或线划本身不均匀的影响，而且，线划定位精度一般比二值化方法要高。线划跟踪的主要过程是，寻找跟踪起始点，按照一定的搜索策略和规则顺序地寻找下一个点。

3.2.1 跟踪起始点的确定。 跟踪起始点要选择线上最可靠的点，一条连续的线上只要找到一个起始点，便可以从两个方向跟踪整条线。因此，起始点的判决条件比线划跟踪时的条件要严。按照由粗到精的策略，先根据象元灰度值快速地检测出一批起始点的候选点，然后加上其它制约条件，如局部灰度总和、候选点密度等，形成多重判据以确定可靠的起始点。起始跟踪方向由模板匹配算子获取。

3.2.2 跟踪算法。 跟踪算法即跟踪的控制策略和判决规则是线划跟踪的核心。目前可用于线划跟踪的算法有很多种，Groch^[16]在一个剖面分析算子PAO (Profile Analysis Operator) 的基础上，提出了线划跟踪的局部算法和区域算法，前者采用一弧形搜索区域，按一定步距顺序地用PAO判定下一个点，主要用于连续曲线的跟踪；后者每一步沿跟踪方向定义一个矩形的兴趣区域AOI (rectangle Aera Of Interest)，在AOI内垂直于跟踪方向作几条采样线，在每条采样上根据置信度 (confidence measure) 选择若干提示点 (hint

points) 然后根据共线条件选择出目标点，此方法主要用于虚线的自动跟踪。CV2 系统把两者结合起来跟踪任意形式的线划。Joseph^[7]用双阈值策略来跟踪灰度不均匀的线划，一个称为极限阈值(fatal threshold)用以判定中止点，另一个称为临时阈值(provisional threshold)，用于标记临时端点。另外，Fishler^[17]、Zamperoni^[12]、Shu^[13]及文献^[14]中的边缘跟踪算法，稍作改化也可用于线划跟踪。

理论分析及实践证明，不同的算法各有其长也各有其短。例如分割占据法容易跨越断裂(图 3 a)，但对于多弯折的曲线则人工干预太多(图 3 b)；采用序贯跟踪的方法，容易处理图 3 b 的弯曲，却难对付图 3 a 的断裂；采用变半径圆圈搜索的方法可以同时对付图 3 a 和 3 b 的情况(图 3 c)，但在线划密布的情况下很容易出错(图 3 d)。就是用同一种搜索策略而采用不同的判据(如灰度值条件、差分值条件或局部灰度和条件)，结果也会有所不同，因此，没有一种适合于各种情况的理想算法。

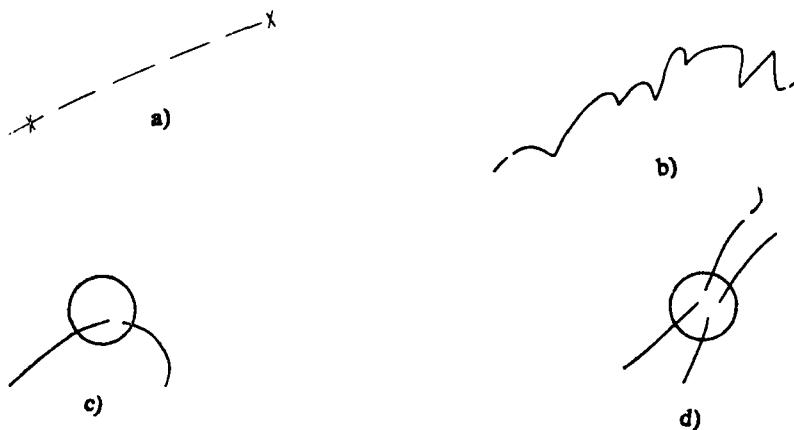


图 3 不同算法的差异

3.2.3 多重判据线划跟踪。鉴于不同算法的差异，可认为改善线划跟踪结果的途径是提取更多的信息，施以多重判据进行线划跟踪。对于线划而言，可利用的信息有：象元灰度值、一阶差分、二阶差分、局部灰度和及线划曲率等，除此以外，还可以利用有关线状目标的知识。

多重判据的组织方式可分为两种，一种是把判据按强弱程度和运算速度排列，形成决策树的形式；另一种类似于启发式插索的耗费值函数，多重判据构成一个线性函数，成为一个综合判据。设 C_1, C_2, \dots, C_n 为选定的 n 个判据，综合判据可定义为 $C = K_1 C_1 + K_2 C_2 + \dots + K_n C_n$ ，其中 K_1, K_2, \dots, K_n 为权系数。决策树及综合判据的构造，在大量实验的基础上获得，并可在程序执行过程中自适应地调整。

3.2.4 目前系统中设计的几种线划跟踪算法

A、全自动跟踪 即自动寻找起始点，而后自动跟踪。采用两种搜索策略，一是弧形区域搜索见图 4 a)，其中角度 α 和半径 R 在程序执行过程中自动调节；另一种是序贯跟踪方法，其方向检测算子图示如图 4 b)。两种方法均采用上文中提出的多重判据，采用决策树的组织

形式。全自动跟踪方法在四个框标点确定的工作窗内进行，也可以人工定义一个窗口进行全自动跟踪。两种方法可单独使用，也可结合起来使用。



图 4 线划跟踪

B、人工干预线划跟踪 当全自动跟踪丢失某些线划时，用人工干预的方式补救。即人工指定一跟踪起始点，然后按图 4 的方式自动完成后续的跟踪。起始点的人工定位可允许少量的偏离，程序将自动归正到线划中心（图 5）。

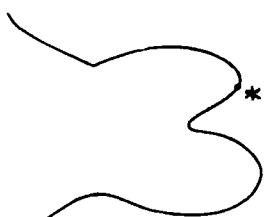


图 5 人工指定起始点

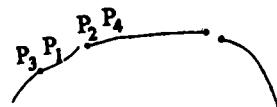


图 6 虚线跟踪

C、虚线跟踪 虚线跟踪分为线段自动跟踪和线段自动连接两步：首先用上文中的全自动跟踪方法跟踪每条实线段，然后根据线段端点信息将属于同一虚线的线段连接起来。设 P_1 、 P_2 为线段端点，端点处的线段方向简称端点方向，由端点 P_1 、 P_2 及线段上离端点一小段距离处的点 P_3 、 P_4 确定。端点方向用水平线与 P_1P_3 和 P_2P_4 之间的夹角（取小于 90° 的角）表示，例如取 P_3 与 P_1 的间距为 5 个象元，判断 P_1 、 P_2 是否相连只。要判断 P_1 、 P_2 之间距离和方向差 $|\alpha_1 - \alpha_2|$ 是否满足阈值条件。阈值由人工给出，不能自动连接的端点处显示光标，请求人工干预。

3.3 弧段矢量化及拓扑结构形成

3.3.1 弧段矢量化。线划跟踪的结果以栅格形式存贮，为了节省存贮空间，简化几何纠正运算、绘图输出及信息系统的各种后续处理，需要转换成矢量形式。矢量数据按弧段记录存贮，两结点或端点之间的点坐标串称为一段弧。

矢量化采用八邻域的形式（图 7），首先计算 8 连接数 C_8 和交叉数 C_N 。

$$C_8 = \sum_{i=1}^8 q_i ,$$

$$C_N = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^8 |q_i - q_{i+1}|$$

其中 q_i 为象元 i 的标记值, 1 为线, 0 为背景, 且有 $q_{i+8} = q_i$ 。若 $C_N > 2$, 象元为结点, $C_N = 1$, 象元为端点。后文中在不致混淆时, 端点也统称结点。 C_8 用来配合 C_N 处理结束点 (node cluster) [6]。

4	3	2
5	*	1
6	7	8

图 7 八邻域

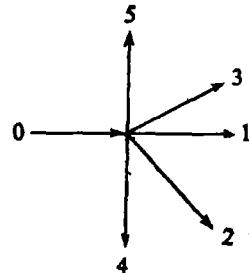


图 8 中优先规则

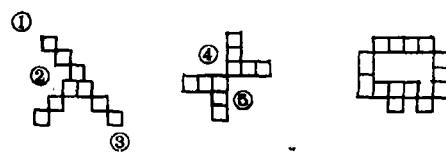


图 9 弧段矢量化中的
几特殊情况

弧段矢量化从一结点开始, 按中优先规则跟踪到另一结点结束。中优先规则如图 8 所示, 0 表示当前跟踪方向, 1 ~ 5 为下步可能的跟踪方向, 按 1、2、3、4、5 的顺序进行, 由于线划方向一般是缓慢变化的, 因此中优先规则速度快。在图 9 a)所示的情况下单纯用中优先规则会丢失结点①到②的弧段, 而直接形成, ①到③的弧段, 因此, 按中优先规则每判断一步, 还要判断其邻域中有无结点。对于图 9 b)所示情况要形成一条④到⑤的弧段。所有结点搜索完后, 还要搜索有关图 9 c)所示的空洞, 搜索到的空洞上的第一个点也定义为

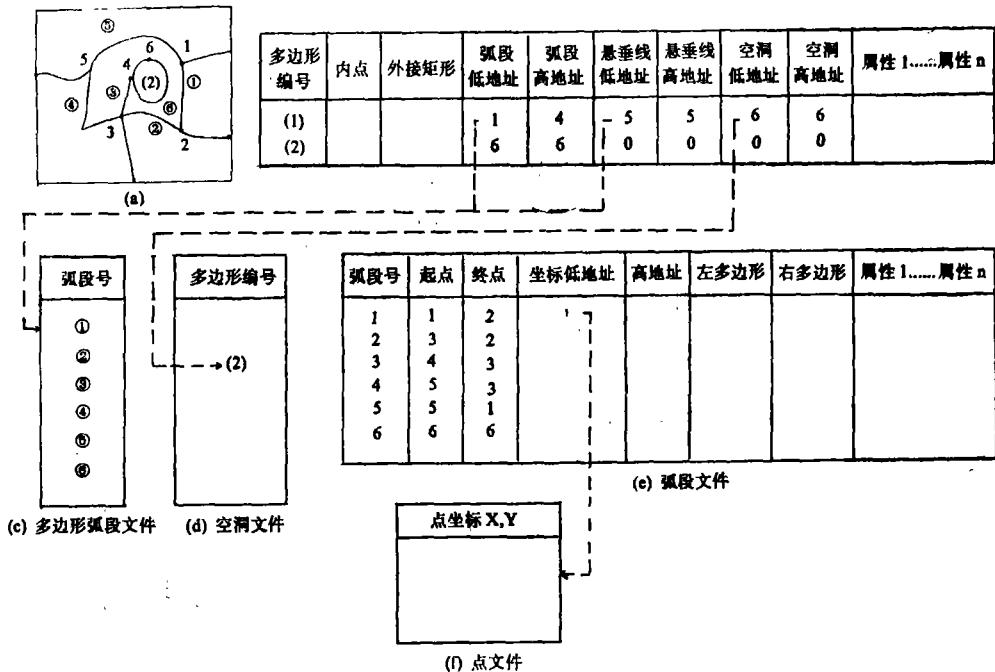


图10 拓扑数据结构

结点，然后将其矢量化，此弧段的起始结点和始止结点为同一点。

3.3.2 拓扑数据结构。系统采用拓扑数据结构表示专题图目标间的关系，拓扑结构减少了存储空间，并可以方便地查询相邻关系和相连关系。地图目标可分为三类：点、线、面。线由弧段表示，面由多边形表示，另外为了区别不同类型的弧段，定义由端点构成的弧段为悬垂线，如图10a)中的③。拓扑数据结构由图10b)~f)的5个文件构成。多边形文件中内点用于绘图时注记，外接矩形用于快速地检索多边形文件。为了节约空间，所有文件均以二进制形式存贮。

3.3.3 拓扑数据结构的形成。系统采用边界跟踪和区域填充方法自动形成拓扑结构。在工作窗内自上而下、自左而右搜索，检测到未做任何标记的点作为多边形的初始内点，待形成拓扑结构后，用数学形态学中的侵蚀算法获取内点的适合位置。从初始内点开始向左（或右）搜索到多边形边界，然后，按右优先规则（图11）跟踪图斑边界，把跟踪过的象元做新标记，根据跟踪得到的弧段结点，从弧段文件中查取弧段号填入多边形弧段文件，并将多边形编号填入弧段文件中的左多边形或右多边形。对于形如图12所示的两个弧段起始点相

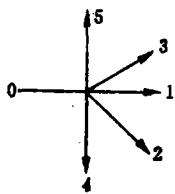


图11 右优先规则

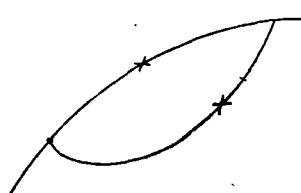


图12 弧段的判别

同的情况，记录结点坐标的同时，还要记录弧段中的任一点，以确定弧段号。对于图10a所示的悬垂线，跟踪至端点后还要反向跟踪回结点，记录悬垂线对应的弧段编号。每将一个多边形封闭后，按奇偶检校方法填充多边形，将内部象元做填充标记，并搜索空洞。空洞按上述同样的方法建立拓扑结构，并将空洞的多边形编号填入空洞文件中。

3.4 矢量数据压缩、纠正与拼接

3.4.1 矢量数据压缩。从栅格数据矢量化得到的矢量数据点很密集，需做适当的数据压缩。系统采用Huang和Kasvand^[8]提出的“局部象元逻辑”(local pixel logic)方法，以弧段为单位进行压缩，保留结点和端点，而搜索其间的关键点(critical point)。关键点定义为细化线上的特征点，用直线段连接这些点可以近似地表示原曲线。算法在输入方向链码的基础上，经过一系列的计算和判断得出关键点。由于计算机不能象人一样很好地把握整体信息，因此算法获得的关键点略多于人工选点。

3.4.2 几何纠正。由于摄象方位的影响，弧段坐标需做几何纠正。根据各摄象块框标的影象坐标及相应的图面理论坐标，按仿射变换法把压缩后的矢量数据纠正到图面统一的坐标系中。由于直接对线划矢量进行纠正，从而避免了背景象元的计算，运算速度很快。

3.4.3 拼接。由于大量的处理是分块进行的，每一块纠正到图面后，接边处的点可能有少量偏移而产生缝隙，因此，还要做拼接的处理，系统采用类似于文献^[8]的方法，先提取匹配边上的结点，两匹配边上的结点间距在限差之内，则它们看作是一点，则两个点的坐标

归化至同一坐标，并在弧段文件和点文件中查出加以改正。

3.5 属性输入、量算及统计

CV₂系统采用人机交互的方式输入多边形及弧段属性，并按一定的要求进行面积和长度量算以及统计汇总和打印表格，而且面积和长度统计结果还能形成专题信息库。

4 实验及结论

已用多幅专题图做了实验，并用土地利用图做了土地资源详查的试生产。图13a)为一个公里格网线划跟踪结果，图13b)为放大显示的一段线的跟踪结果，图14为弧段矢量化，图15为形成拓扑结构时的填充结果只在多边形的左右侧涂了一层绿点，图16为放大显示的数据压缩结果，图17为放大显示的未拼接结果，图18为对应的拼接结果。土地图面积和长度量算结果同规范比较，合格率达100%。而且此精度并不是CV₂系统量算的最高精度，缩小作业块可进一步提高精度。

一系列的实验表明，本文提出的专题图读取系统方案是可行的。计算机视觉技术与人工操作的优化组合提高了系统的整体效率。多重判据线划跟踪提高了线划提取的可靠性与适应

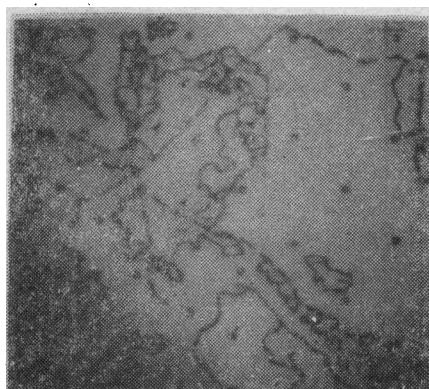


图13a 一个公里格网线划跟踪结果

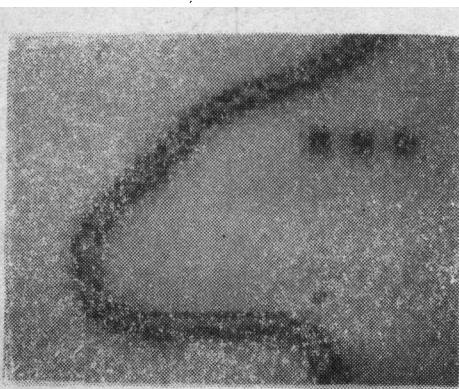


图13b 放大显示的一段线的跟踪结果

图13

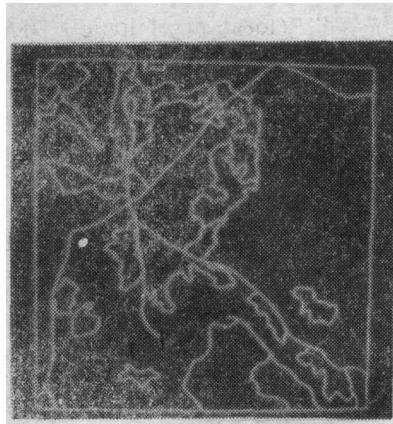


图14 弧段矢量化



图15 形成拓扑结构时的填充结果



图16 放大显示的数据压缩结果

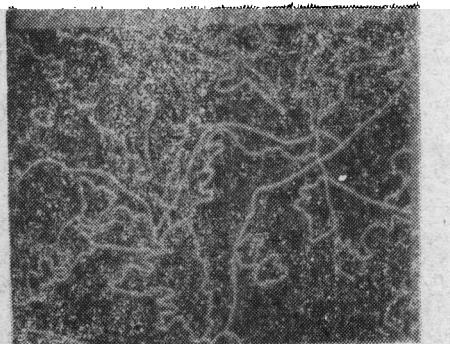


图17 放大显示的未拼接结果

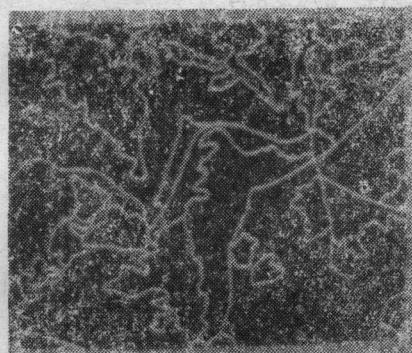


图18 同图17对应的拼接结果

性。拓扑结构将专题图数据有效地组织在一起，便于存贮和管理。系统用于土地资源详查已达到了实用阶段。同时，本系统的设计思想和某些算法也适合于其它线划图形的读取，因此，可做进一步的扩展。

参 考 文 献

- [1] 林宗坚，卢健。CV₂图纸读取系统研究报告，武汉测绘科技大学，1991，5
- [2] Lin Zongjian, Lu Jian, Fu Zhongliang. GIS data inputting through CCD camera. ISPRS vol 28—3/2, May, 1990
- [3] Lin Zongjian, Lu Jian, Yan Li. A topographic contour lines reading system proceeding of the 11th Asian conference on remote sensing. Guang Zhou, China Nov, 1990.
- [4] Lin Zongjian, Lu Jian, YuZifan, Di Kaichang. Computer vision based map reading system. FIG international symposium. Bei Jing, May, 1991
- [5] Suzuki S, Yamada T. MARIS; MAP RECOGNITION INPUT SYSTEM. Pattern Recognition, 1990, 23(8): 919~933
- [6] Musavi M T, Shirvaikar M V, Ramanathan E, Nekevei A R. A vision based method to automate map processine.

Pattern Recognition, 1988, 21(4): 319~326

[7] Joseph S H. processing of engineering line drawings for automatic input to cad.

Pattern Recognition, 1989, 22(1): 1 ~11

[8] Hung S H Y, Kasvand T. Critical points on a perfectly 8—or 6—connected thin binary line, Pattern Recognition, 1983, 16(3): 297~306

[9] Zhu Zhipu, Kim Yongmin. Algorithm for automatic road recognition on digitized map images. OpticalEngineering, 1989, 28(9): 943~954

[10] Kasturi R etal. A System for Interpretation of Line Drawings, IEEE Trans. on PAMT, 1990, 12(10): 978~992

[11] Nagasamy V, Langrana N A. Engineering drawing processing and vectorization system, CAGIP, 1990, 49(3)379~397

[12] Zamperoni P. Contour Tracing of Grey-Scale Images Based on 2—D Histograms, Pattern Recognition, 1982, 15(3): 161~165

[13] Joseph, Shu Shoupyng. One-Pixel-Wide Edge Detection. Pattern Recognition, 1989, 22(6): 665~673

[14] Ballard D H, Brown C M. Computer Vision, Prentice-Hall, 1982.

[15] 崔卫平. 多用途地籍信息系统的设计与研究 (一). 解放军测绘学院学报, 1989(2), 44~66

[16] Groch W D. Extraction of Line Shaped Objects from Aerial Images Using a Special Operator to Analyze the Profile of Functions. CGIP, 1982, 18(3): 347~358

[17] Fischler M A, Tenenbaum J M, Wolf H C. Detection of Roads and Linear structures in low- resolution Aerial Imagery using a Multisource Knowledge Integration Technique. CGIP, 1981, 15(2): 201~223

[18] Beaud M K, Chrisman N R, Zipping: New software for merging map sheets. Technical papers of 1986 ACSM-ASPRS Annual convention, 1986, 1(2): 153~161

A Computer Vision Based Thematic Map Reading System

Lin Zhongjian Lu Jian Di Kaichang

【Abstract】 This paper presents a computer vision based thematic map reading system. It gets images from CCD camera. The thematic map is automatically read through a series of data processing procedure, such as line following, arc vectorization, topological structure generation, data compression geometrical rectification, mosaicing and so on. In this system, areas and lengths are measured automatically and statistical information are generated for the thematic data base.

【Key words】 computer vision; thematic map reading; line following; topological structure.

敬 告 作 者

1、凡投本刊的稿件如系科研成果论文，请注明该课题为何种资金或哪个单位（部门）资助项目，及获奖情况，并请提供获奖证明复印件。

2、如系多人合作稿件，请作者协商好署名等事宜后再投本刊。对于署名顺序等事项未商定好的稿件，恕不受理。

3、文后参考文献是重要的检索资料，也体现了文章的质量、水平，因此作者在写参考文献时，不得将基础教材或公知公认的基本常识引为参考文献。另据 GB7714—87的要求，请作者参考以下格式书写参考文献条目：

A、专著的著录格式：

主要责任者(作者)。书名。版本(第一不版写)。出版地。出版者。出版年。屹止页

例如：王之卓。摄影测量原理（英文版），武汉：武汉测绘科技大学出版社，1990：120～125

B、连续出版物中析出的文献（期刊上的文献著录格式）：

析出责任者。析出题名。析出其他责任者。原文献题名。版本。在原文献中的位置

(下转第49页)