

基于图象集合运算的矿图扫描图象二值化方法

盛业华 郭达志

(中国矿业大学测量工程系, 徐州 221008)

摘要 在分析了多种类型的图象二值化方法在矿图扫描图象分割中存在的问题后, 依据图象的集合运算原理, 提出了一种兼顾图象整体灰度水平及象元邻域特征的二值化方法——多阈值动态自适应二值化方法。该方法可克服矿图扫描图象二值化过程中出现的线划粘连或断线现象, 且方法简单、容易实现。

关键词 集合论, 矿图, 二值化, 图象分割

1 引言

矿图经扫描仪扫描数字化后, 得到了其图形的离散化灰度图象。为了便于后续图象净化和矢量化处理, 就必须对图象进行目标与背景的分割。在图象处理技术中, 这种分割可由灰度图象二值化方法来完成。由于扫描原图的质量差异较大, 尤其是各种蓝晒矿图, 原图本身的质量就不高, 为了便于后续细化、跟踪矢量化等矢量重建处理, 必须对图象二值化方法提出更高的要求: (1) 能从模糊的背景中把制图符号目标分割出来, 且符号不能出现断线或线划粘连现象; (2) 抑制背景噪声, 不能出现大面积假目标; (3) 算法简单, 对大幅面的扫描图象能快速处理。本文在分析和讨论多种图象二值化方法的优点和缺点后, 在吸取各种方法优点的基础上, 提出了一种新的图象二值化方法——基于集合论的多阈值动态自适应图象二值化。

2 现有图象二值化模型评述

在国内外图象处理实践中, 涌现出数十种图象二值化方法, 不同的图象二值化方法各有特点, 对于同一幅图象的处理可取得不同的二值分割效果。

2.1 依赖于点的全局二值化

状态法是最简单的图象全局二值化方法, 适用于目标和背景在图象灰度直方图上具有明显的双峰和最小谷底的情况^[1,2]。此时, 可人工直接从图象灰度直方图上的双峰间谷底部位选取分割阈值 t , 由此把目标和背景分割开来。

在依赖于点的全局二值化中, 根据对图象灰度直方图的统计, 可按某种规则来自动计算分割阈值, 如判别分析法^[2]、熵法^[3]、最小误差分类法^[4]等, 其基本思想都是采用试探法, 逐步选择 t , 使二值分割满足某种评判准则。全局二值化图象分割的最大缺点是对整幅图象依据图象一维灰度直方图人工或自动地选择单一的分割阈值^[5]。而一幅矿图扫描图象面积大(象元的行、列数大), 尤其是对于蓝晒矿图, 晒蓝效果极不均匀, 局部区域的背景亮度值甚至小于目标区域的亮度值。当采用单一的阈值对图象进行分割时, 无论以何种规则进行分割, 取什么样的 t 值, 都会造成把应属线划目标的部分象元误分到背景中, 而产生线划的断裂(如图4所示), 或把一部分背景象元分割到目标中, 而产生假目标并使得图象上相距很近的线划粘连到一起(如图5所示)。

* 本文获国家自然科学基金(No. 59478013)和高校博士点基金(No. 97029005)资助

收稿日期: 1997-12-01; 收到修改稿日期: 1998-04-07

2.2 局部二值化

为了克服对整幅图象采用单一阈值分割时所造成的结构畸变和断裂问题,在局部二值化时,把原始图象分成若干子图象,然后对每块子图象分别计算其分割阈值^[1,6](采用任意一种全局二值化方法进行)。这种方法虽可减轻整幅图象内目标和背景灰度不均匀变化所带来的影响,但仍然存在一些缺陷:

(1)分块子区的确定不是依据图象本身的灰度不均匀性,而是按事先确定的规则分块,每个分块面积相等,这只能把灰度不均匀性造成的全局二值化误差缩小到一定范围,每个分块仍存在全局二值化的分割误差;

(2)每个分块所计算出的分割阈值不同,造成相邻分块中同一目标分割后的不连续性(如线划突然变细或变粗);

(3)分块后,不能顾及图象的整体灰度分布特征。

2.3 区域自适应二值化

Musavi 等人^[7]提出了变阈值的自适应二值化模型,它利用了象元自身及其邻域的灰度变化特性。其基本做法是取每一象元的 3×3 窗口,统计其 3×3 邻域象元的灰度平均值和方差,并分别计算每一象元的分割阈值,于是整幅图象内的各个象元具有不同的分割阈值,从而顾及了象元的局部特征。

这种二值化方法充分考虑了象元的邻域特征,其优点是在线划与背景的交界处能很好地突出背景与目标的边界,使得相距很近的两条线划不会产生粘连现象,并且模型简单,易于实现。但是,在实际矿图图象分割中,过度地夸大了象元的邻域灰度的变化,会把不均匀灰度分布的背景分割到目标中去,带来许多不应出现的假目标;同时大面积的目标由于其内部灰度的不均匀性,会被分割到背景中去,使得矿图上的粗线划目标内部出现空洞,从而破坏了线划目标象元的连通性。

2.4 依赖于象元局部特征的全局二值化

这类二值化方法在选择分割阈值时,依赖于对象元的局部(邻域)灰度特征的统计,由此选择适合于整个图象的分割阈值,如直方图转化法^[1]、协相关矩阵法^[1]、图象二维熵二值化^[7]等。这类方法虽然同时顾及了图象的整体灰度水平和象元邻域灰度变化特征,理论上比较完善,但由于模型复杂、计算量大、

机上实现时间长,在实际大幅矿图扫描图象的二值分割中难以应用。

3 基于集合论的多阈值动态自适应图象二值化

从集合论的观点来看,矿图是由制图符号构成的集合,集合元素就是图上点、线、面及文字注记,符号之间的几何和拓扑关系确定了集合元素间的排列和组合。在对矿图扫描并进行二值化后,可获得一个二值图象集合。因此,可用集合论原理来完成图象上目标和背景分割的二值化处理。

3.1 二值图象的集合运算

设 A, B 两图象是二维离散整数空间 Z^2 的子集,即 $\{A \subset Z^2, B \subset Z^2\}$, x 为图象中值为1的象元(目标象元),即 $\{x \in A \text{ 或 } x \in B\}$,定义图象的集合运算为:

$$A^c = \{x: x \notin A \text{ 但 } x \in Z^2\} \quad (1)$$

$$A \cup B = \{x: x \in A \text{ 或 } x \in B\} \quad (2)$$

$$A \cap B = \{x: x \in A \text{ 且 } x \in B\} \quad (3)$$

$$A/B = \{x: x \in A \text{ 且 } x \notin B\} = A \cap B^c \quad (4)$$

$$A \bar{\cup} B = \{x: x \in (A \cup B) \text{ 且 } x \notin (A \cap B)\} = (A/B) \cup (B/A) \quad (5)$$

二值图象的集合运算可用图1表示。

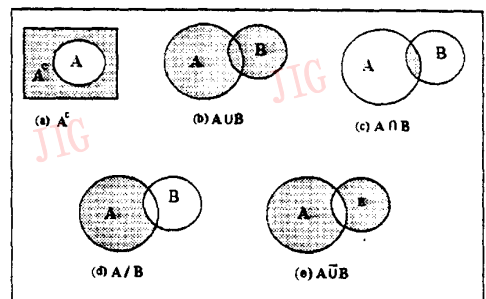


图1 二值图象的集合运算示意图

在计算机中,二值图象的集合运算可采用位运算的方法来实现。

3.2 多阈值动态自适应二值化模型

对于形如图2所示的矿图扫描图象灰度直方图,显然,第一个很窄但象元数相对集中的直方图峰值区所对应的主要是图象上的目标(即线划制图符号),第二个峰值区对应的是图象的背景,两者之间

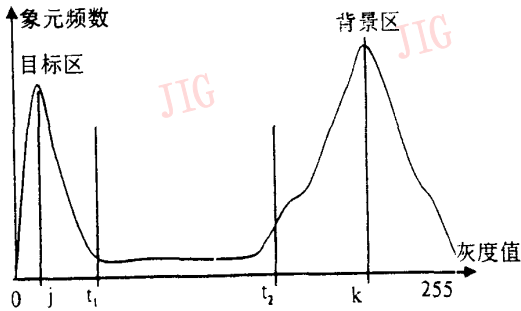


图2 多阈值动态自适应二值化的阈值选择

平缓且很宽的灰度分布范围则同时包含了部分目标象元和背景象元。为了获得满意的分割结果,对扫描图象进行多次二值化,以取得多幅不完全分割的二值图象,再对这些二值图象进行集合运算,以获得最终结果。其方法和步骤如下:

(1)以状态法对图象进行二值化。在图象灰度直方图上人工选取 t_1, t_2 为大于目标区最大峰值的曲率变化点处的灰度(如图2所示),此时可得分割图象 X_1 :

$$f_{t_1} = \begin{cases} 1, & \text{当 } f(x, y) < t_1 \\ 0, & \text{当 } f(x, y) \geq t_1 \end{cases} \quad (6)$$

由于 t_1 值较小,则会把许多应属目标象元分割到背景中去,使得 X_1 图象中的目标线划仅是原图象中线划要素的中央部分,可能会导致线划的断裂和不连续现象,但图象上不会产生背景处的假目标。

(2)以动态自适应方法对原图象进行二值化。考虑到矿图扫描图象中,目标线划的灰度值总是小于其局部背景的灰度值(邻域灰度的变化特征),采用类似于 Musavi 的动态自适应二值化^[8]方法提取目标线划。此时利用各象元的 $n \times n$ 邻域(n 为奇数,为减少运算量,一般取 $n=3$ 或 5),对该象元的邻域灰度进行统计:

$$M = \frac{1}{n^2} \sum_{j=-[n/2]}^{[n/2]} \sum_{k=-[n/2]}^{[n/2]} f(x+j, y+k) \quad (7)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n^2} \sum_{j=-[n/2]}^{[n/2]} \sum_{k=-[n/2]}^{[n/2]} [f(x+j, y+k) - M]^2} \quad (8)$$

$$T = M + a \times S \quad (9)$$

其中 a 为常数,根据矿图的质量取值, $0 < a < 1$, 当矿图扫描原图质量较好时, a 取较小的值,对较差的蓝晒图 a 取较大值; M 为某一象元邻域内各象元的灰度平均值; S 为该邻域内象元灰度的标准差。 T 为考虑邻域的动态自适应二值化时的阈值,由程序自动计算得出。利用 T 对图象进行阈值分割,可得二值图象 X_2 :

$$f_T = \begin{cases} 1, & \text{当 } f(x, y) < T \\ 0, & \text{当 } f(x, y) \geq T \end{cases} \quad (10)$$

由于 T 值的大小取决于象元的位置,每个象元均有不同的阈值,因而是自适应的二值化过程。所得的二值图象 X_2 突出了目标与背景灰度突然发生变化的部分,因而把目标的边界与晒蓝背景中灰度不均匀变化的突变处都分割成目标,保证了线划目标的延续;而目标的内部,由于象元灰度的变化幅度相对较小,一些着色较轻的线划中央象元可能会被分割到背景中,造成目标内部的空洞,但相距很近的线划由于边缘部分的象元灰度变化较大,从而不会产生粘连现象。

(3)再次以状态法对原图象进行二值化。此时 t_2 取图象灰度直方图上靠近背景峰值区的曲率变化点处(如图2所示),又可得到二值图象 X_3 :

$$f_{t_2} = \begin{cases} 1, & \text{当 } f(x, y) < t_2 \\ 0, & \text{当 } f(x, y) \geq t_2 \end{cases} \quad (11)$$

由于 t_2 取值较大,所有线划目标都能被有效地分割出来,但同时也会把本属背景的部分象元也分割到目标中去,使得在 X_3 图象中,除线划目标外,还会出现一些离散的小块假目标,而且相距很近的线划目标会产生粘连而不能分开。

(4)对所得的3幅二值图象进行图象集合运算。

$$X = (X_1 \cup X_2) \cap X_3 \quad (12)$$

集合运算结果 X 仍是一幅二值图象,它是最终的图象二值化结果。通过图象集合运算,对三幅二值图象进行综合取舍,所得的图象 X 中不仅可弥补不连续的线划目标,而且不会出现连续大片的假目标及线划的粘连。这是因为在式(12)中,首先对 X_1 和 X_2 图象进行并集运算,即2幅二值图象完全叠加,在其结果 $X_1 \cup X_2$ 中,同时保留了 X_1 和 X_2 图象,从而以 X_1 填补了 X_2 中制图线划目标内部的空洞,使得线划目标呈连续不间断延伸,且相距很近的线划彼此不相粘连;但在 $X_1 \cup X_2$ 中,除制图线划目标外,仍存在许多从 X_2 带来的原图象上背景灰度突变边界处产生的线状假目标。然后再把 $X_1 \cup X_2$ 与 X_3 求交集,即求取两者的相同部分,从而在其结果 X 图象中同时保留了 $X_1 \cup X_2$ 与 X_3 图象上目标清晰、线划不粘连的长处;同时由于其各自在背景处产生的假目标的位置不同,大部分假目标在求取交集时被排除,因此 X 中的噪声较少。

在多阈值动态自适应二值化方法中,虽然采用人工方法选择了2个阈值并以此获得2幅二值图象,但由于采用了集合运算来求取最终二值化结果,对

原始二值分割结果具有较强的容错性,最终结果对阈值的选择不十分敏感。因此,在选择阈值时,有一定的自由度,只要满足在 X_1 中不出现背景噪声, t_1 可适当大些;在 X_3 中不出现断裂线划, t_2 可适当小些。

4 方法对比实验结果

我们对一幅晒蓝矿图扫描图象进行了二值化处理。为了对比图象二值化的效果,在使用本文提出的二值化方法的同时,也使用了全局二值化中判别分析法^[2]和熵法^[3]两种自动求取分割阈值的二值化方法。对图3所示的原图象的局部范围(大小为 $610 \times$

480个象元),各种二值化方法所取得的结果如图4至图6所示。

在图6中可以看出,多阈值动态自适应二值化方法的分割结果目标清晰且连续,既未产生象图4中出现的线划断裂和不连续现象,也未产生图5中出现的相距很近的两条线划的粘连及文字内部应保留的空洞被填充的现象。图中的文字注记内部的孔洞能正确保留,线划的相互关系清晰可辨,保持了正确的拓扑关系,这为矿图图象的进一步细化和跟踪矢量化处理提供了保障。至于二值图象中的分散零星小黑点,是由背景中灰度突变区产生的噪声,可用相应的滤波算法去除。



图3 蓝晒矿图扫描灰级图象



图4 判别分析法($t=121$)的分割结果



图5 熵法($t=150$)的分割结果



图6 多阈值动态自适应法($t_1=9, t_2=150, a=0.7$)的分割结果

5 小结

本文提出的基于图象集合运算的多阈值动态自适应二值化方法,由于兼顾了图象总体灰度分布特

征及象元邻域的特征,能取得良好的图象二值分割效果,既是对原图质量不高的蓝晒图也适用,若原图质量较好,则目标与背景的分割效果会更好。其模型简单,阈值选择简便容行,处理速度快,同样适合于大幅面地图和各种工程图纸扫描图象的二值化处

理。

参考文献

- 1 Sahoo P K, Soltani S, Wong A K. A Survey of Thresholding Techniques. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1988, 41: 233~260.
- 2 Glasbey C A. An Analysis Histogram-Based Thresholding Algorithms. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1993, 55(6): 532~537.
- 3 Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K. A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using Entropy of the Histogram. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1985, 29:

273~285.

- 4 Kitle J, Illingworth J. Minimum Error Thresholding. *Pattern Recognition*, 1986, 19: 41~47.
- 5 Gorman L O. Binarization and Multithresholding of Document Images using Connectivity. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1993, 56(6): 494~506.
- 6 Josph S H. Processing of Engineering Drawings for Input to CAD. *Pattern Recognition*, 1989, 22(1): 1~11.
- 7 龚坚, 李立源. 二维阈值分割的快速算法. *东南大学学报*, 1996, 26(4): 31~36.
- 8 Musavi M T. A Vision Based Method to Automate Map Processing. *Pattern Recognition*, 1988, 21(4): 319~326.



盛业华 博士,副教授。1989年毕业于中国矿业大学测量系,获硕士学位,并留校任教,1996年7月获工学博士学位。主要研究方向为数字测绘、遥感与地理信息系统应用,获省部级科技进步二、三等奖三项,著有《地理信息系统基础与应用》等教材三种,发表论文近40篇。



郭达志 中国矿业大学教授、博士生导师,政府特殊津贴获得者。曾先后赴英国、加拿大、美国、澳大利亚等国留学、合作科研。主要研究方向:遥感与地理信息系统、测绘自动化和资源环境保护。获省部级科技奖6项,出版著作6部,在国内外发表论文近百篇。

Binarization Approach for Scanned Mine Maps Based on Set Operations of Binary Images

Sheng Yehua, Guo Dazhi

(Department of Surveying and Mapping, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008)

Abstract Image binarization is one of the key steps in scanning digitizing of mining maps. Binarization result directly affects the efficiency and precision of consequent vector reconstruction. After the analysis of various kinds of image binarization algorithms in the processing of scanned mining maps, we bring forward a new image binarization method based on set operation of binary images, which is named as Dynamic Adaptive Binarization with Multi Thresholds. This approach can take into account the gray levels of the whole frame and the neighborhood feature of the pixels simultaneously. With this method, Image binarization is easy and fast, and it can get rid of adhesion and rupture of the lines in the scanned maps.

Keywords Set theory, Mining map, Binarization, Image segmentation

扩充版面 增设栏目 提高时效 欢迎订阅《计算机研究与发展》

《计算机研究与发展》由中国科学院主管、中国科学院计算技术研究所和中国计算机学会联合主办,创刊于1958年。主要报道我国计算机科学技术领域的最新科研成果。读者对象为各行业、各部门从事计算机研究与开发的研究、工程技术人员,大专院校计算机专业及相关专业的师生和研究生。《计算机研究与发展》为我国计算机类核心期刊、博士点评估用“中文重要期刊”、美国工程信息公司(EI)的 Ei page One 数据库收录期刊以及国内外多种著名检索刊的收录的期刊,发行量在同类学术期刊中名列前茅。《计算机研究与发展》从1999年起改为大16开本,由96页增加到128页,大大提高了文章的时效性。在不失学术水平的前提下,开设了引人入胜的新栏目,从内容到形式更加清新、活泼。《计算机研究与发展》为月刊,1999年每期定价18元,全年216元。邮发代号:2-654,全国各地邮局均可订阅。若漏订可直接到编辑部购买。编辑部地址:100080 北京2704信箱19分箱;电话(010) 62620696