

一种保形的快速图象形态细化算法

盛业华 唐宏 杜培军 郭达志

(中国矿业大学测绘与空间信息工程研究所, 徐州 221008)

摘要 骨架是一种重要的图象目标几何特征. 对不同形状的图象目标, 如何快速地获得其非畸变骨架, 是进行图象目标的形状分析、特征提取、模式识别等应用的前提. 基于数字形态学的形态细化是获取图象目标骨架的有效细化方法之一. 它采用具有一定形状的预定义结构元素, 对图象进行形态薄化运算, 仅需进行移位和逻辑运算就能完成. 但是形态细化一般使用序贯细化算法, 在每次细化迭代过程中, 只能采用单一的结构元素对目标进行薄化, 因此存在着收敛速度慢、易产生畸变骨架等缺点. 本文提出的保形快速形态细化算法在细化迭代过程, 每次迭代同时使用4种不同方向的同伦结构元素与目标进行击中运算, 并以击中运算结果的并集作为象素是否剥落的依据, 使得目标能从各方向快速、均匀地收敛至其骨架. 对不同字体的汉字图象的实验结果表明, 这一算法能产生均匀、整齐、畸变小了的汉字骨架, 且其运行速度比序贯形态细化方法快4倍以上.

关键词 数学形态学 细化 骨架

中图分类号: TP391.43 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2000)02-0089-05

One Fast Shape Preserving Morphological Thinning Algorithm

SHENG Ye-hua, TANG Hong, DU Pei-jun, GUO Da-zhi

(Institute of Surveying & Spatial Information Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008)

Abstract Skeleton is a kind of important geometric characteristic of image. How to fast acquire the non-distorted skeleton of image with different shape and size is the precondition for those applications such as shape analysis, characteristic extraction or pattern recognition. Morphologic thinning algorithms based on mathematical morphology are effective thinning approaches to obtaining skeletons of image, which use some pre-defined structure elements with definite shape to operate on the image, only some shifting and logical operations are needed. But the traditional sequential morphological thinning algorithm has the disadvantage that its convergence speed is too slow and using only one structure element to carry out the thinning in every iteration may produce distorted skeletons. A new thinning algorithm named fast shape preserving morphological thinning algorithm is advanced in this paper. The algorithm uses four types of structure elements of different direction simultaneously to operate on the image with the hitting operation. The union set of the hitting result is taken as the foundation of whether the outer pixels are exfoliated, thus it can cause the image to converge to its skeleton in every direction fast and symmetrically. The test result of an image of Chinese characters with various fonts enunciates that this algorithm can obtain symmetrical, regular and non-distorted skeletons of the Chinese characters, and its convergent speed is four times more than the speed of sequental morphological thinning algorithm.

Keywords Mathematical morphology, Thinning, Skeleton

0 引言

图象细化是在不改变图象象素拓扑连接性关系

的前提下, 连续地剥落图象的外层象素, 使之最终成为单象素宽的图象骨架. 它是在图象目标形状分析、信息压缩、特征提取与描述的模式识别等应用中经常运用的基本技术. 目前采用较多的细化算法是模板匹

配^[1], 这种方法是根据每个象素的局部图象特征, 通过一组预先确定的判决模板的匹配来实现. 这种象素的剥落及最终所剩骨架应满足如下几个原则^[2]:

- (1) 不改变 X 中各分量的拓扑邻接关系;
- (2) 保证骨架连通性及单象素宽度;
- (3) 基于“棋盘”或“街区”的距离测度;
- (4) 基于(3)的距离关系, 逼近 X 的中轴线.

不同的细化算法在实现方法、效率及生成的骨架线的形状上有很大的差别. 在实际大幅面图象特征描述应用中, 一般要求能快速、准确地生成骨架线.

在经典图象细化算法发展的同时, 起源于图象集合运算的数学形态学细化算法也相应得以发展. 其基本思想是, 在给定系列具有一定形状的结构元素(模板)后, 序贯地删除满足击中变换的象素. 与经典图象细化算法相比, 形态细化的最大特点是能将大量复杂的影象处理转换成最基本的移位和逻辑运算的组合, 便于并行处理及硬件实现. 该算法设计灵活, 易于实现^[3]. 但是, 序贯形态细化算法也存在着运行速度慢和在线划交叉处易产生较大变形的缺点, 需要作进一步改进.

1 序贯形态细化算法分析

1.1 基本形态变换^[3]

数字形态学的最基本变换是来源于 Minkowski 集合和差运算的膨胀和腐蚀, 在此基础上可构造形态击中和薄化等变换. 本文中仅引用所涉及到的基本变换, 有关数字形态学的详细知识可参阅文献[3].

设有结构元素 $B, T = \{T^1, T^2\}$, 其中 $T = T^1 \cup T^2$ 且 $T^1 \cap T^2 = \emptyset$, 为给定的结构元素, X 是待变换图象, 且 $X \subset Z^2$, 由此可以对基本形态变换定义如下:

定义 1 结构元素 B 对图象 X 的膨胀为

$$X \oplus B = \{x: B_x \cap X \neq \emptyset\} = \bigcup_{b \in B} X_b \quad (1)$$

定义 2 结构元素 B 对图象 X 的腐蚀为

$$X \ominus B = \{x: B_x \subseteq X\} = \bigcap_{b \in B} X_b \quad (2)$$

定义 3 结构元素 T 对图象 X 的击中变换为

$$\begin{aligned} X \otimes T &= \{x: T_x^1 \subseteq X; T_x^2 \subseteq X_c\} \\ &= (A \ominus T^1) \cap (A^c \ominus T^2) \end{aligned} \quad (3)$$

为了运算的方便, 一般仅给定结构元素 T^1 , 则上式可改为

$$X \otimes T = \{x \ominus T^1\} \cap (X^c \ominus (W \cap T^{1c})) \quad (4)$$

式中 W 为有限大小的窗口(如 3×2), X^c 为 X 的补集(对应背景).

定义 4 结构元素 T 对图象 X 的形态薄化变换为

$$X \circ T = X / (X \otimes T) = X \cap (X \otimes T)^c \quad (5)$$

形态薄化变换就是从图象 X 中删除被 T 击中的部分, 它使图象线划减细, 是图象形态细化算法的基础.

1.2 序贯同伦形态细化算法

序贯同伦形态细化过程就是采用多个分别承担不同方向象素剥离的拓扑同伦结构元素, 按细化应遵循的原则, 对图象进行反复的迭代薄化运算, 直到迭代收敛为止. 其模型为

$$\begin{aligned} SK(X) &= X \circ \{D_i, E_i\}_m \\ &= \{(((\dots(X \circ D_1) \circ E_1) \circ D_2 \dots) \circ D_4) \circ E_4\}_m \end{aligned} \quad (6)$$

式中: $SK(X)$ 为图象 X 的骨架; m 是图象细化过程收敛时的总循环次数, 取决于图象目标的大小、粗细; 结构元素 D_i, E_i 分别承担不同方向象素的剥离, 其构型为

0	0	*	*	0	0	*	*	1	*		
0	①	1	*	1	①	0	*	0	①	1	
*	1	*	*	*	1	*	0	0	0	*	
D_1			D_2			D_3			D_4		
0	0	0	1	*	0	1	1	1	0	*	1
*	①	*	1	①	0	*	①	*	0	①	1
1	1	1	1	*	0	0	0	0	0	*	1
E_1			E_2			E_3			E_4		

式中“①”表示结构元素的原点; “*”表示取“0”或“1”皆可.

实质上, 序贯同伦形态细化运算是一个迭代过程, 迭代总次数为 $(4+4) \times m = 8m$ 次. 每次迭代后, 则 X 变成 X' , 再代入下一次迭代, 直到 X' 不再变化为止, 最终得到的 X' 就是 $SK(X)$. Jang 和 Chin 从理论上证明了这种迭代是收敛的^[4].

序贯形态细化算法有三个方面的缺点:

(1) 收敛速度慢, 运行时间长. 因为在每次迭代过程中, 只能使用一个结构的元素, 剥离一个方向的外层象素, 所以收敛速度慢.

(2) 所得到的骨架存在较大的变形. 其原因是, 在每次循环中, $\{E_i\}$ 结构元素承担边象素的剥离; $\{D_i\}$ 序列结构元素承担线划相交的凹处象素的剥离, 而前者的收敛速度比后者快, 导致骨架在线划相交处的凹进.

(3) 收敛骨架不能保证为单象素宽, 因此收敛骨架可能会出现图 1 所示的格局. 图 1 中圈出的部分显然不是单象素骨架, 这种构型在“+”字交叉型图象目标的收敛骨架中经常遇到, 从而给连通图象的骨架描述带来困难.

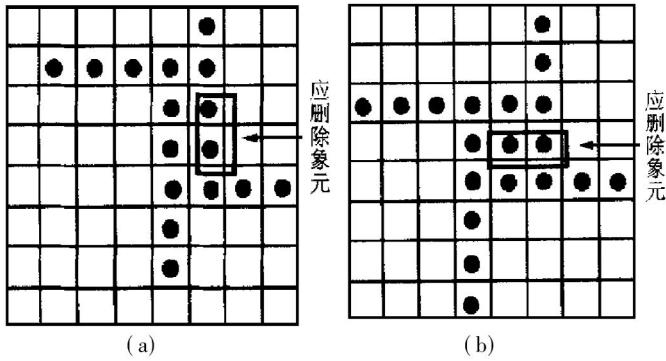


图 1 非单象素宽收敛骨架示例

2 保形的快速形态细化

2.1 算法模型

为了解决序贯形态细化收敛骨架的畸变和非单象素宽的问题, 可增加一组承担剥离图象交叉凹处象素的结构元素 $\{L_i\}$, 使 $\{L_i\}$ 与 $\{D_i\}$ 、 $\{E_i\}$ 一起产生作用. $\{L_i\}$ 具体构型为

$$\begin{matrix} \begin{vmatrix} * & 0 & * \\ 1 & \textcircled{1} & 1 \\ * & 1 & * \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} * & 1 & * \\ 1 & \textcircled{1} & 0 \\ * & 1 & * \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} * & 1 & * \\ 1 & \textcircled{1} & 1 \\ * & 0 & * \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} * & 1 & * \\ 0 & \textcircled{1} & 1 \\ * & 1 & * \end{vmatrix} \\ L_1 & L_2 & L_3 & L_4 \end{matrix}$$

为了提高形态细化的收敛速度, 需要利用 Beucher 提出的形态骨架定义^[5].

定义 5 设 $\{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ 是一个结构元素序列, 则图象 X 的细化骨架为

$$SK(X) = X \{T_i\} = X / \bigcup_{i=1}^n (X \otimes T_i) \quad (7)$$

根据这一定义, 若在一次迭代过程中, 同时使用 $\{D_i\}$ 、 $\{E_i\}$ 与 $\{L_i\}$ 结构元素来确定外层象素的剥落与否, 则可大大地提高细化过程的收敛速度. 但是, 若同时使用结构元素序列 $\{D_i\}$ 、 $\{E_i\}$ 和 $\{L_i\}$, 会破坏骨架的连通性, 即生成断裂骨架. 这些不能同时使用的结构元素是:

- (1) D_i 不能与 D_{i+2} 同时使用;
- (2) E_i 不能与 E_j 同时使用 (任意 $i \neq j$);
- (3) L_i 不能与 L_j 同时使用 (任意 $i \neq j$);
- (4) L_i 不能与 E_j 同时使用 (任意 $i \neq j$);

(5) E_i 不能与 D_{i+2} 或 D_{i+3} 同时使用;

(6) L_i 不能与 D_{i+2} 或 D_{i+3} 同时使用.

其中, $i = 1, 2, 3, 4$; $D_{i+k} = D_{i+k(\text{mod}4)}$.

排除以上不能同时使用的结构元素, 可得到保形的快速形态细化模型为

$$SK(X) = \{X / [X \otimes D_i] \cup (X \otimes D_{i+1}) \cup (X \otimes E_i) \cup (X \otimes L_i)\}^k \quad (8)$$

式中, 当 $i = 4$ 时, $D_{i+1} = D_5 = D_1$.

可以证明, 这种算法模型也是收敛的. 其最大优点是对于大规模的图象矩阵来说, 任一个象素的剥落与否可以同时采用 4 个结构元素进行击中运算. 在每次循环中, 迭代次数为 4, 则总迭代次数 $4k \ll 8m$, 因而收敛速度大为加快.

2.2 算法实现

式 (8) 模型的程序实现步骤是:

- (1) $X: \Rightarrow X_1, 0: \Rightarrow k$;
- (2) $X_1: \Rightarrow X_2$;
- (3) $(X_2 \otimes D_1) \cup (X_2 \otimes D_2) \cup (X_2 \otimes E_1) \cup (X_2 \otimes L_1): \Rightarrow Y; X_2 / Y: \Rightarrow X_2$;
- (4) $(X_2 \otimes D_2) \cup (X_2 \otimes D_3) \cup (X_2 \otimes E_2) \cup (X_2 \otimes L_2): \Rightarrow Y; X_2 / Y: \Rightarrow X_2$;
- (5) $(X_2 \otimes D_3) \cup (X_2 \otimes D_4) \cup (X_2 \otimes E_3) \cup (X_2 \otimes L_3): \Rightarrow Y; X_2 / Y: \Rightarrow X_2$;
- (6) $(X_2 \otimes D_4) \cup (X_2 \otimes D_1) \cup (X_2 \otimes E_4) \cup (X_2 \otimes L_4): \Rightarrow Y; X_2 / Y: \Rightarrow X_2$;
- (7) 若 $X_2 \neq X_1$; 则 $k+1: \Rightarrow k; X_2: \Rightarrow X_1$; 转 (2);
- (8) $X_2: \Rightarrow SK(X)$, 输出 $SK(X)$, 结束.

其中, $: \Rightarrow$ 意为值赋予或图象赋予.

2.3 骨架短枝的删除

细化过程中产生的骨架短枝, 不利于对图象目标的几何描述, 应予以删除, 但在删除过程中, 不能破坏骨架的完整和连通性. 应采用下式进行骨架短枝的删除:

$$SK(X) \circ \{K_i\}_l = \{SK(X) / \bigcup_{i=1}^4 SK(X) \otimes K_i\}_l \quad (9)$$

(9) 式中 l 为骨架短枝的长度 (象素个数); 结构元素 K_i 为

$$\begin{matrix} \begin{vmatrix} * & * & 0 \\ * & \textcircled{1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} 0 & * & * \\ 0 & \textcircled{1} & * \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ * & \textcircled{1} & 0 \\ * & * & 0 \end{vmatrix} & \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \textcircled{1} & * \\ 0 & 0 & * \end{vmatrix} \\ K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \end{matrix}$$

(9) 式的计算机程序实现步骤与 (8) 式类似.

3 实验与结论

为了对比两种形态细化算法的效率和效果,对一幅由不同字体组成的汉字图象(图象大小为 570×430 ,如图2所示.)进行细化实验,其细化结果分别见图3和图4.

从图3和图4可以看出,图4中不同字体文字的笔画交叉处的骨架形状比图3有显著的改善,在

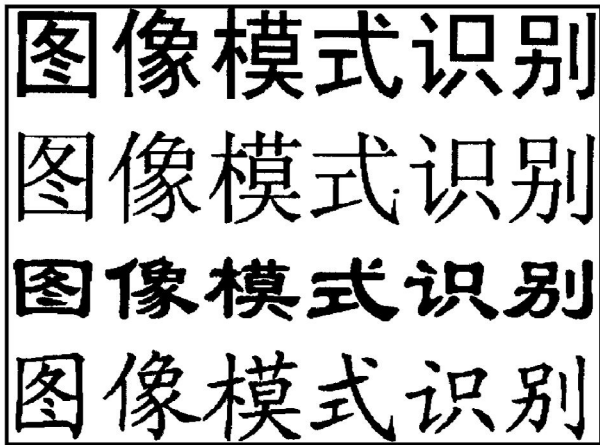


图2 不同字体的原始汉字图象

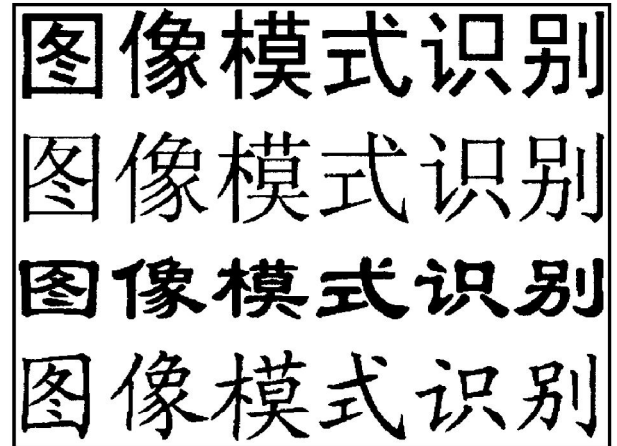


图3 序贯形态细化结果

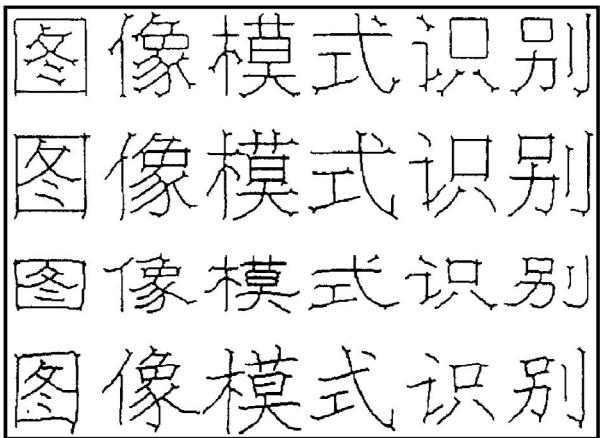


图4 保形快速形态细化结果

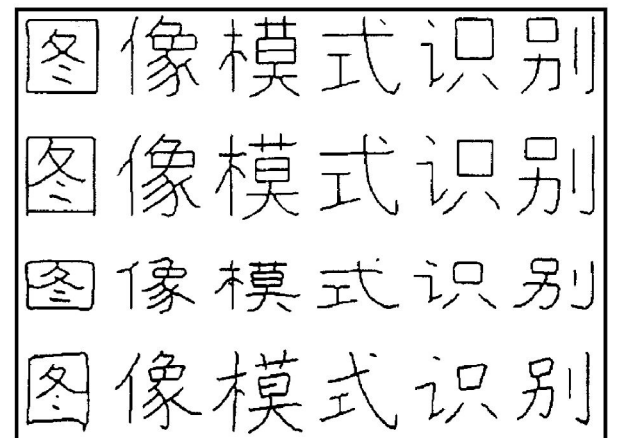


图5 保形快速形态细化的骨架短枝删除结果

参考文献

- 1 Lam L, Lee S W, Suen C Y. Thinning methodologies—A comprehensive survey. *IEEE Trans PAMI*, 1992, 14: 869~ 885.
- 2 Rosenfeld A, Kak A C. *Digital Picture Processing*. New York: Academic Press, 1976.
- 3 Serra J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. London: Academic Press, 1982.
- 4 Jang B K, Chin R T. Analysis of thinning algorithms using mathematical morphology. *IEEE Trans PAMI*, 1990, 12(6): 541~ 551.
- 5 Beucher S. Digital skeletons in Euclidean and geodesic spaces. *Signal Processing*, 1994, 38: 127~ 141.
- 6 Maragos P A, Schafer R W. Morphological skeleton representation and coding of binary images. *IEEE Trans ASSP*, 1986, 34

消除了骨架的短枝后(如图5),骨架线均匀整齐,为文字的正确识别提供了有利的条件.

保形快速形态细化算法与序贯同伦形态细化算法相比,其运算速度提高近5倍,该图象在PC486兼容机上的细化运算时间为2s左右.由于这一细化算法在保证骨架形状的前提下,能快速地实现图象的细化,因此在文字识别、地图数字化及图象特征描述等应用中具有较大的实用价值.

(5): 1228~ 1244.

- 7 盛业华,郭达志.一种保形的数字形态学细化算法. *中国矿业大学学报*, 1997, 26(3): 63~ 66.
- 8 Chen Y S. Hidden deletable pixel detection using vector analysis in parallel thinning to obtain bias-reduced skeletons. *Computer Vision and Image Understanding*, 71(3): 294~ 311.



盛业华 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年获工学博士学位,副教授.主要研究方向为数字测绘、遥感与地理信息系统应用,曾获省部级科技进步二、三等奖3项,出版专著和教材4本,已发表论文50余篇.



唐 宏 硕士研究生, 主要研究方向为计算机图形图像处理、三维 GIS 数据模型、数据结构及其在矿山三维可视化中的研究, 已发表论文 5 篇。



杜培军 1993 年毕业于中国矿业大学测量系, 获学士学位, 现为在职博士生, 讲师. 主要研究方向为遥感与地理信息系统及其应用, 已发表论文近 20 篇。

图灵奖和美国计算机协会

图灵奖最早设立于 1966 年, 是美国计算机协会在计算机技术方面所授予的最高奖项, 被喻为计算机界的诺贝尔奖。它是以英国数学天才 Alan Turing 先生的名字命名的, Alan Turing 先生对早期计算的理论和实践做出了突出的贡献。图灵奖主要授予在计算机技术领域做出突出贡献的个人。而这些贡献必须对计算机业有长远而重要的影响。迄今为止已有 34 位在计算机领域作出突出贡献的科学家获此殊荣。1966 年, A. J. Perlis 因其在新一代编程技术和编译架构方面的贡献成为图灵奖的第一个得主。

每年, 美国计算机协会将要求提名人推荐本年度的图灵奖候选人, 并附加一份 200 到 500 字的文章, 说明被提名者为什么应获此奖。任何人都可成为提名人。美国计算机协会将组成评选委员会对被提名者进行严格的审核, 并最终确定当年的获奖者。

美国计算机协会(ACM)成立于 1947 年, 是美国历史最悠久的、最大的, 专门面向计算机专业人士的协会, 它是推动信息技术专业人员及学生的专业技术水平发展的主要力量。美国计算机协会为其成员提供最新的技术信息, 把各种想法从理论转化为实践。目前, 它已拥有 80 000 多名计算机领域的专业会员, 遍布全球 100 多个国家。

美国计算机协会属下拥有许多世界级的期刊和杂志, 如 Distributed Computing、Journal of Graphic Tools 等等。1997 年, ACM 还创办了一个专门提供在线信息的数字图书馆。会员可通过该图书馆浏览各种 ACM 的论文、杂志和会议的过程。ACM 还有 37 个兴趣研究小组, 每个小组都有自己的研究领域, 并编写自己的通讯。推广计算机教育也是 ACM 的主要任务之一, 它属下的几个自愿委员会可提供各种层次的培训课程。每年美国计算机协会都举办各种学术会议、展示会和论坛, 是 IT 业重要的资料来源。