

# 数学形态学图像细化算法在 RE 中的应用研究

施启乐 王从军 黄树槐

(华中科技大学 模具技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 在数学形态学的理论基础之上, 运用 8 种结构元素模板对图像进行击中匹配迭代运算, 不断剥落图像边缘点, 从而得到图像的中心骨架, 达到细化的目的. 该细化算法的连通性、单像素宽度性、抗噪声性都非常良好, 而且处理速度很快, 非常适合于有大量图像处理运算的反求工程.

**关键词:** 反求工程; RE; 条纹图像细化; 数学形态学; 结构元素

**中图分类号:** TP371.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4512(2004)07-0037-03

## The application of image thinning algorithm to reverse engineering based on mathematical morphology

Shi Qile Wang Congjun Huang Shuhuai

**Abstract:** Based on the theory of mathematical morphology, image was matched in iterative operation by eight structure element templates and the fringe pixel was flaked off. The central skeleton of the image was obtained and the thinned image was gotten. The performance of the algorithm in connectivity, anti-jamming and process speed was fine and could be used to operate the image process in reverse engineering.

**Key words:** reverse engineering; RE; stripe image thinning; mathematical morphology; structure element

**Shi Qile** Postgraduate; State Key Lab. of Die & Mould Tech., Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074, China.

反求工程是一门快速发展的新兴学科, 它结合了测量技术、信号处理、计算机视觉、计算机图形学和图像处理等快速发展的新技术, 是各学科交叉的前沿研究领域. 可见图像处理在反求工程中的重要性, 因此本文在数学形态学的理论基础之上, 运用 8 种结构元素模板对图像进行击中匹配迭代运算, 不断剥落图像边缘点, 从而得到图像的中心骨架, 达到细化的目的. 该细化算法的连通性、单像素宽度性、抗噪声性都非常良好, 而且处理速度很快, 非常适合于有大量图像处理运算的反求工程.

### 1 细化

细化算法就是重复地剥离二值图像的边界像素, 特别是 0→1 变化处的像素的算法. 但是剥离边界像素时必须保持目标的连通性. 关于细化过

程, 目前还没有精确的数学定义, 这在一定程度上反映了细化算法的多样性. 但不管采用何种细化算法, 它都应满足<sup>[1]</sup>: a. 细化结果应与原图保持拓扑等效性; b. 细化结果应保持原图中图形的连续性; c. 细化结果应为 (或接近) 原图线形的中心; d. 细化后线宽应为一个像素; e. 细化结果对原图边界噪声不敏感.

简化图像数据, 保持它们基本的形状特征, 并除去不相干的结构.

细化过程主要用到的形态学运算有: 膨胀、腐蚀、击中和薄化.

#### 1.1 结构元素

为了确定一幅图像的结构, 必须逐个地试探图像各部分结构之间的关系, 并进行检验、识别. 最后, 将得到一个各部分之间关系的集合.

在考察图像各部分之间的关系时, 需要设计一种收集图像结构信息的“探针”, 称为“结构元

收稿日期: 2003-12-25.

作者简介: 施启乐 (1981-), 男, 硕士研究生; 武汉, 华中科技大学材料科学与工程学院 (430074).

E-mail: Qlshi@hscn.com

素”或“结构矩阵”<sup>[2]</sup>.在图形中不断移动结构元素,便可以考察各个部分之间的关系.在数学形态学中,结构元素是最重要、最基本的概念,以下是它的定义.

设  $n$  维欧氏空间  $E(n)$ , 则结构元素  $B$  可以定义为是  $E(n)$  或其子空间  $e(n)$  上的一个集合,具有一定的几何形状(如圆、球、有向线段、有向点对等).结构元素常包含原点,其尺寸相对地远小于所考察的物体.  $\{B(x), x \in E(n)\}$  称为结构元素族,点  $x$  为其“中心”.结构元素在形态变换中的作用类似于信号处理中的“滤波窗口”.

设计各种不同的结构元素并且考察各种可能的关系  $R$ .从确定性的观点来看,如果考察了每个  $R$  是否成立,就认为目标  $A$  的结构已经被了解.从随机性的观点来看,如果了解了每个  $R$  成立的概率  $P(R)$ ,就认为实际可能的情形已经被理解.由此就可探讨  $A$  的各种性质.

## 1.2 膨胀与腐蚀

设  $A$  为图像集合,  $B$  为结构元素,且为  $b$  的集合,则用  $B$  来对  $A$  进行膨胀记为  $A \oplus B$ , 用集合的定义方式为  $A \oplus B = \{x | [(B)_x \cap A] \neq \emptyset\}$ . 换句话说,用  $B$  来膨胀  $A$  得到的集合是  $B$  的映射的位移与  $A$  至少有一个非零元素相交时  $B$  的原点位置的集合.如果将  $B$  看作是一个卷积模板,膨胀就是先对  $B$  做关于原点的映射,再将映射连续地在  $A$  上移动而实现的.也可以解释成为:用  $B$  来膨胀  $A$  就是按每个  $b$  来位移  $A$  并把结果或(OR)起来.

类似地,用  $B$  来对  $A$  进行腐蚀记为  $A \ominus B$ , 用集合的定义方式为  $A \ominus B = \{x | (B)_x \subseteq A\}$ . 结果是  $B$  平移  $x$  后仍在  $A$  中的集合.换句话说,用  $B$  来腐蚀  $A$  得到的集合是  $B$  完全包括在  $A$  中时  $B$  的原点位置的集合.也可以解释成为:用  $B$  来腐蚀  $A$  就是按每个  $b$  来负位移  $A$  并把结果并(AND)起来.

## 1.3 击中和薄化

设  $A$  是被研究的图像,  $B$  是结构元素,而且  $B$  由两个不相交的部分  $B_1$  和  $B_2$  组成,即  $B = B_1 \cup B_2$ ,  $B_1 \cap B_2 = \emptyset$ . 于是  $A$  被  $B$  “击中”<sup>[3]</sup> 的结果定义为  $A \otimes B = (A \ominus B_1) - (A \oplus B_2)$ ;  $A$  被  $B$  薄化的结果定义为  $A \circ B = A - (A \otimes B)$ , 即从  $A$  中去掉  $A$  被  $B$  击中的结果.对薄化运算一般来说:  $A \circ B \subseteq A$ ; 若  $(0, 0) \in B_2$ , 则  $A \circ B = A$ .

## 2 算法描述

图像细化的过程也就是逐层剥落非骨架部分

像素的过程,随着细化的进行,图像有规律地变化<sup>[4]</sup>.由形态学的理论方法可知,薄化运算可以使图像按一定规律不断缩小,并始终保持  $A \circ B \subseteq A$ . 因此选取薄化运算为基本运算形式.

运算方法确定后,形态学细化算法的性能就取决于结构元素的选择,亦即结构元素决定着形态学算法的目的和性能.因此如何自适应地优化确定结构元素,就显得尤为重要.结构元素应能保证目标图像在细化算法的每一迭代过程中其结构的连通性,并且保证整个图形的构造不改变.

### 2.1 结构元素的选择

选择两组结构单元模板来共同实现基于数学形态学的细化算法<sup>[5]</sup>, 即  $D = \{D_1, D_2, D_3, D_4\}$  和  $E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$ . 前者用来去掉东、北、西和南方向四个角上的点,后者用来去掉东南、东北、西北和西南四个方向上的点(见图1)<sup>[6]</sup>. 图中,①表示参考中心点;“1”表示目标图像上的点;“0”表示背景图像上的点;“ $x$ ”表示既可以是目标图像上的点,也可以是背景图像上的点.

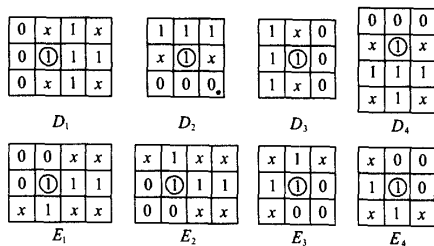


图1 结构元素模板图

### 2.2 细化步骤

结构元素确定以后,就可设计细化的运算方法.基本思想就是同时不断移动8个结构元素的中心点,每当其中一个结构元素在目标像素点位置上击中目标图像的时候就把该位置标记下来,即该像素应被删除,在一次迭代完成以后,把所有标记过的目标像素点删除,到此完成一次薄化运算迭代.这样一直到某次迭代完成后没有目标像素点待删除,迭代收敛,循环结束.算法的详细步骤如下.

a. 设置缓冲区以记录做标记的目标点;b. 开始迭代;c. 每次迭代从左到右、从上到下扫描整幅图像;d. 如果检测到当前位置像素灰度为1,即为目标像素点,则读出其八领域及其右端、下端(即  $3 \times 3$  模板的扩展部分)像素的灰度值;如果不是目标像素点,则转步骤c继续扫描下一个像素;e. 依次以8个模板  $D_1, D_2, D_3, D_4, E_1, E_2, E_3, E_4$  匹配目标像素八领域及其右端、下端像素,如

果匹配其中任意一种,则表示目标像素被结构元素击中,将其标记入缓冲区来并转步骤 c 继续扫描下一个像素,如果八个条件都不满足,则继续扫描下一个像素;f. 当一次迭代完成,检查缓冲区,依次将其中记录的所有像素点从图像中删除,即置为灰度为 0 的背景色,然后将缓冲区清空,转步骤 c 开始下一次迭代过程。

如果检查缓冲区为空,则表示收索整幅图像都没有发现要被删除的像素点,图像细化完成,迭代过程收敛,退出迭代。

由于 D、E 等 8 个模板是同时作用于图像的,因此该算法是并行算法,流程图如图 2 所示。

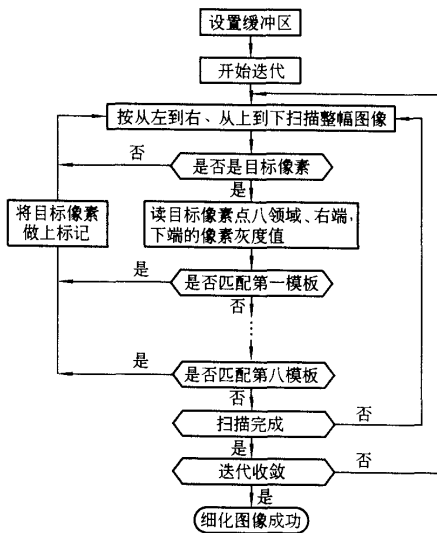


图 2 算法流程框图

### 3 试验结果

实验结果见图 3,左边分别是冲模型腔和鼠标模型的激光照射条纹图,右边是对应的细化后的图像,显然该细化算法的效果是令人满意的。

本文基于数学形态学的细化算法虽然有 8 个结构元素模板,但是其判断准则非常一致、明了,只是简单的比较运算,因而程序编写易于实现,代码的运行效率也相对较高,速度较快。

下面约出几种典型细化算法的对比情况,测试图像为图 3(b) 中鼠标模型激光照射条纹图,图像原始大小为 640×480(单位:像素)。

图 4 是表 1 对应各算法的效果图片。Hillditch 算法处理时间 1.241 s,迭代次数 10,断点较多,保形性较差(图 4(a)); Deutch 算法处理时间 1.131 s,迭代次数 15,连通性好,但有毛刺(图 4

(b)); Rosenfeld 算法处理时间 1.684 s,迭代次数 8,有断点,连通性差(图 4(c)); 形态学算法处理时间 0.843 s,迭代次数 16,综合效果较好(图 4(d))。

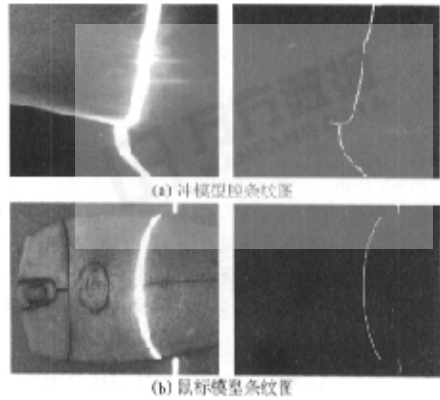


图 3 细化结果图

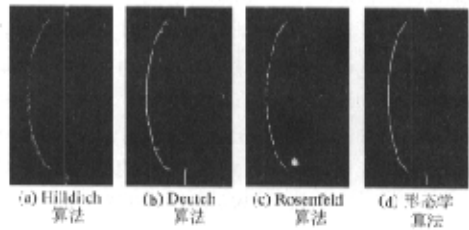


图 4 细化结果对照图

在反求工程中,条纹图像的细化是很重要的一环,除了对算法本身的要求,如连通性、稳定性、抗干扰性等,还要求很高的处理速度和运行效率。以数学形态学为基础的图像进行处理和分析算法很容易实现快速、并行处理,为反求工程提供了一种很好的实现途径。

### 参 考 文 献

- [1] 熊沈蜀. 高速多功能二值图像并行处理系统. 计算机应用, 1999(7): 12~15
- [2] 章毓晋. 图像处理和分折. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [3] 何 斌, 马天予. Visual C++ 数字图像处理. 北京: 人民邮电出版社, 2001.
- [4] 范志刚, 李润顺, 崔占华. 干涉条纹图的处理方法研究. 光学技术, 2000, 26(3): 258~259
- [5] Renyan G, David A C. Morphologic skeleton algorithm for PDP production line inspection. Proc. IEEE, 1999, 71: 1 117~1 120
- [6] Guo Z, Hall R W. Fast fully parallel thinning algorithms. CVGIP: Image Understanding, 1992. 53(3): 317~328

作者: 施启乐, 王从军, 黄树槐  
作者单位: 华中科技大学, 模具技术国家重点实验室, 湖北, 武汉, 430074  
刊名: 华中科技大学学报(自然科学版)   
英文刊名: JOURNAL OF HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (NATURE SCIENCE)  
年, 卷(期): 2004, 32 (7)  
被引用次数: 12次

## 参考文献(6条)

1. 熊沈蜀 高速多功能二值图像并行处理系统[期刊论文]-[计算机应用](#) 1999 (07)
2. 章毓晋 [图像处理和分析](#) 1999
3. 何斌;马天予 [Visual C++数字图像处理](#) 2001
4. 范志刚;李润顺;崔占华 [干涉条纹图的处理方法研究](#)[期刊论文]-[光学技术](#) 2000 (03)
5. Renyan G;David A C [Morphologic skeleton algorithm for PDP production line inspection](#). Proc 1999
6. GUO Z;Hall R W [Fast fully parallel thinning algorithms](#)[外文期刊] 1992 (03)

## 本文读者也读过(5条)

1. 李甦, 谭永龙, LI Su, TAN Yong-long [基于生成树的图像完全细化算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与设计](#) 2006, 27 (21)
2. 蔡洲, 黄仁 [一种快速且保形的图像细化算法](#)[会议论文]-2009
3. 杨义军 [基于三角剖分的带状图像细化算法的研究](#)[学位论文]2003
4. 韦冰, 陈宇拓 [基于数学形态学的图像轮廓细化方法](#)[期刊论文]-[科技信息\(学术版\)](#) 2006 (9)
5. 王业琳, 宁新宝, 尹义龙 [指纹图像细化算法的研究](#)[期刊论文]-[南京大学学报\(自然科学版\)](#) 2003, 39 (4)

## 引证文献(12条)

1. 金雪峰, 鲁怀伟, 饶芮菱 [一种散斑干涉条纹的细化处理](#)[期刊论文]-[兰州交通大学学报](#) 2006 (6)
2. 陈瑞改, 陈怀新 [干涉条纹中心线提取与细化的新方法](#)[期刊论文]-[激光杂志](#) 2005 (5)
3. 余小英, 李凡生 [基于Matlab的双棱镜干涉图像处理研究](#)[期刊论文]-[物理实验](#) 2010 (5)
4. 王成龙, 乔彦峰, 任德新 [干涉条纹检测微动位移的图像处理方法](#)[期刊论文]-[智能计算机与应用](#) 2011 (6)
5. 杨容浩, 余代俊 [扫描地图自动矢量化若干细节问题的解决方法](#)[期刊论文]-[四川测绘](#) 2008 (3)
6. 刘晓玉, 吴冰, 苏志祁, 郭佳, 方康玲 [基于数学形态学的棒材自动计数方法](#)[期刊论文]-[控制工程](#) 2013 (2)
7. 吴禹昊, 陈天泽, 粟毅 [基于方向ROEWA算子的高分辨率SAR图像道路提取](#)[期刊论文]-[计算机工程与科学](#) 2010 (8)
8. 周岩, 郭俊, 董会, 王文生 [利用数字散斑照相术测量面内位移](#)[期刊论文]-[测试技术学报](#) 2010 (4)
9. 王罡 [人脸视频图像的压缩编码](#)[学位论文]硕士 2006
10. 陈昌宋 [商品化的反求系统三维重构关键技术研究](#)[学位论文]硕士 2004
11. 杨容浩 [基于拆分—组合的地图要素自动提取方法研究](#)[学位论文]硕士 2005
12. 陶军 [TIG焊接过程中LY2铝合金热学和力学参数的反演](#)[学位论文]博士 2005

引用本文格式: 施启乐, 王从军, 黄树槐 [数学形态学图像细化算法在RE中的应用研究](#)[期刊论文]-[华中科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2004 (7)