

(17) 79-83

基于内点保留的二值图像细化算法*

丁明跃 彭嘉雄

(图像识别与人工智能研究所)

TP 391.41

A 摘 要 提出一种基于内点保留的并行细化算法,与一般基于边缘点去除的细化算法比较,它具有运算速度快,程序简单,便于硬件实现,能够完整地保存图像的拓扑结构,所获得的骨架对称性好等优点.在 IIS 图像处理系统上进行了初步实验,结果表明,所提出的二值图像细化方法为解决二值图像细化问题开辟了一条新途径.

关键词 二值图像处理;细化算法;边缘点去除;内点保留

分类号 TP 391.41

二值图像

二值图像的细化是一个通过迭代去除边缘点以得到图像骨架的过程.它要求完整地保存图像的拓扑结构,并能够与原始图像中的主要特征一一对应,以便代替原始图像进行识别和处理.因此在字符识别,染色体识别以及指纹识别等方面有着广泛的应用,引起了世界各国的重视,先后提出了各种不同的细化算法(串行算法,并行算法和串并行混合算法等).不过它们都有一个共同点,这就是以边缘点去除作为主要方法和手段,即通过不断地去除边缘点,以达到最终获得宽度为 1 的骨架的目的.

边缘跟踪是去除轮廓边缘常用的一种有效方法^[1].但由于受跟踪顺序以及所采用邻域定义的影响,容易产生非对称性或使骨架的宽度超过 1.尽管文献[2]针对一些经常出现的特殊模式提出了自适应算法来加以补救,但适应性不强,实现算法复杂,计算量大.本文提出了一种基于内点保留的并行细化算法,为解决细化问题开辟了一条新途径.

1 保留内点——二值图像细化的一种新方法

设二值图像中灰度值不为 0 点的集合为 E . 根据文献[1],它可划分为三个互不相交的子集,即孤立点、内点和边缘点(分别用 G , L 和 B 表示).对于原始二值图像来说,在一般应用中,孤立点并不代表任何有用信息,往往当作噪声来进行处理,可以采用低通滤波等方法将其滤除,因而在细化过程中可以不予考虑.于是有: $E = L \cup B$. 也就是说在集合 E 上,集合 L 是集合 B 之余集,即内点集合是边缘点集合之余集.根据这一点,可以得出结论:对于二值图像中灰度值不为 0 的点,去除边缘点的结果是与保留内点的结果完全相同的.这一结论表明,采用保留内点的方法可以替代边缘点去除的方法,同样达到完成二值图像细化的目的.

与传统的基于边缘点去除的细化方法比较,基于内点保留的细化算法具有以下优点:第

收稿日期:1991-07-02.

丁明跃,男,1961 年生,副教授,武汉,华中理工大学图像识别与人工智能研究所(430074).

* 北京大学视觉与听觉信息处理国家开放实验室基金资助.

一,内点的判定比边缘点更简单(通常只需计算它的四邻域的值),便于硬件实现.特别是在大宽度物体的细化过程中,可以提高运算速度.第二,可按扫描顺序逐点计算,无需跟踪边缘.第三,避免了采用边缘点去除方法细化时所出现的骨架不对称以及所获得骨架宽度大于 1 等问题.

2 保留内点的并行细化算法

在二值图像细化过程中,根据被删除点是在所有像素点检验完后同时删除,还是在检验过程中边检验边删除而分为并行算法和串行算法.串行算法边检验边删除,效率高,运算时间短,但由于受到扫描顺序的影响,容易产生骨架非对称性.而并行算法则可以避免这一问题,其细化结果更为令人满意.因此,在本文中选择了并行细化算法.

采用保留内点的方法进行二值图像细化时,什么时候结束才能得到所需要的骨架是一个很重要的问题.因为如果不加限制地循环下去,则有可能将所有灰度值不为 0 的点全部删除,从而得不到所需要的骨架,这一点当图像中被细化部分为偶数时尤其如此.为解决这一问题,将细化算法分为两步进行.

第一步:使用 5×5 邻域和 8 邻域进行检验,将被细化部分宽度大于 2 的部分细化到 2 以下.对于点 (i, j) 来说,它的 5×5 邻域定义为:

$$E_5 = \{(i-2, j-2), (i-2, j-1), (i-2, j), (i-2, j+1), (i-2, j+2), (i-1, j-2), (i-1, j-1), (i-1, j), (i-1, j+1), (i-1, j+2), (i, j-2), (i, j-1), (i, j), (i, j+1), (i, j+2), (i+1, j-2), (i+1, j-1), (i+1, j), (i+1, j+1), (i+1, j+2), (i+2, j-2), (i+2, j-1), (i+2, j), (i+2, j+1), (i+2, j+2)\}.$$

定义 (i, j) 点的 5×5 环域为:

$$H_5 = \{(i-2, j), (i-2, j-1), (i-2, j+1), (i-1, j-2), (i, j-2), (i+1, j-2), (i+2, j-2), (i+2, j-1), (i+2, j+1), (i+2, j+2), (i+1, j+2), (i, j+2), (i-1, j+2), (i-2, j+2), (i-2, j+1)\}.$$

同时规定对应像素的顺序依次为 x_1, x_2, \dots, x_{15} , 如图 1 所示.图 1(a) 为邻域, (b) 为环域.

设 (i, j) 点的 5×5 环域中满足条件

$$g(x_i) - g(x_{i-1}) = 1 \quad (1)$$

的点数之和为 N_{16} , (i, j) 点的八邻域中满足条件 (1) 式的点数之和为 N_8 . 对于长度大于 5、宽度小于等于 2 的骨架, 必然满足条件 $N_{16} > 1$ 或 $N_8 > 1$. 因此将满足以上条件的点保留,

可以避免将宽度为偶数的骨架全部细化掉.

第二步:将第一步中已获得的宽度小于或等于 2 的骨架进行滤波,以获得最终所需要的宽度为 1 的二值图像的骨架.原来被细化图像宽度为偶数时,经过第一步的细化之后,其宽度为 2,因此可以采用以下非线性滤波算法.

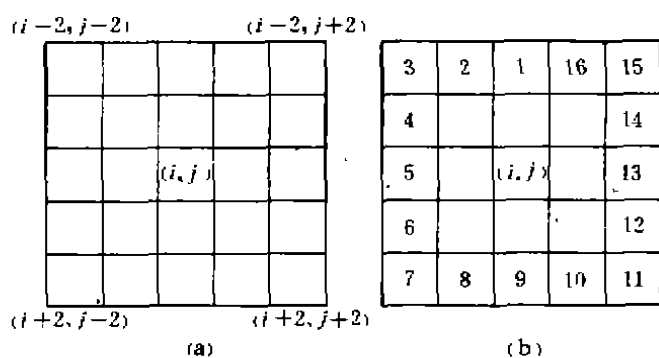


图 1 (i, j) 点的 5×5 邻域及环域

计算 (i, j) 点的右下角三个相邻像素之和:

$$K_3 = g(i, j+1) + g(i+1, j) + g(i+1, j+1).$$

如果 $K_3=3$ (对于 0,1 二值图像), 则表明该点是宽度为 2 的骨架上左边一点, 予以保留. 对于骨架右边一点, 若不满足 $K_3=3$ 条件, 则删除. 这样原来宽度为 2 的骨架就可以细化为宽度为 1 的骨架.

为了保证原骨架中宽度为 1 的点和骨架交叉点能够保留下来, 同时还计算了八邻域中满足条件 (1) 式的点数之和 N_8 . 如果 $N_8>1$, 则表明该点是宽度为 1 的骨架点, 予以保留. 此外, 我们还计算 (i, j) 点八邻域中灰度级不为 0 的点数之和 Σ_8 . 如果 $\Sigma_8=1$, 则表明 (i, j) 是宽度为 1 的骨架上的端点, 应予保留, 这样可以进一步提高所细化骨架的完整性和准确性, 其实验结果是令人满意的.

归纳起来, 保留内点的二值图像细化算法步骤如下:

- 第 1 步 按从上到下, 自左向右扫描顺序寻找灰度值不为 0 的点 (i, j) .
- 第 2 步 计算 (i, j) 点的四邻域之和 Σ_4 . 对于 0,1 二值图像, 若 $\Sigma_4=4$, 则跳至第 6 步.
- 第 3 步 求 (i, j) 点的八邻域中满足 (1) 式的点数之和 N_8 . 若 $N_8\geq 1$, 则跳至第 6 步.
- 第 4 步 求 (i, j) 点的 5×5 环域中满足 (1) 式的点数 N_{16} . 若 $N_{16}\geq 1$, 则跳至第 6 步.
- 第 5 步 将 (i, j) 点删除.
- 第 6 步 判断 (i, j) 点是否已将所有图像点循环完, 若不是则返回第 1 步.
- 第 7 步 判断骨架宽度是否已小于等于 2, 若不是则返回第 1 步.
- 第 8 步 求八邻域之和 Σ_8 . 若 $\Sigma_8=1$, 则跳至第 11 步.
- 第 9 步 求八邻域中满足 (1) 式的点数 N_8 . 若 $N_8>1$, 则跳至第 11 步.
- 第 10 步 求 (i, j) 点右下角三像素之和 K_3 . 若 $K_3=3$, 则该点保留, 否则删除.
- 第 11 步 判断所有图像点是否已循环完, 若未循环完, 则返回第 8 步.
- 第 12 步 算法结束.

3 实验结果与分析

为了对本文所提出的保留内点的二值图像细化算法进行验证, 采用英文字母和汉字点阵进行了细化实验, 并与文献 [2] 中的模式自适应细化算法以及文献 [3] 中的独立于被细化图像宽度的快速细化算法的实验结果进行了比较. 实验是在北京大学视觉与听觉信息处理国家开放实验室的 IIS 图像处理系统上进行的. 该系统主机为 VAX-11/785, 配置 Model 75 图像阵列处理机. 在实验中, 所采用的实验图像大小为 32×32 , 用英文字母及汉字建立起相应的黑白二值图像. 其中, 白点的灰度值为 255, 表示是出现在字母或汉字笔划上的点, 黑点的灰度值为 0. 部分实验结果见图 2. (a) 表示原二值图像, (b) 表示经过采用本文中所提出的基于内点保留的二值图像细化算法细化后的骨架. 从图 2 中可以看出, 无论是对于被细化图像宽度为奇数的字母 (如 "I" 和 "E"), 还是被细化图像宽度为偶数的字母 (如 "T" 和 "H"), 采用本文所提出的算法都能准确地获得所需要的完全反映字母特征的骨架. 即使是一些图像宽度不一致的二值图像, 其细化结果也是令人满意的. 对汉字所进行的细化实验结果表明, 本文所提出的细化算法用于汉字的细化, 同样可得到较好的效果.

研究中还采用不同细化算法进行了细化结果的比较. 结果表明, 采用文献 [3] 中细化算法所得到的细化结果不能准确地反映原模式的特征 (例如将模式 "B" 细化为 "8"), 同时骨架

- 3 Arcelli C, Shanniti G. A Width-Independent Fast Thinning Algorithm. IEEE Trans. on PAMI, 1985, PAMI-7: 463~474

A Binary Image Thinning Algorithm Based on Inner Pixel Reservation

Ding Mingyue Peng Jiaxiong

Abstract

Binary image thinning is a basic processing technique widely used in character recognition, computer vision, medical image processing, etc. Various kinds of thinning approaches have been proposed, most of them mainly using the removal of boundary pixels. The basic idea of a new binary thinning approach based on the reservation of inner points is given. Its program algorithm is described in detail. The new technique is characterized by lower computational cost, easy realization by hardware and preservation of the accurate structure of the picture. Furthermore, a symmetrical one-pixel width of skeleton can be obtained. The feasibility of the algorithm is proved by experiments on an IIS image processing system with letters and Chinese characters.

Key words: binary image processing; thinning algorithm; boundary pixel removal; inner pixel reservation

Dign Mingyue. Ph. D., assoc. prof.; Inst. of Pat. Recog. & AI, H. U. S. T., Wuhan 430074, China.

我校 11 项科研成果荣获 1993 年度 湖北省科技进步奖和星火奖

1993 年度湖北省科技进步奖和湖北省星火奖评审揭晓,我校共有 11 项科研成果获奖,其中科技进步奖 10 项,星火奖 1 项。

科技进步奖:1. “光电实时目标识别与跟踪的开发应用”获一等奖(电信系);2. “基于微机的机器人离线编程系统 HOLPS 及其应用”获二等奖(机一系);3. “在线测量控制放大器的国产化研究”获二等奖(机一系);4. “光盘存储技术”获二等奖(光电子系);5. “水轮机相对效率试验双微机测试系统”获二等奖(电力系);6. “排气管和吸气管全自动弯管加工机床”获三等奖(机一系);7. “微量泄漏检测仪”获三等奖(机一系);8. “LFB 型冲量流量计”获三等奖(机一系);9. “MCT-100 型电功内旋转式纸浆中浓度变送器”获三等奖(自控系);10. “电视电话会议自动回传装置”获三等奖(电信系)。星火奖:“高效热风冲天炉”获三等奖(机二系)。