

344-356

文本图像的快速二值化方法

叶芴芸 戚飞虎 吴健渊

(上海交通大学计算机科学与工程系, 上海, 200030)

许磊

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海, 200030)

TN919.8

TP391.41

摘要 对应用广泛的Kamel-Zhao和Bernsen二值化方法分析其存在的问题并提出了一种基于局部的文本图像快速二值化算法(简称LEVBB算法)。实验结果证明,该算法运算速度快,保持笔划连通性好,抗噪声能力强,并已在实际的车辆牌照识别系统中取得理想效果。

关键词 二值化,文字识别,局部阈值化,局部极值。

图像处理

引言

文本图像

光学字符识别(Optical Character Recognition,简称OCR)技术已在众多领域得到了广泛应用。由于二值化方法直接影响OCR系统性能指标,近年来OCR工作者一直对此进行大量研究^[1,2]。根据其运算的范围不同,二值化方法可被分为全局阈值方法和局部比较方法。

全局阈值方法根据文本图像的直方图或灰度的空间分布确定一个阈值,并根据此阈值实现灰度文本图像到二值化文本图像的转化。全局阈值方法优点在于算法简单,但对输入图像量化噪声或不均匀光照等情况抵抗能力差,应用受到极大限制。局部比较方法通过定义考察点的领域,并由邻域计算模板来实现考察点灰度与邻域点的比较,较全局方法有更广泛的应用。其中典型的局部比较方法有Kamel-Zhao算法和Bernsen算法等^[3]。此时邻域的规定及邻域计算模板的选取都是决定算法效果的关键因素。文献[3]和[4]对Kamel-Zhao算法和Bernsen算法都有相对较好的综合评价,本文的研究工作中以此作为考察比较的基础。

局部比较法也存在缺点和问题,如实现速度慢、不能保证字符笔划连通性、以及容易出现伪影(ghost)现象(即在背景区域受噪声干扰得到笔划结果)等。本文将对上述现象出现的原因进行分析,并针对这些缺点提出基于局部极值的快速二值化方法(Local Extreme Value Based Binarization,简称LEVBB算法),实用结果表明该算法实现速度快,抗噪声能力强,笔划连通性好,是适于文本图像二值化的快速算法。

1 两种典型局部比较算法

我们选取了Kamel-Zhao和Bernsen两种在OCR系统中应用最为广泛的算法作为研

* 国家自然科学基金资助项目(编号 69572026)
稿件收到日期 1996-07-19,修改稿收到日期 1996-10-14

究比较对象,与其它算法相比,这两种算法意义明确,保持笔划宽度好,在以下的讨论中不妨假设字符笔划灰度大于背景,当字符笔划灰度小于背景时,可以预处理中进行取反处理,不影响算法作用.

1.1 Kamel-Zhao 算法^[5]

如图 1 所示,记 $f(x,y)$ 为原图在考察点 (x,y) 坐标的灰度, $b(x,y)$ 为 (x,y) 坐标的二值化结果, W 为估计最大笔划宽度, $P_i (i=0,1,\dots,7)$ 为以考察点为中心的 $(2W+1) * (2W+1)$ 模板, 则 Kamel-Zhao 算法可描述为: (1) 对考察点 (x,y) 计算逻辑值 $L(P_i) = [\text{avg}(P_i) - f(x,y) > T]$, 其中 $\text{avg}(P_i)$ 是 P_i 模板 $(2W+1) * (2W+1)$ 个像素点的平均灰度值, T 是根据经验预定的某阈值. (2) 如果 $(L(P_0) \&\& L(P_1) \&\& (P_4) \&\& L(P_5) \parallel L(P_1) \&\& L(P_2) \&\& L(P_5) \&\& L(P_6) \parallel L(P_2) \&\& L(P_3) \&\& L(P_6) \&\& L(P_7) \parallel L(P_3) \&\& L(P_4) \&\& L(P_7) \&\& L(P_0))$, 则有 $b(x,y) = 1$, 否则 $b(x,y) = 0$.

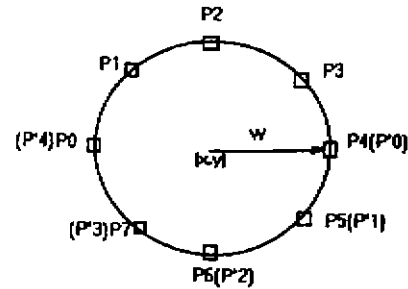


图 1 Kamel-Zhao 算法模板
Fig. 1 Masks of Kamel-Zhao Algorithm

通过实验我们发现 Kamel-Zhao 算法的效果与阈值 T 选取有很大的关系, 针对不同图像选取相同的 T 值很难取得好的分割效果, 如图 2 所示.

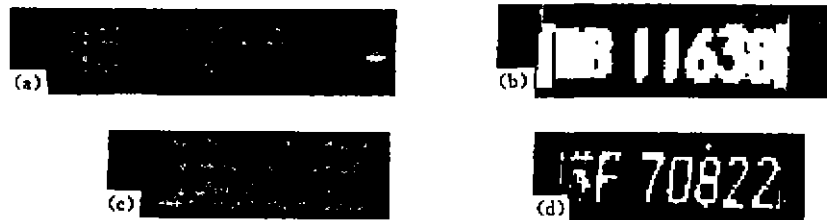


图 2 相同阈值 ($T=20$) 下的 Kamel-Zhao 算法的二值化结果
(对原图 2 进行了取反预处理) (a) 原图 1, (b) 原图 1 二值化结果, (c) 原图 2, (d) 原图 2 二值化结果

Fig. 2 Kamel-Zhao Binarized image with same threshold at $T=20$
(the raw image 2 was negative) (a) raw image 1, (b) binarized image 1, (c) raw image 2, (c) binarized image 2

1.2 Bernsen 算法^[6]

考虑以 (x,y) 为中心的 $(2W+1) * (2W+1)$ 模板, 则 Bernsen 算法可描述为: (1) 计算每点阈值 $T(x,y) = 0.5 \times (\max_{-W < k \leq W, -W < l \leq W} f(x+k,y+l) + \min_{-W < k \leq W, -W < l \leq W} f(x+k,y+l))$. (2) 如果 $f(x,y) > T(x,y)$, 则 $b(x,y) = 1$, 否则 $b(x,y) = 0$.

与 Kamel-Zhao 算法相比, Bernsen 算法的阈值都由考察点邻域的灰度决定, 算法不存在预定阈值, 所以更具有实用价值.

2 Bernsen 算法缺点分析

经过实验发现 Bernsen 算法在文本图像二值化的实际应用会遇到以下一些问题.

2.1 实现速度慢

Bernsen 算法的耗时主要用在寻找局部最大、最小值上. 对直接实现方法而言, 如果每次比较计算耗时一个单元时间, 则处理 $M * N$ 图像耗时由 $(M * N * (2W + 1) * (2W + 1))$ 决定. 当局部窗口增大时, 对时间耗费的影响成窗口尺寸平方关系.

2.2 有伪影现象(ghost)

由于 Bernsen 算法以局部窗口内最大、最小值作为考察点的阈值, 当考察点内无目标经过, 个别噪声点将引起阈值的剧烈变化. 另外, 背景灰度非均匀性也可能影响到局部阈值. 这将使部分背景区被量化为目标, 给后续工作造成困难. 图 3 所示为某字符灰度的一维示意图, 其中 A、C 为字符笔划, B 为某一局部背景, 其灰度较正常背景更低, 虚线为 Bernsen 算法得到的各点阈值. 由图 3 可见, 当背景受噪声干扰时, B 区周围将有背景点被二值化为目标(阴影区). 图 4 给出了一车辆牌照识别的实例, 其中第 2 和第 3 字间由于铆钉干扰造成局部背景灰度不均, 其二值化结果受到影响, 得到伪影.

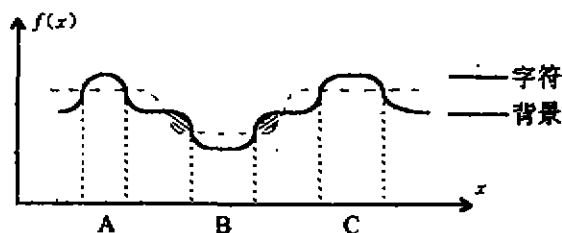


图 3 伪影现象的形成
Fig. 3 Reason for ghost

2.3 出现笔划断裂现象

当 Bernsen 算法考察窗口内点均为目标点时, 局部阈值将被拉升, 造成部分目标点被二值化为背景, 致使信息丢失, 如图 5 所示. 图 5 仍为字符目标的一维灰度图, 其中区域 A 为笔划目标区域, 由于窗口大小与笔划宽度相仿, 造成区域 B 阈值升高, 相应点被量化为背景.

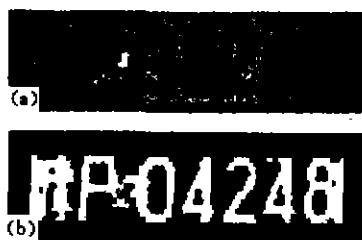


图 4 伪影现象实例(图 4 字符灰度小于背景, 经取反预处理后不影响算法作用)
Fig. 4 Ghost phenomenon (the raw image was negative, which is irrelevant to the algorithm)

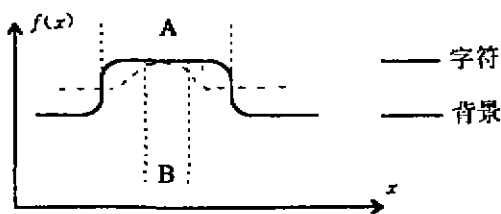


图 5 笔划断裂现象的形成
Fig 5. Reason for broken strokes

文献[6]曾给出了对 Bernsen 算法产生伪影的解决方法: (1) 对原图做均值平滑去噪; (2) 计算去噪图的边缘值(sobel 算子); (3) 去除边缘值小于某阈值 T_p 的目标点. 然而该算

法又引入 sobel 算子求边缘的过程,并增加了阈值 T_p ,仍然存在选取的困难.另外,该方法对图 3 所示的由背景区域灰度突变造成的伪影现象仍无法清除.

3 基于局部极值的文本图像快速二值化方法

针对上节讨论的局部阈值算法的若干缺点,本文提出了一种文本图像的快速二值化方法(Local Extreme Value Based Binarization,简称 LEVBB 算法),其过程描述如下.

3.1 为克服图像获取的光照条件未知等缺点,对文本灰度图像进行灰度拉伸和光滑预处理:

$$f(x,y) = \begin{cases} 255, & \text{如果 } f(x,y) > T_1 \\ \frac{\frac{1}{3} \sum_{i=-1}^1 f(x+i,y) - \min_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} f(x+k,y+l)}{T_1 - \min} * 255, & \text{其它情况} \end{cases}$$

其中 T_1 取值满足 $\sum_{i=-1}^1 [i] \geq A * 10\%$,用于消除个别灰度特异点. $\frac{1}{3} \sum_{i=-1}^1 f(x+i,y)$ 为一维均值滤波算子,用于平滑获取图像的颗粒噪声. $\text{hist}[i]$ 为原图灰度直方图, A 为面积, \min 为原图最小灰度. 经过灰度拉伸后,图像灰度将分布在 $0 \sim 255$ 之间,避免了获取图像时环境光线强弱变化的影响.

3.2 计算各点阈值

$$T_2(x,y) = 0.5 \times \left(\max_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} f(x+k,y+l) + \min_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} (f(x+k,y+l)) \right),$$

这里 $\max_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} f(x+k,y+l)$ $\min_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} (f(x+k,y+l))$ 将由下一节介绍的局部窗口极值快速算法获得.

3.3 引入另一阈值

$$T_3(x,y) = \max_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} f(x+k,y+l) - \min_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} (f(x+k,y+l)).$$

3.4 对阈值曲面进行光滑处理

$$T_4(x,y) = \text{avg}_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} T_2(x+k,y+l),$$

根据对伪影现象形成原因的分析,阈值曲面的均值平滑过程是解决伪影现象的关键.

3.5 逐点二值化,如果 $(f(x,y) > T_4(x,y) \&\& T_3(x,y) > \frac{1}{3} \times (T_1 - \min))$, 则 $b(x,y) = 1$, 否则 $b(x,y) = 0$. 这里 $f(x,y) > T_4(x,y)$. 判断的意义与 Bernsen 算法相同. $\&\& T_3(x,y) > \frac{1}{3} \times (T_1 - \min)$ 是消除伪影现象的另一手段,该逻辑式的成立将保证考察点所在窗口一定跨越目标和背景,这使对笔划宽度 W 的选取变得容易,即使字符间有较大间隔也可保证二值化过程正常进行.

本文提出的快速二值化方案考虑了文本图像背景受到噪声干扰的情况,对背景区域可能出现的伪影现象有很好的消除作用.同时算法中没有固定的阈值选取困难,是完全基于图像局部特性的自适应算法.

4 二维图像局部窗口内极值快速算法

在对 $M \times N$ 二维图像求取局部窗口值的过程中,二维窗口内极值的计算可被分解为水平、垂直二次一维窗口极值求取:

$$\max_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} \{f(x+k, y+l)\} = \max_{-W \leq l \leq W} \{ \max_{-W \leq k \leq W} \{f(x+k, y+l)\} \},$$

其中 $W \leq x \leq M-W-1$, $W \leq y \leq N-W-1$. 本文将不考虑以边界点为中心的窗口极值. 当然,也可通过边界延拓实现这些点的窗口极值计算. 另外,由于 $\min_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} \{f(x+k, y+l)\}$

$= \sim \max_{\substack{-W \leq k \leq W \\ -W \leq l \leq W}} \{\sim f(x+k, y+l)\}$ (其中 ' \sim ' 为“取反”运算),使二维局部窗口内极值的计算可以简化为一维窗口内的极大值求取. 问题可被描述为对一维像素序列 $\{f(i)\}, i=0, 1, \dots$

N , 求取 $\{M(j)\}, j=W, W+1, \dots, N-W-1$. $M(j) = \max_{-W \leq k \leq W} \{f(j+k)\}$. 如果注意到逐窗滑动求取极值时,处于同一窗口中右边的较大元素将屏蔽掉处于左边的较小元素,可以有以下快速算法步骤:

(1) 建立长度可变的动态序列 T 用以存放当前考察窗口内像素下标; (2) 初始化:对初始窗口内的 $2W+1$ 个元素进行非递增排列,其下标存放于 T ; 删除 T 序列中内容小于左邻元素的项; (3) T 序列的最左元素即当前窗口内极大值所在像素下标; (4) 令窗口向右滑动,考察窗口内新进入的像素 $f(k)$, 将其从 T 序列的右端尾部插入适当位置; (5) 如果当前窗口不是最后一个考察窗,转(3),否则结束.

可以看出,该算法仅在初始化中有对 $2W+1$ 个像素的排序过程,其余计算与窗口尺寸无关. 由于窗口尺寸远小于图像尺寸,所以整个算法计算速度与窗口尺寸几乎无关. 当窗口尺寸较大时,该算法的优点是不言而喻的. 关于快速算法更详细的说明和有关计算复杂度的证明参见文献[7].

5 实验结果与讨论

以车辆牌照及明信片局部文本图像为例,本文比较了 Kamel-Zhao、Bernsen 及本文快速算法的计算结果和速度. 图 6(a)、(d)、(q) 中文本灰度低于背景图像,预处理时对灰度图像进行取反预处理,不影响二值化算法的实现.

在几种局部比较方法的结果比较中,本文快速二值化(LEVBB)算法对文本图像有最好的效果. 图 6(a) 原图获取时光照条件恶劣,文本与背景对比度差,且背景有大量椒盐噪声; 图 6(e) 的 Kamel-Zhao 算法结果(固定阈值)丢失目标; 相比之下,图 6(i) 的 Bernsen 算法有较好效果,但在背景区域出现伪影,造成二值化图像受噪声污染; 图 6(m) 的 LEVBB 算法有较好的二值化效果,且对背景区域噪声有很好的抑制作用. 图 6 的其它示例,如(b)、(d)及(q)的非均匀背景文本图像二值化结果中可以看出,LEVBB 算法在噪声抑制和抗非均匀光照等方面都较现有局部比较算法有更好效果.

从算法速度比较实验结果可以看出,文本的快速算法 LEVBB 运算速度与 Kamel-Zhao 算法相当,比 Bernsen 算法提高 3 倍. LEVBB 算法既克服了 Bernsen 算法因速度慢而不适于实时处理系统的缺点,又较固定阈值的 Kamel-Zhao 算法有更好的二值化效果. 尤其当窗口和图像尺寸增大时,本文算法的优点将进一步体现. LEVBB 算法已在实际的车辆牌照自

动识别系统^[8]中得到成功应用.

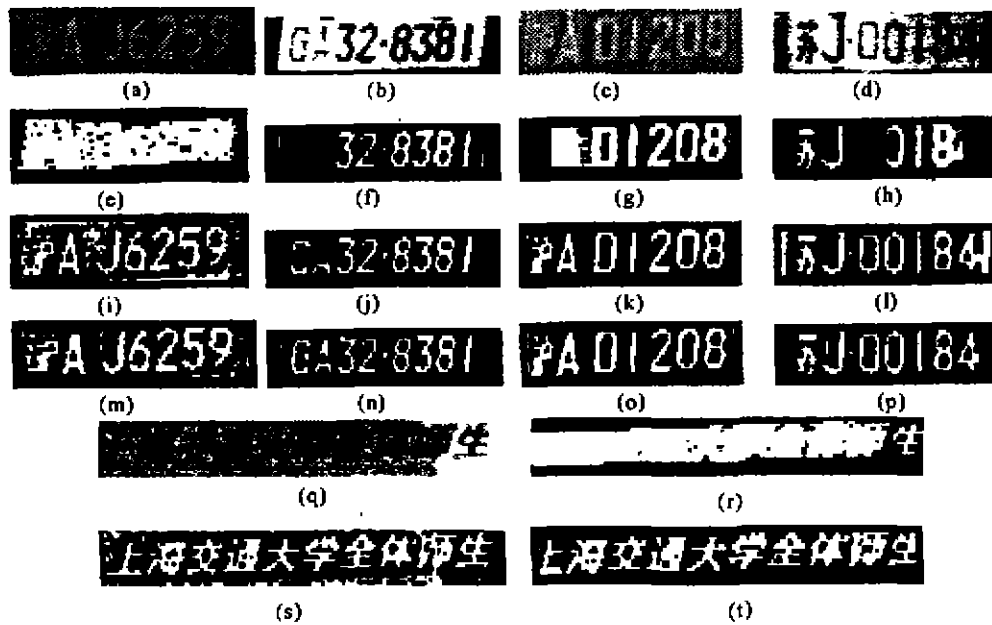


图 6 算法效果比较

(a)~(d),(q)原图; (e)~(h),(r) Kamel-Zhao 结果($T=20, W=4$);

(i)~(l),(s)Bernsen 结果($W=4$); (m)~(p),(t)LEVBB 结果

Fig. 6 Comparison between algorithms

(a)~(d),(q) raw images; (e)~(h),(r) result of Kamel-Zhao ($T=20, W=4$);

(i)~(l),(s) result of Bernsen ($W=4$); (m)~(p),(t) result of LEVBB

表 1 算法速度比较(主机 586/100)

Table 1 Speed comparison (CPU 586/100)

原图尺寸	原图 1 (137×44)	原图 2 (136×34)	原图 3 (131×36)	原图 5 (227×34)	
Kamel-Zhao	0.05s	0.06s	0.05s	0.05s	0.07s
Bernsen	0.17s	0.16s	0.16s	0.16s	0.22s
LEVBB	0.06s	0.05s	0.05s	0.05s	0.07s

6 总结

Kamel-Zhao 算法和 Bernsen 算法是常用的文本图像二值化算法. 虽然这两种算法适用于大多数文本图像的二值化计算,但在实用中存在计算速度慢、容易出现笔划断裂和伪影现象等缺点. 本文分析了上述算法各种缺点的原因,并提出了一种基于局部极值的文本图像快速二值化算法 LEVBB 算法. 实验结果表明该算法效果好、速度快,尤其对噪声干扰和非均匀光照文本图像有良好的适应性,是适合于文本图像二值化的一种快速算法.

REFERENCES

- 1 Sahoo P K, *et al.* *CVGIP*, 1988, 41: 233~260
- 2 Nikhil R P, *Patl. Recog*, 1993, 26(9): 1277~1294
- 3 Divind D. Trier, *IEEE PAMI*, 1995, 17(3): 312~315
- 4 Venkateswarlu N B, *et al.* *Image & Vision Computing*, 1995, 13(7): 573~583
- 5 Kamel, *et al.* *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1993, 55(3): 203~217
- 6 Bernsen. *Proc. of 8th Int'l Conf. on Patt. Recogn.*, 1986: 1251~1255
- 7 许磊. 上海交通大学学报(已接收)(XU L. *Journal of Shanghai Jiao Tong Univ.* (received)), 1996
- 8 戚飞虎, 等. 交通与计算机(QI F H, *et al.* *Traffic and Computer*), 1997, 15(1): 38~41

FAST BINARIZATION ALGORITHM FOR DOCUMENT IMAGE*

YE Xiang-Yun QI Fei-Hu WU Jian-Yuan

(Department of Computer Science & Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

XU Lei

(Institute of Image Processing & Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract After analyzing the shortcomings of commonly used Bernsen Binarization Algorithm, a fast algorithm based on local extreme value (Local Extreme Value Based Binarization, LEVBB briefly) was proposed. Experimental results show that the proposed approach has the advantages of speediness and noise-standing, as well as good reservation of stroke connectivity. The proposed method has already found quite satisfactory applications in a "Vehicle Recognizing and Auto-Charging System".

Key words binarization, optical character recognition, local thresholding, local extreme value

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China
Received 1996-07-19, revised 1996-10-14

⑦ 351-356

一种基于子波变换的图像边缘提取及去噪方法*

刘建峰 戚飞虎

(上海交通大学计算机科学与工程系, 上海, 200030)

TN918.8

摘要 提出了一种有效的用子波变换提取边缘及去噪的方法, 该方法通过提取子波变换局域模最大值来提取图像边缘, 并利用多尺度子波变换模值信息和角度信息去除噪声. 由于该方法克服了以往使用单个尺度提取边缘的局限性, 结合了子波变换多尺度的优点, 因此能获得既有高信噪比, 又有高定位精度的边缘检测结果.

关键词 子波变换 边缘提取, 噪声.

图像 图像处理

引言

边缘提取是图像处理中最重要的课题之一, 它在模式识别、场景分析及三维视觉等方面都具有广泛的应用. 当前, 在边缘提取方面存在一个棘手的问题, 即定位与检测的均衡问题. 一方面, 小的边缘模板(小尺度或高分辨率)对噪声很敏感, 且有时会检测到冗余的细节, 但它定位精度高; 另一方面, 大的边缘模板(大尺度或低分辨率)有较强的去噪能力, 但它不能检测出必要的细节, 且定位精度低. 为了提取既有高定位精度, 又能有效去噪及去冗余的边缘信息, 有必要引入多尺度的概念.

近年来, 这种多尺度概念已融入于相干数学理论-子波理论中. 对某一类子波, 图像边缘对应于子波变换的局域最大值, 子波变换的最大值提取等效于经典的边缘提取. 基于上述子波变换与边缘提取的关系, 我们提出了一种用子波变换进行边缘提取及去噪的方法, 采用该方法对图像进行边缘处理, 能得到满意的结果.

本文首先介绍图像的子波变换及其模最大值, 然后提出基于模最大值的边缘提取及去噪方法, 最后给出采用该方法的实验结果, 并与 Canny 方法、Sobel 算子方法进行了比较.

1 图像的子波变换及其模最大值

子波变换近年来引起了数学家和工程学家的极大重视. 简单地讲, 子波是一个积分为零的函数, 即设 $\Psi(x)$ 是一个复值函数, 则当且仅当 $\Psi(x)$ 的傅氏变换 $\psi(\omega)$ 满足下列条件时, $\Psi(x)$ 是一个子波:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi(x) dx = \psi(0) = 0.$$

* 博士点基金(编号 94244819)及国家自然科学基金资助项目(编号 69592026)
稿件收到日期 1996-12-04, 修改稿收到日期 1997-03-18

令 $\Psi_s(x) = (1/s)\Psi(x/s)$ 为 $\Psi(x)$ 在尺度因子 s 下的扩展函数, 则函数 $f(x) \in L^2(R)$ 的子波变换定义为

$$Wf(s, x) = f * \Psi_s(x)$$

令 $\Psi^1(x, y)$ 和 $\Psi^2(x, y)$ 分别为 $\Psi^1(x, y) = \partial^1(x, y)/\partial(x)$ 和 $\Psi^2(x, y) = \partial^2(x, y)/\partial(y)$. 其中 $\theta^1(x, y), \theta^2(x, y)$ 是两个平滑函数. 我们将 $\Psi_s^1(x, y) = 1/s^2\Psi^1(x/s, y/s), \Psi_s^2(x, y) = 1/s^2\Psi^2(x/s, y/s)$ 表示为这些函数在 s 下的扩展. 那么函数 $f(x, y) \in L^2(R^2)$ 在 s 下沿水平和垂直方向的子波变换, 为 $f(x, y)$ 分别被 $\Psi_s^1(x, y)$ 和 $\Psi_s^2(x, y)$ 滤波后的结果, 即

$$W_s^1 f(x, y) = f * \Psi_s^1(x, y), \quad W_s^2 f(x, y) = f * \Psi_s^2(x, y).$$

现在, 我们定义图像在尺度 s 下的模值和角度值为

$$M_s f(x, y) = \sqrt{|W_s^1 f(x, y)|^2 + |W_s^2 f(x, y)|^2},$$

$$A_s f(x, y) = \text{atan}[(W_s^2 f(x, y)/W_s^1 f(x, y))].$$

$f(x, y)$ 在尺度 s 下的图像边界点即对应于 $M_s f(x, y)$ 沿着梯度方向, $A_s f(x, y)$ 的局域最大值, 因此检测出 $M_s f(x, y)$ 的局域最大值点也就检测出了图像的边缘.

2 基于模最大值的图像边缘提取及去噪方法

2.1 边缘点的提取

具体的边缘点提取的过程大致分为两步: 首先计算每个边缘点的子波变换模, 然后根据局域模最大值法找边缘. 边缘点的选择过程是一个沿梯度方向的非最大值删除过程. 具体而言, 在任一尺度子波变换图中, 对每一个象素点, 我们沿其梯度方向设一个 $k \times 1$ (在此我们选 $k=3$) 窗, 如果该象素的模值在该窗口内为最大, 我们认为该象素点为边缘点, 否则该象素点不是边缘点, 为了获得一个象素宽的边缘, 如果沿梯度方向有若干象素模值最大且相等, 这时我们只选灰度值最大的象素点作为边缘点.

2.2 自动门限化方法

在多尺度边缘提取中, 有必要将由噪声或多条边缘相互影响而形成的伪边缘去除. 为此我们提出了两种基于子波变换模值的自动门限化方法.

首先观察一下用于边缘提取类的子波变换模值, 可以导出该模值近似服从 Reileigh 分布为

$$P_{M_s}(r) = r/\sigma^2 \exp(-r^2/2\sigma^2).$$

当 $r=\sigma$ 时, $P_{M_s}(r)$ 达到峰值. σ 的值可以从 $M_s f(x, y)$ 的直方图中估算. 根据文献[2], 对于加噪图像, 要以 99% 的置信度去噪的话, 则须取 3σ 左右的门限. 为此我们首先采用以下方法去噪: 即对每一条边缘曲线, 当该线上至少有一点的模值大于一个较高的门限值 $T1$ (对加噪图像, 我们取 $T1$ 为 4σ , 对无噪图像, 我们取 $T1$ 为 7.5σ), 而且整条边缘线上任一点的模值都高于一个较低的门限值 $T2$ 时 (对加噪图像, 我们取 $T2$ 为 2σ , 对无噪图像, 我们取 $T2$ 为 3σ), 才将该边缘线整条输出. 采用这一方法可以有效地去除噪声.

为达到更好的去噪效果, 我们还将多尺度信息结合起来. 根据文献[3], 当尺度 s 减少

时,图像的子波变换模最大值并不会增加.相反,对于均方差为 σ_n^2 的白噪声的子波变换模 $M_n(x, y)$,可以证明^[3]

$$E(|M_n(x, y)|^2) = \sigma_n^2 (\|\Psi^1\|^2 + \|\Psi^2\|^2) / s$$

平均而言,随尺度 s 的减少,噪声的子波变换模将增加.因此我们可以将随着尺度的减少,其模值反而增加的边缘点作为噪声点去除.



图1 (a)、(b)无噪图像(256×256);(c)、(d)采用本文方法的边缘提取结果
Fig. 1 (a),(b)Noise-free image (256×256);
(c),(d) edge extraction results by using the approach.

对于多尺度边缘,当尺度步长不超过 0.5 时,相邻尺度边缘图像的同边缘点的偏移量不会超过一个像素.因此,为有效跟踪不同尺度下的同一边缘点,我们取尺度步长为 0.4. 算法中,我们先求出去噪效果较好的大尺度的边缘图像,然后再结合大尺度的边缘图像计算并得出小尺度的边缘图像.本文方法只在小尺度时采用上述第一种自动阈值化方法,这样既可以得到好的边缘提取效果,又可以提高计算效率.

2.3 边缘点的链接

小尺度的边缘图像中,常常会出现一系列不连接的边缘段,为得到完整而连续的边缘曲线,在小尺度下有必要做进一步链接的工作.

将边缘点连接成链时,我们在一个已链接边缘点的邻域中,将方向最接近、模值也大致相同的边缘点连接到边缘链中.当处于边缘链尾的结点八邻域中找不到符合以上条件的边缘点时,我们并不停止链接.相反,我们沿着该链的切线方向及其附近继续搜索若干步.如果

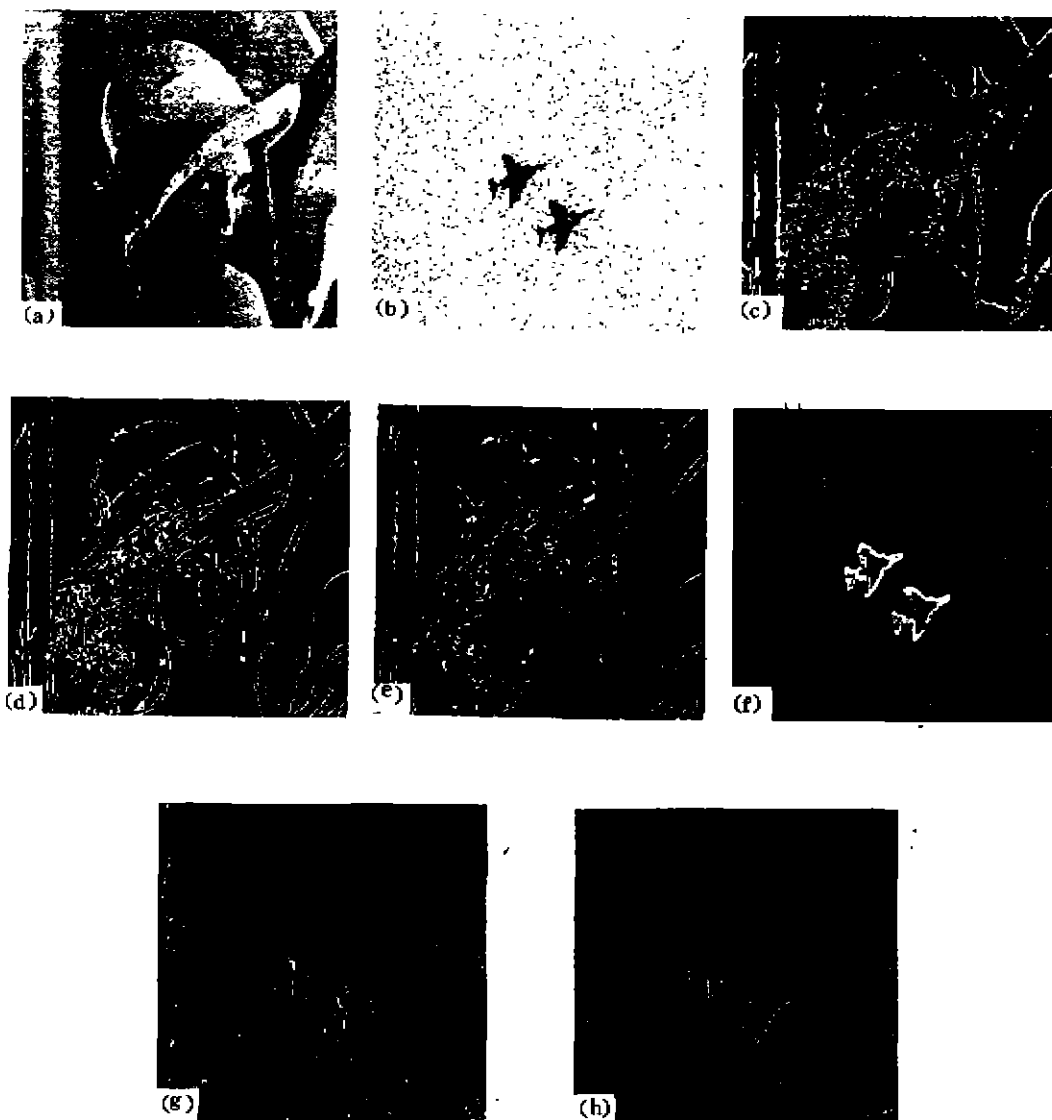


图 2 (a)加噪图像 A、(b) 加噪图像 B、(c) 图像 A 采用 Sobel 算子的结果, (d) 图像 A 采用 Canny 方法的结果, (e) 图像 A 采用本文方法的结果, (f) 图像 B 采用 Sobel 算子的结果, (g) 图像 B 采用 Canny 方法的结果, (h) 图像 B 采用本文方法的结果

Fig. 2 (a) Noisy image A, (b) noisy image B, (c) image A's output by Sobel operator, (d) image A's output by Canny's method, (e) image A's output by the authors' approach, (f) image B's output by Sobel operator, (g) image B's output by Canny's method, (h) image B's output by the authors' approach

搜索到了边缘点,则比较一下该点的特征参数(如灰度值、模值、方向信息等)与链尾边缘点的特征参数是否接近,如果是,则沿着该链的方向将中间的间隙作为边缘点链接好.否则,认为已经连上的链是一完整的边缘曲线,不作任何修改.将边缘点边接成链后,对于链长小于某一阈值的边缘点,我们将之去除,因为它们通常是由噪声或一些微小的细节(容易产生误匹配)生成的.

3 实验结果

我们在 PC80486 上用 C 语言实现了上述方法.

图 1 为对无噪图像采用本文方法提取边缘的结果.图 2 为对加噪图像(噪声方差为 100)采用本文方法进行边缘提取和去噪的结果[$s=1$],并与 Canny 方法、Sobel 算子方法进行了比较.由图 2 可知,Sobel 算子检测出的边缘粗,且 Canny 方法与 Sobel 算子法的去噪能力低于本文方法.为提高 Canny 法与 Sobel 算子法的去噪能力,实验中我们还尝试着在上述方法前先进行空域滤波,但发现其结果定位精度差,且去噪能力仍不及本文方法.

总之,实验结果表明,本文所述方法具有以下优点:(1)能有效去除噪声;(2)能保存必要的细节;(3)定位精度高.

4 结论

本文介绍了一种有效的用多尺度子波变换提取边缘及去噪的方法,由于该方法结合子波变换大尺度去噪能力强、小尺度定位精度高以及图像和噪声在不同尺度子波变换下呈现不同特性的优点,取得令人满意的结果,因此该方法不失为子波变换在图像处理领域中的一种有效应用.

REFERENCES

- 1 Canny J F. *IEEE Trans. PAMI*, 1986, 8: 679~698
- 2 Voorhees H, Poggio T. *Detecting Textons and Texture Boundaries in Natural Images. Proc. First. Internat. Conf. on Computer Vision*, London, England, June 1987, 250~258
- 3 Marr D. *Vision*, W. H. Freeman and Company, 1982
- 4 M Vetterli, Herley C. *IEEE Trans. SP*, 1992, 40: 2207~2232
- 5 焦李成, 保铮. *电子学报* (QIAO L C, BAO Z. *Acta Electronica Sinica*), 1993, 21: 91~96
- 6 刘建峰. *子波变换在图像特征提取及视频信息索引、检索中的应用*. 博士学位论文, 上海交通大学 (LIU J F. *Application of Wavelet Transform to Extraction of Image Feature and Indexing of Video Information*. Doctor's Thesis, Shanghai Jiao Tong Univ.)

A WAVELET TRANSFORM APPROACH TO IMAGE EDGE EXTRACTION AND DENOISING *

LIU Jian-Feng QI Fei-Hu

(Department of Computer Science, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract An efficient wavelet transform approach to image edge extraction and denoising was proposed. The approach extracts image edges through extracting local magnitude maxima of wavelet transform, and goes on denoising by using multiscale magnitude and phase information. Since the approach has overcome the limitations of the previous approaches using only one scale, and combines the advantages of various scales, it can yield edge extraction output with high signal-to-noise ratio and high location precision.

Key words wavelet transform, edge extraction, noise.

*The project supported by the Doctoral Fund and the National Natural Science Foundation of China
Received 1996-12-04, revised 1997-03-18