

基于多结构元的数学形态学的边缘检测

罗 湘, 韦玉科

(广东工业大学 计算机学院, 广东 广州 510006)

摘 要:针对传统边缘检测算子具有对噪声敏感、提取出的边缘细节特征没有得到很好的保持等不足,文中在 Canny 算法启发下提出了一种基于多结构元的数学形态学边缘检测算法,并经过数学形态学细化算法提取图像边缘,并与 Sobel 边缘检测算法和 Canny 边缘检测算法得到的图像边缘仿真结果进行对比,分析比较其优点不足,得出结论:文中算法得到的图像边缘其定位准确且较平滑,轮廓清晰,很好地保留了边缘细节特征,比较容易并行实现,而且由于此种边缘检测算法抗噪能力较强,能较好解决性噪比和单边缘响应之间的矛盾。

关键词:边缘检测;数学形态学;多结构元;细化算法

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)04-0085-03

Morphological Edge Detection Based on Multi-Structuring Elements

LUO Xiang, WEI Yu-ke

(College of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: According to the traditional edge detection operators to noise sensitive, the extracted features edge details are not well maintained, it presents a multi-structuring elements based on morphological edge detection algorithm inspired by the Canny algorithm, and the edge got through morphological thinning algorithm, and compare the simulation results of the Sobel edge detection algorithm and Canny edge detection algorithm, analyse the advantages and disadvantages to a drawn conclusion: the edge of this paper's algorithm extracted has a more accurate orientation and relatively smoother contour, more clear outline, easy to parallel implementation, well maintained features edge detail, and because this kind of edge detection algorithm has a strong antinoise ability, it can well solved the conflict between performance/noise ratio and single edge response.

Key words: edge detection; mathematical morphology; multi-structuring elements; morphological thinning algorithm

1 数学形态学概述

图像最基本的特征是边缘,边缘是图像区域和另一个属性区域的交接处,是区域属性发生突变的地方,也是图像信息最集中的地方,反映了物体的特征。因此,图像边缘信息的提取对于图像处理非常重要,边缘检测的结果直接决定着后续处理的精度^[1]。

图像的边缘检测有着很长的研究历史,传统的边缘检测方法很多,如 Sobel 算子、Roberts 算子、Prewitt 算子、LoG 算子和 Canny 算子等,但大量数字图像处理结果表明^[2],这些经典边缘检测算子计算量大,计算时间长,抗噪声干扰能力差,一般很难得到满意的检测结果。

数学形态学是一门综合了多学科知识的交叉学

科,建立在严格的数学理论基础上,是在集合论的基础上发展起来的一种非线性滤波方法,其基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状,达到对图像进行分析和识别的目的。通过基本运算所构造出的形态学边缘检测算子,在图像边缘检测中得到了广泛的研究与应用^[3]。与传统的图像边缘检测算法相比,形态学有着独特的优势,它在边缘检测这一问题上取得了较好的效果。用形态学方法进行图像边缘检测,算法简单同时能较好地保持图像的细节特征,有效地解决了边缘检测精度与抗噪声性能的协调问题^[4]。

2 数学形态学理论基础及算法描述

2.1 理论基础

2.1.1 数学形态学运算(变换)

数学形态学基本运算(变换)有:膨胀、腐蚀、开运算和闭运算,击中击不中变换:

设 f, b 为 Z^2 中的集合, \emptyset 为空集,图像 f 被结构元素 b 膨胀的定义为:

收稿日期:2011-08-21;修回日期:2011-11-27

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAI08B01-3)

作者简介:罗 湘(1986-),女,硕士研究生,主要研究方向为图像处理;韦玉科,副教授,硕士生导师,主要研究方向为图像处理、智能信息处理。

$$f \oplus b = \{x | (b)x \cap f \neq \emptyset\}$$

其中, x 是一个表示集合平移的位移量, \oplus 是膨胀运算的运算符。

设 f, b 为 Z^2 中的集合, 图像 f 被结构元素 b 腐蚀的定义为:

$$f \ominus b = \{x | (b)x \subseteq f\}$$

其中, x 是一个表示集合平移的位移量, \ominus 是腐蚀运算的运算符。

设目标图像为 f , 结构元素为 b , 定义结构元素 b 对目标图像 f 的开运算如下:

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$$

设目标图像为 f , 结构元素为 b , 定义结构元素 b 对目标图像 f 的闭运算如下:

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b$$

设 f 是待处理图像 f 的补集, 结构元素 b 由两个不相交的部分 b_1 和 b_2 组成, 即 $b = b_1 \cup b_2$, 且 $b_1 \cap b_2 = \emptyset$, 则击中击不中变换定义为:

$$f * b = (f \ominus b_1) \cap (f \ominus b_2) = (f \ominus b_1) - (f \oplus b_2)$$

$f * b$ 的集合包含同时满足下列条件的点:

- ① b_1 在 f 中找到一个匹配 (击中);
- ② b_2 在 f 的补集中找到一个匹配 (对 f 击不中)。

2.1.2 数学形态学边缘检测(1)

利用数学形态学检测边缘的步骤是: 首先选用合适的结构元素对目标图像进行形态学运算, 然后将得到的结果与原图像相减即可得到图像的边缘。

2.1.3 数学形态学滤波

图像中通常都混合着噪声, 在进行边缘检测之前, 需要先去噪声的影响, 即对图像进行平滑处理。过程如下: f 为图像, b 是选用的合适的结构元素, 先让 f 被 b 膨胀, 然后用 b 对其进行腐蚀操作, 去除目标周围的噪声; 再次用 b 对 f 进行腐蚀后再用 b 对 f 进行膨胀, 去除目标内部的噪声, 这样就得到平滑后的图像。由此可知, 基于数学形态学的图像平滑处理实质是先后进行闭运算和开运算操作。设经过去噪处理后的图像为 c , 公式表示如下:

$$c_1 = \{[(f \oplus b) \ominus b] \ominus b\} \oplus b = (f \cdot b) \circ b \quad (1)$$

与此相同, 另外一种图像平滑的算法如下:

$$c_2 = \{[(f \ominus b) \oplus b] \oplus b\} \ominus b = (f \circ b) \cdot b \quad (2)$$

2.2 算法描述

2.2.1 数学形态学边缘检测算法

数学形态学检测图像边缘的算法如下^[5]: 设 f 为目标图像, b 为结构元素, 让 f 被 b 腐蚀, 求出 f 和 f 被 b 腐蚀后的差, 设边缘图像为 g , 用公式表示如下:

$$g_1 = f - (f \ominus b) \quad (3)$$

公式(3)是内边界的检测器, 同理, 外边界的检测器公式表示如下:

$$g_2 = (f \oplus b) - f \quad (4)$$

另外, 数学形态学的梯度边缘检测器表示如下:

$$g_3 = (f \oplus b) - (f \ominus b) \quad (5)$$

可见, 形态学边缘检测算子是一种非线性的差分算子, 其检测出的边缘与结构元素 b 有关, 这些算子虽然实现简单, 但是对噪声都很敏感, 适用于噪声较小的图像。

2.2.2 改进的数学形态学边缘检测算法

传统的数学形态学边缘检测算法是通过组合开运算和闭运算, 实现对图像的平滑操作后再提取边缘, 得到的效果不太理想。Canny 提出了三个指标即信噪比、定位精度和单边缘响应用以评价边缘检测性能优劣^[6]。在此启发下, 文中提出以下改进的形态学边缘检测算法, 能达到更好的效果。

2.2.3 多结构元复合数学形态学滤波

基于上文介绍的两种传统的形态学滤波器, 组合可以构成一种比单独使用上文滤波器效果更好的复合数学形态学滤波器。组合公式(1)、(2)得到的改进复合数学形态学滤波器, 公式表示如下:

$$c_3 = \frac{1}{2} [(f \cdot b) \circ b + (f \circ b) \cdot b] \quad (6)$$

用多结构元的方式改进上面的公式(6), 构造多结构元复合数学形态学滤波器, 可以平滑更多噪声, 滤波效果更好:

$$c_4 = \frac{1}{2} \{[(\langle f \oplus b_1 \rangle \ominus b_2) \ominus b_3] \oplus b_4 + [(\langle f \ominus b_1 \rangle \oplus b_2) \oplus b_3] \ominus b_4\} \quad (7)$$

2.2.4 数学形态学边缘检测(2)

结合腐蚀运算和开运算得到的边缘检测器可以抑制图像中的峰值噪声, 结合膨胀运算和闭运算得到的检测器可以抑制图像中的低谷噪声。组合上述两种滤波器得到的数学形态学边缘检测器, 其抗噪性能比较强, 可以同时抑制图像中的峰值和低谷噪声, 算法如下:

$$g_4 = (f \circ b) \oplus b - (f \cdot b) \ominus b \quad (8)$$

2.2.5 多结构元数学形态学边缘检测

上文中介绍了一种改进的数学形态学边缘检测算法, 此算法抑噪声性能较好, 边缘细节得到了较好保持, 对噪声的敏感程度得以减少。但是, 该算法使用同一结构元素, 与之相比, 数学形态学运算变换方式则较为灵活, 且结构元素的选取对数学形态学操作效果有较大影响^[7-9]。在此基础上, 可以对上述算法用多结构元处理思想作进一步改进, 提取到的图像边缘更为理想, 图像的各种边缘细节特征得以保留。公式表示如下:

$$g_5 = [(f \ominus b_1) \oplus b_2] \oplus b_3 - [(f \oplus b_1) \ominus b_2] \ominus b_3$$

(9)

其中, b_1 、 b_2 和 b_3 可以取为同一结构元素,也可以取为不同的结构元素。从公式(9)可以看出,当 $b_1 = b_2 = b_3$ 时,上面的多结构元数学形态学边缘检测算法就是上文的数学形态学边缘检测算法。

2.2.6 数学形态学细化算法

数学形态学细化算法使用击中击不中变换,其基本思想是,在给定系列具有一定形状的结构元素后,顺序循环地删除满足击中变换的像素。

对于结构元素对 $b = (e, d)$, 利用 b 细化 f 定义为: $f \otimes b = f - (f * b)$, 即 $f \otimes b$ 为在 f 中去掉 f 被 b 击中的结果^[10,11]。

由于对图像细化的过程中,仅使用一个结构对,细化是有方向的,文中选择两组结构单元八个方向的结构元素对模板来实现细化算法,如表1所示,细化的基本思想及步骤就是同时不断移动这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,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。

表1 8个方向结构元素对模板

0	0	0	1	X	0
X	①	X	1	①	0
1	1	1	1	X	0

1	1	1	0	X	1
X	①	X	0	①	1
0	0	0	0	X	1

X	0	0	1	1	X
1	①	0	1	①	0
1	1	X	X	0	0

X	1	1	0	0	X
0	①	1	0	①	1
0	0	X	X	1	1

表1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。

步骤:

根据前面的分析,可以得到利用基于多结构元的数学形态学算法进行边缘检测的基本步骤:

(1)选取多个合适的结构元,结构元的尺寸根据实际需要选取;

(2)利用多结构元复合数学形态学滤波算法对图像进行滤波,消除图像中的噪声;

(3)利用基于多结构元的数学形态学边缘检测算法进行边缘检测;

(4)用数学形态学细化算法对检测出的边缘进行细化。

从上面的基本步骤可以看出,该算法利用非线性数学形态学滤波器进行滤波,抑噪能力较强,而利用非线性数学形态学的边缘检测算法并利用数学形态学细化后,提取出的边缘效果优于传统的边缘检测算法。

3 数学形态学实验结果

为说明基于多结构元的数学形态学边缘检测算法的效果,将其与 Sobel 边缘检测算法和 Canny 边缘检测算法用 matlab^[12] 对 lenna 图像和加噪声的 lenna 图像进行仿真比较,结果如图1~图4所示。



图1 原始 lenna 图像和加 0.01 的高斯白噪声的 lenna 图像



图2 Sobel 对原图和加噪声图的处理结果

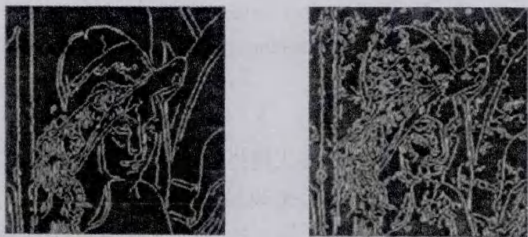


图3 Canny 对原图和加噪声图的处理结果



图4 文中算法对原图和加噪声图的处理结果

由上可以看出,Sobel 边缘检测算子的检测结果有

(下转第92页)

4 结束语

文中提出在 TCP Vegas 基础上改进的 B_Evegas 算法,有效地提高了垂直切换发生后 TCP 连接的传输性能。仿真结果表明,改进后的算法与 DEMO-Vegas、Freeze TCPv2 相比在向上切换时吞吐量相当,减小了传输时延,向下切换时,传输时延相当,提高了吞吐量。文中提出的 B_Evegas 算法的不足之处在于,传输层需要数据链路层提供切换通知,这破坏了网络协议各层的独立性,另外当网络环境复杂时快速恢复算法可能会使拥塞窗口的大小产生较大的抖动,这是下一步研究要解决的问题。

参考文献:

- [1] 谢慧婷,孙力娟,肖 甫,等. 卫星网络控制系统体系结构研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(10):207-210.
- [2] 孙利民,李 波,周新运. 无线传感器网络的拥塞控制技术[J]. 计算机研究与发展,2008,45(1):63-72.
- [3] 沈 奔,秦 军,万 丽. 无线 Ad Hoc 网络中 AODV 路由算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展,2011,21(3):150-153.
- [4] Caserri C, Meo M. A new approach to model the stationary behavior of TCP connections[C]// Proc of Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [s. l.]: IEEE Computer Society, 2000:367-375.
- [5] Brakmo L S, Peterson L L. TCP Vegas: end to end congestion avoidance on a global internet[J]. IEEE J Select Areas in Communications, 1995, 13(10):1465-1480.
- [6] Mo J, La R J, Anantharam V, et al. Analysis and comparison of TCP Reno and Vegas[C]//Proc NFOCOM'99. [s. l.]: [s. n.], 1999:1556-1563.
- [7] Ho Cheng-Yuan, Chan Yi-Cheng, Chen Yaw-Chung. An Efficient Mechanism of TCP-Vegas on Mobile IP Networks [C]//IEEE INFOCOM. [s. l.]: [s. n.], 2005:2776-2780.
- [8] Park M, Lee J, Koo J, et al. Freeze TCPv2: An Enhancement of Freeze TCP for Efficient Handoff in Heterogeneous Networks [C]//Information and Interaction Lecture Notes in Computer Science. [s. l.]: [s. n.], 2009:448-457.
- [9] Goff T, Moronski J, Phatak D, et al. Freeze-TCP: A True End-to-End TCP Enhancement Mechanism for Mobile Enviroments [C]//Proc of the IEEE INFOCOM. [s. l.]: [s. n.], 2000:1537-1545.
- [10] 顾 明,张 军,苏东林. 大带宽时延网络 TCP Vegas 自适应慢启动算法[J]. 电讯技术,2007,47(2):27-30.
- [11] Vanichpun S, Feng Wuchun. On the transient behavior of TCP Vegas [C]//Proc of the 11th International Conference on Computer Communications and Networks. [s. l.]: IEEE Press, 2002:504-508.
- [12] Brakmo L S, Peterson L L. TCP Vegas Protocols[M]. [s. l.]: IEEE Press, 2002.

(上接第 87 页)

很大噪声,不能清楚观察到图像边缘;Canny 边缘检测边缘定位能力较好,但是抑噪能力不够,提取出的边缘存在较多的假边缘;文中的算法检测出的边缘定位准确、平滑,边缘细节保持较完整,有较强的抗噪能力,方便并行实现,其效果明显优于前两种检测算法。

4 结束语

由实验结果可以知道,经改进的基于多结构元的数学形态学边缘检测算法处理并进行细化后的图像得到的边缘,其定位准确且较平滑,轮廓清晰,边缘细节保持较完整,比较容易并行实现,而且由于此种边缘检测算法抗噪能力较强,性噪比和单边缘响应之间的矛盾得到较好的处理;文中算法的思想来源于 Canny 边缘检测算法,而算法得到的效果比 Canny 算法得到的效果要好。

参考文献:

- [1] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [2] Lee J S J, Haralick R M, Shpiro L G. Morphologic edge detection[J]. IEEE Trans on Robotics Automat, 1987(3):140-156.
- [3] 崔 屹. 图像处理与分析-数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [4] Maragos P. Differential morphology and image processing[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1996, 5(6):922-937.
- [5] 王慧锋,战桂礼,罗晓明. 基于数学形态学的边缘检测算法研究及应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(9):223-226.
- [6] Canny J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Trans on PAMI, 1986, 8(6):679-698.
- [7] 胡媛媛,蔡光程. 基于多结构元多尺度的形态学边缘检测[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(11):97-99.
- [8] 夏 平,刘馨琼,向学军,等. 基于形态学梯度的图像边缘检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(12):107-109.
- [9] 肖 梅,韩崇昭,张 雷. 基于多尺度轮廓结构元素的数学形态学边缘检测[J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(6):659-660.
- [10] 史绍强. 一种改进型的汉字字符图像细化算法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(9):88-91.
- [11] 王 娜,杜世培. 基于数学形态学的细化算法[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2007, 36(2):60-64.
- [12] 王晓丹,吴崇明. 基于 MATLAB 的系统分析与设计-图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2000.