

基于形态学梯度的图像边缘检测算法

夏平^{1,2}, 刘馨琼^{1,2}, 向学军², 万钧力²

(1. 三峡大学 智能视觉与图像信息研究所, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡大学 电气信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:边缘检测是数字图像处理的一个重要内容, 讨论了经典的边缘检测算子算法, 该算法更多地采用 Prewitt 算子、LOG 算子、Canny 算子等在空域中进行。数学形态学在图像处理中有广泛的应用, 其基本原理是基于利用结构元素去探测图像; 在讨论常见数学形态学梯度的基础上, 提出了一种基于形态学梯度的图像边缘检测算法, 应用定义的形态学梯度结构检测出较理想的图像边缘信息。仿真结果表明, 该算法在含噪图像中能得到较为理想的图像边缘信息, 其抗噪声性能明显地优于经典的算子检测算法, 在检测精度方面较经典的单一算子检测方法亦有一定的改善。

关键词:图像处理; 形态学梯度; 边缘检测; 算子

中图分类号: TN911.73; TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2007)12-0107-03

Algorithm of Image Edge Detection Based on Mathematical Morphology Gradient

XIA Ping^{1,2}, LIU Xin-qiong^{1,2}, XIANG Xue-jun², WAN Jun-li²

(1. Institute of Intelligent Vision and Image Information, Three Gorges University, Yichang 443002, China;

(2. College of Electronic Engineering, Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: Edge detection is one of the important roles in the digital image processing, the Prewitt operator, LOG operator and Canny operator are adopted in the classical edge detection operator arithmetic in space domain. Mathematic morphology is utilized in digital image processing, among which the basic method detects image based on structural elements. Address a kind of image edge detection arithmetic based on morphology gradient which is set on the morphologic eroding and dilating. Different kind of morphology gradient can detect image's edge information which will rebuild ideal image edge. The simulation results show that the arithmetic can get ideal image edge information in noise image, among which the performance of anti-noise is obviously better than the classical operator detection arithmetic, and this kind of arithmetic is improved which is better than classical single operator arithmetic in the aspect of detection precision as well.

Key words: image processing; morphology gradient; image edge detection; operator

0 引言

图像的边缘对人的视觉具有重要意义。边缘反映了图像的最基本特征, 对边缘检测算法的研究也一直是图像处理中探讨的热点问题之一^[1]。在传统的边缘检测算法中, 总体上分为两大类: 一是基于微分算子类的图像边缘检测方法, 典型的 Roberts 算子、Sobel 算子、Laplace 算子、Canny 算子等; 另一类是基于边缘拟合算子的检测方法, 即先对图像的小区域进行曲面拟合, 再对拟合出的曲面使用微分算子方法进行边缘检测。

数学形态学^[2~4]是基于数学集合的运算, 由一组形态学运算符构成, 最基本的形态学算子: 腐蚀、膨胀、开运算, 以及闭运算。形态学梯度能够准确地反应图像梯度的变化, 同时, 梯度值的大小反应了原图像信息中像素灰度值变化的剧烈程度, 用构造出的形态学梯度算子来进行数字图像边缘检测能得到较好的效果。

文中采用基于数学形态学梯度的图像边缘检测算法, 利用数学形态学的基本运算, 设计符合处理图像边缘特性的梯度结构基来检测局部突变信息从而获取图像的边缘信息。

1 边缘检测算子

基于梯度的图像边缘检测的算子常分为两大类: 一阶导数的检测算子和二阶导数的检测算子。

收稿日期: 2007-03-08

基金项目: 湖北省自然科学基金项目(D200513001)

作者简介: 夏平(1967-), 男, 湖北麻城人, 副教授, 硕士, 研究方向为信号与信息处理、图像处理、小波分析及其应用。

1.1 一阶梯度算子

图像 $\{f(x, y), x, y \in Z\}$, 其梯度定义:

$$\nabla f(x, y) = [G_x, G_y]^T = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (1)$$

梯度的幅度值:

$$\text{mag}(f(x, y)) = (G_x^2 + G_y^2)^{1/2} \quad (2)$$

相位:

$$\alpha(x, y) = \arctan\left(\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x}\right) \quad (3)$$

数字图像采用一阶差分来表示。为计算方便, 常用小区域模版和图像卷积来计算梯度值。如图 1 所示。

g_1	g_2	g_3
g_4	g_5	g_6
g_7	g_8	g_9

图 1 图像模版邻域

Roberts 边缘检测算子计算图像 $f(x, y)$ 对 x 和 y 的一阶差分:

$$G_x = g_9 - g_5 \quad (4)$$

$$G_y = g_8 - g_6 \quad (5)$$

Sobel 边缘检测算子计算图像 $f(x, y)$ 对 x 和 y 的一阶差分:

$$G_x = (g_7 + 2g_8 + g_9) - (g_1 + 2g_2 + g_3) \quad (6)$$

$$G_y = (g_3 + 2g_6 + g_9) - (g_1 + 2g_4 + g_7) \quad (7)$$

Prewitt 边缘检测算子计算图像 $f(x, y)$ 对 x 和 y 的一阶差分:

$$G_x = (g_7 + g_8 + g_9) - (g_1 + g_2 + g_3) \quad (8)$$

$$G_y = (g_3 + g_6 + g_9) - (g_1 + g_4 + g_7) \quad (9)$$

应用式(4)~式(9)定义及式(2)计算各像素点处的梯度值后, 与选定的阈值 T 进行比较, 若 (x, y) 处的 $\text{mag}(f(x, y)) \geq T$, 则确定该点为边缘点。

1.2 二阶梯度算子

拉普拉斯算子是二阶导数算子:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (10)$$

对数字图像而言, 对应的差分形式:

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (11)$$

二阶的拉普拉斯算子各向同性, 对噪声很敏感, 因而一般先进行平滑, 常用的平滑函数是高斯函数, 从而:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) \quad (12)$$

$$\nabla^2 g(x, y) = \nabla^2 (h(x, y) \otimes f(x, y)) = \nabla^2 h(x, y) \otimes f(x, y) \quad (13)$$

算子 $\nabla^2 h(x, y)$ 称为高斯-拉普拉斯(LOG)算子。

传统的图像边缘检测中存在以下几方面问题:

(1) 检测效果不是十分理想, 阈值问题是一个重要原因;

(2) 有些算子(如 Laplace 算子)对点的响应比对线和边缘的响应更强烈, 一旦图像含有噪声, 处理的效果更不理想, 一般采取的方法是先平滑再锐化, 但在平滑时又易丢失图像的高频信息; 同时, Laplace 算子有时得到的边缘并非真正的边缘, 特别是在图像的灰度变化比较平缓的区域, 因为这时小的噪声干扰就可能使二阶导数产生过零点输出;

(3) 对于几个非线性算子由于涉及方向性, 当图像较复杂和细节较丰富时, 也很难完全检测出边缘;

(4) 应用算子进行边缘提取过程中, 当模板取得较小时, 抗噪能力不明显, 当模板取得较大时, 抗噪能力有所改善, 但计算耗时, 且得出的边缘较粗, 因而对边缘的定位也不够准确。

在图像边缘检测中, 抑制噪声和边缘精确定位是无法同时满足的, 边缘检测算法通过平滑滤波去噪的同时, 也增加了边缘定位的不确定性; 反之, 提高检测算子对边缘的敏感性的同时, 也提高了噪声的敏感性。Canny 算子通过三条准则试图在抗噪声干扰和精确定位之间寻求最佳折衷方案。

2 基于形态学梯度的边缘检测算法

2.1 数学形态学

数学形态学是以几何学为基础对图像进行分析, 着重研究图像的几何结构。其基本思想是利用结构元素去探测图像, 讨论是否能够将这个结构元素很好地填放在图像的內部, 同时验证填放结构元素的方法是否有效。因而, 所有的形态学图像处理^[3,5]都基于填放结构元素这一思想。

定义 1 图像 A 被结构元素 B 腐蚀, 定义:

$$(f \ominus B)(x, y) = \min\{f(x-s, y-t) - B(s, t) \mid (x-s, y-t) \in D_f; (s, t) \in D_B\} \quad (14)$$

其基本目的在于标记出图像内部那些可以将结构元素填入的位置。因而, 若结构元素的原点在其内部, 则经腐蚀处理的图像作为输入图像的一个子集而存在; 若结构元素的原点在其外部, 那么, 腐蚀后的图像极有可能不在输入图像的內部。

定义 2 图像 A 被结构元素 B 膨胀, 定义:

$$(f \oplus B)(x, y) = \max\{f(x-s, y-t) + B(s, t) \mid (x-s, y-t) \in D_f; (s, t) \in D_B\} \quad (15)$$

图像的膨胀处理反映了对图像外部做滤波处理。

将定义 1、定义 2 所确定的腐蚀、膨胀运算组合, 可以实现对图像的开运算、闭运算操作。

在图像处理中,开运算:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (16)$$

即先用结构元素 B 对图像进行腐蚀,然后用 B 对腐蚀后的结果进行膨胀。开运算对去掉图像轮廓上的毛刺、平滑图像轮廓起到了非常好的作用。

相应地,闭运算:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B = (A^C \cdot B)^C \quad (17)$$

2.2 形态学梯度的边缘检测

在图像边缘检测处理中,有多种梯度,若在某一像素点处的梯度值大,则表示在该像素点处图像的灰度值变化迅速,从而判断出可能是边缘点。因而,经典的图像边缘检测往往采用差分梯度算子与阈值技术相结合的方法,而数学形态学边缘检测方法主要利用形态学梯度完成图像边缘检测。开运算滤波器在处理图像中仅能通过与其结构元素形状一致的图像部分。若将形态学的腐蚀、膨胀、开运算,以及闭运算等基本运算用于图像处理,可构造出形态学梯度算子,用于数字图像的边缘检测。常见的形态学梯度算子:

$$G_1(f(x, y)) = (f \oplus B)(x, y) - f(x, y) \quad (18)$$

$$G_2(f(x, y)) = f(x, y) - (f \ominus B)(x, y) \quad (19)$$

$$G_3(f(x, y)) = (f \oplus B)(x, y) - (f \ominus B)(x, y) \quad (20)$$

形态学边缘检测算子是一种非线性差分算子,在以上定义的梯度算子中,腐蚀运算可以滤去图像中比结构元素小的亮细节;膨胀运算可以去掉比结构元素小的亮细节,而保持图像整体灰度和大的亮区域基本不受影响。为此,文中采用边缘检测算法:

(1) 对数字图像进行闭运算,然后进行开运算,实现对图像的预处理,以滤除图像中的噪声。即:

$$J = (I \cdot B) \circ B \quad (21)$$

其中, I 表示数字图像矩阵, $B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$;

(2) 将步骤(1)中得到的图像做闭运算,实现图像的平滑运算。即:

$$BE = J \cdot B \quad (22)$$

(3) 将图像 BE 及 J 分别进行膨胀、腐蚀运算。即:

$$\text{grad}_1 = BE \oplus B; \text{grad}_2 = J \ominus B;$$

(4) 求出 grad_1 、 grad_2 之差,得到较好的图像边缘。

即:

$$\text{edge} = \text{grad}_1 - \text{grad}_2 \quad (23)$$

(5) 重建图像。

3 实验结果及分析

图 2 为用含噪图像采用文中算法实验的结果,图 2(a)为含噪的原始图像;图 2(b)为 Prewitt 算子边缘检

测后图像;图 2(c)为 LOG 算子边缘检测后图像;图 2(d)为 Canny 算子边缘检测后图像;图 2(e)为采用文中算法检测后的图像。

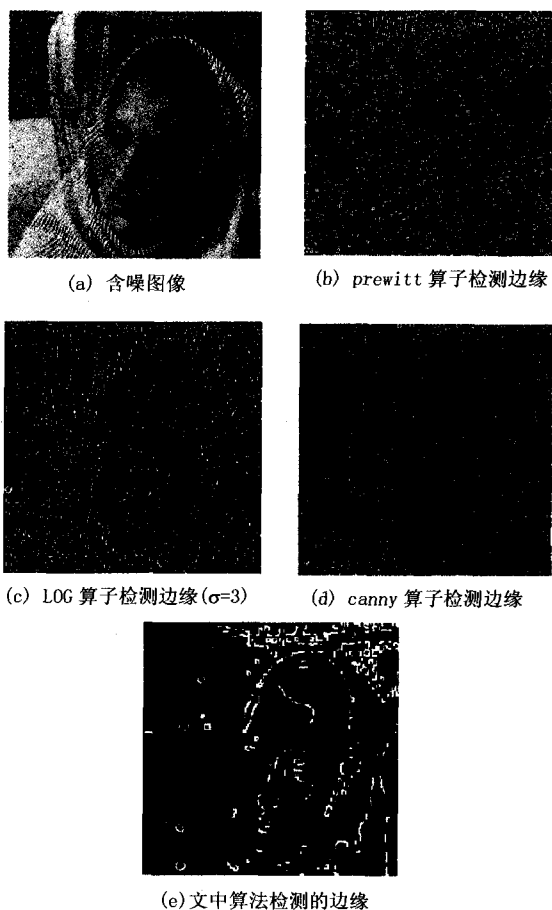


图 2 文中算法与经典算子算法边缘检测结果比较

仿真结果表明,经典的算子检测方法检测含噪图像的边缘时必须先进行去噪处理,然后才能检测边缘。文中算法既能够很好地去噪,又能够较好地定位图像的边缘和轮廓,检测出图像的细节。

4 结论

针对灰度图像采用数学形态学梯度算法检测图像的边缘信息。与传统的边缘检测算子检测算法相比,文中算法不仅具有很好的边缘提取能力,而且具有较强的抗噪能力;同时,得到图像的边缘信息清晰度也好于传统的检测算子的结果。文中算法较好地适应了检测信息的变化,检测的边缘避免出现大量的伪边缘和碎边缘,从而保证了边缘的连续性和封闭性,取得了较好的效果。

参考文献:

[1] Canny J. A computational approach to edge detection[J].

(下转第 176 页)

分析、整理和过滤,生成报表、日志或控制信号,并通过数据库进行统一管理。实现上述应用模型的关键是 OPC 客户和各子系统的 OPC 服务器。OPC 服务器主要有三个功能:封装、通讯和控制功能。它封装该子系统的状态和报警信息,使用定义好的 OPC 标准信息格式和 OPC 标准接口与集成平台(OPC 客户)进行通讯。另外,它接收来自集成平台的控制信息,通过该子系统的文件、数据库或应用程序接口(API)的系统调用来完成其控制功能。这些对象和集成平台的接口对象都是 OPC 对象,它们以客户/服务器的模式进行交互。当子系统因为升级等原因发生变化时,只需对于系统对象进行修改,而无需涉及集成平台,因而系统的开放性和可维护性好,升级空间大。在上述应用模型中,通过 OPC 接口模块,可以在各个子系统之间建立开放的、具有可互操作性的连接,用户不必再担心集成不同子系统的接口问题,可以自由地选择合适的软件和设备。

还可以利用工业以太网与外界 Internet 互连,将采集的数据进行组态并以 Web 的形式发布,使管理者和使用者可以及时了解建筑物各个系统的使用和运行情况,并根据特殊要求来处理事件,实现远程控制访问,真正解决地域的限制。同时处在不同地方的子系统通过 OPC 将实时采集的数据上传到后台数据库服务器中,使用数据挖掘等技术,为管理层提供更加准确可靠的信息,消除一些人为因素,更有助于管理层的分

析与决策。

4 结束语

智能建筑管理系统集成是智能建筑一体化集成的重要前提,工业以太网是最具开放性的工业控制网络体系结构。这种新型的网络体系,与现场总线在以太网方面的发展相呼应。它和 OPC 技术的出现,大大改进了智能建筑控制系统的开放性和互操作性。此外,在异构计算机环境,使智能建筑管理系统集成变得更为简单,并为实现智能建筑整个弱电系统在实时控制域与信息管理域的全面集成创造了良好的软件环境,同时为管理者提供了更加及时、准确、可靠的决策信息,随着工业以太网及 OPC 技术的不断发展,必将为智能建筑系统集成带来新的天地。

参考文献:

- [1] 张瑞武. 智能建筑[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [2] OPC Common Definitions and Interface Version 1.0[S]. OPC Foundation,1998.
- [3] OPC Data eXchange Interface Specification Version 1.0[S]. OPC Foundation,2003.
- [4] OPC Data Access Custom Interface Specification, Version3.0 [S]. OPC Foundation,2003.
- [5] 罗公亮. 希望的曙光——工业以太网数据交换标准 OPC DX[J]. 冶金自动化,2002(2):1-5.

(上接第 109 页)

- IEEE Trans, Pattern Anal Machine Intell, 1986,8(6):679-698.
- [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——数学形态学方法与应用

[M]. 北京:科学出版社,2000.

- [4] Chanda B, Kundu M K, Padamaja Y V. A Multi-scale Morphologic Edge Detection[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(10):1469-1478.
- [5] 刘循,游志胜. 多尺度形态学图像边缘检测方法[J]. 光电工程, 2003,30(3):56-58.

(上接第 115 页)

- [J]. 计算机科学,2001,28(12):97-112.
- [2] Weiser M. Program Slicing: Formal, Psychological and Practical Investigations of an Automatic Program Abstraction Method[D]. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan, 1979.
- [3] Korel B, Rilling J. Program Slicing in Understanding of Large Programs[C]//6th International Workshop. [s.l.]:[s.n.], 1998:145-152.
- [4] 郑人杰. 计算机软件测试技术[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [5] Kaner C. Improving the Maintainability of Automated Test

Suites[EB/OL]. 1997. <http://www.kaner.com/lawstl.htm>.

- [6] 郑亚玲,胡和平. 回归测试策略的新领域[J]. 计算机应用研究,2000(6):23-25.
- [7] Gupta R, Harrold M J, Soffa M L. An Approach to Regression Testing Using Slicing[C]. IEEE. International Conference on Software Maintenance(ICS M). [s.l.]:[s.n.], 1992:299-308.
- [8] Gallagher K B, Lyle J R. Using program slicing in software maintenance[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1991,17(8):751-761.