

·信号与信息处理·

## 一种快速的航空图像边缘提取方法

汪中贤, 史建军, 张正武

(武汉军械士官学校, 湖北 武汉 430075)

**摘要:** 航空图像边缘提取对于图像的判读具有重要的辅助作用。在分析航空图像特点和形态学基本原理的基础上, 提出了一种新的复合型数学形态学边缘提取算法。通过对一幅实际的航空图像的仿真实验, 结果表明, 该方法比传统的数学形态学边缘提取算法具有更好的抗噪能力和边缘提取效果, 并且算法运算时间短。

**关键词:** 航空图像; 边缘提取; 复合型数学形态学

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2011)01-0056-03

## A Rapid Edge Detection Method for Aerial Image

WANG Zhong-xian, SHI Jian-jun, ZHANG Zheng-wu

(Wuhan Ordnance Non-Commissioned Officers Academy, Wuhan 430075, China)

**Abstract:** Aerial image edge detection is an important assistant work of images interpretation. The main characteristics of aerial images and the basic theory of mathematics morphology are analyzed, then a new compound mathematics morphology in edge detection is introduced. Through the simulation experiments on the real aerial image, the results show that the compound mathematics morphology algorithm has better results and less running time than the traditional algorithms.

**Key words:** aerial image; edge detection; compound mathematics morphology

近年来,在高新技术条件下,航空探测得到了广泛的应用,从而促进了航空照片判读技术的深入研究。传统的航空照片判读方法通常是由判读员人工识别,而随着计算机技术的不断发展,利用计算机系统辅助判读员对目标判读和识别成为可能。在航空图像中,图像边缘包含了目标判读识别和理解景物的重要信息,但由于受拍摄高度、飞机飞行速度、天气、反射角不同以及受光均匀度不等因素的影响,拍摄效果较一般图像目标突出不明显、边缘损失较大且产生较多的次要边缘,严重影响了判读员获得航空图像中的重要信息,因此,如何提取航空照片中目标的边缘是判读的关键所在<sup>[1]</sup>。针对航空图像存在的上述问题,利用边缘提取的方法来增强航空图像,提高航空图像的判

读效率。

### 1 航空图像的边缘提取方法

图像边缘是图像局部特性不连续性(灰度变换、颜色突变、纹理结构突变等)的反映,它标志着一个区域的终结和另一个区域的开始,因此,图像边缘信息的提取对于图像处理非常重要。边缘提取首先检测出图像局部特性的不连续性,然后再将这些不连续的边缘像素连成完备的边界。图像边缘检测的任务就是确定和提取边缘信息,为图像分析、目标识别做前期准备<sup>[2]</sup>。目前,常用的边缘检测的方法有:Sobel算子、Roberts算子、Laplacian算子、Prewitt算子以及Zerocross算子等<sup>[3]</sup>。对于较清晰的图像,以上方法可

收稿日期:2010-12-13

作者简介:汪中贤(1986-),男,安徽岳西人,硕士研究生,助教,主要从事光电系统的科研和教学工作。

以取得较好的检测效果,但是对于复杂的包含自然景物的航空图像,由于这些算法不能有效地抑制噪声,往往得不到满意的检测结果。

对于复杂航空图像边缘检测有效的方法是采用小波算子、广义模糊算子、基于热传递法以及结合误差图像法,但这些方法运算量较大,不利于在航空图像判读前的快速处理<sup>[4-7]</sup>;为了缩短在航空图像判读前的图像增强处理时间,文中主要选择运算量较少并且理论成熟的数学形态学方法来检测和提取航空图像的边缘<sup>[8,9]</sup>。

## 2 数学形态学的边缘提取算法

数学形态学(mathematical morphology)起源于集合论,最初是由 Matheun 提出的,用于分析金属和地质样本几何构造,后来被 Serza 推广用于图像分析。数学形态学是基于集合论观点的一种非常重要的理论,其算法也必须有集合论算法来定义。因此用数学形态学方法处理的图像必须首先将其转化为集合。数学形态学用具有一定结构和特征的结构元素去度量图像的形态,并实施图像处理。它是将一个集合转化为另一集合的算法,这种转化的目的是寻找原始集合的特定集合结构,而转化后的集合包含了这种特定结构的信息,这种转换是靠具有一定特征的结构元素去实现的,因此得到的结果与结构元素的一些特性有关<sup>[10]</sup>。

结构元素是形态学图像处理中的一个关键点,不同结构元素的选择导致运算对不同几何信息的分析和处理,同时结构元素也决定了变换所使用的数据使用量,一般情况下,结构元素的尺寸大小和结构形状都会影响图像边缘检测效果。小尺寸的结构元素去噪声能力弱,但能检测到好的边缘细节,大尺寸的结构元素去噪声能力强,但所检测的边缘较粗,文中主要根据航空图像的纹理结构选择常用的  $3 \times 3$  正方形结构元素<sup>[11]</sup>。

### 2.1 数学形态学基本原理

腐蚀和膨胀是数学形态学的两种最基本的运算,形态开运算、形态闭运算等均是这两种基本运算组合而成<sup>[10]</sup>。

假设  $F(x, y)$  表示二维灰度图像;  $B$  表示结构元素,则用灰度结构元素  $B(s, t)$  膨胀灰度图像  $F(x, y)$  的过程可以表示为

$$(F \oplus B)(x, y) = \max\{F(x-s, y-t) + B(s, t)\} \quad (1)$$

用灰度结构元素  $B(s, t)$  腐蚀灰度图像  $F(x, y)$  的过程可以表示为

$$(F \ominus B)(x, y) = \min\{F(x+s, y+t) - B(s, t)\} \quad (2)$$

腐蚀是一种收缩变换,它降低图像的灰度值;而膨胀是一种扩张变换,它增加图像的灰度值。但这两种变换都对灰度值变化明显的图像边缘较为敏感。腐蚀表示对图像内部做滤波处理,膨胀表示不对图像外部做滤波处理。腐蚀和膨胀运算满足

$$F \ominus B \subseteq F \subseteq F \oplus B \quad (3)$$

灰度结构元素  $B(s, t)$  对灰度图像  $F(x, y)$  的开运算可表示为

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

灰度结构元素  $B(s, t)$  对灰度图像  $F(x, y)$  的闭运算可表示为

$$F \bullet B = (F \oplus B) \ominus B \quad (5)$$

形态开运算是先腐蚀后膨胀,而形态闭运算是先膨胀后腐蚀。形态开运算的作用是平滑图像的轮廓,削弱狭窄的部分,去掉细的突出,而形态闭运算虽能平滑图像的轮廓,但它一般融合窄的缺口,去掉小洞,填补轮廓上的缝隙,形态开运算和形态闭运算满足

$$F \circ B \subseteq F \subseteq F \bullet B \quad (6)$$

上面的分析表明膨胀和形态闭运算都能使图像扩张,而腐蚀和形态开运算都能使图像收缩,但处理后的图像都与原始图像相似。因此,利用形态学提取边缘,下面的算法常被应用:设  $E_d(F)$  表示膨胀残差边缘检测器,它可定义为图像  $F$  被结构元素  $B$  膨胀后的图像与原始图像之差

$$E_d(F) = (F \oplus B) - F \quad (7)$$

当然,假设  $E_c(F)$  表示腐蚀残差边缘检测器,它可定义为原始图像  $F_c$  与被结构元素  $B$  腐蚀后的图像之差

$$E_c(F) = F - (F \ominus B) \quad (8)$$

设  $G(F)$  表示图像  $F$  的形态学梯度,它被膨胀和腐蚀表示为

$$G(F) = (F \oplus B) - (F \ominus B) \quad (9)$$

形态学梯度运算加强了输入图像中的尖锐灰度级变换,但对图像噪声的抑制作用较差。

设  $TH(F)$  表示图像  $F$  的 Top-hat 变换,它主要通

过原始图像  $F$  与经过开或闭运算之后的图像的差值得到。开 Top-hat 变换为

$$TH(F) = F - F \circ B \quad (10)$$

闭 Top-hat 变换为

$$7 TH(F) = F \cdot B - F \quad (11)$$

Top-hat 运算对增强图像的阴影部分的细节特别有用,而且与其他运算相比滤波效果较好。

## 2.2 新的复合型数学形态学算法

数学形态学边缘提取就是选取合适的结构元素,根据数学形态学的基本运算以及其组合运算得到图像的清晰边缘。数学形态学的组合方式和结构元素决定了图像的处理结果,数学形态学的组合方式反映了原始图像与处理后图像之间的关系,而结构元素决定了边缘提取的效果和准确性。因此,数学形态学的运算就是形态学滤波器的设计和结构元素的选取。对于文中所研究的是航空图像,根据其图像的纹理特点,首先采用结构元素做数学形态学闭运算滤除图像中目标的噪声,再将所得的结果用数学形态开运算滤除图像的背景噪声,接着做形态学闭运算对滤波后的图像进行平滑处理,上述运算由于利用了腐蚀和膨胀的互补性,处理结果仅与图像的凹凸部分相关,不能得到图像的完整边缘特征。为了使图像中目标边缘不出现重叠现象,再对平滑处理后的图像做腐蚀处理,取腐蚀前的图像与腐蚀后的图像的差值提取图像的边缘,即可表示为

$$(M \bullet B) - (M \bullet B) \ominus B \quad (12)$$

其中,  $M = (F \bullet B) \circ B$ , 为经过滤波后的图像。

## 3 实验结果和分析

采用 MatLab 编程实现边缘提取算法,处理得到的结果如图 1 所示。原始航空图像为城市的航拍图像(图 1a),实际图像的大小为  $256 \times 178$ ,图像的噪声影响较大。用文中方法和几种常用的方法对该图像边缘结构信息提取,并进行对比。

从图 1 的比较结果可以看出,文中提出的复合型数学形态学方法对该图像的边缘提取效果较好(图 1b),不仅可以完整地提取图像的细小边缘,而且可以有效地去除图像中的噪声干扰,对航空图像的判读具有辅助作用。图 1c 为通过 Top-hat 变换所得到的结果,得到的图像边缘不明显,而且图像中的噪声较大,基本达不到提取图像边缘的目的。图

1d~图 1h 是采用 Sobel 算子、Roberts 算子、Laplacian 算子、Prewitt 算子、Zerocross 算子得到的结果,采用这些算子只能提取图像的部分边缘,图像边缘不连续,对图像边缘漏检的情况较严重,但对图像的噪声抑制较好。

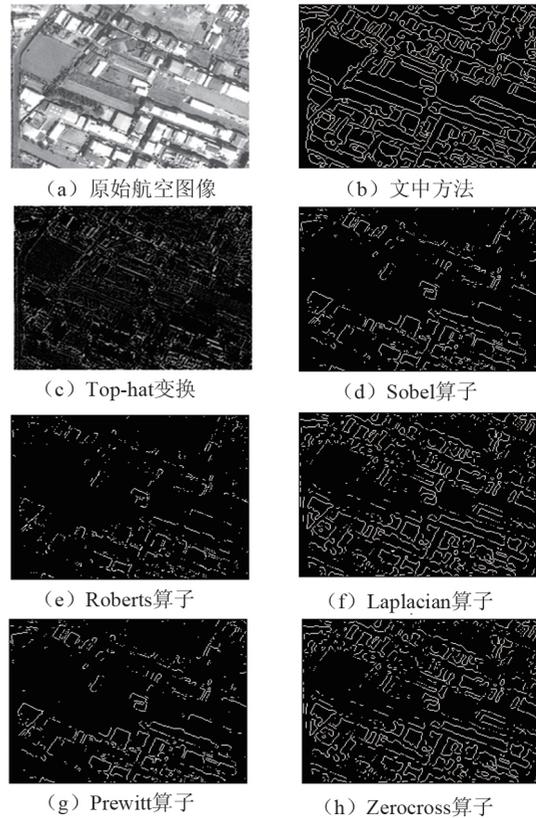


图 1 边缘提取算法处理结果图

## 4 结束语

分析了航空图像的特点,针对图像的特点提出了一种复合型的数学形态学算法用于边缘提取,通过文中方法和几种常用算法得到的实验结果对比可以发现,文中方法具备较好的抑制噪声和细小边缘提取的能力,并且由于采用的均是形态学易于实现的简单基本算法,因此运算时间短,适合用于航空图像判读前的快速处理。

## 参考文献

- [1] 杨益军,赵荣椿.复杂航空图像的大边缘提取方法[J].西安电子科技大学(自然科学版),2000,27(10):101-104.
- [2] 章毓晋.图像工程(中册)——图像分析[M].北京:清华(下转第62页)

模型3中达到了14.028。由模型间对比得出:相同 $k$ 值下,由于模型3的顶点数目是模型1顶点数目的3倍,GPU加速效果更好;随着 $k$ 邻域值的增大,求解权值矩阵的计算复杂度增高,GPU与CPU的计算加速比也随之增长,体现了GPU对大规模数据快速并行运算的优势。一般来说,GPU的计算高速性必须在1000个以上的线程同时执行时才能发挥,计算量越大,加速效果越明显。表1中模型2为图3电话听筒模型的数据。

GPU对大规模数据计算时才有明显的加速优势,当计算规模较小时,其优势没有得到充分发挥。一是因为数据量小时CPU本身的计算速度也很快;二是在GPU上消耗的大部分时间被主机与设备间的数据通信过程所占用。图4以模型1为例,将数据传输时间和kernel计算时间进行了对比测试。

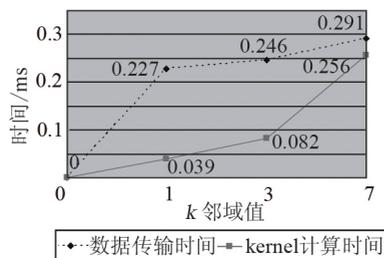


图4 模型1的kernel计算时间与数据传输时间对比

由图4可以看出,数据传输时间明显高于kernel计算时间,在 $k$ 值取1的模型仿射变换中,数据传输部分的时间达到了kernel计算时间的5.8倍。随着数据量的增加,虽然数据传输时间与kernel计算时间的比例有所下降,但是数据传输部分仍然占用了大量的整体计算时间。因此,利用GPU对大规模数据进行并行

计算,能更好地体现计算加速的优势。

## 4 结论

针对复杂网格模型仿射变换的特点,利用GPU强大的并行计算能力,实现了该算法的明显加速。对于机械产品设计中涉及到的大规模数据计算部分,在数据相关性不大的前提下,可以转移到GPU上完成,能够在一定数量级上提高计算速度,节约计算成本,得到更快更好的处理效果。下一步工作是在复杂网格模型变形中,利用GPU并行计算求解变换矩阵优化迭代,以整体加速三维模型的变换操作,实现三维复杂模型的实时渲染绘制。

## 参考文献

- [1] 张舒,褚艳利. GPU高性能运算之CUDA[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [2] Danny Crookes, Kevin Boyle, Paul Miller, et al. GPU Implementation of the Affine Transform for 3D Image Registration[C]//13th International Machine Vision and Image Processing Conference, 2009.
- [3] NVIDIA. CUDA Zone, CUDA In Action. [http://www.nvidia.com/cuda\\_in\\_action](http://www.nvidia.com/cuda_in_action).
- [4] 覃方涛,房斌. CUDA并行技术与数字图像几何变换[J]. 计算机系统应用,2010,19(10):168-172.
- [5] Sumner R W, Schmid J, Pauly M. Embedded deformation for shape manipulation[J]. ACM Transactions on Graphics 2007, 26(3), 80.
- [6] NVIDIA. NVIDIA CUDA Compute Unified Device Architecture Programming Guide. <<http://www.nvidia.com/cuda>>.
- [7] 肖汉. 利用GPU计算的双线性插值并行算法[J]. 小型微型计算机系统,2010,32(11):2241-2245.
- [7] Chars Minghua, Lee David. Residual analysis for Feature DeCectipn[J]. IEEE Trans on Patt and Mmach Intelligence, 1991, 13(1):30-35.
- [8] 饶海涛,翁桂荣. 基于数学形态学的图像边缘检测[J]. 苏州大学学报(自然科学版),2004,20(2):42-45.
- [9] 刘直芳,游志胜,曹刚,等. 基于多尺度彩色形态向量算子的边缘检测[J]. 中国图像图形学报,2002,7(9)(A版):888-893.
- [10] 崔屹. 图像处理与分析——数学形态学方法与运用[M]. 北京:科学出版社,2000.
- [11] 冯桂,桂预风,林宗坚. 灰度边缘检测中的形态学方法[J]. 理论研究,2000,5(4):12-14.

(上接第58页)

大学出版社,2005.

- [3] 姜涌,曹杰,杜亚玲,等. 基于形态学梯度矢量的图像边缘提取算法[J]. 南京航空航天大学学报,2005,37(6):771-775.
- [4] 陶洪久,柳键,田金文. 基于小波变换和数学形态学的遥感图像边缘检测[J]. 红外与激光工程,2002,31(2):154-157.
- [5] 陈凡武. 彩色图像边缘检测的新方法——广义模糊算子法[J]. 中国科学(A辑),1995,25(2):219-220.
- [6] Pietro Malik. Scale-Space and Edge Defection Using Anisotropic Diffusion[J]. IEEE, 1990, 12(7):98-100.