

一种有效的航拍图像中直线提取算法

董银文¹ 苑秉成² 王航宇³ 石钊铭¹

(1 海军工程大学电子工程学院,武汉市解放大道 717 号,430033)
(2 海军工程大学兵器工程系,武汉市解放大道 717 号,430033)
(3 海军工程大学科研部,武汉市解放大道 717 号,430033)

摘 要:首先对航拍图像进行小尺度高斯滤波;然后进行边缘检测,得到边缘检测幅度图像;再在边缘检测幅度图像中进行启发式搜索连接,提取出符合直线模型的直线搜索轨迹;最后根据直线搜索轨迹的判别获取直线。实验结果表明,该算法可以在航拍图像中提取出真实的直线,是一种有效的直线提取算法。
关键词:航拍图像;直线提取;启发式搜索;边缘检测
中图法分类号: P237.3

直线提取是图像处理和计算机视觉领域里一个非常基础也是非常重要的问题,通常作为其他应用的预处理部分,如在建筑物^[1]、机场^[2]、港口^[3]以及主要道路^[4,5]等目标的识别过程中,直线提取是极为重要的环节。直线能反映图像的很多高层信息,在图像特征匹配、航空影像分析^[6,7]等很多领域都有重要的研究价值。对于直线提取的方法,人们进行了大量的研究^[8-11],但都存在一些缺陷,从而限制了其使用范围。本文提出了一种有效的航拍图像中直线提取的算法。

1 直线提取算法的原理

传统的直线提取算法基本以确定直线参数为目标,并认为这条待确定的直线是数学上的直线,即该直线是绝对符合 $y=mx+c$ 的数学定义。该数学意义上的直线应该具备以下的性质:① 直线上的每一点到该直线的距离都为零,也就是说,属于该直线的点都绝对满足直线方程。② 直线没有宽度。在离散的数字图像空域中,不存在满足以上两条性质的直线,即使在模拟图像中有符合上述定义的直线(如规则几何物体的边缘),那么在数字化的过程中也很可能会出现断裂的现象。本文提取直线的思想是如何从数字图像空域的特点来提取直线。图像像素实质上是将图像平面量

化成大量面积相等的小块区域,这些区域的内部具有一致性,称之为像素的原子性。而块区域之间具有相关性,当相关性符合某种规律时,就可以定义这些像素(块区域)集合为图像边缘或直线、圆等几何图形。本文定义以下数字图像空域中的像素集合为直线,第 I 类直线模型如图 1 所示,图中,黑色小区域表示单个像素点,下同。这类像素集合与数学定义的直线吻合(除了具有宽度外),因而也是最容易提取的。第 II 类直线模型如图 2 所示的放大的像素图像,这类像素集合与数学定义的直线有很大差异,但在满足一定的条件下可以认为是一条直线。

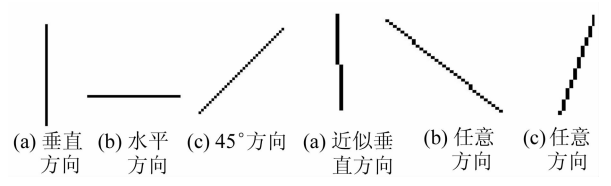


图 1 第 I 类直线模型 图 2 第 II 类直线模型
ig. 1 The I Line Model Fig. 2 The II Line Model

2 直线提取算法的具体实现

2.1 小尺度($\sigma \leq 1$)高斯滤波

高斯滤波器的尺度选择一直是边缘检测的一大难题,通过用不同尺度 σ 的高斯函数对图像进

行滤波,可以得到图像边缘在不同尺度下的响应。当平滑尺度 σ 增大时,其抑制噪声的能力也随之增强,但是图像的细节也被模糊掉了,并且造成了图像轮廓的变形,所以一般选取最小尺度的边缘响应作为结果,因为它的定位是最准确的,并且保留了图像的细节信息。当 $\sigma \leq 1$ 时,高斯滤波对图像边缘的影响很小;当 $\sigma \leq 0.5$ 时,影响可以忽略;而当 $\sigma = 2$ 时,高斯滤波对边缘的影响非常显著。本文算法中只需要对原始航拍图像作小尺度($\sigma \leq 1$)高斯滤波^[12,13],以消除图像中的高斯噪声,并最大限度地保留边缘的细节信息。

2.2 进行边缘检测获取边缘幅度图像

边缘检测结果的好坏对直线提取有着至关重要的影响,因此要想获得好的直线提取结果,就必须要求在边缘检测阶段能滤除部分噪声,提取出真实的边缘,且具有良好的边缘定位。Sobel^[14]算子可以较好地满足上述条件要求,并且计算量较小,因此,本文基于 Sobel 边缘检测算子方向差分运算与局部平均相结合的思路设计了一种新的 4 方向的 Sobel 边缘检测算子用于边缘检测,其模板大小为 3×3 ,在水平、垂直、对角线方向上的卷积核如图 3 所示。由于该算子计算的梯度幅度是根据在 4 个方向上响应的均方根来获得的,所以可以获得比 Sobel 算子性能更一致的全方位响应,与真实的梯度值更接近。

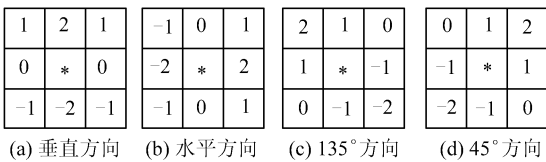


图 3 3×3 模板 4 方向改进的 Sobel 边缘检测算子

Fig. 3 ImprovedSobel Edge Detection Operator of the 4 Directions in 3×3 Template

本文使用改进的 4 方向 Sobel 算子进行边缘检测,以获取更加准确的梯度信息。边缘检测后不进行阈值二值化,而是归一化到 $[0, 255]$ 之间。这里之所以没有进行阈值化处理,主要是考虑在噪声的影响下可能会发生直线断裂的现象,也就是说,断裂的位置本应该属于直线的像素点,由于边缘检测的幅度值较低,如果取阈值,则会丢失该像素点,从而给接下来的直线搜索连接带来困难。

2.3 启发式搜索连接获取直线搜索轨迹

直线提取的启发式搜索^[13,15]过程包括三步:开始点的选择、扩展点的选择和终止点的确定。一条长度为 L 的搜索轨迹 T 由组成它的像素的图像坐标表达:

$$T = \{t_0, t_1, \dots, t_{L-1}\} \quad (1)$$

一个轨迹上的像素表示为 $t_i, 0 \leq i \leq L-1, i$ 表示该点在轨迹中的顺序号数,这样, t_0 表示搜索的起点, t_i 称为 t_{i-1} 的子节点, t_{i-1} 称为 t_i 的父节点。

2.3.1 开始点的确定

从边缘检测幅度图像的左上角开始扫描幅度图像,如果一个像素点的边缘检测幅度值超过设定的开始点阈值 m_{\min} ,则它被标记为开始点。选择开始点的过程非常简单,不需要任何先验信息,体现了此算法的灵活性。

2.3.2 搜索扩展点的确定

直线提取算法中的搜索扩展点是在 3×3 邻域内选择的。设一条长度为 L 的搜索轨迹 T 如式(1)所示,用第 i 点的边缘检测幅度值 m_i 表示这条轨迹上从 t_{i-1} 扩展到 t_i 的度量代价。开始点和非开始点的扩展点的选择有些区别。开始点 t_0 在其 8 邻域内寻找度量代价也就是边缘检测幅度值 m 最大的像素点作为扩展点,它是搜索轨迹上的第 2 个点,用 t_1 表示。

在确定了开始点 t_0 和第一个扩展像素 t_1 后,也就获得了从 t_0 到 t_1 的最初搜索方向。接下来的像素(称为非开始点)被选为扩展像素,按照曲线方向连续性规则,以此保持搜索轨迹和曲线一样连续,如图 4 所示(图中,自左向右搜索只能以箭头方向进行),所以非开始点的扩展点是从三个候选者中选择度量代价 m 最大的像素点作为扩展点的。当像素 t_i 被确定为搜索轨迹的第 $i+1$ 个像素后,搜索轨迹被扩展为:

$$T = \{t_0, \dots, t_{i-1}, t_i\} \quad (2)$$

扩展过程不断重复,直到下一个像素点是终止点。

2.3.3 终止点的确定

终止点的选择与扩展点的选择一样。如果决定搜索轨迹上的一点为终止点,那么搜索停止;否则,将选择下一个扩展点。考虑一个不完全的搜索轨迹为:

$$T = \{t_0, \dots, t_i\}, 0 \leq i \leq L-1 \quad (3)$$

下一个选择的扩展点将是 t_{i+1} 。设 t_i 的所有可能的扩展邻域集合为 H_i ,从可扩展邻域中选择一个具有最大度量代价值的点,以此决定扩展点。

若对所有的 $k, k \in H_i$,满足 $m_k^i < M_{\min}$,那么搜索在像素点 t_i 停止,像素点 t_{i+1} 不加入到搜索轨迹中,其中, m_k^i 是搜索轨迹上第 i 点的第 k 个可能扩展点的边缘检测幅度值, $M_{\min} > 0$ 是停止阈值。

但是作为直线提取,仅仅满足上述的边缘检

测幅度阈值条件来判断终止点是不够的。下面针对本文前面提出的两类像素直线模型来分别进行讨论。

1) 第 I 类像素直线模型

从图 1 可以很容易地发现,这类直线的每一个扩展点都在其前两个像素点所确定的直线方向,如图 5 所示,因此搜索这类直线的扩展点时,除了满足边缘检测幅度条件及曲线连续性规则外,还必须判断该扩展点是否在前两个像素点所确定的直线方向上,若不在,则搜索在像素点 t_i 停止,像素点 t_{i+1} 不加入到搜索轨迹中。

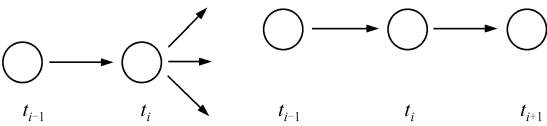


图 4 方向连续性规则
Fig. 4 Rule of Direction Continuity

图 5 I 类直线的扩展像素点走向规则
Fig. 5 Direction Rule of Line I

2) 第 II 类像素直线模型

这类直线终止点的判断比较复杂,为了便于说明问题,这里先定义一下像素搜索的走向,如图 6 所示。因为直线搜索首先满足图 4 所示的曲线连续性规则,因此扩展点只可能有三个方向,分别称其为“左走”、“直线走”、“右走”。注意,这里定义的像素点 t_i 的走向是相对于它的前两个父像素点 t_{i-1} 和 t_{i-2} 而言的。

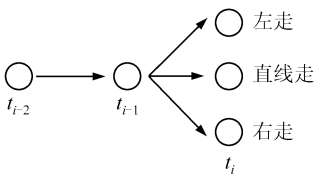


图 6 直线像素点扩展点走向

Fig. 6 Sketch Map of Direction Definition

从图 6 可以发现:① 直线上某一像素点出现“左走”后,紧接着的扩展点一定是“右走”;或者某一像素点出现“右走”后,紧接着的扩展点则一定是“左走”,即“左走”、“右走”像素点是成对出现的,并且该像素点对之间没有“直线走”的像素点出现。② 每条直线上的“左走”、“右走”像素点必须是交替出现的,即不能出现两个连续的“左走”或“右走”像素点,当然也包括它们之间有“直线走”像素点出现的情况。符合这两条规律的直线像素点如图 7 所示。搜索这类直线的扩展点时,还必须判断该扩展点相对前两个父像素点所确定的方向上的走向。从开始点的扩展点开始,若某

一扩展点 t_i 出现“左走”(或“右走”),那么,它的下一个满足边缘检测幅度条件及曲线连续性规则的扩展点 t_{i+1} 必须是“右走”(或“左走”),否则,搜索在像素点 t_i 停止,像素点 t_{i+1} 不加入到搜索轨迹中。若某一个满足边缘检测幅度条件及曲线连续性规则的扩展点 t_{i+1} 是“右走”(或“左走”),而离它最近的出现左右走向的父像素点 t_m ($2 \leq m \leq i$) 也是“右走”(或“左走”),那么,搜索在像素点 t_i 停止,像素点 t_{i+1} 不加入到搜索轨迹中。可见,第 I 类直线的搜索规则是第 II 类直线搜索规则的特例,它没有出现左右走向的像素点,因此只要按照第 II 类直线的搜索规则进行搜索,就可以得到这两类直线的搜索轨迹。

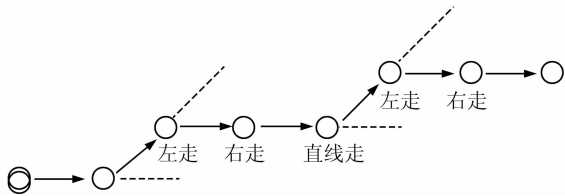


图 7 第 II 类直线的扩展像素点走向规则
Fig. 7 Direction Rule of Line II

2.4 直线搜索轨迹的判别

通过启发式搜索连接获取的直线搜索轨迹并不都是完全满足所定义的直线模型,而是又出现了一种新情况,如图 8 所示。因此,必须对启发式搜索连接获取的直线搜索轨迹进行再处理,以获得最终的直线。



图 8 启发式搜索连接后出现的新类型轨迹
Fig. 8 New Type Trajectory Obtained by the Heuristic Search

假设一条长度为 L 的搜索轨迹 T 的表达式为式(1),开始点 A 的图像坐标为 (x_0, y_0) ,终止点 B 的图像坐标为 (x_{L-1}, y_{L-1}) ,令通过 A 、 B 两端点的数学上定义的直线为 $L_{(AB)}$ (假设直线不垂直)。本文对搜索轨迹的处理方法是:找到该轨迹上距离过该轨迹两端点的数学上定义的直线 $y = kx + b$ 的最大距离的像素点 $C(x_m, y_m)$,该最大距离记为 d_{\max} ,当 $d_{\max} < D$ (D 为最大距离阈值)时,认为该轨迹是一直线,即符合定义的 I、II 类直线模型;当 $d_{\max} > D$ 时,认为该轨迹是图 9 所示的情况,这时要在 C 处截断搜索轨迹 T 为 T_1 、 T_2 两个轨迹,表达式为:

$$T_1 = \{t_0, t_1, \dots, t_m\}, T_2 = \{t_m, t_{m+1}, \dots, t_{L-1}\}$$

$$0 < m < L - 1 \tag{4}$$

再对每一截断轨迹 T_1 、 T_2 重复上面的判断,这时若截断轨迹不满足 D ,则再截断。重复按照上面的判断规则进行处理,直到处理完所有的截断轨迹。

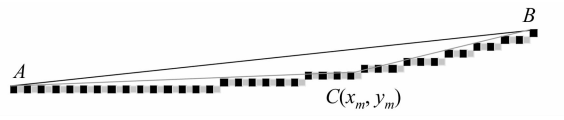


图 9 新类型轨迹的截断示意图
Fig. 9 Sketch Map of the New Type

3 实验结果与分析

用大量的实际航拍图像对本文的直线提取算法进行测试,图 10(a)、10(c)、10(e)为机场航拍图像,图 10(b)、10(d)、10(f)为提取的直线结果

图像,可见,航拍图像中机场跑道和滑行道的直线特征均被提取出来,因而可以方便地进行后期机场跑道等目标的识别。

在实验中,边缘检测后的幅度值均归一化在 0~255 之间,并且终止点阈值与开始点阈值相等,即 $M_{\min} = m_{\min}$ 。在本实验直线提取过程中,搜索终止点与开始点的边缘检测幅度阈值都为 30,即 $M_{\min} = m_{\min} = 30$,最大距离阈值 $D = 1.5$ 。

经过大量实验得出,不同图像之间在进行边直线搜索时,只是开始点边缘检测幅度阈值 m_{\min} 不同,其他参数基本一致, m_{\min} 越大,提取的直线越显著;反之,可以提取出低对比度的直线。最大距离阈值 D 决定着当搜索轨迹出现如图 9 所示的情况时,新类型的搜索轨迹与过其两端点直线的近似程度, D 越大,新类型搜索轨迹被判别为直线的几率也就越大,轨迹被截断的次数就越少,当然误差也随之增大,反之则相反。

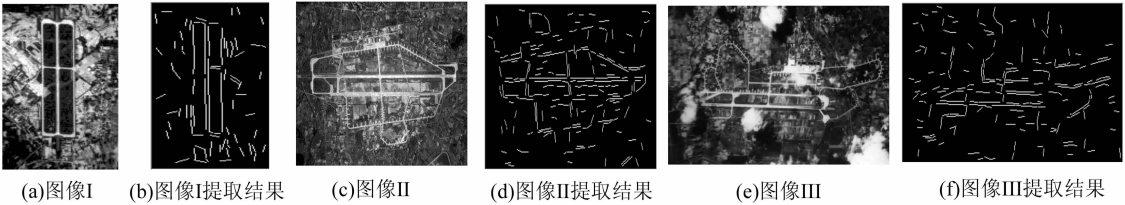


图 10 实验结果
Fig. 10 Experimental Results

需要强调的是,因为使用小尺度高斯滤波和改进的 4 方向 Sobel 算子相结合的边缘提取算法可以提取出物体的真实边缘,且该算法具有良好的抗噪声性能和保留细节信息的能力,所以后期的直线提取可以获取更加准确、丰富的边缘信息,并且整个算法实现简单。提取的直线准确描述了图像中的各种线结构,可应用于航拍图像中典型目标的自动识别等领域。

参 考 文 献

[1] Huerlas A, Nevatia R. Detecting Buildings in Aerial Images[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 41(2): 131-143
[2] Huerlas A, Cole W, Nevatia R. Detecting Runways in Complex Airport Scenes[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990, 51(2): 107-145
[3] 邢坤,付宜利. 基于内港区域的港口目标识别[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(6): 1 275-1 278
[4] 梅天灿,李德仁,秦前清. 基于直线和区域特征的遥感影像线状目标检测[J]. 武汉大学学报·信息科学版[J]. 2005, 30(8): 689-693

[5] 文贡坚,王润生. 从航空图像中自动提取主要道路[J]. 软件学报, 2000, 11(7): 957-964
[6] Schmid C, Zisserman A. Automatic Line Matching Across Views[C]. The Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Puerto Rico, USA, 1997
[7] 张鹏强,余旭初,韩丽,等. 基于直线特征匹配的序列图像自动配准[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(8): 676-679
[8] Illingworth J, Kittler J. A Survey of the Hough Transform[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 44(1): 87-116
[9] Song J Q. A Hough Transform Based Line Recognition Method Utilizing Both Parameter Space and Image Space[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(4): 539-552
[10] Burns B. Extracting Straight Lines [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(4): 425-455
[11] Nelson R. Finding Line Segments by Stick Growing [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligent, 1994, 16(5): 519-523
[12] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 71-

78

[13] 董银文,郭雷,姚俊. 一种从噪声图像中提取边缘的启发式搜索算法[J]. 模式识别与人工智能,2006,19(1): 14-19

[14] Davis L S. A Survey of Edge Detection Techniques[J]. Computer Graphics and Image Process, 1975, 4(3):248-270

[15] Farag A A, Delp E J. Edge Linking by Sequential Search[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(5): 611-633

第一作者简介:董银文,博士生,讲师,主要研究方向为图像处理与模式识别、军用目标探测与制导。
E-mail:dongyinwen@163.com

An Effective Algorithm for Line Extraction in Aerial Image

DONG Yinwen¹ YUAN Bingcheng² WANG Hangyu³ SHI Zhaoming¹

(1 College of Electronic Engineering,Naval University of Engineering,717 Jiefang Road, Wuhan 430033,China)
(2 Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, 717 Jiefang Road, Wuhan 430033, China)
(3 Office of Research & Development, Naval University of Engineering, 717 Jiefang Road, Wuhan 430033, China)

Abstract: To avoid the disadvantages of current algorithms, an effective line extraction algorithm is presented. Firstly, the aerial image is processed by means of small-scale Gaussian filtering. Then, by means of edge detection, an edge detection amplitude image is obtained; and heuristic search is applied in the edge detection amplitude image, so as to extract line search trajectories fitted the line model. Finally, the line from the search trajectories is selected. The experimental results show that our algorithm can extract the true line in the aerial image, and is an effective line extraction algorithm.

Key words: aerial images;line extraction; heuristic search; edge detection

About the first author: DONG Yinwen, Ph.D candidate, lecturer, majors in image processing, pattern recognition, military target detecting and guidance.
E-mail: dongyinwen@163.com

《武汉大学学报·信息科学版》征稿简则

《武汉大学学报·信息科学版》是由武汉大学主办、国内外公开发行的测绘专业学术期刊, EI、CSA、SA、PJK 等国际著名检索系统均收录本刊发表的论文。为进一步提高刊登论文的代表性,发挥本刊在国内外的学术辐射优势,特面向国内外公开征稿。

1. 稿件内容:本刊主要刊登有关数字摄影测量、遥感技术与应用、地图学与 GIS、卫星大地测量、物理大地测量与地球动力学、测绘工程、图形图像学等相关学科的学术论文,稿件要求具有较高的学术水平或重大应用价值。所有来稿文责自负。来稿一般不退。

2. 稿件要求:来稿应符合科技论文著作要求,论点明确,论证严谨,内容创新,数据可靠,方法科学,文字通达、简洁,字数一般在 8 000 字以内。来稿应采用法定计量单位,采用国家有关出版标准,附 300 字以内的中文摘要和相对应的英文摘要,并附有中英文关键词。摘要要有自含性,要能反映论文的核心内容。作者署名应符合著作权法规定,基金资助论文应注明基金名称、项目编号。

3. 投稿要求:本刊接受电子投稿(E-mail:journalw@whu.edu.cn,(027)68778465),但投稿后请务必打电话进行确认。投稿时请附上第一作者简介(中英文)、E-mail、通讯方式及所有作者详细的通信地址。所投稿件的图表、公式应清楚,易混淆的字符应注明;所附照片应符合制版要求;参考文献著录内容齐全,格式符合有关标准,并按引用的先后顺序于文中标出;不准一稿两投。一经投稿,视为作者授权编辑部可作不影响作者论点的必要文字加工。

4. 鉴于本刊已整体加入“中国知网”等数据库,若无特别声明,所有投稿视为作者同意在本刊出版印刷版的同时授权出版光盘版及进入因特网。本刊所付稿酬包含此项收益。

5. 来稿经本刊组织的同行专家评议、审查同意刊登后,将酌收版面费。一经刊用,即付稿酬。一般情况下,投稿 4 个月左右会通过 E-mail 进行答复,对于 4 个月无答复的稿件,作者可以查询。