

一种新的直升机巡检系统电力线提取算法

蔡克¹, 杨忠¹, 黄宵宁², 方挺¹

(1. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016;

2. 南京工程学院 电力系, 江苏 南京 211167)

摘要:在分析了直升机巡检航空图像中的高压电力线的特征的基础上,针对传统的边缘检测算法不能有效地提取电力线的问题,提出了一种新的直升机巡检系统电力线提取算法。首先用基于统计模型的 ratio 算子检测直线像素点,然后用局部 Modified HT 变换和全局 Hough 变换相结合的方法提取直线。实验结果表明,该算法能够从复杂的自然背景中完整地提取电力线,并且具有很好的噪声抑制能力,电力线完整提取率达 90%。文中的研究为利用航空摄影测量的方法来获取电力线的高度提供了保障,具有较好的工程实用价值。

关键词:航空图像;电力线提取;ratio 算子;MHT 算法;Hough 变换

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)10-0113-04

A New Method for Research on Extraction of Power Lines in Aerial Inspection System

CAI Ke¹, YANG Zhong¹, HUANG Xiao-ning², FANG Ting¹

(1. College of Automation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. Dept. of Power Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: Analyzes features of overhead power lines in aerial inspection images. Aiming at problems with using traditional edge detection algorithm to extract power lines, a new method is presented which can extract power lines from aerial inspection system. First, the method utilizes ratio edge detector which based on statistics model to detect edge points of lines. Then combine partial modified hough transform and overall hough transform to extract lines. The result of the experiment indicates algorithm can completely extracts power lines from aerial images with complicated natural background and has strong antinoise ability, the rate of entirely extract power lines is nearly 90%. So the algorithm provides guarantee for detecting the status of power lines using photogrammetric technique. So it has much practical value.

Key words: aerial image; power lines extraction; ratio edge detector; MHT algorithm; Hough transform

0 引言

电力系统中高压电力线的巡检是非常重要和繁重的工作,我国目前主要依靠人工进行巡线,每年需要投入大量的人力物力,成本高、危险大,且存在很多的漏检问题。发达国家很早就开始利用直升机进行输电线路巡线和维护作业,至今技术已相对成熟^[1]。我国近几年才开始尝试利用直升机进行高压电力线巡检工作,技术还很不完善。直升机巡检输电线路系统中的一项关键技术是如何在复杂的自然背景下,利用数字

图像处理技术,从高分辨率航空影像中自动精确地提取线路设备(导线、绝缘子等)。其中航空图像电力线的精确提取尤为重要,只有精确提取电力线,才能利用惯导(INS)、GPS 数据等方法,从可见光图像中自动计算出电力线走廊内电力线与其障碍物(树木、房屋等)之间的距离。航空影像中高压电力线的提取在国内外都是一个新颖的具有挑战性的课题^[2]。

文中对从高分辨率复杂背景的航空图像中自动提取电力线做了研究。针对背景复杂的航空图像,文献[3]指出传统的边缘检测算法不能起到很好的效果,因此文中提出了一种基于统计模型的 ratio 算子结合局部 Modified HT 和全局 Hough 变换法进行电力线自动提取。首先利用 ratio 算子对电力线航空进行像素点边缘检测,然后对图像进行局部 Modified HT 变换,最后再进行全局 Hough 变换提取电力线。

收稿日期:2009-02-17;修回日期:2009-05-17

基金项目:南京工程学院科研基金(KXJ08061)

作者简介:蔡克(1985-),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向为模式识别、图像处理;杨忠,教授,博士生导师,研究方向为导航、制导与控制、机器人仿生、复杂嵌入式系统。

1 电力线像素检测算法

电力线的提取包含电力线目标像素检测和全局连接提取两个阶段。其中,电力线像素的检测是实现电力线提取的首要步骤,其检测结果的好坏直接决定了电力线提取的成败。电力线像素点的检测结果为其自动提取提供有效的特征点集。

高分辨率航空图像中的高压电力线有如下特征:电力线在航空影像中拓扑结构简单,通常为直线,在高分辨率航空影像中的像素宽度大致为一到两个像素;电力线之间基本为平行关系,二者之间不会相交;航空图像中的电力线的背景多为自然地物、森林或建筑物,提取相当复杂。通过以上对航空图像中电力线的特征进行分析可知,电力线的提取可以借鉴直线提取的方法。但从航空图像中提取电力线最大的难点在于图像背景的复杂性,我们尝试采用图像处理中得到广泛应用且具有很好的抗噪声能力的 canny 边缘检测算子^[4]进行电力线的边缘检测。图 2(b)是利用 canny 算子对高分辨率电力线航空图像进行电力线边缘提取的结果。由检测结果可以看出,canny 算子几乎没有检测到电力线像素点,处理后图像的噪声非常多,这主要是因为 canny 边缘检测算子对受高斯白噪声影响的阶跃型边缘是最优的,但电力线航空影像的背景十分复杂,这些背景噪声的模型必然不是简单的加性高斯白噪声,因此,传统的边缘检测算子不能有效地应用于具有复杂背景的航空图像的电力线检测。

考虑到传统的边缘检测算子无法有效得到电力线的像素点,为此,在分析了电力线航空图像背景噪声模型的情况下,采用 ratio 算子进行电力线像素点的检测。

1988 年,R. Tuozzi 提出了均值比例算子^[5],该算子采用了在中心像素的邻域取均值的方法,通过平均值平滑噪声对边缘检测的干扰,并用均值比代替差分,从而获得恒定的虚警概率。与基于差分运算的边缘检测算子相似,均值比例检测也是通过空域模板的移动计算完成的,但与其他算子的线性卷积不同,均值比例算子是非线性的除法运算。考虑到比值运算的数值稳定性,均值比例算子的响应定义为中心像素的两个邻域的均值比的最小值,使得最终的响应在 0、1 之间。

航空图像中的电力线近似直线,包含两条平行的边缘,故采用改进的均值比例算子——ratio 算子^[6,7]对航空图像电力线边缘像素点进行检测。

给定一个包含 n_i 个像素的区域 R_i ,其中每个像素的灰度为 p_k ,其平均灰度 $\mu_i = 1/n \sum_{k \in R_i} p_k$,设过中心像素 x_0 的一定宽度的区域为 R_1 ,其两边的区域为 R_2 ,

R_3 。检测方向为在 R_1 中过 x_0 将两边分成相近大小的直线方向,以垂直方向为例,见图 1。

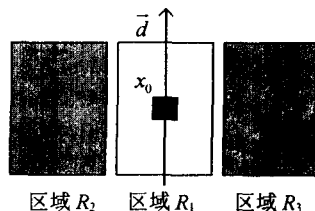


图 1 垂直方向的 ratio 检测模板

定义区域 i 和 j 的边缘检测响应函数为 r_{ij} ,有 $r_{ij} = 1 - \min(\mu_i/\mu_j, \mu_j/\mu_i)$ 。线特征响应函数为 r ,有 $r = \min(r_{12}, r_{13})$,如果响应 r 大于设定的门限值 r_{TH} ,那么认为中心像素 x_0 为直线上的点。

ratio 算子模板的尺寸和结构,检测方向的数目以及门限对于检测性能有很大的影响。其中模板的形状要和待提取的电力线相匹配。文中所处理的电力线航空图像为 3008×2000 的高分辨率图像,电力线的宽度近似为 1 个像素,所以选取 ratio 算子的中心区域 R_1 为 1 个像素宽,这样在有效地检测单像素宽的直线的同时,最大限度地抑制各种干扰。ratio 算子模板的尺寸也不宜过大,因为宽的模板,对宽的直线检测效果明显,但对窄的,尤其是单像素的直线检测效果比较差。经过多次实验,选取 5×5 的 ratio 算子模板,这样区域 R_1 覆盖的像素数目为 5, R_2 为 10 个, R_3 为 10 个。通常 ratio 算子主要考察 8 个方向的边缘(即 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, \dots, 315^\circ$),对于模板的中心像素 x_0 ,每个方向都得到一个检测值 r_k ,若 $r_k = \max\{r_0, r_1, \dots, r_7\}$, $k \in \{0, 1, \dots, 7\}$,且 $r_k > r_{TH}$,则标记中心像素 x_0 为直线上的点,进而得到该点所在直线的方向。在实际处理中,由于直升机巡线时是水平或稍高于电力线,在线路的斜上方按一定的速度沿线路进行飞行,所在电力线在航空图像中的方向几乎是水平的,这样在检测时,可以只用水平方向的模板,大大提高了检测速度,同时像素点检测的准确率也没有太大的降低。对于另一个影响因素门限值 r_{TH} ,通过对高分辨率电力线航空图像背景噪声的数学模型进行分析,得到了门限 r_{TH} 的取值范围是 $[0, 1]$,经过多次的仿真试验,得到 r_{TH} 取值为 0.47。

图 2(c)为利用 ratio 算子并加以改进后检测得到的电力线像素点。由检测结果可以看出,ratio 算子能从背景相当复杂的航空图像中有效地检测出电力线的像素点,且在直线像素点周围噪声的干扰较少,直线检测结果优于 canny 边缘检测结果。

2 高压电力线的完整提取

由于图像背景噪声和各种地物的干扰影响,经过

线像素检测后得到的电力线二值图像,还存在虚假检测和漏检,且得到的只是直线上的像素点,还需要将这些点连接起来构成所要提取的电力线。

2.1 Modified HT(MHT)算法

标准 Hough 变换是机器视觉领域经典的直线提取算法,原理可以通过点线对偶关系来解释。标准 Hough 变换^[8,9]受噪声干扰和曲线间断等的因素影响较小,几何解析简单、直观、鲁棒性好。但标准 Hough 变换最大的缺点就是计算量过于庞大,需要较大的存储空间。直升机巡检输电线路系统要求能实时地提取高压电力线,标准 Hough 变换不能满足实时性的要求,为此采用 Modified HT 算法进行直线提取。MHT 算法是由随机 Hough 变换获得启发。它将图像空间到参数空间的映射方式由“一对多”变为“多对一”,减少了存储空间并降低了计算复杂度,同时该算法仅对至少通过两个特征点的可能直线参数进行累积运算,在一定程度上减小了标准 Hough 变换算法的盲目性。MHT 算法^[10]如下:

(1) 对已给定的有 k 个特征点的 $N \times N$ 的二值图像,提取这些特征点构成集合 $D = \{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, k\}$,每次将集合中的第一个特征点设为种子点,当这个点被处理完后,将其移除,下一个点又被选为种子点。

(2) 种子点被选出后,集合 D 中剩下的特征点一一与种子点构成点对 $\{(x_i, y_i), (x_j, y_j)\}$,其中 i 为种子点下标, $i < j < k$,这些点对分别对应一条直线。由标准 Hough 变换有

$$\begin{cases} \rho_{i,j} = x_i \cos \theta_{i,j} + y_i \sin \theta_{i,j} \\ \rho_{i,j} = x_j \cos \theta_{i,j} + y_j \sin \theta_{i,j} \end{cases} \quad (1)$$

由此计算出

$$\theta_{i,j} = \arctan\left(\frac{x_j - x_i}{y_j - y_i}\right) \quad (2)$$

公式(2)中如果 $(y_j - y_i)$ 等于 0,则 $\theta_{i,j}$ 为 0。

(3) 对每一个种子点都设定一个一维累加器 $H(\theta)$,每一个由公式(2)计算出的不同的 $\theta_{i,j}$,分别对应一个细胞累加器 $H(\theta_{i,j})$,且值为 1。计算 $\theta_{i,j}$,如果 $\theta_{i,j}$ 等于给定的 $\theta_{i,m}$ ($m = i + 1, i + 2, \dots, j$) 或 $|\theta_{i,j} - \theta_{i,m}| < \delta$, $H(\theta_{i,m})$ 值加 1。

(4) 对步骤(2)和(3)进行迭代,每次迭代完成后,检测累加器数组 $H(\theta)$ 中的 $H(\theta_{i,j})$ 的值,如果 $H(\theta_{i,j}) > T$ (T 为设定的全局阈值),则根据 (x_i, y_i) 和 $\theta_{i,j}$ 确定直线,表达式为 $\rho_{i,j} = x_i \cos \theta_{i,j} + y_i \sin \theta_{i,j}$,将 $(\rho_{i,j}, \theta_{i,j})$ 保存在另外的数组 $H^*(\rho, \theta)$ 中。

(5) 将从二值图像中检测得到的直线上的共线特征点移除,以便在连续的迭代中避免重复计算。

(6) 将种子点从集合 D 中移除,同时释放累加器数组 $H(\theta)$ 占用的空间,如果集合 D 中只留有一个特征点,则跳到(7),否则就跳到步骤(2),进行下一次迭代。

(7) 结束算法。保存在 $H^*(\rho, \theta)$ 中的结果就是表示二值图像中所要检测的直线。

2.2 局部 MHT 和全局 Hough 结合提取直线

MHT 算法无论是在速度还是在存储空间上较标准 Hough 都有了很大改善,但单纯应用 MHT 算法并不能提高复杂航空图像下电力线提取的精度,为此将 MHT 算法和标准 Hough 变换进行了结合。首先将 ratio 算子检测得到二值图像划分为若干个窗口,窗口的划分可以是重叠的也可以是不重叠的;在每个窗口内分别应用 MHT 变换,并按照一定的准则选取该窗口内的最优点所构成的线段,删除该窗口内其它所有点。选取准则如下:首先利用参数空间的累积值进行预判,并放宽条件,选取累积值最大的 N 个点;分别求这 N 个点在图像空间对应的点所构成的线段的长度,选择长度最长的线段上的点作为保留点。局部 MHT 变换的作用是抑制局部的干扰,这里使用局部 MHT 变换是基于航空电力线图像弧度小、局部线性和交叉少的特点。这两个特点使得在局部的小窗口内提取最优线段合理化。

经过局部 MHT 变换后,去掉了大部分的干扰,尤其是局部的分布式干扰,在此基础上作全局的 Hough 变换,去除短线,将同方向上相距不远的线段连在一起,就可以得到如图 2(d)的最终提取结果。

3 仿真结果及结束语

将文中算法应用到电力线提取仿真实验结果如图 2 所示:通过图 2 中(b)和(c)的比较可以看出 canny 算子几乎没能得到电力线像素点,而利用 ratio 算子检测出的电力线边缘像素点清晰、准确,同时直线像素点的周围噪声较少,算法的抗噪声能力较强。图 2(d)为利用局部 MHT 变换和全局 Hough 变换相结合的方法的直线提取图,可以看出该算法提取的电力线,完整,位置精度高,噪声抑制能力强。

文中算法所利用的图片来源于某直升机巡线航拍图像。为了验证算法的实用性,又选取了 20 张实际巡检过程中拍摄的背景相对复杂的航空电力线图像作为实验样本,对每一幅图像用文中的算法进行电力线提取,成功地从 18 张图像中完整地提取出电力线,还有两张图像完整地提取了至少一根电力线,文中算法的电力线完整提取率在 90% 左右。实验结果表明文中提出的利用 ratio 算子检测电力线像素,然后用局部

MHT 算法和全局 Hough 变换相结合来提取电力线的方法,对复杂背景下航空图像的电力线完整提取是十分有效的,所以该算法也必将在直升机巡线系统中得到成功应用。

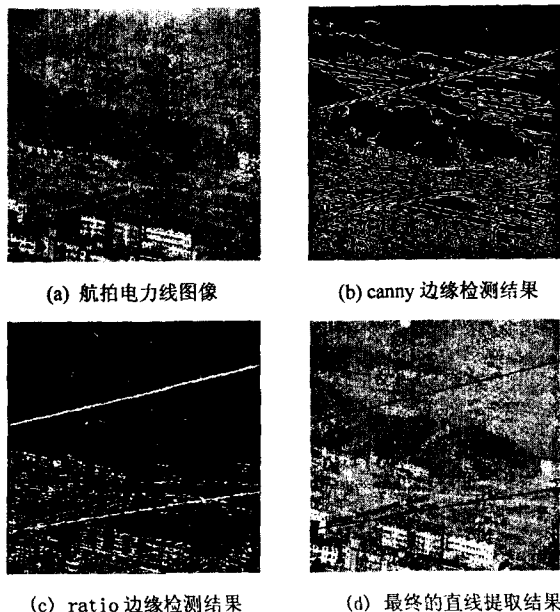


图 2 算法仿真结果

参考文献:

- [1] Whitworth C C, Duller A W G, Jones D I, et al. Aerial video

(上接第 112 页)

5 结束语

提出并研制了实时视频跟踪系统,其系统结构是基于 VxWorks 实时操作系统和 CPCI 总线的多 DSP 分布式体系,上位机进行跟踪显示和卡尔曼预测,下位机 DSP 并行完成频域转换与相关, CPLD 实现总线接口控制。在此硬件上实现了卡尔曼预测与目标频域相关跟踪算法,充分利用卡尔曼预测功能来预测下一帧目标可能出现的区域,然后在局部预测区域中进行频域相关匹配运算,迅速找到最佳相关匹配点。与传统相关跟踪算法相比,其优越性在于准确性和实时性。实验证明了此视频跟踪系统具有实时、准确、标准化的特点。

参考文献:

- [1] Bruno M S. Bayesian methods for multi-aspect target tracking in image sequences[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2004, 52(7):1848-1861.
[2] 曹治国,王岳环,左峥嵘. 多总线多 DSP 实时图像处理操作

inspection of overhead power lines[J]. Power Engineering Journal, 2001(2):25-32.

- [2] 李朝阳. 高压线路走廊特征物提取和高程计算研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2006.
[3] Baltsavias E P. A comparison between photo-grammetry and laser scanning [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1999, 54(2-3):83-94.
[4] Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 图像处理、分析与机器视觉 中文版[M]. 第 2 版. 艾海舟,武 勃,等译. 北京:人民邮电出版社, 2003.
[5] Touzi R, Lopes A, Bousquet P. A Statistical and Geometrical Edge Detector[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26(6):764-773.
[6] 孔繁兴. SAR 图像的主干道路自动提取方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2006.
[7] Yan Guangjian, Li Chaoyang, Zhou Guoqing, et al. Automatic Extraction of Power Lines From Aerial Images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(3): 387-391.
[8] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 第 2 版. 北京:电子工业出版社, 2003:463-473.
[9] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京:电子工业出版社, 2007:153-164.
[10] Chutatape O, Guo Linfeng. A modified Hough transform for line detection and its performance[J]. Pattern Recognition, 1999(32):181-192.

系统的设计与实现[J]. 计算机学报, 2002, 25(7):708-715.

- [3] 刘学练,张 航,熊富强. TMS320 在交通流视频检测中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(12):200-202.
[4] 王 伟,张正兰. 基于 J2ME 平台的手机实时监视系统的设计[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(12):181-183.
[5] 刘宇杰,秦肖臻,彭 力,等. 一种基于 P2P 的视频点播系统设计[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(1):193-195.
[6] Welch G, Bishop G. An introduction to the Kalman filter[EB/OL]. 2006-08-10. <http://www.cs.unc.edu/welch/kalman>.
[7] Kuo C M, Chung S C, Shih P Y. Kalman filtering based rate constrained motion estimation for very low bit video coding [J]. IEEE Trans. CSVT, 2006, 16(1):3-18.
[8] 刘书明,罗军辉. ADSP SHARC 系列 DSP 应用系统设计 [M]. 北京:电子工业出版社, 2002.
[9] Lucchese L, Doretto G, Cortelazzo G M. A Frequency Domain Technique for Range Data Registration[J]. IEEE Trans. PAMI, 2002, 24(11):1469-1484.
[10] 宋建斌,李 波,李 炜. 模式和时空相关性的运动估计快速算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10):1823-1827.