

飞行瞄准系统十字线的检测算法

宁振江 刘宁钟 叶超

(南京航空航天大学计算机科学与技术学院, 南京, 210016)

摘要:针对某直升飞机瞄准系统改型的需要,研究了瞄准器十字线的检测算法。首先经过去噪声处理后,采用 Kirsch 方向边缘检测算子找出瞄准器十字线的边界点。然后对边界点进行链码跟踪,进一步分析跟踪出来的链码,根据直线相似度准则搜索链码中的直线段。最后为提高检测结果的可信度,融合线段相关性、十字线位置及十字线角度 3 个特征找出瞄准器十字线。实验结果表明:文中设计的算法性能优良,能够满足实际使用的需求。

关键词:Kirsch 边缘检测;链码;直线检测;特征融合

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2615(2013)06-0849-05

Detection Algorithm for Cross Line in Collimated System of Aeroplane

Ning Zhenjiang, Liu Ningzhong, Ye Chao

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: For the demand of the collimated system improvement of a kind of helicopter, a detection algorithm for the cross line of the collimated system is proposed. Firstly, after image denoising, Kirsch edge detection is used to obtain the edge points of the cross. Then the chain code of these edge points is obtained. After analyzing the chain code, the line of the cross is detected based on a line similarity algorithm. Finally, the cross of collimated system is detected based on the combination of line feature, site feature and angle feature, which improves the reliability of the result greatly. Experiments show that the performance of the proposed algorithm is excellent, and it can meet the requirement of the practical use.

Key words: Kirsch edge detection; chain code; line detection; feature combination

本研究课题背景来自某直升飞机型号的改型。在攻击目标时,直升机的瞄准器靶心采用白色十字线作为标志。在试用中发现,当瞄准雪地中的目标,以及导弹白色尾焰时,背景为高亮的白色,影响飞行员观看瞄准器靶心,进而影响瞄准攻击目标。因此要求将瞄准器的白色十字线改为红色。由于瞄准器十字线的生成部件与其他部件结构紧密,更改复杂,故而改型的要求是在显示前,采用算法检测出瞄准器的白色十字线的位置,再改为红色。

算法的挑战在于以下几点:(1)背景复杂。背景有灰度较低的地面、树木,也有高亮的雪地、白云等,会淹没瞄准器十字线;(2)噪声严重。由于飞机上的信号传输易受到干扰,因此频频出现高噪声的图像;(3)由于是实时处理和军用的场合,要求算法稳定可靠,速度高效。相比传统的霍夫变换检测线段的方法,这里首先采用边缘检测找出瞄准器十字线的边界点,进而采用链码跟踪寻找直线段,最后融合线段相关性、位置及角度 3 个特征找出瞄准器十字线。

基金项目:国家自然科学基金(61375021)资助项目;江苏省自然科学基金(SBK201322136)资助项目;江苏省“六大人才高峰”(DZXX-035)资助项目;南京航空航天大学基本科研业务费专项科研基金(NS2013087)资助项目。

收稿日期:2013-08-15;**修订日期:**2013-10-15

通信作者:刘宁钟,男,教授,博士生导师,1975 年出生,E-mail:liunz@163.com。

1 边缘检测及细化

首先采用边缘检测,找出十字线的边界点。由于飞机上噪声较大,因此需要选择一种能较好抑制噪声的边缘检测算法。沈俊边缘检测算子在阶跃边缘和白噪声的模型下,就信噪比最大原则,证明了最佳滤波器 $F(x, y)$ 为对称的指数函数^[1]

$$F(x, y) = C_1 C_2^{|x|+|y|} \quad (1)$$

式中:

$$C_1 = \frac{a_0}{2 - a_0}, C_2 = 1 - a_0 \quad (2)$$

式中: a_0 为 $(0, 1)$ 间的一个数,它越大,即越接近 1, 则 $F(x, y)$ 越窄,抑制噪声的能力越小,但边缘定位精度增加。文中采用 $a_0 = 0.8$, 首先分别按行,按列进行 2 次正反向滤波去除噪声^[1]。沈俊边缘检测是对平滑后的图像进行拉普拉斯边缘检测^[2], 并对拉普拉斯图像进行二值化。由于文中检测的十字线具有方向特性,因此采用 Kirsch 方向边缘检测算子^[2], 如图 1 所示,对图像 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 和 135° 四个方向进行边缘检测。

+5	+5	+5
-3	0	-3
-3	-3	-3

(a) 0° 边缘检测模板

-3	+5	+5
-3	0	+5
-3	-3	-3

(b) 45° 边缘检测模板

-3	-3	+5
-3	0	+5
-3	-3	+5

(c) 90° 边缘检测模板

-3	-3	-3
-3	0	+5
-3	+5	+5

(d) 135° 边缘检测模板

图 1 Kirsch 边缘检测算子

由于图像信号采样使用隔行扫描,一幅图像是由奇场和偶场叠加产生,对应的瞄准器十字线的宽度有 2 个像素。因此边缘检测后会出现 2 个像素宽度的边缘。为了避免后续步骤的链码跟踪中出现重复跟踪的现象。文中采用数学形态学细化边缘。数学形态学是一门建立在严格数学理论基础上的学科,它的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对应形状以达到对图像分析和识别的目的^[3]。

膨胀和腐蚀是二值形态学的基本运算。膨胀的算符为 \oplus , 其定义为^[4]

$$A \oplus B = \{x \mid [(B)_x \cap A] \neq \emptyset\} \quad (3)$$

式(3)表明用 B 来膨胀 A 的过程是:先对 B 做关于原点的映射,再将其映象平移 x , 这里 A 和 B

映象的交集不为空。腐蚀的算符为 \ominus , 其定义为^[4]

$$A \ominus B = \{x \mid [(B)_x \subseteq A]\} \quad (4)$$

式(4)表明用 B 来腐蚀 A 的结果是所有 x 的集合,其中 B 平移 x 后还在 A 中。简单地说,膨胀是将与某物体接触的所有背景点合并到该物体的过程,腐蚀是消除物体所有边界点的过程。

为了避免分裂,细化分为两个过程^[4]: (1) 采用一个正常的腐蚀; (2) 只将那些腐蚀后并不破坏连通性的点消除,否则保留。这两步均采用一个 3×3 的领域运算。图 2 为一幅原始图像,经过边缘检测和细化后的结果如图 3 所示。

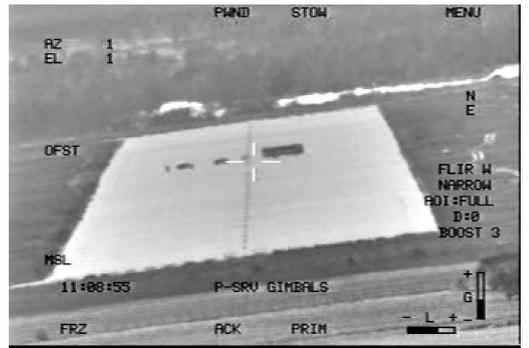


图 2 原始图像

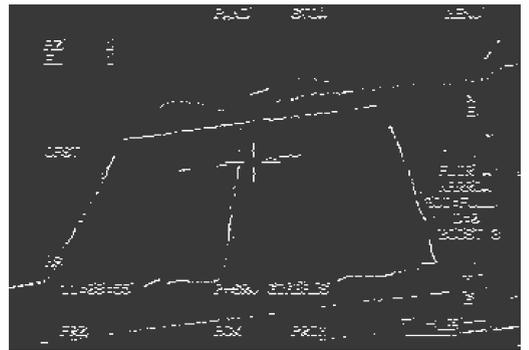


图 3 边缘检测和细化后的图像

2 直线段检测

预处理后,需要检测出靶心十字线的线段。基于 Hough 变换的直线检测方法^[5]日趋成熟。该方法的优点是对图像中的噪声不敏感,个别非边界像素点不影响直线检测结果。但有两点不足: (1) 计算量比较大,不利于实时应用; (2) 变换过程中丢失了线段的端点和长度信息。

先对目标边界进行链码跟踪,然后在得到的链码串集合中进行直线段提取。本方法较 Hough 变换最大的特点是计算量小、计算速度快、实时性强,可以满足实际应用需求。链码常用于描述物体的边界,边界由其起始像素的坐标和一个符号序列定

义,符号对应几个定义好的方向的单位长度的线段,这里采用较常用的8向链码。8个方向的定义,如图4所示。

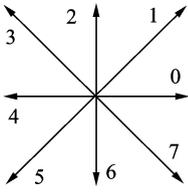


图4 八向链码示意图

将跟踪出来的目标边界的链码串用以下数据结构保存: $n, x_0, y_0, d_1, d_2, \dots, d_n$ 。结构中: n 为当前链码串中链码的总长度; x_0, y_0 为当前链码串起始点的图像坐标; d_1, d_2, \dots, d_n 为当前链码串上各像素的方向码。

早在20世纪70年代,Freeman就提出了直线链码必须满足的3条准则^[6]:

(1)链码中至多出现两个方向码,且它们在模8意义下相差1;

(2)若有两个方向码出现,则其中之一必单个出现;

(3)单个出现的方向码总是尽可能均匀地出现在链码串中。

但是,上述的准则仅适用于理想直线。众所周知,图像的获取过程中,噪声的引入是不可避免的,在实际图像中,通过边界跟踪得到的链码几乎不能满足这3条直线判别准则。因此,研究人员又不断改进,使之能够满足实际应用。例如采用上下边界和必经区域约束来检验链码是否属于当前直线段^[7],但该方法没有完全摆脱Freeman准则的束缚,抗噪性不强。

文中在上述分析的基础上,提出了一种新的基于链码的快速直线检测算法。该方法运算速度快,检测结果准确高效。从链码数据结构中不难得到链码终止点的图像坐标 x_n, y_n

$$x_n = \sum_{i=1}^n f_x(d_i) \quad (5)$$

$$y_n = \sum_{i=1}^n f_y(d_i)$$

式中:

$$f_x(d) = \begin{cases} -1 & d=3,4,5 \\ 0 & d=2,6 \\ 1 & d=0,1,7 \end{cases} \quad (6)$$

$$f_y(d) = \begin{cases} -1 & d=1,2,3 \\ 0 & d=0,4 \\ 1 & d=5,6,7 \end{cases} \quad (7)$$

首先判断当前链码串中链码的总长度是否满足最小直线段长度约束。如果链码总长度小于预设的最小直线段长度阈值,则认为该段链码中没有满足要求的直线段,直接舍弃。然后根据式(6)计算该段链码的直线近似度

$$L = \frac{\sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2}}{\sum_{i=1}^n \text{Dis}(d_i)} \quad (8)$$

式中:分子为链码起始点和终止点之间的理想直线距离; $\sum_{i=1}^n \text{Dis}(d_i)$ 表示链码从起始点到终止点经过像素的实际长度,其中

$$\text{Dis}(d) = \begin{cases} 1 & \text{mod}(d,2)=0 \\ \sqrt{2} & \text{mod}(d,2)=1 \end{cases} \quad (9)$$

显然, L 值越大,该段链码串越能表示一条直线段。如果 L 值小于预设的阈值 L_{Thresh} ,则认为该段链码串不是一条直线段。图5为采用本算法后,检测直线段的结果。

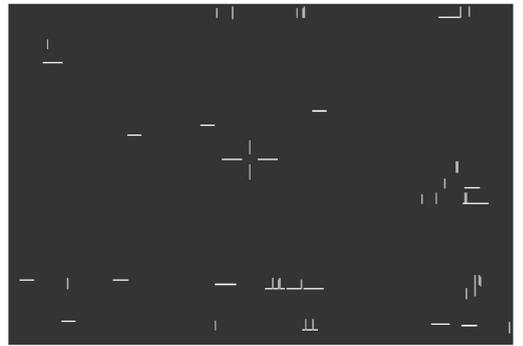


图5 直线段检测的结果

3 搜索准则

在检测出直线段后,需要根据直线段搜寻十字线。大量研究多特征融合往往可以比单一特征获得更高的可信度^[8]。这里根据搜索的结果,融合3个特征得到最终的搜索结果。通过融合特征可以保证,即使在复杂背景或目标与背景对比度较低的情况下,也能准确检测到十字线。

特征一 线段特征。理想的十字线能够检测出4条相关的线段,由于图像噪声的影响,以及高亮背景淹没部分十字线,有可能检测出3条相关的线段,或者2条相关的线段。这里给出3个模式:模式1为最理想情况,可以找到4条相关的线段,如图6所示;模式2为检测得到3条相关的线段,其中模式2包括4种子模式,如图7所示;模式3为检测得到2条相关的线段,其中模式3包括6种子模式,如图8所示。根据线段特征,给出以下可

信度函数

$$f_{\text{line}} = \begin{cases} 1 & \text{模式 1} \\ 0.8 & \text{模式 2} \\ 0.5 & \text{模式 3} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$



图6 模式1中相关直线段

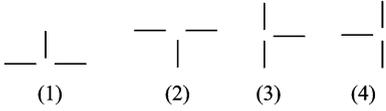


图7 模式2中相关直线段

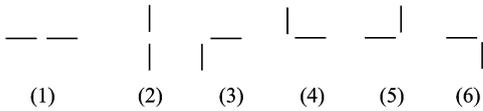


图8 模式3中相关直线段

特征二 位置特征。大部分情况下十字线位于图像的中心位置，只有在变换瞄准系统的视场时，才可能发生偏移，位于图像边角。因此如果检测出的十字线偏离图像中心较远，则可信度不高。在这里，根据位置特征，给出一个可信度函数，当检测出来的十字线位于图像1/4中心位置，则可信度为1，否则可信度随十字线中心与图像中心距离增长成线性衰减，直至衰减为0，如下式所示

$$f_{\text{site}} = \begin{cases} 1 & |x-x_0| < W/8 \text{ 且 } |y-y_0| < H/8 \\ \max(0, 1 - \frac{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}}{\min(W, H)}) & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

式中： (x, y) 为十字线中点的坐标； (x_0, y_0) 为图像中心坐标； W 为图像宽度； H 为图像高度。

特征三 倾斜特征。大部分情况下十字线的倾斜角度不超过 5° （由实际应用所决定），因此如果检测出的十字线倾斜角度较大，则可信度不高。在这里根据倾斜特征，给出一个可信度函数。当十字线倾斜角度小于 $\pi/40$ ，则可信度为1，否则可信度随十字线倾斜角度增长成线性衰减，超过 $\pi/4$ ，可信度衰减为0，如下式所示

$$f_{\text{angle}} = \begin{cases} 1 & \theta \in [-\frac{\pi}{40}, \frac{\pi}{40}] \\ 1 - \frac{\theta}{\pi/4} & \theta \in [-\frac{\pi}{4}, -\frac{\pi}{40}] \cup [\frac{\pi}{40}, \frac{\pi}{4}] \\ 0 & \theta \in (-\pi, -\frac{\pi}{4}) \cup (\frac{\pi}{4}, \pi) \end{cases} \quad (12)$$

式中 θ 为十字线倾斜角度。最后，融合这3个特征

$$f_{\text{result}} = f_{\text{line}} \times f_{\text{site}} \times f_{\text{angle}}$$

显然 f_{result} 越大，检测的结果越加可信，这里设定一个阈值 F_{Thresh} ，当 f_{result} 大于此阈值时认为检测结果有效。图9为最终检测结果。

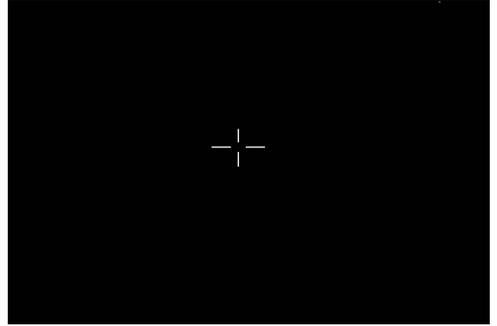


图9 最终检测结果

4 实验

采用实际应用中提供的具有代表性的视频录像，解压后进行了实验，其中有高亮雪地背景图像，如图10所示。白云背景图像，如图11所示。强条形噪声图像，如图12所示，本文算法均准确定位目标。

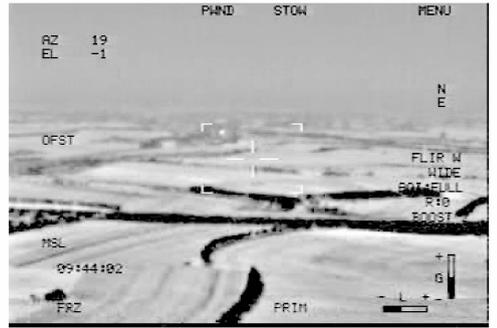


图10 高亮雪地背景图像

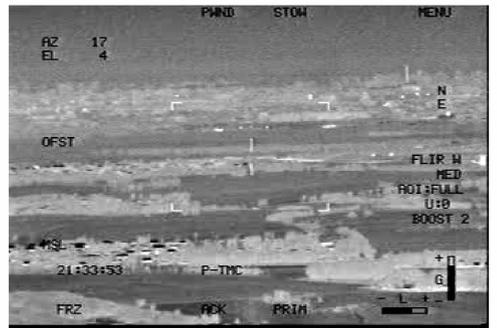


图11 白云背景图像

针对上述3种常见噪声，统计了识别率和错检率，结果如表1所示。识别率分别达到了99.85%、99.90%和99.95%，所有图像中没有错误检测，错检率为0。

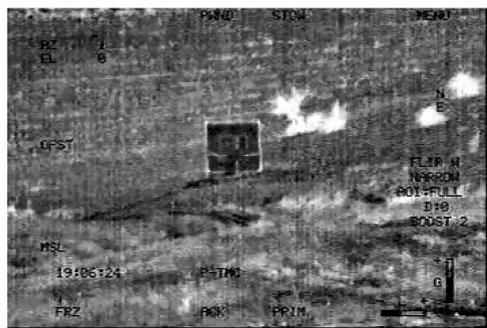


图 12 强噪声图像

表 1 识别率错检率统计 %

参数	高亮雪地背景图像	白云背景图像	强条形噪声图像
识别率	99.85	99.90	99.95
错检率	0	0	0

同时,将算法复杂度和经典的基于 Hough 变换的方法进行比较,运行平台为 TI-DSP TMS320,对比结果见表 2,本文处理速度约为 5 ms/帧,速度明显优于基于 Hough 变换的方法。

表 2 算法复杂度比较 ms

算法	单帧图像的平均处理时间		
	高亮雪地背景图像	白云背景图像	强条形噪声图像
本文算法	4.8	4.9	5.1
基于 Hough 变换算法	56.4	57.5	59.2

以上实验结果表明,文中设计的算法能够快速准确地检测出靶心十字线的位置,能够满足实际的需求。

5 结束语

出于某型号直升机的改造背景,要求将瞄准器的白色十字线改为红色。文中采用快速算法检测

出瞄准器的白色十字线的位置,再改为红色。首先采用方向边缘检测算子找出瞄准器十字线的边界点,然后对边界点进行链码跟踪搜索直线段,最后融合多种特征找出瞄准器十字线。实验表明本文设计的算法能够在背景复杂、噪声严重的应用场合进行实时处理,算法稳定可靠,速度高效。

参考文献:

- [1] Khashman A. Noise-dependent optimal scale in edge detection[C]//Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Piscataway: IEEE CNF, 2002:467-471.
- [2] Chen J S, Mediom G. Detection, localization and estimation of edges[J]. IEEE Trans PAMI, 1989, 11(2):191-198.
- [3] Zana F, Klein J C. Segmentation of vessel-like patterns using mathematical morphology and curvature evaluation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(7):1010-1019.
- [4] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle, et al. 图像处理、分析与机器视觉[M]. 艾海舟,等译.北京:人民邮电出版社,2003.
- [5] Epstein A, Paul G U, Vettermann B, et al. A parallel systolic array ASIC for real-time execution of the hough transform[J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2002, 49(2):339-346.
- [6] Freeman H. Boundary encoding and processing[M]. California: Academic Press, 1970:241-266.
- [7] Yuan Jianxing, Suen C Y. An optimal on algorithm for identifying line segments from a sequence of chain codes[J]. Patter Recognition. 1995, 28(5):635-646.
- [8] Dornhege G, Blankertz B, Curio G, et al. Boosting bit rates in noninvasive EEG single-trial classifications by feature combination and multiclass paradigms[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2004, 51(6):993-1002.