

文章编号: 1672-8785(2009)09-0035-06

基于旋转不变性的红外序列图像自动匹配

刘景正¹ 余旭初¹ 刘航冶^{1,2}

(1. 信息工程大学测绘学院, 河南郑州 450052;

2. 江西省数字国土重点实验室)

摘 要: 红外序列图像的匹配处理是在一系列红外图像内寻求像素点对应关系的过程, 它直接涉及并影响到红外图像配准的精度, 是视频目标识别、定位、跟踪等处理的关键技术之一。匹配中为了加快搜索速度, 采用了金字塔策略。针对红外图像信噪比低的特点, 预处理时引入了小波阈值算法对红外图像进行滤波处理; 针对无人机红外序列图像间旋转角度大的特点, 采用 SIFT 算法对灰度序列图像进行了匹配, 并结合相关系数控制的方法, 进一步去除错配点。匹配时不受传感平台较大角度旋转的影响, 从而取得了良好的效果。

关键词: 红外序列图像; 去噪; SIFT; 旋转不变性; 图像匹配; 无人机视频

中图分类号: TP722.5 **文献标识码:** A

Automatic Matching of Infrared Sequence Images Based on Rotation Invariant

LIU Jing-zheng, YU Xu-chu, LIU Hang-ye

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China;

2. Jiangxi Province Key Lab for Digital Land)

Abstract: The matching of infrared sequence images is a process to search the corresponding relationship between the pixels in a series of infrared images. Since it can directly affect the registration precision of infrared images, it is one of the key techniques for the data processing, such as the recognition, location and tracking of an object in video images. In order to increase the search speed, the Pyramid Strategy is used in image matching. In view of the features such as low S/N ratio of infrared sequence images, the wavelet threshold algorithm is introduced to filter the infrared images in preprocessing. For the infrared sequence images of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), the SIFT algorithm is used in image sequence matching and is also combined with the correlation coefficient control method so as to get rid of the wrong matching points. Because the matching is not affected by the rotation of the sensing platform at a large angle, good effectiveness is obtained.

Key words: infrared sequence image; De-noising; SIFT; rotation invariant; image matching; unmanned Aerial Vehicle (UAV) Video

收稿日期: 2009-04-08

基金项目: 江西省数字国土重点实验室开放研究基金资助项目 (DLLJ200901); 国家 863 项目 (2006AA12Z154)

作者简介: 刘景正 (1982-), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 主要研究方向为红外视频处理、SAR 图像处理。

E-mail: ljzchxy@163.com

1 引言

序列图像匹配是指将传感器获取的在时间序列上较近的多幅图像进行比较,找到各图像上对应的同名点,从而得到各图像像素的对应关系。图像匹配是计算机视觉、图像融合、目标识别与跟踪等多种应用领域中极其重要的研究内容之一。

红外序列图像具有对比度低、边缘模糊、信噪比低等特点。高噪声率图像中 50% 以上的像素都受到噪声污染,这超出了机器视觉中常规算法所能处理的范围,甚至对人的视觉感知也造成极大的干扰。在高噪声率红外图像滤波处理中,高强度消除噪声与最大程度保留边缘细节的矛盾显得尤为突出。作为一种非线性滤波器,中值滤波具有滤除脉冲噪声并保留图像细节的能力,也是常规滤波算法中最适合于高噪声率图像滤波的算法之一。文献 [1] 提出的开关中值滤波算法,改善了中值滤波算法的细节保护能力,在噪声密度较低时效果好,但随着污染程度的增加,其性能逐步接近标准中值滤波效果。文献 [2] 提出了自适应软开关中值滤波。本文则采用小波阈值处理方法对红外图像进行去噪处理。

无人机由于受风力等影响严重,具有飞行不稳定的特点,其序列图像有可能在短时间内旋转角度过大,而且其旋转方向和角度具有不可预见性。这些不同于传统图像的特点使得要在红外序列图像中找到同名点变得困难,相关系数的匹配也不能完全匹配到理想的位置。

本文引入一种方法——尺度不变特征变换以满足上面的条件,从而对红外序列图像进行匹配研究。

David G. Lowe 的早期工作 (1999 年) 是将特征扩充以达到不受尺度影响的效果。该方法也克服了图像不同视角的影响以及视角造成的图像扭曲的影响。2004 年, David G. Lowe 总结了现有的基于不变量技术的特征检测方法,并正式提出了一种基于尺度空间的、对图像缩放、旋转甚至仿射变换保持不变性的图像局部特征描

述算子——SIFT 算子。后来 Y. Ke 通过用 PCA 代替直方图的方式对该描述子部分进行了改进。

2 红外图像的滤波处理

2.1 红外图像噪声类型及特性分析

(1) $1/f$ 噪声。 $1/f$ 噪声是统计自相似的随机过程,其频率与功率谱密度成反比,可见 $1/f$ 噪声在不同时刻的取值是相关的。在图像处理中,可利用小波变换的去相关作用,合理地选择小波基,使 $1/f$ 噪声变为易于清除的白噪声,从而达到去噪的目的。

(2) 散斑噪声。它的形成主要是因为成像过程中红外波的相互干涉作用。散斑噪声既包含乘性噪声的成分,也包含加性噪声的成分。然而加性噪声对图像的影响远小于乘性噪声的影响,因此可以认为散斑噪声是一种乘性噪声。

2.2 小波去噪的基本思想

(1) 对图像进行对数变换和小波变换。

乘性噪声模型可以用下式表示:

$$I(x, y) = R(x, y) * F(x, y) \quad (1)$$

式中, $I(x, y)$ 是观察到的图像强度 (被噪声污染), $R(x, y)$ 被称为图像的真实值 (未被噪声污染), $F(x, y)$ 为噪声,它可看成是与 $R(x, y)$ 独立的随机过程。根据红外图像的噪声模型,对其进行对数变换,将乘性噪声转为加性噪声:

$$\hat{I} = \log(I) = \log(R) + \log(F) = \hat{R} + \hat{F} \quad (2)$$

(2) 以小波变换的方法进行去噪。在对图像进行对数变换和小波变换后,对高频图像进行处理,并判断其中被噪声严重污染的值,对其进行修正。

在修正小波变换后的三个高频部分图像 HL、LH、HH 时,取阈值 T , 令 $T=3 \times \Delta$, 其中 Δ 为一级小波分解后得到的各高频图像的方差。WT 后三个高频部分图像的各像素值还未映射到 $0 \sim 255$ 之间。此时它们是有正有负、有整有零的数,遍历三个高频部分图像。当其像素值的绝对值大于或等于 T 时,将其归为修正区;反之,则将其归为抑制区。

对于被归为修正区的像素,首先要判断此点是由边缘信息还是由噪声引起的。在该点的 8 邻域内选取判断区,如果判断区内至少有一个

以上的修正区内的像素存在, 则该点是边缘信息, 其像素值不变; 否则就认为它是由噪声引起的, 其像素值舍去, 即等于 0。对于三部分高频图像, 所选的判断区有各自的特点。图 1 中 D0 为当前像素, D1 ~ D8 是其 8 个邻域。若 LH 包含的是水平方向的边缘信息, 判断区由 D1、D2、D3、D6、D7、D8 组成; 若 HL 包含的是竖直方向的边缘信息, 则判断区由 D1、D4、D6、D3、D5、D8 组成; 由于 HH 包含的是 45° 和 135° 方向上的边缘信息, 所以其判断区由 D1、D3、D6、D8 组成。

D1	D2	D3
D4	D0	D5
D6	D7	D8

图 1 像素 D0 的 8 个邻域

对于被归为抑制区的像素, 其值要乘以一个衰减因子 a_2 , 其中 $0 \leq a_2 \leq 1$, 如取 $a_2 = 0.3$ 。

(3) 图像重构, 对小波进行反变换。

2.3 红外图像的去噪实验

图 2(a) 和图 2(b) 所示为去噪前后的图像。

3 SIFT 算法的红外序列图像匹配

3.1 红外序列图像点特征匹配的基本步骤

① 建立图像金字塔, 对金字塔顶层的图像作匹配处理。

② 检测特征点。特征点一般是灰度变化的局部极值点, 它有时甚至没有实际的直观视觉意义, 但却在某种角度、某个尺度上含有丰富的易于匹配的信息。

③ 建立特征向量, 描述特征点。特征空间的选择决定了图像的某些特性会参与匹配, 另外一些特性将被忽略。

④ 对图像进行特征匹配, 以获得候选匹配点。特征点的匹配是通过特征向量的相似性对比来进行的, 其中, 一般采用各种距离函数作为相似性度量, 如欧氏距离、街区距离、马氏距离等。

⑤ 依据金字塔构造, 将顶层的同名点对应

到金字塔的底层。

⑥ 消除错误匹配点。特征点会自动寻找匹配点, 无论采用何种特征描述符和相似性判定度量, 错配难以避免。这一步主要是根据几何或图像的成像特点来去除候选匹配点中的错配。匹配中可以进行相关系数的计算。当计算结果小于给定的阈值时, 就舍去该点。

3.2 红外图像的 SIFT 变换

红外序列图像匹配的任务是寻找稳定的特征并加以描述。如果能够寻找到一种特征, 该特征对旋转、图像变化等因素能保持一定的不变性, 而对物体运动、遮挡、噪声等因素能保持较好的可匹配性, 这样就可以实现差异较大的两幅图像之间特征的匹配, 从而实现序列图像匹配。



(a) 原始红外图像



(b) 去噪后的红外图像

图 2 红外图像的去噪效果

SIFT 算法从特征矢量角度出发, 可以解决旋转稳定性问题。

3.2.1 尺度空间 (scale-space) 的生成

尺度空间理论的目的是模拟图像数据的多尺度特征。高斯卷积核是实现尺度变换的唯一线性核, 于是一幅二维图像的尺度空间定义为

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (3)$$

式中, $G(x, y, \sigma)$ 为尺度可变高斯函数, $G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2}$ 。其中, x 、 y 是空间坐标, σ 为尺度坐标。

高斯差分尺度空间 (DOG scale-space) 利用不同尺度的高斯差分核与图像卷积生成, 这能够有效地在尺度空间检测到稳定的关键点。

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (4)$$

3.2.2 空间极值点的检测

每一个采样点都要和它所有的相邻点作比较, 看其是否比它的图像域和尺度域的相邻点大或者小。如图 3 所示, 中间的检测点和同尺度的 8 个相邻点及上下相邻尺度对应的 9×2 个点 (共 26 个点) 比较, 这样就能确保在尺度空间和二维图像空间都检测到极值点。

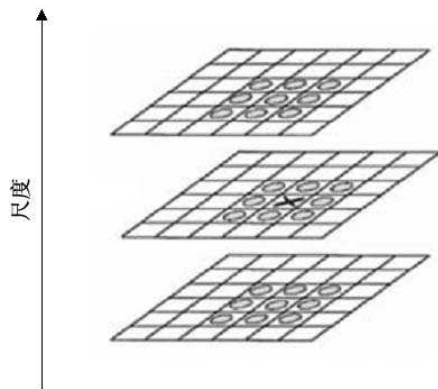


图 3 DoG 尺度空间局部极值的检测

通过拟合三维二次函数以精确确定关键点的位置和尺度, 同时去除低对比度的关键点和不稳定的边缘响应点 (因为 DoG 算子会产生较强的边缘响应), 就可以增强匹配稳定性, 从而

提高抗噪声能力。

3.2.3 关键点的方向分配

利用关键点邻域像素的梯度方向分布特性为每个关键点指定方向参数, 使算子具备旋转不变性。

$$m(x, y) = \left\{ [L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2 \right\}^{1/2} \quad (5)$$

$$\theta(x, y) = \frac{\alpha \tan 2[L(x, y+1) - L(x, y-1)]}{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]} \quad (6)$$

上式为 (x, y) 处梯度的模值和方向公式。式中, L 所用的尺度为每个关键点各自所在的尺度。

3.2.4 特征点描述子的生成

首先将坐标轴旋转为关键点方向, 以确保旋转不变性。

接着以关键点为中心取 8×8 的窗口。图 4 左边部分的中央黑点为当前关键点的位置, 每个小格代表关键点邻域所在尺度空间的一个像素, 箭头方向代表该像素的梯度方向, 箭头长度代表梯度模值, 图中圈代表高斯加权的范围 (越靠近关键点的像素, 梯度方向信息的贡献就越大)。然后在每个 4×4 的小块上绘制 8 个方向的梯度方向直方图, 并计算每个梯度方向的累加值, 即可形成一个种子点, 如图 4 右边部分所示。该图中一个关键点由 2×2 共 4 个种子点组成, 每个种子点有 8 个方向的向量信息。这种邻域方向性信息联合的思想增强了算法的抗噪声能力, 同时对含有定位误差的特征匹配也提供了较好的容错性。

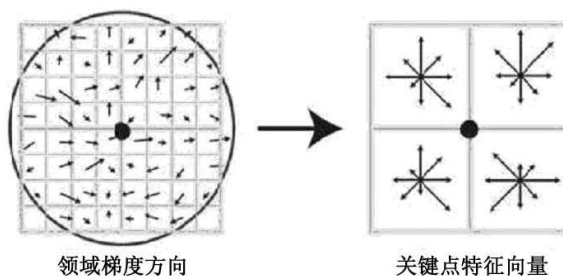


图 4 由关键点邻域梯度信息生成特征向量

当两幅图像的 SIFT 特征向量生成后, 下一步我们采用关键点特征向量的欧氏距离来作为两幅图像中关键点的相似性判定度量。取图像 1 中的某个关键点, 并找出其与图像 2 中欧氏距离最近的前两个关键点。在这两个关键点中, 如

果最近的距离除以次近的距离后小于某个比例阈值, 则接受这一对匹配点。若降低这个比例阈值, SIFT 匹配点数目会减少, 但更加稳定。

3.3 红外图像匹配中错误匹配的控制改进

在进行关键点匹配时, 允许单个特征点从众多特征点数据库中寻找出相对应的特征点。但是对于内部景物排列混乱或背景杂乱的图像, 处理时会得到许多错误的匹配点, 这样就需要再制定一些附加条件来减少错误匹配。

在剔除错误匹配点上, 本文是采取相关系数测度来控制错误匹配的。相关系数是标准化的协方差函数, 即将协方差函数除以两信号的方差, 就得到相关系数。 $g(x, y)$ 与 $g'(x', y')$ 的相关系数为

$$\rho(p, q) = \frac{C(p, q)}{\sqrt{C_{gg} C_{g'g'}(p, q)}} \quad (7)$$

实验中, 首先确定相关系数阈值 ρ_0 。对由 SIFT 算法最终检测出来的实时图像的特征点 a_i 与参考图像的对应匹配点 b_i 各取一定大小的窗口 (如以关键点为中心各取 50×50 的窗口), 计算出两窗口的相关系数 ρ_i , 并保存此相关系数值 ρ_i 。然后转移到实时图像的下一个关键点 a_{i+1} , 这样将实时图像的所有以关键点为中心的窗口相关系数都计算过后, 再把所有的相关系数值 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ (n 为 SIFT 检测出两图像相匹配点的个数) 由大到小进行排列, 取相关系数阈值。

$$\rho_0 = (\rho_{\max} - \rho_{\min})k + \rho_{\min} \quad (8)$$

式中, $\rho_{\max}$ 为相关系数值排列后的最大值, $\rho_{\min}$ 为相关系数排列后的最小值, k 为常数, 在本文的实验中取 0.2。当相关系数低于阈值时, 舍去由 SIFT 检测出的这一对匹配点; 当相关系数高于该阈值时, 则保留这一对匹配点。

4 实验结果及分析

本文取同一地区具有较大时间差异和较大角度差异的红外图像进行了实验。为了检验本文算法对于红外序列图像旋转变化的稳定性, 实验中采用了 SIFT 匹配算法, 并用相关系数阈

值对错误匹配进行了控制。

4.1 实验结果



图 5 两幅有较大旋转的红外图像的关键点

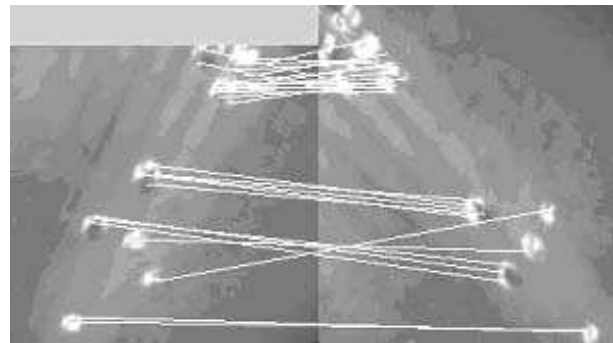


图 6 红外图像的匹配结果 (直线的两端代表对应的匹配点)

4.2 结果分析

本文对平地、道路、车辆、建筑物的各十组红外图像进行了匹配实验, 并将一次匹配时所寻找的对应特征点在 X 与 Y 方向的匹配误差在 2 个像元内定义为匹配正确。匹配概率的定义为

$$p = N/M \quad (9)$$

式中, N 和 M 分别表示正确匹配的特征点数与实验结果中所有相匹配的特征点数。

总体上该方法的匹配概率是很高的, 达到 96%。本文用 256×256 序列图像进行匹配时所用的平均时间是 0.3s, 可见匹配速度还是很快的。

以往的匹配方法对于序列图像的旋转要人为地给定一个大致旋转范围才能匹配。如果旋转角度超出这个范围, 匹配将无法进行。实验结果验证了本文方法对序列图像的旋转所保持的旋转不变性, 并克服了无人机红外序列图像受较大旋转角的影响。

5 总结

本文通过引进 SIFT 算法解决了无人机红外序列图像之间由于旋转角度过大而不好定位的问题。针对红外图像不同于一般的高清晰光学图像的特点, 本文提出了进一步去除错配点的相关系数控制方法, 同时对匹配的关键点个数做进一步的控制, 然后对不同的序列图像进行匹配实验, 最后从统计角度肯定了该方法的优越性。

参考文献

- [1] Sun T, Neuvo Y. Detail-preserving median-based filters in image processing [J]. *Pattern Recognition Letter*, 1994, 15(4): 341-347.
- [2] Eng H, Ma K. Noise adaptive soft switch median filter [J]. *IEEE Trans. On Image Processing*, 2001, 10.
- [3] Dare P, Dowman I. An improved model for automatic feature-based registration of SAR and SPOT images [J]. *ISPRS(International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2001 (56): 13-28.
- [4] Suchandt. Suchandt-Airborne SAR Experiment for Ground Moving Target Identification [EB/OL].
- [5] David Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [M]. 2001.02 [EB/OL].
- [6] David Lowe. Object recognition from local scale-invariant features [EB/OL].
- [7] 白云塔. 一种复杂红外背景下的小目标检测识别算法研究 [J]. *红外*, 2008, 29(10): 24-28.
- [8] David Lowe. Local feature view clustering for 3D object recognition [EB/OL].

简讯 News

能探测航空隐患的前视干涉仪

据 www.techbriefs.com 网站报道, 以美国乔治亚技术研究所 (GTRI) 为首并由来自五所大学和机构的研究人员所构成的一个研究小组正在对一种被称为前视干涉仪的新型仪器展开研究。该仪器可以探测出飞机起飞、飞行及降落过程中的不可见危险。同时, 美国航空航天局 (NASA) 的兰利研究中心也加入了这个小组。

虽然雷达及其他系统能在飞机的飞行过程中向飞行员预告潜在的天气灾害, 但它们不能探测到所有可能的大气危害。如果飞机遭遇湍流或无雨滴的低能见度, 雷达则将探测不到它们。

前视干涉仪是基于高分辨率傅里叶变换光谱技术的被动式红外辐射计, 其最初是为卫星遥感而研制的。通过识别每种危险物质的不同红外光谱特征, 前视干涉仪可以探测到环境中所存在的危险。该仪器已经用于对空气中悬浮颗粒和有害气体的检测, 但这些物质并不是来自于飞行过程中的飞机。于是在 NASA 的资助下, 这个团队开展了用于探测晴空湍流、尾涡流、火山灰、低

能见度、干热风切变和结冰的系统灵敏度的研究。他们也通过改进算法来估计危险的严重程度。

由于前视干涉仪同时具有较高的光谱分辨率和温度分辨率, 其先进的算法理应具有高检测率及低误报率。前视干涉仪还将可以如红外成像仪一般来提供实时视频显示, 其中包括夜视能力和模糊条件下的视景增强。进一步的研究将确定在探测到危险之后是否有足够的报警时间让飞行员采取安全措施以避免空难。

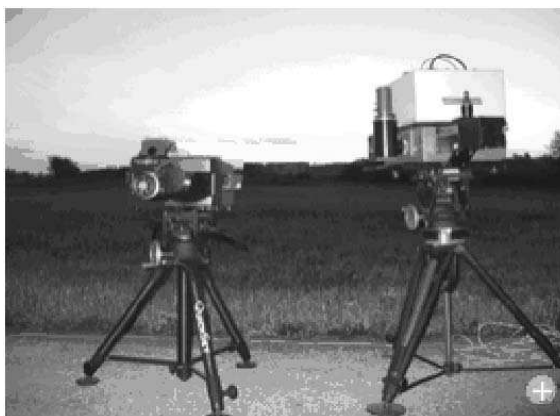


图 1 正在接受测试、能探测空中隐患的新式仪器

□ 岳桢干