

机载红外搜救系统中的图像快速拼接^①

刘志伟, 高 军, 张 明

(上海海事大学 信息工程学院, 上海 201306)

摘 要: 基于直升机的海上搜救在海难搜救过程中发挥着重要的作用。当前国内的搜救飞行队尚未配备海上红外搜救系统。研究与实现机载红外搜救系统以达到快速准确的定位落水者就显得迫在眉睫, 其中的困难是实现红外图像的快速拼接。在现有算法基础上, 结合项目需求, 改进并实现了一种红外图像快速拼接算法。首先对原始图像预处理以消除噪声的影响, 然后利用图像重叠区的相似性, 找出图像 ROI 区域, 使用基于绝对差自适应算法完成图像匹配, 最后采用加权平均法得到连续图像的拼接图。实验结果表明: 该算法拼接速度较快, 而且具有较强的可移植性和实用性。

关键词: 海上搜救; 红外图像; 快速拼接; 图像 ROI; 绝对差

Fast Image Stitching in the Airborne Infrared Search and Rescue System

LIU Zhi-Wei, GAO Jun, ZHANG Ming

(College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The maritime search and rescue system which based on the helicopter plays an important role in the process of shipwreck. The current domestic maritime search and rescue flight team is not equipped with an infrared search and rescue system. It is imminent that the airborne infrared search and rescue system, which achieves fast and accurate positioning of the drowning. One of the difficulties is to achieve fast infrared image stitching. In this paper, on the basis of the existing algorithms, combined with the project requirements, a fast stitching algorithm for infrared images is proposed. Firstly, the original image is pre-treated to eliminate the effects of noise. Secondly, the image ROI area to be found by using of image similarity overlap and image matching is completed by using an adaptive algorithm based on the absolute difference. Finally, fusion of the continuous images is achieved by using the weighted average algorithms. The experimental results show that: the algorithm has a fast stitching speed and strong portability and practicality.

Key words: maritime search and rescue; infrared images; fast stitching; image ROI; absolute difference

1 引言

近几年, 无论在国际还是在国内, 海难频频发生。例如韩国 4·16 客轮沉没事件, 在韩方全力搜救 20 天后, 全船 476 人, 死亡 259 人, 43 人下落不明, 所以机载红外搜救系统的研究与实现就尤为重要。在发生海难的海域上空, 直升机配备机载红外搜救系统, 利用机载红外相机获取原始图像序列, 后续目标识别模块是通过图像拼接算法实现。把原始图像序列快速拼接成一幅宽视角的拼接图, 搜救人员通过分析拼接图来定位

落水者, 然后实施搜救。本文研究的重心是实现红外图像的快速拼接。

目前, 国内外有很多学者研究图像拼接^[1]算法。2004 年, Shmuel Peleg、Benny Rousso、Alex Rav.Acha 和 Assaf Zomet^[2]改进了一种能够根据相机的不同运动来选择模型的图像拼接算法, 该算法是在基于运动的全景图拼接模型的基础上提出的。该算法先将图像分成多个条状图像, 然后通过条状图像的多重投影来完成图像拼接。2006 年, 李强等人提出的一种基于图像

^① 基金项目: 国家自然科学基金(61171126); 上海重点支撑项目(12250501500)

收稿时间: 2014-06-03; 收到修改稿时间: 2014-06-30

灰度的快速匹配算法^[3], 该算法利用图像灰度值进行图像匹配, 为基于灰度的红外图像快速拼接提供了匹配算法. 2007 年, David Lowe^[4]提出一种基于 SIFT^[5]匹配的图像拼接算法, 该算法在尺度空间通过高斯微分函数来检测潜在的对于尺度和旋转不变的角度, 算法可以实现真彩图的拼接. 2008 年, Addison 设计了基于 SIFT 的图像序列拼接算法, 算法通过一个概率模型验证全景图像序列, 通过假设图像特征点不变的基础上实现全自动图像拼接. 2010 年, Jungpil Shin 提出了基于能量谱的技术消除拼接后图像的重影, 该技术通过使用人眼更加关注显著特征这一特点, 计算图像的灰度梯度和能量谱, 还原并放大缝隙处的特征点, 然后根据人眼视觉特点消除重影. 2013 年, Robert Lagan ere 提出一种拼接算法^[6-8], 利用 SURF 算法和 RANSAC 算法实现图像准确匹配, 然后采用加权平均算法实现图像融合, 该算法是在 SIFT 算法的基础上实现了加速运算.

虽然以往算法的研究都取得了较好的效果, 但是针对红外图像, 这些算法实现拼接的速度都达不到项目上的需求. 项目要解决的问题不仅是实现图像拼接, 而且还要实现快速地拼接, 尤其是在大量图像序列流的情况进行快速地拼接. 在现有算法的思想基础上, 所以本文改进并实现了一种红外图像快速拼接算法, 结合项目需求, 实现了红外图像的快速拼接, 实验结果表明, 该算法不仅在速度方面达到项目的需求, 而且在效果方面拼接图自然、清晰.

2 算法

2.1 算法流程

本文的拼接算法分为四个步骤实现, 具体的过程如图 1 所示.



图 1 算法实现图

- 1)通过机载红外相机获取原始红外图像.
- 2)对原始红外图像进行预处理, 去除图像中干扰噪声的影响.
- 3)计算连续图像之间的绝对差值, 通过阈值进行比较, 获得图像的匹配点对.
- 4)通过图像匹配点对和坐标系变换实现图像融合.

2.2 图像获取

针对项目的需求, 本文使用专门定制的 SZ007 长波红外相机进行实验图像(即原始图像)获取, 相机的相关参数设置如表 1 所示.

表 1 SZ007 长波红外相机参数设置

参数名	数字帧频	像元数大小	像元尺寸	响应波段
参数值	25HZ	640×480	17μm×17μm	7.5μm×135μm

其中, 相机数字帧频设置为 25HZ, 保证长波红外相机拍摄速度为 24 帧/秒, 设置像元数大小为 640×480, 确保相机拍摄的红外图像大小为 640×480 像素.

实验中, 长波红外相机与 PC 机通过串口通信线相连, 将获取的红外图像以 PNG 格式并且按时间顺序保存到 PC 机上.

本文实验时间为冬季的 17 时至 19 时, 地点为上海市浦东新区滴水湖湖岸, 长波红外相机以湖面作为背景进行实验图像的获取.

2.3 预处理

对获取的原始红外图像, 首先要进行预处理. 本文选择中值滤波器进行图像预处理^[9,10], 不仅消除噪声, 而且增强图像的有效信息.

中值滤波器工作过程如图 2 所示, 取 3×3 函数窗, 计算以点 $[i, j]$ 为中心的函数窗像素中值步骤如下:

- 1)按强度值大小排列像素点.
- 2)选择排序像素集的中间值作为点 $[i, j]$ 的新值.

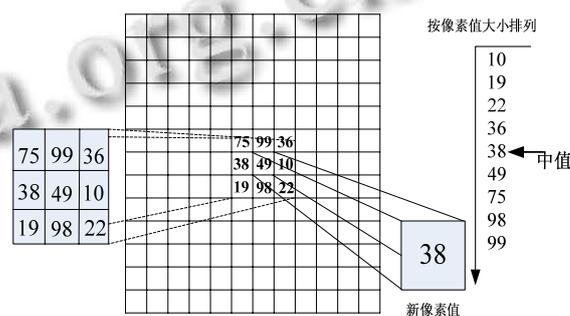


图 2 采用 3×3 邻域的中值滤波器示意图

2.4 图像匹配

2.4.1 基于绝对差的图像匹配

图像匹配^[11]的核心是计算两幅图像间差异的度量值, 根据度量值与设置的阈值作判断, 得到两幅图像间相匹配的程度. 其中, 绝对差算法 (Absolute Difference, 简称 AD) 的工作原理如下.

- 1)找出两幅图像差异的度量值

假设基准图 X 大小为 $M_1 \times M_2$, 模板图 Y 大小为 $N_1 \times N_2$, 根据矢量的抽象范数定义的 AD 度量算法^[12] 为

$$D(u,v) = \|\Delta X\| = \|X(u,v) - Y(u,v)\| \quad (1)$$

其中, $D(u,v)$ 表示实验位置 (u,v) 上的度量值, 它是 (u,v) 平面上的一个二维函数. 由式(1)可知, 当 $X(u,v) \neq Y(u,v)$ 时, $D(u,v) \geq 0$, 而只有当 $X(u^*,v^*) = Y(u^*,v^*)$ 时, 才有 $D(u^*,v^*) = 0$, 因此, 利用 $D(u,v)$ 的极小值就可以找到匹配位置 (u^*,v^*) .

因为矢量 ΔX 的抽象范数 $\|\Delta X\|$ 等于其元素绝对值得总和, 所以, 式(1)可以改写为:

$$D(u,v) = \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} |X_{j+u,k+v} - Y_{jk}| \quad (2)$$

其中, $X_{j+u,k+v}$ 表示匹配位置 (u,v) 上的基准图的第 (j,k) 像素值, 即基准图的第 $(j+u,k+v)$ 像素值, 而 Y_{jk} 是模板图的第 (j,k) 像素值, 且 $0 \leq u \leq M_1 - N_1$ 和 $0 \leq v \leq M_2 - N_2$.

2) 设置阈值, 判断相似度

Val 表示两幅图像之间的阈值, $D(u,v)$ 表示基准图像 X 与模板图像 Y 之间的差异值. 若 $D(u,v)$ 值小于 Val 值时, 表示像素点 (u,v) 与像素点 (j,k) 是匹配点对, 否则, 就判定这两像素点不是匹配点对.

常规的基于绝对差的算法是通过判别基准图与模板图之间像素值的差异, 搜索出图像匹配点对. 该算法使用蛮力搜索策略, 算法运行时间较长, 而且由于算法搜索范围太大, 容易引入与特征点灰度值相等却毫无关联的噪声点, 导致匹配失真.

2.4.2 改进的基于绝对差的匹配算法

常规的匹配算法沿用绝对差算法的计算思想, 本算法在原有的基础上引入原始图像的特征, 并且改进基准图和模板图的匹配遍历策略, 以提高匹配速度. 改进后算法的工作原理如下:

1) 找出图像 ROI(Region of Interest)区域

本文采用图像横向重叠区的相似性来划分图像的 ROI 区域. Min_Val 表示最小重叠区域值, Max_Val 表示最大重叠区域值, 图像 ROI 区域值是 $|Max_Val - Min_Val|$. 根据原始图像尺寸大小, 可以得到以下结论: $Min_Val \in (0,320]$, $Max_Val \in (320,640]$.

2) 找出两幅图像差异的度量值

在图像 ROI 的区域内通过绝对差算法计算两幅图像差异的度量值, 因此式(2)可以改写为:

$$D(u,v) = \sum_{i=Min_Val}^{Max_Val} \sum_{j=Min_Val}^{Max_Val} |X_{j+u,k+v} - Y_{jk}| \quad (3)$$

由式(3)可知, Min_Val 值、 Max_Val 值以及模板窗口的大小都会影响匹配速度, 若模板窗口选用 5×5 大小, 则式(3)可以改写为:

$$D(u,v) = \sum_{i=j=Min_Val}^{Max_Val} |X_{j+u,k+v} - Y_{jk}| \quad (4)$$

3) 设置阈值, 判断相似度

首先, 设置阈值大小为 Val , 然后根据 $D(u,v) * 5 * 5$ 与 $Val * Min_Val * Max_Val$ 之间的大小关系做出判断, 如式(5)所示:

$$Val = \begin{cases} D(u,v) * 5 * 5 / (Min_Val * Max_Val) & , less-than \\ Val & , otherwise \end{cases} \quad (5)$$

若是 $D(u,v) * 5 * 5$ 小于 $Val * Min_Val * Max_Val$ 时, Val 重新赋值, 并进入下一次匹配过程, 否则跳出本次匹配, 进入下一次匹配过程.

改进的基于绝对差的算法, 改进了匹配的遍历策略, 不再使用蛮力搜索策略, 而是通过比较基准图与模板图之间的相似度, 确定图像 ROI 区域, 缩小搜索匹配点对的范围. 然后, 在图像 ROI 区域内, 通过模板函数实现图像的遍历, 最后实现两幅图像的匹配. 改进的算法不仅提高了执行速度, 而且避免了搜索范围之外, 与特征点灰度值相等却毫无关联的噪声点的干扰, 使图像匹配更加精准.

2.5 基于加权平均的图像融合

加权平均法^[13]是一种图像融合算法. 加权平均融合算法具有实现简单、运行速度快和抑制噪声等优点. 所以本文使用帽子函数加权平均算法实现图像的融合.

2.5.1 帽子函数加权平均算法

已知基准图 I_1 大小为 $M_1 \times M_2$, 模板图 I_2 大小为 $N_1 \times N_2$ (本文实验图像 $M=N_1$). 首先使用帽子函数求解加权平均算法的权值函数 $w(x,y)$, 计算如式(6)所示. 然后, 利用权值来计算融合后像素点的灰度值, 如公式(7)所示.

$$w(x,y) = (1 - |\frac{x}{width} - \frac{1}{2}|) \times (1 - |\frac{x}{height} - \frac{1}{2}|) \quad (6)$$

$$R(x,y)=\begin{cases} I_1(x,y) & (x,y)\in I_1 \\ (1-w)I_1(x,y)+wI_2(x,y) & (x,y)\in(I_1\cap I_2) \\ I_2(x,y) & (x,y)\in I_2 \end{cases} \quad (7)$$

其中, *width* 和 *height* 是表示图像 ROI 区域的宽度与高度, 变量 *x* 在图像 ROI 区域融合遍历时, 会不断的调整权值大小, 可以有效地去除水平方向和竖直方向上的缝隙, 实现图像的无缝融合. $I_1(x,y)$ 和 $I_2(x,y)$ 是两幅待融合图像匹配点对像素点值, $R(x,y)$ 则是两幅图融合后 (x,y) 像素点的灰度值.

3 实验结果及讨论

3.1 实验说明

实验程序在 Visual Studio 2010 软件上开发, 使用开源计算机视觉库 OpenCV2.4.4. 计算机硬件: Intel Pentium CPU 主频 2.2GHZ, 内存 2GB.

3.2 结果与讨论

从原始图像序列中任意选取两幅原始图像进行测试, 本文选取的两幅红外图像分别是图 3(a)左侧图和图 3(b)右侧图, 如图 3 所示.



(a) 左侧图 (b) 右侧图

图 3 两幅原始红外图像

3.2.1 四种算法的实验结果及讨论

在实验中, 采用四种不同的算法实现原始图像的拼接, 其拼接图如图 4 所示. 每种算法重复实验 3 次, 拼接时间如表 2 所示.

表 2 算法拼接速度的对比

实验	基于 SIFT 的拼接算法(S)	罗伯特提出的算法(S)	常规的基于绝对差的拼接算法(S)	改进的基于绝对差的拼接算法(S)
1	6.013	1.373	0.241	0.125
2	6.491	1.389	0.223	0.125
3	5.837	1.389	0.231	0.125
均值	6.114	1.384	0.232	0.125

通过对比图 4(a)、图 4(b)、图 4(c)和图 4(d), 可以看出这四种算法都能实现图像拼接, 但是图 4(a)中有细小的隔痕, 这是因为在图像融合过程中没有使用加

权平均算法的帽子函数, 没有处理好图像边缘像素值的差异, 以致出现缝隙. 其余三种算法可以实现图像准确、无缝的拼接.



(a) 基于 SIFT 匹配算法的拼接图 (b) 罗伯特提出的算法的拼接图



(c) 常规的基于绝对差算法的拼接图 (d) 改进的基于绝对差算法的拼接图

图 4 算法拼接图对比

由表 2 可知, 基于 SIFT 匹配算法和罗伯特提出的算法拼接速度较慢, 这是因为这两种算法需要尺度空间极值检测、角点定位、方向确定和角点描述, 这些步骤都要花费很长的计算时间, 虽然算法具有尺度不变特征性和较强的鲁棒性, 但拼接速度达不到实时的效果.

常规的基于绝对差的拼接算法直接利用灰度值进行模板匹配运算, 忽略了尺度空间极值检测、角点定位、方向确定和角点描述等步骤的计算, 所以拼接速度得到提高. 而改进的基于绝对差的拼接算法在常规的基于绝对差的拼接算法基础上, 采用遍历图像 ROI 区域的匹配策略, 先找出图像 ROI 区域, 缩小搜索匹配的范围, 再使用大小 5×5 的模板进行遍历, 使得拼接速度进一步提高, 本文采用改进的基于绝对差的拼接算法.

3.2.2 改变图像 ROI 区间的实验结果及讨论

通过设置不同的图像 ROI 区间, 观察图像 ROI 区间对图像拼接性能的影响. 图像拼接效果如图 5 所示. 统计算法实现图像拼接的时间和遍历像素的数目, 如表 3 所示.



(a) 图像 ROI 为 [300,400] 时的拼接图 (b) 图像 ROI 为 [100,600] 时的拼接图

图 5 设置不同图像 ROI 区间的实验图

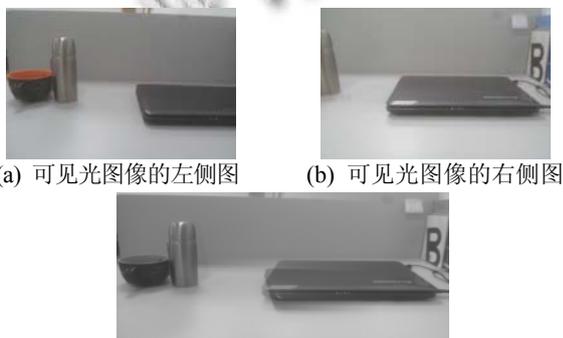
表 3 设置不同图像 ROI 区间的比较

区间范围	实验 1 (S)	实验 2 (S)	实验 3 (S)	均值 (S)	图像遍历像素数目 (S)
[300,400]	0.096	0.091	0.093	0.093	200
[250,450]	0.116	0.116	0.112	0.115	400
[200,500]	0.125	0.125	0.125	0.125	600
[150,550]	0.175	0.166	0.159	0.167	800
[100,600]	0.185	0.191	0.189	0.188	1000
[50,640]	0.214	0.214	0.213	0.214	1180

通过分析图 5(a)、图 5(b)、图 4 (d)以及表 3 可知,不同的图像 ROI 区间对图像拼接的性能有着不同的影响. 图 5(a)出现鬼影现象, 拼接效果不理想, 这是因为选取的图像 ROI 区间较小, 所以遍历像素的数目比较少, 因此图像实现拼接的信息量较少, 尽管实现拼接的速度较快, 但是拼接效果却不理想. 相反, 图 5(b)选取图像 ROI 区间较大, 就会出现冗余的像素遍历点, 导致拼接时间较长, 不能实现实时拼接. 图 4 中图(d)选取图像 ROI 区间为 [200,500], 实验结果表明: 图像拼接效果清晰, 速度较快, 实现图像拼接的性能最佳.

3.2.3 可见光图像的实验结果及讨论

本文改进并实现了一种红外图像快速拼接算法, 针对项目中获取的红外图像序列, 该算法实现了实时地拼接, 而且拼接图效果准确清晰. 本实验选取两幅可见光图像, 如图 6(a)、图 6(b)所示, 分析实验结果.



(a) 可见光图像的左侧图 (b) 可见光图像的右侧图
(c) 可见光图像的拼接图

图 6 可见光图像实验图

通过分析图 6(a)、图 6(b)和拼接图 6(c)可知, 当本文改进的算法用于可见光图像实现拼接时, 拼接图出现鬼影. 这是因为该算法在遍历可见光图像时, 由于光照强度的影响, 图像像素的灰度值发生了不同程度的失真, 导致原本匹配的像素点发生了误匹配. 而红外图像不受光照强度的影响, 所以该算法在遍历红外图像时, 红外图像像素的灰度值真实地反映图像信息, 可以实现准确、无缝的拼接.

4 总结

本文改进并实现的一种红外图像快速拼接算法可以达到机载红外搜救系统的实际需求, 该方法针对项目中对红外图像信息量的要求, 通过中值滤波器去除原始图像的噪声并增强图像信息量. 利用图像重叠区域的相似性, 找出图像 ROI 区域, 在图像 ROI 区域内, 使用改进的基于绝对差的匹配算法实现红外图像的拼接, 提高了图像拼接的速度. 该算法具有计算量小, 拼接速度快等特点. 实验结果表明, 本文采取这种红外图像快速拼接算法, 能够实时的实现红外图像序列的拼接, 算法具有较强的可移植性和实用性, 而且拼接图效果自然、清晰.

参考文献

- 1 白钊, 贺峻峰, 原琦, 等. 一种提高双 CCD 图像拼接精度的方法. 应用光学, 2010, 31(6): 918-921.
- 2 江铁, 朱桂斌, 孙奥. 全景图像拼接技术研究现状综述. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2012, 29(12): 60-65, 71.
- 3 李强, 张钺. 一种基于图像灰度的快速匹配算法. 软件学报, 2006, 17(2): 216-222.
- 4 Brown M, Lowe D. Automatic panoramic image stitching using invariant features. International Journal of Computer Vision, 2007, 74(1): 59-73.
- 5 Lowe DG. Distinctive image features from Scale invariant key-points. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- 6 Iaganere R. OpenCV2 计算机视觉编程手册. 张静译. 北京: 科学出版社, 2013.
- 7 杨云涛, 冯莹, 曹毓, 等. 基于 SURF 的序列图像快速拼接方法. 计算机技术与发展, 2011, 21(3): 6-9.
- 8 陈艺虹, 孙权森, 徐焕宇, 等. SURF 算法和 RANSAC 算法相结合的遥感图像匹配方法. 计算机科学与探索, 2012,

- 6(9):822-828.
- 9 万鹏.低质量指纹图像预处理算法研究[硕士学位论文].南京:南京邮电大学,2010.
- 10 安阳.红外图像预处理算法研究[硕士学位论文].武汉:武汉理工大学,2008.
- 11 韩先锋,李俊山,孙满囤,等.巡航导弹景象匹配算法适应性研究.微电子学与计算机,2005,22(7):53-57,61.
- 12 Zhang J, Korfhage RR. A distance and angle similarity measure method. Journal of the American Society for Information Science, 1999, 50(9): 772-778.
- 13 苏媛媛,李英杰,周志峰.遥感图像融合算法与质量评价探讨.工程勘察,2012,(12):70-74.

www.c-s-a.org.cn

www.c-s-a.org.cn