

异步多特征红外与可见光图像匹配算法

李俊山¹, 朱英宏^{2,1}, 赵怀勋³, 杨 威⁴, 徐 攀³

(1 第二炮兵工程大学 四系, 陕西 西安 710025; 2 武警福建总队 厦门支队, 福建 厦门 361000;

3 武警工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710086; 4 第二炮兵指挥学院 工程保障系, 湖北 武汉 430012)

摘 要: 针对红外与可见光图像特征点匹配的难题, 提出了一种基于异步多特征的红外与可见光图像匹配算法. 首先采用多尺度 FAST-9 角点检测算法进行特征点提取; 而后, 对提取的特征点构造主方向; 再统计特征点邻域的梯度方向, 构造一种类 SIFT 的特征点描述子; 采用阈值宽松的最近邻匹配算法进行粗匹配; 然后, 提取特征点邻域边缘信息构造基于边缘的形状上下文描述子; 最后采用相应的相似性度量算法对粗匹配结果进行提纯. 实验结果表明, 提出的算法对旋转、尺度、视角变换具有鲁棒性, 且能够实现不同天候条件下的图像匹配, 正确匹配率较 SURF 算法有明显提高.

关键词: 红外图像; 可见光图像; SIFT 算法; 形状上下文; 图像匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)07-0006-05

Asynchronous Matching Algorithm for IR/Visual Images Based on Multi-feature

LI Jun-shan¹, ZHU Ying-hong^{2,1}, ZHAO Huai-xun³, YANG Wei⁴, XU Pan³

(1 4th Department of the Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China;

2 Xiamen Regiment, Fujian Division of the Chinese People's Armed Police Force, Xiamen 361000, China;

3 Department of Information Engineering, Engineering University of Armed Police, Xi'an 710086, China;

4 Department of Engineering Support, the Second Artillery Command College, Wuhan 430012, China)

Abstract: A asynchronous point matching algorithm is proposed to resolve the problem of IR and visible images matching. Firstly, feature points are extracted by FAST-9 corner detector with Gaussian scale space. The main orientation of each point is assigned according to the neighborhood information. Then, a SIFT-like descriptor is applied to describe control points. Then, the Nearest Neighbor Distance Ratio is used to rough matching. After that, a shape context descriptor is constituted with the point neighborhood information of edge. Finally, the results of rough matching are purified by the corresponding similarity measure algorithm. Experimental results indicate that the proposed algorithm is invariant to image rotation, scale and occlusion changes. Even under special weather condition and different time, it still performs robust and gets a higher average correct matching ratio than SURF.

Key words: infrared image; visual image; SIFT; shape context; image matching

1 引言

多特征匹配是指有两种或多种特征综合的描述子结构, 并采用响应相似性度量方式的匹配算法. 多特征匹配算法可分为两种: 一是同步多特征匹配, 二

是异步多特征匹配. 其中, 在异步多特征匹配算法中, 上一级经相似性度量之后的匹配结果将作为下一级特征提取与相似性度量的输入. 该方法通过逐次进行相似性度量, 可逐渐缩小相似性度量的距离, 不断剔除误匹配点, 进而提高匹配精度.

收稿日期: 2012-10-20; **修回日期:** 2012-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61075025, 61175120)

红外与可见光图像作为两种常见图像,广泛应用于图像处理领域.基于这两种图像的匹配、配准和融合运算可有效提高图像信息的冗余性、丰富性和互补性.基于红外与可见光图像匹配属于异源图像匹配范畴.大量学者对此进行了深入的研究,文献[1,2]对异源图像匹配进行较为全面阐述和分类.

为有效地解决红外与可见光图像匹配的难题,提高匹配精度、计算效率,增强算法的鲁棒性,扩展算法的适用范围,本文将采用异步多特征的思路构造应用于红外与可见光图像匹配的算法^[3].

2 异步多特征图像特征点匹配

2.1 特征点提取

由于成像机制不同,相同场景的红外与可见光图像灰度差异较大,因此,基于斑点(Blob)的特征点检测算法在这两种图像检测的特征点的重复率(Repeatability)普遍不高.而由于相同物体在两种图像中的形状具有较高的相似性,因此,基于角点的检测算法在该领域具有较高的鲁棒性.文献[4]提出了一种基于FAST-9的角点检测算法,该算法由SUSAN算法改进而来,在检测速度、特征点提取数量及重复率较DoG算法、Random算法、LoG算法等相比具有明显优势,同时,FAST-9算法具有较强的抗噪声能力.然而,FAST-9角点检测算法不具备多尺度的能力.因此,本文通过对检测图像先进行高斯加权,构造高斯金字塔,再对每层高斯图像进行FAST-9角点提取,使得提取的角点具备尺度因素.高斯卷积函数的尺度因子设置如下:

$$\sigma_0 = 1.6 \times 2^{1/S} \quad (1)$$

$$\sigma_{o,s} = \sigma_0 2^{o+s/S} \quad (2)$$

其中, σ_0 为初始尺度因子, s 为金字塔的层数标号, $s=1,2,3$, o 为组数标号, $o=1,2,3$, S 为金字塔中一组的层数, $S=3$, $\sigma_{o,s}$ 为金字塔中第 o 组第 s 层的尺度因子,由此构造了一个三组三层的高斯金字塔.在该金字塔中提取的角点标记为 $(x(i), y(i), \sigma_{o,s})$.

2.2 主方向构造

构造以特征点为圆心,半径为 $R_1 = 6\sigma_{o,s}$ 的圆形邻域.统计圆形邻域内每个像素点的梯度方向在36等分的直方图分布情况,选择直方图最大值的方向作为主方向.

2.3 基于梯度的描述子构造

采用SIFT算法对红外和可见光图像进行特征点提取和梯度计算.如图1所示.从图中可明显看

出,红外图像更接近于可见光图像的负像^[5].其特征点上的梯度方向在两种图像中能保持基本一致,但是也有个别特征点的梯度方向成 180° 的翻转(图1(b)、(d)圆圈中所示).

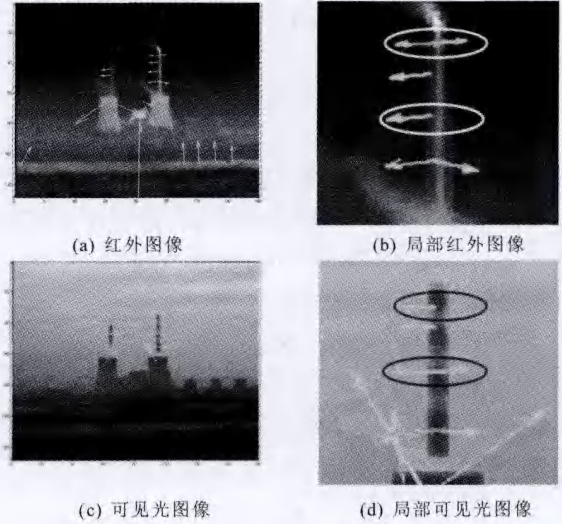


图1 红外与可见光图像梯度方向对比

在特征点 $(x(i), y(i), \sigma_{o,s})$ 的相应尺度上假设该特征点的主方向为 g_L ,沿 g_L 顺时针旋转 90° 设为 $g_\perp$,建立新的坐标系,以此构造一个 16×16 的矩形邻域.图2给出了简化的 8×8 邻域及描述符的结构.如上文所述在两种图像中同名特征点邻域的梯度方向可能相反,因此,本文在统计特征点邻域梯度方向信息时,对梯度方向 $\theta \in [\pi, 2\pi)$ 的特征信息,通过计算 $\theta - \pi \in [0, \pi)$,进行限制,采用与SIFT算法相似的梯度方向统计、直方图高斯加权、描述子归一化等步骤,构造一个64维的类SIFT描述子 $des_{SIFT}(x, y, \sigma_{o,s})$.

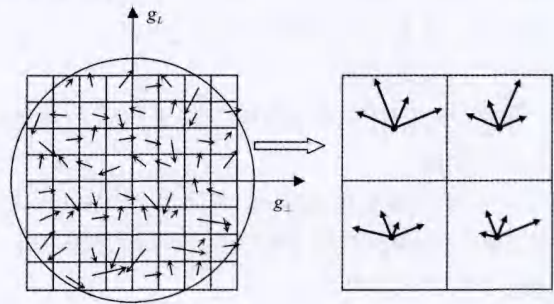


图2 8×8 描述符的生成

2.4 特征点粗匹配

对构造的基于梯度的异源图像特征点描述子 $des_{SIFT}(x, y, \sigma_{o,s})$ 采用最近邻算法(Nearest Neighbor Distance Ratio, NNDR)进行匹配,匹配阈值设置为 $dist_rate$,确定候选匹配点对,其中, $dist_rate$ 设置相对宽松,使匹配结果保留较多的正确匹配

点对,当然,同时也存在更多的误匹配点对因此,本文将对粗匹配结果中的特征点进行基于边缘的特征描述,再采用一次相似性度量,对粗匹配结果中的多对一、一对多、误匹配点对进行剔除,以期在保证较多匹配点对的情况下,保证较高的正确匹配率。

2.5 基于边缘的描述子构造

为对粗匹配的结果进行进一步的提纯,提高算法的正确匹配率.对匹配结果中的每个特征点在相应尺度空间中提取边缘图像,以 g_L 为主方向构造一个半径 $R_2=10$ 的圆形邻域,如图 3 所示.将特征点子邻域划分为 60 个部分,其中,角度均分为 12 等分,距离均分为 5 等分.然后,采用直方图统计特征点邻域的边缘在这 60 个部分的分布数量,再对直方图进行归一化,至此,构造出了 60 维的特征点邻域边缘的描述子 $des_{sc}(i, j)$.

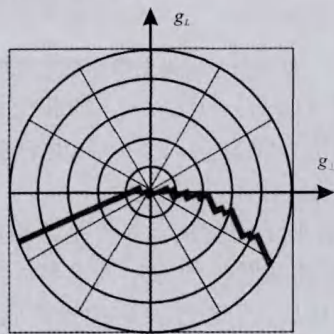


图 3 描述子的生成

2.6 特征点精匹配

由于本文算法只对粗匹配结果中的特征点进行形状上下文描述子的构造,且只对粗匹配结果点对中的两个特征点进行进一步的相似性度量,因此,不存在类似于最近邻匹配算法中可见光描述子对红外描述子进行遍历度量。

因此,本文构建一种简单的基于欧式距离的相似性度量方法。

Step 1. 计算粗匹配结果中可见光图像形状上下文描述子与匹配结果中相应的红外图像形状上下文描述子的欧式距离 d_i ;

Step 2. 求取粗匹配结果欧式距离的平均值,记为 d_{mean} ;

Step 3. 判断粗匹配结果中单个可见光形状上下文描述子与相应红外描述子的欧式距离 d_i 与距离平均值 d_{mean} 的比值, d_i/d_{mean} ;

Step 4. 当 d_i/d_{mean} 小于阈值 $thre$ 时,即为正确匹配点对,保留匹配结果,否则,剔除该匹配结果。

3 实验结果及分析

为证明本文算法的有效性,对本文算法进行仿真实验,软硬件环境为 CPU Dual-Core 2.5GHz,内存 2GB, WindowsXP+SP3, Matlab 2010, 仿真实验采用分辨率为 400×300 的图片. 本文以下实验中正确匹配的误差限设置为 2 像素。

3.1 实验阈值设置

本文算法中有两个重要阈值需要设置,一个是粗匹配过程中最近邻匹配算法的阈值 $dist_rate$, 一个是精匹配过程中相似性度量阈值 $thre$. 通过大量的对比实验发现, $dist_rate$ 设置为 0.75, $thre$ 设置为 0.60 时,匹配效果最好。

3.2 实验结果分析

通过大量对比实验可以看出,本文提出的基于异步多特征红外与可见光图像匹配算法,在粗匹配过程中采用较容忍的匹配阈值,使得保留了较多的匹配点对,再通过精匹配算法对粗匹配结果中的误匹配进行剔除,取得较好的实验结果. 粗匹配的实验结果如图 4 所示。

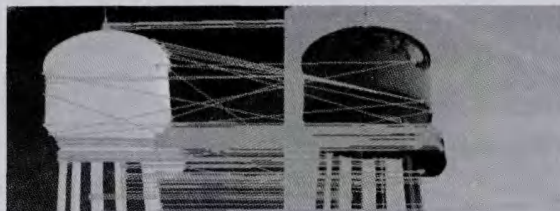


图 4 粗匹配实验结果

在图 4 中,粗匹配的实验结果共保留了 211 对的匹配点对. 再采用精匹配进行误匹配剔除,结果如图 5 所示。

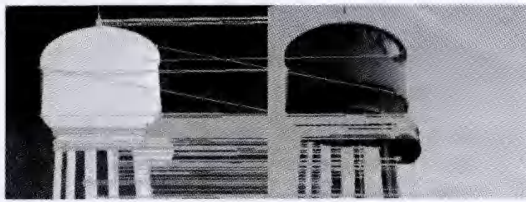


图 5 精匹配实验结果

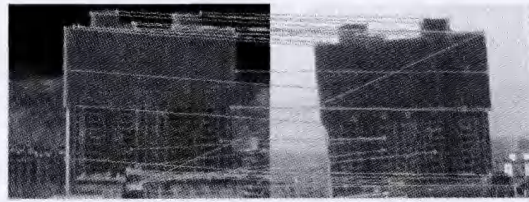
在图 5 中,经过进一步的精匹配之后,实验结果图中共保留了 189 对的匹配结果. 从图中可以看出,经精匹配处理之后,结果图中虽然仍保留一定数量的误匹配点对,但大多数的误匹配点对已有效剔除。

图 6 给出了一组实验结果. 该组实验从相同视角和尺度、视角变换、旋转变换和尺度变换四个方面较为全面地检测本文算法的有效性. 从图中可以看出,虽然存在个别误匹配点,但可以说明本文算法对

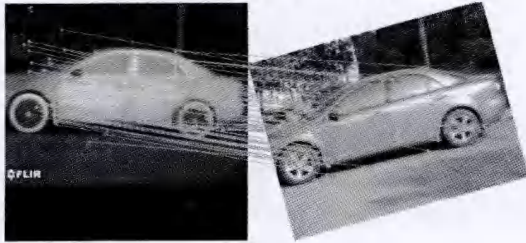
尺度变换具有一定的鲁棒性。



(a) 相同视角和尺度的匹配结果



(b) 视角变换的匹配结果



(c) 旋转变换的匹配结果



(d) 尺度变换的匹配结果

图 6 红外与可见光图像匹配结果

3.3 复杂条件下的匹配效果

本文算法通过构造异步多特征描述子,通过构造第二个描述子,再对粗匹配结果进行提纯,可在保留较多匹配对数的前提下,提高匹配精度。因此,本文算法可适应一些复杂条件下的图像匹配。图 7 给出一组雾天条件下红外与可见光图像的匹配结果。从图中可以看出,本文算法的鲁棒性。

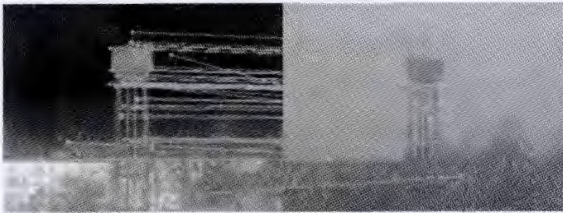


图 7 雾天条件下的匹配结果

同时,本文算法对不同时段红外与可见光图像也能实现有效的匹配。图 8 为一组不同时段下的航拍图,其中,图(a)为白天红外与可见光图像匹配结果,图(b)为白天可见光图像与红外图像的匹配结果。从图(a)和(b)可以看出,不同时段下红外与可见光图像区别较大,部分轮廓边缘信息出现变形、丢失等问题,给图像匹配带来了较大的难度。

由于图源的限制,该组实验采用的图像分辨率仅为 200×200 ,因此,直接影响匹配对数的数量。在图(a)中,本文算法有效匹配数量为 17 点对,若将正确匹配的误差限设置为 2 个像素,在该组匹配结果中,本文算法实现正确匹配对数为 13 点对,正确匹配率为 76.47%。在图(b)实现有效匹配对数为 25 点对,正确匹配对数为 19,正确匹配率为 76.00%。



(a) 白天红外与白天可见光图像匹配结果



(b) 夜晚红外与白天可见光图像匹配结果

图 8 不同时段红外与可见光图像匹配结果

实验表明,本文算法对不同时段红外与可见光图像匹配具有一定的鲁棒性。

3.4 对比实验

2006 年, Bay^[6] 对 SIFT 算法进行改进,采用 Haar 小波响应替代梯度方向信息,构建了一种新的 SURF 图像匹配算法,该算法在图像特征点匹配领域取得广泛地应用。因此,本文采用 SURF 算法对图 6 进行对比实验,实验结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,本文算法与 SURF 算法相比,具有较高的匹配对数和正确匹配对数,正确匹配率也明显高于 SURF 算法。

表 1 对比实验结果

组别	算法	匹配对数	正确匹配对数	正确匹配率(%)
(a)	本文算法	189	176	93.12
	SURF	30	15	50.00
(b)	本文算法	69	51	73.91
	SURF	30	13	43.33
(c)	本文算法	73	57	78.08
	SURF	30	16	53.33
(d)	本文算法	54	42	77.78
	SURF	19	10	52.63

4 结束语

本文构造了一种基于梯度和边缘的异步多特征匹配算法. 该算法采用多尺度 FAST-9 算法进行特征点提取,再采用基于梯度的描述子和最近邻匹配算法对描述子的相似性进行粗略的度量. 而后,构造基于边缘的特征点描述子,对粗匹配结果进行进一步的度量. 实验结果表明,本文算法可实现旋转、尺度和视角不变性,同时该算法能够实现雾天、不同时段的红外与可见光图像的有效匹配. 与 SURF 算法相比,本文算法具有较多的匹配对数和更高的正确匹配率.

参考文献:

[1] Elizabeth A S. Matching methods for causal inference; A review and a look forward[J]. Pub Med Central,

2010, 25(1); 1-21.

[2] Stephen J C, Richard D T, Rade D P. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects[J]. Journal of Dentistry, 2010, 38(2): 2-16.

[3] 王鲲鹏, 徐一丹, 于起峰. 红外与可见光图像配准方法分类及现状[J]. 红外技术, 2009, 31(5): 270-275.

[4] Rosten E, Drummond T, Machine learning for high-speed corner detection[C] //Proceedings of the European Conference on Computer Vision, Austria, 2006, 430-443.

[5] 田裕鹏. 红外检测与诊断技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 140-145.

[6] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool. SURF: speeded up robust features[C] //Proceedings of the 9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria, ECCV, 2006: 404-417.

作者简介:

李俊山 男, (1956-), 博士, 教授. 研究方向为图像处理与目标识别、网络信息安全、电子对抗模拟与仿真.

朱英宏 男, (1983-), 博士研究生. 研究方向为红外图像处理.

赵怀勋 男, (1960-), 硕士, 教授. 研究方向为图像匹配.

杨 威 男, (1982-), 博士. 研究方向为红外图像处理.

徐 攀 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为图像匹配.