

图像直线的描述与匹配算法

朱英宏^{1,2}, 李俊山¹, 赵怀勋³, 杨 威⁴, 胡双演¹

(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: 针对图像直线匹配的难题, 提出了一种基于 Haar 小波响应的直线匹配算法。首先采用 Canny 算法进行直线提取; 再通过统计直线的 Haar 小波响应矢量作为直线的主方向, 避免了图像的旋转代价; 通过构建六级高斯尺度因子, 在相应的尺度空间中将直线邻域划分为互不重叠的子区域; 再计算各子区域的 Haar 小波响应特征, 统计加权的特征均值和方差作为直线描述子; 并对其进行归一化; 最后通过构造的级联特征匹配算法实现直线匹配。实验结果表明该算法能在遮挡、旋转、仿射和尺度变化条件下实现精确匹配, 同时, 该算法在红外与可见光图像中也能实现直线的有效匹配。

关键词: Haar 小波; 边缘提取; 特征描述; 直线匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)08-0031-05

Description and Matching Algorithm for Line Matching

ZHU Ying-hong^{1,2}, LI Jun-shan¹, ZHAO Huai-xun³, YANG Wei⁴, HU Shuang-yan¹

(1 4th Dept 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: In order to resolve the problem of image lines matching, a line matching algorithm based on Haar wavelet response is proposed. Firstly, lines are extracted by Canny algorithm. The statistical linear Haar-wavelet response vector is adopted as the main direction of the straight line, so as to avoid the rotation invariant. Secondly, by constructing six Gaussian scale factors, the neighborhood of straight line is divided into non-overlapping sub-region in the corresponding scale space. Then calculating response characteristics of Haar-wavelet, and using the normalized characteristics of the statistical weighted mean and variance as a linear descriptor. Finally, constructing the cascade feature descriptors is used to achieve wide baseline image matching. Experimental results show that the proposed method is robust to changes in occlusion, rotation, affine and scale. Meanwhile, the method can achieve stable line matching between the IR and visible images.

Key words: Haar-wavelet; edge extraction; feature description; line matching

1 引言

图像匹配是主要解决在不同的光照、不同成像设备和不同视角条件下同一场景的两幅图像匹配。

在基于特征的图像匹配中, 直线特征较点特征包含更丰富的特征信息, 具有更高的可靠性, 且在人造场景中, 直线成为目标描述的重要几何特征, 因此, 基于直线的图像匹配算法广泛应用于目标识别^[1]、三

收稿日期: 2012-10-11; 修回日期: 2012-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61075025, 61175120)

维重建^[2-3]、图像配准^[4]等领域。

在直线匹配过程中,由于不同成像机制、不同天候条件、不同成像视角以及直线提取算法的原因,导致提取的直线不完整、直线过短、直线断裂、直线方向偏移及伪直线提取,直接影响不同图像中同名直线描述符的一致性。为提高直线匹配效果,一种途径是提高直线提取算法性能,另一种途径是采用不同特征提高直线描述符的鲁棒性。

文献[5]中提出的 SURF (Speed Up Robust Features) 算法在光照变化、场景部分遮挡、旋转缩放、视点变化引起的图像变形等问题中表现出的优良特性,采用 Haar 响应取代 SIFT 算法中梯度统计,提高了 SURF 算法的匹配速度和精度。本文对其进行拓展,构造一种基于 Haar 响应的直线描述符,并将其应用于图像直线匹配。

2 基于 Canny 的直线提取

首先采用 Canny^[6] 算法对图像进行边缘提取,进而对边缘进行遍历,构造边缘的链码串;通过对链码串中各像素的方向码的判断,实现边缘图像中直线的提取。通过下式对提取的直线长度进行判断:

$$\text{dis}(g_1 - g_n) \leq L_{th} \quad (1)$$

式中, $\text{dis}(g_1 - g_n)$ 为直线起点 g_1 到终点 g_n 的距离, L_{th} 为判断直线长度的阈值,通过式(1),剔除过短的直线。

3 基于 Haar 描述符的线匹配算法

3.1 建立高斯尺度因子

由于匹配图像和待匹配图像可能存在尺度差异,如果采用单一尺度对两张图像中的直线进行描述,存在尺度差异的图像就可能出现同名直线的描述区域不一致,以此提取的特征信息也将存在差异,导致构造的描述符鲁棒性降低。因此,本文将构造一组不同的尺度空间因子,因子的参数设置为: $s = \{1, 2, \dots, 5\}$ 。

$$\sigma_0 = 1.6 \times 2^{1/3} \quad (2)$$

$$\sigma_s = \sigma_0 2^{(s+1)/3} \quad (3)$$

式中, s 为尺度因子每一级的标号; σ_0 为初始的尺度; σ_s 为第 s 级的尺度。

由此构建了一个分布均匀的六级尺度因子组合。

3.2 确定直线主方向

为了使直线描述子具有旋转不变性,需确定直

线的主方向。其过程分为以下两步:

(1) 分别采用不同的尺度因子,对直线上每个像素点,以 $4\sigma \times 4\sigma$ 的 Haar 小波模板对图像进行处理,求 x, y 两方向的 Haar 小波响应;

(2) 求取直线上每个像素点在 x, y 方向上的 Haar 小波响应之和,该响应之和可构造一个矢量,将该矢量定义为直线的主方向。

3.3 构造直线邻域

为了生成有效的描述符,本文提出对直线进行区域拓展。如图 1 所示,具体步骤如下:

(1) 把直线的主方向设置为 $d_{\perp}$ 方向,沿着 $d_{\perp}$ 方向顺时针旋转 90° 的方向设置为 d_L 方向;

(2) 直线 L 沿 d_L 方向的像素点依次定义为 $g_1, g_2, \dots, g_N$ (假设直线 L 有 N 个像素点);

(3) 对于 g_i 像素点,沿着 $d_{\perp}$ 方向保留 $2\sigma \times 5\sigma$ 的空白区域,生成 Q 个互不重叠的矩形子区域 $G_{i1}, G_{i2}, \dots, G_{iQ}$, 子区域大小为 $5\sigma \times 5\sigma$;

(4) $5\sigma \times Q \times N$ 的区域即为直线邻域。

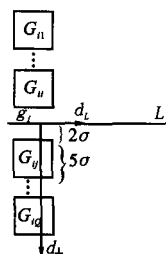


图1 直线区域构造图

3.4 生成直线描述符

生成描述符时,在每个子区域 G_{ij} 中,采用尺寸为 $2\sigma \times 2\sigma$ 的 Haar 小波模板计算响应值,沿 $d_{\perp}$ 方向的为 dx 响应,沿 d_L 方向的为 dy 响应,再对 dx 值、 dy 值取绝对值得 $|dx|$ 、 $|dy|$, 在每个子区域中共进行 25 次的 Haar 小波模板响应值计算,并统计 $\sum dx$ 、 $\sum dy$ 、 $\sum |dx|$ 、 $\sum |dy|$ 作为该子区域的 Haar 特征向量。

计算直线邻域中所有子区域的 Haar 特征向量 V_{ij} , 将所有的 V_{ij} 组合成一个 $4Q \times N$ 的矩阵 $H(L)$ 。

$$V_{ij} = (\sum dx_{ij}, \sum dy_{ij}, \sum |dx|_{ij}, \sum |dy|_{ij})^T$$

$$H(L) = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{Q1} & V_{Q2} & \dots & V_{QN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_Q \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $V_1 = (V_{11} \ V_{12} \ \dots \ V_{1N})$, V_1 是 $4 \times N$ 的矩阵。

为了增强构造的描述符对仿射变换的鲁棒性,本文提出一种加权算法:设直线邻域内任意一个子区域 G_{ij} 的中心点到直线 L 的距离为 d ,对该区域统计的 Haar 特征向量 V_{ij} 进行加权,权值为 $w=(1/2\pi\sigma^2)e^{-d^2/2\sigma^2}$.

$H(L)$ 包含直线邻域所有的 Haar 特征. 然而, $H(L)$ 的矩阵大小取决于直线 L 的长短,对 $H(L)$ 矩阵的行向量进行统计可使矩阵大小与 L 长短无关. 通过对比实验发现对 $H(L)$ 进行均值和方差计算可使最终构造的描述符具有较高的鲁棒性. 因此,对 $H(L)$ 的行向量进行如下运算:

$$m(H(L)) = \text{mean}(V_1 \ V_2 \ \cdots \ V_Q)^T \quad (5)$$

$$s(H(L)) = \text{std}(V_1 \ V_2 \ \cdots \ V_Q)^T \quad (6)$$

式中, $\text{mean}(\cdot)$ 为均值运算, $\text{std}(\cdot)$ 为方差运算, $m(H(L))$ 为对 $H(L)$ 每行进行均值计算结果, $s(H(L))$ 为对 $H(L)$ 每行进行方差计算结果, $m(H(L))$ 和 $s(H(L))$ 均为 $4Q \times 1$ 矩阵.

为了使构造的描述符减小对光照的敏感度,需对 $m(H(L))$ 和 $s(H(L))$ 进行归一化处理,并将这两个矩阵进行串联,构造一个 $8Q$ 维的描述符 $LDH(H(L))$ (Line Descriptor Based on Haar).

$$LDH(H(L)) = \begin{bmatrix} \frac{m(H(L))}{\|m(H(L))\|} \\ \frac{s(H(L))}{\|s(H(L))\|} \end{bmatrix} \quad (7)$$

通过 Haar 特征的均值和方差共同构造描述符时,当直线区域灰度较平滑时,均值 Haar 特征值较大,当直线区域灰度变换较大,包含复杂纹理信息时,方差 Haar 特征值较大. 使得在不同类型图像中构造的描述符均具有较强特征,具有较高的鲁棒性.

4 级联特征匹配

本文构建了一个六级的尺度因子,并分别在不同的尺度因子对提取的直线构造相应的描述符,因此,一条直线将拥有六个不同尺度的特征描述符. 该方法可有效地解决图像匹配的尺度不变性,然而,多构造的特征描述符却直接影响匹配算法的性能. 由于匹配图像和待匹配图像可能存在尺度差异,而确定的两张图像的尺度比值是固定的,所以两张图像中的所有的同名直线用于构造直线邻域的尺度因子的比值也应该是固定的,这样才能保证同名直线提取的邻域包含的信息一致.

因此,本文构造一种级联的基于欧氏距离的特

征匹配算法. 假设匹配图像的尺度因子为 σ_i , ($i=0, 1, \dots, 5$), 在此尺度因子中的直线描述符为 $LDH_{i,n}$, ($n=1, 2, \dots, N$), N 为匹配图像中提取的直线数; 待匹配图像在尺度因子 σ_j , ($j=0, 1, \dots, 5$) 中构造的直线描述符为 $LDH_{j,m}$, ($m=1, 2, \dots, M$), M 为待匹配图像中提取的直线数. 通过计算如下公式:

$$D_{i,j} = \sum_k d_{\min} \|LDH_{i,n}, LDH_{j,m}\|, k = \min(n, m) \quad (8)$$

式中, $d_{\min} \|LDH_{i,n}, LDH_{j,m}\|$ 为尺度因子分别为 σ_i, σ_j 的两张图像中每个描述符之间欧氏距离的最小值, $D_{i,j}$ 为最小值之和.

$D_{i,j}$ 的大小能够反映两张图像之间的尺度关系, $D_{i,j}$ 值越大, 匹配图像和待匹配图像之间尺度差距越大, $D_{i,j}$ 值越小, 两张图像之间尺度差距越小, 也就是两张图像中同名直线在对应尺度因子作用下提取的邻域越相近. 通过计算 $\min(D_{i,j})$, ($i, j=0, 1, \dots, 5$) 可确定匹配图像和待匹配图像构造描述符所需的尺度因子, 最后再通过最近邻匹配算法, 在相应的尺度因子下对图像直线进行进一步的相似度计算, 设定阈值为 dist_rate , 实现图像直线匹配.

5 实验结果与分析

5.1 实验阈值设置

为了验证本文算法的有效性, 在软硬件环境为 CPU Dual-Core 2.5 GHz, 内存 2 GB, WindowsXP + SP3, Matlab 2010 的条件下进行仿真实验, 仿真实验使用了大小为 480×360 的图像.

本文在直线提取过程中对直线的长度进行了判断, 当小于 L_{th} 时, 将该直线剔除. 因为过短的直线包含的 Haar 特征信息不足, 所构造的特征描述符不具有较强的鲁棒性, 直接影响算法的正确匹配率. 因此, 本文通过对大量图像进行检测实验, 图 2 中给出了当 L_{th} 变化时, 图像正确匹配率的平均值.

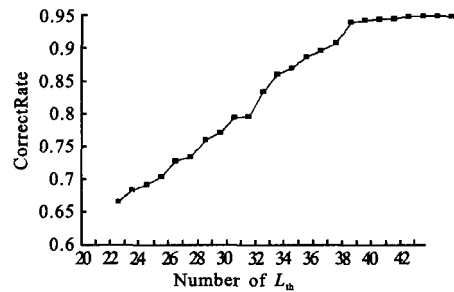


图 2 正确匹配率随 L_{th} 变化曲线图

图 2 的实验结果可以看出, L_{th} 在 $[20, 43]$ 区间,

由小及大的变化过程中,直线正确匹配率出现不断增长的趋势,在 $L_{th}=36$ 个像素之后,正确匹配率仍然呈现上升,但是已较为平缓,同时,若 L_{th} 取值过大,剔除的直线过多,将影响最终的匹配效果,因此,本文采用 $L_{th}=36$ 个像素点作为直线提取判断阈值。

本文算法还有两个参数需要确定:(1)直线邻域子区域的数量 Q ;(2)匹配算法中的阈值 $dist_rate$ 。为了保证较高的匹配精度,通过对大量的实验结果进行分析,本文采用 $Q=8$,构造一个 64 维的 LDH ($H(L)$) 描述子。同时将级联特征匹配算法中的匹配阈值 $dist_rate$ 设置为 0.67,可以得到较好的匹配结果。

5.2 实验结果分析

本文通过对大量图像(图 3)进行对比实验,得出的实验结果表明:(1)本文提出的 LDH 直线描述子由于采用统计直线邻域 Haar 小波响应的均值和方差,构造的描述子具有较高的鲁棒性,当遮挡达到约 60% 时,仍能实现正确匹配。(2)在图像发生旋转 45° 的情况下,本文算法仍能正确匹配。(3)由于本文通过构造不同的尺度因子对直线邻域选取范围进行了缩放,以保证不同尺度图像的同名直线能够选取到内容相似的直线邻域,以此为基础通过统计直线邻域的特征信息而构造的直线描述子具有较高的相似性。同时,本文提出了级联特征匹配算法。从实验结果可以看出本文算法能有效实现算法的精确匹配。本文提出的描述子在视角变换和仿射变换中具有一定的鲁棒性。

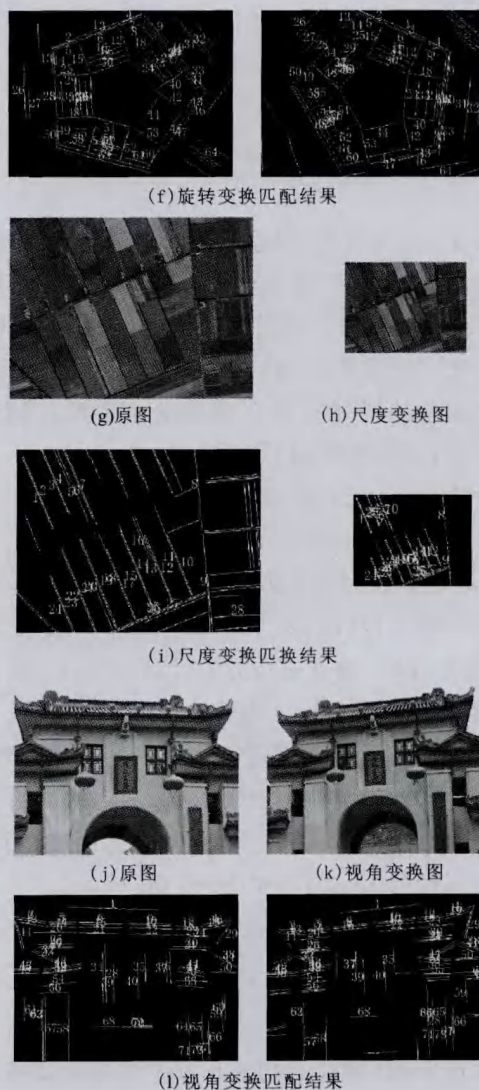
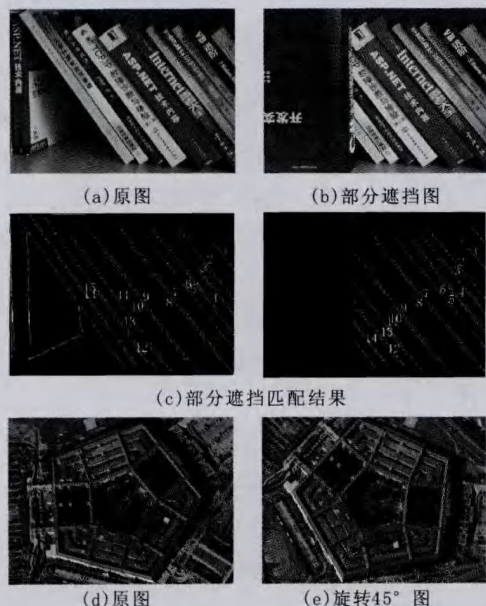


图 3 匹配结果

本文提出的算法在异源图像匹配中也具有一定的鲁棒性。由于成像原理不同,相同物体在异源图像中灰度值差异较大。例如,在红外与可见光图像中,红外图像的灰度值取决于物体的红外辐射特性,在可见光图像中则取决于物体反射可见光的能力。虽然红外与可见光图像灰度差异较大,但是,相同材质的物体分别在红外和可见光图像中的灰度变化基本相似。同时考虑到在红外与可见光图像中,边缘两侧的灰度差值往往不同,如图 4 所示,在可见光图像中水塔的灰度值较高,背景的灰度值较低,而在红外图像中则相反。因此,在红外与可见光图像边缘上计算 Haar 小波在 x 轴、 y 轴的响应时,可能出现响应值相反的现象,对描述子鲁棒性提取很大的挑战。但是本文提出的算法在构造直线邻域时,已将靠近直线的 $2\sigma \times N$ (N 为直线的像素点数) 的区域进行了屏蔽,因此,本文采用 Haar 小波响应的均值和方差构

造的本文描述子在异源图像上实现匹配,理论上是可行的.图4(c)的实验结果验证了上述的理论分析,在21组的直线匹配对中正确匹配对数为16组,正确匹配率为76.19%.

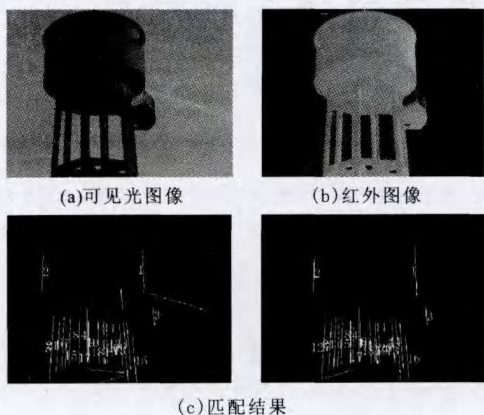


图4 异源图像匹配

6 结束语

本文提出了一种基于 Haar 小波响应的直线匹配算法.实验结果表明本文提出的算法在直线遮挡达到60%时、当图像缩放达4倍时,仍能实现直线匹配;能在旋转、仿射变换条件下实现精确匹配.同时,本文提出的算法在红外与可见光图像中也能实现有效匹配.

参考文献:

- [1] Watanabe T, Tanaka T. Vein authentication using color information and image matching with high performance on natural light[C] //Proceedings of International Joint
- [4] Yamato J, Ohya J. Recognizing human action in time-sequential images using hidden markov models[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition, Champaign, Illinois, 1992:379-385.
- [5] 张见威, 韩国强, 沃焱. 基于边界距离场互信息的图像配准方法[J]. 通信学报, 2006, 27(7):87-93.
- [6] Laptev I. On space-time interest points[J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 64(2):107-123.
- [7] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge

Conference 2009, Fukuoka; Fukuoka International Congress Center, 2009: 3625-3629.

- [2] Yang M Y, Cao Y, McDonald J. Fusion of camera images and laser scans for wide baseline 3D scene alignment in urban environments[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011 (66): 52-61.
- [3] Cao Y, McDonald J. Improved feature extraction and matching in urban environments based on 3D viewpoint normalization[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2012 (116): 86-101.
- [4] Guan T, Wang C. Registration based on scene recognition and natural features tracking techniques for wide-area augmented reality systems[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2009, 11(8): 1393-1406.
- [5] Bay H, Andreas E. SURF: speeded up robust features [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [6] Canny J. A computational approach to edge detect[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.

作者简介:

朱英宏 男, (1983-), 博士研究生. 研究方向为红外图像处理.

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.

赵怀勋 男, (1960-), 硕士, 教授. 研究方向为图像匹配.

杨威 男, (1982-), 博士, 讲师. 研究方向为红外图像处理.

胡双演 男, (1978-), 博士, 讲师. 研究方向为红外图像处理.

(上接第30页)

- [4] Yamato J, Ohya J. Recognizing human action in time-sequential images using hidden markov models[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference Computer Vision and Pattern Recognition, Champaign, Illinois, 1992:379-385.
- [5] 张见威, 韩国强, 沃焱. 基于边界距离场互信息的图像配准方法[J]. 通信学报, 2006, 27(7):87-93.
- [6] Laptev I. On space-time interest points[J]. International Journal of Computer Vision, 2005, 64(2):107-123.
- [7] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge

detection[C]//Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, British, 1988:147-151.

- [8] KTH database [EB/OL] (2006-11-06). <http://www.nada.kth.se/cvap/actions>.

作者简介:

付朝霞 女, (1978-), 博士研究生. 研究方向为计算机视觉与模式识别.

王黎明 男, (1974-), 教授. 研究方向为图像分析与理解、模式识别与机器学习.