

# 一种基于图像纹理的模板匹配算法<sup>\*</sup>

刘铁军, 史泽林, 于海斌

(中国科学院 沈阳自动化所, 辽宁 沈阳 110015)

**摘要:** 为了提高实际工程应用中图像匹配算法计算的实时性, 增强图像匹配算法对复杂场景跟踪的鲁棒性, 提出了一种新的基于图像纹理的模板匹配算法(TTM)。依据邻域内像素灰度变化的趋势分别提取水平、垂直方向二值化的图像纹理矩阵, 然后根据定义的一个相似性判别准则, 分别度量水平、垂直两个方向二值化图像矩阵之间的相关置信度。最后, 通过合成两个方向上的图像匹配置信度结果得到目标配准置信度。实验结果表明, 该算法对图像光照变化、目标部分被遮挡等情况具有较好的适应性。

**关键词:** 纹理特征; 模板匹配; 相关置信度; 相似性度量

**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)03-0319-05

## Template-matching method based on image texture<sup>\*</sup>

LIU Tie-jun, SHI Ze-lin, YU Hai-bin

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015, China)

**Abstract:** To improve real-time performance of image registration and enhance robust performance of target tracking under the complex scene, a novel template-matching method based on image region texture is presented. Binary texture matrixes of horizontal and vertical direction were constructed according to gray direction of neighborhood pixels, and then the similarity measurement criterion was defined to measure correlation credibility between binary texture matrixes of each dimension. The correlation credibility of appointed object was obtained through combination of two-direction registration result at last. Experiments prove that the proposed algorithm is robust for image illumination variance and target partial occlusion.

**Key words:** Texture feature; Template matching; Correlation credibility; Similarity measurement

## 0 引言

图像匹配算法是图像理解、目标识别、人工智能等领域中的关键技术之一, 不同的应用领域对图像匹

配算法具有不同的需求。目标匹配算法的实时性能否得到成功应用的首要条件。此外, 由于应用的实际场景复杂多变, 算法还需要对目标光照变化和目标部分遮挡具有较强的适应性。工程上常用的绝对值差分

收稿日期: 2004-06-13; 修订日期: 2004-07-20

<sup>\*</sup> 基金项目: 中国科学院创新基金项目(CX02-04-02)

作者简介: 刘铁军(1971-), 男, 辽宁沈阳人, 博士生, 研究方向是图像处理与模式识别。

(SSD)<sup>[1-3]</sup> 算法虽然计算简单,易于实现,但是对图像的光照变化、目标图像被部分遮挡等情况比较敏感。基于图像特征点的匹配算法<sup>[4-7]</sup>对目标旋转和伸缩具有一定的适应性,但也无法适用于图像照度剧烈变化和图像部分被遮挡条件下的匹配跟踪,而且这类算法成功应用的前提是必须能够稳定地提取图像中目标边缘点、角点以及曲率变化的拐点,但是在实际应用过程中往往很难可靠地提取这样的特征点集合,使这类算法的应用受到了一定的限制。基于图像匹配的实际应用特点,提出了 TTM 匹配算法。实验结果表明 TTM 算法运算简单,实时性能突出,对匹配图像光照变化和图像部分被遮挡等问题具有很好的鲁棒性。

## 1 图像方向纹理矩阵提取

通常可以作为图像纹理测度的有均匀性、密度、粗细度、粗糙度、规律性、线性度、方向性、频率以及相位等一系列参数。这些性质之间是有相互联系的,人类视觉系统中映射的纹理是它们综合作用的结果。尽管可供度量纹理的指标有很多,但用来描述图像纹理最直观、最常用的测度还是图像的粗糙度和方向性。文中提出的 TTM 算法利用图像像素之间灰度变化的方向性特征,把一幅多灰度图像矩阵变换成一个反映图像纹理方向变化的二值化数据矩阵。这里设  $f(x,y)$  为图像矩阵函数,图像的尺度定义为  $M \times N$ 。

### 1.1 邻域高斯模板平滑滤波

在实际工程应用中采集到的图像数据都不可避免地叠加了各种噪声,往往需要对输入图像数据先进行平滑滤波,然后再进行下一步图像分析、变换。考虑到算法应用的实时性能,这里对输入图像数据采用  $3 \times 3$  邻域高斯模板平滑滤波。高斯模板是通过采样二维高斯函数而得到的,它在图像处理领域应用比较广泛。具体表达式如下:

$$g(i,j) = \frac{\begin{pmatrix} f(i-1,j-1)+2f(i-1,j)+f(i-1,j+1)+2f(i,j-1)+ \\ 4f(i,j)+2f(i,j+1)+f(i+1,j-1)+2f(i+1,j)+ \\ f(i+1,j+1) \end{pmatrix}}{16} \quad \begin{matrix} i=1,2,3,\dots,M \\ j=1,2,3,\dots,N \end{matrix} \quad (1)$$

经过滤波平滑后的图像数据  $g(x,y)$  对图像中噪声的侵袭具有一定的鲁棒性,在此基础上提取方向纹理特征可以获得满意的结果。

### 1.2 二值方向纹理矩阵提取

图像的纹理方向可以由像素邻域之间灰度变化的规律来表达,它可以很好地反映视场中光照的变化、目标的位移以及目标被遮挡等情况。考虑到算法计算的简便和应用的实时性能,在图像一维空间的行方向、列方向上,TTM 算法提取了一组二值化方向纹理矩阵。设  $\{G(m,n)\}$  是一幅经过滤波平滑的  $M \times N$  维数据图像,定义  $\{R(m,n)\}$  为图像行方向纹理矩阵,  $\{C(m,n)\}$  为图像列方向纹理矩阵。

行方向二值纹理矩阵定义为:

$$R(m,n) = \begin{cases} 1 & g(m,n) \leq g(m,n+1) \\ 0 & g(m,n) > g(m,n+1) \end{cases} \quad \begin{matrix} m=1,2,3,\dots,M \\ n=1,2,3,\dots,N \end{matrix} \quad (2)$$

列方向二值纹理矩阵定义为:

$$C(m,n) = \begin{cases} 1 & g(m,n) \leq g(m+1,n) \\ 0 & g(m,n) > g(m+1,n) \end{cases} \quad \begin{matrix} m=1,2,3,\dots,M \\ n=1,2,3,\dots,N \end{matrix} \quad (3)$$

## 2 图像匹配算法

### 2.1 图像相似性度量准则

由于匹配算法的不同,图像匹配的过程和步骤也不尽相同。在匹配过程中,模板图像和目标图像的相似性度量准则是不可或缺的,它直接关系到匹配算法的有效性与复杂性。文中提出的 TTM 算法没有直接利用像素的灰度值,而是采用了由像素灰度变化趋势提取出来的二值纹理矩阵参与相似性度量运算。目标图像与模板图像的相似性度量判别函数可以写成下面一个简单的互相关表达式,其中参数  $\rho$  定义为目标图像和模板图像的匹配置信度,式中  $\rho_r, \rho_c$  分别表示图像行方向、列方向相关系数,而  $R_o(m,n), R_t(m,n)$  分别表示目标图像和模板图像在行方向上的二值纹理矩阵。同理,  $C_o(m,n), C_t(m,n)$  表示目标图像、模板图像在列方向上的二值纹理矩阵。模板尺度为  $M \times N$  维,目标图像是在匹配搜索区域中与模板图像等尺度的相应的待匹配图像矩阵。

$$\rho_r = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\mathbf{R}_o(m,n)\mathbf{R}_t(m,n) + (1-\mathbf{R}_o(m,n))(1-\mathbf{R}_t(m,n))}{2} \right\} \quad (4)$$

$$\rho_c = \frac{1}{M \times N} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\mathbf{C}_o(m,n)\mathbf{C}_t(m,n) + (1-\mathbf{C}_o(m,n))(1-\mathbf{C}_t(m,n))}{2} \right\} \quad (5)$$

$$\rho = (\rho_r + \rho_c) / 2 \quad (6)$$

## 2.2 图像匹配搜索策略

快速灵活的搜索策略是图像配准过程中重要的一环。一般的匹配搜索过程可以采用简单的逐点匹配,首先在搜索区域内部每一个像素点上依次计算目标图像与模板图像的相似性度量值(置信度),所有的计算结果形成一个置信度结果集合,然后在这个集合中排序置信度结果值,找到最佳匹配位置点坐标。如果在实际应用过程中采用软件搜索算法,可以采用序贯式搜索方法,结合由粗到精分层式搜索算法,能够得到比较满意的搜索速度。

## 3 实验结果

为了验证算法的可行性和鲁棒性,分别应用文中提出的 TTM 算法和工程上常用的绝对值差分算法(SSD)对大量的实验图像做了比对实验,实验中搜索区图像大小是  $230 \times 180$ ,模板图像大小是  $32 \times 32$ 。图 1~图 4 是部分实验结果和误差分析图。

### 3.1 在光照变化以及图像部分饱和条件下的图像匹配

以空中拍摄的地面行驶的车辆图像作为匹配图像



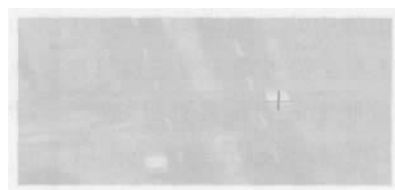
(a) 原始配准图像

(a) Original registration image



(b) 照度变化 40%

(b) Illumination variance 40%



(c) 照度变化 70%

(c) Illumination variance 70%

图 1 TTM 算法在不同照度条件下匹配结果

Fig.1 TTM method matching image under variant illumination



(a) 原始配准图像

(a) Original registration image



(b) 照度变化 40%

(b) Illumination variance 40%



(c) 照度变化 70%

(c) Illumination variance 70%

图 2 SSD 算法在不同照度条件下匹配结果

Fig.2 SSD method matching image under variant illumination

数据源,经过灰度变换,可以得到一组不同照度条件的目标图像,取图像中行驶的车辆作为模板。在图 1 和图 2 中,图(a)均是没有发生光照变化前的原始图像,而图像中左上角叠加的是选取的模板图像,图 1 (b)、(c) 是 TTM 算法在不同光照条件下得到的匹配结果;图 2(b)、(c)是 SSD 算法在不同照度条件下得到的匹配结果;图 3 和图 4 分别是两种算法在序列图像匹配过程中得到的相关误差曲线。从实验结果中可

以看出,当图像中背景的均匀照度不断增加时,文中提出的 TTM 算法仍可稳定地获得目标模板的匹配点坐标,对图像照度的变化具有很好的适应性,同时跟踪点误差一直保持在 $\pm 1$  个像素范围内。而 SSD 算法

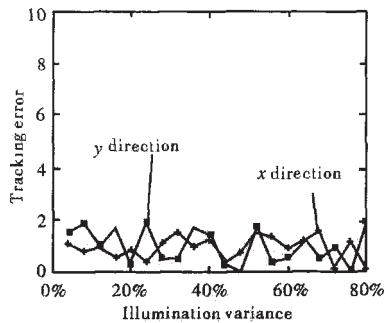


图 3 照度变化下 TTM 算法匹配误差曲线

Fig.3 Error curve of TTM method under variant illumination

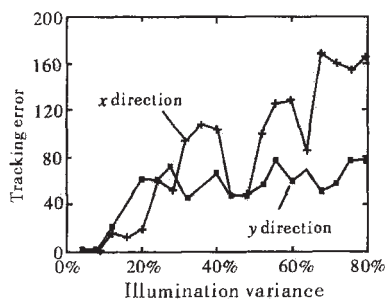
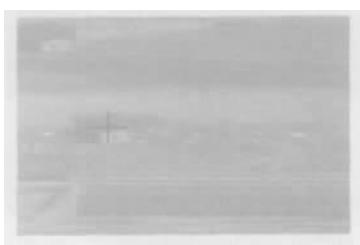


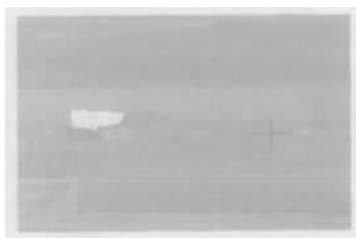
图 4 照度变化下 SSD 算法匹配误差曲线

Fig.4 Error curve of SSD method under variant illumination



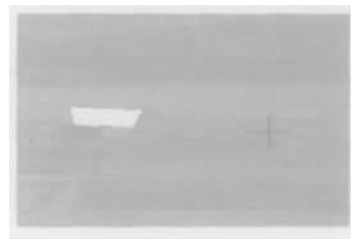
(a) 原始配准图像

(a) Original registration image



(b) 目标被遮挡 20%

(b) Target occlusion 20%

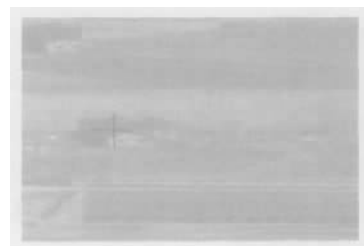


(c) 目标被遮挡 40%

(c) Target occlusion 40%

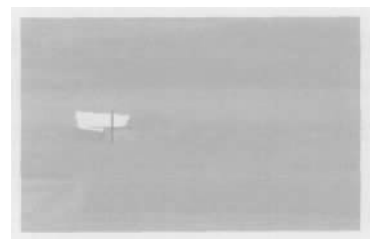
图 5 SSD 算法在目标遮挡条件下匹配结果

Fig.5 SSD method matching image under target occlusion



(a) 原始配准图像

(a) Original registration image



(b) 目标被遮挡 20%

(b) Target occlusion 20%



(c) 目标被遮挡 40%

(c) Target occlusion 40%

图 6 TTM 算法在目标遮挡条件下匹配结果

Fig.6 TTM method matching image under target occlusion

在目标图像照度发生变化后,跟踪点很快漂移,匹配点误差迅速地发散,无法找到匹配模板的真实位置。

### 3.2 在目标图像部分被遮挡条件下的图像匹配

匹配图像是一幅空中拍摄的郊外农庄,模板选取

的是图像中的农房。在图5中目标图像被部分遮挡,应用SSD算法找到的目标匹配点发生了明显的偏差,而在同样条件下从图6中可看出TTM算法具有较好的鲁棒性能。图7和图8分别是两种算法在目标被不同比例遮挡序列图像中的跟踪误差曲线,图中也可清楚地看出TTM算法跟踪稳定,匹配点精度较高。

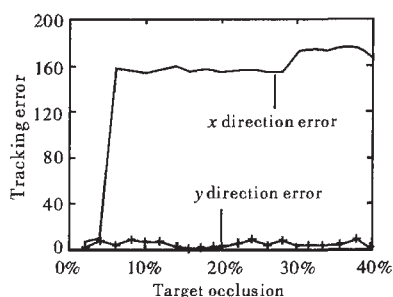


图7 目标被遮挡SSD算法匹配误差曲线

Fig.7 Error curve of SSD method under target occlusion

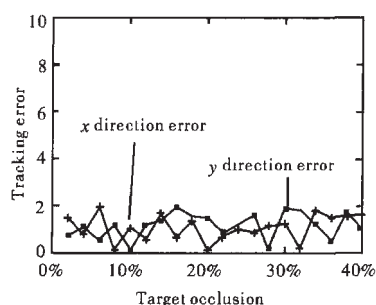


图8 目标被遮挡TTM算法匹配误差曲线

Fig.8 Error curve of TTM method under target occlusion

## 4 结论

文中提出的基于图像纹理特征的匹配方法对照度变化、目标图像部分被遮挡具有较高的鲁棒性能,而且具有计算量小、实现简单、实时性能好等特点。不过,该算法也有一定的局限性,即目标被遮挡比例过大、模板窗口过小都会导致匹配效果不理想,这些问题还需要做进一步研究。

## 参考文献:

- [1] Barnea D I, Silverman H F. A class of algorithms for fast image digital registration[J]. IEEE Trans Computing, 1972, 21(2): 179-186.
- [2] Lisa Gottesfeld Brown. A survey of image registration techniques [J]. ACM, 1992, 24(4): 325-376.
- [3] Silver W M, Robert L. Normalized correlation search in alignment gauging and inspection[A]. SPIE[C]. 1987, 755. 23-34.
- [4] Clark F Olson, Daniel Huttenlocher. Automation target recognition by matching oriented edge pixels[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(1): 53-67.
- [5] Quddus A, Fahmy M M. An improved wavelet based corner detection technique [A]. Proceedings of IEEE International Conference [C]. 1999, 6. 3213-3216.
- [6] 刘铁军, 史泽林, 肖颖杰. 区域匹配相关跟踪方法的一种改进[J]. 信息与控制, 2001, 30(7): 603-607.
- [7] 张桂林, 任仙怡, 张天序, 等. 以一种新的距离度量作为反馈的相关跟踪方法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(6): 624-629.

## 2005年全国光电技术学术交流会暨第十七届全国红外科学技术交流会联合征文通知

中国宇航学会光电技术专业委员会联合各协办单位将于2005年四季度召开“全国光电技术学术交流会暨第十七届全国红外科学技术交流会”(会议地点待定)。会议将邀请国内光电领域的院士、知名专家及学科带头人到会作专题技术报告。会议宗旨是重视学术交流的质量及成效, 扩展各学科及技术领域之间的讯息交流, 最大限度地提供互动互助及协作机会。大会设优秀论文奖、优秀组织奖, 并奖励优秀编委、优秀委员, 同时还将获奖论文推荐到《红外与激光工程》等刊物上发表。

征文内容详见《红外与激光工程》2005年第2期第150页。截稿日期: 2005年7月31日。

联系人: 杨明 刘艳 王红琨 李瑾

通信地址: 天津市225信箱32分箱(300192)

联系电话: 022-23669275, 022-23009708, 022-23009840

传真: (022)23666400 电子邮箱: office9info@vip.sina.com