

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.04.010

基于 KAZE 的自适应模糊图像配准算法^{*}

任克强¹ 胡梦云² 喻玲娟¹

(1. 江西理工大学信息工程学院 赣州 341000; 2. 中国移动通信集团江西有限公司新余分公司 新余 338000)

摘 要:为了提高图像配准算法对于模糊图像的配准性能,提出一种融合非线性尺度空间和空间余弦相似度的自适应模糊图像配准算法。该算法将非线性尺度空间理论应用于图像的局部特征提取,采用 KAZE 算法提取图像的特征点,以构成 M-SURF 特征描述符;利用空间余弦对图像特征点进行匹配,并且根据不同的图像特性进行自适应阈值匹配,以得到便于寻求最优变换关系的合理数量的匹配点对;最后采用 RANSAC 算法滤除误匹配点对,以提升算法精度。实验结果表明,该算法可以有效地提高模糊图像配准的匹配准确率和精度,准确率和精度比 KAZE 算法最大可以提高 25% 和 7.909 像素,具有更好的配准性能。

关键词: 图像配准;非线性尺度空间;KAZE;空间余弦相似度;自适应阈值

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Adaptive registration algorithm of blurred image based on KAZE

Ren Keqiang¹ Hu Mengyun² Yu Lingjuan¹

(1. School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China;

2. Xinyu Branch, China Mobile Group Jiangxi Co. Ltd., Xinyu 338000, China)

Abstract: In order to improve the blurred image registration properties of image registration algorithm, an adaptive blurred image registration algorithm fused nonlinear scale space and space cosine similarity is proposed. The algorithm adopts the nonlinear scale space theory to extract the local feature of the image, and the feature points of the image are extracted by the KAZE algorithm to form the M-SURF feature descriptor. Using the space cosine to match the feature points, and match the adaptive threshold according to the different characteristics of the image to seek the optimal transformation relations of reasonable quantity of matching points. Finally, the RANSAC algorithm is used for excluding mistake matching points to improve the accuracy. The experimental results show that the algorithm can effectively improve the matching accuracy and precision of the fuzzy image registration, the matching accuracy and precision can be improved up to 25% and 7.909 pixels, and has better registration performance.

Keywords: image registration; nonlinear scale space; KAZE; space cosine similarity; adaptive threshold

1 引 言

近年来,图像配准技术发展迅速,主要应用于医学图像处理、目标检测与识别、遥感技术、图像融合、计算机视觉以及智能监控等领域,是这些领域的重要支撑技术之一^[1-4]。图像配准实质是通过一定的算法将不同状态下对于同一场景所拍摄的图像寻求变换关系,并校准和叠

加的过程^[5-7]。配准算法中,基于特征的配准^[8]与基于灰度的配准^[9]相比具有计算量小、适应性以及鲁棒性强的优势,其中基于点特征的配准方法对于图像间的各种复杂变换的适应性最强^[10]。基于特征点的配准算法主要是检测并提取特征点,通过特征点间的匹配关系寻求图像间的变换关系,最后实现不同图像之间的配准。

在图像获取阶段,通常伴有噪声干扰和光照变换等情况导致图像变得模糊。对于模糊图像的配准,文

献[11]采用图像预处理方法解决光照变化引起的模糊问题,但致使图像细节信息丢失。提取图像的梯度信息也能解决此类问题,但是在噪声非常严重或亮度不足时,很难获取到图像的梯度信息。文献[12]针对人脸图像中存在光照变化问题,对图像进行多尺度几何方向解析与自适应 Wiener 滤波,并用自商图模型对图像获取到针对光照具有不变性的特征,此算法能够较好地保留图像中几何特征,但是不能适应于存在很大光照差异的图像配准。文献[13]在多级景象匹配过程中引入相位一致性,其精度较高,但是对于滤波波长的选择难度较大。文献[14]为了实现配准算法的亮度和模糊不变性,通过对比上下文直方图,形成 32 维特征描述符,提高了匹配精度,但是算法的鲁棒性有不同程度的下降。文献[15]将 SURF 特征向量进行双向匹配,以提高匹配正确率,但对于某些模糊图像配准的效果并不理想。文献[16]提出基于非线性尺度空间的 KAZE 算法,该算法具有鲁棒性好以及局部精度高的优势,对模糊图像进行配准有较好的性能,但其固定的阈值不能很好地适应不同类型的模糊图像。因此,本文对文献[16]的算法进行改进,提出一种融合非线性尺度空间和空间余弦相似度思想的算法,用 KAZE 算法提取出图像的特征点,再采用自适应空间余弦进行特征匹配,以提高算法的配准精度。

2 KAZE 特征提取

本文采用 KAZE 算法对图像进行特征提取,KAZE 算法对图像进行特征提取包含构造非线性尺度空间、检测特征点以及构造特征描述符。

2.1 非线性尺度空间

KAZE 算法的非线性尺度空间主要是通过加性算子分裂算法(additive operator splitting, AOS)和可变传导扩散方法来构造。通过 AOS 算法进行非线性扩散滤波之后,稳定的非线性尺度空间可以通过任意步长的方式构建。

2.1.1 非线性扩散滤波

非线性扩散滤波是用某种形式的流动函数的散度来表示不同尺度上图像亮度的变化,用非线性微分方程表示为:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \text{div}(c(x, y, t) \cdot \nabla L) \quad (1)$$

式中: L 为图像亮度, div 为散度算子, ∇ 为梯度算子, $c(x, y, t)$ 为可变传导函数,扩散时间 t 为尺度参数,图像的表达形式与 t 相关, t 越大,图像的表达形式越简单。

可变传导函数的构造方式如下:

$$c(x, y, t) = g(|\nabla L_\sigma(x, y, t)|) \quad (2)$$

式中: ∇L_σ 为图像经过高斯滤波平滑之后 L_σ 的梯度,在

本文中函数 g 对宽度较大的区域优先进行保留,表示形式如下:

$$g = \frac{1}{1 + \frac{1}{k^2} |\nabla L_\sigma|^2} \quad (3)$$

式中:参数 k 是对扩散级别起控制作用的对比度因子,边缘信息保留量与参数 k 成反比。

2.1.2 非线性尺度空间的构造

由于式(1)没有解析解,通常利用数字分析方法对微分方程进行近似估计。一般情况采用显式差分格式求解,但是此方法只能采用小步长,导致收敛速度慢,因此 KAZE 算法选择隐式差分格式,并且引入 AOS 算法求解。

将式(1)离散成隐式差分形式:

$$\frac{L^{i+1} - L^i}{\tau} = \sum_{l=1}^m A_l(L^i) L^{i+1} \quad (4)$$

式中: A_l 为图像传导性矩阵, τ 为步长, m 为 L 的行列乘积, i 为图像序列。

式(4)方程的解如下:

$$L^{i+1} = (I - \tau \sum_{l=1}^m A_l(L^i))^{-1} L^i \quad (5)$$

式中: I 为单位矩阵,此方法对任意时间步长 τ 都绝对稳定。

KAZE 的非线性尺度空间与 SIFT 的线性尺度空间不同之处在于每个层级都采用与原始图像相同的分辨率。非线性扩散滤波模型是以扩散时间 t 为单位的,所以要将以像素为单位的尺度参数 σ_i 转化成以进化时间 t 为单位。在高斯空间中,标准差为 σ 的高斯卷积相当于图像进行时间为 $t = \sigma^2/2$ 的滤波。由此可知尺度参数 σ_i 与进化时间 t 之间的映射关系为:

$$t_i = \frac{\sigma_i^2}{2}, \{i = 0.1 \cdots N\} \quad (6)$$

式中: N 为尺度空间中图像的总数。

对于尺度空间中的图像,计算第 i 个图像的传导性矩阵 A_l ,根据式(5)得出 L^{i+1} ,最后构造非线性尺度空间图像的序列关系。

对于一幅输入的图像,KAZE 算法最先进行高斯卷积操作,目的是减小噪声和形变等干扰;然后再计算图像的梯度直方图,以获取参数 k ,从而确定保留多少边缘信息;最后按照进化时间 t 构造非线性尺度空间,并且通过 AOS 算法求解,最终获取到非线性尺度空间的全部图像序列:

$$L^{i+1} = (I - (t_{i+1} - t_i) \sum_{l=1}^m A_l(L^i))^{-1} L^i \quad (7)$$

2.2 KAZE 特征点检测

KAZE 算法的特征点检测与基于尺度空间算法的特征点检测相似,都是通过求得不同尺度下赫森矩阵行列式的响应值并寻找局部极大值点作为特征点。为规范在

不同尺度下的检测,应对赫森矩阵行列式响应值做归一化处理:

$$L_{\text{Hessian}} = \sigma^2 (L_{xx}L_{yy} - L_{xy}^2) \quad (8)$$

式中: σ 为尺度参数 σ_i 的整数值。 L_{xx} 、 L_{yy} 和 L_{xy} 都是通过滤波之后的图像 L 的二阶微分。

在寻找极大值点时,任何一个像素点都需要与其 3×3 的立体邻域内所有像素点进行非极大值抑制,只有比立体邻域内所有相邻点的值都大才能作为特征点。检测了特征点之后,使用拟合函数的方式对特征点的具体坐标以及尺度进行精确定位。

2.3 KAZE 特征点描述符

2.3.1 KAZE 特征点主方向确定

为保证提取的 KAZE 特征对于旋转变化的稳定性,给提取的特征点提供一个主方向。与 SURF 算法类似,以特征点为圆心、 $6\sigma_i$ (σ_i 是特征点的尺度参数) 为半径搜索,对搜索范围内的所有邻近点计算一阶微分值 L_x 和 L_y ,并对 L_x 和 L_y 赋予高斯权重,使得越靠近特征点的响应越大;将 L_x 和 L_y 看作向量空间中的点集,并以特征点为中心,用 $\pi/3$ 的扇形窗口扫描一圈,对所有角度内点集进行向量累计叠加,主方向就是最长向量的角度方向。

2.3.2 KAZE 特征向量构造

在确定主方向后,以特征点为中心,构造 $24\sigma_i \times 24\sigma_i$ 的正方形区域,将方形区域划分成 4×4 的子区域,每个子区域的大小设置为 $9\sigma_i \times 9\sigma_i$,每两个相邻的子区域都有 $2\sigma_i$ 的重叠带。对于各个子区域都赋予高斯核为 $\sigma_1 = 2.5\sigma_i$ 进行高斯加权,则在各个子区域都形成了一个四维向量: $(\sum L_x, \sum L_y, \sum |L_x|, \sum |L_y|)$,再通过另一个 4×4 高斯核为 $\sigma_2 = 1.5\sigma_i$ 的窗口对每个子区域的 4 维向量进行加权,归一化处理后,每个特征点的描述向量为 $(4 \times 4) \times 4 = 64$ 维。

3 改进的 KAZE 特征匹配

特征向量主要通过特征描述符之间的相似性度量进行特征匹配,KAZE 算法采用特征向量之间欧氏距离的比值法进行匹配,距离比率小于某个阈值则表示匹配成功,否则表示匹配失败。在匹配过程中阈值都是取一个固定值,一般在 $0.4 \sim 0.8$ 。欧氏距离相似度对复杂背景的差异识别较弱,当特征向量的维数增加时,查询到的最近邻点距离和最远邻点距离大小接近,导致误匹配率较高。本文的特征匹配相似性度量采用向量空间余弦方法,与欧氏距离从位置坐标上区分差异不同,余弦相似度从方向上区分差异。

空间余弦相似度通过两个特征向量之间夹角的余弦值进行衡量,计算方法如下:

$$C = \cos\theta = \frac{\vec{x} \cdot \vec{y}}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} \quad (9)$$

式中: $\vec{x}$ 与 $\vec{y}$ 分别表示两个特征描述向量, $\vec{x} \cdot \vec{y}$ 表示两个特征描述向量的内积, $\|\vec{x}\|$ 与 $\|\vec{y}\|$ 分别表示两个特征向量 $\vec{x}$ 与 $\vec{y}$ 的长度。余弦值 C 的范围在 $[-1, 1]$ 之间,当 C 越趋近于 1,则两个特征向量的方向就更加一致,相似度就更高。

两个特征向量是否匹配主要在于判断两个向量的余弦相似度是否大于某个阈值 ε ,大于阈值就表示匹配成功,否则表示匹配失败。阈值 ε 取值不可太大也不可太小,太小会造成误匹配点对数量增加,太大则会引起正确匹配点对数量减少甚至无法确定图像间的变换关系。一般阈值 ε 都是由实验经验而确定的一个固定值,取值范围为 $[0.85, 0.95]$ 。使用固定的阈值为特征点进行匹配并不具有普遍的适用性,考虑到图像有各种不同的变化,使用固定的阈值可能无法达到较好的匹配精度。

为了增强算法的普适性,本文对空间余弦相似度方法进行了改进,提出一种自适应阈值的改进空间余弦相似度方法,对不同性质的图像采用不同的阈值(自适应阈值)进行特征匹配,步骤如下。

1) 假设待配准图像 I_1 中的一个特征向量为 $\vec{x}_i$,在参考图像 I_2 中找出与向量 $\vec{x}_i$ 的余弦值最大的向量 $\vec{y}_i$,并将余弦值记为 C_i 。

2) 在图像 I_2 中找出图像 I_1 中的所有特征点的最大余弦值特征向量,并记录余弦值,则可以得到 N 个最大余弦值(N 是图像 I_1 中的特征点个数)。

3) 计算所有特征点对最大余弦值的平均值 C_a ,

$$C_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i。$$

4) 用一个大于 1 的常数 T 乘以 C_a ,得到最终的阈值 $\varepsilon = TC_a$ 。

特征向量经过自适应阈值的空间余弦匹配之后,虽然可以剔除一些误匹配,但匹配点对中仍然存在一定数量的误匹配点对,本文选择 RANSAC 算法滤除错误匹配点对,通过迭代方法推测出变换的数学模型参数,然后根据数学模型的参数进行特征点过滤,最后估计出所有的正确匹配点对。

4 实验结果与分析

为了测试配准算法的性能,选取几组不同的模糊图像,对文献[15-16]和本文算法进行实验,并以精度、正确匹配点对以及准确率 3 个指标对算法做出分析对比。实验硬件平台: Intel(R) Core(TM) i5-4258 CPU @ 2.4 GHz, 4 GB 内存;实验软件平台: Windows 8.1 64 位操作系统, Visual Studio 2013, Opencv 2.4.8。

配准精度是用来衡量配准结果的好坏,采用两幅图像所有匹配点对之间坐标的均方根误差 RMSE 来衡量, RMSE 的求解方法如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|(x'_i, y'_i) - f(x_i, y_i)\|^2} \quad (10)$$

式中: (x, y) 为待配准图像上特征点坐标, (x', y') 为参考图像上特征点坐标, f 表示变换关系, n 为最终的匹配特征点数目。

采用匹配准确率 A_c 来衡量算法的匹配性能:

$$A_c = N_c / (N_c + N_e) \quad (11)$$

式中: N_c 为最终正确匹配特征点对数目, N_e 为错误匹配特征点数目。

4.1 焦点改变的模糊图像配准

该实验主要比较 3 种算法对于因焦点改变而导致的模糊图像的配准性能,图 1 所示为本文算法配准结果,其中图 1(a)和(b)均是 1 000 × 700 的图像,图 1(a)是因焦点改变而模糊的待配准图像,图 1(b)是参考图像。

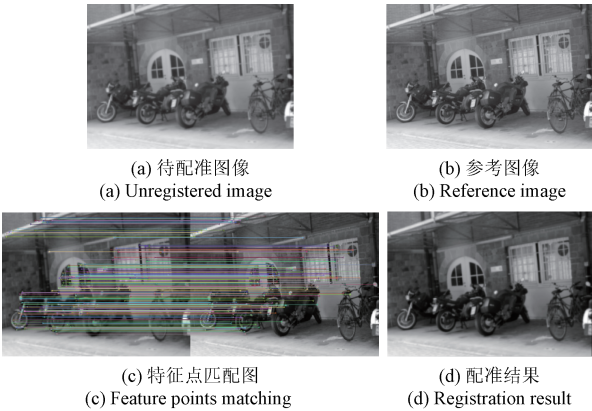


图 1 焦点改变模糊图像的配准

Fig. 1 Registration of blurred image for focus changing

表 1 所示为 3 种算法对于因焦点改变而导致的模糊图像配准的性能对比。本文算法的正确匹配点对是 405 对,总匹配点对是 409 对,准确率是 99.02%;本文算法的正确匹配点对少于文献[15-16],配准准确率高于文献[15-16],配准精度比文献[15-16]有所提高;这是由于本文算法使用了自适应阈值来匹配特征向量,保留了适当的正确匹配点数,提高了配准精度。

表 1 算法性能比较(1)

Table 1 Algorithm performance comparison (1)			
性能参数	文献[15]	文献[16]	本文
正确匹配点对 / 对	437	456	405
准确率 / %	98.21	98.48	99.02
精度 / 像素	1.639	1.527	1.328

4.2 光照变化的模糊图像配准

该实验主要比较 3 种算法对于光照变化造成的模糊图像的配准性能,图 2 所示为本文算法配准结果,其中图 2(a)和(b)均是 802 × 534 的图像,图 2(a)是曝光不足的待配准图像,图 2(b)是参考图像。

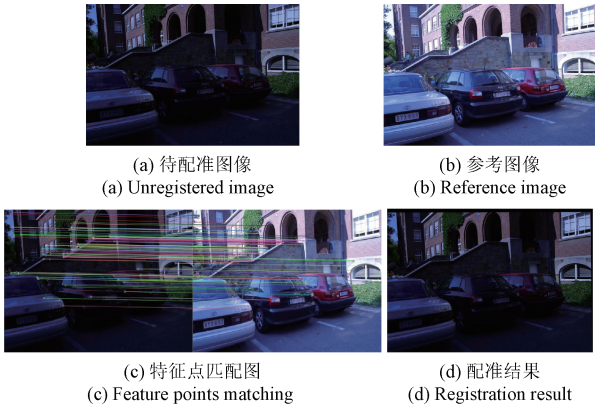


图 2 光照变化模糊图像的配准

Fig. 2 Registration of blurred image for illumination changing

表 2 所示为 3 种算法对于因光照变化而导致的模糊图像进行配准的性能比较。本文算法的正确匹配点对是 165 对,总匹配点对是 172 对,准确率是 95.93%;本文算法的匹配特征点的数目较少,准确率高于文献[15-16],配准精度也优于文献[15-16],这是由于本文算法的匹配相似性度量用空间余弦替代了欧氏距离,从方向上区分差异判别匹配点对,因此获得了更好的配准精度与匹配准确率。

表 2 算法性能比较(2)

Table 2 Algorithm performance comparison (2)			
性能参数	文献[15]	文献[16]	本文
正确匹配点对 / 对	220	201	165
准确率 / %	92.83	93.06	95.93
精度 / 像素	10.311	2.682	2.402

4.3 高斯滤波的模糊图像配准

该实验主要比较 3 种算法对于高斯滤波造成的模糊图像的配准性能,图 3 所示为本文算法配准结果,其中图 3(a)和(b)均是 341 × 341 的图像,图 3(a)为在原始图像的基础上加入了模糊系数为 5.0 的模糊图像,并将其作为待配准图像,图 3(b)为参考图像。

表 3 所示为 3 种算法对于高斯滤波造成的模糊图像进行配准的性能比较。本文算法的正确匹配点对是 40 对,总匹配点对是 40 对,准确率是 100%,匹配准确率高于文献[15-16]的准确率相同,配准精度相比文献[15-16]有所提高,这是由于本文使用 KAZE 算法提取特征点,非尺度空间的构建保留了更多细节信息,特征匹

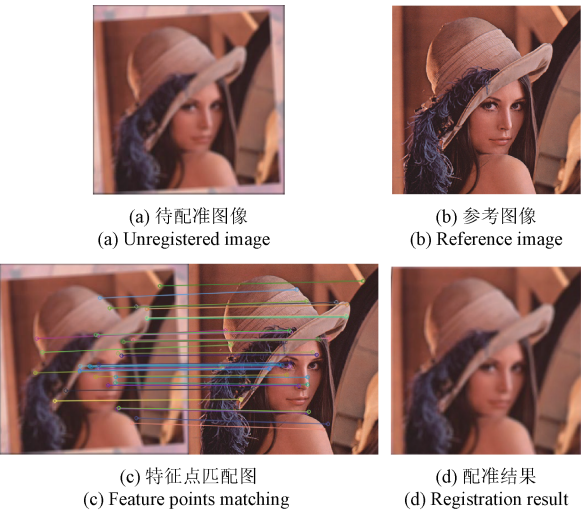


图 3 高斯滤波模糊图像的配准

Fig. 3 Registration of blurred image for Gaussian filtering

配时,空间余弦相似度自适应特征匹配,保留适当的正确匹配点对,提高了对于图像之间变换关系求解的正确性,配准精度更高。

表 3 算法性能比较(3)

性能参数	文献[15]	文献[16]	本文
正确匹配点对 /对	12	50	40
准确率 /%	75	100	100
精度 /像素	4.842	1.527	1.400

4.4 高斯噪声的模糊图像配准

该实验主要比较 3 种算法对于高斯噪声造成的模糊图像的配准性能,图 4 所示为本文算法配准结果,其中图 4(a)和(b)均是 341 × 341 的图像,图 4(a)是将加入了高

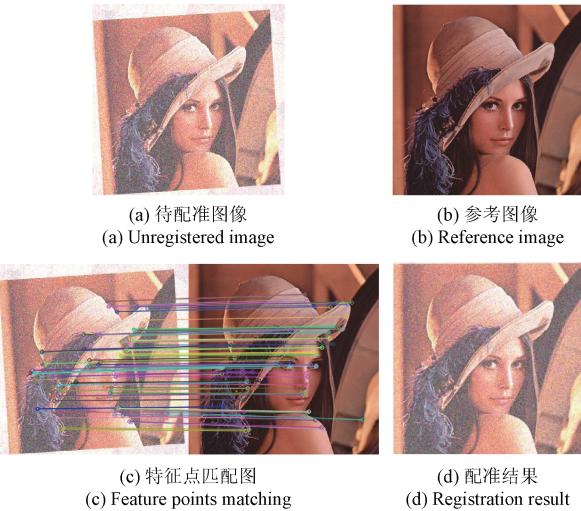


图 4 高斯噪声模糊图像的配准

Fig. 4 Registration of blurred image for Gaussian noising

斯噪声系数 0.3 的模糊图像作为待配准图像,图 4(b)是参考图像。

表 4 所示为 3 种算法对于高斯噪声造成的模糊图像进行配准的性能比较。本文算法的正确匹配点对是 107 对,总匹配点对是 108 对,准确率是 99.07%,配准精度与匹配准确率均优于文献[15-16];这是由于本文引入 KAZE 算法提取特征点对,所提取出的特征点在稳定性方面相比其他局部特征点提取算法更高,方便剔除误匹配点对。空间余弦的自适应阈值既保留了较多的正确匹配点对,又提高了准确率,并且可以更准确的确定图像间的配准关系,提高图像配准的精度。

表 4 算法性能比较(4)

性能参数	文献[15]	文献[16]	本文
正确匹配点对 /对	51	112	107
准确率 /%	83.61	94.12	99.09
精度 /像素	4.149	21.146	1.570

5 结 论

针对目前应用广泛的基于线性尺度空间的算法不能较好的匹配模糊图像的缺陷,本文提出一种融合 KAZE 算法和自适应空间余弦的模糊图像配准算法。基于非线性尺度空间的 KAZE 特征提取算法对模糊图像配准的鲁棒性好且克服了基于线性尺度空间特征提取算法局部精度不高的缺陷。在特征匹配阶段,采用空间余弦自适应阈值匹配方法,增强了算法对于不同图像的普遍适用性,合适的阈值降低了配准的误匹配率,并且能够保留较多的正确匹配点对,因此获得更加精确的匹配关系,提高了配准精度。

参考文献

[1] SONG Z L, LI S, GEORGE T F. Remote sensing image registration approach based on a retrofitted SIFT algorithm and Lissajous-curve trajectories [J]. Optics Express, 2010, 18(2) : 513-522.

[2] 吴成中,王耀南,贺振东,等. 基于机器视觉的注射液 中不溶异物检测方法研究[J]. 仪器仪表学报,2015, 36(7) : 1451-1461.

WU CH ZH, WANG Y N, HE ZH D, et al. Research on foreign insoluble particulate detection method for medicinal solution based on machine vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36 (7) : 1451-1461.

[3] SANGINETO E. Pose and expression independent facial

- landmark localization using Dense-SURF and the Hausdorff distance [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2012, 35 (3): 624-638.
- [4] LI T, GAO L, LI P, et al. An ensemble fruit fly optimization algorithm for solving range image registration to improve quality inspection of free-form surface parts[C]. Information Sciences, 2016, 367: 953-974.
- [5] MARTIN H, CHRISTIAN Z, MICHAEL W. A fast stereo matching algorithm suitable for embedded real-time system[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114(11): 1180-1202.
- [6] 余先川,吕中华,胡丹. 遥感图像配准技术综述[J]. 光学精密工程, 2013, 21(11): 2960-2972.
YU X CH, LU ZH H, HU D. Review of remote sensing image registration techniques [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(11): 2960-2972.
- [7] 任克强,胡梦云. 基于改进 SURF 算子的彩色图像配准算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30 (5): 748-756.
REN K Q, HU M Y. Color image registration algorithm based on improved SURF [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30 (5): 748-756.
- [8] 曲景影,孙显,高鑫. 基于 CNN 模型的高分辨率遥感图像目标识别[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8): 45-50.
QU J Y, SUN X, GAO X. Remote sensing image target recognition based on CNN [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2016, 35(8): 45-50.
- [9] ZOU Y B, DONG F M, LEI B J, et al. Image thresholding based on template matching with arctangent hausdorff distance Measure [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2013, 51(5): 600-609.
- [10] 田健飞. 一种基于曲线拟合的柱面图像匹配算法[J]. 电子测量技术, 2016, 39(2): 61-63.
TIAN J F. Cylindrical image matching algorithm based on curve fitting [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(2): 61-63.
- [11] 李琳辉,赵一兵,张明恒,等. 一种用于智能车环境探测的立体视觉传感器[J]. 传感技术学报, 2010, 23(9): 1247-1251.
LI L H, ZHAO Y B, ZHANG M H, et al. A stereo vision sensor for environmental detection of intelligent vehicle [J]. Chinese Journal Of Sensors and Actuators, 2010, 23(9): 1247-1251.
- [12] 胡华. 改进的自商图算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(4): 179-181.
HU H. Improved self quotient image algorithm [J]. Computer Engineering, 2012, 38(4): 179-181.
- [13] 凌志刚,梁彦,潘泉,等. 一种鲁棒的红外与可见光多级景象匹配算法[J]. 航空学报, 2010, 31 (6): 1185-1194.
LING ZH G, LIANG Y, PAN Q, et al. A robust multi-level scene matching algorithm for infrared and visible light image [J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2010, 31(6): 1185-1194.
- [14] 唐永鹤,卢焕章,胡谋法. 基于 SCCH 特征描述子的图像匹配算法[J]. 电子与信息学报, 2011, 33 (9): 2152-2157.
TANG Y H, LU H ZH, HU M F. An image matching algorithm based on SCCH feature descriptor [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(9): 2152-2157.
- [15] 纪利娥,杨风暴,王志社,等. 可见光和红外反相图像的 SURF 特征双向匹配[J]. 光电工程, 2014, 41 (5): 76-82.
JI L E, YANG F B, WANG ZH SH, et al. Bi-directional matching algorithm based on SURF features for visible and negative image of infrared image [J]. Opto-Electronic Engineering, 2014, 41(5): 76-82.
- [16] ALCANTARILLA P F, BARTOLI A, DAVISON A J. KAZE Features [C]. 12th European Conference on Computer Vision, 2012: 214-227.

作者简介

任克强, 1993 于华中理工大学获得硕士学位, 现为江西理工大学教授、硕士生导师, 主要研究方向为图像与视频处理、信息隐藏、无线传感器网络。

E-mail: renkeqiang@21cn.com



Ren Keqiang received M. Sc. from Huazhong University of Science and Technology in 1993. Now he is professor and M. Sc. tutor in Jiangxi University of Science and Technology. His main research interests include image and video processing, information hiding, and wireless sensor network.

胡梦云, 2013 年于江西理工大学获得学士学位, 2016 年于江西理工大学获得硕士学位, 现为中国移动通信集团江西有限公司工程师, 主要研究方向为图像与视频处理。

E-mail: 1173034266@qq.com



Hu Mengyun received B. Sc. from Jiangxi University of Science and Technology in 2013 and M. Sc. from Jiangxi University of Science and Technology in 2016, respectively. Now she is engineer in China Mobile Group Jiangxi Co. Ltd. Her main research interest includes image and video processing.



喻玲娟,2004 年于赣南师范大学获得学士学位,2009 年于华南理工大学获得硕士学位,2012 年于中国科学院空间科学与应用研究中心获得博士学位,现为江西理工大学副教授、硕士生导师,主要研究方向为合成孔径雷达成像处理、图像处理。

E-mail: yljsmile@163.com

Yu Lingjuan received B. Sc. from Gannan Normal University in 2004, M. Sc. from South China University of Technology in 2009, and Ph. D. from National Space Science Center, Chinese Academy of Science in 2012, respectively. Now she is associate professor and M. Sc. tutor in Jiangxi University of Science and Technology. Her main research interests include synthetic aperture radar imaging and image processing.

是德科技 PAM-4 测试技术解决方案照亮 400G 研发前景

高度集成的 400G 研发方案不仅简化了硬件外围连线,而且打通了从设计到测试的阻碍墙

新闻要点:

- 行业领先的采样示波器,带宽指标高达 100 GHz,可用带宽高达 140 GHz,每个模块支持多达 4 个通道
- 高度集成化的 PAM-4 误码分析仪,支持 64GBaud,内置去嵌入、抖动注入和非线性眼图生成
- 华为使用 Keysight M8196A 任意波形发生器演示其 112Gbps PAM-4 光信号传输系统

是德科技近日宣布行业领先的 400G 通信研发方案,不仅打通了从建模、设计到发射和接收验证测试的所有环节,而且设计仿真阶段就可以使用仪器仪表中的测试软件来分析和验证,后期样品的研发验证也可以用前期的仿真工具进行推理演算,不同担心研发不同阶段因工具不同而带来的差异。

为进一步降低生产测试费用,Keysight 的 N1092 DCA-M 系列没有显示屏的多通道采样示波器,专为 100G/200G/400G 光器件生产研发而优化,一个模块可支持 4 个通道。其设计有三个目标,一是维持甚至超越业界最好的 86100D 采样示波器测量精度,二是将测试所需硬件的费用降低一半,三是将测试系统吞吐率改进 3 倍以上。针对采用相关技术的设计,Keysight 专门为降低测试成本设计的 N4392A 一体化光调制域分析仪不仅

内置光座,而且将成本大大降低。

为进一步满足研发的高端需求,Keysight 的 N1046A 采样示波器模块带宽指标高达 100 GHz,可用带宽高达 140 GHz,一个模块支持多达 4 个通道;而 M8040A 误码分析仪模块,解决了目前市场上 PAM-4 错误检测方案的拼凑问题,解决了用两路 NRZ 组合成一路 PAM-4 不能生成任意非线性眼图的问题,也消除了将 PAM-4 分解成两路 NRZ 来测误码带来的不反映被测对象真实信号质量情况的问题,内置去嵌入、抖动注入等功能,更是大大简化了外围信号连接,任意波形发生器高达 92 GSa/s,华为利用 M8196A 来演示器 112 Gbps PAM-4 光传输系统。

“我们很高兴在 400G 及通向未来演进道路上,走在业界前列,”是德科技副总裁、网络和数据中心事业部总经理 Joachim Peerling 表示:“是德科技一直致力于数据中心和电信测试领域,并支持整个有线和无线生态链,从芯片开发到终端制造,用我们的前沿测试解决方案帮助产业链克服重要的设计和测试的挑战。”

高速通信的需求逐步加速了下一代技术创新的脚步,是德科技正在帮助行业领先的公司,研发下一代 400G 和 1T 技术。