

基于加速鲁棒特征的木材显微图像自动配准方法

张广群¹, 吴伟志², 汪杭军^{1,3}

(1. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省森林资源监测中心, 浙江 杭州 310020;
3. 中国科学技术大学 自动化系, 安徽 合肥 230026)

摘要: 针对显微镜观测视野狭小而难以采集到全局图像的问题, 提出了一种基于加速鲁棒特征(SURF)的木材显微图像自动配准方法。首先使用 SURF 检测并描述兴趣点, 通过最近邻匹配得到匹配点对后, 用双向匹配和 RANSAC 算法剔除错误匹配。然后利用最小二乘法和匹配结果进行模型参数估计, 最后通过插值获得配准图像。对阔叶材显微图像配准实验结果表明, 该方法具有较好的鲁棒性, 无论图像是否有旋转, 都可以实现自动的配准。比起尺度不变特征转换(SIFT), 由于用 SURF 得到的兴趣点数量更少, 运算速度更快, 总的匹配速度提升了 5 倍左右, 缩短了整个配准过程的时间, 算法更具有实时性。图 4 表 1 参 17

关键词: 林业工程; 木材图像; SURF; 图像配准

中图分类号: S781.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)04-0600-06

A new wood microscopic image registration approach based on speeded up robust features (SURF)

ZHANG Guang-qun¹, WU Wei-zhi², WANG Hang-jun^{1,3}

(1. School of Information Engineering, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Center for Forest Resource Monitoring of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China; 3. Department of Automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China)

Abstract: To solve the problem of narrow fields for microscopes, a new method of microscopic image registration based on speeded up robust features (SURF) was developed. First, feature points were extracted using SURF, and corresponding matching points were found using the nearest neighbor method. Wrong matches were eliminated using the Random Sample Consensus (RANSAC) algorithm and bilateral matching. Then, transformed parameters were estimated using least squares techniques and matching the results. Finally, through interpolation, the registered image was achieved. Registration results of multiple wood images showed that the algorithm was robust. Regardless of whether the image is rotated, automatic registration can be achieved. The accuracy of our method is comparable with SIFT (scale-invariant feature transform) image registration method while registration is about 5 times faster. Therefore, algorithm is more real-time. [Ch, 4 fig. 1 tab. 17 ref.]

Key words: forest engineering; wood image; speeded up robust features (SURF); image registration

由于显微镜的视野局限, 在保证一定分辨率的前提下, 常常只能得到局部的图像, 而无法采集到全局的图像。这对木材图像识别造成了一定的困难, 也为木材图像的后续分析处理带来了一定的问题。解决该问题的方法是图像拼接, 但传统的手工拼接方法效率低, 拼接精度与人为的因素、图像或照片的明暗、深浅程度和色彩紧密相关, 拼接后的图像往往不协调, 不利于图像的后续处理。为了解决这个问

收稿日期: 2011-09-19; 修回日期: 2012-01-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60970082); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3090061); 浙江省教育厅资助项目(Y201121245, 2045210070)

作者简介: 张广群, 讲师, 从事图像处理等研究。E-mail: gloria@zafu.edu.cn。通信作者: 汪杭军, 副教授, 博士, 从事图像处理和模式识别等研究。E-mail: whj@zafu.edu.cn

题，必须实现图像的自动拼接。图像配准与拼接技术已经广泛应用于航空航天、虚拟现实、计算机图形学和计算机视觉等领域^[1]。图像配准和图像融合是图像拼接的 2 个关键技术。图像配准是图像融合的基础，而且图像配准算法的计算量一般非常大，因此图像拼接技术的发展很大程度上取决于图像配准技术的创新。图像拼接按配准方式主要分为 2 类^[1]：基于区域的拼接方法和基于特征的拼接方法。前者存在计算复杂度高、对图像灰度敏感等缺点，而基于特征的拼接方法，主要通过提取图像的点、线、轮廓等特征进行拼接，可以克服这些缺点，具有速度快、精度高等优点，成为近年来研究的热点。SIFT (scale-invariant feature transform, 尺度不变特征变换)^[2-3]是其中之一。SIFT 作为一种优秀的算法已经被很多文献应用于图像配准与拼接领域^[4-8]。但传统的 SIFT 方法数据量大、计算耗时长。为了进一步提高木材图像配准的运算速度和精度，本研究提出一种基于 SURF^[9](speeded up robust features, 加速鲁棒特征)的木材图像配准算法。

1 研究方法

SURF 是由 Herbert Bay^[9]在 2006 年提出的一种特征提取算法，包括兴趣点检测和兴趣点描述 2 个部分。该算法提取的特征具有尺度不变、旋转不变的性能，对光照变化和仿射、透视变换具有部分不变性为标准。SURF 在重复度、独特性、鲁棒性 3 个方面，均超越或接近以往提出的同类方法，并且在计算速度上具有明显的优势^[10-13]。SURF 已经被成功地应用于基于视觉移动机器人导航及识别处理等^[14-15]。本研究提出的基于 SURF 算法的木材图像配准算法描述如下：①输入参考和待配准的木材图像；②用 SURF 方法提取特征点，用最近邻匹配得到 2 幅图像的匹配点对；③利用最小二乘法和②中的匹配结果进行模型参数估计；④利用③中得到的模型参数对待配准图像进行重采样和插值，获得配准结果。算法流程图如图 1 所示。

1.1 SURF 检测及描述

1.1.1 兴趣点的检测 检测的目标是找到尺度

不变点，SURF 检测器是基于计算近似的 Hessian 矩阵检测兴趣点，图像 I 中 $X=(x, y)$ 的点，在尺度 σ 上的 Hessian 矩阵定义为：

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中， $L_{xx}(x, \sigma)$ 表示高斯二阶偏导在 x 处与图像 I 的卷积。 $L_{xy}(x, \sigma)$ 和 $L_{yy}(x, \sigma)$ 有相似的含义。

接着用方框滤波近似代替二阶高斯滤波，用积分图像^[16]来加速卷积以提高计算速度。在原始图像上，通过扩大方框的大小形成不同尺度的图像金字塔。构建 9×9 的方框滤波模板值，若一个模板的尺寸是 $N \times N$ ，则该模板所对应的尺度为 $S=1.2 \times 9/N$ 。依次用不同尺度的模板对原始图像做卷积，在卷积过程中用公式(2)：

$$\det(H_{\text{approx}}) = D_{xx} + D_{yy} - (0.9D_{xy}) \quad (2)$$

计算在每一点的响应，把这些响应记录下来，就得到了由不同尺度 σ 对应的响应图，从而构成了 3 维尺度空间。

1.1.2 兴趣点定位 根据 Hessian 矩阵求出尺度图像在 (x, y, σ) 处的极值后，在极值点的 $3 \times 3 \times 3$ 的立体邻域内进行非极大值抑制。只有比临近的 26 个点的响应值都大的点才被选为兴趣点。为了使兴趣点具

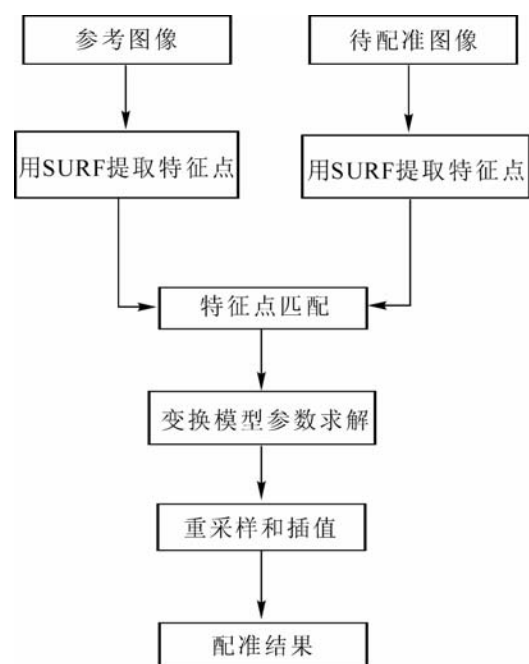


图 1 基于 SURF 的图像配准算法流程图

Figure 1 Block graph of image registration algorithm based on SURF

有亚像素的精度,利用文献[17]的中3维2次函数拟合方法进行精确定位。至此已经得到兴趣点的位置、尺度信息 (x, y, S) 。

1.1.3 兴趣点的描述 与SIFT等算法类似,SURF的兴趣点描述算子所描述依然是兴趣点某个小邻域内的灰度分布信息。SURF使用一阶Haar小波在 x, y 方向的响应作为构建特征向量的分布信息。把相对于主方向的水平和垂直方向的Harr小波响应分别记作 d_x 和 d_y ,同样赋予响应值以权值系数,以增加对几何变换的鲁棒性;然后,将每个子区域在水平和垂直方向的Harr小波响应及响应的绝对值分别进行相加形成 $\sum d_x, \sum d_y, \sum |d_x|, \sum |d_y|$ 。对每个子区域生成一个四维的描述符向量 $V_{sub}=(\sum d_x, \sum |d_x|, \sum d_y, \sum |d_y|)$,因此,对每一特征点,则形成 $4 \times (4 \times 4) = 64$ 维的描述向量,再进行向量的归一化,去除光照变化的影响,得到特征点的描述符。如果 $d_x, |d_x|$ 求和时分成 $d_x < 0, d_x \geq 0$ 等2种情况,相应的在对 $d_y, |d_y|$ 求和时分成 $d_y < 0, d_y \geq 0$ 等2种情况,就会得到128维的描述子向量。

1.2 兴趣点匹配

1.2.1 兴趣点匹配 检测出图像的兴趣点之后,就要在2幅图像之间完成这些兴趣点的匹配,也就是把反映相同物理位置的兴趣点之间建立起对应关系。因为只有建立起这种对应关系之后,才能计算出2幅图像间的几何变换模型,从而完成后面的配准工作。匹配兴趣点的依据就是SURF算法为每个兴趣点所构建的特征向量。利用2幅图像中特征向量间的欧氏距离的相似性来判断特征点是否匹配。为提高特征点匹配的稳定性,一般采用最近邻匹配方法。假设需要对给定的图像I1和图像I2进行匹配,抽取图像I1特征向量 $X\{x_1, \dots, x_n\}$ 和其SURF描述子向量 $D=\{desc1, \dots, descn\}$,对任一个关键点 X_i ,查找该特征点在图像I2中的2个最近邻关键点,假设 d_1 表示最近的距离, d_2 表示次近距离,如距离之比 $d_1/d_2 < T(T=0.6)$,则接受这一对匹配点。

1.2.2 双向匹配和随机采样一致算法(RANSAC)剔除误配点对 计算SURF特征向量时,同一个点可能有多个方向,因此,被提取为不同的特征点,它们中间的全部或者部分可能产生正确的匹配点对,但是实际上是同一点,此时就会产生重复匹配现象。由于上述方法中的单向匹配,提出双向匹配的方法,基于第1次匹配结果,反过来求第2个特征集中已被匹配的关键点在第1个特征集中的匹配,若为同一点则保留,否则去除。最后,将在去除误匹配点方面取得较大成功的RANSAC(random sample consensus)算法应用于剩下匹配点对,进一步提高匹配精确度。随机采样一致算法是目前广泛采用的一种剔除误配点的方法。该过程可分为3步:①随机选取若干组最小点集估计参数,这里是选取2个。②用每次估计得到的参数,计算每组假设对应的距离 d ,通过与门限值比较,判断出内点和外点,把每次得到的内点数量记录下来。③找出内点数量最多的估计(内点数目相等时,选择标准方差最小的点集)。然后把该估计所判断出的外点剔除。然后用所有内点来做最后的参数估计。

1.3 变换模型估计

在2幅图像相互对应的兴趣点之间完成匹配之后就可以通过这种对应关系估计它们之间的几何变换模型,假设图像间存在着放射变换关系:

$$H = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

设 $m=(x_1, y_1), n=(x_2, y_2)$ 是匹配的特征点对,则有:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

将算法得到的匹配点代入式(4),进行迭代计算,利用最小二乘法解出参考图像和待配准图像间的变换模型参数。

1.4 坐标映射与图像插值

在完成几何变换模型的估计之后,就要利用得到的单应矩阵 H 把待配准图像中的每一点映射到参考图像的坐标系中去,待配准图像在完成坐标映射之后,其像素点有可能落在非网格位置,这就需要图

像插值。最近邻插值，双线性插值，双三次插值是最常用的 3 种插值方法。其中，双线性插值法折衷精度和计算量是最常用的插值方法，也是本研究中采用的方法。

2 结果分析

图 2 和图 3 中的阔叶材显微参考图像和待配准图像。首先，将彩色图像转化为灰度图像，然后再用 SURF 和 SIFT 方法分别提取各自的特征点，配准结果如图 2 和图 3 所示。图 2a 为参考图(300 × 300)；图 2b 为待配准图(300 × 300)；图 2c 为 SURF 配准后图像；图 2d 为 SIFT 配准后图像。图 3a 为参考图(200 × 200)；图 3b 为待配准图(200 × 200)；图 3c 为 SURF 配准后图像；图 3d 为 SIFT 配准后图像。

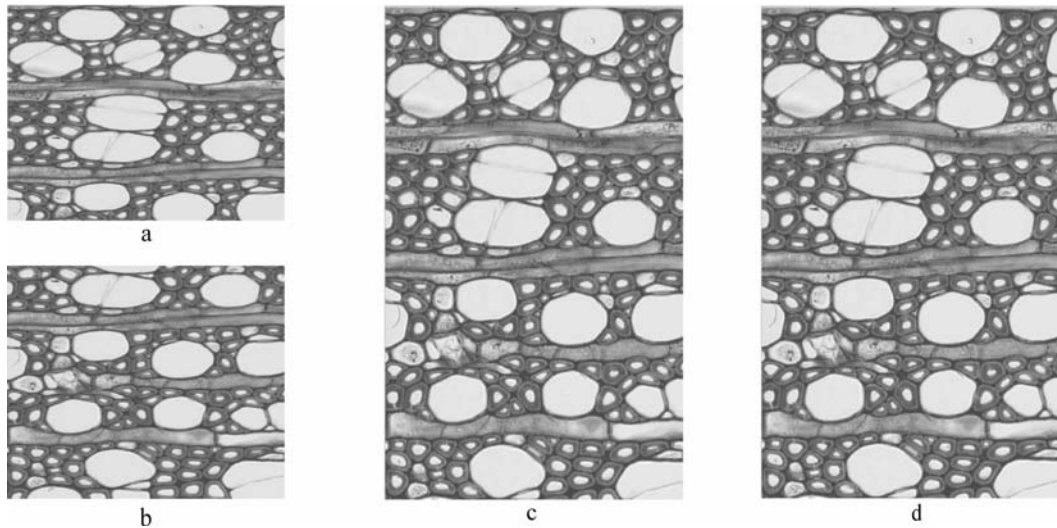


图 2 有平移图像配准结果图

Figure 2 Registration results with translated images

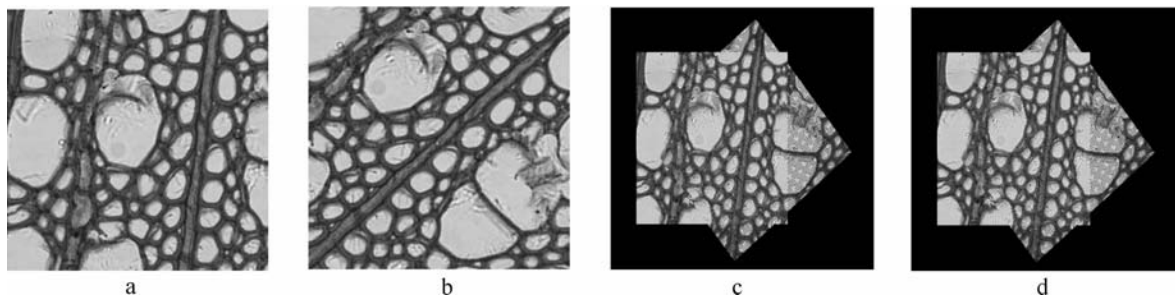


图 3 有旋转图像配准结果图

Figure 3 Registration results with rotated images

由图 2 和图 3 可知，使用基于 SURF 的图像配准方法与基于 SIFT 的图像配准方法，在精度方面处于同一个等级，2 种方法都可以达到亚像素的配准精度。SURF 方法用在图像配准中的优越性主要在于运算速度上，2 种方法的时间比较如表 1 所示。

表 1 SURF 与 SIFT 的耗时比较

Table 1 Comparison of time of SURF 与 SIFT

方法	阔叶材显微图像	兴趣点数	匹配点对	耗时/s
SURF 方法	图 1a 和 图 1b	405 和 418	95	0.890
	图 2a 和 图 2b	219 和 214	28	0.650
SIFT 方法	图 1a 和 图 1b	1 560 和 1 620	260	4.630
	图 2a 和 图 2b	1 123 和 1 080	210	3.520

比较表 1 兴趣点个数和匹配点对以及所需时间可知: 比起 SIFT, 用 SURF 得到的兴趣点数量更少, 由于方框滤波和积分图像的近似代替, 运算速度更快, 总的匹配速度提升了 5 倍左右, 缩短了整个配准过程的时间, 算法更具有实时性。

同时, 从图 4 中看出, 在木材的微观结构图像中提取的特征点主要分布在管胞中, 而在导管中则较少(导管内像素变化较均匀所致)。虽然图像上具有很多管胞, 但是每一个管胞在大小和形状上均存在着一定的差异。因此, 配对的管胞具有唯一性, 不会造成误匹配的问题。

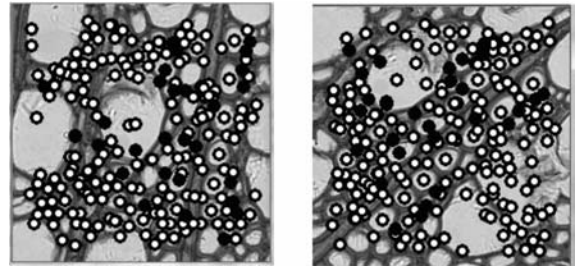


图 4 特征点提取图

Figure 4 Extracted feature points

3 结束语

针对显微镜观测木材图像视野狭小等特点, 本研究提出了一种基于加速鲁棒特征(SURF)特征的显微图像自动配准方法, 并与基于尺度不变特征转换(SIFT)算法的木材显微图像配准方法进行准确度、实时性和鲁棒性的比较, 实验结果表明, 本方法在精确度上和基于 SIFT 算法的木材图像配准方法相当, 但速度有极大提高, 更具实时性, 并表现出较强的鲁棒性。

参考文献:

- [1] ZITOVÁ B, FLUSSER J. Image registration methods: a survey [J]. *Image & Vision Comput*, 2003, **21** (11): 977 – 1000.
- [2] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//JOHN K T. *International Conference on Computer Vision*. New York: IEEE, 1999: 1150 – 1157.
- [3] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. *Int J Comp Vision*, 2004, **60** (2): 91 – 110.
- [4] 赵向阳, 杜利民. 一种全自动稳健的图像拼接融合算法[J]. *中国图象图形学报*, 2004, **9** (4): 417 – 422.
ZHAO Xiangyang, DU Limin. An automatic and robust image mosaic algorithm[J]. *J Image & Gr*, 2004, **9** (4): 417 – 422.
- [5] 邓熠, 李智勇, 粟毅. 仿射不变特征提取算法在遥感影像配准中的应用[J]. *中国图象图形学报*, 2009, **14** (4): 615 – 621.
DENG Yi, LI Zhiyong, SU Yi. Extraction of affine invariant feature for remote sensing image registration [J]. *J Image & Gr*, 2009, **14** (4): 615 – 621.
- [6] 李芳芳, 肖本林, 贾永红, 等. SIFT 算法优化及其用于遥感影像自动配准[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2009, **34** (10): 1245 – 1249.
LI Fangfang, XIAO Benlin, JIA Yonghong, et al. Improved SIFT algorithm and its application in automatic registration of remotely-sensed imagery [J]. *Geom & Inform Sci Wuhan Univ*, 2009, **34** (10): 1245 – 1249.
- [7] 梁栋, 颜普, 朱明, 等. 一种基于 NSCT 和 SIFT 的遥感图像配准算法[J]. *仪器仪表学报*, 2011, **32** (5): 1083 – 1088.
LIANG Dong, YAN Pu, ZHU Ming, et al. Remote sensing image registration algorithm based on SIFT and NSCT [J]. *Chine J Sci Instrum*, 2011, **32** (5): 1083 – 1088.
- [8] 王玉亮, 沈建新, 廖文和. 基于尺度不变特征的眼底图像自动配准与拼接[J]. *南京航空航天大学学报*, 2011, **43** (2): 222 – 228.
WANG Yuliang, SHEN Jianxin, LIAO Wenhe. Automatic fundus images registration and mosaic based on SIFT feature [J]. *J Nanjing Univ Aeron & Astronaut*, 2011, **43** (2): 222 – 228.
- [9] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T, et al. Surf: speeded up robust features[J]. *Comput Vision Image Underst*, 2008, **110** (3): 346 – 359.
- [10] BAY H, TUYTELAARS T. SURF: speeded up robust features [C]//KOSTAS D. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*. Berlin: Springer, 2006: 404 – 417.
- [11] CHRISTOFFER V, ACHIM L. SIFT, SURF and seasons: long-term outdoor localization using local features [C]//

- WOLFRAM B. *Proc. European Conference on Mobile Robots*. Amsterdam: North-Holland Publishing, 2007: 253 – 258.
- [12] ARTURO G, OSCAR M, MONICA B, *et al.* A comparative evaluation of interest point detectors and local descriptors for visual SLAM [J]. *Mach Vision & Appl*, 2009, **21** (6): 905 – 920.
- [13] MURILLO A C, GUERRERO J J, SAGUES C. Surf features for efficient robot localization with omnidirectional images[C] //SETH H. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. New York: IEEE, 2007: 3901 – 3907.
- [14] FRONTONI E, ASCANI A, MANCINI A, *et al.* Performance metric for vision based robot localization [C] // WOLFRAM B. *Lecture Notes of the Workshop on Experimental Methodology and Benchmarking in Robotics Research, Robotics Science and Systems Conference, Workshop on Good Experimental Methodologies*. New York: IEEE, 2008: 1 – 6.
- [15] DAYOUB F, DUCKETT T. An adaptive appearance-based map for long-term topological localization of mobile robots [C]// RAJA C. *Proc of the IEEE/RSJ Intern Conf on Intelligent Robots and Systems*. York: IEEE, 2008: 3364 – 3369.
- [16] VIOLA P, JONES M. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple [C]// PAUL A V. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Conference on Vision and Pattern Recognition*. New York: IEEE, 2001: 511 – 518.
- [17] BROWN M, LOWE D G.. Invariant features from interest point groups [C] //DAVID M. *Proceedings of the 13th British Machine Vision Conference*. Malvern: British Machine Vision Association, 2002: 656 – 665.

浙江农林大学获 2012 年度 教育部人文社科研究基金项目 15 项

据教社科司函[2012]36号《关于2012年度教育部人文社会科学研究一般项目立项通知》，浙江农林大学共获得2012年度教育部人文社科研究基金项目15项，其中规划基金项目6项，青年基金项目9项，列全国农林院校第2名。

近年来，浙江农林大学科研管理由重视自然科学积极向自然科学与人文社会科学并重转变，主动搭建人文社科交流与合作平台，加强政策引导，广泛动员科研人员申报项目，并注重过程管理、规范运行，在人文社科研究领域的项目立项、平台构建、成果产出等方面都取得了可喜的成绩。