

基于机器视觉技术的叶面积测量系统实现^{*}

张健钦^{1,2} 王 秀² 龚建华¹ 薛绪掌²

1. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100001;

2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089

摘要 研究并实现了用于测量叶片面积的软硬件系统, 并可进行叶片面积的统计。根据植物与土壤背景的颜色特征关系研究了提取叶片颜色特征将彩色图像转成灰度图像的算法, 应用迭代求图像最佳分割阈值法进行图像二值化, 中值滤波去除二值化图像的噪声干扰, Kirsch边缘算子进行叶面边缘轮廓的提取。

关键词 机器视觉 颜色特征 图像处理 叶片面积

由于计算机图像处理技术专业水平的提高与计算机硬件成本的下降, 在农业领域应用的机器(计算机)视觉系统已变得越来越具有吸引力。自20世纪70年代末以来国际上许多研究人员已为开发用于农产品品质自动识别和分级的机器视觉系统做了大量工作, 并已取得了许多应用成果^[1,2], 如: 谷粒的表面裂纹检测和农作物种子的分级, 以及根据鸡蛋、黄瓜、玉米、竹笋、西红柿、辣椒、苹果及土豆等的大小、形状、颜色和表面损伤与缺陷等情况进行分级等等。精准农业的发展也要求应用机器视觉技术, 如: 用农业机器人进行苹果和橙子的采摘; 利用机器视觉进行作物秧苗的定位和杂草的识别。随着精准农业研究在我国的展开, 我国的科研工作者利用机器视觉技术在智能化农机、农产品品质检验、设施农业等方面进行了较为广泛的研究与应用, 力求尽快缩短与发达国家精准农业研究与应用差距。

叶面积是一些作物栽培和育种实践中常用的指标, 叶片的总面积也是农作物的产量和品质的评价指标, 树叶面积的大小是造林经营、理想株型选育和造林密度的重要研究内容, 测定害虫食叶面积也是研

究害虫危害损失、经济阈值的重要内容。可见快速、准确的测量叶面积非常重要。目前测量叶面积的方法很多^[3], 如: 利用叶重估计叶面积, 用方格法测量叶面积, 用扫描仪测量叶面积等方法, 但测量时操作不方便, 效率低。利用进口叶面积仪测定叶面积, 虽然准确简单快速, 但是价格昂贵, 不适合我国国情, 不利于国产化。研究开发基于机器视觉技术的叶面积测量和分析系统可以进行叶面积的简单快速测量, 还可以对叶面积数据进行管理和分析, 并且相对于进口叶面积仪价格低廉, 有重要意义。

早在1986年Guyer等^[4]就机器视觉技术在植物识别方面作过论述。在多年来的研究中, 用于植物识别的图像有: 灰度图像、光谱图像和真彩色图像, 所采用的主要分析方法包括: 颜色特征分析法、纹理特征分析法、形状特征分析法。针对不同的图像可以采用单一的分析方法, 也可以综合多种方法进行识别^[5~11]。

本文利用机器视觉理论和方法开发了一套包含测量叶面积的图像采集通讯模块、图像处理模块、叶面积数据库模块、叶面积曲线图显示模块的软件系统, 研制了既可用于采摘叶片又可用于活体测量

2004-03-18 收稿, 2004-04-22 收修改稿

^{*} 国家自然科学基金(批准号: 40341011)、中国科学院遥感应用研究所知识创新工程(批准号: CX020021)和国家高技术研究发展计划(批准号: 2003AA209040)资助项目

E-mail: zjq2001_54@sohu.com

叶面积的硬件系统. 整个系统可用于绿色植物叶片面积的测量、叶面积数据的存储管理和可视化.

1 系统设计

机器视觉的任务是用计算机来局部实现人的视觉功能和在一定场合拓宽或辅助人的视觉功能. 本系统的机器视觉功能体现是通过 CCD 摄像机获取图像, 由计算机对图像进行处理, 并作出有意义的解释来体现的. 也就是说要进行叶面积的测量, 先要获得包含叶面的彩色图像, 通过系统中的多项图像处理算法最终获得二值化图像, 统计叶面所占的像素数并乘以每个像素所代表的面积来计算出叶面的真实面积.

1.1 硬件系统的设计与实现

主要是机器视觉硬件系统的配置和载物台的设计制作, 总体设计原则为: 在满足测量精度的前提下, 尽量降低成本, 以适合我国国情.

1.1.1 机器视觉硬件系统的组成 机器视觉硬件系统组成包括: CCD 摄像机、镜头、图像采集卡和计算机. CCD 摄像机采用了日本松下产的闭路监控摄像机, 型号为 WV-CP430, 解析度 470 线, 最低照度 3.0LUX, 性噪比高; 镜头采用日本精工系列镜头, 型号为 SSV5533, 视角 $81.9^{\circ} \sim 35^{\circ}$, 焦距 5.5 ~ 33 mm. 图像采集卡采用中国大恒公司产 DH-CG300 型采集卡, 图像分辨率高; 计算机配置要求 CPU 为 Pentium III-667, 硬盘 10G 以上, 操作系统 Windows 98 或 2000.

1.1.2 载物台的设计与实现 载物台的实物图如图 1 所示: 杆 1 与底座垂直, 支撑摄像头的杆 2 能够沿着杆 1 滑动, 从而保证摄像头垂直升降, 放置标准面积圆片的杆 3 也能够沿着杆 1 滑动, 其作用是进行植物活体叶面积测量时, 保证叶面的中心与摄像头中心在同一条中垂线上, 并且保证将植物活体撤掉以后所放置的标准圆片的物距与原物距相等. 图中所示的 4 个光源支撑杆采用伸缩式, 其高度和转向可调节, 由于图像处理软件模块的算法对光照条件要求并不十分苛刻, 所以光源采用普通照明灯, 光源的高度和转向的调节以对叶面不产生明显阴影为准.

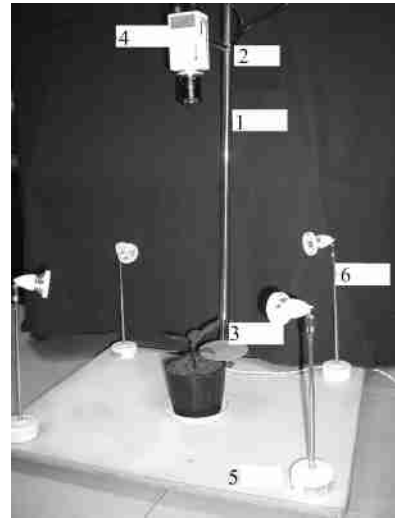


图 1 载物台的实物图

1—杆 1, 2—杆 2, 3—杆 3, 4—CCD 摄像机,
5—底座, 6—光源

1.2 软件系统的设计与实现

本软件系统以面向对象程序设计的方法为指导, 以叶面积测量的快速性及准确性为目标, 用 Visual C++ 6.0 开发工具开发了一套叶面积测量和数据可视化软件系统, 系统包括图像采集和调整模块、图像处理模块、叶面积数据库模块和叶面积图表显示共 4 大模块. 部分程序模块的界面如图 2, 3 所示.



图 2 叶面积数据库模块界面

图像采集和调整模块主要完成 CCD 摄像机与计算机之间的通讯功能, 即通过计算机程序控制 CCD 摄像机所摄取叶面图像的亮度、色度和饱和度的调节, 以及图像采集时内存的分配, 图像的抓取和保存至磁盘.

叶面积数据库模块将叶面积的计算结果保存在数据库中, 每条记录包括植株编号、植株类型、植株名

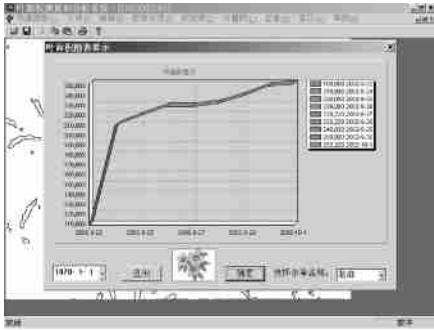


图 3 叶面积数据显示的模块界面

称、叶面积和生长日期等字段内容，数据库操作包括定位记录、增加、删除、修改和查询记录等功能。

本系统的图表显示功能可以将全部叶面积数据以二维曲线图的形式显示，也可以通过图表显示面板中的下拉列表框选择一种植株进行显示，从而估计此种植株的长势或根据相关公式计算其他指标。

图像处理模块是本软件系统的核心模块，包括彩色图转灰度图、二值化图、中值滤波、边缘提取和叶面积测量等功能。其中包含的各种算法是经过大量的图像处理对比试验后最终确定下来的。这里将重点介绍所包含的各种算法。

由于系统利用 CCD 摄像机获取图像，通过图像采集卡将获取的图像以真彩色 24 位位图的格式存储。为了统计叶面在整个图像中所占的像素数，需要将彩色图像进行识别处理，识别处理过程的简易流程图如图 4 所示。

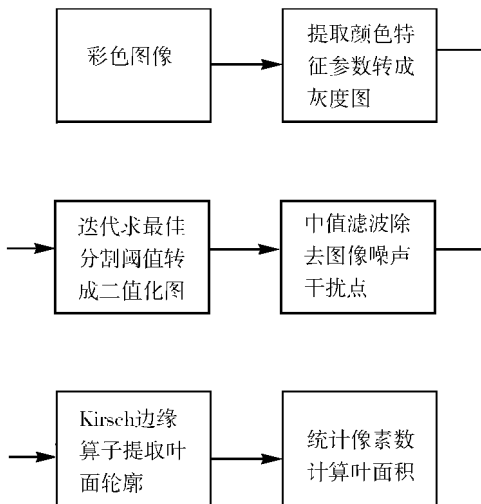


图 4 图像识别处理的简易流程图

1.2.1 提取颜色特征转成灰度图 为了有效的将叶面与背景区分，要对原始图像数据进行选择和变换，得到最能反映分类本质的特征。在此所说的图像特征，指的是图像中各个点的特征，而不是整个图像的整体特征。对于彩色图像分割问题，必须充分利用彩色图像所包含的丰富的色彩信息，选择适当的特征，使目标和背景能依据特征上的差别进行区分。

通常情况下，植物图像(见图版 I A)的背景即土壤有较大的 r , b 值，而其 g 值却总小于植物本身的 g 值，这里 r , g , b 是归一化的颜色分量，(其中 $r = R / (R + G + B)$, $g = G / (R + G + B)$, $b = B / (R + G + B)$)。通过研究利用 $r - b$, $g - b$, $(g - b) / (r - g)$ 和 $(2g - r - b)$ 等指标来区别植物与非植物背景是非常有效的，其中以 $(2g - r - b)$ 最为有效^[2]。本系统软件通过提取图像中每一个像素的 R , G , B 三个值计算出 $(2g - r - b)$ 的值，再将此值乘以一个系数 k (k 由每副图像的 $2g - r - b$ 的最大值动态确定，即 $k = \max \{255 / (2g - r - b)\}$) 后赋给 R , G , B 三个分量值，这时的彩色图像虽然存储格式没变，但已变成灰度图像显示(见图版 I B)，可以利用图像的一个分量值也即 $k \cdot (2g - r - b)$ 值进行灰度图像的阈值分割。

1.2.2 迭代求图像最佳分割阈值 普通的阈值分割方法，要求观察图像的灰度直方图，选定灰度双峰之间的谷底值作为输入阈值将灰度图像二值化。阈值的选定因人而异，从而导致结果的不同，所以要求自动阈值法。迄今为止，国内外学者针对这一课题进行了广泛深入的研究，虽然已提出了数十种阈值选取方法，但至今还未能找到一种对所有图像都能有效分割的阈值选取方法，某种阈值方法只能适用于某一类图像，而对其他图像分割效果并不理想。常用的阈值选取方法有直方图阈值分割法、类间方差阈值分割法、最大熵阈值分割法、最大方差法、矩不变法、模糊集合熵阈值分割法、聚类法、共生矩阵阈值分割法等。

通过观察本系统中由彩色图像转变成的灰度图像(见图版 I)，我们可以发现灰度图像中的目标(叶面)和背景在灰度值上有较明显的区别。虽然前面所介绍的自动阈值方法可能可以用于此种灰度图

的阈值分割, 但是需要大量的计算, 从而影响整个叶面积的测量速度. 所以本文采用了一种迭代求图像最佳分割阈值的算法^[13].

这一算法的求取步骤如下:

(1) 求出图像中最小和最大的灰度值 S_1 和 S_h , 令阈值的初值为

$$T^0 = \frac{S_1 + S_h}{2}.$$

(2) 根据阈值 T^k 将灰度图像分成目标和背景两部分(第一次分割时, $T^k = T^0$), 然后求出目标和背景两部分的平均灰度值 S_1 和 S_2

$$S_1 = \frac{\sum_{S(i,j) < T^k} S(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{Z(i,j) < T^k} N(i,j)},$$

$$S_2 = \frac{\sum_{S(i,j) > T^k} S(i,j) \times N(i,j)}{\sum_{Z(i,j) > T^k} N(i,j)},$$

式中 $S(i, j)$ 是图像上 (i, j) 点的灰度值, $N(i, j)$ 是 (i, j) 点的权重系数, 一般 $N(i, j) = 1.0$.

(3) 求出新的阈值

$$T^{k+1} = \frac{S_1 + S_2}{2}.$$

(4) 如果 $T^k = T^{k+1}$, 则算法结束, 否则 $k \leftarrow k + 1$, 转步骤 2.

用迭代求最佳阈值法对本系统得到的灰度图像进行阈值分割得到二值化图像(见图 5).

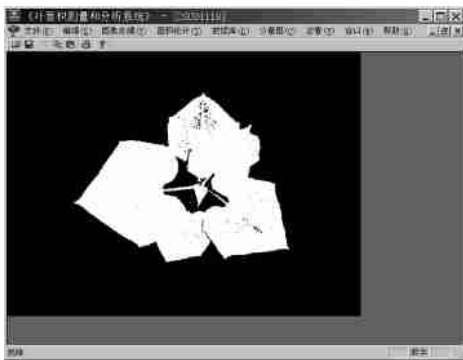


图 5 二值化图像

1.2.3 中值滤波除去图像噪声干扰点 对受到噪声污染的退化图像的复原采用线性滤波方法来处理在许多情况下是很有效的. 但是多数线性滤波具有低通特性, 在去除噪声的同时也使图像的边缘变得模糊了. 如果图像的边缘比较尖细, 并且边缘的信息对于整个图像来说比较重要, 可以采用中值滤波除去噪声^[14]. 通过分析本系统阈值分割得到的二值化图像(见图 5), 我们看到图像中叶面区域(白色)内存在团块状和颗粒状噪声, 影响整个叶面积的测量精度, 需要将其除去, 而且叶面的边缘比较尖细, 所以本系统采用中值滤波, 处理效果见图 6. 可以看到经过 3×3 窗口大小的方形中值滤波处理后, 图 6 中白色区域内的噪声大大减少, 白色区域内的噪声几乎消失了, 并且图像中尖细的叶面边缘很好的保留下来.

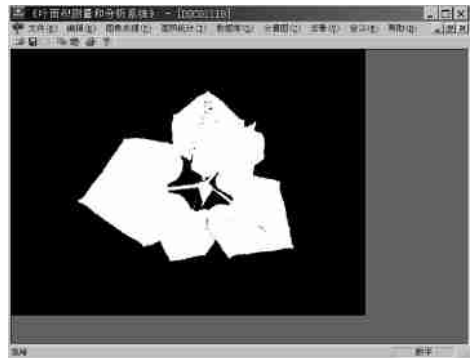


图 6 中值滤波处理的二值化图像

1.2.4 叶面的边缘轮廓提取和叶面积计算 在利用机器视觉技术计算叶面(即白色区域)的面积时, 可以统计叶面所占的像素数, 由这些像素数乘以每个像素所代表的面积计算出叶面的面积. 但实际上, 叶面边缘像素点的一半属于叶面. 所以叶面的真实面积应等于白色区域的像素数减去 $1/2$ 的白色区域边缘像素数后再乘以每个像素所代表的面积. 为此需要用边缘检测算法勾画出叶面的单像素点边缘. 通过观察 4 种边缘算子对二值化图像的边缘检测效果, Robert 边缘算子检测的叶面边缘有不连续的部分, 边缘宽度为单像素. Sobel 边缘算子和 Prewitt 边缘算子检测的叶面边缘也有不连续的部分, 并且边缘宽度为两个像素, 两者的检测效果基本相同. Kirsch 边缘算子对叶面边缘的检测效果最好(见图 7), 边缘连续并且是单像素的, 所以本系统采用

Kirsch 边缘算子对 中值滤波后的 二值化图像进行边缘检测^[15], 至此叶面的面积可以用下面公式计算:

$$A = a \times \left(T - \frac{1}{2}e \right),$$

其中 A 是叶面的真实面积; a 是每个像素点所占的面积; T 是叶面的像素数; e 是叶面的边缘像素数, 这里的 a 是通过参考物法确定的, 即已知标准圆面积片的面积, 先通过本系统测出此圆片的真实像素数, 用已知的圆面积除此圆片的真实像素数就得出 a 值^[16].

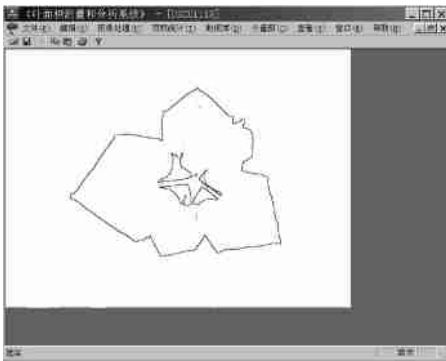


图 7 Kirsch 边缘算子检测图

2 实验分析

前已述及, 目前测量叶面积的方法很多, 如: 利用叶重估计法测量叶面积, 用方格法测量叶面积, 用扫描仪测量叶面积等方法, 上述方法测量时操作不方便, 效率低. 采用本系统进行叶面积测量时, 由系统硬件获取叶面图像, 系统软件对叶面图像识别处理后自动计算出叶面积并保存在数据库中. 测量时操作方便, 效率高. 就测量精度而言, 目前普遍认为叶重估计法最准确. 因此这里采用叶重估计法和本测量系统对 8 株大小、类型不同的杂草幼苗进行面积测量值的比较(见表 1), 从表中可以看出, 两种测量方法的测量均值基本相同.

表 1 叶面积测量值(cm^2)

测量方法	1	2	3	4	5	6	7	8	均值
叶重法	52.47	28.90	38.84	32.81	69.88	19.82	35.73	36.98	39.43
本系统	54.38	33.76	35.30	32.79	55.90	20.64	33.09	40.87	38.34

3 结论

本文设计并实现了基于机器视觉技术的叶面积测量和分析系统的硬件系统, 并详细介绍了硬件系统各组成部分, 包括用于图像采集和处理的机器视觉组成部件, 以及载物台的组件和功能. 开发了一套用于叶面积测量和分析的软件系统, 包括图像采集、图像处理、数据库系统和数据分析 4 大模块. 详细论述了图像处理模块中关键算法的研究. 通过与其他叶面积测量方法的精度和效率比较, 可见本系统可以方便的用于采摘叶片和活体植物叶片面积的测量, 操作简单、方便, 测量过程短、精度较高, 而且能够对叶面积数据进行存储、管理和分析, 可以成为农业科学实验中一种有效的测量方法.

但是, 本系统根据颜色特征进行叶面积的测量, 目前只适用于绿色植物叶片, 对于其他颜色的叶片面积测量, 还需研究相应的颜色特征提取算法.

另外, 在进行活体植物的叶面积测量时, 没有充分考虑叶片变形叶面重叠带来的测量误差, 在进一步的研究工作中需加入叶面模板变形系数等相关参数来提高测量的精度.

参 考 文 献

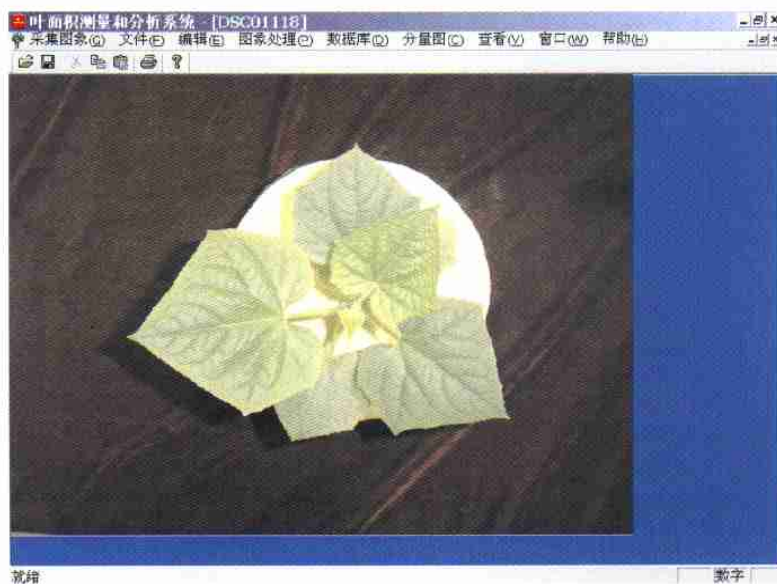
- 1 方如明 等. 计算机图像处理技术及其在农业工程中的应用. 北京: 清华大学出版社 1999. 2
- 2 应义斌 等. 机器视觉技术在农产品品质自动识别中的应用. 农业工程学报, 2000, 16(1): 4
- 3 袁哲明, 等. 用扫描仪测定害虫食叶面积. 南京农业大学学报, 1997, 23(5): 472
- 4 Guyer D E, et al. Machine vision and image processing for plant identification. Transactions of the ASAE, 1988, 29(6): 1500
- 5 Zhang N Q, et al. Effective criteria for weed identification in wheat fields using machine vision. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 965
- 6 Burks T F, et al. Back propagation neural network design and evaluation for classifying weed species using color image texture. Transactions of the ASAE, 2000, 43(4): 1029
- 7 Tarbell K A, et al. Spatial and spectral characteristics of corn leaves collected using computer vision. Transactions of the ASAE, 1991, 34(5): 2256
- 8 Matas J, et al. Color-based object recognition under spectrally non-uniform illumination. Image & Vision Compute, 1995, 13(9): 663
- 9 Woebecke D M, et al. Calibration of large field-of-view thermal

- and optical sensors for plant and soil measurements. Transactions of the ASAE, 1994, 37(2): 669
- 10 Woelbecke D M, et al. Shape features for identifying young weeds using image analysis. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1): 271
- 11 张健钦, 等. 计算机视觉技术在杂草识别中的应用研究进展. 河北大学学报, 2002, 22(4): 410
- 12 Woelbecke D M, et al. Color indices for weed identification under various soil residue and lighting conditions. Trans of the ASAE, 1995, 38(1): 259
- 13 崔屹. 图像处理与分析—数学形态学方法及应用. 北京: 科学出版社, 2000. 42
- 14 阮秋琦. 数字图像处理学. 北京: 电子工业出版社, 2001. 325~330
- 15 Franz E, et al. Algorithms for extracting leaf boundary information from digital images of plant foliage. Transactions of ASAE, 1995, 38(2): 625
- 16 Kenneth R, et al. Digital Image Processing. American: Prentice Hall Inc, 1996. 487~490

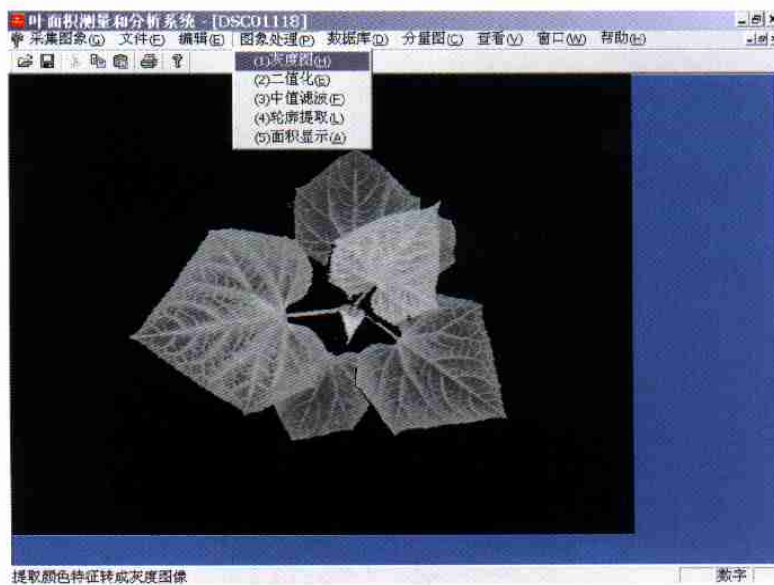
材料科学 1993—2003 年被引频率位列前 20 位的期刊

排序	期刊名称	论文数	总被引	平均被引
1	Advan Mater	3022	56544	18.71
2	Acta Metall Mater	1183	21347	18.04
3	Chem Mater	5674	81832	14.42
4	J Biomed Mater Res	3032	35836	11.82
5	J Amer Ceram Soc	5696	56053	9.84
6	Biomaterials	3458	32068	9.27
7	Acta Mater	3600	29984	8.33
8	J Mater Chem	4693	38548	8.21
9	Mrs Bull	1037	8510	8.21
10	J Mater Res	4977	38084	7.65
11	Diam Relat Mater	3270	23490	7.18
12	J Vac Sci Technol A	5516	39491	7.16
13	Scr Metall Mater	1834	12639	6.89
14	J Vac Sci Technol B	6979	46002	6.59
15	Mater Trans Jim	1736	10859	6.26
16	Microporous Mesoporous Mat	1444	8609	5.96
17	Metall Mater Trans A	3228	18766	5.81
18	J Mater Sci Mater Med	1539	8799	5.72
19	Polym Eng Sci	2474	13766	5.56
20	Corros Sci	1955	10675	5.46

(摘自《英语科技论文撰写与投稿》)



A 叶面原图像



B 提取颜色特征转成的灰度图