

相对特征在昆虫目级阶元图像自动鉴定中的应用

王江宁^{1,3} 宋志顺¹ 纪力强^{2*} 梁爱萍^{3*}

1 中国科学院动物研究所, 中国科学院动物进化与系统学重点实验室 北京 100101

2 中国科学院动物研究所, 中国科学院动物生态与保护生物学院重点实验室 北京 100101

3 中国科学院研究生院 北京 100049

摘要 应用计算机图像技术并结合昆虫分类学原理, 设计和开发了一套“昆虫目级阶元标本图像自动鉴定系统”, 提出了一组基于昆虫标本图像的相对特征, 并通过前馈人工神经网络方法进行鉴定测试。测试结果表明, 相对特征应用于昆虫目级阶元图像的自动鉴定是有效的, 在对 7 个常见昆虫目的测试中, 系统表现出良好的准确性和稳定性, 最高正确识别率可以达到 95%。

关键词 昆虫纲, 目阶元, 图像处理, 特征提取, 自动鉴定。

中图分类号 TP391.41

对昆虫标本的快速准确鉴定一直是昆虫学工作者的追求目标。人工智能理论和数字图像分析技术的发展给昆虫标本的自动鉴定带来了新的发展思路, 许多昆虫学和计算机领域的专家学者开始积极专注于相关方面的研究。Schirder 等 (1995) 利用蜜蜂的翅脉特征开发的 ABIS (Automatic Bee Identification System) 可以辅助人工对蜜蜂进行鉴定。Weeks 等 (1999) 的 DAISY (Digital Automatic Identification System) 通过人工指定特征和神经网络构成, 是半自动图像鉴定系统, 可以鉴定包括昆虫在内的许多数字图像, 已经应用在专家辅助鉴定工作中。Bugvisux (赵汗青等, 2002) 利用昆虫图像的一些基本形状特征可以鉴定 40 种昆虫, 正确率达到 92%。Tofilski (2004) 开发的 DrawWing 是专业的翅脉图像特征研究工具, 可以用来辅助分析昆虫翅脉特征。Buefly 利用蝴蝶的色彩和形状特征, 可以鉴定 43 种蝴蝶 (刘芳等, 2008)。

上述探索性的昆虫自动鉴定系统是基于数字图像处理技术展开的。目前, 大部分相关研究专注于在昆虫种级水平上的分类与鉴定, 测试对象常局限于一些特定物种, 从标本图像中提取的特征也多为一些较直观的形态特征。因此, 鉴定的自动化程度远未达到广泛应用的水平。

在昆虫鉴定的实际应用中, 目级阶元的鉴定是重要的一环, 其应用非常广泛。由于大多数昆虫目下的分类单元繁多, 形态特征差异巨大, 因此昆虫

目级阶元图像自动鉴定难度更大。目前仅有 Bugvisux (赵汗青等, 2003) 曾在昆虫纲目的级别对图像的一些数学形态学特征进行过分析, 为高级阶元图像自动鉴定工作奠定了基础。

本研究应用计算机技术并结合昆虫分类学原理, 设计和开发了一套“昆虫目级阶元标本图像自动鉴定系统”, 提出了一组基于昆虫标本图像的相对特征, 并通过前馈神经网络方法进行鉴定测试。实验结果表明, 相对特征应用于昆虫目级阶元图像的自动鉴定是有效的。

1 材料和方法

1.1 测试材料

目前, 昆虫纲包括 30 目 (郑乐怡和归鸿, 1999; 梁爱萍, 2005), 但是常见的仅 10 余目。本研究涉及了昆虫纲常见的 8 目 (9 类群) 64 科 200 余种昆虫 (表 1), 收集标本图像 225 幅, 每类群 25 幅图。

表 1 中所列测试图像主要来源于中国科学院动物研究所国家动物博物馆标本馆以及互联网各类昆虫专业数字图像网站。由于涉及物种较多, 来源较广, 因此测试图像的质量参差不齐, 虽然已选的图像尽量挑选保存好、姿态规范的标本, 但仍存在某些标本有损伤, 对比度强弱不定等情况的出现, 不过利用本文提出的特征可以减少这些干扰, 因此对于这些图像并未经过特殊处理。

国家自然科学基金 (3053011Q 30770269 30970400)、中国科学院动物进化与系统学重点实验室开放课题 (O529YX5105) 及国家基础科学人才培养基金 (动物分类学特殊学科点, NSFC-J0630964/J109) 资助。

* 通信作者, E-mail: j@ioz.ac.cn, liangap@ioz.ac.cn

收稿日期: 2010-01-20 修订日期: 2010-06-09

表 1 测试图像属性统计

Table 1 Property of images in experiment

| 研究类群 | 包含科数 | 包含种数 | 图像数 |
|--------------------|------|------|-----|
| 蜻蜓目 (Odonata) | 8科 | 24 | 25 |
| 鞘翅目 (Coleoptera) | 4科 | 25 | 25 |
| 直翅目 (Orthoptera) | 10科 | 25 | 25 |
| 半翅目 (Hemiptera) | | | |
| 蜡蝉总科 (Fulgoroide) | 5科 | 25 | 25 |
| 异翅亚目 (Heteroptera) | 9科 | 22 | 25 |
| 脉翅目 (Neuroptera) | 8科 | 25 | 25 |
| 膜翅目 (Hymenoptera) | 10科 | 25 | 25 |
| 广翅目 (Megaloptera) | 2科 | 25 | 25 |
| 鳞翅目 (Lepidoptera) | 8科 | 25 | 25 |
| 总计 | 64科 | 221种 | 225 |

1.2 系统设计

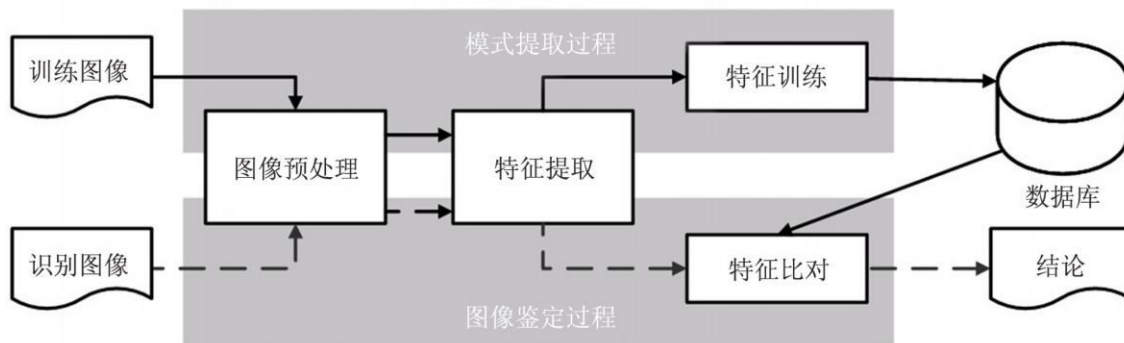


图 1 系统框架图

Fig. 1. Framework of system

“训练图像”和“识别图像”在本文的测试都从 1.1 节的测试图像中选取，具体筛选方法见第 2 节。图 1 中“图像处理”和“特征提取”模块可根据需要灵活配置多种算法及参数，具体方法在 1.3 和 1.4 节中有详细描述。“特征训练”和“特征比对”是模式识别算法的具体实现，在 1.5 节有相应

介绍。

1.3 图像预处理

“昆虫目级标本图像自动鉴定系统”中预处理模块的主要流程如图 2。

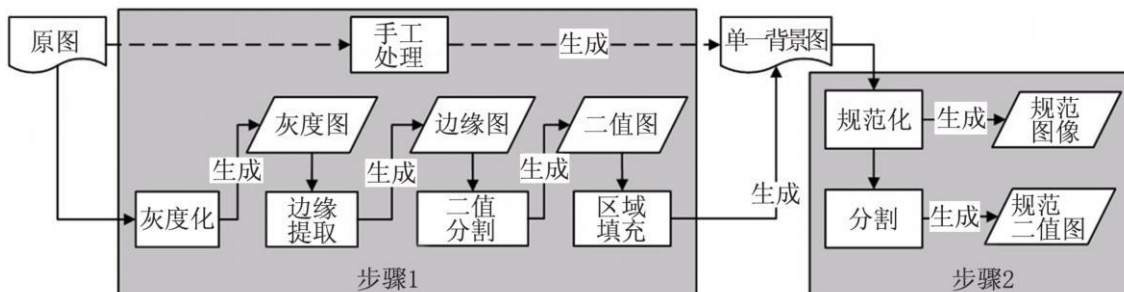


图 2 图像预处理的流程图

Fig. 2. Flow chart of image progressing

图 2 描述了从原始图得到规范图像的预处理流程，其中自动处理算法部分均采用图像处理中的常

规算法，用 C# 实现。

图 3~ 6 以藏穴蚊蛉 *Mymecleon zanganus* Yang 为

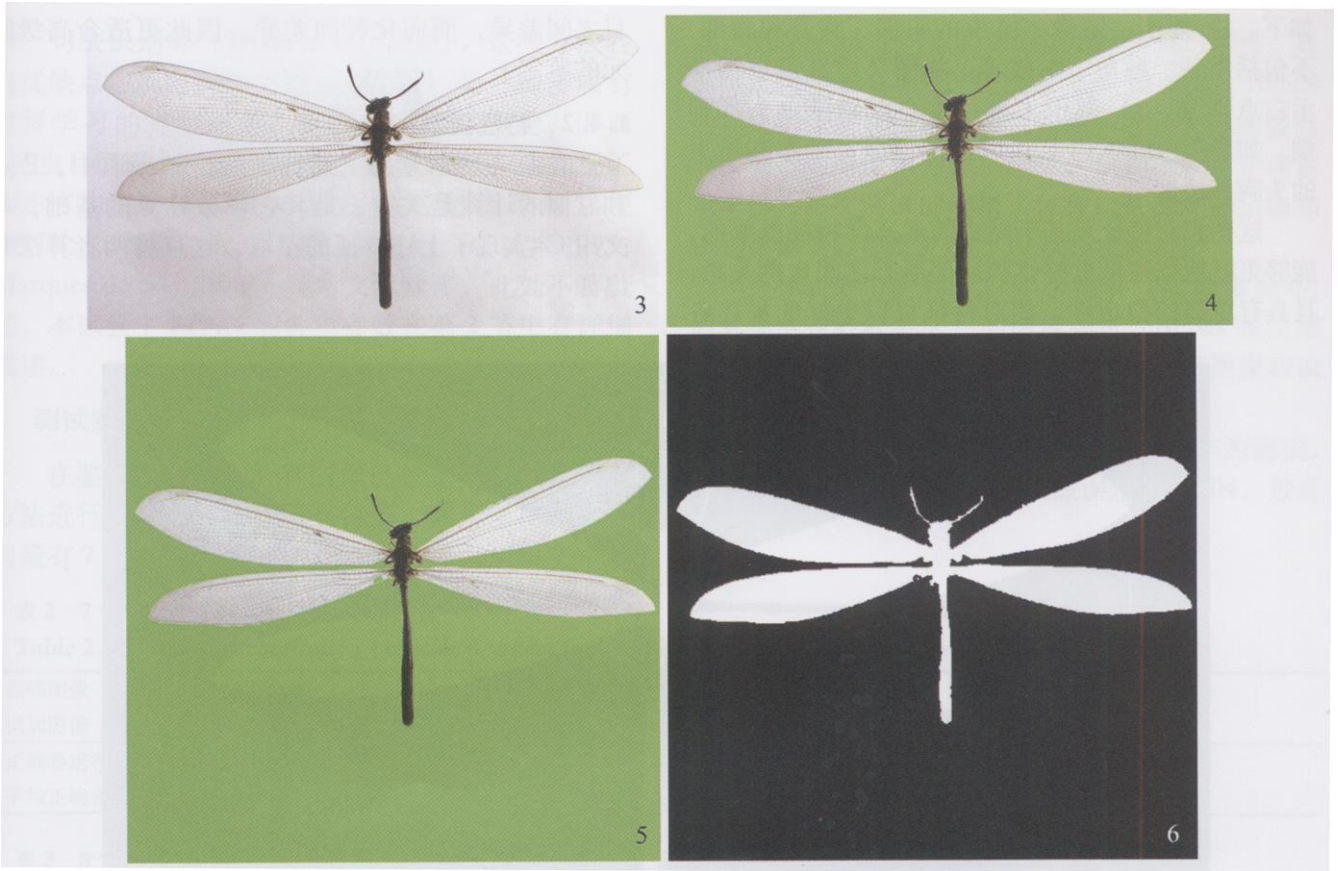


图 3~6 预处理过程中产生的一些临时图像和文件

Figs 3-6 Images produced in pre-processing

3 原图 (800 px×443 px) (source image 800 px×443 px) 4 单一背景图 (800px×443 px) (standard image with one color in background 800px×443 px) 5 规范化后的彩色图 (512 px×512 px) (image with normalized size 512 px×512 px) 6 规范化后的二值图 (512px×512 px) (binary image with normalized size 512 px×512 px)

例, 示意图 2 中各预处理过程的结果 (在系统实际运行时, 图 5~6 仅存在于内存中, 而不产生独立的图像文件)。原图 (图 3) 经图 2 步骤 1 内的处理可得到单一背景图 (图 4), 此图将原图中的背景规范至同一颜色; 图 2 中步骤 2 产生的规范图像 (图 5) 和规范二值图 (图 6) 是统一分辨率的临时图像, 由单一背景图中昆虫整体的最小外接矩形经等比例缩放得到, 可直接用于特征提取。

1.4 特征选择与提取

特征选择应考虑到分类学的意义和数字图像特征提取的可能性; 特征提取着重考虑算法的鲁棒性和效率。

1.4.1 特征选择

于新文等对众多直接形态特征进行过探讨, 如周长、面积、似圆度、偏心率、叶状性、色彩向量等 (于新文等, 2003; 张建伟, 2006)。这些特征可通过常规的图像处理算法直接获取或简单计算得到, 能直观地反映昆虫的一些基本的形态特点, 但是也

极容易受标本姿态和图像质量影响。本系统为了使特征更加稳定地反映昆虫各目之间的差异, 在实现这些基本特征基础上, 设计了以下一些相对特征:

- 1) 躯干与虫体面积比: 如图 7 中红框内的白点和所有白点比例。
- 2) 躯干宽长比 = $BW : BH$
- 3) 躯干上部长度参数 = $L1 : (L1 + L2)$ 。
- 4) 整体宽与长宽和比 = $AW : (AH + AW)$ 。
- 5) 躯干上部与躯干面积比: 图 7 红色框内, P 点上部白点面积和红框内全部白点的面积比。
- 6) 体型参数: 图 7 红色框内符合条件的行数和 BH 的比值, 这些行要求每行白色点和 BW 的比值大于 0.95
- 7) 色彩参数: 图 4 中出现的色彩的总数目和整个色彩种类的比值。这里的色彩是将 24 位真彩色重新量化, R、G、B 各个通道均量化成为 4 阶, 因此共有 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 种颜色。

在上述的特征中 BW, BH, L1, L2, AW, AH, P 等参数参看图 7 示意, 其它相关用语的解释

如下。1) 躯干: 图像中昆虫的头部、胸部和腹部, 不包括尾须、触角、附肢等, 如图 7 中红色框图所示白点部分; 2) 躯干上部: 重心点到昆虫头部顶端, 如图 7 中红框内 P 点以上的部分, 基本和昆虫的头胸部接近。

这些相对特征是基于昆虫的形态学特征提取的, 能够更好地描述昆虫整体和局部形态之间比例关系, 且具有更强的稳定性。相对特征可以更好的描述各

目之间差异, 而弱化种间差异, 因此更适合高级阶元的鉴定。

1.4.2 特征提取

在图 7 所示意的上述特征的自动提取中, P 点和红框的计算是关键, 是其它参数计算的基础, 本文用 C# 实现了上述特征的提取, 这里将两者算法列出如下。

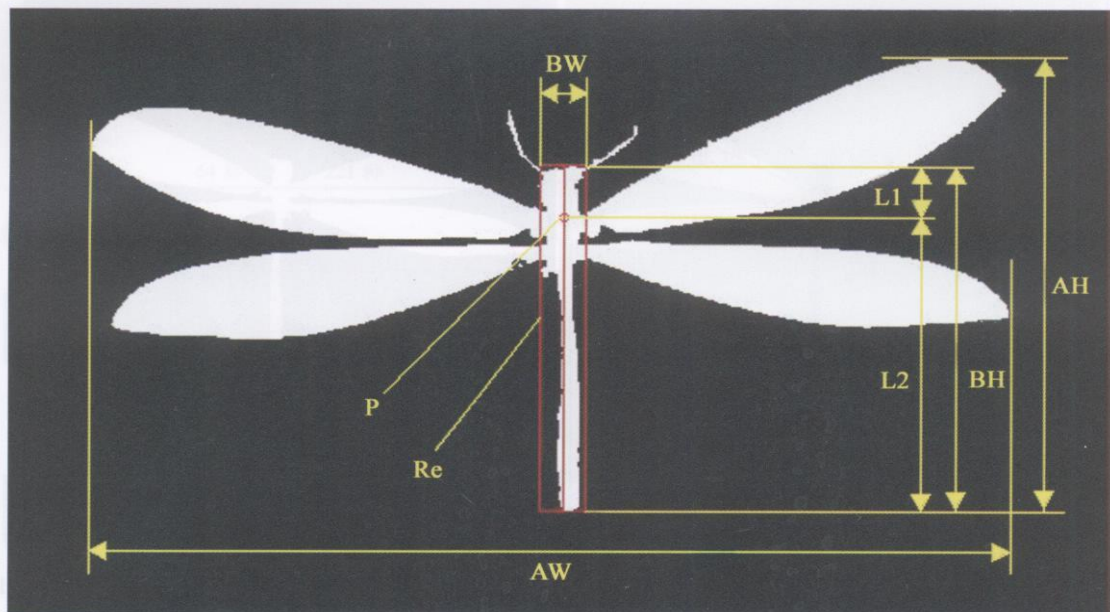


图 7 躯干框图和重心点等特征示意图

Fig. 7. Marks of features

1) 重心点的提取

P 点 (图 7) 是图像的重心点 (白色部分的重心), 公式如下:

$$X_P = X_{All} / T$$

$$Y_P = Y_{All} / T$$

其中, X_P 和 Y_P 是 P 的图像坐标; X_{All} 和 Y_{All} 分别是所有白色点的 X 坐标和和 Y 坐标和; T 是白色点总数。

2) 红色框的提取算法

图 7 中红色框的计算包括上下左右边界值得计算。计算方法如下:

1) 计算 P 点坐标。

2) 从 P 点向上垂直扫描白点, 直至边界点, 作为红框的上边界。

3) 从 P 点向下垂直扫描白点, 直至边界点, 作为红框的下边界。

4) 统计每列的白色像素点数量, 记录为数组 A, 如 A (2) 表示规范二值图中第 2 列的有效像素点数目, (白点数目)。

5) 从 X_P 向 X_0 扫描数组 A, 如果 $A(x)$ 是 A 在 $[x-3, x+3]$ 上的最小值, 或者 $|A(x) - A(x-1)| / A(x-1) > 0.5$, 则 x 作为左边界, 并停止扫描; 没有找到满足条件的则左边界为 0。

6) 从 X_P 向 X_{width} (图像右边界, 及 A 的上边界) 扫描数组 A, 如果 $A(x)$ 是 A 在 $[x-3, x+3]$ 上的最小值, 或者 $|A(x) - A(x+1)| / A(x+1) > 0.5$, 则 x 作为右边界, 并停止扫描; 没有找到满足条件的则红框右边界就是图像的右边界。

以上算法可以自动获取 P 点和红色框的坐标信息, 实验结果表明该算法较为稳定可靠。此外, 本自动鉴定系统还允许用户在自动提取出错时进行手工校正, 如图 7 中的身体最小框图 (红色框图) 就由手工确定的。自动提取和手工校正相互使用可以使特征提取的效率和准确性得到较好的融合。

1.5 分类和模式识别方法

模式识别是人工智能在分类和鉴定中应用的分支学科, 包括的方法很多, 诸如模板匹配、统计学

习、句法识别等 (Duda *et al.*, 2000), 这些方法各有优缺点。反向神经网络 (BPNN) 是一种多层有监督学习的神经网络, 适合昆虫图像鉴定, 因而“昆虫目级标本图像自动鉴定系统”使用 C#实现了3层结构的、以 sigmoid 函数为传递函数的常规 BPNN。BPNN 的原理 (Hagan *et al.*, 1995; Marques de S, 2001) 参考文献众多, 此处不再赘述, 本试验中 BPNN 的各项参数在第 2 节中有详细描述。

2 测试实验与结果

在鉴定测试前, 所有图像已按 1.2 和 1.3 节的方法进行预处理并提取所有特征; 因为采用的特征向量有 7 个, 所以测试中 BPNN 的输入层设 7 个结

表 2 7 目 8 个类群测试正确鉴定率统计

Table 2 Result of identification (include 8 orders listed in Table 1, except Hymenoptera).

| | | | |
|------------------|------------|------------|------------|
| 训练图像 (占图像总数的百分比) | 104幅 (52%) | 136幅 (68%) | 160幅 (80%) |
| 识别图像 (占图像总数的百分比) | 96幅 (48%) | 64幅 (32%) | 40幅 (20%) |
| 正确鉴定率范围 | 84% ~ 92% | 80% ~ 95% | 80% ~ 92% |
| 平均正确鉴定率 | 88% | 88% | 85% |

表 3 8 目 9 个类群测试正确鉴定率统计

Table 3 Result of identification (include 9 orders listed in Table 1).

| | | | |
|------------------|------------|------------|------------|
| 训练图像 (占图像总数的百分比) | 118幅 (52%) | 153幅 (68%) | 180幅 (80%) |
| 识别图像 (占图像总数的百分比) | 107幅 (48%) | 72幅 (32%) | 45幅 (20%) |
| 正确鉴定率范围 | 58% ~ 76% | 58% ~ 76% | 65% ~ 82% |
| 平均正确鉴定率 | 67% | 68% | 70% |

3 讨论

表 2 结果显示本研究中的自动鉴定系统在 7 目 (膜翅目除外) 平均正确鉴定率稳定在 85% 以上; 表 3 中使用的数据比表 2 多一目 (增加了膜翅目), 最低鉴定正确率也达到 58%。测试结果可以说明“昆虫目级标本图像自动鉴定系统”是比较稳定可靠的, 这和以下一些因素有关。

- 1) 测试中使用较为规范的标本图, 且经过预处理后图像背景单纯, 这些有利于特征的准确提取。
- 2) 预处理和特征提取过程中采用了一些简单的手工校正, 在不增加对用户专业知识的要求的同时, 提高了特征提取的准确性。
- 3) 测试选取的图像相对特征比较有效, 较好地描述了昆虫标本图像的目间差异, 尤其是除膜翅目外的 7 目 (8 个类群) 昆虫。

另外, 本测试涉及物种范围广, 获取和处理图像过程便捷, 对专业知识的要求较低, 这些特点使得本系统在实际应用中都较 DAISY 和 BugVisux 更有潜在优势。

点, 隐含层 14 个节点; 为保证 BPNN 的收敛性, 其训练迭代步长 0.1, 迭代次数至少 10 万次; BPNN 的训练图像是从每目中随机抽取一定比例的图像组成, 剩下的图像作为识别图像, 识别图像的正确鉴定率作为每次测试的结果; 每种比例的训练图像和识别图像划分都反复进行 10 次以上测试。

选择表 1 中所列 7 目 8 个类群 (膜翅目除外, 因其标本姿势较杂乱) 的图像测试, BPNN 输出层为 8 个节点, 收敛误差 0.0001。不同训练图像和识别图像划分比例的结果统计如表 2。

选择表 1 所列 8 目 9 个类群的图像作为测试, BPNN 输出层为 9 个节点, 收敛误差 0.00004, 最后结果如表 3。

但是, 测试结果也反映出下一步工作需要注意的问题。

1) 本实验已经搜集并测试了 8 目 200 多种昆虫的图像, 但与昆虫纲的物种数相比, 仍显太少。测试结果显示 9 个类群的正确鉴定率较 8 个类群下降很多, 说明类别的增加会增加鉴定复杂度, 导致正确鉴定率迅速下降。因此在下一步工作中, 需要增加测试类群, 增强系统的性能。

2) 每次测试的识别率有一定的变化幅度, 这因为对于同一目下某些数量少、形态差异大、姿势特异的昆虫图像来说, 它们是否被选作训练图像与其是否能被正确识别关系很大, 如果训练图像里没有这些图像, 显然这些图像的识别率会大幅下降, 如广翅蜡蝉 (Ricanidae) 的图像数量少且和蜡蝉总科内其它物种形态差异较大, 导致广翅蜡蝉常被错误鉴定。因此系统在进入实用前, 需要选择一些图像作为合适的训练集, 以提高整体性能。

3) 如仅用 1.4 节所描述的相对特征, 有些形态相似的昆虫仍不容易区分开的, 如半翅目和鞘翅目的许多图像在 1.4 节所列的特征上较相似, 因此两

目的图像容易被错误鉴定;膜翅目的物种和其它目的物种在相对特征上是相似的可是在目内却差别较大,导致膜翅目很难被鉴定出。因此在后续工作中,需要再设计一些能够更好反映目之间差别的特征。

在“昆虫图像目级自动鉴定系统”中,设计并提取了基于分类学的相对图像特征,使用BPNN方法,在大范围的物种标本图像的测试中取得了较稳定的结果,这些工作为昆虫纲图像目阶元自动鉴定总结了一些经验。“昆虫图像目级自动鉴定系统”适合用于科普和昆虫初级鉴定等工作中,也为昆虫专业自动鉴定工作奠定了基础,因此有广阔的应用前景。

致谢 本研究涉及的昆虫标本图像来源于中国科学院动物研究所国家动物博物馆动物标本馆、中国农业大学农业数字博物馆、昆虫爱好者论坛、台湾大学昆虫博物馆等网站,特此致谢。范例图(图3)的源图来自 http://202.112.163.254:8080/resource/image/product/4756_0.jpg

REFERENCES (参考文献)

- Bian Z-Q and Zhang X-G 2000. Pattern Recognition, Second Edition. Tsinghua University Press, Beijing [边肇祺, 张学工, 2000. 模式识别. 第2版. 北京: 清华大学出版社]
- Duda R. O., Hart P. E. and Stork D. G. 2000. Pattern Classification, Second Edition. Malden Wiley Interscience, Malden
- Gaston K. J. and O' Neill M. A. 2004. Automated species identification: why not? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, 359 (1444): 655-667.
- Gonzalez R. C. and Woods R. E. 2002. Digital Image Processing Second Edition. PrenticeHall Upper Saddle River
- Hagan M. T., Demuth H. B. and Beale M. H. 1995. Neural Network Design. Boston, PWS Publishing Company
- Liang A-P 2005. A proposal to stop using the insect order name "Homoptera". *Chinese Bulletin of Entomology*, 42 (3): 332-37 [梁爱萍, 2005. 关于停止使用同翅目 "Homoptera" 目名. 昆虫知识, 42 (2): 332~337]
- Liu F, Shen Z-R, Zhang J-W and Yang H-Z 2008. Automatic insect identification based on color characters. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45 (1): 150-153 [刘芳, 沈佐锐, 张建伟, 杨红珍, 2008. 基于颜色特征的昆虫自动鉴定方法. 昆虫知识, 45 (1): 150~153]
- Marques de S., J. P. 2001. Pattern Recognition, Concepts Methods and Applications. Springer, New York
- Schulder S., Drescher W., Steinhage V. and Kastenholz B. 1995. An automated method for the identification of bee species (Hymenoptera: Apoidea). Proceeding International Symposium on Conserving Europe's Bees. Proceeding International Symposium Conserving Europe's Bees & Linnean Society London, UK.
- Tofilski A. 2004. DrawWing: a program for numerical description of insect. *Journal of Insect Science*, 4 (17): 5
- Weeks P. J. D., O' Neill M. A., Gaston K. J. and Gauld I. D. 1999. Automating insect identification: exploring the limitations of a prototype system. *Journal of Applied Entomology*, 123 (1): 1-8
- Yu X-W, Shen Z-R, Gao L-W and Li Z-H 2003. Feature measuring and extraction for digital image of insects. *Journal of China Agricultural University*, 8 (3): 47-50 [于新文, 沈佐锐, 高灵旺, 李志红, 2003. 昆虫图像几何形状特征的提取技术研究. 中国农业大学学报, 8 (3): 47~50]
- Zhang J-W 2006. Automatic identification of butterflies based on computer vision technology. Ph.D. Thesis, China Agriculture University, Beijing [张建伟, 2006. 基于计算机视觉技术的蝴蝶自动识别研究. 博士学位论文, 北京: 中国农业大学]
- Zhao H-Q, Shen Z-R and Yu X-W 2002. On computer-aided insect identification through math-morphology features. *Journal of China Agricultural University*, 7 (3): 38-42 [赵汗青, 沈佐锐, 于新文, 2002. 数学形态特征应用于昆虫自动鉴定的研究. 中国农业大学学报, 7 (3): 38~42]
- Zheng L-Y and Gui H 1999. Insect Taxonomy. Nanjing Normal University Press, Nanjing [郑乐怡, 归鸿, 1999. 昆虫分类学. 南京: 南京师范大学出版社]

APPLICATION OF RATIO FEATURES ON AUTOMATIC IDENTIFICATION OF INSECT IMAGES AT THE ORDER LEVEL

WANG Jang-Ning^{1,3}, SONG Zhi-Shun², JI Li-Qiang^{2*}, LIANG Ai-Ping^{1*}

1. Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Key Laboratory of Animal Ecology and Conservation Biology, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract A computer-assisted system was designed to automatically identify insect specimen images to the order level. We designed several ratio features for the system using digital image processing pattern

Key words Insects, order level, image processing, feature extraction, automatic identification

recognition (artificial neural network) and the theory of taxonomy. In an identification test of 7 common orders, the system performed well and was stable; the highest accuracy recorded was 95%.

* Corresponding author. E-mail: jn@ioz.ac.cn, liangap@ioz.ac.cn.