

人工神经网络对果蝇鸣声的分类识别

聂晓颖^a, 郭 敏^b, 何建平^c

(陕西师范大学 a. 数学与信息科学学院, b. 计算机科学学院, c. 生命科学学院, 陕西 西安 710062)

[摘 要] 为了利用昆虫鸣声对昆虫进行种间或种下分类, 对实验室环境下同种 2 个不同品系黑腹果蝇的飞行翅振鸣声进行了采集、分析, 提取鸣声信号特征参数, 并利用人工神经网络对采集的果蝇鸣声信号进行分类识别。结果表明, 2 个品系果蝇鸣声的基频均为 236.86 Hz, 有多个谐频, 频率范围为 0~4 000 Hz, 重叠较大; 所建立的人工神经网络对种内不同品系果蝇鸣声的正确识别率均在 75% 以上, 识别效果很好。研究结果为果蝇种下分类提供了新的方法和依据。

[关键词] 果蝇鸣声; 人工神经网络; 昆虫分类

[中图分类号] TP391.42; Q969.462.209 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2007)12-0201-04

Classification of fruit fly's sound by artificial neural network

NIE Xiao-ying^a, GUO Min^b, HE Jian-ping^c

(a. College of Mathematics and Information Sciences, b. College of Computer Sciences, c. College of Life Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: In order to use sounds of insects to classify the interspecies or subspecies, this paper has collected and analyzed the sound of two strains of *Drosophila melanogaster*, extracted their sound feature parameters, and conducted the classification of the different strains of fruit fly's sound by using neural network. As the result of the experiment demonstrates, the fundamental frequencies of the strains' sound are all 236.86 Hz, with many harmonics and frequency from 0 to 4 000 Hz and have overlaps in the frequency; the established neural network is effective in identifying the sounds of different strains of same species, and the average accuracy of identification is above 75%. The result of this research provides a new way and basis for subspecies classification of fruit fly.

Key words: fruit fly's sound; artificial neural network; insect taxonomy

昆虫的种类多、数量大、分布广, 其生活方式多种多样, 与人类具有密切的关系。由于许多昆虫都是农业害虫, 研究其鸣声、分析鸣声特征, 对监测和控制害虫具有重要意义, 如利用昆虫的鸣声特性, 可以诱捕及驱逐昆虫; 通过对昆虫鸣声通讯的研究, 可以进一步了解鸣声与行为的关系以及不同鸣声的生物学意义。许多学者还将昆虫鸣声作为一个分类性状来进行分类学研究, 对那些在形态上难以区分的近

缘种或地理亚种进行种间或种下分类^[1-4]。

果蝇(*Drosophila*)在生物分类学上属于昆虫纲(Insecta)双翅目(Diptera)果蝇科(Drosophilidae), 果蝇种类很多, 仅果蝇属(*Drosophila*)就超过 1 000 种, 广泛用于研究的果蝇是黑腹果蝇(*Drosophila melanogaster*)。目前国内对果蝇鸣声的研究报道较少, 而且多数研究都集中在求偶歌信号的时域研究方面, 且只停留在对两相邻脉冲间时间间隔(IPI)

* [收稿日期] 2007-07-03

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(10274047)

[作者简介] 聂晓颖(1981—), 女, 河南郑州人, 助教, 硕士, 主要从事数字信号处理研究。E-mail: xiaoying_nie@163.com

平均值的 研究上, 并普遍认为 IPI 的平均值即代表了此种果蝇的特征鉴别因子^[5-10], 而对果蝇飞行翅振鸣声的研究报道很少见。

本研究对同种内 2 个不同品系雌性果蝇飞行时产生的声音信号进行了采集、分析和特征提取, 并利用人工神经网络对不同果蝇飞行时翅振产生的鸣声进行分类识别来区分果蝇, 以期对果蝇种下分类提供新的方法和依据, 为将计算机技术进一步应用于昆虫分类提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验对象及培养环境

试验果蝇来源于陕西师范大学生命科学学院, 均为实验室环境下培养的果蝇。采用黑腹果蝇同种内的 2 个品系, 分别为: ①3 号果蝇, 其为黄体红眼、长翅、直刚毛突变型果蝇; ②26 号果蝇, 其为黑檀体红眼、长翅、直刚毛突变型果蝇。试验中, 上述每个品系雌性果蝇数均为 50 只, 且每个品系雌性果蝇分别采集了 110 个鸣声样本(由于信号带有噪声, 有些样本中的有用信号过于微弱, 因此, 实际使用的鸣声样本要少于 110 个)。

由于温度对果蝇的生长发育和繁殖影响很大, 果蝇生活的最适温度为 20~25 ℃, 因此果蝇在实验室中被饲养在 24 ℃下小指管中, 每个小指管中饲养 10~15 只果蝇。培养基为水 100 mL, 蔗糖 10 g, 玉米粉 16 g, 琼脂 1 g, 酵母粉 1.5 g, 丙酸 1 mL。配制好的培养基分放在指管中, 约 2 cm 厚。

1.2 果蝇翅振鸣声信号的录制

通过麦克风录制果蝇翅振鸣声信号, 但声音在

录制过程中易受噪声等的干扰, 因而会影响声音信号的质量。为了尽量减小噪声干扰, 整个录制过程在隔音室中进行, 关闭日光灯, 尽量保持隔音室的安静。

录音前将刚羽化的雌性果蝇个体分别放在小指管中饲养 4~5 d, 录音时将 2~3 只雌性果蝇置于果蝇盒中, 保持适度光照, 录取 8~10 个鸣声样本即废弃。录音时设置采样频率为 22 050 Hz。

1.3 果蝇翅振鸣声样本的频域分析

从鸣声的频域特征图中可以获得更多有效的特征量, 鸣声信号的功率谱可以反映出鸣声信号的频率成分以及各频率成分的能量大小。对 3 号雌性果蝇翅振鸣声进行功率谱分析, 在 Matlab 工具下, 利用 psd 函数进行 1024 点的傅立叶变换(FFT), 得到其频谱图(图 1), 从中可提取出 7 个最大幅值对应的频率。从图 1 可以看出, 3 号雌性果蝇翅振鸣声的基频为 236.86 Hz, 随后有几个谐频, 分别为 495.26, 732.13, 990.53 和 1 184.33 Hz, 最后在 1 894.92 及 2 756.25 Hz 处还有明显的峰值。频率范围为 0~4 000 Hz, 而能量主要集中在 200~3 000 Hz。

同样对 26 号雌性果蝇翅振鸣声进行功率谱分析, 得到其频谱图如图 2 所示, 从中可提取出 7 个最大幅值对应的频率。从图 2 可以看出, 26 号雌性果蝇翅振鸣声的基频也为 236.86 Hz, 随后有几个谐频, 分别为 473.73, 710.59, 947.46, 1 162.79 和 1 399.66 Hz, 最后在 1 873.39 Hz 处还有明显的峰值。频率范围为 0~4 000 Hz, 而能量主要集中在 200~2 000 Hz。

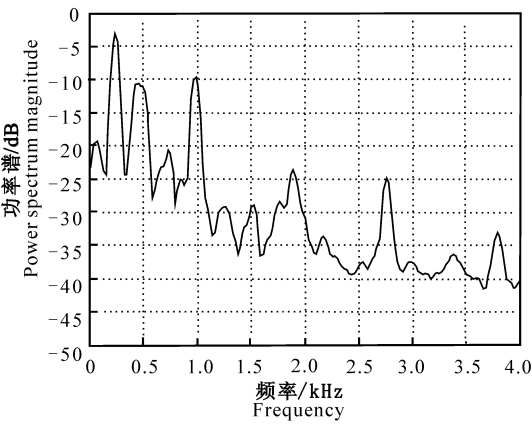


图 1 3 号雌性果蝇的翅振鸣声频谱图
Fig.1 Spectrum of female wing-vibrating sounds of fruit fly 3

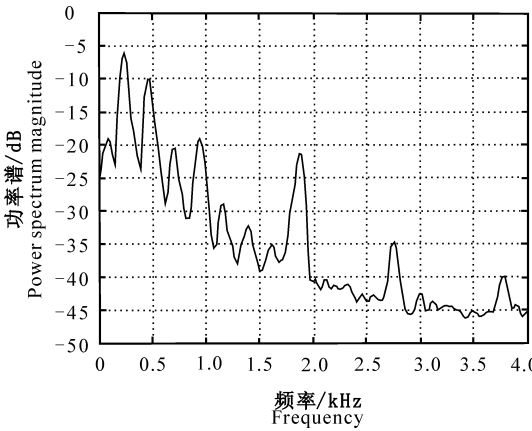


图 2 26 号雌性果蝇的翅振鸣声频谱图
Fig.2 Spectrum of female wing-vibrating sounds of fruit fly 26

通过对 2 个品系果蝇翅振鸣声的分析发现,鸣声的基频均为 236.86 Hz,随后有几个谐频,属多谐谱,频率范围均为 0~4 000 Hz,重叠较大。

上述结果表明,以频域中前 7 个最大幅值对应的频率作为特征值,不足以反映出 2 个样本之间的特点。

1.4 神经网络分类前样本的预处理

采用 BP 神经网络进行分类的首要条件是有数目充足的样本,并且要尽量多地提取相应的特征数据。本研究选取所采集的每个品系雌性果蝇翅振鸣声样本中的 60 个样本作为训练样本集,选取另外未参与训练的 30 个样本作为验证样本集。训练样本集用于训练网络;验证样本集用于监测网络的效果及推广能力,确定网络是否满足实际应用的要求。

在进行鸣声样本的特征提取时,特征应能很好地反映此种鸣声样本的特点,所选择的特征应与待分类的其他种类鸣声样本的特征有较大差别,从中找出极具代表性的特征作为输入向量。另外,应用人工神经网络进行分类识别时,若选取的特征值过少,则分类效果不好;若选取的特征值过多,则会造成网络结构复杂,难以训练。本试验的方法是对鸣声样本进行 256 点的傅立叶变换(FFT),应用 welch 方法进行功率谱估计,得到功率谱的长度为 129(FFT 运算采用的点数/2+1)。取 129 个频率点对应的功率谱密度幅值作为输入特征向量,对 2 个品系果蝇进行分类识别。以“正确识别个数/参加验证样本数”作为识别率,通过识别率来判断分类效果。

由于 BP 神经网络的隐层一般采用 Sigmoid 转换函数,为了计算方便并且提高训练速度和灵敏性,有效避开 Sigmoid 函数的饱和区,输入数据的值应为 0~1。因此,要对输入数据进行预处理。在 Matlab 中,预处理的方法有多种,本试验对采集的数据样本利用下式进行归一化处理^[11]:

$$X=(x(i)-x_{\min})/(x_{\max}-x_{\min})。$$

式中: x 为 129 个输入的特征向量, $x(i)$ 表示输入特征向量的第 i 个分量, $x_{\min}=\min(x(i))$, $x_{\max}=\max(x(i))$,则 $X\in[0,1]$ 。

1.5 人工神经网络的设置

网络的输入层节点数应根据特征值的个数来确定。由于本试验共提取了 129 个特征值,因此网络的输入层节点数为 129 个。

BP 网络结构在确定时,最重要的是确定网络中

应该设置几个隐层及每个隐层的节点数。增加隐层数可以降低网络误差,提高精度,但会使网络复杂化,从而增加网络的训练时间。本试验选择具有 1 个隐层的网络结构。隐层节点数先取一个初值,然后根据试验结果进行增减,最终网络的隐层节点数确定为 15。

网络的输出层节点数取决于输出数据类型和表示该类型所需的数据大小。由于所建立的 BP 网络用于分类识别,以二进制形式表示不同种类的输出结果,输出层的节点数应根据待分类的种类数确定。若识别 m 个种类,则输出层节点数就取 m 个,其中第 j 个种类以第 j 个输出节点为 1 而其余节点为 0 表示^[12]。由于本试验对 3 号果蝇和 26 号果蝇进行分类识别,识别种类的个数为 2,因此,设置输出层节点数等于 2。网络输出为 0 1 时,表示输入样本属于 26 号果蝇;网络输出为 1 0 时,表示输入样本属于 3 号果蝇。由于实际输出的值均为 0~1,因此,将输出值大于等于 0.5 的数值认为是 1,小于 0.5 的数值认为是 0。

2 结果与分析

人工神经网络设置 1 个隐层,15 个神经元,输出层具有 2 个神经元,其中 26 号雌性果蝇对应输出为 0 1,3 号雌性果蝇对应输出为 1 0,基于 129 个特征值分类的神经网络训练结果见图 3。

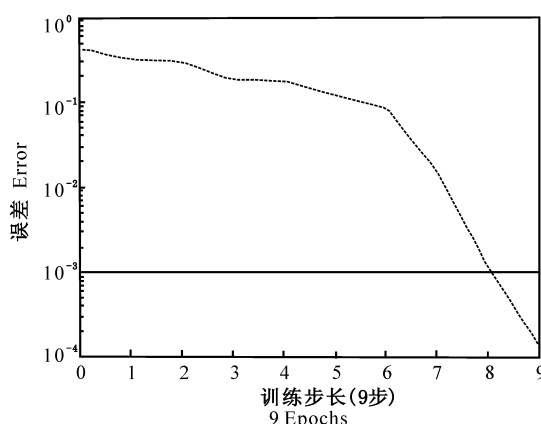


图 3 基于 129 个特征值分类的神经网络训练误差变化曲线

——. 目标线; 训练误差变化曲线
Fig. 3 Error change curve of the neural network with 129 feature values
——. Goal line; Training curve

从图 3 可以看出,网络经过 9 步训练之后收敛,网络误差达到要求。神经网络分类结果见图 4 和表 1。

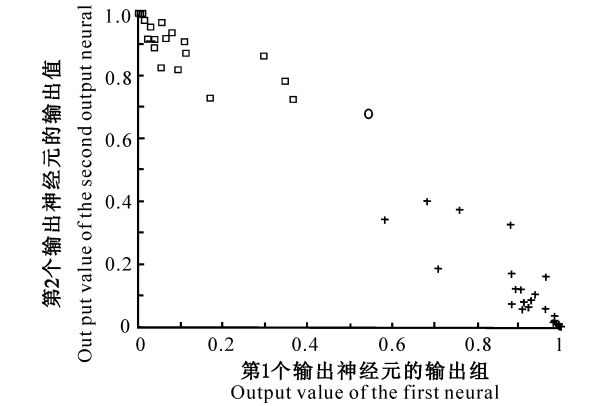


图 4 神经网络分类结果

+, 识别为 3 号果蝇;□, 识别为 26 号果蝇;○, 识别为其他
Fig. 4 Classification result of the neural network
+, Recognized as fruit fly 3;□, Recognized as fruit fly 26;○, other

表 1 以 129 个频率对应功率谱密度幅值作为
特征值对 2 个品系果蝇的分类结果

Table 1 Classification result with the equivalent power of
the 129 frequency points as the feature vector

样本类别 Sample categories	样本数 Sample number	正确识别个数 Correct number of identification	正确识别率/% Correct rate of identification
3 号雌性果蝇 Female fruit fly 3	30	23	76.67
26 号雌性果蝇 Female fruit fly 26	30	24	80.00

从表 1 可以看出,神经网络对同种内 2 个不同品系果蝇的正确识别率均在 75% 以上,具有很好的分类效果。试验中选取的是频域中 129 个频率点对应的功率谱密度的幅值,所选特征可以体现出不同鸣声信号之间的差异。

3 结 论

不同品系果蝇飞行时的翅振鸣声之间存在着一

定的差异,翅振频率及功率谱特征可以作为区分二者的依据。在进行果蝇种内的分类识别过程中,以翅振频谱中的频率对应的幅值作为特征值具有重要的识别意义。用声学方法对果蝇翅振鸣声进行分析所得的特征,是种内鉴别的有效手段,这为进一步研究果蝇鸣声提供了科学依据,为果蝇种内分类提供了一种新的方法。

[参考文献]

[1] 雷仲仁,周 尧,李 莉. 蝉鸣特征及其在分类学上的意义[J]. 昆虫分类学报,1994,16(1):51-59.
[2] 陈道海,丘占锋,李洁萍,等. 黑色油葫芦行为谱及鸣声结构的实验分析[J]. 湛江师范学院学报,2006,27(3):50-54.
[3] 何 忠,陈念丽,席瑞华,等. 非洲蝼蛄的鸣声结构及声引诱[J]. 动物学报,1989,35(1):73-81.
[4] 曹风勤,程立生. 昆虫鸣声的研究进展及其应用概述[J]. 华南热带农业大学学报,2004,10(1):29-33.
[5] 邵红光,里 敦,张咸宁,等. 果蝇 nasuta 亚群求爱歌的种间识别与进化遗传学研究[J]. 遗传学报,1997,24(4):311-321.
[6] 庚镇城,朱定良,孙耀来. 果蝇亚群中 6 个种的求爱歌的研究——对 ipi 作用的探究[J]. 遗传学报,1989,16(6):448-454.
[7] 吴伟忠,陈暨耀,蔡怀新,等. 用微机技术测量黑腹果蝇求偶歌节律[J]. 复旦大学学报:自然科学版,1988,27(4):402-406.
[8] 陈暨耀,吴伟忠,蔡怀新,等. 用新的计量方法研究黑腹果蝇的求爱歌[J]. 动物学研究,1988,9(2):133-139.
[9] 袁 越,王隽奇,钟 忠,等. 时域-频域结合分析法——一种分析果蝇求爱歌的新方法[J]. 遗传学报,1992,19(6):497-509.
[10] 李成林,刘江伟,刘镇清,等. 果蝇求爱歌的声学分析[J]. 声学技术,1996,15(1):29-30.
[11] 姚 青,赖凤香,付 强,等. 基于人工神经网络的昆虫鸣声识别[J]. 昆虫分类学报,2005,27(1):19-22.
[12] 周开利,康耀红. 神经网络模型及其 MATLAB 仿真程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2005:89-90.