

文章编号:1671-6833(2013)06-0001-05

动物视觉学习认知自动训练评估系统

师黎,王永瑞,罗勇

(郑州大学 电气工程学院,河南 郑州 450001)

摘要:根据动物视觉学习认知研究的实际需求,设计了动物视觉学习认知自动训练评估系统.系统由监控子系统和控制子系统组成.监控子系统设定实验方案,控制刺激图像显示,实现对实验数据的实时存储和分析评估;控制子系统通过电容式触摸屏和红外传感器实时采集实验数据,驱动电磁阀进行投食犒赏或施加声光刺激惩罚.以LE大鼠为实验对象对该系统进行了测试.结果表明:所设计的系统能够实现动物基于视觉任务学习认知行为的自动训练和认知能力的自动评估,通讯可靠,控制准确,操作方便,通用性强.

关键词:动物视觉;认知;评估;电容式触摸屏;Visual C++

中图分类号: TP399

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.06.001

0 引言

脑科学的研究是本世纪的科学前沿领域,学习认知功能是其中非常重要的研究内容.学习认知功能涉及到大脑对感知信息的编码、整合、存储及利用等多个复杂过程,表现出生物感知系统独特优秀的可塑性机制.由于视觉是动物感知外界环境的最主要渠道,因此,基于视觉的学习认知功能研究已成为目前脑科学研究领域的重点问题及重要研究方向之一^[1].该研究对于揭示脑的工作机制具有重要的理论研究意义^[2],在生物、医药和军事等领域有着重要的实际应用价值.

近年来,越来越多的研究者关注动物视觉学习认知功能的研究.他们通过开发并设计各种实验装置及实验方案,以期揭示相关的视觉学习认知机制,并把这些实验装置和实施方案广泛用于筛选影响认知行为的药物以及探讨药物对认知行为的作用机理等研究中^[3].动物视觉学习认知实验的基本设计原理是通过视觉刺激和动物行为之间的关系来研究和强化动物的视觉学习认知、学习记忆等功能,并通过建立行为学指标对动物的学习认知能力进行评估和筛选^[4].早在上世纪六十年代德国科学家 Götz^[5]便针对果蝇的视觉学习认知训练设计了视觉飞行模拟器.2000年加拿

大莱斯布里奇大学的研究者们设计了针对大鼠的被迫式潜水选择实验装置^[6].2004年他们又设计了视动实验装置^[7],以实现对成年或幼年大鼠的视功能进行快速评估.以上这些早期的实验装置自动化水平较低,无论是实验方案调整、实验过程控制还是实验结果记录分析都需要耗费大量的人力和物力.

针对这些问题,近年来研究者们进行了新型实验系统的设计与开发.2010年哈佛大学医学院设计了图像刺激舔食实验^[8],头部固定的大鼠被训练去舔前方刺激器的特定位置.2008年中国科技大学设计了用于对小鼠的学习记忆能力进行测试的环形平台^[9].2011年沈阳医学院开发了闭合旋转式迷宫的动物记忆训练系统^[10].2009年浙江大学开发了用于非人灵长类动物行为学习训练装置,通过视觉刺激、摇杆检测和给水犒赏的方式对猕猴等非人灵长类动物的行为学习进行训练^[11].这些实验系统的自动化水平有所提高,但是这些系统都是针对各自的实验目的来设计的,所适用的实验对象和实验方案都较为单一,且实验结果的分析及对动物学习认知能力的评估功能都比较薄弱.

因此,笔者开发了一套动物视觉学习认知自动训练评估系统,能够实现对包括啮齿类、灵长类

收稿日期:2013-05-07;修订日期:2013-06-20

基金项目:河南省科技创新人才计划项目(124200510016)

作者简介:师黎(1964-),女,河南郑州人,郑州大学教授,博士,博士生导师,研究方向为智能检测与生物信号处理与分析,E-mail:shili@zzu.edu.cn.

等动物基于视觉任务的学习认知行为自动训练及其认知能力自动评估等功能. 该系统具有无人职守、自动高效、通用可靠、分析评估功能完善等特点, 目前已在以大鼠为研究对象的视觉学习认知实验中取得了较好的效果.

1 系统总体设计概况

系统总体结构如图 1 所示, 由监控子系统和控制子系统两部分组成. 其中监控子系统包括 PC 机和摄像头两部分. PC 机配有两个液晶显示器, 一个用于显示 PC 端的主控操作和摄像头监控的画面, 另一个用于显示刺激图像. PC 端主控操作软件主要用于实验中参数的设置、实验过程的控制以及实验结果的分析. 控制子系统采用 C8051F320 单片机作为主控芯片, 使用电容式触摸屏(电容屏)和红外光电开关采集动物对刺激图像的反应结果, 通过电磁阀进行投食犒赏或对其施加声光刺激惩罚. PC 机和单片机通过 USB 线缆通信.

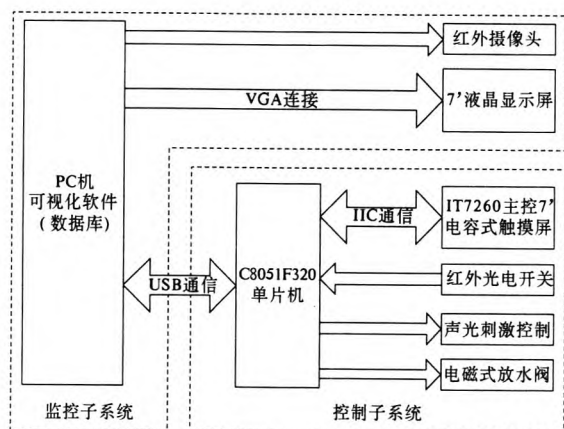


图 1 系统总体结构

Fig.1 Structure of the system

系统的运行原理: 首先, 系统根据实验方案设定视觉刺激图像, 并在显示屏上显示. 实验对象在受到视觉图像刺激后通过触摸屏进行反应, 完成认知或其它学习任务; 然后, 系统根据其采集到的反应结果进行相应的奖惩刺激; 实验结束后, 系统对实验数据进行自主分析并给出对应的评估结果.

2 监控子系统设计

监控子系统是整个系统的控制终端, 采用 Visual C++ 开发, 软件结构如图 2 所示. 软件采用多线程编程方式, 可支持 1~4 个实验箱同时连接到同一 PC 端进行实验, 有效地节约了上位机资

源和实验成本.

实验方案设定模块对实验方案进行新建编辑保存等操作. 根据动物学习认知训练的要求, 本系统提供 3 种类型的实验方案, 分别针对单幅图片刺激、双图分左右屏刺激、视频显示刺激 3 种实验模式. 方案设置均使用简洁的文件选择方式, 使软件操作简单, 界面友好. 方案文件最终以 INI 文件的格式进行保存, 方便实验前进行加载.

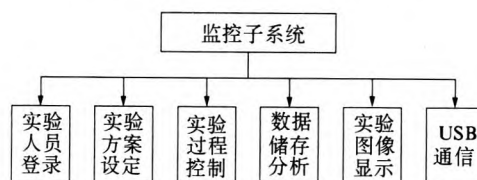


图 2 监控子系统结构

Fig.2 Structure of monitoring subsystem

实验过程控制模块对实验过程进行实时控制, 实现实验方案的加载、实验过程的起停控制、实验中实时数据的显示等功能, 并且可以通过摄像头对实验过程进行监控和录像. 实验人员通过这一模块可以对整个实验过程进行方便的操控和监测.

数据储存分析模块包括实验前实验动物档案录入、实验中实验数据实时记录以及实验后对实验结果统计分析 3 个部分. 本模块选择 ACCESS 数据库进行动物档案和实验数据的记录. 实验人员信息和动物信息在实验前由实验人员进行录入, 而实验时间、实验结果、正确率等信息则由控制软件根据实验结果自动进行计算和存储. 实验结束后生成的结果文件为本次实验过程中实验数据的实时记录, 以 Excel 表格格式存储. 实验结果经过软件统计分析后以图表的方式提供给实验人员, 进而按照预先设定的评估方案和筛选标准给出评估筛选建议供实验人员参考, 实现实验结果的自动评估功能.

3 控制子系统设计

控制子系统的主要功能为通过 USB 通讯接收来自监控子系统的控制指令, 按照指令要求对电容式屏、电磁阀、红外光电开关、声光刺激电路等外围器件进行驱动控制, 并把实验中检测采集到的数据实时的回传至 PC 端.

3.1 硬件设计

控制子系统硬件整体结构如图 3 所示. 主控芯片 C8051F320 单片机内部集成了 USB 功能控

制器,不需要外部器件便可以实现与 PC 端的 USB 通讯. 这款芯片还支持 SMBus 数据传输协议,这种协议与 IIC 通信协议相兼容,从而可以满足与电容屏进行通信的要求.

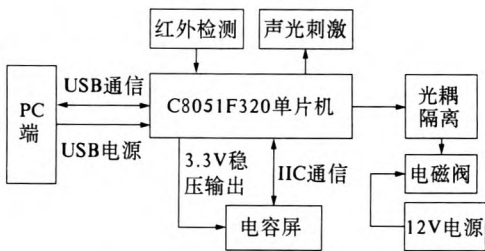


图 3 控制器硬件电路方框图
Fig.3 Hardware structure of Controller

电源部分采用 DC12 V 和 USB 总线 5 V 双电源供电,两个电源之间通过光耦进行隔离,从而防止 DC12 V 电路对低压控制部分以及计算机的 USB 口产生影响.

相比于已有的摇杆等检测装置或其他人工记录动物反应的方法,触摸屏技术通用性强,可以适用于更多种类的实验对象. 同时触摸屏技术还可以消除大部分由于实验者的人为因素造成的失误或错误^[3],从而为实现无人职守自动训练提供了重要条件. 考虑到不同实验动物的触碰力度有所不同,为了避免因触碰力度太小导致的数据采集失败,本系统选用了电容式触摸屏检测动物观看刺激图像后的反应.

红外光电开关用于检测动物是否位于有效的进食区域. 动物投食装置使用电磁式放水阀,与储水瓶导管配合,可以控制牛奶、水等液体食物的投放,适用于大多数实验动物的投食犒赏. 由高亮 LED 和蜂鸣器组成声光刺激电路用于对动物进行惩罚.

3.2 软件设计

控制子系统软件主要包括 USB 通讯、电容屏驱动、电磁阀控制、声光红外控制 4 个部分. 其中 USB 通讯和电容屏驱动是最重要的部分.

主程序主要完成系统时钟、端口、定时器的配置和外设的初始化工作. 在这些工作结束之后程序进入中断等待状态,涉及的中断主要包括 USB 通信中断和电容屏触发的外部中断两种. USB 通信中断程序流程图如图 4 所示.

电容屏初始化操作结束之后,当其检测到有效碰触信号时将会触发单片机的外部中断,在单片机的中断程序中对电容屏相应缓存区进行读取即可获得动物碰触的坐标值,并且在控制器接收

到查询指令时进行回传. 与此同时控制器会根据动物判断结果的正误和红外光电开关检测动物是否位于有效投食位置来控制电磁阀进行相应的投食犒赏或驱动蜂鸣器和高亮 LED 进行声光刺激惩罚.

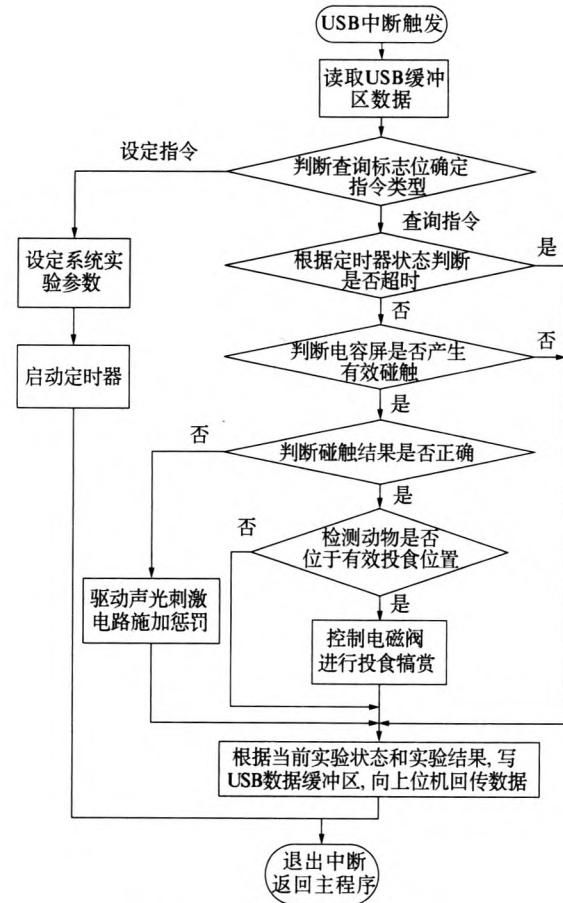


图 4 USB 通讯中断程序流程图
Fig.4 The flow chart of USB interrupt program

4 通信协议设计

本系统 PC 端和单片机之间采用 USB 通信方式,通信协议包括 PC 端至单片机和单片机至 PC 端两个部分,分别如表 1 和表 2 所示.

表 1 PC 端至单片机的数据帧					
Tab.1 Frame from PC to MCU					
实验序号	超时时间	预设结果	查询标志	有效时间	校验和
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节

表 2 单片机至 PC 端的数据帧					
Tab.2 Frame from MCU to PC					
训练序号	训练时间	训练结果	X 坐标	Y 坐标	校验和
1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节	1 字节

5 系统实现

以大鼠为例,基于以上给出的设计原理及实现步骤,开发了动物视觉学习认知自动训练评估系统.系统实物图如图 5 所示,其中图 5(a)为系统整体实物图,图 5(b)为控制器部分实物图.

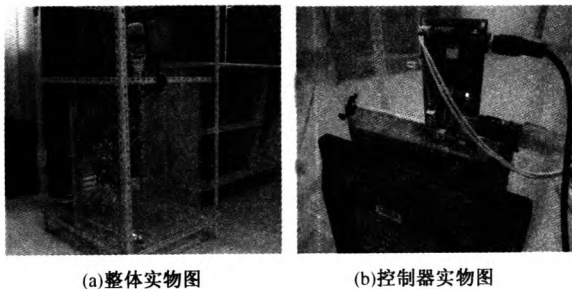


图 5 系统实物图
Fig. 5 Physical diagram of the system

实验箱采用自制的有机玻璃制作,实验箱一侧开窗用于安装电容屏,电容屏上方安装控制器和声光刺激电路;实验箱另一侧安装投食控制装置和红外光电开关,上方安装摄像头,摄像头连接至计算机.计算机与两个显示器相连,用于人机交互的显示器置于箱体外部,用于显示刺激图像的显示器装在实验箱触摸屏的后方与触摸屏贴紧.投食控制装置由储水瓶、电磁阀、红外光电开关和食盘组成,储水瓶与电磁阀进水口连接,电磁阀出水口连接导管,导管的出水口位于食盘上方.红外

光电开关安装于食盘上方一侧.电容屏、红外光电开关、电磁阀和声光刺激电路均通过导线与控制器连接,控制器通过 USB 线与计算机连接,计算机安装有自主开发的监控评估软件.

6 动物实验及结果

为了验证本系统的有效性,选取两只雄性 LE 大鼠作为实验对象,编号分别为 25-1 和 25-2.实验前均进行严格的限食控水,实验过程中使用水作为犒赏.实验进度安排为每只大鼠每日进行两次实验,每次实验时长约 30 min,实验时间设定为上午 8:30 ~ 10:30 之间,两次实验正确率的平均值作为当天的实验结果.

笔者设计的视觉学习任务共分为两个阶段:第一阶段采用一屏单图的刺激模式,实验过程中交叉出现正弦光栅和灰屏,训练大鼠在出现光栅的时候触屏视为正确,并给予奖励;第二阶段设为一屏双图的模式进行刺激,光栅和简单图形随机的出现在屏幕左右两侧,大鼠需要识别光栅出现的位置,并在对应的位置进行触屏,才会给予奖励.由于第一阶段为进入第二阶段的基础,在本文只有当第一阶段正确率达到 85% 以上并稳定时才可以进入第二阶段进行训练.监控评估软件对实验大鼠 30 d 内两个阶段的正确率分别进行了统计分析,统计分析结果分别如图 6(a)和图 6(b)所示.

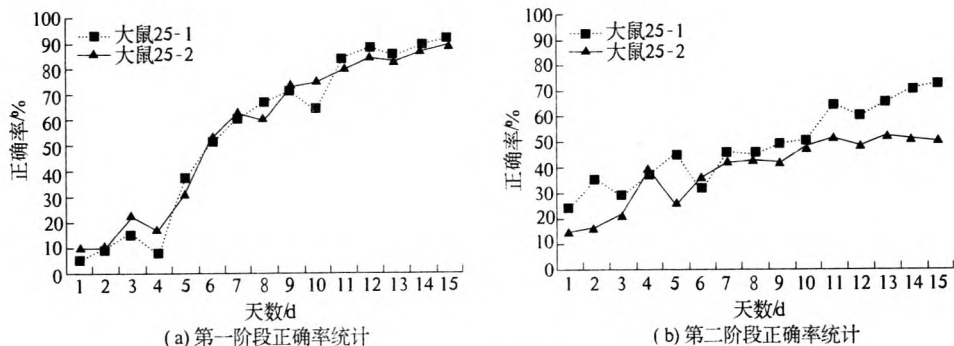


图 6 实验正确率统计
Fig. 6 Correct rate statistics of the experiments

第一阶段单图刺激模式下两只大鼠的实验结果基本一致,实验初期大鼠需要 5 ~ 6 d 的时间适应环境和实验装置,正确率很快便达到 50% 以上,10 d 左右正确率已基本可以稳定在 80% 以上,再经过 4 ~ 5 d 的巩固,最终两只大鼠的正确率都能达到 90% 左右,符合软件限定的进入下一阶段的要求.

由于第二阶段一屏双图的刺激模式需要大鼠对不同图像进行辨识,难度较大,所以大鼠在实验初期正确率较低.由正确率曲线可以看出,总体上正确率还是逐渐增长的趋势,最终正确率可以达到 70% 左右,这表明大鼠对特定图形的辨识能力和敏感程度已经有了显著提高.通过两只大鼠的正确率曲线对比可以看出,在这一阶段 25-1 的正

确率要优于 25-2,这表明 25-1 的视觉学习认知能力要优于 25-2,评估软件自动完成对两只大鼠的实验结果分析对比,给出评估结果,有效降低了实验人员的工作量。

7 结论

本系统利用可视化编程技术,实现了无人职守、稳定可靠、自动高效的上位机平台,实现了 1~4 个实验箱同时连接到同一 PC 端进行实验的功能,有效地节约了资源和人力成本。电容屏的采用使本系统可以针对多种实验动物开展视觉学习认知实验,通用性强。投食犒赏和刺激惩罚的精确控制,更加有利于强化动物的学习训练结果。实验方案的灵活设置和实验结果的自动分析评估为实验人员开展研究提供了很大的便利。总之,本系统成本低,可扩展性强,对于动物视觉学习认知研究具有重要意义,并且具有很好的市场推广价值。

参考文献:

- [1] 王韵. 神经系统生理学发展研究[C]//2010-2011 生理学学科发展报告. 北京:中国科学技术出版社, 2011:43-67.
- [2] 郭爱克,彭岳清,张柯,等. 小虫春秋:果蝇的视觉学习记忆与认知[J]. 自然杂志,2008,31(2):63-68.
- [3] 马原野,王建红. 认知神经科学原理与方法[M]. 重庆:重庆出版社,2002.

- [4] HUBERMAN A D, NIELL C M. What can mice tell us about how vision works? [J]. Trends in Neurosciences, 2011, 34(9):464-473.
- [5] GÖTZ K G. Optomotorische untersuchung des visuellen systems einiger augenmutanten der fruchtfliege drosophil[J]. Kybernetika, 1964(2):77-92.
- [6] PRUSKY G T, WEST P W R, DOUGLAS R M. Behavioral assessment of visual acuity in mice and rats[J]. Vision Res, 2000(40):2201-2209.
- [7] PRUSKY G T, ALAM N M, BEEKMAN S, et al. Rapid quantification of adult and developing mouse spatial vision using a virtual optomotor system[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2004, 45:4611-4616.
- [8] ANDERMANN M L, KERLIN A M, REID R C, et al. Chronic cellular imaging of mouse visual cortex during operant behavior and passive viewing[J]. Front Cell Neurosci, 2010, (4):212-216.
- [9] 周江宁, 吴旭, 陈贵海. 用于对小鼠的学习记忆能力进行测试的环形平台. 中国:200810025018. 1[P], 2008-04-02.
- [10] 朱启文, 曹伟平, 赵建文, 等. 采用闭合旋转式迷宫的动物记忆训练系统:中国, 201110052621. 0[P], 2011-03-07.
- [11] 郝耀耀, 张巧生, 李斌, 等. 用于非人灵长类动物行为学习的自动化训练装置及方法:中国, 200910155150. 9[P], 2010-06-02.

An Automatic Training and Evaluating System for Animal Visual Cognition

SHI Li, WANG Yong-rui, LUO Yong

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: According to the actual demands of animal visual cognition research, an automatic training and evaluating system was developed for animal visual cognition by the analysis of animals' behavior characteristics. The system consisted of the monitoring subsystem and the control subsystem. The monitoring subsystem was designed to set the experimental parameters, control the visual stimuli, store and analyze the real-time experimental data. The control subsystem was constructed to obtain animal experimental data via capacitive touch screen and infrared sensor, and give a food reward to animals through an electromagnetic valve or a punishment with sound and light stimulations. The system was examined with LE rats' experiments. The results showed that the system could supply a great convenience for training of animals' cognitive behavior and finish the evaluation of their cognitive ability automatically based on specified visual tasks. It also has many advantages, such as reliable communication, high control accuracy, convenient operation and good generality.

Key words: animal visual; cognition; evaluation; capacitance screen; Visual C++