

虚拟数字脑中文版软件平台的构建

刘喆¹, 牛天渭¹, 孙奥¹, 何乐民¹, 程运福¹, 张璘¹, 徐龙春², 张岗³, 张敏凤², 邹越³, 赵海辰¹, 吕睿¹, 张光玉¹

1. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)放射学院, 山东 泰安 271016; 2. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)第二附属医院放射科, 山东 泰安 271000; 3. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)第二附属医院耳鼻喉科, 山东 泰安 271000

【摘要】目的:优化英文版虚拟数字脑软件平台的操作步骤,增加虚拟数字脑的功能,构建虚拟数字脑中文版软件平台。**方法:**首先,将菜单栏中的各项和对话框中的控件名称中文化。然后,优化操作步骤,在虚拟数字脑中增加测量脑区神经活动强度和信

【关键词】虚拟数字脑;类脑人工智能;神经活动强度;信息处理速度

【中图分类号】R318;TP391.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)03-0371-07

Construction of the Chinese version of virtual digital brain software platform

LIU Zhe¹, NIU Tianwei¹, SUN Ao¹, HE Lemin¹, CHENG Yunfu¹, ZHANG Zhen¹, XU Longchun², ZHANG Gang³, ZHANG Minfeng², ZOU Yue³, ZHAO Haichen¹, LÜ Rui¹, ZHANG Guangyu¹

1. Department of Radiology, Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Tai'an 271016, China; 2. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Tai'an 271000, China; 3. Department of Otolaryngology, the Second Affiliated Hospital of Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Tai'an 271000, China

Abstract: Objective To construct the Chinese version of virtual digital brain software platform by optimizing the operation steps of the English version of virtual digital brain software platform and adding some functions in virtual digital brain. **Methods** The names of the menu items and the controls in those dialog boxes were firstly translated into Chinese. Then, the operation steps were optimized, and some functions such as measurements of the intensity of neural activity and the speed of information processing were added in the virtual digital brain. Finally, the source codes were improved, and bug fix was carried out in the environment of VC++12.0, thereby completing the construction of the Chinese version of virtual digital brain software platform. **Results** The effectiveness of the proposed software was validated by simulation experiments. **Conclusion** Compared with the English version, the Chinese version of virtual digital brain software platform has more concise and clear operating steps, with more perfect functions. The proposed software can be used in the researches on brain science and provides some references for the investigation on brain-inspired artificial intelligence.

Keywords: virtual digital brain; brain-inspired artificial intelligence; neural activity intensity; information processing speed

【收稿日期】2021-09-28

【基金项目】山东省自然科学基金(ZR2018MH033, ZR2015HL095, ZR2014HM072);山东省大学生创新创业项目(S202110439094);泰山医学院高层次课题培育计划(2018GCC13);山东第一医科大学学术提升计划(2019LJ004)

【作者简介】刘喆,研究方向:医学图像处理,E-mail: lz77848@163.com

【通信作者】张敏凤,研究方向:功能磁共振成像,E-mail: zmfhchl@163.com

前言

脑科学研究对于人类不断认识自身与世界有着重要意义,是科技发展的前沿领域。近年来各国纷纷制订脑科学研究规划,加大对脑科学研究的投入,力图占领这一领域的研究制高点,并推动相关产业的进步^[1]。针对脑科学和类脑研究,欧洲、美国、日本和中国都制定了相应的脑计划,并取得了突破性的成果^[2-5]。2016年,我国“十三五”规划将“脑科学与类脑研究”列为“科技创新2030—重大项目”,预示着

“中国脑计划”也已正式启动;“十四五”规划纲也将“脑科学与类脑研究”列为重点发展领域。

虽然中国拥有丰富的临床资源可供脑科学研究,但目前用于这方面研究的软件大多运行速度较慢或操作繁琐,还不能完全满足脑科学研究的需要。因此,设计一款操作简单、运行速度较快且可用于脑科学研究的软件,对于脑科学发展计划的实施具有重要意义。

笔者先前的研究“虚拟数字脑软件平台的研究与开发”介绍了英文版虚拟数字脑软件平台^[6]。该平台是针对欧洲虚拟大脑软件平台^[7-10]存在的问题,借鉴脑科学研究的成果,在VC++12.0的开发环境下,利用C/C++编程语言开发的一款能够用于脑科学和类脑研究的软件包^[11]。虽然相对于欧洲虚拟大脑软件平台,英文版虚拟数字脑软件平台安装环境简单、操作相对便捷、功能更加完善,但其还存在着一些问题,如操作步骤与功能还需进一步优化完善,程序代码还存在一些问题等。虚拟数字脑中文版软件平台是对英文版虚拟数字脑软件平台的改进,它将英文版软件中文化,并在软件原有的基础上优化虚拟数字脑功能操作步骤,增加脑区信息处理速度、脑区神经活动强度以及相关辅助功能,优化代码,修复程序中的漏洞,使软件操作更加便捷,功能更加完善,能更好地适用于脑科学研究,并为类脑人工智能的研究提供一定的启示。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 测试图像 山东第一医科大学第二附属医院影像科提供的NIFTI格式磁共振医学图像。

1.1.2 脑区模板 61×73×61或91×109×91大小的NIFTI格式Brodmann或AAL标准脑区模板。

1.1.3 刺激信号 由自编软件生成的单任务刺激信号与多任务刺激信号。

1.2 方法

1.2.1 软件设计 改进后的虚拟数字脑中文版软件平台总体框架如图1所示。此软件包括3条主要功能路线,由“节点与因果连接”、“构建虚拟数字脑”、“获得虚拟激活脑区”、“统计学分析”以及“统计学分析结果显示”5个对话框完成(图2)。

(1)功能路线一:构建因果连接网→(因果连接网统计学分析及显示)→构建虚拟数字脑→激活虚拟数字脑→统计学分析→统计学分析结果显示

英文版本中,该路线由两部分完成,详细信息可参考文献^[6],而中文版本将其分5部分,并添加了操作说明及步骤解释等功能,更方便使用者对软件的理解与操作。

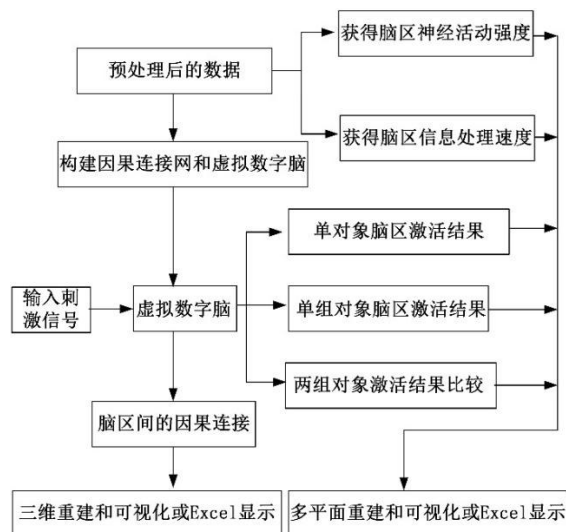


图1 虚拟数字脑中文版软件总体框架

Figure 1 General framework of the Chinese version of virtual digital brain software

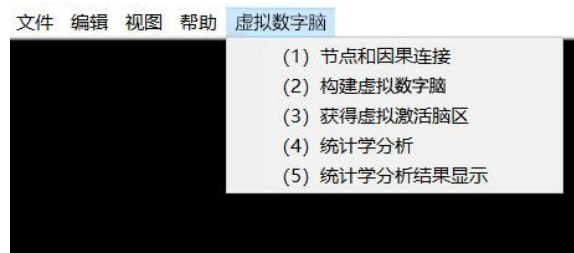


图2 虚拟数字脑软件中文版功能路线一

Figure 2 Functional route one of the Chinese version of virtual digital brain software

①构建因果连接网:使用预处理后的磁共振数据与脑区模板(Brodmann脑区模板或AAL脑区模板)通过熵连接方法^[12]构建因果连接网,因果连接网包括同步因果连接网与异步因果连接网。

②构建虚拟数字脑:利用构建的同步与异步因果连接网、预处理的磁共振数据和多变量回归模型构建虚拟数字脑。

③激活虚拟数字脑:构建虚拟数字脑后,可根据实际需求,将特定刺激信号输入到虚拟数字脑的某个或某些脑区,通过脑区神经活动预测模型和迭代算法获得各脑区神经活动信号的强度。

④统计学分析:对上述步骤得到的结果进行统计学分析,从而得到脑区间的因果连接、单对象脑区激活结果、单组对象脑区激活结果、两组对象激活结果比较等。

⑤统计学分析结果显示:分析后的结果可通过多平面重建和可视化或Excel显示来进行观察分析。

(2)功能路线二:获得脑区信息处理速度→统计学分析→分析结果的显示

此功能为新添加功能。使用预处理后的磁共振

数据与脑区模板(Brodmann脑区模板或AAL脑区模板)获得脑区信息处理速度,经过统计学分析可通过多平面重建和可视化或Excel显示来观察结果。

(3)功能路线三:获得脑区神经活动强度→统计学分析→分析结果的显示

此功能为新添加功能。使用预处理后的磁共振数据与脑区模板(Brodmann脑区模板或AAL脑区模板)获得脑区神经活动强度,经过统计学分析可通过多平面重建和可视化或Excel显示来观察结果。

除3条主要功能路线外,此软件还添加了任务执行时间显示、操作错误提示以及操作步骤解释等功能,并解决了软件闪退等不正常现象。对任务执行时间进行运算显示;为方便操作者使用,在软件的每个对话框中都添加了步骤说明,将光标放在一些较为难理解的步骤上可显示此步骤的解释;软件可自动以执行任务的名称对已设置的保存路径中的文件名进行扩展,数据运行完成后系统会弹出提示框提示计算完成的数据所保存的位置以及为了解决英文版操作错误时软件闪退现象而修改了源代码,使操作错误后出现提示框提示错误信息。

1.2.2 软件的编程实现 虚拟数字脑软件中文版与英文版都是在VC++12.0的开发环境下,利用C/C++编程语言开发。软件开发步骤如下:

(1)建立界面

首先将软件英文版本菜单项中文化,将原菜单项“VDB”改为“虚拟数字脑”。在“虚拟数字脑”菜单项中添加子项“节点和因果连接”、“构建虚拟数字脑”,“获得虚拟激活脑区”、“统计学分析”以及“统计学分析结果显示”。随后,为该菜单中的每一个子项添加消息映射函数。

在程序资源里添加与菜单子项相对应的对话框,并在菜单子项的消息映射中添加创建和显示该对话框的函数。如在程序资源里添加“构建虚拟数字脑”对话框,并在菜单子项“构建虚拟数字脑”的消息映射中添加创建和显示该对话框的函数。

(2)计算功能

利用MFC DLL向导创建动态链接库“fMRIDLL”,并在该动态链接库中添加成员函数,分别实现计算脑区间因果连接,获得脑区信息处理速度、脑区神经活动强度、回归系数、单对象脑区激活结果、单组对象脑区激活结果、两组对象相比较的脑区激活结果等功能。并在各对话框相应控件的消息映射函数中分别调用这些成员函数,完成相关功能。

(3)结果显示功能

利用MFC DLL向导创建动态链接库“3DDLL”,在该动态链接库中添加成员函数实现三维重建可视

化、多平面重建可视化以及Excel显示的功能,并在“统计学分析结果显示”对话框相应控件的消息映射函数中调用,完成脑区间的因果连接、脑区信息处理速度、脑区神经活动强度、虚拟激活脑区等计算结果显示功能。

(4)辅助功能

利用系统time函数对任务执行时间进行运算并显示;在各对话框中添加步骤说明及对各步骤的解释;修改代码,增加操作错误提示等。

2 结果

虚拟数字脑软件中文版开发完成后对其进行性能与功能测试。在Windows 10系统下,点击虚拟数字脑软件的可执行应用程序并运行。

优化前,虚拟数字脑软件英文版操作对话框可查看文献[6],图3~图7为优化后的虚拟数字脑软件中文版实现主要功能的5个对话框。在“节点与因果连接”对话框中使可用预处理数据与脑区模板获得因果连接、脑区神经活动强度以及脑区信息处理速度;在“构建虚拟数字脑”对话框中可利用构建的因果连接网等构建虚拟数字脑;在“获得虚拟脑区激活”对话框中可根据需要使用不同模拟刺激信号对所构建的虚拟数字脑的不同脑区进行刺激,并获得刺激结果;在“统计学分析”对话框中可用多种统计学检验与多重比较校正方法对数据进行分析,获得脑区间因果连接、单对象脑区激活结果、单组对象脑区激活结果、两组对象激活结果比较等分析结果;在“统计学分析结果显示”对话框中可完成上述分析结果的显示,包括多平面重建及可视化、三维重建及可视化和Excel显示。根据对话框中的步骤提示完成相应设置,即可完成软件的3个主要功能。

(1)按照功能路线一(构建因果连接网→构建虚拟数字脑→激活虚拟数字脑→统计学分析→统计学分析结果显示)可获得因果连接网与脑区激活结果。本研究利用30例受试者(16例双耳聋患者,14例正常听力的志愿者)的功能磁共振数据对功能路线一进行测试。图8和图9为AAL13(左侧额下回三角部)同步输出因果连接增强和减弱的3D左视和俯视结果(双样本 t 检验, $P<0.05$,PRT corrected,重复率:0.85,重复检测次数:5 000,每组中随机选取的人数:10),其中箭头的方向表示因果连接的方向,红色表示脑区间因果连接的增强,蓝色表示脑区间因果连接的减弱。

图10是将单任务刺激信号输入到左、右侧颞横回时单任务单对象脑区激活的多平面重建和可视化结果。图11是将多任务刺激信号输入到左、右侧颞横回和左、右侧颞上回时多任务多对象脑区激活的



图 3 节点与因果连接对话框

Figure 3 Dialog box of obtaining nodal topological properties and causal connectivity

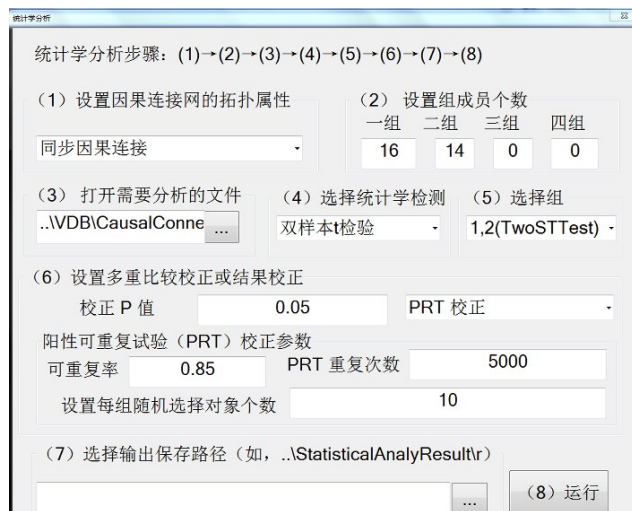


图 6 统计学分析对话框

Figure 6 Dialog box of statistical analysis

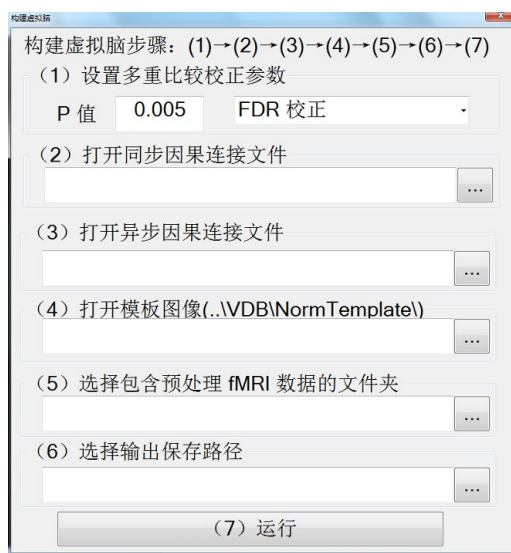


图 4 构建虚拟数字脑对话框

Figure 4 Dialog box of constructing the virtual digital brain

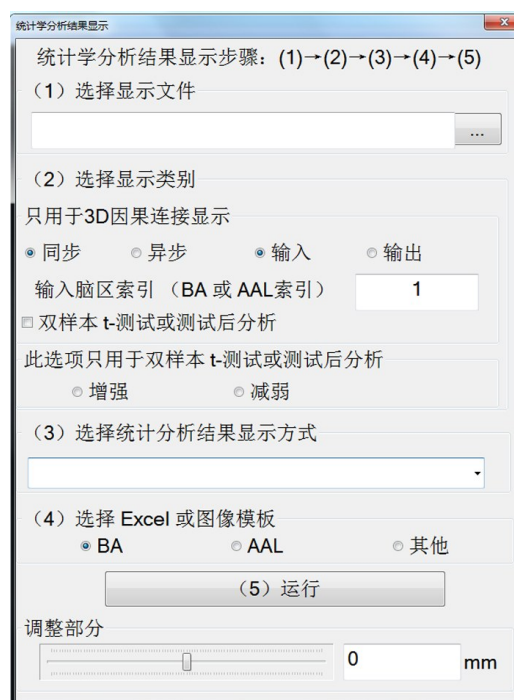


图 7 统计学分析结果显示对话框

Figure 7 Dialog box of statistical analysis results display

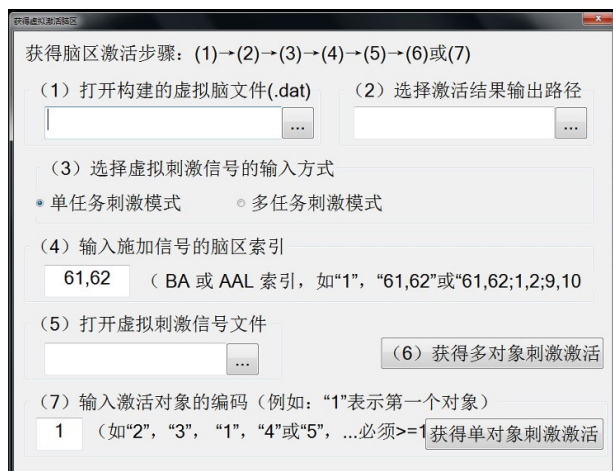
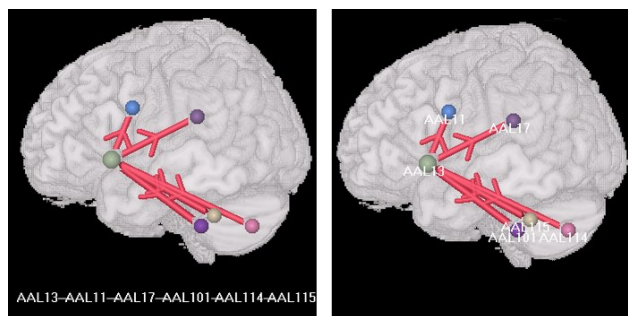


图 5 虚拟数字脑激活对话框

Figure 5 Dialog box of virtual digital brain activation

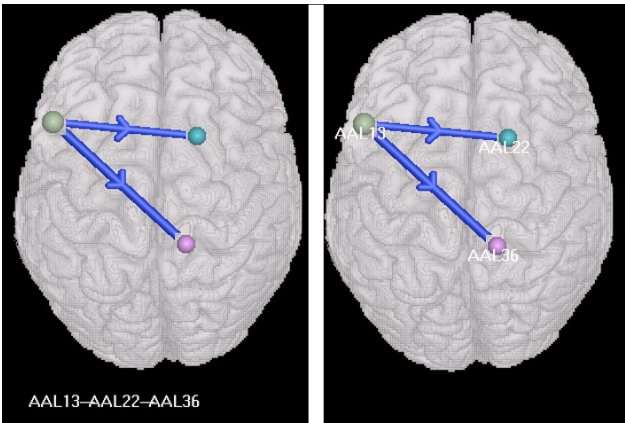


a: 未标注脑区索引的结果

b: 已自动标注脑区索引的结果

图 8 AAL 13 增强的同步输出因果连接三维可视化结果

Figure 8 3D visualization results of the enhanced synchronous output causal connectivity in AAL 13

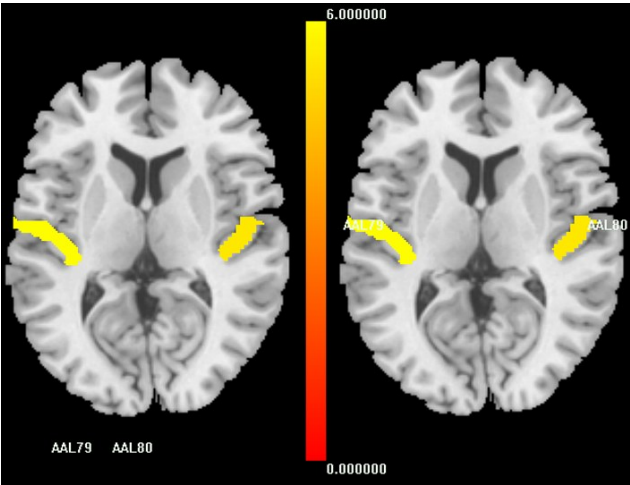


a: 未标注脑区索引的结果 b: 已自动标注脑区索引的结果

图9 AAL 13减弱的同步输出因果连接三维可视化结果

Figure 9 3D visualization results of the weakened synchronous output causal connectivity in AAL 13

多平面重建和可视化结果。其中,蓝色部分对应的脑区呈现负激活,黄色部分对应的脑区呈现正激活,彩色尺度条颜色变化对应脑区激活强度变化,由浅蓝色渐变到黄色表示激活程度逐渐增强。

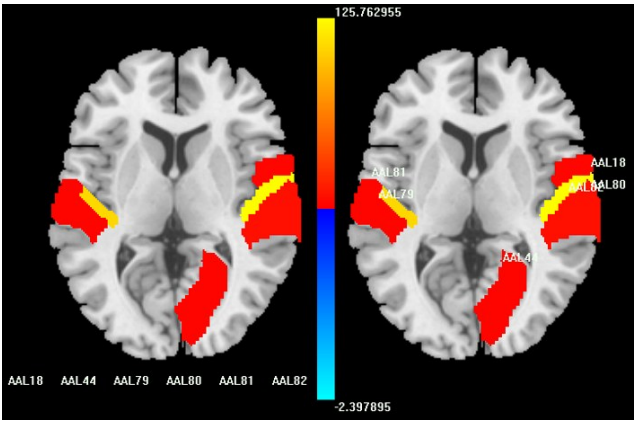


a: 未标注脑区索引的结果 b: 已自动标注脑区索引的结果

图10 单任务单对象脑区激活的多平面重建的可视化结果

Figure 10 Visualization results of multi-plane reconstruction for a single object brain region activation elicited by a single task

(2)按照功能路线二(获得脑区信息处理速度→统计学分析→分析结果的显示)可获得脑区信息处理速度。本研究利用30例受试者(16例双耳聋患者,14例正常听力的志愿者)的功能磁共振数据对功能路线二进行测试。图12是脑区信息处理速度的Excel结果部分展示(双样本 t 检验, $P<0.05$,PRT corrected,重复率:0.5,重复检测次数:5000,每组中随机选取的人数:10)。其中,负值表示耳聋组脑区信息处理速度小于正常听力组的脑区信息处理速



a: 未标注脑区索引的结果 b: 已自动标注脑区索引的结果

图11 多任务多对象脑区激活的多平面重建的可视化结果

Figure 11 Visualization results of multi-plane reconstruction for multi-object brain region activation elicited by multi-task

度,反之则相反。数值为0则表示两组在该脑区的信息处理速度没有明显差别。

27	28	29	30
Rectus (L)	Rectus (R)	Insula (L)	Insula (R)
0	-2.647266	-3.111598	0

图12 部分脑区信息处理速度的Excel结果

Figure 12 Excel results of the information processing speed of some brain regions

(3)按照功能路线三(获得脑区神经活动强度→统计学分析→分析结果的显示)可获得脑区神经活动强度。本研究利用30个受试者(16个双耳聋患者,14个正常听力的志愿者)的功能磁共振数据对功能路线三进行测试。图13是脑区神经活动强度的Excel结果部分展示(双样本 t 检验, $P<0.05$,PRT corrected,重复率:0.5,重复检测次数:5000,每组中随机选取的人数:10),其中,负值表示耳聋组脑区神经活动强度小于正常听力组的脑区神经活动强度,反之则相反。数值为0则表示两组在该脑区的神经活动强度没有明显差别。

27	28	29	30
Rectus (L)	Rectus (R)	Insula (L)	Insula (R)
-2.4596	-2.569	0	0

图13 部分脑区神经活动强度的Excel结果

Figure 13 Excel results of neural activity intensity of some brain regions

(4)时间显示功能。

图14、15为构建因果连接与构建虚拟数字脑时

所需计算时间的显示。此外,若操作错误,软件不会出现闪退等不正常现象,而是会出现错误提示,关闭后可继续操作。

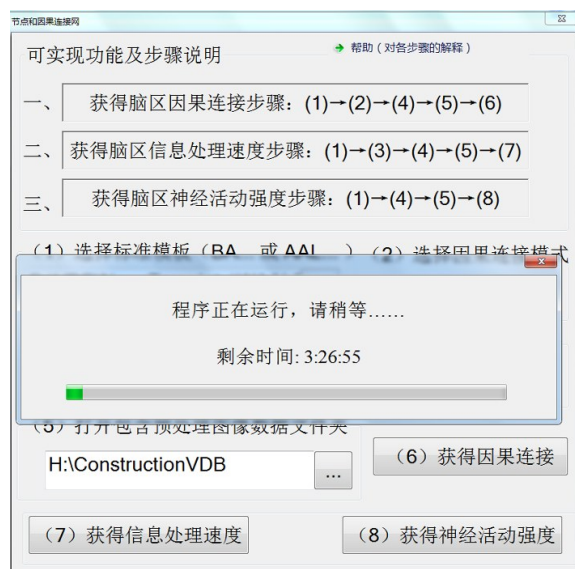


图14 构建因果连接所需时间

Figure 14 Time taken to obtain causal connectivity



图15 构建虚拟数字脑所需时间

Figure 15 Time taken to construct the virtual digital brain

3 讨论

本研究介绍了基于对英文版虚拟数字脑软件平台的改进与完善所开发的虚拟数字脑中文版软件平台。中文版软件平台是在英文版的基础上首先将虚拟数字脑软件的英文操作环境改为中文操作环境,其次将软件原有功能操作步骤按照使用过程中的体验进行重新排列,添加时间显示、步骤解释等辅助功

能,减小了使用的复杂性与使用过程中错误操作的可能性,并在原有功能的基础上增加了获得脑区神经活动强度和脑区信息处理速度的功能,最后优化代码,修复原有程序中的漏洞,完成虚拟数字脑软件中文版的开发。

经测试验证,虚拟数字脑软件每项功能都能成功实现,得到预期结果;且软件在长时间运行过程中稳定无误,呈现的结果准确。本研究仅展示了虚拟数字脑软件中文版的部分主要功能,其他辅助功能如十字定位线、脑区索引提示等并未展示。优化后的软件操作更加便捷,功能更加全面,能用于观察脑区间的因果连接、脑区神经活动强度、脑区信息处理速度以及在虚拟信号刺激下,各脑区激活状态,揭示人脑工作机理,为类脑人工智能的研究提供一定的启示,且该软件操作简单、运行速度较快,不需要其他软件支持,可为脑科学研究提供一个便捷的软件辅助研究平台。基于英文版虚拟数字脑已发表耳聋患者功能成像研究论文3篇^[13-15]。先前的文献报道了利用静息态功能磁共振和多参数磁共振方法对耳聋患者的脑功能研究的结果^[16-20]。然而,到目前为止,还没有文献报道关于耳聋患者脑区神经活动变化和信

息处理速度变化的研究。因此,本软件提供了可以进行此项研究的工具。

本研究开发的虚拟数字脑中文版软件包与欧洲开发的虚拟大脑软件平台^[7-10]、英文版虚拟数字脑软件平台相比,步骤清晰,操作简单,功能更加丰富,不需要任何软件作支撑,运行环境简单。但目前此软件包还存在许多问题,如系统通过当前任务中前面图像运行时间对后面所剩余图像的运行时间进行预测,由于执行任务时所用图像的个体差异,所以预测存在误差;虚拟数字脑软件程序还需优化完善,以得到更精确的运算结果与更广泛的适用范围等。且此软件与英文版虚拟数字脑软件平台一样,还没有利用真实的基于任务的人脑功能磁共振数据进行验证,需要在实际应用中不断进行改进和完善。如何设计功能磁共振任务范例对构建的虚拟数字脑的有效性进行验证,并通过模拟人脑的神经活动来完善虚拟数字脑是今后需要研究的课题。

4 结论

本研究在 VC++12.0 的开发环境下,利用 C/C++ 编程语言针对英文版虚拟数字脑软件平台在使用过程中存在的问题进行优化完善,开发了虚拟数字脑中文版软件,使软件操作更便捷,功能更全面,能更好地适用于脑科学研究,并为类脑人工智能的研究提供一些启示,符合当下科技发展需求。

【参考文献】

- [1] 钱万强, 朱庆平, 沈建磊. 我国脑科学研究战略部署及发展情况浅析[J]. 生命科学, 2014, 26(6): 545-549.
QIAN W Q, ZHU Q P, SHEN J L. Strategic deployment and development of brain science research in China[J]. Life Science, 2014, 26(6): 545-549.
- [2] WANG Q, DING S L, LI Y, et al. The Allen mouse brain common coordinate framework: a 3D reference atlas[J]. Cell, 2020, 181: 936-953.
- [3] MARKRAM H, MULLER E, RAMASWAMY S, et al. Reconstruction and simulation of neocortical microcircuitry[J]. Cell, 2015, 163: 456-492.
- [4] WOODWARD A, HASHIKAWA T, MAEDA M, et al. The Brain/MINDS 3D digital marmoset brain atlas[J]. Sci Data, 2018, 5: 180009.
- [5] SUN Q, LI X, REN M, et al. A whole-brain map of long-range inputs to GABAergic interneurons in the mouse medial prefrontal cortex[J]. Nat Neurosci, 2019, 22: 1357-1370.
- [6] 徐春龙, 张敏风, 张岗, 等. 虚拟数字脑软件平台的研究与开发[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(12): 1434-1439.
XU C L, ZHANG M F, ZHANG G, et al. Research and development of virtual digital brain software package[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(12): 1434-1439.
- [7] MELOZZI F, WOODMAN M M, JIRSA V K, et al. The virtual mouse brain: a computational neuroinformatics platform to study whole mouse brain dynamics[J]. eNeuro, 2017, 4(3): 1-14.
- [8] BEZGIN G, SOLODKIN A, BAKKER R, et al. Mapping complementary features of cross-species structural connectivity to construct realistic 'Virtual Brains'[J]. Hum Brain Mapp, 2017, 38(4): 2080-2093.
- [9] ULLOA A, HORWITZ B. Embedding task-based neural models into a connectome-based model of the cerebral cortex[J]. Front Neuroinform, 2016, 10: 1-15.
- [10] SCHIMER M, ROTHMEIER S, JIRSA V K, et al. An automated pipeline for constructing personalized virtual brains from multimodal neuroimaging data[J]. Neuroimage, 2015, 117: 343-357.
- [11] SANZ-LEON P, KNOCK S A, SPIEGLER A, et al. Mathematical framework for large-scale brain network modeling in the virtual brain[J]. Neuroimage, 2015, 111: 385-430.
- [12] ZHANG G Y, YANG M, LIU B, et al. Changes of the directional brain networks related with brain plasticity in patients with long-term unilateral sensorineural hearing loss[J]. Neuroscience, 2016, 313(2016): 149-161.
- [13] XU L C, ZHANG G, ZOU Y, et al. Abnormal neural activities of directional brain networks in patients with long-term bilateral hearing loss[J]. Oncotarget, 2017, 8(48): 84168-84179.
- [14] ZHANG G, XU L C, ZHANG M F, et al. Changes of the brain causal connectivity networks in patients with long-term bilateral hearing loss[J]. Front Neurosci, 2021, 15: 628866.
- [15] ZHAO H C, LÜ R, ZHANG G Y, et al. Alterations of prefrontal-posterior information processing patterns in autism spectrum disorders[J]. Front Neurosci, 2021, 15: 768219.
- [16] XU X M, JIAO Y, TANG T Y, et al. Altered spatial and temporal brain connectivity in the salience network of sensorineural hearing loss and tinnitus[J]. Front Neurosci, 2019, 13: 246.
- [17] XU X M, JIAO Y, TANG T Y, et al. Inefficient involvement of insula in sensorineural hearing loss[J]. Front Neurosci, 2019, 13: 133.
- [18] XU X M, JIAO Y, TANG T Y, et al. Sensorineural hearing loss and cognitive impairments: contributions of thalamus using multiparametric MRI[J]. J Magn Res Imaging, 2019, 50: 787-797.
- [19] ZHANG G Y, YANG M, LIU B, et al. Changes in the default mode networks of individuals with long-term unilateral sensorineural hearing loss[J]. Neuroscience, 2015, 285: 333-342.
- [20] FITZHUGH M C, HEMESATH A, SCHAEFER S Y, et al. Functional connectivity of Heschl's gyrus associated with age-related hearing loss: a resting-state fMRI study[J]. Front Psychol, 2019, 10: 2485.

(编辑:谭斯允)