

基于 Unity 的神经反馈干预系统设计与实现

何 艳 张晨阳

西安邮电大学通信与信息工程学院 西安 710121

摘 要 大脑具有可塑性,神经反馈训练有助于大脑神经损伤康复。由于药物治疗存在耐药性等副作用,基于神经反馈的大脑康复训练是当前的研究热点。大脑调控是临床大脑疾病如孤独症和多动症的有效治疗手段,其主要通过高级认知任务训练逐步恢复大脑认知功能。认知任务训练形式多样,文中引入 Unity3D 游戏引擎,设计并开发了一种神经反馈治疗系统——极速赛车(Speeding)。首先,本系统在传统思维训练的基础上引入了神经反馈机制。每隔一段时间对玩家的游戏数据进行检测,根据检测情况及时调整训练难度,增强训练目的性和针对性,提高训练效率。其次,本系统引入了多任务训练机制,利用地图和宝石道具开展多任务思维训练,使玩家的注意力更加集中,提高训练的效果。通过设计不同难度的场景对应梯度阈值,引入延迟检测函数模块实时调整思维训练难度。本系统将为有效改善大脑工作状态,实现大脑神经系统康复和治疗提供技术支持。

关键词: 神经反馈;脑机接口;可塑性;康复

中图法分类号 R318

Design and Implementation of Neurofeedback Intervention System Based on Unity

HE Yan and ZHANG Chen-yang

School of Communications and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710121, China

Abstract The plastic brain represents its cognition recovery capability from injury, and neurofeedback training can improve this recovery process efficiently. Due to the side effects including drug resistance, neurofeedback-based brain rehabilitation training attracts much attention recently in the field of brain research. As an effective treatment for clinical brain diseases such as autism and attention deficit hyperactivity disorder, brain regulation and modulation can gradually restore its cognitive function through advanced cognitive task training. There are various kinds of individual cognitive training. In this paper, the Unity3D game engine is applied to design and develop a neurofeedback therapy system which is called Speeding. Firstly, this system introduces the neural feedback mechanism apart from traditional thinking training, and the difficulty of training will be adjusted timely according to the condition detection of the brain, therefore it enhances the purpose and pertinence of brain training and then the training efficiency could be improved. Secondly, this system adopts the map and gem props to carry out multi-task thinking training, which makes the player pay closer attention so as to improve the training effect. By way of accomplishing the design of multiple scenarios corresponding to gradient training difficulties, this system enables improving the working condition of the brain as well as providing technical support for the rehabilitation and treatment of the cerebral nervous system.

Keywords Neural feedback, Brain computer interface, Plasticity, Rehabilitation

1 引言

大脑神经系统是完成人体认知功能的基础结构,神经系统疾病是威胁人类身体健康的重大疾病之一,给病人和社会带来沉重的身体和心理负担。药物干预是治疗神经系统疾病的常规渠道,长时间使用药物治疗可能会导致副作用,并加重患者经济与身心的压力。作为一种无副作用且训练效果持久的训练方法,神经反馈成为当前研究热点^[1]。

大脑具有高度可塑性,神经反馈技术通过脑机接口(Brain Computer Interface, BCI)改善大脑神经振荡成分,训练大脑行为进而修复大脑损伤,达到治疗或康复目的。神经反馈训练流程如图 1 所示,可用于治疗癫痫、注意缺陷多动障碍

等神经系统疾病,也可用于改善大脑认知功能和精神状态^[2]。

在脑机接口中,脑电信号被用于实现人脑与计算机或其他电子设备的通讯和控制^[3]。国内外许多学者尝试将神经反馈干预治疗与电子游戏相结合,开发出可以增强被试注意力等认知能力的电子游戏。以神经反馈训练为例,电子游戏玩家通过脑机接口以脑电信号等神经振荡方式实现交互和思维训练。

就国外研究而言, Pope 等^[4]研究了多动症儿童的神经反馈训练,该训练利用视频游戏的控制器作为输入。结果显示使用视频游戏控制器作为反馈输入的孩子,其多动症症状改善效果比传统神经反馈训练效果更加明显。这表明将电子游戏与神经反馈训练相结合的训练模式相比于传统训练更加高效。

基金项目:国家自然科学基金(81460206);陕西省自然科学基金(2019JQ861)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (81460206) and Shaanxi Natural Science Foundation (2019JQ861).

通信作者:何艳(heyana@xupt.edu.cn)

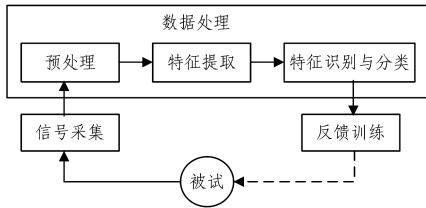


图1 神经反馈训练流程

Fig. 1 Neurofeedback training process

2010年, Kouijzer等^[5]研究了神经反馈训练对自闭症儿童症状的影响, 自闭症儿童参加了传统的神经反馈训练。在观察他们的脑电波振幅的同时, 指导孩子使用反馈来调节其大脑活动。当参与者符合标准时, 将提供与参与者的年龄和兴趣相匹配的视觉和听觉奖励。治疗组中有60%的参与者在神经反馈治疗期间成功降低了 θ 值, 症状得以改善。这项工作表明, 神经反馈训练可改善健康个体和自闭症儿童个体的认知功能。但由于专业性的神经反馈训练通常涉及高成本的多媒体工具和BCI系统, 还需要神经反馈训练员具有精神病和心理疾病治疗的从业执照^[6], 适用范围有限。

由于神经反馈训练操作高重复性、训练内容抽象等特点^[7], 研究人员开始将神经训练与将电子游戏相结合。与标准的神经反馈训练方法相比, 游戏化的应用程序可以提供更多乐趣和参与度。

Pope等^[4]使用Sony Playstation中的视频游戏控制器作为神经反馈训练系统的输入。他们将多动症儿童分为两组, 第一组使用传统的神经反馈训练模式, 第二组使用建议的控制器测试。结果显示第二组儿童多动症症状改善了65%, 而第一组仅改善了48%。实验结果表明, 电子游戏对孩子们进行神经反馈训练的动机具有积极的影响。

Lim等^[8]开发了名为CogoLand的BCI视频游戏, 游戏中孩子需要集中精力移动游戏主角在一个小岛上奔跑。CogoLand利用EEG(Electroencephalography)传感器来监控注意力, 最后使用ADHD(Attention Deficit Hyperactivity Disorder)评分量表进行评估。结果表明, 训练后孩子的注意力不集中和多动的症状有显著改善。2017年, Ochi等^[9]开发了一种用于成人注意力训练的神经反馈游戏。该游戏旨在帮助用户提高其注意力水平。他们对17名成年人进行试点研究, 根据参与者的自我报告量表初步评估其ADHD症状, 从而将其分为高风险人群和正常人群。经过20min的神经反馈游戏训练, 结果发现, 高风险被试的平均注意力水平, 在较高注意力水平下所保持的时间和在游戏中用于重新汇聚注意力的时间在注意力变量测试(Test of Variables of Attention, TOVA)上的表现已得到改善。

2019年, Jose等^[10]设计开发了Farmer Keeper的游戏。这款游戏被用于患有自闭症儿童的神经反馈训练中。游戏的目的是将儿童的注意力保持在阈值之上, 以控制主角寻找丢失的农场动物。该训练有助于自闭症儿童缓解焦虑并且学会遵守规则。

然而, 也有研究表明目前市场上的神经反馈游戏的有效性与其可靠性存在问题。2019年, Coenen等^[11]为了验证神经反馈游戏“Daydream”是否能达到游戏手册中所提到的效果

而展开了调查测试。在进行游戏时, 对14名年龄在20~44岁的健康男性志愿者的脑电图活动进行了评估。共进行了5次实验, 通过脑电图频率分析以验证系统实验效果。结果显示, 游戏中冬季和春季之间 α 与 β 的比例没有差异, 与手册所指出的不符。因此, 在神经反馈游戏正式投入使用前, 有必要对其可靠性与有效性进行测试。

就国内研究而言, 2012年, 李俊华^[12]介绍了大脑基本知识和有关EEG信号解码中常用的算法。2017年, 针对当前大多数认知游戏训练中, 很少针对实验结合认知心理学的行为来评估受试者的认知状态和缺乏反馈机制和适应性的缺陷, Chen^[13]使用Unity3D开发了一款多任务自适应性的3D赛车游戏, 并在测试结束后进行了行为学数据和脑电数据的采集以综合分析被试的注意力状态。该测试结果相较于仅采集行为学数据更加准确。2018年, Wang等^[14]对16名ADHD患者和16名正常儿童进行神经反馈, 在治疗前和治疗后分别采集其清醒闭眼的脑电数据, 对6个频段半球内和半球间的脑电相干性进行了研究。结果显示, ADHD儿童异常脑电活动可以被 θ/β 神经反馈影响, 其ADHD症状得以改善。

2018年, Sun^[15]分别提取了神经反馈训练前后的脑电信号中的奇异谱宽度、Hurst指数、质量指数等分形特征量, 对脑功能状态多重分形强度受到神经反馈训练的影响进行分析, 并以训练前后状态分类正确率作为训练效果指标。结果表明, 神经反馈训练对于注意力与脑功能的状态有积极影响。2018年, 张彦豪^[16]研究了神经反馈对于抑郁人群干预治疗的相关问题, 提出了抑郁人群神经反馈指标并实现了便携式脑电数据采集设备的自适应神经反馈系统。引入PHQ-9和SCL-90量表、脑电特征分析等对3周6次实验采集的数据进行评估, 验证了反馈系统干预治疗的有效性。

2018年, 刘志强^[17]运用体感设备与微软基础类库MFC和Unity3D游戏引擎开发了一款康复治疗辅助系统。该系统降低了训练的经济成本, 对减轻患者的经济压力与身心压力有着重要意义。本文将引入Unity3D游戏引擎, 利用有关神经反馈与BCI知识, 设计并开发一种神经反馈治疗系统——极速赛车, 为大脑神经系统疾病康复和治疗提供技术支持。

2 相关理论及技术概述

2.1 神经反馈简述

神经反馈也称为脑电反馈, 它将收集到的实时神经元数据转变为相关特征, 随后以触觉、听觉和视觉等形式向受试者反馈。神经反馈的最终目标是获得一个学习系统。它将人脑机交互收集的大脑信号转换为触觉、听觉和视觉形式的反馈信号, 根据该反馈信号调节脑电信号。无损伤是神经反馈技术的一大特点。神经反馈技术可以改变皮层神经回路的兴奋性活动, 神经反馈训练被认为是一种有效检测和调节大脑神经可塑性的工具^[5]。

2.2 脑机接口简述

BCI是将外部设备与大脑之间建立连接的实时通信系统, 由输入、输出和信号转化及处理等功能环节组成。它将大

脑发送给设备的信号转换成设备内部的驱动命令,并对设备进行控制,以此来代替人的语言器官或者肢体,实现人与外部环境的交互^[18]。

大脑受到外部刺激之后,在执行动作之前,神经系统的电活动发生相应的变化。通过检测大脑电信号活动,将其作为下一步动作的特征信号并对其进行进一步的分类处理,从而将大脑电活动转化成驱动信号控制外部设备^[19]。

2.3 Unity3D 游戏引擎简述

Unity3D 游戏引擎由 Unity Technologies 公司开发,具有动态预览、可视化编辑以及图型化交互等特点,能实现 3D 游戏、室内设计、虚拟现实等类型的应用程序开发。Unity3D 提供资源导入、地形编辑、光照、物理碰撞、3D 模型显示、粒子特效等功能,满足了 2D 游戏和 3D 游戏开发的需要。Unity3D 渲染能力强大,跨平台性能出色,底层封装完备,其利用 C# 代码访问使用动态链接库和 API 接口,提高了其在各个平台进行发布的效率^[20]。基于 Unity3D 强大的开发功能以及跨平台性,本文引入 Unity3D 开发神经反馈干预系统进行游戏系统设计与开发^[17]。

3 训练系统的设计实现

3.1 模型场景的设计实现

游戏内部场景构建如图 2 所示,对车辆、障碍物和宝石道具添加刚体组件和碰撞体组件。该场景设计了车辆和障碍物,并增加了宝石道具,游戏玩家通过拾取宝石实现多任务训练。

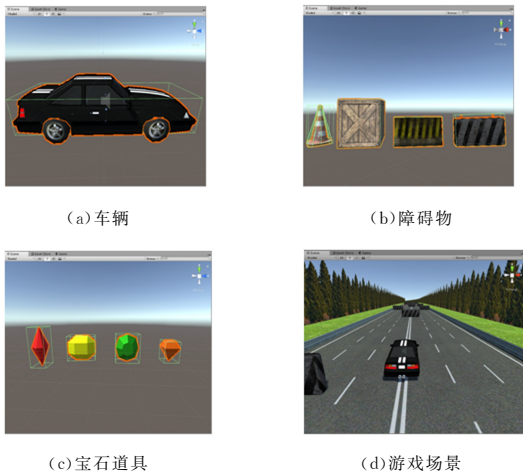
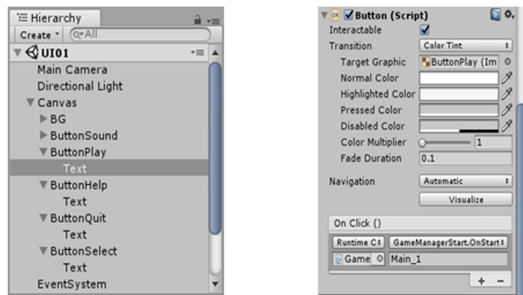


图 2 游戏模型和场景构建

Fig. 2 Game model and scenario construction

3.2 UI 界面设计实现

本系统采用 Unity 内置的 UGUI 工具进行 UI 设计。UGUI 是在 4.6 版本以后推出的官方 UI 插件。利用 UGUI 实现游戏菜单、RPG 游戏菜单栏、侧边栏(背包系统、任务列表)和控制虚拟杆的移动等功能。游戏中的 UI 界面包含主菜单、帮助界面、关卡选择界面和游戏结束界面。主菜单包含了按钮模块和音乐模块。通过在 Hierarchy 窗口中创建空的 GameObject 文件,并在文件下新建 Button 脚本控件来创建按钮,如图 3 所示。在 Hierarchy 窗口中创建 Audio Source 控件来导入音乐,并新建一个 Button 控件来控制音乐的播放与停止。



(a) 创建游戏文件

(b) 添加按钮控

图 3 创建按钮

Fig. 3 Create button

在 Button 中的 On Click() 控件中添加场景切换脚本如表 1 所列,通过点击按钮实现场景切换。

表 1 场景切换

Table 1 Scene switching

```
public void OnStartUI01(string sceneName){
    Application.LoadLevel(sceneName);
}
```

在主界面中添加 5 个按钮控件。1 个控制音量键的按钮和 4 个游戏交互按钮,分别是开始游戏、关卡选择、帮助和结束选项。在 Hierarchy 窗口中创建空的 GameObject 文件,并在文件下新建 Button 脚本控件,分别添加音乐文件和场景跳转脚本到音乐按钮与 4 个交互按钮下。设置场景跳转的场景名,实现点击按钮触发场景跳转效果和点击音量键触发背景音乐关闭与开启的效果,如图 4 所示。



图 4 主界面实现

Fig. 4 Main interface implementation

3.3 阈值反馈机制的设计实现

与传统的电子游戏不同,本游戏引入了实时反馈机制。游戏会自动检测玩家前一个阶段内的游戏表现来对下个阶段的难度进行调整。在游戏中,系统每 5 s 检测一次障碍物碰撞次数,若在 5 s 内连续碰撞了两次,则会将玩家车辆的动力进行下调和刹车操作,完成减速控制以降低难度。若 5 s 内玩家车辆未碰撞到障碍物,则会提高玩家车辆的动力,完成加速控制以增加难度,从而使训练的过程变得流畅有趣。同时,游戏设置了 3 个难度依次递增的关卡,使游戏训练更具有梯度,以达到最好的训练效果。

通过设置延迟函数(InvokeRepeating)完成主角与障碍物碰撞次数的周期性检测功能(每 5 s 检测一次碰撞次数)。当检测到碰撞次数大于或等于 2 次后,对车辆进行制动刹车(brakeTorque),并对车辆的动力(motorTorque)进行下调,刹车制动的大小取决于当前动力的大小,以此完成减速调整;当检测到碰撞次数为 0 次后,提高车辆的动力,从而提高车辆行

驶速度,如表 2 所列。反馈机制以此根据玩家的游戏表现来进行实时反馈调整,控制难度系数。

表 2 反馈机制的实现

Table 2 Feedback mechanism implementation

```

InvokeRepeating("FeedBack",10f,5f);
private void FeedBack(){
    if(score>=2){
        foreach(var o in wheel){
            if(maxTorque>=400 && maxTorque<450){
                maxBreakTorque=450;
                o.brakeTorque=maxBreakTorque;
            }else if(maxTorque >=450 && maxTorque<500){
                maxBreakTorque=1000;
                o.brakeTorque=maxBreakTorque;
            }else if(maxTorque>=500 && maxTorque<600){
                maxBreakTorque=1500;
                o.brakeTorque=maxBreakTorque;
            }maxTorque=maxTorque-10;
        }
        o.motorTorque=maxTorque;
    }Invoke("Release",6);
    }else if(score==0) MoreSpeed();
}

```

3.4 多任务的设计实现

游戏的任务是游戏的核心,玩家对游戏的体验与游戏的任务设置具有紧密的联系。在游戏流程中加入任务系统,就需要玩家时刻高度集中注意力才可以成功通关。

多任务的添加会使玩家更加集中注意力,同时也是对于玩家注意力能力的一项挑战。在汽车行驶至终点的过程中,从视野前方出现宝石道具开始,到汽车接近宝石道具的这段时间内,玩家需要及时做出反应。然而反应时间的快慢也与注意力集中的程度有关。Anguera 等^[21]通过三维视频游戏(NeuroRacer)在多任务训练模式下对 20~79 岁的人群进行测试,结果表明多任务的训练可以增强受试的持续注意力。

在游戏中,将通关条件设置为达到终点线和拾取累计 3 颗宝石道具。然而宝石道具的位置是随着游戏的进行逐个出现的,这就需要玩家及时反应,对游戏集中注意力。同时,增加多任务的设计使得游戏不再单一,玩家也会产生更高的兴趣去完成训练。本游戏的多任务系统是玩家在行驶的过程中尽可能地收集宝石道具,只有收集到 3 颗宝石,才可成功通关。因此,只需给宝石模型添加碰撞器,实现碰撞检测并在场景中设置宝石的位置。当玩家抵达终点线后进行宝石的数量检测,判断是否通关,如表 3 所列。

表 3 道具拾取与结果判定

Table 3 Item picking and result judgment

```

if(collision.collider.tag=="Gem"){
    Destroy(collision.collider.gameObject); gem++;
}if(gem >=3){
    GameOverSuccess,SetActive(true);
    AudioSource.PlayClipAtPoint(Win,transform.position);
}else{
    GameOverFailure,SetActive(true);
    AudioSource.PlayClipAtPoint(Fail,transform.position);
}

```

结束语 本文设计了一款基于 Unity 的神经反馈干预系统,主要面向患有注意力缺陷症状的青少年儿童。通过本系统的训练,可以使被试的注意力集中程度得到改善。我们使用 Unity3D 开发了一款 3D 赛车游戏——Speeding,本游戏在

传统的赛车游戏上新添加了神经反馈训练任务。同时引入多任务的机制,在被试进行赛车游戏的途中增加了收集宝石道具的任务,以此来增强被试的注意力状态。为了避免游戏的难度过于简单或困难,使玩家感到无聊或不能流畅地进行训练任务。我们根据难度的大小分别开发了 3 个关卡并在游戏中引入了神经反馈机制。在游戏中系统会自动检测玩家上一阶段的游戏表现,并依此对下一阶段的难度进行及时的调整,以此达到更好的训练效果。

开发过程中主要使用了 Unity2017 与 Visual Studio 进行代码联调,在 Visual Studio 中使用 C# 语言进行脚本编辑,同时使用 UGUI 进行游戏的 UI 设计实现。

本游戏开发目前还有很多待改进的地方。比如游戏仅提供键盘进行输入,缺乏实际的 BCI 工具进行游戏操控。无法对被试在游戏中的脑电数据进行进一步的分析。游戏的训练效果仅在理论上是有效的。其次,游戏的关卡较少,无法更加细致划地分难度,后期需要添加更多难度不同的训练关卡,以满足不同难度的训练需求。在今后的工作中,可以对本系统进行更深一步的算法优化,研究阈值反馈机制的设计标准;升级用户交互方式,采用 BCI 设备获取真实数据作为支撑;同时,可以将神经反馈训练与更多的游戏类型如虚拟现实游戏结合,让训练系统具有更强的创新性和吸引力。

参考文献

- [1] ZHANG X Y. Personalized Research of EEG at Attention Training [D]. Chengdu: Southwest University of Science and Technology, 2015.
- [2] PU X J. Investigation of Neurofeedback technology and its application based on EEG [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2011.
- [3] YANG B H, YAN G Z, DING G Q, et al. Researches on Key Techniques on Brain-Computer Interface (BCI)[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2005, 24(4): 308-310.
- [4] POPE A T, PALSSON O S. Helping video games Brewireour minds[J]. Int. J. Soc. Psychiatry, 2001, 54: 370-382.
- [5] KOUIJZER M E J, VAN SCHIE H T, DE MOOR J M H, et al. Neurofeedback treatment in autism[J]. Preliminary findings in behavioral, cognitive, and neurophysiological functioning. Res Autism Spectr Disord. 2010, 4: 386-399.
- [6] HAMMOND D C. What is neurofeedback; an update [J]. J. Neurother, 2011, 15: 305-336.
- [7] HEINRICH H, GEVENSLEBEN H, STREHL U. Annotation: neurofeedback-train your brain to train behaviour[J]. J. Child Psychol Psychiatry Allied Discip, 2007, 48: 3-16.
- [8] LIM C G, LEE T S, GUAN C T, et al. A brain-computer Interface based attention training program for treating attention deficit hyperactivity disorder[J]. PLoS One, 2012, 7: 8.
- [9] OCHI Y, LAKSANASOPIN T, KAEWKAMNERDPONG B, et al. Neurofeedback game for lattention training in adults[C]// 2017 10th Biomedical Engineering International Conference (BMEICON). Hokkaido, 2017: 1-5.
- [10] JOSE M, ESPINOSA-CURIEL I, ESCOBEDO L, et al. Developing and evaluating a BCI video game for neurofeedback training: the case of autism[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(10): 13675-13712.
- [11] COENEN F, SCHEEPERS F E, PALMEN S J M, et al. Serious

- Games as Potential Therapies; A Validation Study of a Neurofeedback Game [J]. *Clinical EEG and Neuroscience*, 2020, 51(2):87-93.
- [12] LI J H. Decoding Methods for EEG Signal of States of Brain Activities and Application Systems [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2012.
- [13] CHEN S. Attention Enhanced Brain Computer Interface System [D]. Xiamen: Xiamen University, 2017.
- [14] WANG X T, YAO Y B, ZHENG X Y, et al. Effects on EEG coherence of ADHD children by neurofeedback intervention [J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, 18(19):183-187.
- [15] SUN X Q. Research on the Brain Function State Intervened by Neural Feedback Training [D]. Yanshan: Yanshan University, 2018.
- [16] ZHANG Y H. Study on Indicators of EEG Biofeedback for Depressive Population [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [17] LIU Z Q. Design and Implementation of Human Body Movement Display System based on Unity3D [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2018.

- [18] HUA X M, LIN J R, GUAN J A. The research advances on the brain computer interface [J]. *Biomedical Engineering Foreign Medical Sciences*, 2004, 27(2):94-97.
- [19] VAUGHAN T M. Guest editorial brain-computer interface technology: A review of the second international meeting [J]. *IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering*, 2003, 11(2):94-109.
- [20] JIANG X W. Practical technical details in Unity3D [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2017:193-198.
- [21] ANGUERA J A, BOCCANFUSO J, RINTOUL J L, et al. Video game training enhances co-gnitive control in older adults [J]. *Nature*, 2013, 501(7465).



HE Yan, born in 1982, Ph.D, associate professor. Her main research interests include intelligent information processing, complex system and complex network.

(上接第 543 页)

置专门机构,建立开源组件引入的基本流程和管理制度,使得开源组件的使用有章可循,有据可依。引入时应应对开源组件进行许可证符合性、质量、功能等方面开展评估,并根据应用领域的不同,实行分级管理。

(2)加大基于开源的创新。开源提供了二次创新的良好平台,在满足简单使用的基础上,应通过阅读和学习,源代码提升二次开发能力和软件维护能力,充分发挥开源自由度,真正形成基于核心关键软件的研发能力。

(3)融入社区,回馈社区。软件是当今世界最活跃的技术领域,实践已经证明,开源项目的封闭演化是没有前途的,会被快速发展社区软件所淘汰。作为强监管领域,应在安全与开放之间做好平衡,逐步融入开源社区,回馈社区,通过社区互动,充分利用开源的力量提升自身能力和产品水平。

5.2 技术层面

(1)组件的选择。在开源组件的选择上,要综合考虑质量因素、时间因素和许可证因素 3 个方面的内容。在质量上,开源引入参考 CVE、NVD 以及项目本身的漏洞信息时做好质量评估,对相关组件中的漏洞、缺陷等及时打补丁,并形成自身的代码分析和修复能力。时间上,要尽可能选择那些活跃的社区的开源产品,对新技术的出现要保持客观的敏感性。许可证方面,应结合产品类型和应用范围,分析和选择合适的开源许可证项目,避免不利因素。

(2)研发过程管理。在混源项目研发过程管理上,通过代码分析、产品结构图、依赖图等技术手段确定开源组件在整个项目中的位置,分析开源组件对项目可能产生影响的范围和程度,做好风险预案。对二次开发的设计、研发、集成和测试等工作进行统一管理,形成统一的开发设计文档,使开源组件真正融入产品。

(3)产品的演化。项目单位及时跟踪开源社区版本升级和产品内嵌技术演化信息,综合考虑自研产品与开源组件的演化路径,科学确定产品路线图,不断提升产品的能力和质量;保持对 CVE 和 NVD 等漏洞库的紧密跟踪,及时发现最新漏洞,评估漏洞的影响,并对开源组件进行打补丁操作。

结束语 开源组件为混源项目的研发提供了良好的基础设施,并在混源项目中的广泛应用。本文研究了混源项目代码空间结构,从项目管理角度分析开源组件对于进度、质量、成本和知识产权等方面的影响,并从管理层面和技术层面提出了混源项目中开源组件的风险管理措施和使用建议,为混源项目风险管理提供了思路。未来应结合更多混源项目实践,持续开展开源组件分析,勾画产品开源组件地图,建立开源组件的管理基线。

参 考 文 献

- [1] CHANDRASEKARAN A, DRIVER M. What Innovation Leaders Must Know About Open-Source Software [EB/OL]. <https://www.gartner.com/en/documents/3956651>.
- [2] Open Source Cloud Alliance for Industry, the White Book on Open Source Industry (2019) [R]. Technical Report, 2019.
- [3] ZHOU M H, ZHANG W, YIN G. Quantitative analysis of open source software [J]. *Communications of the CCF*, 2016, 12(2):24-29.
- [4] XIA X, WANG X Y, YANG X H, et al. Defect report management and analysis of open source software system [J]. *Communications of the CCF*, 2016, 12(2):29-34.
- [5] CAI W D, LI L. Reflection on open source software and open source community [J]. *Communications of the CCF*, 2016, 12(2):44-49.
- [6] 2019 Open Source security and Risk analysis [OL]. <https://scan.coverity.com/>.
- [7] ZHANG D, LUO P. Survey of Code Similarity Detection Methods and Tools [J]. *Computer Science*, 2020, 47(3):5-9.
- [8] [https://nvd.nist.gov/vuln/\(2020-04-10\)](https://nvd.nist.gov/vuln/(2020-04-10)).



ZHAO Liang, born in 1971, Ph.D, professor, is a distinguished member of China Computer Federation. His main research interests include software testing, software analysis and software quality assurance.