

基于编程行为的学习者人格特质识别及应用探索

林涛, 周小涵, 吴芝明, 洪玫, 王建, 唐宁九

(四川大学软件学院, 成都 610065)

摘要: 如何进行个性化的编程教学是教学实践面临的重要问题, 其中, 如何有效地识别编程学习者的个性是一个关键。本文提出了一种基于学习者编程行为的人格特质识别方法。具体来说, 首先从多角度提取学习者编程行为特征, 基于支持向量机建立分类模型, 并采用多任务投票的策略来综合识别学习者的人格特质。研究表明, 该方法能够较好地识别学习者的大五人格特质, 在一定程度上验证了采用编程行为来识别学习者个性的可行性。此外, 本文还探讨了基于编程行为的人格特质识别方法在未来编程学习、教学中的应用。

关键词: 个性化教学; 人格识别; 编程行为

中图分类号: TP3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19907/j.0490-6756.2021.057002

Recognizing learners' personality traits based on programming behaviors and its application explorations

LIN Tao, ZHOU Xiao-Han, WU Zhi-Ming, HONG Mei, WANG Jian, TANG Ning-Jiu

(College of Software Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: How to perform individualized programming teaching is an important issue in educational practice, and how to recognize the personality of learners is the key for this issue. In this paper, the method of recognizing personality is proposed based on the programming behaviors of learners. Specifically, the programming behavior features of learners are first extracted from multiple aspects; then the classification models are established using the support vector machine; Finally, the multi-task voting strategy is used to comprehensively identify learners' personality traits. The results show that the traits in the Big Five Model can be predicted using the proposed method, verifying the feasibility of using programming behaviors to identify learners' personality to a certain extent; In addition, this paper also discusses the applications of the proposed method in future programming education.

Keywords: Individualized learning and teaching; Personality recognition; Programming behaviors

1 引言

为学习者提供个性化教学支持是现代教育的目标之一。然而, 如何精准地识别学习者个性是个性化教学实现的前提和难点。人格特质能科学地揭示人与人之间稳定的个性差异, 并且与个体其它学

习心理特征(如学习动机、自我效能、学习期望等)保持了相对稳定的预测关系, 因此, 人格特质已经普遍被采用来反映学习者的个性。

就软件工程专业学生而言, 编程能力是一种核心能力, 准确地识别编程学习者的人格特质是为其提供个性化学习支持的前提。现有的人格特质自动

收稿日期: 2021-08-10

基金项目: 四川省 2018—2020 年高等教育人才培养质量和教学改革项目(JG2018-46)

作者简介: 林涛(1976—), 男, 四川宜宾人, 博士, 教授, 博导, 研究方向为计算机应用, 智慧教育。E-mail: lintao@scu.edu.cn

通讯作者: 吴芝明。E-mail: 641729800@qq.com

识别研究主要基于机器学习或深度学习方法,通过文本^[1-2]、语音和图像^[3-4]、社交网络^[5-6]等数据源来建立人格特质识别模型.但由于这些方法需要额外的设备、平台或任务来收集数据,难以在日常的编程实践学习环境中应用.

编程本质上是一种实践活动,编程过程中会产生大量的反映学习行为的数据,这些数据具有能够被实时、隐式采集,不依赖其他设备平台,采集成本低等特点.人格心理学研究认为,人格特质作为人格的基础成分,决定了个体适应的独特性且能在一定程度上指挥个体行为^[7].因此我们认为,编程行为不仅受到学习者水平、编程题目、编程难度等因素影响,还在一定程度上受到学习者人格特质的影响.然而,如何从“高噪声”的编程行为数据中,抽取每一种特质独有的行为模式,继而建立人格识别模型仍是一个挑战.

本文面向编程实践学习环境,综合运用支持向量机(Support Vector Machine, SVM)^[8]、遗传算法(Genetic Algorithm, GA)和网格搜索(Grid Search, GS),提出一种基于编程行为的人格特质识别方法.即,收集学习者在一段时间内完成的多个编程任务的行为数据,将学习者每一个编程任务中抽取的行为特征和该学习者人格特质标签(大五人格量表获得)作为一个样本,建立人格特质分类模型,并基于学习者多个编程任务的分类结果,采用投票策略综合判断其人格特质.

本研究主要包括:设计实验采集编程学习者的编程行为和人格量表数据;提出一种基于编程行为的人格特质识别方法并验证分析其效果;探索基于编程行为的人格特质方法在个性化编程教育、学习中的可能应用及未来研究方向.

2 实验

本实验旨在收集学习者在编程学习过程中的行为及其人格特质数据.

2.1 被试

某高校大二计算机专业共计 230 位学生作为被试参加了实验,年龄分布在 20~25 岁之间.

2.2 实验任务

2.2.1 人格量表 本文采用大五人格特质模型描述被试的人格,大五人格特质模型作为目前应用最广泛的人格特质模型,包括“开放性”、“尽责性”、“外倾性”、“宜人性”、“神经质”五种特质^[9].考虑到应用范围,时间成本、稳定性等因素,选择 BFI-44

大五人格问卷收集被试的大五人格特质得分^[10].

2.2.2 编程任务 选择 JAVA 作为编程语言,通过与老师交流以及预实验,充分考虑被试学习进度、编程水平以及编程用时,确定编程任务(如表 1 所示),编程任务为四道编程题,编程时间为 60 min.

表 1 编程任务

Tab. 1 Programming tasks

题目序号	题目简述
1	求数组平均值
2	判断数组是否单调
3	判断三条边是否可以组成三角形
4	判断某一天是一年的第几天

2.3 实验平台

选择 Eclipse 作为本实验 JAVA 编程任务平台,采用 Fluorite^[11]插件记录被试编程实践学习中的行为,并在 Fluorite 的原始版本上添加了日志监控(控制台输出和错误警告)、用户登录,帮助信息记录等功能.此外,我们编写了键盘鼠标记录插件,记录键盘操作中按键的键盘操作码、键盘操作类型(按下/弹起)、时间戳,以及鼠标操作中的鼠标操作类型(滑动、左键按下/弹起、右键按下/弹起)、鼠标的 XY 坐标值、时间戳等.

2.4 实验过程

本实验在某高校计算机学院上机课上进行,实验前,在实验用机上提前安装和配置了实验平台.在教师讲述实验目的以及注意事项后,学生首先按照要求在 60 min 之内完成编程任务,然后填写在线人格量表.在编程过程中,学生可以上网查询知识点,但不能搜索题目答案.最后,被试以自愿的原则签订同意书,同意将编程行为数据和人格量表内容用于本研究.实验结束后,实验人员收集日志文件.

2.5 数据处理

除去由于实验过程中失误造成数据缺失(例如,在线人格问卷缺失的情况),共收集到 96 名被试的完整数据.从日志文件中获取了每个被试的编程事件列表以及键盘鼠标等数据,用以提取特征,并从人格量表数据中获取学习者人格特质的类别.

3 方法

图 1 描述了本文提出的基于编程行为的人格特质识别方法(Programming Behavior based Personality Recognition Method, PB_PRM)的流程.

表 2 学习者编程行为特征

Tab. 2 The features extracted from the learners' programming behaviors

特征分类	含义
编程事件时间特征	插入操作时间间隔/编译时间间隔/运行时间间隔的最小值、最大值、平均值、中位数、标准差、方差
编程事件频率特征	运行, 运行成功, 查找, 打开文件、删除、编译、编译结果为 error、编译结果 warning 的次数
编程学习特征	网页查询的次数
编程修改特征	代码编辑距离的最大值、最小值、平均值、中位数、标准差、方差
知识掌握水平特征	完成题目的总时间, WATWIN 分数
鼠标事件比例特征	鼠标移动操作、鼠标滚轮操作、鼠标左键操作、鼠标右键操作所占的比例
鼠标按下特征	鼠标左键按下时间/鼠标右键按下时间的最大值、最小值、平均值、中位数、标准差、方差
鼠标角加速度特征	鼠标角加速度的最大值、最小值、平均值、中位数、标准差、方差
击键行为特征	击键速度/键盘释放时间/键盘按下时间的最大值、最小值、平均值、中位数、标准差、方差
特殊按键频率特征	特殊按键使用频率的最大值、最小值、平均值、中位数、标准差、方差

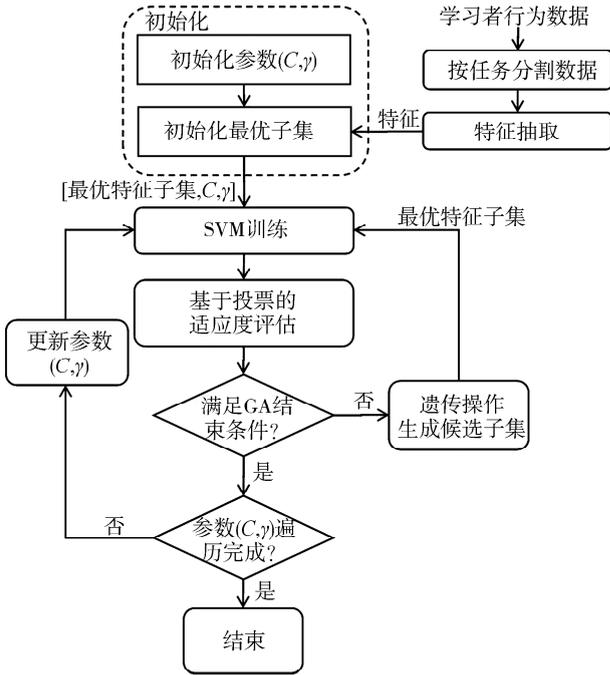


图 1 方法流程图

Fig. 1 The flow chart of the method

该方法对某一人格特质进行二分类. 其中, 采用 SVM 算法建立分类模型, 以径向基函数(Radial Basis Function, RBF)作为 SVM 模型核函数, 通过 GS 方法对 SVM 模型参数(C 和 γ)进行优化, 并使用 GA 进行特征选择. 为了获得更准确的结果, 我们采用了基于多编程任务的投票策略. 首先将学习者行为序列数据按单个编程任务进行样本分割(本研究共 4 个任务, 96 名被试的行为数据被分割成 384 份样本); 然后, 基于每一个编程任务数据分别获得一个分类结果, 即, 一个学习者的某一人格特质有 4 个分类结果; 最后, 对 4 个分类结果进行综合投票, 以多数投票结果作为该学习者的人格特质的最终识别结果.

3.1 特征提取

行为特征包括编程事件特征、知识掌握水平特征、鼠标键盘特征, 共计 81 个(见表 2).

(1) 编程特征.

编程特征包括编程事件时间特征、编程事件频率特征、编程学习特征、编程修改特征. 编程事件时间特征包括插入、编译、运行事件时间间隔的统计特征, 编程事件频率特征包括运行, 查找, 打开文件等操作次数, 编程学习特征为网页查询的次数, 编程修改特征为代码编辑距离的统计特征.

(2) 知识掌握水平特征.

本文抽取了知识掌握水平特征包括完成题目的总时间和 WATWIN 分数. 其中, WATWIN 分数由 Watson 等人^[12-13]提出, WATWIN 算法根据学生编程日志对学生编程表现进行评分, 该算法基于编译事件(本研究基于运行事件)信息, 通过比较某一学生解决错误的时间与其他人解决时间的分布, 对该学生的编程水平进行评估.

(3) 鼠标键盘操作特征.

鼠标操作特征包括各类操作所占比例, 鼠标左键和右键的按下时间、鼠标角加速度的统计量. 击键特征包括击键速度、键盘按下时间、键盘释放时间、特殊按键使用频率的统计量.

3.2 投票策略

首先建立 SVM 分类模型, 然后采用投票策略, 综合多个编程任务分类结果判断学习者人格特质.

人格识别模型中学习者 i 的人格 R_i 的确定方式如式(1)所示.

$$R_i = \begin{cases} \text{func}(\text{AVE}(O_{ij})), & \text{if } (\exists (\Delta L_{k1}^i = \Delta L_{k2}^i = \text{MAX}(\Delta L_k^i), k_1 \neq k_2)) \\ L_{k_{\max}}^i, & \text{else if } \Delta L_{k_{\max}}^i = \text{MAX}(\Delta L_k^i) \end{cases} \quad (1)$$

其中, ΔL_k^i 为被试 i 对应的多个样本中输出类标为 L_k 的样本数量; L_k 为 人格特质模型的类标, k 为 人格类标的索引, $k=1, 2, \dots, K, K$ 为 人格特质类标的总数, 在本研究中 $K=2$, 即将学习者的单个人格特质分成“高”“低”两类(如“高神经质”, “低神经质”), $k_1, k_2, k_{max} \in K, O_{ij}$ 为 模型输出概率, func 为 SVM 模型中根据概率确定类标的函数。

3.3 参数优化和特征选择.

SVM 模型待优化的参数包括惩罚系数(C)和 γ 。本文使用网格搜索的方法搜索最优参数, 其中 C 的取值范围为 $[0.01, 10\ 000]$, γ 的取值范围为 $[0.000\ 01, 10]$ 。

使用 GA 获取 SVM 模型的最优特征子集^[14]。首先初始化 SVM 模型的最优特征子集, 基于该特征子集训练 SVM 的模型, 并基于人格识别结果对 SVM 模型进行评估, 根据评估结果确定是否替换最优子集, 并且判断 GA 是否结束, 如果不满足结束条件, 则根据对特征子集进行遗传操作, 生成新特征子集, 如果满足 GA 算法结束条件, 则该轮遗传算法结束。

(1) GA 参数及评估函数.

GA 的种群数 60, 交叉率 0.7, 变异率 0.05, 进化代数 100, 评估函数见式(2)。

$$\text{fitness} = W_A \times \text{ACC} + W_E \times (1 - E) \quad (2)$$

其中, ACC 为分类准确率; E 为基于投票的全局误差。 W_A 为分类准确率 (ACC) 的权重; W_E 为全局误差 (E) 的权重。

(2) 基于投票的全局误差 E .

考虑到由于题目难度以及学习者水平不同, 被试在不同的编程题上有较大的行为差异, 可能导致人格特质分类结果不稳定。因此, 基于参考文献[15], 我们提出了一种基于多任务投票的全局误差计算方法。全局误差计算方法如式(3)所示。

$$E = \sum_{i=1}^N E_i \quad (3)$$

其中, E_i 是第 i 个被试的误差; N 为被试人数, $i=1, 2, \dots, N$ 。 E_i 的计算方式见式(4)。

$$E_i = \begin{cases} \min_{1 \leq j \leq M_i} E_{ij}, & \text{if } (\forall B_{ij} \in B_i, \Delta(B_i, E_{ij} = 0) > (M_i/2)) \\ (1/M_i) \sum_{j=1}^{M_i} E_{ij}, & \text{if } (\forall B_{ij} \in B_i, \Delta(B_i, E_{ij} = 0) = (M_i/2)) \\ \max_{1 \leq j \leq M_i} E_{ij}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中, E_{ij} 为被试 i 中第 j 个样本 B_{ij} 的误差; M_i 表示被试 i 对应的样本 B_i 的个数; $\Delta(B_i, E_{ij} = 0)$ 表

示的是被试 i 对应的样本 B_i 中误差为 0 的样本个数。 E_{ij} 的计算方式见式(5)。

$$E_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{if } (P_{ij} = "1") \text{ and } (O_{ij} \geq 0.5) \\ 0, & \text{if } (P_{ij} = "0") \text{ and } (O_{ij} < 0.5) \\ (O_{ij} - P_{ij})^2 / 2, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中, P_{ij} 代表样本的真实类标; $P_{ij} \in \{0, 1\}$; O_{ij} 为模型输出概率。

4 结果和讨论

本研究对大五人格模型中的特质分别建立识别模型, 采用十重交叉法验证模型。为了解学习者编程行为特征对各个 人格特质的影响, 表 3 描述了每个特质最优模型的特征子集。

表 3 大五人格特质的最优模型特征子集

Tab. 3 The feature subsets of the optimal models for the Big Five personality traits

特质	最优特征子集
开放性	插入操作时间间隔的最大值, 网页查询的次数, 运行操作次数, WATWIN 分数, 鼠标角加速度的最大值, 键盘按下时间的最大值, 特殊按键使用频率的方差
尽责性	插入操作时间间隔的平均值, 完成题目的总时间, 打开文件的次数, 删除操作的次数, 运行成功的次数, WATWIN 分数, 击键速度的最小值, 代码编辑距离的最小值
外倾性	编译时间间隔的平均值, 运行时间间隔的最大值, 运行时间间隔的方差, 编译结果 warning 的次数, 运行成功的次数, 鼠标左键按下时间的最大值, 鼠标右键按下时间的标准差, 键盘释放时间的平均值
宜人性	插入操作时间间隔的标准差, 运行操作次数, 查找操作次数, 鼠标移动操作的比例, 鼠标右键操作的比例, 鼠标角加速度的标准差, 击键速度的方差, 键盘按下时间的最大值, 特殊按键使用频率的最大值
神经质	插入操作时间间隔的中位数, 打开文件的次数, 运行时间间隔的方差, WATWIN 分数, 鼠标左键按下时间的最小值, 击键速度的标准差, 键盘按下时间的最大值, 代码编辑距离的最小值

从表 3 可以看出, 不同类型的行为特征对人格特质有不同的识别潜力。其中代码输入行为相关的特征(如插入操作、编译操作、代码编辑距离的部分统计特征)被选入了全部五个人格特质识别模型的最优特征子集, 对五个人格特质都有较好的识别潜力; 同样, 与编程错误处理相关的特征(如运行操作部分统计特征、WATWIN 分数)以及键盘相关的部分特征也被选入了五个特质的最优模型, 对五个人格特质都有较好的识别潜力。鼠标相关的特征被选入了“开放性”、“外倾性”、“宜人性”、“神经质”四个特质最优模型的特征子集中, 对这四个特质有较好的识别潜力。此外, 学习相关的行为特征(即网页

查询次数)对“开放性”特质的有较好的识别潜力;完成题目的总时间这一特征对“尽责性”特质的有较好的识别潜力。

采用 ROC 曲线下的面积 (AUC)、精度

(ACC)、查准率(P)、查全率(R)、 F_1 ^[16]五个指标来评估人格特质识别模型,表4描述了模型在测试集上性能指标的均值和方差。

表4 人格特质识别模型评估

Tab.4 The evaluation of the PB_PRM models

特质	指标均值(方差)				
	AUC	ACC	P	F_1	R
开放性	0.83(0.12)	0.80(0.12)	0.81(0.09)	0.83(0.25)	0.86(0.13)
尽责性	0.79(0.15)	0.81(0.17)	0.85(0.18)	0.82(0.17)	0.80(0.19)
外倾性	0.77(0.10)	0.78(0.14)	0.76(0.16)	0.78(0.13)	0.82(0.10)
宜人性	0.79(0.19)	0.80(0.20)	0.78(0.23)	0.74(0.22)	0.75(0.25)
神经质	0.81(0.15)	0.79(0.13)	0.91(0.19)	0.73(0.17)	0.65(0.24)

表4的结果表明,本文提出的模型在各个评价指标上都有较好的表现(AUC: 0.77~0.83, ACC: 0.78~0.81, P: 0.76~0.91, F_1 : 0.73~0.83, R: 0.65~0.86),这说明了本研究提出的基于编程行为的学习者人格特质识别方法能够较准确地识别大五人格特质。

5 应用

本文提出的基于编程行为的人格特质识别方法在一定程度上能够识别学习者人格特质,具有较好的学习者个性刻画潜力,为实现学习者个性化的教学辅助提供了依据。例如,基于人格特质识别模型,可以进行个性化的编程伙伴推荐。编程对初学者尤其困难,学习者往往经历长期的、枯燥的独自学习和摸索过程,可能导致学习者中途放弃,影响学习效果。为编程学习者推荐人格特质“匹配的”(如相似型、互补型)学习伙伴进行协作学习,是提升学习体验和效果的重要手段,而人格特质则是判定学习伙伴是否匹配的关键。此外,具有不同人格特质的学习者对于学习资源的偏好可能不同,如“开放性”高的学习者在编程实践中可能偏好先了解原理知识,“外向性”高的学习者可能偏好在线答疑方式。依据学习者的人格特质为其推荐适应的学习资源,能够让学习资源的投放更加精准,提升学习效率。此外,人格特质识别结果也能在日常教学实践中帮助教师快速地理解学生,成为教师为学生提供个性化指导的依据。例如:对于“神经质”高的学习者,教师可以在其遇到困难时尽早进行干预,对于“尽责性”低的学习者,教师可以对其学习进度

进行更加细致的监督。

6 结论

本研究提出了基于编程行为的学习者人格特质识别方法,其实验结果显示,基于学习者编程行为数据能够在一定程度上识别大五人格特质,为个性化编程学习的支持提供了新思路,例如,基于人格特质识别的伙伴推荐、学习资源推荐以及个性化教学指导等。

本研究虽然选择了4道不同难度的题目以尽量多地覆盖学习者的不同行为模式,但受限于实验资源与时间,实验被试数量和采集的编程行为数据略显不足,如果能在未来工作中扩大被试数量及编程任务类型,有望进一步提升模型的泛化能力和准确性。

参考文献:

- [1] Argamon S, Dhawle S, Koppel M, *et al.* Lexical predictors of personality type[C]//Proceedings of the 2005 Joint Annual Meeting of the Interface and the Classification Society of North America. [S. l.: s. n.], 2005.
- [2] 郑惠中,左万利.基于信息增益与语义特征的多标签社交网络用户人格预测[J].吉林大学学报:理学版,2016,54:561.
- [3] Batrinca L M, Mana N, Lepri B, *et al.* Please, tell me about yourself: automatic personality assessment using short self-presentations[C]//Proceedings of the 13th International Conference on Multimodal Interfaces. [S. l.]: ACM, 2011.

- [4] Zhang C L, Zhang H, Wei X S, *et al.* Deep bimodal regression for apparent personality analysis [C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Springer, Cham; Springer, 2016.
- [5] Golbeck J, Robles C, Turner K. Predicting personality with social media [C]//Proceedings of the CHI11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. [S. l.]; ACM, 2011.
- [6] Oberlander J, Nowson S. Whose thumb is it anyway? classifying author personality from weblog text [C]//Proceedings of the COLING/ACL 2006 Main Conference Poster Sessions. [S. l.]; s. n.], 2006.
- [7] Allport G W. Personality: a psychological interpretation [J]. *Am J Sociol*, 1937, 45: 48.
- [8] Cortes C, Vapnik V. Support-vector Networks [J]. *Mach Learn*, 1995, 20: 273.
- [9] McCrae, R R, Costa P T. Personality trait structure as a human universal [J]. *Am Psychol*, 1997, 52: 509.
- [10] 黎红艳, 徐建平, 陈基越, 等. 大五人格问卷(BFI-44)信度元分析——基于信度概化方法[J]. *心理科学进展*, 2015, 23: 755.
- [11] Yoon Y S, Myers B A. Capturing and analyzing low-level events from the code editor [C]//Proceedings of the 3rd ACM SIGPLAN Workshop on Evaluation and Usability of programming languages and tools. [S. l.]; ACM, 2011.
- [12] Watson C, Li F W B, Godwin J L. No tests required: comparing traditional and dynamic predictors of programming success [C]//Proceedings of the The 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education (SIGCSE). Atlanta, GA, USA; ACM, 2014.
- [13] Watson C, Li F W B, Godwin J L. Predicting performance in an introductory programming course by logging and analyzing student programming behavior [C]//Proceedings of the 2013 IEEE 13th International Conference on Advanced Learning Technologies. [S. l.]; IEEE, 2013.
- [14] Huang C L, Wang C J. A GA-based featureselection and parameters optimization for support vector machines [J]. *Expert Syst Appl*, 2006, 31: 231.
- [15] Zhou Z H, Zhang M L. Neural networks for multi-instance learning [C]//Proceedings of the International Conference on Intelligent Information Technology. Beijing, China; [s. n.], 2002.
- [16] Han J W, Kamber M, Pei J. Data mining: concepts and techniques [M]. San Mateo, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc, 2011.

引用本文格式:

中文: 林涛, 周小涵, 吴芝明, 等. 基于编程行为的学习者人格特质识别及应用探索[J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2021, 58: 057002.

英文: Lin T, Zhou X H, Wu Z M, *et al.* Recognizing learners' personality traits based on programming behaviors and its application explorations [J]. *J Sichuan Univ; Nat Sci Ed*, 2021, 58: 057002.

《四川大学学报(自然科学版)》是由国家教育部主管、四川大学主办的自然科学综合性学术期刊,双月刊,国内外公开发刊。主要刊登在基础应用学科和高新技术科学领域具有创造性的学术论文,促进国内外学术交流,对国家和省部级基金项目成果给予优先发表。

1. 开设栏目

1.1 研究论文:透彻、完整、清晰地报导具有学术价值的新的实验、理论结果和进展。研究论文一般分引言、理论或实验方法、结果与讨论、结论等部分,不超过 8000 字。要求在引言及相关部分对该研究内容相关的背景及现状、本工作所解决的问题及意义有清楚、简洁、完整和客观的叙述。

1.2 快报:快速、简要地报道新的实验和理论结果。快报正文内容不分章节,一般不超过 6000 字。一旦被接受,将在 4 个月之内发表,作者可将其更为详细的内容投往国内外其它期刊。

1.3 综合评述:对变化较快的各相关领域的研究进展做出评述。综合评述一般不超过 10000 字,必须有作者对该领域的较为独到的和具有个人特色的批评性意见和展望。

2. 稿件要求

2.1 标题、作者、单位、摘要及关键词要求用中英双语表示。题目应以简明、确切的词语反映文中最重要的内容,避免使用非标准的缩略语以及结构式和公式。中国作者姓名采用汉语拼音。单位必须写出全称,所在城市和邮政编码。摘要应体现稿件的研究目的、方法、主要结果和结论等,不使用图表、公式,不采用非标准的术语、缩写词等。应精选出反映稿件内容的中、英文关键词各 3~6 个,按其重要性排列,分别列于中、英文摘要后。另外,请注明中图分类号代码。

2.2 中文标准基金全称及批准号、作者简介、通讯作者信息一律在首页用中文脚注标注。作者简介内容包括:姓名、出生年、性别、民族(汉族可省)、籍贯、职称、最高学历(可省,但在读研究生需标注)、研究方向和 E-mail 地址等。通讯作者应标注其 E-mail 地址。

2.3 使用国际标准的缩略词、符号和计量单位系统时,全文要一致。摘要和正文中的缩略词在首次出现时须写出全称,后附缩略词,并用圆括号括起,此后可直接引用。应严格执行 GB3100~3102-93 有关法定计量和单位的规定。单位符号一律用正体,变量的符号(包括下标)需用斜体。

2.4 插图(照片)、表具有自明性,并按出现的先后次序顺序编号。在论述中应先文后图、表。中文稿件中,插图(照片)、表标题应同时采用中英文双语表示。插图(照片)、表头的量或用来标记图形轴线的量,用“量符号/单位标准化符号”形式标记。表应置于正文相应位置处,用三线表,必要时可加辅助线。若有表注,可写在表底线左侧。插图曲线要求墨色均匀、粗细均匀,照片要求清晰,黑白反差大。彩色插图(照片)需转化为灰度图。插图(照片)要精选,切忌与表中表达重复。

2.5 应引用与本工作有关的、近年的主要文献,未公开发表的资料请勿引用。引用时,参考文献序号须加[],一般置于右上角;若写成“文献[]”,则与正文平排。参考文献应按正文中引文出现的先后顺序列出。参考文献中,作者应以姓在前、名缩写在内的形式列出

(不加缩写点)。文献作者 3 名以内全部列出,4 名以上只列前 3 名,后加“等”或“*et al*”。英文稿件中的中文参考文献需在其后注明“(in Chinese)”。专著、期刊等文献格式按 GB/T 7714-2015 的规则执行,说明如下(详细说明请参考本刊网站投稿指南):

+ 专著(包括各种图书,学位论文,技术报告,文集,丛书等)

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 其他责任者. 版本项(初版不写). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

+ 专著中的析出文献

析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(初版不写). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

+ 连续出版物(包括期刊,报纸等)

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 年,卷(期)-年,卷(期). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

+ 连续出版物中的析出文献

析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年,卷(期):起始页码。

+ 专利文献

申请专利者或所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标志]. 公告日期或公开日期。

+ 电子文献

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取或访问路径(其中文献类型标志/文献载体标志包括:[DB/OL]表示联机网上数据库,[DB/MT]表示磁带数据库,[M/CD]表示光盘图书,[CP/DK]表示磁盘软件,[J/OL]表示网上期刊,[EB/OL]表示网上电子公告)

3. 其 它

3.1 自 2007 年起,作者须通过网站投稿系统投稿。来稿刊登与否由编辑部根据专家审稿意见和编委会决议最后审定。拟刊登的稿件,作者需提供其最后定稿的方正或 Word 等电子文档;不拟刊登的来稿,编辑部将及时函告作者,但稿件不退还,请自留底稿。

3.2 稿件文责自负(包括政治、学术、保密等),编辑部有权进行技术性和文字性的修改。来稿一经排版,作者对清样稿不能再作大量的文字改动。编辑部对在本刊发表论著者,收取适量的发表费。稿件刊登后向作者寄送本期样刊 1 份、精装抽印本 10 份,并为作者提供该文的 PDF 文档。

3.3 作者须同意将该文的复制权、发行权、信息网络传播权、翻译权、汇编权等权力在全世界范围内转让给编辑部。

3.4 清样稿的 PDF 文档将通过 E-mail 发给通讯作者作最后的阅读和校对。编辑部在收到校对后的清样稿和发表费后再安排付印。

3.5 凡与编辑部的通讯,请注明稿件编号。来函请寄:610064 四川省成都市四川大学学报(自然科学版)编辑部。电话:(028) 85410393, E-mail:scdx@scu.edu.cn, 网址: <http://science.ijournals.cn>

本刊被下列国内外重要检索系统列为刊源:

- + 中国综合性科技类核心期刊(北大核心)
- + 中国科学引文数据库(CSCD)
- + 中国科技论文与引文数据库
- + 中国学术期刊综合评价数据库
- + 中国学术期刊(光盘版)数据库
- + 万方数据系统科技期刊群数据库
- + 维普中文科技期刊数据库
- + 中国知网数据库
- + 美国《数学评论》(MR)
- + 美国《化学文摘》(CA)
- + 俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)
- + 英国《动物学记录》(ZR)
- + 美国《生物学文摘》(BA)
- + 德国《数学文摘》(Zbl Math)

四川大学学报(自然科学版)
Sichuan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)
(双月刊 1955年创刊)
第58卷 第5期

Journal of Sichuan University
(Natural Science Edition)
(Bimonthly, Started in 1955)
Vol. 58 No. 5

主办单位 四川大学
主管单位 国家教育部
编辑出版 四川大学学报(自然科学版)编辑部
(四川省成都市武侯区望江路29号,
邮编: 610064)
E-mail: scdx@scu.edu.cn
主 编 王玉忠 院士
常务副主编 陈忠林 教授
印 刷 成都市富生实业有限公司
国内发行 四川省报刊发行局
国内订购 全国各地邮政局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
出版日期 2021年9月28日

Sponsored by Sichuan University
Managed by National Education Ministry
Edited by Editorial Department of Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)
<http://science.scu.edu.cn>
<http://science.ijournals.cn>
Editor Academician WANG Yu-Zhong
Administrative Vice Editor Professor CHEN Zhong-Lin
Printed by Chengdu Fusheng Co., Ltd
Distributed by Sichuan Newspaper & Journal Publishing Bureau
Domestic All Local Post Offices
China International Book Trading Corporation
Publishing Date Sep. 28, 2021

连续出版物号: ISSN 0490-6756
CN 51-1595/N

邮发代号: 国内 62-127
国外 BM 5974

国内定价: 20.00元/期
120.00元/年