中国科学 : 信息科学 2026 年 第 56 卷 第 1 期: 237–238
SCIENTIA SINICA Informationis
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS
精选文章导读

基于深度学习的软件工程: 进展、挑战与机遇

陈湘萍[2*], 胡星[3*], 黄袁[4], 江贺[5*], 计卫星[6], 姜艳杰[1*], 蒋炎岩[7*], 刘博[6], 刘辉[6], 李晓晨[5], 连小利[8*], 孟国柱[9*], 彭鑫[10*], 孙海龙[11*], 石琳[11*], 王博[12*], 王翀[10], 王加益[7], 王甜甜[13*], 玄跻峰[14*], 夏鑫[15], 杨已彪[7*], 杨艺欣[11], 张莉[8], 周毓明[7*], 张路[1*]

1. 教育部高可信软件技术重点实验室 (北京大学), 北京大学计算机学院, 北京 100871
2. 中山大学新闻传播学院, 广州 510275
3. 浙江大学软件学院, 杭州 310058
4. 中山大学软件工程学院, 广州 510275
5. 大连理工大学软件学院, 大连 116024
6. 北京理工大学计算机科学与技术学院, 北京 100081
7. 南京大学计算机软件新技术国家重点实验室, 南京 210023
8. 北京航空航天大学计算机学院, 北京 100191
9. 中国科学院信息工程研究所, 北京 100864
10. 复旦大学计算机科学技术学院, 上海 200433
11. 北京航空航天大学软件学院, 复杂关键软件环境国家重点实验室, 北京 100191
12. 北京交通大学计算机与信息技术学院, 北京 100044
13. 哈尔滨工业大学计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001
14. 武汉大学计算机学院, 武汉 430072
15. 华为技术有限公司, 杭州 310056

* 通信作者. E-mail: chenxp8@mail.sysu.edu.cn, xinghu@zju.edu.cn, jianghe@dlut.edu.cn, yanjiejiang@pku.edu.cn, jyy@nju.edu.cn, lianxiaoli@buaa.edu.cn, mengguozhu@iie.ac.cn, pengxin@fudan.edu.cn, sunhl@buaa.edu.cn, shilin@buaa.edu.cn, wangbo_cs@bjtu.edu.cn, wangtiantian@hit.edu.cn, jxuan@whu.edu.cn, yangyibiao@nju.edu.cn, zhouyuming@nju.edu.cn, zhanglucs@pku.edu.cn

近年来, 研究人员在深度学习技术方面取得了显著进展, 这大大推动了其他研究领域的发展, 例如自然语言处理、图像处理、语音识别和软件工程. 各种深度学习技术已成功应用于软件工程任务, 如代码生成、软件重构和故障定位, 同时学者们也在软件工程领域重要的会议和期刊上发表了多篇论文, 展示了深度学习技术在各种软件工程任务中的重要作用. 然而, 尽管一些综述文章 [1,2] 提供了深度学习技术在软件工程中的整体应用图景, 但它们更多地关注哪些深度学习技术在软件工程任务中得到了应用, 未能从软件工程统一的核心目标出发, 涵盖整个软件工程学科中深度学习的技术研究. 实际上, 应用于软件工程的深度学习技术高度依赖于软件开发中的不同制品. 由于软件工程的各个子领域通常共享某些通用制品, 将不同子领域整合至同一份综述中, 将有助于来自不同子领域的研究者理解各种深度学习技术的优势与局限. 目前, 我们仍然缺乏综述文章来解释基于深度学习技术的软件工程各子领域的进展, 以及各个子领域面临的挑战和机遇.

为了应对该问题, *SCIENCE CHINA Information Sciences*在第 68 卷第 1 期出版了 "Deep learning-based software engineering: progress, challenges, and opportunities", 收集了 2000~2023 年间在软件工程和人工智能相关的 35 个会议和 22 个期刊上发表的 601 篇文章, 首次针对基于深度学习的软件工程进行了任务

英文原文: Chen X P, Hu X, Huang Y, et al. Deep learning-based software engineering: progress, challenges, and opportunities. Sci China Inf Sci, 2025, 68: 111102, doi: 10.1007/s11432-023-4127-5

导向的调研. 该文涵盖了深受深度学习技术影响, 并贯穿软件开发和维护整个生命周期的 12 个主要软件工程子领域.

- 需求工程: 包括需求获取、需求生成、需求分析、需求质量检测、需求分类和需求可追溯性;
- 代码生成: 包括代码生成和代码补全;
- 摘要生成: 包括基于不同代码表示的摘要生成;
- 代码检索: 包括基于自然语言查询的代码搜索和代码到代码搜索;
- 软件重构: 包括代码异味检测和重构建议;
- 代码克隆检测: 包括源代码克隆检测和跨语言代码克隆检测;
- 缺陷预测: 包括项目内缺陷预测和跨项目缺陷预测;
- 缺陷发现: 包括基于静态分析、动态分析和形式化验证的缺陷发现;
- 缺陷定位: 包括基于测试用例的缺陷定位和基于代码更改的缺陷定位;
- 缺陷修复: 包括编译错误修复、运行时错误修复和特定领域错误修复;
- 缺陷报告管理: 包括缺陷报告优化、重复缺陷检测、缺陷分配、缺陷严重性/优先级预测、缺陷修复时间预测、缺陷摘要和缺陷定位;
- 开发者协作: 包括开发者专业知识分析、智能任务分配和开发团队组建.

我们对每个子领域的研究发展脉络进行梳理, 介绍代表性的方法和技术, 并重点对数据集进行归纳整理, 分别分析其挑战与机会, 为该领域的研究人员提供新的研究视角.

根据对深度学习技术在软件工程各个子领域的调研, 我们发现深度学习技术已广泛应用于软件工程的各个方面, 并取得了令人瞩目的成就. 首先, 深度学习技术通常能提升多数任务的性能表现. 例如, 基于深度学习的代码克隆检测相较传统最优方法始终能获得更高的召回率与更优的精确度. 现有实证研究也表明, 在缺陷分配任务中深度学习技术优于传统机器学习技术. 此外, 在需求工程领域, 大多数研究报告的精确率与召回率均超过 80%, F1 值常维持在 75% 以上. 其次, 深度学习的强大特征工程能力使其能够捕捉语义信息. 典型地, 对于如软件缺陷预测与软件重构等涉及复杂特征工程的任务, 深度学习能帮助研究者与实践者从繁琐的特征工程中解放出来. 第三, 深度学习能进一步推动软件工程流程的自动化. 传统技术往往依赖复杂的预处理或后处理技术来实现全流程自动化, 而深度学习能以端到端方式重构整个流程. 例如, 深度学习技术可直接处理缺陷报告并助力缺陷报告管理流程的自动化.

但是, 在基于深度学习的软件工程能够充分发挥其潜能之前, 仍需克服一系列关键挑战.

高质量训练数据获取挑战: 多数软件工程子领域面临的核心挑战在于如何获取高质量训练数据. 首先, 数据集规模往往有限. 例如, 公开可获取的需求数据通常体量较小且缺乏细节描述, 导致难以训练有效的深度学习模型. 其次, 数据集质量往往难以保证. 以代码生成为例, 现有数据集是否包含可能导致安全代码的漏洞代码片段尚不明确. 第三, 部分现有数据集源自专门设计的数据生产活动, 可能与实际场景存在偏差. 尽管这能使模型在基于这些数据集设计的评估上表现出色, 但其性能未必能有效迁移至实际应用.

可解释性挑战: 深度学习模型的可解释性同样是贯穿各软件工程子领域的共性难题. 首先, 模型可解释性的缺失导致难以确保结果正确性. 例如, 在生成代码补丁时难以确保其正确性. 其次, 深度学习模型以 “黑盒” 特性著称, 开发者难以理解其决策逻辑, 因此在实际协作中面临困难.

跨语言泛化挑战: 开发适用于不同编程语言的通用深度学习模型面临重大挑战. 各编程语言具有独特的语法与语义特征, 导致难以构建跨语言性能均衡的通用模型. 因此当前实践主要针对单一语言进行处理, 例如针对同一代码摘要任务, 研究者常需为不同编程语言分别训练模型. 此外, 为在模型中融入代码结构信息, 研究者必须使用对应解析器处理代码片段, 这进一步加剧了不同语言间的技术差异.

该综述表明, 基于深度学习的软件工程近期已取得重大进展, 并具备持续提升的潜力. 然而, 要使该领域充分发挥潜力, 仍需攻克若干关键挑战. 我们相信未来研究应聚焦于解决这些挑战难题.

参考文献

1 Yang Y M, Xia X, Lo D, et al. A survey on deep learning for software engineering. ACM Comput Surv, 2022, 54: 1–73
2 Watson C, Cooper N, Palacio D N, et al. A systematic literature review on the use of deep learning in software engineering research. ACM Trans Softw Eng Methodol, 2022, 31: 1–58