开放式设计案例研究——众包整理软件设计案例研究的倡议

ChunYong Chong马来西亚莫纳什大学信息技术学院 马来西亚
chong.chunyong@monash.edu

Eunsuk Kang卡内基梅隆大学计算机科学学院 美国
eunsukk@andrew.cmu.edu

Mary Shaw卡内基梅隆大学计算机科学学院 美国 shaw@cs.cmu.edu

arXiv:2301.05069v1 [cs.SE] 12 Jan 2023

摘要——基于案例研究的学习已成功融入包括软件工程教育在内的各种课程。在软件设计课程中，使用案例研究通常意味着分享真实的软件开发成功或失败案例。利用现实案例研究的示例，教育工作者可以强化基本设计概念的适用性和实用性，说明根据利益相关者需求评估设计权衡的重要性，并突出前期设计的重要性；缺乏行业经验的学生往往会忽视这一点。然而，使用现实案例研究并非易事，原因在于：1）缺乏用于存储真实软件设计案例研究的开源代码库；2）即使有可用的案例研究，它们通常也未采用标准化格式进行报告，这可能会妨碍案例与预期学习成果之间的对应。为解决教育用途软件设计案例研究不足的问题，我们提出了开放式设计案例研究这一构想：建立一个代码库，通过众包和整理案例研究，并邀请其他教育工作者贡献案例研究，以用于软件设计课程教学。该平台还将允许教育工作者和学生根据代码库中公开分享的案例研究，共享、集思广益并讨论设计方案。

索引词——软件工程教育、软件设计、案例研究。

I. 引言

“软件设计”是指一组旨在弥合需求与实现之间差距的活动，包括领域建模、设计空间探索、架构设计与分析，以及模块和代码设计。它还可能涉及发现或细化需求。设计会对最终系统的重要质量产生显著影响，例如模块化、健壮性、可维护性、可测试性和可用性 [1]。

尽管软件设计十分重要，但教学往往颇具难度，部分原因在于设计中的高层抽象概念具有“抽象性”，与代码等较为具体的软件产物相比尤为如此，正如 Galster 和 Angelov [2] 所报告的那样。与软件测试等其他软件工程活动不同，软件测试有可衡量的目标（即代码覆盖率）；而制定设计方案（例如架构）则需要深入理解往往错综复杂的问题域和用例，并且可能存在多个彼此不同的备选方案，这些方案也未必容易比较。因此，缺乏经验的学生可能难以掌握软件设计的概念；尤其是在教学中缺少具体示例，无法说明这些抽象概念与软件工程（SE）生命周期的关联时，更是如此。

正如 Garousi 等人所讨论的那样，大学所教授的内容与业界的期望之间存在差距，这进一步加剧了软件设计教学的挑战 [3]。在其系统综述中，作者发现软件设计课程具有高度重要性，同时也存在较大差距，这意味着对于高等软件工程教育项目而言，软件设计课程最需要得到关注和改进。

因此，迫切需要改进面向本科生的软件设计教学方式。多位作者提出使用案例研究（虚构或真实案例），帮助学生理解在应对具有多种利益相关者需求的复杂软件系统时，设计选择的重要性 [4]–[6]。需要注意的是，本文所提到的案例研究是指 Delacey 和 Leonard 工作中所讨论的基于案例的教学方法[7]。尽管已有研究表明这种方法很有用，但基于案例研究的方法的有效性在很大程度上取决于是否有优秀的案例研究可供使用。遗憾的是，获取可用于教学的示例设计制品和文档的困难，是软件工程教育者面临的最大障碍之一。开发人员通常不愿分享这些材料，因为它们大多具有专有性质、包含商业秘密，或受保密协议约束；即使这些材料可供使用，它们也往往分散在各个机构和课程专用存储库中。

在这篇观点论文中，我们提出“开放式设计案例研究”（ODCS），将其作为一个平台，供软件工程教育者进行众包、分享并提出改进软件设计教学大纲的新策略。这项倡议的灵感来源于开放案例研究[8], ——一个数据科学教育平台，教育工作者和从业者可在此分享数据科学领域的真实案例和最佳实践。我们提出一个模板[1]，供贡献者在 GitHub 上分享其真实世界的软件设计案例研究，以助力课程设计。本文还讨论了软件工程教育者如何利用 ODCS 存储库的若干思路。

[1]https://github.com/opendesigncasestudies/odcs-template

II. 背景

A. 软件设计教学中的挑战

驯服软件系统复杂性的一种方法，是为系统设计一种高层抽象，以帮助将其分解为更小、更易管理的组件，并使软件工程师能够轻松识别组件之间的依赖关系 [9], [10]。

然而，对于缺乏现实世界经验的学生而言，要传达软件设计的重要性，一大挑战在于，由于模块化和信息隐藏等关键设计概念具有抽象性，显式设计的益处可能难以理解。因此，学生通常会提出一些问题，例如："我为什么不能先开始编写程序，之后再决定设计？""既然我们采用的是敏捷方法，为什么还要遵循这些规定性的步骤？""在给定输入下，我的程序运行得很好，那为什么还要关注设计？"如果作业基于虚构的示例，并采用与现实世界系统脱节的人工需求，那么这些问题尤其难以解释。

理解如何比较不同的设计方案并评估它们之间的权衡，通常会体现为以下问题："我们应该采用这种设计或模式吗？""为什么选择微服务架构，而不是客户端-服务器架构？""是什么使这个解决方案优于另一个？""在架构选择上，是否存在一种黄金标准或标准解决方案？"[11]因此，仅仅展示一个案例研究可能并不足够；还需要让学生深入参与设计方案的生成、比较和评估，并在考虑给定需求的基础上，系统地得出解决方案。

Shaw 等人 [9] 围绕一组核心能力设计了他们在卡内基梅隆开设的软件设计课程，这些核心能力包括识别问题的类型和结构，以及理解业务和经济约束。课程的目标是让学生理解利益相关者提出的技术需求和情境需求，并据此做出决策，同时选择真正关注其需求的设计方案。为了实现这些核心能力，使用现实案例研究也被认为发挥着重要作用。

B. 软件设计课程中的基于案例研究的学习

认识到真实环境体验和实践操作在软件工程教育中的重要性，Varma 和 Garg [4] 提议在软件工程教育中采用基于案例研究的学习方法。该方法旨在呈现软件工程问题的多元视角，使其贴近现实中的实践方式。然而，作者也承认，这种方法面临一项重大障碍：开放且公开的软件工程案例研究数量有限。他们还指出，大多数开放案例研究通常呈现的是假设性解决方案和研究案例，从从业者的角度来看，这些内容可能并不现实。

Lieh 和 Irawan [12] 分享了多年运用基于案例研究的学习来教授软件设计的分析。他们讨论了在大学环境中传授实用软件设计技能的重要性，以及这些技能与学习者所处环境的相关性。为评估基于案例研究的学习的有效性，作者将其与传统的基于问题的学习进行了比较；后者没有预先设定的目标和预期成果。根据研究结果，作者发现，对于几乎没有或完全没有行业经验的学生而言，基于案例研究的学习更为适合；而具有真实软件设计问题相关经验的在职成年人则更倾向于基于问题的学习。不过，作者指出，所提出的方法需要教育工作者投入大量精力准备课程材料，尤其是筛选相关案例研究。

C. 意识到需要建立软件设计案例研究的开放代码库

2022年5月26日，在美国匹兹堡举行的 ICSE 期间举办了一场关于软件设计教学的 Bird of Feathers（BoF）会议。[2] 此次 BoF 的目标是分享软件设计教学方面的经验和经验教训，并讨论将设计融入软件工程课程的新想法。约有 40 至 50 名与会者参加了此次研讨会。会议向与会者提出了以下问题供讨论：

- 我们该如何向学生描述和介绍设计原则?
- 我们可以提供哪些课堂实践活动来促进学习?
- 有哪些优秀和糟糕的设计实例可供作为案例研究?
- 我们该如何评估学生对设计的学习效果?

多位参与者提到，现有课程会教授一些常见的设计原则，包括关注点分离、局部性、信息隐藏、GoF 模式和架构模式。然而，其他参与者则提出了一些他们认为在现有课程体系中教授得不够好或有所欠缺的原则或设计维度，尤其是如何撰写和阅读设计文档，以及如何针对设计提出批判性问题。

讨论中凸显的、软件设计教学面临的一项关键挑战，是难以获得可用于教学的软件设计实例和文档，因为开发人员往往不愿分享这些材料。为了解决这一问题，多位参与者建议建立一个共享在线存储库，收集用于软件设计课程教学的实例和案例研究。

D. 初步研究结果

通过对相关工作的文献综述，我们发现，公开可获取的真实世界的软件设计案例研究十分匮乏。部分原因是，大多数软件设计文档都属于专有资料，可能会泄露商业

[2]https://conf.researchr.org/track/icse-2022/icse-2022-birds-of-a-feather

开放式设计案例研究模板

1) 引文
2) 标题
3) 目标
4) 利益相关者
5) 需求
   a) 描述
   b) 约束
   c) 质量属性
6) 环境
   a) 实体与假设
7) 设计方案
8) 成果
   a) 成功
   b) 失败
9) 经验教训
10) 教学材料
   a) 建议用法
11) 其他说明和资源

图 1. 拟议的开放式设计案例研究模板

秘密。即使有此类案例研究，它们通常也只是作为某项特定研究的一部分单独发表，而且整理或报告的方式各不相同。我们认为，收集和整理此类设计案例研究的一大障碍，是缺少一种广受认可的模板，能够以统一的形式汇集所有必要文档。

在数据科学教育领域，学生能够接触现实案例研究也很重要，这有助于他们理解为何需要根据不同情境应用不同的分析模型来解读数据。因此，约翰斯·霍普金斯数据科学实验室团队提出了开放案例研究 [8]，，将其作为一个平台，用于分享和整理设计数据科学课程所需的现实案例研究。这些案例研究旨在大学中使用，帮助学生理解现实世界中的数据科学问题。为鼓励贡献者并促进此类案例研究的分享，作者提出了一种简单且可扩展的模板，用于传达每项研究的核心信息。相关指南可帮助简化并规范发布流程。开放案例研究取得成功后，我们发现了一个机会，可以采用类似的方法，通过整理和众包案例研究来推动软件设计课程开发。

III. 拟议方向与方法

在这篇构想论文中，我们提出开放式设计案例研究（ODCS）项目，尝试通过众包整理真实世界的软件设计案例研究。其目标是建立一个开源存储库，供软件工程教育者分享和讨论软件设计案例研究。

为便于分享开放式设计案例研究，我们提出了一种用于组织案例研究内容的模板，如图1所示。

请注意，图1中的标题和子标题仅供参考，我们并不要求贡献者严格按照模板提供其中列出的信息。这种灵活性也能让组织有选择地分享他们能够提供的部分案例研究内容。

引文：如果案例研究属于已发表作品的一部分，或托管在其他平台（如 Zenodo、Figshare 等）上，贡献者可以选择提供与该案例研究相关的引文信息。

目标：贡献者可以在本节中列出项目目标。

利益相关者：贡献者可以提供参与案例研究的利益相关者（直接或间接）的信息。如有必要，贡献者也可以选择提供匿名化的利益相关者信息。

需求：为了充分利用案例研究进行课程设计，建议贡献者尽可能多地提供信息，包括功能需求、约束（技术、环境或业务方面），以及项目中重要的质量属性。如果有软件需求规格说明书（SRS）文档，建议贡献者提供该文档的访问链接。

环境：贡献者可以介绍问题域中的重要实体和参与者（例如用户或物理组件），包括其属性、角色，以及对其如何与系统交互的假设。

设计方案：此处可添加不同粒度的设计制品。例如，设计最佳实践、设计模式、架构模式、UML图（用例、类）等。贡献者可以选择在许可允许的情况下分享设计制品；如果能分享则更为理想。我们承认，有些案例研究可能没有提出设计方案。这为众包征集设计方案提供了机会，下一节将对此进行讨论。

成果：贡献者可以根据提出的设计方案，讨论任何现有的成功或失败案例。如适用，还可以进一步讨论成功或失败的根本原因，这将是额外的收获。

经验教训：贡献者可以根据案例研究加入回顾部分。这有助于教育工作者和学生讨论经验教训，例如，对于类似的设计问题，应采用或避免哪些方法。

教学材料：贡献者可以提供可重复使用的教学材料。他们还可以讨论案例研究的建议用法，包括：1.) 用于教授设计概念；2.) 用作作业说明；3.) 用作案例研究，以避免某些不良实践。

为了将 ODCS 模板付诸实践并展示其适用性，我们整理了若干可在 GitHub 上公开获取的案例研究。[3] 具体来说，这些项目是 Sommerville 的著作中讨论的现实案例研究[13] 以及伦敦救护车服务案例研究 [14]。

鼓励贡献者使用我们发布的 ODCS 模板[4] 来编写更多案例研究。一旦完

[3]https://github.com/opendesigncasestudies [4] https://github.com/opendesigncasestudies/odcs-template

成，他们便可将案例研究添加到集中式仓库中并发布。

A. 教育工作者使用开放式设计案例研究的建议用法

1) 将案例研究作为介绍基本设计概念的媒介：多项研究报告了使用案例研究进行教学、传授基本设计概念的益处 [5], [15]。Bolinger 等人 [16], 描述了案例研究如何强化抽象概念（设计模式、架构等）、展示真实客户交互的特点（需求冲突、需求优先级排序等），并向缺乏丰富实践经验的学生展现软技能的重要性。

在实践中，设计模式通常会结合使用，以解决复杂的软件工程问题；但在大学里，它们通常通过彼此独立的示例来教授 [15]。借助现实案例研究，教育工作者可以探讨并说明在处理现实软件系统时设计决策的动态过程。教育工作者可以提供真实案例，说明如何运用设计模式解决现实世界的问题，而不是使用虚构示例。不过，我们也承认，相比整体设计决策，设计案例研究可能更适用于技术决策。

2）将案例研究用于课程开发：原封不动地复述详尽的真实案例研究，可能会让学生感到枯燥，也难以理解，因为他们无法体会原软件开发人员的视角。若根据学生的专业水平对内容进行定制和本地化，学生便更容易理解其中的概念，同时也能与所教授的基础设计知识保持一致 [16]。我们鼓励定制内容（设计案例研究）的教师与更广泛的软件工程教育者社区分享成果，并发布到 ODCS GitHub 页面。

因此，教育工作者可以利用案例研究来设计与行业联系更紧密的教学材料，从而推动课程开发 [16]。可以围绕选定的案例研究重新设计辅导课或实验课等课堂活动，以加深学生对抽象概念的理解。设计演练也有助于学生理解设计决策背后的依据。这类互动活动是契合翻转课堂理念的实践与创新，而翻转课堂已被证明能够改善学生的学习体验 [17]。

3) 讨论并众包设计方案的平台：如第三节所述，我们了解到，由于各种因素（商业秘密、案例研究不完整等），并非所有案例研究都会附带建议的设计方案。即使已有设计方案，也总有空间从不同角度提出替代设计，以帮助满足功能需求和非功能需求。

因此，所提出的 ODCS 可以作为一个平台，让软件工程教育者之间通过众包分享设计方案，并让学生参与其中。在更受控的教学环境中，教育工作者可以复刻某个案例研究，并指导学生提交拉取请求，以提交他们的设计方案。这些设计方案还可以随着时间推移不断改进和完善。

此外，教育工作者可以基于 ODCS 上发布的现实案例研究，逐步搭建更贴合学生学习环境的用例。这一策略可用于开展长期项目，在这些项目中，需求可能会在多个学期中不断演变。

IV. 评估开放式设计案例研究的计划

作为初步验证，我们已将拟议的 ODCS 模板（图1）投入实际使用，按照第三节所述，将一些开放的现实案例研究转换为拟议的格式。在此过程中，这有助于我们完善拟议模板的整体结构和子章节，使其更适用于软件工程教育，并着重关注设计决策中的“为什么”和“如何”因素。例如，拟议模板中的“成果”和“经验教训”章节为教育工作者提供了机会，让他们与学生开展回顾和讨论环节，并教会学生如何批判性地评估所提出的设计方案。我们计划通过在 GitHub 代码库中纳入更多开放案例研究，进一步丰富 ODCS。

图 2 展示了一个使用所提出模板撰写的案例研究示例，其中包含 Sommerville 的 iLearn 案例研究[5] [13]片段。教育工作者可以利用“成功”或“失败”故事，结合真实系统的成果，突出应采纳或避免的设计决策。“教学材料”部分提供了一些案例研究的建议用法，以促进这些真实案例的分享。

我们还计划开展定性研究，收集软件工程教育者对 ODCS 用法的反馈，了解其在自身课堂中的益处与局限，并利用收集到的数据进一步改进模板。定性研究的计划包括焦点小组讨论、面向会议参与者（在软件工程会议上）的调查和问卷，以及面向计划使用或参与贡献 ODCS 的软件工程教育者开展的自愿参与式调查。我们还计划评估所提出模板的粒度是否内容过于繁杂，或过于抽象、含糊，以致不适用于软件工程教育者。我们欢迎有意参与定性研究的读者联系本文作者。

此外，对于计划使用开放式设计案例研究（OCDS）在大学教授软件设计课程的教育工作者，可以考虑开展比较研究，评估基于案例研究的学习与传统学习方法相比的有效性，类似于 Lieh 和 Irawan 的研究 [12]。比较研究的发现有助于改进软件设计课程中基于案例研究的学习教学方法。

[5]https://github.com/opendesigncasestudies/iLearn-IanSommerville

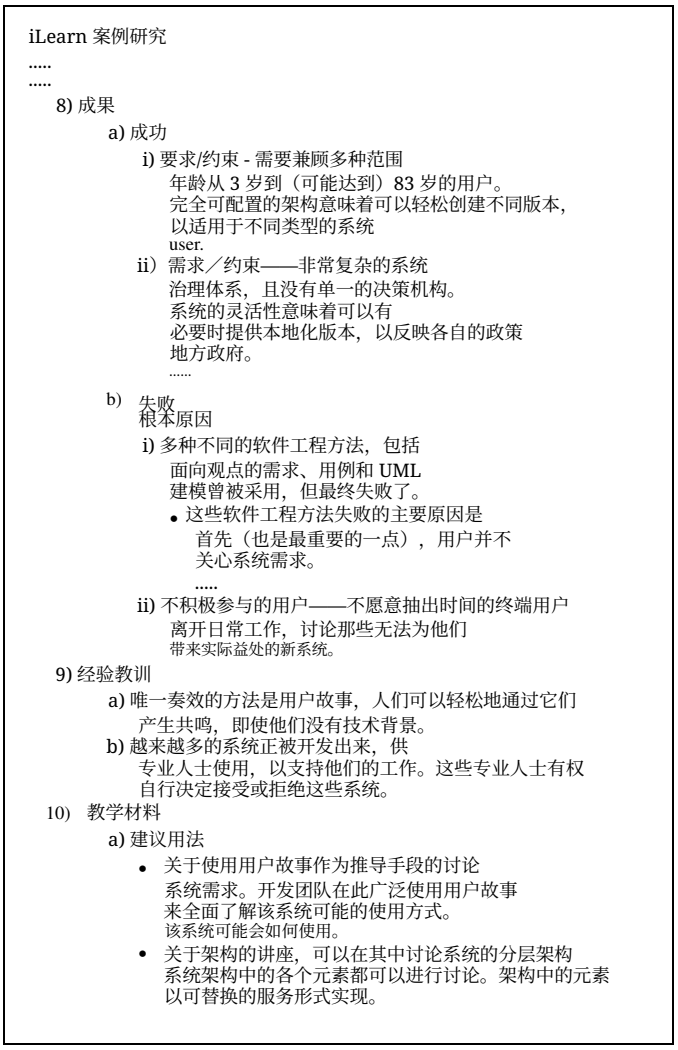


图 2. iLearn 案例研究片段

V. 相关工作

本节将讨论一些收集软件工程案例研究或数据集的现有尝试。

人们曾多次尝试整理开源代码库和数据集，以提高软件工程研究的可复现性和可靠性。最早的尝试之一是 PROMISE（软件工程预测模型）代码库 [18]，该代码库已广泛应用于软件工程的不同领域，包括缺陷预测、软件成本估算和复用预测。

软件仓库挖掘（MSR）研究社区是公开数据集最坚定的倡导者之一，GitTorrent [19], FLOSSMole[20], 和 FLOSSMetrics [21] 等项目被广泛用于开展与开源软件开发相关的研究。尽管 MSR 社区经常使用 GitHub 等开源软件开发平台开展研究，但 Kalliamvakou等人 [22], [23] 发现，如果缺乏适当的审查和指导方针，依赖此类开源代码库的研究可能并不可靠，因为 GitHub 上托管的大多数项目都是个人项目，且处于非活跃状态。

另一方面，开放的历史软件缺陷数据集对于研究人员评估其缺陷预测模型至关重要。Defects4J [24] 和缺陷预测软件数据集 [25] 等数据集，是漏洞/缺陷预测领域研究人员最常用的一些开源数据集。这类开源缺陷数据集有助于相关领域的研究人员以客观、公平的方式，将其提出的模型与当前最先进的方法进行基准比较。

本节将讨论一些收集软件工程案例研究、数据集或教育材料的尝试。软件工程教育工作者通常愿意分享他们的教育材料。在大多数情况下，这种分享集中在特定课程的材料上。2002 年，为支持新兴领域“经济驱动的软件工程”中材料的协作开发，人们启动了一个项目（当时占主导地位的开源代码库是 Sourceforge）。Shaw 等人 [26] 介绍了 CourseForges 项目，该项目提供了一个交互式平台，让教师在遵循以开源原则为范本的基本规则、采用知识共享版权的前提下，共同分担课程材料的开发工作。尽管共享了一批材料，但协作演进有限，该项目最终逐渐消失。失败的主要原因似乎是缺乏明确的材料层次、粒度和组织结构，同时也有人担心教师为共享教育成果付出的努力是否会得到适当认可。前一个问题可通过此处的 ODCS 模板解决；至于后一个问题，我们认为，如今教育贡献比二十年前更受重视。

VI. 结论与未来工作

在本文的构想论文中，我们提出了开放式设计案例研究（ODCS），为软件工程教育者提供一个平台，以整理和获取真实世界的软件设计案例研究。这项倡议旨在通过众包协作建立一个社群，共同塑造软件设计课程的未来。通过提出 ODCS 模板，我们希望将其用作指导，聚焦呈现案例研究，揭示设计决策是如何作出的、如何提出设计方案以满足不同的质量需求，以及学生可以从中学习哪些成功或失败的经验。

我们也承认，由于软件设计制品或文档不完整，或缺少设计方案，使用所提出的模板存在一定风险。为帮助降低风险，我们在第三节 A3 中讨论了学生或教育工作者如何利用 ODCS 平台提出并完善不完整的设计制品或方案。

最后，作为未来工作的一部分，为提高设计制品的可读性并将内容传播给更广泛的社群，我们计划使用 Jekyll[6] 将当前的 Markdown 内容转换为静态网站。

[6]https://jekyllrb.com/

参考文献

[1] M. Shaw 和 P. Clements，《软件架构的黄金时代》，《IEEE 软件》，第 23 卷，第 2 期，第 31–39 页，2006 年。[2] M. Galster 和 S. Angelov，《是什么让软件架构教学如此困难？》，载于 2016 IEEE/ACM 第 38 届国际软件工程会议伴随会议（ICSE-C）。IEEE，2016 年，第 356–359 页。[3] V. Garousi、G. Giray、E. Tuzun、C. Catal 和 M. Felderer，《弥合软件工程教育与工业需求之间的差距》，《IEEE 软件》，第 37 卷，第 2 期，第 68–77 页，2019 年。[4] Varma 和 K. Garg，《案例研究：软件工程教育的潜在教学工具》，载于第五届国际软件质量会议（QSIC'05）。IEEE，2005 年，第 279–284 页。[5] S. Kurkovsky，《用乐高认真玩教授软件工程》，载于 2015 年 ACM 计算机科学教育创新与技术会议论文集，2015 年，第 213–218 页。[6] E. L. Ouh 和 Y. Irawan，《在研究生软件架构课程中应用案例式学习》，载于 2019 年 ACM 计算机科学教育创新与技术会议论文集，2019 年，第 457–463 页。[7] B. J. DeLacey 和 D. A. Leonard，《哈佛商学院教育中的技术与距离案例研究》，《教育技术与社会杂志》，第 5 卷，第 2 期，第 13–28 页，2002 年。[8] M. R. Breshock，《扩大访问并消除障碍：利用开放案例研究数字平台开展数据科学教育》，2021年12月。 [在线]。网址：https://jscholarship.library.jhu.edu/handle/ 1774 2 66820。/。[9] M. Shaw、J. Herbsleb 和 I. Ozkaya，《决定设计什么：弥合软件工程教育中的差距》，载于第27届国际软件工程会议论文集，2005 年，第 607–608 页。[10] M. Shaw，《软件工程教育：路线图》，载于软件工程未来会议论文集，2000 年，第 371–380 页。[11] C. R. Rupakheti 和 S. V. Chenoweth，《面向本科生的软件架构教学：经验报告》，载于 2015 IEEE/ACM 第37届IEEE国际软件工程会议，第 2 卷。IEEE，2015 年，第 445–454 页。[12] E. L. Ouh 和 Y. Irawan，《教授成人学习者软件架构设计技能》，载于 2018 IEEE教育前沿会议（FIE）。IEEE，2018 年，第 1–9 页。[13] I. Sommerville，《软件工程》，第 10 版。Pearson，2015 年。[14] A. Finkelstein 和 J. Dowell，《一场错误闹剧：伦敦救护车服务案例研究》，载于第8届国际软件规格说明与设计研讨会（IWSSD）论文集。IEEE 计算机学会，1996 年，第 2–5 页。[15] Y. Tao 和 J. Nandigam，《进展中的工作：以开源软件为基础开发软件设计案例研究》，载于《教育前沿：第36届年度会议论文集》。IEEE，2006 年，第 27–28 页。[16] J. Bolinger、M. Herold、R. Ramnath 和 J. Ramanathan，《联系现实与理论——在软件工程课程中创建综合性行业案例研究的方法》，载于 2011年教育前沿会议（FIE）。IEEE，2011 年，第 T4G–1 页。[17] L. Gren，《采用翻转课堂教学法教授实证软件工程》，《IEEE教育汇刊》，第 63 卷，第 3 期，第 155–163 页，2020 年。[18] J. Sayyad Shirabad 和 T. Menzies，《PROMISE软件工程数据库库》。加拿大渥太华大学信息技术与工程学院，2005 年。 [在线]。网址：http://promise.site.uottawa.ca/SERepository [19] G. Gousios 和 D. Spinellis，《GHtorrent：来自数据洪流的 GitHub 数据》，载于 2012年第9届IEEE软件仓库挖掘工作会议（MSR）。IEEE，2012 年，第 12–21 页。[20] J. Howison、M. Conklin 和 K. Crowston，《FLOSSMole：用于自由/开源软件研究数据和分析的协作式代码库》，《国际信息技术与网络工程杂志》（IJITWE），第 1 卷，第 3 期，第 17–26 页，2006 年。[21] I. Herraiz、D. Izquierdo-Cortazar、F. Rivas-Hern´andez、J. Gonzalez-Barahona、G. Robles、S. Duenas-Dominguez、C. Garcia-Campos、J. F. Gato 和 L. Tovar，《FLOSSMetrics：自由/自由使用/开源软件度量》，载于 2009年第13届欧洲软件维护与再工程会议。IEEE，2009 年，第 281–284 页。[22] E. Kalliamvakou、G. Gousios、K. Blincoe、L. Singer、D. M. German 和 D. Damian，《深入研究挖掘的承诺与风险 github”，《实证软件工程》，第 21 卷，2071，2016 年，第 5 期，第 2035 页。[23] ——，“挖掘 GitHub 的机遇与风险”，载于《第 11 届软件仓库挖掘工作会议论文集》，2014 年，第 92–101 页。[24] R. Just、D. Jalali 和 M. D. Ernst，“Defects4j：一个现有缺陷数据库，用于对 Java 程序开展受控测试研究”，载于《2014 年国际软件测试与分析研讨会论文集》，丛书：ISSTA 2014。美国纽约：计算机协会，2014 年，第 437–440 页。 [在线]。链接：https://doi.org/10 1145 2610384 2628055。/。[25] M. D'Ambros、M. Lanza 和 R. Robbes，“缺陷预测方法的全面比较”，载于《MSR 2010，论文集（第 7 届 IEEE 软件仓库挖掘工作会议）》。IEEE 计算机学会出版社，2010 年，第 31–41 页。[26] M. Shaw、S. Butler、H. Erdogmus 和 K. Schmid，“Courseforges：面向基于价值的软件工程的开源课程设计”，载于《第 5 届经济驱动软件工程研究国际研讨会暨第 25 届国际软件工程会议论文集》。IEEE 计算机学会，2003 年，第 4–7 页。