

测试用例复用技术研究综述

孔 婧, 李 瑛*, 李美静, 刘益玮

北华航天工业学院计算机学院, 河北 廊坊

收稿日期: 2023年8月15日; 录用日期: 2023年9月14日; 发布日期: 2023年9月21日

摘 要

随着软件交付周期的日益加快, 侧重于快速迭代的敏捷开发模式, 已成为大部分软件开发团队的首选。软件测试是保证软件质量的重要手段, 针对敏捷开发的特点, 原有的测试方法往往存在测试时间短、测试不充分等典型问题。测试用例复用技术, 通过充分利用历史测试用例, 快速共享原有的软件测试经验, 成为提升敏捷开发模式下软件测试效率的有效手段。本文系统总结了近年来测试用例复用技术相关文献, 对比分析了基于测试用例复用库、基于知识图谱、基于文本语义相似性等典型复用技术, 本文在正文中对测试用例复用方法进行了详细介绍与对比, 并在应用领域、复用方法、改进方法、文献不足等方面进行了总结, 并对测试用例复用技术未来的研究方向进行了展望。

关键词

测试用例复用, 测试用例复用库, 知识图谱, 文本语义相似性

Overview of Research on Test Case Reuse Technology

Jing Kong, Ying Li*, Meijing Li, Yiwei Liu

School of Computing, North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang Hebei

Received: Aug. 15th, 2023; accepted: Sep. 14th, 2023; published: Sep. 21st, 2023

Abstract

With the increasing acceleration of software delivery cycles, the agile development model that focuses on rapid iteration has become the preferred choice for most software development teams. Software testing is an important means to ensure software quality. In response to the characteris-

*通讯作者。

tics of agile development, existing testing methods often have typical problems such as short testing time and insufficient testing. Test case reuse technology has become an effective means to improve software testing efficiency under agile development mode by fully utilizing historical test cases and quickly sharing existing software testing experience. This article systematically summarizes the relevant literature on test case reuse technology in recent years, compares and analyzes typical reuse technologies such as test case reuse library, knowledge graph, and text semantic similarity. In the main text, this article provides a detailed introduction and comparison of test case reuse methods, and summarizes their application fields, reuse methods, improvement methods, and insufficient literature, and the future research directions of test case reuse technology are prospected.

Keywords

Reuse of Test Case, Test Case Reuse Library, Knowledge Graph, Text Semantic Similarity

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着敏捷开发成为主流的软件开发方法，软件迭代速度和交付周期不断加快，软件规模和复杂度也不断增加，从而导致为保障软件质量而进行软件测试成本越来越高。为了应对这一挑战，测试用例复用技术引起了人们的关注。

测试用例复用是指测试人员直接或间接使用历史测试文本和数据，来完成新的软件或者软件新版本测试的技术。一个好的测试用例，不仅包含了大量测试数据，同时还能有效发现软件缺陷。如果在测试过程中有效地复用历史测试文本，不仅能够加快测试速度，还能更容易发现软件缺陷，降低测试成本，提高测试质量和效率。

传统的测试用例复用技术主要采用构建测试用例复用库方法，根据共性需求，设计可复用的测试用例，通过检索提取符合应用场景的测试文本。传统的方法存在检索文本慢、没有考虑测试文本的语义相似性等问题。深度学习方法可以很好地解决语义相似性问题，在构建测试用例复用库的基础上，越来越多的研究人员开始加入深度学习等算法，提高了检测效率。本文研究了知网上自 2016 年以来关于测试用例复用技术的相关文献，在应用领域、复用方法、改进方法上进行了总结，并对比分析了不同复用方法以及不同文献的处理特点。第 1 节为引言，介绍了测试用例复用技术研究背景；第 2 到 4 节分别介绍了基于测试用例复用库、基于知识图谱、基于文本语义相似性以及其他方法等复用技术；第 5 节为方法对比；最后对测试用例复用技术进行总结以及对未来的研究方向进行了展望。

2. 基于测试用例复用库实现测试用例复用

构建测试用例复用库是测试用例复用技术的传统方法，建立测试用例复用库，可以实现有序、统一存储，有利于提高归档速度，并通过检索条件快速找到所需要的测试用例，实现测试用例复用。

基于测试用例复用库方法，流程如图 1 所示。

首先构建一个数据库，用于保存测试用例的基本信息，主要采用 MySQL 等关系型数据库。第二，分析软件之间或软件内的共性需求，设计可复用的测试用例，经过筛选、修改、评审后入库，此步骤是该

方法的关键。对软件测试来说，测试用例复用技术可以用在同一软件的迭代版本测试中，将历史版本软件测试用例用在新版本软件测试中；也可以用在不同软件，但两个软件功能上很相似的测试中，用已测软件的测试用例指导待测软件的测试。无论同一软件还是功能相似软件，它们相通的点为有着共性需求。文献[1]-[7]采用的是分析软件的共性需求后设计可复用的测试用例方法，其中处理的方法以及应用的场景也各不相同，如表 1 所示。

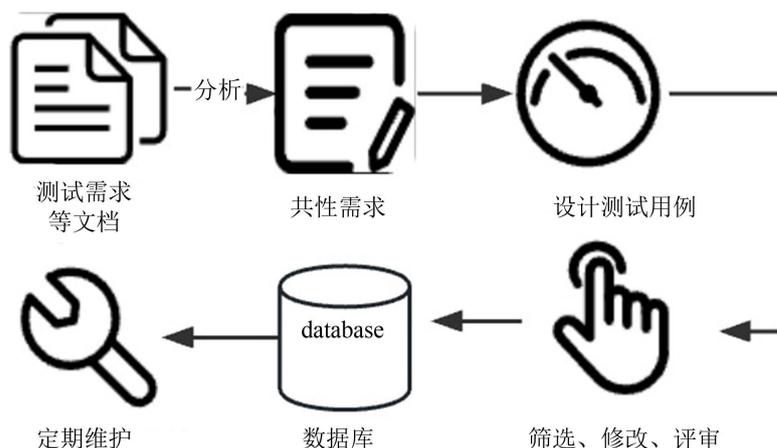


Figure 1. Implementation of test case reuse flowchart based on test case reuse library

图 1. 基于测试用例复用库实现测试用例复用流程图

Table 1. System resulting data of standard experiment

表 1. 标准试验系统结果数据

id	应用场景	处理方法
文献[1]	软件信息安全测试	待测系统分为用户层、应用层以及功能层等，分析不同层的公共需求
文献[2]	电子采购交易平台	设计父集测试用例与子集测试用例
文献[4]	跨平台系统	应用场景提供可复用条件，根据测试场景的用例图确定需要设计的具体用例
文献[5]	LED 分选系统的软件黑盒测试	对测试用例分类，进行共性分析，根据类别保存，使用 Testlink 工具管理
文献[7]	商业银行的内部管理系统	共性需求分类，如需求分为界面元素、业务规则、业务流程、系统接口，界面要素分为文本框、下拉框等

设计的测试用例需要遵循通用性、独立性、粗粒度、易维护四个原则。通用性指的是设计的测试不包含具体的场景，在设计可复用的测试用例时，去掉个性化的内容，只留下通用性的内容；独立性指的是不能出现测试用例 B 成立的先决条件是测试用例 A 必须通过；粒度如果太细会出现测试用例依赖具体的场景情况；复用的测试用例不是一成不变的，会有增删等修改，所以需要保证其易维护。

第三，在测试用例复用库中查找是否存在当前所测场景相同或相似的测试用例，若存在，将该测试用例提出，加入个性化内容，如登录的具体要求；第四，对测试用例复用库进行定期维护，具体包括评审用例的有效性等，可以从用例的复用率、有效性、修改工作量等方面进行评审。

一些研究员们在测试用例复用库的基础上进行了改进，提高检索效率，如表 2 所示。

Table 2. Improving test case reuse library to implement test case reuse method
表 2. 改进测试用例复用库实现测试用例复用方法

id	改进	优势
文献[8]	加入协同过滤算法	用例复用更加智能化, 从而大大提高复用效率, 减少冗余
文献[9]	引入 CBR 的检索方法	改进了测试用例复用库的检索方法, 快速找到合适的可复用测试用例
文献[5]	使用 Testlink 工具	Testlink 工具可以对测试用例进行快速搜索, 解决了测试用例索引难的问题

3. 基于知识图谱实现测试用例复用

在具有复杂关系的数据中, 知识图谱具有存储和检索信息的优势。使用知识图谱替代测试用例复用库, 可以充分考虑实体与实体的关系、实体与属性的联系, 解决传统方法中因复用造成的数据冗余多, 检索不灵活等问题。

知识图谱本质上是语义网的知识库, 由节点和边组成, 节点表示实体, 边表示实体与实体的关系[11]。构建知识图谱一般需要四个步骤, 分别是知识抽取、知识融合、知识加工、知识应用, 如图 2 所示。

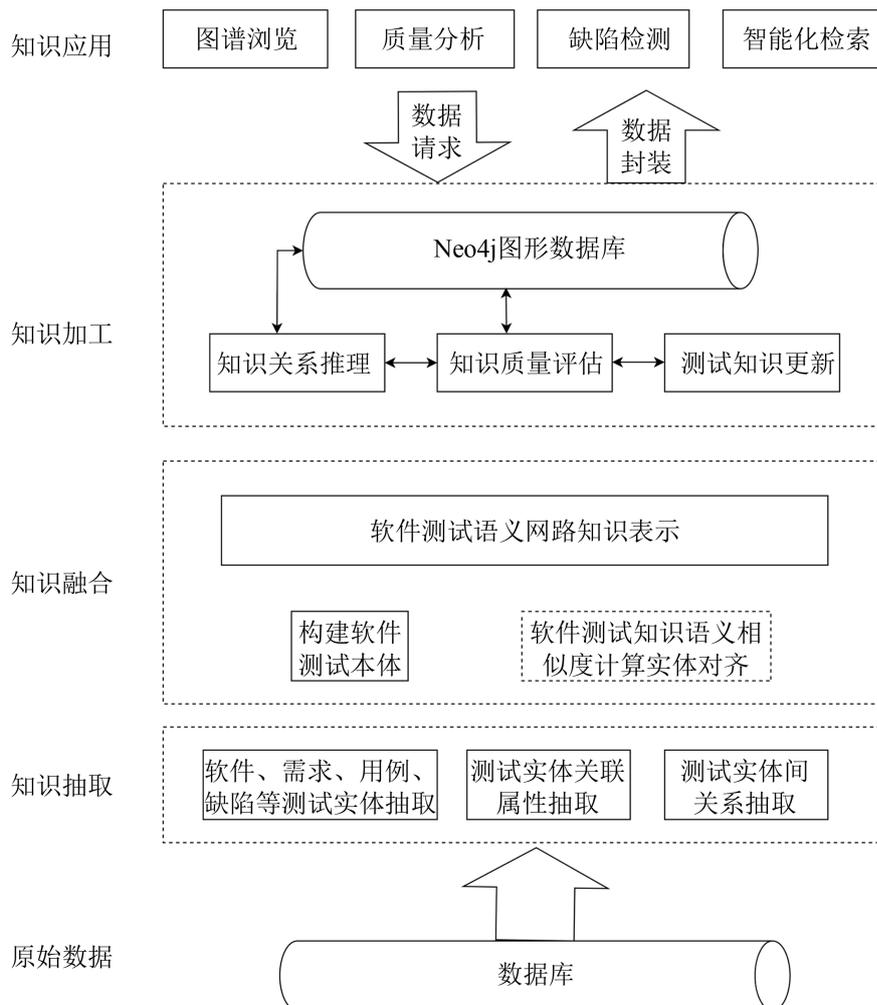


Figure 2. Flow chart of knowledge graph construction
图 2. 知识图谱构建流程图

构建图谱完成后, 可以利用知识图谱完成测试用例复用, 基本流程如图 3 所示。

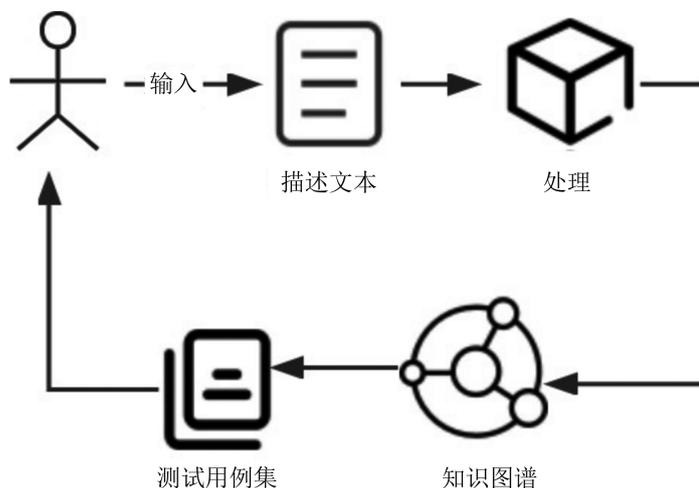


Figure 3. Flow chart of test case reuse based on knowledge graph
图 3. 基于知识图谱实现测试用例复用流程图

用户输入待测软件描述文本, 将该文本进行处理, 如构建一个子图谱。将处理后数据输入总的知识图谱, 进行匹配与检索, 找出相似的子图谱, 最后形成复用的测试用例集返回给用户。

一些学者在上面的基础进行了改进, 优化复用效果, 如表 3 所示。

Table 3. Test case reuse based on knowledge graph
表 3. 基于知识图谱实现测试用例复用论文总结

id	改进	论文优点	论文不足
文献[10]	在知识图谱中检索相似实体时采用 SimCSE 执行中文语义相似度任务	有效实现测试用例的复用推荐	1) 在知识抽取中只抽取了结构化数据, 测试文档、测试报告半结构化非结构化数据并没有抽取 2) 仅使用 SimCSE 无监督方法完成文本匹配, 没有考虑无监督和有监督学习对复用准确率的性能差距
文献[11]	对用户输入的描述文本进行处理, 使用改进的朴素贝叶斯分类模型, 明确用户的检索意图	使用朴素贝叶斯分类模型能够更好地找到用户需要的测试用例以及和测试用例相关信息	用了 one-hot 编码表示测试用例属性, 没有考虑语义信息
文献[12]	1) 在知识融合中, 使用 Word2vec 的 CBOW 模型 2) 推荐模型分为两个: 基于需求推荐、基于缺陷数据推荐, 在缺陷知识检索中加入了协同过滤推荐算法	基于需求知识推荐适用于常规软件测试项目的测试用例复用设计, 基于缺陷知识检索适用于敏捷测试项目的复用用例设计, 考虑了各种应用场景	论文中构建知识图谱的基础数据是结构化数据, 知识抽取部分相对简化
文献[13]	在文献[11]的基础上, 提出了多维知识神经网络(MKNN)	考虑了测试用例语义信息以及用户的测试偏好, MKNN 比传统测试用例方法具有更高的推荐准确率	所构建的知识图谱未将常识内容添加到图谱中

Continued

文献[14]	<p>1) 知识抽取部分做了详细工作,对结构化、半结构化、纯文本数据用不同的方法进行知识抽取</p> <p>2) 依据实体属性的相似度提出基于测试需求的用例推荐算法以及基于问题发现的用例推荐算法</p>	<p>1) 构建国产操作系统领域知识图谱</p> <p>2) 通过模型实现测试用例推荐,实验表明,与传统的通过关键字检索实现测试用例复用方法相比,性能和稳定性都有了明显提升</p>	研究数据量不足以及数据类型具有局限性
--------	---	--	--------------------

基于知识图谱实现测试用例复用有时不能充分考虑语义信息,因此,许多研究者通过基于深度学习的模型分析文本语义相似性,将测试需求、测试用例等文档信息转化为包含语义的向量,利用 TF-IDF 词频统计方法、向量模型等方法挖掘文档标签信息进而复用测试用例文档。

4. 基于文本语义相似性实现测试用例复用

基于本文语义相似度的测试用例复用技术可以看作自然语言处理中测量文本对之间的语义相似程度。最早提出的方法是测量长文本之间的相似度,将每个文档用一个向量表示。后面又出现测量短文本语义相似度,需要评估句子或文本片段之间的相似程度。余弦相似度,是传统上用于信息检索的基于向量的度量,是评估文本之间相似性的常用度量[15]。基于文本语义相似性实现测试用例复用流程如图 4 所示。

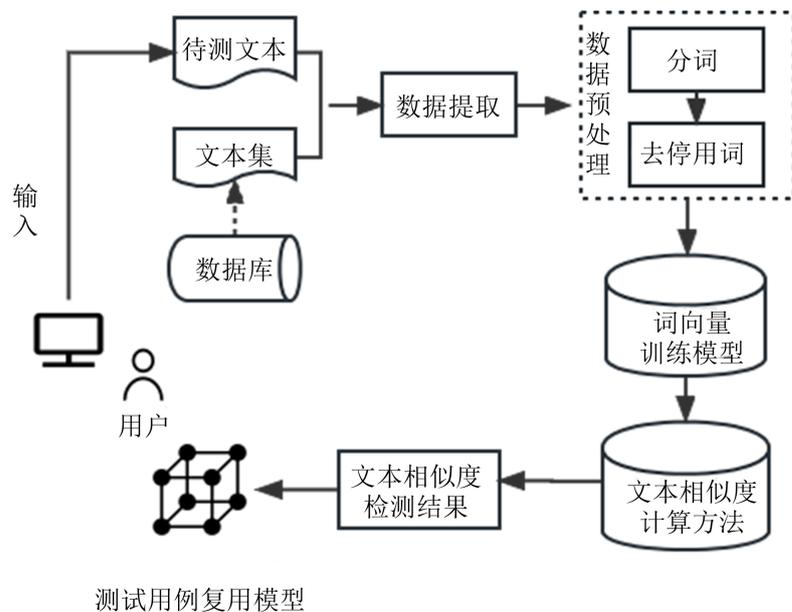


Figure 4. Implementing test case reuse process based on text semantic similarity
图 4. 基于文本语义相似性实现测试用例复用流程

测试用例复用模型主要分为数据预处理、文本语义相似性分析、测试用例复用。数据预处理中,将测试文档数据以及用户输入的描述文本进行分词、去停用词;将预处理后的数据输入词向量训练模型,得到包含语义的文本向量。根据文本相似度计算方法计算向量之间的相似值,将文本相似度检测结果输入到测试用例复用模型中;比较得到测试用例与待测文本描述之间的相似性,将历史测试用例推荐给测试人员。

一些学者在对该方法进行了研究,如表 4 所示。

Table 4. Summary of paper on implementing test case reuse based on text similarity
表 4. 基于文本相似性实现测试用例复用论文总结

id	研究点	论文优点	论文不足
文献[16]	<ol style="list-style-type: none"> 1) 在测试用例复用库的基础上, 选择 Bert 作为词向量训练模型。 2) 经过三次筛选, 完成了测试用例推荐 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bert 模型可以增强词的泛化能力, 充分描述字句子级之间的关系, 为后续的测试用例复用打好基础。 2) 三层筛选后, 测试用例推荐的准确率能够满足测试人员要求 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 没有和传统的方法如构建测试用例复用库利用关键词检索复用方法进行对比 2) 没有结合关键词用于推荐
文献[17]	<ol style="list-style-type: none"> 1) 提出一个基于文档相似度判断功能相似性的复用策略, 使用 doc2vec 方法将文档向量化表示 2) 提出结构权重概念 3) 系统提取需求文档标签, 推荐给用户, 增强复用效果以及系统实用性 	<ol style="list-style-type: none"> 1) 在词向量训练模型中, 用 doc2vec 替换 word2vec, 弥补其在文档表示上的不足 2) 加入结构权重信息后, 提高了相似度判断准确率 	该研究目前只在军用航空领域中实现, 对其他领域的适用性分析有待研究
文献[18]	选用禁忌搜索算法进行软件需求特征选择	提出禁忌搜索算法, 提高需求文本分类准确率	<ol style="list-style-type: none"> 1) 大量企业需求数据难以获取, 实验量过少 2) 只验证了分类效果, 没有在真实项目中验证复用效果
文献[19]	<ol style="list-style-type: none"> 1) 构建软件测试知识模型, 使用 5 层 HMM 模型完成分词与词性标注, TF-IDF 构建关键词词典, 使用词嵌入方法将关键词向量化 2) 构建软件测试用例主题模型 3) 给出软件测试领域元知识识别算法, 实现测试知识的获取和高度统一管理、共享和应用 	实验表明, 关键词搜索有时会出现无复用的测试用例结果, 进行语义理解后, 搜索结果有了明显改善	实验选取的数据为常用的测试用例 200 余个, 实验室数据较少
文献[20]	主要研究测试文本的潜在语义相似度, 利用主题与关键词结合的方法计算测试需求与测试用例的相似度, 排序后实现用例的复用	提出 LDA 模型, 并且 LDA 模型与向量空间模型实现测试用例复用效果上, 前者准确率高于后者	随着测试数据的积累, 检索时间也随之增长
文献[21]	使用 Filter 过滤法进行需求特征选择, 使用 KNN 与贝叶斯分类算法进行软件分类	Filter 过滤法可以去除无效的特征, 提高分类准确性	—

除了基于测试用例复用库、基于知识图谱、基于文本语义相似度实现测试用例复用, 还有一些其他的方法, 如基于本体、基于程序代码、基于模型方法。文献[22] [23]为基于本体方法, 前者通过构建新测试用例本体以及测试用例库中测试用例本体, 建立本体之间的匹配规则实现测试用例复用, 后者构建基于本体的知识库系统实现复用; 文献[24] [25] [26]为基于程序代码方法, 文献[24]将变更函数、变更路径输入到模型中, 输出待测变更路径集, 将不变的函数调用路径集和变化的待测变更路径集输入到模型, 为前者找出相似的测试用例, 修改后者的测试用例, 最终得到复用测试用例集, 文献[25] [26]针对回归测试中检测的程序相似代码多特点, 提出了测试用例复用与生成的方法, 主要贡献为检测程序的相似代码,

将历史测试用例用在新版本程序测试中，对于不变更的程序代码的测试用例直接使用。对于变更的程序代码，借助遗传算法进而生成新的用例；文献[27]在航空机载领域中，提出了基于模型的测试用例复用方法。

5. 方法对比

基于测试用例复用库方法是早期研究员实现测试用例复用的主要方法，通过构建测试用例复用库，整理历史数据，构建索引，实现测试用例复用。但是一些研究员发现，有时根据索引，并不能有效查出符合要求的文本数据，其原因在于，随着测试的进行，测试数据在不断增加，庞大的数据量，造成测试人员不能快速、准确的查找出需要的数据。为此，定期维护测试用例复用库方法出现，将长时间不使用的测试用例从数据库删除，对测试用例复用率、发现缺陷数等进行评审，减少冗余数据，并修改每条测试用例的权重值，比如将复用次数多的文本提高权重，复用次数少的文本降低权重等等，这种方法在一定程度上提高了效率，但是确定文本的复用次数需要进行额外的统计和分析工作，这会增加测试人员的工作量，并且仅仅依靠文本的复用次数来调整权重无法全面考虑到测试用例的质量和覆盖范围，因此，这种方法可能只是一种临时的解决方案，而不是长期可持续的策略。为了更好地提高测试效率并减少测试人员的工作量，还可以考虑其他的测试用例复用技术，如基于知识图谱、基于文本语义相似度的测试用例复用方法等。

近三年来，基于知识图谱的测试用例复用方法在国内开始兴起，使用该方法可以充分考虑实体与实体的关系、实体与属性的联系，解决传统方法中因复用造成的数据冗余多，检索不灵活等问题。并且原来的方法只是对历史数据进行了整理与查找，而基于知识图谱的复用方法提取历史数据的知识，建立知识之间的联系，兼顾测试对象、测试需求、测试类型及测试用例间的知识链，可以更好的挖掘测试用例的潜在信息，增强后续测试用例推荐的准确性，将传统用例库中孤立的测试用例进行关联。从文献[11]所做的对比实验，发现从复杂度以及时间消耗上来看，基于知识图谱的方法检索效率都要优于基于传统测试用例库的方法，并且比传统测试用例复用方法具有更高的推荐准确度。同样，该方法也存在几个问题，首先，在构建领域知识图谱的过程中，离不了领域专家的配合，需要邀请测试领域的专家与相关企业测试经验丰富的测试人员指导本体的设计与评估，经过修改与完善后才能形成最终的测试领域知识图谱的本体；其次，构建知识图谱需要知识抽取，怎样快速、准确的从测试文档、缺陷报告等半结构化非结构化数据抽取知识是研究的重点；最后，测试文档中包含了许多语义信息，基于知识图谱实现测试用例复用有时不能充分考虑语义信息。

基于文本语义相似度的测试用例复用方法国内从 2017 年开始就有人使用，研究时间长，且效果好，可以充分考虑历史文本潜在的语义信息。与基于知识图谱实现测试用例复用方法相比，基于文本语义实现测试用例复用不需要在专家的参与来进行本体设计，降低了测试成本，并加快了测试速率，而且这种方法可以看作求文本相似性问题，充分利用了测试历史资源。但是，该方法没有考虑领域用例的本体与其他知识本体的关联关系，并且传统的方法底层数据大多存储于关系数据库中，不能很好解决测试工程中大规模的知识关联关系。文献[11]认为文献[17]没有考虑将用户输入内容分解对应到测试用例的每个属性上，造成检索不全面问题。

6. 总结与展望

经过对自 2016 年以来关于测试用例复用的文献进行研究，发现这些方法可以分为三类：基于测试用例复用库、基于知识图谱和基于文本语义相似度。在这些方法中，基于测试用例复用库的研究在国内主要集中在 2016 年至 2020 年间，这种方法的核心思想是根据软件的共性需求，设计测试用例，构建测试

用例复用库,根据关键字索引等方法,查找可复用的测试文本,优点是简单并容易实现,缺点是随着测试用例复用库数据的增加,冗余数据也随之增加,造成检索不灵活问题。基于知识图谱的测试用例复用方法在国内近三年开始兴起,传统的测试用例复用方法都是对历史数据进行整理与检索,而本方法关注点为从历史数据中提取知识,建立联系,兼顾测试对象、测试需求、测试类型及测试用例间的知识链,挖掘测试用例的潜在信息。基于文本语义相似度的测试用例复用方法国内从2017年开始就有人使用,该方法主要研究文本的潜在语义,通过 Bert、doc2vec 等方法计算文本的语义相似度,从而实现相似文档的查找任务。根据技术的发展,我们可以看出,研究人员逐步将深度学习神经网络引入测试用例复用方法中,从而提高了复用的效率和准确率。

测试用例复用技术用在航天军工等领域软件中,该类软件大多采用基于构件的设计方法,且同一类型的军用软件往往具有相似的功能和结构,因此测试用例的复用效果更好。在该领域,测试文本书写有着统一的、严格的要求,数据预处理也相对方便,可以更好地支持测试用例的复用。因此,测试用例复用在国防军工领域具有特殊的重要性和优势。通过建立测试用例复用库及其他复用方法,可以提高测试效率、减少重复工作,并且有助于确保军用软件的质量和可靠性。这对于国防军工领域的软件开发和测试来说,具有重要的意义。

本文在正文中对测试用例复用方法进行了详细介绍与对比,并在应用领域、复用方法、改进方法、文献不足等方面进行了总结。复用方法整体的不足为对测试用例复用研究少,缺少测试用例真实数据集,测试用例复用方法通用性不强,只适合特定的领域,不能迁移到其他类型工程项目中,随着大模型和 ChatGPT 的产生,未来测试用例复用技术也将迎来新的机遇和挑战。

基金项目

校级研究生创新资助项目(项目编号: YKY-2022-36); 校级研究生创新资助项目(项目编号: YKY-2022-34); 校级研究生创新资助项目(项目编号: YKY-2023-36); 廊坊市科技支撑计划项目(项目编号: 2021011029)。

参考文献

- [1] 薄慧. 软件信息安全测试的复用测试用例技术的研究与应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(10): 11-12.
- [2] 杨军, 卢彩霞, 黄辰, 王婷. 测试用例复用在电子采购交易平台中的应用[J]. 计算机与数字工程, 2018, 46(1): 108-113.
- [3] 王军平. 软件测试用例复用技术研究与实践[J]. 电子技术与软件工程, 2016(21): 65.
- [4] 杨娜. 跨平台系统中测试用例复用技术研究[J]. 电子设计工程, 2016, 24(19): 76-78+82.
- [5] 欧阳银. LED 分选系统的软件黑盒测试及用例复用开发[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [6] 刘睿, 张彤, 丁慧. 信息安全软件测试的复用测试用例技术的研究与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2019(24): 184-185.
- [7] 刘沅斌. 基于共性分析的软件测试用例复用技术研究[J]. 中国管理信息化, 2016, 19(13): 177-180.
- [8] 刘末娇, 李昊, 申春妮. 基于雷达软件缺陷库的测试用例复用技术研究[J]. 信息化研究, 2018, 44(5): 11-15.
- [9] 余祥, 周元璞, 王丽, 李强. 指挥信息系统软件测试用例复用策略研究[C]//中国指挥与控制学会. 第四届中国指挥控制大会论文集. 北京: 电子工业出版社, 2016: 377-380.
- [10] 余晓蕾, 朱笛, 王立昊, 林军, 向剑文. 基于知识图谱的嵌入式操作系统测试用例复用推荐模型[J]. 武汉大学学报(理学版), 2023, 69(2): 187-194.
- [11] 夏传林, 郑巍, 谭莉娟, 王小良. 基于知识图谱的测试用例复用方法[J]. 计算机工程与设计, 2022, 43(5): 1273-1279.
- [12] 李昊, 柳溪. 基于知识图谱的雷达软件测试用例复用研究[J]. 测控技术, 2021, 40(6): 18-26.

-
- [13] 夏传林. 基于知识图谱的软件测试用例复用方法研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 南昌航空大学, 2022.
- [14] 金东生. 国产操作系统测试领域知识图谱的构建与应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国电子科技集团公司电子科学研究院, 2022.
- [15] Nguyen, H.T., Duong, P.H. and Cambria, E. (2019) Learning Short-Text Semantic Similarity with Word Embeddings and External Knowledge Sources. *Knowledge-Based Systems*, **182**, Article ID: 104842.
- [16] 万进勇, 史涯晴, 黄松, 罗浩榕. 基于 Bert 的测试用例复用方法研究[J]. 软件导刊, 2021, 20(12): 59-63.
- [17] 母红芬. 基于文本相似度的测试用例复用技术研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2017.
- [18] 王通. 基于软件需求的测试用例复用研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京化工大学, 2017.
- [19] 李超, 张翔, 彭琿, 崔龙飞. 基于深度学习的软件测试知识获取与应用方法[J]. 软件, 2023, 44(5): 61-66.
- [20] 陈伟. 基于 LDA 模型的测试用例复用方法[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(2): 143-147.
- [21] 高枫, 高湘飞, 杨梦萌. 基于机器学习的软件测试经验库的构建[J]. 长江信息通信, 2021, 34(3): 90-93.
- [22] 王晖, 张凯. 舰船装备软件测试用例复用技术研究[J]. 船舶标准化与质量, 2016(4): 39-44.
- [23] 罗浩榕, 朱卫星, 史涯晴, 万进勇. 知识库系统在软件测试复用中的应用研究[J]. 软件导刊, 2021, 20(10): 242-246.
- [24] 郑锦勤. 基于 FCP 的测试用例复用方法研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京信息科技大学, 2016.
- [25] 钱忠胜, 宋佳, 俞情媛, 成轶伟, 孙志旺. 利用函数影响力的相似程序间测试用例重用与生成[J]. 电子学报, 2022, 50(7): 1696-1707.
- [26] 钱忠胜, 宋涛. 面向关键字流图的相似程序间测试用例的重用[J]. 软件学报, 2021, 32(9): 2691-2712.
- [27] 姜蓉, 崔仕颖. 基于模型的航空机载软件测试用例复用方法研究[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(6): 15-17.