

评阅后修改情况说明

高丁超

审稿人一

学术评语 本文研究了对一定规模的量子系统进行自动化验证的某些问题，包括将量子线路结构转换为 TDD 结构，并针对 TDD 进行模型检测的部分算法。这些对于量子计算算法与线路的模型化、可验证化具有一定的意义，所提方法具有可行性和部分可扩展性，为量子计算机软硬件的形式验证的工具研究提供了有价值的参考。全文格式正确，行文流畅（摘要和有些地方需修改，详见以下），所提理论、模型、公式、算法经验证无重大错误。建议按以下意见对本文进行较系统修改后按期进行答辩。

本文存在存在的部分问题：

1. 摘要部分中文较为生硬，语句不够流畅，没有完全凝练全文的内容和主要工作的意义，建议进一步修改并将英文摘要同步进行修改；
2. 论文中部分文字存在笔误，如大小写（如 p.3 QLTL 的全称等），国内研究者应写中文名（如应明生等）；
3. 文中一些学术说法不够严谨，如图 2-1 被描述为制备 EPR 态的量子线路图，实际上量子线路图必须是描述可逆的量子过程（unitary 过程），2-1 只能是量子线路中制备 EPR 态的一部分量子线路，第四章部分线路图也存在类似问题。
4. 从第四章开始，作者给出不少算法，多由自然语言描述，应尽量用形式语言如谓词逻辑表达式或者伪代码描述以避免歧义，所有算法应该有正确性证明（大部分算法针对 TDD 模型，所以无需在量子领域内进行证明，仅针对 TDD 进行结构归纳等证明即可），应该有时间、空间复杂度和量子资源复杂度分析的过程。
5. 论文中数处引用了 QASM，因为 openQASM 并非学术界通用的标准量子汇编语言，因此应给出 QASM 的相关 specification 的引文或者预先定义所涉内容。
6. 部分算法在经典计算机上模拟实现并进行测试，目前已经有条件对部分核心算法在实际量子平台上进行小规模测试，未来可考虑进行。

根据意见的修改

1. 已经对摘要进行了重新表述，突出了主要工作。
2. 已经修改了文中的专有名词描述，并同一了中文学者名的引用。
3. 已经修改了对量子线路的描述。
4. 已经补充了第四章中算法的伪代码和相关分析。
5. 已经增加了 openQASM 的引用。
6. 实际量子平台上的规模测试，未来有机会可以实施。

审稿人二

学术评语 论文提出了提出了一种基于张量决策图 (TDD) 的量子模型检测新方法，阐述了如何将量子线路转化为 TDD 表示，提出了基于 TDD 的量子模型检测算法流程。该研究旨在降低量子模型检测对资源的需求，以扩展量子模型检测的适用范围。论文的选题很好，具有一定的理论意义和应用价值；工作量较充足，难易程度适中，所采用的技术方法可行；论文的结构完整，逻辑清晰，书写规范。作者具备较好的学科理论基础和独立从事科研的能力，可较完整的分析问题和解决问题，达到了硕士学位毕业要求的水平，同意修改后答辩。

存在的问题：

1. 文中出现一些语句不通的低级错误，如第 4 页“更加针对的，新的验证问题”等。
2. 文中 3.4 节的内容是针对模型检测的改进，其中“索引顺序的调整”只分析了研究现状，并没给出解决问题的有效方法，这部分内容出现在文中的意义是什么？其它四项改进方案在 4.3 节和 4.4 节有基于实验的分析，那么在 3.5 节软件系统的实现中，采用了哪个（哪些）方案？为什么？

根据意见的修改与答复

1. 已经修改了病句。
2. 索引顺序的调整是决策图类型数据结构优化的一个重要方向。3.4 节中该部分是为了说明在本次研究中对于索引顺序的处理办法。3.5 节的软件系统实现中，实现了论文中讨论的所有方案。这一点已经在论文中重新表述。

审稿人三

学术评语 该硕士论文主要借助张量决策图（TDD）去构建量子模型检测可达性分析的方案。该方案的主要思路是根绝张量索引图 and 实际验证的属性，得到需要收缩的索引和对应索引顺序。该论文围绕几个具体算法进行了实验设计与评估，获得一些基于 TDD 方法完成可达性分析的优势。该论文有一定创新性，符合硕士答辩要求。

论文还存在一些书写错误以及其他问题，我在此也列举出来：

1. 题目中 TDD 建议直接写作“张量决策图”，正文中可以用 TDD 表示。并且文中多次重复出现介绍 TDD 机器全称，例如在第 1、3、4 页；
2. 外国人名混用，有的姓名简写而有些未简写。例如在第 1 章同时出现了诸如 E.M.Clarke、Peter Shor、Grover 等。同时还同时出现“费曼”的中英文两种写法。建议统一格式；
3. 中国国内学者建议直接用中文名字，例如文中出现的应明生、冯元等人；
4. 专有名词第一次出现，后面的英文名词要么全部首字母大写，要么只有第一个首字母大写。例如第三页 QLTL 和 QCTL 后面英文书写就不统一，第 2 章量子计算简介的英文名称出现大量小写字母开头；
5. 第 31 页，布尔函数 $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ 应为 $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ (LATEX 格式下)，类似问题还有很多；
6. 第 5 章论文总结与展望内容不够，还需要进一步详实一些。

根据意见的修改

1. 已经参照意见修改标题，并规范了 TDD 的介绍。
2. 已经规范了文中的外国学者称呼。
3. 已经修改了文中国内学者的称呼。
4. 已经修改了文中专有名词的描述。
5. 已经规范了文中布尔函数索引下标的使用。
6. 已经修改对第五章的内容，使得论文总结更加顺畅，同时详实了工作展望。

导师签字: