

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“更加针对于的, 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和实际验证的属性, 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. 已经规范了文中的学者称呼。
3. 已经修改了文中中文学者的称呼。
4. 已经修改了文中专有名词的描述。
5. 已经规范了文中索引下标的使用。
6. 已经增加了第五章的内容。