

量子计算会议记录

张昱 (yuzhang@ustc.edu.cn) 课题组
中国科学技术大学计算机科学与技术学院

January 11, 2019

目录

I 组会篇	1
1 2018	2
1.1 秋季学期	2
1.1.1 2018.12.31 组会	2
1.1.2 2018.12.18 组会	2
1.1.3 2018.12.09 组会	3
1.1.4 2018.11.26 组会	3
1.1.5 2018.11.18 组会	4
1.1.6 2018.11.11 组会	4
1.1.7 2018.11.05 组会	5
1.1.8 2018.10.28 组会	5
1.1.9 2018.10.19 组会	6
1.1.10 2018.10.14 组会	6
1.1.11 2018.10.07 组会	7
1.1.12 2018.09.24 组会	8

Part I

组会篇

1 2018

1.1 秋季学期

参与人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、邓胜亮、聂雷海、梅子浩、谢沐峰、宋昊泽、李锐、陈清源
2018 年 9 月 20 日确定人员, 21 日建立微信讨论群和 quantum git repo。

分组: 李权熹和 邓皓巍一组, 邓胜亮、聂雷海和 宋昊泽、陈清源一组。

参考书: [1-3]

1.1.1 2018.12.31 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、宋昊泽、聂雷海、陈清源

记录: 宋昊泽

工作情况

- **邓皓巍:** 按照新算法实现了代码, 并撰写了部分论文。
- **李权熹:** 调研了 revit 软件包。
- **聂雷海:** 了解 qiskit-terra。
- **宋昊泽:** 调研了 ScaffCC 中关于优化和评测的相关内容, 包括资源统计和时间分析。

下步工作建议

- **邓皓巍:** 编写源代码的使用文档, 在论文中加入 Definition 和 Algorithm 部分, 在 1 月 4 号前完成论文 abstract, 并继续编写论文。
- **李权熹:** 为邓皓巍的工作准备测试程序和代价评估函数, 整理并完善源代码。
- **聂雷海:** 给出 ProjectQ 生成的 OpenQASM 代码。可能熟悉一下 qiskit-ignis。
- **宋昊泽:** 利用 scaffcc 寻找有关指令顺序优化的例子

1.1.2 2018.12.18 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、宋昊泽、聂雷海、陈清源

记录: 宋昊泽

工作情况

- **邓皓巍:** 编写了部分论文, 实现了原算法的变换方法并发现了存在的问题。
- **李权熹:** 调研了量子电路代价评估的标准和一些电路优化算法。
- **聂雷海:** 完成 ProjectQ 后端 PPT
- **宋昊泽:** 调研了 ScaffCC 中的经典优化方案和分解操作, 以及 ScaffCC 目前提供的资源统计功能。

下步工作建议

- **邓皓巍:** 修改算法, 重新尝试实现并观察是否合理。继续编写论文。
- **李权熹:** 进一步调研量子电路优化的内容。和宋昊泽一起调研程序资源统计的相关内容。
- **聂雷海:** 了解 qiskit—terra 框架代码优化部分的内容

- **宋昊泽:** 进一步了解 ScaffCC 中关于线路优化的内容, 以及思考在资源统计方面可以进行的改进。

近期工作目标

- 近期目标: 会议进一步讨论确定了小组的近期工作目标如下: 一: 完善 Openqasm 层面上关于优化指令执行次序, 以提高程序差错率的优化方案。实现代码变换的相关细节。二: 调研在代码资源统计方面, 目前最新的科研成果, 和已有的统计方案。尝试在已有方案的基础上进一步探讨优化资源统计的可能性。

1.1.3 2018.12.09 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、宋昊泽、聂雷海、谢沐峰、陈清源

记录: 聂雷海

工作情况

- **邓皓巍:** 完成了对实验报告的撰写, 在其中规整了变换方法和对应的实验结果。
- **李权熹:** 调研了现在对量子电路优化的研究情况, 主要是 template 和 level compaction 两方面。
- **聂雷海:** projectQ 引擎部分 ppt 完成。
- **谢沐峰:** 进行了对量子厨房水槽算法的评估, 陈述其优劣。
- **宋昊泽:** 介绍了 scaffcc 的一些基本情况。

下步工作建议

- **邓皓巍:** 阅读一些关于代码变换的论文, 在 overleaf 上注册账号, 并熟悉 latex 的使用。
- **李权熹:** 进一步调研量子电路优化的内容。
- **聂雷海:** 了解 scaffcc, 尝试在已知框架 (projectQ) 中写优化例子. 完成 projectQ 后端 ppt。
- **谢沐峰:** 对量子厨房水槽算法的算法内容和线路进行修正, 检测其结果。
- **宋昊泽:** 查看 scaffcc 关于优化的相关内容, 看《量子计算与量子信息》学习量子计算的相关理论知识。

1.1.4 2018.11.26 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、宋昊泽、聂雷海、谢沐峰

记录: 李权熹

工作情况

- **邓皓巍:** 编写了用于提取 OpenQASM 代码里比特特征的工具, 可合并能够用并行处理的操作。在 IBMQ 上测试了停留在叠加态过长导致的错误率提升问题。
- **李权熹:** 编写了 OpenQASM 的 g4 描述文件。提出了量子门之间的交换变换关系, 提出基于交换变换和通用西门的两种可能的代码优化方案。实验比较了通用西门和 Z 门之间的错误率。
- **聂雷海:** 完成 projectQ 框架的 PPT 布局, 主要为 engine 和 backends。
- **谢沐峰:** 调研了量子厨房水槽算法的 QPanda 代码实现。
- **宋昊泽:** 了解了量子厨房水槽算法的 QPanda 实现版本, 熟悉了 HiQ 相关文法。

下步工作建议

- **邓皓巍**: 撰写变换方法的描述, 并和试验对应起来。
- **李权熹**: 调研关于量子代码优化的背景, 明确代码“优化”的指标。
- **聂雷海**: 尝试了解 scaffcc, 完善 PPT。
- **谢沐峰**: 对量子厨房水槽算法本身出处价值改进地方进行评估并调研其他量子机器学习算法。
- **宋昊泽**: 调研其他最新的量子算法, 比较量子部分和经典部分的代码比重, 初步了解 scaffCC。

1.1.5 2018.11.18 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、宋昊泽

记录: 邓皓巍

工作情况

- **邓皓巍**: 完善了总体 PPT, 细化了用于体现拆分电路作用的例子, 区分了叠加态和纠缠态的区别以及不同的拆分原理。
- **李权熹**: 了解量子比特纠缠和退相干的有关内容, 尝试总结可拆分量子电路的特征。
- **宋昊泽**: 调研了 GROVER 算法及其 HIQ 实现, 分析了 HIQ 的语言特点, 总结了 HIQ 中遇到的问题。

下步工作建议

- **邓皓巍**: 在 IBMq 等平台内测试改写代码对错误率的影响, 从现有的 OpenQASM 实现算法的代码中寻找有改写价值的例子, 编写提取需改写代码特征的初步代码。
- **李权熹**: 调研已有量子编程代码中的常见特征。尝试应用和试验优化方案。
- **宋昊泽**: 尝试在 HIQ 或 ProjectQ 上实现厨房水槽算法, 熟悉 ProjectQ 的相关内容

1.1.6 2018.11.11 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、聂雷海、谢沐峰

记录: 谢沐峰

工作情况

- **邓皓巍**: 制作了含有分层结构以及整体概述并带有论文引用的 PPT, 细化了编译器优化量子代码的方向和例子, 向其他物理专业的同学确认了优化的可行性和意义。
- **李权熹**: 调研了量子比特初始化和消相干的问题。
- **聂雷海**: 介绍了 cgo2018 allocate quantum 的论文。
- **谢沐峰**: 介绍了 RKS 的代码方案, QKS 的实例效果以及 implied kernel 函数在 QKS 算法里的用法。

下步工作建议

- **邓皓巍**: 完善整体概述 PPT, 开始思考优化代码的翻译方案, 阅读今年 7 月重庆大学的编译优化的论文。
- **李权熹**: 研究代码拆分优化的可能方法。
- **聂雷海**: 整理 projectQ。

- 谢沐峰: 熟悉量子代码环境, 尝试用代码编译实现 QKS 算法。

1.1.7 2018.11.05 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、邓胜亮、聂雷海、宋昊泽

记录: 宋昊泽

工作情况

- 邓皓巍: 总结了 NISQ 时代量子计算的特点, openqasm 以及 eqasm 的特点以及硬件上带来的限制。
- 李权熹: 比较和分析了 OpenQASM 和 Quil, 试验了 IBM Q 的量子平台, 调研了 Q# 的语言特性。
- 聂雷海: 总结了 ProjectQ 以及 IBM Q 的后端情况。
- 宋昊泽: 介绍了华为 HIQ 平台的一些基本情况, 包括平台架构, 编程框架等。

下步工作建议

- 邓皓巍: 制作总体上的层次性的总结, 调查编译器优化量子纠缠时间有限这个问题的可能, 实验测试 IBM Q 对多量子门的截断。
- 李权熹: 调研 IBM Q 平台的量子门个数限制, 量子比特是否强制同时初始化等问题。
- 聂雷海: 介绍 cgo2018 (一篇论文)。着手准备 ProjectQ 的全面总结。
- 宋昊泽: 继续熟悉华为 HIQ 平台, 运行一些算法例程, 分析 HIQ 的调用包和库函数。厘清其于 ProjectQ 的具体关系。

1.1.8 2018.10.28 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、邓胜亮、聂雷海、宋昊泽、梅子浩、谢沐峰

记录: 李权熹

工作情况

- 邓皓巍: 总结了量子语言编译器所需要具有的特点, NISQ 的定义和适用范围, 编译器中应当尽可能压缩门叠加的时间减少错误率。
- 李权熹: 调研了 NISQ 的概念和其上的编译过程, Cirq 语言的特点和已有的量子纠错方法。
- 聂雷海: 介绍了 ProjectQ 中处理 IBM backend 的情况。
- 邓胜亮: 面向新加入的同学简单提了线路映射的问题, 并尝试讲解其中算法。
- 梅子浩: Scaffold 运行环境配置了解 Scaffold 的基本架构。
- 宋昊泽: 了解量子编程的基本概念和计算原理。
- 谢沐峰: 调研了量子厨房水槽算法。

下步工作建议

- 邓皓巍: 整理各量子编程语言的特点, 以及 paper 中所提到的问题。
- 李权熹: 和邓皓巍一同整理各层次量子编程语言的异同, 对之前遇到的问题进行探究和整理。
- 聂雷海: 了解华为量子平台, 编写 ProjectQ 调研报告。
- 邓胜亮: 由于参加比赛, 调研暂停, 主要是和组员分享整理之前调研的关于 projectq 的内容。

- **梅子浩**: 深入了解 ScaffCC 的每个部分。
- **宋昊泽**: 调研华为 hiq 平台的基本信息, 尝试运行基本样例和简单算法。
- **谢沐峰**: 继续调研量子厨房水槽算法, 从 implied kernel 角度理论上证明其效率的优化性能。

1.1.9 2018.10.19 组会

出席人员: 张昱、李权熹、邓皓巍、聂雷海、宋昊泽、梅子浩

记录: 聂雷海

工作情况

- **邓皓巍**: 调研了基于 QuMA 量子芯片架构上的汇编指令集 eQASM, 掌握了其语法和转换成为具体量子操作的方式。
- **李权熹**: OpenQASM 和 Quil 的特点和比较。
- **聂雷海**:
 1. 继续讲述了 **邓胜亮** 10.14 的 mapping A* 优化算法;
 2. QPanda2.0 C++ 框架的搭建及实现细节;
 3. 介绍了 LNN(linear nearest) 和 TQC(topological Quantum Circuit, 仍缺乏相关信息)
 以上内容均在 git 库 `users/2018_Compile/dsl_nlh/20181019-learn.md` 中。
Q1.OpenQASM 问题: ProjectQ 是否处理到 OpenQASM 汇编语言水平, 再发送到 IBMQ backend.

下步工作建议

- **邓皓巍**: 调研 IBMQ 的 NISQ 架构以及其指令集, 看是否能把 eQASM 的一些特点运用在上面
- **李权熹**: 调研 NISQ, 尤其是怎样由 openQASM 编译至 NISQ 平台
- **聂雷海**: 了解 cgo,nisq,IBM qiskit, 在 ProjectQ 写测试程序, 尝试实现 mapping 优化. 并解答 Q1 问题. 注重有效信息的提取。

1.1.10 2018.10.14 组会

出席人员: 张昱、邓胜亮、聂雷海、邓皓巍、李权熹

记录: 邓皓巍

工作情况

- **张昱**: 介绍了华为量子平台目前的一些状况, 给出了一些当前的前沿论文 [?,4,5]。编写了 survey 和 meeting 两方面的 latex 文档框架, 置于 git 仓库中。
- **邓胜亮**: 1. ProjectQ 的 AutoReplacer 的实现机制; 2. ProjectQ 的 IBMBackend 的实现机制; 3. An Efficient Methodology for Mapping Quantum Circuits to the IBM QX Architectures 这篇论文中 mapping 算法的介绍。以上 1 和 2 的内容补充在 git 仓库 `users/2018_Compile/dsl_nlh/ProjectQ 调研.md` 中, 3 的提纲在同一目录的 Circuit Mapping 调研.md 中。
- **聂雷海**: 介绍了 FFT 的想法与证明细节, 后介绍了 QFT 的一部分想法, 但并未完成。FFT 对于多项式乘法优化到 $n \lg(n)$ 时间复杂度, 对应量子领域的 QFT 优化到 $n(\lg(n))^2$ 复杂度。量子算法中, QFT 重要性不言而喻。QPanda2.0 在 Linux 上可以运行, 尚未测试。
Q1. QPanda 问题: 鉴于时间安排问题, 上周积累的问题尚未解决。

- **邓皓巍**: 阅读了傅祥关于量子芯片架构 QuMA 设计的论文并对论文内容进行了讲解, 主要关于一条量子汇编指令在芯片内分解执行以及时序控制的过程, PPT 位于quantum/users/2018_Compile/Deng_Haowei 下的 Quma.pptx **QuMA 问题**: QuMA 架构目前没有为上层语言对量子比特的调用在硬件上具体实行时对量子比特重新 map 留下空间
- **李权熹**: Quma 量子芯片的架构, 量子纠错的方法, 还有 Q# 的语法介绍

下步工作建议

- **聂雷海**: 整理 QPanda2.0 问题清单。继续熟悉 QPanda 框架
- **邓胜亮**: 阅读论文 Tackling the Qubit Mapping Problem for NISQ-Era Quantum Devices, 并了解其他关于线路映射的工作。如果时间允许的话, 尝试运行本次汇报的论文中的工作公开的代码。
- **邓皓巍**: 阅读傅祥针对 QuMA 设计的量子汇编语言 eQASM 的论文, 理解设计中针对芯片架构的考虑。
- **李权熹**: 搜寻 ProjectQ 等量子平台汇编层次的语言, 便于和 eQASM 对比。

1.1.11 2018.10.07 组会

出席人员: 张昱、邓胜亮、聂雷海、邓皓巍

记录: 张昱

工作情况

- **张昱**: 介绍参加软件所研讨会的情况, 重点介绍荷兰 Delft 大学博士生傅祥关于其及所在的**QuTech**的量子计算机体系结构工作 (重要的文献参见本 git 库中的 ref/XiangFu-slides.pdf)
- **邓胜亮**: 介绍**ProjectQ**并演示。**ProjectQ**的主要组件: AutoReplacer、Local Optimizer, 后端可以是**IBM Q**或自己的 simulator。
Qubits 的 layout 问题: 例如将 CNOT 操作作用于哪些 Qubits? 可能有多种选择方案, 不同方案涉及不同的操作序列, 有的会引起消相干。**IBM Qiskit**采取随机搜索进行 layout (有待进一步调研)
- **聂雷海**: 结合 Teleport 例子的实现来比较 QPanda2.0 和 **ProjectQ**。二者的处理体系不一样, QPanda 2.0 是在 QPanda 基础上增加 Qruns 和更多的库, 基于 C++ 实现, 采用编译到目标代码再用 Qrun 执行; QPanda 2.0 会创建经典比特 CBit 用于存储测量后的结果
Q1. QPanda 问题: 下载下来的源码编译未成功, PyQPanda 也未用起来; 不清楚起测量的机制
Q2. ProjectQ的 eng.flush 问题: 用自带的 simulator 可以在 flush 前调用测量来取到结果, 但是用 **IBM Q**要在 flush 后才能取结果
- **邓皓巍**: 看量子计算与量子信息书一些算法都是通过组合量子傅立叶变换的结果 (不是采用测量的手段来获取) 来设计; 高 Qubits 门往往采用多个低 Qubits 门的组合来实现。尝试理解用 **IBM Q**和 **Q#**实现算法。

下步工作建议

- **邓胜亮**: 1) 整理 AutoReplacer 能支持的高层操作和低级操作。2) 结合案例来研究量子门到 Qubits 的 Remapping layout, 可以比较用**ProjectQ**手工优化 layout 再交给 **IBM Q**执行以及直接将未优化的交给**IBM Q**执行的这两种方法上的效果。

- 聂雷海: 整理 QPanda 使用中的具体问题清单, 以便和本源沟通来获得帮助。
- 邓皓巍: 和 李权熹偏重研究傅祥提供的相关文献, 包括最新的 eQASM、QuMA 等。

1.1.12 2018.09.24 组会

出席人员: 张昱、聂雷海、邓皓巍、李权熹

记录: 张昱

工作情况和计划

- 聂雷海: 做了 slides。看ProjectQ的例子、本源量子教程、量子动力学第 1 章
- 邓皓巍: 了解量子基本概念, 初步看了IBM Q的 QSket(Python 编程接口) 和 Q#(宿主语言 C#)。接下来用已有工具跑更多的算法。
- 李权熹: 主要看量子计算的原理和算法, 没有看编程语言; 看了陈昭昀的 ppt (重点讨论其中的第 4 和 8 页)

参考

- [1] Tzvetan S. Metodi, Arvin I. Faruque, and Frederic T. Chong. *Quantum Computing for Computer Architects*. Synthesis Lectures on Computer Architecture #13. Morgan & Claypool Publishers, USA, Second edition, March 2011.
- [2] Michael A. Nielsen and Isaac L. Chuang. *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, UK, 10th Anniversary edition, 2010.
- [3] Mingsheng Ying. *Foundations of Quantum Programming*. Morgan Kaufmann, USA, May 2016.
- [4] John Preskill. Quantum computing in the NISQ era and beyond. *ArXiv e-prints*, January 2018.
- [5] Marcos Yukio Siraichi, Vinícius Fernandes dos Santos, Sylvain Collange, and Fernando Magno Quintao Pereira. Qubit allocation. In *Proceedings of the International Symposium on Code Generation and Optimization(CGO 2018)*, pages 113–125, New York, NY, USA, 2018. ACM.