

MindSpore Quantum: XXXXXXXXXX

author^{2,*}

¹*HuaWei*

²*organization*

(Dated: June 26, 2023)

Abstract

CONTENTS

I. Introduction	1
II. Elements of MindSpore Quantum	1
A. Data Type	1
B. Parameter Resolver	1
C. Quantum Gate	1
D. Quantum Circuit	2
E. Quantum Operator	2
F. Basic Usage of Simulator	2
III. Features of MindSpore Quantum	2
A. Gradient of Variational Quantum Algorithm	2
B. Circuit Ansatz Library	2
C. Quantum Algorithm Subroutine	2
IV. Circuit Simulation Backend	2
A. State Vector and Density Matrix Simulator	2
B. Tensor Network Simulator	2
C. Channel Based Noise Simulator	2
V. Applications	3
A. Quantum Neural Network	3
B. Quantum Approximate Optimization Algorithm	3
C. Variational Quantum Eigensolver	3
D. Advanced Quantum Applications	3
1. CD QAOA	3
2. 对称线路	3
3. Data-reuploading Classifier	3
4. Q-GAN	3
5. Reinforcement Learning	3
6. Quantum Singular Value Decomposition	3
VI. QuPack: Acceleration Engine	3
A. Variational Quantum Eigensolver	3
B. Quantum Approximate Optimization Algorithm	3
C. Tensor Network Simulator	3
D. Pulse Engineering	3
VII. Benchmarking	3
VIII. Execution on Quantum Chip	3
A. Circuit Compilation and Optimization	3

B. Qubit Mapping	3
C. Quantum Virtual Machine	4
D. Third-party Quantum Chip	4

I. INTRODUCTION

Introduction of MindSpore Quantum.

II. ELEMENTS OF MINDSPORE QUANTUM

A. Data Type

mq数据类型：与numpy数据类型对应关系

量子计算中数据类型的影响：

1. 内存影响（列表：比如10比特double和float需要内存数据）
2. 精度影响。

B. Parameter Resolver

设计目的：配合变分量子算法

使用方法：

1. 控制参数和值
2. 求导
3. `encoder`、`ansatz`
4. 控制数据精度（`dtype`）

局限性：仅支持一阶变量，无法乘除。

C. Quantum Gate

mq中现有支持的量子门：

1. 固定门
2. 含参门（如何与`pr`结合）
3. 自定义量子门
 - a. 固定门
 - b. 含参门（支持任意多比特，通过`numba`编译，JIT）

基本使用方法：

1. `on`方法
2. 强调所有门都可任意加控制比特

* email

D. Quantum Circuit

实现：就是量子门集合

添加量子门的方法：

1. +=
2. circuit.x
3. list

展示线路的方法：svg

介绍常用接口：

1. n_qubits (包含多少比特)
2. params_name (有哪些变量)
3. has_measure_gate (是否含有测量)
4. matrix() (获取线路矩阵)
5. get_qs() (获取量子态)
6. summary()

高阶操作：

1. 线路压缩
2. 更改比特顺序
3. 更改变量名

E. Quantum Operator

理论与实现：

1. 费米子
2. 玻色子
3. mq中如何构造这些算子

支持功能：

1. 运算
 - a. 算子间相乘
 - b. 加上一个数
2. Transfrom

F. Basic Usage of Simulator

可用的模拟器：

1. 态矢量 (强调 little endian)
2. 密度矩阵
3. 张量网络

使用方法：

1. apply_gate
2. apply_circuit
3. apply_hamiltonian (介绍mq中的Hamiltonian)
4. get_expectation
5. get_expectation_with_grad
6. sampling

III. FEATURES OF MINDSPORE QUANTUM

A. Gradient of Variational Quantum Algorithm

介绍变分量子算法

介绍梯度计算方法 Adjoint Differentiation

如何优化线路：

1. scipy
2. mindspore

mq中如何实现：

1. 如何用模拟器求解线路梯度 (相应接口)
2. 结合pr:
 - a. 控制哪些参数需要求梯度
 - b. 参数共享
 - c. 支持哪些形式：1) 左矢，2) 右矢，3) 内积

介绍mq中的贫瘠高原接口

B. Circuit Ansatz Library

列举：以表格的形式呈现

介绍 ansatz 设计方法

C. Quantum Algorithm Subroutine

列举：以表格的形式呈现

IV. CIRCUIT SIMULATION BACKEND

A. State Vector and Density Matrix Simulator

底层实现原理

不同硬件上的针对性加速：

1. avx
2. arm
3. 鲲鹏
4. GPU

B. Tensor Network Simulator

基本原理

特有特性：

1. 单振幅
2. 多振幅
3. 部分振幅

优缺点：优点：内存少、稀疏线路模拟快，大线路采样

适用场景和应用前景

C. Channel Based Noise Simulator

噪声模拟基本理论：Kraus 算符

mq 中的量子信道

如何组成噪声模拟器：ChannelAdder

V. APPLICATIONS

A. Quantum Neural Network

分工：苏兆峰老师课题组

鸢尾花识别：体现与 mindspore 结合搭建量子经典混合架构

B. Quantum Approximate Optimization Algorithm

分工：陈玺老师课题组

C. Variational Quantum Eigensolver

分工：ab 老师课题组

D. Advanced Quantum Applications

1. CD QAOA

分工：陈玺老师课题组

2. 对称线路

分工：ab 老师课题组

3. Data-reuploading Classifier

参 考 材 料: https://pennyLane.ai/qml/demos/tutorial_data_reuploading_classifier.html

4. Q-GAN

分工：舒润秋

5. Reinforcement Learning

6. Quantum Singular Value Decomposition

VI. QUPACK: ACCELERATION ENGINE

qupack 简介
设计理念
与 mq 的关系
使用方法

A. Variational Quantum Eigensolver

设计原理：粒子数和自选数守恒

性能与优势：

- 1. 简单罗列数据，比mq快多少
- 2. 强调对内存的压缩能力

B. Quantum Approximate Optimization Algorithm

设计原理：ZZ 哈密顿量绝热近似加速
性能与优势

C. Tensor Network Simulator

介绍技术细节

D. Pulse Engineering

介绍使用方法

VII. BENCHMARKING

场景：

- 1. 随机线路
- 2. 变分算法：qaoa, vqe (端到端)

数据集：

- 1. qaoa: 4-regular、全连通
- 2. vqe: 氢链

框架：qulacs、qiskit、projectq、Intel-QS、QuEST、qupack、mindquantum

硬件：CPU、GPU、鲲鹏

VIII. EXECUTION ON QUANTUM CHIP

A. Circuit Compilation and Optimization

mq 中的编译框架：

- 1. DAG 图
- 2. 如何通过小编译规则生成通用编译规则

现有规则

流程图

B. Qubit Mapping

分工：朱 匡 康

介绍 **sabre** 算法

介绍使用方法

不足和要求：

如：必须要连通图

C. Quantum Virtual Machine

设计原理：mq 中如何基于噪声模拟、线路编译、比特映射完成芯片仿真任务
介绍定义好的 QVM

D. Third-party Quantum Chip

使用方法：如何连接真机运行
实例