



# 华为开发者大赛量子计算赛道决赛题目说明

## 一、 决赛提交流程及评分规则

1. 决赛试题将在 8 月 10 日零时许对外发布，系统将在 8 月 25 日中午 12:00 停止接收作品提交，8 月 27 日上午各队派至少一名代表到华为松山湖园区参加作品答辩。请选手严格按照如下时间节点提交不同阶段的作品文件和准备答辩事宜：

- 1) 8 月 14 日下午 5:30—每队提交一份作品介绍用于后期“开发者的造梦者计划”宣传材料制作。内容模板及要求如下：

- a. 队伍名称、作品名称
- b. 作品解读：50 字以内。建议形式：使用华为 XX API 或量子计算 HiQ 云平台能力，开发了 XX 产品/方案，解决了业界 XX 问题，可能产生/或者已经产生了 XX 价值。
- c. 队伍 SLOGAN/理想宣言：20 字以内

- 2) 8 月 20 日中午 12:00—每队提交比较详细的中英文作品介绍，用于 HUAWEI Connect 大会展示开发者作品。最终只有一等奖作品会被选用，并由大赛组委会制作成专业的展板用于 HC 大会展示（展板样板见下图）。具体每队所需提供的内容和要求如下：

- a. 第一段作品介绍内容：中文 80-105 字（内容要点：XX 伙伴/团队/个人使用华为 XX API/平台能力/开发工具等，开发了 XX 产品/方案，解决了业界/客户 XX 问题，可能带来/或者已经产生了 XX 价值）
- b. 提供类似样板图中作品细节展示部分的更多细节，必须提供相应数据，数据圆圈下面文字不超过中文 20 个字
- c. 第二段分成三点，每点文字不超过中文 32 个字（介绍方案是什么，能做啥，价值和亮点等）
- d. 必须提供以上内容相应的英文文本
- e. 图片：保证 83\*41cm 高清图 300 分辨率下清晰可见，尽可能使用矢量图
- f. logo：提供矢量图源文件
- g. 以上文本和多媒体文件 zip 打包发送到赛道联系邮箱 [hiqinfo@huawei.com](mailto:hiqinfo@huawei.com)。



How to develop new skills in 5G network delivery to fulfill business needs  
How to introduce NFV&SDN E2E skills to quickly delivery projects and locate problems. How to guarantee network evolution operation assurance

iReader基于干扰能力Em~就是谁都不认识的垃圾图片能被你的模型识别，你就赢了哇，又是深度学习又是AI模型的，那是不是很难？别担心，本次大赛首次面向**社会全员**开放无论你是个人、高等院校我们都欢迎而且提供**免费报名和培训**。

420%

决赛赛队往  
决赛赛队往返交  
决赛赛队往返交通费及

52%

决赛赛队往  
决赛赛队往返交  
决赛赛队往返交通费及

520%

决赛赛队往  
决赛赛队往返交  
决赛赛队往返交通费及

- How to develop new skills in 5G network delivery to fulfill business needs  
每次提交会反馈跑分和运行日志，时间越早，机会越多
- How to introduce NFV&SDN E2E skills to quickly delivery projects and locate  
每次提交会反馈跑分和运行日志，时间越早，机会越多
- How to develop new skills in 5G network delivery to fulfill business needs  
每次提交会反馈跑分和运行日志，时间越早，机会越多

- 3) 8月25日中午12:00—在官方平台上传Python程序和PDF说明文件。具体要求见下方。
- 4) 8月26日-27日每队决赛入围派至少一人到华为松山湖园区参加决赛互动。包括26日开发者参观互动活动，以及27日上午决赛现场答辩活动。赛道为每队一人安排差旅和住宿，其他费用自理。请各队尽快将代表出行方案发至赛道邮箱。答辩所用的PPT等文稿由各队自备，每队答辩时间15分钟，评委提问15分钟。

2. 选手提交的最终作品应该包含PDF说明文档和Python程序两部分，文档和程序输入输出的格式需要符合题目给定的参数格式和命名规范。文档需要包含解题过程、必要的推导、所使用的外部程序和解题的结果分析（包含必要的图



示)等内容,以 doc.pdf 命名。所提交的 Python 程序必须能够在华为量子计算 HiQ 云平台上完整运行,平台统一提供 Python 3 的运行环境。如需安装额外程序包请在 8 月 13 日前联系我们进行审查,不保证一定能安装到平台上。如果题目没有指定程序名,主程序默认需要命名为 partx.py (其中 x 对应于 a 和 b 两部分问题),以便于自动评分系统运行选手所提交的程序和评委审核。不按照给定输入输出格式和命名规则要求提交程序的选手将失去参评资格。作品以队长邮箱命名打包成 zip 文件(如: [hiqinfo@huawei.com.zip](mailto:hiqinfo@huawei.com))。

3. 请严格按照问题所给程序模板已定义的函数名称和输入输出接口(允许添加函数)完成 Python 程序,否则有可能导致程序无法正确运行。
4. 支持使用 HiQ 或者 ProjectQ 解题,示例中使用了 HiQ;如果想使用 Projectq,可将下面示例中 eng 的定义替换为 eng = MainEngine(),然后删除 HiQ 相关引入库(最后 3 个 import 项)。
5. 量子编程大赛决赛试题包将在论坛上同步更新,论坛快速入口:  
<https://bbs.huaweicloud.com/forum/forum-797-1.html>
6. 决赛最终得分按照机器打分和评委打分 1:1 比例加权得到。机器打分标准已在题目中给出,成绩按照排名情况从 60 到 100 份线性排布。评委根据对文档的阅读和 27 日现场答辩情况综合作品创新性和潜在价值对选手进行打分。评委组成已经确定,包含华为内部和外部专家至少 5 人。

## 二、决赛试题描述

### 1. 背景

量子线路编译优化对于实现高保真的量子计算来说是一项非常重要的步骤。尤其是从量子比特的相干时间(Coherence Time)和量子操作的保真度(Fidelity)的角度来考虑,量子算法编译到能在硬件上实现的量子线路和量子门操作需要使用尽可能少的量子门操作和尽可能浅的线路,而且所选用的量子门集合需要是可以在对应量子芯片上高保真运行的。所以有必要将量子算法(量子线路)按照量子芯片所支持的指令集和具体物理参数进行充分的优化编译。

目前,包括HiQ/ProjectQ软件包在内,已经包含了将量子线路按照给定指令集进行简单量子操作编译优化的部分功能—比如按照Solovay-Kitaev算法[1]先将其编译到指定的量子门集合再将相邻的量子门操作进行合并(如使用 $HH = I$ 关系化简两个H门操作为单个I

(identity)操作)。近年来学术界发展出更多化简和优化线路编译的方法,比如参考文献[2]提到的一些思路(其他方法不再一一累述)。但是目前还没有很好的算法和代码实现能把实际物理系统的实际参数完全考虑在内。下面我们考虑针对近期有噪音、无纠错的量子芯片(NISQ)上优化量子操作编译的具体问题,要求选手在华为HiQ云平台上实现对应的线路优化编译算法,以使得最终编译生成的量子线路预期操作保真度尽可能高。

### 2. 问题描述

本题分两部分,作品程序部分需要分别以parta.py和partb.py命名提交:

- a. 以超导量子芯片为例,假设芯片端所能接受的量子门操作只包含{I, X, Y, Z, H, T,



$\pm X/2, \pm Y/2, \pm Z/2, CZ\}$ 。这些量子门各自最好的本征保真度参数 $F_i$ 使用参考文献[3]中图2和图3测量的结果（参看下面的表格1）。其中， $X/2$ 门表示Block球上绕 $X$ 轴 $\frac{\pi}{2}$ 的旋转操作，我们假定 $-X/2$ 和 $X/2$ 门的保真度一样， $Y/2$ 和 $Z/2$ 门等同理； $T$ 门的错误率已取为 $2T$ 门的一半。

表1. 可用量子门集合及其本征（最大）保真度

gates	I	X	Y	Z	H	T	X/2	Y/2	Z/2	CZ
$F_i$	0.9995	0.9992	0.9993	0.9994	0.9991	0.9997	0.9993	0.9995	0.9998	0.9944

量子门操作保真度除了随量子门的不同而有所差异，还随操作所在的量子位位置（标号 $r$ ）和线路深度位置（以量子门起始操作时间 $t_s$ 标定）有所差异。考虑单量子门操作需用时 $20\text{ns}$ ，两比特 $CZ$ 操作需时 $40\text{ns}$ ，线路测量时间在同一时刻完成，中间过程以 $I$ （identity）门填充不同比特间门与门错位缺失的时间空隙。对复杂量子操作的质量，我们考虑一个简单的模型，仅以保真度作为操作质量的唯一标量指标：第一个量子比特（线路图最上方）量子门最大能够实现本征保真度 $F_i$ ，其余量子位上的操作（ $CZ$ 门以控制位为准）保真度要乘以非均一系数 $\alpha_r = 1 - r * 0.01\%$ ，其中 $r$ 为该量子位到第一个量子位的序号距离；考虑到系统相干性的自然衰减，在离散操作时间 $t_s = s * 20 \text{ (ns)}$ ，量子门的保真度再次被乘以时间衰减系数 $\beta_s = \exp\left(-\frac{t_s}{T_0}\right)$ ，其中衰减周期参数 $T_0 = 10^6 \text{ (ns)}$ 。我们不考虑串扰等其他误差来源，这样作用在第 $r+1$ 个比特位上启动时间为 $t_s$ 的量子门操作的保真度为

$$F^{(r,s)} = \alpha_r \beta_s F_i,$$

其中 $F_i$ 是该位置上该量子门在可用量子操作集合中编号为 $i$ 的量子门本征保真度（表1），两比特 $CZ$ 操作以开始时刻控制位所在位置定义其坐标 $(r,s)$ 。整个量子电路运行后，总的操作保真度以 $F = \prod_{r=0,s=0} F^{(r,s)}$ 简单估算。

题目要求选手自行编程，补全附件1所给的程序文件（注意保证给定函数的输入输出接口格式），实现对任意给定量子线路按照目标量子们集合及其物理参数进行编译化简的功能，并打印出按照附件2-4量子电路样例实际经过优化编译前后的量子线路操控保真度值和编译运行时间（见附件1程序中的功能实现模板）。其中，编译前的量子门如果不在给定目标集合内，其本征保真度按照单比特0.9995，两比特0.9944，和两个以上多比特每增加一个比特错误率放大10倍、操作时间增加 $20\text{ns}$ 的性能衰减率递归计算。如果在线路化简编译过程中使用了近似方法，需要在文档中详细说明近似处理对演化结果带来的影响。离散化编译后的量子态 $|\Psi_t\rangle$ 相对原始电路运行得到的量子态 $|\Psi_0\rangle$ 误差不超过1%，即 $1 - |\langle\Psi_t|\Psi_0\rangle|^2 < 1\%$ 。最终的机器打分评价方式以优化后的量子线路操作保真度为主，优化的运行时间为辅，依次进行成绩排名。机器打分除了会看给定的几个量子线路的化简结果外，还会使用若干随机线路对程序进行测试。

- b. 在上述成果基础上，继续考虑加入更多符合近期实现数字量子计算硬件架构特性的非理想变量和参数，以及建立新的线路运行质量评估模型，提出一种更加通用和符合实际的量子电路优化编译算法和评估体系，并通过自选实例证明算法优势和程序实现上的亮点。输出程序要求仿照上一部分问题给出的输入输出格式，输出化简前后的线路质量评估指标（或变化），以及优化过程所需运行时间。如果



使用线路近似处理方案，需要说明由此带来的影响。作为演示实例，所采用的量子门集合不必拘泥于上述范围，硬件体系背景也可以考虑扩展到离子阱、半导体量子点等体系，必要时给出相关的参考文献，以使得所实现算法可以解决实际量子计算场景。

这部分题目解答只参与评委评分阶段评估。赛道组委会同时将程序运行情况反馈给评委作为打分参考。

### 3. 参考文献

- [1] C. M. Dawson, and M. A. Nielsen, The Solovay-Kitaev algorithm, arXiv:0505030 [quant-ph]
- [2] Y. Nam, N. J. Ross, Y. Su, A. M. Childs, and D. Maslov, Automated optimization of large quantum circuits with continuous parameters, *npj Quantum Information* **4**:23 (2018)
- [3] R. Barends, J. Kelly, A. Megrant, A. Veitia, D. Sank, etc., Superconducting quantum circuits at the surface code threshold for fault tolerance, *Nature* **508**, pages 500–503 (2014)

### 4. 问题附件（正式题目中将以Python程序文件形式提供）

- 4.1 附件1: parta.pdf --问题a编程样例和关键函数输入输出关系
- 4.2 附件2-4: circuit1.txt, circuit2.txt, circuit3.txt, circuit4.txt --几则大深度量子电路 HiQ/ProjectQ测试样例