

QFAST: Conflating Search and Numerical Optimization for Scalable Quantum Circuit Synthesis 阅读笔记

论文核心思想：论文讲述了分解量子门的方法。对于一个很大的量子门（黑箱，可以执行输入得到输出），在这个量子门后面添加2个量子比特或3个量子比特的量子门（带参数），然后计算目前矩阵到单位矩阵 I 的距离，距离使用 Frobenius norm 计算表示。假设要分解的门为 U_T ，现在构造出的门为 U_C ，目标代价为 $\|U_T^\dagger U_C - I\|$ ，这个范数通过计算矩阵中每一项的平方和再开方得出。

参数包括：

- 位置参数：算法将位置参数加权求和，例如在三量子比特线路上应用双量子门，位置可能有 $(0,1)(0,2)(1,2)$ 三种情况。论文直接在 $(0,1)$ 作用上双量子门，然后在这个双量子门的两侧作用上电路交换门，以达到在对应位置做双量子门的目的。对这些门进行加权求和得到最终的酉矩阵。
- 门内部参数：任何单量子门都可以使用四个生成元 (I 、 X 、 Y 、 Z) 线性组合生成，参数有4个。双量子门使用的生成元有 ($I \otimes I$ 、 $I \otimes X$ 、 $I \otimes Y$ 、 $I \otimes Z$ 、 $X \otimes I$ 等) 总共 16 种，线性组合需要 16 个参数。

算法思路是使用梯度下降法，优化目标函数，使得目标函数最小。

算法步骤：

1. 分解阶段。在目标量子门后加上带有位置参数和内部参数的量子门，通过梯度下降法，更新所有添加的门的参数，当优化的幅度小于某个阈值时停止迭代。
2. 目标代价 $\|U_T^\dagger U_C - I\|$ ，当其小于某个阈值时分解阶段结束，否则继续添加门，回到步骤1
3. 实例化阶段。将分解完成的带参数量子门转换成在真机上能够运行的量子门。（借助 QSearch 工具）
4. 重组阶段。将分解完成的量子门重新组合。

补充说明

Pauli 模型是可以模拟 CNOT 门的。例如：

$$\frac{1}{2}(I \otimes I + Z \otimes I + I \otimes X - Z \otimes X) = CNOT$$