

QISKit による行列関数に対する量子アルゴリズムの実装に向けて

情報科学部学科 飯田 拓磨

指導教員：白田 毅

1 はじめに

量子力学を本質的に計算原理として利用する量子コンピュータは、問題によっては、従来のコンピュータよりも格段に速く解くことができる。このような背景から、量子コンピュータの実用化に向けた研究・開発が行われている。またハードウェアの発展に伴い、量子コンピュータのためのソフトウェアの整備も進められている。特に、IBM は QISKit を通して量子コンピュータの実機にアクセスできるクラウドサービスが無償で提供しており、誰でも量子コンピュータを扱えるようになってきている。

本研究では、Childs らの量子アルゴリズム [1] の実装、さらにはそれをサブルーチンとして利用した行列関数に対する量子アルゴリズム [2] の QISKit による実装を目指す。QISKit による実装を進めるにあたり、Childs らの量子アルゴリズムのみならず量子アルゴリズム全般にわたって重要な制御演算に注目する。そして、ある量子回路、すなわちあるユニタリ行列 U を表す QISKit のコードから、制御 U 演算を行う QISKit のコードを生成するツールを開発した。本稿では、このツールについて簡単に説明する。

2 QISKit

QISKit [3] とは、IBM から提供されている量子コンピュータを Python3 を通して使うためのライブラリ群である。量子ビットの作成から 1 から 3 量子ビットに作用する量子ゲートの実行、量子状態の測定までの動作を手軽に行うことができる。

3 制御演算に変換するツール

3.1 ツールの概要

開発したツールは、ユニタリ行列 U に対応する量子回路を記述する QISKit のコードを制御 U 演算に対応する量子回路を記述する QISKit のコードに変換するものである。このようなツールにより、制御 U 演算のコードを記述せずとも、 U に対応するコードのみを記述すればよいため、量子アルゴリズムの実装が行いやすくなる。

また変換に際し、 U を複数の基本ゲートに分割した時、分割した基本ゲートを順に変換していく事で U を制御演算化していく。以下では制御演算にしたい対象の基本ゲートを量子ゲート U' と扱って行く。

3.2 U' が 1 量子ビットに作用する量子ゲートの場合

もし量子ゲート U' を制御演算化した量子ゲートが QISKit 内で定義されている場合、該当する量子ゲートに変換を行う。逆に定義されていない量子ゲートならば、1 量子ビットに作用する任意の量子ゲートを表現できる U ゲートを使用して変換を行う。

3.3 U' が 2 量子ビットに作用する量子ゲートの場合

変換の方針は、1 量子ビットの場合 1 と同様に、QISKit に定義されている量子ゲートの場合は該当の量子ゲートに変換を行う。しかし QISKit 内に無い場合、以下の図 1 のように CCX ゲートと補助量子ビット ($|a_0\rangle$) を使う事で変換を行っていく。

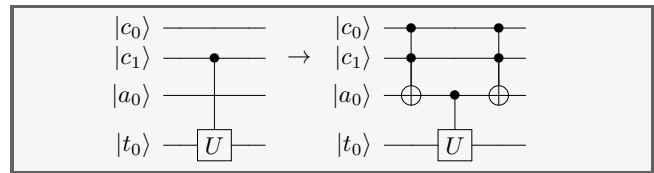


図1 変換例

3.4 実行結果

例として CH ゲートを CCH ゲートに変換する.*1。最初に対応する量子回路の図 2 を以下に示す。

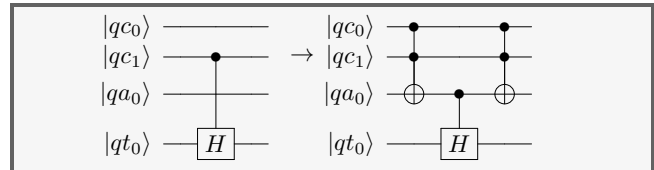


図2 変換前(左)と変換後(右)の量子回路

次に変換後のプログラムにおいて、制御量子ビット $|qc_0\rangle$, $|qc_1\rangle$ を共に $|1\rangle$ にした時の実行結果を示す。

実行結果

$[0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0.5 + 0.5j$
$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j$
$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0.5 + 0.5j$
$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j$	$0. + 0.j]$

この結果は各計算基底の係数になっているため、変換すると、 $\frac{1}{2}(|0011\rangle + |1011\rangle) = \frac{1}{2}\{(|0\rangle + |1\rangle) \otimes |0\rangle \otimes |1\rangle \otimes |1\rangle\}$ となり、末尾にある制御ビットが何方も $|1\rangle$ である時、先頭にある標的ビットに H ゲートが掛けられている事が分かる。

同様に全ての入力に対して実行すると、変換した量子ゲートが CCH ゲートである事が分かる。

4 まとめ

本研究では、Childs らの線形方程式に対する量子アルゴリズム [1] の実装、及びそれをサブルーチンとする行列関数に対する量子アルゴリズム [2] の QISKit による実装を目標にし、その目標を達成する為のツールの作成を行った。

参考文献

- [1] A. Childs, R. Kothari, and R. Somma, SIAM J. Comput., 46, 6, pp.1920-1950, (2017). doi:10.1137/16M1087072.
- [2] S. Takahira, A. Ohashi, T. Sogabe, and T. S. Usuda, Quant. Info. Comput., accepted.
- [3] G. Aleksandrowicz, et al., doi:10.5281/zenodo.2562110.

公表論文

1. 飯田, 高比良, 白田, 令和元年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, G4-5, (2019).

*1 今回の動作では ver: '0.10.3' の QISKit を使用している。