

## 量子プログラミングのための教育支援システム Education Support System for quantum programming

谷内 紳悟<sup>†</sup>  
Shingo Taniuchi

笹倉 万里子<sup>†</sup>  
Mariko Sasakura

市岡 優典<sup>†</sup>  
Masanori Ichioka

### 1. はじめに

近年、注目されている分野として、量子コンピュータがある。量子コンピュータは、重ね合わせ状態を用いることで、今までの計算機（以下、古典計算機）では莫大な時間を要するある種の問題を高速に解くことができる。しかし、量子コンピュータは量子力学に基づいているため、古典物理学のみを教えられてきた人の常識では考えられないことや理解できないといったことが起こりうる。よって、本研究の目的は、量子アルゴリズムに対する一般的な概念の獲得のため、古典計算機に慣れ親しんだ人を対象に、量子プログラミングの教育支援を行うシステムを開発することである。量子プログラミングとは、量子回路、量子プログラミング言語または何らかの方法で量子アルゴリズムを記述することであると本論文では考える。

以下、2 節では、提案する教育支援システムの構成について説明する。3 節で、量子アルゴリズムの理解支援について述べる。最後に、4 節で本論文をまとめる。

### 2. 提案する教育支援システムの構成

本節では、提案する教育支援システムの構成について述べる。システムの全体像を図 1 に示す。本システムは、主に 2 種類のシステムに分けられる。量子アルゴリズムの理解支援を行うシステムと量子プログラミングの作成支援を行うシステムである。

量子アルゴリズムの理解支援を行うシステムは、量子アルゴリズムのための知識と抽象的な概要を理解してもらうためのシステムである。量子アルゴリズムの理解のための知識には、量子ビット、量子ゲートに関する知識も含まれる。

量子プログラミングの作成支援を行うシステムは、ユーザが量子シミュレータを用いて実行する量子アルゴリズムの作成支援を行うシステムである。量子シミュレータは、量子回路または量子プログラミング言語を用いる。

1 量子ビット、量子ゲートの回転ゲートについての理解支援を行うシステムであるブロッホ球のアニメーション化については論文 [1] を参照されたい。本論文では、量子アルゴリズムの理解支援システムについて述べる。

### 3. 量子アルゴリズムの理解支援の提案

本節で述べるシステムは、量子アルゴリズムの量子回路を作成するためのアドバイスと量子回路を用いながら、量子アルゴリズムの理解支援を行うことが目的である。前提知識として、ユーザは以下の知識を最低限持っているとして仮定する。

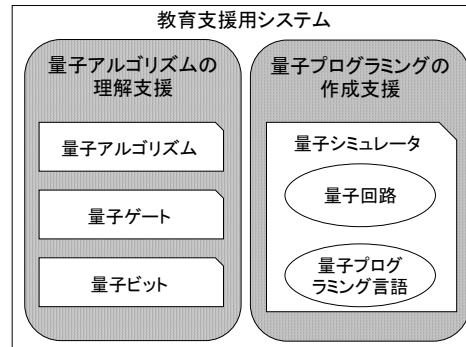


図 1: 教育支援システムの全体像

- 以下の量子ビットに関する知識
  - 重ね合わせ状態
  - 干渉
  - ケットベクトル
- 基本的な量子ゲート
  - 回転ゲート (例: X ゲート, Z ゲート, アダマールゲート)
  - Controlled-NOT ゲート (以下, CX ゲート)
  - Toffoli ゲート (以下, CCX ゲート)
  - ユニタリ行列
- 量子計算の方法を知っている。
- 量子アルゴリズムについて、大まかな手順を知っている。

上記の知識についての理解支援は、別のシステムを用いて行うものとする。本節のシステムは、以下の段階を踏みながら量子アルゴリズムの各手順の量子回路をユーザに作成してもらう。

- (i) 量子アルゴリズムの手順内容を表示する。
- (ii) アドバイスがいない場合は、(v) へ。
- (iii) アドバイスを提示する。
- (iv) ユーザによる量子回路の作成
- (v) 量子回路を作成完了していなければ、(ii) へ。
- (vi) 量子回路の例を表示する。

<sup>†</sup>岡山大学大学院自然科学研究科, Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University

(vii) ユーザが量子回路を修正する場合は修正する。

なお、間違った回路をユーザが作成した場合についての対応は、今後の検討課題とする。

本論文では、検索アルゴリズムであるグローバーのアルゴリズム [2] について取り上げる。グローバーのアルゴリズムの手順は以下の通りである。

手順 1.  $n$  個の量子ビットを用意する。

手順 2.  $n$  個の量子ビット  $|0\rangle$  にする。

手順 3. 全ての量子ビットにアダマールゲート (以下, H ゲート) を適用する。

手順 4. 取り出したい量子状態の位相をマイナスにする。

手順 5. 拡散変換 (確率振幅の折り返し回路)。

手順 6. 3,4 を  $\sqrt{2^n}$  回繰り返す。

手順 7  $n$  番目までの量子ビットの観測を行う。

上記の手順を踏むグローバーのアルゴリズムの量子回路を作成するために、前提知識に加えて必要だと考える知識を以下に述べる。

- ZゲートがHゲートとXゲートを用いることで作成可能であること
- ControlledControlled-Z ゲート (以下, CCZ ゲート)
- 拡散変換の数式
- ブラベクトル
- クロネッカーデルタ

上記の知識を補うために、以下に示すグローバーのアルゴリズムの手順 4, 5 に対するアドバイスを提示する。加えて、手順 3, 7 でもアドバイスをを行う。手順 3, 7 でもアドバイスをを行う理由を以下に述べる。手順 3 は、前提知識のみでも量子回路を作成を可能であると考えられるが、初めて量子回路を組むようなユーザはどのように量子ゲートを置けば良いのかわからない場合と考えたためである。量子コンピュータは、古典計算機にはない観測という操作によって、量子ビットの状態を決定する。この操作をユーザがし損なう場合があると考えたため手順 7 においてもアドバイスをを行う。また、アドバイスとともにヒントと数式も示す。数式は、手順 7 以外で示す。

手順 4 を例として、具体的なアドバイスの方法を述べる。手順 4 の手順内容を表示した後、ユーザがアドバイスを必要とする場合に、以下の流れで手順 4 に関するアドバイスを提示する。問題設定は、0 から 7 までの数から 3 を検索することである。

1. 手順 4 を行う前と行った後の数式を表示する。
2. 手順 4 の量子回路を作成するための大まかな流れを表示する。

- 流れ 1 :  $|7\rangle$  の位相をマイナスにする。
- 流れ 2 :  $|7\rangle$  の量子状態をマイナスにしたい量子状態  $|3\rangle$  にする。

3. 手順 4 で用いる量子ゲートを表示する。

- H ゲート
- X ゲート
- CCX ゲート

4. 各流れについてアドバイスをを行う。

- 流れ 1 のアドバイス:
  - (a)  $|111\rangle$  をマイナスにする方法の一部として、CCZ ゲートを実現させること示唆する。
  - (b) CCZ ゲートとはどんな操作を行う回路かを数式を用いて説明する
  - (c) CCZ ゲートを実現するために、Z ゲートがHゲートとXゲートを用いることで作成可能であることを数式と回路図を用いて説明する
  - (d)  $Z=HXH$  より CCZ ゲートが CCX ゲートと H ゲートで作成可能であることを回路図を用いて説明する。
- 流れ 2 についてのアドバイス:
  - (a) X ゲートを用いていること示唆する。
  - (b) X ゲートを用いて、 $|4\rangle$  を  $|1\rangle$  にする方法例としてを数式を用いて表示する。

#### 4. おわりに

本論文では、量子アルゴリズムの理解支援を量子回路と作成したアドバイスによって行うシステムを提案した。今後、この提案をシステムとして実装する予定である。本論文では、グローバーのアルゴリズムのみであったが、ショアのアルゴリズムなど他の量子アルゴリズムについても対応していく予定である。

本論文で示したシステムは、第一歩の試みであり、量子プログラミングの教育支援を行うためには、さらにシステムを充実させていく必要があると考えられる。今後も教育支援システムのためのシステムを開発していく。

#### 参考文献

- [1] Mariko Sasakura, Shingo Taniuchi, Kenichi Iwata: A proposal of visualization system for understanding quantum algorithms, 23th International Conference Information Visualization (2019)(to appear).
- [2] Lov K. Grover: A Fast quantum mechanical algorithm for database search, Proc. 28th Annual ACM Symposium on the Theory of Computing, pp. 212-219, (1996).