

グローバーのアルゴリズムを題材とした学習支援システムの開発

安永 翔斗[†]笹倉 万里子[‡]岡山大学工学部情報系学科[†]岡山大学学術研究院自然科学学域[‡]門田 暁人[§]岡山大学学術研究院自然科学学域[§]

1 はじめに

量子コンピュータは、従来のコンピュータと比べて大規模な並列計算が可能である [1]。しかし、量子コンピュータの性能を十分に発揮するには適切な量子アルゴリズムが必要である。

量子アルゴリズムは、量子ビットという従来のコンピュータにはない新しい概念を理解する必要があり、その修得は必ずしも容易でない。

本研究では、代表的な量子アルゴリズムであるグローバーのアルゴリズムの学習を、図やグラフ、シミュレータを用いて支援するインタラクティブなシステムを開発し、被験者実験によって、量子ビット等の新しい概念を習得する際のインタラクションの重要性を確認する。

2 提案システム

提案するシステムは、グローバーのアルゴリズム [1] に関する解説と量子回路のシミュレータからなる。本システムではグローバーのアルゴリズムを例題を解いていく形で解説する。解いていく手順を6つに分け、各手順の解説を順番に表示する。

量子回路のシミュレータは、最大7つの量子

ビットを持つ量子レジスタ2つがあり、その量子ビットに対し、それぞれ最大50の量子ゲートをかけることができる。このシミュレータには、全ての重ね合わせ状態を確認する機能と観測する際に重ね合わせ状態が読み出される確率を表示する機能がある。量子ゲートはX, Y, Z, S, T, H, CX, CCX, MCXの9つが実装されている。これらの量子ゲートについての解説は、グローバーのアルゴリズムの解説と別に用意し、いつでも確認できるようにする。

このシミュレータおよび量子ゲートの解説により、グローバーのアルゴリズムの解説テキストの内容と実際の量子回路の動作や量子ゲートの動作を結びつけ、知識の深い定着を促す。

3 被験者実験

提案システムを用いた新しい概念を習得する際のインタラクションの重要性を分析するために岡山大学工学部情報系学科の学部生と大学院生合わせて10人に対し、インタラクションがある場合とない場合の学習の知識の定着の差を調べる実験を実施した。

被験者を2つのグループ(以下グループA, グループB)に分け、グローバーのアルゴリズムについて提案システムを用いた学習と紙の資料を用いた学習を行ってもらい、学習後に得られた知識を問うテストを被験者に受けてもらう。グループAは提案システムを用いた学習をグループBは紙の資料を用いた学習を行う。

テストは8問からなる。問1, 2は解説で記述

An educational support system on Grover's algorithm

[†] Hayato Yasunaga, Faculty of Engineering, Okayama University

[‡] Mariko Sasakura, Graduate School of National Science and Technology, Okayama University

[§] Akito Monden, Graduate School of National Science and Technology, Okayama University

はあるが抽象的な内容で理解が難しく、シミュレータによる支援が効果的であると期待される内容、問 3, 4 は解説で軽く触れる程度で、シミュレータによる支援がほとんどない内容、問 5, 6 は解説で記述はあるが、シミュレータでは一切出てこない内容、問 7, 8 は解説で十分に記述があり、かつシミュレータの機能による支援もある内容で問題を構成している。

そのため、正答率は問 1, 2 はグループ A の方が高く、問 3, 4 は A, B 共に低く、問 5, 6 はグループ B の方が高く、問 7, 8 は大きな差がないと予想される。

4 実験結果

テストの結果おおむね予想通りとなった(表 1)。問 1 はオラクル回路の役割を問う問題である。提案システムでは、量子回路のシミュレータで実際に確率振幅の値がどのように変化するかを量子ビットの状態を確認するなどの機能により確認することができ、テキストでの説明と実際のオラクル回路の動作が結びつき、理解を助けたと考える。

テスト 1 の問 5 の正答率にも大きな差が見られた。問 5 は MCX ゲートなどの複数量子ビットゲートで指定する制御ビットについて説明してもらう問題で、解説テキストの方で主に記述し、提案システムのシミュレータでは一切触れなかった内容である。このことから、学習を支援するインタラクションを導入する際には、解説で触れた内容を可能な限り網羅する必要があると考えられる。

テスト 1 の問 3, 4 は正答率が全体的にとっても低かった。確率振幅とその確率振幅を持つ状態が読み出される確率の問題だったのだが、両者の違いは初学者にはわかりにくい。提案システムでは、確率振幅と読み出される確率を比較しながら同時に表示出来るような機能がなかったためシミュレータの支援も十分に受けられなかった。このことから、類似した概念がある場

表 1 テスト 1 の正答率 (単位は %)

問題	A	B	全体
問 1	70	30	50
問 2	40	20	30
問 3	0	20	10
問 4	0	20	10
問 5	40	80	60
問 6	50	60	55
問 7	100	100	100
問 8	100	80	90

合、それらを比較し、違いを明確に出来るような支援があるとより理解が手助けできると考えられる。

実験の結果、新しい概念を習得する際のインタラクションの重要性は確認できたと考える。しかし、ただインタラクションを導入すれば良いというわけではなく、似た概念の比較や、文字での解説と実際の動作と結びつけるなど、目的を明確にしたインタラクションを考案・導入する必要がある。

5 おわりに

本研究では、新しい概念の習得を支援する方法として、グローバールのアルゴリズムを題材としたインタラクションのある学習支援システムを開発し、被験者実験を行った。結果として支援目的を明確にしたインタラクション機能の重要性を確認できた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K12174 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 西野哲朗. 「量子コンピュータの理論」. 培風館. 2002.