

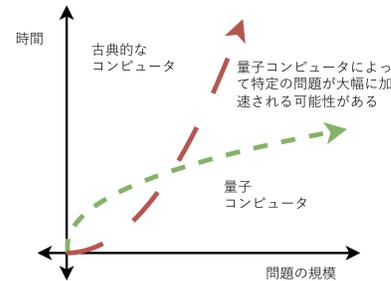
量子コンピュータを用いた古典アルゴリズムの高速化

ルカックマーティン (Martin Lukac)¹, 石岡健大¹

¹Department of Computer and Network Engineering
 Hiroshima City University
 malu@hiroshima-cu.ac.jp

量子コンピュータの利点とさらなる用途の探求の必要性

- 量子コンピューティングは、本格的な量子コンピュータ上で特定の古典的な問題を高速化します。
- イオントラップ、超伝導ループ、量子フォトニクス、トポロジカル量子コンピューティング、中性原子、ダイヤモンド空孔などは、実験的には小規模で実験的な規模でしか利用できないが、量子コンピューティングはムーアの法則に対する潜在的な解決策である。量子コンピューティングの各技術には一定の制約と限界がある。



- しかし、現在の量子コンピュータの応用が不十分である主な理由の1つは、この新しい技術を効率的に活用する方法についての統一された理解がないことです。
- 私たちの主な関心は、より多くの利点を示す新しいアルゴリズムと、実装コストを削減するための量子回路の最適化を見つけることによって、量子コンピューティングがどのようにより有用になるかを理解することにあります。

量子コンピューティングの原理を理解する

古典コンピュータ

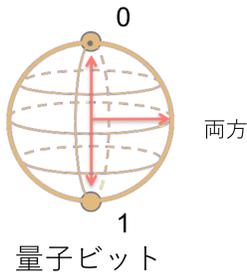
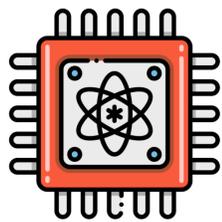


- 0
- 1

古典ビット

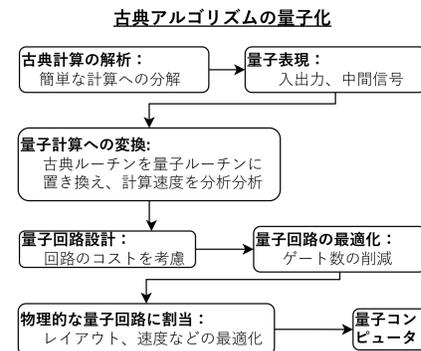
古典ビットは0か1の値しか取れません。

量子コンピュータ



量子ビットは重ね合わせの原理を利用しており、0と1の状態を同時に取ることができます。

- 基本的な問題は、古典情報と量子情報の違いです。
- 古典コンピュータは情報を離散的に表現しますが、量子コンピュータでは情報は重ね合わせの状態では表現されます。
- 古典アルゴリズムを量子アルゴリズムにマッピングするには、入力値の変換を考慮し、新しい量子ルーチンを作成し、量子結果から古典情報を取得するためのシステムを構築する必要があります。



Ishioka T., Lukac M., Nagayama S.; Reducing the Cost of Clifford-T Quantum Gates; IEEE ISMVL; 2025
 Lukac M., Kerntopf P., Kameyama M., Optimization of LNN Reversible Circuits using Analytic Sifting Method, Journal of Circuits, Systems and Computers, 30(9):2150166:1-2150166:23,2021
 Lukac, M., El-Fakih, K., On distinguishing sequences of several classes of reversible finite state machines, IEEE ISMVL, pp. 113-119, 2021
 Lukac M., Abdiyeva K., Kameyama M., CNOT-Measure Quantum Neural Networks, IEEE ISMVL 2018, accepted, 2018

量子コンピューティングのためのアルゴリズムの開発：メタファーアプローチ

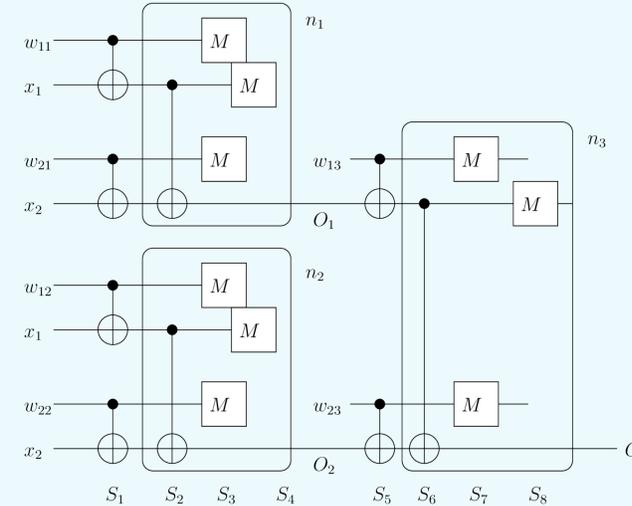


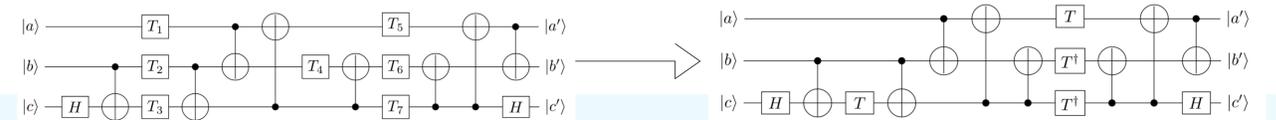
Figure 1. 測定のためのニューラルネットワークの例

- 1つのアプローチは、古典的なアルゴリズムをコピーし、量子アルゴリズムのルーチンを使用して同等の量子メソッドを開発することです。
- この手順では、古典的なアルゴリズムをマッピングした結果が、それを高速化したり、コンピュータの負荷を軽減したり、アルゴリズム自体を簡素化したりすることによって達成されるように、アドホック検索が行われます。

論理最小化を用いた最適化

- 量子コンピュータのアルゴリズムの作成を理解するためのもう1つのアプローチは、古典論理の手法を使用して量子論理プリミティブを作成することです。
- この場合、論理回路の設計には古典的なアプローチが用いられ、量子回路の設計には従来のアプローチが用いられます。

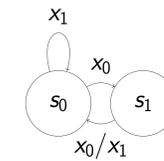
- このアプローチの目的は、量子アルゴリズムの局所原理を研究することで、量子論理回路のゲート数を削減することです。



有限オートマトン (FA) のテストシーケンスの検索

Table 1. An example of a FA

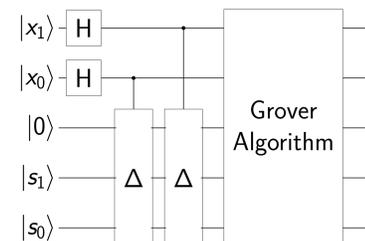
State	x ₀	x ₁
s ₀	s ₁	s ₀
s ₁	s ₀	s ₀



オートマトンとは、 $A = (S, X, \delta)$ の3つの要素です。ここで、 S と X は、それぞれ n 個の状態と k 個の入力シンボルの有限集合です。 $\delta: S \times X \rightarrow S$ は、 A の遷移関数です。

シーケンスのテスト

- 同期 - 長さ l のシーケンス \bar{x} で、任意の2つの初期状態 $s \neq s'$ に対して、 $\delta(x^l, s)^l = \delta(x^l, s')^l$ となるもの



- 複数の QFA を並列に処理すると、生成されたすべての入力シーケンスに対するすべての出力を取得できます。
- 結果を抽出するには、何を検索するかを知る必要があります。識別シーケンスを探していますか？
- すべての状態が同じであるため、簡単に見つけられる同期シーケンスを探しています。
- 複数の賭け機のシミュレーションとグローバーアルゴリズムを組み合わせると、このシーケンスを見つける時間が、場合によっては超二次係数によって短縮されます。