

量子データベース検索の実用的実装と画像検索への応用

“Grover search revisited: Application to image pattern matching” Physical Review A **105**, 032440 (2022).

目的	<ul style="list-style-type: none">浅い回路で実装可能かつ効率的なパターンマッチアルゴリズムの構築実問題に適用できるようなGrover's searchアルゴリズムの改良
既存手法の課題	<ul style="list-style-type: none">データの現実的な生成方法が非自明 (e.g., QRAMが必要)正答(求めたいindex)を知らないとOracleを構成できないという根本的な矛盾があり、適用対象が限定的だった
アプローチ	<ul style="list-style-type: none">機械学習を用いて効率的なデータ生成回路を実装することで浅層化を実現部分空間でデータ比較を行うことでOracleを明示的に実装
実験内容	<ul style="list-style-type: none">提案手法にて、量子画像のデータベース検索を実施 (一部、実デバイスを使用)手書き数字のデータを使用し、エンコード時のノイズの影響を確認
応用先	<ul style="list-style-type: none">複雑/大規模なデータベース検索の高速化 (e.g., 画像, DNAシーケンス)量子データの検索 (i.e., 量子センサからの情報)

問題設定

例として、4(=2x2) pixelの画像 8枚で構成されたデータベース $|\psi\rangle$ に対して、クエリ $|\phi\rangle$ の類似度を算出する。

提案アルゴリズム

実験結果(抜粋)

要素技術:

- 概振幅符号化によるデータベース回路、クエリ回路の実装
- inversion-testを応用した浅いパターンマッチング回路の実装
- Oracleからデータ照合機能を分離することで明示的な実装を実現

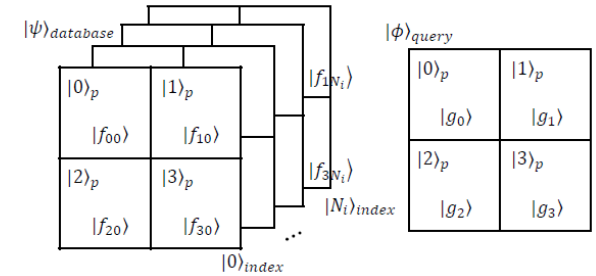
- 想定通りの傾向を観測 (類似度に対応した確率分布)
- 実機では符号化誤差に加え、ノイズの影響あり
- ⇒ 目的に即した符号化と実機の低ノイズ化が必要

Quantum database search for image pattern matching

“Grover search revisited: Application to image pattern matching” Physical Review A **105**, 032440 (2022).

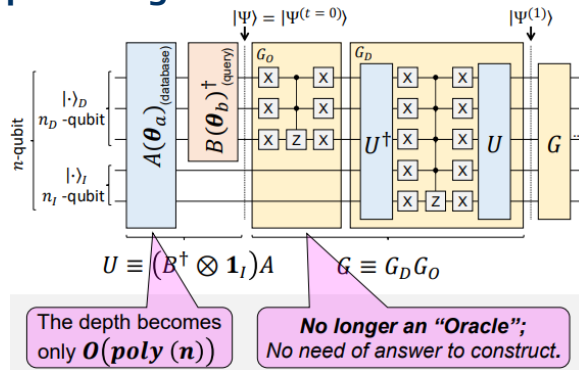
Purpose	<ul style="list-style-type: none"> • Construction of an efficient pattern matching algorithm implementable with shallow circuits • Reconstruction of Grover's search algorithm applicable to practical problem settings
Issue	<ul style="list-style-type: none"> • Implementation of the data generation circuit is non-trivial (e.g., requiring QRAM) • Fundamental contradiction in that the Oracle cannot be constructed without knowing the correct answer (the desired index), limiting its applicability
Approach	<ul style="list-style-type: none"> • Efficient data generation circuits using machine learning • Explicit implementation of the Oracle by performing data comparison in subspaces
Experiment	<ul style="list-style-type: none"> • Database searches of quantum images using the proposed method (partially utilizing the real device) • Verifying the impact of encoding noise using handwritten digit data
Application	<ul style="list-style-type: none"> • Complex/large-scale database searches (e.g., images, DNA sequences) • Searching quantum data (i.e., information from quantum sensors)

Problem setting



As an example, calculating the similarity of a query $|\phi\rangle$, a 4(=2x2) pixel image, against a database $|\psi\rangle$ composed of 8 images.

Proposed algorithm

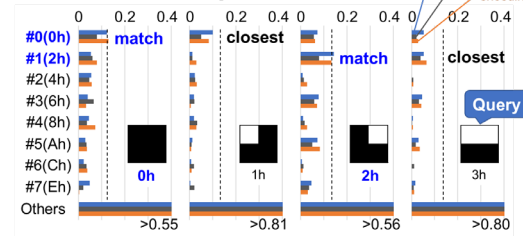


Key points:

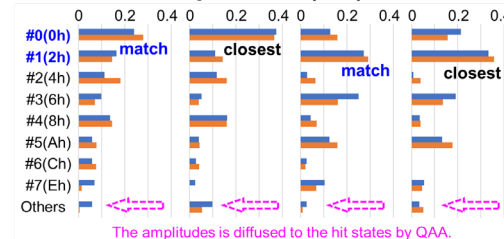
- Implementation of the database and query circuits by approximate amplitude encoding
- Shallow pattern matching circuits by inversion-test
- Explicit implementation by separating the data matching function from the Oracle

Results(excerpted)

Before Grover operation:

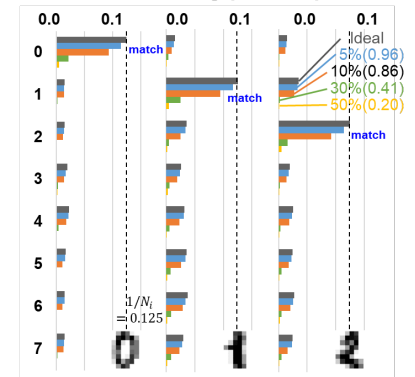


After Grover operation (t=5):



Encoding error:

Basis encoding(NEQR):



* "Error magnitude(corresponding fidelity)" is displayed in corresponding colors.

- The algorithm was appropriately verified.
- For practical use, the lower device noise is expected.