

量子バンディットアルゴリズムの実験的検証と API 開発 —量子計算による「探索と活用のジレンマ」の挑戦—

1. 背景

既存の計算技術を凌駕する量子計算について、これまでに様々な提案がなされてきた。量子計算の優位性がある例をあげると、N 個のデータベース探索問題を、平方根のオーダーで探索可能にする Grover 探索アルゴリズムがある。

本プロジェクトでは、選択肢から得られる方策に従い行動を変化させ、報酬を最大化するバンディットアルゴリズムに注目する。このアルゴリズムに量子探索アルゴリズムを応用した量子版のバンディットアルゴリズムの有用性を明らかにする。先行研究として近年理論的な提案がなされているが、量子回路ベースによる検証、実社会で動作するアプリケーションについての議論はほとんどなされていないため、本プロジェクトで明らかにする。また、より実践的な問題設定である、ユーザーの属性を考慮した量子文脈付きバンディットアルゴリズムの有用性の検証を行う。

実用化に向け、上記検証で得られたモデルやアルゴリズムの API 化を実施し、クラウドコンピューティングリソースへデプロイメントするシステム構築を行なった。

2. 目的

本プロジェクトは量子探索アルゴリズムに注目し、バンディットアルゴリズムの高速化を行うアルゴリズム開発と API で動作するシステム構築を目的とした。

3. ソフトウェア開発内容

本プロジェクトで作成した量子バンディットモデルの API を開発した。API にすることで、Web サービス化が容易になるだけでなく、分析を日頃から行なっているエンジニアやリサーチャーが、量子プログラミングを理解することなく使用することが可能にある。

図 1 にシステムの全体像を示す。API を構築するにあたり、Python の Web フレームワークである FastAPI を採用した。インフラ環境には、Google Cloud のコンテナサービスである Cloud Run を使用し、デプロイメントを行った。API 仕様書には、Open API（旧称 Swagger Specification）を使用した。今回作成した API のエンドポイントは、HTTP リクエストに応答して、機能を提供することが可能である。Open API の仕様書はドキュメンテーション機能に加え、テスト、デバッグなどの機能を提供している。

本プロジェクトで作成したエンドポイントと各役割については以下のとおりである
/partial_dh

選択枝の多い文脈付きバンディット問題を効率化する量子計算ツール

/grover_arm

選んだ広告（アーム）の正解数/不正解数により、確率分布を更新、最適な広告を推定する量子計算ツール

/ps_bandit

古典で決定した更新規則と量子化されたスロットの状態を逐次的に変化させる量子計算ツール

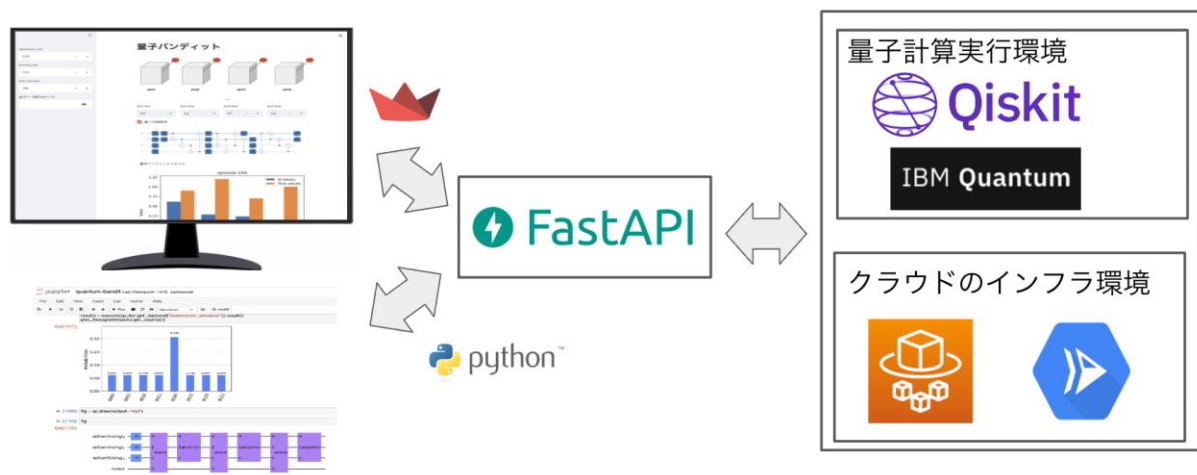


図 1: 作成したシステムの全体像

4. 新規性・優位性

文脈付きバンディット問題とは、通常のバンディット問題に加えエージェントが文脈 (context) を受け取り、可能な選択枝から行動を選択し報酬を受け取る問題設定である。近年の文脈付きバンディット問題研究では、無数の選択枝を持つ文脈的バンディット問題に焦点が当てられている。無数の選択枝とは、エージェントが選択できる行動数が非常に多いことを意味する。今回の問題設定として、図 2 で示すような非常に狭い領域に最小値がある loss 関数の最適化をバンディット問題として扱い検証を行なった。図 3 は、選択と活用のバランスをとりながら最適化する ϵ -greedy アルゴリズムを用いたシミュレーション結果である。今回の検証で取れる選択枝 (Action) の範囲は 0~100 (バンド幅:1) とした。この結果は、局所解に陥ってしまい正しい最適解へ到達することが困難であることがわかる。時刻が進むにつれ最小値のある値

(context1 の場合 Action=80、context2 の場合 Action=60) へ向かっていく様子がわかるが、今回の検証範囲では全く到達することなく終了してしまっていることが分かる。

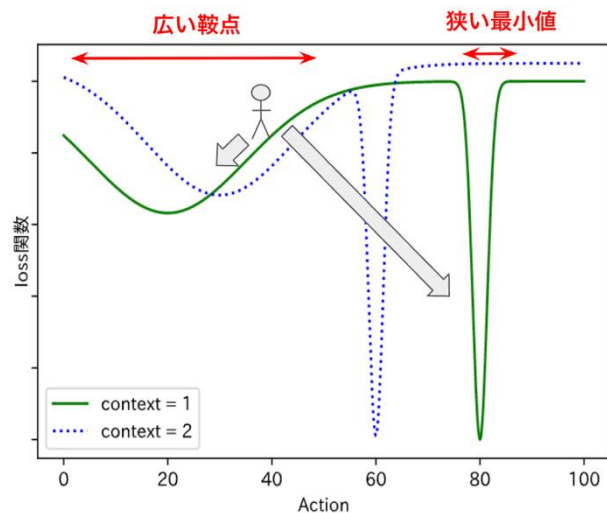


図 2: context 別の複雑な loss 関数.

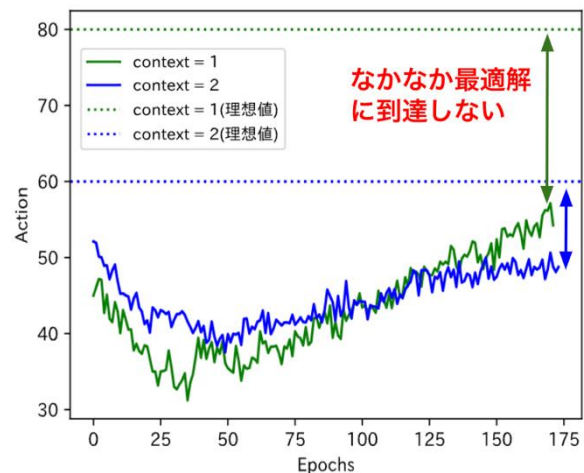


図 3: ϵ -greedy の結果

本プロジェクトでは、上記の問題を解消するべく Grover 探索アルゴリズムを応用した Dürr and Høyer's のアルゴリズム (以後 DH アルゴリズム) に注目した。DH アルゴリズムはソートされていないデータベース問題の最小値探索を二乗の問い合わせ回数で可能にするアルゴリズムである。DH アルゴリズムを使用した結果を図 4 に示す。比較として古典による検証結果を点線で示す。本検証により、量子探索を利用した場合に関しては、鞍点に達することなく効率的に探索数が可能になることがわかる。

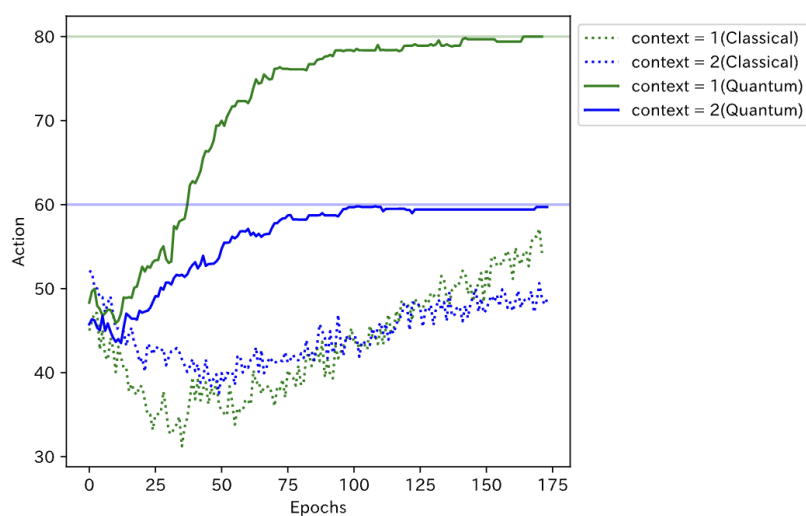


図 4: DH アルゴリズムを使用した結果

5. 期待されるユーザー価値と社会へのインパクト

バンディットアルゴリズムは、「複数の選択肢がありどの選択肢の効果が高いか事前に不明」という状況下で、効率的な選択法を提供するアルゴリズムである。このアルゴリズムは、Web 広告配信の最適化や薬の治験、商品のレコメンデーションなどの応用が期待されている。近年、量子アルゴリズムを使用することで、古典の場合より少ない問い合わせ回数で最適解を見つける可能性に注目が集まっていますが、アプリケーション化を見据えた応用的なユースケースについてほとんど議論されていないと考えられる。

本プロジェクトでは、量子計算によるバンディットアルゴリズムを実装し、その有用性を検証できる API の開発を行なった。本システムを利用することで、未知の量子状態を少ない測定回数で推定する技術や、受け取る文脈情報に基づいて未知のコスト関数の最適解を効率的に求めることが可能になることを実際に検証することが可能である。

本プロジェクトを通じて、古くから議論されてきたバンディット問題と、近年発展が著しい量子アルゴリズムを組み合わせた様々な量子意思決定問題の応用が生まれると考えられる。

6. 氏名（所属）

小野宏史（株式会社 MILIZE）

（参考）関連 URL

<https://github.com/onhrs/mitou-tg-quantum-bandit>