

令和3年5月28日

報道機関 各位

国立大学法人 電気通信大学

量子の不確実性と、人工知能の異次元の融合 ～量子回路設計の新たなプロジェクト始動～

【発表のポイント】

- 量子部分観測マルコフ決定過程を実機量子コンピュータで実装と検証
- 量子分野と AI 分野を融合し、量子回路^(※1)設計に新たな展開

電気通信大学の曾我部研究室（基盤理工学専攻）は強化学習^(※2)、量子アルゴリズム^(※3)、量子強化学習^(※4)を基幹テーマとして研究を行っています。量子の不確実性^(※5)と人工知能の技術を融合した「量子部分観測マルコフ決定過程^(※6)による量子回路設計」に関する研究が独立行政法人情報処理推進機構 2021 年度未踏ターゲット事業の一環として新たな展開に向かっています。

量子コンピュータは「ゲート方式」と「アニーリング^(※7)方式」の二つの方式があります。「ゲート方式」は汎用型の量子コンピュータであり、基本的な量子ゲートを組み合わせた量子回路を構築し計算を行います。量子ゲート回路の設計は、これまで古典コンピュータシミュレーションにより最適化を行ってきましましたが、量子ビットの数が増えると計算量が指数的に増えてしまうという問題がありました。より多くの量子ビットに対して回路設計を考えるには実機の量子コンピュータを使う必要があります。しかし、実機の量子コンピュータを使って制御と最適化を行うには、「波動関数の崩壊^(※8)により量子状態を直接観測・制御することはできない」という量子力学の壁を克服しないと実現できません（図1）。

今回のプロジェクトでは、本研究室が得意とする強化学習の手法を活かし、「量子状態の直接観測不能」という問題を部分観測マルコフ決定過程（POMDP）問題に変換した、量子部分観測マルコフ決定過程（量子 POMDP）手法の開発に取り組みます*1。量子 POMDP 理論の枠組みの一つは、2014 年に MIT の Aaronson 教授により密度行列^(※9)を用いて提唱されていますが、未だ理論的な研究段階にとどまり、実用的なアルゴリズムはまだ確立されていません。我々は世界で初めて量子 MDP 理論を実機で演算できる量子回路モデルの開発に成功しており、本プロジェクトでは量子 MDP 回路モデルをさらに拡張した量子 POMDP 理論モデルを実装し、シミュレータと実機を活用して量子回路設計を行い、開発手法の性能を評価します（図2）。これにより現在の最速の古典スーパーコンピュータの1億倍もの処理能力を誇るとされる量子コンピュータ開発の最大の難所といわれる量子回路の設計において大きく貢献することが期待されます。

本プロジェクトは、曾我部研究室の部分観測強化学習に精通する木村友彰（基盤理工学専攻博士前期2年）が、上記の内容に基づき独立行政法人情報処理推進機構（IPA）2021 年度未踏ターゲット事業の「量子コンピューティング技術を活用したソフトウェア開発分野」に応募し採択されました。

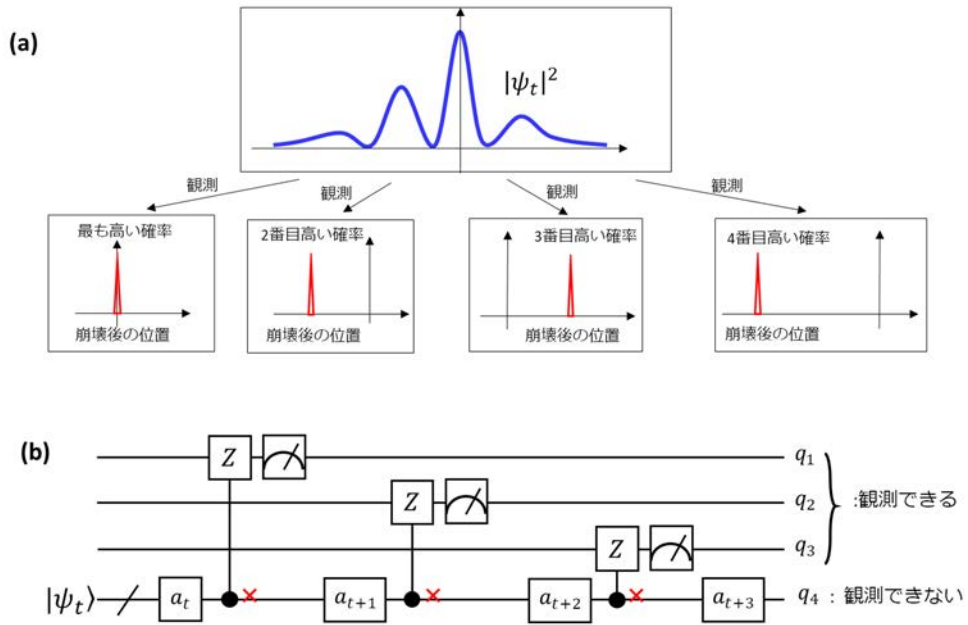


図1: 量子状態の直接観測不能性 (a) 波動関数の絶対値の二乗により存在確率が表現され、測定を行うとその存在確率に従い位置が観測される。(b) 量子状態(q_4)を制御する場合、状態(q_4)を直接観測することはできず、状態についての部分的な情報(q_1, q_2, q_3)のみを取得して制御を行う必要がある。

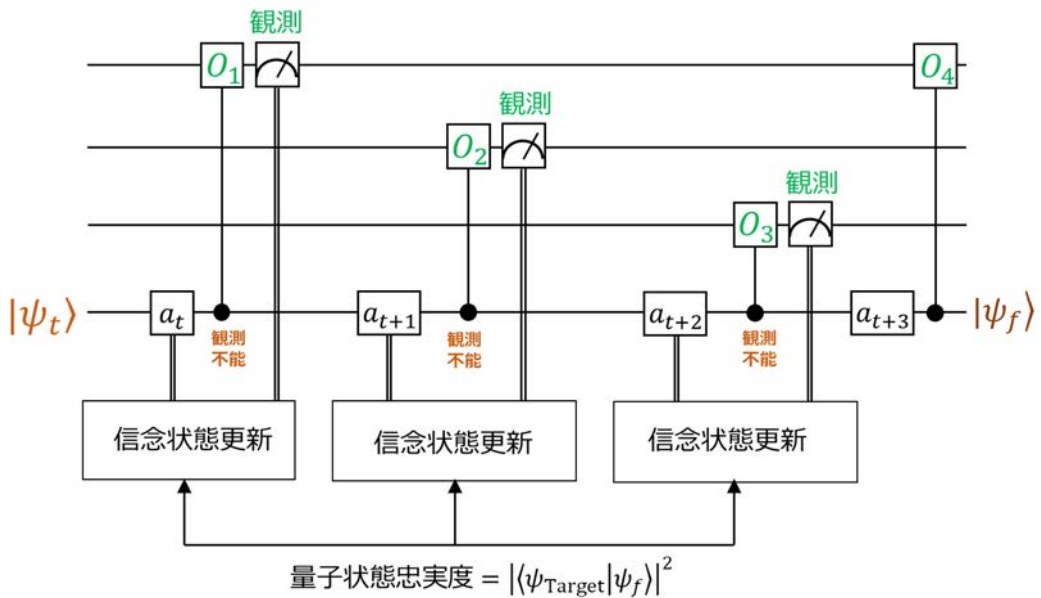


図2: 量子POMDPによる回路設計 エージェントの行動がゲートとして状態を遷移させ、遷移した状態の部分的な情報である観測を1qubit目の測定により得る。行動と観測を元に信念状態と価値関数を更新し次の行動を決める。以上を繰り返し、状態を目標状態に遷移させることを目指す。報酬は遷移した状態と目標状態の一致度である忠実度から求める。

用語説明

- (※1) 量子回路: 基本的な量子ゲートの組み合わせにより量子アルゴリズムを記述するもの。
- (※2) 強化学習: 動的に変化する環境で最適な意思決定を学習する機械学習手法。
- (※3) 量子アルゴリズム: 量子コンピュータで実行されるアルゴリズム。広い意味では量子と古典を組み合わせたハイブリッドアルゴリズムも含む。
- (※4) 量子強化学習: 強化学習に量子コンピュータの技術を取り入れ、古典コンピュータを用いた強化学習を超える高性能化を目指した学習手法。
- (※5) 量子の不確実性: 量子力学では原子は波と粒子の性質を併せ持つ。測定するまでは位置が確率的に決まる波の性質をもち、粒子の位置を確定することはできない。
- (※6) 部分観測マルコフ決定過程: マルコフ決定過程でエージェントが受け取っていた状態が完全に取得できず、エージェントが受け取る情報がマルコフ性を満たすとは限らない確率過程。
- (※7) アニーリング: 高温にした金属をゆっくり冷やすと最小エネルギー状態を保持した安定構造となる現象。この現象を模して、ゆっくり冷やす代わりに量子ビットにかける横磁場の強さをゆっくり下げて計算するのがアニーリング方式の量子コンピュータである。
- (※8) 波動関数の崩壊: 波動関数の絶対値の二乗によって確率的に表現されていた原子の位置が測定により確定する。
- (※9) 密度行列: 量子力学において、混合状態を表すために用いる行列。

【連絡先】

<研究に関すること>

電気通信大学 i-パワードエネルギー・システム研究センター

大学院 情報理工学研究科 基盤理工学専攻

木村 友彰

E-mail: k2033038@edu.cc.uec.ac.jp

准教授 曾我部 東馬

E-mail: sogabe@uec.ac.jp

<報道に関すること>

電気通信大学 総務企画課 広報係

Tel: 042-443-5019 Fax: 042-443-5887 E-mail: kouhou-k@office.uec.ac.jp