



2025 年 11 月 17 日

報道関係者各位

慶應義塾大学

量子ネットワーク構築を自動化へ ―挿せば使える"量子ネットワークデバイスの自動設定技術―

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の永山 翔太 准教授らは、株式会社メルカリと共同で量子ネットワーク※1 の構成・接続状態を自動把握可能にする手法を開発し、自動設定の効率化を実現しました。

本研究成果は、2025 年 9 月 5 日、量子コンピューティングの国際会議「IEEE Quantum Week 2025」にて発表され、論文”Automatic Configuration Protocols for Optical Quantum Networks”が Quantum Networking & Communications(QNET)部門において Best Paper Award 2nd place を受賞しました。

1. 本研究のポイント

- ・光量子ネットワークの構築と運用に必要な「自動設定プロトコル」を提案
- ・量子ネットワークにおいて、これまで手作業で行われていた機器間のリンク状態や接続トポロジー（構造）を自動で認識し、設定まで行うメカニズムを考案
- ・実験室レベルの光学システムを大規模ネットワークへと拡張していくことに大きく寄与
- ・分散型大規模量子コンピュータや量子インターネットにおいて、多数の量子ビットを計算に利用するための必須技術

2. 研究背景

量子コンピュータや量子通信の発展により、複数の量子コンピュータや量子通信機器といった量子デバイスを図 1 のようにつないだ、「量子ネットワーク」の重要性が高まっています。インターネットなどの古典的なネットワークでは自動設定技術が普及している一方、量子ネットワークでは同様の技術が未整備であり、実験においても機器の接続や設定を手作業で行うため規模拡大や複雑化に限界がありました。

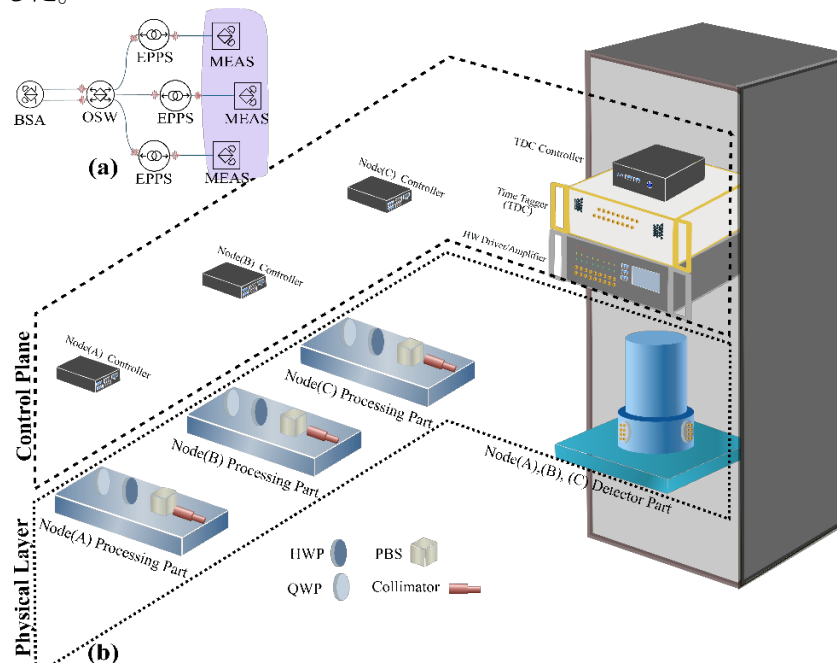


図 1 (a) 3つの量子測定ノード間にあるもつれを分散するため、3つの EPPS(もつれ光子対源)ノードが OSW(光スイッチ)ノードを介して相互接続している概念図 (b) 量子測定ノード実装の概略図

3. 研究内容・成果

本研究では、量子ネットワーク構築における主要な課題を解決するため、以下の二つの自動接続確認プロトコルを確立しました。

課題 1：量子ノードとタイムタグ装置（TDC^{※2}）の自動接続確認

- 量子ノードとタイムタグ装置の接続を認識し、接続チャンネルを自動で識別するプロトコルを提案しました。
- シリアル方式（順番に識別）とパラレル方式（同時に識別）の2つの方法を考案しました。

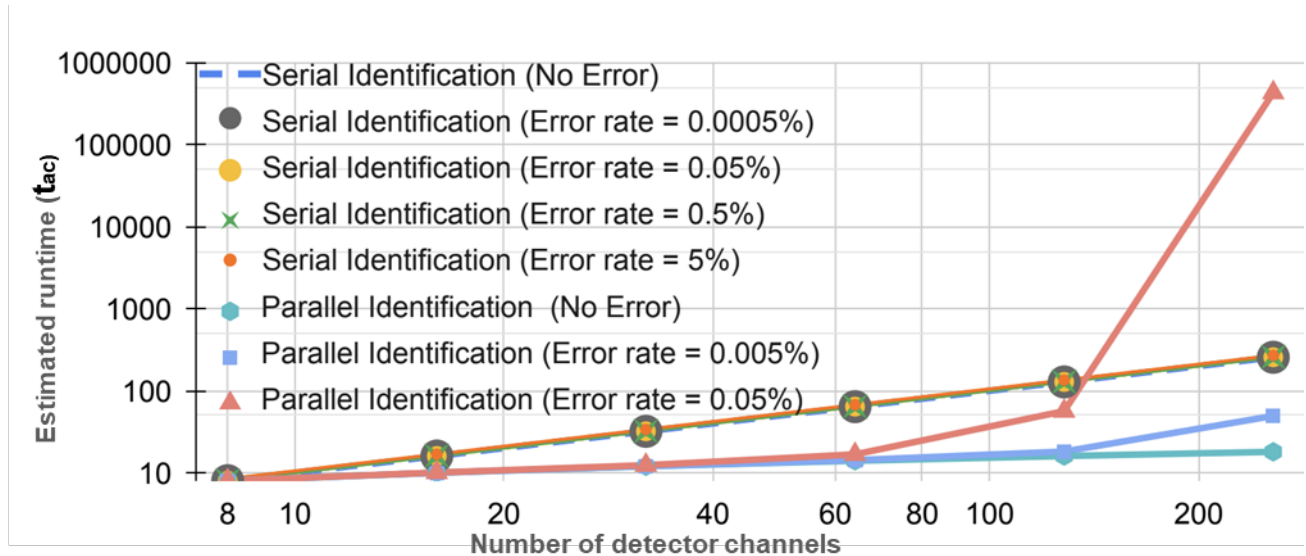


図 2 量子ノード・タイムタグ装置間の自動接続確認プロトコル、シリアル方式とパラレル方式の性能比較

パラレル方式は接続するチャンネルの数が少ない場合は優勢となる一方で、数が多くなってくるとエラーレート次第ではシリアル方式の方が優勢となる場合があることを示しています。

課題 2：光スイッチ^{※3}とノード(量子デバイス)の自動接続確認

- 光スイッチに接続されたノードを自動で特定するプロトコルを提案しました。
- 光パルスやパターンを使った識別方法、メッセージ交換による確認手順を設計しました。

最初のアプローチは、実験者が通常行う標準的な手順を自動化するものです。光源から光の入力があることを確認することから始まり、光が検出器に到達するまでに通る光学システムの各部分の接続や動作を順番に確認していきます。

加えて、パターンデコードアプローチを用います。これは、各ノードが固有の物理層パターンを生成し、関連するノードとポートの識別子を古典ネットワーク経由で取得するものです。

これらの技術により、これまで手動で行われた量子ネットワークの構成や接続状態を自動検出できるようになったことで、実験の効率化が図れ、事実上不可能とされてきた量子ネットワークシステムの大規模化が可能となります。

4. 今後の展開

今後は提案したプロトコルを実際の量子ネットワーク実験装置に導入し、実用性や性能を評価予定です。

さらには本成果をもとに、トポロジー検出、リンク品質監視、リソース管理、ルーティングといった量子ネットワークのさらなる自動化技術の開発へと発展させ、より大規模な量子ネットワークや商用サービスへの応用を目指します。

<原論文情報>

Amin Taherkhani, Andrew Todd, Kentaro Teramoto, Rodney Van Meter, and Shota Nagayama, "Automatic Configuration Protocols for Optical Quantum Networks" in Proc. IEEE Int. Conf. Quant. Comput. Eng. (QCE), 2025. To appear in IEEE Xplore. <https://arxiv.org/abs/2504.19613>

<IEEE Quantum Week について>

IEEE Quantum Week (IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering) は量子コンピューティング技術に関する工学分野を先導する大規模国際会議です。Quantum Week 2025 には 1500 人以上が参加し、261 本の技術論文が発表されました。

なお本研究は、内閣府ムーンショット型開発事業 (JPMJMS226C) と SFC コンソーシアム量子インターネットタスクフォースの支援を受けて実施されました。

<用語説明>

※1 量子ネットワーク：量子コンピュータや量子通信機器をもつれ光子対でつなぎ、量子情報をやり取りするネットワーク

※2 TDC (タイム・トゥ・デジタル・コンバータ)：イベントの発生時刻を高精度で記録するタイムタグ装置。本研究では光子が検出された時刻を高精度で記録する。

※3 光スイッチ：光信号の経路を切り替える装置。量子ネットワークではノード間の接続を動的に変更できる

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 准教授 永山 翔太 (ながやま しょうた)

TEL : 044-271-5070 E-mail : shota-admin@qitf.org

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室 TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>