

効率の良い多体量子もつれ配布による 量子ネットワークセンシング

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

量子力学特有の性質を用いることで、従来の性能を超える情報処理やセンシング、セキュリティなどを実現する量子技術の研究が盛んに行われている。量子力学の性質を用いたネットワークを量子ネットワークと呼び、絶対に解読されない暗号鍵を作る量子暗号通信や、遠隔地にある量子コンピュータ同士を接続する分散量子計算などの様々な応用が期待されている。

量子ネットワークセンシングとは、量子ネットワークを通じて量子的な性質を遠隔地にいる利用者に配布し、計測を行う技術である。レーザー光などの古典的な計測は測定精度に限界が存在するが、量子もつれなどの量子的な性質を利用することで古典的な限界を越えられることが知られているが、これをネットワークセンシングへと拡張する試みである。期待されている応用先としては、超精密な時刻同期や長基線望遠鏡が挙げられる。

量子ネットワークセンシングでは、量子もつれを遠隔地にいる利用者間で共有することが重要であり、特に複数の量子もつれを配布する必要がある。しかし、量子もつれの配布には単一光子レベルの微弱光が用いられる、また通常の光増幅器が使えないことから、損失に非常に弱いことが課題点として挙げられている。特に多体量子もつれの配布では全ての光子が損失なく配布される必要がある。また、配布された量子もつれを利用するため配布効率が推定精度に影響を与えることも考えられるが、これらの点については必ずしもまだ明らかにされていない。そこで、効率の良い多体量子もつれ配布方法を提案し、図のような損失のある量子ネットワークを用いた量子ネットワークセンシングを想定して推定精度を導出した。

■ 活動内容

1. 効率の良い多体量子もつれの配布手法の提案[1,2]

提案手法では、図のように干渉系を中央局に設計し、利用者が事前に用意してある光子対を中央局に向けて伝送することで多体量子もつれを生成することができる。これにより、伝送路における損失の影響を低減させた。今回では、GHZ状態と呼ばれる状態の生成を行った。

2. 量子フィッシャー情報量を用いた推定精度の計算

推定精度の評価には、量子フィッシャー情報量を用いた。これを用いることで、量子クラメール・ラオ限界と呼ばれる分散値の下界を得ることができる。この下界の値を用いて性能の評価を行った。

3. 従来手法との比較

中央局で生成した量子もつれを光ファイバで伝送したパターンを従来手法として、提案手法との比較を行った。図は計算結果を示している。図より、長距離において従来手法よりも精度よく推定できることがわかった。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

参考文献:

[1]: W. Roga, R. Ikuta, T. Horikiri, and M. Takeoka, Phys. Rev. A 108, 012612 (2023).

[2]: H. Shimizu, W. Roga, D. Elkouss, and M. Takeoka, arXiv:2404.19458, (2024).

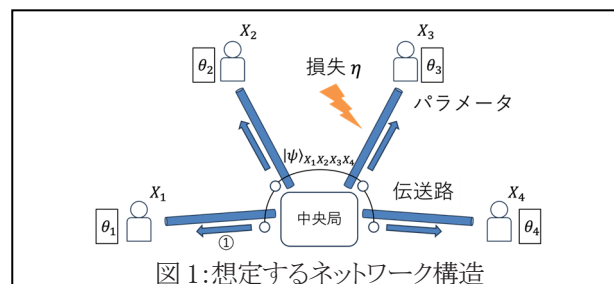


図1: 想定するネットワーク構造

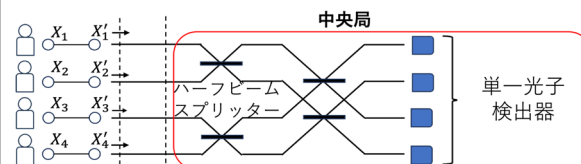


図2: 提案手法における中央局の構成

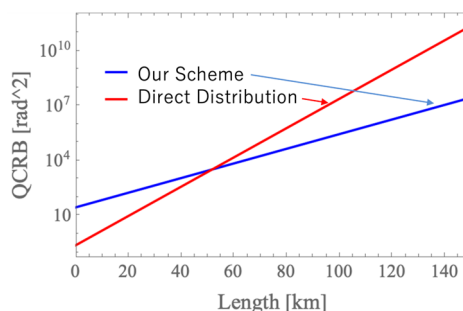


図3: 計算結果

代表発表者 **上田 悦大(うえだ よしひろ)**
所 属 **慶應義塾大学大学院 理工学研究科
武岡研究室**
問合せ先 **〒223-0061 神奈川県横浜市港北区日吉
3丁目14-1
TEL: 045-566-1454
yoshihiro_u@keio.jp**

■キーワード: (1) 量子情報通信
(2) 量子ネットワーク
(3) 量子ネットワークセンシング
■共同研究者: 石原 誠, Wojciech Roga, 武岡 正裕
慶應義塾大学