

研究開発項目

4. 光量子コンピュータの社会実装に関する研究開発

2023年度までの進捗状況

1. 概要

光量子コンピュータでは、時間領域多重を用いることでコンパクトな系でスケラブルな量子計算を実現できます。そのため量子コンピュータ実現の有力候補と考えられます。課題推進者1のグループと協同して、光量子コンピュータの開発と社会実装を目指し研究開発に取り組んでいます。それをクラウドコンピュータとして運用し、ハードウェアの構築をするとともに、コンパイラ、アセンブラの開発を含めるマン・マシン・インターフェースも構築していくことも目的としています。

光量子コンピュータの開発要素は、大規模な汎用量子計算のためのシステムの構築と、誤り耐性を獲得するための補助状態の生成に分けて考えられます。本研究では、まず大規模汎用量子計算のためのプラットフォームの作製とクラウド公開のための準備を行っています。具体的には光導波路を用いて、広帯域な量子リソースを生成し、さらに時間領域多重化手法を用いて大規模クラスター状態を生成しています。

2. これまでの主な成果

課題推進者1のグループで研究されてきた時間領域多重の技術を利用することで、他の方法では現状不可能な大規模クラスター状態を生成しています。特に、これまで実装されたクラスター状態よりも効率的に計算リソースとして使用可能な構造のクラスター状態を生成しました。

これまでの実験準備研究により、実験室環境を大幅に改善・安定化することに成功したため、 freespace系を構築できるようになりました。これは実験室環境の温度安定性が高まったため freespace系でも長期的安定性が見込めるようになったためです。さらに freespace系の方がモジュールを光ファイバーで連結していく方法

よりも低損失であります。以上のことから、より質の高いクラスター状態の生成が見込めるようになりました。

今年度は実際に下図通りの実験系を構築し、クラスター状態の相関を測定することができました。

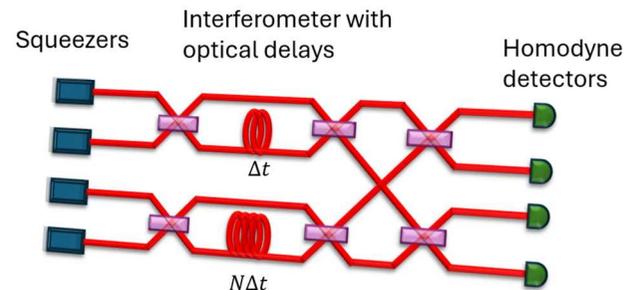


図1 freespace系で組んだ光量子コンピュータ

測定型量子計算では、扱える測定の種類と精度が扱える量子操作の種類と精度に対応しています。ホモダイン測定では決定論的に光電場の加減算・定数倍操作のみが可能です。任意の量子計算が可能な光量子コンピュータでは光電場同士の「掛け算」操作を行う必要があり、決定論的な非線形操作に相当する非線形測定が必要不可欠です。最も基礎的な非線形測定を実現するための手法は、図2のように被測定光と補助的な量子光を干渉させ、得られる二つの光の片方にホモダイン測定をし、他方にはその測定結果に非線形計算を行った値に基づき動的に位相回転操作をする、というフィードフォワードの後にホモダイン測定をするものです。フィードフォワード中の測定結果に対する非線形計算を、ルックアップテーブルと呼ばれる計算表を用いて行います。ルックアップテーブルは、プログラマブルなデジタル回路内のメモリブロックを使用して実装されてお

り、事前に入出力の組を書き込んであるので、実際には非線形計算をすることなく、高速化がはかられます。現在100倍程度の高速化を得ています。この柔軟かつ高速な非線形計算により、光学系との同期が容易となったことで、非線形測定が実験的に可能になりました。さらに高速な量子計算のためのFPGAの開発のため環境準備を行いました。

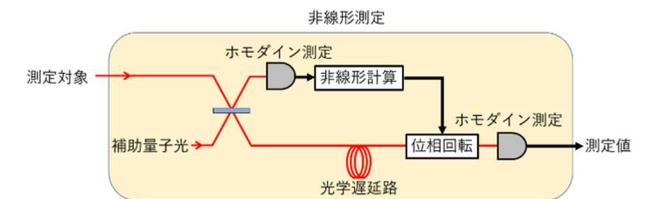


図2 非線形測定のセットアップ

3. 今後の展開

さらなる高速化を見込み、クラウド公開運用の準備をしています。新たな課題推進者5と協力して、パブリッククラウドで動作させることを念頭に設計を進めています。実機の予定仕様と照らし合わせ、Quad-rail Lattice方式の光量子コンピュータを想定しましてソフトウェア仕様を検討しています。