

C20210430_02_NIST

光ファイバ、超伝導量子コンピュータのパワーブースト

NIST の研究者は、金属電気配線の代わりに光ファイバを使い、超伝導量子ビット(qubit)を計測、制御し、数千ではなく、100 万 qubits を量子コンピュータに詰め込む下準備をした。その実証は、Nature に発表された。

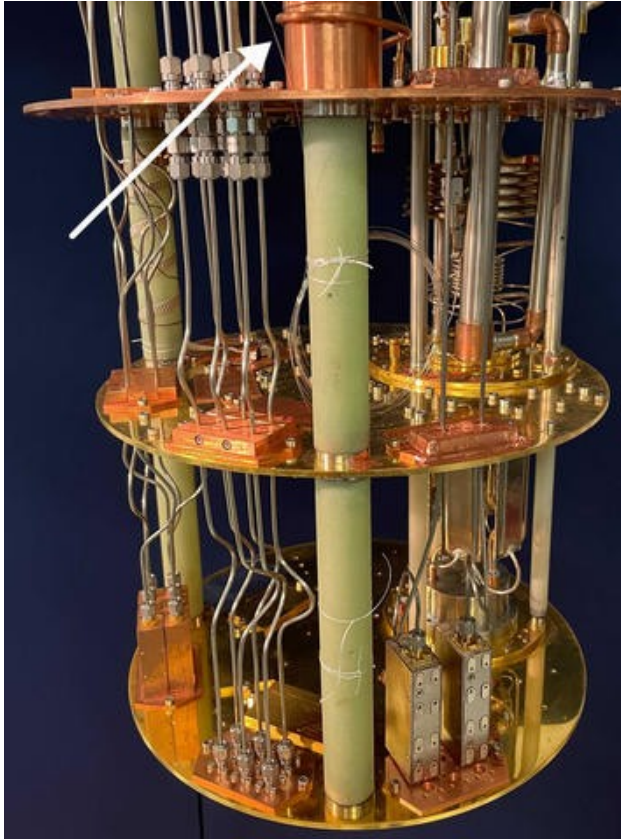


図 物理学者は、金属電気ケーブルの代わりに光伝導ファイバ(白い→)を使い、超伝導量子ビット(qubit)を計測、制御した。ファイバを使うことで、研究者は、数千ではなく、100 万 qubits を量子コンピュータに詰め込むことができる(Credit: F. Lecocq/NIST)。

超伝導回路は、量子コンピュータ実現のための主要技術。高信頼であり、簡単に量産できるからである。しかし、これらの回路は、極低温で動作させなければならない。また、それらを室温エレクトロニクスまで配線することは複雑であり、qubits を加熱しがちである。汎用量子コンピュータは、いかなる種類の問題でも解けるが、100 万 qubits 程度が必要と考えられている。金属配線を装備した従来の冷凍機、超低温希釈冷凍機は、せいぜい数千をサポートできるだけである。

通信ネットワークのバックボーンである光ファイバは、ガラスまたはプラスチックであり、熱を伝えることなく大容量の光信号を伝送できる。しかし超伝導量子コンピュータは、情報の蓄積と処理にマイクロ波を利用する。したがって光は、マイクロ波に正確に変換される必要がある。

この問題を解決するために NIST の研究者は、光ファイバと数個の標準的な他のコンポーネントを組み合わせた。これは、光を単一粒子、つまりフォトンレベルに変換、伝搬、計測するものであり、続いて簡単にマイクロ波に変換できる。同システムは、金属配線と同じように機能し、qubit の壊れやすい量子状態を維持した。

NIST の物理学者、John Teurel は、この前進は大きなインパクトを与えている。「それが2つの全く異なる技術、フォトンクスと超伝導 qubits を統合し、非常に重要な問題を解決するからである。光ファイバは、極めて小さな容量で、従来のケーブルよりもはるかに多くのデータを伝送できる」。

通常、研究者は室温でマイクロ波を生成し、次に同軸金属ケーブルで極低温に保った超伝導 qubits にそれらを供給する。新しい NIST のセットアップは金属の代わりに光ファイバを使って光信号を極低温フォトディテクタに導波し、信号をマイクロ波に戻して、qubit に供給した。実験的比較のために、マイクロ波は、フォトニックリンクまたは通常同軸線のいずれかで qubit ヘルパーティングできる。

ファイバ実験で使用される “transmon” qubit は、3D キャビティに組み込まれたジョセフソンジャンクション(接合)として知られるデバイスである。一定の条件で、電流は、ジャンクションを越え、前後に振動する。あるマイクロ波周波数を印可することで研究者は、qubit を低エネルギーと励起状態の間で駆動できる(デジタルコンピュータの 1 または 0)。これらの状態は、ジャンクションをトネリングしたクーパーペア対(Cooper pairs: 反対の特性と結合した電子ペア)の数をベースにしている。

NIST のチームは、2 つの種類の実験を行った。フォトニックリンクを使ってマイクロ波パルスを生成し、qubit の量子状態を計測または制御する。その方法は、両者の関係に基づいている。キャビティ内でマイクロ波が自然に振動する周波数、共振周波数は、qubit 状態に依存する。また、qubit が状態を切り替える周波数は、キャビティ内のフォトンの数に依存する。

研究者は通常、マイクロ波ジェネレータで実験を始めた。qubit の量子状態を制御するために電気光学変調器がマイクロ波をより高い光周波数に変換した。これらの光信号

は室温から 4K(-269°C)、20 ミリケルビン(数千分の 1 K)へ光ファイバで伝送され、そこで高速半導体フォトディテクタに達して、光信号はマイクロ波に戻され、さらに量子回路に送られる。

これらの実験では、研究者は、その自然な共振周波数で信号を qubit に送り、それを所望の量子状態にした。十分なレーザーパワーがあるときに、qubit は、基底状態と励起状態の間で振動した。

qubit の状態を計測するために研究チームは、赤外レーザーを使って、変調器、ファイバ、フォトディテクタから特殊なパワーレベルで光を放出してキャビティの共振周波数を計測した。

研究チームはまず、qubit 振動から始め、レーザーパワーを抑制し、次にフォトニックリンクを使って弱いマイクロパルスをキャビティに送る。キャビティ周波数は、時間の 98% qubit の状態を示しており、通常と同軸線を使って得られるのと同様であった。

研究チームは、光ファイバの光が信号を qubits 間でやり取りする量子プロセッサを想定している。各ファイバは、数千の信号を qubit との間でやり取りできる。