

Kaiserslautern 工科大学、スペクトラム社の 新しい DDS ファームウェアオプションで量子コンピュータ開発を加速

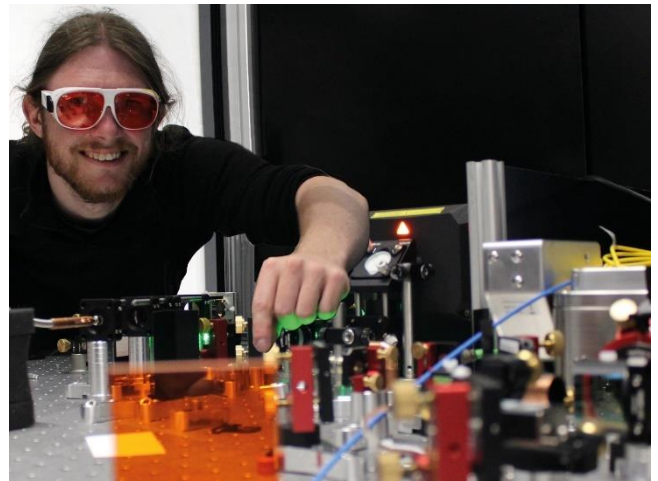
スペクトラム社の AWG カードを光ピンセットとして使用し、
量子ビットとして機能する原子の配列を行う

2024 年 6 月 12 日

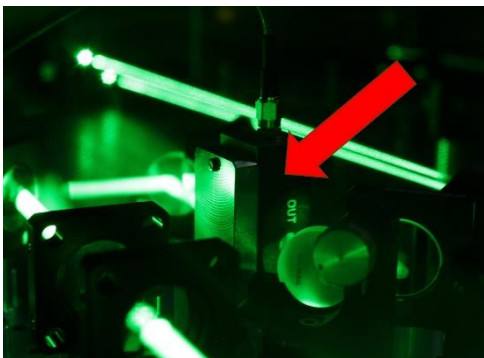
デジタイザなどの計測機器メーカーであるスペクトラム・インスツルメンテーション社（本社ドイツ・グロースハンスドルフ/以下、スペクトラム社）は、RPTU Kaiserslautern 工科大学が同社の新しい Direct Digital Synthesis (DDS) ファームウェアオプションの使用により量子コンピュータ開発を加速させたことを発表しました。量子コンピュータを作る方法は数多くありますが、Rymax One の共同研究において、RPTU Kaiserslautern 工科大学は、量子ビットとして機能する単一原子の配列を作るというアプローチを採用しています。この方法では、各原子を正確な位置に転送し保持することが課題となりますが、各原子にレーザを照射し、それをレーザビームの中心にトラップすることにより、光ピンセットとして効果的に機能させています。しかし、ビームの各動作を 1 つずつ制御するには、従来の方法では大量のプログラミング、及び膨大なデータが必要でした。今回、スペクトラム社の新しい Direct Digital Synthesis (DDS) ファームウェアオプションを使用することにより、時間のかかる大規模な配列計算を行う代わりに、開始と停止のパラメータを定義するいくつかの簡単なコマンドでレーザの位置を制御できるようになり、大幅に改善されました。

物理学博士である Jonas Witzenrath 氏は次のように述べています。「これは私たちの研究の進展に大きな効果をもたらしています。新しい DDS オプションを使用することにより、制御方法は急速に進歩してシステムの複雑さを軽減できたので、研究を前進させることに集中できるようになりました。次のステップは、DDS ファームウェアの動的な機能を用いて静的な 2 次元配列で原子を並び替えることです」さらに次の段階では、量子ビット間の相互作用を正確に制御するために、AWG を使用して理想的な UV レーザパルスを作る予定です。

「DDSは私たちのプロジェクトに欠かせないツールになっています。またDDSは非常に柔軟で、研究室の他のことにも使用できることが判明したため、専用の機器を購入する必要がなくなりました。たとえば、パルスレーザやチャープ信号の生成などにも用いることができます。私たちは、スペクトラム社と密接に協力してこの DDS 機能を開発し、現在、他の研究室にも役立つように、研究用途の拡大に取り組んでいます」



物理学博士 Jonas Witzenrath 氏、
ドイツ、Kaiserslautern 工科大学の量子実験設備の前にて



音響光学偏向器(赤い矢印)が 1 本のレーザビームを、原子を捕捉して保持する多数の制御可能な単一の信号に分割します。

同氏は、スペクトラム社の AWG カードを選んだ理由として、優れたアナログ性能と大容量メモリ、及びカードへの高速転送能力を合わせ持つことにより、同カードが量子研究の最適なソリューションになりつつあることを付け加えました。波形の並び替えの計算、及びカードにアップロードが完了するまで、実験を停止する必要があるため、カードへの高速転送は極めて重要です。スペクトラム社の AWG カードの転送速度は他の製品よりもはるかに優れており、これが、原子、分子、光物理学、量子コンピュータのコミュニティで広く用いられている主な理由です。また、カードの動作速度も非常に重要です。高速 AWG には、数十ミリ秒オーダーの遅延や大きなジッタという本質的な問題によって不正確が生じるため、システムは反復して修正を行う必要があり、処理時間は長くかかります。今回、DDS ファームウェアの使用により、スペクトラム

社のAWGがコマンドを20マイクロ秒以内に生成できるようになりました。この本質的なタイミングの細かさにより、コマンドには実質的にジッタがありません。

ある実験例では、スペクトラム社のAWGカードM4i.6631-x8を使用して、原子をトラップする光ピンセットを発生させるAOD（音響光学偏向器）を駆動しています。このAODは、周波数が約82MHzのRF信号で駆動されています。現在の設定では、1MHzの変化で原子を伴ったピンセットが100 μ s以内に8 μ m移動し、S字型の周波数ランプを使用して加熱を最小限に抑えています。この間、信号の振幅は、光の強度の変化を補正するために線形に変化します。

DDS ファームウェアオプション

DDSは、単一の固定周波数の基準クロックから任意周期の正弦波を生成させる方法です。この手法は、さまざまな信号生成用途に広く用いられています。スペクトラム社の新しいオプションでは、ユーザーが1枚のAWGカードにつき23個のDDSコアを定義し、ハードウェア出力チャンネルにルーティングすることができます。各DDSコア（正弦波）は、周波数、振幅、位相、周波数スロープ、振幅スロープについてプログラム可能です。DDS出力は、外部のトリガイバント、或いは6.4nsの分解能を持つ、プログラム可能なタイマーによって同期させることができます。

DDSモードでは、AWGはマルチトーンのDDS信号の発生器として機能します。このユニットに内蔵された4GByteのメモリと高速DMA転送モードにより、毎秒1,000万コマンドという高速のDDSコマンド発信が可能になります。この独自の機能により、シンプルで使いやすいDDSコマンドで、ユーザー定義のスロープ（S字型など）やさまざまな変調方式（FMやAMなど）を柔軟に実行できます。

Rymax One の量子コンピュータ設計

個々の Ytterbium 原子は、光ピンセットを使用して真空中にリユードベリ状態で浮遊しています。Rymax の共同研究では、特に最大独立集合問題、及びそのソリューションとなる量子近似最適化アルゴリズム（QAOA）や量子アニーリングといったアルゴリズムなどの量子最適化問題に焦点を当てています。これにより、「アナログ」量子コンピューティングに最適化されたハードウェアを作ることが可能になります。設計の1つの重要な側面は（UV）レーザー光の動的な制御であり、そのためには異なるRF信号の完全な制御が必要です。そこでスペクトラム社が長年培ってきた専門技術が真価を発揮します。



世界中の量子研究者に広く使用されている、1.25GS/sのサンプリングレート、16bitの分解能、2チャンネルを備えたM4i.6631-x8任意波形発生器

スペクトラム・インストルメンテーション社(Spectrum Instrumentation)について

1989年に創業したスペクトラム社(CEO 兼 創業者 Gisela Hassler)は、モジュラー設計を利用することでデジタイザ製品および波形発生器製品をPCカード(PCleおよびPXle)やスタンドアローンのEthernetユニット(LXI)として幅広く生み出しています。スペクトラム社は30年間に、トップブランドの業界リーダーやほとんどすべての一流大学を含む、世界中のお客様に製品をご利用いただいています。当社はドイツのハンブルク近郊に本社を構えており、5年保証と設計エンジニアやローカルパートナーによる優れたサポートを提供しております。スペクトラム社の詳細については、<https://www.spectrum-instrumentation.com>をご確認ください。