

量子コンピュータの 直近の動向と応用

今道貴司 *Rudy Raymond* (IBM 東京基礎研究所)
Jay M. Gambetta (IBM T. J. Watson Research Center)

量子コンピュータ開発の背景

量子コンピュータは量子力学の原理に基づいたコンピュータのことで、従来のコンピュータのビットの代わりに、量子ビットを用いて情報を処理する。通常のビット列は1種類の状態しか保持できないが、量子ビットの場合は複数の状態を重ね合わせて同時に保持できるため、超並列の計算が可能になる。量子コンピュータは、量子ビットと、状態の重ね合わせを操作する量子ゲートで構成されており、正と負の状態の干渉を適切に施すことで解きたい問題の特定の解を取り出す。

Feynman が30年以上前に量子コンピュータの可能性を指摘してから理論と実装の研究は着々と進んできた。理論においては、インターネットで普及する公開鍵暗号にとって脅威となる素因数分解の量子アルゴリズムの発見が20年前大きな衝撃をもたらした。そして、近年では実装の研究も進み、大学や研究機関だけでなくIBM、グーグル、マイクロソフトなどのIT企業も研究開発を活発化させて世間を賑わすようになってきた。また量子コンピュータは実験室の中の存在だけでなくつつある。たとえば、IBMは2016年からクラウドを通じて量子コンピュータを一般公開している。図-1は最近追加された16量子ビットのプロセッサの模式図である。

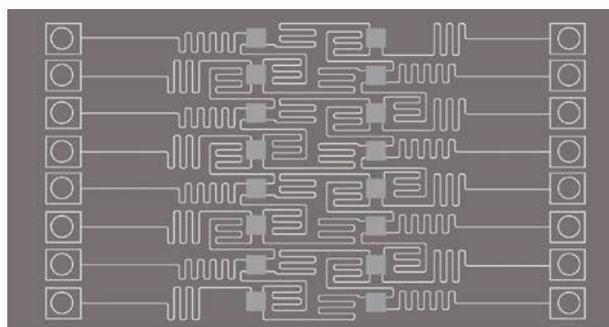


図-1 IBM Q experience で一般公開されている16量子ビットプロセッサの模式図

量子コンピュータの方式と性能

量子ゲートを組み合わせることで汎用の計算を行う方式を万能量子コンピュータという。素因数分解などの従来のアルゴリズムを凌駕する量子アルゴリズムを実行するには、エラー耐性を備えた万能量子コンピュータが必要である。そのためには高度な誤り訂正の仕組みが必須で、長期的な視点ではその実現に向けた研究が行われている。一方で短期的な視点では、性能は限定的ながら量子コンピュータの実装と応用の研究が行われており、エラー耐性が限定的な万能量子コンピュータとアナログ量子コンピュータが注目されている。前者はエラー耐性への道筋が見えており、また Variational Quantum Eigensolver (VQE) 法などで量子化学や最適化問題への応用が行われている。一方、アナログ量子コンピュータとは量子ビットの接続方法が特定の問題に特化した量子コンピュータのことで、他の問題に対応するための再構成はできない。いわゆる量子アニーリングはこのアナログ量子コンピュータに属し、現状はある

種のグラフ上のイジング模型を構成することができる。

2017年6月時点で最も量子ビットの多い万量子コンピュータは、IBMが2017年5月に発表した16量子ビットのものである。ただし、量子コンピュータの性能は量子ビット

数のみで決まらないことに注意されたい。デバイスの実装によって量子ビットの接続方法が異なり、結果として量子状態を保ちながら実行できる操作が限定され、同じ量子ビット数でも適用できるアルゴリズムが異なる。

量子コンピュータの応用

現存する量子コンピュータの規模はまだ大きくないものの、量子化学におけるシミュレーション、とりわけ、分子構造や化学反応の分析の新しいツールとして役立つだろう。たとえば、前述したVQE法の中核は従来のコンピュータと量子コンピュータのハイブリッドな利用で、材料科学の研究にその有用性が示された。また、物質の特性を調べる目的で量子化学のシミュレーションに小規模な量子回路を活用する研究も進められている。量子コンピュータは同様のハイブリッドな方法で創薬や金融や人工知能などの分野にも応用されるだろう。

量子コンピュータの性能が向上するにつれて、大規模データの機械学習や最適化の応用も可能になるだろう。特殊なモデルで線形方程式を解く量子アルゴリズムが知られており、その原理を応用したレコメンデーションシステムなどの手法が報告されている。また、最適化においては特定の条件下で半正定値計画を高速化できる量子アルゴリズムも見つかっており、今後の発展に期待したい。

量子コンピュータの体験

IBMは昨年からクラウドを通じてIBM Q experienceという量子コンピュータの開発環境を一般

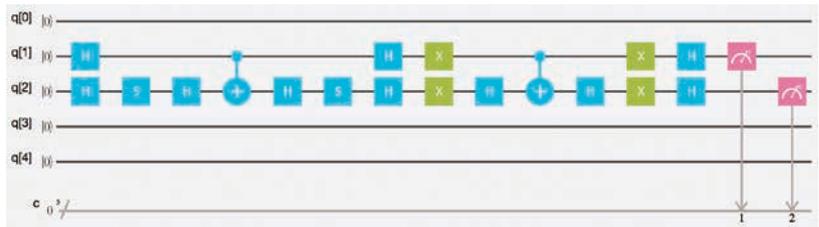


図-2 標準的な量子ゲートから構成される2量子ビットのGrover探索の回路の例(解は"01"の場合)

公開しており、ユーザは"Composer"という独自のユーザインタフェース上で量子回路を設計し、シミュレータで試したり実デバイスで実験したりすることができる。図-2はComposer上の2量子ビットのGrover探索の量子回路の例である。より高度なアルゴリズムの実装のためにPythonベースのソフトウェア開発キットも提供されており、専門家などの科学実験の利用のほか、一般ユーザからも音楽作成や海戦ゲームなど一風変わった応用も報告されている。現時点では140カ国以上の約5万人以上のユーザと合計60万回以上の実験の実績があり、日本のユーザ数は国別でトップ5に入る。また、実デバイスでは利用できないもののQuTiPのようなオープンソースの量子系シミュレーションソフトもある。

現状では量子コンピュータのプログラミングはまだ容易ではない。また、現存の量子コンピュータの規模も小さいため実デバイスで複雑なアルゴリズムの実行は難しい。しかし、今後量子コンピュータの研究開発がハードウェアとソフトウェアの両面で進歩することで、より多くの量子アルゴリズムが実装されて世の中で利用されるようになることが期待されている。

(2017年6月19日受付)

◆ 今道貴司 imamichi@jp.ibm.com

京都大学大学院情報学専攻の博士後期課程修了。博士(情報学)。日本IBM東京基礎研究所に所属。専門は組合せ最適化。

◆ Rudy Raymond rudyhar@jp.ibm.com

京都大学大学院情報学専攻の博士後期課程修了。博士(情報学)。日本IBM東京基礎研究所に所属。専門はアルゴリズムと量子計算。

◆ Jay M. Gambetta jay.gambetta@us.ibm.com

Griffith大学博士後期課程修了。博士(物理学)。IBM T. J. Watsonリサーチセンターに所属。量子計算と情報理論のグループマネージャー。