

超伝導量子コンピュータの現状と展望 集積化とシステム化への課題

Superconducting quantum computers: The state of the art and beyond

理研 CEMS ○田淵 豊

RIKEN CEMS, ○Yutaka Tabuchi

E-mail: yutaka.tabuchi@riken.jp

超伝導量子コンピュータの研究開発が加速している。世界各地の研究機関や情報技術企業が研究開発を進め、50 量子ビット級の超伝導量子コンピュータが実現されている[1,2]。その一方で高性能化への課題も多い。量子コンピュータの性能は量子ビット数と量子ゲートの誤り率により与えられ(参考: 量子体積 [3])、量子コンピュータが有効に動作するためには、量子ビット数に応じた量子ゲートの誤り率が小さくなる必要がある。量子ビット数は集積化により大きくなると予想される一方で、量子ゲート誤り率は制御信号の揺らぎやコヒーレンス時間により律速され、無限に小さくすることが難しいと考えられている。量子誤り訂正符号は量子ビットの冗長化により、量子ゲート誤り率が一定の値以下において高精度の量子論理ゲートを提供する。冗長化に伴う量子ビット必要数の爆発的増大が、システム規模を大きくする強い動機となっている。

量子ビット基板には、超伝導量子ビットにほかに量子ビット間結合用配線、量子ビット制御マイクロ波線、電流パルス・バイアス制御線、読み出し共振器、読み出しフィルタや配線を所狭しと並べる必要がある。我々は2 量子ビットゲートとして交差共鳴ゲート[4]を採用することで電流パルス・バイアス線を省略し、キャパシタを介した量子ビット間直接結合により結合器用配線の削減や、読み出しの周波数多重化技術を用いて、量子ビット当たりの基板入出力配線数 1.25 本を実現している。量子ビットは基板の上に規則的に配置されるため、これらの配線と干渉が無いように基板垂直方向から信号入出力を行う方式を開発した [5]。

その一方で量子ビット基板の配線は直径 1mm 程度の高周波数同軸線による導波が主流であり、信号の入出力のために多くの配線を必要とする。近年では光ファイバー線を用いた波長多重化技術が量子ビット制御配線を大規模に削減すると注目を集めており[6,7]、集積化に向けて新しい展開の様子を見せている。本講演では、量子コンピュータの高機能化に向けた集積化に向け、新規配線形態の可能性と期待について様々な角度から議論する。

[1] F. Arute *et al.*, “Quantum supremacy using a programmable superconducting processor,” *Nature* **574**, 505 (2019).

[2] P. Jurcevic *et al.*, “Demonstration of quantum volume 64 on a superconducting quantum computing system,” arXiv: 2008.08571 (2020).

[3] L.S. Bishop, S. Bravyi, A. Cross, J.M. Gambetta, and J.A. Smolin, “[Quantum volume](#)” (2017).

[4] C. Rigetti, M. Devoret, “Fully microwave-tunable universal gates in superconducting qubits with linear couplings and fixed transition frequencies,” *Phys. Rev. B* **81**, 134507 (2010).

[5] 中村泰信ほか, “超伝導複合量子計算回路,” 特開 2020-061447 (2020).

[6] H. Paik, “Quantum Transduction for Superconducting Qubits Using Electro-optic SiGe/Si Waveguides,” OSA Quantum 2.0 Conference, QTh4A.1 (2020).

[7] F. Lecocq, “Control and readout of a superconducting qubit using a cryogenic photonic link,” OSA Quantum 2.0 Conference, QM6A.3 (2020).