

INFORMATIQUE QUANTIQUE : ANNULATION DES INTERACTIONS ZZ NON SOUHAITÉES DANS UNE ARCHITECTURE QUANTIQUE SUPRACONDUCTRICE DE QUBITS ALTERNÉS D'ANHARMONICITÉS POSITIVES ET NÉGATIVES

Un pas de plus vers l'ordinateur quantique – un processeur qui aide à réduire les erreurs.



200-35, Radisson
Sherbrooke QC J1L 1E2
CANADA
t 819 821-7961

Contexte

La dernière décennie a vu des investissements importants dans les technologies quantiques de la part de plusieurs gouvernements d'État à travers le monde ainsi que du secteur privé. Les technologies quantiques auront un impact sur plusieurs secteurs de l'économie tels que l'aérospatiale, l'Internet des Objets (IdO), les communications, l'énergie, la finance, la logistique, le pharmaceutique et bien d'autres. Plus précisément, si la promesse des ordinateurs quantiques devient réalité, leur valeur marchande pourrait atteindre jusqu'à 850 milliards de dollars au cours des 30 prochaines années.

Cette invention est une collaboration entre le MIT à Boston et l'Université de Sherbrooke au Canada. Elle concerne l'interaction entre les bits quantiques, ou « qubits ». Nous présentons une méthode pour annuler la diaphonie dans les processeurs quantiques supraconducteurs en alternant entre deux conceptions de qubits avec des caractéristiques spéciales. Un qubit supraconducteur est un circuit électrique composé de condensateurs supraconducteurs, d'inductances et de jonctions Josephson. Ce type de qubit est la technologie la plus répandue et la plus prometteuse en informatique quantique.

Description

Présentement, les processeurs quantiques reposent principalement sur une modalité de qubit spécifique appelée qubit "transmon". En proposant d'intégrer une nouvelle modalité de qubit avec une anharmonicité opposée au qubit transmon, nous sommes en mesure d'annuler les interactions indésirables dans le processeur. De plus, cela nous permet potentiellement de réaliser des portes haute-fidélités avec moins d'erreurs, ce qui est un défi crucial dans le domaine.

L'un des défis majeurs dans la réalisation d'un processeur quantique est de surmonter les erreurs dues aux interactions indésirables. Dans un processeur basé sur des qubits transmons, un canal d'interaction indésirable commun est ce que l'on appelle l'interaction ZZ permanente, ou diaphonie ZZ. Cette diaphonie est intrinsèquement liée aux caractéristiques physiques du qubit transmon, principalement son anharmonicité. L'anharmonicité d'un qubit décrit la différence entre la fréquence de transition entre le second- et le premier-état du qubit, et la fréquence du qubit. Dans le qubit transmon, l'anharmonicité a une valeur négative. Lors du couplage de deux qubits transmons dans un circuit électrique, les deux anharmonicités avec des signes égaux se combinent et entraînent une grande interaction ZZ permanente (« always-on » en anglais). Cette interaction ZZ indésirable limite la fidélité de la porte et induit des erreurs.

Le nouveau circuit supraconducteur proposé, que nous appelons le qubit « qumon », est conçu pour avoir la même anharmonicité que le qubit transmon mais avec un signe positif. Le qubit qumon est une configuration spécifique d'une famille de circuits appelée le qubit de flux généralisé (QFG), (« generalized flux qubit (GFQ) » en anglais). Le qubit qumon est conçu pour avoir les caractéristiques d'un oscillateur faiblement anharmonique, distinct des autres circuits tels que le quarton, le qubit de fluxonium ou le qubit de flux shunté capacitivement. En couplant ensemble un transmon et un qubit qumon, leurs deux anharmonicités se combinent, mais elles sont de signes opposés, donc elles s'annulent. Cette annulation entraîne la suppression et la réduction de l'interaction ZZ permanente et donc de la diaphonie ZZ. Sur la base de ce concept, nous pouvons concevoir une nouvelle architecture de processeur quantique supraconducteur avec des interactions ZZ résiduelles presque nulles, ce qui permettra à son tour des portes quantiques hautes-fidélités et des taux d'erreur plus faibles.

La figure 1 montre une architecture extensible dans laquelle les interactions ZZ peuvent être considérablement réduites. Les cercles bleus représentent les qubits transmon et les cercles rouges représentent les qubits qumon. En assemblant les deux qubits dans un réseau bipartite

2D de conception de qubits alternés, nous pouvons réaliser des portes hautes-fidélités dans une architecture quantique supraconductrice extensible.

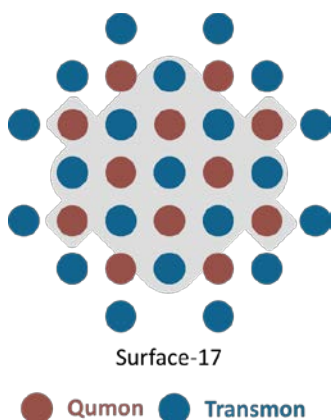


Figure 1. Architecture pour un processeur quantique supraconducteur à diaphonie nulle.
Source: Université de Sherbrooke et MIT.

Applications

- Le processeur quantique supraconducteur pour l'ordinateur quantique.
- Le marché de l'informatique quantique connaît une croissance importante, qui devrait passer de 866 millions de dollars américains en 2023 à plus de 4,4 milliards de dollars d'ici 2028, à un TCAC de 38 %.
- Les qubits supraconducteurs occupent la première place par type de processeur quantique et devraient atteindre 966 millions de dollars d'ici 2026.
- Entreprises ciblées – IBM, Google, Amazon, Microsoft, autres.

Avantages techniques

- Annulation de l'erreur ZZ indésirable avec de nouvelles conceptions de qubits – Transmon & Qumon.
- Architecture extensible – voir la figure 1.
- Appropriée pour une utilisation dans les processeurs quantiques à grande échelle utilisant des circuits supraconducteurs.
- Plus grande fidélité que les portes conventionnelles, avec des erreurs réduites.
- Interaction ZZ permanent (« always on ») réduite.
- Diminution du temps de la porte (pas besoin d'horaires d'impulsions d'écho ZZ).
- Plus grande interaction qubit-qubit.
- Permet un couplage capacitif direct.
- Dans notre méthode proposée, l'annulation de la diaphonie est intégrée dans la conception du qubit lui-même, réduisant ainsi la complexité du matériel sans aucun contrôle actif supplémentaire.
- Résistante aux déviations des paramètres du circuit, améliorant le rendement de fabrication du processeur.

Mots clés

- Porte de résonance croisée, diaphonie ZZ, interaction ZZ, erreur ZZ, qubit de flux, non-linéarité Kerr positive, circuit supraconducteur, anharmonicité positive et négative.

Maturité de la technologie (TRL)

- L'Université de Sherbrooke réalise les travaux théoriques et le MIT teste en laboratoire les dispositifs prototypes conçus. Un cycle théorique-expérimental s'ensuit alors.
- TRL 3-4 – Plusieurs prototypes ont été fabriqués et testés.

Propriété intellectuelle

- Brevet américain – US 11,615,336 B2.



200-35, Radisson
Sherbrooke QC J1L 1E2
CANADA

t 819 821-7961

Ce que nous recherchons

- Partenaires commerciaux
- Partenaires au développement
- Investissements
- Licences

Compagnies d'intérêt

- IBM, Google, Amazon, Microsoft, autres.

Chefs d'équipes de recherche

- Massachusetts Institute of Technology (MIT) – Le professeur William Oliver est le directeur du Center for Quantum Engineering au MIT. Pr. Oliver est un chef de file dans la conception, la fabrication et la mesure expérimentale de qubits supraconducteurs.
- Université de Sherbrooke – Le professeur Alexandre Blais est directeur scientifique de l'Institut Quantique de l'Université de Sherbrooke et chef de file dans l'étude théorique des circuits supraconducteurs quantiques.

Contact Inventeurs

Professeur Alexandre Blais

Alexandre.Blais@USherbrooke.ca

Contact TransferTech Sherbrooke

François Nadeau

f.nadeau@transfertechn.ca

873 339-2028

www.transfertechn.ca

Autres

Figure 1 – Fournie par l'Université de Sherbrooke et le MIT.

