

TP3 - Test différentiel de la pile Qiskit à l'aide de l'algorithme de Grover

Objectifs

- Comprendre les piles informatiques/logiciels quantiques.
- Comprendre les transformations de porte équivalentes et les mutations des circuits
- Apprendre à effectuer divers tests de piles logicielles quantiques.
- Apprendre à effectuer une analyse statistique des résultats d'exécution quantique.

Spécifications des questions

Résumé. Ce TP est basé sur l'approche QDiff¹ proposée par Wang et al. Vous devrez effectuer des tests différentiels pour la pile Qiskit d'IBM (langage et API, compilateur, simulateurs, ordinateurs quantiques). Utilisez une implémentation à 3 qubits de l'algorithme Grover comme programme de départ, comme indiqué ci-dessous. Vous pouvez réutiliser/adapter l'implémentation du circuit disponible sur le site internet Qiskit Textbook².

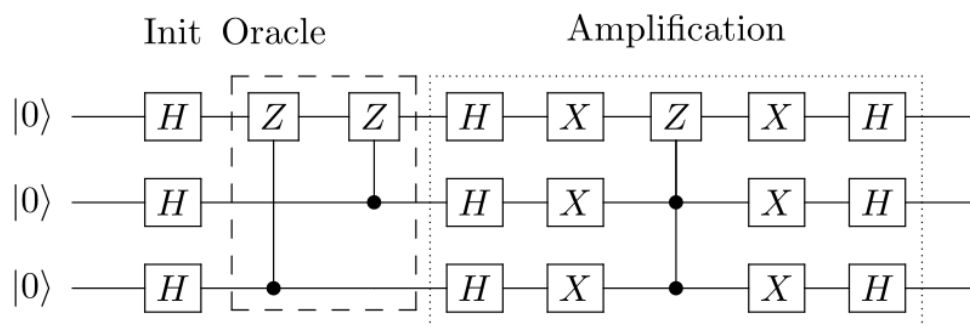


Figure 1. Une implémentation à 3-qubit de l'algorithme de Grover. L'oracle a deux "string" cibles: "101" and "110". Image credit: Qiskit Textbook.

Q1. Implémenter et tester l'algorithme de Grover de référence à 3 qubits [20]

Mettre en œuvre le circuit illustré à la figure 1. Tester le circuit sur un simulateur bruyant (ex.: le Qiskit FakeNairobi) et un véritable ordinateur quantique (ex.: ibm_nairobi).

- Visualisez le circuit.
- Rapportez et expliquez les résultats de vos tests.

¹ Wang, J., Zhang, Q., Xu, G. H., & Kim, M. (2021, November). **QDiff: Differential testing of quantum software stacks**. In 2021 36th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE) (pp. 692-704). IEEE.

² Implémentation à 3-Qubit de l'algorithme de Grover: <https://qiskit.org/textbook/ch-algorithms/grover.html#3.-Example:-3-Qubits->

Q2. Générer des mutations et des variants logiquement équivalents [40]

Générer plusieurs ensembles de circuits logiquement équivalents en suivant deux étapes : 1) générer au moins cinq mutations du circuit de départ à l'aide de mutants prédéfinis (insertion/suppression de porte, changement de porte, échange de porte, changement de qubit) ; 2) pour le circuit de départ et chaque mutation, générer au moins cinq versions équivalentes du circuit en utilisant des transformations de porte équivalentes.

Vous devriez avoir au moins 6 ensembles de circuits logiquement équivalents, ou au moins un total de $(1+5) * 5 = 30$ circuits.

Remarque : il est recommandé d'effectuer les étapes de façon automatiser³; cependant, il est acceptable de les effectuer manuellement (attention : prends du temps).

Rapport :

- Décrivez votre processus de génération des mutations et des variants équivalents.
- Expliquer les opérateurs de mutation appliqués et les règles de transformation de porte équivalentes.
- Résumez les mutations et variantes générées avec des exemples.

Q3. Testez la pile Qiskit en utilisant les variantes de circuit [40]

Exécutez chacune des variantes (au moins 30) à l'aide d'un simulateur bruyant et d'un véritable ordinateur quantique. Utilisez le test K-S pour comparer les résultats d'exécution de chaque variante avec la distribution de référence : la distribution de référence peut être soit les résultats moyens de toutes les variantes d'un ensemble équivalent, comme cela est fait dans QDiff, soit les résultats de la mutation d'origine utilisée pour générer les variantes équivalentes dans chaque ensemble équivalent. Vous pouvez soit utiliser la statistique/distance K-S ou la valeur p correspondante pour déterminer s'il existe une divergence entre les résultats d'exécution de chaque variante et la distribution de référence.

Note : il est recommandé d'automatiser l'exécution des différentes variantes; cependant, il est acceptable d'effectuer les exécutions manuellement (attention : chronophage).

- Décrivez vos processus d'exécution des variantes sur le simulateur bruyant et l'ordinateur quantique.
- Expliquer l'approche appliquée pour analyser les résultats.
- Présenter et discuter des résultats des tests et des analyses. Signalez les bogues et/ou les divergences (le cas échéant) et discutez de leurs causes potentielles. Si aucune divergence n'est identifiée, expérimentez avec différents seuils de distance KS (ou valeurs p) et discutez de la sensibilité de l'identification des divergences aux seuils.

³ Exemple d'implémentation de l'automatisation des mutations et des transformations des portes équivalents: <https://github.com/wjy99-c/QDiff/tree/master/mutation>

Livrable

Veillez soumettre un rapport PDF ne dépassant pas 12 pages. Le rapport doit contenir : 1) une table des matières ; 2) un résumé qui donne un aperçu clair ; 3) une introduction qui fournit le contexte et la motivation ; 4) une description de l'approche ; 5) rapport des résultats ; et 6) une conclusion qui résume les points clés du rapport. Les diagrammes et les tableaux doivent être clairs et avoir des légendes ; les diagrammes et les tableaux doivent être explicites ou expliqués dans le texte. Les références doivent être utilisées de manière appropriée si nécessaire. Le rapport doit être de haute qualité et être traité de manière professionnelle (supposons que vous le soumettiez aux dirigeants d'une entreprise).

Contribution de l'équipe: Le TP se fait en groupe. À la fin du rapport, fournissez une déclaration brève et honnête de la contribution de chaque membre de l'équipe.