

Les algorithmes quantiques Ou une théorie d'optimisation

Romain Blondel

Abstract

Les ordinateurs quantiques sont un sujet de recherche actuel pouvant révolutionner de nombreux domaines. Ce travail vise à offrir un aperçu global et intuitif des principes de cette nouvelle technologie. Dans ce but, il présente les concepts théoriques de physique quantique permettant de construire des algorithmes jusqu'aux implémentations matérielles envisagées actuellement. Le tout est illustré par de nombreux exemples testés sur des simulateurs ainsi que sur de véritables ordinateurs quantiques de chez IBM. De plus, une approche intuitive a été privilégiée pour offrir une compréhension plus profonde des mécanismes utilisés. Cela a permis également de soulever les limites des technologies quantiques et l'enjeu actuel de la recherche, ainsi que les solutions principales envisagées. Finalement, nous avons comparés les avantages et les inconvénients entre l'approche classique et celle quantique.

Problématique

Quels sont le fonctionnement et les applications concrètes d'un ordinateur quantique ?

Méthode

Pour acquérir une compréhension approfondie du domaine, divers articles scientifiques et cours ont été consultés. De plus, des algorithmes ont été implémentés en binaire, Python et C afin de fournir une base de comparaison pour les algorithmes présentés dans le paradigme quantique. Pour approfondir notre compréhension de la construction matérielle des ordinateurs quantiques, nous avons interviewé un professeur du laboratoire d'architecture quantique avancée de l'EPFL et assisté à plusieurs conférences. Du point de vue de l'algorithmie quantique, nous avons utilisé le module Qiskit d'IBM pour concevoir des circuits et les expérimenter sur des ordinateurs quantiques ou des simulateurs. Ces circuits ont été sélectionnés pour aborder différents concepts clés de cette technologie, notamment les avantages potentiels, les défis et les différentes pistes de solutions envisagées.

Résultats

Nos expérimentations ont révélé qu'avec seulement 2 qubits, les circuits présentent déjà une erreur de plus de 5% sur un ordinateur quantique accessible à tous. Pour des circuits plus complexes, les résultats deviennent pratiquement inexploitable sans un processus préalable de calibrage et d'optimisation, car l'erreur augmente avec le nombre d'opérations. La puissance théorique des ordinateurs quantiques est également manifeste, comme le montre le besoin d'une machine spécialisée pour simuler efficacement 34 qubits, une tâche trop exigeante pour un ordinateur conventionnel. De plus, nous avons réussi à mettre en œuvre une version de l'algorithme de Grover pour résoudre un sudoku 3x3 avec seulement 12 qubits.

Discussion

L'implémentation d'algorithmes quantiques a permis de saisir leurs avantages d'un point de vue théorique, parce qu'ils offrent une puissance de calcul "exponentielle" au nombre de qubits, ce qui les rend difficiles à simuler au-delà de quelques centaines de qubits. La construction d'ordinateurs quantiques exploitables permettrait donc de bénéficier de cette puissance dans de nombreuses applications, comme de la simulation de systèmes quantiques, de l'accélération de calculs, ou de nouvelles méthodes afin d'améliorer les intelligences artificielles. L'utilisation des ordinateurs quantiques est également envisagée dans beaucoup de cas comme une accélération d'un sous-processus se faisant sur un ordinateur classique. Les limitations de cette technologie se sont également présentées dans la réalisation du travail, que ce soit les problèmes d'erreur des machines concrètes, mais également parfois certains désavantages de l'utilisation de la physique quantique qui rend les résultats probabilistes. Nous avons également exploré différentes manières pour construire un ordinateur quantique, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Conclusions

Les ordinateurs quantiques s'appuient sur des concepts théoriques dont on ne saisit pas encore complètement la portée, que ce soit la puissance que cela offre, mais également ses limites. La recherche dans ce domaine est ainsi très active et prolifique, et en même temps la technologie quantique s'ouvre également à un public plus large par de nombreux vecteurs. Néanmoins, rare sont les sources donnant un aperçu global du sujet, autant du point de vue algorithmique que celui de la réalisation pratique d'une telle machine.