

Langage diagrammatique pour l'ordinateur quantique.

Sujet thèse 2018

Encadrement : Simon Perdrix (simon.perdrix@loria.fr), Emmanuel Jeandel (emmanuel.jeandel@loria.fr)

Lieu : Loria (équipe Mocqua), Nancy

Date début : Automne 2018.

Contexte

Le ZX-calculus [1] est un puissant langage graphique pour l'informatique quantique. Ce langage capture des notions quantiques fondamentales comme l'intrication, la complémentarité, la causalité et comment elles interagissent. Un défi majeur dans le développement du ZX-calculus est d'en faire un langage intermédiaire entre langages de haut niveau et cibles spécifiques. Des langages quantiques de haut niveau, comme Quipper [2] ou Liqui|⟩ [5], peuvent être utilisés pour programmer l'ordinateur quantique, des bibliothèques d'algorithmes quantiques ont déjà été développées dans ces langages. Les cibles spécifiques, de bas-niveau, sont : (i) des propositions d'architecture pour l'ordinateur quantique s'appuyant sur des technologies variées ; (ii) des modèles de calcul quantique spécifiques comme le calcul par mesure; ou (iii) la simulation sur ordinateur classique. Le ZX-calculus est le bon niveau d'abstraction pour un langage intermédiaire, de plus il est muni d'une puissante théorie équationnelle [3] permettant de décider l'équivalence de programmes, ou de faire de l'optimisation de programme.

Objectifs

L'utilisation de diagrammes du ZX-calculus comme langage intermédiaire nécessite le développement d'un nouveau langage de description de diagrammes, ne serait-ce que parce qu'un programme de haut niveau ne sera pas compilé vers un unique diagramme mais vers une famille de diagrammes paramétrée par la taille de l'entrée.

- En s'appuyant sur les résultats récents sur des langages de programmation pour circuits quantiques et diagrammes de cordes [4, 6, 7], l'objectif sera de proposer un langage de programmation permettant la description des diagrammes du ZX-calculus. La gestion du contrôle classique issue des mesures quantiques sera un verrou théorique important.
- Proposer une axiomatisation catégorique de la notion de contrôle de diagramme du ZX-calculus : étant donné un diagramme $D : n \rightarrow m$, définir un diagramme $D' : n + 1 \rightarrow m + 1$ agissant sur un qubit supplémentaire tel que si ce qubit est dans l'état $|1\rangle$ (resp. $|0\rangle$), D' agit comme D (resp. l'identité) sur les autres qubits. Un tel contrôle est un outil puissant pour la description de diagrammes. L'objectif sera notamment de caractériser les catégories admettant un contrôle.
- Enfin, l'objectif sera aussi de tenir compte des contraintes liées à une implémentation sur des architectures concrètes d'ordinateurs quantiques. Il s'agira ici de proposer des transformations de diagrammes ou des formalismes spécifiques permettant de tenir compte de contraintes d'implémentation : mémoire de taille bornée, contraintes topologiques sur la mémoire, ou jeu d'opérations quantiques spécifiques.

References

- [1] B. Coecke, R. Duncan. Interacting quantum observables: categorical algebra and diagrammatics. *New Journal of Physics*, 13(4), 043016, 2011.
- [2] A. S. Green, P. L. Lumsdaine, N. J. Ross, P. Selinger, B. Valiron. Quipper: a scalable quantum programming language. In *ACM SIGPLAN Notices* (Vol. 48, No. 6, pp. 333-342). ACM, 2013.

- [3] E. Jeandel, S. Perdrix, R. Vilmart. A Complete Axiomatisation of the ZX-Calculus for Clifford+ T Quantum Mechanics. LICS'18 (arXiv:1705.11151), 2018.
- [4] Bert Lindenhovius, Michael Mislove and Vladimir Zamdzhiev. Enriching a Linear/Non-linear Lambda Calculus: A Programming Language for String Diagrams. LICS'18 (arXiv:1804.09822), 2018.
- [5] <http://stationq.github.io/Liquid/>
- [6] F. Rios, P. Selinger. A categorical model for a quantum circuit description language. QPL'17(arXiv:1706.02630), 2017.
- [7] Classical control and quantum circuits in enriched category theory. MFPS'17 (arXiv:1711.05159), 2017.