

## Parallélisme quantique pour le traitement d'images

Nicolas GILLARD, Étienne BELIN, François CHAPEAU-BLONDEAU

Laboratoire Angevin de Recherche en Ingénierie des Systèmes (LARIS),  
Université d'Angers, 62 avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers, France.

nicolas.gillard@univ-angers.fr etienne.belin@univ-angers.fr chapeau@univ-angers.fr

Pour une image numérique standard  $I(x, y)$  à  $N$  pixels, une représentation quantique est possible où chaque bit classique avec ses deux états 0 et 1 est remplacé par un qubit à deux états quantiques de base notés  $|0\rangle$  et  $|1\rangle$ . À partir d'une telle représentation quantique, on peut envisager des algorithmes de traitement d'images qui offrent des possibilités inaccessibles en classique. Dans le cadre des JIONC, précédemment [1, 2] nous nous sommes focalisés sur les apports d'une ressource quantique spécifique – l'intrication [3]. Dans cette communication, nous montrons maintenant l'apport pour le traitement d'images, d'une autre ressource quantique spécifique – le parallélisme.

La physique quantique autorise une propriété de superposition, où chaque qubit peut être placé dans un état superposé de la forme  $\alpha_0 |0\rangle + \alpha_1 |1\rangle$ , qui autorise en quelque sorte le qubit à être simultanément dans l'état  $|0\rangle$  et dans l'état  $|1\rangle$ . Pour l'image  $I(x, y)$  considérée plus haut, ceci permet une représentation par un unique registre, qui va contenir dans une superposition quantique cohérente, l'ensemble des intensités  $I(x, y)$  associées à l'ensemble des  $N$  pixels repérés par leurs adresses  $(x, y)$ . Ceci peut être accompli au moyen d'un état quantique superposé de la forme  $|\psi\rangle = N^{-1/2} \sum_x \sum_y |x, y\rangle |I(x, y)\rangle$ , qui caractérise un registre comprenant  $N_x + N_y + L$  qubits, quand les adresses  $x$  et  $y$  se codent respectivement sur  $N_x$  et  $N_y$  bits et les intensités sur  $L$  bits. Ainsi, une image de  $2^{10} \times 2^{10}$  pixels avec des intensités sur  $L = 8$  bits requiert un total de  $2^{20} \approx 10^6$  registre-pixels de 8 bits pour sa représentation classique (non superposée), alors que sa représentation quantique par l'état  $|\psi\rangle$  superposé requiert un unique registre-pixel de 28 qubits. On note qu'en classique le codage des adresses des pixels est habituellement implicite, alors qu'il devient explicite en quantique pour former une superposition cohérente. En traitant un état superposé comme  $|\psi\rangle$  on a la faculté de traiter simultanément l'ensemble des  $N$  pixels en superposition. Ce type de parallélisme autorisé en quantique présente de grandes potentialités pour le traitement d'images, qui demeurent malgré tout encore largement à explorer. On doit toutefois intégrer des contraintes inhérentes au quantique, comme des évolutions limitées à des opérateurs unitaires sur les vecteurs d'état tel  $|\psi\rangle$ , ou des mesures pour collecter les résultats de traitement sous forme de projection d'un vecteur d'état dans une base orthonormée. Pour illustration, nous exposons dans cette communication une exploitation du parallélisme quantique pour une tâche d'appariement d'images (*reference matching*).

Nous considérons des images binaires de  $N$  pixels, où en chaque pixel l'intensité  $I(x, y)$  est représentée par  $-1$  ou  $1$ . On utilise une notion standard de produit scalaire (euclidien) entre deux telles images  $I_1(x, y)$  et  $I_2(x, y)$ , défini comme  $I_1 \cdot I_2 = N^{-1} \sum_x \sum_y I_1(x, y) I_2(x, y)$ . Deux images  $I_1(x, y)$  et  $I_2(x, y)$  sont dites similaires quand  $I_1 \cdot I_2 = \pm 1$ , c'est-à-dire que  $I_2(x, y)$  est identique à  $I_1(x, y)$  ou bien  $I_2(x, y)$  est l'inversion binaire de  $I_1(x, y)$ . Deux images  $I_1(x, y)$  et  $I_2(x, y)$  sont orthogonales (maximalement dissemblables) quand  $I_1 \cdot I_2 = 0$ . On se donne alors une image référence  $I_R(x, y)$ . Une image requête  $I_Q(x, y)$  (*query*) est présentée, et l'on doit décider entre les deux hypothèses suivantes : soit l'image requête  $I_Q(x, y)$  est similaire à l'image de référence  $I_R(x, y)$ ; soit l'image requête  $I_Q(x, y)$  est orthogonale à l'image de référence  $I_R(x, y)$ . Classiquement, une telle tâche d'appariement d'images nécessite de traiter l'ensemble des  $N$  pixels, typiquement en calculant le produit scalaire des deux images, et présente donc une complexité algorithmique au moins de l'ordre  $O(N)$ . En quantique, nous élaborons et décrivons un algorithme qui réalise cette tâche d'appariement d'images avec une moindre complexité  $O(1)$  constante, quel que soit le nombre  $N$  de pixels des images à comparer. Ceci est obtenu grâce à une représentation par un état quantique superposé tel  $|\psi\rangle$ , sur lequel on opère en parallèle, permettant ainsi de traiter l'ensemble des pixels simultanément, comme s'il n'y en avait qu'un.

### RÉFÉRENCES

- [1] F. Chapeau-Blondeau, "Ressources quantiques et traitement numérique des images", *11èmes Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle*, Paris, France, 16–17 mars 2016.
- [2] N. Gillard, E. Belin, F. Chapeau-Blondeau, "L'intrication en imagerie quantique pour résister au bruit", *12èmes Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle*, Paris, France, 15–16 mars 2017.
- [3] F. Chapeau-Blondeau, E. Belin, "Quantum image coding with a reference-frame-independent scheme," *Quantum Information Processing*, vol. 15, pp. 2685–2700, 2016. ■