

Autour des diagrammes de décision quantiques

Malo Leroy

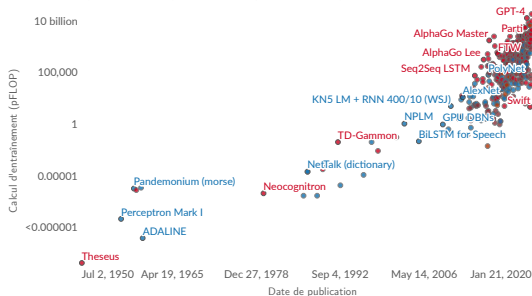
Parcours recherche – CentraleSupélec

27 mai 2024

Les besoins en puissance de calcul croissent rapidement

Calcul utilisé pour entraîner les systèmes d'intelligence artificielle

Our World in Data

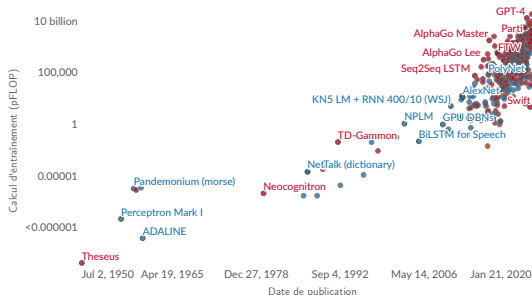


Les algorithmes classiques sont parfois inefficaces

Les besoins en puissance de calcul croissent rapidement

Calcul utilisé pour entraîner les systèmes d'intelligence artificielle

Our World in Data



Les algorithmes classiques sont parfois inefficaces
Les **algorithmes quantiques** permettent de résoudre
certains problèmes plus efficacement

Les machines quantiques sont en développement et resteront coûteuses



Il y a un besoin d'outils de développement et vérification d'algorithmes quantiques

Les machines quantiques sont en développement et resteront coûteuses



Il y a un besoin d'outils de développement et vérification d'algorithmes quantiques

Cela nécessite une **structure de données** adaptée

État de l'art

- Interprétation abstraite
- Arithmétique des intervalles réels
- Diagrammes de décision quantiques

État de l'art

- Interprétation abstraite
- Arithmétique des intervalles réels
- Diagrammes de décision quantiques

Solution : diagrammes additifs abstraits

L'**interprétation abstraite** permet de déterminer des propriétés ou d'accélérer des calculs

Exemple : signe d'une expression $e = (3 + 2) \times (-5)$

$$\begin{aligned}\text{signe}(e) &= (\text{signe}(3) + \text{signe}(2)) \times \text{signe}(-5) \\ &= (\oplus + \oplus) \times \ominus \\ &= \oplus \times \ominus \\ &= \ominus\end{aligned}$$

L'interprétation abstraite permet de déterminer des propriétés ou d'**accélérer des calculs**

Elle peut être exacte ou **approximative**

L'interprétation abstraite est applicable aux **intervalles réels**

$$[1,2] * [-1,1] = [-2,2]$$

$$[1,2] + [-1,1] = [0,3]$$

$$[1,2] \wedge [-1,1] = [1,1]$$

Le résultat de l'opération est **le plus petit intervalle** contenant tous les résultats élément par élément

Une fonction booléenne

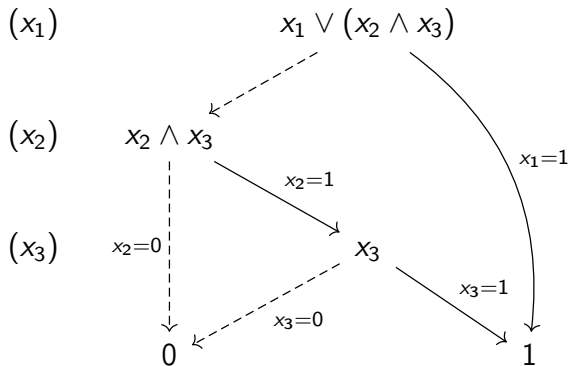
$$f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}$$

peut être représentée par une **table de vérité**

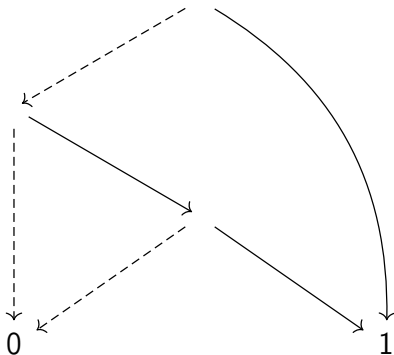
x_1	x_2	x_3	$f(x_1, x_2)$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$\text{for } f(x_1, x_2) = x_1 \vee (x_2 \wedge x_3)$$

Les **diagrammes de décision** permettent de représenter des fonctions booléennes



Les **diagrammes de décision** permettent de représenter des fonctions booléennes



On tire parti de la **structure** de la fonction

Un **état quantique** est une superposition d'états incompatibles

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad (\text{un qubit})$$

Un **état quantique** est une superposition d'états incompatibles

$$|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle \quad (\text{un qubit})$$

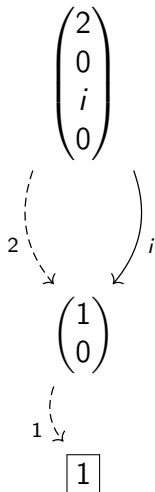
n qubits $\Rightarrow 2^n$ états incompatibles

On note les états sous forme de **vecteurs**

$$x |01\rangle + y |11\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ x \\ 0 \\ y \end{pmatrix}$$

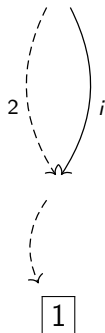
Les états peuvent être représentés par des **diagrammes de décision quantiques**

On tire parti de la **structure** de l'état



Les états peuvent être représentés par des **diagrammes de décision quantiques**

Dans le pire cela reste **exponentiel**



Retour sur l'état de l'art

- ✓ Interprétation abstraite
- ✓ Arithmétique des intervalles réels
- ✓ Diagrammes de décision quantiques

On va utiliser ces concepts ensemble,
avec une nouveauté : l'**additivité**



Retour sur l'état de l'art

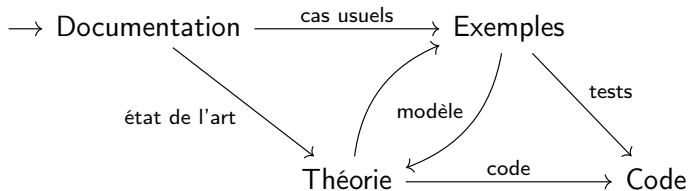
- ✓ Interprétation abstraite
- ✓ Arithmétique des intervalles réels
- ✓ Diagrammes de décision quantiques
- + Nouveauté : additivité

Solution : diagrammes additifs abstraits

Objectifs

- **Modèle formel** de diagrammes de décision additifs abstraits
- **Implémentation** du modèle

Méthodologie



Modèle

- ✓ Intervalles de \mathbb{C} cartésiens & polaires
- ✓ Diagrammes
- ✓ Approximation locale, globale
- ✓ Fusion forcée
- ✓ Algorithmes de réduction

(Ici, exemple d'un diagramme
abstrait additif)

(Ici, réduction du précédent diagramme)

Implémentation

- ✓ Intervalles de \mathbb{C} cartésiens & polaires
- ✓ Diagrammes : construction, évaluation
- ✓ Diagrammes aléatoires
- ✓ Fusion forcée
- ~ Algorithmes de réduction

Le gain en taille est arbitrairement grand.

Suite du projet

- **Ajustements**

- Fonctions d'erreur
- Algorithmes de réduction

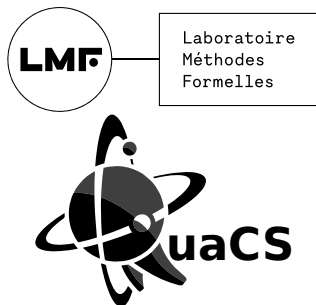
- Nouveaux concepts

- Automates d'arbres
- Diagrammes de décisions et applications localement inversibles (LIMDD)

Cadre du projet

Formation future

- **Encadrant** : Renaud Vilmart
- **Équipe** : QuaCS
- **Laboratoire** : Laboratoire
Méthodes Formelles



Continuer la formation en **informatique théorique**

Électifs

- Génie logiciel orienté objet
- Informatique théorique
- Calcul haute performance
- Modèles et sys. pour la gestion de données

Complément scientifique : métaheuristiques

S8 envisagés

- Digital Tech Year
- S8 à CentraleSupélec
 - Continuité du projet
- Mobilité internationale

Dominantes / mentions

- **Informatique et numérique**

- Sciences du logiciel
- Architecture des systèmes informatiques

- **Physique et nanotechnologies**

- Quantum engineering

Conclusion

Questions

Complément sur les césures

■ Digital Tech Year

- Semestre au Paris Digital Lab
- Semestre en entreprise à l'international

■ Stage

- Entreprise
- Laboratoire
- France ou à international

■ Stage en laboratoire

- En France ou à l'international

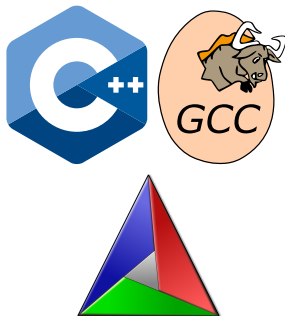
Implémentation (2,2k lignes de code)

- **Code**

- Langage C++
- GNU C Compiler
- CMake

- **Tests**

- Google Test
- GitHub Actions



Mise en forme

- **Versionnage**

- Git
- GitHub

- **Documentation**

Doxygen

