

Projet de doctorat : Autogénération matérielle de solutions de correction d'erreurs

Informations générales

- Domaine de recherche :** Conception de circuits numériques, autogénération matérielle, codes correcteurs d'erreurs, et conception de compilateurs
- Directeur/directrice :** Prof. Pascal Giard <pascal.giard@etsmtl.ca>
- Établissement :** École de technologie supérieure, Montréal, Québec, Canada
- Date de début :** Hiver 2027 ou dès que possible

Contexte

Les codes correcteurs d'erreurs sont essentiels aux systèmes modernes de communication et de stockage, et son implémentation matérielle, en particulier le décodeur, constitue souvent le composant le plus gourmand en ressources des récepteurs. Bien que les outils de synthèse de haut niveau (HLS) puissent générer automatiquement du matériel à partir de descriptions de haut niveau, ils produisent souvent des conceptions moins optimisées que celles réalisées à la main. L'autogénération matérielle spécifique au domaine s'est avérée une approche plus efficace pour produire des circuits performants et hautement optimisés.

Les travaux existants sur la génération de circuits pour la correction d'erreurs restent limités en portée : chacun ne prend en charge qu'une seule famille de codes (p. ex. les codes polaires ou les codes LDPC) et aucun n'intègre d'optimiseur d'exploration de l'espace de conception (DSE). Le développement d'un cadriciel ouvert de génération matérielle spécifique au domaine, couvrant plusieurs familles de codes correcteurs d'erreurs et s'intégrant à un DSE, constitue un défi de recherche ouvert et à fort impact.

Ce projet s'inscrit dans un programme de recherche Découverte du CRSNG dont l'objectif à long terme est de créer un écosystème ouvert pour l'exploration de l'espace de conception de solutions de correction d'erreurs, permettant le choix éclairé d'un code ainsi que de l'algorithme de décodage et de l'architecture matérielle, jusqu'à l'autogénération des circuits associés. De plus, ce programme implique des collaborations avec le prof. François Leduc-Primeau (Polytechnique Montréal), le prof. Camille Leroux (Bordeaux INP, France) et le prof. Stefan Weithoffer (IMT Atlantique, France). Selon l'orientation de la recherche et les intérêts de l'étudiant-e, des possibilités de codirection, de collaboration étroite ou de séjours de recherche à l'international peuvent être offertes.

Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est d'étudier, de concevoir, et de développer des capacités d'autogénération matérielle spécifiques au domaine pour les décodeurs de codes correcteurs d'erreurs, intégrées au sein d'un cadriciel de DSE. Plus spécifiquement, le projet vise à :

- Enrichir les représentation intermédiaires (IRs) spécifiques au domaine afin de capturer les détails propres au matériel, incluant l'assignation des tâches, les dépendances, le flux de données et les descriptions d'architecture, permettant une synthèse matérielle précise.
- Explorer des méthodes pour intégrer des annotations dans les IRs afin de spécifier les contraintes matérielles et les paramètres d'ordonnancement guidant la génération matérielle.
- Développer des algorithmes pour traduire les IRs en architectures matérielles complètes spécifiques au domaine, englobant les unités de traitement, les interconnexions et la logique de contrôle.
- Étudier des méthodes pour assigner les tâches à des composants matériels et générer les interconnexions à partir des dépendances de données, y compris les techniques pour chemins de données parallèles et exécution concurrente.
- Rechercher la génération automatique d'unités de contrôle, les stratégies de partage de ressources, et les techniques d'optimisation telles que déroulement de boucles et *pipelining* afin d'améliorer l'efficacité des circuits.
- Développer la génération automatisée de bancs d'essai pour valider le matériel par simulation.

Contributions attendues

En plus de la thèse de doctorat, le projet devrait donner lieu à de multiples contributions significatives diffusées dans des publications évaluées par les pairs. De plus, voici des exemples de contributions techniques potentielles liées à ce projet :

- Des IRs orientées matériel capturant les détails de l'architecture pour plusieurs familles de codes.
- Un compilateur spécifique au domaine capable de traduire les IRs en descriptions matérielles synthétisables.

- Des techniques d’optimisation intégrées au processus de génération, p. ex. le partage de ressources ou le *pipelining*.
- La génération automatisée de bancs d’essai pour la validation par simulation du matériel généré.

Profil recherché

- Étudiant·e en génie électrique, génie informatique ou dans un domaine étroitement lié.
- Solide formation en conception de circuits numériques, de préférence pour les FPGA ou les ASIC.
- Excellentes compétences en langages de description matérielle (VHDL et/ou Verilog).
- Excellentes compétences en programmation.
- Intérêt pour le codage correcteur d’erreurs et les algorithmes de décodage.

Les compétences suivantes sont considérées comme des atouts :

- Expérience en autogénération matérielle ou en génération de code pour circuits numériques.
- Familiarité avec les codes correcteurs d’erreurs, p. ex. LDPC, polaires ou Turbo.
- Expérience en conception de compilateurs ou en représentations intermédiaires.
- Connaissance des techniques d’optimisation matérielle, p. ex. *pipelining* et partage de ressources.

Encadrement

L’encadrement sera assuré par le professeur Pascal Giard. M. Giard est professeur au Département de génie électrique de l’ÉTS. Ses recherches portent sur l’implémentation efficace de systèmes numériques, de la conception d’algorithmes à la réalisation logicielle et matérielle. Il possède une vaste expérience en codage (codes correcteurs d’erreurs), en conception d’architectures matérielles et en développement d’outils d’exploration de l’espace de conception.

La personne sélectionnée se joindra à une équipe d’étudiants-chercheurs aux cycles supérieurs travaillant sur des sujets étroitement liés.



Pascal Giard

Financement et durée

Le projet est financé pour une durée de quatre ans et comprend un soutien financier pour la bourse de l’étudiant·e ainsi que pour les dépenses liées à la recherche, y compris les déplacements vers des conférences internationales.

Lieu

L’ÉTS est située à Montréal, Québec, Canada. Souvent décrite comme un mélange attrayant de culture nord-américaine et européenne, Montréal est une ville sûre, multiculturelle, où il fait bon vivre et où le coût de la vie est abordable. C’est la ville la plus bilingue et trilingue d’Amérique du Nord. Plus de 50% des Montréalais parlent couramment l’anglais et le français, et plus de 20% d’entre eux parlent trois langues ou plus.

Depuis 2016, Montréal s’est constamment classée comme la meilleure ville étudiante d’Amérique du Nord selon Quacquerilli Symonds. Montréal est également reconnue pour sa qualité de vie. Proche à la fois d’une beauté rurale paisible et de pistes de ski passionnantes, cette ville dynamique offre des quartiers animés et de nombreux espaces verts. Situé au cœur de la ville, le campus de l’ÉTS est facilement accessible à vélo ou en transport en commun. Près de 1 100 étudiant·e·s vivent dans les résidences universitaires de l’école. Ces studios et appartements comprennent l’ameublement, le chauffage, l’électricité et l’accès illimité à Internet.

Depuis sa création, l’ÉTS poursuit une mission qui est profondément ancrée dans toutes ses activités : Répondre aux besoins du secteur industriel, qui a besoin d’ingénieures et ingénieurs possédant non seulement une bonne formation théorique, mais aussi des connaissances pratiques. Pour remplir cette mission, l’ÉTS entretient un partenariat unique avec le monde des affaires et de l’industrie, tant avec les petites que les grandes entreprises. Elle se distingue des autres universités québécoises par la formation appliquée qu’elle offre aux étudiantes et étudiants, ainsi que par ses activités de recherche menées par et pour les entreprises.

Intéressé·e ?

Les personnes intéressées sont invitées à soumettre leur CV, leurs relevés de notes, les coordonnées de références appropriées, ainsi qu’une brève lettre de motivation (une page maximum) décrivant en quoi leur parcours est pertinent pour ce projet.

Contact : Prof. Pascal Giard <pascal.giard@etsmtl.ca>

Date de début : Hiver 2027 ou dès que possible