

Progress Report and CSI Report – 2020-21

Administrative information

PhD student: Matthieu Nicolas

Current PhD year in 2020-21: 4A

Laboratory: Loria

Supervisor(s): Olivier Perrin et Gérald Oster

Title of the PhD thesis: (Ré)Identification efficace dans les types de données répliquées sans conflit (CRDTs)

Fundings for the PhD thesis: ATER

Members of the CSI:

- **scientific member:** Stephan Merz
- **auxiliary member:** Ye-Qiong Song

Progress report

Short description of the subject:

Afin d'assurer leur haute disponibilité, les systèmes distribués à large échelle se doivent de répliquer leurs données tout en minimisant les coordinations nécessaires entre noeuds. Pour concevoir de tels systèmes, la littérature et l'industrie adoptent de plus en plus l'utilisation de types de données répliquées sans conflits (CRDTs). Les CRDTs sont des types de données qui offrent des comportements similaires aux types existants, tel l'Ensemble ou la Séquence. Ils se distinguent cependant des types traditionnels par leur spécification, qui supporte nativement les modifications concurrentes. À cette fin, les CRDTs incorporent un mécanisme de résolution de conflits au sein de leur spécification.

Afin de résoudre les conflits de manière déterministe, les CRDTs associent généralement des identifiants aux éléments stockés au sein de la structure de données. Les identifiants doivent respecter un ensemble de contraintes en fonction du CRDT, telles que l'unicité ou l'appartenance à un ordre dense. Ces contraintes empêchent de borner la taille des identifiants. La taille des identifiants utilisés croît alors continuellement avec le nombre de modifications effectuées, aggravant le surcoût lié à l'utilisation des CRDTs par rapport aux structures de données traditionnelles. Le but de cette thèse est de proposer des solutions pour pallier ce problème.

Nous présentons dans cette thèse deux contributions visant à répondre à ce problème : (i) Un nouveau CRDT pour Séquence, *RenamableLogootSplit*, qui intègre un mécanisme de renommage à sa spécification. Ce mécanisme de renommage permet aux noeuds du système de réattribuer des identifiants de taille minimale aux éléments de la séquence. Cependant, cette première version requiert une coordination entre les noeuds pour effectuer un renommage. L'évaluation expérimentale montre que le mécanisme de renommage permet de réinitialiser à chaque renommage le surcoût lié à l'utilisation du CRDT. (ii) Une seconde version de *RenamableLogootSplit* conçue pour une utilisation dans un système distribué. Cette nouvelle version permet aux noeuds de déclencher un renommage sans coordination préalable.

Main results of the year:

Cette année, nous avons procédé à la validation de la seconde version de *RenamableLogootSplit* et plus particulièrement de son mécanisme de résolution de conflits pour les opérations de renommage concurrentes.

Pour fonctionner, ce mécanisme définit une relation d'ordre strict total sur les renommages. Cette relation d'ordre permet aux différents pairs de sélectionner un même renommage comme *renommage cible* sans nécessiter de coordination. De plus, chaque pair maintient localement l'arborescence des différents renommages dont il a connaissance. Grâce à cette arborescence, chaque pair peut déterminer quels renommages appliquer et lesquels ignorer pour atteindre son *renommage cible* courant. Si à la réception d'une nouvelle opération de renommage, un pair réalise qu'il a appliqué un ou plusieurs renommages n'appartenant pas au chemin vers le *renommage cible* courant, une fonction d'inversion du renommage lui permet d'annuler leurs effets.

Pour valider ce mécanisme de résolution de conflits, nous avons procédé à une évaluation expérimentale. Cette évaluation prend la forme de simulations qui reproduisent la rédaction d'un article par un ensemble de pairs. Au cours de ces simulations, nous forçons ponctuellement les pairs à générer des opérations de renommages concurrentes.

Ces simulations nous ont tout d'abord permis de confirmer que l'ensemble des pairs converge. Ce résultat nous a permis d'accroître la confiance que nous avons en la correction des fonctions

de renommage et d'inversion du renommage, à défaut d'en proposer une preuve formelle. Nous avons ensuite utilisé les traces issues de ces simulations pour évaluer les performances du mécanisme de résolution de conflits. Les fonctions de renommage et d'inversion du renommage utilisées pour gérer les opérations d'insertion et de suppression concurrentes à une opération de renommage introduisent chacune un surcoût computationnel (respectivement 250 μ s et 100 μ s par renommage à appliquer/inverser). Ce surcoût est cependant contrebalancé par l'effet du renommage, qui optimise l'état de la structure de données. L'optimisation de l'état réduit le temps d'intégration de toutes les prochaines opérations (de 300 μ s). Ceci permet à RenamableLogootSplit d'offrir de meilleures performances que LogootSplit, tant que les pairs maintiennent une distance courte entre leur *renommage cible* courant.

Nous avons aussi évalué l'impact du nombre d'opérations de renommage concurrentes sur les performances de RenamableLogootSplit. Les résultats obtenus indiquent que chaque opération de renommage concurrente introduit un surcoût conséquent aussi bien en termes de métadonnées (2 Mo dans le cadre de nos simulations) que de calculs (600 ms à 2 s en fonction du nombre d'identifiants à renommer). Le surcoût en métadonnées n'est lui que temporaire. Une fois que l'ensemble des pairs a progressé suffisamment, les pairs peuvent supprimer les métadonnées associés aux renommages devenus obsolètes. Mais pour limiter le surcoût computationnel du mécanisme de renommage, il est nécessaire de minimiser le nombre d'opérations de renommage concurrentes émises.

Nous avons rédigé un article de journal (draft : <https://github.com/MatthieuNICOLAS/2021-application-tpds/blob/master/main.pdf>) décrivant l'ensemble de ces travaux et les résultats obtenus. Actuellement en cours de finalisation, nous allons soumettre cet article au journal IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (<https://dl.acm.org/journal/tpds>) ces prochains jours.

Plan for next year:

L'année sera consacrée à la rédaction du manuscrit de thèse. L'objectif est de terminer la rédaction du manuscrit début septembre 2021 pour défendre d'ici fin 2021.

Publications:

- [1] Matthieu Nicolas. Efficient renaming in CRDTs. In *Middleware 2018 - 19th ACM/IFIP International Middleware Conference (Doctoral Symposium)*, Rennes, France, December 2018.
- [2] Matthieu Nicolas, Gérald Oster, and Olivier Perrin. Efficient Renaming in Sequence CRDTs. In *7th Workshop on Principles and Practice of Consistency for Distributed Data (PaPoC'20)*, Heraklion, Greece, April 2020.

Project after the thesis: J'envisage actuellement soit de poursuivre une carrière dans l'académie en tant qu'enseigneur-chercheur, soit de m'orienter vers une carrière d'ingénieur R&D au sein de l'académie ou de l'industrie.

Scientific and professional modules validated:

Scientific modules

- Participation au module Réplication de données (M2 - Parcours SIS - Orientation SIRAV)

- Participation à l'école d'été SATIS 2018
- Participation à l'école d'été VTSA 2019

Professional modules

- Fi4 152 E Sauveteur Secouriste du Travail (SST)
- Fi4 162 C Formation à la communication orale et corporelle en milieu professionnel
- Fi4 282 Outils numériques pour la pédagogie (plateforme Arche, studio professeur)
- Fi4 305 Culture de l'intégrité scientifique
- PA1.1 MDD 14 - Eléments d'innovations pédagogiques

Date and signature of the PhD student 04 juin 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'A' with a horizontal line through it and a small flourish at the end.

Opinion of the supervisors *(to be filled by the supervisors)*

Opinion on this progress report:

À l'issue de son travail de l'an passé, Matthieu a, cette année, concentré ses efforts sur la validation de RenamableLogootSplit en cas d'opérations concurrentes, et en étudiant la meilleure stratégie de déclenchement en fonction du contexte de la collaboration. La solution proposée a été expérimentalement validée grâce à un important travail de simulation reproduisant une utilisation intensive. Les résultats obtenus nous poussent à penser que l'approche est correcte (tous les pairs convergent, en optimisant à la fois le temps d'intégration des opérations et la mémoire nécessaire). Matthieu a désormais terminé ses travaux, et il vient d'achever un article de journal décrivant ces derniers, que nous allons envoyer à IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems rapidement. La fin d'année universitaire va être entièrement dédiée à la rédaction du manuscrit (dont la base est l'article de journal et l'article de PaPoC). Matthieu bénéficie d'un poste d'ATER, et nous fixons une soutenance avant la fin d'année.

Agreement for an additional year? Oui

Date of the defense: Fin d'année 2021

Date and signature of the PhD supervisors 07 juin 2021



O. Perrin



G. OSTER

Report of the Comité de Suivi Individuel

Is the student confident with the PhD progression?

L'année passée a été consacrée à l'élaboration d'une version de l'algorithme RenamableLogoot-Split permettant des opérations concurrentes de renommage, à son implémentation au sein de la plate-forme MUTE de l'équipe et à la validation de la correction et des performances de cet algorithme. Un article de journal a été préparé et est sur le point d'être envoyé à un très bon journal du domaine.

Il «ne reste donc qu'à» rédiger, l'objectif étant de préparer une version quasi-finale avant la rentrée universitaire 2021. Matthieu est conscient que cette rédaction va demander un effort conséquent mais qu'une soutenance avant la fin de l'année civile 2021 est fortement souhaitable.

Is the professional project sound?

Après un poste de demi-ATER cette année, Matthieu a obtenu un poste d'ATER à temps complet pour l'année universitaire à venir. Ce poste permettra de préparer la soutenance dans de bonnes conditions mais ne devra pas servir de prétexte pour la repousser. Matthieu étant pessimiste sur ses chances à pouvoir faire carrière dans l'enseignement supérieur et la recherche publique, il oriente son projet professionnel plutôt vers un poste dans l'industrie.

Conclusion: Une nouvelle inscription en thèse ne devrait pas être nécessaire.

Date: Nancy, le 9 juin 2021

Signatures:

PhD student



Two members of the CSI