

Prise en compte des aspects temporels dans une approche structurée et correcte par construction de synthèse de système soumis à des exigences hétérogènes

1 Contexte

La conception de systèmes techniques, qu'ils soient physiques (mécanique, électronique, électriques), à dominante logicielle (systèmes embarqués) ou mixtes (systèmes dits cyber-physiques), est une activité de plus en plus complexe du fait de la richesse des architectures et de l'hétérogénéité des exigences du cahier des charges. La vision classique de l'activité de conception consiste, pour l'architecte, à exprimer une ou plusieurs solutions candidates puis à les évaluer au regard des exigences en vérifiant à posteriori leur validité. Dans ce paradigme on modélise donc en extension un ou plusieurs systèmes candidats à l'aide d'un langage de modélisation de systèmes ou d'architecture puis on évalue la validité de ces propositions. Il s'agit d'une démarche itérative dont la partie validation peut éventuellement être automatisée. Cependant, la partie conception reste toujours manuelle. Une autre manière plus récente de considérer l'activité de conception est de représenter le problème de conception de manière déclarative en exprimant les exigences sous la forme de propriétés à satisfaire portant sur un système sous-défini (possédant des degrés de liberté structurels et comportementaux) puis de générer automatiquement une ou plusieurs solutions au problème. Ces solutions sont dites correctes par construction car satisfaisant nécessairement les exigences formalisées. Cette approche "en intension" permet de synthétiser automatiquement des architectures de systèmes. C'est dans ce dernier cadre que se situent les travaux de cette thèse en proposant d'enrichir un formalisme existant (le langage DEPS) et les outils de résolution associés par la prise en compte de la satisfaction de propriétés temporelles. DEPS¹ est un langage formel, textuel, déclaratif et à base de propriétés conçu pour la modélisation de problème de synthèse de systèmes en vue de leur résolution par la machine. Il est associé à l'IDE DEPS Studio pour la modélisation et la résolution automatique de problèmes modélisés en DEPS [7]. Le langage DEPS est capable d'exprimer des variables dans des domaines de valeurs hétérogènes

¹<https://www.depslink.com>

ainsi qu'un large spectre de propriétés à satisfaire (équations, inéquations, contraintes spécialisées, ...) encapsulées dans des modèles. Il permet également de capturer et de conserver la structure du problème à résoudre. Ainsi, des relations de composition, d'agrégation et de spécialisation peuvent-être posées entre modèles. La résolution du problème sous DEPS Studio s'effectue en mettant en oeuvre des techniques de programmation par contraintes en domaines mixtes (intervalles continus, discrets, énumérés réels et entiers, pseudo-booléen). Exprimer et résoudre un problème de synthèse des caractéristiques structurelles d'un système tel que par exemple un drone (caractéristiques de la batterie, choix des moteurs, dimensions de la structure des bras, ...) est assez naturel en DEPS. Synthétiser un système de systèmes, comme par exemple produire une architecture correcte par construction d'un essaim de drones hétérogène répondant à un cahier des charges avec des restrictions sur l'ensemble des composants utilisés est également envisageable. En revanche, prendre en compte les contraintes temporelles associées aux exigences de planification de ces drones est beaucoup moins naturel en DEPS. Des travaux récents montrent qu'il est possible de le faire dans le cadre de la synthèse de contrôleur logique, en utilisant des astuces de formulation du problème de synthèse du contrôleur sous certaines restrictions ([6]). Le sujet de thèse s'intéresse donc à l'intégration d'une représentation du temps dans DEPS ainsi qu'à l'expression de contraintes associées, compatibles avec les structures du langage et à leur mise en oeuvre à l'aide de la programmation par contraintes.

2 Objectifs de la thèse

La thèse s'articulera autour de deux axes principaux :

- Intégrer dans le langage DEPS des traits permettant d'exprimer des propriétés temporelles et temporisées à satisfaire pour un système sous-défini (défini en intention). Un état de l'art fouillé de la littérature scientifique, examinant les capacités de représentation offertes par les intervalles de Hallen ([4]) les formules logiques temporelles([3], [5]), les (ω) -automates([5]), les automates temporisées([1], [2]) ainsi que par les autres formalismes de représentation du temps sera réalisé. Cela permettra de faire émerger des traits de langage à intégrer dans DEPS et de modéliser ainsi des problèmes intégrant des exigences temporelles en sus des exigences déjà représentables dans un formalisme unifié.
- Mettre en place des méthodes de résolution basées sur la programmation par contraintes (contraintes globales par exemple) pour intégrer la prise en compte des traits temporels ci-dessus, en sus et en cohérence avec les contraintes et les méthodes de propagation déjà existantes dans DEPS Studio et dans le corpus scientifique de la programmation par contraintes.

Les travaux de thèse seront appliqués sur des cas d'études liés à la configuration, au dimensionnement et au déploiement de flottes de drones hétérogènes,

relativement à une mission donnée.

3 Encadrement des travaux de thèse

La thèse s'effectuera dans le cadre de la chaire Architecture des Systèmes Complexes (ASC) de l'IP Paris² à Télécom SudParis, en collaboration avec l'ISAE-Supméca et Dassault Aviation. L'encadrement scientifique sera assuré par Philipp Schlehuber-Caissier, Maître de conférences à Telecom Sud Paris et Pierre-Alain Yvars, Professeur à ISAE-Supmeca. L'accompagnement industriel sera réalisé par Laurent Zimmer, Ingénieur de recherche à Dassault Aviation.

4 Profil souhaité

Diplôme d'Ingénieur et/ou Master de recherche français ou européen avec une forte coloration informatique ou Recherche Opérationnelle.

La personne recrutée devra disposer des compétences suivantes :

- Modélisation et résolution de problème;
- Programmation par contraintes;
- Développement informatique (C++, Java, etc.).

De plus, des connaissances en logique et dans les formalismes d'automates seront appréciées.

Un bon niveau en anglais écrit ainsi que des capacités à travailler en équipe sont attendus. De plus, le/la candidat.e devra être motivé.e par l'aspect applicatif.

Le dossier de candidature devra comporter :

- Un CV;
- Une lettre de motivation;
- Le relevé détaillé des notes des deux dernières années de formation;
- Les éventuelles lettres de recommandation.

Les candidatures sont à adresser par email à Philipp Schlehuber-Caissier³ et à Pierre-Alain Yvars⁴.

²<https://www.ip-paris.fr/recherche/chaires/asc>

³philipp.schlehuber-caissier@telecom-sudparis.eu

⁴pierre-alain.yvars@isae-supmeca.fr

References

- [1] Rajeev Alur and David L Dill. A theory of timed automata. *Theoretical computer science*, 126(2):183–235, 1994.
- [2] Patricia Bouyer. Model-checking timed temporal logics. *Electronic notes in theoretical computer science*, 231:323–341, 2009.
- [3] J. Richard Büchi and Lawrence H. Landweber. Solving Sequential Conditions by Finite-State Strategies. *Transactions of the American Mathematical Society*, 138:295, April 1969.
- [4] Hallen James F. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communications of the ACM*, pages 832–843, November 1983.
- [5] Florian Renkin, Philipp Schlehuber-Caissier, Alexandre Duret-Lutz, and Adrien Pommellet. Dissecting ltlsynt. *Formal Methods Syst. Des.*, 61(2):248–289, 2022.
- [6] Mathieu Roisin, Pierre-Alain Yvars, and Bernard Riera. Constraint Programming for Logic controller Synthesis. In *2024 10th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)*, pages 1843–1848, Vallette, Malta, July 2024. IEEE.
- [7] Pierre-Alain Yvars and Laurent Zimmer. Deps: A model- and property-based language for system synthesis problems. *Software and Systems Modeling*, 23:973–1002, 2024.