

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 05



Publication

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Handling causality and schedulability when designing and prototyping cyber-physical systems [1]

URL de l'élément : <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03159402>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

La détection des problèmes de causalité entre les parties numériques et analogiques d'un modèle SystemC/SystemC AMS destiné à la simulation conjointe, directement à partir d'une représentation haut niveau (SysML) et avant même la génération de code est une avancée importante dans le domaine de prototypage virtuel des systèmes cyber-physiques. De plus, notre approche permet de gérer des situations ne pouvant à cette date être gérées par d'autres approches. L'algorithme a été intégré à un logiciel libre et élargit significativement le domaine d'application de celui-ci.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

La conception des systèmes cyber-physiques, trouvant leur application par exemple en robotique, dans les domaines médicaux et des transports, doit se baser sur une combinaison de techniques de modélisation et de simulation de domaines différents.

Notre travail a ses racines dans une collaboration entre les équipes ALSOC et CIAN du LIP6 d'une part (projets BeyondDreams et HInception dans les années 2010), et la collaboration de membres d'ALSOC avec l'équipe LabSoC de Télécom Paris depuis dix ans. La première collaboration a permis d'obtenir des résultats sur l'analyse pré-simulation de systèmes mixtes analogiques-numériques ; la seconde constitue une contribution significative du LIP6 à un logiciel libre de vérification et de prototypage virtuel de Télécom Paris. Le but ici est de développer un simulateur de systèmes complets et ainsi permettre à des applications embarquées de taille significative de fonctionner sur un modèle SystemC de multiprocesseur sur puce en forme de tâches Posix, supportées par un micro noyau.

SystemC AMS est un langage de description matérielle basé sur C++ qui permet de décrire et de simuler des systèmes mixtes analogiques/numériques. Il prédéfinit plusieurs modèles de calcul, dont le modèle de flot de données temporisées (TDF, *timed data flow*) et des systèmes à événements discrets.

Un système TDF est composé de clusters, qui contiennent à leur tour des modules. Les modules d'un cluster sont connectés entre eux via leurs ports par des signaux. Les modules TDF communiquent à travers des ports : un nombre fixe d'échantillons, appelé *rate*, sont pris à des intervalles prédéfinis, appelés *time steps*. Un cluster est considéré ordonnançable si un ordre d'exécution entre ses modules peut être établi afin que les time step et rate soient consistants.

Les modules TDF communiquent avec des modules à flot de données à travers des ports de conversion. Lors d'une simulation, la partie TDF avance donc à un rythme imposé, tandis que la partie à événement discret ne peut avancer que lorsqu'un port de conversion est accédé. Ceci entraîne des problèmes de synchronisation temporelle, appelés des problèmes de *causalité*. Nous avons combiné le simulateur de systèmes complets de TTool et basé sur SystemC avec le simulateur SystemC AMS.

Les problèmes de causalité sont habituellement détectés uniquement au moment de la simulation - s'ils ne passent pas inaperçus et causent de dysfonctionnements graves à l'exécution. La nouveauté de notre contribution est que toutes les parties du système à simuler, numériques et analogiques/mixtes peuvent être modélisées par des diagrammes SysML ; un ordonnancement consistant et la causalité temporelle sont ensuite déterminés avant même la génération de code à partir de ces diagrammes. De plus, l'outil permet la conception de logiciel embarqué vérifié et la simulation d'un système matériel/logiciel/system d'exploitation.

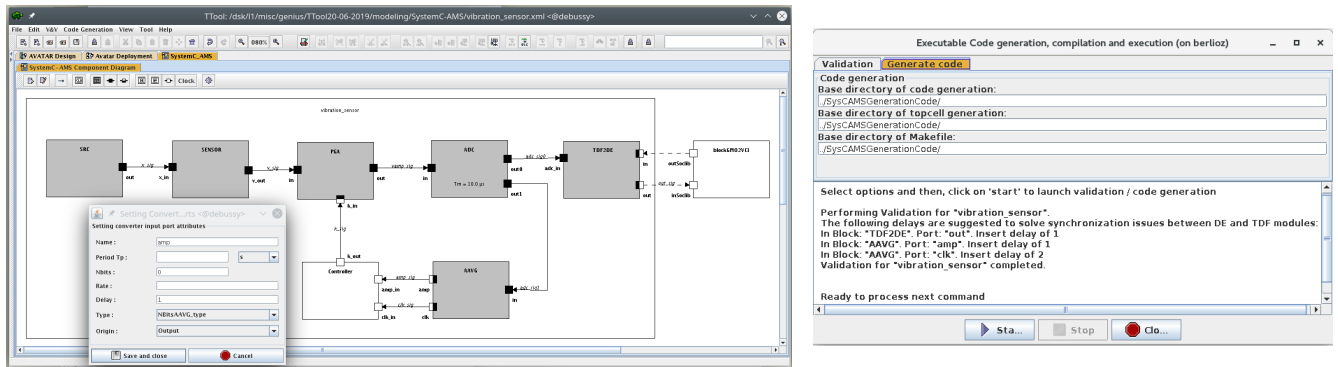


FIGURE 1 – Canevas SystemC AMS et insertion de délais

L'algorithme publié en [1] résout les problèmes de causalité en recalculant des ordonnancements des modules TDF de manière itérative en proposant des délais adaptés jusqu'à résolution de tous les problèmes de causalité. Il insère également des délais pour résoudre des problèmes de boucles de rétroaction.

L'algorithme a été intégré à un outil de prototypage virtuel et d'exploration de l'espace de conception existant TTool de Télécom Paris <https://ttool.telecom-paris.fr>. Le volet TTool-AMS contient plusieurs canevas destinés à la conception de plusieurs modèles de calcul utilisés en SystemC AMS, propose un ordonnancement consistant et respectant la causalité, puis génère du code SystemC pour la partie numérique, et du code SystemC AMS pour la partie analogique/mixte <https://www-soc.lip6.fr/trac/ttool-ams>.

La figure 1 montre à gauche la fenêtre de conception SystemC AMS et un canevas de conception TDF ; à droite on observe la validation de l'ordonnancement après l'insertion de délais. L'exemple choisi est un capteur de vibrations, contenant un contrôleur à événements discrets connecté à des modules TDF via des ports de conversion. On note la présence d'une boucle de rétroaction entre quatre modules. Le capteur est connecté à une plate-forme numérique contenant un micro-noyau et l'application logicielle. Ces derniers sont représentés sous la forme d'un bloc à événements discrets à droite de l'image. L'insertion de délais devient nécessaire dans les deux cas (Figure de droite).

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Cortés Porto, Rodrigo, Genius, Daniela, and Apvrille, Ludovic. Handling causality and schedulability when designing and prototyping cyber-physical systems. *Software and Systems Modeling*, pages 1–17, 2021.