



HAL
open science

Approche intégrée pour la modélisation et la simulation des systèmes à structure dynamique

Aya Attia, Clément Foucher, Luiz Fernando Lavado Villa

► **To cite this version:**

Aya Attia, Clément Foucher, Luiz Fernando Lavado Villa. Approche intégrée pour la modélisation et la simulation des systèmes à structure dynamique. Colloque National du GDR SoC2, Jun 2024, Toulouse, France. hal-04645089

HAL Id: hal-04645089

<https://hal.science/hal-04645089>

Submitted on 11 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approche intégrée pour la modélisation et la simulation des systèmes à structure dynamique

Aya Attia, Clément Foucher, Luiz Fernando Lavado Villa
LAAS-CNRS, Université de Toulouse, UPS, Toulouse, France
{aya.attia, clement.foucher, lflavado}@laas.fr

I. INTRODUCTION

La modélisation et la simulation des systèmes complexes représentent un défi majeur dans divers domaines. Ces systèmes présentent souvent des comportements dynamiques difficiles à décrire formellement. Pour relever ce défi, les chercheurs et les ingénieurs se tournent de plus en plus vers des outils de modélisation et de simulation avancés, notamment les formalismes et simulateurs basés sur les approches DEVS (Discrete Event System Specification), DTSS (Discrete Time System Specification) et DESS (Differential Equation System Specification).

Dans cet article, nous proposons un prototype basé sur ces formalismes pour représenter les évolutions des systèmes à structure dynamique. Un système à structure dynamique est un système où la structure et la composition varient au fil du temps. En combinant les approches d'équations différentielles, DTSS et DEVS, nous sommes en mesure de saisir à la fois les aspects discrets et continus de ces systèmes, ce qui offre une méthodologie efficace pour leur modélisation et leur simulation. Enfin, nous mettons en œuvre cette méthodologie pour analyser l'équilibre de puissance dans un réseau électrique, démontrant son utilité dans des applications concrètes.

II. FORMALISMES DE MODÉLISATION ET SIMULATEURS

Les formalismes DESS, DTSS et DEVS sont des outils puissants utilisés pour modéliser et simuler une grande variété de systèmes complexes [1].

Le formalisme DESS est utilisé pour modéliser les systèmes dynamiques continus, où les variations des variables d'état sont décrites par des équations différentielles. Cependant, la modélisation des systèmes à temps continu peut présenter des défis, d'où la nécessité fréquente de discrétiser le temps pour faciliter la modélisation. C'est là que le DTSS trouve son utilité.

Le formalisme DTSS découpe le temps en intervalles discrets et modélise les changements de l'état du système à chaque intervalle de temps. Cependant, cette approche peut entraîner un surplus de calcul. Dans ce contexte, DEVS intervient en offrant une approche plus efficace pour gérer les événements discrets et les transitions d'état.

Le formalisme DEVS se concentre sur la modélisation des systèmes à événements discrets, où les changements d'état du système sont déclenchés par des événements discrets.

La Figure 1 montre l'évolution du système avec les différents formalismes discutés ainsi que les transitions pour passer d'un formalisme à un autre.

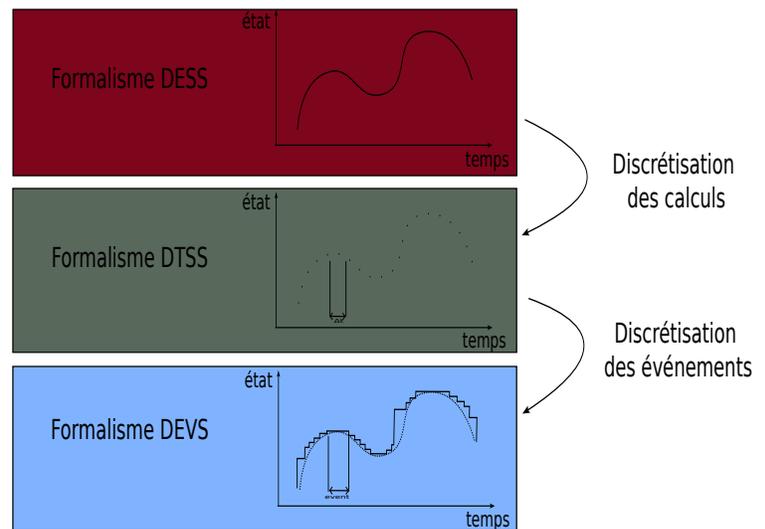


Fig. 1. Représentation hiérarchique des formalismes

Chaque formalisme de modélisation décrit précédemment est assorti d'une méthode de simulation spécifique qui permet de construire un simulateur dédié. Un simulateur représente un outil informatique utilisé pour exécuter les modèles des systèmes et générer des résultats simulés.

III. ARCHITECTURE DU PROTOTYPE DE SIMULATEUR

Dans cette section, nous exposons un prototype de simulateur composé de trois couches principales : une basée sur les équations différentielles, une autre sur le formalisme DTSS, et enfin une sur le formalisme DEVS. La Figure 1 montre une représentation en couches des formalismes utilisés.

- 1) **Couche d'équations différentielles :** au niveau de cette couche, les équations différentielles du système étudié sont modélisées. Ces équations décrivent les relations entre les différentes variables du système. Elles peuvent inclure des dérivées par rapport au temps ou d'autres variables liées au système, ce qui permet de capturer les variations continues des grandeurs physiques et des paramètres du système.
- 2) **Couche DTSS :** au sein de cette couche, les données continues provenant des autres couches sont discrétisées.

Ce processus implique l'échantillonnage de ces données à des intervalles de temps réguliers, ce qui les convertit en séries temporelles discrètes. Par la suite, cette couche produit des sorties adaptées pour être utilisées par les simulateurs DEVS.

- 3) **Couche DEVS** : la couche DEVS utilise les sorties discrètes du simulateur DTSS comme événements discrets. Ces événements discrets déclenchent les transitions entre les états des simulateurs DEVS, permettant ainsi la simulation du comportement global du système en fonction du temps discret.

Pour développer le prototype, nous avons utilisé le calcul symbolique [2] afin d'obtenir une représentation symbolique des équations utilisées. Cette approche nous permet de représenter de manière précise les variables, les paramètres et leurs relations en créant des équations décrivant le comportement des composants et leurs interactions. Les techniques de calcul symbolique garantissent la simplification des expressions, la résolution d'équations, la dérivation, l'intégration, entre autres opérations. Les équations symboliques ainsi obtenues jouent un rôle crucial dans la modélisation et la simulation des systèmes à structure dynamique.

Cette architecture offre une approche intégrée pour modéliser les changements structurels dynamiques dans les systèmes complexes. En capturant les équations qui décrivent les interactions entre les composants, nous pouvons représenter ces changements à chaque pas de simulation. Les modifications de ces équations au cours de la simulation reflètent les évolutions du système au fil du temps simulé, permettant ainsi une représentation fluide des comportements individuels et des interactions dynamiques. Cette approche nous permet de modéliser et simuler des systèmes où les changements structurels se produisent sans nécessiter de modifications majeures au niveau du prototype du simulateur.

La Figure 2 présente l'intégration entre les différentes couches de simulation pour former un environnement complet de simulation pour les systèmes à structure dynamique.

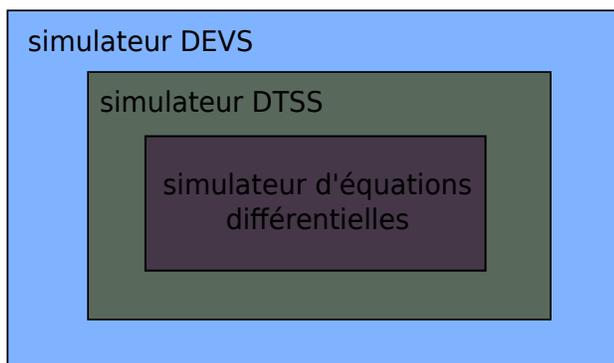


Fig. 2. Architecture du système

En résumé, ce prototype permet de modéliser et simuler des systèmes à structure dynamique en combinant les avantages des formalismes d'équations différentielles pour la modélisation détaillée, DTSS pour la discrétisation temporelle

et DEVS pour la simulation événementielle. Pour tester l'efficacité de cette architecture, nous l'avons appliqué pour modéliser et simuler l'analyse de l'équilibre de puissance dans un réseau électrique.

IV. ANALYSE DE L'ÉQUILIBRE DE PUISSANCE DANS UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

L'analyse de l'équilibre de puissance [3] ou l'analyse de flux de charge, est une technique utilisée dans le domaine de l'ingénierie électrique pour évaluer et analyser le comportement des réseaux électriques. Cette analyse vise à déterminer les conditions de fonctionnement du réseau électrique en termes de tensions, de courants et de puissances, afin d'assurer un fonctionnement stable et fiable du système.

Plus précisément, l'analyse de flux de charge permet de calculer les paramètres électriques du réseau, tels que les tensions nodales, les courants de ligne et les puissances actives et réactives (souvent représenté par P et Q), sous différentes conditions de charge et de configuration du réseau [4]. Ces calculs sont essentiels pour garantir que le réseau fonctionne dans des limites acceptables de tension et de puissance, tout en assurant l'équilibre entre la production et la consommation d'énergie électrique.

Les résultats de l'analyse de flux de charge sont utilisés pour prendre des décisions importantes dans la planification, la conception et l'exploitation des réseaux électriques, notamment pour dimensionner les équipements, optimiser les flux de puissance et évaluer la stabilité du système face aux variations de charge et aux perturbations externes.

V. CONCLUSION

En conclusion, notre approche intègre les formalismes DTSS, DEVS et d'équations différentielles pour modéliser et simuler à la fois les aspects discrets et continus d'un système à structure dynamique. Nous exploitons les fonctionnalités spécifiques de chaque formalisme, depuis la génération des équations requises jusqu'à la production des résultats, afin de répondre aux besoins complexes de simulation de tels systèmes. Nous avons appliqué cette méthodologie à l'analyse de l'équilibre de puissance pour en tester l'efficacité. Cette approche peut être généralisée pour être adaptée à d'autres types de simulations utilisant des équations différentielles, tout en conservant la structure en couches du simulateur. Le défi à venir sera d'affiner et d'étendre cette méthodologie à d'autres domaines. Cet objectif constituera l'une des étapes clés de nos travaux à venir.

REFERENCES

- [1] Bernard Zeigler, Alexandre Muzy, and Ernesto Kofman. *Theory of Modeling and Simulation: Discrete Event & Iterative System Computational Foundations*. Academic press, December 2018.
- [2] Debidas Ghosh. *Introduction To Theory Of Automata, Formal Languages, And Computation*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2013.
- [3] Turan Gonen. *Electric power distribution engineering*. CRC press, 2015.
- [4] Mohammed Albadi and K Volkov. Power flow analysis. *Computational Models in Engineering*, pages 67–88, 2020.