



Modélisation des Systèmes Réactifs

Angers, 13 au 15 novembre 2019

msr2019.laris.univ-angers.fr



MSR 2019

MSR est un colloque en langue française qui traite de la modélisation, de l'analyse et de la commande des systèmes réactifs et temps réel. Il concerne plus particulièrement les chercheurs et industriels intéressés par la conception d'applications qui sont basées sur des systèmes de type soit continu, soit discret, soit hybride. MSR est un lieu de rencontre pour les automaticiens et les informaticiens afin de confronter les techniques et les problèmes abordés par les deux communautés. Ainsi, le colloque MSR a pour rôle d'affirmer l'apport des chercheurs francophones dans ces domaines et de favoriser les échanges entre universitaires et industriels. MSR 2019 est la 12ème édition du colloque, organisée à Angers.

Localisation

La conférence se déroulera au musée des Beaux-Arts à Angers.

Adresse : 14 Rue du Musée, 49100, Angers, France

Données GPS : **47.4693128,-0.5546581**

Toutes les sessions ont lieu dans l'auditorium (à l'intérieur du musée es Beaux-Arts). Les pauses-café seront servis dans le couloir desservant l'auditorium, les déjeuners seront servis en Salle Quéré (à 2 minutes à pied de l'auditorium). L'accueil des participants se fait le premier jour à partir de 9h30 dans la Salle Quéré.

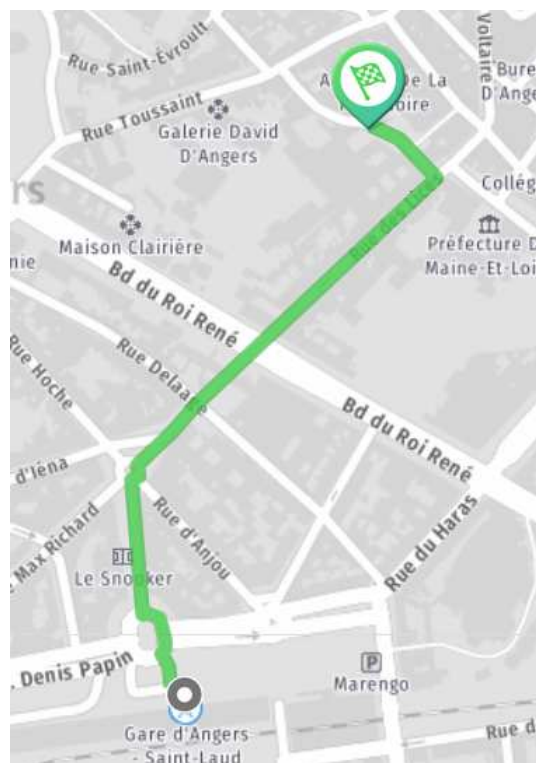


Accès depuis la gare

Le moyen le plus simple pour atteindre le lieu de la conférence depuis la gare est de faire les 650m à pied. Il y a 8 minutes de marche pour s'y rendre :

1. Sur le rond-point **de la Gare**, en face en sortant du **hall de la Gare**, prendre **Rue de la Gare**
2. Continuer sur 160 mètres jusqu'à la **Place de la Visitation** et prendre **la Rue Talot**
3. Continuer sur la **Rue Talot** sur 110 mètres, puis tout droit sur la **Rue des Lices** pendant 220 mètres
4. Tourner à gauche sur **Passage Saint-Éloi** et continuer sur 30 mètres
5. Continuer **Rue du Musée** sur 40 mètres

Arrivée : 14 Rue du Musée, 49100 Angers

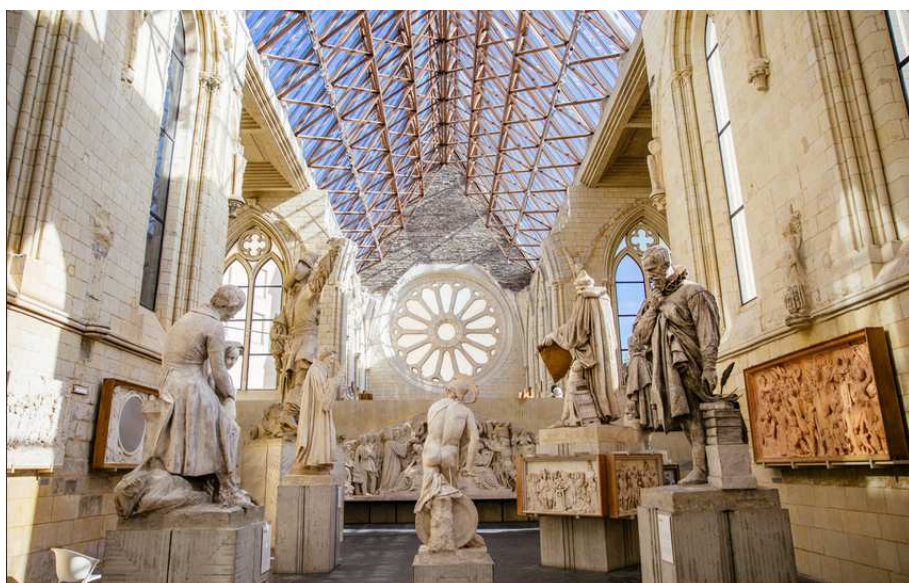


Cocktail de bienvenue

Le mercredi 13 novembre, un cocktail de bienvenue (inclus dans les frais d'inscription) vous sera offert par la ville d'Angers à partir de 19h00. Il aura lieu à la Galerie David d'Angers (33 rue Toussaint, 49100 Angers).

Dîner de gala

Le jeudi 14 novembre, une visite du musée à partir de 19h00 précèdera le dîner de gala (inclus dans les frais d'inscription) qui aura lieu dans le Hall du Musée des Beaux-Arts.



Programme

Mercredi 13 novembre

9h30 - 10h00 Accueil des participants et café

10h00 - 10h15 Session ouverture

10h15 - 11h15 Exposé invité

« *Contrôle symbolique pour la programmation des systèmes cyber-physiques* »
Antoine Girard

11h15 - 11h30 Pause

11h30 - 12h30 Session régulière 1

- **Conception assistée de contrôleurs d'automates depuis des modèles UML**
Pascal André et Yannis Le Bars
- **Vers une conception de systèmes synchrones réactifs sûrs**
Sarah Chabane, Rabea Ameer-Boulifa et Mohamed Mezghiche

12h30 - 14h00 Déjeuner

14h00 - 16h00 Session régulière 2

- **Contrôle des SED avec urgence, évitabilité et inévitabilité**
Jean-Luc Béchenec, Didier Lime et Olivier H. Roux
- **Réification des accélérations pour la construction de Karp et Miller**
Alain Finkel, Serge Haddad et Igor Khmelnitsky
- **A new analytical model for calculating elasticity in cloud computing**
Assia Outamazirt, Kamel Barkaoui et Djamil Aïssani
- **A linear time algorithm for computing off-line speed schedules minimizing energy consumption**
Bruno Gaujal, Alain Girault et Stéphane Plassart

16h00 - 16h30 Pause-café

16h30 - 17h30 Exposé invité

« *Quelques applications des constantes de Lipschitz unilatérales* »
Laurent Fribourg

19h00 - 20h00 Cocktail de bienvenue par la ville d'Angers - Galerie David d'Angers
(33 rue Toussaint, 49100 Angers)

Jeudi 14 novembre

10h00 - 11h00 Exposé invité

« Flots d'information, opacité - et quelques remarques sur le diagnostic »
Béatrice Bérard

11h00 - 11h30 Pause-café

11h30 - 12h30 Session régulière 3

- **Synthèse de contrôleurs Réseaux de Petri pour le routage dynamique des trains dans un nœud ferroviaire**
Paul Cazenave, Manel Khlif-Bouassida et Armand Toguyéni
- **Gestion d'une flotte de véhicules automatisés dans un environnement portuaire**
Benoît Trouillet, Nicolas Danloup, Armand Toguyéni et Thomas Bourdeaud'Huy

12h30 - 14h00 Déjeuner

14h00 - 15h00 Session régulière 4

- **Model checking paramétrique statistique du plan de vol de drone civil**
Ran Bao, Christian Attiogbe, Paulin Fournier et Lime Didier
- **Approche et cadre de modélisation pour l'évaluation de l'impact de perturbations sur un ordonnancement**
Sara Himmiche, Pascale Marangé, Alexis Aubry and Jean-François Pétin

15h00 - 16h00 1^{ière} partie session posters / démonstrateurs

Courte présentation des posters / démonstrateurs dans l'auditorium

- **ETVO: librairie C++ pour la description des Graphes d'Événements Temporisés (GET) valués**
Bertrand Cottenceau, Laurent Hardouin and Johannes Trunk
- **The tool TWINA construction d'espaces d'états abstrait pour l'intersection de Time Petri nets**
Eric Lubat
- **Une algèbre des automates d'acceptation propositionnelle déterministes (DPAA) comme théorie d'interface pour la conception de systèmes cyberphysiques**
Aurélien Lamercerie
- **Algorithm for controlling the transient behavior of controlled generalized batches Petri nets**
Ruotian Liu, Rabah Ammour, Leonardo Brenner and Isabel Demongodin
- **Analyse d'atteignabilité des systèmes (max,+)-linéaires à l'aide des polyèdres tropicaux**
Guilherme Espindola Winck, Mehdi Lhommeau and Laurent Hardouin

- **Integrated modeling proposal of supervisory control theory and model-based system engineering**
Xiaoshan Lu, Laurent Piétrac and Eric Niel
- **A tool for the coverability problems in petri nets**
Igor Khmelnitsky, Alain Finkel and Serge Haddad
- **Pronostic des événements de défaillances basé sur les réseaux de Petri temporels labellisés**
Redouane Kanazy, Samir Chafik, Eric Niel and Laurent Piétrac

16h00 - 16h30 Pause

16h30 - 18h00 2ième partie Session posters / démonstrateurs

Discussions et échanges devant les posters / démonstrateurs dans le couloir d'accès à l'auditorium

19h00 – 22h30 Visite, cocktail et dîner de Gala au musée des Beaux-Arts

Vendredi 15 novembre

9h30 - 10h00 Accueil café

10h00 - 11h00 Exposé invité

« De l'usage de méthodes formelles et basées modèles dans l'industrie des systèmes embarqués critiques »

Amar Bouali

11h00 - 12h30 Session régulière 5

- **Approche distribuée pour la reconfiguration de la commande des systèmes manufacturiers**
Tahiri Imane, Alexandre Philippot, Veronique Carre-Menetrier et Abdelouahed Tajer
- **Modèles à base d'opérateurs pour des systèmes (max,+) cycliques**
Bertrand Cottenceau, Laurent Hardouin et Johannes Trunk
- **Commande sous contraintes temporelles des réseaux de graphes d'événements temporisés en conflit**
Sofiane Aberkane, Redouane Kara et Said Amari

12h30 - 12h45 Clôture

12h45 - 14h00 Déjeuner

Exposés invités



Antoine Girard

Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S) - CNRS, France

Contrôle symbolique pour la programmation des systèmes cyber-physiques

Véhicules autonomes, bâtiments intelligents ou robots promettent de transformer le quotidien de notre société dans toutes ses dimensions (transport, logement, industrie, santé, assistance aux personnes âgées ...). Ces systèmes sont des exemples de systèmes cyber-physiques (CPS) résultant de l'intégration de composants informatiques et de processus physiques. Le développement de ces systèmes est souvent complexe (en raison d'interactions cyber-physiques) et comporte des exigences de sécurité critiques. Dans cet exposé, je présenterai les prémisses d'un cadre de programmation des CPS permettant un développement rapide et sûr de leurs fonctionnalités via un langage de programmation de haut niveau. L'originalité de l'approche consiste à considérer que les programmes ne sont pas destinés à être exécutés sur la plate-forme numérique formée de composants informatiques, mais sur la plate-forme cyber-physique, qui comprend en outre la partie physique du système. Ainsi, les programmes de haut niveau ne spécifient pas le comportement des composants informatiques mais directement celui du système cyber-physique. Ensuite, un outil de synthèse automatique utilise un modèle du processus physique pour générer des algorithmes de contrôle de bas niveau mettant en oeuvre le comportement spécifié. Je commencerai mon exposé en introduisant un langage de haut niveau pour CPS, directement inspiré du formalisme des automates hybrides. Suivant le paradigme de "synthèse correcte par construction", les algorithmes de contrôle de bas niveau sont synthétisés par des techniques de contrôle symbolique. Le concept clé du contrôle symbolique est celui du modèle symbolique, qui est un système dynamique à états finis, obtenu par l'abstraction de trajectoires physiques sur un ensemble fini de symboles. Lorsque les dynamiques symboliques et physiques sont formellement liées par une relation comportementale (par exemple, une simulation ou une bisimulation), les contrôleurs synthétisés pour le modèle symbolique à l'aide de techniques de synthèse discrète peuvent être affinés pour devenir des contrôleurs certifiés pour le système physique. Nous terminerons l'exposé par quelques illustrations dans le domaine des véhicules autonomes.

Laurent Fribourg

Directeur de recherche au CNRS, LSV - ENS Paris-Saclay, directeur de l'Institut Farman (FR CNRS 3311), France



Quelques applications des constantes de Lipschitz unilatérales

Les constantes de Lipschitz unilatérales (OSL) ou « normes logarithmiques » ont été introduites indépendamment en 1958 par Dahlquist et Lozinskii afin d'obtenir des bornes d'erreur fines sur les résultats d'algorithmes d'intégration de systèmes d'équations différentielles ordinaires (ODE). Nous verrons que l'OSL traduit une notion de « stabilité locale » qui s'exprime également en termes de valeurs propres de matrice jacobienne, de taux de contraction de champ de vecteurs ou d'exposant de Lyapunov. Nous expliquerons ensuite comment, pour certaines classe d'ODE paramétrées, on peut analytiquement décomposer le plan de phase en un sous-domaine d'OSL positif et un sous-domaine d'OSL négatif, puis comment exploiter cette décomposition pour prouver formellement la structure de cycles limites et l'existence de points de bifurcations.



Béatrice Bérard
LIP6 - CNRS UMR 7606, France

Flots d'information, opacité – et quelques remarques sur le diagnostic

Dès les années 80, Goguen et Meseguer s'intéressent aux propriétés de sécurité et aux modèles associés, en définissant notamment la « non interférence » : sur toute séquence d'entrées, un utilisateur non autorisé doit observer le même résultat, que les actions d'un utilisateur de haut niveau soient ou non supprimées de cette séquence. Par la suite, de nombreux formalismes et techniques ont été proposés pour décrire et vérifier des propriétés de ce type. Je présenterai quelques résultats de ces dernières années, concernant des aspects qualitatifs et quantitatifs, avec des attaquants actifs ou passifs, à partir de travaux réalisés avec plusieurs collègues.

Amar Bouali

Responsable du centre de référence de l'IDEX UCA JEDI "Défis du numérique" et chercheur Inria, France

De l'usage de méthodes formelles et basées modèles dans l'industrie des systèmes embarqués critiques



Les industries des systèmes embarqués critiques, telles que l'aéronautique, le ferroviaire, le nucléaire ont orienté leurs activités de recherche et de développement vers l'usage de méthodes formelles et basées modèles. On présente tout d'abord les défis que pose l'augmentation croissante de la complexité des systèmes développés dans ces industries, intrinsèquement réactifs et temps-réels. On présente ensuite comment les approches basées modèles et formelles apportent des solutions pour relever ces défis. Enfin, la présentation fait part de retour d'expérience d'une solution industrielle fondée sur des travaux de recherche et de technologies de laboratoires essentiellement français, proposant de telles approches pour les ingénieries systèmes et logicielles. On fait part des avantages apportés par ce type de solution et on invite à réfléchir sur l'adoption de telles approches pour les autres secteurs industriels, où la complexité des systèmes logiciels est grandissante et où le caractère critique du bon fonctionnement devient prépondérant, notamment en matière de sécurité.

Résumé des contributions

Mercredi 13 novembre de 11h30 à 12h30

Conception assistée de contrôleurs d'automates depuis des modèles UML

Pascal André et Yannis Le Bars

LS2N CNRS UMR 6004 - Université of Nantes, France {firstname.lastname}@ls2n.fr

Le logiciel prend une place de plus en plus prépondérante dans les systèmes cyber-physiques, notamment grâce aux performances accrues des réseaux. Dans l'industrie du futur, le logiciel doit non seulement être de qualité en terme de fiabilité et de performance mais il doit aussi pouvoir évoluer rapidement et s'adapter aux nouveaux besoins ou à de nouvelles contraintes. L'ingénierie des modèles vise à raccourcir le cycle de développement en plaçant l'accent sur les abstractions et en automatisant partiellement la génération du code. Dans cet article, nous explorons l'assistance au passage progressif du modèle au code pour réduire le temps entre l'analyse et la production du logiciel. Le modèle couvre des aspects structurels, dynamiques et fonctionnels du système étudié. Le code visé est celui d'un système distribué sur plusieurs dispositifs. Nous préconisons une approche par transformation de modèles dans laquelle les transformations restent simples, la complexité se trouve dans le processus de transformation qui se veut adaptable et configurable. Pour mener les expérimentations, les modèles sont écrits en UML (ou SysML) et les programmes déployés sur Android et Lego EV3.

Mots-clés : Ingénierie des modèles, UML Statecharts, Communication, Raffinement, Génération de code

Vers une conception de systèmes synchrones réactifs sûrs

Sarah Chabane¹, Rabea Ameer-Boulifa², and Mezghiche Mohamed¹

1 Laboratoire LIMOSE, département d'informatique Faculté des sciences
Université M'hamed Bougara, Boumerdes, Algérie
chabane.sarah@univ-boumerdes.dz
mohamed.mezghiche@gmail.com

2 LTCI, Télécom Paris, Institut polytechnique de Paris
rabea.ameur-boulifa@telecom-paris.fr

La nécessité de gérer la complexité croissante des systèmes en général, et les systèmes embarqués en particulier pousse leur conception vers une approche basée sur la réutilisation de composants existants. A cette complexité s'ajoute des exigences techniques, les systèmes doivent satisfaire des contraintes strictes de fiabilité et de correction. Dans notre travail, nous préconisons d'offrir un cadre théorique pour le développement de composants réactifs synchrones sûrs de manière compositionnelle. Dans ce papier nous offrons d'une part, un cadre de description de composants réactifs synchrones élémentaires dans un formalisme adapté pour la vérification formelle de propriétés de sûreté, et d'autre part, un cadre pour la construction des systèmes globaux à partir de composants élémentaires par une opération de composition garantissant la correction par construction.

Mercredi 13 novembre de 14h00 à 16h00

Contrôle des SED avec urgence, évitabilité et inévitabilité

Jean-Luc Béchenec¹, Didier Lime² et Olivier (H.) Roux²

1 CNRS, LS2N, Nantes France

jean-luc.bechenec@ls2n.fr

2 Ecole Centrale de Nantes, LS2N, Nantes France

didier.lime@ec-nantes.fr

olivier-h.roux@ec-nantes.fr

La synthèse de contrôleurs pour les systèmes réactifs peut être faite en calculant les stratégies gagnantes dans les jeux à deux joueurs. Les automates (à jeu) temporisés sont un formalisme approprié pour modéliser les systèmes embarqués temps réel mais ne sont pas faciles à utiliser pour la synthèse de contrôleurs pour deux raisons : i) les modèles temporisés nécessitent la connaissance des temps précis du système (par exemple, si une action doit se produire à l'avenir, la date limite de cette action doit être connue) ii) Dans la pratique, la taille de l'espace d'états rend le calcul du contrôleur souvent impossible pour les systèmes complexes. Cet article présente une extension des automates à jeu non temporisés avec du temps logique. La nouvelle sémantique introduit deux nouveaux types d'actions incontrôlables : des actions non immédiates qui peuvent éventuellement être évitées par exemple par une action contrôlable effectuée en urgence, et des actions inévitables qui finiront par se produire si rien n'est fait pour les annuler. Le problème de synthèse de contrôleur est adapté à cette nouvelle sémantique. Cet article se concentre spécifiquement sur les objectifs d'accessibilité et de sûreté et donne des algorithmes pour générer un contrôleur. L'utilité de ce nouveau modèle est illustrée par un exemple de synthèse de pilotes de périphériques.

Réification des accélérations pour la construction de Karp et Miller

Alain Finkel¹, Serge Haddad^{1, 2} et Igor Khmelnitsky^{1, 2}

1 LSV, ENS Paris-Saclay, CNRS, Université Paris-Saclay, France

{finkel,haddad,khmelnitsky}@lsv.fr

2 Inria, France

L'algorithme de Karp et Miller est basé sur une exploration de l'arbre d'accessibilité d'un réseau de Pétri où on accélère les séquences de transitions à incidence positive. Les nœuds de l'arbre de Karp et Miller sont étiquetés par un ensemble d' ω -marquages représentant l'ensemble (potentiellement infini) de couverture Cover. Cet ensemble d' ω -marquages permet de décider la couverture d'un marquage ou la finitude de l'ensemble d'accessibilité. Les arcs de l'arbre de Karp et Miller sont étiquetés par des transitions mais la sémantique de celles-ci n'est pas toujours la sémantique de base ce qui rend la preuve de l'algorithme relativement compliquée. Nous introduisons ici trois nouveaux concepts : l'abstraction, l'accélération et la séquence d'exploration. En particulier, nous généralisons la définition des transitions aux ω -transitions afin de pouvoir représenter une accélération par une ω -transition. La notion d'abstraction permet de simplifier grandement la preuve de correction de l'algorithme de Karp et Miller. D'autre part, au prix d'un surcoût minime en mémoire, évalué théoriquement, nous proposons une variante « accélérée » de l'algorithme de Karp et Miller avec un gain escompté en temps d'exécution et dont la preuve de correction se déduit très simplement de notre preuve de l'algorithme de Karp et Miller.

A new analytical model for calculating elasticity in cloud computing

Assia Outamazirt¹, Kamel Barkaoui² et Djamil Aïssani³

1 Research Unit LaMOS of Bejaia University, Bejaia, Algeria

outamazirt.assia@gmail.com

2 CEDRIC, CNAM, Paris, France

kamel.barkaoui@cnam.fr

3 Research Unit LaMOS of Bejaia University, Bejaia, Algeria

djamil_aissani@hotmail.com

One of the fundamental characteristics of Cloud Computing is its elasticity. It is about the ability to dynamically adapt computer resources consumption to workload while maintaining performance and quality of service. Most current industrial as well as academic solutions have limitations in terms of elasticity control, which affects the availability and performance of systems. In this paper, we propose a modeling of an elastic Cloud platform in terms of the markovian queuing model where the number of active servers depends on the current workload. A quantitative analysis of the steady state of our model allows to analyze and calculate the value of the elasticity in a precise way.

A linear time algorithm for computing off-line speed schedules minimizing energy consumption

Bruno Gaujal¹, Alain Girault² et Stéphan Plassart³

1 Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France.

bruno.gaujal@inria.fr

2 Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France.

alain.girault@inria.fr

3 Univ. Grenoble Alpes, Inria, CNRS, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France.

stephan.plassart@inria.fr

We consider the classical problem of minimizing off-line the total energy consumption required to execute a set of n real-time jobs on a single processor with varying speed. Each real-time job is defined by its release time, size, and deadline (all integers). The goal is to find a sequence of processor speeds, chosen among a finite set of available speeds, such that no job misses its deadline and the energy consumption is minimal. Such a sequence is called an optimal speed schedule. We propose a linear time algorithm that checks the schedulability of the given set of n jobs and computes an optimal speed schedule. The time complexity of our algorithm is in $O(n)$, to be compared with $O(n \log(n))$ for the best known solutions. Besides the complexity gain, the main interest of our algorithm is that it is based on a completely different idea: instead of computing the critical intervals, it sweeps the set of jobs and uses a dynamic programming approach to compute an optimal speed schedule. Our linear time algorithm is still valid (with some changes) with an arbitrary power function (not necessarily convex) and arbitrary switching times.

Jeudi 14 novembre de 11h30 à 12h30

Synthèse de contrôleurs Réseaux de Petri pour le routage dynamique des trains dans un nœud ferroviaire

Paul Cazenave¹, Manel Khlif-Bouassida¹, Armand Toguyéni¹

1 Centrale Lille, CRISAL, UMR 9189
59650 Villeneuve-d'Ascq, France
Univ. Lille Nord de France, F-59650, Lille, France
paul.cazenave@phd.centrale.lille.fr,
{manel.khlif-bouassida, armand.toguyeni}@centralelille.fr

Cet article présente une méthode de prévention des collisions et des blocages pour le routage automatique des trains dans les nœuds ferroviaires. La méthode de contrôle proposée doit permettre d'optimiser le nombre de trains traversant simultanément le nœud ferroviaire. Le routage des trains est fait de manière dynamique, les trains ne suivent pas un itinéraire mais s'adaptent aux aléas du réseau. Cette approche permet d'avoir une flexibilité et une densité de trains accrue dans les nœuds ferroviaire. Mais elle doit garantir la sécurité du système et notamment l'absence de collisions entre trains dans le nœud. Pour cela, nous proposons la construction par synthèse d'un Réseau de Petri initial permettant à chaque train d'utiliser et de libérer les ressources au fur et à mesure de sa progression dans le nœud ferroviaire. Mais ce modèle initial peut entraîner un contrôle bloquant. Ainsi nous proposons une méthode de résolution des blocages potentiels permettant de garantir la vivacité du modèle final.

Gestion d'une flotte de véhicules automatisés dans un environnement portuaire

Danloup Nicolas¹, Trouillet Benoît¹, Toguyéni Armand¹, and Bourdeaud'huy Thomas¹

1 Université de Lille 1
Cité Scientifique 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France
ndanloup@hotmail.fr
benoit.trouillet@ec-lille.fr
armand.toguyeni@ec-lille.fr
thomas.bourdeaud_huy@centralelille.fr

Le transport de marchandises intègre un grand nombre de problème d'optimisation tout au long de la chaîne logistique. Cet article est dédié à la problématique de chargement/déchargement de containers dans un environnement portuaire. L'automatisation des processus est devenue une priorité pour les plus grands acteurs du secteur portuaire contraints de s'adapter à la croissance du volume de containers transportés liée à la globalisation de l'économie mondiale et aux capacités des nouvelles générations de bateaux. La concurrence entre terminaux et la nécessité de réduire les délais de chargement et déchargement des bateaux nécessitent de la part des opérateurs portuaires une augmentation de la productivité globale, une réduction des coûts d'exploitation tout en garantissant une sécurité maximale. Cet article propose la description d'algorithmes qui permettent de trouver des solutions faisable pour le problème de routage d'une flotte d'AGV, dans un temps raisonnable. La résolution exacte du problème montre très vite ses limites lors du passage à l'échelle. L'approche proposée ici est de coupler une résolution exacte avec des heuristiques. L'idée est de proposer des éléments de solution dans le but de faire chuter la complexité intrinsèque de ce type de problème. Ainsi, une solution peut être proposée avec un temps de résolution raisonnable vis à vis des contraintes imposées par les opérateurs portuaires.

Jeudi 14 novembre de 14h00 à 16h00

Model checking paramétrique statistique du plan de vol de drone civil

Ran Bao^{1,2}, Christian Attiogbe², Paulin Fournier², and Didier Lime³

1 PIXIEL GROUP, Nantes, France - <https://www.pixiel-group.com/>

2 Université de Nantes - LS2N UMR CNRS 6004, Nantes, France

3 Centrale Nantes - LS2N UMR CNRS 6004, Nantes, France

Les drones sont maintenant très répandus dans la société et sont souvent utilisés dans des situations dangereuses pour le public environnant. Il est alors nécessaire d'étudier leur fiabilité, en particulier dans le contexte de vols au-dessus d'un public. Dans cet article, nous étudions la modélisation et l'analyse de drones dans le contexte de leur plan de vol. Pour cela, nous construisons un modèle probabiliste paramétrique du drone et l'utilisons ainsi que son plan de vol pour modéliser la trajectoire du drone. Ce modèle prend en compte des paramètres comme la défaillance éventuelle du filtre ou du capteur (comme le GPS), ainsi que la force et la direction du vent. Du fait de la nature et de la complexité des modèles successifs obtenus, leur vérification avec les outils PRISM ou PARAM est impossible. Nous développons donc une nouvelle méthode d'approximation, appelée Parametric Statistical Model Checking, afin de calculer les probabilités de défaillance du drone. Cette méthode a été implémentée dans un prototype, que nous avons utilisé pour résoudre des difficultés complexes dans une étude de cas réelle.

Approche et cadre de modélisation pour l'évaluation de l'impact de perturbations sur un ordonnancement

Sara Himmiche^{1,2}, Pascale Marangé^{1,2}, Alexis Aubry^{1,2}, and Jean-François Pétin^{1,2}

1 Université de Lorraine, CRAN, UMR 7039, F-54506 Vandœuvre-lès-Nancy

2 CNRS, CRAN, UMR 7039, France

{sara.himmiche, pascale.marange, alexis.aubry, jean-francois.petin}@univ-lorraine.fr

L'ordonnancement de la production est un problème majeur aussi bien dans le monde industriel que celui de la recherche théorique. Ce problème est généralement traité dans le but de proposer des ordonnancements optimaux. Dans le cadre d'un environnement de production dynamique, la génération classique d'ordonnements n'est plus suffisante. La question importante qui se pose aujourd'hui est: Comment prendre en compte les contraintes de flexibilité et d'agilité qui caractérisent ces systèmes et leurs perturbations, dans le choix de l'ordonnement à exécuter ? Cet article répond à cette question en proposant une approche générique pour évaluer la robustesse d'un ordonnancement face aux perturbations. L'approche proposée est basée sur des modèles de systèmes à événements discrets stochastiques et une méthode d'évaluation par model-checking, dans le but de définir une approche et un cadre de modélisation modulaire. Plus précisément, les automates temporisés stochastiques sont utilisés dans le but de modéliser le problème d'ordonnement sous perturbations et le model-checking statistique est utilisé pour évaluer ces modèles et ainsi permettre le calcul d'un indicateur de robustesse qui sera transmis au décideur.

Jeudi 14 novembre de 15h00 à 18h00

**ETVO: librairie C++ pour la description
des Graphes d'Événements Temporisés valués**
B. Cottenceau¹, L. Hardouin¹, and J. Trunk^{1,2}

1 LARIS, Université d'Angers, France
2 TU Berlin, Allemagne

La librairie ETVO est destinée aux calculs sur des expressions rationnelles constituées sur un ensemble d'opérateurs $\{\gamma^n, \delta^r, \mu_m, \beta_b, \Delta_T\}$ utilisées pour d'écrire le comportement dynamique de certains systèmes à événements discrets temporisés. Sont concernés par cette approche : les Graphes d'Événements Temporisés (GET) avec arcs valués et les GET avec temps de séjour cycliques. Pour ces deux classes de systèmes, la librairie ETVO permet le calcul de transfert et la synthèse de contrôleurs.

**The tool TWINA –
construction d'espaces d'états abstrait pour l'intersection de Time Petri nets**
Éric Lubat

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INSA, Toulouse, France
elubat@laas.fr

Dans ce travail, nous présentons un nouvel outil, TWINA, qui permet de calculer une abstraction par graphes de classes pour « l'intersection » de deux TPN ; c'est-à-dire une abstraction permettant d'analyser de manière exacte les séquences de tirs, ou traces, qui sont communes à deux réseaux. Dans notre contexte, on ne retient que les étiquettes (les labels) des transitions. Ainsi, une trace est commune à deux TPN lorsqu'il est possible de tirer une séquence de transitions ayant les bons labels, dans le bon ordre et au même dates, dans les deux réseaux. En tant que tel, TWINA permet de raisonner sur l'intersection du langage de plusieurs TPN. Plus généralement, TWINA permet l'analyse du « produit synchrone » de TPN, un modèle appelé Product Time Petri Net. Intuitivement, il s'agit d'une extension des TPN dans laquelle on impose que toutes les transitions de certains ensembles donnés soient tirées en même temps. Cette opération est utile dans la pratique, par exemple pour des applications de vérification des modèles -afin de pouvoir vérifier des propriétés temporisées par l'utilisation d'observateurs, mais sans risquer d'interférences avec le système à étudier- ou bien encore, dans le domaine du diagnostic, afin de définir une construction équivalente à celle de la twin plant dans le cas des TPN.

Une algèbre des automates d'acceptation propositionnelle déterministes comme théorie d'interface pour la conception de systèmes cyberphysiques

Aurélien Lamercerie

Univ Rennes, Inria, IRISA - UMR 6074, F-35000 Rennes, France
aurelien.lamercerie@inria.fr

Les systèmes cyberphysiques (CPS) sont des logiciels fonctionnant en interaction étroite avec des périphériques physiques. Leur spécification est une tâche complexe et source d'erreurs. Leur conception résulte de l'assemblage de composants, souvent conçus par des équipes multidisciplinaires indépendantes. Chaque équipe doit non seulement spécifier le comportement attendu du composant en cours de conception, mais également énoncer les hypothèses sous lesquelles le composant doit fonctionner. Au moment de l'intégration, ces hypothèses doivent être vérifiées par rapport au comportement du système, pris dans sa globalité. Le raisonnement par contrats est une méthode intégrée à plusieurs langages de programmation, inspirés de la logique de Hoare et d'extensions de celles-ci. Détecter les erreurs de spécification aussi tôt que possible permet d'économiser beaucoup de temps, d'efforts et d'argent. Formaliser les besoins, les analyser par des méthodes automatiques ou assistées par ordinateur, ou les vérifier à l'exécution, sont essentielles pour détecter des exigences incohérentes, redondantes ou incomplètes. Dans le contexte de la conception de CPS, les théories d'interface permettent de décrire en une seule spécification à la fois le comportement attendu d'un composant et les environnements possibles dans lesquels il peut être exécuté. Les exemples typiques de théories d'interface sont les automates d'interfaces et les interfaces modales. Ces formalismes basés sur la théorie des automates sont capables d'exprimer à la fois la variabilité des conceptions possibles et les incertitudes concernant les environnements possibles d'un composant. Néanmoins, ces théories ne traitent que de la relation entre les entrées et les sorties de composants réactifs. Dans de nombreux cas, il serait souhaitable de relier ces comportements d'entrée/sortie à l'état du composant. Notre contribution, les automates d'acceptation propositionnelle déterministe (Determinitic Propositional Acceptance Automata, DPAA), est une réponse à cette question. Ces automates permettent de spécifier des comportements de temps discret, obligatoire ou interdit. La caractéristique principale de ce formalisme est qu'il permet d'exprimer le comportement attendu lorsque le système est dans un état particulier. Les DPAA combinent des propriétés d'état, exprimées sous forme de formules propositionnelles, et des propriétés temporelles discrètes, exprimées sous forme d'événements obligatoires ou interdits. Ils étendent les systèmes de transition modaux en prenant comme modèles les structures de Kripke plutôt que des systèmes de transition étiquetés.

Algorithm for controlling the transient behavior of controlled generalized batches Petri nets

Ruotian Liu, Rabah Ammour, Leonardo Brenner, and Isabel Demongodin

Aix-Marseille Université, Université de Toulon, CNRS, LIS, Marseille, France
{ruotian.liu, rabah.ammour, leonardo.brenner, isabel.demongodin}@lis-lab.fr

Discrete Petri nets (PNs) are widely used for modeling, analysis and control discrete event systems but suffer from the state explosion problem. To overcome this issue, several works have been developed on a relaxation technique so-called fluidization of Petri nets models, thus extending the discrete formalism to continuous PN. The combination of both, discrete and continuous PNs, has allowed the definition of hybrid Petri nets. By introducing in hybrid PNs a new kind of nodes, called batch nodes, generalized batches Petri net (GBPN) enriches the class of hybrid models. Based on the concept of batches as marking, i.e., a group of entities moving through a zone at a certain speed, GBPN is appropriate for describing the behavior of high throughput production lines (control design and performance of high-speed systems), transmission delay on a communication media with bus topology, interlocking system design for ERTMS/ETCS, multimodal systems or transportation networks. In order to drive the evolution of the model, controlled GBPN (cGBPN) considers as control inputs the firing flow of continuous and batch transitions and the transfer speed of batch places.

One important behavior which characterizes dynamic systems is the steady state. In a cGBPN without discrete nodes, a steady state is characterized by the couple $(\mathbf{m}^s, \boldsymbol{\varphi}^s)$ where \mathbf{m}^s is a constant marking and $\boldsymbol{\varphi}^s$ is constant vector of instantaneous firing flows. Our objective is to control the transient trajectory of a cGBPN. By assuming that there are no discrete nodes and all transitions are controllable, the problem is how to reach a target steady state $(\mathbf{m}^s, \boldsymbol{\varphi}^s)$ from a given initial marking \mathbf{m}_0 , by controlling only the instantaneous firing flow of transitions. Much efforts have been devoted to the control design for trajectory tracking with continuous Petri nets while few works have been conducted on hybrid PNs or cGBPNs.

Analyse d'atteignabilité des systèmes $(\max,+)$ -linéaires à l'aide des polyèdres tropicaux

Guilherme E. Winck, Mehdi Lhommeau et Laurent Hardouin

LARIS - Université d'Angers, Angers, France
guilherme.espindolawinck@univ-angers
mehdi.lhommeau@univ-angers.fr
laurent.hardouin@univ-angers.fr

Les Systèmes à Événements Discrets (SED) peuvent être définis comme des systèmes dans lesquels les variables d'état changent sous l'occurrence d'événements au fil du temps. Les SED mettant en jeu des phénomènes de synchronisation peuvent être modélisés par des équations linéaires dans les algèbres de type $(\max,+)$. Dans ce papier, on s'intéresse au problème de l'atteignabilité des SED décrits dans l'algèbre $(\max,+)$. L'objectif est de déterminer l'ensemble atteignable des SED décrits dans l'algèbre $(\max,+)$, c'est-à-dire l'obtention de toutes les trajectoires d'état générées à partir d'un domaine d'état initial. L'approche proposée repose sur la théorie des polyèdres tropicaux.

Integrated Modeling Proposal of Supervisory Control Theory and Model-Based System Engineering

Xiaoshan Lu, Laurent Piétrac and Eric Niel

INSA Lyon, Villeurbanne, France

Xiaoshan.lu@insa-lyon.fr, laurent.pietrac@insa-lyon.fr, eric.niel@insa-lyon.fr

The Supervisory Control Theory (SCT), firstly introduced by Ramadge and Wonham in 1987, is one of the most important paradigms of formal modeling, control synthesis and verification for Discrete Event System (DES). The large number of scientific contributions shows that SCT catches extensive academic interest and this theory has been proved to be applicable in various industrial domains such as manufacturing systems, embedded systems or energy systems, etc. With SCT, the requirements which are checked afterward in traditional engineering are used as input for generation of the design of the controller that is correct by construction. By the scientific achievements within the past several decades, the framework of SCT forms a systematically formal paradigm to synthesize controllers for DESs and a series of concepts and methods are proposed.

However, despite the academic achievements of SCT, there are still gaps between the theoretical development and applications of SCT in engineering practice. Firstly, there is a lack of interpretation between informal requirements and formal specifications in typical development process. Systems' requirements are usually written in an informal narrative since it generally means a greater understanding among the various stakeholders. On the other hand, formal models such as automaton have unambiguous semantic, which means a model cannot be understood in different ways. It is still difficult to link the formalization and informal narrative requirements. Secondly, as the formal model can only represent the behavior of system to be studied, it is difficult to describe the structure aspect, which includes both physic and logic. The gap between plants and physic components leads to the problem: supervisor/controller may also be structured. Unfortunately, there is no model can be used to explicitly describe the details of the structure. The existing contributions focus on how to transform the supervisor to the software and hardware aspect of concrete controller is neglected. In fact, it leads to problems of controller implementation. In fact, these two situations are due to ambiguity for hardware and software and lack of the implementation models. The existing supervisory control architecture and implementation methods are not able to specify the link between the models of supervisor/controller and models of concrete controller, which is unacceptable in the engineering the consistency between plants and physic components is unclear. Besides, the context. Finally, the SCT does not provide the global modeling process from analyzing and decomposing the informal requirements to sub-systems to transform models to implementation.

The Model-Based System Engineering (MBSE) provides the possibility to deal with the limitations of SCT. MBSE is the actual state-of-the-art global design process in engineering practice. A variety of modeling languages are proposed by OMG for realizing the MBSE methods. Especially, SysML is one of the most important modeling languages, which provides nine kinds of diagrams to be used to describe different aspect of the system. The main objective of the work is to propose an integrated modeling framework for controller development by combining Supervisory Control Theory with Model-Based System Engineering to bridge the gaps formal approach and engineering process. In the proposed framework, different SysML diagrams are used to as complementary models, which present the indispensable views of the system to be studied in the global modeling process. The proposed framework focuses on the improvement of the traceability, consistency and reusability, compared with the conventional SCT-based modeling process.

A Tool for the Coverability Problems in Petri Nets *Alain Finkel¹, Serge Haddad^{1,2}, and Igor Khmelnitsky^{1,2}*

1 LSV, ENS Paris-Saclay, CNRS, Université Paris-Saclay, France
{finkel,haddad,khmelnitsky}@lsv.fr
2 Inria, France

Goals of CovMin.

Petri nets are an infinite-state model for specification and verification of concurrent systems. An important generic problem of this model is coverability, which asks the following question: Given a Petri net \mathcal{N} and two markings $\mathbf{m}_0, \mathbf{m}_t \in \mathbb{N}^p$, does there exist a firing sequence σ such that $\mathbf{m}_0 \xrightarrow{\sigma} \mathbf{m}' \geq \mathbf{m}_t$. Another related problem, is the coverability set problem which asks: Given a Petri net \mathcal{N} and an initial marking \mathbf{m}_0 , produce a finite set $Clover(\mathcal{N}, \mathbf{m}_0)$ of markings such that a marking \mathbf{m} is coverable if there exists an ω -marking $\mathbf{m}' \in Clover(\mathcal{N}, \mathbf{m}_0)$ such that $\mathbf{m}' \geq \mathbf{m}$. The computational complexity of these problems is very high: The coverability problem is EXSPACE-complete while the size of the coverability set may be non primitive recursive. The tool CovMin was designed to efficiently solve these problems.

Pronostic des événements de défaillances basé sur les réseaux de Petri temporels labellisés

Redouane Kanazy^{1,2}, Samir Chafik¹, Eric Niel², Laurent Piétrac²

1 LPRI EMSI, Casablanca Maroc
2 Ampère INSA de Lyon, Villeurbanne, France.
redouane.kanazy@insa-lyon.fr, samir.chafik@emsi-edu.ma,
eric.niel@insa-lyon.fr, Laurent.pietrac@insa-lyon.fr

Les applications de supervisions mises à la disposition des développeurs de systèmes de contrôles qui opèrent dans les domaines de la production manufacturière, la robotique, la logistique, la circulation des véhicules, les réseaux de communication ou l'informatique, permettent de signaler la détection d'un dysfonctionnement ou d'un arrêt accidentel du système et de localiser son origine. La communauté des systèmes à événements discrets (SED) a développé des méthodes de diagnostic qui s'intéressent à l'enchaînement logique, dynamique ou temporel des événements de défaillance qui sont source de ce dysfonctionnement. Cependant, la criticité de certains systèmes et leur complexité nécessitent une méthode de pronostic de ces événements de défaillance, pour signaler leurs occurrences à l'avance afin éviter tout dommage causé par une panne. La difficulté serait alors de savoir comment signaler l'occurrence future d'un événement de défaillance. Quel outil de modélisation est adapté pour ce type de système ? Sachant que plus la complexité du système est élevée, plus son espace d'états est important. La question que l'on se pose donc est comment surmonter le problème d'explosion combinatoire ? Quelles sont les limites du pronostic?

Vendredi 15 novembre de 11h00 à 12h30

Approche distribuée pour la reconfiguration de la commande des systèmes manufacturiers

Imane Tahiri^{1,2}, Alexandre Philippot¹, Véronique Carre-Menetrier¹ et Abdelouahed Tajer²

1 CReSTIC, Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France.

2 LGECoS, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc.

Imane.tahiri@univ-reims.fr, alexandre.philippot@univ-reims.fr,

veronique.carre@univ-reims.fr, a.tajer@uca.ma

Dans cet article, nous proposons une approche pour la reconfiguration de la commande des systèmes à événements discrets. La contribution est basée sur une synthèse de contrôle sûr de fonctionnement en exploitant une architecture distribuée incluant des événements temporisés. Lorsqu'un défaut est détecté sur un capteur, le contrôleur du comportement normal est reconfiguré en un contrôleur de comportement fautif où des informations temporisées compensent les informations perdues par le capteur défectueux. L'approche est appliquée sur un système simple de transfert de caisses.

Modèles à base d'opérateurs pour les systèmes (max,+) cycliques

B. Cottenceau¹, L. Hardouin¹, and J. Trunk^{1,2}

1 LARIS, Université d'Angers, France

2 TU Berlin, Allemagne

Certaines classes de Systèmes à Événements Discrets (SED) peuvent être étudiées via des modèles sur des dioïdes, notamment en décrivant leur dynamique au moyen d'opérateurs. Le décalage temporel et le décalage dans la numérotation des événements sont dans ce cas assimilés à des opérateurs élémentaires. Depuis les années 80, cette approche a permis l'étude des Graphes d'Événements Temporisés (GET) au travers de modèles entrée-sortie. La structure algébrique considérée est alors un ensemble de séries formelles, noté $\mathcal{M}_{in}^{ax}[\gamma, \delta]$, dont les variables γ et δ sont assimilables aux opérateurs mentionnés ci-avant.

Il a été montré que l'on peut étendre cette approche en considérant de nouveaux opérateurs additifs et ainsi contribuer à l'étude de systèmes mettant en jeu des phénomènes comme la duplication d'événements (opérateur μ_m), le regroupement (opérateur β_b), ou encore des synchronisations temporelles spécifiques (opérateur Δ_τ). A la différence des GET ordinaires, les systèmes impliquant de tels phénomènes ne sont alors plus stationnaires. Ils conservent néanmoins une propriété de cyclicité, dans le domaine temporel ou événementiel, qui rend leur étude plus complexe, mais possible. Les techniques de calcul pour les systèmes cycliques sont d'ailleurs comparables à celles utilisées pour les séries périodiques de $\mathcal{M}_{in}^{ax}[\gamma, \delta]$.

Ce papier vise à introduire la librairie logicielle ETVO ((Event|Time) Variant Operators) qui a été développée pour les calculs sur les systèmes cycliques. Des rappels de modélisation sont tout d'abord donnés avant de montrer comment traiter quelques exemples simples à l'aide de l'outil ETVO. Cet outil de calcul permet l'analyse de performance et la synthèse de contrôle pour les GET ordinaires, les GET valués et les GET avec des temps de séjour cycliques.

Commande sous contraintes temporelles des réseaux de graphes d'événements temporisés en conflit

Sofiane Aberkane¹, Redouane Kara¹, and Said Amari²

1 Laboratoire de Conception et Conduite des systèmes de Production,
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Route de Hasnaoua BP 17, 15000, Algérie.
sofiane.aberkane@ummtto.dz, redouk@yahoo.fr

2 LURPA, ENS Cachan, Univ. Paris-Sud, Université Paris 13,
Sorbonne Paris Cité, Université Paris-Saclay, France.
samari@ens-paris-saclay.fr

Dans ce papier, nous abordons le problème de modélisation et de commande des systèmes à événements discrets avec des ressources partagées représentés par une classe particulière des réseaux de Petri temporisés. Précisément, nous considérons des Réseaux de Graphes d'Événements Temporisés en Conflit (RGETC) soumis à des contraintes temporelles strictes. Premièrement, une formalisation algébrique en termes de systèmes à commutation Max-Plus est proposée pour décrire le comportement dynamique des RGETCs. Deuxièmement, des lois de commande en boucle fermée sont calculées pour garantir le respect de ces contraintes de temps imposées à certaines places du réseau. Des conditions suffisantes pour l'existence de telles lois de commande ont été fournies. Finalement, nous appliquons les résultats théoriques développés précédemment pour contrôler un système ferroviaire de croisement de train à temps critique.

Comités

Comité de pilotage :

- Béatrice Bérard, Univ. Pierre et Marie Curie & LIP6
- Jean-Louis Boimond, Univ. Angers & LARIS
- Isabel Demongodin, Univ. Marseille, & LIS
- Laurent Fribourg, CNRS & LSV
- Hervé Marchand, Inria Rennes
- Olivier H. Roux, Ecole Centrale de Nantes & LS2N

Comité de programme :

- Jean-Philippe Babau, Univ. de Bretagne Occidentale & Lab-STICC
- Kamel Barkaoui, CNAM & Cédric
- Pascal Berruet, Univ. Bretagne Sud & Lab-STICC
- Nathalie Bertrand, INRIA Rennes & IRISA
- Bernard Boigelot, Univ. de Liège & Institut Montefiore, Belgique
- Silvano Dal Zilio, CNRS & LAAS
- Thao Dang, CNRS & VERIMAG
- Benoît Delahaye, Univ. Nantes & L2SN (co-président)
- Isabel Demongodin, Univ. Aix-Marseille & LIS
- Thierry Divoux, Univ. de Lorraine & CRAN
- Ylies Falcone, Univ. Grenoble Alpes & LIG & INRIA Grenoble
- Stéphane Gaubert, INRIA Saclay & CMAP & Ecole Polytechnique
- Gilles Geeraerts, Univ. Libre de Bruxelles
- Mohamed Ghazel, IFSTTAR & ESTAS
- Alessandro Giua, Univ. & DIEE, Univ. of Cagliari
- Stefan Haar, INRIA et LSV, CNRS & ENS Paris-Saclay
- Frédéric Herbreteau, Bordeaux INP & LABRI
- Claude Jard, Univ. de Nantes & LS2N
- Jan Komenda, Czech Academy of Sciences & Institute of Mathematics
- Sébastien Lahaye, Univ. d'Angers & LARIS (co-président)
- Jean-Jacques Lesage, ENS Paris-Saclay & LURPA
- Mehdi Lhommeau, Univ. d'Angers & LARIS (co-président)
- Stephan Merz, INRIA Nancy & LORIA
- Patrice Moreaux, Univ. de Savoie & LISTIC
- Eric Niel, INSA Lyon & Lab. Ampère
- Jean-François Petin, Univ. de Lorraine & CRAN
- Laure Petrucci, Univ. Paris 13 & LIPN
- Laurent Piétrac, INSA Lyon & Lab. Ampère
- Marc Pouzet, Univ. Pierre et Marie Curie Paris & INRIA Paris-Rocquencourt
- Pierre-Alain Reynier, Univ. Aix-Marseille & LIS
- Laurie Ricker, Mount Allison University, Canada
- Bernard Riera, Univ. Reims Champagne-Ardenne & CReSTIC
- Eric Rutten, INRIA Alpes
- Manuel Silva, Univ. of Zaragoza
- Audine Subias, INSA Toulouse & LAAS
- Armand Toguyeni, Ecole Centrale Lille & CRISTAL
- Laurent Truffet, IMT Atlantique
- Gregory Zacharewicz, IMT Mines d'Alès & LGI2P
- Eric Zamaï, INP Grenoble & G-SCOP

Comité d'organisation :

- Jean-Louis Boimond, Univ. Angers & LARIS
- Bertrand Cottenceau, Univ. Angers & LARIS
- Benoît Delahaye, Univ. Nantes & LS2N (co-président)
- Jean-Baptiste Fasquel, Univ. Angers & LARIS
- Marie Françoise Gérard, Univ. Angers & LARIS
- Laurent Hardouin, Univ. Angers & LARIS
- Sébastien Lahaye, Univ. Angers & LARIS (co-président)
- Mehdi Lhommeau, Univ. Angers & LARIS (co-président)

Index des auteurs

A

<i>Aberkane</i>	22
<i>Aïssani</i>	13
<i>Amari</i>	22
<i>Ameur-Boulifa</i>	11
<i>Ammour</i>	18
<i>André</i>	11
<i>Attiogbe</i>	15
<i>Aubry</i>	15

B

<i>Bao</i>	15
<i>Barkaoui</i>	13
<i>Béchennec</i>	12
<i>Bourdeaud'huy</i>	14
<i>Brenner</i>	18

C

<i>Carre- Menetrier</i>	21
<i>Cazenave</i>	14
<i>Chabane</i>	11
<i>Chafik</i>	20
<i>Cottenceau</i>	16, 21

D

<i>Danloup</i>	14
<i>Demongodin</i>	18

F

<i>Finkel</i>	12, 20
<i>Fournier</i>	15

G

<i>Gaujal</i>	13
<i>Girault</i>	13

H

<i>Haddad</i>	12, 20
<i>Hardouin</i>	16, 18, 21
<i>Himmiche</i>	15

K

<i>Kanazy</i>	20
<i>Kara</i>	22
<i>Khelif-Bouassida</i>	14

Khmelnitsky12, 20

L

Lamercherie.....17
Le Bars11
Lhommeau.....18
Lime12, 15
Liu18
Lu.....19
Lubat.....16

M

Marangé.....15
Mohamed11

N

Niel19, 20

O

Outamazirt.....13

P

Pétin15
Philippot.....21
Piétrac19, 20
Plassart13

R

Roux.....12

T

Tahiri.....21
Tajer.....21
Toguyéni.....14
Trouillet.....14
Trunk16, 21

W

Winck.....18

Partenaires



Université d'Angers



Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés (LARIS)



Groupe de recherche Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes Dynamiques



Polytech Angers



RFI Atlanstic 2020



Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N)