

Avant-projet TRIO

Temps Réel et InterOpérabilité

Nancy

THÈME 1B



*R*apport
*d'*Activité

1999

Table des matières

1	Composition de l'équipe	3
2	Présentation et objectifs généraux	4
3	Fondements scientifiques	5
4	Domaines d'applications	7
5	Logiciels	8
5.1	XTIOSM	8
6	Résultats nouveaux	8
6.1	Mécanismes exécutifs et protocoles	8
6.1.1	Priorités dynamiques pour l'ordonnancement de messages	8
6.1.2	Lissage de flux sous contraintes temps réel	9
6.1.3	Optimisation dans les réseaux	9
6.1.4	Messageries multimédia	10
6.1.5	Classification des protocoles MAC	10
6.1.6	Algorithmes non déterministes de synchronisation d'horloges	11
6.2	Formalismes et techniques de vérification	11
6.2.1	Analyse d'ordonnançabilité, proposition de configurations ordonnançables	11
6.2.2	Sémantique des réseaux de Petri temporisés	13
6.2.3	Test d'interopérabilité	13
6.2.4	Validation de protocoles	14
6.3	Procédés de modélisation	14
6.3.1	Langage de modélisation des applications de supervision dans le domaine manufacturier	15
6.3.2	Modélisation modulaire d'applications temps réel distribuées	15
6.3.3	Conceptions d'applications par réutilisation de composants	16
7	Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)	16
7.1	COVADIS (COnception et Validation d'Applications DIStribuées temps réel) .	16
7.2	Projet CAROSSE	16
7.3	Contrat PSA	17
7.4	Projet "Architecture Electronique Embarquée"	17
7.5	Projet EDF "M_PCCN"	17
8	Actions régionales, nationales et internationales	18
8.1	Actions régionales	18
8.2	Actions nationales	18
8.2.1	Action Maddes	18
8.3	Actions européennes	18
8.3.1	Action Alapedes	18

8.3.2	Projet EP 26951 NOAH	19
8.4	Actions internationales	19
8.5	Visites, et invitations de chercheurs	19
9	Diffusion de résultats	19
9.1	Animation de la Communauté scientifique	19
9.2	Enseignement	20
10	Bibliographie	20

TRIO est un avant-projet du LORIA (UMR 7503) commun au CNRS, à l'INRIA, à l'université Henri POINCARÉ Nancy 1, à l'université Nancy 2 et à l'Institut National Polytechnique de Lorraine.

1 Composition de l'équipe

Responsable scientifique

Simonot-Lion Françoise [Maître de Conférences à l'INPL-ENSEM]

Responsable permanent

Thomasse Jean-Pierre [Professeur à l'INPL-ENSEM]

Secrétaire

Dalbourg Micheline [INPL]

Personnel Université

Song YeQiong [Maître de Conférences à l'UHP Nancy I]

Dufner Michel [Professeur certifié à l'INPL]

Personnel INRIA

Gaujal Bruno [Chargé de Recherche]

Chercheurs extérieurs

Simonot François [Maître de Conférences à l'UHP Nancy I, IECN]

Chercheur post-doctorant

Haar Stefan [TMR Alapedes, du 01/02/99 au 31/10/99]

Chercheurs doctorants

Cavaliere Domenico [Boursier CIFRE convention PSA depuis le 01/02/99]

Diaz Gladys [Boursière du gouvernement Vénézuélien jusqu'au 30/09/99, ATER depuis le 01/10/99]

Fonseca Pedro [Boursier de l'Université d'Aveiro (Portugal) jusqu'au 30/04/99]

Hyon Emmanuel [Boursier INRIA depuis le 01/11/99]

Jumel Fabrice [Boursier MENESR depuis le 01/11/99]

Kaiser Laurent [Boursier MENESR et moniteur Université de Metz]

Leòn Chavez Miguel Angel [Boursier du gouvernement Mexicain]

Navet Nicolas [Boursier MENESR et moniteur Université de Metz jusqu'au 31/10/99]

Ingénieur expert

Castelpietra Paolo [Chercheur FIRTECH convention PSA]
Jaray Olivier [Chercheur FIRTECH convention EDF]
Migge Jörn [Ingénieur projet AEE depuis le 01/04/99]
Prince Grégory [Ingénieur projet NOAH jusqu'au 30/06/99]

Stagiaires

Cabus Gérald [stagiaire DEA/ENSEM jusqu'au 31/08/99]
Jumel Fabrice [stagiaire DEA/ENSEM jusqu'au 31/08/99]
Hellrigel Daniel [stagiaire AFPA]

2 Présentation et objectifs généraux

Les travaux de l'équipe TRIO se situent dans le cadre de la conception d'applications temps réel distribuées. Les applications considérées sont donc celles dont l'exécution doit respecter des contraintes de temps et dont la complexité et/ou les contraintes d'utilisation nécessitent leur répartition ; il s'agit par exemple, de systèmes d'automatisation de la production, de systèmes de surveillance, de systèmes embarqués, d'applications multimédia. Ces applications sont constituées en majorité d'activités périodiques (tâches, transmission de messages). De plus, on les gère en prenant en considération les différents modes de fonctionnement ainsi que les erreurs et événements aléatoires. Enfin les caractéristiques fonctionnelles et les performances des matériels doivent être intégrées pour traiter le temps physique.

Aussi, le terme conception signifie, dans ce contexte, la spécification, la validation et le dimensionnement des architectures opérationnelles de ces applications, en prenant en compte à la fois, la spécification fonctionnelle de l'application, ses spécifications non fonctionnelles (en particulier, les contraintes de temps que l'application doit respecter) et les caractéristiques et performances des architectures informatiques supports. Sous le terme validation, nous entendons la vérification de propriétés temporelles sur des modèles de l'architecture et, sous celui de dimensionnement, la possibilité de comparer des architectures suivant des critères de performances.

L'objectif des travaux menés au sein de TRIO est donc de fournir un ensemble de techniques et de méthodes pour assister le concepteur d'architectures distribuées temps réel dans les tâches de construction, de validation et de dimensionnement de ces architectures. C'est pourquoi, nos travaux se décomposent en trois actions complémentaires :

- la spécification de mécanismes exécutifs tels qu'ils permettent aux applications supportées de respecter les contraintes de temps du cahier des charges, ou de mettre en œuvre des algorithmes de tolérance aux fautes temporelles,
- les méthodes de vérification de propriétés temporelles d'une architecture opérationnelle par exploitation (analyse et/ou simulation) de modèles de cette architecture,
- les procédés de construction de modèles d'application, afin d'une part, de les exploiter pour la preuve de propriétés et, d'autre part, de construire et éventuellement engendrer le squelette de cette application.

3 Fondements scientifiques

La vérification de propriétés comportementale et temporelle, au sens du temps physique, d'une application distribuée se conduit par des techniques d'exploitation de modèles. Dans le cadre déterministe, on fait appel aux automates temporisés introduits par Alur¹, qui permettent de valider la dynamique du modèle sous des contraintes temporelles. Nous utilisons également les réseaux de Petri temporisés et temporels pour mieux rendre compte des phénomènes de synchronisation et de choix. Dans une volonté d'unification, nous cherchons à établir des équivalences entre automates temporisés et réseaux de Petri temporels par bisimulation [20]. Il est bien connu que les approches de "model-checking" applicables sur ces modèles conduisent à l'explosion combinatoire de l'espace des états possibles du système. Pour pallier ce problème, nous travaillons sur des techniques dites "à la volée"² que nous étendons pour prendre en compte les caractéristiques de temps physique. Ces techniques sont plus particulièrement étudiées afin de générer les tests d'interopérabilité temporelle. Par ailleurs, pour certaines classes de réseaux de Petri (les graphes d'événements), nous pouvons décrire leur évolution dans l'algèbre $(\max,+)$ ³. Cela nous permet de faire des calculs explicites de temps de réponse [30].

Quand les caractéristiques du système ne sont pas entièrement connues, nous faisons appel à des hypothèses probabilistes puis nous cherchons à calculer les distributions des fonctions intéressantes du système, comme les temps de réponse. Dans une volonté de traiter des modèles réalistes, nous nous sommes éloignés du cadre Markovien strict. Nous avons utilisé un modèle d'erreur de transmission semi-Markovien pour les réseaux embarqués [4] (en utilisant des chaînes de Markov incluses); nous avons étudié un trafic d'entrée indépendant et stationnaire pour faire des calculs de bornes sur les temps de réponse⁴ (en utilisant les probabilités de Palm) et nous avons développé des stratégies de contrôle d'admission sous des hypothèses de stationnarité, sans indépendance (en utilisant des méthodes de couplages trajectorielles) [7].

La conception et la validation d'architectures distribuées temps réel impliquent d'en établir des modèles dont les objectifs peuvent être : la vérification a priori de propriétés, le test a posteriori ou la capitalisation. Ces objectifs s'appliquent à tout ou partie de l'architecture. Il s'agit donc de définir un support à la modélisation. Dans le domaine du génie logiciel, ce problème est bien connu et de nombreux travaux sur les ADL (Architecture Description Language) apportent des éléments de solutions⁵. Tous les ADL permettent la réutilisation par agrégation/composition de composants. La problématique de TRIO doit prendre en compte non seulement le temps réel mais aussi la tolérance aux fautes spécialement temporelles. Ceci passe obligatoirement par la description, d'une part, du comportement interne sous la forme d'une abstraction du code à exécuter, et de la sémantique comportementale des échanges

1. Alur R., Courcoubetis C., Dill D.L., *Model Checking for Real-Time Systems*, in Proceedings 5th Annual Symposium on Logic in Computer Science, PP. 414-425, IEEE Computer Society Press, 1990.

2. Jard C., Jéron T., Fernandez J.-C., Mounier L., *On the fly verification of finite transition systems*, Rapport interne IRISA, 1993.

3. Baccelli F., Gohén G., Olsder G.J et Quadrat J.-P., *Synchronization and Linearity*, Wiley, 1992.

4. Migge J., *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*, Thèse de l'Université de Nice, 1999.

5. Vestal S., *A cursory Overview and Comparison of four Architectural Description Languages*, Technical Report, february 1993.

(connecteur) entre composants et, d'autre part, de la prise en compte de la distribution et des performances de l'architecture informatique support. Ce dernier problème est partiellement traité, dans un cadre limité dans VOLCANO⁶ et METAH⁷. Une autre voie pour prendre en compte le comportement d'une application et, plus particulièrement, sa modélisation sous l'angle de la communication entre les composants, est apportée par les FDT (Formal Description Technique). Il reste néanmoins que, avec les FDT, la modélisation structurante des trois composantes que sont l'architecture fonctionnelle/logicielle, la distribution et l'architecture informatique support, n'est pas aisée. De plus, la prise en compte du temps est limitée à la manipulation de délais ce qui rend la description des performances temporelles délicate à représenter. Les modèles d'architectures doivent nécessairement être exploitables aux fins d'évaluation de performances, de garantie de sûreté de fonctionnement, de vérification de propriétés temporelles. Une première solution présentée dans la littérature est l'exécution/simulation de modèles, comme dans RAPIDE, avec la mise en œuvre de la théorie des POSETS, ou à partir d'un modèle décrit à l'aide d'une FDT, par utilisation de traducteurs de ces modèles dans un autre formalisme (ESTELLE vers des automates temporisés communicants⁸, LOTOS vers les réseaux de files d'attente⁹). Des techniques de "model-checking" sont mises en œuvre dans SAM, WRIGHT avec une prise en compte très abstraite des performances du support informatique, dans VOLCANO sous des hypothèses très fortes d'ordonnabilité locale des tâches et dans METAH sous la contrainte de modéliser une application centralisée.

Nos travaux sur la modélisation ont pour objectif de prendre en considération les types de propriétés à prouver ainsi que les techniques support de la vérification afin de proposer des formalismes et procédés spécifiques de modélisation utilisables par un architecte de systèmes et surtout, pertinents pour les activités de vérification. Le terme "pertinent" pouvant par exemple, signifier que les politiques d'ordonnancement et les protocoles de communication doivent être modélisés précisément (temps réel dur), ou qu'on peut en faire abstraction sous certaines hypothèses. Bien entendu, tout modèle d'architecture doit être "traduit" dans chaque formalisme nécessaire à sa validation (réseaux de Petri, graphe d'événements, réseaux de files d'attente, ...) [5]. Ces mécanismes de traduction sont également un point d'études de TRIO. Enfin, notre expérience nous a conduit à aborder l'étude des procédés de modélisation, sous un angle "applicatif" ; c'est pourquoi, les travaux de recherche, dans cet axe, reposent essentiellement sur l'analyse de classes d'applications.

Dans certains cas, les services exécutifs existants sont insuffisants pour qu'une application donnée respecte les contraintes de temps qui lui sont imposées ou pour qu'elle puisse détecter des fautes temporelles et intégrer des mécanismes de tolérances à ces fautes. Une étude complémentaire et coordonnée à celles portant sur la modélisation et la vérification a priori de propriétés temporelles concerne la définition de mécanismes exécutifs assurant le respect des contraintes de temps pendant l'exécution de l'application ou optimisant le comportement

6. Tindell K., *Volcano*, 5th International CAN Conference, ICC'98, october 1998.

7. Vestal S., *MetaH Reference Manual*, Technical Report, Honeywell Technology Center, march 1995.

8. Mrabet R., *Modèle de simulation QNAP2 pour l'étude de performances de spécifications Estelle hiérarchiques*, Colloque Francophone de l'ingénierie des Protocoles, CFIP'96.

9. Valderruten Vidal A., Hjiej O., Benzekri A., Gazal D., *Deriving Queuing Networks Performance Models from Annotated LOTOS specifications*, 6th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Performance Evaluation, Edimburgh University Press, august 1993.

du système relativement à des métriques de performances choisies. Ces deux objectifs sont étroitement liés. En effet, l'étape de validation a priori permet de mettre en évidence les insuffisances des solutions existantes en identifiant certains "goulots d'étranglements" qui amoindrissent les performances du système, ce qui nous amène à envisager de nouvelles solutions. Dans ce domaine, les recherches en informatique temps réel ont essentiellement porté sur des systèmes "statiques" (trafic parfaitement identifié, environnement prévisible . . .). Or l'environnement d'utilisation, par ses effets sur le comportement de certains composants du système (par exemple sur le médium de transmission), ne permet plus d'envisager une prévisibilité absolue. Il faut alors envisager des garanties probabilistes sur la qualité de service (ordonnancement, synchronisation d'horloges) et l'extension des mécanismes exécutifs existants leur permettant de s'adapter dynamiquement à une évolution de l'application ou de son environnement et de fournir une qualité de service constante^{10, 11}.

4 Domaines d'applications

Les travaux présentés concernent tous les domaines où les applications sont distribuées et où des contraintes de temps doivent être respectées lors de leur exploitation. Par ailleurs, pour un intégrateur de systèmes, ils ont un intérêt supplémentaire pour maîtriser, spécifier et/ou vérifier l'interopérabilité comportementale et temporelle de composants réalisés séparément (NOAH, contrat EDF). Ces travaux s'appliquent notamment aux niveaux 0 et 1 des applications d'automatisation, pour lesquels une disponibilité du système est exigée. Ils s'utilisent également dans le contexte des applications embarquées dont, d'une part, les propriétés doivent être prouvées afin de garantir la sécurité des hommes, des machines et de l'environnement et dont, d'autre part, certains critères, comme la consommation d'énergie, le coût, la taille des composants matériels doivent être optimisés. Les trois thèmes de recherche de TRIO (modélisation, vérification et mécanismes exécutifs) se retrouvent dans les études menées dans le cadre des projets liés aux systèmes embarqués dans l'automobile (CAROSSE, AEE), aux applications de supervision d'une ligne manufacturière (contrat PSA) ou aux applications de surveillance aérienne (COVADIS). Signalons enfin que certains résultats ont été appliqués à l'optimisation de moteurs de recherche sur le WEB et que les principes développés dans TRIO ont été utilisés pour spécifier des mécanismes protocolaires dans les applications coopératives multimédia (DIATELIC).

10. Stankovic J.A., Burns A., Jeffay K., Jones M., Koob G., Lee I., Lehoczky J., Liu J., Mok A., Ramamritham K., Ready J., Sha L., Van Tilborg, A., *Strategic Directions in Real-Time and Embedded Systems*, ACM Computing Surveys, 28(4), 1996.

11. Le Lann G., *Predictability in Critical Systems*, Formal Techniques in Real-Time and Fault-Tolerant Systems, 1998.

5 Logiciels

5.1 XTIOSM

Participant : Laurent Kaiser.

Cet outil, développé en C++ sous XWindow, permet de concevoir, de modifier et de manipuler des TIOSM (Timed Input Output State Machine). Il est capable de générer des graphes d'accessibilité, de détecter des interblocages et des famines mais aussi de vérifier à la volée des propriétés temporelles (exprimées elles-même sous forme de TIOSM). De plus, XTIOSM est capable de traduire un TIOSM en un réseau de Petri temporel (et réciproquement) et en un modèle SDL (directement utilisable avec l'outil ObjectGéode).

6 Résultats nouveaux

6.1 Mécanismes exécutifs et protocoles

Résumé : *Dans les systèmes temps réel on distingue généralement deux types de contraintes : des contraintes strictes et des contraintes souples. Traditionnellement les activités (tâches/messages) à contraintes strictes sont supposées périodiques avec des échéances qui doivent être garanties, alors que les activités à contraintes souples sont généralement aperiodiques avec des échéances qui peuvent être occasionnellement dépassées sans conséquences majeures. Nous proposons des mécanismes d'ordonnancement de ces deux types d'activités avec pour chacune un objectif différent : (1) assurer le respect des contraintes de temps strictes, (2) minimiser le temps de réponse des activités à contraintes souples. Par ailleurs, pour dater précisément les occurrences d'événements dans les applications distribuées, il est indispensable de disposer d'une référence de temps unique. Cet objectif peut être difficilement atteignable, aussi proposons nous un cadre pour avoir des garanties probabilistes sur la synchronisation des horloges. Enfin, en référence aux solutions temps réel classiques, nous avons spécifié des mécanismes protocolaires dans le contexte des applications multimédia réparties.*

6.1.1 Priorités dynamiques pour l'ordonnancement de messages

Mots clés : Ordonnancement dynamique, modèles d'erreurs, "dual-priority".

Participants : Bruno Gaujal, Jörn Migge, Nicolas Navet, YeQiong Song.

Des études antérieures ont montré par simulation que l'ordonnancement préemptif de tâches selon la politique "Dual-Priority" est efficace. Nous avons adapté cette politique à l'ordonnancement de messages, dans un premier temps, sous l'hypothèse d'un médium fiable et avons évalué ses performances d'un point de vue quantitatif en termes de temps de réponse et de variance des temps de réponse [25], [14]. Nous avons également analysé cette stratégie d'un point de vue qualitatif, en prouvant dans [9] par une méthode trajectorielle qu'elle se comporte toujours mieux que la politique classique dite d'ordonnancement en arrière plan, sous

une hypothèse FIFO sur le trafic à contraintes souples. Ce résultat a été également prouvé pour l'ordonnancement préemptif de tâches.

Nous avons mis en évidence que la politique d'ordonnancement "Dual-Priority" utilisé sur un médium potentiellement non fiable expose fortement le trafic à contraintes strictes à des dépassements d'échéances. Ce problème identifié, nous avons proposé un mécanisme simple, dégradant faiblement les performances, permettant de garantir une QoS (qualité de service) exprimée en termes de probabilité de respect des échéances [25], [14]. Enfin, nous avons proposé des mécanismes permettant de fixer "en-ligne" les paramètres du modèle d'erreurs dont l'utilisation s'impose lorsqu'il n'est pas possible de déterminer a priori le niveau de perturbation sur le bus ou lorsque celui-ci est soumis à de fortes variations [25].

6.1.2 Lissage de flux sous contraintes temps réel

Participants : Bruno Gaujal, Nicolas Navet.

Si Dual-Priority est une politique généralement très efficace, elle possède l'inconvénient certain de requérir des modifications au niveau du contrôleur de communication. Nous proposons [10] une politique, basée sur une technique de lissage de flux, qui poursuit les mêmes objectifs tout en restant compatible avec les contrôleurs existants. Cette politique, comme cela a été prouvé, préserve la faisabilité du système ; sa complexité algorithmique est linéaire en fonction du nombre de messages à contraintes strictes du système. Ceci lui permet d'être utilisée en ligne avec une surcharge minimale en temps de calcul. D'autre part, la politique proposée peut fonctionner en présence de stations désynchronisées avec décalages initiaux connus et inconnus, de giges en émission et de changements de modes de marche. En termes de performances, cette politique à lissage de flux reste proche de Dual-Priority à charge faible ou modérée et se comporte toujours mieux que la politique d'ordonnancement en arrière plan.

6.1.3 Optimisation dans les réseaux

Mots clés : Contrôle d'admission, multimodularité, mots de Sturm.

Participants : Eitan Altman [INRIA Sophia], Sandjai Bhulai [Free University of Amsterdam], Bruno Gaujal, Arie Hordijk [Leiden University].

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux propriétés des fonctions multimodulaires. Ce faisant, nous avons montré de nouvelles preuves des propriétés établies par Hajek et nous avons étendu certains de ses résultats. En particulier, nous avons montré la relation qui existe entre multimodularité et convexité, ce qui nous permet d'étudier la multimodularité sur des parties convexes de \mathbb{Z}^m . Nous avons ainsi obtenu des résultats généraux d'optimisation pour le coût moyen d'une suite de fonctions multimodulaires.

Par la suite, nous avons étendu le domaine d'application des techniques précédentes. Nous avons montré que la charge moyenne ainsi que le temps d'attente moyen dans un système $(\max, +)$ linéaire avec une seule entrée est multimodulaire. Nous avons utilisé ensuite ce résultat pour construire un contrôle d'admission déterministe optimal sous des contraintes de taux d'admission, [7]. Nous avons aussi appliqué cette technique pour calculer la politique optimale

avec les processus de Poisson modulés et les processus d'arrivée Markoviens pour calculer le parcours d'un robot de moteur de recherche sur le WEB [17].

Enfin, nous avons présenté dans [6] une vue d'ensemble sur le problème combinatoire suivant : est-il possible de construire une suite infinie sur n lettres dans laquelle chaque lettre est distribuée aussi régulièrement que possible et apparaît avec une fréquence fixée? Le deuxième objectif de ce travail est de montrer l'intérêt d'une telle construction dans le cadre du routage optimal dans les réseaux de files d'attente. Nous avons montré, sous des conditions assez générales, que le routage déterministe optimal est une suite équilibrée.

6.1.4 Messageries multimédia

Mots clés : Communication de groupe.

Participants : Gladys Diaz, Zoubir Mammeri [IRIT Toulouse], Jean-Pierre Thomesse.

Nous avons analysé les applications multimédia sous l'angle des communications de groupe, de la synchronisation et du temps¹². En particulier, nous avons identifié les contraintes temporelles sur les flux associés à un mode et sur des flux associés à des modes différents [19]. Une messagerie multimédia a été proposée. Elle repose sur la définition des services pour le support des échanges coopératifs des données multimédia dans les environnements coopératifs. Ces travaux font l'objet de la thèse de Gladys Diaz (soutenance prévue au premier trimestre 2000). Ils ont abouti à la conception du modèle MMMS (MultiMedia Message Specification) pour l'identification des services à différents niveaux et la spécification des primitives de services. Ces concepts ont été appliqués à l'application DIATELIC (Télé-surveillance de dialysés à domicile).

6.1.5 Classification des protocoles MAC

Mots clés : Spécification des besoins, contraintes temporelles, paradigmes, MAC.

Participants : Miguel Angel Leòn Chavez, Jean-Pierre Thomesse.

Nous avons proposé une méthodologie de classification des protocoles MAC (Medium Access Control) selon des critères applicatifs temps réel. Afin d'identifier les contraintes temporelles dans le système de communication, nous avons fait l'analyse des besoins temporels des applications temps réel et nous les avons traduits en contraintes temporelles au niveau de la couche MAC du modèle de référence OSI. Chaque protocole MAC possède un ensemble de caractéristiques qui peuvent ou non vérifier ces contraintes temporelles et donc, ils peuvent potentiellement être classifiés selon les contraintes vérifiées. Cette approche permet d'identifier les mécanismes et les algorithmes définis dans les protocoles MAC vérifiant certaines contraintes temporelles. Cette classification nous permet d'envisager l'ordonnancement réparti des tâches avec celui de l'ordonnancement des messages à partir de ces mécanismes et de ces algorithmes et ceci, avec l'objectif d'étudier diverses combinaisons selon le paradigme statique/dynamique [16], [24], [27].

12. A paraître : Diaz G., Mammeri Z., Thomesse J-P., *Distributed Multimedia Applications, Systems and Platforms*. Nagib Callaos, 1998. Parallel and Distributed System: Theory and Applications.

6.1.6 Algorithmes non déterministes de synchronisation d’horloges

Mots clés : Garantie de synchronisation, techniques probabilistes.

Participants : José Fonseca [Université d’Aveiro], Pedro Fonseca, Zoubir Mammeri, Jean-Pierre Thomesse.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d’une action de co-tutelle de thèse avec le Professeur José Fonseca de l’Université d’Aveiro (Portugal). Il s’agit de fournir un cadre d’analyse et de validation des algorithmes non déterministes de synchronisation d’horloges. Ces algorithmes utilisent des techniques statistiques ou probabilistes et il a été prouvé qu’ils permettent d’obtenir une première précision par rapport aux algorithmes déterministes, le prix à payer étant une probabilité non nulle que le système ne réussisse pas à se synchroniser avec la précision souhaitée. Cette probabilité d’échec tend vers zéro avec le nombre de messages échangés et elle peut être réduite à une valeur aussi petite qu’on le souhaite avec un nombre de messages suffisamment grand. Nous avons établi un modèle analytique unifié pour décrire le fonctionnement des algorithmes de synchronisation non déterministes. L’objectif est de trouver une expression que le concepteur d’un système distribué puisse utiliser pour calculer le nombre de messages requis pour un certain algorithme, de façon à fournir la synchronisation respectant la précision et la probabilité d’erreur imposées. Ce résultat est désigné sous le terme “Condition de Garantie de Synchronisation”, qui définit une condition suffisante de qualité de synchronisation non-déterministe sous les conditions spécifiées. Cette condition est établie à partir de paramètres locaux d’un site et de paramètres du système facilement calculables, tels que le nombre de sites et les paramètres qui décrivent le délai sous la forme d’une variable aléatoire. Cette approche a été mise en œuvre sur une application distribuée autour du réseau CAN (Control Area Network)[2].

6.2 Formalismes et techniques de vérification

Résumé : *La nécessité de garantir que des applications distribuées temps réel respecteront, tout au long de leur exploitation, les contraintes de sûreté de fonctionnement spécifiées dans leur cahier des charges, impose de disposer de modèles de ces applications. Dans TRIO, nous nous intéressons à leurs propriétés temps réel. Les formalismes utilisés relèvent généralement des automates étendus par des attributs temporels ou des réseaux de file d’attente [15]. Dans un cas, comme dans l’autre, nous avons développé des techniques d’analyse de ces modèles.*

6.2.1 Analyse d’ordonnançabilité, proposition de configurations ordonnançables

Mots clés : Ordonnançabilité, allocation, configuration, algorithme génétique, algèbre $(\max, +)$.

Participants : François Baccelli [ENS], Gérald Cabus, Bruno Gaujal, Jörn Migge, Nicolas Navet, Daniel Simon [INRIA Rhône-Alpes], Françoise Simonot-Lion, Yeqiong Song.

Systèmes multi-politiques et optimisation de l'ordonnancement.

Un modèle mathématique a été développé¹³ pour décrire un ensemble de tâches récurrentes à contraintes temps réel s'exécutant sur un processeur. Ce modèle nous a permis dans [11] d'obtenir des bornes sur les temps de réponse de tâches s'exécutant sur un système d'exploitation se conformant au standard Posix1003.1b, offrant la possibilité d'ordonner conjointement des tâches sous les politiques "*sched_fifo*" et "*sched_rr*" (sous certaines hypothèses peu restrictives, respectivement équivalentes à Fixed Priority Policy et Round-Robin). Considérant ensuite qu'il existe généralement plusieurs solutions d'ordonnancement à un même problème, nous nous sommes posé la question du choix de la meilleure solution pour l'application considérée. Des critères généraux permettant de choisir entre différentes configurations correctes ont été définis et nous avons expérimenté une approche, basée sur un algorithme génétique, pour parcourir l'espace des solutions [12], [4]. Si la faisabilité est un pré-requis pour la mise en œuvre d'une solution d'ordonnancement dans un contexte temps réel, notre conviction est qu'il faut également fonder son choix sur l'étude des répercussions de l'ordonnancement sur le processus physique sous contrôle [13]. Les résultats de recherche dans cette direction sont à notre connaissance encore peu nombreux et des progrès significatifs ne pourront être réalisés qu'en intégrant plus étroitement les modèles issus de l'automatique¹⁴.

Allocation et configuration de tâches et de messages. Nous considérons une application distribuée d'un point de vue global, à savoir sous la forme d'un ensemble de tâches, utilisant les ressources des processeurs sur chaque nœud, et de messages transitant sur le réseau. Nous avons étudié l'ordonnancement de cet ensemble dans le cas où les exécutifs locaux sont OSEK/VDX et où le réseau est CAN. Plus précisément, nous avons développé un algorithme d'affectation des priorités aux tâches (au sens OSEK/VDX) et aux messages (au sens CAN). Dans un deuxième temps, nous avons étendu cet algorithme pour placer les tâches sur les nœuds. Ces problèmes étant connus pour être NP-complets, nous avons implanté un algorithme génétique pour explorer l'espace des solutions [31].

Analyse d'ordonnancement à l'aide de l'algèbre $(\max,+)$. Dans [30], nous présentons sous forme d'un réseau de Petri le modèle d'un système de tâches périodiques temps-réel, à priorités fixes, préemptives et avec synchronisation, tâches qui sont exécutées par le contrôleur d'un robot. A l'aide de l'algèbre $(\max,+)$, nous établissons des tests simples pour vérifier que des contraintes temps-réels sur ces tâches, comme des contraintes sur les temps de réponse et les échéances, sont respectées par l'application. Cette méthode prend en compte les contraintes de précedence et de synchronisation et n'est pas limitée à une politique d'ordonnancement particulière.

13. Migge J., *Scheduling of recurrent tasks on one processor : a trajectory based model*, Thèse de l'Université de Nice, 1999.

14. Blum I., Juanole G., *Comparing the networks CAN and ARINC 629 CP with respect to the quality of the service provided to an automatic control application*, in Proceedings Fieldbus Technology (FET'99), PP. 128-135, 1999.

6.2.2 Sémantique des réseaux de Petri temporisés

Mots clés : Réseaux de Petri, automates temporisés.

Participants : Bruno Gaujal, Stefan Haar, Laurent Kaiser, Françoise Simonot-Lion.

Nous avons analysé les conditions pour avoir un comportement non ambigu d'un réseau de Petri temporisé qui contient des transitions immédiates. La non-ambiguïté du comportement du réseau signifie que le comportement est déterminé de façon unique par un ensemble de paramètres de contrôle qui sont connus [34]. Pour ce faire, nous décrivons deux sémantiques qui traitent le non-déterminisme de manières différentes. La première politique, appelée politique limite considère les transitions immédiates comme des limites de transitions temporisées par epsilon. La deuxième politique, appelée politique à priorité globale définit un ordre dynamique sur les transitions tirées selon cet ordre. [34] montre les avantages, les inconvénients et les dangers des deux politiques ainsi que leurs relations.

Nous avons comparé les modèles de types automate et réseau de Petri à comportement soumis à des contraintes de temps physique. Dans ce cadre, un premier résultat démontre que les réseaux de Petri temporels (TPN) sont équivalents aux Timed Input Output State Machine (TIOSM) du point de vue du comportement temporel. Nous avons prouvé que les automates temporisés d'Alur et Dill sont équivalents au même sens aux réseaux de Petri temporels avec priorité [20]. Ces résultats ont donné lieu à l'implantation d'un traducteur entre TIOSMs et TPNs et réciproquement. Ce traducteur est intégré à l'outil XTIOSM.

Dans une étude antérieure, nous avons démontré l'intérêt d'utiliser une sémantique des réseaux d'actions pour proposer une construction soit topologique, soit selon les Processus de Branchements. Dans [21], nous proposons une alternative à la sémantique classique d'Engelfriet et al. Dans [21], [35], nous spécifions des propriétés structurelles des réseaux d'actions qui relèvent de sémantiques différentes ainsi que de nouvelles variantes de la logique temporelle CTL permettant de définir et vérifier des propriétés sur différentes trajectoires possibles.

6.2.3 Test d'interopérabilité

Mots clés : Test de conformité, interopérabilité temporelle, génération de tests.

Participants : Olivier Jaray, Laurent Kaiser, Françoise Simonot-Lion, Jean-Pierre Thomesse.

Les méthodes de tests apportent une approche complémentaire aux techniques de validation a priori; elles permettent, en particulier, de résoudre les problèmes d'interopérabilité qui se posent lors de l'intégration d'équipements développés séparément. Nous avons mené deux actions pour fournir un cadre formel à ces approches de tests.

La première se situe dans le contexte d'un contrat avec la société EDF. Les équipements dont l'interopérabilité doit être testée, communiquent selon un protocole spécifique. Nous nous appuyons sur la spécification formelle de ce protocole, sous SDL, pour construire les séquences de tests. A partir du modèle SDL validé du protocole de communication, nous avons réalisé une

simulation exhaustive de celui-ci. Nous avons ainsi obtenu un ensemble de scénarii traduits sous le standard MSC (Message Sequence Chart) puis nous les avons répertoriés selon leur classe de conformité. A partir de là, les différents cas ont été codés pour être utilisés par le testeur. Ces scénarii sont en cours d'utilisation à EDF [3], [39], [22], [38].

La deuxième approche, plus théorique, prend en compte les propriétés d'interopérabilité temporelles qui ne pouvaient être facilement démontrées dans le formalisme SDL. La complexité des algorithmes nécessaires aux approches exhaustives nous a conduit à développer une méthode de vérification dite "à la volée" intégrant les caractéristiques et contraintes temporelles. Le formalisme utilisé est celui des Timed Input Output State Machine (TIOSM). Le procédé consiste en une construction dynamique et en un parcours en profondeur du graphe des classes d'états déduit du produit synchronisé du modèle du système à tester et d'une propriété donnée P ¹⁵. Nous déterminons un chemin représentant une trajectoire de l'application vérifiant la propriété P , puis nous exploitons le résultat obtenu pour la génération d'une séquence de tests T , exploitable par un testeur. T est homomorphe à la trajectoire (mêmes états, mêmes transitions). Les intervalles de tirs ($[a,b]$) des différentes transitions de T sont calculées dynamiquement au cours du test, par la résolution d'un système d'inéquations linéaires à partir des intervalles calculés dans les étapes précédentes [23]. Ce travail a été programmé dans l'outil XTIOSM. Pour les résolutions numériques, cet outil fait appel à des bibliothèques mathématiques. Le testeur, quant à lui, embarque les fonctions de résolutions de systèmes d'inéquations linéaires (méthode du Simplex).

6.2.4 Validation de protocoles

Mots clés : Séquencement de PDU, niveaux d'acquiescement.

Participants : Olivier Jaray, Jean-Pierre Thomesse.

Nous avons modélisé, à l'aide de SDL, un protocole de communication spécifié par la société EDF, et situé au niveau de la couche application. Ce modèle a été simulé grâce à l'outil ObjectGeode de Verilog. L'exploitation des résultats de cette simulation a permis de détecter les ambiguïtés dans les spécifications ; nous avons alors proposé des modifications du protocole. Grâce à cette démarche, une validation complète du protocole a été faite [3], [38], [37].

6.3 Procédés de modélisation

Résumé : *Construire le modèle d'applications distribuées dans un des formalismes présentés ci-dessus n'est pas une chose facile. Cette activité requiert de fortes compétences dans la technique de modélisation utilisée, associée à une grande connaissance de l'application et de ses propriétés. Généralement, ce ne sont pas les mêmes personnes qui appréhendent ces deux aspects. Aussi, il est nécessaire, pour réunir les savoir-faire des deux communautés, de fournir :*

– d'une part, un formalisme d'expression de l'application distribuée accessible à

15. Kaiser L., *Vérification de propriétés temporelles à la volée*. In RENPAR'10 - Rencontres Francophones du Parallélisme . (Strasbourg, France). 1998.

- un concepteur de telles applications avec une sémantique*
- *et, d'autre part un procédé de "traduction" du modèle exprimé dans ce formalisme vers un formalisme exploitable pour faire des preuves et éventuellement vers un générateur de squelette de code.*

6.3.1 Langage de modélisation des applications de supervision dans le domaine manufacturier

Mots clés : Dimensionnement, optimisation, modélisation, évaluation de performances.

Participants : Domenico Cavaliere, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song, Jean-Pierre Thomesse.

Cette action est menée dans le cadre d'un contrat avec la société PSA (thèse de Domenico Cavaliere). Il s'agit de définir un langage de modélisation des applications informatiques d'automatisation de lignes de production manufacturières. Les résultats attendus d'une telle modélisation sont non seulement la connaissance du comportement dynamique (cas moyen, cas pire) mais également le dimensionnement (configurer, paramétrer). Un état de l'art sur les moyens de décrire des architectures informatiques a été fait. Dans un premier temps, une analyse des ADL, au sens classique du terme, ainsi que du langage SDL a été menée [33]; elle a conclu sur l'impossibilité de construire des modèles exploitables pour vérifier des propriétés temporelles et optimiser le dimensionnement des applications à l'aide de ces seuls formalismes. Dans un deuxième temps, le formalisme UML a été étudié et nous avons fait une première proposition d'une part, d'un procédé de modélisation sous UML en intégrant des informations de performances et de sûreté de fonctionnement et, d'autre part, de validation par dérivation des modèles UML en modèles SDL et en automates temporisés, exploitables sous le logiciel OPNET. Les propriétés de temps logique seront prouvées par Model Checking et celles de temps physique par simulation.

6.3.2 Modélisation modulaire d'applications temps réel distribuées

Mots clés : Electronique embarquée, réseaux de files d'attente, validation temporelle.

Participants : Paolo Castelpietra, Fabrice Jumel, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Ce travail est supporté, d'une part, par le programme PREDIT 2 (projet CAROSSE) et d'autre part, par le programme interministériel "Maîtrise des systèmes complexes réactifs et sûrs" (projet COVADIS). Nous avons défini un cadre de référence ou méta modèle pour la modélisation modulaire des applications distribuées temps réel [32]. Les composants fondamentaux ont été identifiés. Deux types de composants sont définis : les composants matériels (calculateurs, systèmes exécutifs, contrôleurs de communication, pilotes d'entrées-sorties, réseaux) et les composants fonctionnels (activités, tâches différées, tâches immédiates, timers, messages) [8]. Les interactions entre ces composants ont été standardisées et la modélisation, sous forme de réseaux de files d'attente et d'automates temporisés, de plusieurs réseaux (Ethernet, CAN, VAN, TTP) et de plusieurs systèmes d'exploitation a été faite [40]. Le procédé de

construction automatique d'un modèle sous forme de réseaux de files d'attente ou sous forme d'automates temporisés a été spécifié et implémenté [42], [5].

6.3.3 Conceptions d'applications par réutilisation de composants

Mots clés : Indépendance matérielle/logicielle, validation, réutilisation.

Participants : Bruno Gaujal, Laurent Kaiser, Jörn Migge, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Le contexte de cette action de recherche est le projet AEE, financé par le Ministère de l'Industrie. Un premier objectif est la définition d'un support de modélisation des architectures électroniques embarquées dans un véhicule. Ce support doit favoriser les échanges entre constructeurs et équipementiers, la capitalisation et la réutilisation de composants de niveaux divers (calculateurs, fonctions, parties d'architectures), la spécification et la validation de l'interopérabilité lors de l'intégration de composants par un architecte système, la vérification a priori de propriétés de sûreté de fonctionnement (sécurité) et de performances, la documentation. Cette année, l'équipe a participé activement à la définition du langage AIL (Architecture Implementation Language), à savoir la spécification formelle des classes d'objets constituant une architecture ainsi que celle de leurs interactions [41].

7 Contrats industriels (nationaux, européens et internationaux)

7.1 COVADIS (COncption et Validation d'Applications DIStribuées temps réel)

Participants : Fabrice Jumel, Françoise Simonot-Lion.

Il s'agit d'un projet de recherche regroupant les laboratoires I3S (Nice-Sophia Antipolis), IRCyN (Nantes), LAIL (Lille), LORIA-équipe TRIO (Nancy) et le Laboratoire Commun de Recherche de Thomson-CSF. Ce projet est cofinancé par la DRET-DGA et le MENESR dans le cadre de l'appel d'offres "Maîtrise des systèmes complexes réactifs et sûrs". Françoise Simonot-Lion assure la coordination des laboratoires de recherche universitaires. L'objectif du projet est la spécification de modèles et méthodes pour la description et la validation d'applications réparties et à contraintes temps réel: description de composants, description d'architectures, méthodes de vérifications de propriétés temps réel. Le rôle de TRIO dans le projet consiste en la définition d'un procédé de traduction de modèles d'architectures en automates temporisés et de vérification de propriétés temporelles.

7.2 Projet CAROSSE

Participants : Paolo Castelpietra, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Ce projet est soutenu dans le cadre du programme interministériel PREDIT. Les partenaires en sont PSA, l'équipe RTCD du LIP6 de Paris et l'équipe TRIO du LORIA. L'objectif global du projet est de définir un ensemble de méthodes permettant de placer des fonctions de service sur

une architecture embarquée dans un véhicule automobile, puis de valider le placement proposé. En particulier, nous étudions comment caractériser des composants du support informatique de l'application de manière à en construire des modèles de composants dans le formalisme des réseaux de files d'attente.

7.3 Contrat PSA

Participants : Raphaelae Cavaliere, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song, Jean-Pierre Thomesse.

Depuis février 1999, a démarré une thèse (Domenico Raphaël Cavaliere) dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société PSA. Il s'agit de proposer une méthode de modélisation - validation des applications distribuées d'automatisation des lignes de production. Le travail consiste à définir, pour ce type d'applications, d'une part, la notion de composant réutilisable et leurs caractéristiques et, d'autre part, leur composition au sein de l'application.

7.4 Projet "Architecture Electronique Embarquée"

Participants : Bruno Gaujal, Laurent Kaiser, Jörn Migge, Nicolas Navet, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song.

Ce projet rassemble, depuis septembre 1998 et pour trois ans, des représentants des équipementiers automobiles français (Sagem, Siemens Automotive SA., Valeo), des constructeurs automobiles (PSA et Renault), l'Aérospatiale et des laboratoires de recherche (INRIA, IR-CyN et LORIA). L'objectif du programme est d'assurer dans les architectures embarquées l'indépendance du logiciel et du matériel afin de favoriser la flexibilité des développements, la réutilisabilité d'éléments applicatifs tout en garantissant la sûreté de fonctionnement exigée. Françoise Simonot-Lion en assure la responsabilité du projet pour le LORIA. TRIO est impliqué dans plusieurs lots de ce projet : en particulier, nous participons à la spécification du langage AIL, à la caractérisation des composants réutilisables dans une application embarquée, à la spécification du procédé de validation (propriétés de comportement - propriétés temporelles) et à la réalisation des traducteurs de modèles AIL en modèles exécutables ou analysables. Ce travail représente, dans le projet 70 hommes-mois environ (<http://www.aee.inria.fr>).

7.5 Projet EDF "M_PCCN"

Participants : Olivier Jaray, Laurent Kaiser, Jean-Pierre Thomesse.

Le projet M_PCCN (Messagerie Protection et Contrôle Commande Numérique) qui se termine, a pour objectif de spécifier et valider une messagerie EDF projetée sur SNMP pour les postes de transformation haute/moyenne tension. Nous avons généré les suites de tests de conformité et d'interopérabilité des équipements.

8 Actions régionales, nationales et internationales

8.1 Actions régionales

- Projet Fédérateur Regional “Sûreté Industrielle des Systèmes”. 11ème plan, 3ème contrat de plan, état-région Lorraine. Ce projet fédère plusieurs laboratoires lorrains sur les problèmes de l'évaluation et de la conception de la sûreté des systèmes. Dans ce contexte, TRIO a étudié des processus de conception d'architectures opérationnelles sûres de fonctionnement [18].
- DIATELIC. Dans le cadre du projet Télésurveillance Interactive et Coopérative des Dialyses à domicile, une action de valorisation est en cours en coopération avec le CNRS. Un brevet sur l'architecture générale du système est à l'étude. Cette approche est importante car de nombreuses applications pourraient être construites sur le même modèle. La marque a été déposée, et le logiciel le sera dès les premiers résultats de l'expérimentation chez les malades qui démarre actuellement. Ceci expliquent aussi l'absence de publications détaillées sur le sujet.
- “Réseaux Grand Est” intégré dans le GDR-ARP.

8.2 Actions nationales

8.2.1 Action Maddes

Participants : Marianne Akian [INRIA Rocquencourt], Eitan Altman [INRIA Sophia-Antipolis], Stéphane Gaubert [INRIA Rocquencourt], Bruno Gaujal, Jean-Pierre Quadrat [INRIA Rocquencourt].

Bruno Gaujal est responsable de l'action de recherche coopérative Maddes (les détails de ces activités sont disponibles sur le site <http://www.loria.fr/~gaujal/Maddes/presentation.html>). Durant cette première année, ses activités marquantes ont été l'invitation de plusieurs spécialistes des processus de décisions Markoviens sous contrainte (R. Elazouzi et K. Avratchenkov) ainsi que l'organisation d'un “workshop” sur la programmation dynamique et les systèmes à événements discrets les 28 et 29 octobre à l'INRIA Sophia-Antipolis. Le programme de la conférence est disponible sur le site: <http://www.loria.fr/~gaujal/Maddes/Workshop.html>

8.3 Actions européennes

8.3.1 Action Alapedes

Participant : Bruno Gaujal.

Participation au comité de pilotage ainsi qu'aux réunions scientifiques du contrat TMR européen Alapedes et à Delft (Pays-Bas, Octobre 1999). Le thème du projet est l'étude des approches algébriques de l'évaluation de performances de systèmes à événements discrets.

8.3.2 Projet EP 26951 NOAH

Participants : Miguel Angel Leòn Chavez, Grégory Prince, Jean-Pierre Thomesse.

NOAH (Network Oriented Application Harmonisation) est un projet qui a pour but de définir les concepts et spécifier les outils pour concevoir une application projetable sur n'importe quel réseau de la norme européenne EN 50170 (P_Net, Profibus, Worldfip).

Ce projet regroupe Alstom, Siemens, Schneider, Enel, Proces_Data, Softing et les laboratoires suivants : ifak, FZI, Politecnico di Torino, Université de Catania, LORIA.

8.4 Actions internationales

Participants : Bruno Gaujal, Françoise Simonot-Lion, YeQiong Song, Jean-Pierre Thomesse.

Nous avons établi des coopérations avec le Professeur Oracio Mirabella de l'Université de Catania (Italie) et le professeur Claudio Demartini du Politecnico di Torino (Torino, Italie). Nous travaillons sur la spécification de couches application dans les réseaux de terrain. Cette coopération doit se concrétiser par des échanges de chercheurs sous forme de stages courts et longs à partir de décembre 1999.

Depuis 1994, nous collaborons avec le Professeur José Alberto Fonseca de l'Université d'Aveiro (Portugal) dans le contexte d'un projet bilatéral. Cette collaboration se concrétise par une thèse en co-tutelle dans le domaine des réseaux temps réel, et plusieurs autres en projet.

Depuis février 1998, nous collaborons avec le Professeur Alessandro De Carli et le Docteur Francesco delli Priscoli de l'Université La Sapienza (Roma). Les thèmes scientifiques de cette coopération sont la modélisation, l'évaluation de performances dans les réseaux temps réel et les réseaux mobiles. Dans ce contexte, TRIO accueille des stagiaires (stages de master) et étudie les moyens de sa participation à un projet européen sous forme de sous-traitance.

8.5 Visites, et invitations de chercheurs

Bruno Gaujal a visité l'université de Leiden, l'INRIA Sophia-Antipolis, UMASS in Amherst (USA), Jean-Pierre Thomesse a visité l'université d'Aveiro (Portugal).

Les personnes suivantes ont effectué des visites de courte durée dans l'équipe: Alain Jean-Marie (Université de Montpellier), Jean Mairesse (Liafa), Arie Horidjk (Leiden University), Dina van der Laan (Leiden Univ.), F. delli Priscoli et A. de Carli (Univ. La Sapienza. Rome), J. Fonseca (Université Aveiro. Portugal).

9 Diffusion de résultats

9.1 Animation de la Communauté scientifique

- Bruno Gaujal a participé comme conférencier et/ou co-auteur aux conférences suivantes: Allerton (Octobre 1999), Applied Probability (Ulm, Juillet 1999), Applied Probability meeting, Oberwolfach, (November 1999).

- Plusieurs membres de TRIO participent de façon active au GDR ARP STS, Ordo ainsi qu'à "Réseaux Grand Est".
- Jean-Pierre Thomesse a participé comme conférencier invité à INNOCAP'99 (Lyon) et FET'99 (Magdeburg, Allemagne) et en a été l'organisateur de la session invitée NOAH (Network Oriented Application Harmonisation). Il a été président du comité scientifique du colloque européen "Réseaux de capteurs et communications" et est membre du comité de programme de CFIP'99 [1]. Il a animé des séminaires à l'Université d'Aveiro au Portugal et à l'Université de Rosario (Argentine). Il a également effectué des cours à l'Université de Rosario du 22 novembre au 4 décembre 1999.
- Françoise Simonot-Lion a été animatrice de la journée "modélisation et validation d'applications" de l'Ecole Temps Réel'99 (CNRS, Poitiers, septembre 1999).
- Gladys Diaz a été l'organisatrice d'une session invitée à ISAS'99 (Orlando, Floride).
- Françoise Simonot-Lion est membre du comité des projets INRIA-Lorraine.
- Jean-Pierre Thomesse est membre du comité de direction du LORIA.
- Les enseignants chercheurs permanents de TRIO sont membres des commissions de spécialistes 27ième et/ou 61ième section de leur établissement. Françoise Simonot-Lion est membre du CNU 61ième section.

9.2 Enseignement

- Les permanents enseignants chercheurs de l'équipe effectuent leur service à l'INPL, à l'université de Nancy 2 ou à l'université Henri Poincaré Nancy 1 et interviennent dans le DEA d'informatique de Nancy. Ils participent également à la formation continue.
- Françoise Simonot-Lion et Jean-Pierre Thomesse sont auteurs de deux livres en cours de rédaction sur "Méthodes de conception formelle d'applications temps réel" et "Réseaux locaux industriels" à paraître au cours de l'année 2000.
- Bruno Gaujal assure les petites classes du cours de majeure "modélisation et simulation des réseaux de communication" de l'école polytechnique (octobre et novembre 1999) et participe au cours de DEA d'informatique de Paris VI sur les systèmes à événements discrets (décembre 1999).

10 Bibliographie

Livres et monographies

- [1] A. SCHAFF, F. LEPAGE, J.-P. THOMESSE, *Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP'99*, Hermès Science Publications, avril 1999, Actes du 7e Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles, Nancy, France, 26-29 Avril, 1999.

Thèses et habilitations à diriger des recherches

- [2] P. N. FARIA DA FONSECA, *Modélisation et validation des algorithmes non-déterministes de synchronisation des horloges*, Thèse d'université, Aveiro, avril 1999.

- [3] O. JARAY, *Spécification, validation et génération de tests des services de la couche M-PCCN*, Firtech, INPL, juin 1999.
- [4] N. NAVET, *Évaluation de performances temporelles et optimisation de l'ordonnancement de tâches et messages*, Thèse d'université, Nancy (Institut National Polytechnique de Lorraine), novembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-T-188/99-T-188.ps>.
- [5] F. SIMONOT-LION, *Une contribution à la modélisation et à la validation d'architectures temps réel*, Habilitation à diriger des recherches, LORIA INPL, décembre 1999.

Articles et chapitres de livre

- [6] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Balanced Sequences and Optimal Routing », *Journal of the ACM*, 2000.
- [7] E. ALTMAN, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Admission Control in Stochastic Event Graphs », *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2000.
- [8] M. COURRIER, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, « Microscopic modeling of support system for in-vehicle embedded systems », in: *Distributed and parallel embedded systems, IFIP*, Kluwer Academic Publishers, see www.wkap.nl, 1999, ch. 4, p. 139–148.
- [9] B. GAUJAL, N. NAVET, J. MIGGE, « Dual-Priority versus Background Scheduling : a Path-wise Comparison », *Journal of Real-Time Systems*, août 1999, Also available as INRIA Research Report RR-3734.
- [10] B. GAUJAL, N. NAVET, « Traffic Shaping in Real-Time Distributed Systems : a Low-Complexity Approach », *Computer Communications* 22, 17, octobre 1999, p. 1562–1573.
- [11] J. MIGGE, A. JEAN-MARIE, N. NAVET, « Timing analysis of compound scheduling policies : application to Posix1003.1b », *Journal of Scheduling*, août 1999.
- [12] N. NAVET, J. MIGGE, « Fine Tuning the Scheduling of Tasks through a Genetic Algorithm : Application to Posix1003.1b Compliant Systems », *IEE Proceedings - Software*, août 1999, Also available as INRIA Research Report RR-3730.
- [13] N. NAVET, Y.-Q. SONG, F. SIMONOT, « Worst-Case Deadline Failure Probability in Real-Time Applications Distributed over CAN (Controller Area Network) », *Journal of Systems Architecture - The EUROMICRO Journal*, 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-028/99-R-028.ps>.
- [14] N. NAVET, Y.-Q. SONG, « Reliability Improvement of the Dual-Priority Protocol under Unreliable Transmission », *Control Engineering Practice*, 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-036/99-R-036.ps>.
- [15] Y. SONG, F. SIMONOT-LION, N. NAVET, « De l'évaluation de performances du système de communication à la validation de l'architecture opérationnelle - cas du système embarqué dans l'automobile », in: *Ecole d'été Temps Réel 1999*, Hermes, septembre 1999, ISBN 2-9514541-1-2, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-201/99-R-201.ps>.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [16] L. ALMEIDA, M. LEON CHAVEZ, J. A. FONSECA, J.-P. THOMESSE, « Real time communications in manufacturing », in: *ISAS'99*, juillet 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-347/99-R-347.ps>.
- [17] E. ALTMAN, S. BHULAI, B. GAUJAL, A. HORDIJK, « Optimal Routing to M parallel queues with no buffers », in: *33rd Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton, Illinois, USA*, septembre 1999.

- [18] J.-F. AUBRY, F. SIMONOT-LION, « Approche pluridisciplinaire de la sûreté des systèmes », in : *3ème Congrès International Pluridisciplinaire QUALITA '99*, mars 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-215/99-R-215.ps>.
- [19] G. DIAZ, J.-P. THOMESSE, « Multimedia systems and real-time systems : some analogies and similarities », in : *3rd World Multiconference on Systemics, Cybernetics and informatics and 5th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis - SCI'99 / ISAS'99, Orlando, Florida, USA, VI, IIIS : International Institut of Informatics and Systemics*, p. 426 – 433, août 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-199/99-R-199.ps>.
- [20] S. HAAR, L. KAISER, F. SIMONOT-LION, J. TOUSSAINT, « On Automata and Petri Net Models with Time Constraints (Theory Paper) », in : *ICATPN'2000*, 2000.
- [21] S. HAAR, « Occurrence Net Logics », in : *Workshop Concurrency, Specification and Programming (CS&P)*, Varsovie, Université de Varsovie, septembre 1999.
- [22] O. JARAY, J.-P. THOMESSE, J.-P. TAVELLA, « L'interopérabilité dans les postes PCCN », in : *CIREC, Nice*, juin 1999.
- [23] L. KAISER, F. SIMONOT-LION, O. KONE, « Verification method of interoperability for real time systems », in : *SICICA'2000*, <http://www.aadeca.org>, 2000.
- [24] M. LEON CHAVEZ, J.-P. THOMESSE, « Fieldbuses and Real-Time MAC Protocols », in : *SICICA2000*, 2000.
- [25] N. NAVET, Y. SONG, « Une politique à changement de priorité pour l'ordonnement de messages dans des environnements bruités », in : *Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP'99)*, Nancy (France), Hermes, avril 1999.
- [26] J.-P. THOMESSE, F. CHANLIAU, F. CHARPILLET, L. ROMARY, R. HERVY, P.-Y. DURAND, « DIATELIC : une expérience de télésurveillance de dialysés à domicile », in : *RIM 99*, novembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-282/99-R-282.ps>.
- [27] J.-P. THOMESSE, M. LEON-CHAVEZ, « Main Paradigms as a Basis for Current Fieldbus Concepts », in : *FET'99*, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-219/99-R-219.ps>.
- [28] J.-P. THOMESSE, M. LEON-CHAVEZ, « The fieldbuses, study of the standards EN 50170, EN 50254, IEC 61158 », in : *ROSARIO*, septembre 1999. Transparents.
- [29] J.-P. THOMESSE, « Histoire, état de l'art et perspectives des réseaux de terrain », in : *INNO-CAP'99*, avril 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-281/99-R-281.ps>.

Rapports de recherche et publications internes

- [30] F. BACCELLI, B. GAUJAL, D. SIMON, « Analysis of Preemptive Periodic Real Time Systems using the (max,plus) Algebra with Applications in Robotics », *Rapport de recherche*, INRIA, octobre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-312/99-R-312.ps>.
- [31] G. CABUS, « Etude de l'ordonnement conjoint de tâches et de messages : application à l'exécutif OSEK/VDX et au réseau CAN », *Stage de dea*, LORIA (INPL), septembre 1999.
- [32] P. CASTELPIETRA, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, « Rapport intermédiaire du contrat CARROSSE », *Rapport de recherche*, LORIA TRIO, mai 1999.
- [33] D. CAVALIERE, F. SIMONOT-LION, Y. SONG, « Modélisation d'architectures d'applications - Moyens et formalismes », *Rapport de recherche*, TRIO (LORIA), novembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-217/99-R-217.ps>.
- [34] B. GAUJAL, S. HAAR, « Non-Ambiguous Petri Nets », *Rapport de recherche*, INRIA, mai 1999.
- [35] S. HAAR, « On Occurrence Net Semantics of Petri Nets », *Rapport de recherche*, INRIA, juin 1999.

-
- [36] S. HAAR, « Properties of Untimed Routed Petri Nets », *Rapport de recherche*, LORIA, juin 1999.
 - [37] O. JARAY, « Déclaration de conformité d'une mise en oeuvre de protocole », *Rapport intermédiaire*, EDF, janvier 1999.
 - [38] O. JARAY, « Informations complémentaires nécessaires aux essais de conformité », *Rapport intermédiaire*, EDF, janvier 1999.
 - [39] O. JARAY, « Spécification des tests de conformité de la couche application des piles de communication des lots PCCN », *Rapport intermédiaire*, EDF, février 1999.
 - [40] F. JUMEL, « Génération automatique de modèles d'application Temps-Réel », *Stage de dea*, LORIA, septembre 1999, <http://www.loria.fr/publications/1999/99-R-238/99-R-238.ps>.
 - [41] F. SIMONOT-LION, J. MIGGE, J.-L. BOUCHERON, P. LEMAIRE, S. BOUTIN, A. MONDHER, P. PALMIERI, Y. TRINQUET, T. GAUTIER, J.-P. ELLOY, F. GASNIER, « rapport intermédiaire - contrat AEE », *Rapport de recherche*, LORIA, octobre 1999.
 - [42] F. SIMONOT-LION, L. THOMAS, T. LAMBOLAIS, A.-M. DEPLANCHE, Y. TRINQUET, C. ANDRE, M.-A. PERALDI, C. CHOUKAIR, M. BAYART, « Conception et validation d'architectures distribuées temps réel », *Rapport intermédiaire*, LORIA, février 1999.
 - [43] J.-P. THOMESSE, O. JARAY, « Time distribution and synchronization », *Rapport de recherche*, LORIA, novembre 1999.
 - [44] J.-P. THOMESSE, G. PRINCE, « Event Management and Real Time constraints model », *Rapport technique*, LORIA, mars 1999.
 - [45] J.-P. THOMESSE, G. PRINCE, « Timing consideration for electronic device description », *Rapport technique*, LORIA, mars 1999.