

Vérification et ordonnancement de systèmes temporisés en environnement incertain: application à l'évaluation d'itinéraires cultureux à faible impact environnemental.

Signalétique

Responsable Cemagref : Olivier Naud, UMR ITAP Montpellier adresse web ?

responsable LIRMM* UMR 5506 CNRS : Rodolphe Giroudeau <http://www.lirmm.fr/~rgirou>

Ecole doctorale I2S/Informatique

Période : automne 2007 – automne 2010

* Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

Résumé

Les exigences d'une production agricole et sylvicole durable conduisent à des procédés de plus en plus complexes. La faisabilité de nouvelles méthodes s'apprécie en termes statiques coûts/avantages, mais également en termes dynamiques, sur le plan des processus de décision et de leur mise en œuvre. Notre hypothèse est que, pour ces problématiques d'aide à la décision environnementale, on peut non seulement simuler numériquement les processus mais également analyser mathématiquement leurs caractéristiques, grâce à des formalismes comme les automates temporisés. La théorie de l'ordonnancement consiste à calculer une chronologie de tâches et d'usage des ressources qui rendent un procédé efficace.

Nous nous proposons d'employer les théories du « model-checking » (vérification) temporisé et de l'ordonnancement pour analyser la faisabilité de processus de décision et de production par une succession d'étapes de vérification et de résolution. Cette démarche de résolution progressive devrait nous permettre de gérer au mieux la taille importante de l'espace des états à vérifier. Parce que cette modularité s'appuie sur des outils formels génériques (graphes, systèmes réactifs), nous pourrions valoriser les résultats algorithmiques de la communauté informatique.

Les résultats théoriques seront mis en œuvre sur des problématiques issues de projets menés par le laboratoire en collaboration : processus de décision permettant de réduire le nombre de traitements phytosanitaires agricoles, mobilisation de biomasse forestière à des fins énergétiques.

Enjeux et contexte scientifique

Pour la gestion environnementale, et la conception de systèmes agricoles et sylvicoles durables, la recherche et le développement font de plus en plus appel à la simulation en complément d'études de laboratoire ou de terrain. Les règles de gestion technique doivent alors être modélisées. La simulation de la dynamique des systèmes biotechniques permet de multiplier les situations étudiées et d'étudier l'intérêt d'un jeu de règles donné, au regard des pratiques courantes ou de préconisations alternatives. C'est l'« expérimentation virtuelle ». Notre hypothèse est que, pour ces problématiques environnementales, on peut avoir une démarche alternative à la simulation et utiliser la modélisation pour réaliser des analyses mathématiques qui serviront à l'aide à la décision. Cette démarche d'analyse rejoint, dans ses principes formels, celle que l'on observe dans la conception de systèmes informatiques embarqués et des grands systèmes automatisés.

L'enjeu particulier qui nous mobilise ici est l'évaluation de l'applicabilité de règles de décision en agriculture, et en mobilisation de biomasse forestière, sous l'angle de l'organisation du travail et des ressources disponibles. Il s'agit de répondre à des situations de ce type : << je souhaite limiter le nombre de mes traitements phytosanitaires sans mettre en danger ma culture ; si je ne traite pas vendredi cette parcelle, pourrait-elle attendre une semaine ? S'il y a finalement une pluie prévue mercredi, aurai-je les ressources nécessaires pour réagir, compte-tenu de mes autres travaux ? >> .

Objectif scientifique

L'objectif général du travail proposé est *d'élaborer une méthodologie d'évaluation de l'applicabilité temporelle de règles de décision*, et des processus de mise en oeuvre associés. Nous considérons processus de décision et processus biotechniques comme imbriqués. L'ensemble doit concilier objectifs qualitatifs et quantitatifs de production, organisation du travail et des ressources mobilisées. Dans le cadre de la simulation comme dans le cadre de l'aide à décision, évaluer la faisabilité revient bien souvent à proposer des algorithmes de résolution des problèmes et à les appliquer à un certain nombre de cas types. Le cadre méthodologique que nous proposons est moins réducteur et consiste en une succession d'étapes de vérification et de résolution. Nous nous appuyons pour cela sur les théories du « model-checking » (vérification) et de l'ordonnancement.

Outils méthodologiques

L'enjeu méthodologique est, en employant des formalismes très généraux, de fournir des solutions de modélisation largement adaptables aux cas d'espèce rencontrés et à leur évolution. Il s'agit aussi d'utiliser et d'adapter, dans nos problématiques environnementales, des algorithmes développés pour les systèmes dits « réactifs » (gestion informatisée de la production manufacturière, temps réel, réseaux,...). En particulier, les automates temporisés sont un moyen général d'exprimer les contraintes temporelles sur les différentes parties d'un système. La vérification de la cohérence des contraintes se fait au moyen de produits des automates temporisés. La compatibilité d'un jeu de contraintes avec une question, exprimée dans une logique temporelle comme TCTL, se fait par du « model-checking temporisé ».

Programme prévisionnel

L'objectif du début de thèse sera d'approfondir la représentation des problèmes agri-environnementaux sous la forme d'automates et de logiques temporelles. L'état de l'art sera complété par une appropriation concrète de plusieurs outils de model-checking temporisé (Kronos, UPPAAL,...). La seconde année sera consacrée à l'élaboration de la méthodologie de vérification-résolution progressive, et à des expérimentations numériques tirées des données issues de nos programmes de recherche en collaboration (décision en matière de protection phytosanitaire de la vigne, mobilisation de forestière à des fins énergétiques). Les algorithmes issus des travaux pourront, dans le temps de la thèse, être intégrés dans les logiciels d'aide à la décision développés précédemment par l'équipe en collaboration pluridisciplinaire. Le thésard bénéficiera de l'expérience tirée de l'utilisation de ces logiciels dédiés auprès des utilisateurs, et pourra mesurer la pertinence des méthodes développées.

Acquis scientifiques des laboratoires impliqués

L'équipe IODE de l'UMR ITAP (TR CASYS) mène une recherche sur la représentation des processus de décision sous la forme d'automate et plus généralement de Systèmes à Événements Discrets (SED). Les différents formalismes SED peuvent être orientés soit vers la simulation, en mettant l'accent sur l'expressivité des modèles, soit vers l'analyse. Dans ce deuxième cas, on favorise une synthèse permettant la coopération entre homme et modèle et l'aide à la décision.

L'équipe s'est au départ intéressée aux différentes représentations par Systèmes à Événements Discrets (SED, automates et leurs multiples généralisations et spécialisations¹), car elles permettent l'intégration formelle de connaissances multiples sur la dynamique des phénomènes et les actions d'opérateurs (Naud-2005). Nous avons plus récemment orienté ces travaux vers l'aide à la décision sur les agro-systèmes (vigne notamment, Naud&Barbier-2005), dans une approche méthodologique susceptible de contribuer à d'autres problématiques de gestion durable (bois-énergie, Roux&al-2005). Nous participons à deux projets « Agriculture et Développement Durable ».

¹ Réseaux de Petri, Grafct, Statecharts,...

Avec la thèse de Bertrand Léger (Naud&Clerjeau-2005), nous travaillons à la formalisation de règles de protection intégrée de la vigne, sous la forme de Statecharts (UML). L'accent est mis sur la représentation des connaissances et leur traduction sous la forme d'un processus à simuler. L'étape suivante de la recherche est l'analyse formelle de ces processus au plan temporel. Tirant parti de l'expérience acquise par Hélias-2003 et Largouët-2000, nous avons lancé des travaux sur le model-checking temporisé (Abdeddaim&al-2006, Alur&Dill-94, Yovine-97, Penczek-2005) en collaboration avec le LIRMM (Tuitete-2006, Hernandez-2007), qui ont débouché sur le présent sujet de thèse.

L'équipe APR (Algorithmes et performances des réseaux) du LIRMM focalise ses recherches sur les problèmes d'ordonnancement de tâches, sur des problèmes de routage dans les réseaux (Bampis-03, Giroudeau-05, Giroudeau&al-05, Giroudeau&Konig-04, Fraigniaud&al-02, König&Lazard-94) et l'évaluation de performances dans les réseaux en prenant en compte l'aspect dynamique. Les techniques utilisées font appel à la théorie de la complexité, à la théorie de l'approximation (algorithmes approchés avec ou sans garantie de performances), aux chaînes de Markov, aux simulations, aux réseaux de Petri. Ce sujet de thèse est aussi une opportunité de croiser les points de vue « sectoriels » (réseaux informatiques, agriculture durable) pour innover et mener des recherches génériques.

Profil du candidat

Le candidat devra posséder des connaissances en algorithmique avancée, en logique et en programmation. Des notions en théorie de la complexité et en théorie de l'approximation seraient souhaitées.

Eléments de Bibliographie

- Bampis E., Giroudeau R., König J.C. (2003) An approximation algorithm for the precedence constrained scheduling problem with hierarchical communications. *Theor. Comput. Sci.* 290(3): 1883-1895
- Giroudeau R. (2005) Seuil d'approximation pour un problème d'ordonnancement en présence de communications hiérarchiques. *Technique et Science Informatiques* 24(1): 95-114
- Naud O. (2005) Some issues concerning definition and expression of state for hybrid systems under supervision, in 17th IMACS World Congress, Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation, Paris, France, paper T4-I-18-0262.
- Naud O. and Barbier J.-M. (2005) Analyse des Processus de Décision (protection des vignes), Journées phytosanitaires régionales, Villenave d'Ornon, 10-11 février, Chambre d'Agriculture d'Aquitaine - INRA.
- Roux P., Patingre J. F., Giroux F., Naud O. (2005). Ecotechnologies et écoconception: concepts et mise en oeuvre. *Ingénieries - E A T* (42), 55-70.
- Abdeddaim Y., Asarin E. and Maler O. (2006) Scheduling with timed automata, *Theoretical Computer Science* (354), 272-300.
- Alur R. and Dill D. L. (1994) A Theory of Timed Automata, *Theoretical Computer Science* (126), 183-235.
- Hélias A. (2003) Agrégation/Abstraction de modèles pour l'analyse et l'organisation de réseaux de flux : application à la gestion des effluents d'élevage à la réunion. Thèse, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.
- Largouët C. (2000) Modélisation par automates temporisés pour aider à l'identification de l'occupation du sol. Thèse, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Katoen J.-P. (1998-99) Concepts, Algorithms, and Tools for Model Checking, Lecture Notes of the course "Mechanised Validation of Parallel Systems", Lehrstuhl für Informatik VII - Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg,
- Penczek W. and Pórola A. (2006) Advances in Verification of Time Petri Nets and Timed Automata - A Temporal Logic Approach, Springer.
- Yovine S. (1997) Kronos: A verification tool for real-time systems (user's guide)