

LES PROJETS LIP6

Modélisation et Vérification de Systèmes Multi-Agents	349
Microb2: Équipes de robots footballeurs	353
Mondes virtuels interopérables par apprentissage	357
Gestion de Systèmes de Production Multi-Produits à Flux Tirés. . . .	361
Vérification de Modèle et Aide à la Preuve	365
Formel OCAML et Coq (FOC)	367
Indexation Multimedia	373
Indexation de 60 heures de vidéo	379
Mise en œuvre de la machine MPC	385
Bilan Projet MPC LIP6 1999	389
CAO de circuits et systèmes intégrés	393
MICRobES	401
Projet MICRobES (Bilan et Prolongation).	405
Agents intelligents pour la recherche d'information et l'aide à la décision	407
Modélisation des préférences et recherche d'information pour le conseil aux utilisateurs dans un contexte distribué.	411
Extraction de connaissances à partir de bases de données multidimensionnelles	413
Répartition et fiabilité de systèmes multi-agents	415
Ordonnancement avec pénalités d'avance et de retard.	417
Système d'exploitation des grands logiciels complexes.	419
Aide à la gestion des services hospitaliers: Analyse de l'origine des journées non-pertinentes	421
Plate-forme logicielle embarquée reconfigurable pour satellite (PLERS)	423

MODÉLISATION ET VÉRIFICATION DE SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Briot Jean-Pierre

Estraillier Pascal
Gervais Marie-Pierre

Chargé de Recherche, CNRS (OASIS)
Professeur, UPMC (SRC)
Maître de conférences, IUT Paris 5 (SRC)

Personnel temporaire

Diagne Alioune
Paviot-Adet Emmanuel

ATER, UPMC (SRC)
Postdoc, contrat CNET (SRC)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Yoo Min Jung (Briot/Ferber, 95-99) (OASIS)

DESCRIPTION DU PROJET MODÉLISATION ET VÉRIFICATION DE SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Introduction

La modélisation, l'analyse et la réalisation de systèmes logiciels décentralisés et coopératifs constituent des axes de recherche communs à plusieurs équipes du LIP6. Le thème OASIS travaille à des méthodologies, modèles et architectures multi-agents. Il a en particulier développé plusieurs formalismes de modélisation d'agents sous forme de composants (Yoo et al. 1998a; 1998b). Le thème SRC travaille à

des méthodes de vérification et de validation pour les systèmes répartis et coopératifs. Il a en particulier développé un formalisme de spécification et de vérification de composants logiciels (Diagne, 1997). Le but de ce projet était donc d'étudier dans quelle mesure il était possible de rapprocher et combiner ces expertises complémentaires dans le domaine de la spécification et vérification de systèmes multi-agents.

Conception de systèmes multi-agents: le formalisme SCD

Le langage SCD (SoftComponent Description) est une description qui permet de modéliser des agents logiciels dans un environnement ouvert par approche componentielle (Yoo et al., 1998a; 1998b). L'objectif est de pouvoir modifier une partie du service offert par un agent (son comportement) sans remise en cause des autres services.

La syntaxe SCD est basée sur la notion d'état/transition dans le but de pouvoir modéliser des protocoles de coordination entre agents. Enfin, SCD permet d'encapsuler un module programmé en Java comme un composant. Ceci facilite le développement d'un service réel en utilisant les technologies courantes basées sur Java (e.g., Applets, Java Beans, JDBC). De manière à construire des agents, les différents types de composants sont connectés les uns aux autres selon deux modes de communication: asynchrone et synchrone.

Le modèle d'agent décrit en SCD est ensuite compilé en un code Java qui peut être intégré sur une plate-forme d'agents mobiles. Cette transformation automatique permet de dériver automatiquement une implémentation d'agents mobiles dont le comportement correspond exactement au modèle de concep-

tion Vérification de systèmes répartis ouverts: le formalisme OF-Class

OF-Class (Diagne, 1997) est un modèle de composant conforme aux recommandations du modèle de référence d'ODP. Il permet de modéliser des composants d'un système réparti en vue d'une vérification au moyen de réseaux de Petri colorés. Les principales caractéristiques du modèle de composant sont:

- un composant OF-Class est un gestionnaire de ressources qui offre des opérations pour les manipuler. Ces opérations sont regroupées en services au moyen de gabarits d'utilisation.
- la différenciation des interactions entre appels d'opérations, échanges de données structurées et notifications d'événements (flux et signaux d'ODP).
- l'autonomie: un composant OF-Class peut posséder des traitements qui sont déclenchables en fonction d'une précondition sur les états atteints (valeurs des ressources).
- le modèle est en correspondance de manière formelle avec un modèle modulaire de réseaux de Petri colorés qui supporte les activités de vérification et de validation.

Une fois la transformation en réseaux de Petri effectuée et l'abstraction de l'environnement ajoutée, on construit un graphe d'accessibilité du composant (élémentaire ou composite). Ce graphe est le point d'entrée de la vérification par model-checking qui permet

de vérifier des propriétés élémentaires comme l'existence d'états terminaux ou des propriétés exprimées par des experts du domaine d'application dans une logique temporelle dédiée (Varpaaniemi et al., 1995).

OF-Class et SCD: similitudes, différences et bases de convergence

Les travaux dans le cadre de ce projet ont porté principalement sur les bases de la convergence entre les formalismes SCD et OF-Class et leur intégration dans une méthodologie de spécification et de validation de systèmes multi-agents. Il en est ressorti que OF-Class peut être une base pour valider les aspects de contrôle liés aux protocoles de coordination utilisés dans SCD. En effet, il est possible de représenter les différentes structures d'interaction et de coordination utilisées dans SCD avec leur niveau de synchronisation (communication synchrone ou asynchrone). Néanmoins, il a fallu proposer une extension de SCD visant à rendre explicite un certain nombre d'informations nécessaires à la vérification. Par exemple les états de coordination de SCD doivent être typés (notamment spécifier explicitement les états initiaux et terminaux), et toutes les actions de coordination doivent être exprimées selon une approche de machine à états. Certaines informations, comme le typage des

variables, sont explicites au niveau des composants Java mais n'apparaissent pas au niveau des composants SCD qui les encapsulent. Pour les besoins de la vérification, ces informations doivent être rendues explicites au niveau de SCD.

Avec ces extensions, nous pouvons traduire les composants SCD en composants OF-Class et procéder à la vérification des propriétés de coordination. La CTI CARISMA avec le CNET (Carisma, 1998), spécifique à un domaine d'application particulier (commerce électronique), nous a donné l'occasion de tester ces résultats. Dans le cadre d'un petit scénario test de type réservation de plusieurs parcours par une agence de voyages, nous avons pu prouver que les protocoles de coordination (appel d'offre) étaient exempts de blocage. Ceci prouve que quelques soient les impacts des modules de croyances et d'intention des agents, leur communication suivant les protocoles spécifiés seront corrects.

Conclusion et perspectives

L'objectif de ce projet était d'étudier dans quelle mesure il était possible de rapprocher et de combiner les formalismes de conception et de validation de systèmes à base d'agents développés dans les thèmes OASIS et SRC. Notre étude a débouché sur des premiers résultats avec une identification des ajouts à faire dans le formalisme de conception de manière à pouvoir être utilisé au niveau de la validation. Nous avons pu tester les résultats de notre analyse à l'occa-

sion d'un projet plus appliqué (la CTI CARISMA) sur un premier scénario d'utilisation. Nous avons intégré certaines de ces propositions dans une nouvelle version du formalisme de modélisation SCD. Un problème qui reste ouvert est celui de la cohérence entre le code généré et le modèle utilisé pour la validation (du fait des optimisations éventuelles intervenant lors de la génération de code).

Références

- Carisma, Rapport trimestriel N° 9 de la consultation thématique CARISMA, CNET, 1998.
- Diagne A., Architectural Concepts within Agents: A Way to Separate Concerns in Open Distributed Systems, Proceedings of the Second IFIP International Conference on Formal Methods for Open Object-based Distributed Systems (FMOODS'97), édité par H. Bowman et J. Derrick, Canterbury, Royaume Uni, Chapman & Hall Publisher, juillet (1997) pp. 387-398.
- Gervais M.-P., Diagne A., Enhancing Telecommunication Service Engineering with Mobile Agent Technology and Formal Methods, Special issue on Mobile Agents in Telecommunications, édité par A. Karmouch, IEEE Communications Magazine, à paraître, 1998.
- Kimmo Varpaaniemi, Jaakko Halme, Kari Hiekkänen, Tino Pyssysalo, Prod Reference Manual, Series B, Technical Reports, No 13, Helsinki University of Technology, Finlande, août (1995),
- Yoo M.-J., Briot J.-P., Ferber J., Using Components for Modeling Intelligent and Collaborative Mobile Agents, Proceedings of the 7 th IEEE International Workshop on enabling Techniques: Infrastructure for collaborative enterprises, WetIce'98, édité par D. Milojcic, Stanford University, CA, Etats-Unis, juin (1998).
- Yoo M.-J., Merlat W., Briot J.-P., Modeling and Validation of Mobile Agents on the Web, Proceedings of the 1998 International Conference on Web-based Modeling and Simulation (édité par P.A. Fischwick, D.R.C. Hill, et R. Smith, Simula-

tion Series), 30(1), The Society for Computer Simulation, janvier (1998) pp. 23-28.



MICROB2 : ÉQUIPES DE ROBOTS FOOTBALLEURS

Drogoul Alexis

Zucker Jean-Daniel
Duhaut Dominique

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)

Maître de Conférences, UPMC (APA)

Maître de Conférences, UPMC/UVSQ (L.R.P.)

ITA-IATOS

Mangon Olivier

Ingénieur d'étude, CNRS

Personnel temporaire

Magnin Laurent

Post-Doc, ETL (Tsukuba - Japon)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Urbano Paulo (Drogoul, 98)

(OASIS)

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES 2

En marge de la vaste entreprise qui fédère au sein de l'UPMC le LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP dans le cadre de la RoboCup'98, le but spécifique de ce projet transversal a été de favoriser la collaboration entre modélisateurs multi-agents et techniciens de l'ap-

prentissage, en profitant de la magnifique application que fournit la compétition en question. Il est trop tôt (la compétition est en cours !) pour en tirer des conclusions ici.

Description

Démarrées voici environ deux ans de façon parallèle un peu partout dans le monde, les recherches sur l'application de techniques d'IA et de robotique au football connaissent à l'heure actuelle un engouement sans doute comparable à ce que fut l'engouement pour le jeu d'échecs dans les glorieuses années de l'IA. La raison est que le jeu de football virtuel permet de tester, d'expérimenter, et surtout de comparer, au sein d'un environnement bien défini, régi par des règles strictes, toutes les techniques imaginables de coopération, de planification, de coordination ou d'apprentissage appliquées habituellement à des systèmes multi-agents plus... abstraits. Il possède également l'avantage de pouvoir confronter ces mêmes techniques à des contraintes expérimentales réelles. Il constitue aussi une bonne métaphore de ce que peut représenter le travail en équipe d'un ensemble d'agents (hors football), des difficultés qu'il y a à concevoir ce type de systèmes, tout en conservant une propriété essentielle: celle de pouvoir être interprété ou compris de façon quasi-intuitive par un observateur (ce qui est un atout certain, notamment en termes d'enseignement). Il permet enfin à l'IA de pouvoir renouer le dialogue avec un pan de la robotique auparavant passé avec armes et bagages du côté de la vie artificielle, à savoir la robotique collective constituée de robots mobiles et autonomes. Toutes ces raisons en font un champ applicatif quasi-parfait pour l'IA dis-

tribuée, l'apprentissage distribué et la robotique collective (les anglophones utiliseraient le terme de killer-application), bien plus riche en enseignements que ne le furent en leur temps des applications comme le proie-prédateur ou l'exploration collective.

L'action Microb2, qui est la suite logique de Microb, projet commun 93/1996 du LAFORIA et du Laboratoire de Robotique de Paris, a pour ambition de fédérer autour de l'application des robots footballeurs les efforts de deux thèmes du LIP6, APA et OASIS. Elle s'inscrit dans un projet inter-laboratoires qui regroupe le LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP. Ce projet a obtenu une dotation de 30 kF du LIP6.

Le contexte scientifique est celui de l'apprentissage multi-agent, qui résulte du métissage des thèmes de recherche propre à l'apprentissage (représenté ici par le thème APA) avec ceux étudiés en I.A.D. (thème OASIS). Il s'agit, à la fois, d'améliorer les techniques existantes d'apprentissage par l'emploi d'une distribution structurelle et fonctionnelle adéquate, et également d'améliorer et d'étendre les capacités des systèmes multi-agents en conférant aux agents des possibilités d'apprentissage et d'anticipation dans leurs comportements individuels et collectifs. Ce thème de recherche hybride est à l'heure actuelle en pleine expansion, et les robots footballeurs lui fournissent une excellente base d'expérimentations et de développement.

Le travail se décompose en trois grandes parties :

Application

Conception du logiciel de quatre équipes différentes, correspondant aux quatre catégories de compétition qui composent le tournoi RoboCup'98 (Paris/La Villette, juillet 1998):

- simulation: développement d'une équipe entièrement logicielle de onze joueurs sur le simulateur commun SoccerServer, qui permet à des équipes de différents laboratoires de s'affronter.
- petits robots: développement des modules de décision individuelle et collective des cinq robots

Atelier de développement

les comportements des différents agents (apprenants, réactifs, délibératifs, etc.) sont prévus pour être portés sur plusieurs plate-formes (simulation, petits et moyens robots), ce qui implique un travail soigné de généralisation, et l'emploi de modèles de comporte-

Méthodologie

Parallèlement à l'implémentation, il est procédé à un travail plus théorique sur la notion même d'apprentissage en univers multi-agent: que doit-on apprendre? comment apprend-on des procédures collectives? etc., qui aura pour ambition d'intégrer les processus d'apprentissage à la démarche méthodologique actuellement développée dans le thème OASIS (Cassiopée).

Conclusion

Les objectifs affichés de l'action Microb2 se déclinent suivant les trois types de travaux définis ci-dessus. En ce qui concerne la partie applicative, l'objectif principal est d'être capable de représenter Paris VI lors de la seconde coupe du monde de robots footballeurs (Paris'98). Elle se déroulera du 2 au 8 juillet 1998 à Paris, et rassemblera entre 100 et 200 équipes internationales. Elle aura lieu en même temps que la "vraie" coupe du monde (France'98) et bénéficiera, grâce à cette jonction, d'une couverture médiatique importante. Elle aura lieu à la Cité des Sciences de la Villette et sera ouverte au public (environ 5000 visiteurs/jour y sont attendus). Ce sera l'occasion pour, d'une part, valoriser des recherches dont nous savons tous qu'elles ont souvent du mal à franchir les portes des laboratoires, et d'autre part, nous comparer aux autres équipes. A ce jour, l'équipe MICROB II possède un milieu de terrain et une attaque raisonna-

Bibliographie :

Drogoul A. & Zucker J.-D., Methodological Issues for Designing Multi-Agent Systems with Machine Learning Techniques: Capitalizing Experiences from

(15 cm x 15 cm) construits par l'IFITEP. La partie vision est assurée par le LIS.

- robots moyens développement des modules de décision, de génération de trajectoire, et de contrôle des cinq robots (45 cm x 45 cm) construits par le LRP. La partie vision est assurée par le LIS.
- robots à pattes: développement des modules de génération de trajectoire et de décision des robots à pattes construits par SONY™, en collaboration avec le LRP, qui développe l'architecture de contrôle.

ments robustes. L'atelier de développement comprend une bibliothèque de composants comportementaux réutilisables, un environnement de test et d'entraînement (SoccerTrainer).

Concrètement, ce travail est partagé entre les permanents et un nombre non négligeable d'étudiants provenant de cursus différents: maîtrise, DEA IARFA, DESS GLA, DESS IA, l'IFITEP, etc. La gestion de ce projet requiert une coordination poussée des participants. Celle-ci est notamment permise par le site du projet:

ble. Les efforts se porteront dans les mois qui suivent sur l'amélioration de la défense. En ce qui concerne la partie atelier de développement, les travaux concrets ont encore peu avancé mais la contrainte de portabilité logiciel/matériel a été prise en compte dans les spécifications des composants. La construction d'un environnement de test et d'entraînement SoccerTrainer est, quand à elle, dans la bonne voie et nous espérons pouvoir l'utiliser avant la compétition proprement dite. En ce qui concerne la partie méthodologique, le travail déjà réalisé a donné lieu à un rapport interne LIP6 à paraître (Drogoul & Zucker, 1998).

L'action MICROB2 a permis d'établir une collaboration inter-laboratoires (LIP6, le LRP, le LIS et l'IFITEP) qui fonctionne de manière efficace. Les prochains mois permettront de mieux évaluer le succès scientifique globale de cette action.

the RoboCup Challenge, Rapport de recherche LIP6 (1998) à paraître.





MONDES VIRTUELS INTEROPÉRABLES PAR APPRENTISSAGE

Soto Michel
Zucker Jean-Daniel

Maître de Conférences, Université Paris 5 (RP)
Maître de Conférences, Université Paris 6 (APA)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Allongue Sébastien (Soto/Horlait, 1995) (RP)

DESCRIPTION DU PROJET MONDES VIRTUELS

Enjeux scientifiques

L'interopérabilité est une propriété qui permet, d'une part, à des utilisateurs de mondes virtuels distincts d'accomplir des tâches communes (collaboration, coopération, jeux) et, d'autre part, de migrer des entités virtuelles d'un monde virtuel à l'autre. Cette propriété est importante car elle permet d'ouvrir les mondes virtuels qui sont, pour l'heure, des mondes clos. Les enjeux de l'interopérabilité sont la "généralisation" de la RV comme outil collaboration dans tous les domaines applicables et la réduction des coûts de développement des mondes virtuels.

L'interopérabilité doit faire face aux problèmes engendrés par l'hétérogénéité des mondes virtuels et en

particulier l'hétérogénéité sémantique à laquelle les utilisateurs sont les plus sensibles. Il n'existe aujourd'hui aucune méthodologie de conception des mondes RV même si on laisse de côté la problématique de l'interopérabilité. Une telle méthodologie est pourtant nécessaire pour diminuer les coûts actuels de développement des mondes RV et les doter de capacités d'évolution afin d'amortir ces mêmes coûts. Dès que la problématique de l'interopérabilité doit être prise en compte dans la conception d'un monde VR, une méthodologie s'avère alors indispensable.

Positionnement scientifique

Malgré l'absence de méthodologie, il existe d'autres approches, différentes de l'approche NOVAE, du problème de l'interopérabilité des mondes RV. La première est une approche protocolaire au niveau applicatif. Ici, toutes les machines participant à la simulation d'un monde RV parlent le même protocole. Cela autorise une hétérogénéité à la fois matérielle et architecturale importante mais en aucun cas une hétérogénéité applicative (qualifiée de sémantique dans NOVAE). En effet le protocole utilisé est spécifique au domaine d'application qui est prédéfini. Toutes les machines participantes manipulent et connaissent la même liste de concepts et d'objets et attachent donc le même sens aux informations véhiculées par le protocole. Le protocole DIS (Distributed Interactive Simulation) est à l'origine de cette approche dans le domaine de la simulation de champs de bataille à des fins d'entraînement des troupes américaines.

La deuxième approche est architecturale. Elle est une réponse à l'approche protocolaire afin d'en repousser les limites. Ici, toutes les machines participantes ne simulent pas des mondes RV relevant du même domaine d'application : il peut donc y avoir des différences dans la liste des concepts et des objets connus. Pour pouvoir fonctionner, cette approche re-

quiert, dans un premier temps, la définition d'un ensemble de concepts commun aux mondes RV voulant interopérer. Cet ensemble est appelé fédération et il est possible de définir autant de fédérations que nécessaire. Dans un deuxième temps, il faut spécifier les différences qui existe entre les mondes RV devant interopérer et la fédération. Ces différences sont spécifiées sous forme d'un lexique. Au moment de la simulation, chaque monde RV interopérant est ainsi capable d'effectuer une correspondance entre ses propres concepts et ceux des autres mondes. Cette approche a le mérite d'autoriser une hétérogénéité applicative. Elle présente pourtant de sérieux inconvénients. Tout d'abord, l'hétérogénéité est limitée par les concepts formant la fédération : des mondes RV utilisant des concepts trop éloignés de la fédération ne pourront interopérer. Il faudra dans ce cas définir une autre fédération. C'est là une autre difficulté de cette approche que la définition des "contours" de la fédération. Trop large, la fédération perd son unité conceptuelle et ne signifie plus rien ; trop étroite, peu de mondes pourront interopérer autour d'elle. De plus la définition d'une fédération implique un lourd travail de consensus tant sur le fond, c.-à-d. les concepts, que sur la forme, c.-à-d. comment spécifier les concepts. Enfin, il s'agit d'une approche statique. Tout ajout

d'un concept dans une fédération implique de re-spécifier les concepts des mondes RV par rapport au nouveau concept. Le projet HLA (High Level Architecture) est à l'origine de cette approche. Il s'agit par exemple faire interopérer des mondes RV simulant des champs de bataille terrestre avec mondes RV des champs de batailles navales (débarquement). Ou bien encore, de faire interopérer des mondes RV simulant des champs de bataille de différents corps d'armées (infanterie, parachutiste, légion, etc.).

L'approche choisie dans le projet NOVAE est une approche architecturale à plat par opposition à l'approche top-down de type HLA. Cela a pour conséquence qu'il n'est plus nécessaire de définir au préalable un ensemble de concepts fédérateurs : les mondes RV peuvent ainsi être conçus de façon totalement indépendante, ce qui correspond d'avantage à la réalité pratique. Autre conséquence, l'interopérabilité n'est plus envisagée de manière statique mais au besoin et de façon totalement dynamique. Dans ce contexte la méthodologie de conception des mondes RV et les paradigmes sur lesquels elle s'appuie deviennent des points cruciaux. Le point de départ de notre démarche repose sur la constatation que l'action est le concept central des mondes RV. En effet, les mondes RV sont peuplés d'utilisateurs et d'objets appelés entités virtuelles dans le vocabulaire NOVAE. La nature des entités est fonction du domaine d'application du monde. Certaines de ces entités ne possèdent pas de comportement propre comme par exemple, une table, un bureau ou un fichier. D'autres, pour la plupart, possèdent un comportement qui peut être purement réactif (sans pour autant être simple) comme par exemple une voiture, un avion, un train, une molécule.

Objectif

En pratique les actions des entités virtuelles sont décrites sous forme de lois dites de comportement. La réaction du monde RV permettant le calcul du résultat effectif des actions des entités virtuelles est, elle aussi, décrite sous forme de lois dites de réaction. Les lois de comportement et de réaction sont écrites selon une syntaxe à la STRIPS. NOVAE dispose d'un moteur de loi interprétant cette syntaxe pour donner vie au monde RV. Il dispose également d'un gérant d'interopérabilité qui raisonne sur les lois ainsi décrites. Le seul pré requis en terme d'interopérabilité avec NOVAE est donc que les mondes RV soient décrits selon le modèle influence et réaction et la syntaxe associée par NOVAE à ce modèle. L'interopérabilité ainsi atteinte est satisfaisante. Elle possède cependant une limite qui repose sur l'hypothèse que les symboles utilisés dans des mondes RV différents sont identiques s'ils se rapportent au même concept ou que des symboles identiques ne se rapportent pas à des concepts différents. Ces symboles sont utilisés par le gérant d'interopérabilité pour son raisonnement. Cela signifie, par

D'autres, enfin, possèdent un comportement autonome, comme par exemple, un robot, un avatar humain. Ces comportements se déroulent dans parallélisme le plus total. Les comportements ne sont rien d'autre que des ensembles d'actions. Dans un objectif d'interopérabilité et plus encore dans l'approche NOVAE, il importe que les actions puissent être décrites de façon la plus indépendante possible du monde RV où elles se réalisent. En effet, interopérer signifie, d'une part, que les entités virtuelles auront à se comporter dans ou avec des mondes RV étrangers autres que celui pour lequel elles ont été initialement conçues et que, d'autre part, il n'est pas possible de faire d'hypothèse sur la nature de ces mondes. En pratique, cela a pour conséquence que :

- Certaines actions du comportement d'une entité ne seront plus réalisables
- Les résultats des actions du comportement d'une entité encore réalisables dans le monde RV étranger pourront être différents des résultats de ces mêmes actions dans le monde natif de l'entité.

Il faut donc se doter d'un modèle exécutable de l'action permettant d'identifier les actions non réalisables et de calculer les résultats des actions encore réalisables dans le monde RV étranger. Le modèle de l'action choisi dans NOVAE est le modèle influence/réaction issu des systèmes multi-agents où la problématique de l'action est aussi une problématique forte. Ce modèle propose une séparation nette entre la description de l'action et la description des conséquences de l'action qui sont en fait calculées par le monde où elles sont réalisées. Ceci est tout à fait satisfaisant du point de vue de l'interopérabilité.

exemple qu'une loi se référant au symbole vent dans son monde natif sera identifiée comme invalide dans un monde RV étranger ou c'est le symbole wind qui est utilisé pour le même concept, d'où une perte d'interopérabilité dans ce cas. Un autre problème peut également survenir si une propriété inexistante chez une entité virtuelle dans son monde RV natif s'avère nécessaire pour interopérer dans le monde RV étranger. C'est le cas par exemple de la propriété masse que les entités ne possèdent pas dans leur monde natif alors qu'elle est utilisée dans le monde étranger pour calculer le mouvement des entités.

Afin de prendre en compte ces types de problèmes, NOVAE complète le gérant d'interopérabilité par des mécanismes d'apprentissage. Ces mécanismes sont, dans l'ordre d'application, le déguisement, l'imitation et l'apprentissage

Le déguisement est un mécanisme qui construit la hiérarchie des entités virtuelles du monde RV étranger et de leurs propriétés afin de rendre l'entité virtuelle du monde RV natif "semblable" à une entité

virtuelle du monde RV étranger. Ceci permet à une entité virtuelle de compléter ses attributs. Il s'agit de la phase qualitative du déguisement.

Exemple: si toutes les entités virtuelles possèdent un attribut CX (résistance de l'air) on s'en affublera un.

Il faut aussi se préoccuper de l'aspect quantitatif afin de fournir une valeur aux attributs issus de la phase qualitative. On pourra aussi envisager de se doter d'une valeur par défaut pour ces attributs ou bien prendre, par exemple, la valeur moyenne de ces valeurs pour les entités virtuelles existant dans le monde RV étranger.

Le gérant d'interopérabilité utilise un algorithme de regroupement conceptuel de type COING pour organiser les connaissances disponibles sur les entités virtuelles du monde RV étranger et ensuite un ensemble de règles heuristiques de déguisement.

L'imitation est un mécanisme d'analyse des comportements du point de vue statique (les contextes, les entités virtuelles en jeu, etc.) pour identifier à quels états du monde ils s'intéressent et quelles influences ils produisent pour agir. Le but de cette analyse est de

se comporter suivant les mêmes règles que celles du monde RV étranger.

Exemple: si toutes les entités virtuelles du monde RV étranger sont sensibles à la gravité il faut que les entités virtuelles pénétrant dans le monde RV étranger y soient sensibles aussi.

Enfin, l'apprentissage est un mécanisme d'analyse et d'amélioration de l'interopérabilité. Concrètement, c'est ici le comportement même de l'entité virtuelle que le gérant d'interopérabilité essaie d'adapter au monde RV étranger.

Exemple: si l'entité virtuelle ne bouge pas dans le monde étranger alors qu'elle bougeait dans le monde RV natif, le gérant d'interopérabilité analyse les comportements qui font que les autres entités virtuelles bougent et modifie la correspondance comportementale effectuée par le mécanisme d'imitation. Par exemple, mettre en correspondance l'attribut power de l'entité virtuelle arrivant avec l'attribut puissance du monde étranger afin que le comportement mouvement utilise cette puissance.

Bilan du projet

Le résultat de la collaboration des thèmes APA et RP est sous forme d'un prototype de deux mondes RV exemples. Des différences sémantiques ont été introduites dans ces mondes VR afin d'illustrer comment des techniques d'apprentissage peuvent accroître leur possibilité d'interopérer. Les domaines d'application choisis sont, pour le monde étranger, la bataille navale et, pour le monde natif, l'initiation à la voile.

Depuis le mois d'avril 1998 deux stagiaires ont travaillé à la réalisation de ce prototype jusqu'au mois de septembre. Ce prototype est aujourd'hui capable d'adapter la description d'une entité virtuelle du monde natif (ici, bateaux à voile) pour accroître son interopérabilité avec un monde étranger (ici, bateaux de guerre). Ce bilan peut être décliné selon les 3 mécanismes d'apprentissage implémentés.

Intérêt inter thèmes

L'un des objectifs initiaux des projets inter thèmes était de faire en sorte que des thèmes qui a priori n'avaient pas l'habitude de travailler ensemble puissent mettre en commun leurs connaissances pour aborder des problèmes de manières originales et collaborent. Cet objectif a été doublement atteint car, d'une part, le résultat scientifique de la collaboration satisfait les deux parties en ce sens qu'aucune n'aurait pu l'atteindre sans l'aide de l'autre et que d'autre part la colla-

- Déguisement: le prototype donne d'excellents résultats aussi bien sur le choix des attributs avec lesquels une entité est déguisée que sur les valeurs calculées pour ces attributs.
- Imitation: les résultats sont assez bons mais perfectibles. Il faudrait pour cela imaginer et implanter des algorithmes prenant mieux en compte les relations existant entre les actions du comportement d'une entité.
- Apprentissage: ce mécanisme est implanté mais doit encore faire l'objet d'un travail important de mise au point à la fois sur le plan scientifique et sur le plan pratique. Sur ce dernier plan, ce mécanisme doit être intégré au moteur de loi pour être testé en situation.

boration entre les chercheurs a fait naître une synergie qui ne s'arrêtera pas avec la fin de ce projet. Il faut noter que l'une des difficultés de ce type de projet réside dans les différences de cultures. C'est un des premiers obstacles qu'il faut franchir, et il n'est pas des moindres, que de "parler" le même langage. Ce projet nous a permis tout au long de nos discussions de faire le pont entre nos domaines de recherche.

Perspective de l'action

Nous pensons que cette action doit être poursuivie et surtout gagner en visibilité par la réalisation d'un prototype vitrine.

Il faut souligner que le contexte de la réalité virtuelle se prête parfaitement à ce type de démonstration. L'idée est de visualiser au moins 2 mondes virtuels en-

tre lesquels des objets passe de l'un à l'autre se mettant ainsi en situation d'interopérabilité. Les attributs graphiques (forme, couleurs) le comportement des objets migrant se modifient sous les yeux de l'utilisateur en fonction du résultat des étapes de déguisement, d'imitation et d'apprentissage décrites

précédemment. Il faut souligner que le contexte réalité virtuelle se prête parfaitement à ce type de démonstration. Les objets sont également dotés de facultés permettant d'expliquer à l'utilisateur les raisons des modifications qu'il peut observer.

GESTION DE SYSTÈMES DE PRODUCTION MULTI-PRODUITS À FLUX TIRÉS

Dallery Yves

Baynat Bruno
Chrétienne Philippe
Munier Alix

Directeur de Recherches, CNRS (RP)
Maître de Conférences, UPMC (R&P)
Professeur, UPMC (SYSDEF)
Maître de Conférences, UPMC(SYSDEF)

Personnel temporaire

Ghedjati Fatima
Karaesmen Fikri

Post-doc (SYSDEF)
Post-doc CEE (RP)

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

de Véricourt Francis (Dallery, 97)

(R&P)

DESCRIPTION DU PROJET SYSTÈMES DE PRODUCTION

Contexte du projet

La réduction des coûts de production est un enjeu essentiel dans tous les secteurs industriels. Simultanément, les entreprises se doivent d'améliorer leur qualité de service vis-à-vis de leurs clients. Cela concerne en particulier la diversification de l'offre de produits, l'amélioration de la qualité des produits et la réduction des délais entre les commandes et les livraisons. Afin de satisfaire aux contraintes sur les délais, les entreprises opèrent souvent sur un mode d'anticipation, au moins pour les parties amonts de la production. Le problème est alors la définition du pilotage des flux dans le cas d'une production par anticipation. L'approche qui est apparue la plus intéressante pour répondre à ce problème est la gestion à flux tirés. Son principe est de coupler la production à la demande effective.

Les systèmes de pilotage à flux tirés sont basés sur l'approche suivante : le processus de production est décomposé en étages (ou mailles). Chaque étage correspond à un sous-système du système de production d'origine. Le rôle d'une politique de pilotage à flux tirés est de coordonner l'ensemble des mailles de production entre elles et avec la demande effective de produits finis. L'objectif est de garantir une qualité de service pour les clients (par exemple, assurer que 99% des demandes sont satisfaites sans retard) tout en minimisant les coûts de production (en particulier les coûts de stockage de produits intermédiaires et de

produits finis). Il existe deux méthodes de base, la méthode à stock nominal et la méthode kanban. Ces deux méthodes sont très simples puisqu'elles ne dépendent que d'un paramètre par maille (le niveau de stock nominal pour la première, le nombre de kanbans pour la seconde). Une méthode plus générale, la méthode kanban généralisé, a ensuite été proposée par J. Buzacott et P. Zipkin. La méthode kanban est de loin la méthode la plus utilisée dans l'industrie, du fait de sa simplicité.

Au sein du thème Réseaux et Performances, l'équipe animée par Y. Dallery, s'intéresse depuis plusieurs années aux systèmes de production à flux tirés. Les travaux ont tout d'abord porté sur le développement de méthodes analytiques d'évaluation de performances de systèmes de production gérés avec des politiques de type kanban. Les recherches se sont ensuite orientées vers la comparaison de différentes méthodes de gestion à flux tirés en vue de déterminer les mieux adaptées. Il est alors apparu que les méthodes existantes ne répondaient pas totalement aux objectifs mentionnés haut. Une nouvelle méthode, appelée kanban étendu, a été proposée. Cette méthode est plus générale que les méthodes à stock nominal et kanban et plus simple que la méthode kanban généralisé. Pour plus de détails et pour les références, on se reportera au rapport du thème Réseaux et Performances.

Objectif du projet

La plupart des travaux sur les systèmes de gestion à flux tirés portent sur des systèmes de production mono-produit, c'est-à-dire ne fabriquant qu'un seul type de produit. Bien que ce cas se rencontre dans l'industrie, il existe aussi de nombreuses situations où

un même système de production fabrique plusieurs types de produits. L'objectif de ce projet est de s'intéresser à des systèmes de production multi-produits gérés en flux tirés. Nous allons tout d'abord nous intéresser au cas le plus simple, celui d'un système de

production flexible dont les coûts et les temps de re-configuration pour passer d'un produit à un autre sont négligeables. L'approche que nous nous proposons de suivre est la suivante : étendre les politiques de gestion à flux tirés (au sens de la coordination entre mailles de production) au cas de systèmes multi-produits.

Une fois le mode de coordination défini, le problème nouveau qui se pose (par rapport au cas mono-produit) est le problème du partage de ressources (machines,...) à l'intérieur de chaque maille. Ce problème peut alors être vu comme un problème d'ordonnancement. C'est sur ce point particulier essentiel que se développera la collaboration entre les thèmes R&P et SYSDEF. Le thème SYSDEF, et en particulier l'équipe de Ph. Chrétienne, ont une forte compétence sur la résolution de problèmes d'ordonnancement et d'optimisation. C'est cette

Premiers travaux

Avant d'aborder le problème dans le contexte général décrit plus haut, un premier travail a porté sur l'étude d'un cas particulier : le cas d'un système de production comportant une seule machine produisant deux types de produits. Les hypothèses du modèle étudié sont les suivantes. Le processus d'arrivée des demandes de chaque produit est un processus de Poisson et le temps de production de chaque type de produit sur la machine suit une distribution exponentielle. Les coûts de stocks de produits finis et les coûts sur les demandes en retard sont linéaires. L'objectif est de définir la politique de pilotage du système (faire travailler la machine ou pas, et si oui sur quel type de produit) qui minimise le coût moyen total. On peut formuler ce problème comme un problème de commande optimale stochastique que l'on peut aborder à l'aide de l'approche de la programmation dynamique. Nos travaux ont permis d'obtenir une caractérisation partielle de la solution optimale. De plus, à partir de cette caractérisation, nous avons testé différentes heuristiques qui conduisent à des coûts proches du coût optimal (que l'on peut obtenir par des méthodes numériques). Ces résultats sont présentés dans (de Véricourt et al, 1998). L'intérêt de ce travail

complémentarité d'expertise des différentes équipes qui sera utilisée dans le cadre de ce projet avec comme objectif la définition de politiques de gestion de systèmes de production à flux tirés incluant les problèmes de coordination et d'ordonnancement.

Le problème qui se pose est complexe du fait de la nature stochastique de la modélisation des problèmes de pilotage de systèmes de production à flux tirés. En effet, les demandes sur les produits finis ne sont pas connues à l'avance et doivent donc être modélisées par un processus stochastique. Le système de production lui-même est souvent modélisé de manière stochastique pour prendre en compte sa variabilité (par exemple due aux pannes des machines). L'un des enjeux de ce projet est d'évaluer l'apport d'approches d'ordonnancement qui sont habituellement développées dans des contextes déterministes.

est double : il a permis d'apporter une solution dans le cas d'un système comportant une machine fabricant deux types de produit. Il a surtout mis en évidence certaines propriétés concernant la politique de pilotage optimale qui devraient être utiles pour aborder des cas plus généraux.

Nos travaux suivent actuellement deux voies. La première consiste à utiliser les résultats que nous avons obtenus pour le cas une machine / deux produits afin de proposer des heuristiques de pilotage pour le cas de deux machines / deux produits. Le but est de définir des heuristiques qui tout en restant simples, permettent une bonne optimisation de la fonction coût. L'autre approche que nous suivons en parallèle consiste à se donner une décomposition d'un système de production multi-machines / multi-produits en un ensemble de mailles, de se donner aussi la politique de coordination entre mailles (par exemple de type kanban) et de se poser de problème de la gestion du partage de ressources entre les différents produits à l'intérieur de chaque maille. C'est dans cette voie que nous tentons actuellement de formuler ce problème de gestion interne à chaque maille comme un problème d'ordonnancement.

Bibliographie :

de Véricourt F., Karaesmen F., Dallery Y., "Dynamic Scheduling in a make-to-stock system: a partial characterization of optimal policies", Rapport de Recherche LIP6, No. 98-022, 1998.





VÉRIFICATION DE MODÈLE ET AIDE À LA PREUVE

Minoux Michel

Encrenaz-Tiphene Emmanuelle
Pouzet Marc

Professeur UPMC (ANP)

Maître de Conférences, UPMC (ANP)
Maître de Conférences, UPMC (SPI)

Personnel temporaire

Vernier Isabelle

Postdoc, (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET VMAP

Objectif du projet

Le projet VMAP a débuté en novembre 1997. Il concerne l'étude de la combinaison des méthodes de vérification par modèles et de preuves assistées par ordinateur pour les systèmes réactifs. Dans cette étude,

l'accent sera mis sur la modularité de la description et de la preuve (ou de la vérification) de ces systèmes.

Travaux réalisés depuis le 1.11.1997

Réunions de travail

Réunions de travail bimensuelles depuis novembre 1997 portant sur:

- la modélisation des systèmes réactifs en Lucid Synchron et en VHDL,
- les techniques de vérification:
- des programmes à flots de données synchrones avec l'outil Lesar. Un traducteur de Lucid Syn-

chrone vers Lustre est en cours de réalisation. Il permettra d'utiliser les outils de vérification de Lustre,

- des programmes VHDL,
- l'apprentissage du prouveur Coq (suivi des cours du DEA SPP).

Étude de cas: protocole BRP

Il s'agit d'un exemple simple de protocole de communication. C'est une extension paramétrée du protocole du bit alterné. Ses caractéristiques sont les suivantes:

- interconnexion de machines d'états finis: le protocole peut-être représenté "à plat" ou modulairement, ce qui permet de faire une analyse par composant avec ou sans réutilisabilité.
- paramétrage: bornes temporelles, taille de fichiers, nombre de retransmissions.

- Un tel protocole définit un système infini (parce qu'il est paramétré). Il ne peut donc être vérifié directement par les techniques classiques de vérification par modèle (à moins de définir une abstraction permettant d'en donner un modèle fini).

Ce protocole a déjà été analysé à l'aide de prouveurs seuls (PVS et Coq) ou en combinant la preuve avec la vérification à plat. Dans ce dernier cas, la preuve permet de valider les abstractions utilisées pour ramener le système infini à un système fini.

Travaux en cours

Chaque participant modélise le BRP dans son formalisme propre (VHDL, réseaux de Petri, flots de données), en adoptant les mêmes choix de modélisation des parties incomplètement définies dans la spécification du protocole (type de requête entrante, resynchronisation).

On s'intéresse particulièrement à la vérification de la propriété d'exclusion mutuelle des canaux de com-

munication (interconnexion de deux occurrences d'un même module), et remplacement de ce module par un unique canal bidirectionnel. Les méthodes suivantes sont envisagées: analyse structurelle de réseaux de Petri, abstraction puis vérification de modèle, preuve dans Coq par des représentations co-itératives et des techniques de point-fixe gardés (schémas co-inductifs).

Objectifs visés à 1 an

Dégager les points forts de chaque technique de modélisation, les choix implicites dus à la connaissance de la technique de vérification/preuve suivant la modélisation.

Dégager les limites de chaque méthode de vérification/preuve en vue d'établir des complémentarités, dans le cadre d'un système modulaire.



FORMEL OCAML ET COQ (FOC)

Hardin Thérèse

Boulmé Sylvain
Doligez Damien
Menissier-Morain Valérie
Rioboo Renaud

Professeur, UPMC (SPI)
Doctorant, UPMC (SPI)

Maître de conférences, UPMC (CALFOR)
Maître de conférences, UPMC (CALFOR)

DESCRIPTION DU PROJET FOQ

Le projet FOC, démarré à l'automne 1997, a été soutenu par le LIP6 pendant les années 1998-1999. Il porte sur le développement d'un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel.

Les programmes de calcul formel implantent des théorèmes. Par exemple, le pgcd de deux polynômes peut s'obtenir par un calcul de résultants ou par celui d'une base de Gröbner. Ces deux procédés sont construits à partir de théorèmes, dont les preuves définissent assez finement les algorithmes. Cela devrait donc assurer la correction des implantations. Pourtant, les programmes de calcul formel contiennent des erreurs provenant, soit d'une véritable incorrection mathématique (division par zéro, simplifications abusives, etc.), soit d'une mauvaise interprétation de la sémanti-

que (mauvaise gestion de la liaison retardée, manipulation erronée de pointeurs, etc.). De plus, les programmes de calcul formel sont difficiles voire impossibles à tester. On est donc conduit, pour assurer la qualité des programmes de calcul formel, à se tourner vers des techniques de preuve.

Après un essai montrant la difficulté d'ajouter des assertions pour un langage existant (Axiom), le groupe Foc a entrepris de construire un atelier de programmation raisonnée pour le calcul formel, appelé aussi Foc et organisé autour de trois composantes : programmation, preuves, interface utilisateur. Son état d'avancement est décrit ci-après, ainsi que son évolution à court et moyen terme.

Conception de l'atelier

Foc doit offrir une librairie de structures algébriques, car tout programme de calcul formel repose de manière essentielle là-dessus. Pour permettre l'écriture de programmes certifiés, celle-ci doit fournir, pour chacun des outils classiques de manipulation des structures algébriques, non seulement son implantation mais aussi sa sémantique, sous forme d'assertions (prouvées) et de pré-conditions à établir pour les utiliser. L'utilisateur doit ainsi pouvoir spécifier son algorithme par assemblage d'éléments de cette librairie, en prouver certaines propriétés, enfin en définir une implantation et montrer la correction de celle-ci. Il faut donc une interaction très forte entre les composantes programmation, preuves et interface.

Pour aller jusqu'au bout de la certification, il faudrait utiliser un langage de programmation avec un compilateur certifié. Un tel langage n'existe pas pour le moment et il serait irréaliste de vouloir en créer un. Nous avons donc simplement choisi, pour la programmation, un langage sémantiquement fondé, qui est OCAML (langage développé à l'INRIA). De plus, OCAML se couple bien avec Coq, le langage d'aide à la preuve qui a été retenu pour ce projet. Enfin, OCAML offre des temps d'exécution raisonnables. Cela répond à un souci permanent du projet de ne pas négliger les questions d'efficacité.

Les réflexions sur ces différents points ont conduit à décomposer le projet chronologiquement en trois phases.

La première phase est une phase de choix de la méthodologie de développement de la librairie, à partir de la réalisation de prototypes. En effet, les différentes structures algébriques et les programmes les manipulant dépendent les uns des autres de plusieurs manières : un anneau dépend d'un groupe, la représentation « creuse » des polynômes dépend de l'intégrité de l'anneau des coefficients, les manipulations des entiers modulo 2 dépendent de leur représentation, par des entiers ou des booléens par exemple. De plus, les structures de données encodant une structure algébrique ont souvent un haut niveau de paramétrisation : les coefficients des polynômes peuvent appartenir à n'importe quel anneau, y compris à un anneau de polynômes. Enfin, il faut pouvoir, dans la description d'une structure algébrique donnée, aller du virtuel (spécification par propriétés) au concret (choix de structures de données). Ces différentes sortes de dépendance sous-tendent la construction du code et figurent dans les énoncés de propriétés et dans leurs preuves. Elles doivent être explicitées dans l'architecture de la librairie, de manière à concilier au mieux facilité de programmation, réalisation de preuves et efficacité. Ce graphe de dépendances est à implanter en OCAML, à l'aide d'une combinaison de modules et de classes, à déterminer. Cette hiérarchie doit en parallèle être décrite en Coq (définition des spécifications, énoncés et preuves de propriétés), de manière à faciliter la spécification des algorithmes de

l'utilisateur et les preuves de correction des programmes associés.

La seconde phase du projet correspond au développement effectif de l'environnement, de manière à pouvoir implanter des algorithmes assez conséquents comme ceux calculant des sous-résultats. C'est au cours de cette phase qu'il faut fixer définitivement l'interaction entre preuve et programme, à travers la réalisation de l'interface utilisateur.

Les questions d'ergonomie sont à poser dès le début du développement. En effet, la mise à disposition

Bilan

Au cours des deux premières années, ont été réalisées la première phase du projet et une partie de la

La composante programmation

L'expérience acquise en utilisant des systèmes de calcul formel, en particulier Axiom, montre que l'ingénieur de calcul formel attend un environnement de programmation proposant de nombreux traits (modularité, héritage, sous-typage, liaison retardée, etc.), tous offerts par Ocaml. Reste à déterminer comment marier tous ces traits pour construire une vision uniforme de la hiérarchie des unités, aussi proche que possible de sa spécification mathématique et conforme aux exigences de certification. Pour cela, cinq prototypes de taille raisonnable (40 à 60 classes chacun) ont été développés, ce qui a conduit à l'établissement d'un cahier des charges pour la programmation de la librairie.

Celui-ci distingue deux sortes d'unités: les espèces et les collections. Une espèce peut être étendue par un certain nombre de mécanismes (raffinement, instantiation de paramètres de type ou de valeurs, redéfinition, conversion, etc.). Une collection est une unité figée, élément ultime d'un processus d'extension et de redéfinition, et offrant seulement une vue abstraite des éléments qu'elle exporte. Une espèce est implantée par une classe de Ocaml, construite en suivant une méthodologie très précisément décrite dans le cahier des charges. Une collection encapsule dans une structure de module l'espèce qu'elle fige. Enfin, une espèce peut prendre en

d'outils tels des moteurs de recherche par propriétés dans les bibliothèques peuvent nécessiter des extensions des représentations internes de données. De plus, l'interface homme-machine doit être adaptée aux habitudes des utilisateurs de calcul formel. Il faut aussi minimiser le volume de connaissances additionnelles à acquérir pour utiliser ce système.

La phase ultime du projet consiste à étendre le développement vers d'autres problèmes de calcul formel (bases de Gröbner, etc.).

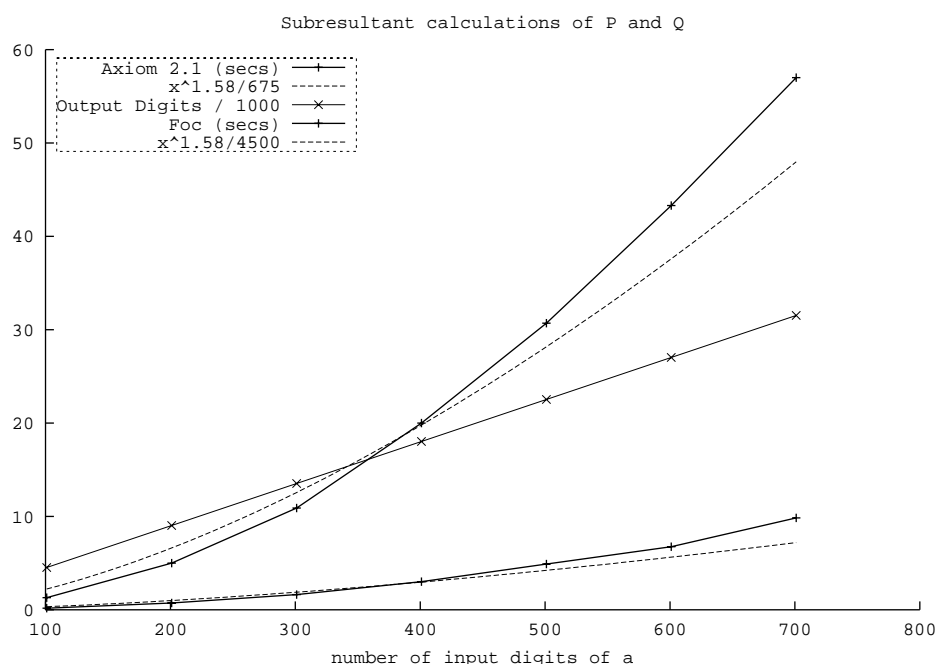
seconde phase. Nous décrivons les réalisations ci-après.

paramètres plusieurs collections.

Actuellement, la librairie comprend une centaine d'espèces, décrites par 3500 lignes de code Ocaml et fournit des représentations de toutes les structures algébriques classiques et de leurs implantations classiques.

La recherche d'efficacité, en terme de temps d'exécution, n'a pas été notre souci principal. Nous avons privilégié l'efficacité dans la conception, le développement et la certification (programmation purement fonctionnelle). Cependant, les temps de calcul sont excellents et même, les meilleurs pour certains algorithmes de calcul de racines de polynômes. Par exemple, le même algorithme de résultant a été codé par R. Rioboo en Axiom (2.1), et FOC. Il a été testé avec les données fournies dans la figure 1.

Ces résultats doivent être corroborés par des comparaisons avec d'autres algorithmes et d'autres systèmes, en examinant en particulier quelles sont les



représentations et les heuristiques utilisées et les algorithmes réellement implantés.

La composante certification

Parallèlement à la réalisation de la bibliothèque, nous avons mené un travail de conception de la certification. Les dépendances entre éléments de la librairie doivent être explicitées dans le code Coq. La représentation est fondée sur la notion de mixtel, introduite par S. Boulmé et expliquée ici très succinctement.

Une espèce est mathématiquement déterminée par une représentation, un ensemble d'opérations et un ensemble de propriétés, que nous nommons toutes méthodes primitives et qui sont représentées par un couple (nom, signature). D'autres opérations ou propriétés, dites méthodes dérivées, peuvent être construites à partir de ces primitives et sont données sous la forme (nom, signature, valeur). Un mixtel est une suite finie de telles méthodes, exprimée dans un langage de types dépendants, qui permet de décrire finement les dépendances entre ces méthodes. La construction d'une espèce à partir d'espèces connues est interprétée comme un morphisme entre les mixtel décrivant ces espèces. Par exemple, on peut construire

L'environnement utilisateur

La conception de cette composante a été entreprise dès le début du développement de Foc, essentiellement en étudiant des environnements déjà réalisés (Axiom, Centaur, CTcoq, etc.). Cependant, sa réalisation a été différée pour deux raisons. La première raison est simplement la mise en place des deux autres composantes, qui a absorbé tout le temps disponible. La seconde est plus profonde et liée à la formalisation de la hiérarchie. En effet, la syntaxe

Collaborations, diffusion

Le projet Foc a participé à l'action coopérative Calcul Formel Certifié (CFC) de l'INRIA (projets Lemme - INRIA Sophia, Coq et Cristal - INRIA Rocquencourt de janvier 1998 à décembre 1999).

Les membres du projet Foc ont participé à différentes conférences ou groupes de travail: CALCULEMUS 98 (groupe de travail européen portant sur la formalisation des mathématiques), CALCULEMUS 99 (avec une présentation du projet), Groupe de Travail OpenMath - juin 1999 (interopérabilité entre systèmes de calcul formel), groupes de travail de CFC. Le groupe Foc a organisé une rencontre de deux jours sur Calcul formel et Certification en juin 1999, avec la participation de plusieurs chercheurs européens. Il a également présenté l'état actuel du projet au cours d'une journée consacrée à Foc, organisée par le grou-

Perspectives

Les principaux objectifs du projet Foc sont mainte-

nant les suivants.

une nouvelle espèce en donnant une définition (implantation ou preuve) à une méthode primitive, cette opération est nommée raffinement.

À chaque espèce, on peut associer une ou plusieurs interfaces, représentées par des types dépendants, qui décrivent chacune une certaine vue de l'espèce. Une collection C implante une espèce E, si toutes les méthodes primitives de E ont reçu une définition dans C. L'interface associée à l'espèce E peut alors être considérée comme une signature acceptable pour la collection C.

L'ensemble d'espèces et de collections est muni d'un ensemble d'opérateurs, correspondant aux différents mécanismes d'extension.

L'étude des propriétés des mixtel est bien avancée et leur codage en Coq est terminé. On dispose donc d'une représentation de la hiérarchie, dont la cohérence est garantie par le système Coq. La formalisation du contenu de chacune des unités de la bibliothèque peut donc commencer.

concrète et les outils mis à la disposition des utilisateurs doivent permettre --- et même obliger --- l'utilisateur à construire son programme en explicitant toutes les dépendances de son code vis-à-vis des espèces et des collections. Une avancée substantielle dans la formalisation était donc nécessaire.

La réalisation de l'environnement utilisateur venant de débiter, nous la décrivons plus loin, dans la partie prospective.

pe Esquisses et Calcul Formel (Paris 7, Limoges) en mars 2000.

Plusieurs publications ont été acceptées, d'autres sont en cours de soumission. Plusieurs exposés, hors le cadre des collaborations, ont été donnés.

Pour clore ce bilan, on peut affirmer que le projet Foc a rempli son but. Les résultats sont là pour l'attester. Nous avons réussi à apporter quelques premières solutions aux problèmes posés par l'implantation sûre d'algorithmes de calcul formel. La facilité de développement de programmes dans l'environnement Foc alliée aux temps d'exécution excellents est avérée. Le choix de la méthodologie de développement se révèle pertinent puisqu'il peut être modélisé par une structure mathématique et permet une programmation très proche de la spécification.

- La librairie fournie contient la plupart des structures algébriques nécessaires aux différents domaines abordés par le calcul formel (intégration, systèmes triangulaires, etc.). Cette librairie doit être étendue pour offrir les algorithmes propres à chacun de ces domaines.
- Le contenu de chacune des unités de la librairie doit être développé en Coq, en l'insérant dans la représentation de la hiérarchie, de manière à être réutilisable pour prouver d'autres propriétés. Il faut donc élaborer aussi un cahier des charges orienté « future réutilisation » pour le développement des preuves.

Parallèlement, on cherchera aussi à réutiliser des preuves déjà fournies par diverses contributions de Coq. En effet, différents développements concernant les structures algébriques ont été effectués dans Coq, avec des points de vue différents (point de vue déclaratif, point de vue calculatoire par exemple). Comprendre comment construire les isomorphismes permettant de passer d'un point de vue à un autre est un gros travail de recherche, très intéressant en soi car la notion de « réutilisation de déjà fait » est encore peu étudiée dans le domaine de la preuve.

- La mise en place de l'interface utilisateur doit être entamée. Elle conditionne la mise à disposition de Foc pour les utilisateurs. Comme toute interface utilisateur, elle doit répondre à des impératifs d'ergonomie : s'adapter au mieux à la pratique de l'ingénieur en calcul formel. Celui-ci ne devrait pas avoir à connaître les langages Ocaml et Coq. Au contraire, il devrait retrouver une interface de programmation « à la Axiom » avec une syntaxe concrète éventuellement proche de celle de Openmath (projet international de normalisation des échanges de données entre systèmes de calcul formel). Il faudrait aussi que le langage de preuve permette d'effectuer une preuve « comme en mathématiques », par exemple, en prouvant un théorème, sous l'hypothèse que les lemmes utilisés sont corrects.

La réalisation de cette interface repose donc sur la conception de cette syntaxe concrète, permettant de mélanger des informations de nature calculatoire ou

bien de nature logique. Les informations calculatoires doivent servir à construire le programme en Ocaml. Les informations logiques doivent permettre d'énoncer des propriétés des structures manipulées et d'en faire la preuve. Il faut de plus garantir la cohérence entre ces deux sortes d'informations.

Le développement de cette interface va être effectuée en collaboration avec D. Doligez, qui a déjà réalisé une interface de ce genre pour traiter des propriétés temporelles. Schématiquement, il faut extraire un squelette de preuve de la syntaxe concrète et replacer cette preuve incomplète dans la description logique de la hiérarchie. Il faut définir des outils pour tenter de compléter la preuve et pour éventuellement engendrer les obligations de preuve pour les lemmes manquants. La preuve complétée doit alors être soumise à un vérificateur de preuves.

L'interface doit de plus fournir un certain nombre d'outils (calcul et affichage de graphe de dépendances entre classes, recherche de méthodes ou d'énoncés par leurs types, gestionnaire de version, etc). La mise en place de l'interface soulève donc un nombre assez important de problèmes de recherche, tant appliquée que fondamentale, mêlant aspects syntaxiques et surtout sémantiques et que l'on peut estimer difficiles.

On peut remarquer que cette tentative de construction d'un environnement de programmation raisonnée pour le calcul algébrique est un sujet de recherche exemplaire au sens suivant. On peut la lire comme l'étude, en grandeur réelle, du passage de la spécification de l'environnement d'un métier au système logiciel l'implantant. Cette étude n'est toutefois pas trop démesurée car dans l'environnement du métier concerné (donc celui du mathématicien), tout a déjà été décrit rigoureusement, avec un vocabulaire partagé par tous, facilitant le dialogue entre ingénieurs du métier et informaticiens.

Nous espérons avoir montré, dans cette présentation du futur de Foc, qu'il s'agit d'un problème de recherche à la fois théorique et pratique, très ancré dans les questions de fiabilité du logiciel et qui mérite d'être soutenu, en particulier, au niveau des ressources humaines (ingénieurs expert, chercheurs).

Bibliographie

- (1) On the way to certify Computer Algebra Systems S. Boulmé, T. Hardin, D. Hirschkoff, V. Ménissier-Morain et R. Rioboo. Calculemus de FLOC'99 (Federated Logic Conference, Trento, Italie).
- (2) Modules Objets et Calcul Formel S. Boulmé et T. Hardin et R. Rioboo. JFLA'99 (Journées Francophones des Langages Applicatifs) Avoriaz (1999).
- (3) Vers un environnement de programmation certifiée pour le calcul formel S. Boulmé. Groupe BIP 1998.
- (4) Présentation du projet FOC R. Rioboo. Journées nationales de calcul formel 1998.
- (5) Présentation des mixtel S. Boulmé. Journée Formalisation des Mathématiques, INRIA, novembre 1999.
- (6) Opérateurs de raffinement sur les structures algébriques S. Boulmé. Journées Francophones des Langages Applicatifs, INRIA, février 2000
- (7) Journée de présentation du projet Foc, 24 mars 2000 groupe Esquisses et Calcul formel, Séminaire Catégories et Structures, F. Coppey, C. Lair, D. Duval, Universtiés Paris 7 et Limoges.



INDEXATION MULTIMEDIA

Faudemay Pascal

Bouchon-Meunier Bernadette
 Caraty Marie-José
 Doucet Anne
 Joly Philippe
 Montacié Claude

Ingénieur de Recherches CNRS (ASIM)
 Directeur de recherches, CNRS (APA)
 Maître de Conférences, UPMC (APA)
 Professeur, UPMC (OASIS)
 Maître de Conférences, UPMC (ASIM)
 Maître de Conférences, UPMC (APA)

ITA-IATOS

Penné Jean

Ingénieur de recherches, CNRS

Doctorants présents 80% du temps au LIP6

Durand Gwenaël (Faudemay, 96)	(ASIM)
Seyrat Claude (Faudemay, 96)	(ASIM)
Ruiloba Rosa (Faudemay 98)	(ASIM)
Detiniesky Marcin (Bouchon 98)	(APA)
Petridis Sergio (Montacié 98)	(APA)
Lefevre Fabrice (Caraty 98)	(APA)

DESCRIPTION DU PROJET INDEXATION MULTIMEDIA

Le Projet Indexation Multimédia rassemble des chercheurs de plusieurs équipes du LIP6 : équipe Multimédia / ASIM, équipe Parole / APA, bases de données, logique. Il a pour but l'extraction automatique ou supervisée de connaissances de documents audiovisuels, et l'accès intelligent aux objets audiovisuels, à travers la télédiffusion et l'Internet. Les approches visées sont les requêtes d'interrogation, ou approche "pull", et les requêtes de filtrage ou approche "push", par des agents intelligents. Dans ce cas les agents produisent des requêtes "pull" à partir du profil de l'utilisateur, sans intervention explicite de celui-ci (interface "zéro commande").

L'enjeu scientifique de l'indexation multimédia est la compréhension automatique de la vidéo, de l'audio, de l'image fixe, des pages web, etc. par des programmes. Cette compréhension peut s'exercer à différents niveaux de granularité (de l'objet visuel à la vidéo entière) et d'abstraction (depuis la reconnaissance d'un objet jusqu'à celle d'une allusion, d'un trait d'humour ou d'un élément "décisif"). L'enjeu du projet inclut aussi la compréhension de l'utilisateur, en vue de construire et d'interpréter son profil et ses demandes.

Ainsi définis, ces objectifs en font un projet à long terme (éventuellement plusieurs dizaines d'années), dont certains résultats fondamentaux ont déjà été obtenus ou sont attendus à court terme. Ces résultats sont très importants pour une valorisation économique, qui apparaît déjà envisageable à court terme.

Sur le plan socio-économique, le développement des stocks d'audiovisuel numérique conduit à envisager l'accès à ces stocks sur l'Internet, et pose également le problème du développement (quantitatif ou

qualitatif) du marché de la télévision pour suivre l'augmentation de l'offre. Le point de vue courant actuellement est que le marché de l'audiovisuel ne se développera que si les utilisateurs professionnels et résidentiels disposent de moyens d'accès intelligent aux contenus. Le marché des descriptions et des matériels de navigation devrait donc devenir une part significative de celui des contenus et des matériels associés, et surtout conditionner le développement du marché de l'audiovisuel (310 M\$ USD en 1995, augmentant de 4% par an). De plus, les méthodes d'accès intelligent conditionneront pour une part le développement de la société de l'information et l'accès multilingue aux ressources culturelles.

Selon notre point de vue, une part des technologies fondamentales dans ce domaine sont les suivantes :

- la segmentation spatiale de l'image fixe et animée,
- la segmentation temporelle de l'audio et de la vidéo en unités sémantiques (segments de même locuteur, de même type, scènes dans une vidéo),
- la reconnaissance vocale de la parole,
- la représentation des connaissances relatives aux objets audiovisuels, notamment sous forme des futures "descriptions" de MPEG-7.

Seules un petit nombre d'équipes dans le monde rassemblent une partie de ces technologies (mais généralement pas toutes). Il s'agit principalement de IBM (projet QBIC) et de Informédia (Université Carnegie-Mellon et ISLIP), et peut-être de quelques autres équipes. Le LIP6 a apporté des contributions dans ces différents domaines.

Dans ce contexte, nos axes de recherche sont les suivants :

Segmentation spatiale de l'image

La segmentation de l'image en objets est une des méthodes de base de MPEG-4. Cette segmentation est généralement réalisée à partir du mouvement, avec des résultats moyens. Selon un point de vue couramment exprimé (ACM Multimédia 98), la segmentation de

l'image statique en objets est un objectif "fondamental... mais quasi-impossible". Le LIP6 (P. Faudemay, G. Durand) a développé une méthode de segmentation de l'image statique en objets sémantiques, qui fait l'objet d'un brevet de février 1998.

Segmentation temporelle de la vidéo

De façon classique, la vidéo est segmentée en plans qui sont l'unité de prise de vue et de montage. Des méthodes efficaces de segmentation en plans ont été développées, avec les travaux de Zhang, Joly, etc. Cependant une heure de vidéo contient couramment plus de 1000 plans, et par suite cette granularité n'est pas forcément adaptée à la navigation.

L'unité sémantique de base dans la vidéo est la scène ou séquence, formée de plusieurs plans consécutifs représentant une unité de temps et de lieu, ou un mon-

tage en plans de coupe (par exemple avec des plans sur le journaliste et sur l'interviewé, dans un interview). Un petit nombre d'équipes dans le monde étudient la segmentation en scènes, dont P. Aigrain et P. Joly (IRIT et maintenant LIP6), W. Wolf (Princeton), Aoki et al., etc.

Le LIP6 a développé une approche basée sur la détection d'objets caractéristiques et de plans de coupe (SPIE Boston 96), et va vraisemblablement intégrer cette approche et l'approche multi-règles de P. Joly.

Dictée vocale

La reconnaissance de la parole ou dictée vocale (transcription de la parole vers le texte) est un moyen extrêmement puissant d'extraction d'information sémantique de l'audio. Celle-ci permet d'atteindre un niveau de compréhension sémantique supérieur à celui possible actuellement avec l'image.

Actuellement les travaux les plus avancés (Cambridge, IBM, Lernout & Haupsie, LIMSI, LIP6) permettent une reconnaissance vocale indépendante du

locuteur et sans contrainte de vocabulaire, avec des taux de succès de 70% à 90% selon la taille du vocabulaire, et des ratios au temps réel de 300 à 50 sur un PC. Ces résultats sont suffisants pour une exploitation effective en indexation, mais peuvent encore être améliorés. En particulier ils ne sont atteints que pour certains types de corpus. Les objectifs de l'équipe Parole à cet égard sont présentés dans le chapitre du thème APA.

Segmentation temporelle de l'audio

Pour l'application des méthodes de dictée vocale à des vidéos, il est important de séparer les différents types de segment audio : parole, parole bruitée, parole et musique, etc. pour appliquer différents types de modèles phonétiques, ou autres. La segmentation du canal audio d'une vidéo est l'une des tâches du LIP6 (équipe Parole) dans le projet Esprit AVIR. Cette tâche

se s'appuie sur des méthodes de reconnaissance du locuteur et de reconnaissance de la parole.

Dans le cadre du projet inter-thèmes "Indexation audio-vidéo", nous expérimentons actuellement des méthodes de base de cette tâche sur un corpus de 30 heures de vidéo.

Caractérisation des objets et des actions

La caractérisation des objets et des actions a pour but de pouvoir les retrouver dans la vidéo par un nom, comme dans le cas de la recherche dans un texte, et de pouvoir construire le "script" d'une vidéo à partir de l'image et du son. Actuellement nous pouvons retrouver un petit nombre d'objets (moins d'une dizaine). Notre objectif est de caractériser plusieurs dizaines d'ici un an à dix huit mois, en nous appuyant sur des connaissances sur ces objets.

La reconnaissance de certaines actions s'effectue classiquement à partir du mouvement et du graphe de

connexité des objets (Texas Instruments, U. Mannheim). Actuellement nous étudions le mouvement des objets en vue de contribuer à la détection de certains types d'actions.

L'extraction et la caractérisation de la gestuelle est aussi un domaine qui se développe rapidement dans le contexte de MPEG-4 / SNHC (synthetic natural and hybrid coding). P. Joly prépare un projet de description automatique de chorégraphies à partir de l'image animée, ce projet est en cours d'évaluation.

Moteurs de recherche "pull"

Le but de ces moteurs de recherche est de rechercher des plans ou des scènes par les objets et les actions qu'ils contiennent. Nous utilisons des méthodes basées sur des signatures multiples, qui permettent de retrouver un objet (par exemple la tour Eiffel) par un schéma dans un millier d'images caractéristiques de plans. Nous définissons également des concepts vi-

Moteurs de recherche "push"

Dans le cas de l'utilisateur résidentiel ou de certains utilisateurs professionnels, le but d'un moteur de recherche n'est pas de délivrer plusieurs versions d'un type de scène ou d'image donné, mais une certaine durée d'audio ou de vidéo, ou un certain nombre d'images, couvrant les intérêts de l'utilisateur compte tenu de ce qu'il a déjà vu auparavant. L'utilisateur est

Représentation de la vidéo

La représentation du contenu des documents multimédia, notamment les vidéos, fait l'objet de travaux en vue du développement d'une norme internationale dans le cadre d'ISO/ CEI / MPEG. Cette norme permettra l'interopérabilité des descriptions et des décodeurs. Elle constitue l'objectif de MPEG-4 / OCI (Object Content Information) et de MPEG-7 (Multimedia Content Description Interface).

Dans ce cadre, le LIP6 a proposé des mécanismes de création de types de portée globale pour MPEG-4

Représentation de l'utilisateur

La représentation de l'utilisateur est un des enjeux importants de l'approche "push". Elle peut être abordée à partir d'une approche vectorielle ou en différenciant l'ontologie ou la base de connaissances de

Recherche coopérative ou "par recommandations"

Pour rechercher des objets multimédia selon l'approche "push", il est possible de s'appuyer sur les recommandations ou les avis, explicites ou implicites, des autres utilisateurs de la base de données globale. Cette approche a notamment été développée par des projets comme Tapestry (Xerox Palo Alto), puis Firefly, GroupLens, Grassroots, etc.

Aspects système

L'accès intelligent à de grandes bases de contenus peut nécessiter des capacités de stockage dépassant largement le téra-octet. Le projet a des contacts avec l'université de Tokyo, qui gère des dizaines de téra-octets pour le stockage d'une partie des images satellites japonaises. Nous étudions actuellement une coo-

perative par des collections d'objets, dans une approche similaire de celle de MOVI, mais basée sur la segmentation automatique des objets dans la vidéo et le suivi des objets. Nous étudions également les problèmes de rétroaction de l'utilisateur et d'apprentissage dans un contexte caractérisé par un petit nombre d'exemples.

alors caractérisé par un profil, à partir duquel des agents intelligents dérivent éventuellement des suites de requêtes plus précises.

Le projet étudie actuellement une maquette de serveur "push" et d'interface de navigation adapté, en vue de mieux délimiter les principaux problèmes de cette approche.

/ OCI et participé à l'édition finale d'OCI. Pour MPEG-7, le LIP6 a participé à la spécification actuelle de MPEG-7 comme basé sur des Schémas de Description (modèles du document multimédia ou de la réalité correspondante) et un langage de définition de schémas (DDL). Des travaux devraient commencer prochainement dans le projet sur l'utilisation d'ontologies pour l'indexation multimédia.

l'utilisateur, quelque soit sa représentation, de celle du sens commun.

Cette orientation de recherche commence seulement actuellement dans le projet.

L'un des problèmes est d'adapter la portée des informations, leur contenu, leur type d'accès (statistique ou individuel) aux besoins de confidentialité et d'information des utilisateurs. Le projet expérimente actuellement pour ses besoins propres un système de recherche de pages web et de références d'objets audiovisuels à partir d'annotations distribuées, qui fait l'objet de développement en cours.

pération pour la réalisation d'un système de stockage transparent pour le développeur, qui pourrait être couplé avec la machine MPC.

Nos projets en cours ou qui doivent commencer avant la fin de l'année sont le projet TRANSDOC, avec l'université de Technologie de Compiègne (pro-

gramme "Autoroutes de l'Information") et le projet Esprit AVIR. Plusieurs autres projets sont actuellement en cours d'évaluation ou en préparation.

L'action " serveur d'indexation " du LIP6

Dans le cadre des projets inter-thèmes du LIP6, le Projet Indexation a obtenu un financement de 90 kF de la part du LIP6 au titre de la politique scientifique de celui-ci. Le choix du projet a été de dédier ce financement au développement des méthodes audio de l'indexation. Il a permis l'acquisition d'un serveur de dictée vocale, formé de trois Pentium 300 à 1 giga-octet de RAM chacun. Ce serveur est utilisé pour une expérimentation de segmentation temporelle et de dictée vocale sur des vidéos.

Un corpus initial d'environ 4 heures de vidéo (actualités, documentaires, fiction, émission de plateau) a été étiqueté à la main, et a servi de base pour développer et expérimenter des méthodes de segmentation en parole / bruit / musique. Les résultats obtenus au niveau d'égale erreur (égalité du taux de parole non détectée et du taux de bruit) sont de 5% d'erreur sur la partie du corpus utilisée, ce qui est un très bon résultat. Il reste à le valider sur un corpus plus important et à réaliser un étiquetage plus fin.

Ces résultats ont permis au LIP6 de proposer une activité de segmentation de l'audio sur des vidéos, et la réalisation d'un serveur de dictée vocale pour l'indexation, dans le projet Esprit AVIR. Dans ce projet, la segmentation sera menée plus loin en vue de pouvoir appliquer la dictée vocale à des segments audio " non bruités ", " peu bruités ", " avec un peu de musique ", etc.. Il s'agit d'une étape importante dans le développement des méthodes audio pour l'indexation, et dans le développement de l'indexation multimédia en général. Le projet a été retenu et devrait commencer au 1er juillet 1998. La possibilité de développer cette activité audio dans AVIR est un résultat direct de l'action " serveur d'indexation " du LIP6.

Dans les prochaines années, le développement conjoint de l'activité du projet " Indexation Multimédia " dans les domaines de l'audio, de l'analyse de l'image, et de la représentation des connaissances, ainsi que du système, devrait rester une orientation stratégique du projet.

Bibliographie:

- (1) Pascal Faudemay, Liming Chen, Claude Montacié, Marie-José Caraty, "Video indexing based on image and sound" Proc Int'l Conf. " Multimedia Storage and Archiving ", SPIE 97, Dallas, Texas, Novembre 1997
- (2) P. Faudemay, L. Chen, C. Montacié, M.J. Caraty, C. Maloigne, X. Tu, M. Ardebilian, J.L. Floch, "Multichannel video segmentation", Proc. Int'l Conf. On Multimedia Storage and Archiving Systems, SPIE, Boston, Nov 1996, pp.252-264.
- (3) Philippe Aigrain, Philippe Joly, Véronique Longueville, "Médium Knowledge-Based Macro-Segmentation of Videos into Sequences", Proc. IJCAI Workshop on Intelligent Information Retrieval, Montréal, August 1995.





INDEXATION DE 60 HEURES DE VIDÉO

Faudemay Pascal

Bouchon-Meunier Bernadette
Caraty Marie-José
Joly Philippe
Montacié Claude

Ingénieur de Recherches CNRS (ASIM)
Directeur de recherches, CNRS (APA)
Maître de conférences, HDR, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, HDR, UPMC

ITA-IATOS

Penné Jean

Ingénieur de recherches, CNRS

DESCRIPTION DU PROJET INDEXATION DE 60 HEURES DE VIDÉO

Présentation générale

La compréhension automatique ou semi-automatique des documents multimédias à différents niveaux d'abstraction et de granularité ainsi que des utilisateurs amenés à les consulter est un des enjeux importants de l'industrie des médias. En effet, le développement des nombreuses chaînes de la télévision numérique, l'accès effectif aux contenus multimédia sur l'Internet, et certaines dimensions du commerce électronique, dépendent largement des méthodes d'accès qui découleront des travaux menés par la recherche en informatique dans le domaine de l'indexation multimédia. Ces enjeux représentent l'un des principaux domaines d'investissement de l'industrie informatique et audiovisuelle, et d'un certain nombre de laboratoires de pointe (Media Lab, Princeton, Cambridge, etc.).

Le groupe de recherche en indexation multimédia a obtenu des résultats importants dans ce domaine, notamment en segmentation spatiale d'images statiques, en segmentation temporelle de la vidéo, en méthodes de recherche dans des vidéos, et en outils de description des contenus multimédias à travers une contribution importante à MPEG-7.

Cependant ces travaux ne peuvent atteindre des résultats complètement probants qu'en s'appuyant sur

une expérimentation à une échelle suffisante, qui est l'une des clés de la visibilité internationale. Rappelons qu'un des objectifs principaux de l'indexation multimédia est de permettre la recherche d'informations dans de très grands ensembles de documents, comme c'est le cas pour les centres d'archives audiovisuelles par exemple. Or, de nombreuses expérimentations ne portent que sur des extraits de quelques dizaines de minutes, ce qui ne permet pas de juger de leur pertinence " in situ ".

Un système de stockage de masse est de ce fait l'élément indispensable de toute architecture visant à montrer (et à démontrer) l'utilité et l'efficacité des résultats de recherche menés sur l'indexation multimédia. Ceci peut représenter un centre d'intérêt potentiel pour la communauté scientifique travaillant dans le domaine, mais aussi pour les industriels souhaitant tester des solutions technologiques. Ainsi le projet Informedia de l'Université Carnegie-Mellon expérimente sur 1 000 heures de vidéo. Cette échelle d'expérimentation permet d'accorder un réel crédit aux solutions techniques proposées, ainsi qu'aux résultats obtenus.

Objectifs du projet

Ce projet a pour vocation de jouer le rôle de " vitrine " des activités de recherche menées en matière d'indexation multimédia dans le laboratoire. Il doit proposer une solution technologique vraisemblable et démontrer l'utilité des outils développés pour la re-

cherche d'informations audiovisuelles. Ce doit être également un support d'évaluation de la qualité des résultats fournis, au moins en ce qui concerne les informations extraites automatiquement.

Echelle d'expérimentation

Plusieurs types de résultats sont très dépendants de la taille du corpus susceptible d'être manipulé et accessible à tout instant:

- La durée d'un document audiovisuel est le paramètre qui dimensionne la taille de la base de donnée. Or, sa taille se doit d'être conséquente pour que celle-ci offre une richesse et une variété de conte-

nus suffisants pour valider les différents algorithmes d'indexation.

- L'approche " push " a pour principe de conduire un serveur à proposer automatiquement à un utilisateur un ensemble de documents susceptible de correspondre à ses centres d'intérêt. Le principe est le suivant: sur la base d'un ensemble d'indications

fournies par l'utilisateur, le système formule une proposition de document qui peut être acceptée ou rejetée. De cette manière, le système est supposé progresser dans la compréhension de l'utilisateur. Là encore, la diversité des contenus est un facteur clé pour assurer un fonctionnement conséquent de ce système d'accès et pour valider la pertinence des propositions formulées par le système.

- Enfin les problèmes techniques des systèmes et des bases de données liés à cette problématique (accès

par index spatio-temporel, application d'une base de règles de taille significative à des bases de faits importantes) n'apparaissent véritablement qu'à des échelles largement supérieures aux expérimentations à petite échelle. Il s'agit donc ici d'acquérir une expertise technologique adaptée aux dimensions réelles visées par ce type de travaux de recherche.

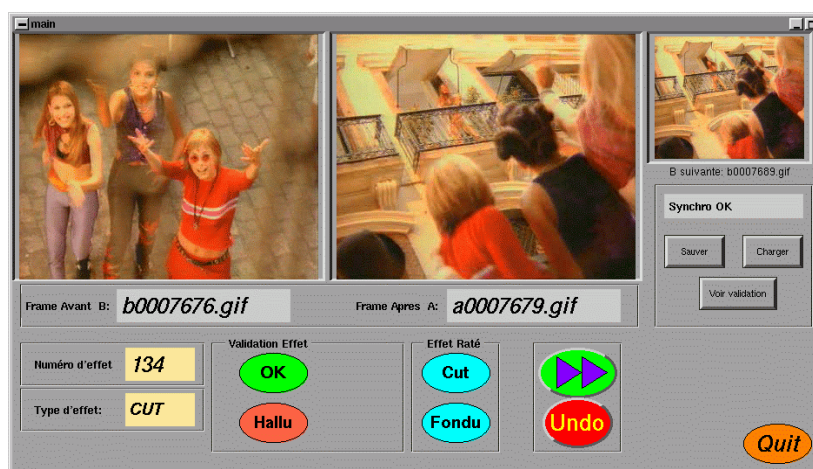
Mise en Oeuvre

Phase 1: Première expérimentation sur un corpus de 30 heures (T+6)

Un corpus de 30 heures de documents audiovisuels numériques a été constitué. Ce corpus comprend des journaux télévisés, une fiction, des documentaires, des spots publicitaires, des bandes annonces, des longs-métrages, des dessins animés et des émissions de divertissement. Sur ce corpus, la segmentation en plans a été appliquée et deux images pour chaque plan détecté ont été extraites. Ces images ont été à leur tour segmentées en objets visuels. Puis une batterie de tests a été effectuée par les membres du groupe afin de valider les résultats obtenus et de les évaluer. Huit personnes ont participé durant à peu près 2 semaines à la validation des résultats de l'indexation. Cette évaluation reposait sur la lecture des fichiers vidéos, et sur la confrontation des observations faites avec les résultats présentés dans l'interface ci-contre. Celle-ci présente la dernière image d'un plan et la première image du plan suivant.

Le type de l'effet de transition est également précisé. L'opérateur doit donc valider si l'effet est correctement détecté et, le cas échéant corriger l'indexation produite.

Sur les 30 heures indexées, à l'issue des deux semaines, seules 10 heures étaient effectivement validées. On a pu établir ainsi que la durée de la validation équivalait à la durée du document multiplié environ d'un facteur 10. Ce coût très important va de surcroît avec un ensemble de difficultés que cette tâche a permis de mettre en évidence.



Fiabilité d'une évaluation par un opérateur humain

La fiabilité de l'évaluation par un opérateur humain va en diminuant rapidement au delà d'une d'heure de validation. Pour limiter les erreurs, les documents ont du être validés par deux personnes différentes.

De plus, l'interprétation des résultats varie d'un évaluateur à l'autre. De nombreux cas ambigus d'effets de transition ont ainsi été mis en évidence. De même, la perception de la composition en objets visuels d'une image fixe peut varier fortement d'un évaluateur à l'autre. Une interface du même type a été réalisée pour traiter la segmentation spatiale des images fixes. Les résultats obtenus ont mis en évidence le

rôle important de la subjectivité dans les appréciations faites par les utilisateurs.

Evaluation et confrontation des résultats

Après la validation des résultats, l'évaluation de l'indexation a été produite sur la base du calcul de taux de fiabilité exprimé par les

formules proposées dans l'état de l'art relatif à ce domaine. Il n'en restait pas moins que les résultats obtenus n'étaient pas directement comparables avec ceux obtenus par d'autres équipes du fait des différences de corpus (en durée, en complexité...) et de la non-prise en compte des performances des algorithmes (capacité à discriminer plusieurs types d'effets de transition, vitesse de traitement...).

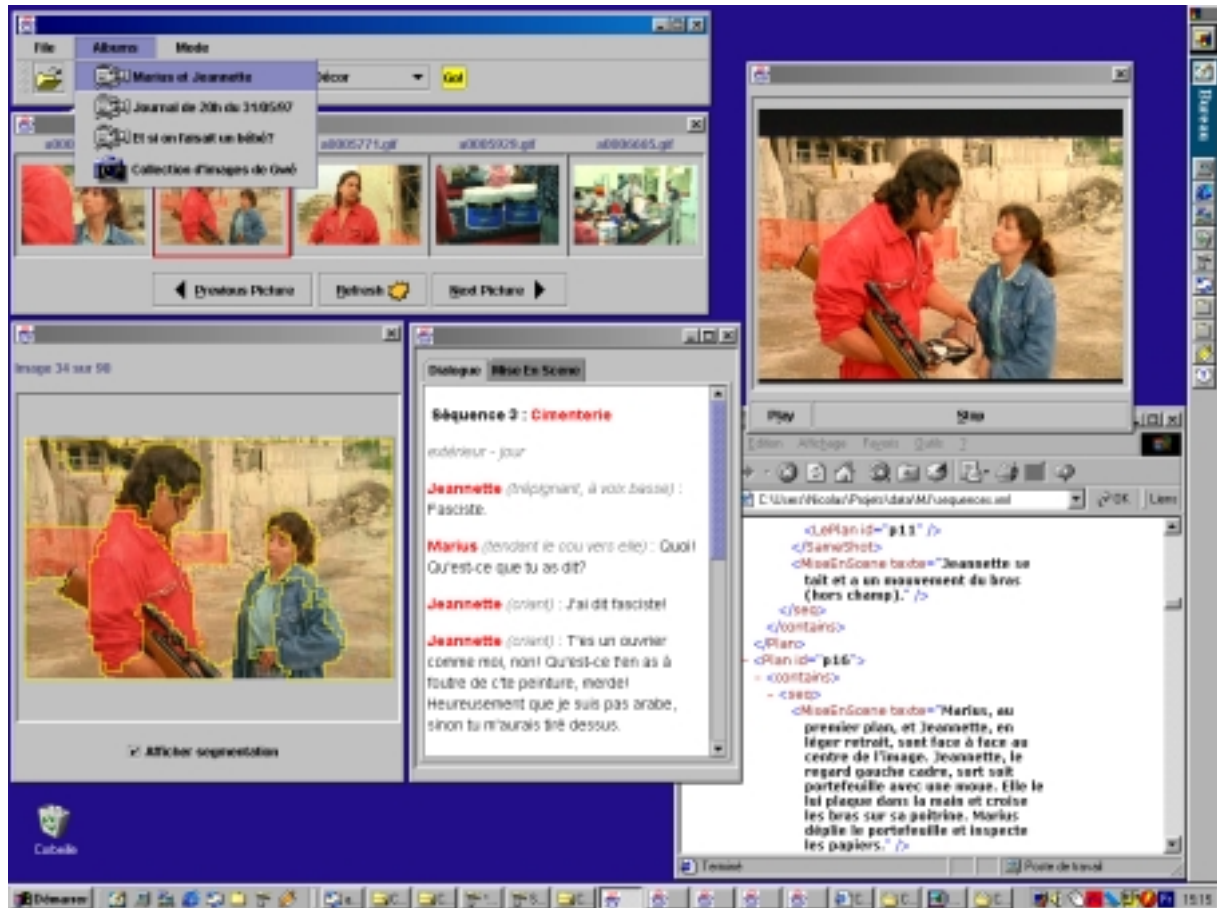
Limites technologiques

Des limitations technologiques ont également pu être mises en évidence: les outils d'indexation étaient répartis sur différentes machines reliées par un réseau à 10Mb/s. Il est apparu que le transfert des images

fixes extraites des vidéos pour la segmentation spatiale était une opération plus souple lorsqu'elles étaient sauvegardées sur CD-ROM que lorsqu'elles étaient transmises par le réseau (de plus, l'occupation de la bande passante réduisait considérablement dans ce cas les capacités de travail des membres du groupe).

Enfin l'échange de l'information extraite entre les différents algorithmes d'indexation a mis en évidence

la nécessité de garantir l'interopérabilité entre les algorithmes à travers le choix du codage interne des informations.



Phase 2: Travaux effectués - Spécifications du système - Prototype (T+12)

Des observations effectuées sur cette première phase, et sur la base de réflexions plus abouties sur la finalité d'un outil visant à jouer le rôle de démonstration des travaux menés sur l'indexation multimédia, de nouvelles spécifications ont été formulées et le prototype d'une interface de consultation a été élaboré.

Evaluation des résultats

Une opération thématique a été montée au sein du GT10 du GDR ISIS, avec le CLIPS-IMAG, Eurecom et l'INA à des fins de formuler les spécifications d'un cadre commun d'évaluation des résultats de la segmentation en plans. Ceci a donné lieu au développement de ressources et de logiciels placés en accès libre sur le site http://www-asim.lip6.fr/AIM/pages/ot10_3.html. Ce travail inclut un ensemble de définitions visant à préciser la notion d'effet de transition, des formules d'évaluation prenant en compte la taille

du corpus et partiellement sa complexité, l'accès à un corpus commun, des fichiers de référence établis semi-automatiquement, et un logiciel visant à confronter les résultats d'une segmentation donnée avec ceux présents dans les fichiers de référence. Ce travail a donné lieu à publication (cf. [1]). A court terme, il est envisagé d'affiner le jeu de définition des effets de transition, et d'introduire de nouveaux paramètres dans les règles d'évaluation. Cette expérience doit être étendue également à l'évaluation d'autres types de segmentations.

Parallèlement à cette activité, des études ont été menées afin d'augmenter la fiabilité des résultats par l'analyse d'informations transmodales. Ainsi, la détection de la présence de parole sur la bande son a été confrontée à la détection de visage sur les images extraites de chaque plan. La forte corrélation observée

sur les résultats montre l'intérêt d'une covalidation des données fournies par ces algorithmes (cf. [2]).

Solution technique

Les limites mises en évidence lors de la première phase ont conduit à envisager le regroupement des traitements d'indexation sur une même machine. Celle-ci assurera tour à tour l'acquisition, l'indexation et la gestion de la base de donnée. L'exploitation des résultats des outils d'indexation dans une seule et même interface a été étudiée à travers la réalisation d'un prototype dont une présentation de l'interface est donnée ci-dessous.

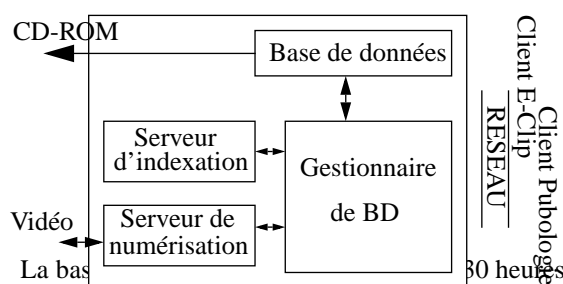
Phase 3: Implantation (T+15...)

Il a été établi que la réalisation d'interfaces spécifiques mettant en évidence l'intérêt de ces résultats pour des usages professionnels ou commerciaux clairement définis serait une valeur ajoutée pour ce projet. Deux applications sont en cours de spécification: "E-Clip" et "Pubologie". La première est une application visant à recommander à un utilisateur la consultation d'un ensemble de clips vidéo sur la base d'un minimum d'informations ponctuelles le concernant et de la gestion de son profil. La seconde a pour objectif d'évaluer s'il y a adéquation entre la forme d'un message publicitaire et la catégorie socio-économique du public auquel il s'adresse.

Ces deux applications reposent sur la même architecture système et ne sont spécialisées qu'à travers les outils et les représentations qui seront proposées sur l'interface utilisateur. Ces interfaces pourront être activées sur une autre machine que le serveur. L'échange des données s'effectuera à travers un réseau 100 Mb/s. L'architecture est résumée par le schéma suivant:

En plus des fonctionnalités de navigation plan par plan, cet outil offre un accès basé sur la recherche d'un terme présent dans le script, ou sur la présence d'un objet similaire à un objet présent dans une image donnée (fonction très efficace pour retrouver par exemple un personnage).

Enfin, l'interopérabilité peut être désormais assuré par un encodage systématique des informations extraites sous le format MPEG-7 actuel. Ce format n'est pas encore stabilisé. Néanmoins, la position du groupe Indexation Multimédia dans le consortium MPEG garantit la proximité du format choisi avec les avancées faites dans le standard (cf. [3]).



de vidéo clips et 30 heures de spots de publicité (correspondant environ à 70 Go de vidéo numérique). A ces documents s'ajouteront les images fixes extraites, les informations textuelles (style, cadence, paroles des chansons... pour les clips; scripts, production, cible... pour les messages publicitaires). La capacité de la base de donnée selon la solution technique que nous avons adoptée est de plus de 100 Go.

Dissémination et valorisation des résultats

Les briques intégrées dans le projet suivent chacune des processus de valorisation indépendants:

- la lecture et le rangement dans la mémoire des informations transmises au format MPEG-7 s'effectuent à l'aide d'un parser développé par notre équipe. Celui-ci est le premier (et pour l'heure l'unique) contrôleur syntaxique jamais développé pour ce langage. Il sera mis gratuitement à disposition des chercheurs d'ici le début du mois de décembre 1999. Il représente pour l'heure un enjeu important dans le développement de la norme.
- l'évaluation appliquée à la segmentation en plans est le format d'échange et de comparaison des résultats adopté par les membres du GT10 (Indexation Multimédia) du GDR ISIS. Des contacts ont

été pris récemment afin d'élargir la communauté des chercheurs susceptibles d'utiliser les résultats et de lui donner une dimension européenne. Les formats de données seront soumis au processus de standardisation relatif à MPEG-7.

- la segmentation spatiale de l'image fixe a fait l'objet d'un brevet international. Des travaux en cours visent à rassembler les objets visuels en fonction de la probabilité de leur appartenance à un objet plus grand, ou sémantiquement plus pertinent (cf. [4]).

L'intégration de l'ensemble de ces résultats dans le projet fera l'objet d'une démonstration à RIAO 2000 en mars 2000 à Paris ainsi qu'à l'occasion du meeting MPEG qui suivra.

Bibliographie

- (1) R. Ruiloba, P. Joly, S. Marchand-Maillet, G. Quénot : “Towards a Standard Protocol for the Evaluation of Video-to-Shots Segmentation Algorithms”, presented at International Workshop in Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Toulouse France, 1999.
- (2) P. Faudemay, P. Joly, C. Thiénot, C. Seyrat : “An Extensible DDL Framework based on RDF and Ontologies”, presented at MPEG proposal p625b, 1999.
- (3) G. Durand, P. Faudemay : “Extraction of Composite Visual Objects from Audiovisual Materials”, presented at Invited paper - SPIE - Multimedia Storage and Archiving Systems IV, Boston, 1999.



MISE EN ŒUVRE DE LA MACHINE MPC

Greiner Alain

Alt René
Chesneaux Jean-Marie
Faugère Jean-Charles
Folliot Bertil
Lamotte Jean-Luc
Scherson Isaac Irvine
Sens Pierre

Professeur, UPMC (ASIM)
Professeur, UPMC (ANP)
Maître de Conférences, UPMC (ANP)
Chargé de recherche, CNRS (CALFOR)
Maître de Conférences, UPMC(SRC)
Maître de Conférences, UPMC (ANP)
Professeur, (ASIM)
Maître de Conférences, UPMC (SRC)

Personnel temporaire

Wajsburdt Franck
Zerrouki Amal

ATER, UPMC, (ASIM)
Postdoc UPMC, (ASIM)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Alves Barbosa Fabricio (Greiner, 96)	(ASIM)
Bretelle Bruno (Folliot, 95)	(SRC)
Cadinot Philippe (Sens, 96)	(SRC)
Desbarbieux Jean-Lou (Greiner, 95)	(ASIM)
Fenyo Alexandre (Greiner, 95)	(ASIM)
Lecler Jean-Jacques (Bazargan, 94)	(ASIM)
Leduc Thomas	(ANP)
Victor Marc (Faugère/Lazard, 94)	(CALFOR)

DESCRIPTION DU PROJET MPC

Objectifs

Les machines parallèles commerciales de type "mémoire partagée" sont généralement des machines très coûteuses. Elles utilisent des nœuds de calcul et des réseaux d'interconnexion à haut débit et faible latence conçus sur mesure pour la machine. A l'autre extrémité, l'approche NOW ("Network Of Workstations") vise à utiliser un réseau de stations de travail ou de PCs interconnectés par un réseau local rapide pour des applications coopératives. C'est une solution économique, mais le coût des communications à travers le réseau limite en pratique ce type de système à des applications parallèles "gros grain" construites sur un modèle de programmation de type "passage de message".

Enjeux industriels

L'architecture matérielle s'appuie presque exclusivement sur des composants standard: la plate-forme MPC utilise comme nœuds de calcul des cartes mères de PC, qui fournissent aujourd'hui le meilleur rapport performance/prix. Le système d'exploitation est une version légèrement modifiée de UNIX FreeBSD. L'élément original de l'architecture est le réseau d'interconnexion entre les processeurs: ce réseau utilise des liaisons série asynchrones, point à point à 1 Gbit/s. Cette technologie d'interconnexion HSL (High Speed Link) a été développée conjointement par la so-

ciété Bull et par l'Université Pierre et Marie Curie. Elle est peu coûteuse et très flexible: une liaison est physiquement réalisée par un simple câble coaxial (type Ethernet fin) dont la longueur peut atteindre cinq mètres. Cette technologie est aujourd'hui devenue un standard IEEE (IEEE1355).

La plate-forme matérielle est constituée d'un ensemble de PCs standard à chacun desquels on a ajouté une carte réseau FastHSL. Chaque carte FastHSL comporte un routeur de message dynamique. La fonction de routage est donc elle-même distribuée, puis-

ciété Bull et par l'Université Pierre et Marie Curie. Elle est peu coûteuse et très flexible: une liaison est physiquement réalisée par un simple câble coaxial (type Ethernet fin) dont la longueur peut atteindre cinq mètres. Cette technologie est aujourd'hui devenue un standard IEEE (IEEE1355).

La plate-forme matérielle est constituée d'un ensemble de PCs standard à chacun desquels on a ajouté une carte réseau FastHSL. Chaque carte FastHSL comporte un routeur de message dynamique. La fonction de routage est donc elle-même distribuée, puis-

qu'il n'y a pas de routeur centralisé, ce qui rend l'architecture facilement extensible, et permet de construire des réseaux de topologie quelconque. La latence matérielle maximale, pour un réseau de plusieurs centaines de processeurs est inférieure à 5 micro-secondes.

Les enjeux industriels sont importants : s'il est à peu près clair que les industriels européens ont perdu la guerre des microprocesseurs d'usage général, qui sont tous américains, la situation est plus ouverte pour ce qui concerne les machines parallèles à bas coût, de type "grappes de PCs". La technologie HSL, d'origi-

Enjeux scientifiques

Bien que différentes études d'architecture matérielle exploitant la technologie HSL soient en cours au sein du département ASIM, le projet décrit ici se limite à la plate-forme matérielle existante, utilisant la carte réseau fastHSL. Il s'agit fondamentalement de développer le logiciel de base et les différentes couches de communication permettant de rendre disponibles au niveau applicatif la faible latence et le haut débit du réseau d'interconnexion.

Protocoles de communication sécurisés

La primitive de communication fournie par la plate-forme MPC est l'écriture directe en mémoire distante. Cette primitive de communication est exploitée par le protocole DDSLR ("Direct Deposit State-Less Receiver"). Ce protocole est actuellement mis en œuvre par un ensemble de fonctions de communication logicielles implantées sous UNIX free-BSD. On vise la dé-

Modèle de programmation "à passage de messages"

Pour faciliter l'expérimentation au niveau applicatif, il faut fournir des interfaces de programmation "standard". Un premier objectif est de réaliser une implantation optimisée des environnements de programmation PVM et MPI sur la plate-forme MPC. PVM et MPI sont les standards de fait pour les applications

Modèle de programmation "à mémoire partagée"

La faible latence du réseau HSL rend envisageable la réalisation sur la plate-forme MPC d'un système de mémoire virtuelle partagée, reposant sur un modèle de cohérence relâchée ("release consistency"). Différentes approches sont possibles au niveau système,

Système d'exploitation

L'analogie entre la machine MPC et un système réparti reposant sur un réseau local à haut-débit va permettre de réaliser un système d'exploitation parallèle et réparti (basé en première approche sur Unix) multi-

ne européenne est en avance par rapport à des technologies concurrentes telles que MYRINET en termes d'intégration, de flexibilité et de rapport performance/coût. Le projet MPC vise évidemment à exploiter cet atout. La conception d'un environnement logiciel exploitant au mieux les caractéristiques de la plate-forme matérielle permettra de construire sur l'architecture MPC des serveurs spécialisés dans différents domaines d'applications: serveur de calcul pour des application de simulation ou de calcul scientifique, serveur de documents multi-média, serveur vidéo, etc.

Le but est donc d'analyser et de comparer différents mécanismes de communication et différentes approches "au niveau système" visant à utiliser au mieux les performances intrinsèques du réseau HSL et du mécanisme d'écriture directe en mémoire distante. On cherchera à évaluer au niveau applicatif les performances obtenues pour différents types d'applications parallèles ou distribuées. On espère que ces études permettront en retour de définir les évolutions ou améliorations possibles de la plate-forme matérielle.

finition d'une couche de protocoles sécurisés qui garantissent des communications sans perte même en cas de défaillances matérielles, en conservant les interfaces de programmation existantes. Cette étude est menée dans le cadre du thème ASIM sous la responsabilité d'A. Greiner.

distribuées visant un réseau de station de travail et s'appuyant sur un modèle de communication de type "passage de messages". Cette étude est menée dans le cadre du thème ASIM, en coopération avec le département Informatique de l'ENST (I. Demeure), sous la responsabilité d'A. Greiner.

selon qu'on envisage de conserver un système d'exploitation indépendant sur chaque nœud, ou d'avoir un seul système d'exploitation distribué. Cette étude sera menée dans le cadre du thème ASIM sous la responsabilité d'I. Scherson.

applications et multi-utilisateurs, bénéficiant des avantages de chacune des deux approches - parallèle: très haut-débit, faible latence, facilité d'administration - réparti: modulable, incrémentiel, hétérogène

(en puissance). À terme, il est envisageable d'interconnecter des réseaux de machines MPC ou des machines MPC avec d'autres types de machines (machines parallèles, réseaux de stations...) Cette

Application calcul formel

Le calcul formel est maintenant apte à traiter des problèmes venant du monde industriel dans le domaine des équations polynomiales (optimisation avec contraintes polynomiales). Toutefois ces calculs sont très coûteux à la fois en temps de calcul (15 jours de temps CPU avec le logiciel FGb) et surtout en mémoire (plusieurs Giga octets). Le passage vers une technologie massivement parallèle est donc une nécessité. Sur le plan théorique, les algorithmes ont été élaborés dans la perspective du calcul parallèle; des expériences concluantes ont été faites sur diverses machines parallèles à mémoire partagée avec un faible nombre

Application calcul scientifique

L'une des applications majeures du parallélisme est le calcul scientifique intensif. Il s'agit donc de porter des outils de base et d'évaluer leur performance sur la machine MPC. La librairie BLAS (Basic Linear Algebra System) est actuellement une librairie incontournable dans le domaine du calcul scientifique. L'objectif est donc d'implémenter une librairie BLAS parallèle adaptée à l'architecture de la machine MPC et en particulier à son réseau de communication rapide, ainsi que les outils de validation numérique déve-

étude s'appuie sur l'expérience acquise au LIP6 dans le cadre du projet Speed d'intégration cohérence/régulation de charge. Cette étude est menée dans le cadre du thème SRC sous la responsabilité de B. Folliot.

de nœuds; cependant l'analyse de la complexité de ces algorithmes est trop difficile pour extrapoler un très bon comportement si on augmente massivement le nombre de processeurs. L'architecture générale des logiciels Gb et FGb étant basée sur le mode client/serveur, les communications se font par passage de messages. De plus, le gestionnaire de la mémoire dynamique qui a été développé spécialement pour ces logiciels semble pouvoir utiliser directement et efficacement le mécanisme d'écriture distante. Cette étude est menée dans le cadre du thème CALFOR sous la responsabilité de J.C.Faugère.

loppés au sein du thème ANP (CADNA séquentiel et parallèle). Le traitement, la synthèse d'images et la modélisation de phénomènes physiques à base d'automates cellulaires nécessitent une grosse puissance de calcul. L'objectif est donc d'implanter des opérateurs parallèles de traitement d'images et un noyau parallèle de synthèse d'images reposant sur le lancer de rayon et un noyau parallèle d'automates cellulaires. Ces études sont menées dans le cadre du thème ANP sous la responsabilité de R. Alt.



BILAN PROJET MPC LIP6 1999

Greiner Alain

Alt René
Chesneaux Jean-Marie
Faugère Jean-Charles
Lamotte Jean-Luc
Wajsburt Franck

Professeur, UPMC (ASIM)
Professeur, UPMC (ANP)
Professeur, UPMC, (ANP)
CR CNRS, (CALFOR)
MC, UPMC, (ANP)
MC, UPMC, (ASIM)

Personnel temporaire

Fenyo Alexandre
Lecalvez Caroline

ATER, UPMC, ASIM
ATER, UPMC, (ANP)

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Silva Fabricio
Victor Marc (Faugère/Lazard, 94)

(ASIM)
(CALFOR)

RAPPEL DES OBJECTIFS DU PROJET MPC

Bilan au 15 novembre 1999,

L'objectif principal du projet est de mettre entre les mains de différentes équipes du LIP6 une plate-forme d'expérimentation pour la recherche sur la programmation parallèle au niveau applicatif. Cette plate-forme matérielle et logicielle doit être stable; elle doit être accessible à travers le réseau pour permettre la télé-exploitation, et elle doit fournir un environnement de programmation parallèle standard tel que PVM ou MPI. La plate-forme matérielle est constituée de PCs standard à chacun desquels on a ajouté

Application calcul formel

Le calcul formel est maintenant apte à traiter des problèmes venant du monde industriel dans le domaine des équations polynomiales (optimisation avec contraintes polynomiales). Toutefois ces calculs sont très coûteux à la fois en temps de calcul (15 jours de temps CPU avec le logiciel FGb) et surtout en mémoire (plusieurs Giga octets). Le passage vers une technologie massivement parallèle est donc une nécessité. Sur le plan théorique, les algorithmes ont été élaborés dans la perspective du calcul parallèle; des expériences concluantes ont été faites sur diverses machines parallèles à mémoire partagée avec un faible nombre

Application calcul scientifique

L'une des applications majeures du parallélisme est le calcul scientifique intensif. Il s'agit donc de porter des outils de base et d'évaluer leur performance sur la machine MPC. La librairie BLAS (Basic Linear Algebra System) est actuellement une librairie incontournable dans le domaine du calcul scientifique. L'objectif est donc d'implémenter une librairie BLAS parallèle adaptée à l'architecture de la machine MPC et en particulier à son réseau de communication rapide, ainsi que les outils de validation numérique déve-

lopés au sein du thème ANP (CADNA séquentiel et parallèle). Le traitement, la synthèse d'images et la modélisation de phénomènes physiques à base d'automates cellulaires nécessitent une grosse puissance de calcul. L'objectif est donc d'implémenter des opérateurs parallèles de traitement d'images et un noyau parallèle de synthèse d'images reposant sur le lancer de rayon et un noyau parallèle d'automates cellulaires. Ces études sont menées dans le cadre du thème ANP sous la responsabilité de J.M Chesneaux.

une carte réseau FastHSL, conçue au LIP6 et commercialisée par la société Tachys. Le système d'exploitation est une version légèrement modifiée de UNIX FreeBSD. Le développement de l'environnement logiciel PVM/MPC a été effectué durant la première année du projet. Le projet proposé ici vise donc exclusivement la réalisation d'une machine d'exploitation pour une expérimentation au niveau applicatif. Cette machine comportera huit nœuds de calcul bi-processeurs. Les applications visées sont de deux types:

de noeuds; cependant l'analyse de la complexité de ces algorithmes est trop difficile pour extrapoler un très bon comportement si on augmente massivement le nombre de processeurs. L'architecture générale des logiciels Gb et FGb étant basée sur le mode client/serveur, les communications se font par passage de messages. De plus, le gestionnaire de la mémoire dynamique qui a été développé spécialement pour ces logiciels semble pouvoir utiliser directement et efficacement le mécanisme d'écriture distante. Cette étude est menée dans le cadre du thème CALFOR sous la responsabilité de J.C.Faugère.

Rappel des besoins du projets

- Le demande de financement pour 99 consiste a étendre à huit nœuds la plate-forme matérielle, qui comportait fin 98 quatre nœuds de calcul mono-processeurs. Les cartes mères choisies pour la plate-forme MPC LIP6 supportent deux processeurs. Nous souhaitons donc disposer d'une machine à 16 processeurs (8 nœuds bi-processeurs), ce qui est en effet nécessaire pour pouvoir effectuer des mesures de performances significatives. Le coût d'une telle extension est de 80 kF.
- La principale demande concerne le recrutement d'un ingénieur de développement et de maintenance pour le projet MPC, comme cela a été demandé par la direction du LIP6 en 98. La réalisation, l'installation, puis l'exploitation d'une machine parallèle nécessite un gros travail de développement - tant matériel que logiciel - qui ne peut pas être assuré par des thésards. Ceci concerne en particulier tous les utilitaires permettant de faciliter la télé-exploitation de la machine MPC à travers le réseau.

Bilan de l'année 1999

Les objectifs visés par le projet n'ont pu être atteints en raison de l'indisponibilité de la plate-forme d'expérimentation. Cette indisponibilité est liée à des dif-

Difficultés matérielles

L'extension de la plate-forme matérielle a été fortement retardée par un vice de fabrication dans les cartes FastHSL fournies par la société Tachys. Ce défaut mécanique (profondeur insuffisante du connecteur PCI de la carte) introduisait une panne aléatoire, non reproductible, très difficile à diagnostiquer dans un projet d'intégration verticale d'un grand nombre de composants à la fois logiciels et matériels (composants VLSI / carte réseau / logiciel système bas-niveau / bibliothèques logicielles de communication). La difficulté du diagnostic a été aggravée par l'absence d'un ingénieur disposant du temps nécessaire pour analyser le problème. L'origine matérielle du problème n'a été identifiée que très tardivement, car la panne n'apparaissait pas sur d'autres machines installées dans d'autres universités. Pire, elle était non reproductible, car elle dépendait des contraintes mé-

Difficultés logicielles

Les bibliothèques de fonctions de communications PVM et MPI sont les standard utilisés par les concepteurs d'applications parallèles. F. Silva et K. Mana ont conçu et implanté en 1997 et 1998, une première version de la bibliothèque de programmation PVM pour la machine MPC, dans le cadre d'un stage de DEA. Ce logiciel avait été testé sur des exemples de petite taille, mais il n'avait pu être réellement validé sur des applications de taille significative, faute - ici encore - d'un ingénieur disposant du temps nécessaire. La première tentative d'exploitation de PVM/MPC sur une application de grande taille, effectuée sur la machine MPC de l'INT par P. Lallevee et O. Gluck a permis de mettre en évidence un bug majeur dans PVM/MPC se traduisant par des pertes de données lorsque la taille des messages excède 4 kilo-octets. Ce

bug rend la machine inexploitable au niveau applicatif. En l'absence d'un ingénieur disposant du temps nécessaire pour déverminer le code PVM, il a été décidé - après discussion avec les responsables des équipes CALFOR et ANP de basculer vers l'environnement de programmation parallèle MPI, travail qui a démarré en octobre 1999.

caniques exercées sur la carte etc. Ce n'est qu'en septembre 1999 que le diagnostic a pu être établi par un travail conjoint de A. Fenyo, J.L.Desbarbieux, A. Zerrouki, F. Wajsburt et J.J.Lecler, conduisant au lancement d'une nouvelle fabrication de cartes par la société Tachys.

Il faut cependant mentionner un point positif: la seconde version du circuit VLSI équipant la carte réseau (circuit PCI-DDC) est revenue de fabrication en juillet 1999. Cette seconde version corrigeait certains bugs du circuit PCI-DDC qui entraînaient un fonctionnement en mode dégradé, introduisant une limitation d'un facteur 5 sur le débit maximal. Cette seconde version du circuit PCI-DDC a pu être monté sur deux cartes prototypes, et les mesures de performances sont conformes aux valeurs attendues.

Malgré cette difficulté bloquante, un gestionnaire de tâches (Job management System) a été développé par O. Gluck dans le cadre de son stage ingénieur INT. Le JMS vise la télé-exploitation de la machine MPC à travers le réseau: Il permet de soumettre des jobs à travers n'importe quel browser WEB, et gère une file d'exécution des jobs en mode batch, suivant un système de priorités définies par l'administrateur de la machine.

Conclusion

L'absence d'un ingénieur travaillant à temps plein sur l'intégration de la machine MPC a considérablement retardé le diagnostic d'un vice de fabrication des cartes réseau FastHSL. Il est impossible, et de toutes façons anormal, de demander à des thésards de consacrer des semaines - ou des mois - à chasser un panne aléatoire. Cette panne matérielle a entraîné un retard d'environ six mois dans l'intégration de la machine MPC LIP6.

Par ailleurs, un bug majeur a été identifié dans l'environnement de programmation PVM. Ce bug s'est

révélé bloquant, en raison du départ du stagiaire qui avait développé ce logiciel, et il a été décidé de basculer vers MPI, en coopération avec l'équipe de B. Tourancheau à Lyon.

Pour les deux raisons ci-dessus, les expérimentations prévues au niveau applicatif n'ont pu être réalisées, c'est pourquoi nous demandons que le projet soit reconduit en 2000, avec les mêmes objectifs scientifiques, sans financement complémentaire, mais en insistant sur la nécessité du recrutement d'un ingénieur, comme cela a été demandé par le LIP6.



CAO DE CIRCUITS ET SYSTÈMES INTÉGRÉS

Louërat Marie-Minerve

Amara Amara
 Augé Ivan
 Bawa Rajesh
 Bazargan-Sabet Pirouz
 Derieux Anne
 Greiner Alain
 Marzouki Meryem
 Mehrez Habib
 Minoux Michel
 Pétrot Frédéric

Chargé de recherche, CNRS
 Maître de Conférences, Isep
 Maître de Conférences, IIE/CNAM
 Maître de Conférences, Isep
 Maître de Conférences, UPMC
 Maître de Conférences, UPMC
 Professeur, UPMC
 Chargé de recherche, CNRS
 Maître de Conférences, UPMC
 Professeur, UPMC
 Maître de Conférences, UPMC

ITA-IATOS

Descamps Gilles-Eric

Ingénieur d'études, UPMC

Personnel temporaire

Dioury Karim
 Houelle Alain
 Sirol Olivier
 Vaucher Nicolas

Post Doc ASIM
 Post Doc ASIM
 Ingénieur sous contrat
 Post Doc ASIM

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Aberbour Mourad
 Aboushady Hassan
 Avot Grégoire
 Bajot Yann
 Benabdenbi Mounir
 BukovjanPeter
 Caron Arnaud
 Dessouky Mohamed
 Ducerf-Bourbon Laurent
 Dumonteix Yannick
 Dunoyer Julien

Guerrier Pierre
 Hommais Denis
 Iponse Fabrice
 Jacomme Ludovic
 Khouas Abdelhakim
 Lester Anthony
 Lintz Matthieu
 MaroufiWalid
 Franck Michaux
 Rahim Fahim
 Vuillemin Laurent

DESCRIPTION DU PROJET CAO DE CIRCUITS ET SYSTÈMES INTÉGRÉS

Rappel des objectifs du projet

Cette action est structurée autour de la chaîne de CAO Alliance. Les objectifs sur un an étaient:

- aide à la dissémination de la chaîne de CAO Alliance à travers 2 actions essentielles:
 - l'intégration d'une nouvelle version de la chaîne Alliance visant les technologies sub-microniques,
 - la promotion et la distribution d'Alliance à travers le Web, ce qui nécessitait la réorganisation des sites FTP et WWW d'ASIM,
- soutien aux recherches sur les outils et méthodes de conception liées aux technologies sub-microni-

ques. Alliance constitue en effet une plate-forme de développement irremplaçable pour les recherches en CAO. Elle est constituée d'une trentaine d'outils logiciels qui peuvent être utilisés indépendamment. Cependant tous ces outils partagent une infrastructure commune constituée par un ensemble de structures de données et de fonctions d'accès qui garantissent l'inter-opérabilité entre les différents outils de la chaîne. Elle totalise actuellement un peu moins d'un million de lignes de C.

Travail effectué au cours du projet

Dissémination de l'existant

Au cours de l'année 1999, Olivier Sirol, un ingénieur sous contrat, rémunéré à temps plein par le pôle ASIM a :

- intégré et maintenu, en collaboration avec les concepteurs, une nouvelle version d'Alliance : version 4.0
- diffusé cette nouvelle version d'Alliance par le Web (novembre 1999). En 1999 environ 1500 personnes avaient téléchargé la dernière version disponible d'Alliance (3.2.b).
- répondu aux questions des utilisateurs. Entre 5 et 10 messages, portant sur l'installation ou l'utilisation d'Alliance, arrivent chaque semaine.
- effectué la promotion d'Alliance sur le Web en réorganisant complètement les sites FTP et WWW

d'ASIM, en particulier toute la documentation Alliance est maintenant disponible sur le site ASIM, les mailing-lists y sont archivées et un moteur de recherche a été implémenté. Environ 250 personnes qui regardent en moyenne 20 pages visitent le site Alliance chaque semaine.

- effectué les démarches nécessaires pour qu'Alliance soit disponible sur sunsite.unc.edu (University of North Carolina) et ses très nombreux miroirs. Alliance est maintenant disponible sur les CD d'installation de Linux.
- enregistré Alliance auprès des moteurs de recherche internet les plus connus : Altavista, exite, lycos.

Résultats de recherches liées aux nouvelles technologies sub-microniques

Contexte de la recherche

Les technologies actuelles permettent de réaliser des circuits contenant plusieurs millions de transistors et comportant sur la même puce des parties analogiques et des parties numériques. Les recherches portent sur les outils et méthodes de conception des systèmes intégrés. Un système intégré est un circuit contenant plusieurs processeurs ou co-processeurs communiquant à travers une mémoire partagée. Les enjeux sont importants car ce type de composants est utilisé dans les applications électroniques grand public, télévision numérique ou automobile pour lesquels l'industrie européenne est en bonne position. Ce type d'application comporte des composantes logicielles qui s'exécutent sur le ou les processeurs embarqués et des composantes matérielles représentées par les co-processeurs spécialisés. Les problèmes posés par ces circuits portent sur les techniques de partitionnement matériel/logiciel, la vérification des parties numériques dont la taille ne cesse de croître et la conception des parties analogiques qui sont les plus consommatrices en temps de conception et de test. C'est pourquoi nous avons mené les recherches dans 3 directions :

Synthèse, simulation et test des systèmes intégrés

Les recherches menées ont abouti à découper la *synthèse d'architecture* en deux grandes phases :

- un ordonnancement à gros grain qui consiste à trouver un compromis entre le nombre de ressources physiques utilisées (coût du circuit) et le parallélisme d'exécution de la description séquentielle,
- un ordonnancement à grain fin sous contrainte qui consiste à raffiner les résultats de l'ordonnancement à gros grain en prenant en compte de manière précise les caractéristiques électriques des opérateurs et le temps de cycle imposé par le concepteur.

Notre travail a porté sur les méthodes d'ordonnement à grain fin sous contrainte à travers le développement de l'outil UGH.

Par ailleurs, dans le cadre de la recherche en co-design, il est nécessaire de simuler les systèmes incluant du matériel et du logiciel. Des outils exploitant le fait que la plupart des composantes d'un système sont standards, c'est à dire disponibles dans des bibliothèques, sont nécessaires. Ces outils peuvent faire des hypothèses fortes sur le comportement interne de chacun des modèles simulés et ainsi obtenir des performances supérieures d'au moins deux ordres de grandeur sur les simulateurs de matériel classiques. Ces simulateurs s'appuient sur des modèles décrits en C, soit directement par un concepteur soit générés à partir d'un langage de description de matériel.

Ainsi nous avons développé la plate-forme de simulation de systèmes intégrés à différents niveaux de précision (outil CASS). Pour exploiter les caractéristiques des composants et ainsi accélérer les simulations, nous avons construit une bibliothèque de composants d'interfaces génériques se connectant sur le bus standard PI-Bus ainsi qu'une bibliothèque de circuits optimisés pour le traitement du signal et l'arithmétique en virgule flottante et fixe.

Enfin, une fois le système fabriqué, il est nécessaire de le tester, pour valider sa fabrication, mais aussi dans le cadre de tests périodiques au cours de sa vie utile. Pour effectuer ce test dans le cas de systèmes complexes, il est nécessaire de prévoir dès la phase de conception des facilités de test. C'est pourquoi nous avons défini et développé IDAT, un outil de synthèse de co-processeurs testables. IDAT permet d'effectuer une analyse de la testabilité de tels co-processeurs (synthétisés par exemple en utilisant l'outil UGH), et d'implémenter des structures de testabilité au niveau des co-processeurs. Le choix de telles structures est le

résultat du meilleur compromis coût/qualité du test, dans le respect de contraintes fournies par le concepteur. IDAT fournit une architecture testable du co-processeur décrite en langage VHDL. La disponibilité de tels co-processeurs testables, une fois inclus dans le système intégré, permet de faciliter le test global du système.

Lorsque le système intégré est le résultat de l'intégration de composants virtuels ('IP cores') pouvant provenir de sources différentes, et présentant des caractéristiques de testabilité différentes, il faut être à même d'acheminer les données de test jusqu'à ces composants virtuels à partir des entrées/sorties du système. De plus, ce mécanisme d'accès pour le test doit être le plus standard possible, et donc indépendant des composants. Pour ce faire, nous avons défini une architecture à base de bus de test pour le système intégré. Cette architecture est compatible avec le standard IEEE P1500 en cours de finalisation, reconfigurable selon la session de test, modulaire, et permet de minimiser le coût en surface additionnelle et en temps d'acheminement des données de test à travers le système. Le développement de générateurs de bus de test conformes à cette définition constitue un début d'implémentation de l'architecture proposée.

Vérification

Si l'augmentation du nombre de transistors dans les VLSI a ouvert de nouvelles perspectives aux concepteurs de systèmes, elle pose deux types de problèmes de nature distincte aux outils de vérification :

D'une part, la plupart des outils de vérification requièrent de travailler sur une représentation "à plat" des circuits. De ce fait, avec l'augmentation exponentielle du nombre de transistors, ces outils atteignent leurs limites du point de vue du volume de données à traiter.

D'autre part, les nouvelles technologies fortement sub-microniques changent les rapports entre les tailles des composants élémentaires et font ainsi surgir des problèmes qui étaient considérés comme négligeables jusqu'à ce jour tels que la résistance intrinsèque des fils d'interconnexion.

C'est pourquoi nous avons développé les outils de vérification dans deux axes :

Le premier consiste à utiliser une approche hiérarchique et incrémentale s'appuyant sur des méthodes formelles (par opposition aux techniques de simula-

tion) pour essayer de contenir le volume de données. Cet axe concerne :

- l'abstraction fonctionnelle: retrouver la fonctionnalité d'un circuit à partir du dessin des masques,
- la preuve formelle entre plusieurs descriptions: établir l'équivalence fonctionnelle entre le circuit réalisé et ses spécifications initiales,
- l'analyse des performances temporelles: stabilité du circuit en fonction de la vitesse d'horloge indépendamment des stimuli.

Le second comprend le développement et l'intégration dans Alliance de nouveaux outils qui tentent de répondre aux besoins de vérification des circuits actuels :

- l'évaluation de la consommation par une approche probabiliste indépendante des stimuli,
- la prise en compte de la résistance des fils d'interconnexion due à l'allongement des fils de routage dans l'analyse statique des performances temporelles,
- la prise en compte des problèmes dus aux bruits de diaphonie qui peuvent compromettre le fonctionnement des circuits.

Outils et méthodes pour la conception de circuits mixte numériques-analogiques

Le développement de bibliothèques de cellules ou de macro-cellules indépendantes du fabricant de circuit et des procédés de fabrication est l'un des problèmes clés de la conception de systèmes intégrés qui est mal résolu par les chaînes de CAO commerciales. Les technologies actuelles permettent d'intégrer sur le même circuit des composants analogiques et numériques.

Alliance a proposé une méthode de dessin symbolique sur grille fixe pour les circuits digitaux qui assure la portabilité technologique, avec des performances voisines de celles obtenues par une approche optimisée.

Nous avons étendu cette approche aux circuits analogiques. Nous avons commencé à définir un langage original CAIRO qui, en manipulant des composants élémentaires déformables permet de générer les masques de fabrication.

Nous avons également proposé des méthodes d'optimisation pour la génération des vecteurs de test des parties analogiques.

Visibilité du Projet

Importance pour le LIP6

Aujourd'hui Alliance est utilisée dans plus de 250 universités. C'est l'image du LIP6, dans sa totalité, qui est promue à travers la diffusion d'Alliance.

Il est à noter qu'Alliance est distribuée sous licence GPL, c'est à dire que les sources sont diffusées. Alliance fait donc partie des logiciels libres. Il est impor-

tant que le LIP6 affiche une telle politique, largement soutenue actuellement en France, comme en témoigne l'accord-cadre signé le 29 octobre 1998 entre le Ministère de l'Education Nationale et l'AFUL (Association Francophone des Utilisateurs de Linux et des logiciels libres). Par ailleurs, nous avons été contactés

par le CNET dans le cadre du projet CAD-net dont l'objectif est de construire une plate-forme de diffusion de logiciels et outils de CAO de circuits et systèmes basée sur des réseaux à haut débit. Il faut noter que la distribution gratuite d'Alliance n'est pas con-

Livraisons Alliance

Une nouvelle version d'Alliance (4.0) est prévue pour le mois de novembre 1999. Elle sera disponible sur les systèmes d'exploitation: Linux sous RedHat 6, Sun OS (4.1.4), Solaris (2.5), FreeBSD, HP, Windows NT4/95/98. Elle intègre plusieurs nouvelles fonctionnalités:

- la possibilité d'effectuer une simulation logico-temporelle (nouvelle version de l'outil ASIMUT) et de visualiser les chronogrammes (XPAT)
- une nouvelle bibliothèque de cellules numériques standard: SXLIB adaptées au routage au-dessus des cellules. Les technologies sub-microniques

Résultats:



Figure 1: connexions mensuelles (250 personnes par semaine)

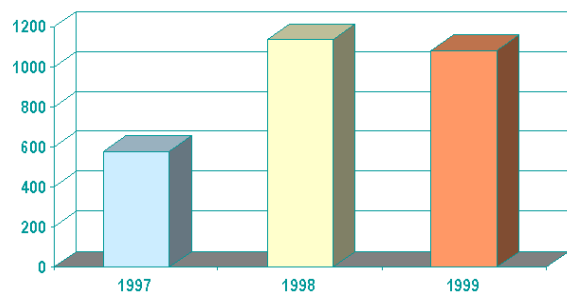


Figure 2: 100 téléchargements par mois

Participations à des Colloques et Publications

Mohamed Dessouky et Mourad Aberbour ont fait des démonstrations de divers aspects du logiciel Alliance au cours de la conférence internationale DATE'99 (Design, Automation and Test in Europe) dans le cadre de l'University Booth (CAIRO: un langage pour le dessin des masques de circuits mixtes analogiques-numériques, et CADAL: l'utilisation des bibliothèques de cellules portables d'Alliance dans l'environnement de CAO commercial Cadence).

tradictoire avec une politique volontariste de valorisation commerciale, comme en témoigne la création des entreprises AVERTEC et AED qui commercialisent des outils CAO issus du LIP6.

fournissant en effet 6 niveaux de métal (au lieu de 2 pour les technologies microniques), les stratégies de routage et les interfaces des cellules doivent évoluer pour pouvoir profiter de cette amélioration.

- une interface graphique pour le lancement des différents outils d'Alliance (ALGUE)
- la prise en compte des résistances d'interconnexion dans l'extracteur LYNX
- la prise en compte des résistances d'interconnexion du niveau transistor au niveau hiérarchique le plus élevé dans l'analyse temporelle statique (HiTas)
- un visualisateur de netlist (XSCH)

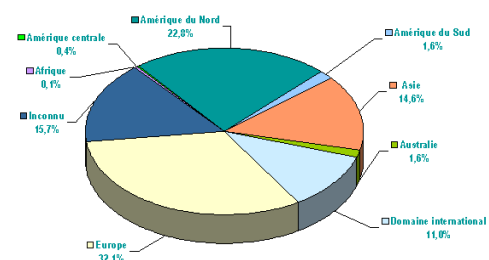


Figure 3: Répartition par continent

ASIM a été fortement impliqué dans l'organisation du colloque "CAO de circuits intégrés et systèmes", qui est l'occasion d'animer la communauté française travaillant sur ce thème dans le cadre du GDR 732. Tous les doctorants du LIP6/ASIM travaillant en CAO de circuits et systèmes ont présenté leurs travaux lors de ce colloque (Fuveau, mai 1999).

Présentation aux Industriels

Les recherches en CAO de circuit et systèmes sont soutenues par plusieurs projets européens qui ont offert plusieurs occasions de démonstrations aux industriels:

- projet Esprit COSY (Codesign Simulation and Synthesis)
- projet MEDEA 403 (System Level Methods and Tools)

Valorisation

Outils "System Level Design"

Les recherches en synthèse et simulation de systèmes intégrés: outils CASS (simulation) et UGH (synthèse) qui sont des résultats des contrats européens MEDEA 403 et COSY vont être distribués sous licence GPL. Les modalités de diffusion sont en cours de discussion avec la DRI.

Prix Seymour Cray

La chaîne Alliance avait obtenu en 1994 le prix Seymour Cray et avait été finaliste en 1996 pour le "European Academic Software Award".

En 1999 le prix Seymour Cray "jeunes chercheurs" 98 a été attribué à Karim Dioury et Anthony Lester pour leurs travaux sur les outils et méthodes de vérification des circuits intégrés CMOS submicroniques. K. Dioury et A. Lester sont également les fondateurs de la société AVERTEC, créée en 1998 avec l'aide de la Direction des Relations Industrielles de l'université pour commercialiser ces résultats.

A. Lester a principalement travaillé sur une méthode d'abstraction fonctionnelle permettant d'obtenir une description comportementale à partir du schéma en transistors (YAGLE). Karim Dioury a développé une méthode de vérification temporelle statique hiérarchique (HITAS).

Conclusion et Perspectives

L'intégration des recherches en CAO de circuits et systèmes intégrés dans le cadre cohérent de la chaîne Alliance bénéficie à tous les chercheurs permanents et thésards d'ASIM. Alliance est utilisée en interne par les chercheurs du laboratoire comme outil pour concevoir des circuits complexes ou comme plate-forme pour développer rapidement de nouveaux outils CAO expérimentaux. C'est un outil de valorisation de la recherche qui contribue à la visibilité internationale du LIP6 et de l'Université Pierre et Marie Curie. C'est cependant la première fois que la diffusion d'Alliance bénéficie d'un soutien institutionnel explicite.

Publications

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété importante

- projet MEDEA 406 (Advanced Tools for Deep-Submicron Designs) ainsi que par des partenariats directs:
- contrat avec le CEA (circuits pour le traitement du signal et de l'image)
- contrat avec le CNET (évaluation de la consommation)
- contrat avec ST (évaluation de la diaphonie)

K. Dioury et A. Lester ont bénéficié de la plate-forme de développement constituée par la chaîne de CAO-VLSI Alliance, qui leur a fourni un environnement d'expérimentation "en grandeur réelle". La coopération étroite avec BULL, dans le cadre de plusieurs projets européens a été un autre facteur de succès: les équipes de développement de BULL utilisent depuis plusieurs années les outils prototype d'abstraction fonctionnelle et de vérification temporelle développés au LIP6, et ont contribué à orienter la recherche vers les "vrais problèmes". BULL est aujourd'hui le premier client de la société AVERTEC, et les deux outils logiciels qui mettent en œuvre les méthodes proposées par A. Lester et K. Dioury ont été utilisés avec succès par BULL pour vérifier un circuit de 26 millions de transistors.

Cette distinction montre que, dans un domaine de recherche très appliquée, il est important de pousser la recherche jusqu'au prototype et à l'expérimentation en grandeur réelle. Le fait que les deux lauréats soient les fondateurs de la société AVERTEC prouve également que qualité scientifique et valorisation industrielle ne sont pas contradictoires.

Le travail en CAO d'ASIM va se poursuivre dans toutes les directions citées ici. Il va être fortement soutenu par la création de l'équipe de recherche conjointe (ERC) avec ST (contrat en cours de signature). ASIM est l'une des 2 équipes françaises travaillant dans le domaine à avoir été contactées par ST pour former une ERC.

Un projet de groupe IEEE autour de la diffusion de logiciel libre en CAO-VLSI est lancé sur l'initiative de Meryem Marzouki.

- (1) P. Bukovjan, M. Marzouki, W. Maroufi: "Design for Testability Reuse in Synthesis for Testability", presented at XII Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI'99), Natal (RN) Brazil, 1999.
- (2) P. Bukovjan, M. Marzouki, W. Maroufi: "Testability Analysis and Cost/Quality Trade-off in Synthesis for Testability", presented at 4th IEEE European Test Workshop (ETW'99), Constance Germany, 1999.
- (3) M. Dessouky, A. Greiner, M.-M. Rosset-Louërat: "CAIRO: A hierarchical layout language for analog circuits", presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999.
- (4) M. Dessouky, J. Porte, M.-M. Rosset-Louërat: "Synthèse de circuits faible tension CMOS analogiques", presented at 2ème Journées Francophones d'études Faible Tension Faible Consommation (FTFC'99), Paris France, 1999.
- (5) K. Dioury, A. Greiner, M.-M. Rosset-Louërat: "Hierarchical Static Timing Analysis for CMOS ULSI Circuits", presented at International Workshop on Timing Issues in the Specification and Synthesis of Digital Systems (TAU'99), Monterey CA USA, 1999.
- (6) F. Dromard, Y. Body, M.-M. Paget, A. Greiner, P. Bazargan Sabet, F. Pétrot: "Interactive Learning of Processor Architecture", presented at 5th International Conference on Computer Aided Engineering Education (CAEE'99), Sofia Bulgaria, 1999.
- (7) L. Jacomme, F. Pétrot, R. K. Bawa: "Formal Analysis of Single Wait VHDL processes for Semantic Based Synthesis", presented at 12th IEEE International Conference on VLSI Design, Goa India, 1999.
- (8) A. Khouas, M. Dessouky, A. Derieux: "Optimized Statistical Analog Fault Simulation", presented at IEEE Asian Test Symposium (ATS'99), Shanghai China, 1999.
- (9) A. Khouas, A. Derieux: "Speed-up of High Accurate Analog Test Stimulus Optimization", presented at International Test Conference (ITC), Atlantic City NJ USA, 1999.
- (10) A. Khouas, A. Derieux: "Optimization of Production Tests for Analog Circuits under Parameter Variations", presented at Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES'99), Krakow Poland, 1999.
- (11) A. Khouas, A. Derieux: "Methodology for Fast and Accurate Analog Production Test Optimization", presented at 5th IEEE International Mixed Signal Testing Workshop (IMSTW), Whistler British Columbia Canada, 1999.

Publications dans des actes de congrès ou des ouvrages de synthèse, notoriété courante

- (1) G. Avot, M.-M. Rosset-Louërat: "Influence et prise en compte des capacités de diaphonies dans la conception d'outils d'analyse temporelle pour les technologies profondément submicroniques.", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999.
- (2) M. Dessouky, J. Porte, M.-M. Rosset-Louërat: "TANIS: Un outil pour la synthèse de circuits CMOS analogiques", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, Aix-en-Provence, 1999.
- (3) J. Dunoyer, L. Vuillemin, P. Bazargan Sabet: "Méthodes Probabilistes pour l'Évaluation de la Consommation des Circuits Intégrés VLSI", presented at 1er Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes, Grenoble France, 1997.
- (4) D. Hommais, F. Pétrot: "Une gestion efficace des boucles combinatoires pour la simulation au cycle près de systèmes matériel--logiciel", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (5) F. Iponse, P. Bazargan Sabet: "CRISE: Un Outil d'Évaluation des Risques dus à la Diaphonie dans les Circuits Intégrés fortement Sub-Microniques", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (6) A. Khouas, A. Derieux: "Optimisation des Tests de Production pour les Circuits Analogiques avec prise en compte des tolérances", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.
- (7) L. Vuillemin, P. Bazargan Sabet: "Simulation logico temporelle de circuits VLSI à l'aide d'un réseau de FPGA", presented at Colloque CAO de Circuits Intégrés et Systèmes GDR 732, France, 1999.

Thèses

- (1) M. Aberbour: "Architecture d'un système hétérogène pour la reconnaissance de formes", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29 septembre 1999, encadrée par H. Mehrez.
- (2) J. Dunoyer: "Modèles et méthodes probabilistes pour l'évaluation de la consommation des circuits intégrés VLSI", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 09/07/1999, encadrée par P. Bazargan Sabet.
- (3) L. Jacomme: "Analyse sémantique de descriptions VHDL synchrones en vue de la synthèse", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 29/10/1999, encadrée par A. Greiner.
- (4) W. Maroufi: "Aide à la conception de systèmes testables", Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 02/07/1999, encadrée par M. Marzouki.





MICROBES

Drogoul Alexis

Meyer Jean-Arcady
Zucker Jean-Daniel

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)

Directeur de recherche, CNRS

Maître de Conférences, UPMC (APA)

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES 3

Résumé

Ce projet prend la suite des projets MICROB (LAFORIA/LRP, 93-96) et MICROB-2 (Projet LIP6, 97-98) en proposant un ensemble de travaux de recherche et de démonstration centrés autour de la notion de robotique collective. A la différence de ses deux ancêtres, cependant, il ne sera pas spécifiquement dédié à la réalisation d'une tâche, par exemple le jeu de football, mais se propose d'explorer un ensemble de techniques permettant d'immerger une population de robots dans un environnement qui ne lui est pas spécifiquement adapté, en l'occurrence les locaux du pôle IA du LIP6. Il s'agit d'un projet à long terme, dont l'année 1999 constituera la première année d'installation (et non d'exploitation), et qui devrait se prolonger au moins jusqu'en 2004. Le principe de base est de se démarquer des recherches actuelles sur les colonies de robots, qui ont tendance, soit à privilégier l'aspect fonctionnel au détriment de la généralité de l'architecture, soit à adapter l'environnement aux

robots. Nous faisons l'hypothèse que le principal obstacle au déploiement de colonies de robots "utilitaires" dans les collectivités humaines ne réside pas tant dans la difficulté des tâches envisagées (nettoyage, surveillance, etc.) que dans leur incapacité à adapter leur fonctionnement collectif aux rythmes et contraintes de ces collectivités : horaires, privauté, déplacements, dynamique, etc. MICROBES a pour ambition d'explorer ce sujet de façon concrète, en installant entre cinq et dix robots en permanence dans les locaux du laboratoire, et en expérimentant les modèles de comportements, de représentation et d'exploitation des connaissances, d'apprentissage, et d'organisation qui leur permettront de fonctionner de manière autonome tout en cohabitant avec son personnel. Cette étape franchie, le système sera mis à la disposition de l'ensemble des chercheurs du LIP6 pour programmer d'éventuelles applications pratiques.

Microb, Microb-2

Ces deux acronymes désignent les projets menés depuis 1993 par l'équipe MIRIAD (Thème OASIS) en partenariat avec le Laboratoire Robotique de Paris (Dominique Duhaut), avec pour ambition de montrer physiquement (par une série d'expérimentations) qu'un système programmable, en l'occurrence un ensemble de robots, pouvait démontrer un comportement "intelligent" sans posséder la solution générale de la tâche qu'il doit résoudre. Plus précisément, nous nous sommes intéressés à l'apparition de phénomènes collectifs d'auto-organisation dans des micro-sociétés de robots, dont chaque membre était doté de capacités minimales, que ce soit en termes de communication, d'interaction ou de coopération.

Microb et Microb-2 ont été organisés autour d'un but applicatif précis : construire des équipes de robots capables de jouer au football contre une autre équipe robotisée. Après avoir procédé à des expérimentations purement internes, nous avons participé aux compétitions RoboCup et MiroSot, en 1996, 1997 et 1998, travail qui a mobilisé jusqu'à 40 étudiants de six formations différentes (DEA IARFA, DESS GLA, DESS IA, DEA Vision, DEA Robotique, Maîtrise Informatique) en simultané.

Les deux projets ont permis de développer au total 5 équipes différentes : une de simulation, deux dans la catégorie des robots de 15 cm, une dans celle de 45 cm et enfin une équipe de robots à pattes (construits par SONY). Ils nous ont permis d'acquérir une compétence réelle dans la maîtrise de ce type de systèmes et dans la programmation distribuée de comportements collectifs complexes. Enfin, ils ont offert aux deux laboratoires une vitrine excellente, dont l'intérêt a culminé lors de la compétition RoboCup'98 (que nous avons également mise sur pied), organisée en parallèle de la "vraie" Coupe du Monde de football à la Cité des Sciences, et qui a attiré, en plus des 400 compétiteurs (et des 600 participants à ICMAS), environ 2000 journalistes et un public estimé à 20000 personnes. Ce travail de conception d'équipe de robots va bien entendu se poursuivre l'année prochaine afin de participer à RoboCup'99 (à Stockholm), en présentant une équipe de simulation, une équipe de 15 cm (en partenariat avec l'IFITEP) et une équipe de robots à pattes. L'expérience que nous avons maintenant accumulé devrait nous permettre de concevoir ces équipes sans devoir tout redéfinir.

Mais, d'une certaine façon, la spécialisation extrême de l'environnement dans lequel sont plongés les robots, ainsi que celle des comportements qui leur sont nécessaires pour jouer, ne permettent pas réellement, dans ce type d'applications, d'aborder la problématique de la robotique collective de façon générique. Quand bien même le jeu de football est une excellente métaphore pour aborder ce type de sys-

Contexte Scientifique

La réalisation collective d'une tâche (nettoyage, surveillance, etc.) dans un environnement inconnu par un ensemble de robots fait partie des applications parmi les plus populaires en Vie Artificielle et en Intelligence Artificielle Distribuée, et il ne se passe pas une conférence sans qu'un nouveau modèle ne soit présenté. Historiquement, le premier article d'importance a été écrit par L. Steels en 1989, comme illustration des systèmes à fonctionnalité émergente. En même temps, l'équipe de J.-L. Deneubourg avait mis en avant l'aspect "résolution distribuée de problèmes" que présentait le fourrage collectif effectué par les fourmis. Ces deux contributions, coïncidant avec la publication des premiers articles de R. Brooks ou de R. Arkin, ont façonné une problématique de recherche originale, dont le trait principal est l'utilisation de "robots-fourmis" dans le cadre de l'exploitation collective d'un environnement. Ce domaine de recherche a engendré un grand nombre de travaux, tous fondés sur deux hypothèses: (1) une référence explicite aux modèles qui utilisent l'environnement comme mémoire ou guide; (2) une utilisation des robots les plus simples et du mode de coopération le plus décentralisé possible. Les systèmes conçus de cette façon, parmi lesquels il convient de citer les travaux de M. Mataric, parmi les plus intéressants pour la "vraie" robotique, présentent un ensemble de propriétés précieuses, analogues à celles des colonies d'insectes sociaux:

- **Robustesse:** la redondance des robots, ainsi que leur interchangeabilité assurent une grande tolérance aux pannes et un bon garde-fou contre les éventuels dysfonctionnements individuels.
- **Adaptabilité:** dans la mesure où aucun contrôle central n'est nécessaire, l'adaptabilité du système global est le fait d'interactions probabilistes entre individus. Ce mode de fonctionnement permet à la population de s'adapter globalement à des configurations différentes grâce à la combinaison des adaptations locales effectuées en parallèle.
- **Réactivité:** la perception étant distribuée, c'est la réaction de chacun des individus concernés qui va

Finalité de MICRobES

Dans ce contexte, le projet MICRObES propose les étapes suivantes:

tèmes, il n'en reste pas moins très réducteur sur le plan comportemental. Si, demain, nous voulons être capables de déployer ces systèmes dans des environnements complexes et différents, il nous faut dès aujourd'hui leur permettre de s'adapter, aussi bien au niveau matériel que comportemental, aux contraintes de ces environnements. C'est le sens du projet ambitieux que nous proposons dans ce document.

conditionner la réactivité globale de la population. Il lui sera d'autant plus facile de réagir rapidement qu'aucune représentation de l'environnement et de son état n'est maintenue de façon centrale.

- **Simplicité:** on peut concevoir un système collectif au fonctionnement complexe à partir d'individus très simples, donc relativement bon marché dans le cas des robots. Cet argument économique explique en partie le succès, au moins médiatique, de ce type d'approche.

Evidemment, il n'est pas toujours évident de construire des colonies de robots, et la plupart des problèmes d'implémentation proviennent des besoins en communication ou interactions qui s'avèrent nécessaires au fonctionnement de la colonie. Beaucoup sont d'emblée résolus (comme dans le système ANT du MIT) si l'on dispose d'un environnement contrôlé où le substrat, la luminosité et l'environnement électromagnétique sont susceptibles soit d'être facilement réglés, soit d'être fixés une fois pour toutes, c'est-à-dire si l'on fournit un écosystème adapté aux robots. Or, ces systèmes ont vocation à être disséminés en environnement réel, et notamment au sein de collectivités humaines, et c'est d'ailleurs là tout leur intérêt pratique. On se retrouve donc dans la situation paradoxale de concevoir des systèmes dont la robustesse intrinsèque constitue un point fort, mais que leur sensibilité aux conditions environnementales rend difficilement exploitables en environnement standard.

Si l'on compare cette situation à celle qui prévaut dans la nature, on se rend compte que, toutes choses étant égales par ailleurs, les insectes sociaux font preuve d'une beaucoup plus grande plasticité comportementale que leurs contreparties artificielles, et se montrent capables de s'adapter à des environnements extrêmement différents tout en conservant les mêmes caractéristiques physiologiques. La clé de cette capacité doit donc résider dans des mécanismes d'apprentissage ou d'adaptation qu'il est crucial de pouvoir mettre à jour si nous voulons que, demain, ces robots soient réellement utilisables dans des environnements humains.

- Partir de robots existants dans le commerce, équivalents à ceux que pourraient un jour acheter des

collectivités, afin de disposer d'une base matérielle relativement standard.

- Installer ces robots dans des locaux existants, fréquentés par des humains, sans modifications autres que l'ajout éventuel de sources d'énergie et la construction d'un atelier de réparation.
- Doter ces robots d'un comportement de curiosité ou d'un but précis (ex: établir une carte) qui les obligent à arpenter les lieux. Les doter éventuellement d'un comportement " joueur " leur faisant rechercher le contact des êtres humains afin d'aboutir à des interactions variées.
- Etudier les problèmes de navigation, d'interaction, de conflit pouvant survenir dans leurs pérégrinations, afin de déterminer, d'une part, les comportements et connaissances de base, et, d'autre part, les mécanismes d'adaptation à leur fournir afin qu'ils puissent par eux-mêmes en résoudre et en anticiper la plus grande partie.
- Doter les robots d'une autonomie énergétique, basée sur des recharges individuelles dans les zones prévues à cet effet, qui s'appuie sur tous les points précédents.
- Comme on le voit, la colonie de robots que nous souhaitons installer ne possède pas de but fonctionnel précis, à la différence de la plupart des autres systèmes robotiques installés en laboratoire. L'idée centrale est en effet de parvenir, au travers de ces 5 points, à ce que le laboratoire (personnel et locaux) constitue un écosystème satisfaisant pour nos robots, qui formeront alors une base collective suffisamment versatile et autonome pour pouvoir être employée à différentes tâches. Il sera ensuite possible d'utiliser cette colonie comme une plate-forme

de programmation ouverte à tous les thèmes du laboratoire, ainsi qu'aux enseignements doctoraux, exactement comme nous utilisons, aujourd'hui, les stations de travail en réseau. Le but est bien entendu, à plus long terme, de pouvoir utiliser cette colonie pour étudier les prérequis nécessaires à l'immersion de robots autonomes mobiles dans un public plus large et plus hétérogène.

Ce but nécessite de pouvoir résoudre un certain nombre de problèmes, que nous pouvons informellement classer de la façon suivante:

- Problèmes techniques de mise en œuvre: stations de recharge, sécurité (du personnel et des robots), moyens de communication, navigation, maintenance.
- Problèmes méthodologiques de conception: détermination des modèles de sélection d'actions, des architectures d'agents, des protocoles de communication ou de collaboration à utiliser.
- Problèmes de comportement individuel: détermination du substrat minimal en termes de connaissance et de comportement à fournir au robot pour un bon fonctionnement individuel.
- Problèmes de comportement social: détermination des modes d'organisation des robots, des relations entre comportement individuel et comportement social, des modes de coopération et d'interactions avec les humains.
- Problèmes d'adaptation: détermination des méthodes d'apprentissage et d'évolution à envisager.
- Problèmes d'implémentation: gestion du temps-réel, du parallélisme des comportements collectifs, de la distribution des connaissances.

Importance du projet pour le LIP6

Aspect inter thèmes et collaborations

La phase initiale du projet sera assumée par les deux thèmes OASIS et APA, en collaboration avec des entités extérieures, mais le but est de pouvoir intégrer les recherches menées dans d'autres thèmes, aussi bien en IA (logique floue, connexionisme, décision, etc.) qu'ailleurs (réseau et protocole de communication, outils de simulation, validation des comportements, etc.), en mettant la plate-forme à la disposition de qui la voudra. Dans l'immédiat, les personnes suivantes travailleront sur le projet :

- OASIS-Miriad: Alexis Drogoul (MdC), Zahia Guessoum (MdC), Angelica Munoz, Sébastien Picault

" Plus value " et positionnement scientifique

Il est clair qu'un tel projet représentera une vitrine exceptionnelle du savoir-faire du laboratoire, dans la mesure où les résultats seront visibles par tous les visiteurs. Plus encore qu'une démonstration sur machine, la possibilité d'interagir avec le système

- OASIS-AnimatLab: Jean-Arcady Meyer (DR), Nick Jacobi (Post-Doc)
- APA- ACASA: Jean-Daniel Zucker (MdC), Christophe Bouramoué
- Laboratoire de Robotique de Paris: Dominique Duhaut (MdC) aspects robotiques.
- Ecole Normale Supérieure: Dominique Lestel (MdC) interfaces homme/robot.
- Laboratoire d'Ethologie de Paris 13: Dominique Fresneau (MdC) exploration collective.
- SONY CSL Paris: Luc Steels (Dir.) relations avec le laboratoire D21, robots chiens.

représentera une donnée essentielle de l'attrait qu'exercera à coup sûr cette application sur ces visiteurs. Contrairement aux robots footballeurs, les robots du projet seront en effet en contact direct avec toute personne qui pénétrera dans le laboratoire et, de

ce fait, bien plus " familiers " et susceptibles d'attirer l'attention. Ce projet a tout pour devenir le " fer de lance " d'une politique de communication centrée sur l'intérêt de l'IA et de son impact dans la vie de tous les jours.

MICRobES a de plus le mérite de s'appuyer sur notre expérience, maintenant relativement fournie, dans le domaine de la robotique collective et de l'intelligence artificielle distribuée. Si nous ne sommes pas les seuls à avoir développé un projet de robotique collective à l'échelle d'un laboratoire, il n'existe en revanche, à notre connaissance, aucun autre projet qui l'envisage de façon aussi radicale: dans tous les cas de figure connus, soit le système développé est appliqué (ce qui restreint d'emblée sa généricité comportementale), soit il est développé dans un environnement spécifiquement adapté (ce qui restreint sa versatilité).

D'un point de vue scientifique, ce projet est pour nous un projet charnière, dans le sens où il est à l'intersection exacte de trois domaines qui ont un potentiel de développement considérable:

- La robotique collective: plus de 250 laboratoires travaillent sur la mise en place d'équipes de robots,

et les besoins applicatifs sont gigantesques (notamment dans le secteur militaire, qui finance la moitié des recherches aux USA, mais aussi dans les opérations d'intervention dans les milieux hostiles à l'homme).

- L'apprentissage multi-agent: nouveau domaine d'exploration pour les techniques d'Apprentissage, et évolution naturelle de l'IAD, notamment sur les réseaux, mais aussi, par exemple, dans les jeux vidéo. Le nombre de publications dédiées au sujet ne cesse d'augmenter dans les conférences d'IA car les questions que pose cette problématique sont redoutables et la demande exponentielle.
- La robotique ludique ("pet robots"): si le terme fait sourire, les perspectives économiques de ce type de système, destiné à un brillant avenir, font plutôt rêver. SONY Corp. s'est lancée la première dans la bataille et devrait être rejointe à terme par tous les fabricants de jouets dans ce domaine où presque tout, dont de nouvelles formes d'interactions homme-robot (point clé de notre projet), est à découvrir.

PROJET MICROBES (BILAN ET PROLONGATION)

Drogoul Alexis

Meyer Jean-Arcady
Zucker Jean-Daniel
Guillot Agnès

Maître de Conférences, UPMC (OASIS)

Directeur de recherche, CNRS

Maître de Conférences, UPMC (APA)

Maître de conférences, HDR, Université de Paris 10

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Hugues Louis
Landau Samuel
Munoz-Melendez Angelica
Picault Sébastien
Filliat David
Gourichon Stéphane
Bredèche Nicolas

Extérieurs

B. Latour, L. Thévenot, F. Rousseau
J-M. Raibaud, F. Sempé

École des Mines & EHESS
CNET/ CréaNet

DESCRIPTION DU PROJET MICROBES

Rappel des objectifs

MICRobES est une expérience dont le but consiste à étudier l'adaptation à long terme d'une microsociété de robots autonomes dans un environnement occupé par une collectivité humaine: les locaux du pôle IA du LIP6. Les robots doivent mettre les comportements leur permettant de survivre dans cet environnement et de cohabiter harmonieusement avec ses occupants. D'un point de vue individuel, il leur faut se recharger de façon autonome, cartographier l'environnement, éviter les obstacles mobiles et les emplacements dangereux (escaliers, ascenseurs). D'un point de vue collectif, il leur faut résoudre les conflits (accès aux bornes de recharges), coopérer par partage d'informa-

tions sur l'environnement et respecter des contraintes dans leurs rapports avec les humains. La colonie de robots ne possède donc pas de but fonctionnel, à part être capable de survivre dans un écosystème dans lequel elle doit mettre en place une structure sociale robuste et adaptative. En étudiant ainsi, sur le long terme, des robots physiquement et socialement situés, MICRobES poursuit deux buts: créer une base autonome suffisamment versatile pour pouvoir être utilisée dans différentes applications, et étudier, en liaison avec des sociologues et anthropologues, les pré-requis nécessaires à l'immersion de robots autonomes dans un public plus large.

Réalisations effectuées & travail en cours

Le projet a été défini en novembre 1998 et implique trois équipes du LIP6 ainsi que des partenaires extérieurs. Environ quinze personnes (dont 6 permanents) composent le groupe de travail. Ceci a nécessité de mettre en place des procédures de travail relativement lourdes (définitions des objectifs, élaboration de calendriers, réunions régulières, gestion du projet, définition du site Web, politique de communication, etc.) avant même l'arrivée des premiers robots. Les deux premiers sont arrivés en avril 1999, suivi de quatre autres en juillet 1999. Le laboratoire dispose donc maintenant de 6 robots, auxquels il convient d'ajouter

2 robots acquis parallèlement par le laboratoire CréaNet du CNET. Les premières vraies expérimentations "grandeur nature" n'ont donc pu démarrer qu'en août 1999, il y a environ quatre mois. Cette mise en place, plus longue que prévue, a retardé d'autant les objectifs initiaux qui prévoyaient de terminer la première phase en décembre 1999, mais a permis de définir assez précisément les sujets de thèse qui concerneront, pour les trois ans à venir, le projet (entre parenthèses, nom du doctorant, et année de démarrage de la thèse):

Comportement individuel des robots

- Cartographie, localisation, navigation (L. Hugues, 1999, S. Gourichon, 1999)
- Reconnaissance visuelle d'amers et navigation (D. Landau, 1999)
- Apprentissage de capacités proprioceptives (S. Landau, 1999)
- Filliat, 1999)

- Comportement de recharge autonome (F. Sempé, 2000)

Comportement collectif des robots

- Exploration collective et coopération par partage d'informations sur l'environnement (L. Hugues, 1999)
- émergence de comportements collectifs organisés et de schémas de coordination spatiale (application au "sauvetage" de robots) (A. Munoz, 1999)

Interaction avec les humains

- Interfaces de communication orale, utilisation des humains comme source d'information sur l'environnement, apprentissage collaboratif (N. Bredèche, 1999)

La quasi-totalité de ces thèses a démarré en 1999, et a été précédé d'un stage de DEA pendant lequel un certain nombre de "fonctions" nécessaires à l'obtention des objectifs ont été implémentées. Ces fonctions vont constituer les briques de base des futurs comportements :

- Framework orienté objet de développement pour Saphira (environnement de programmation des robots)
- Construction de cartes métriques (grilles d'occupation) à partir des données sonars et de l'odométrie (corrigée),
- Gestion, récupération et traitement de l'image vidéo en provenance de la caméra,
- Utilisation et amélioration des environnements de simulation disponibles.

Objectifs pour l'année 2000

Après l'année 1999, qui en a été l'année de démarrage, l'année 2000 sera l'année de montée en puissance du projet. L'objectif principal est bien évidemment de procéder à la mise en place des robots dans le laboratoire, ce qui suppose :

- de maîtriser leurs comportements de recharge autonome,
- de procéder à un ensemble de tests "grandeur nature" à durée limitée,
- de procéder à une campagne d'information et de sensibilisation du public concerné, c'est-à-dire les chercheurs du Pôle IA,

- résolution des conflits par des mécanismes sociaux (inspirés des comportements des primates) (S. Picault, 1997)

Au terme de ces six premiers mois de travail, il apparaît que :

- Nous savons maintenant nous servir des robots (avec leurs particularités),
- Nous avons acquis une bonne expérience dans le domaine de la cartographie individuelle,
- Les robots sont dotés des fonctionnalités leur permettant un fonctionnement (et notamment une navigation) autonome, y compris en présence de public, ce qui a été montré, même sur une échelle modeste, lors des Journées Portes Ouvertes du LIP6.

Ce travail a été doublé d'une phase de réflexion et de mise en place des concepts et outils propres au projet, phase à laquelle les doctorants ont très activement collaboré. La prise de contact avec des sociologues internationalement reconnus, Bruno Latour et Laurent Thévenot a également permis de mieux définir les attentes versant "sciences humaines" du projet. Enfin, un site Web d'information (<http://www.lip6.fr/microbes>) a été ouvert en septembre.

- de mettre en place les procédures de suivi de l'expérimentation.

Chacun de ces points est en cours de réalisation et ils devraient tous être "opérationnels" d'ici avril 2000 (soit un an après le démarrage du projet, ce qui est relativement court). Les autres objectifs découlent bien entendu des sujets de thèses en cours (voir liste), mais également de collaborations extérieures, parmi lesquelles celle envisagée avec l'équipe Indexation Multimédia pour la discrimination et reconnaissance des visages par vidéo.

AGENTS INTELLIGENTS POUR LA RECHERCHE D'INFORMATION ET L'AIDE À LA DÉCISION

D'alché-Buc Florence

Perny Patrice
Zucker Jean-Daniel
Gallinari Patrick
Jaffray Jean-Yves

Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, HDR, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Professeur, UPMC
Professeur, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET RECHERCHE D'INFORMATION

Motivations

De nos jours, une quantité d'informations de plus en plus importante est disponible sur support informatique, en particulier sur des sites Web visités par un nombre croissant d'utilisateurs. Face à la masse et à la diversité des documents disponibles, l'utilisateur a besoin d'une assistance lui permettant de focaliser rapidement sur des éléments d'information pertinents. La recherche d'informations constitue d'ailleurs le problème numéro un sur Internet et ce thème fait partie d'une des actions clef proposées dans le cadre du 5^{ème} appel d'offre PCRD.

Actuellement les systèmes de recherche d'information en sont à leurs débuts, leur souplesse et leurs per-

formances restent très insuffisantes. En particulier, la plupart des outils de filtrage et de conseil sur Internet fonctionnent sur la base d'un simple filtrage mono ou multicritère, sans exploiter véritablement d'informations fines concernant les préférences et les objectifs de l'utilisateur ni de mécanisme d'apprentissage permettant une auto-adaptation de l'agent (moteur de recherche ou système de conseil) à l'utilisateur. C'est pourquoi il s'avère nécessaire de concevoir et de développer de nouveaux agents de recherche et de conseil intégrant les techniques relevant de la modélisation des préférences, de l'aide multicritère à la décision et de l'apprentissage.

Contenu scientifique

Cette proposition vise d'une part à promouvoir l'intégration des techniques développées au LIP6 indépendamment en aide à la décision et en apprentissage,

et d'autre part, à démontrer l'originalité et la pertinence de cette intégration dans le cadre d'applications concrètes. Ce projet s'articule autour de deux axes :

Axe 1 : apprentissage et agrégation de préférences pour le filtrage et le conseil

Il s'agit de développer une nouvelle conception du filtrage et du conseil sur Internet et de la concrétiser par la réalisation de systèmes de recherche ou de conseil auto-adaptatifs. Plus précisément, nous souhaitons aborder les points suivants :

- la modélisation et l'apprentissage des objectifs et/ou préférences de l'utilisateur,
- l'apprentissage de différents systèmes de recherche d'information traitant les données sous leurs différentes représentations,

- le filtrage multicritère d'informations basé sur les préférences de l'utilisateur,
- le partage implicite d'expérience entre utilisateurs ("collaborative filtering"),
- l'agrégation de recommandations émanant de différents systèmes complémentaires,

En complément de ces aspects méthodologiques, nous souhaitons développer des agents "intelligents" dans le cadre d'une application concrète (cf. applications potentielles ci-dessous) et tester leur efficacité et leur capacité d'adaptation à l'utilisateur.

Axe 2 : Apprentissage pour l'extraction d'informations

La grande majorité de l'information accessible par le biais d'Internet est sous forme textuelle. La recherche et l'extraction d'informations nécessitent des outils capables de traiter rapidement de gigantesques quantités de documents. Seules les techniques d'apprentissage permettent ce traitement massif, elles commencent à ce titre à être employées dans ce domaine d'application. Nous nous focaliserons sur deux aspects qui sont :

- l'indexation des documents sur laquelle travailleront les agents de conseil décrits dans l'axe 1. Il s'agit donc d'un traitement préalable à l'action des agents de conseil décrits dans l'axe 1.
- l'extraction d'informations pertinentes pour une requête sur les documents sélectionnés par les agents de conseil. Ce traitement intervient après la sélection de documents pertinents, réalisée par exemple par les agents de conseil. L'information

extraite consistera en des termes, phrases ou parties de paragraphes qui constitueront la réponse à la requête. Pour extraire ces informations de surface, nous étudierons en particulier la modélisation de séquences de termes à partir du texte. Cette approche présente l'avantage de combiner un trai-

Applications potentielles des deux axes:

- Conseil pour la navigation (sites spécialisé cinéma/musique)
- Systèmes de conseil personnalisé auto-adaptatifs

Caractéristiques du projet

Aspect inter-thème:

Notre projet tire parti de la coexistence, au sein du LIP6, de deux savoir faire complémentaires: celui du thème SYSDEF en aide à la décision et celui du thème APA en apprentissage. Plus précisément, nous souhaitons exploiter nos compétences sur les thèmes suivants:

- Modèles et méthodes pour la décision multicritère et la décision dans l'incertain
- Techniques de filtrage par collaboration
- Méthodes d'apprentissage numérique et symbolique
- Combinaison et validation statistique de systèmes d'apprentissage
- Modélisation de séquences

et les intégrer au sein de mécanisme de filtrage auto-adaptatif. À titre d'exemple, précisons que pour concevoir un outil de recherche et de conseil, nous envisageons d'étudier dans l'axe 1 non seulement des méthodes de filtrage par le contenu mais aussi des méthodes de filtrage par collaboration. Alors que les pre-

Positionnement par rapport aux grands défis de l'informatique et plus-value pour le laboratoire

Ce projet devrait contribuer au développement, au sein du LIP6, d'une compétence dans un domaine clé de l'informatique moderne: la recherche d'information et l'aide à la décision sur Internet. Les problèmes de recherche d'information offrent un gigantesque banc d'essai pour tester les méthodes de traitement de l'information, d'apprentissage et de décision développées au sein des différents thèmes du pôle IA. Il

Préliminaire à la réponse aux grands appels d'offre

Notre proposition s'inscrit naturellement dans le cadre du programme PCRD - IST (Information Society Technologies), en particulier dans l'action 3 intitulée "Multimedia contents and tools". Pour être

Valorisation de travaux réalisés au Laboratoire

Les méthodes que nous envisageons s'appuient sur un filtrage "intelligent" d'objets supposés décrits par un vecteur d'attributs. Elles sont donc susceptibles d'être utilisées dans des domaines d'application très

tement syntaxique à des méthodes d'apprentissage et d'estimation statistiques

Concernant le deuxième axe, nous souhaitons proposer un stage pour un étudiant de DEA, avec pour objectif de concevoir et de développer un système d'extraction d'informations textuelles.

- Exploration assistée d'articles scientifiques par le contenu
- Filtres Intelligents pour le courrier électronique par le contenu

mières cherchent à expliquer et prédire les préférences d'un utilisateur concernant un objet en examinant les attributs qui le caractérisent, les secondes cherchent à rapprocher l'utilisateur d'autres utilisateurs dont les préférences sont voisines pour inférer des informations préférentielles utiles pour le filtrage. La spécificité de notre approche sur ce type de problèmes sera de concevoir des méthodes hybrides utilisant ces deux types de recommandation de manière intégrée.

Les deux axes proposés sont complémentaires. En effet les agents développés dans le premier axe peuvent être utilisés pour ordonner des documents, par exemple des textes, selon leur degré de pertinence pour l'utilisateur, et permettre à l'agent d'extraction d'informations développé dans l'axe 2 de se focaliser sur les documents les plus pertinents. Inversement, l'extraction d'informations pertinentes peut permettre d'indexer les documents qui pourront ensuite être filtrés par les agents de conseil.

est donc capital pour le laboratoire de proposer dès aujourd'hui des solutions fondées sur les développements récents de nos techniques. Les résultats attendus de nos travaux devraient avoir des implications très concrètes dans ce domaine et sont susceptibles de pouvoir être illustrés, à court ou moyen terme, par des démonstrations logicielles.

plus précis, les outils que nous envisageons de développer correspondent très exactement à l'item 3.5, à savoir: "Information access, filtering, analysis and handling".

divers pourvu que l'on sache représenter les objets par ces attributs. Ainsi on devrait pouvoir appliquer nos méthodes à des textes, des séquences d'images issues de films ou des séquences vocales dès lors que l'on est

capable de les indexer. Il se trouve qu'au LIP6, plusieurs travaux sont menés actuellement concernant l'indexation de documents. On peut donc envisager, à terme, de coupler les méthodes que nous allons développer avec celles développées en indexation, ce qui permettrait d'une part de fournir des méthodes fines

de filtrage aux équipes travaillant sur l'indexation et d'autre part d'augmenter le potentiel d'application des méthodes générales développées dans le cadre de notre projet (des contacts ont d'ores et déjà été pris avec P. Faudemay qui étudie l'indexation de séquences d'images)

Résultats attendus pour l'année 1999

Communications, rapports internes ou publications concernant :

- la modélisation et l'apprentissage des préférences, les méthodes de filtrages ou encore l'agrégation de systèmes de recommandation (axe 1),
- l'extraction d'informations à partir de textes (axe 2).

Réalisations :

un site Web expérimental permettant d'illustrer la capacité de nos méthodes à réaliser des filtrages et produire des conseils adaptés aux préférences de l'uti-

lisateur, dans le cadre d'une application particulière (axe 1)

- un système d'extraction d'information dans les textes (axe 2)



MODÉLISATION DES PRÉFÉRENCES ET RECHERCHE D'INFORMATION POUR LE CONSEIL AUX UTILISATEURS DANS UN CONTEXTE DISTRIBUÉ

D'alché-Buc Florence

Gallinari Patrick
Perny Patrice
Zucker Jean-Daniel

Maître de conférences, UPMC

Professeur, UPMC

Maître de conférences, HDR, UPMC

Maître de conférences, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET WEBCONSEIL

Mots clés: aide à l'utilisateur, recherche d'information, modélisation préférences, agrégation et décision

multicritère, combinaison d'experts, apprentissage, accès à l'information textuelle, filtrage collaboratif.

État d'avancement du projet

Le projet porte sur la construction de systèmes de recommandation adaptatifs dans un contexte distribué comme le Web. Par adaptatif, nous entendons adaptable à un utilisateur, à un groupe, au contexte de l'application et/ou à l'évolution du contexte et des utilisateurs. Les applications de ces systèmes sont nombreuses, on citera comme exemples le filtrage d'information (recherche passive d'articles, de sites Web), la recherche active, le choix de musiques ou de films, la navigation sur le Web, etc. Les deux grandes familles de méthodes utilisées pour ces systèmes reposent d'une part sur l'analyse du contenu et d'autre part sur des systèmes collaboratifs. L'analyse du contenu est traditionnellement le domaine de la recherche documentaire, actuellement, les nouvelles formes de document et les nouveaux besoins qui émergent sur le Web (automatisation, adaptativité) suscitent un intérêt croissant de la communauté apprentissage pour automatiser le développement des systèmes et les rendre adaptatifs. Dans les systèmes collaboratifs, des informations sont recommandées en fonction des avis d'autres utilisateurs et de la proximité entre des profils utilisateurs déclarés ou appris. Une originalité de notre démarche est d'utiliser simultanément les deux approches. Dans ces deux familles de méthodes, de nouveaux besoins apparaissent avec le développement du Web pour lesquels les méthodes traditionnelles sont souvent insuffisantes.

Pour cette première année, nous nous sommes intéressés à trois problématiques principales que nous

avons étudiées conjointement en vue d'aboutir à un ensemble d'outils permettant de réaliser des systèmes conseils sur le Web.

- le développement d'algorithmes de filtrage par le contenu et par collaboration, en s'appuyant sur des techniques de modélisation des préférences issues de la théorie de la décision
- l'élaboration de nouveaux systèmes d'agrégation de classifieurs (experts), fondés sur des fonctions d'agrégation étudiées en décision et sur la théorie de l'apprentissage statistique.
- l'accès au contenu d'information textuelle par des techniques d'apprentissage pour des tâches que l'on ne sait pas traiter aujourd'hui de façon automatique.

Pour chacun de ces aspects, nous avons élaboré un agent collaboratif pour le conseil personnalisé, un premier ensemble d'agents de catégorisation de textes, un système d'agrégation de ces agents et plusieurs systèmes d'accès au contenu des information textuelles. Plusieurs démonstrateurs ont été réalisés:

- Un site Web FilmConseil (<http://www-poleia.lip6.fr/~fconseil>)
- Une plate-forme logicielle pour l'apprentissage et la collaboration d'experts
- Une interface pour la recherche et l'extraction d'information textuelle
- Un logiciel de recherche dans les documents structurés.

Suite du projet Web

La poursuite du projet WebConseil vise à enrichir le développement de méthodes hybrides issues de la théorie de la décision et de l'apprentissage automatique pour un système de conseil robuste et générique. La tâche appliquée centrée autour du conseil constitue un moteur pour l'exploration et la conception de nou-

veaux algorithmes qui s'appliquent à de nombreuses problématiques plus générales. L'intérêt des outils proposés dépasse évidemment le thème particulier de la recommandation de films. On peut en effet montrer que ces outils s'adaptent à tout problème de partage de conseil (recommandation d'articles scientifiques,

d'immobilier etc.) et de collaboration de systèmes pour la résolution de problèmes complexes (indexation de bases de documents multimédia, XML...).

Nous avons effectué de multiples tests avec une dizaine d'utilisateurs ayant noté une dizaine de films chacun. Le site produit déjà des conseils pertinents aussi bien en utilisant le filtrage par le contenu que le filtrage par collaboration ou même une combinaison des deux. Les algorithmes développés mériteraient tout de même d'être sophistiqués pour s'adapter plus finement aux préférences de l'utilisateur. Pour aller plus loin, nous envisageons les évolutions suivantes :

- Intégration de méthodes d'apprentissage pour apprendre des profils utilisateurs et améliorer les conseils ainsi que leurs explications

Intérêts pour le laboratoire

Le développement d'outils de conseil et de recherche d'information sur le WEB correspond à la demande croissante de services « intelligents » et adaptés à l'utilisateur des réseaux (intranet, Internet). Fournir à l'utilisateur des outils d'aide personnalisés pour accéder à l'information pertinente est devenu une préoccupation majeure à la fois d'un point de vue scientifique et commercial. Plusieurs communautés issues de la recherche d'information ou de l'apprentissage (CMU, Stanford...) travaillent activement sur le sujet.

- Raisonnement à partir d'information conflictuelles (prise en compte simultanée d'avis positifs et négatifs)
- Traitement des attributs textuels accompagnant la description de films par des agents de catégorisation et d'extraction d'informations
- Prise en compte du caractère structuré dans le traitement des données textuelles
- Mise en œuvre de la collaboration d'experts pour agréger les décisions ou les scores issus des différents types d'information (profils, textes, similarités).
- Sécurisation, validation et tests des outils existants en vue de leur accès à grande échelle sur le Web.

Centré sur ces problèmes d'actualités, le projet WebConseil repose sur une collaboration inter-thèmes SYSDEF-APA qui permet le développement d'une approche originale aussi bien dans la génération automatique de conseils qu'en recherche d'information.

Concernant le site FilmConseil, nous sommes à la recherche de partenaires industriels pour aborder des bases de données de taille encore plus importante.

EXTRACTION DE CONNAISSANCES À PARTIR DE BASES DE DONNÉES MULTIDIMENSIONNELLES

Bernadette Bouchon-Meunier

Anne Doucet
Stéphane Gançarski
Christophe Marsala

Directeur de recherche, CNRS, (APA)
Professeur, UPMC, (OASIS)
Maître de conférences, UPMC, (OASIS)
Maître de conférences, UPMC, (APA)

Doctorant présent 80% du temps au LIP6

Anne Laurent

(APA)

DESCRIPTION DU PROJET EXTRACTIONS DE CONNAISSANCES

Motivations

Le domaine de l'extraction de connaissances à partir de données (Knowledge Discovery from Database (KDD)) est un domaine très actif dans la communauté informatique. Le besoin d'utiliser la masse considérable d'informations contenues dans les bases de données, ou dans les fichiers informatiques a amené de nombreuses équipes de recherche à concentrer leurs efforts pour étudier des moyens de les exploiter efficacement. D'une part, il s'agit d'utiliser et de réutiliser les données emmagasinées dans des bases hétérogènes et dont la taille ne cesse de croître au fil des jours, telles les bases de données offertes par les espaces ouverts de communication comme Internet ou les entrepôts de données (ou data warehouses) dans le monde industriel. D'autre part, il est vital de pouvoir structurer, analyser et synthétiser de telles bases de données qui représentent un potentiel considérable de connaissances qu'il est important d'exploiter. On veut ainsi offrir, par exemple, un système d'aide à la décision permettant d'étudier le comportement et son évolution (géographique, sociale, temporelle, financière...) des clients des différentes succursales d'une grande banque. Ceci n'est possible que dans la mesure où l'on est capable d'extraire des connaissances de l'entrepôt de données formé par toutes les bases

de données (géographiquement réparties) des succursales de cette banque.

Au niveau international, de nombreuses conférences et revues sont consacrées exclusivement à ce sujet (Data Mining and Knowledge Discovery, KDD, PADD, PKDD, PAKDD, ICDM,...), et des sessions sont aussi organisées dans des grandes conférences internationales (IPMU, JCIS, VLDB, IJCAI (tutoriel), SIGMOD, EDBT,...). Dans le milieu industriel, tous les grands constructeurs (IBM (avec le projet Quest), ORACLE, COMPAQ,...) s'y intéressent fortement. Au niveau français, des laboratoires de recherche sont actuellement en train de s'organiser (collaborations inter-thèmes, formations à des entreprises).

Depuis maintenant 2 ans, au sein du LIP6, des membres du thème APA et des membres du thème OASIS collaborent sur ce thème et mettent en commun leurs apports spécifiques pour l'extraction de connaissances. Nos compétences en bases de données (dans le thème OASIS) d'une part, et dans l'extraction de connaissances floues (dans le thème APA) d'autre part, nous permettent de proposer une approche inédite parmi les approches existantes.

Descriptif du projet

Actuellement, les entrepôts de données sont autant de sources pour les algorithmes d'extraction de connaissances. Mais, ils ne sont pas actuellement directement adaptés à un tel type de traitement.

Lors de la première année de ce projet, nous avons mené une étude des avantages de l'approche multidimensionnelle de gestion de grandes bases de données, ainsi qu'une étude de la conception d'un système d'extraction de connaissances sur de telles bases, fondée sur l'utilisation d'un système de gestion de bases multidimensionnelles (SGBDM) et d'un système d'apprentissage de connaissances floues (arbres de

décision flous, prototypes flous,...). En effet, les SGBDMs offrent une vue synthétisée et pré-agrégée des entrepôts, ils peuvent ainsi préparer et pré-calculer les informations nécessaires à l'extraction de connaissances. D'autre part, la théorie des sous-ensembles flous permet une meilleure prise en compte de données souvent imprécises et incertaines parce qu'issues de mesures réelles.

A la suite de cette première étude, nous avons réalisé une interface entre un SGBDM OExpress (Oracle Express de la société Oracle), intéressant pour sa puissance de calcul, et un système de construction

d'arbres de décision flous (Salammbô) qui représente l'intérêt de fournir un moyen de représenter les données imparfaites provenant du monde réel. Cette interface est construite pour fonctionner de manière distribuée sur plusieurs machines et plusieurs systèmes d'exploitation.

Des tests de validation de cette architecture ont été effectués sur deux bases de données, dont une base de taille réelle (plus d'un million d'enregistrements) obtenue par une convention avec le Ministère de l'Éducation Nationale MENRT, et représentant les résultats individuels au baccalauréat sur les deux dernières années. Ces expérimentations nous ont permis de confirmer l'hypothèse selon laquelle le modèle

Travaux en cours

Ce projet a pour but d'étudier de façon plus approfondie les apports réciproques de la structure multidimensionnelle des bases de données et des algorithmes de fouille de données.

Aucun système existant ne réalise un processus d'extraction de connaissances qui marie les avantages des SGBD multidimensionnels et les qualités d'un système d'apprentissage flou qui sont deux compétences de nos équipes de recherche. La finalité de notre projet est de proposer une nouvelle approche pour

multidimensionnel se prête bien à ce type de problème et de solution.

Par exemple, des règles obtenues avec cette base concernent la proportion de candidats reçus au bac avec la mention AB, B ou TB:

ï R1: Si l'établissement est public, et que la série du bac est ES, alors la proportion de candidats reçus avec mention (AB, B ou TB) est inférieure à 25%.

ï R2: Si l'établissement est privé sous contrat, que l'année de rentrée est 1996, que la spécialité est LV2, et que la série du bac est STI, alors la proportion de candidats reçus avec mention (AB, B ou TB) est supérieure à 25%.

l'extraction de connaissances floues à partir de grandes bases de données, à travers la réalisation et la validation d'une architecture d'extraction de connaissances floues, ainsi que d'une interface pour permettre son utilisation par des experts non-informaticiens (experts du MENRT avec lequel nous avons passé une convention) qui pourront ainsi mettre en oeuvre l'extraction de connaissances sans aide extérieure.

RÉPARTITION ET FIABILITÉ DE SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Briot Jean-Pierre

Cardon Alain
Folliot Bertil
Guessoum Zahia
Peschanski Frédéric
Sens Pierre

Directeur de recherche, CNRS (OASIS)
Professeur, IUT du Havre (OASIS)
Professeur, UPMC (SRC)
Maître de conférences, IUT de Reims (OASIS)
Doctorant, UPMC (OASIS)
Maître de conférences, UPMC (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET MULTI-AGENTS

Les systèmes multi-agents offrent une vision décentralisée et coopérative de la résolution de problèmes. Il sont donc particulièrement indiqués quand

le problème est dynamique et réparti physiquement, par exemple: l'aide à la gestion de crises, le contrôle de processus, les ateliers de production flexibles, et la robotique collective.

Cependant une notion fondamentale des systèmes répartis à grande échelle tient en la possibilité de pannes (de processeurs ou de réseaux).

L'algorithmique répartie a produit un certain nombre de protocoles de programmation résistante aux pannes à base de réplication passive ou active de composants logiciels sur différents processeurs, de manière à augmenter la fiabilité d'applications réparties (par exemple des transactions bancaires).

Le premier constat est que de tels protocoles ont encore été peu appliqués aux systèmes multi-agents (ces derniers commençant seulement à être répartis à grande échelle).

Le deuxième constat est que de tels protocoles sont presque toujours appliqués de manière statique aux applications réparties. C'est-à-dire que c'est à la charge du concepteur de l'application de décider quels serveurs sont particulièrement critiques et donc à répliquer.

Une telle assignation statique est raisonnable en cas d'applications stables (par exemple les applications bancaires actuelles) où les rôles des serveurs sont clairement identifiés. Mais dans des applications très dynamiques (par exemple, la gestion de crises), la criticité et la disponibilité de serveurs et d'assistants logiciels peut varier énormément au cours du processus de résolution. Comme les protocoles de réplication sont assez coûteux (duplication de messages et synchronisation pour garantir un ordre total), il n'est pas raisonnable de les appliquer de manière systématique et statique à tous les composants logiciels.

Notre projet consiste donc à étudier et expérimenter l'assignation dynamique de tels protocoles de réplication à des systèmes d'agents logiciels. Ceci pose des problèmes techniques et de fond nouveaux et intéressants (application dynamique de tels protocoles de

manière transparente à l'application, contrôle de compatibilité, changement dynamique de politiques de réplication et leur contrôle de cohérence, problème de la partition du réseau...).

Les décisions dynamiques de réplication variable (combien de répliques) et d'évolution de politiques (par exemple, passive à active) seront prises en charge par une couche de contrôle de l'application (méta-agents) à partir d'informations statistiques (messages échangés, charge des processeurs...), sémantiques (nature et importance des messages échangés), heuristiques, etc.

Il s'agit donc véritablement d'utiliser une partie des connaissances exprimées au niveau des agents de l'application pour gérer en grande partie automatiquement l'évolution de la fiabilité et de la disponibilité de l'application (de manière analogue et complémentaire à une gestion dynamique des ressources: mémoire et processus).

Un stage de DEA effectué (par Jakob Zimmerman) au Printemps 1999 sous la direction de Bertil Folliot, Pierre Sens et Jean-Pierre Briot a permis d'élaborer un premier prototype de plate-forme de programmation répartie et résistante aux pannes (appelée DarX), d'implémenter plusieurs stratégies de réplication (passive, semi-active, active) et de l'interfacer avec la plate-forme multi-agent DIMA de Zahia Guessoum (voir notes ci-dessous sur DarX et DIMA).

Cette plate-forme et le couplage DarX-DIMA ont été testés sur des exemples simples.

Nous avons donc d'ores et déjà une base logicielle pour de premières expérimentations et pour mettre en œuvre diverses politiques de gestion de la fiabilité.

Le domaine d'application test consistera en la gestion de crises (dans un premier temps, civile) où nous bénéficions d'une grande expertise (projets régionaux de gestion de crises sur la basse-Normandie, montés par Alain Cardon).

Nous bénéficierons également du travail actuel (thèse démarrant) de Frédéric Peschanski sur l'assignation dynamique de protocoles d'interaction et leur contrôle de cohérence (par un contrôle de types).



ORDONNANCEMENT AVEC PÉNALITÉS D'AVANCE ET DE RETARD

Chrétienne Philippe

Baynat Bruno
Dutheillet Claude
Kedad-Sidhoum Safia

Professeur, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC
Maître de conférences, UPMC

Doctorants présents 80 % du temps au LIP6

Sourd Francis (SYSDEF)

DESCRIPTION DU PROJET OPAR

Présentation du sujet.

Les logiciels d'ordonnancement actuels (ILOG-SCHEDULER, OPL, CHIP, ECLAIR, ORDO...) ne traitent efficacement que les problèmes à critères réguliers, c'est-à-dire pour lesquels le coût d'un ordonnancement décroît avec la date de début des jobs.

Or de nombreuses applications, en particulier le flux tendu, nécessitent la prise en compte de pénalités d'avance et de retard pour modéliser les coûts de stockage et de retard. Illustrons notre propos par une citation de Taiichi Ohno, patron de TOYOTA: « Il n'y a pas de pire gaspillage que de produire quelque chose dont on n'a pas besoin immédiatement et de le stocker dans un entrepôt. ».

Ces critères ont été relativement peu étudiés et les premières études montrent que ces problèmes sont

très difficiles. Le problème de base sur une machine est le suivant:

Soient n jobs non interruptibles devant être exécutés par une machine; on connaît pour chaque job sa durée $p(i)$, la date préférée $o(i)$ de son début, le coût unitaire $a(i)$ (respectivement $r(i)$) d'avance (respectivement de retard) par rapport à la date $o(i)$. Le problème consiste à déterminer un ordonnancement des n jobs de coût minimum, c'est-à-dire à attribuer à chaque job une date de début d'exécution de telle sorte que la contrainte de ressource soit satisfaite (pas de chevauchement des intervalles d'exécution des jobs) et que la somme des coûts (d'avance ou de retard) de chaque job soit minimale.

Finalités et objectifs du projet.

L'objectif visé final est de pouvoir intégrer dans les bibliothèques d'ordonnancement des outils logiciels permettant la résolution de ce type de problèmes. En pratique, ceci n'est rentable que si l'on est capable de résoudre des problèmes de plusieurs dizaines de jobs.

Pour atteindre cet objectif, il est indispensable d'obtenir des résultats théoriques nouveaux sur: les bornes inférieures, les règles de dominance, les règles de branchement... De tels résultats seraient l'objet de

publications dans des revues internationales de Recherche Opérationnelle de haut niveau.

Pour valider l'approche théorique, nous développerons un prototype logiciel fondé sur une méthode Branch and Bound écrit sous ILOG-SCHEDULER¹.

1. ILOG est à l'heure actuelle le leader sur le marché des composants logiciels d'optimisation.

Importance du projet pour le LIP6.

A l'image des travaux de J. Carlier et E. Pinson pour le problème à une machine et critère régulier, aujourd'hui intégrés dans tous les logiciels de résolution du problème du job-shop, l'atteinte de notre objectif conduirait à une large diffusion des résultats obtenus et constituerait une plus-value indéniable pour le LIP6.

Le problème que nous nous proposons de résoudre se situe dans un cadre plus général que ce qui a été fait jusqu'ici par les équipes concurrentes, en particulier

parce que nous ne nous restreignons pas à la prise en compte de coûts d'avance et de retard indépendants des jobs.

De plus notre objectif dépasse très largement le maximum atteint (une vingtaine de jobs) par les plus récentes publications sur le problème.

Du fait de leur généralité, les outils logiciels que nous réaliserons seront utilisables pour un large spectre d'applications, en particulier celles qui apparaissent souvent dans les appels d'offre (E.U.-CNRS).

Certains résultats théoriques antérieurs¹, obtenus dans le cadre de l'approche déterministe des travaux

réalisés sur le précédent projet LIP6 « Systèmes de Production Multiproduits » seront utiles pour atteindre les objectifs proposés.

1. Minimizing the earliness and tardiness cost of a sequence of tasks on a single machine, Ph. Chrétienne, Rapport de Recherche LIP6 1999/007.

SYSTÈME D'EXPLOITATION DES GRANDS LOGICIELS COMPLEXES

Blain Gilles

Greiner Alain
Kordon Fabrice

Maître de conférences, UPMC, (OASIS)

Professeur, UPMC, (ASIM)

Maître de conférences, HDR, UPMC, (SRC)

DESCRIPTION DU PROJET AFM

L'exploitation des grands logiciels dans le domaine de la CAO, de la simulation et plus généralement des calculs numériques complexes est un problème récurrent depuis longtemps (Banque d'algorithmes G. Blain & al IFIP 1975, Normes Modulef (thèse P. Laug dirigée par G. Blain 1982)).

Deux Thèmes du LIP6 sont confrontés à ce type de problème: ASIM avec la chaîne d'aide à la conception des circuits intégrés Alliance et SRC avec l'environnement de Génie Logiciel basé réseaux de Petri dédié à la conception/vérification de systèmes répartis.: CPN-AMI.

Cette dernière équipe a développé un environnement d'exploitation, sous la forme d'une plate-forme d'intégration de modules constitutifs d'une Chaîne: FrameKit. Une telle plate-forme a permis la construction à faible coût d'un logiciel comme CPN-AMI.

Le projet:

Le but de ce projet est de rapprocher les savoir faire relativement exceptionnel de ces trois équipes du laboratoire sur un sujet qui est une préoccupation importante des milieux industriels: L'EDF, Framatome et le CEA lancent cette année un grand projet d'intégration de leurs logiciels de simulation et de pilotage des centrales nucléaires. Rhône-Poulenc se pose le même problème pour ses grands codes de synthèse chimique dans le cadre de la fusion avec Hoesch. Ce projet doit déboucher sur la réalisation d'un environnement de gestion et d'exploitation de composants logiciels hétérogènes au sein de processus plus ou moins complexes et plus ou moins paramétrés. Nous partons de l'expérience de l'équipe de FrameKit et de l'environnement d'exploitation qu'elle a développé, pour définir et implémenter à travers les outils développés par l'équipe Metafor un référentiel de représentation et de mise en œuvre du processus de télé-exploitation de la chaîne Alliance, spécifié par ASIM. Cet environnement doit être exploitable aussi bien en local que sur des clients téléchargeables sur les navigateurs Internet grâce à des protocoles basés sur XML.

Le problème aujourd'hui est d'adapter ces techniques à leurs mises en œuvre dans le WEB à travers Internet pour réaliser un environnement d'exploitation distribuée.

L'équipe ASIM a spécifié les fonctionnalités d'un mécanisme de Télé-exploitation de la chaîne de CAO Alliance (composé de plus de 20 programmes et qui est utilisé par près de 60 sites), qui a fait l'objet d'une proposition de projet à la promotion 2000 du DESS GLA.

L'équipe Metafor démarre dans le cadre de la bourse CIFRE de Jérôme Poirié avec la société StellarX, un travail de fond sur la constitution d'un système de gestion de référentiel. La diffusion et l'utilisation de ses contenus doit s'effectuer grâce aux technologies liées au langage XML. La persistance des éléments du référentiel est réglé par le moteur de base de données objet Versant, un des leaders du marché américain.

Son architecture s'articule autour de quatre éléments représentés dans la figure au-dessus:

- Un poste de travail hébergeable sur les principaux navigateurs du marché, réalisé à l'aide de "parser XML" et d'une bibliothèque d'opérateurs liés au type de poste de travail et correspondant aux balises spécifiques à la représentation tant des composants que des processus d'exploitation.
- Un référentiel supporté par une base de données objet, gérant les descriptifs tant des composants (localisation, interface, contraintes d'exploitation, version, etc.), que des processus d'enchaînement séquentiel ou parallèle d'un ensemble de composants (liste des composants concernés, règles d'enchaînement, variantes, etc.).
- Une plate-forme d'intégration qui gère l'exploitation proprement dite des enchaînements. Conçu à partir de FrameKit elle devra intégrer les mécanismes liés aux standard Corba, mais à terme aussi COM/DCOM et les activX.
- Le gestionnaire de bibliothèque de composants, basé sur les outils standard de Linux, il peut s'appuyer sur les descriptifs du référentiel pour assouplir et faciliter sa maintenance.

Résultats attendus

Le projet a pour but de fournir pour Novembre/décembre 2000 une spécification précise et une maquette probatoire de la faisabilité du système proposé.

Ces résultats permettront de lancer en tant que projet de réingénierie, une activité pédagogique du DESS GLA en collaboration avec l'université de Montréal (Cours de Génie Logiciel de Houari Sarhaoui, ancien thésard de Blain qui vient d'être recruté comme professeur) dans le cadre d'une expérience de Télé-Travail répartie entre les deux populations

d'étudiants, l'installation du référentiel d'Alliance dans le but de permettre sa TéléExploitation sur une plate-forme dérivée de FrameKit.

Cette expérience intéresse au premier chef l'EDF qui est prête à y participer (contacts: Lelievre, responsable qualité de la Direction Recherche et Développement, et Jean luc Dormoy, responsable du service Informatique et Mathématiques de la même direction)

AIDE À LA GESTION DES SERVICES HOSPITALIERS : ANALYSE DE L'ORIGINE DES JOURNÉES NON- PERTINENTES

Blain Gilles

Gonzales Christophe
Huet Bernard
Jaffray Jean-Yves

Maître de conférences, UPMC

Maître de conférences, UPMC

Professeur, Paris XIII/Faculté de Médecine

Professeur, UPMC

DESCRIPTION DU PROJET GESTION DES SERVICES HOSPITALIERS

Ce projet s'inscrit dans le cadre général du développement d'une aide informatisée à la gestion médicale et hospitalière. Le domaine médical est l'un des domaines d'application du groupe MétaFor de G. Blain, auquel appartient B. Huet (prof. U. Paris XIII, CHU Avicenne). Le dossier médical est l'une des cibles du projet MétaGen.

En 1998-1999, B. Huet et le Dr Axelle Menu (alors interne stagiaire) ont abordé le problème des journées d'hospitalisation non-pertinentes, qui est un important facteur d'inefficacité dans le fonctionnement des hôpitaux ; à cet effet, ils ont choisi de commencer par procéder à une observation quotidienne fine, pendant deux mois, de tous les patients d'un service particulier, le service d'Hépatogastro-entérologie et Médecine Interne (HGEMI) de l'hôpital Avicenne. L'outil utilisé pour cette enquête a été le protocole d'évaluation de la pertinence de l'hospitalisation (AEP) ; B. Huet a participé à l'élaboration de l'AEP au sein du projet européen BioMed, puis à celle de sa version française (AEPf).

Il ressortit très vite des données recueillies que les liaisons entre

- les caractéristiques personnelles du patient, sa pathologie et les modalités de sa gestion médicale et administrative, d'une part, et
- un déroulement au moins partiellement non-pertinent de son séjour, d'autre part,

ne relevaient pas d'une modélisation totalement déterministe. Le recours à un modèle probabiliste pour représenter ces liaisons incertaines paraissait particulièrement approprié l'échantillon se prêtant, par son importance (240 patients), à un traitement statistique approfondi.

Il fut donc entrepris, en collaboration avec J.-Y. Jaffray et E. Elizabeth (stagiaire du DEA IRO) la construction d'un modèle prenant la forme d'un réseau probabiliste (dit aussi Bayésien : RB).

Un RB exprime l'existence d'une décomposition de la loi de probabilité jointe d'un ensemble de variables

aléatoires à l'aide d'un graphe dont chaque sommet est une variable et où les arcs indiquent la présence de dépendances stochastiques (conditionnelles). Un RB apporte donc à la fois de l'information qualitative (sur les dépendances/indépendances) par la structure du graphe et de l'information quantitative sur les valeurs des probabilités.

L'analyse des données effectuée a permis de proposer un premier modèle dont la structure n'est toutefois pas encore complètement confirmée ; en effet, toutes les hypothèses paraissant intéressantes n'ont pas encore pu être testées statistiquement ; de plus, l'estimation des probabilités reste à faire. Enfin, le modèle doit encore être validé sur un autre échantillon du même service.

Ce travail complémentaire effectué, nous arriverons au cœur du présent projet : un test de l'universalité du modèle. Il est clair que deux services hospitaliers diffèrent non seulement par les pathologies et leurs processus de gestion médicale et administrative mais encore par les populations de malades, les durées des séjours, etc.. ; il est néanmoins possible que la probabilité qu'un même type de patient (par exemple âgé et sans ressource), soit gardé de façon non-pertinente (dans l'attente d'un foyer d'accueil) soit indépendante du service. Ou encore, que les probabilités diffèrent, mais que du moins les facteurs causaux restent les mêmes. Autrement dit, il est possible qu'un même modèle (une même structure de graphe), avec éventuellement des probabilités conditionnelles différentes, soit acceptable pour tous les services.

L'hôpital Avicenne comprend 18 services cliniques. Il n'est pas concevable que nous recueillions les données nécessaires sur chacun d'eux. Nous proposons, dans un premier temps de tester la validité du modèle construit pour le service HGEMI sur deux autres services. Si ces tests se révèlent positifs, nous demanderons la collaboration d'autres services (d'Avicenne ou d'autres hôpitaux de l'Assistance Publique) pour compléter l'étude.

Finalité du projet (à un an)

Analyse des sources des journées d'hospitalisation non-pertinentes dans un service HGEMI à l'aide d'un RB: détermination de la structure de ce réseau et estimation des probabilités dans le réseau.

Importance du projet pour le LIP6

Ce projet est un projet inter-thèmes mettant en œuvre une technique faisant l'objet d'une recherche active au sein de SYSDEF (les réseaux probabilistes) au service d'une application développée par le groupe MétaFor d'OASIS.

L'outil RB est encore très mal connu des utilisateurs potentiels, surtout en France; cette étude doit contribuer à sa diffusion dans le monde médical en montrant, de surcroît, que le champ des applications n'est pas limité au diagnostic médical. Pour l'équipe de J.-Y. Jaffray et Ch. Gonzales, c'est l'occasion de montrer qu'elle ne s'intéresse pas seulement aux aspects algorithmiques et logiciels des RB mais aussi à la réalisation d'applications.

Quant au groupe MetaFor du thème OASIS, l'équipe développe depuis plusieurs années sa collaboration avec B. Huet sur la mise en œuvre des résultats obtenus lors du projet Européen Fibof dans le milieu mé-

Examen des possibilités d'adaptation du RB précédent aux cas de deux autres services cliniques.

Étude de l'intégration du protocole AEPf et du modèle RB au dossier médical. Diffusion des résultats de ce projet auprès de l'AP-HP et du Min. de la Santé.

dical. Cette collaboration parvient aujourd'hui à un degré de maturation suffisant pour que B. Huet propose à ses institutions de tutelle: Assistance Publique-Hôpitaux de Paris et Ministère de la Santé d'appliquer effectivement les résultats de ces recherches.

Le projet proposé complète les résultats obtenus pour obtenir un environnement opérationnel de gestion et d'évaluation des processus médicaux hospitaliers. L'intégration des résultats obtenus par le projet Européen BioMed (protocole AEPf) auquel B. Huet a participé fournit un atout déterminant pour les propositions que l'équipe MétaFor s'est engagée à faire, en collaboration avec la société StellarX avec laquelle une demande de Bourse Cifre a été demandée, en réponse aux appels d'offre (Programme Hospitalier de Recherche Clinique) que doit lancer le Ministère en février 2000.

PLATE-FORME LOGICIELLE EMBARQUÉE RECONFIGURABLE POUR SATELLITE (PLERS)

Folliot Bertil
Mesaac Makpangou

Professeur UPMC (SRC)
Chargé de recherche INRIA, Rocquencourt (SOR)

ITA-IATOS

Remy Bellenger

Ingénieur de recherche, CNRS, Observatoire de Meudon (DESPA)

Personnel temporaire

Ian Piumarta

Ingénieur contractuel, LIP6 (SRC)

Doctorants présents moins de 80 % du temps au LIP6

Carine Baillarguet
Damien Cailliau

INRIA Rocquencourt & LIP6 (Folliot 98)
Observatoire de Meudon (Baglin 98)

DESCRIPTION DU PROJET PLERS

La reconfiguration depuis le segment sol de logiciel embarqué à bord d'un satellite est un mécanisme difficile, réalisé le plus souvent "brutalement" par le remplacement de code binaire en cas d'urgence. Elle est rest esévèrement limitée, par exemples, pas de "retour en arrière" possible ou pas de changement de fonctionnalités.

La grande rigidité de ces logiciels embarqués peut provoquer la perte des satellites, ce qui a un coût énorme financier et temporel. De plus, pendant la durée du transfert d'une sonde planétaire vers sa destination, la recherche scientifique peut obtenir de nouveaux résultats (algorithmes, modèles théoriques) qui sont quasiment impossible à intégrer à la volée. Le satellite ne peut donc plus prendre en compte les avancées scientifiques une fois lancé. Enfin, la durée de vie des satellites dépasse souvent celle de la mission scientifi-

que. La encore, la rigidité du logiciel embarqué ne permet pas de charger, à un coût dérisoire, de nouvelles missionsscientifiques.

Ce projet vise à développer une plate-forme reconfigurable pour satellite, et plus particulièrement pour le satellite français COROT. En effet, du fait de sa mission scientifique, le satellite COROT se trouve dès sa conception dans un des cas cités précédemment. Les modèles théoriques actuels pour la mission scientifique ne sont pas assez précis pour développer le logiciel embarqué. Le satellite COROT sera donc lancé avec un logiciel qui ne sera pas le logiciel final. Une fois sur place, les données récoltées par COROT permettront d'affiner le modèle théorique (voire d'en changer) et de programmer au sol le logiciel de la mission scientifique. Il est donc péremptoire de pouvoir reconfigurer le logiciel embarqué.

FINALITÉ DU PROJET

Contexte du projet

Projet COROT

Groupe de développement logiciel vol - COROT-Log

COROT - COvection ROTation et Transits planétaires - est un satellite d'astrophysique français dont le lancement est prévu en 2004, pour une durée d'opérations de deux ans et demi. COROT est l'une des expériences sélectionnées pour le programme de petites missions du CNES, utilisant la plate-forme PROTEUS, développée par Alcatel.

La mission regroupe deux objectifs scientifiques, tous deux premières mondiales:

- Un programme astérosismologique: mesure de la convection de l'enveloppe et de la rotation du cœur

d'étoiles par détection d'oscillations dans le flux de photons. Pour obtenir l'information désirée, le programme alignera 5 séquences de mesures de 150 jours, chacun mesurant le flux de 10 étoiles. Ce programme requiert une très haute stabilité de pointage ainsi qu'un cycle efficace de 80 % sur 150 jours.

- Un programme de détection de planètes extrasolaires: la méthode du transit est utilisée. Elle consiste à mesurer la variation du flux de photons d'une étoile provoquée par le passage d'une planète dans l'axe étoile-satellite. Cinq séquences de

150 jours de mesures permettront chacune de mesurer le flux de 12000 étoiles.*

Reconfiguration de logiciels spatiaux - Besoins et contraintes

Besoins

Fautes matérielles et humaines :

Les satellites et sondes spatiales souffrent souvent de malfunctions et de pannes dues à l'environnement sévère dans lequel ils évoluent : vibrations au lancement, impacts de protons. Certaines de ces pannes peuvent être contournées en adaptant le logiciel de pilotage à la nouvelle situation. Par ailleurs, la difficulté d'interaction et l'éloignement du système en poste rendent très délicate toute opération de maintenance du logiciel. Mettre à jour, modifier le logiciel ou corriger des erreurs humaines de contrôle reste néanmoins nécessaire - 100 % de fiabilité et de tolérance aux fautes est un but évident mais rarement atteint dans le développement de logiciels embarqués. De plus, la perte irrémédiable de matériels (d'espace mémoire due à un bombardement de protons ou de divers capteurs) pourrait être prise en compte au sol, pour reconfigurer le logiciel et ainsi pouvoir poursuivre la mission en mode dégradé. De telles modifications de logiciel permettraient d'éviter de perdre entièrement des systèmes très onéreux.

Evolution et réutilisation :

Une autre classe de justification pour l'évolutivité des logiciels spatiaux réside plus au niveau fonctionnel. Les durées de transfert des sondes planétaires (un

Contraintes

La situation particulière des logiciels embarqués en milieu spatial impose un certain nombre de contraintes. Tout d'abord l'absence de réelles interactions entre le segment sol et l'instrument : COROT offre 2 à 4 brefs contacts par jours, permettant uniquement l'envoi vers le satellite d'un volume de 140 kbits. La capacité du lien descendant est de 500 Mbits par jour,

Ebauche de solution

Cette technique devra être simple à mettre en œuvre, avoir peu d'impact sur l'architecture et la conception du logiciel (la reconfiguration ne doit pas être la contrainte de conception dominante), être peu intrusive et ne pas remettre en cause les modes de développement et de programmation usuels de manière à être facilement utilisable.

Il est également primordial que les reconfigurations aient peu d'impact sur le déroulement du logiciel, donc de permettre un certain dynamisme. Le logiciel COROT est un logiciel essentiellement concurrent et temps réel. Il s'articule donc autour d'un noyau mul-

survol de Pluton nécessiterait un voyage de 10 ans), ainsi que la durée de vie des satellites (le matériel reste souvent utilisable au-delà de la durée d'opération prévue, lorsque l'ensemble des objectifs scientifiques ont été remplis) permettrait de faire évoluer les logiciels embarqués de manière à les faire bénéficier des évolutions scientifiques ou de leur apporter de nouvelles fonctionnalités (résultant de réorientations des objectifs, de prise en compte de nouveaux résultats ou d'ajout de capacités). La réutilisation de satellite permettrait de continuer des missions à un coût dérisoire. Tout ceci n'est valable que si ces logiciels sont évolutifs, reconfigurables et sûrs.

Justification pour COROT :

Dans le cadre de COROT, les traitements embarqués ont pour rôle d'assurer une réduction du volume de données transmises au sol avec un minimum de perte d'information. Ces traitements sont basés sur des hypothèses sur la magnitude des perturbateurs, hypothèses elles-mêmes basées sur des modèles théoriques. Cependant, ces modèles n'ont pas été confrontés aux conditions réelles de la mission. Il est donc nécessaire de pouvoir modifier ou supprimer ces algorithmes, voire d'en ajouter au cas où la réalité en orbite s'écarterait de ces modèles.

essentiellement monopolisée par les données scientifiques. Ce manque d'interactivité impose que le flot d'information "non utile" (autre que les données) soit le plus faible possible. En outre, il est nécessaire que toute opération puisse être exactement réversible de manière à éviter les modifications définitives.

titâche temps réel du commerce - l'usage d'un produit COTS est une contrainte système.

La technique développée doit permettre la reconfiguration au niveau fonction (ajout suppression, modification de fonctions utilisées par les diverses tâches) et au niveau tâche (ajout ou suppression de tâches du système, réorganisation de l'agencement des tâches les unes par rapport aux autres). La solution envisagée consiste en l'élaboration de deux éléments :

- une plate-forme logicielle reconfigurable à bord du satellite, comportant une technique de programmation rendant le logiciel reconfigurable et des services permettant de piloter les reconfigurations,

- un segment sol dédié à la reconfiguration permettant de prévoir les reconfigurations, de les valider, de vérifier leurs impacts sur les caractéristiques temps réel du logiciel et de générer la succession

Plate-forme reconfigurable.

Chaque élément du logiciel qui doit être reconfigurable (fonctions, tâches, canaux de communication) n'est connu du reste du système que par l'intermédiaire de proxies (des tableaux de pointeurs). Un ensemble de services permet de gérer les mises à jour de ces proxies, mais aussi de charger le code nécessaire de la mémoire de stockage (EEPROM) vers la mémoire

Segment sol

La chaîne de planification/activation des reconfigurations s'articule autour de l'ensemble des moyens de développement et de test du logiciel de vol tels que définis lors de la conception de la version initiale d'une part, et, d'autre part de trois applicatifs :

Extracteur de code: son rôle est d'extraire et de mettre en forme l'ensemble du code des nouvelles fonctionnalités que doit intégrer le logiciel. 3. Simulateur d'ordonnement: son rôle est de vérifier que les modifications escomptées sur le logiciel respectent les contraintes temporelles du système. C'est une simulation purement temporelle qui s'appuie sur une description de l'architecture du système (après modifications), des performances du noyau et sur un jeu de stimuli représentatifs de l'environnement du logiciel. 4. 5. Planificateur de reconfiguration: son rôle est de regrouper les buts de reconfiguration souhaités et de générer l'ensemble des commandes (les scripts) permettant d'atteindre ces buts de manière optimisée (optimisation sur le nombre d'opérations, sur l'allocation mémoire des nouveaux éléments, etc.). 6.

Ce dernier applicatif représente l'un des points critiques d'une telle application: quelle est la manière dont vont être codés, acheminés, interprétés et exécutés les besoins de reconfiguration exprimés par l'équipe de suivi de la mission.

Nous proposons de définir le lien sol-bord de manière à ce qu'il s'articule autour d'un langage de configuration CCL (pour COROT Configuration

de commandes nécessaires pour atteindre de manière fiable et optimisée, en un minimum d'opération, les modifications prévues.

d'exécution (SRAM), de vérifier les opérations, de stabiliser l'ensemble du logiciel lors de la reconfiguration. L'ensemble de ces opérations est séquencé par un interpréteur de scripts exécutant la succession de commandes émises par le sol, représentatives des opérations de reconfiguration désirées.

Language) et d'une machine virtuelle. L'interface de ligne de commande accepte des scripts écrits en CCL. Ceux-ci sont compilés et exécutés par une machine virtuelle s'interfaçant avec l'"extracteur de code". La machine virtuelle permet de retourner à l'opérateur, par l'intermédiaire d'une interface fonctionnelle, l'effet de ces commandes sur la configuration; $f(x)$ désigne ces opérations de configuration. Le script est alors traduit en octets, eux-même empaquetés dans le format de télécommande spécifique à COROT, en vue de transmission.

A bord du satellite, les scripts sont reconstruits à partir des paquets de télécommande reçus. Une machine virtuelle similaire à celle du segment sol exécute le script de manière à reproduire exactement la même séquence d'opérations de reconfiguration $f(x)$. Ces opérations sont fournies au gestionnaire de configuration de la plate-forme reconfigurable afin d'être mises en œuvre.

La caractéristique majeure d'une telle conception est que l'interface fonctionnelle vue par l'extracteur de code est la même que celle vue par le gestionnaire de configuration. Ceci facilite grandement la validation et permet des développements indépendants des étapes intermédiaires. La machine virtuelle CCL implémente ainsi une fonction identité entre les commandes entrées (extracteur de code et langage de script) et les opérations de configuration implémentées par le gestionnaire de configuration à bord du satellite.

Positionnement par rapport au contexte national et international

La reprogrammation des logiciels embarqués est pratiquée depuis plusieurs années: deux exemples de reprogrammations effectuées avec succès sont le satellite Soho (ESA/NASA) en 1998 ou plus récemment la sonde Gallileo (NASA) orbitant autour de Jupiter. La technique utilisée est celle du "patch", qui consiste à télécharger de nouvelles instructions machine et d'aller les placer dans la séquence formant le programme en effaçant les instructions à modifier ou en redirigeant le flot d'exécution par des instructions de

saut. Plusieurs insuffisances peuvent être relevées avec une telle technique:

- Même si quelques éléments de flexibilité ont été implémentés, cela reste essentiellement une opération d'urgence basée sur l'intrusion du segment sol, et non une technique de conception et de programmation prévue et étudiée.
- Les modifications ainsi effectuées sont permanentes, toute réversibilité étant difficile à atteindre. L'envoi d'un "patch" affectant par mégarde les

fonctions de survie du satellite peut rendre ce dernier inopérant

- Le logiciel n'a pas été conçu pour intégrer de telles modifications. Ainsi très peu de procédures de vérification, de diagnostic et d'aide à la reconfiguration sont implémentées à bord. Les procédures sol à mettre en œuvre en deviennent très lourdes et contraignantes.
- Seules des modifications au niveau instruction sont possibles. Toute modification au niveau fonctionnel ou même structurel du logiciel est impossible sans télécharger l'ensemble du code compilé, ce

qui est prohibitif vu les contraintes de transmission.

Ainsi, il existe un besoin fort d'une technique de programmation permettant: de réaliser des logiciels spatiaux intrinsèquement reconfigurables, d'alléger les procédures sol, de réduire le flot de données échangées, de fiabiliser l'ensemble des opérations et de modifier le logiciel à un haut niveau fonctionnel. Ce projet est, à notre connaissance, la première tentative de conception d'un logiciel spatial intégrant ce principe.

Bibliographie

- (1) Auvergne M., Baglin A., et l'équipe COROT. Du cœur des étoiles aux planètes habitables, les enjeux de Corot. *Journal des Astronomes Français*, N. 60, p. 27--34, 1999.* * Cailliau D., Bellenger R. The Corotinstrument's software: towards intrinsically reconfigurable real-time embedded processing software in space-borne instruments. *Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on High Assurance System Engineering*, Washington, DC., p. 75--80, Nov. 1999.
- (2) Folliot B., Piumarta I., Riccardi F. A dynamically configurable, multi-language execution platform. *Proceedings of 8th ACM-SIGOPS European Workshop*, Sintra, Portugal, pp. 175-181, Sept. 1998.*