Résumé des contributions scientifiques et techniques

Moëz Cherif [1]

Note au lecteur Les paragraphes suivants présentent une synthèse des points forts de ma contribution scientifique et technique dans les différents thèmes de R&D dans lesquels j'ai travaillé. J'utiliserai dans cette présentation le "nous" sachant qu'une grande partie de mes recherches a été conduite en équipe et que les résultats que j'ai obtenus sont le fruit d'implications proches ou lointaines de plusieurs ingénieurs/chercheurs que j'ai côtoyés.

1 Algorithmique du mouvement *(1991–99)*

Le premier thème concerne les domaines de la modélisation et de l'algorithmique de l'analyse, de la synthèse, et de la planification de mouvement d'objets mobiles autonomes. Mes principaux résultats ont été obtenus dans un contexte où les objets mobiles sont des systèmes mécaniques de type robot évoluant aussi bien dans des environnements intérieurs structurés que dans des milieux extérieurs fortement contraignants. Dans ce dernier cas, nous donnons un intérêt particulier au traitement des interactions de contact et à leur incorporation dans les différents schémas de génération de mouvement. Les domaines de l'animation par ordinateur, de la réalité et du prototypage industriel virtuels constituent aussi des applications potentielles nouvelles où les résultats obtenus peuvent être exploitables.

Mots clés *Raisonnement spatial, analyse/synthèse de mouvement, planification de mouvement, géométrie, cinématique, dynamique, interactions de contact, modèles physiques, simulation dynamique, robotique, algorithme.*

1.1 Locomotion de véhicules tout-terrain *(1991–95, 1998)*

(Travail effectué au sein du projet Sharp, INRIA Rhône-Alpes, en collaboration avec Ch. Laugier.)

Le premier problème que nous avons abordé concerne la planification de mouvement en robotique mobile tout-terrain. Notre activité a été motivée par l'implication du projet Sharp, INRIA, dans le programme RISP-VAP de robotique d'exploration planétaire du CNES, et dans le projet de télé-présence de la région Rhône-Alpes, 1991–94. Disposant de la description de la chaîne mécanique d'un véhicule donné et du terrain sur lequel il doit se déplacer, le problème consiste à *trouver une trajectoire (incluant les vitesses et les couples à appliquer sur les roues) le long de laquelle le véhicule peut bouger de manière autonome afin d'atteindre une position/orientation désirée dans l'environnement.* Notre contribution a porté sur le développement et l'implantation d'une méthode de planification qui a l'originalité de prendre en compte plusieurs facteurs liés à la dynamique du véhicule, à la mécanique du terrain, et aux interactions roues/sol. Nous avons introduit, dans le paradigme de la planification de mouvement, des représentations nouvelles basées sur le concept de *modèles physiques* qui permettent d'appréhender de manière uniforme plusieurs phénomènes physiques liés à la présence de fortes interactions de contact (exemple : rigidité/déformation et mobilité des composants du sol, frottement de contact, etc.). En plus des contraintes géométriques classiques de type évitement d'obstacles géométriques et non-renversement du véhicule, le planificateur traite de diverses contraintes dynamiques et cinématiques de contact (exemple : accélérations et forces/couples mis en jeu, manoeuvres, frottement, roulement/glissement/patinage des roues, etc.). L'implantation de l'algorithme a donné lieu à un premier prototype (nommé DYNAMOVE) écrit en langage C.

[1] Ingénieur expert, Projet VASY, INRIA Rhône-Alpes, 655 avenue de l'Europe, 38331, Montbonnot St-Martin, France. (E-mail: `Moez.Cherif@inrialpes.fr`.)

1.2 Manipulation dextre par mains articulées *(1995–99)*

(Travail effectué en collaboration avec K. K. Gupta de l'Université Simon Fraser, B.C. Canada. Une partie de ce travail a été menée au sein du projet Sharp, INRIA Rhône-Alpes.)

Le deuxième problème concerne la manipulation dextre par main artificielle articulée à plusieurs doigts. Étant données les descriptions d'un objet rigide 3-D (polyèdres ou objets à surface lisse) et de la chaîne cinématique d'une main articulée, il s'agit de *trouver une trajectoire des (bouts des) doigts (incluant les positions/orientations et les forces de contact) permettant de manipuler l'objet et de le ramener vers une position/orientation désirée (ou un sous-ensemble de ce vecteur)*. Les difficultés de ce problème résident dans la présence d'un grand nombre de degrés de liberté (i.e., articulations des doigts, contacts mobiles, glissements, roulements), la cinématique du système main-objet qui est non trivial (fort couplage entre les déplacements et les vitesses des doigts et de l'objet), et la non-linéarité de certaines contraintes (e.g., frottement au contact, mouvements quasi-statiques de précision). L'algorithme que nous avons développé traite ces aspects et résout le problème énoncé dans des temps raisonnables. L'algorithme se base sur un schéma hiérarchisé permettant d'organiser le processus de recherche en plusieurs niveaux et de combiner différentes méthodes d'exploration et de génération de mouvement (e.g., recherches classiques dans des graphes, techniques d'échantillonage et de recherche aléatoires, solution inverse pour la génération des déplacements, utilisation de stratégies dérivées de la manipulation humaine, programmation linéaire pour l'analyse du comportement quasi-statique du système). Cette organisation hiérarchisée a permis de pallier de manière effective la grande dimensionalité des espaces de solutions (espaces des configurations et de contrôle) et de contourner les non-linéarités du problème. A notre meilleure connaissance, notre algorithme est le premier à traiter de la planification et de la génération *globales* de trajectoires dextres. L'implantation de l'algorithme a donné lieu à un premier prototype (nommé DEXTMANIP) écrit en langage C et utilisant la librairie OpenGL pour la visualisation graphique. Le travail de développement autour de ce prototype se poursuit avec l'équipe de K. K. Gupta.

1.3 Préparation de tâches de manutention dans des sites industriels *(1996–97)*

(Travail effectué au sein du projet Sharp, INRIA Rhône-Alpes, en collaboration avec M. Vidal et Ch. Laugier.)

Motivé par une problématique qui nous a été proposée par EDF en 1997, notre troisième activité a concerné l'utilisation de la planification de mouvement comme outil pour la préparation interactive et l'organisation spatiale de tâches de manutention d'objets dans des installations industrielles. Les difficultés de ce problème sont liées au fait que les opérations de manutention sont effectuées par plusieurs engins mobiles (autonomes ou télé-opérés) et que le site est évolutif (i.e., le nombre et la disposition des objets dans l'environnement sont variables dans le temps). La problématique multi-robots classique se trouve enrichie de la contrainte d'évolutivité du site et du problème de bien gérer la séquentiellité des différentes opérations. Notre contribution porte sur le développement d'un outil (interactif) de préparation et d'organisation spatiale de tâches de manutention dans le plan. Une attention particulière a été portée sur l'aspect interactif et donc à la nécessité de converger vers des temps de réponse quasi-réels du système. Notre contribution a été de formaliser et de développer la notion de *roadmap étiquetée* qui permet de factoriser les informations concernant la topologie des espaces libres des différentes structures mobiles et de les représenter dans une seule structure de graphe (i.e., la roadmap). Une fois obtenue, cette roadmap permet de planifier en-ligne les déplacements des mobiles et surtout de gérer facilement et rapidement l'évolutivité de l'environnement (qui se traduit par la détection et la réparation des portions de la roadmap invalidées par les opérations de dépôt et de retrait d'objets) et la coordination des mouvements simultanés de plusieurs mobiles (y compris la gestion des inter-blocages possibles et la coopération). Le système de préparation de tâches de manutention a été implanté en langage C++ dans le cas de tâches de manutention effectuées dans le plan.

2 Validation de systèmes distribués *(1999–2000)*

Le deuxième thème dans lequel j'ai travaillé est celui du développement d'outils basés sur les méthodes formelles pour la validation de systèmes informatiques distribués. En particulier, je me suis impliqué dans deux activités de R&D complémentaires : (1) la simulation de systèmes concurrents avec objectif l'aide à la correction d'erreurs, et (2) la minimisation de systèmes de transitions étiquetées décrivant le comportement des systèmes distribués considérés.

Mots clés *vérification de programmes, méthodes formelles, model checking, simulation, validation de systèmes, systèmes distribués, minimisation de graphes, relations de simulation et de bisimulation, algorithmes.*

2.1 Simulation de systèmes distribués *(1999–2000)*

(Travail effectué au sein du projet VASY, INRIA Rhône-Alpes, en collaboration avec H. Garavel.)

Il s'agit de développer un outil qui permet de munir l'utilisateur de plusieurs fonctions de visualisation et d'aide à la correction d'erreurs pendant la phase de mise au point de descriptions formelles de systèmes comportant du parallélisme et de la communication asynchrone entre tâches. Plus précisément, cet outil, baptisé Ocis (Open/Caesar Interactive Simulator), est destiné à être applicable à tout système pour lequel une spécification dans le langage Lotos existe. Parmi les principales fonctions, nous pouvons citer : la visualisation et la manipulation de scénarios de simulation, la visualisation de communications entre processus parallèles (envoi/réception de messages, rendez-vous, diffusion, etc.), la navigation manuelle (pas à pas) et automatique dans l'automate décrivant le système, le traitement des temporisations dans les systèmes simulés (i.e., le temps global quantitatif, les attentes sur un événement, les actions urgentes, etc.), le suivi d'exécution et le retour sur code pour la correction d'erreurs, et la re-compilation en-ligne des programmes Lotos. Notre contribution a consisté en la correction et l'amélioration d'un premier prototype de Ocis écrit au sein du projet VASY (y compris la robustesse et les temps de réponse), et le développement de nouvelles fonctions dont certaines sont citées ci-dessus. Ocis est implanté par deux processus parallèles communicants. Le premier processus, écrit en C, constitue le noyau du simulateur et utilise les bibliothèques Open/Caesar afin d'interagir avec l'automate résultant de la compilation de la spécification Lotos du système. Le deuxième, écrit dans un langage de script (Tcl/Tk/Tix), implante l'IHM. Le travail de développement de Ocis se poursuit.

2.2 Minimisation de systèmes de transitions étiquetées *(1999)*

(Travail effectué au sein du projet VASY, INRIA Rhône-Alpes, en collaboration avec H. Garavel, et H. Hermans de l'Université de Twente (H).)

Cette activité s'inscrit dans la continuité des efforts du projet VASY pour l'amélioration de son environnement Bcg (bibliothèques logicielles pour le stockage et la manipulation de systèmes de transitions étiquetées). Plus particulièrement, nous avons contribué à l'implantation d'un nouvel outil de minimisation de graphes. Cet outil, baptisé Bcg_min, implante et combine divers algorithmes de minimisation basés sur des relations d'équivalence (de type bisimulation) forte et de branchement. En plus des systèmes de transitions standards (i.e., dont les étiquettes sont de type Get, Put, τ, etc.), Bcg_min traite des systèmes ayant la particularité de contenir des transitions étiquetées par des probabilités. La première version de Bcg_min, écrite en C, a été testée sur plusieurs types de systèmes de transitions dont des graphes de très grande taille (ayant quelques dizaines de milliers de transitions et d'états) et fait déjà partie de la dernière *release* de la boîte à outils Cadp à laquelle le projet VASY contribue.