

Knowledge Compilation for Online Decision-Making: Application to the Control of Autonomous Systems

Abstract: Controlling autonomous systems requires to make decisions depending on current observations and objectives. This involves some tasks that must be executed online—with the embedded computational power only. However, these tasks are generally combinatorial; their computation is long and requires a lot of memory space. Entirely executing them online thus compromises the system's reactivity. But entirely executing them offline, by anticipating every possible situation, can lead to a result too large to be embedded. A tradeoff can be provided by knowledge compilation techniques, which shift as much as possible of the computational effort before the system's launching. These techniques consist in a translation of a problem into some language, obtaining a compiled form of the problem, which is both easy to solve and as compact as possible. The translation step can be very long, but it is only executed once, and offline. There are numerous target compilation languages, among which the language of binary decision diagrams (BDDs), which have been successfully used in various domains of artificial intelligence, such as model-checking, configuration, or planning.

The objective of the thesis was to study how knowledge compilation could be applied to the control of autonomous systems. We focused on realistic planning problems, which often involve variables with continuous domains or large enumerated domains (such as time or memory space). We oriented our work towards the search for target compilation languages expressive enough to represent such problems.

In a first part of the thesis, we present various aspects of knowledge compilation, as well as a state of the art of the application of compilation to planning. In a second part, we extend the BDD framework to real and enumerated variables, defining the interval automata (IAs) target language. We draw the compilation map of IAs and of some restrictions of IAs, that is, their succinctness properties and their efficiency with respect to elementary operations. We describe methods for compiling into IAs problems that are represented as continuous constraint networks. In a third part, we define the target language of set-labeled diagrams (SDs), another generalization of BDDs allowing the representation of discretized IAs. We draw the compilation map of SDs and of some restrictions of SDs, and describe a method for compiling into SDs problems expressed as discrete continuous networks. We experimentally show that using IAs and SDs for controlling autonomous systems is promising.

Keywords: knowledge compilation, planning, BDD, automata, model-checking, CSP

Compilation de connaissances pour la décision en ligne : application à la conduite de systèmes autonomes

Résumé : La conduite de systèmes autonomes nécessite de prendre des décisions en fonction des observations et des objectifs courants : cela implique des tâches à effectuer en ligne, avec les moyens de calcul embarqués. Cependant, il s'agit généralement de tâches combinatoires, gourmandes en temps de calcul et en espace mémoire. Réaliser ces tâches intégralement en ligne dégrade la réactivité du système ; les réaliser intégralement hors ligne, en anticipant toutes les situations possibles, nuit à son embarquabilité. Les techniques de compilation de connaissances sont susceptibles d'apporter un compromis, en déportant au maximum l'effort de calcul avant la mise en situation du système. Ces techniques consistent à traduire un problème dans un certain langage, fournissant une forme compilée de ce problème, dont la résolution est facile et la taille aussi compacte que possible. L'étape de traduction peut être très longue, mais elle n'est effectuée qu'une seule fois, hors ligne. Il existe de nombreux langages-cible de compilation, notamment le langage des diagrammes de décision binaires (BDDs), qui ont été utilisés avec succès dans divers domaines de l'intelligence artificielle, tels le model-checking, la configuration ou la planification.

L'objectif de la thèse était d'étudier l'application de la compilation de connaissances à la conduite de systèmes autonomes. Nous nous sommes intéressés à des problèmes réels de planification, qui impliquent souvent des variables continues ou à grand domaine énuméré (temps ou mémoire par exemple). Nous avons orienté notre travail vers la recherche et l'étude de langages-cible de compilation assez expressifs pour permettre de représenter de tels problèmes.

Dans la première partie de la thèse, nous présentons divers aspects de la compilation de connaissances ainsi qu'un état de l'art de l'utilisation de la compilation dans le domaine de la planification. Dans une seconde partie, nous étendons le cadre des BDDs aux variables réelles et énumérées, définissant le langage-cible des « interval automata » (IAs). Nous établissons la carte de compilation des IAs et de certaines restrictions des IAs, c'est-à-dire leurs propriétés de compacité et leur efficacité vis-à-vis d'opérations élémentaires. Nous décrivons des méthodes de compilation en IAs pour des problèmes exprimés sous forme de réseaux de contraintes continues. Dans une troisième partie, nous définissons le langage-cible des « set-labeled diagrams » (SDs), une autre généralisation des BDDs, permettant de représenter des IAs discrétisés. Nous établissons la carte de compilation des SDs et de certaines restrictions des SDs, et décrivons une méthode de compilation de réseaux de contraintes discrets en SDs. Nous montrons expérimentalement que l'utilisation de IAs et de SDs pour la conduite de systèmes autonomes est prometteuse.

Mots-clefs : compilation de connaissances, planification, BDD, automates, model-checking, CSP