

La planification de tâches et de mouvements pour un robot humanoïde dans une cuisine.

Fabien Gravot, Masayuki Inaba
Université de Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo
Tel. : 03 5841 7415 - Fax. : 03 5689 7279
E-mail : fabien@jsk.t.u-tokyo.ac.jp

Résumé :

Ce papier présente un travail qui mène sur le chemin du vieux rêve du robot aide ménager. Un robot humanoïde va coopérer avec un utilisateur afin de cuisiner de simples recettes. Le système va combiner des tâches prédéfinies et des dialogues afin de trouver un plan où robot et utilisateur s'entraident.

Le problème de la cuisine permet de mettre en valeur une grande variété d'actions possibles. Ainsi la nécessité de choisir et d'ordonner ces actions se fait plus pressante. Pour ce problème, les planificateurs de tâches peuvent pleinement être utilisés pour accroître les capacités de raisonnement des robots. De plus ceux-ci doivent aussi posséder des planificateurs de mouvement capables de fonctionner sur ces plans générés. Nous allons particulièrement parler de ces deux types de planifications.

Abstract :

This paper presents a work toward the old dream of the housekeeping robot. One humanoid robot will cooperate with the user to cook simple dishes. The system will combine predefined tasks and dialogues to find a plan in which both robot and user helps each other in the kitchen.

The kitchen problem allows the demonstration of a large variety of actions, and then the necessity to find and plan those actions. With this problem the task planner can be fully used to enhance the robot reasoning capacity. Furthermore the robot must use also motion planning to have general procedure to cope with the action planned. We will focus on the planning problems.

Introduction :

Ce papier présente un travail qui mène au chemin du vieux rêve du robot aide ménager. Ce rêve est d'autant plus important que l'on travail avec des robots humanoïdes. Ceux-ci ont en effet été conçu pour pouvoir travailler dans le même environnement que les êtres humains, sans ajout d'artéfacts extérieurs. Ils peuvent donc utiliser les mêmes instruments que les êtres humains et se déplacer dans une maison non aménagée.

Par contre, si leurs capacités mécaniques leur permettent de travailler dans une cuisine, il n'en est pas de même de leurs capacités de raisonnement. Un environnement domestique est aussi synonyme d'imprécisions, d'incertitudes, d'objets difficilement reconnaissable et surtout d'une très grande variété d'actions et de choix à faire. A l'heure actuelle, il semble encore impossible qu'un robot puisse cuisiner par lui-même dans une cuisine quelconque.

Nous allons donc parler d'un robot qui va aider à faire la cuisine dans un environnement connu. Nous avons travaillé principalement en simulation afin de ne pas se focaliser sur les algorithmes de perception, mais plutôt sur ceux de planification. Le robot va aider à faire la cuisine, mais pas tout faire. Il demandera de l'aide et coopérera avec l'utilisateur pour résoudre les tâches qu'il n'arrive pas à accomplir seul. Cela va permettre d'avoir un système utilisable sans avoir à attendre d'avoir résolu l'ensemble des actions possibles et imaginables qui peuvent avoir lieu dans une cuisine.

Comme le nombre d'actions élémentaires est élevé : marcher, couper, porter, prendre, mélanger, ... Il faut en plus les choisir et les ordonner. Le problème de la cuisine permet de mettre en valeur

l'importance d'un planificateur de tâche qui va servir à trouver un plan d'actions élémentaires pour réaliser une recette donnée. Nous allons tout d'abord nous focaliser sur cette planification de tâche et la caractérisation des actions élémentaires.

Afin d'accomplir les tâches demandées nous utilisons un robot humanoïde HRP2 ayant 2 bras à 7 degrés de liberté. Même si 6 degrés de libertés sont suffisant pour pouvoir positionner un objet dans l'espace (position x, y, z et attitude θ, ϕ, ψ), un 7ème degré de liberté permet d'avoir une plus grande zone effective. En effet, la plus part des bras robotisés industriel à 6 axes peuvent manipuler des objets principalement dans une demi-sphère qui pour un robot humanoïde serait sur le coté. L'être humain, comme le robot humanoïde, a besoin d'au moins 7 degrés de liberté pour pouvoir manipuler de façon aisée des objets de face. Par contre, là où pour une position et une attitude données il n'y avait qu'une seule solution, il y a maintenant une infinité de possibilités.

De plus on ne veut pas toujours fixer à la fois position et attitude. Par exemple quand on porte un verre on veut juste le maintenir vertical (2 degrés de liberté), un livre ne donne pratiquement pas de contrainte. Par contre au moment de la saisie, c'est parfois 6 degrés de libertés qui sont figés. Ouvrir un tiroir ou une porte ne laisse qu'un degré de liberté.

En fonction des problèmes les contraintes pour trouver un mouvement sans collision sont différentes. La résolution de ces problèmes sera expliqué dans la partie 3.

Enfin il existe des mouvements où le but n'est pas la position finale, mais le mouvement en lui même. Ces mouvements n'apparaissent pas pour les problèmes classiques de la robotique, mais sont nombreux pour la cuisine. On peut notamment citer : malaxer, battre, couper, ... Ces mouvements ne peuvent pas être trouvés dans le cadre classique de la planification de mouvement (partie 4).

Ce papier ce focalise sur les problèmes de planification de tâche, puis de mouvement pour finir par discuter de l'importance de l'interaction homme robot.

1> Architecture Générale

Notre but ici est de réaliser un système suffisamment général pour pouvoir traiter une grande variété de problèmes. Toutefois afin de garder ce système efficace un certain nombre de procédures spécifiques au problème de la cuisine sera introduit.

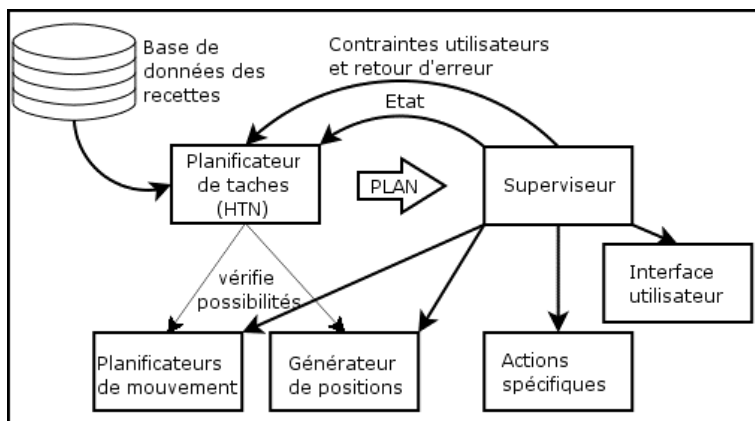


Figure 1 : Architecture générale du système

La figure 1 présente l'architecture générale du système. Une recette est choisie comme mission. Elle peut être considérée comme un plan partiellement ordonné de tâches de haut niveau. Le planificateur de tâche va alors pouvoir l'affiner en actions exécutables par le robot en accord avec l'état du système et des contraintes additives. Les contraintes additives résultent de choix fait par l'utilisateur et de retour d'échec dans l'application des actions exécutables.

Afin de produire un plan valide le planificateur de tâche vérifie la faisabilité des actions les plus immédiates à l'aide des planificateurs de mouvement et du générateur de position.

Ce plan est alors pris en charge par le superviseur qui va essayer de l'appliquer. Le superviseur peut demander au planificateur de tâches de générer un nouveau plan dans 3 cas :

- Changement au niveau symbolique de l'état. Un changement au niveau symbolique représente une modification significative, par exemple ouvert ou fermé, mais pas un changement de position.
- Changement des contraintes par l'utilisateur. Cela provient des interactions homme-robot.
- Ajout de contraintes d'erreur. Le robot se trouve incapable d'accomplir une action qu'il a planifiée. Il faut alors trouver un autre plan.

Pour exécuter les actions élémentaires, le superviseur fait en outre appelle aux modules d'interaction avec l'utilisateur, de planification de mouvement générique et spécifique à la cuisine.

2 > Planificateur de tâches.

Le planificateur de tâches a pour but de trouver une séquence d'actions élémentaires qui permet de réaliser une recette donnée. Chaque tâche de la recette peut être décomposée en sous-tâches de niveau inférieur. Par exemple « mélanger 100g de sucre et 100g de beurre » peut être décomposé en : « mettre 100g de sucre dans X », « mettre 100g de beurre dans X », « mélanger le contenu de X ». De même une sous-tâche peut être encore raffinée. Nous pouvons introduire des connaissances au niveau du planificateur sous forme d'une hiérarchie de tâches.

De plus il peut exister plusieurs méthodes de résolution pour une tâche donnée. En fait il existe toujours au moins une méthode qui est de demander à l'utilisateur d'accomplir la tâche à la place du robot.

Pour ces raisons nous avons choisi une représentation HTN « Hierarchical Task Network ». Les planificateurs de tâches HTN ont été étudiés pendant près de 30 ans par la communauté de l'Intelligence Artificielle [8] et continue à s'attaquer à des problèmes de plus en plus complexe [6,7].

Les planificateurs HTN sont basés sur la décomposition en sous-tâches jusqu'à l'obtention d'actions élémentaires qui peuvent être exécutées par le système. Cette décomposition est définie par l'utilisateur et constitue une base de connaissance propre au domaine d'application (ici la cuisine). Bien entendu cette décomposition n'est pas unique et le planificateur va essayer de trouver les méthodes applicables.

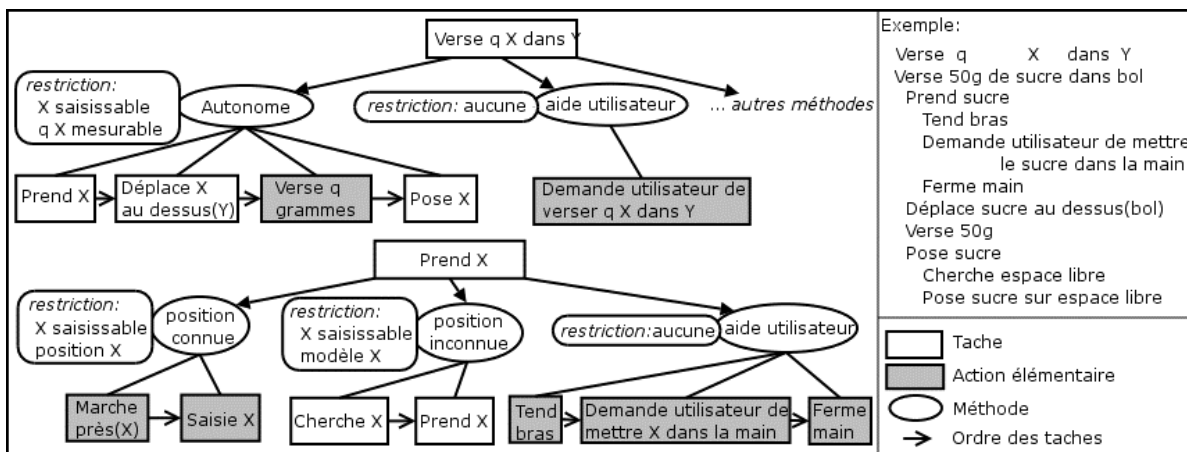


Figure 2 : Représentation des tâches hiérarchiques

Comme le montre la figure 2, chaque méthode décrit l'ensemble des sous-tâches qui la compose ainsi que les restrictions quand à son application. Pour valider une tâche le planificateur choisit une méthode applicable et essaie de valider les sous-tâches qui la composent. Cette validation de sous-tâches va elle aussi entraîner le choix d'une autre méthode comme le montre la figure 2. Et ceci,

jusqu'à l'obtention d'actions élémentaires. Si une sous-tâche se révèle non faisable, alors le planificateur revient sur ses choix précédents et essaie une autre méthode.

Nous avons aussi ajouté des poids à ses méthodes en fonction de leur intérêt. En effet il est toujours possible de demander à l'utilisateur de tout faire, mais cela est peu intéressant. Les méthodes autonomes doivent être favorisées, même si elles aboutissent à un plan plus long.

3 > Actions élémentaires

Le planificateur décompose les tâches jusqu'à l'obtention « d'actions élémentaires ». Ce sont ces actions uniquement qui vont composer le plan solution. Pour le problème de la cuisine nous utilisons 4 catégories d'actions élémentaires :

- Action de mouvement : prendre, bouger,... Elles utilisent les planificateurs de mouvement (§4).
- Action spécifique : se sont des actions de mouvement, mais elles ne sont pas planifiées. Elles peuvent être liée à un capteur : capteur de force pour peser les ingrédients, caméra pour chercher un objet, ... Elles peuvent aussi avoir un sens de par la trajectoire et non le but final : mixer, couper, ... C'est un ensemble de procédures spécifiques qui ne peuvent pas entrer dans le cadre générale de la planification de mouvement (§5).
- Action d'interaction : action de dialogue avec l'utilisateur pour demander son aide ou l'informer (§6).
- Action temporelle : mesure du temps, attendre.

Toutes les actions élémentaires ont une description symbolique, mais aussi une fonction qui peut être exécutée par le robot. La description symbolique permet au planificateur de tâches de trouver rapidement un plan applicable. La fonction est utilisée par le superviseur pour agir effectivement sur l'environnement.

5 > Planification de mouvement.

Le plan trouvé par le planificateur de tâche ne produit que des actions décrites au niveau symbolique. Pour agir sur l'environnement il faut encore calculer les mouvements au niveau géométrique. Ces mouvements sans collision vont dépendre des positions des objets et du robot. La planification de mouvement permet justement de trouver une trajectoire sans collision pour atteindre un but donné.

La planification de mouvement pour un robot humanoïde n'est pas très simple. Même si beaucoup de travaux se sont intéressé au problème de la marche [3, 5], peu portent sur la planification de mouvement du robot dans son ensemble. Celle-ci représente un formidable challenge :

- Grand nombre de degrés de liberté.
- Contraintes : verre à la vertical, poigné de tiroir, ...
- Equilibre du robot.

Pour cela nous utilisons une version de RRT-Connect [4] qui permet de générer des mouvements sans collision auquel nous avons ajouté de nouvelles possibilités de contraintes.

Ce planificateur étant complexe, nous utilisons aussi un planificateur spécialement dédié au problème de la marche (2D), et un autre pour le positionnement des pieds (2.5D). L'utilisation de plusieurs planificateurs spécialisés permet d'accélérer cette étape. Surtout que le choix de l'utilisation de tel ou tel planificateur peut être spécifié dans les actions élémentaires.

En plus du planificateur de mouvement, nous avons aussi développé un générateur de position intermédiaire. Même si certaines actions ont des buts prédéterminés tel que tendre la main, généralement les buts correspondent à la saisie d'objets aux positions non fixées.

Pour résoudre ce problème le générateur de position se base sur un ensemble pré-généré de configurations stables. Il procède comme suit :

- 1) Sélection aléatoire d'une configuration pré-générée stable avec une hauteur de main similaire à la hauteur de l'objet.
- 2) Sélection aléatoire de la position (x, y, θ) du robot de manière à avoir la main près de l'objet à saisir.
- 3) Descente du gradient sur la configuration du robot et cinématique inverse [2, 9] pour trouver une configuration en équilibre avec la main saisissant l'objet.
- 4) Test de validité de la configuration : équilibre et collision.

6 > Action spécifique

Après avoir décrit les fonctions utiliser pour la planification de mouvement générique, nous devons souligner l'importance de mouvement propre au domaine de la cuisine. Si marcher ou saisir un objet sont des mouvements que l'on peut planifier de manière générique, « couper », « verser » (figure 3), « mélanger » sont des actions spécifique.

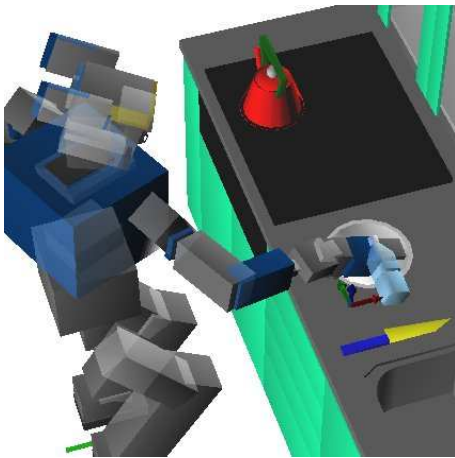


Figure 3 : Verser dans un récipient

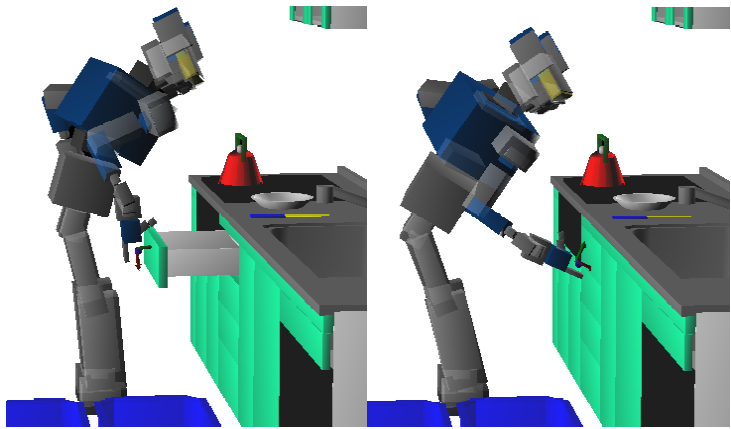


Figure 4 : Ouvrir un tiroir

Par exemple « verser » (figure 3) n'a pas pour but une position donnée, mais une quantité donnée. Le mouvement s'arrête quand le capteur de force du poignet du robot détecte une différence de poids correspondant au paramètre de l'action. « Mélanger » n'a pas non plus de but fixé. Le but est le mouvement lui-même pas la position finale.

Un autre mouvement qui apparaît souvent dans une cuisine est le fait d'ouvrir ou fermer un placard ou un tiroir (figure 4). La plupart des ustensiles ne sont pas présent sur la table à préparation. Ces actions nécessitent souvent de bouger entièrement le robot. Nous utilisons encore la planification de mouvement pour trouver une trajectoire faisable, mais la génération de positions intermédiaires prend en compte à la fois le but et la configuration initiale. Nous générons deux configurations, tiroir ouvert et fermé, avec les étapes 1 et 2 en commun. Nous avons donc une position commune pour les pieds. Cela permet d'éviter de marcher.

7 > Interaction homme machine

L'interaction homme machine est indispensable au système. A l'heure actuelle le robot n'est pas capable d'effectuer par lui-même toutes les actions élémentaires. Comme nous l'avons vu le problème de la cuisine est extrêmement complexe par rapport aux problèmes classiques de robotique de par la variété des actions mise en jeu. De plus, toutes les actions ne peuvent pas être traité de manière générique. Le système que nous avons construit permet d'ajouter facilement de nouvelles fonctions, mais pour commencer le robot a des capacités limitées. En plus la force du

robot peut aussi être un facteur limitant. Il est possible d'imaginer un robot coupant du fromage, mais les carottes ou les pommes demande à la fois plus de force et de contrôle. Enfin les capacités de reconnaissance d'objets sont très limitées.

A cause de ces limitations l'aide de l'utilisateur est encore indispensable. Pour cela nous insérons toujours une méthode de demande d'aide dans la description des tâches de haut niveau. Dans le pire des cas, le robot ne sera donc pas plus mauvais qu'un livre de cuisine.

En plus l'utilisateur peut choisir d'influencer la pondération des méthodes, pour générer des plans où le robot sera plus au moins autonome. Il est donc possible d'avoir un robot didactique pour apprendre à cuisiner.

L'utilisateur peut aussi ajouter des contraintes supplémentaires sur le robot et l'aider quand il fait des choix qui risque d'avoir du mal à assurer. Il peut par exemple forcer le robot à ne pas prendre par lui-même le sucre, surtout s'il a tendance à le confondre avec le sel.

Enfin, il peut rajouter des buts intermédiaires (allumer les lampes, faire une pause, ...) qui peuvent être rajouté à la recette et entrer dans le formalisme de notre architecture.

8 > Conclusion

Nous avons présenté un système où le robot agit à la fois comme guide et assistant. Le caractère générique du planificateur de tâche permet facilement d'affiner ou d'augmenter les capacités du robot pour lui ajouter de nouvelles fonctions. Le système n'a pas été prévu pour avoir des capacités d'apprentissage, mais il est toujours envisageable de l'adapter au goût de l'utilisateur par un apprentissage des poids des méthodes ou d'avoir des fonctions de mimétismes.

Nous avons aussi présenté brièvement les outils que nous avons développés pour la planification de mouvement où l'on combine les points forts de planificateur générique et l'efficacité des applications spécifiques indispensable dans une cuisine.

Enfin nous avons aussi présenté plusieurs méthodes d'interaction homme robot qui nous semblent tirer parti des forces des machines et des hommes. Le robot est précis (connaissance des recettes, mesure de poids, du temps, ...) et peut faire des tâches répétitives. L'être humain est capable de goûter, savourer, apprendre et reconnaître à peu près tout.

La plus part de ce travail a été fait en simulation et notamment la reconnaissance de l'état courant du système par les seuls capteurs du robot reste encore un point très délicat du système.

Références

- [1] A. Sahbani and J. Cortes and T. Simeon. "A Probabilistic Algorithm for Manipulation Planning under Continuous Grasps and Placements", IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2002
- [2] J. Cortes and T. Simeon and J.P. Laumond. "A Random Loop Generator for Planning the Motions of Closed Kinematic Chains using PRM Methods", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002
- [3] K. Hirai. "Current and future perspective of Honda humanoid robot". IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot & System (IROS), 1997
- [4] J.J. Kuffner, S.Kagami, K. Nishiwaki, M. Inaba, and H. Inoue. "Dynamically-stable motion planning for humanoid Robots", Autonomous Robots (special issue on Humanoid Robotics), 12, 2002.
- [5] J.J. Kuffner, K. Nishiwaki, S. Kagami, M. Inaba, H.Inoue. "Motion Planning for Humanoid Robots", Proceeding 11th International Symposium of Robotics Research (ISRR 2003).
- [6] U. Kuter & D. Nau. "Forward-chaining planning in nondeterministic domains". Proceedings of AAAI, 2004
- [7] D. Nau, H. Munoz-Avila, Y. Cao, A. Lotem, and S. Mitchell. "Total-Order Planning with Partially Ordered Subtasks". In IJCAI-2001. Seattle, August, 2001
- [8] E. D. Sacerdoti. "A Structure for Plans and Behavior". American Elsevier Publishing Company. E. D. 1977.
- [9] D. Tolani, A. Goswami and N. I. Badler. "Real-Time Inverse Kinematics Techniques for Anthropomorphic Limbs". Graphical Models 62, 2000

Remerciements

Je tiens à remercier les professeurs Inaba, Inoue et Inamura qui m'accueillent ou m'ont accueilli dans leur laboratoire et mon permis de poursuivre des recherches en intelligence artificielle pour les robots humanoïdes. Je tiens aussi à remercier les étudiants de ce laboratoire avec qui j'ai pu avoir des échanges enrichissant.