

Sujet de thèse - ANR prog4Yu

(Apprentissage de Modèles Intelligibles de Tâches pour la Programmation de Cobots)

Contexte et positionnement

L'ambition de la **cobotique** (ou **robotique collaborative**) en milieu industriel est de “sortir le robot industriel de sa cage de protection” pour le faire travailler à proximité des opérateurs humains sur un même poste de travail. Homme et Robot travaillent ensemble, de façon intégrée, côte à côte, en sécurité, à la réalisation de tâches combinant efforts physiques et expertises humaines (par exemple le dévissage, l'assemblage de pièces, le conditionnement/palettisation de pièces qui nécessitent la prise en compte du contexte et de ses aléas). Le robot industriel YuMi d'ABB et le robot orienté recherche Baxter de Rethink Robotics sont les deux robots collaboratifs (ou cobots) avec lesquels nous travaillerons durant ce projet. Les cobots sont attendus en particulier par les Petites et Moyennes Industries (PMI) pour répondre à leur besoin de flexibilité. Elles sont en effet soumises au renouvellement de plus en plus rapide de leurs gammes de produits et à une demande croissante de produits de plus en plus personnalisés.

Objectifs

L'objectif général du projet prog4Yu est de développer une approche de la “programmation par démonstrations” des cobots à l'intention des opérateurs de production, non expert en langages de programmation mais ayant l'expertise de la réalisation des tâches, tout en garantissant que cette approche soit acceptable et intelligible pour les opérateurs. Pour mener à bien les différentes facettes de ce projet, le consortium regroupe des partenaires académiques en informatique/robotique et en psychologie ergonomique ainsi qu'un partenaire industriel.

D'un point de vue industriel, l'objectif est développer un démonstrateur industriel de cobot “programmable par démonstration” pour traiter le problème de conditionnement/palettisation de pièces en fin de chaîne de production avec le cobot YuMi (Notre partenaire industriel est un intégrateur robotique spécialisé ABB et YuMi). Le problème de conditionnement/palettisation est commun à de nombreuses PMI et est proposée par notre partenaire industriel avec lequel nous avons défini le scénario suivant : le cobot en production est programmé pour conditionner/palettiser les produits A ; la production change et ce sont les produits B qui doivent maintenant être conditionnés/palettisés. Le cobot ne connaît pas la liste des tâches à réaliser pour conditionner/palettiser les produits B. Le scénario comporte 3 phases répétées :

1. **Phase d'apprentissage** : l'opérateur “enseigne” au cobot de nouveaux gestes et leurs sémantiques associées par manipulation kinesthésique de ses effecteurs (bras et préhenseurs). Par exemple, le cobot va apprendre “prendre un produit B”, “déplacer un produit B de X en Y”, “déposer un produit B”, etc.
2. **Phase de pilotage** : l'opérateur donne de nouveaux objectifs au cobot (par exemple, “range tous les produits B sur la palette”) ; le cobot raisonne de façon autonome en combinant ses nouveaux apprentissages avec ses acquis antérieurs et planifie la réalisation de la tâche de conditionnement/palettisation pour ce nouveau contexte d'usage.
3. **Phase de validation** : le cobot montre à l'opérateur, en virtuel (sur écran) ou en réel, la réalisation envisagée de la tâche ; l'opérateur valide ou ajuste (retour à la phase 1.) les apprentissages du cobot avant la mise en production. Durant cette phase, l'intelligibilité du cobot est première et prend tout son sens puisque Opérateur et Cobot collaborativement ajustent et co-construisent dans une boucle d'interaction le procédé industriel en s'appuyant sur une sémantique partagée.

D'un point de vue scientifique, l'objectif du projet prog4Yu est de (1) développer des algorithmes d'apprentissage de trajectoires des effecteurs d'un cobot (geste) et d'apprentissage de modèles intelligibles de tâches (sémantique du geste) selon une approche par démonstration et (2) d'identifier les facteurs qui dans cette approche favorisent ou entravent l'acceptation de la robotique collaborative en milieu industriel. Les démonstrations se font par manipulations kinesthésiques des bras du cobot et par l'intermédiaire d'une interface multimodale Humain- Cobot EDI (Environnement de Développement Intégré).

Pour parvenir à notre objectif nous nous appuyerons sur:

- Les travaux en apprentissage par démonstration pour apprendre les gestes du cobot nécessaires à la réalisation d'une tâche. Classiquement, le robot apprend la trajectoire d'un geste sous la forme d'une fonction. Cette fonction, également appelée "politique", permet à un robot de choisir l'action à exécuter (ensemble de commandes moteurs) en fonction de l'état du monde courant qu'il perçoit. Ce problème est un problème qui reste ouvert au regard des contraintes applicatives : apprentissage incrémental, espace d'apprentissage continu, ensemble de démonstrations disponibles pour l'apprentissage limité en taille car fourni par un opérateur humain, etc.
- Les travaux en apprentissage de modèle de tâches pour "donner du sens au geste", c'est-à-dire que le cobot apprend, en plus de la fonction-trajectoire, une sémantique associée en termes de langage PDDL (Planning Domain Definition Language 1) : c'est le modèle intelligible de tâches. Cela permettra :
 - à l'opérateur humain de (1) piloter le cobot en lui spécifiant un objectif (programmation déclarative, par exemple "range tous les objets de ce type sur un endroit particulier dans un certain ordre en respectant les contraintes d'environnement", cf. l'outil AMDEC de gestion de la qualité - Analyse des Modes de Défaillance, et de leurs Effets Critiques) et (2) de comprendre les décisions du cobot grâce aux modèles de tâches. Ce dernier point revêt de plus en plus d'importance en regard du "droit à l'explication" pour les décisions algorithmiques, prévu par la loi pour une République Numérique de 2016 ;
 - au cobot de raisonner et prendre des décisions à partir des modèles de tâches en planifiant a séquence d'actions à réaliser pour atteindre l'objectif de l'opérateur etc.
- Les travaux en psychologie ergonomique pour garantir que notre approche est acceptable par les opérateurs. En effet, l'étude de l'acceptation, i.e., l'étude des pratiques effectives des individus lors de l'usage en situation réelle, est un élément important du projet prog4Yu. Il doit mettre à l'épreuve l'approche proposée dans son contexte d'usage réel et permettre d'évaluer concrètement ses apports et ses limites notamment ce qu'elle "permet/autorise de faire" ou "oblige à faire", mais aussi ce qu'elle "empêche de faire" ou "permet de faire plus qu'avant" et ce, sur différentes dimensions de l'activité de conditionnement/palettisation. Hypothèses de recherche Les hypothèses du projet prog4Yu sont les suivantes :
- L'acceptation du cobot est étroitement liée au degré d'implication et d'intérêt de l'opérateur humain dans les apprentissages des tâches élémentaires et de l'intelligibilité de leurs modèles, de la capacité de l'opérateur à comprendre et à corriger ces apprentissages, à spécifier par lui-même des objectifs à atteindre, à demander aux algorithmes de planification d'expliquer les décisions. Il est nécessaire de tester cette hypothèse et plus généralement de mesurer l'acceptation de notre approche par plusieurs campagnes d'expérimentation auprès de différents opérateurs en situation effective d'usage.
- Pour la perception de la situation d'usage, nous nous appuyerons sur les développements de notre partenaire industriel. S'agissant de la planification automatique de tâches, nous utiliserons notre propre librairie PDDL4J qui fait actuellement l'objet d'une maturation à la SATT Linksum (Société d'Accélération du Transfert de Technologies) de l'Université Grenoble Alpes.
- L'ajout d'une sémantique au geste pour spécifier une tâche doit faciliter la programmation et rendre intelligible le comportement du cobot. Il s'agira donc de tester si le couplage d'un apprentissage de trajectoire (démarche classique en robotique) avec une sémantique décrite en PDDL utilisée en planification automatique est le bon niveau pour programmer de manière déclarative un cobot par des opérateurs.

Verrous scientifiques et techniques

Les verrous identifiés sont :

1. **L'acceptation des cobots** : l'intelligibilité des décisions prises par le cobot est un verrou que le projet prog4Yu contribuera à lever. La déclaration de Montréal pour une IA responsable 3 , la question de l'éthique 4 ou encore le "droit à l'explication" pour les décisions algorithmiques qui fait dorénavant partie de la loi pour une République Numérique 5 de 2016 témoignent de ce verrou. Même si des questions juridiques restent ouvertes quant à la portée et aux conséquences de ces textes, il est important que des travaux de recherche aillent dans le sens de ce questionnement. Plus globalement, une de nos hypothèses est que les opérateurs peuvent accepter la cobotique s'ils sont capables de trouver des intérêts dans de nouvelles activités collaboratives avec un cobot "intelligible" qui ne renvoie plus l'image de la boîte noire fermée, inintelligible et entraînant une perte de contrôle sur leurs expertises métier.
2. **L'apprentissage de trajectoires par démonstration** : l'apprentissage de trajectoires à partir de peu d'exemples, de manière incrémentale et efficace (permettant une interaction fluide avec l'opérateur) dans des espaces continus est un verrou scientifique important qu'il nous faudra lever pour répondre à la problématique industrielle du projet.
3. **L'apprentissage de modèles de tâches** : au regard de l'état de l'art, il n'existe pas d'approche pour apprendre des modèles de tâches temporelles et concurrentes nécessaires à la modélisation des tâches d'un cobot en interaction avec opérateur humain ou pouvant utiliser 2 bras robotisés comme YuMi ou Baxter.

Sujet de thèse au LAB-STICC

Le sujet de thèse proposé porte sur le verrou 2. Les contributions scientifiques du projet de thèse porteront sur de nouveaux algorithmes capables d'apprendre des modèles de tâches plus expressifs intégrant notamment les contraintes applicatives telles que le temps et la concurrence entre tâches et pour lesquels il n'existe pas encore de solutions dans la littérature.

Contacts : Pr. Cédric BUCHE – buche@enib.fr / Pr. Pierre De Loor – deloor@enib.fr