



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 11691

To link to this article :

URL :

http://www.ergoia.estia.fr/ergoia2010/documents/ACTES_ERGOIA2008.pdf

To cite this version : Mercier, Stéphane and Tessier, Catherine and Dehais, Frédéric *Premières pistes pour l'autonomie adaptative sans niveaux*. (2008) In: ERGO'IA 2008, 15 October 2008 - 17 October 2008 (Bidart / Biarritz, France)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Premières pistes pour l'autonomie adaptative sans niveaux

Stéphane MERCIER, Catherine TESSIER

Onera-DCSD
2 avenue Edouard Belin - BP 74025
31055 TOULOUSE Cedex 4
{stephane.mercier, catherine.tessier}@onera.fr

Frédéric DEHAIS

Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace
10 avenue Edouard Belin - BP 54032
31055 TOULOUSE Cedex 4
frederic.dehais@isae.fr

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la supervision de mission d'un ou plusieurs agents artificiels (robots, drones...) par un opérateur humain, la question du partage des rôles et de l'autorité est une problématique avérée. En effet, un équilibre doit être trouvé entre le contrôle purement manuel des engins qui permet en général d'avoir une grande confiance dans le système mais qui soumet l'opérateur humain à une charge de travail importante, et l'autonomie totale des engins qui offre moins de garanties en environnement incertain et de moins bonnes performances. L'autonomie ajustable (ou adaptative) basée sur les niveaux d'autonomie semble être une réponse à ce type de problème. Cependant, ce type d'approche n'est pas exempt de défauts : les niveaux constituent des modes de partage d'autorité et de répartition des tâches rigides et prédéfinis, sans compter le manque de recul concernant les apports de l'opérateur trop souvent considérés comme uniquement bénéfiques. Nous présentons les concepts élémentaires d'une approche destinée à adapter dynamiquement l'autonomie d'un agent relativement à un opérateur humain, non pas axée sur l'utilisation de niveaux d'autonomie mais sur la base de la gestion des ressources et des conflits d'utilisation de ces ressources.

MOTS CLÉS : Autonomie adaptative, Partage d'autorité, Systèmes multiagents, Interactions Homme-Machine.

ABSTRACT

In the context of supervisory control of one or several artificial agents by a human operator, the definition of the autonomy of an agent remains a major challenge. When the mission is critical and in a real-time environment, e.g. in the case of unmanned vehicles, errors are not permitted while performance must be as high as possible. Therefore, a trade-off must be found between manual control, usually ensuring good confidence in the system but putting a high workload on the operator, and full autonomy of the agents, often leading to less reliability in uncertain environments and lower performance. Adjustable (or adaptive) autonomy based on autonomy levels seems to be a good solution for this type of problem. However, such an approach still has drawbacks: levels represent predefined authority sharing modes and task allocations that are not flexible. More-

over the human operator is always seen as a source of benefits for the mission, whereas she/he cannot be perfectly reliable. We present the basic concepts of an approach aiming at dynamically adjusting the autonomy of an agent with respect to its operator, not using autonomy levels but based on resource management and resource conflicts.

KEYWORDS : Adaptive autonomy, Authority sharing, Multiagent systems, Human-Machine interactions.

INTRODUCTION

Bien qu'il n'existe pas de définition universelle de l'autonomie, ce concept peut être considéré comme une relation entre plusieurs entités et portant sur un objet [2] : par exemple, un sujet X est autonome relativement au sujet Z pour l'accomplissement du but G. Dans un contexte social, les autres entités en présence tout comme les institutions peuvent également avoir de l'influence sur un agent donné, affectant ainsi sa liberté de décision et son comportement [1]. On note toutefois que les travaux sur les agents sociaux présentent dans leur ensemble des considérations de haut niveau et s'appliquent à des agents supposés idéaux, du moins au comportement parfaitement modélisé.

Dans le cadre plus opérationnel du contrôle d'un agent évoluant dans le monde physique et supervisé par un opérateur humain, l'autonomie se caractérise principalement par la capacité d'un agent à minimiser le besoin de supervision et à évoluer seul dans le monde réel [12]. En conservant le principe d'une relation entre l'opérateur et l'agent, on constate ainsi que l'autonomie pure n'est qu'un cas extrême, consistant précisément à réduire cette relation à son minimum.

Cependant, dans la pratique, les objectifs d'une mission ne peuvent pas toujours être atteints de façon purement autonome et l'intervention de l'opérateur est nécessaire. [5, 6] illustrent ce point en rapprochant le temps pendant lequel un engin peut agir sans intervention de l'opérateur et ses performances sur le terrain : il apparaît clairement que celles-ci déclinent rapidement lorsque l'engin est négligé par son opérateur, soulignant le besoin de conserver des interactions régulières entre les deux.

AUTONOMIE AJUSTABLE ET NIVEAUX

Comment peut-on faire varier l'autonomie d'un agent ? Et tout d'abord, peut-on identifier des étapes intermédiaires entre téléopération pure et autonomie totale ?

[14, 11] proposent dès 1978 une classification de l'autonomie opérationnelle ("automation ") d'un système sur dix niveaux. Ce modèle reste abstrait et ne tient pas compte de la complexité de l'environnement dans lequel évolue l'agent, ni du contexte de mission. Cependant, l'automation / autonomie est considérée selon les différents modes d'interaction entre l'agent et l'opérateur, ce qui correspond bien à la définition de l'autonomie comme une relation entre les entités. Le principe de la gradation de l'autonomie selon l'abstraction des tâches réalisées reste cependant discutable.

D'autres approches cherchent à évaluer l'autonomie d'un agent sur un type de mission identifié, citons entre autres ACL [3] ou encore Alfus [7]. Cependant il est nécessaire de passer par une étape qualitative, que ce soit pour définir formellement les niveaux d'autonomie (ACL) ou, dans le cas d'une évaluation chiffrée (Alfus), pour pondérer les tâches de la mission par importance.

L'idée que l'autonomie, tout au moins d'un point de vue opérationnel, peut être graduée, sous-tend le concept d'autonomie ajustable qui part du principe que les capacités des machines et des humains peuvent être complémentaires pour obtenir de meilleures performances [8]. Un agent physique est ainsi capable de fonctionner suivant différents niveaux d'autonomie préétablis et de basculer de l'un à l'autre si besoin, un niveau étant caractérisé par la complexité des commandes traitées, ou la capacité à fonctionner un certain temps indépendamment de l'opérateur [5]. La principale limitation actuelle de ces approches est l'attribution figée du rôle des entités pour chaque niveau, ainsi que le nombre restreint des niveaux. Il nous semble que l'utilisation de niveaux prédéfinis ne peut rendre compte de la variété des situations rencontrées en mission par un agent, sans parler des problèmes de transition apparaissant lors du basculement d'un niveau à un autre. De plus, les interactions entre l'agent et l'opérateur sont de fait déterminées et codifiées selon le niveau d'autonomie, il n'y a pas de partage fin possible des tâches et des responsabilités.

Afin d'introduire plus de flexibilité, [6] font ainsi la distinction entre l'autonomie ajustable, dans laquelle l'opérateur choisit les modes de fonctionnement du robot, et l'autonomie adaptative, dans laquelle c'est le robot lui-même qui détermine le mode qu'il va utiliser. Sur le même principe, [13] proposent deux modes de partage d'autorité : dans l'un, seul l'agent décide de faire appel à l'opérateur si besoin ; dans le second, l'opérateur peut également décider d'intervenir à tout moment. Le partage des rôles est réalisé par l'assignation de tâches soit à l'homme, soit à la machine, sur la base de comparaisons statistiques de succès. Cependant, ce mode d'attribution ne peut s'appliquer à des missions en environnement critique, où l'erreur n'est pas tolérée. En revanche, le partage réévalué au niveau de chaque tâche apporte une granularité intéressante, par contraste avec l'utilisation de niveaux d'autonomie rigides. Le fait que l'opérateur humain, dépositaire de l'autorité sur

la machine, n'est pas lui-même infaillible, est souvent laissé de côté. Alors qu'il est tout à fait classique que l'opérateur garde le contrôle sur l'agent et non l'inverse, dans la plupart des études, ses entrées sur le système ne sont pas évaluées et sont acceptées en l'état. De plus, avoir de multiples entités décidant et agissant simultanément en utilisant les mêmes ressources peut créer des incompréhensions et conduire à des situations conflictuelles, voire dramatiques [4].

BILAN

Ainsi, les niveaux d'autonomie présentent certains inconvénients : les modes de répartition des tâches sont définis à la conception et nécessairement en nombre limité, ils ne peuvent apporter toute la flexibilité souhaitée en mission et conditionnent les interactions entre l'opérateur et l'agent.

De plus, lorsque ces niveaux sont ordonnés par autonomie croissante, autant cela peut avoir une signification en termes d'abstraction des tâches pouvant être réalisées (dites de "plus haut niveau"), autant cela n'en a pas en termes d'autonomie opérationnelle : que se passe-t-il si l'agent, pourtant capable de réaliser des tâches de "haut niveau" d'analyse et de décision n'est plus capable d'assurer ses fonctions de "bas niveau", un aléa ou une défaillance étant survenu ? L'intervention de l'opérateur sera toujours nécessaire, de la même manière que pour un agent avec un niveau d'autonomie "inférieur". A l'inverse, lorsque la répartition agent - opérateur se fait à l'échelle de chaque tâche, il manque le recul permettant de tenir compte du contexte global, afin d'optimiser le rôle et les apports de chacun. De plus les approches classiques négligent les possibilités de défaillance de l'opérateur en termes de fiabilité ou d'erreur : l'opérateur est très souvent considéré uniquement comme le recours en cas de problème. La relation opérateur - agent est ainsi très dissymétrique. Une autre approche consiste à considérer une véritable collaboration de l'opérateur et de l'agent au sein de la mission, chaque entité prenant à sa charge les tâches pour lesquelles il est compétent, il a les capacités et la disponibilité à un instant donné de la mission, l'objectif étant d'améliorer la performance globale du système opérateur - agent. Cependant ce mode de fonctionnement peut faire apparaître des conflits entre les entités qu'il s'agit de résoudre justement par la gestion, répartie entre agent et opérateur, du partage de l'autorité, à partir de considérations objectives d'utilisation des ressources, de prédiction du résultat des actions et de réussite de l'objectif de mission.

CONTEXTE, HYPOTHÈSES ET OBJECTIFS

Cette étude s'intéresse à l'autonomie d'agents artificiels (drones, pilotes automatiques, etc.) supervisés en temps réel par un opérateur humain et mis en oeuvre pour accomplir un ensemble de buts pour une mission donnée. Ces agents sont placés dans un environnement dynamique et incertain ; par conséquent, il est impératif qu'ils soient capables de réagir en temps réel aux aléas afin d'éviter les situations à risque. De plus, nous considérons des systèmes dont la plupart des tâches opérationnelles peuvent être associées à des procédures, ces tâches devant par exemple

être exécutées dans un ordre précis et respecter certaines contraintes ; les engins aériens font généralement partie de ce type de systèmes.

Idéalement, les agents devraient être capables d'accomplir leur mission indépendamment de toute intervention de l'opérateur, un cas très difficile à obtenir dans la réalité. Cela est cependant rendu nécessaire en ce sens qu'il est toujours possible qu'une rupture de communication entre les agents et l'opérateur survienne. En dehors de ce cas extrême, un agent peut "demander l'aide" de l'opérateur à tout moment, quelle que soit la tâche concernée. En revanche, l'opérateur peut lui aussi intervenir en tout point de la mission et à tout moment, afin d'ajuster le comportement de l'agent selon ses préférences ou pour corriger des erreurs éventuelles.

Finalement, notre objectif principal se résume à la question suivante : pourquoi, quand et comment un agent doit-il prendre l'initiative ? Doit-il le faire quand l'environnement a changé et que son plan n'est plus en adéquation avec celui-ci ? Lorsque les entrées de l'opérateur ne respectent pas les procédures établies (par exemple en matière de sécurité) ? Ou lorsque celles-ci créent un conflit avec les buts poursuivis par le système ?

ARCHITECTURE DE GESTION DE LA MISSION

Une mission est un ensemble de buts que l'agent doit atteindre. Le constituant élémentaire utilisé pour modéliser la mission est la ressource : chaque information de capteur, chaque élément du système utilisé dans le modèle, tout comme le temps, sont des ressources. La modification d'une ressource peut en affecter d'autres. Les tâches elles-mêmes sont des ressources, en ce sens qu'elles constituent des fonctions de transformation de ressources. Un certain nombre de savoir-faire de l'opérateur peuvent ainsi être inclus dans ce modèle.

Afin de gérer la mission sur la base des ressources, nous proposons une architecture d'agent pour l'autonomie adaptative basée sur les trois fonctions suivantes.

Fonction de planification, affectation de ressources

La planification est une fonction clé de l'agent. Elle organise les ressources en fonction du temps, en tenant compte de leurs spécificités et des effets des unes sur les autres. Les tâches, elles-mêmes ressources, constituent le moyen d'agir sur les autres ressources et de les faire converger vers des états du monde recherchés, les buts. L'agent devant réagir aux aléas survenant au cours de la mission, le plan doit être continuellement remis à jour. Ce processus de *replanification* constitue une aptitude essentielle de l'agent.

Fonction de suivi de situation

La fonction de suivi de situation [9] analyse en permanence l'état du système agent – opérateur. Le suivi de situation réalise les trois points clés suivants :

- il suit et reconnaît les procédures engagées par l'opérateur. La seule information sur les intentions de l'opérateur est fournie par ses entrées sur le système, et on ne connaît initialement pas ses intentions. Cependant, au fur et à mesure de ses interactions successives, il est possible d'affiner

cette reconnaissance et de réduire le champ des actions potentiellement à venir.

- il compare les résultats attendus de l'exécution du plan avec les données réelles et détecte les écarts : il vérifie la cohérence du système agent - opérateur à tout instant.

- il anticipe les états futurs du système à partir de l'état courant.

Fonction de résolution de conflits

Le suivi de situation permet la détection des conflits actuels ou à venir. Un conflit est une divergence entre entités ou avec l'environnement se manifestant par une incohérence dans le plan quant à l'utilisation des ressources. En effet, pour atteindre un but, le planificateur attribue des ressources (tâches incluses) et les organise dans le temps. Le conflit peut se manifester ainsi par :

- incohérence de buts : incompatibilité entre les ressources affectées à un but et celles affectées à un autre but.

- incohérence d'évolution : incompatibilité entre ce qu'il est possible d'atteindre sur une ressource et ce qui est recherché (état du monde inatteignable).

- incohérence d'état : à un instant t du plan, l'utilisation des ressources est incohérente, par exemple certaines ressources sont surconsommées, contradictoires, etc.

En pratique, les conflits vont avoir les origines suivantes : aléa de mission (panne, événement imprévu), erreur d'anticipation (effet d'une tâche mal calibré ou évolution de l'environnement mal évaluée, etc.), ou encore intervention de l'opérateur, par nature imprévisible et pouvant survenir à tout niveau du plan.

La méthode de résolution des conflits par défaut est la replanification : s'il existe une attribution des ressources permettant de satisfaire les nouvelles contraintes pesant sur les ressources, un plan solution peut être trouvé par le planificateur. En revanche, cela n'est pas toujours possible, et des arbitrages au niveau des contraintes, buts et entités vont devoir être effectués sur des bases objectives et formelles, en fonction des risques associés et de l'entité (agent ou opérateur) qui pourra les exécuter de manière fiable. Cela constitue un des traits principaux de l'autonomie adaptative et du partage d'autorité : la réaffectation dynamique de tâches pour la meilleure réalisation envisageable de la mission, à la condition que chaque entité du système, agent comme opérateur, soit "consciente" de cette réaffectation et de son impact.

EXEMPLE

Soit un véhicule terrestre (l'agent) supervisé à distance par un opérateur humain. L'agent suit son plan et avance seul sur une trajectoire pour aller au point A lorsqu'un obstacle est détecté par ses capteurs ultrasons. La ressource "voie dégagée" n'est plus valable, l'agent revoit son plan de navigation. Il commence l'évitement, prévient l'opérateur et avance sur la nouvelle route. L'opérateur, qui lui utilise une caméra vidéo et peut voir à plus grande distance, décide alors de prendre la conduite en mode manuel et d'éviter l'obstacle par l'autre côté, car d'autres obstacles sont présents plus loin. Il y a alors conflit sur les ressources de cap, elles ne peuvent être utilisées simultanément par les deux entités. Le suivi de situation de l'agent ne prévoit pas

de danger inhérent au nouveau cap : l'agent révisé son plan en incluant la tâche de pilotage comme affectée à l'opérateur pour atteindre le point A. Il peut alors assister l'opérateur : affichage d'information concernant la navigation, prise en charge des activités annexes au pilotage, etc. Si une rupture de communication intervient, la ressource opérateur disparaît, l'agent est capable de reprendre la main sur ce plan continuellement mis à jour.

Ce type de scénario est en cours de montage à l'ISAE, sur une plate-forme expérimentale composée d'une station de contrôle et de véhicules terrestres Emaxx. Le scénario prévu de mission consiste en la détection et l'évaluation de feux par un robot terrestre supervisé par un opérateur distant dans une zone partiellement inconnue. Il est conçu de manière à ce que le robot puisse être très autonome dans le cas nominal ; cependant, nombre d'aléas peuvent survenir et nécessiter l'intervention de l'opérateur, pour améliorer les performances ou en réaction à des problèmes identifiés, pouvant par la même occasion créer des conflits entre les entités.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté dans cet article les principes généraux d'une approche pour l'autonomie adaptative opérationnelle sans faire appel au concept de niveaux d'autonomie. En modélisant la mission nominale sous forme de ressources, il est possible d'évaluer l'implication de chacune des entités sur la mission. L'agent crée une affectation des ressources par la fonction de planification. Le suivi de situation détecte les incohérences actuelles et à venir, grâce à des modèles d'évolution des ressources. Les conflits entre entités sont ainsi détectés en amont, en identifiant les ressources incriminées, les contraintes violées et les buts poursuivis associés. Une résolution est possible, soit en ajustant le plan de ressources (décalage de buts dans le temps, hiérarchisation des buts, utilisation de plans alternatifs) soit en faisant interagir les entités opérateur et agent. L'opérateur reste maître du déroulement de la mission en ce sens que l'agent va à tout moment ajuster son plan sur le sien. Cependant, la simple projection sur le plan des ordres et interactions de l'opérateur avec l'agent vont faire ressortir les incohérences dont l'opérateur n'est pas nécessairement conscient, des dangers non évalués, des informations non prises en compte, ce dont l'agent peut l'avertir sur cette base commune objective que constitue le plan. Il y a ainsi ajustement possible du partage des rôles et de l'autorité dynamiquement en cours de mission. Le travail actuel se concentre sur la formalisation de l'exécution de la mission essentiellement sous la forme de réseaux de Petri, en incluant les aspects dynamiques des concepts de base : les buts, les contraintes, les ressources et sur une identification précise des éléments impliqués dans la réaffectation de tâches [10]. Dans le même temps, il est prévu d'engager des expériences sur le terrain, afin d'évaluer nos concepts en conditions réelles. La fiabilité, les performances globales ainsi que la satisfaction de l'opérateur feront partie des paramètres évalués.

BIBLIOGRAPHIE

1. C. Carabelea, O. Boissier, *Coordinating agents in organizations using social commitments*, Electronic Notes in Theoretical CS (150-3). Elsevier, 2006.
2. C. Castelfranchi, R. Falcone. *From Automaticity to Autonomy: the Frontier of Artificial Agents*. In Agent Autonomy, Kluwer Ac. Publishers, 2003.
3. B. T. Clough. *Metrics, Schmetrics! How The Heck Do You Determine A UAV's Autonomy Anyway?* In Proceedings of the Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop, MD, 2002.
4. F. Dehais, A. Goudou, C. Lesire, C. Tessier. *Towards an anticipatory agent to help pilots*. AAAI'05 Symposium "From Reactive to Anticipatory Cognitive Embodied Systems", VA, 2005.
5. M. Goodrich, R. Olsen Jr., J. Crandall & T. Palmer. *Experiments in Adjustable Autonomy*. IJCAI'01 Workshop on Autonomy, Delegation, and Control: Interacting with Autonomous Agents, WA, 2001.
6. M. Goodrich, T. McLain, J. Crandall, J. Anderson & J. Sun. *Managing Autonomy in Robot Teams: Observations from four Experiments*. ACM/IEEE international conference on HRI, 2007.
7. H. Huang, K. Pavek, B. Novak, J. Albus, E. Messin. *A Framework For Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS)*. In Proc. of the AUVSI's Unmanned Systems, MD, 2005.
8. D. Kortenkamp, P. Bonasso, D. Ryan, D. Schreckenghost. *Traded control with autonomous robots as mixed initiative interaction*. AAAI'97 Symposium on Mixed Initiative Interaction, 1997.
9. C. Lesire, C. Tessier. *A hybrid model for situation monitoring and conflict prediction in human supervised "autonomous" systems*. AAAI'06 Spring Symp. "To Boldly Go Where No Human-Robot Team Has Gone Before", CA, 2006.
10. S. Mercier, C. Tessier, F. Dehais. *Basic concepts for shared authority in heterogenous agents*. AAMAS'08. Workshop on Coordination, Organisations, Institutions and Norms in agent systems (COIN'08), Portugal, 2008.
11. R. Parasuraman, T.B. Sheridan, C.D. Wickens. *A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation*. IEEE Trans. on SMC 30(3), 2000.
12. D. Schreckenghost, D. Ryan, C. Thronesbery, P. Bonasso & D. Poirot. *Intelligent control of life support systems for space habitat*. In Proceedings of the AAAI-IAAI Conference, 1998.
13. B. Sellner, F. Heger, L. Hiatt, R. Simmons & S. Singh. *Coordinated Multi-Agent Teams and Sliding Autonomy for Large-Scale Assembly*. IEEE 94(7), 2006.
14. T.B. Sheridan & W.L. Verplank. *Human and Computer Control of Undersea Teleoperators*. Rapport technique, MIT Man-Machine Systems Laboratory, Cambridge, MA, 1978.