

Ingénierie logicielle pour une intelligence augmentée des systèmes cyber-physiques

Ilham Alloui, Flavien Vernier
Université Savoie Mont-Blanc - LISTIC,
5 chemin de Bellevue, Annecy-le-Vieux,
74940 ANNECY, France
Ilham.Alloui, Flavien.Vernier@univ-smb.fr

15/12/2019

1 Contexte

L'accroissement massif de la **digitalisation** de nos sociétés (santé, environnement, transport, industrie...) produit des systèmes cyber-physiques complexes de par leur hétérogénéité, leur taille, leur répartition à travers des réseaux (intelligence ambiante, systèmes ubiquitaires, pervasifs, IoT...) [1][2]. Les générations futures de ces systèmes intégreront de plus en plus l'expertise humaine augmentant ainsi "intelligence" de leurs utilisateurs. L'intelligence artificielle contenue dans les objets physiques et dans le logiciel, alliées à l'intelligence humaine devront concourir à des systèmes connectés intelligents, capables de répondre aux besoins de leurs usagers. L'intelligence augmentée est vue dans ce contexte comme un support logiciel capable de lier des données/informations provenant de divers domaines et/ou entités en vue d'étudier et d'analyser les comportements dans le système, les comprendre et effectuer des prévisions complexes à maîtriser par l'humain seul. Ces nouvelles technologies en plein essor lancent de nouveaux défis à **l'informatique ubiquitaire**. L'utilisateur final n'est plus un simple utilisateur, il intègre à part entière le système qui lui fournit une intelligence augmentée. La présence du logiciel dans différents composants physiques ou logiques de ces systèmes requiert des méthodes et outils d'ingénierie adaptés aux caractéristiques de ces systèmes.

Nous nous intéressons ici aux systèmes cyber-physiques, à forte composante logicielle, qualifiés de « Calm technologies » qui, de par leur capacité d'adaptation, donnent à l'humain une place d'utilisateur final et non d'expert technologique. Ces systèmes partagent des caractéristiques fondamentales comme l'autonomie et l'adaptation au contexte d'utilisation (environnement, besoins spécifiques, habitudes...).

2 Défis en ingénierie du logiciel pour les systèmes cyber-physiques

Ces 2 dernières décennies, les métiers de l'informatique se sont fortement diversifiés et l'évolution des systèmes cyber-physiques et de l'intelligence artificielle ne fait qu'augmenter cette diversification. De ce constat, nous identifions 3 défis majeurs que la recherche devra relever les prochaines années.

Le développement de produits logiciels s'appuie sur de solides bases d'ingénierie, mais intègre de plus en plus des composantes logicielles métier de l'Intelligence Augmentée. L'ingénierie du logiciel et l'Intelligence Augmentée étant 2 mondes très différents, le premier défi (D1) pose la question du support à co-construire afin que les produits de l'ingénierie du logiciel et ceux de l'Intelligence Augmentée puissent interagir et co-évoluer. Le second défi (D2) pose la question de la qualité et la testabilité logicielle des systèmes cyber-physiques produits. Le troisième défi (D3) s'attache à la qualité et la testabilité de l'Intelligence Augmentée dans les systèmes cyber-physiques.

2.1 Défi 1 (D1) : Ingénierie logicielle et Intelligence Augmentée : quel support ?

Quel support co-construire afin que les produits de l'ingénierie du logiciel et ceux de l'Intelligence Augmentée puissent interagir et co-évoluer ?

L'IA, l'IoT, les systèmes cyber-physiques ont une croissance qui en font la nouvelle révolution industrielle au coeur de laquelle se trouve le Logiciel. Cette révolution lie fortement les métiers du logiciel à d'autres domaines d'ingénierie afin de concevoir des systèmes qui vont de l'objet connecté physique à l'IA, ceci à travers le logiciel. A la complexité purement logicielle, s'ajoute celle de la variété des concepts et des langages utilisés qui ne sont pas toujours compatibles entre eux et qui n'ont pas été conçus pour inter-opérer.

L'ingénierie logicielle étant au coeur de ces systèmes, l'un de nos défis sera de proposer des passerelles d'abstraction entre les approches conceptuelles des différents domaines coopérants ; d'apporter des solutions logicielles intégrées accessibles aux différents corps d'ingénierie [3].

Quelques pistes de solution

Une première piste concerne le processus de développement des systèmes cyber-physiques. Dans ce contexte, l'ingénierie dirigée par les modèles dont le but premier est de rassembler les acteurs du développements de systèmes complexes reste prometteuse mais devra supporter en plus des aspects techniques, des processus collaboratifs de développement des systèmes cyber-physiques en intégrant les différentes passerelles de même que la dimension représentation et gestion de la connaissance émergeant des différents domaines métiers impliqués (objets physiques, logiciel embarqué, logiciel IA...). Les DSL (Domain-Specific Language), ont pour but de permettre à des experts dans des domaines différents de développer rapidement un logiciel adapté à leur expertise. La difficulté réside en la définition d'interfaces entre les différents logiciels produits. Composer et coordonner différents DSL selon des approches sémantiques telles que les ontologies (ref) est une piste possible.

Une deuxième piste concerne l'architecture logicielle des systèmes cyber-physiques. Celle-ci étant de fait distribuée, englobant des entités hétérogènes, plus ou moins autonomes, évoluant dans le temps, il est nécessaire de fournir un support logiciel permettant d'assurer les interactions entre monde physique et monde virtuel. Ce support devra en plus prendre en compte la dimension IA qui repose sur la connaissance. Des frameworks logiciels pourraient intégrer cette dimension sous forme de briques de base, en fournissant par exemple, des mécanismes pour le monitoring, l'apprentissage et l'autonomie des composants logiciels de l'architecture. Les développeurs des systèmes cyber-physiques devront pouvoir utiliser "aisément" ces mécanismes pour définir le comportement des différents éléments du système.

2.2 Défi 2 (D2) : Qualité logicielle des systèmes cyber-physiques

La qualité des systèmes informatiques est un champ connu et éprouvé, celle des systèmes physiques l'est tout autant. Cependant, la construction de systèmes cyber-physiques soulève de nouvelles problématiques. Les approches de la qualité logicielle, en particulier le test logiciel, ne prennent pas en compte les éléments physiques présents dans le système. Du côté des éléments physiques, la partie logicielle est soit considérée comme secondaire – testée de manière indirecte via les fonctionnalités physiques – pour les systèmes embarqués à faible composante logicielle, soit traitée de manière séparée des aspects physiques – comme pur logiciel – pour les systèmes à forte composante logicielle.

Dans le contexte des systèmes cyber-physiques, l'interaction entre le logiciel et les systèmes physiques est permanente et l'un ne peut évoluer sans l'autre. Le défi qui s'ouvre à nous est donc la prise en compte au sein d'un système naturellement distribué, asynchrone et par conséquent difficilement reproductible, l'ensemble de ses constituants afin de garantir un certain niveau de qualité du système.

Quelques pistes de solution

Parmi les travaux de recherche se trouvent ceux du groupe de travail GL//CE qui s'intéresse à la construction de systèmes cyber-physiques fiables, maintenables et supportant l'évolution des besoins des utilisateurs. Une des pistes est celle des tests automatisés qui englobent des équivalences entre propriétés fonctionnelles et non fonctionnelles de différentes parties du système (ref). Ces équivalences peuvent être vues comme des passerelles entre les différentes entités du système. La question est comment réussir à en définir le contenu ? Cela requiert un travail collaboratif des différents experts qui pourront faire les liens nécessaires qui permettraient d'expliquer par exemple la nature de la source physique et/ou logique d'un problème et son impact sur le système. Le défi à notre avis est de réussir à élaborer cette connaissance, la représenter en utilisant des langages de modélisation adaptés.

2.3 Défi 3 (D3) : Qualité de l'Intelligence Augmentée

Comment garantir la qualité et la testabilité de l'Intelligence Augmentée dans les systèmes cyber-physiques ?

L'intégration au sein même des logiciels des éléments d'IA afin de réagir de manière la plus appropriée aux comportements et attentes des utilisateurs entraîne une complexité non négligeable au niveau de la testabilité et par conséquent la garantie qualité de ces systèmes et leur IA. Un certain nombre de métriques sont utilisées afin de déterminer la qualité d'une IA, cependant ces dernières restent souvent d'ordre fonctionnel : taux de bonnes ou mauvaises réponses sur un panel d'informations d'entrée dont on connaît la réponse souhaitée. Ces approches ne prennent cependant pas en compte l'utilisateur, son comportement, en particulier imprévisible et surtout ses attentes.

Quelques pistes de solution

Plusieurs approches sont proposées parmi lesquelles la **génération automatique de tests** à partir de scénarios, l'utilisation de méthodes formelles pour la vérification et la validation de propriétés fonctionnelles et/ou non fonctionnelles mais cela reste limité aux comportements prévisibles et attendus. Une piste de solution complémentaire est l'usage de simulateurs, génériques et capables d'évoluer, qui permettraient aux utilisateurs d'expérimenter le fonctionnement du système en leur donnant la possibilité de générer des comportements variés qui peuvent suivre différentes lois, et qui intègrent la génération d'aléas et de comportements non prévisibles.

Le défi lié à l'intelligence augmentée au sein des systèmes cyber-physiques, est donc naturellement la prise en compte à part entière de l'humain dans le processus de conception, en particulier dans les méthodes et techniques mises en oeuvre pour garantir la qualité du système. Les besoins des utilisateurs évoluant au cours du temps, le système devra être capable de s'y adapter de manière dynamique.

3 Nos travaux en cours

Pour tenter de répondre à certaines des problématiques sus-citées, nous avons entrepris la conception et la réalisation d'un cadre logiciel [4][5] permettant la création et la mise en oeuvre de systèmes cyber-physiques intelligents. Ce « framework » fondé sur le concept d'Objet Sage (Wise Object Framework : WOF), implanté en Java, permet la création d'avatars logiciels, avec une capacité d'introspection et d'analyse comportementale [6]. Un simulateur à événements discrets permet la génération de comportements au sein de ces systèmes. Il permet la validation de manière reproductible des différentes approches qui seront envisagées pour la modélisation et l'utilisation de la connaissance dans ces systèmes. Afin d'expérimenter le fonctionnement du système, un simulateur à événements discrets permet la génération de comportements au sein des WO. Ceci a pour finalité la validation de manière reproductible les différentes approches qui seront envisagées pour la modélisation et l'utilisation de la connaissance dans les systèmes cyber-physiques.

Références

- [1] O. CARDIN, *Contribution à la conception, l'évaluation et l'implémentation de systèmes de production cyber-physiques*. PhD thesis, L'Université de Nantes Laboratoire IRCCyN UMR CNRS 6597, 2016.
- [2] J. Barbosa, P. Leitão, D. Trentesaux, A. Colombo, and S. Karnouskos, "Cross benefits from cyber-physical systems and intelligent products for future smart industries," in *2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 07 2016.
- [3] C.-P. S. P. W. Group, "Framework for cyber-physical systems : Volume 2, working group reports," 2017.
- [4] I. Alloui, D. Esale, and F. Vernier, "Wise Objects for Calm Technology," in *10th International Conference on Software Engineering and Applications (ICSOFT-EA 2015)*, ICSOFT-EA 2015, (Colmar, France), pp. 468–471, SciTePress 2015, July 2015.
- [5] I. Alloui and F. Vernier, "A Wise Object Framework for Distributed Intelligent Adaptive Systems," in *12th International Conference on Software Engineering and Applications ICSOFT 2017*, (Madrid, Spain), July 24-26 2017.
- [6] I. Alloui and F. Vernier, "Wof : Towards behavior analysis and representation of emotions in adaptive systems," *Software Technologies, 12th International Joint Conference, ICSOFT 2017, Madrid, Spain, July 24-26, 2017, Revised Selected Papers (CCIS)*, vol. 868, pp. 244–267, 2017.