

Systèmes logiciels et systèmes cyber-physiques

Adel Noureddine, Ernesto Exposito et Philippe Aniorte
Université de Pau et des Pays de l'Adour / E2S UPPA

Résumé

Les systèmes cyber-physiques (CPS) sont en pleine croissance avec l'avènement de l'Internet des Objets (IoT) et la démocratisation des appareils connectés. Le logiciel joue un rôle prépondérant dans cet écosystème : pour la gestion des CPS, et en tant qu'acteur du système (notamment avec le logiciel en tant que service, SaaS). Nous présentons les grandes lignes de nos défis scientifiques autour de la modélisation, de l'architecture et des propriétés non fonctionnelles dans les systèmes logiciels des systèmes cyber-physiques.

Mots-clés : systèmes cyber-physiques, génie logiciel, modélisation, architecture logicielle, propriétés non fonctionnelles

1. Introduction et contexte

L'avènement récent de l'Internet des Objets (IoT) a accéléré le développement des systèmes cyber-physiques (CPS), qui étendent le paradigme des systèmes distribués, incluant explicitement la mise en place de cycles de contrôle entre des composants physiques et logiques, afin de satisfaire des objectifs communs du système. Les fonctionnalités offertes par ces systèmes ont pour conséquence un usage accru dans plusieurs domaines, tels que la domotique, les villes intelligentes ou l'industrie 4.0 pour ne citer qu'eux.

La démocratisation et la multiplication des objets connectés (on prévoit plus de 26 milliards d'objets connectés en 2020) confrontent les CPS à un nouveau défi représenté par la grande hétérogénéité des entités potentiellement connectées (sources de données, services, processus, personnes, etc.), ce qui donne naissance au nouveau concept de l'Internet of Everything (IoE). De plus, les collaborations implicites ou explicites peuvent être établies entre différents CPS qui partagent des objectifs communs (comme par exemple les environnements connectés), donnant lieu au concept de système de systèmes cyber-physiques (CPSoS). La bonne maîtrise des CPS et des CPSoS devient ainsi un enjeu important avec l'explosion des interactions entre les acteurs et objets de ces systèmes, et des données générées.

Dans cet ensemble d'entités et de données, le logiciel prend un rôle prépondérant, jouant à la fois le rôle de gestion et d'orchestration du système, et une entité génératrice de données et d'évènements. L'idée de prendre en compte le logiciel dans les systèmes cyber-physiques a démarré avec les précédents défis du GDR GPL, notamment la création du groupe de travail GLACE : génie logiciel pour les systèmes cyber-physiques [1].

Le contexte de notre proposition est construit aussi sur les challenges prioritaires identifiés dans le cadre du programme ICT H2020 (Work Programme 2018-2020) [2], en particulier :

- ICT-01-2019 : Computing technologies and engineering methods for cyber-physical systems of systems
- DT-ICT-01-2019 : Smart Anything Everywhere

- DT-ICT-07-2018-2019 : Platforms and Pilots for Digital Manufacturing Platforms for Connected Smart Factories
- DICT-ICT-08-2019 : Agricultural digital integration platforms
- DT-ICT-09-2020 : Boost rural economies through cross-sector digital service platforms
- DICT-ICT-10-2018-19 : Interoperable and smart homes and grids

Dans notre proposition, nous visons à construire sur le travail effectué par GLACE et pousser les défis vers les pistes de recherche en lien avec la modélisation, l'architecture logicielle, et la prise en compte des propriétés non fonctionnelles dans les optimisations du système.

2. Pistes de recherches

Nous dégageons trois grandes pistes de recherche visant à la construction de systèmes logiciels fiables et optimisés pour les systèmes cyber-physiques. Nos pistes portent sur la définition d'une méthodologie et d'un cadre de modélisation (framework de conception et de développement) pour les systèmes cyber-physique, afin de permettre l'implémentation de processus cognitifs autonomiques pour la coordonnateur des acteurs hétérogènes (IoE) et leur exécution sur une plateforme distribuée d'intégration.

2.1 Définition d'une méthodologie pour l'ingénierie de systèmes basée modèles et d'un cadre de modélisation permettant la conception, le développement et la gestion des CPS et des CPSoS

La conception et la gestion des systèmes cyber-physiques, et aussi des systèmes des systèmes CPS, passent par la définition de nouvelles méthodologies pour l'ingénierie dirigée par les modèles (Model-Based Systems Engineering, MBSE). Ces méthodologies devraient s'appuyer des modèles sémantiques (par exemple, les ontologies) pour la découverte, la composition, l'auto-configuration et l'adaptation des services (microservices et services composites) pour garantir l'intégrabilité et l'interopérabilité des CPS.

Dans ce nouveau monde connecté, la quantité de données collectée croît d'une façon exponentielle. La difficulté, et le défi, à surmonter est que le besoin d'analyse de ces données, afin de produire des informations et découvrir des connaissances significatives, croît aussi exponentiellement [3].

2.2 Définition d'une architecture générique basée sur le modèle de référence de l'Autonomic Computing, permettant la coordination, la coopération et la collaboration des CPSoS

La conception de systèmes de systèmes CPS nécessite de prendre en compte l'hétérogénéité des acteurs et des données, et aussi de différents CPS. Nous visons la définition d'une architecture autonome, orientée services et basée composants, pour la reconfiguration dynamique guidée par le changement du contexte de ces environnements CPS. Cette vision s'appuie sur l'évolution des architectures orientées services vers les architectures pour l'Internet of Everything (IoE). Ainsi, une extension architecturale de l'approche orientée services est nécessaire pour intégrer les acteurs de l'loE des environnements connectés.

Le défi architecture est ainsi de pouvoir concevoir des systèmes intelligents capables de prendre des décisions pertinentes pour agir sur leurs environnements. Ces décisions peuvent être totalement automatisées ou avec un concours humain, et visent à adapter les services et produits pour satisfaire

les besoins clients et minimiser les coûts. Si on rajoute la multiplicité des CPS et leur coexistante dans des systèmes de CPS (CPSoS), alors les architectures actuelles sont rapidement à leurs limites, même si des premières propositions d'architectures de références pour l'industrie 4.0 ont émergées ces dernières années (tel que les architectures RAMI 4.0 [4] et IIRA [5]).

2.3 La prise en compte des propriétés non fonctionnelles dans les optimisations du système

Les systèmes cyber-physiques apportent leurs lots de complexités autour des propriétés non fonctionnelles : énergie, sécurité, fiabilité, qualité de service, etc. Les systèmes logiciels dans ces environnements CPS, doivent veiller à respecter ces contraintes et propriétés, et cela d'une manière autonome.

Nous identifions deux grandes pistes qui doivent être prises en compte par les systèmes logiciels :

- La consommation énergétique. Cela grâce à l'écoconception logicielle, et à une gestion autonome de l'impact énergétique des CPS. Cela passe aussi par l'exploitation de la puissance de calculs des CPS et des ressources disponibles pour minimiser l'impact énergétique de tout l'écosystème, y compris côté serveur et cloud. Les thématiques de « l'edge computing » et du « fog computing » permettraient d'avoir une vision globale des coûts énergétiques, et ainsi d'exploiter les ressources inutilisées dans les CPS.
- Les enjeux de la sécurité et de la fiabilité. En particulier, la confiance entre les acteurs des CPS, la protection des données générées ou analysées, et la gestion des contrôles d'accès au niveau des acteurs individuels et au niveau des systèmes CPS et CPSoS.
- La performance. Au-delà de la performance brute de chaque objet connecté, le défi est de construire une architecture logicielle et des méthodologies de traitement des données et des CPS, qui sont performants dans l'objectif global (ex. optimiser la productivité dans une Industrie 4.0 pourrait nécessiter un équilibrage entre des acteurs à différents niveaux de performance). À la suite de ces défis, la question de la mise à l'échelle des architectures logicielles se pose, et avec elle les contraintes de qualité de service : avec les CPS, nous sommes à une échelle plus importante d'acteurs, d'interactions et d'analyse de données, le tout géré dans une approche autonome.

Références

[1] Groupe de travail GLACE du GDR GPL. <http://gdr-gpl.cnrs.fr/Groupes/GLACE>

[2] Horizon 2020. Work Programme 2018 - 2020. https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-leit-ict_en.pdf

[3] Ernesto Exposito. Semantic-driven architecture for autonomic management of Cyber-Physical Systems (CPS) for INDUSTRY 4.0. In modeling, verification and testing of dependable critical systems workshop (DETECT 2019), in conjunction with 9th International Conference on Model & Data Engineering (MEDI 2019). 28-31 October, 2019. Toulouse, France.

[4] Kagermann, Henning, et al. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion, 2013.

[5] Lin, S. W., et al. "The industrial internet of things volume G1: reference architecture." Industrial Internet Consortium (2017): 10-46.