Le projet ANR INCOME, processus et outils logiciels pour des gestionnaires de contexte au dessus de l'Internet des objets

Jean-Paul Arcangeli[1], Amel Bouzeghoub[2], Valérie Camps[1], Sophie Chabridon[2], Denis Conan[2], Thierry Desprats[1], Romain Laborde[1], Sébastien Leriche[3], Pierrick Marie[1], Mohamed Mbarki[4], André Péninou[1], Chantal Taconet[2], Pascale Zaraté[1]

[1] Université fédérale de Toulouse — IRIT

[2] SAMOVAR, Télécom SudParis, CNRS, Université Paris-Saclay

[3] Université fédérale de Toulouse — ENAC

[4] ARTAL Technologies

Mots-clés

Intergiciel, Internet des objets, gestion de contexte

RÉSUMÉ

L'Internet des objets est une extension de l'Internet qui ouvre de nombreuses opportunités de construction de nouveaux services à haute valeur ajoutée dans de nombreux domaines. Cependant, les concepteurs de ces services doivent prendre en main des systèmes logiciels de plus en plus complexes.

Le projet INCOME étudie la brique logicielle de gestion de contexte qui traite et achemine les informations en provenance de l'Internet des objets entre producteurs et consommateurs d'informations fortement découplés. Le projet cible deux défis importants posés par l'Internet des objets : le traitement d'un flot continu d'informations et l'accès ouvert aux informations.

INCOME propose des processus, des langages et des outils logiciels génériques pour la conception, la mise en œuvre, le déploiement et l'exécution de gestionnaires de contexte capables non seulement de transformer et d'acheminer, mais en plus d'interpréter, de qualifier, de protéger et de filtrer les informations de contexte.

Les propositions sont mises en œuvre dans un démonstrateur pour le guidage porte à porte des usagers de transports multimodaux dans la ville intelligente.

1. ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE

Aujourd'hui, avec l'Internet des objets, de nouveaux services numériques intelligents peuvent être proposés dans différents domaines tels que la ville, la santé, l'agriculture, l'industrie du futur. La difficulté pour mettre en œuvre ces services provient du nombre, de la variété, de la dispersion et de la volatilité des objets et des utilisateurs. Ceux-ci produisent des données de qualités et de niveaux d'abstraction variables dont certaines sont particulièrement sensibles du point de vue de la vie privée des utilisateurs.

La **gestion de contexte** est une fonction essentielle pour la réalisation de services au-dessus de l'Internet des objets. Elle repose sur un système réparti constitué d'un grand nombre de composants logiciels aux fonctions multiples : collecte et production d'informations de contexte, identification de situations, traitements intermédiaires, routage logique et filtrage des informations à grande échelle. Ces composants, qui interagissent et échangent des flux d'informations, sont déployés sur des appareils hétérogènes : capteurs et objets intelligents à capacité limitée, *smartphones* et tablettes, ordinateurs personnels, serveurs de proximité, machines de l'informatique en nuage... Jusqu'en 2010 environ, la sensibilité des services au contexte était limitée à l'environnement ambiant [40]. Avec l'Internet des objets, les services peuvent être sensibles à des données issues de sources distantes. Proposer une infrastructure logicielle pour supporter de tels services présente un certain nombre de défis : outre l'hétérogénéité des données, la gestion de contexte doit répartir les traitements et contrôler les flux d'informations, assurer le passage à l'échelle, s'adapter à des environnements dynamiques, gérer des informations de qualité de contexte pour permettre des prises de décision appropriées. D'autre part, pour l'acceptabilité sociale des nouveaux services développés, il est indispensable de garantir le respect de la vie privée et la protection des données person-

nelles lors de la communication des informations de contexte.

Pour favoriser l'éclosion de nouveaux services à construire au-dessus de l'Internet des objets, il est nécessaire d'accompagner et d'outiller la **conception**, la **mise en œuvre**, le **déploiement** et l'**exécution** d'infrastructures adaptées de gestion de contexte. De plus, il est important de considérer l'ensemble du cycle de vie de ces services, de leur conception à leur déploiement [43].

Le projet INCOME cible certains défis mentionnés dans le document stratégique produit par l'IERC en 2012 [46] : la gestion de la complexité, la décentralisation des traitements pour le passage à l'échelle, la gestion basée sur les événements, la gestion d'événements complexes, la détection de situations d'adaptation de haut niveau sémantique, la gestion des données et des sources incertaines, ainsi que le respect de la vie privée. Notre contribution se situe au niveau **intergiciel** (logiciel entre le système et les applications) afin de permettre aux concepteurs de services de faire abstraction des aspects techniques liés aux interactions avec l'Internet des objets. INCOME propose une suite logicielle, c'est-à-dire des **processus** et une **infrastructure logicielle** génériques, qui supporte la conception, la mise en œuvre, le déploiement et l'exécution de gestionnaires de contexte capables de transformer et d'acheminer, mais aussi d'**interpréter**, de **qualifier**, de **protéger** et de **filtrer** les informations de contexte calculées à partir des données collectées. INCOME répond ainsi à des exigences architecturales, fonctionnelles et extra-fonctionnelles majeures :

- répartir les traitements et gérer les flux d'information dans un contexte de multiplicité, de dispersion, de dynamique et d'instabilité des producteurs et des consommateurs d'information ;
- contrôler et adapter la qualité des informations de contexte (QoC), par exemple la précision, la complétude et la fraîcheur ;
- respecter la confidentialité des informations pour protéger la vie privée des utilisateurs ;
- identifier des situations contextuelles en environnement instable et ouvert ;
- déployer le système de gestion de contexte en s'adaptant à l'environnement et à ses variations.

Dans cet article, nous présentons l'approche suivie en section 2, puis les résultats obtenus en section 3, avant de conclure en section 4.

2. APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Pour couvrir l'ensemble du cycle de vie des services, nous adoptons une approche dirigée par les modèles. Cette approche permet aux concepteurs de mieux appréhender la complexité des systèmes inhérente à l'Internet des objets [9]. Plus spécifiquement, nous ajoutons au processus une activité de caractérisation des aspects « multiéchelles » des systèmes à concevoir. Grâce à cette caractérisation, il est possible de contrôler la portée de diffusion des informations et le déploiement des composants de gestion de contexte dans un environnement réparti. Cette approche permet une meilleure maîtrise de la complexité qui résulte des caractéristiques d'hétérogénéité, de répartition et de dynamicité propres à l'IoT.

Alors que les solutions de l'état de l'art sont généralement centralisées ou à base de serveurs dans des nuages, la décentralisation choisie répond à un besoin de localité, dans le but de réaliser les traitements au plus près des producteurs et des consommateurs (sur l'objet connecté, sur un mobile, sur un serveur de proximité, etc.) pour réduire la latence et passer à l'échelle en nombre d'entités. Aussi, nous privilégions une **architecture fortement décentralisée** basée sur un **système réparti à base d'événements**.

Les exigences de **qualité** et de **respect de la vie privée** sont liées à l'accès ouvert aux informations dans l'Internet des objets. Ces deux exigences étant dépendantes, notre approche consiste à les prendre en compte conjointement et à considérer de manière symétrique les exigences et les garanties exprimées par les producteurs et les consommateurs.

Pour l'**identification de situation**, nous étudions comment les approches ontologiques, qui offrent un haut niveau d'abstraction et de formalisation, et les systèmes multi-agents (SMA), qui sont capables d'apprentissage adaptatif, peuvent être combinés pour interpréter le contexte et rendre l'identification de situation plus dynamique et mieux adaptée aux environnements ouverts et multiéchelles.

Enfin, pour s'adapter aux contraintes opérationnelles d'hétérogénéité et de dynamique au sein de l'IoT et répondre aux exigences de **déploiement** [1] (expressivité pour l'ingénieur, nombre et variété des appareils, apparitions et disparitions), notre approche repose sur une **spécification** abstraite des propriétés de déploiement du système de gestion de contexte conformément à sa caractérisation multiéchelle, et une **réalisation** automatisée et adaptative de manière décentralisée et autonome.

3. RÉSULTATS OBTENUS

Dans cette section, nous résumons les principaux résultats du projet et nous les positionnons par rapport à l'état de l'art.

3.1 Système de caractérisation à multiples points de vue et échelles

La modélisation par points de vue permet d'étudier un système avec un haut niveau d'abstraction et selon des points de vue complémentaires qui aident l'architecte à appréhender la complexité du système [42, 19]. Nous proposons un **système de caractérisation à multiples points de vue et échelles**, dans lequel le choix des points de vue (par exemple *administratif*, *géographique* ou *réseau*), des dimensions (par exemple *zone géographique* ou *distance*) et des échelles (par exemple *ville* ou *pays* pour la dimension *zone géographique*) est ouvert et non limité [38]. Le concepteur sélectionne les points de vue, dimensions et échelles pertinents en fonc-

tion des propriétés attendues du système. Alors, la caractérisation dite multiéchelle permet d'obtenir une vue réduite du système complexe. Le processus original de caractérisation multiéchelle que nous avons formalisé est supporté par le cadriciel MuSCa [1] [39]. La caractérisation obtenue est utilisée notamment pour le contrôle des flux d'informations (définition des portées de diffusion, filtrage des informations) [25] et pour le déploiement [5].

3.2 Système réparti multiéchelle à base d'événements

Comme rappelé dans [47], les choix architecturaux oscillent de manière cyclique entre centralisation et répartition. Dans l'approche centralisée mettant en œuvre l'informatique en nuage (par exemple la plateforme ARTIK Cloud [10] ou le standard IEEE-1888 [22]), le modèle d'affaire suppose que les applications tolèrent des latences possiblement élevées, des coûts de communication et énergétiques potentiellement élevés, et une centralisation des données personnelles par des tiers. En ligne avec les recommandations de la littérature pour les futures plateformes de l'IoT [15, 2], nous choisissons plutôt le modèle de communication publier–souscrire [16] qui permet des interactions anonymes et asynchrones entre producteurs et consommateurs, et dans lequel les informations sont acheminées et filtrées sur la base de contrats afin de propager les informations quand et où cela est nécessaire.

Dans un premier temps, nous proposons des filtres basés contenu qui permettent de réaliser des filtrages sur tout type d'information. Ces filtres vérifient les termes des contrats définis par les producteurs et les consommateurs, relatifs aux exigences et aux garanties de qualité de contexte et de respect de la vie privée, et contrôlent les flux d'informations de manière dynamique et adaptative. En outre, cette approche facilite les traitements complexes d'informations de contexte [13].

Dans un second temps, nous proposons le passage à l'échelle localisé (en anglais, *localised scalability*), c'est-à-dire un passage à l'échelle qui prend en compte les distances pour contrôler la distribution des données [41]. Pour ce faire, nous associons le concept d'échelle au concept de portée de distribution (en anglais, *scope*) [18, 17], pour définir le concept de « distribution multiéchelle » afin d'exprimer que la portée de distribution d'une notification est contrainte selon plusieurs critères, c'est-à-dire dans plusieurs zones logiques correspondant chacune à une échelle dans une dimension d'un point de vue de l'architecture répartie.

Nous avons défini et prouvé l'algorithme de routage réparti [11] et notre solution est mise en œuvre par le cadriciel muDEBS [2] [25, 8].

3.3 Identification de situations par approche hybride ontologie et SMA adaptatifs

Les techniques généralement employées pour identifier les situations utilisent des algorithmes d'apprentissage automatique à partir des données de contexte [37, 34, 35] ou sont axées sur la connaissance et utilisent des règles logiques et des mécanismes de raisonnement [36, 48, 6]. Dans INCOME, nous mixons données de l'IoT et données issues de bases de connaissances dans une architecture hybride qui associe ontologies et SMA adaptatifs. L'approche ontologique fournit un haut niveau d'abstraction et de formalisation pour la spécification des situations, mais la création d'un modèle en écrivant manuellement de nouvelles règles ou en modifiant l'existant est un processus trop laborieux et sujet aux erreurs. Pour assister ce processus, le SMA adaptatif ajuste en ligne les règles existantes et apprend de nouvelles situations par auto-organisation.

Notre solution, le système muSIC, intègre les deux approches pour identifier les types de situations connus et en apprendre de nouveaux [21]. La contribution principale est le processus d'« agentification » des règles déductives afin d'affiner les types de situation déjà connus et d'identifier les cas imprévus. muSIC utilise les retours négatifs des utilisateurs pour corriger ou ajuster une règle : c'est le *tuning*. Ce mécanisme permet de corriger rapidement une règle dans le cas où elle est proche d'une règle correcte. En revanche, lorsque la différence est significative, le seul mécanisme de *tuning* est insuffisant. Dans ce cas, muSIC reçoit plusieurs retours et apprend progressivement les prémisses d'une nouvelle règle, c'est-à-dire un nouveau type de situation pour lequel il ne connaît pas de règle associée. Il revient à un concepteur humain de valider le type de situation détecté et de construire la règle correspondante, cette règle étant elle-même agentifiée et intégrée au SMA. Le processus d'évolution assiste ainsi la création de nouvelles règles. L'apprentissage est continu et permet d'adapter dynamiquement les règles ou de détecter de nouvelles situations lorsque le comportement de l'utilisateur évolue.

3.4 Qualification et protection des informations de contexte

En réponse aux capacités accrues de collecte d'informations par l'IoT [44] il est fondamental d'offrir des mécanismes permettant de garantir le respect de la vie privée pour favoriser l'acceptabilité par les utilisateurs. Cependant, la protection des données de contexte est un sujet encore souvent négligé [2]. Ceci peut s'expliquer par l'existence de nombreuses solutions de sécurité efficaces, notamment en termes de contrôle d'accès et de chiffrement. Néanmoins, les solutions disponibles ne considèrent en général pas les spécificités des données de contexte ni les métadonnées de QoC qui leur sont associées. Ces métadonnées apportent des indications supplémentaires qui peuvent être exploitées pour la protection de la vie privée.

L'une des difficultés est alors de traiter les potentiels antagonismes entre, d'une part, les contraintes impliquées par la demande d'un niveau de QoC satisfaisant pour permettre des décisions pertinentes lors de l'adaptation au contexte et, d'autre part, la nécessité de garantir la protection des données fournies par les utilisateurs : par exemple, le producteur est contraint par le respect de la vie privée

1. https://fusionforge.int-evry.fr/www/musca/
2. https://fusionforge.int-evry.fr/www/mudebs/

qui implique de brouiller l'information de localisation, alors même que le consommateur demande un niveau de précision le plus élevé possible pour la localisation.

Pour la gestion conjointe de la vie privée et de la qualité de contexte, nous proposons des contributions intégrées dans trois cadriciels.

Premièrement, QoCIM [3] est un cadriciel pour la gestion de bout en bout de la qualité des informations de contexte [30, 31]. Il propose une solution générique, calculable et expressive basée sur un métamodèle regroupant la notion de contrat de qualité et la notion de définition de critère de qualité.

Deuxièmement, muContext [4] permet la définition de contrats symétriques pour les exigences et garanties de qualité de contexte et de respect de la vie privée. L'expression des politiques est traduite dans le modèle ABAC (Attribute-Based Access Control) [12] et mise en œuvre avec le langage standardisé XACML(eXtensible Access Control Markup Language) [26, 28]. Le modèle ABAC a été choisi en raison de sa flexibilité pour prendre en compte des informations de contexte au moyen d'attributs.

Troisièmement, Kapuer est un système d'aide à la décision multicritères qui assiste, par apprentissage, l'utilisateur non spécialiste dans la mise en place de politiques de contrôle d'accès pour protéger ses données privées [32, 33].

3.5 Processus et infrastructure de déploiement

Aucune solution pour le déploiement de systèmes logiciels répartis ne propose un processus complet allant de la conception à la réalisation automatisée, permettant la découverte des appareils hôtes et capable d'adapter dynamiquement le déploiement en fonction de la présence et de l'état des appareils. Certaines solutions permettent la spécification d'un plan de déploiement [23, 45] mais proposent peu d'abstraction par rapport au domaine (l'ensemble des appareils hôtes) et ne prennent en compte la notion d'échelle que de façon très limitée [27]. Concernant la réalisation, à l'exception de [7], aucune ne répond à la fois aux problèmes de dynamique, de nombre et d'hétérogénéité. Plusieurs proposent néanmoins des infrastructures décentralisées [29, 27, 20], voire autonomiques. Parmi ces dernières, ADME [14] est la plus avancée, mais le domaine doit être défini statiquement et les révisions du plan de déploiement sont calculées de manière centralisée.

Notre contribution pour le déploiement de systèmes de composants logiciels sur des infrastructures d'exécution multiéchelles [3] consiste en un processus complet de déploiement, un langage dédié, MuScADeL, pour la description abstraite du déploiement sans connaissance exacte du domaine et au moyen de constructions dédiés aux caractéristiques multiéchelles [4], et un intergiciel, MuScADeM [5] [39], pour la mise en œuvre du déploiement adaptatif, décentralisé et autonomique [24]. En outre, la description abstraite s'appuie directement sur la caractérisation multiéchelle du système à déployer [5]. Notre solution n'est pas spécialisée pour le système de gestion de contexte mais générique dans le cadre des systèmes répartis multiéchelles.

3.6 Démonstrateur 4ME

Le démonstrateur 4ME (MultiModal, Mobilité, MultiEchelle) est un système de guidage porte-à-porte en milieu urbain destiné aux usagers de transports multimodaux (pédestre, véhicules personnels, vélos en libre-service, transports en commun) qui assure un accès ubiquitaire en temps réel aux informations en provenance d'objets communicants ou de serveurs dits en *open data* pour proposer des itinéraires adaptés à la situation des utilisateurs. Les processus de conception ainsi que les briques logicielles produites dans le projet et intégrées à 4ME ont supporté et facilité le développement de cet ensemble de services pour la ville intelligente.

Le démonstrateur et un scénario complet sont présentés dans une vidéo en ligne [6] de 8mn qui synthétise et vulgarise les résultats du projet.

4. CONCLUSIONS

L'Internet des objets donne une nouvelle dimension à l'Internet classique. Cette nouvelle dimension est caractérisée notamment par l'accroissement du nombre d'entités connectées et l'hétérogénéité de ces entités. L'Internet des objets ouvre de nombreuses opportunités de construction de nouveaux services à haute valeur ajoutée dans de nombreux domaines. Cependant, les concepteurs de ces services doivent prendre en main des systèmes de plus en plus complexes.

Dans le projet INCOME, nous étudions plus particulièrement le service intergiciel de gestion de contexte, c'est-à-dire le traitement et l'acheminement des informations en provenance de l'Internet des objets entre des producteurs et des consommateurs d'informations fortement découplés. Nous considérons l'ensemble du cycle de vie des gestionnaires de contexte depuis leur conception jusqu'à leur déploiement. Nous proposons des processus de conception, des langages spécifiques ainsi que des outils logiciels génériques pour faciliter la prise en main de la complexité des systèmes dans un contexte fortement décentralisé et hétérogène.

Nous organisons le filtrage en temps réel de vastes flots de données supporté par un système réparti à base d'événements qui prévoit des portées de diffusion multiples définies par une caractérisation multiéchelle du système. Pour répondre à l'accès ouvert aux informations, nous prenons en considération les préoccupations de respect de la vie privée des utilisateurs finaux et de gestion de qualité de contexte dans le filtrage des informations. Ses préoccupations sont traitées d'une part par la définition et la gestion de contrat de bout en bout et d'autre part par un système d'aprentissage pour faciliter la définition des contrats de vie privée par les utilisateurs finaux.

3. https://fusionforge.int-evry.fr/www/qocim/
4. https://fusionforge.int-evry.fr/www/mucontext/
5. http://lii-enac.fr/muscadem/
6. https://www.youtube.com/watch?v=iGx03mdj_Rk

Nous ajoutons par ailleurs des systèmes d'apprentissage pour identifier de nouvelles situations pertinentes pour les usagers.

Les processus de conception et les outils logiciels ont été évalués qualitativement à travers un démonstrateur pour le guidage porte à porte des usagers de transports multimodaux dans la ville intelligente. Cette évaluation montre l'apport des processus et outils logiciels pour la mise en œuvre et le déploiement de nouveaux services au dessus de l'Internet des objets.

Les propositions INCOME se démarquent de l'état de l'art par une approche fortement décentralisée. Cette approche reste à valider quantitativement sur des déploiements *in situ* de services pour l'Internet des objets.

5. REMERCIEMENTS

Le projet INCOME est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-11-INFR-009, 2012–2015).

6. REFERENCES

[1] J.-P. Arcangeli, R. Boujbel, and S. Leriche. Automatic deployment of distributed software systems : Definitions and state of the art. *Journal of Systems and Software*, 103 :198–218, May 2015.

[2] P. Bellavista, A. Corradi, M. Fanelli, and L. Foschini. A Survey of Context Data Distribution for Mobile Ubiquitous Systems. *ACM Computing Surveys*, 44(4) :24:1–24:45, Aug. 2012.

[3] R. Boujbel. *Déploiement de systèmes répartis multi-échelles : processus, langage et outils intergiciels*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, France, janvier 2015.

[4] R. Boujbel, S. Leriche, and J.-P. Arcangeli. A Framework for Autonomic Software Deployment of Multiscale Systems. *International Journal on Advances in Software*, 7(1 & 2) :353–369, 2014.

[5] R. Boujbel, S. Rottenberg, S. Leriche, C. Taconet, J.-P. Arcangeli, and C. Lecocq. MuScADeL : A Deployment DSL based on a Multiscale Characterization Framework (regular paper). In *IEEE International Workshop on Modeling and Verifying Distributed Applications (MVDA), Vasteras, 21/07/2014-25/07/2014*, pages 708–715. IEEE Computer Society, juillet 2014.

[6] A. Bouzeghoub, K. Do, and L. Wives. Situation-aware adaptive recommendation to assist mobile users in a campus environment. *Advanced Information Networking and Applications, International Conference on*, 0 :503–509, 2009.

[7] L. Broto, D. Hagimont, P. Stolf, N. D. Palma, and S. Temate. Autonomic management policy specification in Tune. In R. L. Wainwright and H. Haddad, editors, *23rd Annual Symposium on Applied Computing (SAC 2008)*, pages 1658–1663. ACM, 2008.

[8] S. Chabridon, D. Conan, T. Desprats, M. Mbarki, C. Taconet, L. Lim, P. Marie, and S. Rottenberg. A Framework for Multiscale-, QoC- and Privacy-aware Context Dissemination in the Internet of Things. In *Proc. 11th EAI International Conference on Collaborative Computing : Networking, Applications and Worksharing (CollaborateCom) November 10-11, 2015, Wuhan, People's Republic of China*, Nov. 2015.

[9] X. Chen, A. Li, X. Zeng, W. Guo, and G. Huang. Runtime model based approach to IoT application development. *Frontiers of Computer Science*, 9(4) :540–553, 2015.

[10] A. Cloud. Samsung artik cloud. https ://developer.artik.cloud/, 2016.

[11] D. Conan, S. Chabridon, T. Desprats, R. Laborde, L. Léon, P. Marie, A. Manzoor, S. Rottenberg, C. Taconet, L. Xuan, and J. Zhu. Architecture of Multiscalable Context Management — Version 2. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 3.1, december 2014.

[12] M. Covington and M. Sastry. A Contextual Attribute-Based Access Control Model. In *Proc. OTM workshops on the move to meaningful Internet systems*, pages 1996–2006, 2006.

[13] G. Cugola and A. Margara. Processing Flows of Information : From Data Stream to Complex Event Processing. *ACM Computing Surveys*, 44(3) :15:1–15:62, June 2012.

[14] A. Dearle, G. N. C. Kirby, and A. McCarthy. A middleware framework for constraint-based deployment and autonomic management of distributed applications. *CoRR*, abs/1006.4733, 2010.

[15] O. Etzion and P. Niblett. *Event Processing in Action*. Manning Publications Co., Greenwich, CT, USA, 1st edition, 2010.

[16] P. Eugster, P. Felber, R. Guerraoui, and A.-M. Kermarrec. The Many Faces of Publish/Subscribe. *ACM CS*, 35(2), June 2003.

[17] L. Fiege, M. Cilia, and B. Mühl. Publish-subscribe grows up : Support for management, visibility control, and heterogeneity. *IEEE Int. Comp.*, 10(1), Jan. 2006.

[18] L. Fiege, M. Mezini, G. Mühl, and A. Buchmann. Engineering Event-Based Systems with Scopes. In B. Magnusson, editor, *Proc. 16th European Conference on Object-Oriented Programming*, volume 2374 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 309–333, Málaga, Spain, June 2002. Springer-Verlag.

[19] R. France and B. Rumpe. Model-driven Development of Complex Software : A Research Roadmap. In *2007 Future of Software Engineering*, FOSE'07, pages 37–54, Washington, DC, USA, 2007. IEEE Computer

Society.

[20] P. Goldsack, J. Guijarro, S. Loughran, A. N. Coles, A. Farrell, A. Lain, P. Murray, and P. Toft. The SmartFrog configuration management framework. *Operating Systems Review*, 43(1) :16–25, 2009.

[21] V. Guivarch, V. Camps, A. Péninou, and A. Bouzeghoub. Software integrating AMAS and ontologies for dynamic identification and learning of contextual situations — Version 1. ANR INFRA INCOME Multi-Scale Context Management for the Internet of Things deliverable Task 3.2, july 2015.

[22] ISO/IEC/IEEE Information technology-Ubiquitous green community control network protocol, 2015.

[23] G. Juve and E. Deelman. Automating Application Deployment in Infrastructure Clouds. In *IEEE Third Int. Conf. on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom 2011)*, pages 658–665, 2011.

[24] J. Kephart and D. Chess. The Vision of Autonomic Computing. *IEEE Computer*, 36(1), Jan. 2003.

[25] L. Lim and D. Conan. Distributed Event-Based System with Multiscoping for Multiscalability. In *9th Middleware Workshop on Middleware for Next Generation Internet Computing (M4WNG), 15th International Middleware Conference*, pages 8–12, Bordeaux, France, Dec. 2014. ACM.

[26] L. Lim, P. Marie, D. Conan, S. Chabridon, T. Desprats, and A. Manzoor. Enhancing context data distribution for the internet of things using qoc-awareness and attribute-based access control. *Annals of Telecommunications - Annales des Télécommunications*, ON LINE FIRST SINCE 2015, OCTOBER 13 :1–12, 2015.

[27] C. Louberry, P. Roose, and M. Dalmau. Kalimucho : Contextual Deployment for QoS Management. In P. Felber and R. Rouvoy, editors, *Distributed Applications and Interoperable Systems (DAIS 2011)*, pages 43–56, 2011.

[28] S. Machara Marquez. *Models and algorithms for managing quality of context and respect for privacy in the Internet of Things*. Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay, Télécom SudParis, Nov. 2015. (Soutenance le 17/11/2015).

[29] U. Manzoor and S. Nefti. QUIET : A Methodology for Autonomous Software Deployment using Mobile Agents. *J. Network and Computer Applications*, 33(6) :696–706, 2010.

[30] P. Marie. *Gestion de bout en bout de Qualité de Contexte pour l'Internet des Objets : la cadriciel QoCIM*. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, novembre 2015. (Soutenance le 30/11/2015).

[31] P. Marie, T. Desprats, S. Chabridon, M. Sibilla, and C. Taconet. From Ambient Sensing to IoT-based Context Computing : An Open Framework for End to End QoC Management. *Sensors*, 15(6) :14180–14206, 2015.

[32] A. Oglaza. *Système d'aide à la décision pour la protection des données de vie privée*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Toulouse, France, septembre 2014. (Soutenance le 12/09/2014).

[33] A. Oglaza, P. Zarate, and R. Laborde. Kapuer : A decision support system for privacy policies specification. *Annals of Data Science*, 1(3) :369–391, 2015.

[34] S. Pekka and J. Röning. Recognizing human activities user-independently on smartphones based on accelerometer data. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 1(5) :38–45, 06/2012 2012.

[35] S. Pekka and J. Röning. Recognizing human activities user-independently on smartphones based on accelerometer data. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 1(5) :38–45, 06/2012 2012.

[36] A. Ranganathan, J. Al-Muhtadi, and R. Campbell. Reasoning About Uncertain Contexts in Pervasive Computing Environments. *IEEE Pervasive Computing*, 3(2) :10–18, Apr. 2004.

[37] P. Rashidi, D. Cook, L. Holder, and M. Schmitter-Edgecombe. Discovering activities to recognize and track in a smart environment. *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, 23(4) :527–539, 2011.

[38] S. Rottenberg. *Models, methods and tools for multiscale distributed systems*. Thèse de doctorat, Université d'Évry, Télécom SudParis, Apr. 2015. (Soutenance le 27/04/2015).

[39] S. Rottenberg, S. Leriche, C. Taconet, C. Lecocq, and T. Desprats. MuSCa : A Multiscale Characterization Framework for Complex Distributed Systems (regular paper). In M. Ganzha, L. Maciaszek, and M. Paprzycki, editors, *FedCSIS-MDASD (Model Driven Approaches in System Development), Warsaw, Poland, 07/09/2014-10/09/2014*, volume 2 of *Annals of Computer Science and Information Systems*, pages 1657–1665, http ://www.ieee.org/, septembre 2014. IEEE.

[40] F. Sadri. Ambient Intelligence : A Survey. *ACM Computing Surveys*, 43(4) :1–66, 2011.

[41] M. Satyanarayanan. Pervasive Computing : Vision and Challenges. *IEEE Personal Communications*, 8(4) :10–17, August 2001.

[42] D. C. Schmidt. Guest editor's introduction : Model-driven engineering. *IEEE Computer*, 39(2) :25–31, 2006.

[43] H.-L. Truong and S. Dustdar. Principles for engineering iot cloud systems. *IEEE Cloud Computing*, 2(2) :68–76, Mar 2015.

[44] UIT. Internet of things, 2011.

[45] S. van der Burg and E. Dolstra. Disnix : A Toolset for Distributed Deployment. *Science of Computer Programming*, 79 :52–69, 2014.

[46] O. Vermesan, P. Friess, G. Woysch, P. Guillemin, S. Gusmeroli, H. Sundmaeker, A. Bassi, M. Eisenhauer, and K. Moessner. *IERC—Cluster Book*, chapter Europe's IoT Strategic Research Agenda 2012. IERC European Research Cluster on the Internet of Things, 2012.

[47] R. Want, B. Schilit, and S. Jenson. Enabling the Internet of Things. *IEEE Computer*, 48(1), Jan. 2015.

[48] J. Ye, L. Coyle, S. Dobson, and P. Nixon. Using situation lattices to model and reason about context. In *Fourth International Workshop on Modeling and Reasoning in Context (MRC 2007)*., pages 1–12, August 2007.