

EnTiMid: un middleware au service de la maison

Grégory Nain*, Olivier Barais*
Régis Fleurquin*, Jean-Marc Jézéquel*

*Université de Rennes 1 / IRISA / INRIA Bretagne Atlantique
prenom.nom@irisa.fr,
<http://www.irisa.fr/triskell>

Résumé. Face aux enjeux de société liés au vieillissement de la population, la domotique est souvent citée comme une solution pour favoriser le maintien à domicile des personnes âgées et la coordination des acteurs autour de cette problématique. Cet article liste les exigences auxquelles doit faire face une plate-forme domotique. Il montre que ces exigences rendent inopérantes les solutions commerciales existantes, d'autant que ces dernières cherchent bien souvent à imposer sur le marché une solution propriétaire qui ne peut prétendre à la richesse fonctionnelle nécessaire. Il propose, en conséquence, un ensemble de propriétés souhaitables pour un intergiciel orienté domotique, permettant le déploiement d'une solution à l'échelle d'une agglomération. L'architecture d'un intergiciel construit au dessus d'une plateforme OSGI, et respectant ces propriétés est ensuite présentée. Enfin, une expérience de déploiement de cet intergiciel dans le cadre du laboratoire domotique de l'université de Rennes 1 met en évidence la pertinence de la solution proposée.

1 Introduction

La prise en compte du vieillissement des populations est une préoccupation majeure de la plupart des sociétés occidentales. La domotique, par le fait qu'elle peut faciliter le maintien à domicile des personnes âgées, constitue un élément de réponse pertinent. En effet, elle rend possible la mise à disposition d'une multitude de services facilitant le quotidien des personnes âgées ou dépendantes qui peuvent et souhaitent rester à leur domicile tout en leur garantissant un niveau de sécurité équivalent à celui offert par les structures d'accueil traditionnelles en passe de saturation (maisons de retraite, hôpitaux, etc.). Ces services couvrent un large spectre, les plus représentatifs étant l'assistance aux tâches devenues pénibles et la surveillance médicale à distance. La multiplicité des acteurs concernés (patients, collectivités territoriales, médecins, infirmières, fournisseurs, etc.) à différents niveaux (habitat, agglomération, département, etc.) ainsi que le caractère sensible et évolutif de ces services posent des contraintes très particulières sur les plates-formes logicielles capables de les supporter.

Nous proposons dans cet article un rapport d'expérience sur la construction d'une architecture logicielle pour un intergiciel de domotique. Cet article est structuré de la manière suivante. Dans un premier temps, nous identifions les exigences (section 2) auxquelles un système domotique doit être en mesure de répondre. Puis nous énumérons (section 3) les propriétés que doit afficher un intergiciel domotique pour respecter les exigences décrites. L'architecture d'un intergiciel respectueux de ces propriétés et conçu au dessus d'une plate-forme OSGI est ensuite présentée (section 4). Une illustration du déploiement de cet intergiciel dans le cadre du laboratoire domotique de l'université de Rennes 1, nous permet d'analyser la pertinence de l'intergiciel proposé (section 5). Après une comparaison de ce travail avec ceux portant sur la construction d'intergiciels domotiques et sur la

construction de traducteurs automatiques de protocoles (section 6), nous concluons et présentons les travaux à mener dans le futur (section 7).

2 Les exigences associées à un intergiciel pour la domotique

L'interconnexion des réseaux est la première exigence qui ressort d'une analyse des préoccupations des acteurs du domaine. De plus en plus, la nécessité de faire communiquer entre eux des appareils non compatibles (caméras, interrupteurs, capteurs de présence, etc.) en provenance de multiples constructeurs est au coeur des préoccupations. En effet, un service local à un habitat peut exiger le pilotage d'équipements d'une grande variété, aussi bien sur le plan fonctionnel que technologique. Cet impératif se retrouve également pour certains services globaux ayant pour objet la gestion au niveau d'une agglomération, d'un parc préexistant d'équipements potentiellement très hétérogènes. En conséquence, la conception de services locaux ou globaux repose sur l'orchestration de dispositifs en provenance de constructeurs différents. Or, à ce jour, les constructeurs tendent plutôt à vouloir capter leurs clients au travers de protocoles propriétaires incompatibles.

L'ouverture à des protocoles de haut niveau semble être la deuxième exigence. Le modèle économique pressenti autour de la domotique se compare souvent à celui d'un Amazon ou d'un Google, il est difficile de prévoir à l'avance tous les services qui pourront être construits par dessus ce type de système. Celui-ci doit donc permettre de développer et déployer facilement des services de haut niveau construits comme une agrégation de services de plus bas niveaux accessibles sur le web ou dans une maison.

Favoriser les accès nomades représente la troisième exigence. L'accès aux services de la domotique ne doit plus se faire uniquement via une télécommande universelle localisée dans l'habitat. Les équipements doivent pouvoir être sollicités et administrés depuis plusieurs lieux (la personne depuis son habitat, l'infirmière depuis sa voiture, le médecin depuis son cabinet, le technicien depuis son bureau, etc.), au travers de différents matériels (une station de travail, un assistant personnel, un téléphone intelligent, une télévision, etc.), selon des interfaces adaptées à chaque contexte et type d'intervenant (depuis un navigateur web, une application dédiée, un client de messagerie instantanée, etc.). Cela implique, en particulier, le support de protocoles de communication de haut niveau facilitant l'écriture de services nomades.

Des solutions dynamiques de déploiement favorisant la prise en charge des des nouveaux dispositifs et technologies à venir est bel et bien la quatrième exigence. Les trois exigences précédentes font l'hypothèse d'un univers figé en termes de services, de matériels et de protocoles, mais il est clair que de nouveaux protocoles vont être proposés ou standardisés, de nouveaux services plus riches et plus complexes vont être publiés. Il est donc vital qu'une telle plate-forme de domotique permette des évolutions sans perturber les composants logiciels qu'elle héberge.

La sûreté et la sécurité forment enfin la cinquième et dernière exigence. Les systèmes domotiques déployés devront garantir des niveaux de fiabilité, de disponibilité, de sûreté (sécurité des biens et des personnes) et de sécurité (contrôle des accès aux services selon le type des intervenants) élevés. En particulier, un fonctionnement en mode dégradé doit permettre de maintenir un niveau de service adéquat, malgré la présence de pannes de dispositifs matériels, de composants logiciels, ou la perte d'une connexion réseau.

Toutes ces exigences rendent inopérantes les solutions commerciales existantes. En effet, ces dernières cherchent bien souvent à imposer sur le marché une solution propriétaire qui ne peut prétendre à la richesse fonctionnelle nécessaire. Elles limitent la prise en charge de leur plate-forme à leurs seuls matériels, excluant toute possibilité de conception de services transversaux. C'est le cas de solutions comme celles de DeltaDore ou de Legrand qui, au travers de protocoles propriétaires, souhaitent profiter de leur position dominante sur le marché pour capter un maximum

de clients. Plus encore, les offres de convergence entre le monde de la domotique et le monde informatique sont également très rares. En particulier, la possibilité de développer des services de haut niveau par agrégation de services présents sur le WEB ou dans un habitat reste, à ce jour, une tâche difficile du fait du manque d'ouverture des solutions domotiques.

3 Propriétés de l'intergiciel EnTiMid

Afin de répondre aux cinq exigences présentées dans la section qui précède, nous avons dégagé plusieurs propriétés souhaitables pour notre intergiciel EnTiMid :

- une couche d'abstraction dédiée pour supporter efficacement l'hétérogénéité des équipements (première et troisième exigence) ;
- une architecture en couches construites à base de composants pour permettre le développement modulaire par catégorie de services et faciliter l'évolutivité de l'intergiciel (deuxième et quatrième exigence) ;
- un mode de communication par messages pour découpler les services et limiter l'impact sur le système d'une panne d'un équipement (deuxième et cinquième exigence) ;
- une approche générative pour supporter l'hétérogénéité des protocoles d'intégration avec les environnements numériques de travail ou de loisirs (troisième exigence) ;
- une configuration et une reconfiguration dynamique pour permettre l'adaptation du système à l'évolution des équipements de la maison, des services offerts et du contexte d'exécution (quatrième exigence).

Nous allons dans la suite de cette section, détailler chacune de ces propriétés.

Une couche d'abstraction L'univers de la domotique est peuplé d'une multitude de protocoles de communication de terrain (standards ou propriétaires). Ces protocoles se justifient souvent par le fait que les segments de marché visés par les acteurs de la domotique ne sont pas les mêmes. A titre d'exemple, on peut citer les protocoles qui suivent : LonWorks, Dali, KNX, InOne By Legrand (IOBL) ou encore X2D. Dans le monde du réseau et des télécommunications, il existe également une multitude de protocoles qui agissent à différents niveaux du modèle OSI. Ces protocoles sont, en général, incompatibles. La solution adoptée par le monde des réseaux, a été la création de couches d'abstraction supplémentaires, appelées ponts ou passerelles entre les différents protocoles de communication. De façon similaire, il est fortement probable qu'aucun réseau de terrain ne s'imposera dans la domotique. Il faudra donc composer avec des protocoles plus ou moins compatibles développés par les constructeurs eux-mêmes. Or, la réalisation de services distants ne peut se faire que si les accès aux différentes technologies se fait de façon uniforme. Il est inconcevable de développer des applications au cas par cas, en fonction des technologies et/ou des spécificités du logement. Comme pour l'informatique, un effort d'abstraction doit donc être entrepris dans la domotique. Il est indispensable de proposer un niveau d'abstraction suffisamment élevé pour ne plus dépendre de la technologie employée, mais seulement de la fonction des appareils. Sous cette condition, les configurations se feront d'une manière uniforme, facilitant le travail des développeurs de services. Des ponts entre ce niveau d'abstraction et les différents protocoles existants permettront d'assurer l'interopérabilité des équipements dans le cadre de services transversaux.

EnTiMid propose, en conséquence, une couche d'abstraction dans laquelle peuvent s'établir les communications. Moyennant un mécanisme d'encodage et de décodage propre à chaque protocole,

EnTiMid: le middleware de la maison

les communications peuvent se faire d'une manière uniforme et cela quels que soient les protocoles réellement utilisés par les différents participants.

Une architecture en couches orientée composants La couche d'abstraction permet d'uniformiser les modes d'accès aux différentes ressources. Elle nécessite cependant l'écriture d'un module logiciel ad hoc pour chaque protocole. Dans le futur, de nouveaux et nombreux protocoles risquent d'apparaître. Ils seront issus de nouveaux constructeurs ou pourquoi pas, le fruit d'accords entre les différents acteurs des technologies du bâtiment. Par exemple, Zigbee propose une couche physique, une couche réseau et une couche matérielle pour le déploiement d'équipement et leur communication à très faible consommation. Les équipements de type Zigbee arrivent depuis peu sur le marché. Dans un avenir plus lointain, 6lowpan (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks) en cours de standardisation pour permettre des communications à faible débit mais très peu consommatrices en énergie, verra le jour. Les protocoles applicatifs qui arriveront au dessus de ces couches réseaux arriveront donc dans les mois et années à venir. Il serait surprenant que ces protocoles ne diffèrent pas de ceux qui existent actuellement. Il faut donc offrir le moyen de faciliter l'écriture des futurs modules qui prendront en charge l'intégration de ces protocoles au niveau de la couche d'abstraction. Une architecture à base de composants limiterait cet effort en permettant la réutilisation de certaines parties du code de ces modules et l'encapsulation pour adaptation d'autres parties. Les modules d'intégration deviendraient eux-mêmes des composants réutilisables si besoin.

Plus encore, une architecture distinguant 3 couches (protocoles de haut niveau, couche d'abstraction, protocoles de bas niveau) offrirait la possibilité de découpler la problématique des protocoles de haut niveau (UPnP, DPWS, etc.), de celle des protocoles de bas niveau (IOBL, X2D, etc.). Ce distinguo est essentiel car nous le verrons, il est possible de générer automatiquement les passerelles vers certains de ces protocoles

EnTiMid propose donc d'utiliser une architecture en couches à base de composants pour ajouter facilement de nouveaux protocoles logiciels.

Un mode de communication par messages La sûreté de fonctionnement d'un système est un point très important dès lors que des vies sont potentiellement en jeu. Afin de limiter l'impact lors de la panne d'un des équipements ou module logiciel, le mode de communication retenu au sein d'EnTiMid, est un mode de communication par messages décentralisé, car il confère à l'intergiciel deux propriétés intéressantes.

C'est tout d'abord un atout dans des aspects de tolérance aux fautes. Ne nécessitant pas une centralisation des communications, les différents composants de l'application peuvent être installés, arrêtés ou désinstallés, sans pour autant se perturber les uns les autres entre composants indépendants.

La communication par messages permet aussi de prendre en compte de façon native, le fort asynchronisme lié aux événements générés sur les réseaux domestiques. Ainsi, lorsqu'un appui est effectué sur une télécommande, par exemple, un message formaté aux conventions de la couche d'abstraction, est propagé à l'ensemble des composants à l'écoute pour leur signaler l'évènement.

EnTiMid propose donc un mode de communication par messages.

Des mécanismes de génération automatique pour la convergence numérique Si les protocoles de communications avec les équipements souffrent d'une trop grande variété, les couches d'interconnexion pour assurer une convergence numérique sont elles aussi nombreuses. De nombreux protocoles comme l'*Universal Plug and Play* (UPNP), le *Devices Profile for Web Services* (DPWS - Jammes et al. (2005)) ou le *Digital Living Network Alliance* (DLNA) offrent des moyens d'intégrer les équipements domotiques dans un environnement numérique de travail ou de loisirs.

Bien que peu utilisés à ce jour à leur plein potentiel, il est probable que demain des sociétés développeront des services s'appuyant sur ces protocoles de haut niveau. Là encore, EnTiMid doit être en mesure d'assurer une compatibilité du système avec les protocoles nécessaires, par la simple génération de profils adéquats au dessus de sa couche d'abstraction. De plus, très peu de produits d'automatismes intègrent aujourd'hui des piles de compatibilité avec ces protocoles, pour des raisons de coût, de puissance de calcul ou d'utilité. Mais à travers cette génération l'ensemble des produits compatibles avec l'intergiciel se verrait offrir gratuitement une publication dans l'ensemble des protocoles de haut niveau déployés sur la passerelle à laquelle ils sont rattachés. De même, il serait possible de définir facilement son propre langage d'interaction avec ses équipements aux travers de son logiciel de messagerie instantanée.

EnTiMid propose donc d'utiliser les mécanismes de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles pour générer les couches de communication dédiées à ces protocoles de haut niveau depuis notre modèle de communication.

Chargement de configuration à chaud La mise à disposition de nouveaux services et la prise en charge de nouveaux protocoles tout en maintenant la disponibilité de certains services essentiels qui ne doivent pas être affectés passe nécessairement par la présence d'un mécanisme permettant l'ajout, le retrait ou la modification à chaud de composants logiciels. La fiabilisation de l'installation peut également profiter de ce type de mécanisme. En effet, elle peut se faire au travers d'une adaptation de celle-ci à son contexte d'exécution interne (panne d'un composant logiciel) et externe (panne d'un dispositif matériel ou logiciel partenaire). Le système doit pour cela se doter de mécanismes pour d'une part détecter les problèmes et d'autre part calculer et adopter une configuration maintenant un maximum de fonctionnalités critiques en état de marche. Prenons l'exemple d'un système d'alerte par téléphone ; si des travaux sur la ligne occasionnent une coupure, le système doit alors en cas d'alerte après détection de cette coupure trouver une solution alternative (émission d'un SMS par exemple) pour acheminer le message à tout prix. Ceci implique de mobiliser de nouveaux services et donc une capacité à se reconfigurer dynamiquement. Le chargement de la configuration tel qu'il est fait actuellement n'est pas qu'un simple chargement des produits à associer de pair à pair ou à inclure dans un scénario. Bien entendu, tout ceci y est défini, mais une partie du travail consiste à télécharger, installer et démarrer l'ensemble des composants logiciels, ainsi que leurs dépendances, nécessaires à la mise en place effective de cette configuration. Exporté dans un format tel que XMI, le fichier de configuration aurait la capacité de passer un très grand nombre de filtres de l'Internet ; un avantage dans le cadre d'un déploiement de configuration à distance. Prenons l'exemple d'une société gérant les services déployés dans le domicile d'une personne âgée ; le déploiement d'une nouvelle configuration se résume à réaliser la configuration en local, puis à télécharger ce fichier de configuration sur la passerelle à travers l'interface HTTP. EnTiMid prendrait alors en compte et déploierait la configuration dans l'instant, sans coupure de service, ni redémarrage.

EnTiMid propose donc, d'une part, un mécanisme d'adaptation à chaud et, d'autre part, un langage de description d'architectures pour sa (re-)configuration dynamique.

4 Détails sur la mise en œuvre de l'intergiciel EnTiMid

Fondée sur OSGi L'intergiciel EnTiMid a été conçu au dessus de la plate-forme dynamique de services OSGi (OSGi; Alliance (2007)). Dans ce type d'architecture orientée services, on impose la prise en compte, dès le début des développements, du fait qu'un service peut à tout moment être ajouté ou retiré à chaud. En conséquence, chaque composant logiciel (appelé bundle dans le jargon OSGi) est prévu pour être déployé même si l'ensemble des services, nécessaires à la

EnTiMid: le middleware de la maison

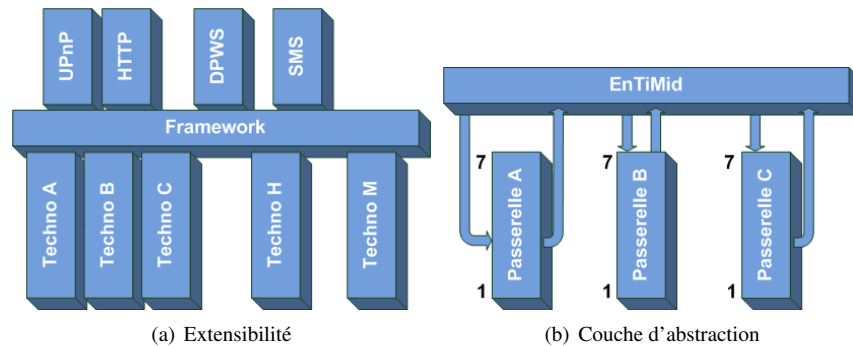


FIG. 1 – Vue générale d'EnTiMid

réalisation de ce pourquoi il a été mis en place, ne sont pas déployés. Par ailleurs, OSGi offre de façon native un mécanisme de gestion du cycle de vie des composants, qui prend en compte l'installation (respectivement la désinstallation) le démarrage ou la mise à jour de composants sans nécessiter un redémarrage du logiciel ou de la plateforme. L'exploitation de ces propriétés d'OSGi permet à EnTiMid de répondre aux problématiques d'évolutivité à travers, d'une part, l'architecture à base de composants et, d'autre part, de la prise en compte des modifications à chaud. La figure 1(a) qui manifeste l'architecture logique de notre intergiciel illustre le fait que les bundles sont faiblement couplés, facilitant ainsi la gestion des cycles de vie ; elle met également en valeur la forte modularité de l'application, et ses capacités d'extension.

L'implantation de la couche d'abstraction Sur la figure 1(b) sont représentées différentes passerelles, de différentes technologies, permettant un contrôle des produits par un acteur extérieur à la technologie. La communication avec ces dernières peut se faire à de multiples niveaux du modèle OSI ; à travers une interface RS232 pour la passerelle A, à l'aide d'une interface HTTP pour la passerelle B ou enfin, un mélange de l'ensemble des possibilités (comme modélisé pour la passerelle C).

Le *framework* fourni par EnTiMid offre un ensemble d'interfaces et de classes génériques. C'est donc à travers le portage des différents moyens d'accès aux technologies, au niveau de ce *framework*, que le niveau d'abstraction nécessaire à une utilisation transparente de ces passerelles est atteint. Pour présenter l'organisation structurelle des différents types de bundles présents autour du *framework*, nous nous appuyons sur un modèle en couches que la figure 1(a) illustre. Cette figure constitue, en fait, un zoom sur le composant "Framework - EnTiMid" de la figure 1(b).

Le modèle de données représentant la couche d'abstraction est présenté dans la figure 3. Ce modèle permet de décrire les différents équipements comme des capteurs/actionneurs permettant de déclencher ou d'écouter des *HouseActions*. Un patron de conception composite permet de voir les scènes comme une succession ordonnée d'actions élémentaires.

La couche basse est composée par les bundles pilotes. A l'image des pilotes de périphériques d'un ordinateur, ces bundles sont en charge de la communication entre EnTiMid et les différentes passerelles technologiques présentes dans l'installation. Un bundle pilote est chargé de répercuter les actions générées sur le réseau physique en messages sur EnTiMid, ainsi que de transmettre une demande circulant au sein d'EnTiMid vers les périphériques de la technologie dont il est traducteur, au travers de la passerelle pour laquelle il réalise les transformations nécessaires.

Au dessus de cette couche, intervient la couche dite "neutre" qui est simplement composée du bundle EnTiMid : c'est la couche d'abstraction. Dès cette couche atteinte, les messages, peu importe leur provenance ou leur destination, sont tous au même format. Définis par un type et des données, leur uniformisation permet un traitement des informations métier, sans se soucier des spécificités du réseau émetteur ou destinataire.

Se dessine ensuite la couche de "haut niveau", regroupant l'ensemble des bundles développés au dessus de la couche neutre. Profitant des messages uniformisés, ces bundles déploient leurs efforts pour proposer des actions de gestion, locale ou distante, complètement automatisées ou non, ainsi que des actions de présentation. C'est dans cette couche, et au delà, que seront développés les services de demain, apportant dans la maison, des systèmes de gestion plus fine des énergies électriques, thermiques, solaires, mais aussi des outils de surveillance des intrusions, de contrôle d'accès ou d'aide au maintien à domicile de personnes dépendantes.

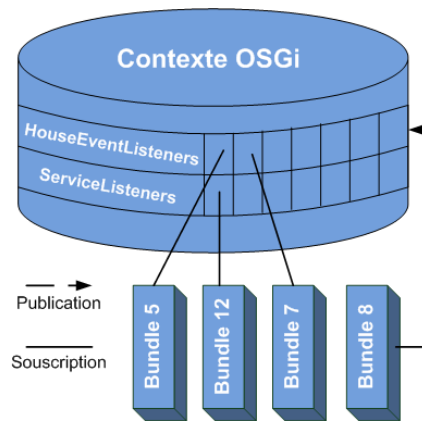


FIG. 2 – Mécanisme de publication/souscription

Mécanisme de publication/souscription La problématique posée par le fort asynchronisme des événements est résolue en utilisant un système de publication/souscription (figure 2). Ainsi, les modules qui le souhaitent peuvent se mettre en écoute, souscrire à un certain type d'évènement. Ils seront alors informés à chaque fois qu'un message sera publié. Le nombre de souscriptions n'est jamais connu à l'avance, et des bundles, et donc les services qu'ils exposent, peuvent se mettre à l'écoute ou se retirer à n'importe quel moment. Ainsi les messages ne sont propagés que vers les bundles à l'écoute, évitant ainsi d'envoyer des messages vers des services désinstallés par exemple. Il existe cependant deux méthodes offrant chacune des avantages et des inconvénients.

La première méthode consiste à s'abonner, aux événements d'enregistrement et de résiliation des services, auprès de la base (à l'image du Bundle 12 sur la figure 2). Il est ainsi possible de répertorier l'ensemble des services nécessaires disponibles de façon complètement passive. Le gain de temps est alors évident, puisqu'une simple consultation d'un booléen permet de dire si la tâche peut ou non s'exécuter. Mais avec cette méthode, il n'est pas impossible qu'un message se perde ou arrive en retard, et qu'un service disponible au moment du test ne le soit plus à l'exécution de la tâche.

La seconde méthode, que nous avons adoptée dans EnTiMid, consiste à rechercher dans la base d'enregistrement des services, ceux nécessaires à l'exécution de la tâche ; et cela, à chaque fois que la tâche est appelée (cf : Bundle 8). On assure ainsi qu'avant chaque exécution de la tâche, l'ensemble des services nécessaires sont présents. S'il manque un service, la tâche est abandonnée

ou mémorisée pour exécution ultérieure. Bien entendu, le revers de la médaille est un accroissement du temps de contrôle par rapport au temps de calcul réel.

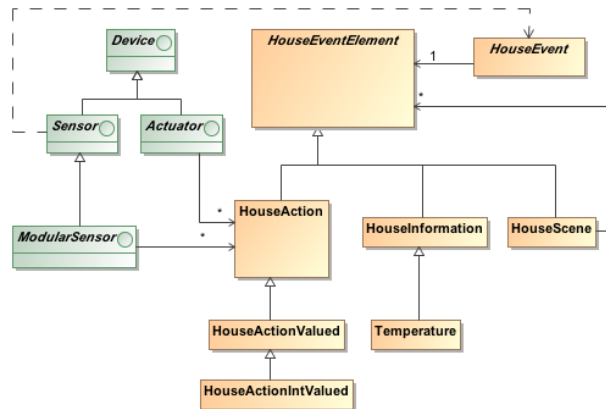


FIG. 3 – *Modèle de la couche d'abstraction*

Ingénierie des modèles et dépôts de bundles La grande dynamique nécessaire à l'application a imposé la mise en place d'un système de configuration (enregistrement et chargement) assez complexe. La structure des fichiers de configuration, et le code logiciel nécessaire à leur utilisation, ont été définis et générés au moyen des techniques de modélisation EMF. L'enregistrement de la configuration liste l'ensemble des périphériques installés par constructeurs, en traitant dans un premier temps les actionneurs, puis les capteurs, et traite enfin les configurations par à par, de zones et de scènes. Cette partie plus spécifique de l'utilisation de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles pour la génération des traducteurs vers les couches hautes est présentée en détail dans Nain et al. (2008).

C'est au chargement que les efforts sont les plus importants. Premièrement, car il est nécessaire de vérifier que l'ensemble des composants logiciels nécessaires au chargement de la configuration, sont installés et disponibles sur le système. Le cas échéant, le système se tourne vers les dépôts de bundles à sa disposition pour télécharger et déployer les bundles nécessaires et suffisants. C'est alors que la configuration est déployée dans le même ordre qu'elle a été conçue (actionneurs en premier, puis capteurs). L'ordre est important, car la configuration ne sauvegarde pas le message à transmettre, mais seulement une référence vers le produit cible, et le type d'action à réaliser. A chaque chargement, les messages sont donc recréés, et cette création nécessite que l'actionneur cible soit installé avant que le capteur lié ne soit configuré.

5 Cas d'utilisation et d'étude

L'intergiciel développé est actuellement déployé au sein du laboratoire de domotique de l'Université de Rennes 1. Bien que de nombreux développements soient nécessaires pour que des fonctionnalités plus poussées puissent être mises en œuvre (voir la Figure 4 pour une description claire de ce qui est fait, en cours ou à faire), EnTiMid est d'ores et déjà utilisé pour la simulation de cas concrets.

Le laboratoire est avant tout un espace de simulation, c'est pourquoi il est divisé en plusieurs pièces : cuisine, salon, bureau et chambre. Chacune de ces pièces est équipée d'une technologie prédominante différente. Le salon est équipé de luminaires Legrand, pilotés au moyen du protocole

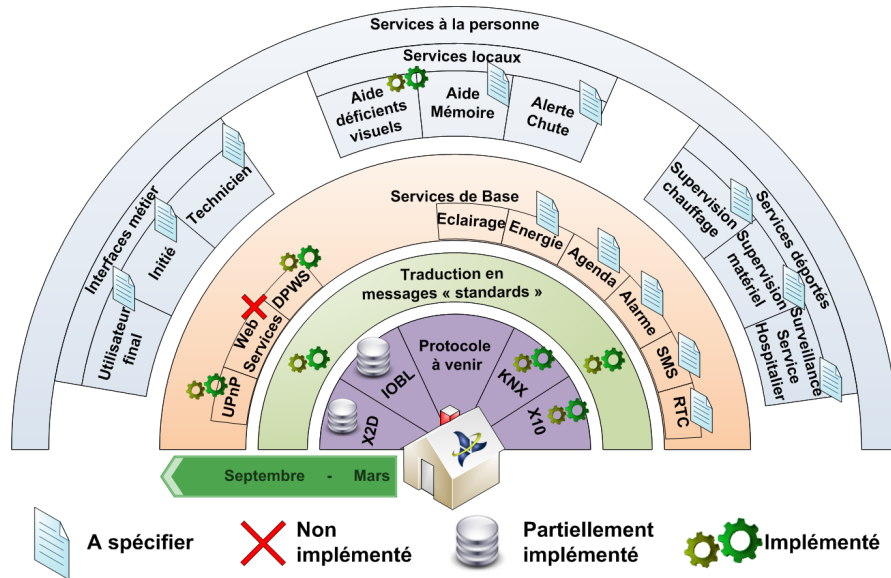


FIG. 4 – Vue globale de l'état de la mise en œuvre

IOBL (InOne By Legrand) via des interrupteurs Sagane 84520, ainsi que d'une commande de volets roulants Sagane 84526. De leur côté, le bureau et la cuisine sont tous deux équipés de la technologie Delta Dore : plafonniers (TYXIA 442), récepteur pour volets roulants et chauffage, le tout piloté en X2D radio et courant porteur. Enfin la chambre est équipée d'un store géré par une commande radio TR221, de plafonniers et de prises commandables de technologie Konnex contrôlés par un module TX223.

Chacune de ces technologies, et chacun de ces constructeurs, permet de créer des scénarios (par exemple "un départ" ou "une arrivée" dans un habitat). Prenons l'exemple d'un scénario de départ. Dans notre laboratoire, il était nécessaire de déclencher le départ pour la technologie Konnex, en appuyant sur le bouton 3 d'une télécommande TU204, puis pour Legrand, grâce aux boutons d'un interrupteur Sagane 84425 et enfin pour X2D le déclenchement se faisait via une passerelle HTTP. Du fait qu'EnTiMid permet d'interagir d'un réseau à un autre, la mise en exploitation au sein du laboratoire de ce scénario a pu être réalisé de manière globale : un appui sur le bouton 3 de la télécommande Konnex TU204 génère un évènement qui déclenche en cascade les scénarios de départ de Legrand et Delta Dore.

Cet exemple reste un cas élémentaire mais néanmoins concret d'utilisation de la plateforme. A une échelle plus intéressante, imaginons un ensemble de maisons ou un quartier résidentiel pour personnes âgées. Chacune de ces maisons est équipée par une technologie répondant au plus juste, aux besoins de ses occupants. Il est probable que l'on userait dans ce quartier de plusieurs constructeurs ou technologies. Le gardien, chargé de vérifier qu'à 21h toutes les portes sont closes, les volets baissés et les lumières éteintes, devrait se connecter aux différentes maisons à travers différentes passerelles d'accès (donc différentes interfaces), ayant chacune leur mode de fonctionnement propre, pour faire son travail. EnTiMid, du fait de son aptitude à communiquer avec différentes technologies, pourrait être déployé dans chacune de ces habitations. Il servirait alors de "passerelle universelle". Le gardien se verrait proposer un mode unique de connexion et une méthode unique d'action, indépendamment de la technologie de la maison. Mieux encore, il deviendrait possible de déployer des solutions technologiques sur chacune des passerelles pour que ces vérifications

puissent se faire de façon automatique, et qu'une alerte remonte au gardien en cas d'anomalie.

Au cours de leur formation, les étudiants inscrits en licence professionnelle "Services et Produits pour l'Habitat" doivent apprendre à évaluer, utiliser et configurer les matériels dans le domaine des bâtiments. Dans ce cadre, ils sont amenés à réfléchir sur la mise en place de solutions techniques pour répondre à des besoins de développements de nouveaux services à la personne. Limités dans un premier temps à la mise en place de solutions mono-technologie, pour des problèmes de compatibilité des produits en termes de communication, l'intégration de notre intergiciel leur a permis de réfléchir à des solutions multi-fournisseurs, ouvrant ainsi le champ des possibles, et permettant des réponses techniques plus précises aux problèmes. De la même manière, les étudiants du Master 2 "Domotique, Immotique et Réseaux Intérieurs" intègrent cet intergiciel dans leurs réflexions sur de nouvelles solutions techniques pour le développement de nouveaux services aux personnes et aux entreprises ; tels que des gestions techniques du bâtiment plus fines, des propositions d'aide aux économies d'énergies pour les particuliers ou le développement de solutions globales d'aide au maintien à domicile de personnes dépendantes.

6 Travaux connexes

6.1 Les intergiciels pour la domotique

Li et Zhang (2004) ont développé une passerelle de services domestiques, dont le but est de permettre la communication entre des systèmes "dans la maison" et des systèmes "hors de la maison", autorisant les utilisateurs à se connecter à leur passerelle à travers un portail centralisé "hors de la maison". L'interface HTTP permet de contrôler les périphériques de la maison utilisant le protocole LonWorks, grâce à la création, à la demande, d'un réseau privé virtuel entre la maison et le serveur extérieur. La plateforme "dans la maison" est développée au dessus d'une passerelle OSGi, et implémente des algorithmes offrant à la passerelle des capacités Plug& Play. Bien que des travaux futurs soient annoncés pour développer des profils UPnP, il semble que l'évolutivité de la plateforme soit limitée. Comparé à cette solution, EnTiMid facilite l'interopérabilité des équipements, et offre de grandes possibilités d'évolution grâce à sa couche d'abstraction, explicite et accessible pour des traducteurs ad-hoc.

Valtchev et Ivailo Frankov (2002) ont développé une passerelle de contrôle de "maison intelligente". Cette passerelle offre une couche d'abstraction des protocoles utilisés pour communiquer avec les équipements physiques. La solution proposée est construite pour s'intégrer et interagir avec de multiples passerelles de services. Bien que les besoins de s'intégrer dans une telle architecture dans l'avenir soient déjà identifiés, nous avons choisi de passer outre cette contrainte dans un premier temps, et donc, cette solution devenait trop lourde. Par ailleurs, il n'était pas prévu d'offrir de protocoles de plus haut niveau pour cette solution.

Dans la même lignée, *SStreaMWare* Gurgun et al. (2008), est un intergiciel qui adopte une approche orientée-services. Les fonctionnalités de récupération des données auprès des capteurs sont fournies en termes de services afin de cacher l'hétérogénéité de ceux-ci. Ces services implémentent des modèles de données et de requêtes, qui permettent d'évaluer des requêtes complexes sur les flux de données issues des capteurs. A l'image d'EnTiMid l'arrivée, le départ, la modification des capteurs et des services sont pris en compte de manière dynamique dans *SStreaMWare*. Les mécanismes de requêtes élaborés sur des données, disponibles dans *SStreaMWare*, ou sur les événements d'une application, comme ce que l'on trouve dans Wildcat (David et Ledoux (2005)), sont des éléments qui restent à intégrer dans EnTiMid afin de permettre une description simple de scénarios de haut niveau.

Bottaro *et al.* ont développé une passerelle orientée services (André Bottaro et Géroddolle (2008)) pour offrir des abstractions comme DPWS aux protocoles de communication des équipements. Dans leur plateforme, chaque équipement doit s'enregistrer auprès du contexte OSGi pour chaque protocole de haut niveau qu'il veut supporter. Par conséquent, chaque équipement doit implémenter toutes les fonctions (interfaces) demandées par chaque protocole d'abstraction, pour pouvoir s'enregistrer. Lors de l'exécution, les gestionnaires de protocoles de haut niveau récupèrent tous les équipements enregistrés comme étant compatibles avec leur technologie, et les publient sur le réseau qu'ils gèrent. L'approche générative d'EnTiMid permet d'exporter nativement les équipements présents dans le système sans impact sur l'implémentation des différents équipements.

Les travaux les plus proches d'EnTiMid sont sans doute les travaux de Didier Donsez (Donsez et al. (2007)) sur la définition d'une passerelle orientée multi protocoles pour contrôler les équipements de la maison. Si les constats sont les mêmes, un certain nombre de choix diffèrent : l'utilisation d'un intergiciel à base de messages, la possibilité de spécifier des traducteurs de haut niveau, le support des protocoles IOBL et X2D sont autant de caractéristiques qui diffèrent entre les travaux.

De cette étude des plateformes orientées domotique, il ressort que le problème de l'interopérabilité est souvent pris en compte. L'utilisation d'OSGi permet d'imaginer, quand cela n'est pas encore le cas, le support de la dynamique des services. Cependant, EnTiMid se différencie en proposant une architecture en couches avec une explicitation du modèle d'abstraction et une approche générative pour le support des protocoles de haut niveau. D'un point de vue du domaine, le support d'X2D et d'IOBL est une caractéristique rarement offerte par les passerelles précédemment citées.

6.2 Interopérabilité entre protocoles ou entre intergiciels

La problématique levée par l'hétérogénéité des protocoles de communications entre équipements ou entre intergiciels a été explorée et a donné lieu à de nombreux résultats ces dernières années.

PolyORB (Vergnaud et al. (2004)) constitue le premier intergiciel configurable, personnalisable et schizophrène. Un intergiciel schizophrène généralise le concept d'intergiciel en permettant d'instancier simultanément plusieurs personnalités interagissantes. PolyORB tend donc à faciliter la construction de passerelles dynamiques entre différents environnements de répartition. PolyORB intègre une personnalité pour CORBA et SOAP. Fortement inspiré par ces travaux, EnTiMid transpose cette approche pour la construction de la couche de communication avec les protocoles comme SOAP, DPWS ou UPnP afin d'offrir plusieurs personnalités.

Parmi les travaux récents, la thèse de David Bromberg (Bromberg (2006)) vise à résoudre cette problématique d'interopérabilité des protocoles. De manière identique à ce travail, nous avons mis en place dans EnTiMid une architecture dynamique permettant d'adapter l'intergiciel de façon transparente aux nouveaux équipements présents. Sur la partie couche basse d'EnTiMid, nous nous plaçons clairement dans une approche de substitution de protocole, à l'aide de bundles qui assurent la traduction de notre représentation abstraite vers les protocoles des différents équipements. Comme dans cette thèse, la substitution de protocoles requiert l'implémentation de nouveaux bundles pour chaque nouveau protocole, afin que ceux déjà présents puissent s'adapter dynamiquement aux équipements disponibles ou aux besoins des utilisateurs. La conception de nouveaux intergiciels nécessitant de ré-implémenter en conséquence les clients/services existants, signifie que l'interopérabilité est non transparente pour les couches basses. La partie couche haute d'EnTiMid se différencie de ces travaux. Nous nous plaçons clairement dans un cadre de traduction automatique de protocole, comme défini dans cette thèse, mais notre approche diffère par l'utilisation de l'Ingénierie Dirigée par les Modèles pour la traduction. L'IDM apporte des langages

pour spécifier cette traduction (transformation) et des outils pour générer les bundles de traduction vers UPnP ou DPWS. L'utilisation de l'IDM pour construire des intergiciels adaptables à base de composants a été proposée par Rouvoy et Merle (2004).

7 Conclusion

Cet article propose un retour d'expérience sur la construction d'un intergiciel pour les équipements domotiques, offrant les bases pour construire de nouvelles applications au dessus de cette première couche d'abstraction des technologies de la maison. Il offre trois caractéristiques intéressantes :

Dynamacité La possibilité de modifier à l'exécution les paramètres du logiciel, de démarrer, d'arrêter certains services, de bouleverser la configuration des périphériques, sans avoir la nécessité de redémarrer le système est un très gros avantage. Ceci évite que le système ne réponde pas à un ordre important (alarme incendie par exemple) à cause d'un redémarrage ; ou encore, cela facilite son utilisation par des personnes non férues de technologies, qui trouvent une réalisation effective de leurs actions sans manipulation supplémentaire. Il nous reste cependant à définir plus précisément les mécanismes de reconfiguration.

Évolutivité Du fait de sa conception, et de sa neutralité, EnTiMid se veut être une plateforme évolutive, dans le sens où de nouvelles technologies, ainsi que de nouveaux protocoles de "haut niveau", peuvent être développés sans avoir à modifier les développements précédents. Mieux encore, de nouveaux services non prévus au départ pourront être intégrés de façon aisée, simplement en ajoutant les classes nécessaires au framework. Ainsi, sans toucher aux implémentations, il est possible de créer de nouveaux services et de nouvelles interconnexions.

Multi personnalités Tant sur le plan des technologies que de la présentation des données, EnTiMid propose diverses personnalités. Capable aujourd'hui de communiquer avec un nombre restreint de technologies (X2D, IOBL, X10, KNX, UPnP, DPWS, SOAP), il sera possible demain de communiquer avec l'ensemble des technologies domotiques, dès que les développements seront réalisés. Dans les perspectives de ces travaux, nous prévoyons d'intégrer des outils de description de scénarios en intégrant des outils de monitoring avancés, comme la nouvelle version de wildcat (David et Ledoux (2005)) qui offre une intégration d'ESPER¹ (un outil de gestion des événements), ou des descriptions à base de logique floue, fortement utilisée dans l'univers du contrôle (Chauvel et al. (2008)). Le travail sur la sécurité, crucial dans ce domaine, est encore à explorer en profondeur. D'un point de vue expérimentation, EnTiMid va être intégré dans un appartement prototype. En effet, face au manque de place croissant en centres d'hébergement pour des personnes dont l'indépendance diminue (âgées ou handicapées), et face à leur volonté de rester à leur domicile le plus longtemps possible, l'ASSAD du pays de Rennes a initié un projet de "Maintien à domicile et habitat évolutif", avec le soutien du Conseil de développement de l'agglomération Rennaise (CODESPAR). Après avoir identifié les besoins, un cahier des charges fonctionnel a été livré. Pour répondre à ce cahier des charges, les solutions des différents constructeurs et partenaires du projet ont été étudiées dans le but de définir un carnet de route. Comptant parmi les solutions retenues, EnTiMid sera prochainement intégré dans un appartement prototype en tant que point d'accès privilégié de la maison, et outil d'interconnexion des réseaux domestiques.

¹<http://esper.codehaus.org/>

Acknowledgments

The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme FP7/2007-2013 under grant agreement 215483 (S-Cube). (<http://www.s-cube-network.eu>).

Références

- Alliance, T. O. (2007). Osgi service platform core specification, release 4.
- André Bottaro, Eric Simon, S. S. et A. Gérodolle (2008). Dynamic web services on a home service platform. In *22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 378–385.
- Bromberg, Y.-D. (2006). *Résolution de l'hétérogénéité des intergiciels d'un environnement ubiquitaire*. Ph. D. thesis, Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, Versailles, (France).
- Chauvel, F., O. Barais, N. Plouzeau, I. Borne, et J.-M. Jézéquel (2008). Expression qualitative de politiques d'adaptation pour fractal. In *Langage Modèles et Objets LMO'08*, Montréal, Quebec.
- David, P.-C. et T. Ledoux (2005). Wildcat : a generic framework for context-aware applications. In *MPAC '05 : Proceedings of the 3rd international workshop on Middleware for pervasive and ad-hoc computing*, New York, NY, USA, pp. 1–7. ACM.
- Donsez, D., J. Bourcier, C. Escoffier, P. Lalanda, et A. Bottaro (2007). A multi-protocol service-oriented platform for home control applications. *Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE*, 1174–1175.
- Gurgen, L., C. Roncancio, C. Labbé, A. Bottaro, V. Olive, et D. Donsez (2008). Sstreamware : a service oriented middleware for heterogeneous sensor data management. In *ICPS '08 : Proceedings of the 5th international conference on Pervasive services*, New York, NY, USA, pp. 121–130. ACM.
- Jammes, F., A. Mensch, et H. Smit (2005). Service-oriented device communications using the devices profile for web services. In *MPAC '05 : Proceedings of the 3rd international workshop on Middleware for pervasive and ad-hoc computing*, New York, NY, USA, pp. 1–8. ACM.
- Li, X. et W. Zhang (2004). The design and implementation of home network system using osgi compliant middleware. *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 50.
- Nain, G., E. Daubert, O. Barais, et J.-M. Jézéquel (2008). Using mde to build a schizophrenic middleware for home/building automation. In P. Mähönen, K. Pohl, et T. Priol (Eds.), *Towards a Service-Based Internet*, pp. 49–61. Springer.
- OSGi. Osgi alliance. <http://www.osgi.org/About/HomePage>.
- Rouvoy, R. et P. Merle (2004). Towards a model-driven approach to build component-based adaptable middleware. In *ARM '04 : Proceedings of the 3rd workshop on Adaptive and reflective middleware*, New York, NY, USA, pp. 195–200. ACM.
- UPnP. The UPnP Forum. <http://www.upnp.org>.
- Valtchev, D. et P. S. A. Ivailo Frankov (2002). Service gateway architecture for a smart home. *IEEE Communications Magazine* 40, 126–132.
- Vergnaud, T., J. Hugues, L. Pautet, et F. Kordon (2004). Polyorb : A schizophrenic middleware to build versatile reliable distributed applications. *LNCS 3063*, 106–119.

Summary

One of the society challenges of tomorrow is the aging population. Often pointed as a possible solution for this issue, house automation can help elderly people stay at home as long as possible, and ease the coordination of the domain actors. In this context, this paper lists the requirements of such a system, showing that today's commercial solutions are not flexible enough to reach the necessary functional richness. According to these

EnTiMid: le middleware de la maison

requirements, a set of properties a middleware should offer in order to be deployed at a city scale is identified. Then this paper describes the software architecture of a suitable middleware built over OSGi, respecting the listed properties. After that, an experience report of the deployment of this middleware, in the laboratory of the Université de Rennes 1 highlights the relevance of the proposed solution.