



Intelligence physique dans l'habitat

Michele Dominici

► **To cite this version:**

Michele Dominici. Intelligence physique dans l'habitat. MajecSTIC 2010, Oct 2010, Bordeaux, France. 2010. <hal-00950681>

HAL Id: hal-00950681

<https://hal.inria.fr/hal-00950681>

Submitted on 21 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Intelligence physique dans l'habitat

Michele Dominici

Equipe-projet ACES, INRIA Rennes - Bretagne Atlantique, Campus Universitaire de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex - France.

Contact : Michele.Dominici@inria.fr

Résumé

Les solutions d'habitat intelligent existantes adoptent une approche logique, qui s'appuie sur une instrumentation lourde de l'environnement et sur des techniques complexes qui analysent de grandes quantités de données brutes. Nous proposons d'adopter une approche physique, où les informations sont portées directement par les entités du monde physique et les traitements sont déclenchés par des échanges significatifs d'information. Cet article rappelle les concepts d'habitat intelligent et d'ubiquité numérique, analyse les points faibles des approches logiques et introduit l'approche physique, illustrant un premier prototype qui démontre sa faisabilité.

Abstract

The state-of-the-art solutions in the smart home domain rely on a logical approach, based on a heavy instrumentation of the environment and on complex techniques that analyze very large amounts of data. This paper proposes the adoption of a physical approach, in which the information and the computations are carried and executed directly by augmented physical entities, allowing small, meaningful exchanges of data that need less complicated processing. This paper describes this approach and illustrates a first prototype that demonstrates its feasibility.

Mots-clés : Habitat intelligent, approche physique, ubiquité numérique, informatique diffuse, domotique.

Keywords: Smart homes, physical approach, ubiquitous computing, object augmentation, home automation.

1. Introduction

L'*habitat intelligent* est un domaine d'application des STIC qui, pendant les dernières années, a vu un grand intérêt de la communauté scientifique. Il s'agit d'un habitat équipé de dispositifs d'information et de communication conçus pour collaborer afin d'anticiper et répondre aux exigences des occupants, en travaillant pour promouvoir leur confort, sécurité et divertissement tout en préservant leur interaction naturelle avec l'environnement [1]. Ces objectifs ont conduit à chercher des solutions pour les problématiques de l'habitat intelligent dans les principes de l'*ubiquité numérique*. L'ubiquité numérique (ou *informatique diffuse*) est un paradigme d'interaction homme-machine qui a comme but d'intégrer de façon homogène et transparente une multitude de dispositifs numériques disséminés dans l'environnement qui fournissent des services aux utilisateurs sans demander leur attention [2]. Grâce à l'ubiquité numérique, une émission de télévision peut par exemple « suivre » un habitant dans ses déplacements d'une pièce à une autre de la maison, en étant diffusée en chaque moment par l'appareil le plus proche, sans nécessité d'intervention.

Pour atteindre ces objectifs, les applications d'ubiquité numérique détectent le *contexte* dans lequel elles sont exécutées. Le contexte est une notion assez ambiguë, qui dépend du domaine d'application. D'une manière générale, il peut être défini comme l'environnement d'exécution

des applications, représenté comme une collection d'informations se rapportant aux environnements numériques, physiques et aux utilisateurs.

Les solutions d'habitat intelligent existantes acquièrent leur contexte grâce à des capteurs disséminés dans l'environnement. Ceux-ci envoient continuellement de grandes quantités de données brutes vers une unité centrale, chargée d'en extraire des informations utiles. Nous appellerons *approche logique* cette façon d'adresser les problématiques présentées. Dans ce papier, nous introduisons l'*approche physique* : les informations sont disséminées dans l'environnement, portée par les entités physiques, et les traitements sont exécutés directement par ces mêmes entités. Cela permet de restreindre les communications à des échanges riches d'information, qui nécessitent des traitements moins complexes que les solutions existantes. Nous démontrons la faisabilité de cette approche en décrivant un premier prototype que nous avons réalisé afin d'explorer les possibilités de distribution de l'information dans l'environnement.

2. Habitat intelligent

Les solutions, prototypes et expérimentations traitant de l'habitat intelligent sont nombreuses et présentent une grande variété. Dans cette section nous proposons une caractérisation des composants structurels et fonctionnels des habitats intelligents existants.

2.1. Schéma fonctionnel d'un habitat intelligent

Dans notre définition, un habitat intelligent doit offrir des services contextuels à ses habitants. Nous pouvons identifier quatre étapes nécessaires pour remplir cet objectif :

1. **Capturer** – l'habitat intelligent acquiert des données en provenance des différents constituants du contexte ;
2. **Comprendre** – l'habitat intelligent analyse les données capturées, ce qui permet de comprendre la situation dans laquelle se trouvent l'habitat et ses habitants. Nous verrons dans la suite de ce papier que cette tâche peut être facilitée par un choix judicieux des mécanismes de capture de données ;
3. **Agir** – l'habitat intelligent utilise ces informations pour fournir des services ;
4. **Apprendre** – l'habitat intelligent prend en compte les conséquences de ses interventions en vue des futures prises de décision.

2.2. Schéma structurel d'un habitat intelligent

Au niveau structurel, nous pouvons identifier quatre composants principaux dans un habitat intelligent :

1. **Architecture** - cette catégorie inclut les dispositifs et équipements technologiques. En font partie les infrastructures de communication, les unités de traitement, les capteurs, les actionneurs et d'autres appareils ou objets « augmentés » par des capacités de calcul et de communication sans-fil. Les capteurs récoltent des informations provenant de l'environnement. Il peut s'agir de la détection ou localisation des habitants [3,4], de leur identification [5], de la détection de leurs mouvements [8] ou encore du contrôle des conditions physiques de l'habitat (température, luminosité, humidité, etc.). Les actionneurs agissent sur l'environnement ou fournissent des notifications aux habitants. Ils peuvent inclure, à titre d'exemple, des dispositifs de contrôle des lumières, du système de chauffage ou de climatisation mais aussi des écrans d'affichage ou autres périphériques de sortie.
2. **Acquisition de données** – les capteurs peuvent propager leurs données en réponse à une requête, de manière continue, ou sur validation d'une condition particulière. Cette condition peut être le résultat de l'application de techniques de prétraitement, de filtrage et d'agrégation de données, exécutées directement par les réseaux de capteurs [9]. Rentrent aussi dans cette catégorie les intergiciels, qui permettent de faire abstraction

de la couche physique et fournissent des mécanismes de souscription aux événements générés par les capteurs.

3. **Perception de contexte** – cet élément prend en charge la fonctionnalité de compréhension de contexte en fournissant des modèles de représentation de contexte [10], des paradigmes de programmation [11], des outils de raisonnement [12], des techniques de modélisation et de reconnaissance d'activité [6,7].
4. **Services aux habitants** – rentrent dans cette catégorie toutes les techniques adoptées pour gérer le système domotique de façon à ce que les préférences, les habitudes et la psychologie des habitants soient prises en compte. A titre d'exemple, on peut citer l'apprentissage des préférences, les techniques de « just-in-time messaging » [13] et de reprise en main du système.

3. Solutions existantes

Nous allons maintenant analyser trois prototypes existants d'habitat intelligent suivant les différents aspects présentés. Ces solutions sont représentatives de l'approche logique dont nous avons parlé dans l'introduction.

3.1. Prosafe

Campo et Chan [14,15] proposent Prosafe, un prototype d'habitat intelligent capable de surveiller des personnes âgées ou handicapées et de déclencher une alarme si une situation dangereuse est détectée. L'approche s'appuie sur des valeurs de seuil, utilisées pour calculer et analyser les habitudes des habitants. Les tests effectués sur le prototype ont mis en évidence de nombreuses fausses alarmes, dues principalement à la difficulté de calculer des seuils fidèles et de construire des modèles réellement représentatifs des habitudes des habitants (qui souvent ne possèdent pas de véritables régularités).

3.2. Ergdom

Campo et Bonhomme [16,17] proposent Ergdom, une solution qui gère le système de chauffage de l'habitat afin de créer un environnement confortable, tout en réduisant la consommation énergétique et les interventions des habitants. Le système prédit l'occupation des pièces de l'habitat et calcule la température de confort en analysant l'historique des détections de présence et des choix des habitants. Les tests effectués montrent que les limites technologiques des capteurs empêchent souvent de détecter correctement la présence des habitants et mettent en évidence la difficulté de gérer les comportements qui font exception aux habitudes.

3.3. Adaptive House

La « maison adaptative » (Adaptive House) [18,19] gère automatiquement les systèmes d'éclairages, chauffage et ventilation pour réduire la consommation énergétique. Le cœur du système s'appuie sur la capacité à déterminer et prédire l'occupation de chaque zone de la maison. Les tests du prototype ont montré que, à cause de la complexité d'analyse des données reçues des capteurs, les erreurs de prédiction et les actions immotivées du système sont fréquentes et causent la gêne et la frustration des habitants.

3.4. Approche logique

Tous les prototypes introduits sont caractérisés par : *i*) une architecture mettant en œuvre des détecteurs de mouvement infrarouges, utilisés pour localiser les habitants, et une unité de traitement centralisée ; *ii*) une acquisition de données réalisée de manière continue par l'unité de traitement ; *iii*) des techniques de compréhension de contexte suffisamment élaborées pour traiter des données brutes ; *iv*) de longues phases pendant lesquelles les habitants sont obligés de corriger les actions du système pour qu'il apprenne à gérer son fonctionnement.

Cette approche, de type logique, oblige les utilisateurs à s'adapter aux limites technologiques des systèmes, nécessitant des phases complexes d'apprentissage ou bien leur demandant d'intervenir ou de participer au processus de fourniture des services et au final les écartant de

leurs activités quotidiennes. En outre, ces systèmes sont souvent caractérisés par un coût élevé et une installation complexe.

4. Proposition pour une approche physique

L'approche utilisée dans les solutions existantes, que nous appelons approche logique, repose sur une élaboration centralisée des données et une caractérisation permanente des entités qui composent l'architecture. De cette façon, l'élaboration et la récolte des données sont utilisées pour créer une représentation virtuelle du monde physique, découplée de celui-ci. Cela entraîne des coûts très élevés en termes de calcul et communication. Nous proposons d'adopter une approche différente, où l'information est portée et traitée par les entités mêmes auxquelles elle se réfère. Ces entités sont équipées d'interfaces de communication qui leur permettent de *publier* des informations que les dispositifs à leur proximité peuvent acquérir. De cette manière, aucune représentation virtuelle du monde physique ne doit être entretenue, car les seules informations importantes pour un service se trouvent à proximité de l'entité qui est chargée de le réaliser. La présence d'une unité centrale de traitement et stockage n'est plus nécessaire, et en conséquence le volume des communications se réduit aux seuls échanges locaux, qui deviennent riches en information pertinente. Même les traitements deviennent plus simples, car ils sont réalisés par une entité physique à partir des informations qu'elle possède, c'est-à-dire les informations essentielles, disponibles à proximité, publiées par les entités physiques avoisinantes.

Cette approche est adaptée au domaine de l'habitat intelligent, car elle permet d'acquérir le contexte extrêmement complexe qui le caractérise, en réduisant la quantité d'informations à traiter aux seuls événements significatifs. De plus, elle exploite la nature locale des activités au sein d'un habitat, où la plupart de l'information nécessaire à fournir des services aux habitants se trouve à proximité de l'entité qui les réalise. Pour mieux expliquer le concept de localité au sein d'un habitat, nous illustrons un exemple relatif à la gestion du système de chauffage. Nous voulons gérer un radiateur afin de contrôler la température d'une pièce de l'habitat, en tenant compte de la présence des habitants dans la pièce. Comme nous avons expliqué, une solution de type logique, telle que proposent Campo et Bonhomme dans le cadre du projet Ergdom [16,17] ou Mozer dans l'Adaptive House [18,19], consiste à distribuer des capteurs de température et de présence dans la pièce et à envoyer en permanence leurs lectures à une unité de traitement, qui analyse ces données et commande le radiateur. Cette approche est caractérisée par un surplus de communications et de traitements. Ce surcoût peut être minimisé en observant que toute l'information nécessaire pour gérer le radiateur est localisée à proximité de celui-ci. Notre proposition consiste à instrumenter le radiateur et les capteurs. De cette manière, les capteurs publient dans leur voisinage physique des informations importantes au moment où elles deviennent disponibles et le radiateur utilise ces informations pour gérer son fonctionnement. Les capteurs publient un événement quand la température descend au dessous d'une valeur établie et quand une personne est détectée dans la pièce. Le radiateur, à son tour, lit ces informations au moment où elles sont publiées et modifie en conséquence son état de fonctionnement. Ce type d'interaction permet de limiter les communications et les traitements aux seuls échanges significatifs et d'éviter d'entretenir en permanence une « évaluation » logique de l'état de la pièce. En plus, cette solution se prête aisément à l'instauration d'une interaction naturelle avec l'utilisateur. Par exemple, l'utilisateur peut connaître l'état du radiateur et la température de la pièce directement en consultant un écran positionné sur le radiateur ou en recevant cette information sur son équipement mobile (par exemple un téléphone portable). Cette dernière modalité d'interaction avec l'utilisateur est rendue possible par le même mécanisme de publication de l'information utilisé par les capteurs, cette fois-ci le radiateur étant l'entité « publieuse » et le mobile l'entité consommatrice. Bien entendu, l'utilisateur peut aussi commander le radiateur et les capteurs avec le même mécanisme, afin de reprendre en main le système de chauffage ou de modifier sa température de confort. Cette approche permet de revenir à l'interaction directe entre utilisateur et environnement proposée par Weiser [2], en évitant d'obliger l'habitant à se servir d'un dispositif central, commun à tout l'habitat, pour piloter le système.

La figure 1 représente l'application de l'approche logique et de l'approche physique au scénario

décrit.

L'application de l'approche proposée est possible au niveau de l'habitat intelligent grâce à la richesse dans l'instrumentation de l'environnement. Beaucoup d'équipements, appareils ménagers et objets d'usage quotidien peuvent être « augmentés » dans un habitat : les radiateurs, les lumières, les équipements blancs (réfrigérateurs, machines à laver, lave-vaisselles, etc.). Même des parties de l'habitat comme les portes (voir section 5), le sol [4,5] ou le système électrique [3] peuvent être augmentées avec des capacités de détection.

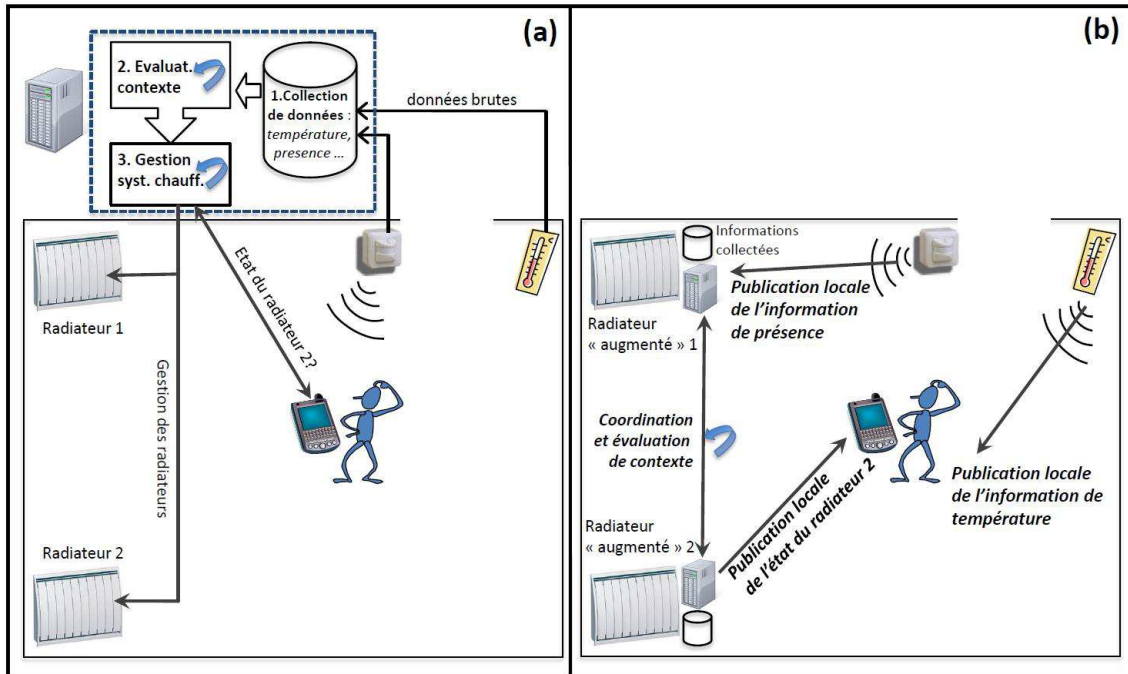


FIG. 1 – Approche logique (a) et approche physique (b).

5. Prototypage

Pour démontrer la faisabilité et efficacité de notre approche, nous avons développé un premier prototype qui illustre les principes présentés (voir figure 2). Nous avons réalisé un mécanisme de gestion automatique du système de chauffage domestique qui prend en compte la présence des habitants pour réduire la consommation énergétique tout en maximisant leur confort. Une technologie simple est utilisée pour analyser les déplacements des habitants : des barrières infrarouges au niveau des portes. Le passage d'une pièce à l'autre d'une personne est enregistré par le système et lui permet de connaître le nombre de personnes présentes dans chaque pièce. A son tour, cette information est utilisée pour piloter des radiateurs (représentés par des mini-pc dans le prototype) afin que la consommation soit réduite dans les pièces inoccupées. Cela permet d'optimiser les dépenses énergétiques tout en préservant le confort des habitants, car cette approche agit sur les sources de consommation qui sont susceptibles d'être réduites sans que les habitants s'en aperçoivent. Cela s'appuie sur la modalité d'acquisition de l'information contextuelle, qui est étudiée de manière à fournir le maximum d'information à moindre coût de communication et d'élaboration. Au lieu d'utiliser des mécanismes complexes d'élaboration de données brutes provenant de plusieurs capteurs pour détecter la présence d'une personne dans une pièce, le système compte le nombre de personnes qu'y sont entrées avec un mécanisme simple et considère qu'elles y sont toujours jusqu'à quand elles n'en sortent par une des portes.

Le prototype permet à l'utilisateur de choisir son niveau de confort et de vérifier l'état de fonctionnement des radiateurs en interagissant directement avec ces mêmes appareils, grâce à l'utilisation combinée de deux technologies sans-fils : WLAN IEEE 802.11 (Wi-Fi) et RFID. Chaque radiateur est équipé d'un *tag* RFID qui l'identifie et d'une interface Wi-Fi. Quand l'habitant veut vérifier ou régler l'état d'un radiateur, il lui suffit de s'y rapprocher et de « lire » avec son PDA (qui est équipé d'un lecteur RFID) le tag du radiateur. Cela déclenche un échange de communications Wi-Fi qui affiche sur l'écran du PDA l'état du radiateur et permet à l'utilisateur de le modifier. Le prototype réalisé inclut aussi une « box » qui sera utilisée dans la suite de nos travaux pour publier dans l'habitat des informations sur les tarifs de l'électricité et les conditions météorologiques. Dans la version actuelle du prototype, la « box » est aussi utilisée pour récolter les lectures provenant des capteurs infrarouges et commander les radiateurs car, pour des contraintes temporelles, nous avons utilisé une technologie de capteurs qui n'est pas équipée d'interface Wi-Fi. Il s'agit de limitations techniques que nous dépasserons dans la suite de nos travaux.

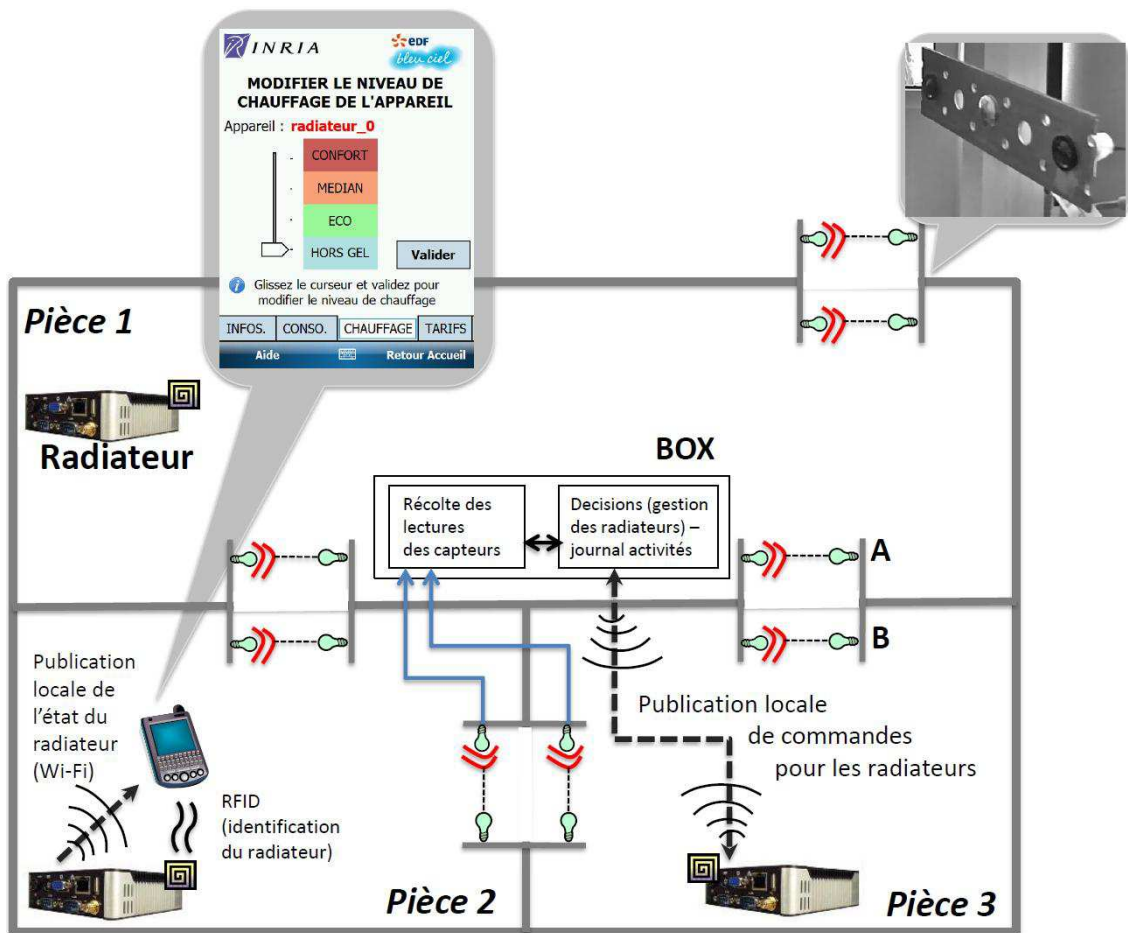


FIG. 2 – Prototype réalisé.

6. Travaux apparentés

Des solutions existantes d'habitat intelligent adoptent une approche qui s'appuie sur la souscription et publication d'événements. Nous citons le projet AMIGO¹, qui a comme but de déve-

¹ <http://www.amigo-project.org/>

opper un intergiciel (« middleware ») ouvert, standardisé, interopérable et des services utilisateurs finalisés à améliorer la vie de tous les jours des habitants. La solution proposée contient des éléments de conception qu'on retrouve aussi dans l'approche physique que nous proposons, comme les services de souscription et publication d'événements utilisables par les dispositifs tels que les capteurs et les électroménagers. Le projet se concentre sur l'interopérabilité des dispositifs et sur le développement de l'infrastructure logicielle nécessaire à la fourniture des services mais ne prend pas en compte des aspects utilisateur clés comme le coût et l'acceptabilité de la solution, notamment au regard de l'intrusion dans la vie privée des habitants et de l'attention qui leur est demandée pendant leurs activités. En outre, l'approche adoptée par la solution ne réalise pas la publication des informations dans le voisinage physique.

Une approche qui se rapproche du principe de distribution de l'information dans l'environnement peut aussi être retrouvée dans d'autres applications de l'ubiquité numérique, comme les travaux de Banâtre et al. [20, 21, 22] et de Römer et al. [23]. Dans ces solutions, des principes analogues à ceux que nous avons énoncés sont utilisés pour rendre « intelligents » des systèmes tels qu'une chaîne logistique, un service de transport public, une boîte à outils, une cuisine ou un jeu de cartes. Ces travaux relèvent de l'approche physique l'instrumentation des objets et la publication de l'information dans le voisinage physique.

7. Conclusions et travaux futurs

Dans cet article nous avons présenté l'approche logique, actuellement très souvent utilisée dans le domaine de l'habitat intelligent et proposé une nouvelle approche physique qui a comme but de dépasser certaines des limites actuelles. En particulier, l'approche physique propose d'augmenter les dispositifs de tous les jours afin qu'ils puissent effectuer localement les traitements à la place de l'unité centrale, en évitant la récolte de données provenant de tout l'habitat et donc la mise en place de coûteuses infrastructures de communication et la nécessité de complexes analyses centralisées de grandes quantités de données. Avec cette approche, les flux d'informations sont enrichis d'une valeur physique, car les communications ne se déclenchent qu'entre entités à proximité physique et seulement en cas d'interaction (physique) entre utilisateurs et environnement ou en cas de changements significatifs de contexte. Grâce à cela, les traitements nécessaires résultent moins complexes par rapport à l'approche logique, car ils sont effectués uniquement sur des données porteuses d'information significative pour l'utilisateur ou l'application. En plus, l'approche proposée permet de réduire l'exigence d'instrumenter les habitants, en préférant plutôt l'instrumentation des objets et des dispositifs présents. Cela rend le système plus simple à utiliser et plus susceptible d'être accepté par les habitants.

Nous avons démontré la faisabilité de la proposition en présentant un prototype fonctionnel de gestion de chauffage s'appuyant sur une information de présence obtenue localement, sans instrumentation des utilisateurs et prenant en compte les interventions locales de ceux-ci sur les radiateurs.

Dans la suite de nos travaux, nous poursuivrons la recherche de techniques et technologies qui permettent d'exploiter au maximum les informations contextuelles implicites dans l'habitat. En particulier, nous sommes intéressés par la modélisation et la reconnaissance d'activités des habitants, que nous estimons pouvoir fournir des éléments contextuels en mesure de permettre la réalisation de services utilisateurs encore plus utiles et transparents. Cela sera effectué en suivant les principes exposés dans cet article, de manière à réduire les communications et les interactions aux seuls échanges significatifs et riches en information implicite.

Bibliographie

1. R. Harper. *Inside the smart home*. Springer, London, 2003.
2. M. Weiser. *The computer for the 21st century*. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev. 3(3): 3-11, 1999.
3. S.N. Patel, K.N. Truong, G.D. Abowd. *PowerLine positioning: A practical subroom-level indoor location system for domestic use*, Lecture Notes in Computer Science, 4206: 441-458, 2006.

4. M. Valtonen, J. Maentausta, J. Vanhala. *Tiletrack: Capacitive human tracking using floor tiles*, IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications: 1-10, 2009.
5. R.J. Orr, G.D. Abowd. *The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking*, CHI '00 extended abstracts on Human factors in computing systems: 275-276, 2000.
6. T. Gu, Z. Wu, X. Tao, H.K. Pung, J. Lu. *epSICAR: An Emerging Patterns based approach to sequential, interleaved and Concurrent Activity Recognition*, Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom): 1-9, 2009.
7. T. Gu, Z. Wu, L. Wang, X. Tao, J. Lu. *Mining emerging patterns for recognizing activities of multiple users in pervasive computing*, Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services, MobiQuitous: 1-10, 2009.
8. Z. Zhang. *Ubiquitous human motion capture using wearable micro-sensors*, Proc. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom): 1-2, 2009.
9. Y. Yao, J. Gehrke. *The cougar approach to in-network query processing in sensor networks*, SIGMOD Rec. 31(3): 9-18, 2002.
10. A. Padovitz, S.W. Loke, A. Zaslavsky. *Towards a Theory of Context Spaces*, Second IEEE Annual Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops: 38-42, 2004.
11. T. Weis, C. Becker, A. Brändle. *Towards a programming paradigm for pervasive applications based on the ambient calculus*, Proc. of the International Workshop on Combining Theory and Systems Building in Pervasive Computing (CTSBS), Pervasive, 2006.
12. T. Gu, H.K. Pung, D. Zhang. *Towards an OSGi-Based Infrastructure for Context-Aware Applications in Smart Homes*. IEEE Pervasive Computing, 3(4) : 66-74, octobre 2004.
13. S.S. Intille. *Ubiquitous computing technology for just-in-time motivation of behavior change*. Stud Health Technol Inform. 107(Pt 2):1434-7, 2004.
14. E. Campo, M. Chan. *Detecting abnormal behaviour by real-time monitoring of patients*, Proceedings of the AAAI-02 Workshop Automation as Caregiver: 8-12, 2002.
15. M. Chan, C. Hariton, P. Ringard, E. Campo. *Smart house automation system for the elderly and the disabled*, IEEE Int. Conf. Intelligent Systems for the 21st Century, 2: 1586-1589, 1995.
16. E. Campo, M. Chan, D. Estève. *L'apprentissage des modes de vie: une base indispensable au développement d'un habitat « intelligent »*, Annals of Telecommunications 58(5): 850-865, 2003.
17. S. Bonhomme. *Méthodologie et outils pour la conception d'un habitat intelligent*, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2008.
18. M.C. Mozer. *Lessons from an adaptive home*, In Cook, Das: *Smart Environments*: 271-294, 2004.
19. M.C. Mozer. *The neural network house: An environment that adapts to its inhabitants*, Proc. of the American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium on Intelligent Environments: 110-114, 1998.
20. J. Pauty, M. Banâtre, P. Couderc. *Logical versus physical programming for ubiquitous applications*, First Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES), 13-18, 2003.
21. M. Banâtre, F. Allard, P. Couderc. *Ubi-Check: A Pervasive Integrity Checking System*, Proc. 9th Int. Conf. on Smart Spaces and Next Generation Wired/ Wireless Networking and 2nd Conf. on Smart Spaces: 89-96, 2009.
22. M. Banâtre, P. Couderc, J. Pauty, M. Becus. *Ubibus: Ubiquitous Computing to Help Blind People in Public Transport*, Proc. of Mobile human-computer interaction, 3160: 310-314, 2004.
23. K. Römer, T. Schoch, F. Mattern, T. Dübendorfer. *Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications*, *Wireless Networks*, 10: 689-700, 2004.

L'auteur voudrait remercier Frédéric Weis, Giulio Zecca et Jean-François Verdonck pour leur aide à la rédaction de cet article.
