



HAL
open science

E-santé et maison intelligente : Une approche à travers le prisme des Systèmes à Evénements Discrets

Mickaël Danancher, Jérémie Saives, Gregory Faraut, Jean-Jacques Lesage

► **To cite this version:**

Mickaël Danancher, Jérémie Saives, Gregory Faraut, Jean-Jacques Lesage. E-santé et maison intelligente : Une approche à travers le prisme des Systèmes à Evénements Discrets. JETSAN 2014 (Journées d'étude sur la Télésanté), Jun 2014, Troyes, France. pp.51 - 54. hal-01022764

HAL Id: hal-01022764

<https://hal.science/hal-01022764>

Submitted on 21 Jul 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.

E-santé et maison intelligente : Une approche à travers le prisme des Systèmes à Evénements Discrets

Mickael Danancher, Jérémie Saives, Gregory Faraut, Jean-Jacques Lesage

ENS Cachan / LURPA

61 av. President Wilson, 92230 Cachan

prenom.nom@ens-cachan.fr

Résumé— Le vieillissement de la population appelle à repenser l'organisation des soins dans la société en considérant un continuum de cette organisation des maisons personnelles aux hôpitaux. Pour répondre à cette problématique de gestion de la santé à domicile, les nouvelles technologies permettent de rendre intelligentes les habitations, améliorant ainsi le confort et la sécurité de ses habitants. Cependant, cette intelligence est encore souvent mal perçue par les habitants car trop intrusive ou invasive. Les paradigmes des systèmes à événements discrets peuvent être pertinents pour améliorer le confort et la sécurité tout en respectant la vie privée. Dans ce papier, nous les appliquons à la localisation des personnes et à l'identification des activités des habitants. Nous souhaitons également aller plus loin en étant capable de détecter les évolutions de comportements, représentant une aggravation de la santé de l'habitant.

Mots clés— *Systèmes à événement discret, maison intelligente, modélisation, e-santé.*

I. INTRODUCTION

L'évolution de nos sociétés et plus particulièrement le vieillissement de la population, implique de repenser le système d'organisation des soins. En effet, les hôpitaux ou les infrastructures spécialisées ne pourront pas assurer le suivi des personnes dépendantes potentiellement atteintes de maladie à surveiller. Ainsi, pour améliorer le bien-être, la prévention et la gestion des maladies, il est nécessaire que le système de santé soit un continuum des maisons personnelles aux hôpitaux. Ceci devient possible grâce à l'utilisation des nouvelles technologies dans le domaine de la santé. Ainsi, une maison intelligente, instrumentée par une multitude de capteurs et capable de communiquer avec un médecin, pourra anticiper les besoins des habitants et prévenir toute aggravation particulière. Soigner les personnes à domicile permettra également de focaliser les hôpitaux sur les problèmes graves, et réduire les coûts hospitaliers inhérents aux soins courants.

Dans les technologies pour la santé, de nombreuses recherches utilisent des capteurs sophistiqués pour capturer des informations riches. C'est le cas des caméras ou des bracelets électroniques. Cependant ces capteurs ne sont pas toujours bien acceptés par les patients. Ils sont jugés invasifs et la question du respect de la vie privée est centrale. C'est

pourquoi des études s'orientent vers les capteurs binaires tels que les détecteurs de mouvement, tapis sensitifs ou détecteurs de porte. Ceux-ci ont l'avantage d'être peu chers, permettant d'en équiper une maison avec un grand nombre ; leur technologie est bien connue des experts, et l'information est pauvre, assurant un respect de la vie privée des personnes.

Pour modéliser des comportements avec uniquement les informations des capteurs binaires, l'utilisation des paradigmes des systèmes à événements discrets paraît pertinente. En effet, ils reposent sur des méthodes formelles, ont été largement éprouvés pour des systèmes complexes industriels et permettent par extension de modéliser un grand nombre de systèmes différents [1].

Dans ce papier, nous présentons dans la prochaine section deux travaux, utilisant les paradigmes des systèmes à événements discrets pour améliorer l'intelligence des maisons, en étant capable de localiser une personne ou de déterminer l'activité qu'elle est en train d'accomplir. En section 3, nous présentons le projet sur lequel nous travaillons pour l'e-santé en s'appuyant sur les formalismes connus.

II. TRAVAUX PASSES ET ACTUELS

Le développement de maisons intelligentes est une piste pour répondre aux défis du vieillissement de la population et des personnes dépendantes ne pouvant rester à l'hôpital en raison des coûts importants, et ayant besoin d'une assistance pour vivre chez eux. Rendre une maison intelligente consiste à y installer des capteurs, des actionneurs et un contrôleur de manière à pouvoir observer le comportement de ses habitants et agir sur leur environnement.

Les principaux domaines sont relatifs à l'amélioration du confort, de la sécurité et de la santé [2]. Pour cela, les chercheurs proposent des techniques permettant de localiser une personne dans son appartement [3,4], d'en déduire ses activités[5,6], de faire un suivi de sa santé pour prévenir toute aggravation, ou d'en déduire des critères représentant des urgences médicales afin d'alerter les services de secours le plus vite possible [7].

Nous proposons dans cet article de présenter deux approches développées au LURPA dans le domaine de la

maison intelligente. Ces travaux ont comme finalité de fournir des outils permettant d'accroître les capacités de la maison intelligente.

A. Localisation des personnes par capteurs binaires

Dans ces travaux [8], nous nous focalisons sur la localisation d'un nombre *a priori* inconnu d'habitants basée sur le modèle (voir Figure 1).

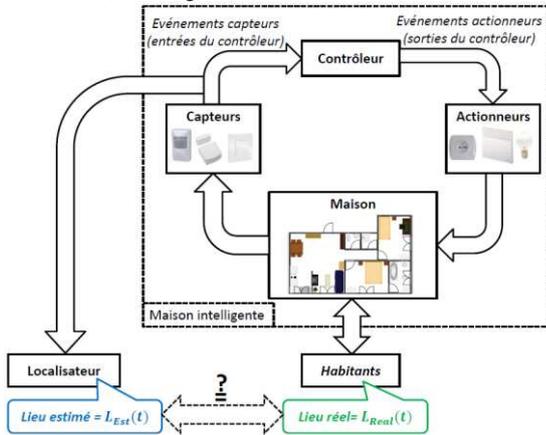


Figure 1 : Concept de la localisation en ligne des habitants

Seuls des capteurs binaires sont utilisés car ils sont plus supposés être respectueux de la vie privée des personnes. En effet, ils délivrent une information pauvre (binaire), contrairement aux caméras, et sont non-invasifs, contrairement aux capteurs portés à même les vêtements ou le corps par les habitants. Enfin, ces capteurs ont un très faible coût, ce qui permet d'en déployer un grand nombre. Pour estimer le lieu de chaque habitant, nous proposons la démarche illustrée par la Figure 2.

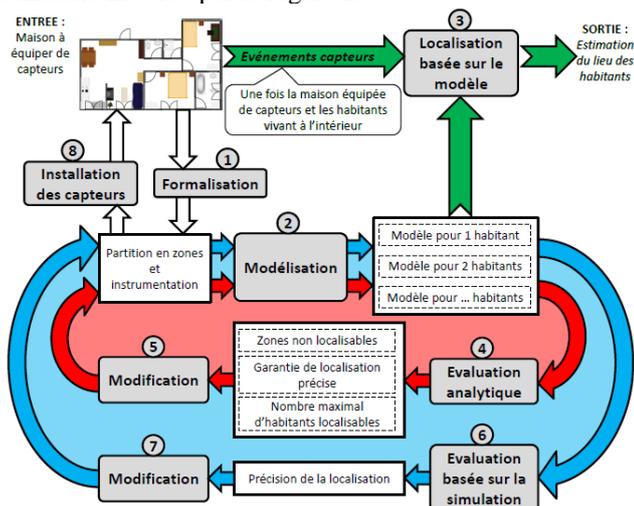


Figure 2 : Démarche pour estimer la localisation des habitants

La première étape de l'approche consiste à construire un modèle de la mobilité détectable d'un ou plusieurs habitants dans leur maison intelligente. Il ne s'agit pas d'un modèle du comportement de l'habitant car un habitant ne se comporte pas de façon déterministe, ni même stochastique. Nous supposons que son comportement est arbitraire et potentiellement irrationnel. Par conséquent, le modèle construit doit être robuste à tous les comportements

possibles des habitants. Le modèle obtenu, est un automate à états finis où chaque état représente le nombre de personne dans chacune des zones ; les événements sont les fronts montant et descendant des capteurs ; chaque transition représente le mouvement d'une ou plusieurs personnes d'une zone vers une autre (ou à l'intérieur d'une zone). Enfin, chaque état de l'automate est initial car on suppose que le lieu initial de chaque habitant est inconnu.

A partir de cet automate, nous proposons un algorithme permettant de localiser en temps réel un nombre *a priori* inconnu et variable d'habitants. Pour cela, les événements capteurs observés lors des mouvements des habitants sont « joués » par le modèle. Une estimation du nombre d'habitants dans l'appartement est alors obtenue et le ou les états actifs de l'automate représentent une estimation plus ou moins précise du lieu des habitants à chaque instant.

Une extension de ces travaux est l'évaluation des performances d'une instrumentation pour la localisation des habitants. En effet, les modèles utilisés sont très dépendant du choix d'une instrumentation. Par conséquent, le résultat de l'algorithme de localisation dépend également de ce choix. Dans ces travaux, nous avons proposé une approche permettant d'évaluer analytiquement les performances de localisation via trois critères : « zones non-localisables », « garantie de localisation précise » et enfin « nombre maximal d'habitants localisables ». Parallèlement à cette approche, nous avons également proposé une procédure et des critères d'évaluation basée sur la simulation. La combinaison de ces différents critères, analytiques et basés sur la simulation, permet ainsi d'évaluer une instrumentation donnée, de transmettre des indications à l'expert pour améliorer cette instrumentation ou de comparer plusieurs instrumentations possibles.

Enfin, pour montrer la faisabilité de cette approche, nous avons développé un émulateur de maison intelligente, où l'expert joue le rôle d'un habitant se déplaçant dans un appartement. Le résultat de l'algorithme de localisation est affiché en temps réel et permet d'illustrer le fonctionnement de notre approche. Par ailleurs, cet émulateur est utilisé pour l'évaluation basée sur la simulation [9].

B. Modélisation des habitudes de vie par automates

Dans le but d'augmenter l'autonomie des personnes dépendantes à leur domicile, les technologies ne doivent pas exiger un comportement proactif des habitants. Il est donc nécessaire que la maison intelligente puisse reconnaître seule les activités de la personne dans le but de l'aider dans son quotidien. De plus, par souci de respect de la vie privée, il est nécessaire d'éviter d'équiper l'habitat avec des capteurs intrusifs (caméras, capteurs de poignet,...). La plupart des études en reconnaissance d'activités quotidiennes cherchent à classifier le comportement de l'habitant sans toutefois fournir de modèle de comportement. Un tel modèle permettrait d'améliorer l'intelligence de la maison ; par exemple, elle pourrait agir proactivement par l'activation anticipée d'actionneurs (lumière, chauffage, etc.), en

fonction des habitudes reconnues de la personne. Un tel modèle doit être construit par observation plutôt que par connaissance, pour s'affranchir du comportement erratique d'un individu.

Dans ces travaux [10], nous proposons la génération automatique d'un modèle sous forme d'automate et représentant les habitudes de vie de l'habitant. La démarche pour obtenir ce modèle automate des habitudes est illustrée par la Figure.3.

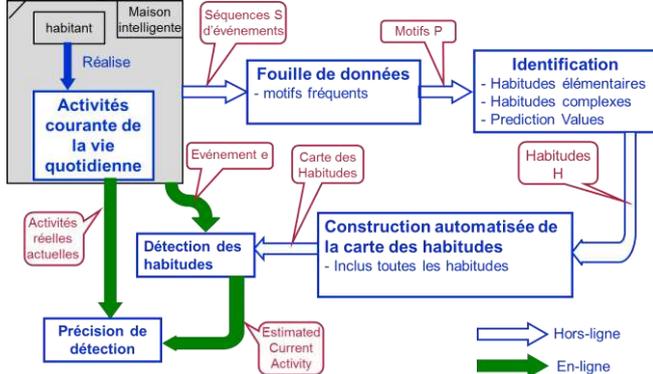


Figure 3 : Démarche de construction automatique d'un modèle représentant les habitudes de vie

Pour construire ce modèle des habitudes, nous commençons par une phase de fouille de données à partir uniquement d'un réseau de capteurs binaires (non-invasifs). De ces données, nous réalisons une extraction de différents motifs (séquences d'événements) suivant un critère de longueur et un critère de récurrence. En effet, plus un motif se répète souvent, plus il doit correspondre à une habitude. De même, plus un motif se répétant est long, plus l'activité qu'il représente est complexe (se lever est une activité plus simple que se préparer un déjeuner).

Cependant, plus un motif est simple, plus il a de chance de se répéter, notamment car un motif long a de fortes chances d'inclure des motifs plus simples (ex : se faire un déjeuner contient un motif allumer le gaz). A Partir de ce constat, nous en déduisons des motifs que nous appelons élémentaires et qui correspondent aux motifs les plus petits se produisant le plus. Ces motifs élémentaires serviront à construire des motifs plus évolués.

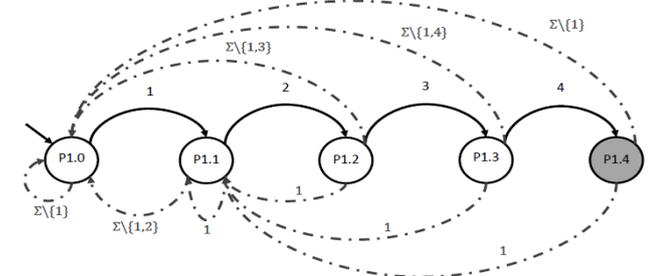


Figure 4 : Modèle automate d'un motif élémentaire
Un motif élémentaire est donc un automate simple, illustré par la Figure.4, indiquant qu'une activité est accomplie si nous sommes dans son état marqué (représenté par un cercle gris). Par incrémentation, nous construisons des activités plus complexes en concaténant des événements en amont ou

en aval du motif élémentaire, ou nous connectons directement des activités entre elles, comme illustré sur la Figure.5.

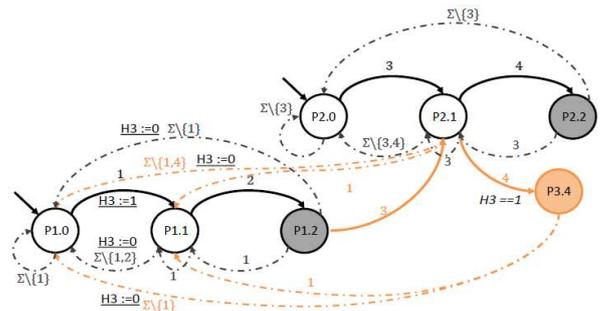


Figure 5 : modèle d'un motif complexe composé de deux motifs élémentaires

Ce processus d'incrémental se poursuivra jusqu'à avoir un seul automate représentant l'intégralité des habitudes de vie de l'habitant. Le modèle présenté sur la Figure.6 a été identifié sur des données issues d'une maison intelligente [11]. Grâce à ce modèle et à l'identification des liens incrémentaux entre les différents motifs, nous sommes également capables d'évaluer la probabilité qu'un habitant fasse une activité plutôt qu'une autre uniquement en sachant l'activité qu'il est en train de réaliser.

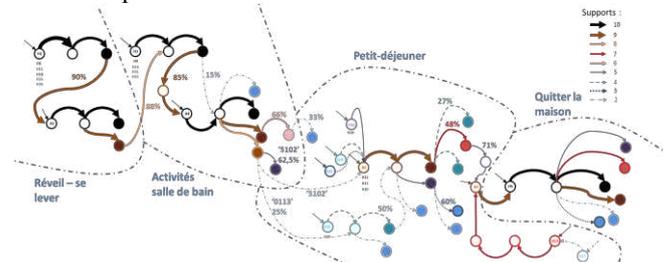


Figure 6 : Carte des habitudes d'un habitant
La continuité de ces travaux se concentre sur la détection des déviations de comportements symptomatique d'un problème médical.

III. PROJET POUR L'E-SANTE

A Travers les différents travaux menés au LURPA, dont l'expertise concerne la sûreté de fonctionnement des systèmes critiques, nous souhaitons nous orienter vers la sécurité des personnes, notamment des personnes dépendantes, pour détecter au plus tôt les déviations de comportement et ainsi, en relation avec le médecin, améliorer leur gestion de la maladie ou vieillesse à domicile, ou déclencher automatiquement des secours adaptés. Ceci est illustré par la figure.7.

Si nous avons montré dans la section précédente l'intérêt des capteurs passifs / non-invasifs pour instrumenter une maison, certaines données peuvent nécessiter des capteurs invasifs ou un comportement proactif de l'habitant. C'est le cas des personnes devant surveiller leur tension ou leur glycémie en utilisant un appareil de santé particulier. Nous pouvons également considérer une multitude d'objets connectés commençant à apparaître dans le commerce comme les balances connectées, utiles pour les personnes devant surveiller leur poids.

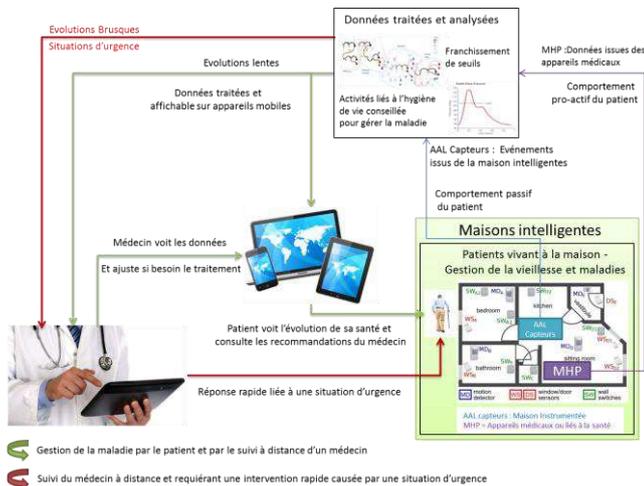


Figure 7 : Démarche du projet Health@Home

Dans ce projet, nous proposons de prendre en considération toutes ces données, aussi bien binaires, non-invasives, que celles venant de l'habitant à partir d'un matériel médical.

L'objectif est de déterminer si des déviations se produisent. En effet, dans l'optique d'améliorer le confort, la santé et la sécurité des personnes, il est souvent nécessaire de se confronter à un changement de comportement, ou un changement de valeurs de référence. Ceci peut-être symptomatique d'une nouvelle pathologie ou d'une aggravation d'une existante. Nous considérons deux types d'évolutions :

- Evolutions lentes : une évolution lente du comportement ou d'une valeur de fonction vitale. Cette déviation peut nécessiter la visite d'un médecin ou une mise-à-jour du traitement en cours.
- Evolutions brusques : ces évolutions, détectées par franchissement de valeurs seuils, représentent des situations d'urgence comme une chute ou un malaise cardiaque. Les détecter rapidement permettrait de réduire le temps d'intervention des secours tout en leur donnant des éléments pertinents du problème de santé.

Pour modéliser ces évolutions, nous pouvons faire appel aux différents formalismes des systèmes à événement, pour la modélisation à partir des capteurs binaires ou pour représenter des franchissements de seuil, mais nous pouvons également utiliser les formalismes de modélisation de systèmes hybrides, incorporant le temps ou des comportements continus. Il est également important de considérer dans les modèles, les limites technologiques des capteurs. En effet, s'il est commun de considérer des capteurs sans fautes, ou ayant un taux de détection parfait, ce n'est pas le cas dans la réalité et il est intéressant de prendre en compte ces biais dans la modélisation.

Pour résumer, les paradigmes des systèmes à événements discrets sont opportuns pour modéliser des évolutions dans le cadre de l'amélioration du confort ou de la santé des habitants. Cependant, la multidisciplinarité de l'e-santé requiert d'étendre les modèles par des connaissances aussi

diverses que l'expertise technologiques, l'expertise médical, et par modélisation hybride (continu, discret, temporel).

IV. CONCLUSION

Dans ce papier, nous présentons les travaux en cours au LURPA, proposant d'utiliser les paradigmes des systèmes à événements discrets pour répondre à certaines problématiques de l'e-santé, tel que la capacité à localiser une personne dans un appartement ou à identifier l'activité en cours de l'habitant. Nous avons mis en avant l'intérêt d'utiliser des capteurs binaires, non-invasif et ne nécessitant aucun comportement proactif des personnes. Les propositions sont toutes formellement définies, permettant des applications réelles.

Dans les travaux futurs, nous souhaitons étendre nos travaux à la prévention et la gestion des maladies en identifiant les évolutions de comportement ou de constantes médicales. En relations avec les technologues pour les biais de mesure, des associations de patients pour identifier leurs besoins, et des médecins pour améliorer leur capacité de diagnostic et de prise en charge de patients à distance, nous pouvons étendre les modèles vers les systèmes hybrides. Ceci permettrait de modéliser des changements temporels, discrets ou continus.

REFERENCES

- [1] C.G.Cassandras and S. Lafortune, "Introduction to discrete event systems, second edition".
- [2] R. J. Robles and T.-h. Kim, "Applications, Systems and Methods in Smart Home Technology: A Review," International Journal of Advanced Science and Technology, vol.15, pp. 37-47, 2010
- [3] Y. Rahal, H. Pigot, and P. Mabilieu, "Location Estimation in a Smart Home: System Implementation and Evaluation Using Experimental Data," International Journal of Telemedicine and Applications, No.4, 2008.
- [4] C.-R. Yu, C.-L. Wu, C.-H. Lu, and L.-C. Fu, "Human Localization via Multi-Cameras and Floor Sensors in Smart Home," in Proc. of the IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics, Taipei, Taiwan, pp. 3822-3827, 2006.
- [5] C.-H. Lu and L.-C. Fu, "Robust Location-Aware Activity Recognition Using Wireless Sensor Network in an Attentive Home," IEEE Trans. On automation science and engineering, vol.6, no.4, pp. 598-609, 2009.
- [6] D. Wilson and C. Atkeson, "Simultaneous tracking & activity recognition (star) using many anonymous, binary sensors." Springer-Verlag, pp. 62-79, 2005.
- [7] M. Floeck, "Activity Monitoring and Automatic Alarm Generation in AAL-enabled Homes," Ph.D. dissertation, University of Kaiserslautern (Germany), 2010.
- [8] M. Danancher, "Discrete Event Approach for Model-Based Location Tracking of Inhabitants in Smart Homes", Thèse en co-tutelle ENS Cachan / Technische Universität Kaiserslautern (Allemagne), 150 pages, décembre 2013
- [9] M. Danancher, G. Faraut, J.-J. Lesage, L. Litz, "A DES Simulator for Location Tracking of Inhabitants in Smart Home", Proceedings of the 8th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation (EUROSIM'13), pp 330-335, Cardiff, United Kingdom, 10-13 Septembre 2013
- [10] J. Saives and G. Faraut, "Automated generation of models of activities of Daily Living". 12th IEEE international Workshop of Discrete Event System, France, 2014.
- [11] B. Chikhaoui, S. Wang and H. Pigot. "A new algorithm based on sequential pattern mining for personidentification in ubiquitous environments". KDD Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data, pp. 19-28, 2010.