

TRAITEMENT ET FUSION DE DONNEES POUR LA TELEVIGILANCE MEDICALE: SUIVI ET DETECTION DE SITUATIONS DE PERSEVERATION

C. FRANCO†*, Y. FOUQUET†, C. VILLEMAZET‡, J. DEMONGEOT† et N. VUILLERME†

† Laboratoire TIMC-IMAG, UMR UJF-CNRS 5525, La Tronche
‡RBI s.a., Meylan

*Corresponding author. Email: Celine.Franco@imag.fr

mots clés: indice de persistance; urnes de Pólya; chaîne de Markov; maintien de l'autonomie à domicile.

1. Introduction

La persévération est un symptôme reconnu de dysfonctionnement neurologique. Elle peut apparaître à la suite d'une lésion cérébrale traumatique ou encore comme signe avant-coureur de maladies neuro-dégénératives. Ces maladies, notamment la maladie d'Alzheimer (principale cause d'entrée en institution), se caractérisent par une altération progressive du système nerveux et s'accompagnent de la perte des capacités entravant les activités de la vie quotidienne. Le malade progresse inéluctablement vers une dépendance de plus en plus importante. Il importe donc de dépister ces maladies de manière aussi précoce que possible afin d'adapter au mieux la prise en charge du malade. Plus généralement, l'enjeu est de soutenir l'autonomie de la personne le plus longtemps possible et de favoriser son maintien à domicile afin de contribuer à l'amélioration de sa qualité de vie. Cependant, il n'existe à l'heure actuelle aucun moyen de détecter de manière automatique et non invasive les signes précurseurs de ces maladies. L'objectif de ce travail est le développement d'une méthode de traitement de données permettant l'estimation d'un indice de persistance dans les tâches de la vie quotidienne.

2. Matériel et Méthode

L'acquisition des données de localisation de la personne dans son appartement a été effectuée à l'aide de capteurs infrarouges disposés dans les différentes pièces et réglés à la fréquence d'échantillonnage d'une seconde. A chaque pièce a été attribué un numéro. On obtient ainsi le numéro horodaté de la pièce dans laquelle se trouve la personne à un temps t donné. Dans ce travail préliminaire, la pièce et la tâche qui y est effectuée sont confondues.

Deux approches ont été utilisées pour modéliser la persistance [1]. La première est basée sur l'utilisation d'urnes de Pólya (*i.e.* le $t^{\text{ième}}$ tirage dépend de ses $t-1$ prédécesseurs) où chaque couleur de balle représente une pièce; la seconde fait appel aux chaînes de Markov (*i.e.* la $t^{\text{ième}}$ observation ne dépend que de la précédente) où chaque nœud de la chaîne représente une pièce. Dans les deux cas, l'espérance E_i de la durée restante dans la pièce i est estimée (Table 1). Elle exprime la persistance dans la tâche i . On note:

- M : nombre total d'enregistrements en un jour;
 - $z_i(t)$: longueur de la suite de i consécutifs obtenus après une capture au temps t de la pièce i ;
 - $p_i(t)$: probabilité d'être dans la pièce i au temps t (supposée constante dans le cas markovien);
 - p_{ij} : probabilité d'être dans la pièce j après avoir été dans la pièce i juste avant;
- $p_i(t)$ et p_{ij} sont approchées par leur fréquence empirique respective $f_i(t)$ et f_{ij} .

Modèle	Estimation de E_i
Pólya	$\bar{E}_{i,1} = \frac{1}{M+1} \sum_{t=0}^M z_i(t)$
Pólya	$\bar{E}_{i,2} = \frac{\sum_{t=0}^M \sum_{m=0}^M m[(1 - f_i(t+m+1)) \prod_{j=0}^m f_i(t+j)]}{M+1}$
Markov	$\bar{E}_{i,3} = \sum_{l=0}^M \frac{l+1}{2} f_i(1-f_i) f_{ii}^{l-1}$

Table 1: Estimations de la durée E_i restante dans la pièce i .

Le choix de l'approche s'effectue en fonction de l'intervalle de confiance à 95% de chaque estimateur E_i . Le modèle markovien sera privilégié pour sa simplicité (probabilités indépendantes du temps).

La majeure partie du corpus (80%) a été dédiée à la phase d'apprentissage du modèle, les 20% restants ont été utilisés pour le tester.

Dans un contexte multi-capteur, déterminer la probabilité d'exécution d'une tâche sachant la valeur des variables d'observation nécessiterait la connaissance de leurs probabilités conjointes. Cependant, l'acquisition des données étant soumise à des contraintes à la fois éthiques et techniques, des données peuvent être censurées ou tout simplement manquantes. Un estimateur P^* des probabilités conjointes d'ordre supérieur à trois a donc été mis au point à partir de la seule observation de couples de capteurs et de l'estimation de leurs probabilités marginales et conjointes:

$$P^* = a_{Lan}P_{Lan} + a_{Ent}P_{Ent} + a_{Ind}P_{Ind}$$

où $a_i = 0,5 \cdot [1 - d_i / (d_i + d_j + d_k)]$ avec $i, j, k \in \{Ind, Inc, Exc\}$, i, j, k distincts et $a_{Lan} + a_{Ent} + a_{Ind} = 1$.

d_{Inc} , d_{Exc} , d_{Ind} sont des mesures de déviation par rapport à la dépendance inclusive, exclusive et à l'indépendance mutuelle respectivement. P_{Lan} est l'estimateur de Lancaster-Zentgraf, P_{Ind} est le cas particulier d'indépendance mutuelle et P_{Ent} est un estimateur défini récursivement qui maximise l'entropie [2].

3. Résultats

3.1 Estimation de la persistance (cas markovien)

i	0	1	2	3	4	5	6	9	end
$\bar{E}_{i,3}$	3597	133	102830	0,2	4,97	0,48	2,91	0,38	0,01
f_i	0,1	0,21	0,53	0,01	0,06	0,02	0,05	0,01	0

Table 2: Estimation de l'espérance $\bar{E}_{i,3}$ et de f_i . $M=86400$.

Les f_{ij} ont été calculées à partir des données d'apprentissage. Ensuite, les f_i ont été obtenues en sommant sur les j les f_{ij} . Enfin, la persistance dans la tâche i (tâche élémentaire identifiée à la pièce où elle a lieu) représentée par E_i a été estimée (Table 2).

3.2. Performance de l'estimateur P^*

P_{Ent} et P_{Lan} sont les meilleurs estimateurs dans le premier et le second cas de dépendance respectivement, P^* est toujours très proche (Table 3).

Cas testés	$d_{Inc} < d_{Exc}$	$d_{Inc} > d_{Exc}$
$f(A \cap B \cap C)$	0,01	0,35
$(P_{Ind}; SCP_{Ind})$	(0,33 ; 0,1936)	(0,21 ; 0,1943)
$(P_{Lan}; SCP_{Lan})$	(-0,63 ; 0,5249)	(0,36 ; 0,0932)
$(P_{Ent}; SCP_{Ent})$	(0,01 ; 0,0210)	(0,26 ; 0,1010)
$(P^*; SCP^*)$	(0,06 ; 0,0284)	(0,27 ; 0,0940)

Table 3: Comparaison de la fréquence empirique conjointe f des événements A, B, C et de ses estimateurs pour différents cas de dépendance (SCP= la somme des carrés des différences entre les probabilités empiriques conjointes et leurs estimateurs).

4. Discussion

Ces premiers résultats ont montré qu'une approche markovienne permettait d'exprimer simplement la persistance dans une tâche élémentaire. Le manque de données et les calculs moins aisés d'estimation des espérances E_i dans le cas des urnes de Pólya nécessitent encore quelques approfondissements. La généralisation de ces méthodes à des tâches plus complexes requiert l'emploi de plus de capteurs, augmentant ainsi le risque de données incomplètes, et demande des traitements préalables plus pointus. Il sera alors nécessaire d'être capable de calculer ou tout du moins d'estimer des probabilités conjointes d'ordre supérieur à trois. Les tests effectués sur des cas représentant les différentes circonstances de dépendance donnent P^* comme étant un estimateur acceptable, car il prend le meilleur des estimateurs P_{Ent} , P_{Lan} et P_{Ind} . P^* a de plus l'avantage de gérer tous les cas de dépendance des variables observées.

5. Conclusion

Ce travail propose un outil de suivi de la personne âgée à domicile et de détection automatique de situations de persévération. L'indice de persistance, estimé à partir de données de localisation, permet de quantifier le degré d'atteinte et de déceler un potentiel comportement pathologique. Une généralisation de cet indice à un contexte multi-capteur capable de détecter des tâches plus complexes est rendu possible grâce à l'estimateur de probabilités conjointes P^* . Une autre manière d'approfondir le suivi serait de prendre en compte un éventuel décalage nyctéméral (cycle de 24h régulé par l'alternance jour-nuit), fréquent avec l'âge et généralement non pathologique. Enfin, la mise au point de profils actimétriques types serait alors nécessaire pour déterminer un seuil de déclenchement d'alarme.

Références

- [1] Fouquet Y., Vuillerme N., et Demongeot J., Pervasive informatics and persistent actimetric information in health smart homes. *LNCS ICOST'09*, **5597**, 108-116.
- [2] Demongeot J., Noury N., et Vuillerme N., Data Fusion for analysis of persistence in pervasive actimetry of elderly people at home, and the notion of biological age, *CISIS'08*, 589-594.

Remerciements

Les données ont été enregistrées par l'équipe AFIRM du laboratoire TIMC-IMAG et RBI au cours du projet AILISA, soutenu par le réseau de santé français RNTS depuis 2003 dans le cadre de l'Institut de la Longévité (n°03B651-9).