HAL
open science

Détection de la vitesse de la marche à l'aide d'un radar Doppler : Analyse par ondelettes

Racha Soubra, Aly Chkeir, Farah Mourad-Chehade, Daniel Alshamaa

To cite this version:

Racha Soubra, Aly Chkeir, Farah Mourad-Chehade, Daniel Alshamaa. Détection de la vitesse de la marche à l'aide d'un radar Doppler : Analyse par ondelettes. Journées d'Etude sur la TéléSanté, Sorbonne Universités, May 2019, Paris, France. hal-02161092

HAL Id: hal-02161092

https://hal.science/hal-02161092

Submitted on 20 Jun 2019

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.

Détection de la vitesse de la marche à l'aide d'un radar Doppler : Analyse par ondelettes

Racha Soubra[1], Aly Chkeir[1], Farah Mourad-Chehade[1], Daniel Alshamaa[1]
[1]Universite de Technologie de Troyes, M2S, Troyes, France
racha.soubra@utt.fr, aly.chkeir@utt.fr, farah.chehade@utt.fr, daniel.alshamaa@utt.fr

Résumé - La santé, le bien-être et l'autonomie d'une personne âgée dépendent pour partie de sa capacité à se mouvoir. Les évaluations cliniques de la mobilité sont pratiquées en consultation gériatrique au travers de tests standardisés. Cependant, une surveillance quotidienne peut fournir plus d'informations sur l'état fonctionnel d'une personne tout en préservant son autonomie à domicile. Cet article propose une nouvelle méthode d'une surveillance continue de la vitesse de la marche à travers un système radar Doppler placé à domicile en se basant sur l'analyse de la transformée en ondelettes. Plus de 70 ondelettes mères ont été testées sur des signaux de marche obtenus par le radar. Un système optoélectronique (Vicon) a été utilisé durant l'expérimentation afin de choisir la/les convenable(s) ondelette(s) mère(s). Le coefficient de corrélation de Pearson (ρ) a été calculé entre les signaux de vitesse de la marche obtenus par le système radar et ceux obtenus par le système Vicon. Nos résultats suggèrent l'utilisation de Daubechies5 et Symlet7 étant donné une valeur ρ de 0,86 et 0,85, respectivement et une valeur d'erreur quadratique inférieur à 0,05 m/s.

Mots-clés : personnes âgées, capacité à se mouvoir, transformée en ondelettes, radar Doppler, système Vicon

I. INTRODUCTION

Le vieillissement de la population est un phénomène qui touche le monde entier. Selon les chiffres de l'Organisation des Nations Unies (ONU) de l'année 2017, le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus est estimé à arriver à 1,4 milliard et 2,1 milliards à l'échelle mondiale dans les années 2030 et 2050 respectivement [1]. En complément de ce phénomène, l'espérance de vie en bonne santé est un objectif principal. Ainsi, une augmentation des besoins de soins et des intérêts des personnes âgées doivent être pris en compte. En conséquence, les professionnels de santé visent à fournir une bonne qualité de vie à travers les tests d'Evaluation Gériatrique Standardisée (EGS). Plusieurs aspects seront examinés lors d'une EGS, comme par exemple l'état physique, l'état cognitif, l'autonomie, etc. Il est aussi remarquable que les cliniciens se rapportent à l'évaluation de la capacité à se mouvoir chez les personnes âgées afin d'identifier les personnes ayant une mobilité réduite, détecter les signes précoces du déclin de la mobilité et prédire la nécessité d'une intervention thérapeutique.

Les évaluations cliniques sont pratiquées au travers des tests standardisés comme le test « Timed up and Go (TUG) », le test « Elderly Mobility Scale (EMS) », ou encore le test de Tinetti [2-4]. Une différence entre ces tests existe au niveau de leur fonctionnement, leurs caractéristiques de performance ou l'interprétation des résultats. Cependant, la majorité des tests évaluent la vitesse de marche étant un paramètre important pour évaluer la capacité fonctionnelle chez les personnes âgées. La vitesse de la marche est un facteur fondamental qui peut potentiellement révéler l'apparition des troubles cognitifs, une perte d'autonomie, une chute, une nécessité de placement en institution, etc. [5, 6].

Il est également rapporté que la plupart des tests d'évaluation de la capacité à se mouvoir sont réalisés en présence d'un professionnel de santé. Cependant, une surveillance quotidienne pourra fournir plus d'informations sur l'état fonctionnel de la personne. Plusieurs solutions innovantes ont été conçues pour répondre à ce besoin, comme par exemple l'utilisation des systèmes embarqués qui ne sont pas toujours une solution acceptable, car les personnes âgées sont très sensibles à tout changement même minime. Le fait de penser à utiliser les capteurs, de les placer au bon endroit sur le corps ou même simplement de les porter, etc. peut modifier la marche naturelle et plus généralement perturber le comportement de la personne. L'autre approche est basée sur des systèmes de capteurs non portés, tels que le télémètre, la plateforme de marche, les systèmes de suivi de mouvement de 3D à base de caméras infrarouges et de marqueurs passifs ou actifs, etc. [7]. Néanmoins, un système d'assistance déployé à domicile doit offrir une facilité d'utilisation, une adaptation et une acceptation pour les utilisateurs [9]. C'est ainsi que plusieurs études récentes cherchent à évaluer la capacité des capteurs radar Doppler pour surveiller les activités quotidiennes des personnes âgées [7,8].

Un capteur radar Doppler peut fonctionner dans des conditions d'éclairage variables tout en protégeant la vie privée des utilisateurs. En plus, il peut être placé à domicile d'une façon non intrusive et décorative et ne nécessitant pas de transformation de son environnement usuel.

Pour la majorité des études précédentes, le traitement du signal radar est effectué par l'application de la transformation de Fourier ou la transformation de Fourier à fenêtre glissante. Etant donné que ces méthodes rencontrent certaines limites lors d'une analyse des signaux non-stationnaires, nous proposons l'application de la transformée en ondelettes [10]. Cet outil mathématique fournit une représentation simultanée temps-fréquence du signal. L'analyse se fait à partir d'une fonction analysante « l'ondelette mère » qui devait être choisie convenablement. De nombreuses ondelettes mères sont valables, mais chacune peut donner un résultat différent. Ainsi, dans cette étude, nous visons à sélectionner l'/les ondelette(s) mère(s) convenable(s) au signal de la marche produit par le système radar Doppler.

Par conséquent, l'objectif principal de ce travail consiste à valider l'utilisation d'un capteur radar Doppler pour l'évaluation

de la vitesse d'une personne à domicile en se basant sur l'analyse de la transformée en ondelettes. Un protocole expérimental a été mis en place afin de pouvoir choisir les ondelettes mères les plus appropriées et valider nos résultats à travers un système optoélectronique (Vicon).

La procédure expérimentale et l'analyse de notre étude sont décrites en détail dans la section II. Les résultats sont ensuite présentés dans la section III et poursuivis par une discussion et une conclusion dans la section IV.

II. METHODOLOGIE

A. *Procédure Expérimentale*

Dix sujets sains, âgées entre 23 et 38 ans, ont participé à cette étude. Ils ont reçu une description détaillée sur nos objectifs et le protocole expérimental. Après cette phase d'information, les participants ont été invités à parcourir une distance de 4.57 mètres (~ (15 pieds) [11], faire un demi-tour et revenir à leur point initial selon trois vitesses différentes : lente, normal et rapide. Chaque tâche a été réalisée 3 fois, aboutissant ainsi à un résultat de 9 essais pour chaque personne.

Tous les tests ont été réalisés à travers l'utilisation d'un capteur radar Doppler (MDU1130) et un système optoélectronique (Vicon) comme illustré dans la figure 1 ci-après.

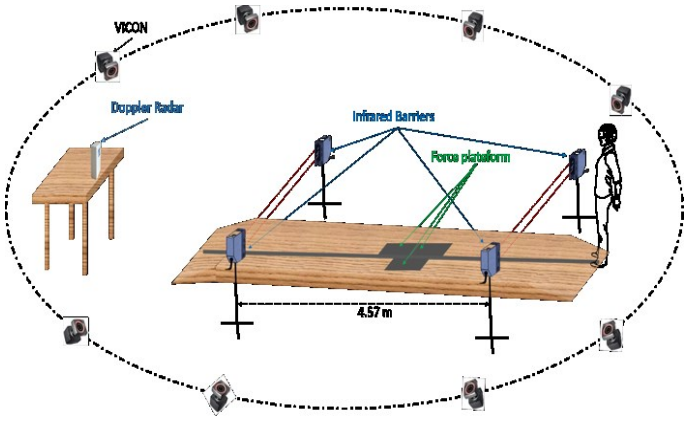

Figure 1. Installation Expérimentale

Un capteur radar Doppler « MDU1130 » a été placé sur une table de 72 cm de hauteur et parallèle au trajet traversé lors des expérimentations. Ce système envoie une onde ultrasonore à haute fréquence. Lorsque l'onde se réfléchit sur une personne en mouvement, sa fréquence varie en fonction de la vitesse de la personne selon la loi :

$$\Delta f = \frac{2 f_e v}{c} \quad (1)$$

où c = 3 × 10^8 m/s est la vitesse de la lumière dans le vide, f_e = 9.9 GHz est la fréquence de l'onde émise pour le capteur MDU1130 et v est la vitesse de l'objet.

En outre, une acquisition tridimensionnelle de mouvements a été réalisée à l'aide d'un système optoélectronique à marqueurs passifs (Vicon). Dans cette étude, ce système se représentait comme un dispositif de référence utilisé pour comparer les performances du système radar Doppler et valider nos résultats. Huit caméras infrarouges ont été utilisées avec 13 marqueurs placés sur la tête, le poignet, les épaules, les coudes, les orteils et les genoux de chaque participant. Les caméras ont été calibrées selon les instructions avec une fréquence d'acquisition de 100 Hz. Chaque camera Vicon émette une lumière infrarouge qui rebondit sur les marqueurs. Les marqueurs possèdent un ruban rétro-réfléchissant qui reflète de retour plus de lumière. Ainsi, quand un marqueur est vu par les caméras, les coordonnées cartésiennes seront stockées dans une base de données. De ce fait, le système Vicon relie les positions correctes de chaque marqueur pour former les trajets que chaque marqueur a effectués tout au long de la capture, et donc comment la personne s'est déplacée au cours de l'expérimentation.

B. *Traitement de données*

Premièrement, la position spatiale de chaque marqueur, en coordonnées x, y et z, a été obtenue à travers le système Vicon. Ainsi, la vitesse instantanée du sujet en marche était estimée en se basant sur les positions d'un marqueur, et calculée en divisant la distance parcourue sur le temps.

Ensuite, un circuit électronique a été utilisé afin d'amplifier et filtrer les sorties du radar Doppler. Un amplificateur ayant un gain de 3 × 10^8 était nécessaire pour transformer les signaux de l'ordre de millivolts (mV) en volts (V). En plus, un filtre passe-bande avec des fréquences de coupure de 5 Hz et 100 Hz était utilisé pour éliminer le bruit des signaux. Les valeurs fréquentielles de ce filtre correspondent respectivement aux vitesses minimale et maximale de la marche, avec v_{min} = 0,075 m/s et v_{max} = 1,5 m/s. Les données ont été acquises avec une fréquence d'échantillonnage de 250 Hz, et transmise successivement vers un PC via un module Bluetooth. Un exemple d'un signal radar brut, amplifié et filtré, est illustré ci-dessous (Figure 2.a). On remarque que l'amplitude du signal commence à diminuer quand une personne s'éloigne du capteur radar.

Le traitement des signaux radar a été réalisé par l'analyse de la transformée en ondelettes. Les transformées en ondelettes obtenues sont suivant les cas discrètes, continues, redondantes ou non. Dans cette étude, nous avons choisi la transformée en ondelettes en continue qui fournit une représentation Temps – Fréquence du signal. En général, une résolution temporelle est bien meilleure et une résolution fréquentielle est moins bonne dans l'analyse de hautes fréquences. Alors qu'une résolution fréquentielle est bien meilleure et une résolution temporelle est moins bonne dans l'analyse de basses fréquences. Ce compromis entre les résolutions temporelle et fréquentielle est réalisé par l'expression suivante :

$$\mathrm{CWT}_x^{\psi}(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int x(t) \,.\, \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

où *b* est le facteur de translation qui détermine la position (temps) et *a* représente le facteur de dilatation qui donne

l'échelle (fréquence). $x(t)$ et $\psi(\cdot)$ représentent le signal d'entrée et l'ondelette mère, respectivement.

Le facteur $1/\sqrt{a}$ permet d'avoir des fonctions analysantes de même norme.

La variable *a* joue le rôle de l'inverse de la fréquence f : plus *a* est petit : $\psi(\cdot)$ est étendue temporellement, ainsi la fréquence centrale f_c de son spectre est élevée :

$$f = \frac{f_c}{a} \qquad (3)$$

Les transformées continues sont obtenues en prenant le facteur d'échelle *a* et le pas de translation *b* dans l'ensemble des nombres réels. Etant donné que la fréquence minimale obtenue par le signal radar de la marche est de 5 Hz (par référence à l'équation 1 et la vitesse minimale = 0,075 m/s), ainsi, l'échelle « *a* » a été limité à 64.

Un spectrogramme d'ondelette, connu par « Scalogramme » fournit une représentation 2D du signal (temps-fréquence). Il représente la distribution de l'énergie dans un signal sous différentes résolutions dans le plan temporel.

Pour interpréter l'expression de la transformée, une ondelette mère doit être choisie. Cependant, aucune méthode générale ou une technique spécifique n'a été définie pour la sélection d'une ondelette mère convenable à un signal radar [12]. Par conséquent, nous visons à détecter la/les meilleur(s) ondelette(s) les plus convenables pour un signal radar Doppler. Dans ce travail, plus de 70 ondelettes mères ont été testées sur les signaux de certains essais.

Afin de détecter la vitesse instantanée de la marche, le paramètre statistique « maximum » a été extrait des matrices des coefficients de la transformée des ondelettes mères.

Soit **M** la matrice des coefficients de la transformée $\psi(\cdot)$:

$$\mathbf{M}(a,b) = \mathrm{CWT}_x^{\psi}(b,a) \qquad (4)$$

ainsi, le signal maximum *mx(b)*, qui correspond à l'enveloppe supérieure du scalogramme du signal $x(t)$, est fourni par :

$$mx(b) = \max_a \mathbf{M}(a,b) \qquad (5)$$

Le coefficient de corrélation entre un signal mx(b) et un signal de vitesse fourni par le système Vicon a été calculé. Un exemple de ces 2 signaux est illustré dans les Figures 3.a et 3.b. Enfin, l'erreur quadratique entre ces deux signaux de vitesse a été réalisée. De ce fait, l'ondelette mère provoquant un coefficient de corrélation maximale et une erreur quadratique minimale sera considérée comme étant convenable pour un tel signal.

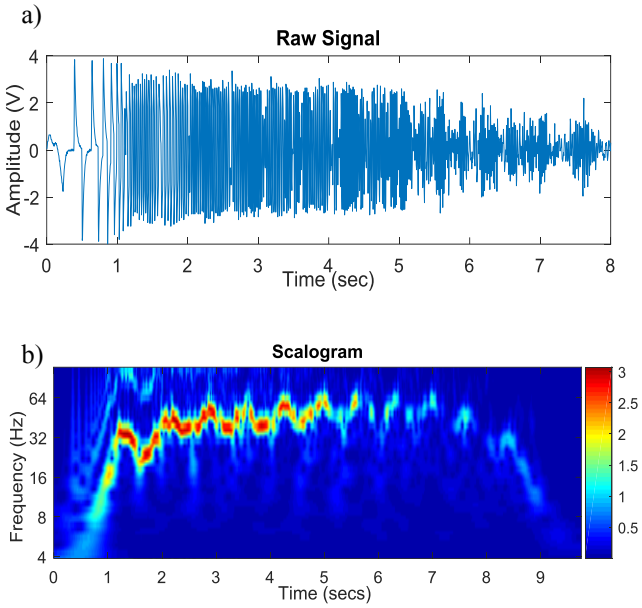

Figure 2. a) un signal radar, et b) son scalogramme

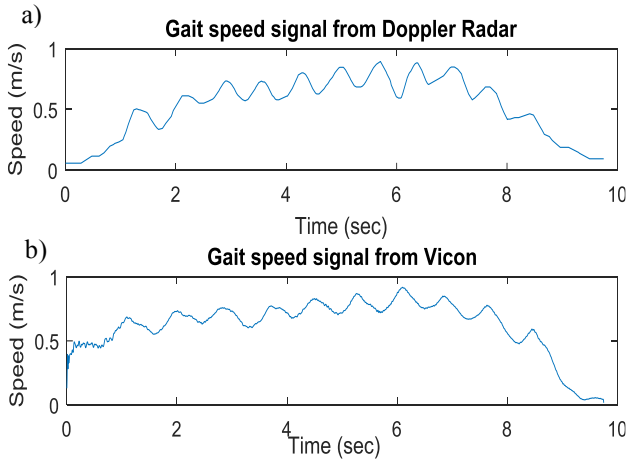

Figure 3. Signal de la vitesse de la marche obtenu par les systèmes a) radar Doppler et b) Vicon

III. RESULTATS

L'analyse de plus de 70 ondelettes mères a été réalisée sur les signaux radar. Les vitesses obtenues de chaque ondelette ont été comparées aux valeurs références obtenues par le système Vicon afin de révéler la meilleure ondelette mère pour un signal radar. Nous présentons dans le tableau 1 les 5 meilleures ondelettes trouvées ainsi que leurs coefficients de corrélations et leurs erreurs quadratiques.

TABLEAU 1. TOP RANG DE 5 ONDELETTES MERES

ONDELETTES MERES	COEFFICIENT DE CORRELATION PEARSON	ERREUR QUADRATIQUE MINIMAL
	Moyenne ± STD	Moyenne ± STD
DAUBECHIES5	0,86 ± 0,03	0,04 ± 0,02
SYMLET 7	0,85 ± 0,03	0,05 ± 0,03
BUMP	0,85 ± 0,03	0,06 ± 0,05
MORSE	0,82 ± 0,03	0,07 ± 0,05
AMOR	0,81 ± 0,03	0,08 ± 0,06

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

De nos jours, les professionnels de santé se réfèrent éventuellement à des tests d'évaluation de la capacité à se mouvoir pour évaluer l'état fonctionnel des personnes âgées. Ces tests cliniques facilitent la détection des signes précoce d'un déclin et l'identification des personnes ayant une mobilité réduite. De plus, il est important de constater qu'une acquisition longitudinale à domicile s'avère plus importante ; elle permet de repérer en temps réel toute divergence par rapport à un état initial, identifié sur une période préliminaire pour chaque personne suivie.

En conséquence, dans cette étude, nous proposons l'utilisation d'un capteur radar Doppler pour la surveillance de la mobilité à domicile, car ce système préserve la vie privée des sujets sans intrusion ni contrainte. L'objectif principal se consacre sur la validation à utiliser un radar Doppler pour l'évaluation de la vitesse de la marche à domicile à travers l'analyse de la transformée en ondelettes. Cette dernière est utilisée dans une diversité d'application biomédicale dans le but d'un filtrage ou d'une compression des signaux, et même pour l'extraction des paramètres spatio-temporels. Elle pourra nous fournir une analyse multi-résolution. Cependant, la principale difficulté liée à cette analyse est la sélection d'une ondelette mère adéquate pour le traitement du signal. C'est ainsi que nous proposons une méthodologie, basée sur un système optoélectronique Vicon, pour l'identification des meilleures ondelettes mères.

Nos résultats ont révélé des coefficients de corrélation élevés entre les signaux de la vitesse de marche obtenus par le capteur radar et ceux obtenus par le système Vicon, avec des valeurs modérées d'erreur quadratique moyenne (inferieurs à 0,05 m/s) pour les ondelettes mères : « Daubechies 5, Symlet 7, Bump, Morse et Amor ».

Dans nos études, nous visons à fournir aux cliniciens un nouveau système de surveillance permettant de détecter en continu les caractéristiques de la marche chez les personnes âgées. À titre d'une étude préliminaire, quelques jeunes ont participé dans ce protocole, alors que nous visons à valider nos résultats à travers un nouveau protocole expérimental basé sur l'intervention des personnes âgées.

REMERCIEMENT

Ce travail a été financé par Troyes Champagne Métropole (TCM), Troyes-France

REFERENCES

1. DESA, U., World population prospects, the 2017 Revision, Volume I: comprehensive tables. New York United Nations Department of Economic & Social Affairs, 2017.
2. Podsiadlo, D. and S. Richardson, The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. Journal of the American geriatrics Society, 1991. 39(2): p. 142-148.
3. Smith, R., Validation and reliability of the Elderly Mobility Scale. Physiotherapy, 1994. 80(11): p. 744-747.
4. Tinetti, M.E., Performance- oriented assessment of mobility problems in elderly patients. Journal of the American Geriatrics Society, 1986. 34(2): p. 119-126.
5. Van Kan, G.A., et al., Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. The journal of nutrition, health & aging, 2009. 13(10): p. 881-889.
6. Verghese, J., et al., Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. The Journals of Gerontology: Series A, 2009. 64(8): p. 896-901.
7. Yardibi, T., et al. Gait characterization via pulse-Doppler radar. in 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops). 2011. IEEE. p. 662-667
8. Chkeir, A., J.-L. Novella, M. Dramé, D. Bera, M. Collart and J. Duchêne. "In-home physical frailty monitoring: relevance with respect to clinical tests." BMC Geriatrics 2019. 19(1): pages. 25-34
9. Kleinberger, T., et al. Ambient intelligence in assisted living: enable elderly people to handle future interfaces. in International conference on universal access in human-computer interaction. 2007. Springer. p. 103-112
10. Truchetet, F., Ondelettes pour le signal numerique, collection traitement du signal, edition HERMES. Paris, Jan, 1998.
11. Fried, L.P., et al., Frailty in older adults: evidence for a phenotype. The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 2001. 56(3): p. M146-M157.
12. Ngui, W.K., et al. Wavelet analysis: mother wavelet selection methods. in Applied mechanics and materials. 2013. Trans Tech Publ. Vol. 393, p. 953-958