

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 601

Mathématiques et Sciences et Technologies

de l'Information et de la Communication

Spécialité : *Électronique*

Par

Samia ADRAR

Semelle piézoélectrique connectée pour applications médicales

Thèse présentée et soutenue à Nantes, le 13 décembre 2022

Unité de recherche : IETR, UMR 6164

Rapporteurs avant soutenance :

M. El hadj DOGHECHE
Mme. Catherine ALGANI

Professeur des universités, IEMN, Université Polytechnique Hauts-de-France
Professeur des universités, SYSCOM, CNAM de Paris

Composition du Jury :

Examineurs : M. Pierre-Yves JOUAN
Examineurs : M. Pascal DHERBÉCOUR

Professeur des universités, IMN, Nantes Université
Maitre de conférences (HDR), GPM, Université de Rouen

Directeur de thèse : M. Raynald SEVENO
Co-encadrant : M. Mohammed EL GIBARI

Maitre de conférences (HDR), IETR, Nantes Université
Maitre de conférences, IETR, Nantes Université

Titre : Semelle piézoélectrique connectée pour applications médicales

Mots clés : Acquisition de données, Traitement de données, Instrumentation, Capteurs flexibles piézoélectriques, Communication sans fil, Caractérisation mécanique.

Résumé : Le domaine de la santé, avec ces disciplines multiples, a connu une grande évolution, cela grâce à l'intégration de dispositifs intelligents dans l'analyse et le traitement des patients. De par les relations avérées entre les troubles de la marche et certaines maladies chroniques, comme la maladie de Parkinson ou l'hémiplégie, l'étude de la marche présente actuellement un enjeu majeur dans le secteur médical. Dans ce contexte, le sujet de thèse porte sur la réalisation d'un dispositif d'enregistrement de la marche pour le suivi du patient à distance. Le système en question est une semelle connectée constituée principalement de capteurs piézoélectriques en couches minces souples (3 μm d'épaisseur), développés dans le laboratoire IETR. Ces capteurs sont élaborés en utilisant un procédé de dépôt par voie chimique (CSD) et une feuille d'aluminium (Al) commerciale comme substrat. Afin d'augmenter

la flexibilité des capteurs et de faciliter son insertion dans une chaussure, les films piézoélectriques sont encapsulés par laminage dans du polyéthylène téréphtalate (PET, 250 μm) qui sera découpé en forme de semelle. L'exploitation des informations fournies par les capteurs passe par une étape de conversion de données, cette étude mécanique du capteur permet de convertir les données issues du capteur en valeurs d'unité de force, que le podologue peut exploiter. Un système d'enregistrement et de transmission de données sans fils est intégré à la semelle pour la partie connectée du dispositif. L'originalité de ce travail réside à la fois dans l'approche de conception de l'appareil de suivi de la marche, car réalisé directement en concertation avec un podologue et dans la portabilité du dispositif, qui devrait permettre, à terme, le suivi d'un patient à domicile.

Title: Connected piezoelectric sole for medical applications

Keywords: Data acquisition, Data processing, Instrumentation, Piezoelectric flexible sensors, Wireless communication, mechanical characterization.

Abstract: The field of health, with these multiple disciplines, has undergone a great evolution, thanks to the integration of intelligent devices in the analysis and treatment of patients. Due to the proven relationships between gait disorders and some chronic diseases, such as Parkinson's or hemiplegia, the study of gait currently presents a major challenge in the medical sector. In this context, the thesis subject concerns the realization of a gait recording device for remote patient monitoring. The system in question is a connected sole consisting mainly of piezoelectric sensors in flexible thin layers (3 μm thick), developed in the IETR laboratory. These sensors are fabricated using a chemical deposition (CSD) process and commercial aluminum (Al) foil as the substrate. In order to increase the flexibility of the sensors and to

facilitate its insertion into a shoe, the piezoelectric films are encapsulated by lamination in polyethylene terephthalate (PET, 250 μm) which will be cut into the shape of a sole. The exploitation of the information provided by the sensors goes through a data conversion stage, this mechanical study of the sensor makes it possible to convert the data from the sensor into force unit values, which the podiatrist can use. A wireless data recording and transmission system is integrated into the sole for the connected part of the device. The originality of this work lies both in the design approach of the device for monitoring gait, since it was carried out directly in consultation with a podiatrist, and in the portability of the device, which should eventually allow monitoring of a patient at home.