

Titre : Extension et généralisation du concept de Human in the Loop dans les dispositifs à retour tactile grâce à la REM (Représentation Energétique Macroscopique)

Extension and generalization of Human in the Loop idea in tactile feedback devices thanks to Energetic Macroscopic Representation

Direction (*supervisors*) : Pr B. Semail, co-direction : Dr-HDR Ch. Giraud-Audine, encadrant : Dr A. Kaci

Contacts : betty.semail@univ-lille.fr, christophe.giraud-audine@ensam.eu, anis.kaci@univ-lille.fr

Lieu (*location*) : L2EP-IRCICA, 50 avenue Halley, 59650 Villeneuve d'Ascq

English version below

Contexte : le L2EP (Laboratoire d'Electrotechnique et d'Electronique de Puissance) travaille depuis 2004 dans le domaine des interfaces à retour tactile, dans le cadre de l'IRCICA (Institut de Recherche sur les Composants_logiciels et matériels pour l'Information et la Communication Avancée). Les chercheurs conçoivent, réalisent et contrôlent des dispositifs mécatroniques à base d'actionneurs piézoélectriques qui sont capables de restituer sous le doigt d'un utilisateur les sensations tactiles qu'il aurait en explorant de vraies surfaces. Ces dispositifs exploitent la création et la propagation d'ondes acoustiques pour moduler le frottement entre le doigt et la surface active du milieu afin de créer des textures spécifiques. De plus, plus récemment, ils ont développé une technique de retournement d'onde pour créer une stimulation localisée sous un doigt statique.

Problématique de la thèse : le principe de contrôle du frottement par onde ultrasonore ou celui du retournement de l'onde nécessitent d'une part une maîtrise de l'actionnement piézoélectrique à l'origine de la vibration, et d'autre part une robustesse vis-à-vis de la diversité des caractéristiques de la peau du doigt, d'un individu à l'autre. Or, le sens du toucher met en jeu de nombreux phénomènes, de l'interaction de contact jusqu'à la perception exprimée, et des différences entre individus peuvent intervenir tout au long de la chaîne. Plusieurs résultats et études préliminaires montrent que la mesure de la force acoustique du doigt en contact avec la surface vibrante permet de prédire le phénomène d'interaction et par une démarche de modèle inverse, d'en déduire la stratégie de contrôle de l'actionnement piézo-électrique à mettre en place pour optimiser le ressenti d'un utilisateur. Il s'agit en quelque sorte d'une étape de calibrage du toucher selon les individus et selon les méthodes d'excitations vibratoires envisagées.

Objectifs et déroulement du travail de thèse : les objectifs de cette thèse se déclinent autour de la volonté de proposer une ou des méthodes de calibrage du retour tactile selon les individus et selon les retours tactiles envisagés. Ces méthodes seront décrites et mises en œuvre en s'appuyant sur le concept de « Human in the Loop », lui-même inspiré de l'idée de Hardware In the Loop (HIL) explicité par la REM (Représentation Energétique Macroscopique), développée au L2EP. Pour cela, on partira de 3 travaux de thèse récents qui ont permis de mettre en œuvre le contrôle multi-modal des ondes transverses pour localiser les stimuli tactiles [1], celui d'ondes longitudinales pour optimiser la consommation énergétique des stimulateurs tactiles [2] et enfin le contrôle couplé des ondes transverses et longitudinales pour créer des stimuli sous un doigt passif [3]. Ces études ont chacune donné lieu à des dispositifs expérimentaux qui serviront de point de départ à la thèse. Des deux premières études, le concept de mesure de force acoustique sera étendu. Sur la base de ces expérimentations, des modèles d'interaction doigt-surface seront proposés et formalisés par la REM. De là, la 3^{ème} voie pourra être exploitée afin de voir si la dispersion des caractéristiques de ressenti de l'excitation tactile actuellement mesurée peut être justifiée par la théorie. Enfin, la thèse devra mener à l'optimisation des stratégies de contrôle robustes ou adaptatives des dispositifs à retour tactile en

vue d'applications « grands publics » telles celles du domaine automobile, celui de la santé ou de la vente par correspondance.

Compétences requises : ces études nécessitent des développements analytiques, des simulations, des essais expérimentaux de mesures physiques et psycho-physiques. Le candidat devra présenter de bonnes compétences en mécanique, contrôle-commande, électronique, électronique de puissance, métrologie, programmation temps réel, un esprit rigoureux et une ouverture d'esprit pour appréhender des disciplines connexes nécessaires pour ce sujet interdisciplinaire.

Références :

[1] : Anis Kaci, thèse de doctorat de l'université de Lille 2020 : Méthodologie de commande de vibrations multimodales par modulation-démodulation synchrone : application au retour tactile "multi-touch"

[2] : Diana Angelica TORRES GUZMAN, thèse de doctorat de l'université de Lille 2021 : Generation and control of tactile feedback with longitudinal ultrasonic vibration and human-in-the-Loop analysis

[3]: Pierre Garcia, thèse de doctorat de l'université de Lille 2022 : Conception d'interface tactile innovante pour la simulation d'un bouton sur une surface plane

Context: the L2EP (Laboratory of Electrotechnics and Power Electronics) has been working since 2004 in the field of tactile feedback interfaces, within the framework of the IRCICA (Research Institute on Software and Hardware Components for Information and Advanced Communication). Researchers design, produce and control mechatronic devices based on piezoelectric actuators that are able to reproduce under a user's finger the tactile sensations they would have when exploring real surfaces. These devices exploit the creation and propagation of acoustic waves to modulate the friction between the finger and the active surface of the medium in order to create specific textures. Also, more recently, they have developed a wave reversal technique to create localized stimulation under a static finger.

Scope of the thesis: the principle of friction control by ultrasonic wave or that of the reversal of the wave require on the one hand a mastery of the piezoelectric actuation at the origin of the vibration, and on the other hand a robustness -to the diversity of the characteristics of the skin of the finger, from one individual to another. However, the sense of touch involves many phenomena, from contact interaction to expressed perception, and differences between individuals can occur all along the chain. Several results and preliminary studies show that the measurement of the acoustic force of the finger in contact with the vibrating surface makes it possible to predict the phenomenon of interaction and by an inverse model approach, to deduce the control strategy of the piezoelectric actuation to be put in place to optimize the feeling of a user. It is a sort of touch calibration step according to the individuals and according to the vibrational excitation methods envisaged.

Objectives and progress of the thesis work: the objectives of this thesis are based on the desire to propose one or more methods for calibrating tactile feedback according to the individuals and according to the tactile feedback envisaged. These methods will be described and implemented based on the concept of "Human in the Loop", itself inspired by the idea of Hardware In the Loop (HIL) explained by the EMR (Energetic Macroscopic Representation), developed at L2EP. For this, we will start from 3 recent thesis works which have made it possible to implement the multi-modal control of transverse waves to localize tactile stimuli [1], that of longitudinal waves to optimize the energy

consumption of tactile stimulators [2] and finally the coupled control of transverse and longitudinal waves to create stimuli under a passive finger [3]. These studies have each given rise to experimental devices that will serve as a starting point for the thesis. From the first two studies, the concept of acoustic force measurement will be extended. Based on these experiments, finger-surface interaction models will be proposed and formalized by MER. From there, the 3rd way can be exploited in order to see if the dispersion of the characteristics of feeling of the tactile excitation currently measured can be justified by the theory. Finally, the thesis should lead to the optimization of robust or adaptive control strategies of tactile feedback devices for "general public" applications such as the automotive field, that of health or mail order.

Skills: these studies require analytical developments, simulations, experimental tests of physical and psycho-physical measurements. The candidate must have good skills in mechatronics, control, electronics, power electronics, metrology, real-time programming, a rigorous mind and an open mind to understand related disciplines necessary for this interdisciplinary subject.