

Sujet de thèse

Interfaces haptiques : conception et commande d'actionneurs innovants

Aspects pratiques

Lieu : Campus de Lille des Arts et Métiers (8 bd. Louis XIV 59000 Lille)

Laboratoires :

Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance de Lille (L2EP)

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques et Numériques (LISPEN)

Encadrement : Christophe GIRAUD-AUDINE, Olivier THOMAS, Taha AJNADA

Rémunération : Contrat doctoral de droit public (2100€ brut/mois) avec possibilité de vacances en plus.

Dates : 36 mois à partir de septembre / octobre 2024

Contacts : olivier.thomas@ensam.eu, christophe.giraud-audine@ensam.eu

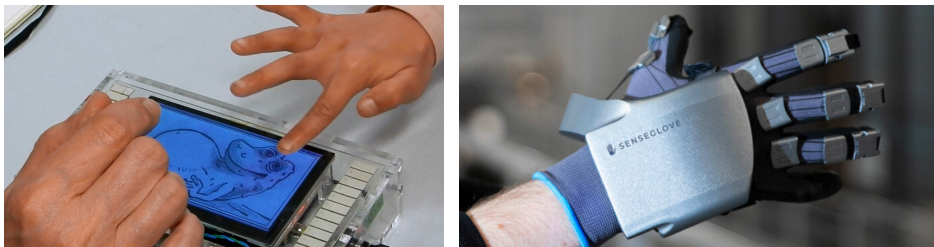


FIG. 1 – Interface à retour tactile : les céramiques piézoélectriques sont visibles sur les côtés de l'écran (gauche). Gant haptique (<https://www.senseglove.com>) (droite)

Contexte et problématique

Les écrans tactiles sont à l'heure actuelle une des interfaces homme-machine les plus utilisées au quotidien dans des applications grand public comme les téléphones, et plus récemment dans les automobiles [1]. Pourtant cette solution pose des problèmes de sécurité puisqu'elle se base uniquement sur la vision, et peut distraire l'utilisateur. Dans le domaine de la réalité virtuelle, le principal sens reste la vision, ce qui limite l'expérience et le champ des applications. Dans le cas de la formation par exemple, la possibilité de ressentir permettrait une mise en situation plus proche des conditions réelles. Il est donc nécessaire d'ajouter d'autres canaux qui permettent d'enrichir l'interaction sans surcharger la vision. Plusieurs propositions existent, mais restent relativement encombrantes (cf. Fig. 1).

Une solution développée aux L2EP sont des interfaces tactiles capable de modifier le ressenti grâce à des vibrations [2, 3] générées grâce à des céramiques piézoélectriques comme sur la Fig. 1. Il est ainsi possible de simuler des textures ou des boutons sur un écran pour améliorer la productivité et la sécurité.

Ces dispositifs utilisent des céramiques piézoélectriques, simples à intégrer. Cependant, elles

nécessitent des tensions généralement élevées et les déplacements restent limités.

Objectifs de la thèse

Il s'agit d'explorer de nouveaux modes d'actionnement capables de générer des vibrations de grandes amplitudes. Le principe sera d'exploiter la résonance paramétrique¹ et/ou le flambage qui permettent de réduire les efforts nécessaires à l'actionnement, et de pallier la limitation des résonances classiques. En effet, Les amplitudes ne sont alors plus limitées par la dissipation ce qui permet de grandes amplitudes de vibrations [4]. Les applications visées seront les surfaces de grandes dimensions (pour les aspects énergétiques) ou les interfaces "ambulateuses" comme les gants haptiques.

*Le but de la thèse vise à lever plusieurs verrous scientifiques, à la fois sur les **modélisation** du comportement de ces systèmes pour proposer une solution technologique du principe adaptée à la mise en vibration en grande amplitude, mais aussi sur les stratégies de **commande** pour l'utilisation des principes envisagés.*

La thèse abordera les points suivants :

- le développement et l'exploitation de modèles permettant de prédire la réponse paramétrique d'une structure à la limite du flambage.
- l'analyse et l'optimisation des résonateurs piézoélectriques : géométrie et localisation des actionneurs piézoélectriques pour les dispositifs haptiques.
- la commande : cette étape concernera 1) l'adaptation de la modélisation en vue de la commande 2) le développement de commande adaptées.
- La validation expérimentale.

Environnement

Le L2EP [5] est un laboratoire reconnu dans le domaine du génie électrique et de la commande de système électrotechnique et mécatronique. L'activité "Système piézoélectrique" développe depuis 2005 des dispositifs haptiques et des commandes de vibrations. C. Giraud-Audine a une expertise en modélisation des systèmes dynamiques piézoélectriques, la commande multimodale et commande de systèmes piézoélectriques [6-8].

O. Thomas du LISPEN [9], est expert en conception, calcul et mesure de systèmes non linéaires électromécaniques vibrants ou la modélisation de structures piézoélectriques [10, 11]. Depuis 2018, les deux laboratoires ont collaborés autour de techniques expérimentales [12] et de réduction de vibrations linéaires [13] et non-linéaires [14].

Compétences recherchées

Le candidat devra avoir une formation dans un des domaines concernés (commande, modélisation dynamique, mécatronique) à un niveau M2 et une appétence pour découvrir de nouveaux domaines. Le goût pour l'expérimentation serait un plus appréciable.

Le candidat doit avoir la capacité de travailler de manière autonome, de bien s'organiser et de communiquer régulièrement avec tous les chercheurs impliqués. Un esprit d'analyse et de la créativité seront nécessaires. De bonnes capacités de communication et de rédaction en anglais sont souhaitables.

A l'issue de la thèse, le candidat aura acquis des connaissances théoriques et méthodologiques utiles pour une carrière en recherche et développement.

1. Les vibrations paramétriques sont obtenues en imposant une variation synchronisée sur la vibration de l'un des paramètres d'un système.

Références

- [1] At your fingertips : haptic touch controls in cars - Automotive - Technical articles - TI E2E support forums. 19 novembre 2013. URL : https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/posts/at-your-fingertips-haptic-touch-controls-in-cars (visité le 20/04/2023).
- [2] Melisande BIET, Frédéric GIRAUD et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Squeeze film effect for the design of an ultrasonic tactile plate. *IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control*, 54(12) :2678-2688, 2007.
- [3] Sofiane GHENNA, Eric VEZZOLI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Enhancing Variable Friction Tactile Display Using an Ultrasonic Travelling Wave. *IEEE Transactions on Haptics*, 10(2) :296-301, 1^{er} avril 2017.
- [4] Mould STEVE, director. What If Swings Had Springs Instead Of Ropes : Autoparametric Resonance, 18 février 2022.
URL : <https://l2ep.univ-lille.fr/> (visité le 14/04/2023).
- [6] Ehsan ENFERAD, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty Lemaire SEMAIL. Generating controlled localized stimulations on haptic displays by modal superimposition. *Journal of Sound and Vibration*, 449 :196-213, juin 2019.
- [7] Anis KACI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. LQR based MIMO-PID controller for the vector control of an underdamped harmonic oscillator. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134 :106314, décembre 2019.
- [8] Anis KACI, Christophe GIRAUD-AUDINE, Frédéric GIRAUD, Michel AMBERG et Betty LEMAIRE-SEMAIL. Closed loop control of vibration field transient : Application to wave focusing. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 167 :108285, mars 2022.
- [9] Présentation du Laboratoire | Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques Et Numériques. URL : <https://lispen.ensam.eu/> (visité le 14/04/2023).
- [10] J. DUCARNE, O. THOMAS et J.-F. DEÛ. Placement and dimension optimization of shunted piezoelectric patches for vibration reduction. *Journal of Sound and Vibration*, 331(14) :3286-3303, juillet 2012.
- [11] Daisuke SAYA, Denis DEZEST, Aaron J. WELSH, Fabrice MATHIEU, Olivier THOMAS, Thierry LEÏCHLÉ, Susan TROLIER-MCKINSTRY et Liviu NICU. Piezoelectric nanoelectromechanical systems integrating microcontact printed lead zirconate titanate films. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 30(3) :035004, janvier 2020.
- [12] V. DENIS, M. JOSSIC, C. GIRAUD-AUDINE, B. CHOMETTE, A. RENAULT et O. THOMAS. Identification of nonlinear modes using phase-locked-loop experimental continuation and normal form. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 106 :430-452, juin 2018.
- [13] Michel AULELEY, Christophe GIRAUD-AUDINE, Hervé MAHÉ et Olivier THOMAS. Tunable electromagnetic resonant shunt using pulse-width modulation. *Journal of Sound and Vibration*, 500 :116018, mai 2021.
- [14] Zein A. SHAMI, Christophe GIRAUD-AUDINE et Olivier THOMAS. A nonlinear tunable piezoelectric resonant shunt using a bilinear component : theory and experiment. *Nonlinear Dynamics*, 5 janvier 2023.