

|          |                        |
|----------|------------------------|
| COLLEGE  | MATHS, TELECOMS        |
| DOCTORAL | INFORMATIQUE, SIGNAL   |
| BRETAGNE | SYSTEMES, ELECTRONIQUE |

# THÈSE DE DOCTORAT DE

## L'UNIVERSITÉ DE RENNES

ÉCOLE DOCTORALE N°601

Mathématiques, Télécommunications, Informatique, Signal, Systèmes, Électronique

Spécialité : Informatique

Par

**Erwan NORMAND**

**Study of the Perception and Manipulation of Virtual Objects in Augmented Reality using Wearable Haptics**

**Thèse présentée et soutenue à Rennes, le 29 novembre 2024**

**Unité de recherche : IRISA**

**Rapporteurs avant soutenance :**

Jens GRUBERT Professeur à l'Université de Coburg, Allemagne

Seokhee JEON Professeur à l'Université Kyung Hee, Corée du Sud

**Composition du Jury :**

|                    |                      |                                                                  |
|--------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------|
| Président :        | Prénom NOM           | Fonction et établissement d'exercice                             |
| Rapporteurs :      | Jens GRUBERT         | Professeur à l'Université de Coburg, Allemagne                   |
|                    | Seokhee JEON         | Professeur à l'Université Kyung Hee, Corée du Sud                |
| Examinateur :      | Martin HACHET        | Directeur de recherche, centre Inria de l'Université de Bordeaux |
| Dir. de thèse :    | Maud MARCHAL         | Professeure à l'INSA Rennes, IRISA                               |
| Co-dir. de thèse : | Eric MARCHAND        | Professeur à l'Université de Rennes                              |
| Co-encadrant :     | Claudio PACCHIEROTTI | Chargé de recherche CNRS, IRISA                                  |

**Invité(s)**

Prénom NOM Fonction et établissement d'exercice

**Titre :** Étude de la perception et de la manipulation d'objets virtuels en réalité augmentée à l'aide de dispositifs haptiques portables

**Mots clés :** Réalité augmentée, haptique portable, perception, interaction, textures, mains virtuelle

**Résumé :** Les dispositifs haptiques portables procurent des sensations tactiles tout en étant compacts. Ils ont été peu utilisés avec la réalité augmentée (RA), où le contenu virtuel est intégré à la perception du monde réel. Dans cette thèse, nous étudions leur utilisation pour améliorer la perception et la manipulation avec la main d'objets virtuels et augmentés en RA. Nous étudions d'abord comment le rendu visuel affecte la perception des textures vibrotactiles virtuelles qui augmentent des surfaces réelles touchées directement par le doigt. Nous proposons (1) un système d'augmentation de textures visuo-haptiques à l'aide d'un casque AR et d'un dispositif vibrotactile portable. Nous évaluons ensuite (2) comment la rugosité perçue des textures augmentées diffère lorsqu'elles sont touchées via une main

virtuelle, en réalité virtuelle (RV) et en RA, ou par sa propre main. Nous étudions alors (3) le réalisme et la cohérence de la combinaison des textures augmentées visuelles et haptiques en RA.

Nous étudions ensuite comment le rendu visuo-haptique de la main améliore les performances et l'expérience utilisateur dans la manipulation avec la main d'objets virtuels en RA. Nous commençons par (1) étudier l'effet de six rendus visuels de la main qui fournissent un retour d'information sur le contact avec l'objet virtuel. Nous évaluons ensuite (2) deux techniques de contact vibrotactile, à quatre endroits différents sur la main, et nous les comparons aux deux rendus visuels de la main les plus représentatifs de la contribution précédente.

**Title:** Study of the Perception and Manipulation of Virtual Objects in Augmented Reality using Wearable Haptics

**Keywords:** Augmented Reality, Wearable Haptics, Perception, Interaction, Textures, Virtual Hand

**Abstract:** Wearable haptic devices provide tactile sensations in a compact form. They have been little used in augmented reality (AR), where virtual content is integrated into real world perception. In this thesis, we investigate their use to enhance direct hand perception and manipulation with virtual and augmented objects in AR.

First, we study how visual rendering affects the perception of vibrotactile texture augmentations of real surfaces directly touched by the finger. To this end, we (1) propose a system for rendering visuo-haptic texture augmentations using an AR headset and a wearable vibrotactile device. We (2) evaluate how the perceived roughness of virtual textures differs

when touched via a virtual hand vs. one's own hand, and when in AR vs. virtual reality (VR). We (3) investigate the realism and coherence of combining visual and haptic texture augmentations in AR.

Second, we investigate how the visuo-haptic rendering of the hand improves the direct hand manipulation of virtual objects in AR, in terms of performance and usability. We (1) explore the effect of six visual renderings of the hand that provide contact feedback with the virtual object. We then (2) evaluate two vibrotactile contact techniques, provided at four different locations on the real hand and compare them to the two most representative visual hand renderings from the previous contribution.