WP1 : Conception et réalisation d'un plancher pour des études cliniques

Ce projet concerne la conception et la réalisation d'un plancher actionné et instrumenté afin de réaliser des études de perception (évaluation des seuils psychophysiques) et des études sur la locomotion humaine. L'objectif principal est de pouvoir reproduire avec exactitude l'actionnement du plancher en utilisant des capteurs appropriés et une commande en vitesse et en vibration (entre 0 et 1024 Hz). La marche humaine produit une charge passive, intrinsèque à chaque individu, sur ce type de mécanisme. Il sera donc nécessaire de compenser efficacement cette charge avec du matériel électronique et des algorithmes de traitement du signal numérique. Ce travail s'inscrit dans un projet de réhabilitation de la locomotion humaine afin de définir et de comprendre les lois qui régissent différentes modalités de perception (auditif, tactile et visuel).

Ce projet consiste à réaliser la structure du plancher actionné en position et en vibration en plus des algorithmes logiciels temps-réel qui serviront à réaliser des études de perception. Les éléments de sécurité sur le mécanisme devront être conçus et réalisés. Deux cartes électroniques doivent être développées afin d'alimenter les actionneurs (carte de puissance) et afin de réaliser les algorithmes de traitement du signal numérique (carte d'acquisition et de commande PCI-Express qui contient un DSP ou un FPGA). Chaque tuile doit être suffisamment instrumenté (capteurs de force, d'accélération, de déformation, etc.). Une interface utilisateur (GUI) doit aussi être conçue afin de réaliser les études de perception. Cette interface doit être ergonomique et facile d'utilisation pour les participants. Entre autres, elle doit enregistrer les informations des participants (un questionnaire à choix de réponses doit être soumis aux participants lors des expérimentations) ainsi que les données des capteurs et de l'actionnement. Cette interface gère les pilotes matériels de la carte d'acquisition et de commande.

Actuellement, deux actionneurs vibrotactiles sont disponibles ainsi que des tuiles d'aluminium (structure honeycomb) spécialement conçues pour ce type de plancher. Des capteurs de force (FSR et load cell) et des accéléromètres ADXL sont aussi disponibles pour des fins d'évaluation. Chaque tuile pourra être suspendue sur quatre élastomères aux coins de la tuile. Un socle spécifique devra être conçu pour contenir les capteurs.

WP2 : Conception et réalisation pratique d'un actionneur vibrotactile pour des applications haptiques en réalité virtuelle

L'haptique est un domaine d'expertise qui procure une extension aux interfaces informatiques afin de rendre adéquatement les efforts (forces et moments) simulés dans un environnement virutel comme un jeu. Habituellement, un mécanisme sériel commandé en force permet à un utilisateur d'interagir avec les objets virtuels. Cependant, ce mécanisme n'est pas en mesure de reproduire les vibrations lors d'un impact à haute vitesse avec ces mêmes objets. La technologie offre actuellement la possibilité de rendre efficacement ces vibrations de même que les textures sur une surface, à l'aide d'un signal vibrotactile, qui sont générées par un moteur physique comme Newton Games Dynamic ou ODE. L'objectif est donc de pouvoir développer un actionneur qui permettra de ressentir les impacts à haute vitesse et les textures simulées dans un jeu.

Ce projet consiste au développement théorique et pratique d'un actionneur vibrotactile afin de répondre aux besoins de rendre efficacement des vibrations hautes fréquences (40-1024 Hz). L'actionneur doit être fabriqué de manière à être inséré dans une tuile (carreau) avec une structure dite honeycomb. L'actionneur est composé d'une structure inertielle qui se déplace sous la contrainte d'un champ électromagnétique. Une paire de bobines d'Helmholtz pourra être considérée dans ce projet afin de générer l'énergie nécessaire au déplacement de la structure inertielle. Cette structure pourra être soutenue par deux membranes viscoélastiques à chaque extrémité. Le signal doit pouvoir déplacer suffisamment la tuile en fonction de la position de la main ou des pieds. Une caractérisation pratique doit être suivit pour confirmer l'atteinte des objectifs en ce qui concerne la puissance d'actionnement et la réponse en fréquence. De plus, si le temps le permet, un algorithme de compensation fréquentiel pourra être développé afin d'obtenir une réponse linéaire.

WP3 : Conception d'un capteur d'efforts multiaxes faible bruit pour des applications haptiques

Les capteurs d'efforts sont largement répandu en robotique afin d'assurer une commande en force. Un exemple d'application est un robot sériel qui effectue un polissage d'une surface tridimensionnelle courbe (comme la carrosserie d'une voiture). Cependant, ce type de capteur est très dispendieux (de l'ordre de 5000 $), est souvent bruité et la valeur lue a tendance à changer dans le temps (avec des capteurs piézoélectriques). Ces problèmes ne sont toutefois pas un désavantage lorsque les efforts impliqués par le robot sont très élevés et que le robot représente un coût largement supérieur aux capteurs. Dans d'autres applications, comme en haptique, ces problèmes doivent être résolus. En effet, lorsque l'humain déplace un robot à l'aide de ce capteur, l'effort mesuré est très faible (et doit tendre vers 0) et se retrouve dans le bruit électronique. Un bruit élevé sur la mesure de force est un problème de stabilité lors de l'asservissement d'un mécanisme haptique. Aussi, puisqu'il y a un intérêt au développement de capteurs pour des applications de divertissements (jeux informatiques), le coût final est un enjeu important.

Ce projet consiste à concevoir et à développer un capteur d'efforts multiaxes qui pourra être installé sur un bras robotique sériel. La structure mécanique peut contenir des matériaux flexibles afin de mesurer un déplacement (par exemple avec des transistors à effet Hall ou des lasers DEL). Ce capteur doit contenir un préamplificateur du signal mesuré de même qu'un circuit d'excitation. En plus des contraintes de coût, la dimension et la masse totale doivent être faibles. Un algorithme de calibration temps-réel devra être réalisé de même que le pilote logiciel qui convertira la mesure brute en une mesure d'ingénierie (force et sa dérivée).

Le logiciel pourra être développé avec MatLAB/Simulink avec une carte d'acquisition de National Instrument.

WP4 : Conception d'un filtre numérique adaptif pour générer des illusions perceptuelles

Certaines illusions peuvent être générées afin de tromper la perception humaine. Il suffit de penser aux lignes droites parallèles qui semblent être courbées lorsqu'une autre ligne oblique recouvre les droites parallèles. L'audition, la vue et le touché sont les principaux sens qui sont impliqués lors d'une immersion dans un environnement virtuel. La possibilité de pouvoir varier chaque modalité est très intéressante afin de conduire des études de perception et afin d'améliorer la présence dans un jeu, dans un entrainement sportif ou en réhabilitation. Ce type d'algorithme pourrait aussi être utilisé pour la correction acoustique d'une salle (DRC, Digital Room Correction). Le problème des algorithmes DRC est qu'une réponse à l'impulsion est utilisée avant l'utilisation de la salle alors que dans le problème à l'étude, l'ajustement doit être réalisé en temps-réel en même temps que des stimuli sont soumis aux participants. Entre autres, le filtre devra ajuster de manière automatique un gain appliqué à chaque fréquence dans une certaine bande-passante selon la modalité choisie.

Ce projet consiste à concevoir de manière théorique et pratique un filtre adaptif qui est en mesure d'ajuster des bandes de fréquences similaire à un égaliseur audio. La latence du filtre doit être réduite afin de facilité l'ajustement automatique à l'aide d'une rétro-action (feedback). Différentes mises en œuvre devront être comparées dont un filtre LMS/RMS, un égaliseur graphique (ou audio filter bank) et un analyseur-synthétiseur à réseau polyphase avec FFT/IFFT. Aussi, un algorithme d'ajustement automatique de ces gains (spectral weighting) doit être conçu. Ces algorithmes doivent être mises en œuvre sur un FPGA ou un DSP. Une étude de perception préliminaire et sommaire doit être conduite avec des participants afin de démontrer l'efficacité des algorithmes.

Un kit de développement de type FPGA ou PIC DSP sera mise à la disposition.

WP5 : Modélisation et simulation de la démarche humaine sur un sol régulier

La dynamique de la marche humaine génère des vibrations (et un signal sonore) dans le sol. Lorsqu'une simulation en réalité virtuelle est conduite et qu'un sol particulier est simulé (sable, eau, petites pierres, etc.), les vibrations réelles du plancher en contact avec le pied réduisent la qualité de la simulation des objets virtuels. Ce problème est très complexe à résoudre. Afin de mieux comprendre cette dynamique, le projet consiste à réaliser un modèle rhéologique de second ordre de la marche humaine dans un simulateur. Le modèle pourra être dans une plan afin d'en réduire la complexité. Le modèle suggéré est celui développé par Marcus G. Pandy («*Synthesis of human walking : a planar model for single support*»).

L'objectif est de prédire le déplacement des pieds avec une trajectoire (en utilisant une série de Fourier, un polynôme de degré cinq ou tout autre modèle) ainsi que sa dynamique (efforts dont la force et le moment) avec le plancher en fournissant à l'algorithme des conditions initiales (position, vitesse et accélération). Un algorithme de poursuite probabiliste pourra être incorporé dans le modèle. Ces conditions initiales proviendront de la démarche de participants. Le modèle devra contenir des paramètres ajustables selon les mensurations des participants. Dans ces paramètres, on retrouve la rigidité de la jambe et de la peau, l'amortissement, la masse et les différentes grandeurs (longueur de la jambe, de l'avant jambe, du pied, etc.). Une simulation informatique devra être fournie démontrant en temps réel des valeurs prédites en ce qui concerne le mouvement du pied et les efforts soumis au plancher. Ce modèle pourra éventuellement être utilisé pour corriger les vibrations du plancher.