

Projet de fin d'étude

Restitution du toucher par retour haptique :

Création d'un capteur tactile à partir de condensateurs

Tuteur ETS : Vincent DUCHAINE

Tuteur INSA : Olivier PICCIN

I. Introduction

Ce projet a débuté avec le concours d'un étudiant au doctorat de l'Université Laval, Québec. Celui-ci était un militaire et a perdu sa main durant son service. Il a contribué à la création d'une prothèse de main sous-actionnée pilotée via un harnais fixé au bras et à l'épaule. Par un mouvement du corps, la main peut se fermer ou s'ouvrir. Cette main a de bonnes performances, et permet, par exemple, à l'utilisateur de saisir au vol une balle qui lui est lancée. Malgré de bons résultats, les informations ne transitent que dans un sens : l'utilisateur a le pilotage de la main, mais doit exercer un contrôle visuel permanent sur sa prothèse. Il a donc été décidé d'implanter un dispositif de mesure d'efforts au niveau des doigts, ainsi qu'un retour haptique pour l'utilisateur, afin de pouvoir la commander plus efficacement et plus intuitivement.

Dans ce cadre, le PFE fait parti d'un projet plus vaste prévu sur 3 ans, et impliquant d'autres établissements nord-américains : l'Université Stanford en Californie, l'Université Laval à Québec, l'École Polytechnique de Montréal et l'École de Technologie Supérieure de Montréal. Le projet global sera divisé en 4 parties :

- le développement continu de la mécanique de la main,
- la création et la mise en place de capteurs de force,
- la conception d'un dispositif de retour haptique et
- le développement de lois de commande.

L'objectif du PFE est le développement du capteur de force. Un capteur sera placé, à terme, au bout de chaque doigt de la main. La première partie du travail à consister à investiguer différentes technologies et à effectuer un état de l'art de l'existant en matière de retour haptique. Un choix technologique à base de condensateur a été effectué, et un modèle ProEngineer de l'architecture a été créée et analysée. Basé sur les résultats obtenus, un modèle numérique a été mis au point via Matlab.

Enfin un circuit imprimé a été développé pour le traitement des informations collectés et la communication avec le circuit aval. Le composant principal est un convertisseur de capacitance en numérique : l'AD7147. Le circuit est intégralement piloté par un PIC16F88. Le développement de la carte électronique s'est fait de manière itérative et 2 versions ont vu le jour pendant toute la durée du PFE.

II. Recherche bibliographique et première approche mécanique

1. Recherche bibliographique et choix technologique

De nombreuses publications concernant le retour haptique et la technologie de capteurs ont été analysées. Les technologies de retour haptique seront utilisées dans les recherches d'un autre étudiant

travaillant sur le projet. Parmi toutes les technologies de capteurs, on distingue principalement les jauges de contraintes, utilisées universellement, les matériaux piézoélectriques, qui disposent de bonnes performances dynamiques, la mesure de capacitance et les capteurs de force par vision.

La technologie retenue a été la mesure de capacitance. Contrairement aux jauges de contraintes, elle est moins sensible au bruit, et est plus facile à mettre en œuvre qu'un matériau piézoélectrique ou un capteur par vision. La structure a été inspirée de l'article (nommée ci-après article de référence) « Normal and Shear Force Measurement Using a Flexible Polymer Tactile Sensor With Embedded Multiple Capacitors » de Hyung-Kew Lee, Jaehoon Chung, Sun-Il Chang, et Euisik Yoon.

III. Modélisation ProEngineer et tests mécaniques

a. Structure

On distingue les 2 couches d'électrode, un isolant entre elles ainsi qu'une épaisseur d'air. Au centre de l'unité tactile (appelé taxel), il y a un pylône et sur le dessus du taxel, une bosse. Cette bosse et le pylône servent à retransmettre les forces tangentielles. Ainsi l'application d'une force tangentielle à la bosse induira une rotation au niveau du sommet du pylône. De fait, d'un côté du pylône, les 2 jeux d'électrodes se rapprocheront, tandis qu'elles s'éloigneront de l'autre côté. Le tout fera alors varier les capacitances. Une force normale, quant à elle, génèrera un appui similaire sur les 4 jeux de capacitances.

La structure utilisée sera plus simple de fabrication. La couche inférieure d'électrodes sera construite à même un circuit imprimé. Une couche de mousse compressible servira de diélectrique. Le second jeu d'électrode sera ensuite mis en place, puis recouvert d'une nouvelle épaisseur de mousse. Pour le pylône et la bosse, on utilisera la technologie SDM : un procédé d'usinage matériau par matériau. La bosse et le pylône doivent avoir une rigidité supérieure à celle de la mousse pour générer correctement l'effet de pivotement dû à une force tangentielle.

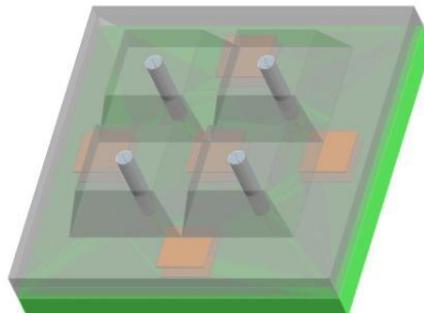


Figure 1 : Modélisation ProEngineer de la structure

Il faut déterminer les 3 composantes de la force appliquée, ainsi que ses 2 coordonnées d'application. Il faut donc 5 condensateurs au minimum. Il faut de plus différencier une force tangentielle d'une force normale excentrée. A cette fin, les condensateurs ont été placés en croix, à la jonction entre les 4 bosses.

b. Essais

Des tests Mechanica ont ensuite été effectués sur cette structure. Ils ont consisté à l'application d'une force normale, puis d'une force tangentielle sur le sommet des 4 bosses. La déformation est mesurée et les variations de capacitance peuvent être mesurées. Sur les 2 figures ci-après, la ligne bleue représente la position initiale des électrodes supérieures, les lignes colorées leur déplacement suivant l'axe vertical (celle située entre 2 épaisseurs de mousse).



Figure 2 : Déplacements des électrodes supérieures causés par une force normale

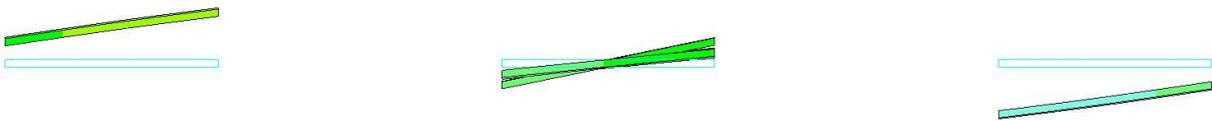


Figure 3 : Déplacements des électrodes supérieures causés par une force tangentielle

On peut noter que dans le cas d'une force normale, l'électrode centrale est plus appuyée que les électrodes périphériques. Et dans le cas d'une force tangentielle, on a bien le soulèvement d'un côté et l'affaissement de l'autre, tandis que l'électrode centrale reste statique.

IV. Modélisation de la solution retenue sous Matlab

1. Détermination du système d'équations

L'objectif suivant était alors de créer un modèle numérique à partir de la modélisation ProEngineer. Pour se faire, il était de rigueur de distinguer les 2 types de forces qui nous intéressaient : les forces normales et tangentielles. Elles ont été modélisées séparément, et peuvent être combinées. Pour la modélisation, on considère une coupe particulière de la structure. Celle-ci passe par 3 condensateurs, et 2 ensembles de bosse et pylône.

2. Écriture du modèle

Différentes itérations du modèle Matlab ont donné le modèle actuel. Dans celui-ci, on peut observer l'évolution de position des électrodes en fonction de la localisation du contact.

Légende :

Électrode de gauche

Électrode du milieu

Électrode de droite

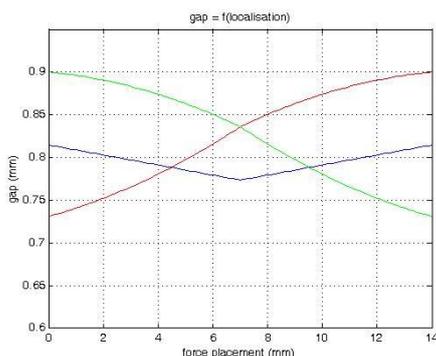


Figure 4 : Écart en fonction de la localisation d'une force normale

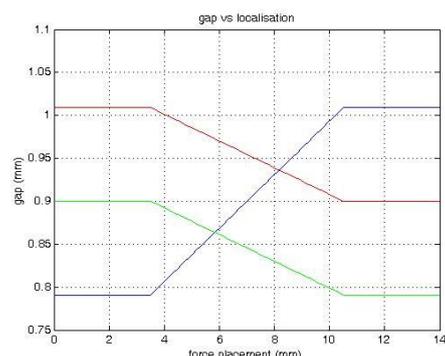


Figure 5 : Écart en fonction de la localisation d'une force tangentielle

Si la force est appliquée sur la partie gauche de la structure, alors on obtient bien un déplacement (vers le bas) plus important de l'électrode de gauche (rouge). Au fur et à mesure que le point d'application se déplace vers la droite, ce sont les électrodes du milieu (bleue) puis de droite (verte) qui descendent.

De la même manière, une force tangentielle (de la gauche vers la droite) appliquée sur la bosse de gauche induira un soulèvement de l'électrode de gauche et un affaissement de l'électrode du milieu, tandis que

l'électrode de droite n'est pas affectée. Cette tendance évolue puis s'inverse avec le déplacement du point d'application de la force. Une fois à droite, l'électrode du milieu est levée et l'électrode de droite affaissée.

V. Electronique : développement du circuit imprimé

1. AD7147

Le composant clé du circuit imprimé est une AD7147. Ce composant mesure la capacitance d'un condensateur et la convertie en une valeur numérique. Il dispose de 12 étapes de conversion. Le circuit imprimé ne disposant que de 3 condensateurs, uniquement 3 de ces étapes seront utilisées.

La programmation de l'AD7147 s'effectue par une communication SPI en 2 étapes. La première étape est l'envoi d'un mot de commande de 16 bits, comprenant un en-tête invariable, un bit précisant s'il s'agit d'un ordre de lecture ou d'écriture, puis l'adresse à laquelle lire ou écrire. La seconde étape est l'envoi ou la réception du mot de 16 bits contenu dans le registre à l'adresse demandée.

Une phrase d'initialisation consiste à programmer certains registres afin d'activer ou non un certain nombre de fonctionnalités. Ici, on désire uniquement effectuer une conversion constante de la capacitance des 3 condensateurs.

Afin d'accéder plus aisément aux multiples fonctions de l'AD7147, des exemples de codes ont été téléchargés et étudiés, puis transposés et adaptés.

2. PIC16F88

Le PIC16F88 contrôle intégralement toutes les fonctions de la carte électronique. Le code est séparé en différentes structures regroupant chacun le fonctionnement d'un composant donné. Ainsi, la communication SPI gère intégralement le dialogue avec l'AD7147 tandis que la communication RS-232 permet d'envoyer des données passant par l'ADM3251E.

Suite à quelques difficultés rencontrées dans la soudure des composants et la communication entre les différentes puces de la première version, un protocole de communication SPI spécifique a été rédigé. De fait, selon le type de fonctionnement désiré, différentes routines d'initialisation ont été mises en place.

3. Circuit imprimé

Le circuit imprimé a été commandé pour que des essais puissent être effectués avec les composants réels. La première version du circuit imprimé comportait certains défauts de conception forcément présents dans une première itération de conception.

Les pattes de soudures de l'AD7147, notamment, étaient trop petites pour assurer une soudure correcte. De fait, la communication SPI n'a pu être établie avant la commande de la seconde version du circuit imprimé.

La seconde version a été mise au point, corrigeant les problèmes détectés sur la version précédente. La communication SPI entre le PIC16F88 et l'AD7147 a donc pu être utilisée correctement. Il en est de même pour la communication RS-232 par le biais de l'ADM3251E. Ainsi, les valeurs de capacitance détectée par l'AD7147 ont pu directement être analysées à partir de la sortie RS-232.

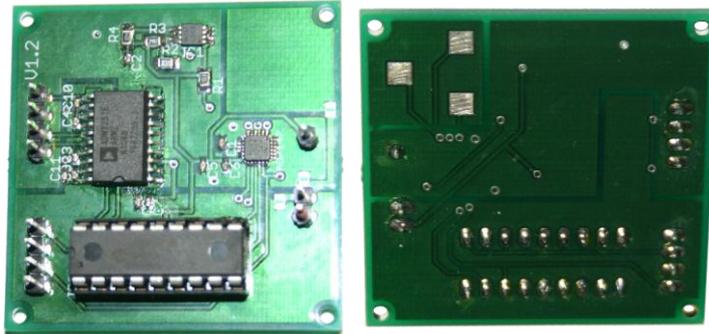


Figure 6 : Circuit imprimé (seconde version : V1.2)

VI. Suivit du projet

Ce projet étant le démarrage d'un projet s'étalant sur 3 ans, des données concernant les recherches effectuées doivent être conservées pour l'avenir. Le laboratoire dispose d'un Wiki interne sur lequel ont été stockées toutes les informations relatives au projet en cours. Il contient notamment des informations sur les composants électroniques utilisés, les erreurs fréquemment faite, la méthode pour les éviter, ainsi que des informations à l'utilité récurrente.

Le Wiki sert donc aussi bien de base de données sur lequel sont hébergées tous les fichiers relatifs au travail effectué, mais aussi de site de compte-rendu sur lequel l'avancée des recherches est régulièrement mise à jour.

De plus, des rencontre seront effectuées avec l'étudiant au doctorat en charge de reprendre la suite du projet. Il s'agira de lui expliquer le travail effectué, ainsi que l'état actuel du projet.

VII. Conclusions

Ce projet de recherche était avant tout à but exploratoire. De fait, tous les domaines d'étude de la mécatronique ont été mis en œuvre. Il s'est agit, dans un premier temps, d'une recherche documentaire sur l'état de l'art par rapport au retour haptique. Le projet a ensuite été orienté vers l'instrumentation de la main articulée et la création d'un capteur d'effort.

Une étude mécanique basée sur une publication coréenne a été menée à bien pour évaluer une structure de capteur. Un modèle numérique a été créé sous Matlab pour évaluer la réponse de la structure à différents types de pression. Afin d'approfondir la recherche mécanique, des essais ont été effectués avec une machine à découper un laser.

Afin d'acquérir la valeur des capacitances servant de base au capteur, un circuit imprimé a été créé. Il comprend une puce chargée de convertir la valeur de capacitance en valeur numérique : l'AD7147. La programmation de ses registres de 16 bits est effectuée par un PIC16F88 via bus SPI. Les capacités des l'AD7147 sont telles que seule une partie infime d'entre elles seront utilisées à terme pour la suite du projet.

Enfin, un suivit du projet est effectué non seulement grâce à l'utilisation du Wiki interne au laboratoire, mais aussi grâce à de futures rencontre avec l'étudiant au doctorat en charge de poursuivre la recherche.