

Étude de cas de recherche de premier cycle en mécatronique :

Contribuer à une main de robot adroite

Michael A. Saliba*, David J. Cassar et Maria Axiak

Département de génie industriel et manufacturier

Université de Malte

Msida MSD2080

Malte

*Auteur correspondant. Adresse e-mail : michael.saliba@um.edu.mt

Abstrait

L'importance de mettre en œuvre une approche forte basée sur des projets pour les étudiants de premier cycle de l'enseignement de la mécatronique et l'amélioration supplémentaire obtenue grâce à l'introduction de l'aspect recherche de ces projets, ont été soulignés dans la littérature. Dans ce travail Nous documentons notre expérience en immersion de dernière année de premier cycle en mécanique étudiants en génie au programme de recherche du Département des sciences industrielles et Ingénierie de fabrication de l'Université de Malte, par le biais d'un premier cycle supervisé Des projets qui s'appuient les uns sur les autres d'année en année, menant finalement à des recherches valides publications au niveau international. Nous nous concentrons sur le domaine spécifique des mains de robot, et plus tard sur un projet étendu spécifique comme étude de cas. Nous décrivons d'abord brièvement une sélection

de projets de premier cycle axés sur la recherche dans ce domaine réalisés au cours des douze dernières années. L'article se concentre ensuite sur un projet particulier parmi ceux décrits, impliquant

le développement d'une main de robot anthropomorphe à huit degrés de liberté basée sur l'observation des attributs et des limites de la main humaine. Le robot

La main est destinée à être utilisée comme dispositif esclave téléopéré, et un objectif particulier est de

Réduisez la taille et le poids grâce à l'emplacement distant de tous les actionneurs et capteurs.

L'article donne une justification détaillée de la conception de la main, suivie de descriptions des

systèmes cinématiques, mécaniques, d'actionnement, de détection et de contrôle du bâtiment

prototype. Ceci est suivi d'une description des procédures et des résultats d'étalonnage du capteur.

L'article se termine par une brève discussion de l'importance de ce travail, abordant

Tant sur les aspects pédagogiques et de recherche que sur les orientations futures à prendre.

Mots-clés : enseignement de la mécatronique, mains de robot, téléopération

Introduction

L'importance de mettre en œuvre un fort aspect d'apprentissage par projet au premier cycle

l'enseignement de la mécatronique a été souligné par plusieurs auteurs (eg [1, 2, 3, 4, 5]).

En règle générale, le projet fait partie d'un programme d'études en mécatronique ou d'un diplôme en mécatronique.

Unité d'étude, implique la conception et la fabrication d'un système intégrant des éléments mécaniques

pièces mobiles contrôlées par des circuits électroniques et impliquant normalement des capteurs

Rétroaction et/ou interface avec un contrôleur informatique (c'est-à-dire un système mécatronique).

Certains établissements d'enseignement ont poussé le défi encore plus loin et ont

incorporé un élément de recherche substantiel dans les projets des étudiants de premier cycle, soit

en laboratoire (par exemple [6]), ou en milieu industriel (par exemple [7]). En effet, la tendance à

L'exposition des étudiants de premier cycle à un environnement de recherche a également été soulignée dans d'autres domaines.

du génie mécanique (par exemple [8, 9]), et est connu pour améliorer considérablement l'apprentissage processus.

Le programme de premier cycle en ingénierie de l'Université de Malte, tandis que

ayant subi de nombreuses évolutions au fil des années, a toujours intégré un projet substantiel

qui est effectué par l'étudiant au cours de la dernière année d'études. chaque projet est unique,

et les différents domaines couverts et les titres des projets dépendent de l'étudiant.

intérêts, l'expertise du personnel universitaire et les ressources disponibles. Au cours des quinze dernières années, un

un pourcentage substantiel de projets de dernière (quatrième) année ont impliqué un solide travail de recherche

élément menant souvent directement à des publications de recherche au niveau international. Dans ce

Dans nos travaux, nous documentons certains des résultats obtenus en utilisant cette approche dans les domaines de la robotique et

Laboratoire d'Automatisation Industrielle (RIAL, anciennement Laboratoire d'Automatisation Industrielle,

IAL) du Département de Génie Industriel et Manufacturier (DIME) de la

Université de Malte (UM). Nous nous concentrons sur un domaine de recherche spécifique dans le domaine de

Mécatronique, puis se concentrera plus tard sur un projet étendu en tant qu'étude de cas spécifique.

Nos résultats montrent que cette approche sert non seulement à améliorer l'expérience éducative

des étudiants, mais aussi de leur donner une longueur d'avance pour apporter des contributions valables à la recherche

dans leur domaine d'intérêt fraîchement choisi.

Au cours des douze dernières années, l'une des activités de recherche majeures en cours au sein du RIAL

a impliqué des études liées aux mains de robots. La recherche a porté principalement sur

identification et recherche de nouveaux concepts pouvant être appliqués à cette classe de dispositifs. Parallèlement, un certain nombre de prototypes de mains ont été développés dans le laboratoire, principalement pour tester ces concepts. Ces projets de recherche ont impliqué la contribution Des membres du personnel universitaire, des chercheurs dévoués, des étudiants de troisième cycle et souvent également des étudiants de dernière année de premier cycle en ingénierie. L'implication des étudiants de premier cycle étudiants a fait en sorte que ce travail, tout en fournissant des résultats de recherche valables en soi, a également été la pierre angulaire de l'enseignement de premier cycle en mécatronique au sein du département. Nous avons sélectionné un petit nombre de projets dans ce domaine auxquels les seniors Les étudiants de premier cycle ont apporté la contribution majeure, et nous décrivons d'abord ces projets brièvement et présenter les résultats obtenus. Le document se concentre ensuite plus en détail sur un de ces projets, impliquant le développement d'une main de robot adroite avec actionneurs et capteurs localisés.

Cet article a un double objectif : présenter les résultats des travaux réalisés pour développer le main de robot ; et de souligner la contribution de cette activité de recherche et d'autres activités similaires projets d'enseignement de la mécatronique au sein du DIME.

Une brève introduction aux mains de robot adroites

À l'échelle mondiale, les travaux de recherche visaient au développement d'une main robotique véritablement adroite, et en particulier l'émulation de la main humaine, existe depuis plus d'un siècle.

quart de siècle. Les travaux fondateurs à cet égard sont largement considérés comme ayant été

celles réalisées à l'Université de Stanford (le « Stanford/JPL hand » [10]), et au

L'Université de l'Utah a abouti au développement de la « main adroite Utah/MIT »

(UMDH) [11], du début au milieu des années 1980. Même dans la première version de conception rapportée dans [11],

l'UMDH présentait déjà un degré relativement élevé de similarité géométrique et fonctionnelle avec

la main humaine (c'est-à-dire l'anthropomorphisme), et comprenait trois doigts et s'opposait

pouce avec 16 articulations au total, ainsi que des capteurs de toucher, de force et de position articulaire. Dans

En particulier, les vérins UMDH ont été déportés, pour réduire le poids et libérer

espace dans la main elle-même.

Au cours des années qui ont suivi, la recherche sur le développement de mains de robots adroites s'est intensifiée.

prolifique et un grand nombre de modèles, avec des caractéristiques et des propriétés différentes, et

Utilisant différentes technologies, il a été développé dans de nombreuses institutions

dans le monde entier (par exemple [12, 13, 14]). L'objectif primordial dans la plupart de ces cas est resté la

reproduction des caractéristiques et des fonctions de la main humaine, la principale raison en est

étant le potentiel d'une meilleure compatibilité avec la multitude d'objets qui

À l'origine, il a été conçu pour la manipulation humaine et comporte une multitude de tâches.

qui aurait été initialement destiné à une mise en œuvre humaine.

Vitrine de projets de recherche de premier cycle : Vers une main de robot adroite

Au RIAL, les travaux de recherche dans ce domaine se poursuivent depuis plus d'une décennie, souvent

impliquant, à des degrés divers, des étudiants seniors en génie du premier cycle. dans de nombreux cas,

Les projets spécifiques assignés aux étudiants de premier cycle s'appuient sur les résultats de projets antérieurs.

projets, et de cette manière les étudiants ont un sentiment clair de contribution à une croissance

Programme de R&D au sein du laboratoire. Chaque fois qu'il y a des résultats qui atteignent un

niveau adéquat, les étudiants sont encouragés soit à diriger, soit à contribuer activement à,

une publication de recherche basée sur le projet. Ces projets combinent donc une partie importante de l'enseignement de premier cycle en mécatronique au sein du département, tant les niveaux théorique et pratique, avec une contribution valable à une recherche productive activité. Dans cette section, nous passons en revue certaines des réalisations réalisées dans le cadre de ce programme.

En 2000, une pince à trois doigts et neuf articulations, équipée d'une résistance sensible à la force (FSR) des capteurs de force du bout des doigts, et intégrant un capteur de proximité photoélectrique diffus de la paume, a été développé pour être utilisé dans les opérations d'assemblage automatisées [15]. Un objectif important de ce travail devait démontrer qu'un degré considérable de polyvalence pouvait être atteint même en utilisant un seul actionneur pour toute la main, grâce à l'utilisation de composants intelligemment conçus systèmes mécaniques, de transmission et sensoriels. Entre 2001 et 2005, cette pince a été intégré dans un système de transfert de matériaux flexible, basé sur une vision et un robot, qui pourrait reconnaître, localiser et ramasser différents objets placés au hasard sur un tapis plat en mouvement convoyeur [16]. La figure 1 montre la pince polyvalente et son application au flexible système d'automatisation.

[Prendre la figure 1]

En 2001, un nouveau système de main et de poignet robotique, plus anthropomorphique, a été conçu et construit. La main avait deux doigts et un pouce opposé, chaque chiffre étant composé de deux Articulations à couplage passif et entraînées par un moteur séparé. Le poignet était composé séparément Actionnement des joints de tangage et de roulis, de sorte qu'au total le système ait cinq degrés de liberté. Le

Le travail s'est concentré sur la reproduction aussi fidèle que possible de la forme, de la taille, des mouvements naturels et

Forces appliquées de la main humaine, tout en conservant la complexité de la main du robot et

poignet au minimum. Les exigences en matière de force de conception ont été obtenues grâce à une vaste série

d'expériences pour mesurer les forces de préhension humaines, et les articulations de chaque doigt du robot ont été

couplés pour se déplacer successivement à l'aide d'un nouveau mécanisme de commutation passif. L'original

Le modèle était entraîné par cinq moteurs pas à pas distants et téléopéré en mode ouvert

mode boucle via une console d'entrée basée sur des boutons et en utilisant les entrées analogiques et numériques

sorties d'une carte d'acquisition de données montée sur un PC. Durant les années 2002 et 2003, toute une main

Un dispositif de saisie de position (gant) [17] a été développé pour téléopérer la main du robot. Le gant

intègre un certain nombre de nouvelles fonctionnalités que l'on ne trouvait pas auparavant dans la littérature, notamment

mesure de la position de roulis de l'avant-bras humain et nouvelle capacité de réglage

pour s'adapter à une large gamme de tailles de mains humaines. En 2005, l'actionnement manuel a été converti en servomoteur.

contrôle, et les résultats de ce projet manuel complet ont été publiés dans [18]. Le robot

la main et le dispositif de saisie du gant sont illustrés à la figure 2.

[Prendre la figure 2]

En 2004 et 2005, un nouveau doigt de robot anthropomorphe, actionné à l'aide d'un

des moteurs à courant continu miniatures ont été développés [19]. Ce doigt était étroitement basé sur le doigt humain

homologue, et incorporé une articulation d'abduction/adduction (lacet) et trois articulations de flexion/

joints d'extension (pas). L'articulation de lacet et les deux premières articulations de tangage ont été actionnées à l'aide de

moteurs indépendants, tandis que le joint à pas le plus extérieur était couplé mécaniquement au

articulation médiane d'une manière qui reproduisait le rapport de mouvement de l'équivalent humain. Le

Le doigt du robot est illustré à la figure 3. Ce projet comprenait également une analyse cinématique complète (y compris les analyses de position, de vitesse et de force et la planification de la trajectoire de mouvement) et la simulation du nouveau doigt du robot. L'article propose également un rapport idéal entre la longueur des phalanges (liens) et Maximisez le volume de l'espace de travail pour un doigt anthropomorphe avec cette structure commune.

[Prendre la figure 3]

En 2006, une série d'expériences visant à mesurer la dextérité manuelle humaine tout en sélectionnant Une contrainte de certaines caractéristiques de la main a été réalisée, afin d'en déduire la contribution des fonctionnalités sélectionnées à la dextérité manuelle globale [20]. Autres expériences ont été réalisés en 2008 [21]. Ces expériences avaient pour but de fournir des lignes directrices sur priorisation et sélection des fonctionnalités lors de la conception de mains de robot anthropomorphes.

La dernière main de robot anthropomorphe RIAL, qui est le sujet principal de cet article, a été développé entre 2006 et 2009. L'objectif principal de ce modèle était de déplacer tous les actionneurs et les capteurs loin de l'appareil principal, afin de minimiser éventuellement les poids de la main et pour maximiser les performances et les fonctionnalités de dextérité liées à l'espace.

La conception préliminaire et la première version du prototype ont été présentées dans [22].

Dans le reste de cet ouvrage, la philosophie détaillée derrière la conception de la main et les détails de la dernière version de conception et du prototype sont donnés, ainsi qu'un rapport sur le l'étalonnage des capteurs de position et de force et l'approche de contrôle à utiliser pour le main.

Justification de la conception de la main

L'un des principaux objectifs de la conception de cette aiguille RIAL était de maximiser la ressemblance avec les caractéristiques de la main humaine tout en minimisant la complexité et le coût du dispositif. Ce

Cet objectif a été atteint en effectuant un examen objectif de la main humaine, afin de comprendre non seulement les attributs de cet organe naturel, mais aussi les fonctions souvent négligées

Contraintes et limites dans sa structure et son fonctionnement. Ces limites ont clairement peu d'effet néfaste sur la dextérité de la main humaine, mais ils peuvent avoir de profondes implications pour la simplification de la conception dans une main de robot.

L'un des premiers points à noter est que la plupart des muscles qui affectent le doigt humain les mouvements se situent en effet dans l'avant-bras et non dans la main elle-même. La main humaine utilise donc principalement des actionneurs déportés. Ainsi, partout où se trouve une main de robot construit à l'aide d'actionneurs intégrés, ses créateurs ont en fait essayé de réaliser quelque chose que même la main naturelle n'a pas réussi ou choisi de faire. Essentiellement, en permettant la concession pour localiser les actionneurs (muscles) forts (et gros) dans l'avant-bras, le L'humain a réussi à développer une main petite et agile, mais forte.

Une deuxième remarque est que même si la main humaine peut être largement modélisée pour avoir 21 degrés de liberté intrinsèques (par exemple [23]), ces mouvements sont en fait soumis à une quantité considérable nombre de contraintes. Les limitations de la position des articulations des doigts dans flexion et en mouvement latéral (abduction/adduction), et le mouvement couplé des deux articulations les plus externes de chaque doigt [24]. En prenant connaissance de certaines de ces motions contraintes et les traduisant en assouplissements de conception, on constate que la dextérité d'un

La main du robot ne peut pas être réduite de manière significative si (i) les articulations des doigts ne sont autorisées que de manière limitée mouvement comme dans la main humaine ; (ii) Les articulations les plus extérieures ne sont pas conçues pour bouger indépendamment et (iii) les moyens de mouvement latéraux des doigts sont limités. De plus, il se peut possible d'omettre complètement le petit doigt avec peu de pénalité en dextérité, comme indiqué dans [20].

Un troisième point à souligner est qu'une détection de force significative dans le corps humain est assurée par des capteurs spécialisés (organes tendineux de Golgi) situés à l'interface entre les muscles et tendons [25]. Ainsi, lorsqu'un humain saisit un objet avec sa main, Une partie de la sensation et de l'évaluation de la force appliquée provient d'une détection de tension tendineuse de l'avant-bras. La main humaine est donc équipée à distance capteurs de force localisés basés sur la tension, et ce concept peut également être appliqué de manière artificielle main, contribuant ainsi à une structure de main plus légère et plus simple. De plus, le Juste La différence notable (JND) de la force de préhension détectée par la main humaine est d'environ 7 % [26], c'est-à-dire que la résolution de la force de préhension est significativement faible.

Un quatrième point est lié à la détection de la position des articulations dans la main humaine, en l'absence de celle-ci. retour visuel. Les auteurs observent que les yeux fermés il est difficile de déplacer le articulations des doigts par petits incréments angulaires ou pour revenir avec précision au réglage précédent postes. De plus, après quelques secondes sans mouvement, la sensation du doigt la position est perdue et il peut même devenir difficile de déterminer si le doigt est fléchi ou non. Les imprécisions dans la détection de la position des doigts en l'absence de vision ont été largement documentés dans la littérature (par exemple [27, 28]). Ainsi, la main humaine semble dépendre beaucoup

fortement sur la détection visuelle pour le retour d'information sur la position des articulations. Le JND pour les postes de
Deux articulations les plus internes du doigt humain mesurent environ 2,5° [26].

Outre le fait qu'elle dépend des yeux humains pour la rétroaction visuelle, la main humaine s'appuie sur
presque exclusivement sur le cerveau humain pour le contrôle. Dans le cadre de ces deux majors

Cela dépend, la main humaine peut donc être considérée comme fonctionnant comme un

Appareil téléopéré plutôt qu'autonome ! Ainsi, les mains de robot dans la littérature

Focus sur le contrôle autonome grâce à l'installation de capteurs haute résolution et

des contrôleurs avancés montés sur la main elle-même, peuvent en fait fixer des objectifs qui dépassent

Les spécifications de conception fixées par la main humaine anatomique.

Les faits ci-dessus ont été utilisés comme principes directeurs dans la conception du RIAL.

main adroite. La main est destinée à être utilisée uniquement comme appareil esclave téléopéré,

guidé par un humain qui porterait un dispositif d'entrée/sortie de gant principal, et qui

agir en tant que contrôleur à l'aide de la vision et du retour de force. Positionner les capteurs sur le

Le dispositif à gants fournira les signaux de référence pour le contrôle global de la position du robot.

main, le contrôle précis de la position étant obtenu grâce au retour visuel. Ce

La stratégie réduit considérablement les exigences du système de détection de position inhérent au robot.

main. Le retour de force sur le dispositif à gants est prévu pour s'effectuer via un

système d'actionneur et de câble qui offre une résistance au mouvement du doigt humain

Grâce à l'application d'une tension de câble appropriée, comme décrit dans [29] et [30], et

comme c'est aussi couramment le cas dans d'autres gants haptiques (par exemple [31, 32]). Ainsi, dans le RIAL

main du robot, il suffit de détecter uniquement les tensions des câbles pour une saisie par retour de force pendant,

Dans le but d'utiliser ces relevés pour contrôler les tensions de câbles analogues dans le système d'actionnement par rétroaction du gant maître. Il est prévu qu'en portant le gant haptique, le contrôleur humain apprendra rapidement à interpréter la résistance au doigt le mouvement comme force de préhension.

Structure cinématique et mécanique de la main

La main robot RIAL est basée sur une conception exo-squelettique avec câble et poulie internes systèmes, et a trois doigts et un pouce opposable. Les articulations sont situées à des positions Semblables à ceux trouvés dans la main humaine. Chacun des doigts possède trois articulations de flexion, Avec les deux intérieurs actionnés indépendamment et avec le joint extérieur couplé passivement à le joint médian en utilisant une version améliorée du couplage introduit dans [19] avec un rapport de couplage de $1:\frac{2}{3}$ (voir figure 4). Le pouce possède deux articulations de flexion couplées de la même manière manière comme ci-dessus et entraîné par un actionneur, ainsi qu'un joint tournant pour l'amener vers et à l'opposition des doigts, entraînés par un actionneur séparé (figure 5).

[Prendre la figure 4]

[Prendre la figure 5]

Le prototype actuel de la main du robot, destiné à l'expérimentation préliminaire et Test de concept, utilise une structure en acier inoxydable et pèse 1,48 kg. Il est conçu pour vitesses articulaires d'environ 90°/s et forces de préhension du bout des doigts de 15 N. Il est légèrement plus grand que

la taille moyenne de la main d'un homme humain, avec une longueur totale (paume plus moyenne doigt) de 210 mm. Un dessin CAO et une photographie de la main sont présentés à la figure 6.

[Prendre la figure 6]

Un système d'actionnement et de détection à distance et intégré

Le système d'actionnement de la main est composé de huit moteurs à courant continu distants, un

pour chaque DOF. Chaque moteur est relié à un réducteur et à une vis mère, et est

relié à une articulation par un système de transmission par câble gainé à double effet.

Ce système de transmission par câble est analogue au système tendineux que l'on trouve dans l'organisme humain. main.

La main est en outre équipée de capteurs de position et de force qui sont également télécommandés.

situés et qui sont intégrés au système de transmission par câble. Il y a un poste

et un capteur de force pour chacun des huit DOF. Les deux types de capteurs sont basés sur un système linéaire

potentiomètres, comme illustré dans la figure 7. Un schéma de l'actionnement intégré et

Le système de détection est inclus dans la figure. Le mouvement articulaire est obtenu grâce à la position

contrôle des moteurs à courant continu.

[Prendre la figure 7]

Interface informatique

Le système utilise deux DAQ NI USB-6009 avec huit canaux d'entrée analogiques chacun, et

Le logiciel et l'interface graphique requis ont été conçus à l'aide de LabVIEW Ver. 7.1

[33]. La figure 8 montre le panneau avant du logiciel de détection de position. L'angulaire

Les positions des joints sont calculées à partir des tensions d'entrée en utilisant différentes équations qui

ont été obtenus grâce à l'étalonnage individuel et séparé de chaque capteur de position.

Les résultats calculés sont affichés sur des compteurs et ces valeurs représentent l'estimation

position angulaire de chaque articulation. Le système de détection de force utilise une conception logicielle similaire,

où la tension du câble est calculée à partir de la tension de sortie du circuit du capteur de force.

[Prendre la figure 8]

Le programme de démonstration permet également à l'utilisateur de déplacer toutes les articulations des doigts vers

postes spécifiés selon les besoins. L'utilisateur saisit les positions articulaires souhaitées, et trois

Des LED pour chaque joint sur le panneau avant indiquent à l'utilisateur si les joints se ferment ou se ferment.

ouverture, ou que les joints se trouvent à moins de deux degrés de la position souhaitée.

Calibrage des capteurs de position et de force

Pour transformer les lectures de tension des circuits du capteur de position en valeurs respectives

angles, il était essentiel de trouver une relation pour chaque joint entre la lecture de tension

et la position angulaire réelle de l'articulation. Ces relations ont été obtenues par courbe

ajustement à de nombreuses données d'étalonnage expérimentales, obtenues à l'aide d'un angle de joint personnalisé

appareils de mesure (voir figure 9). Les équations pour toutes les articulations ont ensuite été utilisées dans le

développement du système de mesure de position informatisé décrit dans la section précédente.

[Prendre la figure 9]

Un tracé typique d'étalonnage de la position de l'articulation, basé sur trois séries de lectures de quinze valeurs chacun, est illustré à la figure 10. Dans l'étape suivante, une mesure de précision pour chaque joint a été effectué. Ici, quinze lectures de positions aléatoires ont été prises pour chaque articulation, et le L'angle réel (mesuré physiquement) a été comparé à celui affiché par le logiciel, comme calculé grâce aux équations obtenues par calibrage. Un résumé des résultats de Ces expériences peuvent être vues dans le tableau 1.

[Prendre la figure 10]

[Prendre dans le tableau 1]

Comme on peut le constater, les résultats obtenus sont tout à fait satisfaisants. Une erreur moyenne globale de seulement $1,85^\circ$ et une erreur maximale moyenne de $3,9^\circ$ ont été obtenues. On peut également voir que le L'articulation de flexion du pouce a une erreur moyenne de seulement $0,6^\circ$ et une erreur maximale de 2° . Ces Les erreurs peuvent être améliorées en utilisant des dispositifs de détection de position linéaire de meilleure qualité. Dans le cadre de la justification de la conception de la main décrite ci-dessus, ces résultats indiquent que jusqu'à présent La détection de position peut en fait être réalisée avec la méthode utilisée.

Le système de détection de force, ou mesure de la tension du câble, a été calibré pour chacun des Huit degrés de liberté de la main du robot. Cela a été fait en chargeant chaque capteur dans par incréments de 0,91 kg sur un banc d'étalonnage, jusqu'à une masse maximale d'environ 20 kg. Cinq de tels cycles ont été effectués pour chaque capteur, dont certains impliquaient le déchargement de poids plutôt que le chargement afin de vérifier l'hystérésis. Le résultat positif de cette Cette étape est visible sur la figure 11, où tous les points du graphique se trouvent à bonne proximité de la courbe du meilleur ajustement. Les sorties des circuits du potentiomètre du capteur de force sont converties pour forcer les lectures à l'aide de LabVIEW, d'une manière similaire à celle utilisée dans la détection de position système.

[Prendre la figure 11]

Aspect éducatif intégrateur de ce projet

L'approche adoptée dans ce projet a été d'impliquer avec succès deux étudiants de premier cycle étudiants de dernière année. Le premier étudiant (MA) a travaillé sur le développement des bases système mécatronique et sur le premier prototype. Par la suite, le deuxième étudiant (DJC) travaillé sur la mise à niveau et le perfectionnement du système, ainsi que sur l'acquisition, Interprétation et mise en œuvre des résultats d'étalonnage. Les deux étudiants ont travaillé sous l'encadrement attentif et détaillé de leur superviseur (MAS) en tant que conseiller et pour le Formulation détaillée de la justification et des objectifs. Un appareil aussi complexe qu'un La main d'un robot morphique représenterait un défi anthropomorphique majeur pour tout chercheur, mais plus encore. ainsi, lorsque des étudiants de premier cycle sont impliqués, nous avons constaté qu'un tel défi offre une opportunité unique à ces étudiants d'appliquer leurs différentes compétences pédagogiques

acquis des compétences de manière intégrée, tout en investissant dans le même temps des compétences considérables exigences sur leur créativité et leur ingéniosité. En effet, le rapport de synthèse présenté ici ne rend guère justice aux efforts déployés par ces étudiants pour le vaste réflexion; revue de littérature; discussion de recherche; Génération de concepts de conception, évaluation et sélection; réalisation et développement de la conception détaillée du système intégré système mécatronique; et la construction, les tests, l'évaluation et l'étalonnage du produit final. système. Ces défis constituent une excellente préparation pour les étudiants, que ce soit pour une carrière industrielle ou universitaire, en particulier lorsque l'accent est mis sur la recherche et le développement.

Conclusion

Comme indiqué ci-dessus dans la section traitant de la justification de la conception de la main, l'objectif principal de ce travail a été de démontrer qu'en s'intéressant autant aux limites qu'aux les caractéristiques de la main humaine, une main artificielle pourrait être développée qui Potentiellement capable d'égaliser dans une large mesure les performances de l'organe naturel, à condition que les mains artificielles et naturelles soient appliquées de la même manière et comparées sur un des règles du jeu équitables. Dans ce travail, il a été avancé que la main humaine, vue distale au poignet, présente les caractéristiques d'un appareil téléopéré, dans la mesure où il s'appuie très fortement sur le cerveau humain et sur le retour visuel pour le contrôle. Ceci et d'autres observations faites dans la section de justification de ce document, atténuer les exigences en matière de systèmes de détection de position et de force d'une main de robot, pour autant que ceux-ci soient destinés à être utilisés uniquement en mode téléopéré, et encore plus si l'appareil maître doit être à main entière type d'entrée/sortie.

Une condition nécessaire pour la conception d'une main artificielle à utiliser dans le cadre de ces conditions, reste la réplique de la structure mécanique et de la cinématique de la main humaine dans la plus grande mesure possible, afin de mieux permettre l'exécution des nombreuses tâches complexes qui peuvent être effectuées manuellement par des humains. En cela, il ne peut y avoir aucune coupe courte. Cependant, en reproduisant la mécanique de la main humaine, le physique des limitations de l'organe naturel doivent être gardées à l'esprit et également reproduites, dans le but d'éviter la conception excessive de la main du robot.

Le modèle actuel de la main RIAL manque encore d'un certain nombre d'éléments clés, liés à son potentiel de reproduire la performance humaine dans un environnement distant grâce à la téléopération.

L'un d'eux est le retour tactile, un élément sensoriel crucial pour réussir la performance par des mains téléopérées. Un deuxième élément manquant est l'enlèvement/adduction fonction, qui, malgré l'observation faite dans la section de justification ci-dessus, peut encore être critique pour certaines tâches. Troisièmement, le nombre de degrés de liberté indépendants du pouce de la main du robot est inférieur à celui de la main humaine. Un quatrième disparu

L'élément est l'extérieur doux et extensible du bout des doigts, qui se trouve dans la main humaine. peut apporter une énorme contribution à la conformité générale, à la conformité et à la manipulation capacité de l'organe. De plus, l'utilisation de matériaux plus avancés peut servir à réduire encore considérablement le poids global de la main, tout en l'améliorant

Le système de transmission par câble gainé peut cibler la réduction de la résistance de frottement dans le système d'actionnement.

Bon nombre de ces problèmes spécifiques liés à la main du RIAL devront être résolus.

Principalement par des chercheurs postgradués/postdoctoraux en laboratoire. Cependant, au

En même temps, cette ligne de recherche continuera d'offrir de nombreuses opportunités pour

étudiants de premier cycle à participer à des activités passionnantes, stimulantes et hautement éducatives

projets de niche, enrichissant l'expérience d'apprentissage tout en continuant à fournir une

Contribution à l'activité R&D du département.

Reconnaissance

Ce travail a été en partie financé par l'Université de Malte dans le cadre d'une subvention de recherche
numéros 73-528 et 31-353.

Les références

[1] CF Bergh, A. Kita et IC Ume, « Cours de développement de la mécatronique dans le

École de génie mécanique de Georgia Tech », Actes du

Conférence internationale sur la mécatronique intelligente avancée (AIM'99), Atlanta,

Géorgie, septembre 1999, p. 459-465.

[2] WR Murray et JL Garbini, « Projets de conception de synthèse en mécatronique au

Université de Washington », Actes de la Conférence internationale sur

Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'99), Atlanta, Géorgie, septembre 1999, p.

598-604.

[3] Y. Altintas et E. A. Croft, « Ingénierie de conception électromécanique : un progrès

rapport et orientations futures pour l'enseignement de la mécatronique », International Journal of

Formation en génie mécanique, 30/4 (2002), 325-339.

- [4] RM Parkin, « Un paradigme basé sur un projet pour l'apprentissage en mécatronique »,
Actes de la conférence internationale IEEE sur la technologie industrielle,
Maribor, Slovénie, décembre 2003, p. 808-812.
- [5] A. Price, R. Rimington, MT Chew et S. Demidenko, « Apprentissage par projet en
robotique et électronique dans le cadre d'un programme d'ingénierie de premier cycle »,
Actes du Symposium international de l'IEEE sur la conception, les tests et les tests électroniques
Applications, Ho Chi Minh Ville, Vietnam, janvier 2010, p. 188-193.
- [6] M. Acar et RM Parkin, « Enseignement de l'ingénierie pour la mécatronique », IEEE
Transactions d'électronique industrielle 43/1 (1996), 106-112.
- [7] DJ Cox et A. Schönning, « L'enseignement de l'ingénierie via la robotique et la mécatronique,
et projets d'automatisation », World Automation Congress (WAC), Budapest, Hongrie,
Juillet 2006.
- [8] D. Schaefer et JH Panchal, « Intégrer la recherche dans le design de premier cycle
cours : Une approche centrée sur les brevets », International Journal of Mechanical
Formation en ingénierie, 37/2 (2009), 98-110.
- [9] B. Stappenbelt, « Travail de projet de recherche de premier cycle en génie mécanique dans un
environnement d'apprentissage par l'action », International Journal of Mechanical Engineering
Éducation, 37/4 (2009), 326-340.
- [10] KS Salisbury et B. Roth, « Cinématique et analyse des forces des éléments articulés ».
mains mécaniques », Journal des mécanismes, transmissions et actuation dans la conception,
105 (1983), 35-41.

- [11] SC Jacobsen, JE Wood, DF Knutti et KB Biggers, « The Utah-MIT main adroite : Work in progress », International Journal of Robotics Research, 3/4 (1984), 21-50.
- [12] T. Mouri, H. Kawasaki, K. Yoshikawa, J. Takai et S. Ito, « Anthropomorphic main de robot : Gifu hand III », Actes de la conférence internationale sur le contrôle, automatisation et systèmes (ICCAS2002), Jeonbuk, Corée du Sud, 2002, pp. 1288-1293.
- [13] Shadow Robot Company, « Conception d'une main adroite pour les CLAWAR avancés applications », Actes de la 6ème conférence internationale sur l'escalade et les robots marcheurs et les technologies de support aux machines mobiles (CLAWAR 2003), Catane, Italie, 17-19 septembre 2003.
- [14] H. Liu, P. Meusel, N. Seitz, B. Willberg, G. Hirzinger, MH Jin, YW Liu, R. Wei et ZW Xie, « La main HIT-DLR multisensorielle modulaire », Mécanisme et Théorie des machines, 42/5 (2007), 612-625.
- [15] CM Seguna et MA Saliba, « La conception mécanique et du système de contrôle d'un pince robotique adroite », Actes de la conférence internationale de l'IEEE sur Electronique, circuits et systèmes (ICECS 2001), Malte, septembre 2001.
- [16] MA Saliba, G. Spiteri, B. Grech Sollars et K. Farrugia, « Un système hautement flexible, système automatisé de tri et de transfert de pièces », Actes du 18e I.Mech.E. Conférence internationale sur l'automatisation flexible et la fabrication intelligente (FAIM 2008), Skövde, Suède, juin 2008, p. 428-435.
- [17] MA Saliba, F. Farrugia et A. Giordmaina, « Un dispositif compact d'entrée de gants pour Mesurer les positions des articulations de la main, du poignet et de l'avant-bras pour la téléopération

applications », Actes de la conférence internationale IEEE / APS sur
Mécatronique et robotique (MechRob 2004), Aix-la-Chapelle, Allemagne, septembre 2004.

[18] MA Saliba, D. Camilleri et MJ Farrugia, « Développement d'un
Main et poignet de robot anthropomorphe pour les applications de téléopération », Actes
de la Conférence internationale de l'IEEE sur l'information et l'automatisation (ICIA 2005),
Colombo, Sri Lanka, décembre 2005.

[19] N. Mifsud, A. M. Grech, M. A. Saliba et S. G. Fabri, « Développement d'un
"Doigt de robot anthropomorphe : aspects mécaniques et cinématiques", Actes de
le 37e Symposium international IFR de robotique (ISR 2006), Munich, Allemagne,
Mai 2006.

[20] MJ Farrugia et MA Saliba, « Optimisation de la main robotique anthropomorphe ».
conception grâce à des tests de dextérité manuelle humaine", Actes du 37e IFR
Symposium international de robotique (ISR 2006), Munich, Allemagne, mai 2006.

[21] MA Saliba, A. Chetcuti et MJ Farrugia, non publié.

[22] MA Saliba et M. Axiak, « Conception d'une main robot compacte et adroite avec
actionneurs et capteurs situés à distance », Actes du 15e IEEE
Conférence méditerranéenne sur le contrôle et l'automatisation (MED'07), Athènes, Grèce,
Juin 2007.

[23] WB Griffin, RP Findley, ML Turner et MR Cutkosky, « Calibration and
cartographie d'une main humaine pour une télémanipulation adroite », Actes du
Congrès et exposition internationaux de génie mécanique de l'ASME ; Dynamique
Systèmes et contrôles, 69, 1145-1152.

- [24] J. Lin, Y. Wu et T. S. Huang, « Modélisation des contraintes du mouvement de la main humaine », Actes de l'atelier sur le mouvement humain (HUMO2000), Austin, Texas, Décembre 2000.
- [25] B. Abernethy, S. Hanrahan, V. Kippers et L. T. Mackinnon, « The biophysical fondements du mouvement humain », 2e édition, Human Kinetics Europe Ltd., 2004.
- [26] HZ Tan, B. Eberman, MA Srinivasan et B. Cheng, « Facteurs humains pour le design of force-reflecting haptic interfaces », Actes du troisième congrès international colloque sur les interfaces haptiques pour environnements virtuels et systèmes de téléopérateur ; Division des systèmes dynamiques et du contrôle ASME, DSC-Vol. 55-1 (1994), 353-359.
- [27] JP Wann et SF Ibrahim, « La proprioception des membres dérive-t-elle ? », Experimental Recherche sur le cerveau, 91 (1992), 162-166.
- [28] FJ Clark, KJ Larwood, ME Davis et KA Deffenbacher, « Une métrique pour évaluer l'acuité du positionnement des articulations et des membres », Experimental Brain Research, 107 (1995), p. 73-79.
- [29] DJ Cassar et MA Saliba, « Un gant à retour de force basé sur Fluide magnétorhéologique : problèmes de conception préliminaires », Actes du 15e IEEE Conférence électrotechnique méditerranéenne (MELECON 2010), La Valette, Malte, Avril 2010.
- [30] DJ Cassar et MA Saliba, « Un gant à retour de force basé sur Fluide magnétorhéologique : développement et évaluation de prototypes », Actes de la 1ère conférence internationale de l'IEEE sur la bionique appliquée et la biomécanique (ICABB-2010), Venise, Italie, octobre 2010.

[31] VR Logic, Cybergrasp, <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cybergrasp.html>,
consulté le 15 juillet 2011.

[32] S. Nakagawara, H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi et I. Kawabuchi, « An
main de maître à plusieurs doigts de type rencontre utilisant des articulations détournées », Actes de
Conférence internationale IEEE sur la robotique et l'automatisation, Barcelone, Espagne,
Avril 2005, p. 2667-2672.

[33] Page Web de NI Labview, <http://www.ni.com/labview/>, consultée le 15 juillet 2011.

Tableau 1. Résumé des résultats de mesure de la précision de la position des articulations

Articulation	Erreur moyenne	Erreur maximale
Rotation du pouce	0,9°	2 °
Flexion du pouce	0,6°	2 °
Articulation de l'index 1 (« MCP »)	3,1°	6 °
Articulation de l'index 2 (« IPP »)	1,4°	3 °
Articulation du majeur 1 (« MCP »)	2,4°	4 °
Articulation du majeur 2 (« PIP »)	3,0°	5 °
Articulation de l'annulaire 1 (« MCP »)	1,7°	4 °
Articulation de l'annulaire 2 (« PIP »)	1,6°	5 °

Légendes des figures

Figure 1. Le système d'automatisation flexible ; Encart : la pince polyvalente.

Figure 2. La main téléopérée et le dispositif de saisie du gant ; Encart : mesure de forces de préhension humaines.

Figure 3. Le doigt du robot anthropomorphe. Gauche : étendu, avec mouvement de lacet ;
À droite : entièrement fléchi.

Figure 4. Le mécanisme de couplage du câble et de la poulie entre le joint 2 et le joint 3 du câble
Doigt de robot, représenté dans des configurations étendues et partiellement flexibles.

Figure 5. En haut : angle de torsion naturel du pouce humain (approximatif) ; En bas à gauche :
rabat de fixation du pouce et mécanisme de rotation dans la main du robot ; Bas
À droite : fixation du pouce au rabat, montrant la torsion de 20° du pouce
Par rapport à l'axe de rotation du pouce.

Figure 6. La nouvelle main anthropomorphe RIAL. À gauche : dessin CAO ; Main droite
prototype.

Figure 7. Schémas des systèmes d'actionnement et de détection pour un doigt de la main.
En haut à gauche : capteur de position du câble ; En haut à droite : capteur de force à câble ; Bas : double
système d'actionnement à double effet, indiquant les emplacements de la position et de la force
capteurs. Le système d'actionnement/détection est situé à distance de la main, et
La transmission s'effectue via des câbles à gaine flexible.

Figure 8. Programme de détection de position LabVIEW – affichage du panneau avant.

Figure 9. Appareils de mesure de la position des articulations pour l'étalonnage. À gauche : l'intérieur et
articulations de flexion moyenne du doigt; À droite : articulation de rotation du pouce.

Figure 10. Courbe d'étalonnage de position pour l'articulation de flexion médiane du majeur.

Figure 11. Courbe d'étalonnage du capteur de force de l'articulation de flexion médiane de l'articulation médiane
doigt.

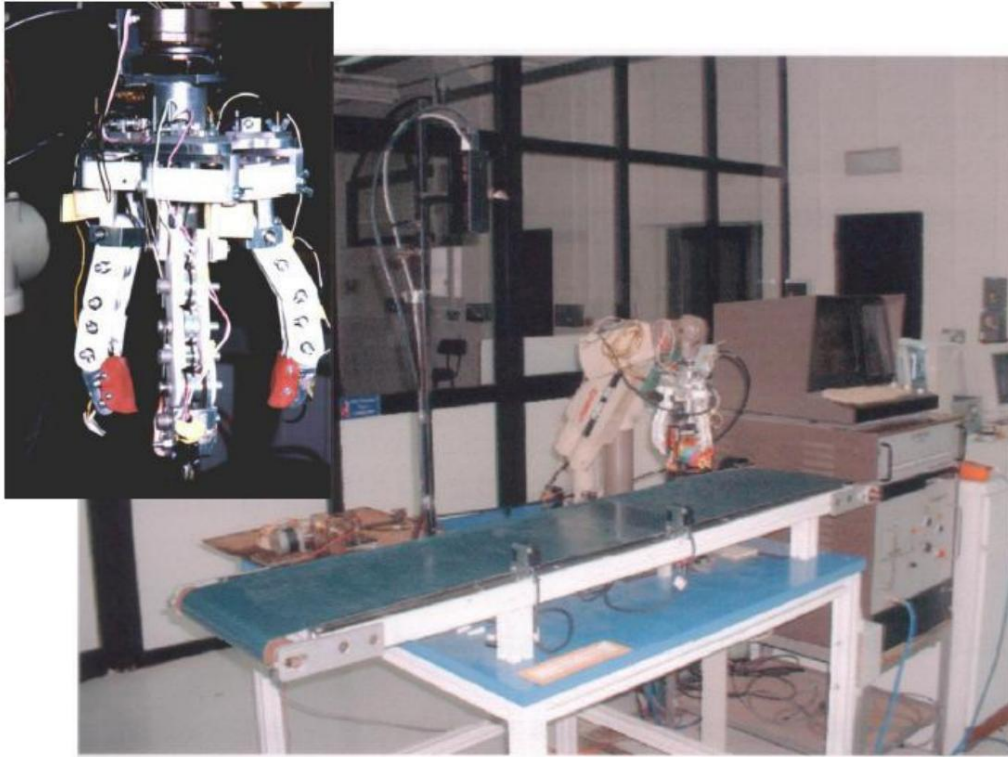


Figure. 1.

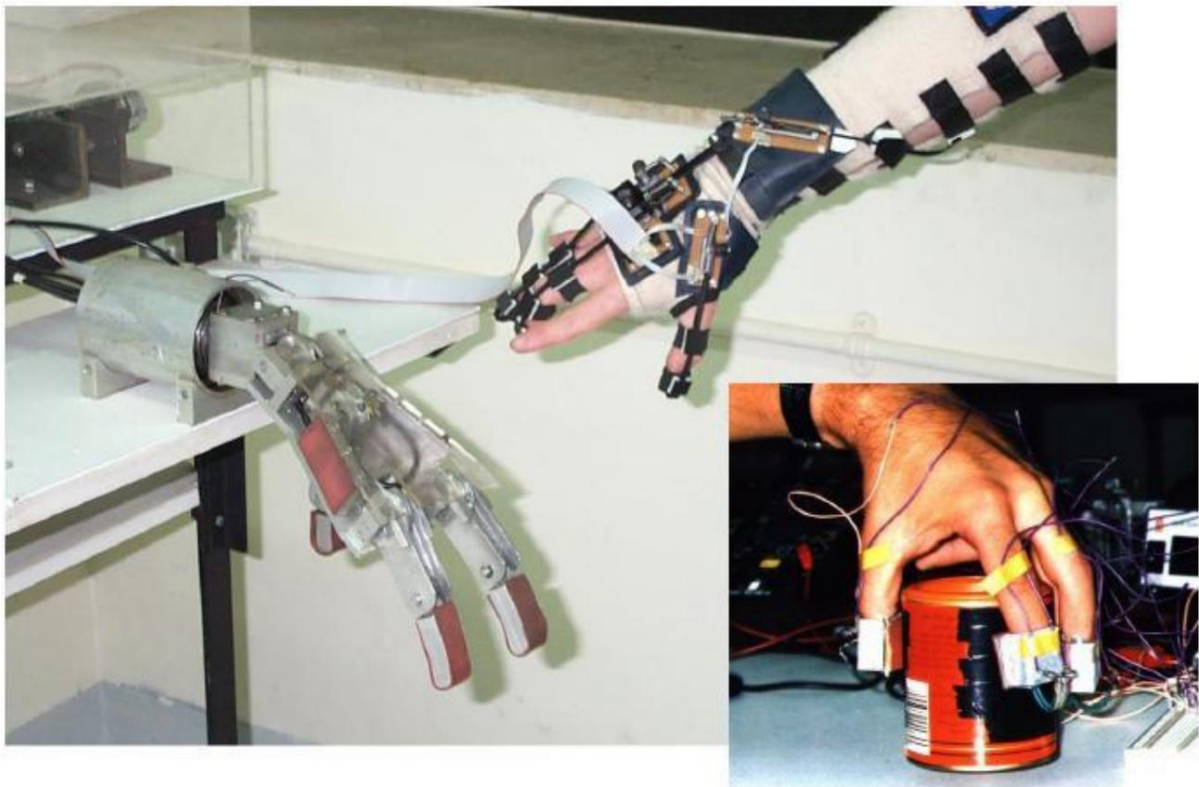


Figure. 2.

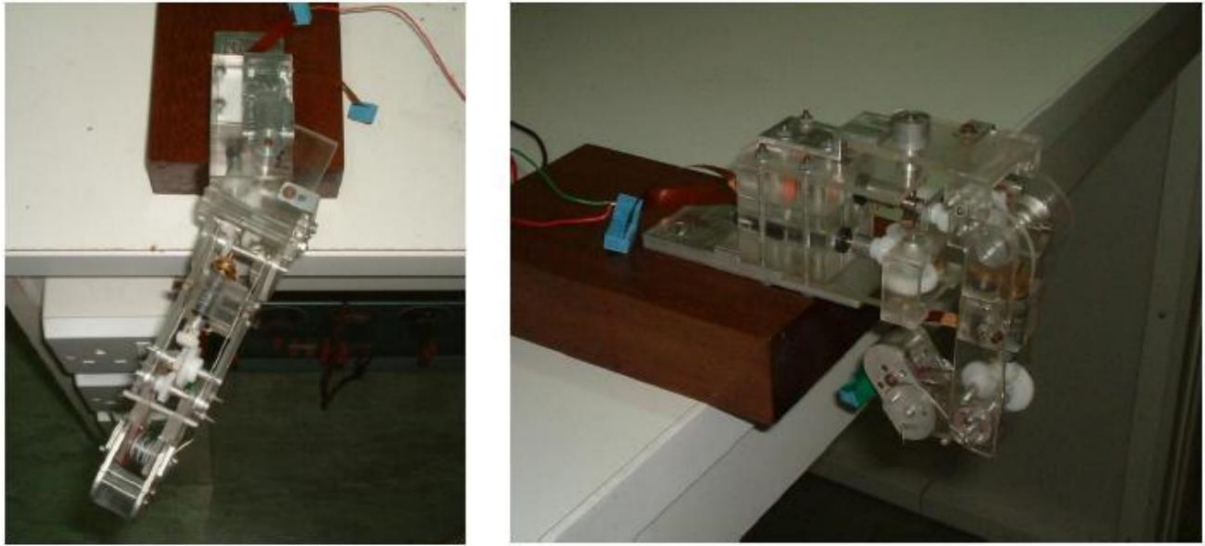


Figure. 3.

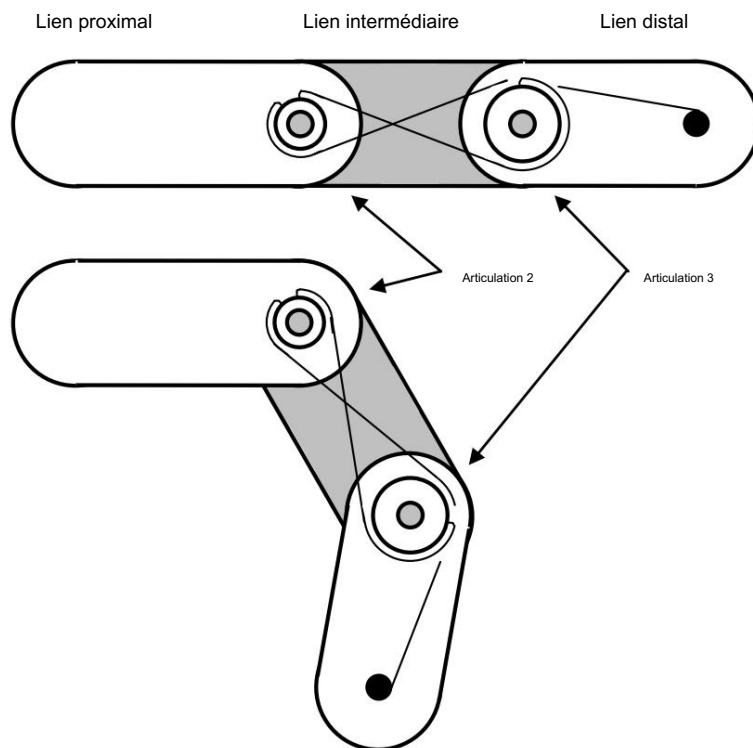


Figure. 4.

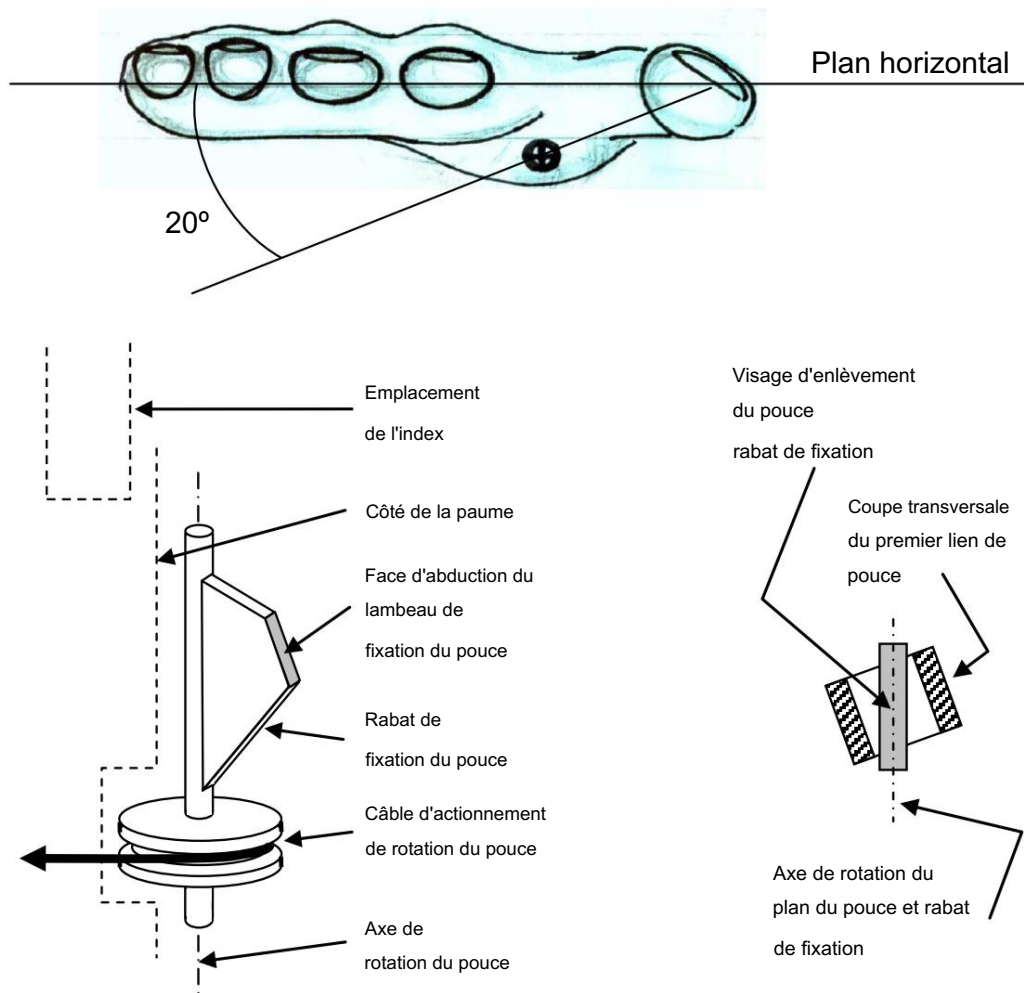


Figure. 5.

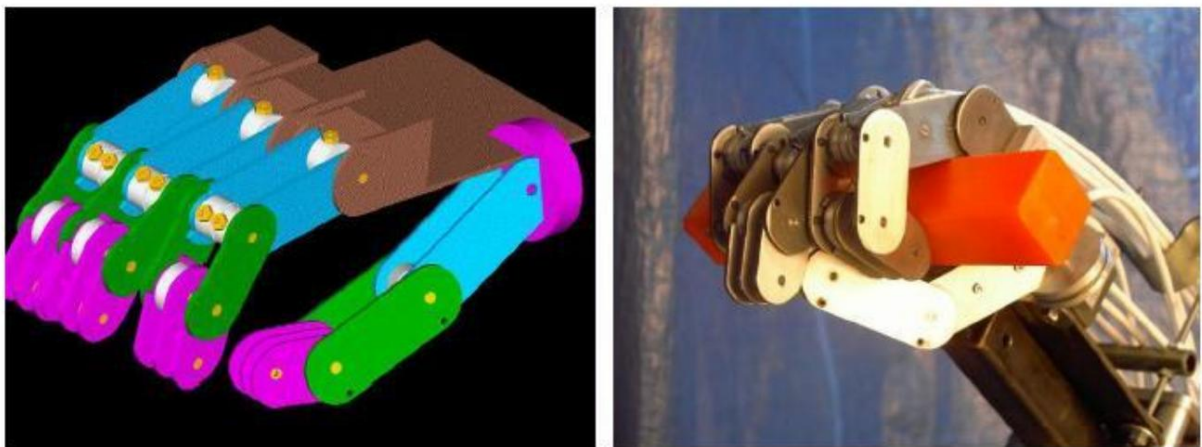


Figure. 6.

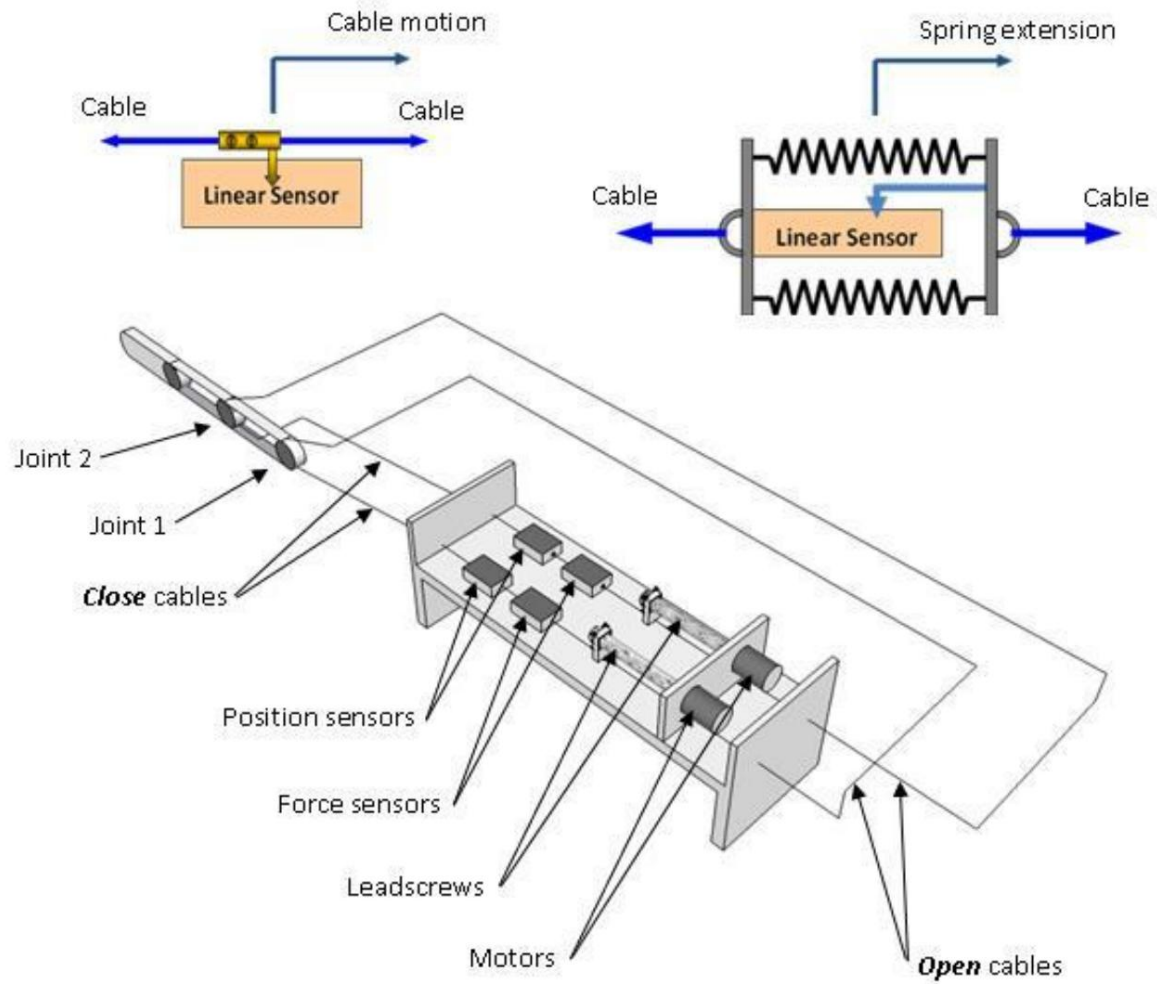


Figure. 7.

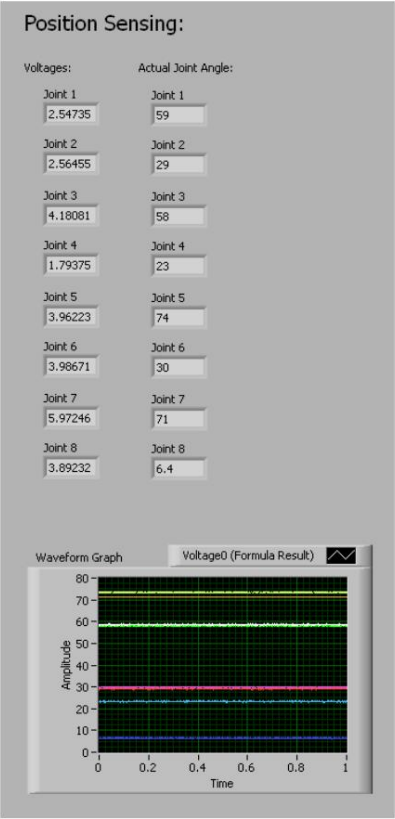


Figure. 8.

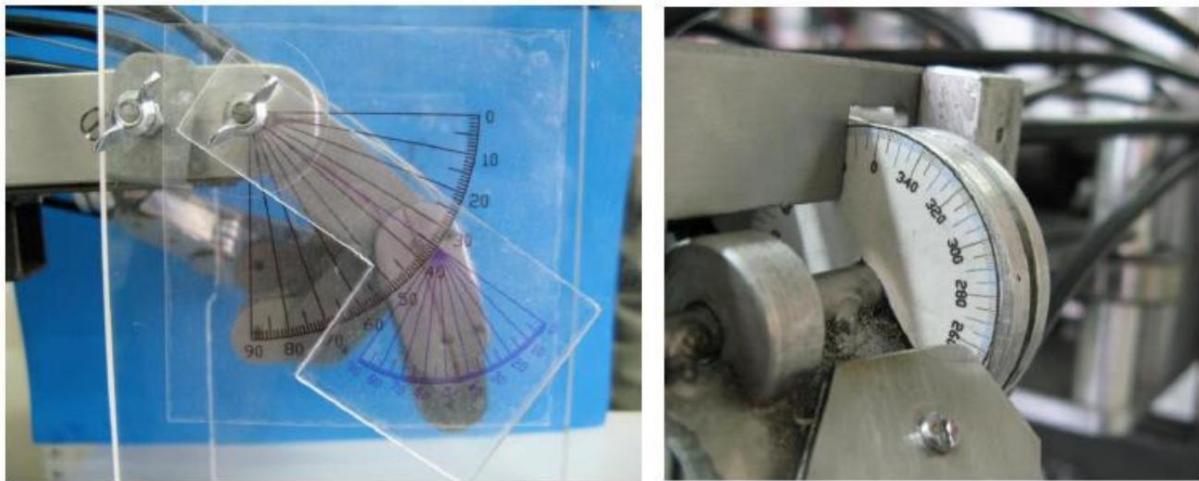


Figure. 9.

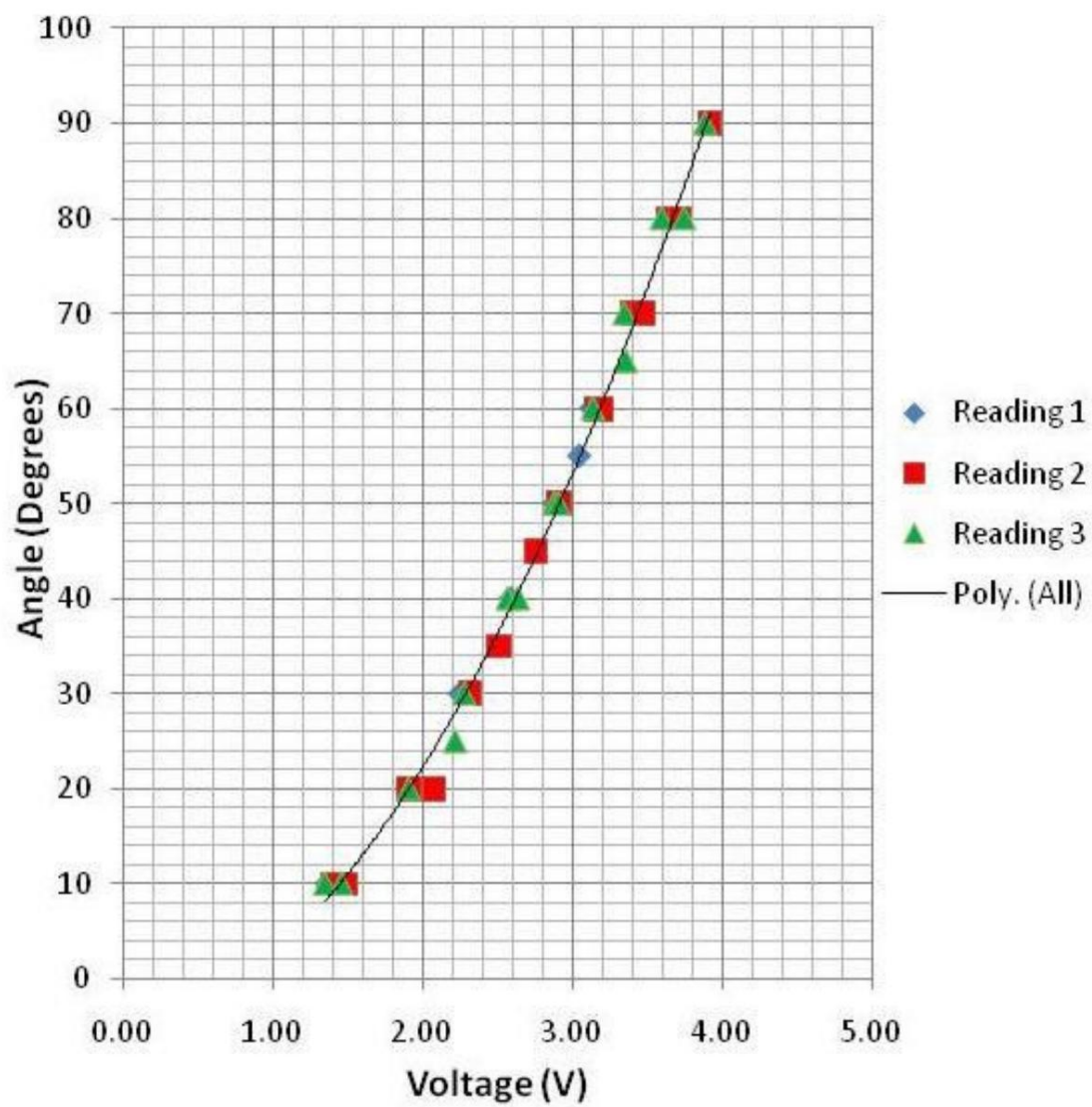


Figure. dix.

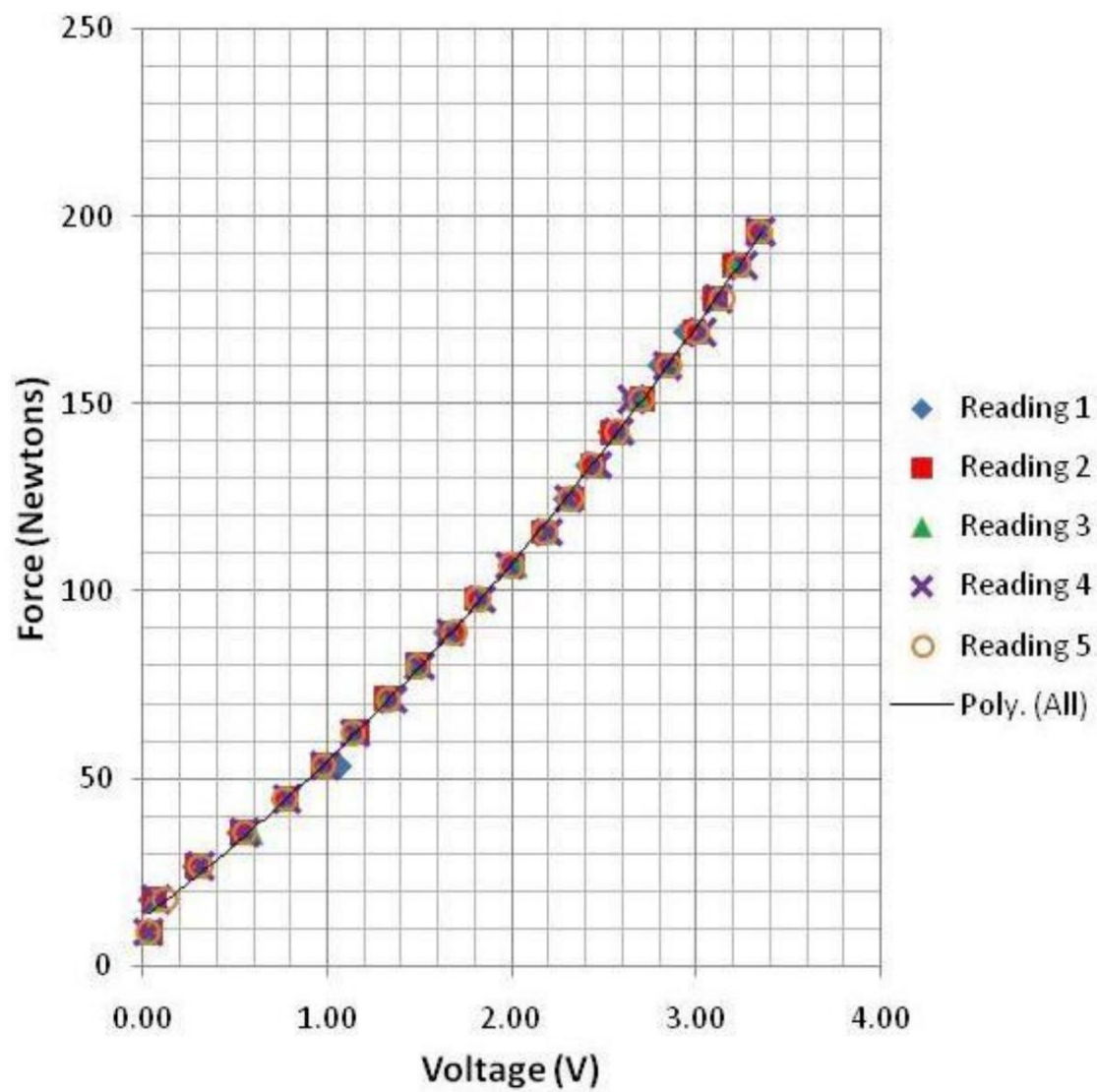


Figure. 11