

Document synthèse problématique mécanique

Projet S8 « Main Bionique »

La conception de la main bionique a été étoffée au fil des projets qui se sont succédés sur le sujet.

Beaucoup de bons points ont été réalisés mais également beaucoup de problématiques restent à résoudre.

Nous allons voir dans ce document les différentes versions avec les bons points, les mauvais points et ce que l'on peut garder pour la version finale.

Dans ce document P1 correspond à la phalange 1 du doigt et naturellement P2 et P3 aux phalanges 2 et 3.

Sommaire :

- 1- Résultats des prototypes des années précédentes*
- 2- Analyse personnelle des précédentes prototypes et proposition de résolution envisagée*
- 3- Synthèse d'analyse sous forme de tableau*

1 – Résultats des années précédentes

Ping 2023

Cette année-là le groupe de PING s'est penché concrètement sur la problématique mécanique avec un vrai travail d'analyse des forces applicables sur chaque membre, en proposant une amélioration d'un prototype précédent. Le cahier des charges de leur groupe était le suivant :

La section suivante décrit les principales exigences de conception mécanique à suivre pour garantir que les tendons entre chaque articulation maintiennent un parallélisme adéquat pendant les mouvements d'ouverture et de fermeture de l'articulation.

1. *Alignement du Parallélisme des Fils* : Les tendons au-dessus et en dessous de chaque articulation doivent être conçus pour maintenir un parallélisme tangentiel lors de l'articulation. Un serrage strict sera nécessaire pendant la phase de conception mécanique.
2. *Propriétés du Fil du Tendon* : Les tendons doivent être construits avec un fil de haute résistance présentant une elongation élastique minimale sous des charges de tension.
3. *Flexibilité du Fil du Tendon* : Le matériau du tendon doit permettre un pliage fluide autour d'un rayon minimum de 3 mm sans pliage ni flambage lorsque l'articulation se déplace.
4. *Routage Correct des Tendons* : Les canaux utilisés pour acheminer les tendons à travers chaque articulation doivent être conçus avec précision pour maintenir une séparation constante des fils et éviter le chevauchement ou l'enchevêtrement pendant le mouvement de l'articulation.
5. *Méthode d'Actionnement* : Il est recommandé que les mouvements des doigts soient actionnés à l'aide de quatre moteurs servo haute précision de 10g ,4.2 - 6 V pour fournir le couple et le contrôle de position nécessaires pour un mouvement répétable des tendons parallèles.

6. *Capacité de Charge* : La main robotique devrait pouvoir supporter une masse d'au moins 100 g.
7. *Poids* : La conception et le matériau devraient donner une structure légère de moins de 300 g.
8. *Manipulation d'Objets* : Être capable de manipuler des objets couramment utilisés de taille 50 à 100 mm, tels que la manipulation d'objets d'usage quotidien.

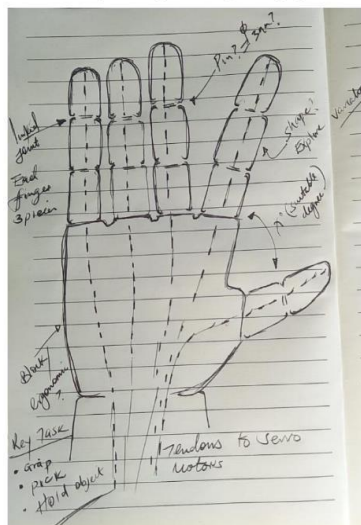


Figure 1. Croquis préliminaire des principales parties et fonctionnalités du bras.

En effet les résultats de leur analyse sont les suivants :

$$F_1 D_1 = F_2 D_2$$

$$F_1 = (F_2 D_2) / D_1$$

$$F_1 = \frac{10 \times 5}{91.52}$$

$$F_1 = 0.55\text{N}$$

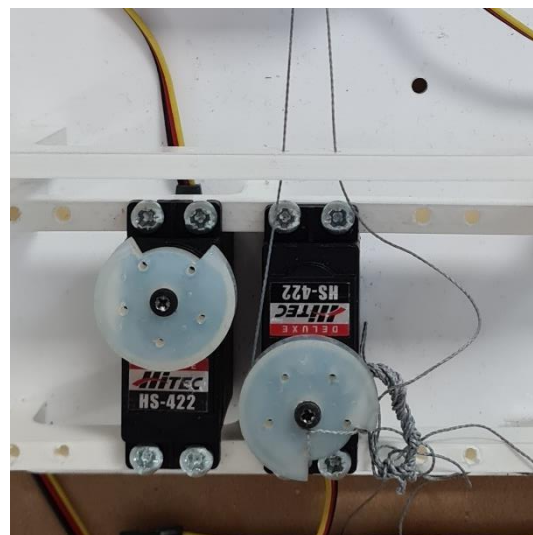
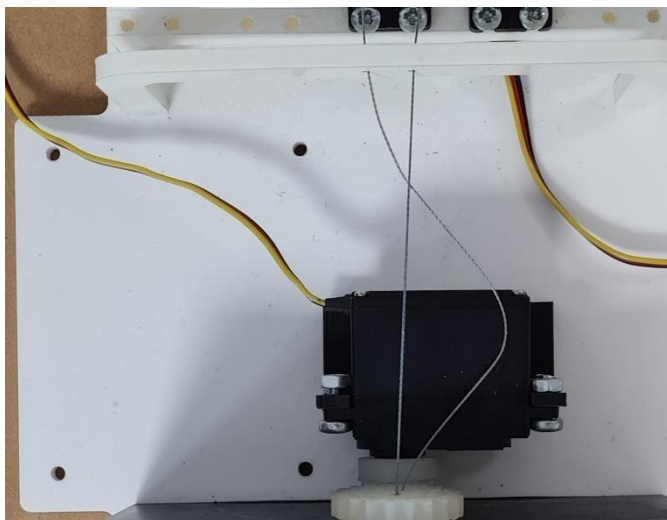
$$\text{Mass}_1 \approx 56.08 \text{ g}$$

Cela signifie qu'une force de 0,55N peut être appliquée à chaque doigt lorsqu'il est complètement ouvert. Cependant, lorsque le doigt se replie, le résultat sera un moment moindre autour de l'articulation de l'articulation, et les extrémités appliqueront plus de force à mesure qu'elles se ferment davantage.

Supposons, pendant la flexion, que la distance $D_1 = 30 \text{ mm}$, cela permettrait au doigt de supporter environ 163 g, ce qui donnerait une capacité de levage totale du RoboHand d'environ 652 g.

La préhension maximale de l'extrémité du doigt $\approx 163\text{g}$ par doigt

Concernant le prototype proposé par ce groupe, nous pouvons constater qu'en contraction, le doigt se plie phalange par phalange et nous avons du mou au niveau de l'extrémité du fil, pouvant laisser penser à un déchaussement futur.



2 - Analyse personnelle des précédentes prototypes et proposition de résolution envisagée

Les premiers prototypes se sont confrontés aux problèmes suivants :

Problème de solidité : On a pu constater qu'au bout de quelques manipulations, les jointures se cassaient rapidement. Un vrai travail de mouvement et de résistance doit être effectué en amont, comme avec un test d'effort sur Solidworks.

Solution Proposée : *Se concentrer sur les jointures pour avoir des mouvements fluides et plus solides. L'utilisation de roulements peut permettre d'éviter les frottements entre chaque phalange. L'utilisation de liaison pivot avec un panel d'angle définis entre chaque phalange est aussi à étudier.*

Pour une éventuelle partie commerciale, des matériaux plus résistants (tel que du carbone ou du titane) aux efforts constant devront être envisagés à l'avenir. Pour l'instant des modèles en polymère sont suffisants.

Problème anatomique : L'anatomie d'une main et les fonctions biomécaniques des doigts doivent se dérouler de la manière suivante comme décrite dans la vidéo :

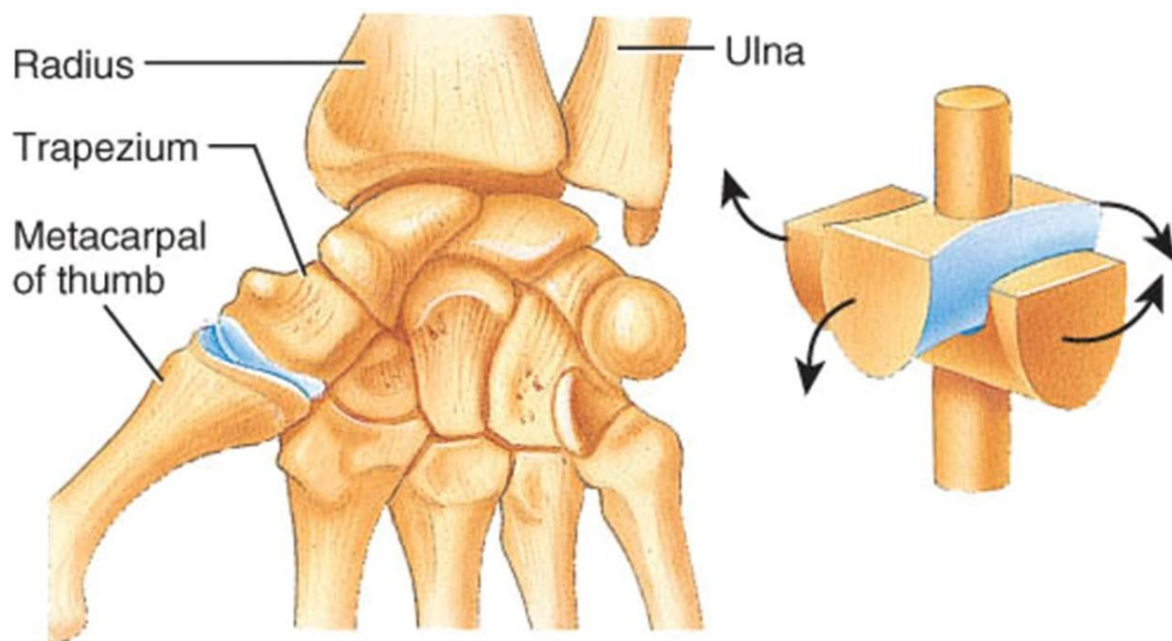
<https://youtu.be/n17IYU0G6cl?feature=shared>

On voit dans la vidéo qu'un déroulé des phalanges P1 à P3 doit se faire circulaire et non linéaire : les phalanges doivent se plier sous la traction du servomoteur tous en même temps et non chacun leur tour. (Problème constaté sur TOUS les prototypes déjà réalisés, cette problématique n'a toujours pas été résolu).

Solution proposée : *Effectuer un vrai travail anatomique de la main en prenant en compte la contrainte des servomoteurs utilisables (nous en avons 6 à disposition). Joindre l'index avec le majeur ainsi que l'auriculaire avec l'annulaire peut résoudre la problématique du nombre de servomoteurs utilisables. De plus la main doit être scindée en 2 avec une face bombée et l'autre plus creuse correspondant à la paume de celle-ci, permettant d'attraper les objets de matière plus facilement qu'une surface plane. Ce modèle est à conserver en l'améliorant.*

Donc partir sur un modèle à 3 doigts pilotés par 2 servomoteurs chacun est envisageable.

Problème du Pouce : Le pouce est un ensemble de phalange entouré par des muscles permettant le déplacement selon plusieurs axes de mouvements : Flexion et extension, Rotation autour de sa base (circumduction), Abduction et adduction permettant l'opposition aux autres doigts longs de la main.



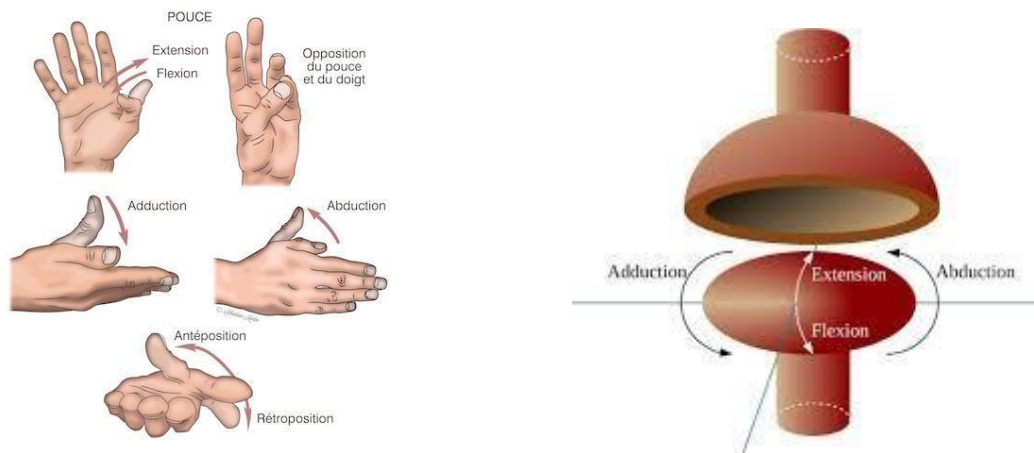
La contrainte est que le pouce possède une multitude d'axe de mouvement. Ce problème a été pris en compte sur certain prototype comme sur celui-ci :



Cependant comme nous pouvons le constater, l'abduction et l'adduction ne sont ni assez profonde ni dans le bon sens pour permettre de maintenir une position ronde.

De plus en considérant le fait d'utiliser seulement 2 servomoteurs pour le pouce, nous devons donc exclure certains axes de mouvement.

Solution : L'abduction ainsi que l'adduction semble être des éléments clés pour prendre en main un objet. Une liaison selle pour P1 et P2 ainsi qu'une liaison ellipsoïde contraint à l'extension et la flexion entre P2 et P3 peut être une solution. La première liaison serait commandé par un servomoteur et la seconde par un autre.



Partir d'une position mécanique de base plus ronde de la main permettrait de se passer des mouvements d'antéposition et de rétroposition, permettant à notre pouce d'effectuer une flexion/extension, abduction/adduction ainsi que des mouvements couplant certains mouvements ensemble comme l'opposition du pouce et du doigts.

Problème de tirage des câbles, fermeture naturelle.

L'un des problèmes majeurs non résolus reste la flexion et l'extension naturelle des doigts. Jusqu'à présent, un servomoteur était utilisé par doigts en se focalisant sur 5 doigts. Anatomiquement les doigts sont composés d'une multitude de tendons et de muscles permettant de maintenir en place le tout. L'utilisation d'élastique, à l'image de tendon qui possède également une certaine élasticité est à conserver. L'utilisation de roulements dans les jointures fluidifiant les mouvements en limitant les frottements, couplé au guidage des élastiques pourrait corriger la flexion en la guidant.

Reste maintenant l'extension. Aucun groupe n'a jusqu'à l'heure proposé de solutions convaincantes. Le problème observé sur tous les prototypes est le déroulé P3-P2-P1 lors d'une flexion, et pas d'extension convaincante.

L'utilisation des 2 servomoteurs, l'un relié à P2 et l'autre à P3, avec un tirage commun assisté par les élastiques pourrait être une solution. En effet, si l'on tire P2 et P3 en même temps nous pourrions avoir un déroulé plus naturel. Une architecture plus enclin à se plier pour P1 est à prévoir.

Pourquoi les servomoteurs sont placés sur P2 et P3 ?

Selon plusieurs études se concentrant sur la répartition des forces de pincement sur les doigts (cf. « The Biomechanics of Grasping and Manipulation » Source: Journal of Biomechanics, ou encore « The Role of Thumb and Fingers in Grasping A Biomechanical Analysis » paru dans *Clinical Biomechanics*)

3-Récapitulatif sous forme de tableau des problèmes rencontrés, de l'explication et d'une proposition de solution envisagé.

Problème	Explication	Solution proposée
Solidité	Besoin de solidité qui ne doit pas être (ou du moins le moins possible) frotté aux parois pour éviter une dégradation rapide	Cable de dérailleur (vélo) 1,2mm + gaine 1mm
Longueur des fils	Eviter un mou lors d'une extension	Tendu au maximum
Pouce Opposable	Cf anatomie du pouce	Articulation en selle + articulation ellipsoïdale
Matériaux	Aspect seulement mécanique pour l'instant.	Polymère et résine pour le moment, puis matériaux + résistant
Dimensions		Dimension d'une main classique d'un adulte
Intégration		
Plie des doigts	Cf explications	Flexion + extension réaliser par l'action commune de 2 servomoteurs
Pilotage des servomoteurs		Commandé par le nerf médian ou le moignon (point non résolu)
Interface		
Symétrie Droite/gauche	Application à but commercial sans distinction	Faire 2 versions

Sources :

Pour la justifications des phalanges :

The Biomechanics of Grasping and Manipulation

<https://academic.oup.com/biolinnean/article/127/3/535/5521438?login=false>

Original Source: Journal of Biomechanics

Measurement of Pinch and Grip Strength in Upper Extremity

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5123260/>

Original Source: Journal of Rehabilitation Research and Development

Livres pour aller plus loin :

Anatomy and Human Movement: Structure and Function, Authors: Nigel Palastanga, Roger Soames

Kinesiology of the Musculoskeletal System, Author: Donald A. Neumann