

Synthèse de prise pour le repositionnement et la reconfiguration automatique des doigts d'une main mécanique en vue de la manipulation en ligne d'objets convexes

N.Daoud, J.P. Gazeau, M.Arsicault

Laboratoire de Mécanique des Solides – UMR 6610 CNRS – Université de Poitiers - SP2MI – BP30179 – 86962 CHASSENEUIL FUTUROSCOPE CEDEX - E-mail :gazeau@lms.univ-poitiers.fr

Résumé :

Lors de la manipulation d'un objet par une main mécanique, il devient nécessaire de repositionner les doigts sur l'objet avant de poursuivre la tâche en cours dès lors qu'une limite articulaire ou une collision apparaissent. Nous proposons donc une méthode qui résout ce problème de reconfiguration et qui permet ainsi la réalisation de mouvements d'amplitude donnée sans opération de pose/reprise de l'objet saisi.

Abstract :

When handling an object by a mechanical hand, and when a joint limit or a collision occurs, it becomes necessary to reposition the fingers on the object before continuing the task at hand. We therefore propose a method that solves this problem of reconfiguration and allows the realization of given amplitude movements without any pose / recovery of the seized object.

Mots clefs : Algorithme Génétique – Planification

1 Introduction :

La mise en œuvre de mains mécaniques polyarticulées requiert une stratégie de contrôle dédiée qui intègre l'ensemble des aspects spécifiques à la réalisation d'une tâche de manipulation dextre ; ces aspects concernent la planification de la trajectoire des doigts, la prise en compte de la stabilité de l'objet saisi et ainsi du calcul des efforts de serrage, mais également un autre point important : la synthèse de prise et particulièrement lors du repositionnement de l'objet dans la main. Le « Laboratoire de Mécanique des Solides » (LMS) a développé depuis une vingtaine d'années un savoir-faire important dans ce domaine ; que ce soit en théorie de la préhension ou encore en développant des préhenseurs spécifiques (figure 1a).

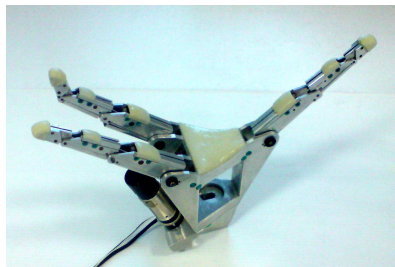
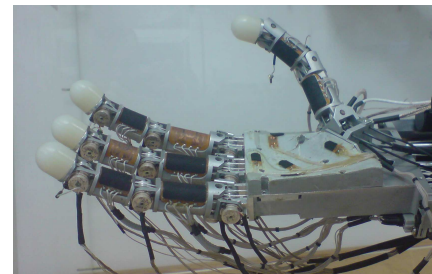


FIG.1
a) La main mono actionneur de LMS (à gauche)
b) La main mécanique à 16 ddl (à droite)



En 1996, une nouvelle main mécanique à 4 doigts et 16 ddl (figure 1b) a été construite au sein du LMS avec un objectif, la manipulation fine d'objets en bout de doigts. Afin de mettre en œuvre cette nouvelle main à 16 actionneurs, des contrôles de bas niveau en position (contrôle de position point à point et suivi de trajectoire) et en effort ont été développés. Une méthode de planification des mouvements des doigts a également été élaborée ; cette méthode robuste basée sur le raisonnement géométrique et sur la caractérisation du contact objet-doigt est bien décrite dans [1]. L'objet de cet

article est de présenter une extension de cette approche, permettant de généraliser la planification obtenue à des mouvements d'amplitude donnée, tout en intégrant les contraintes liées aux butées articulaires et donc au problème du repositionnement des doigts sur l'objet. Les résultats en terme de temps de calcul et de niveau de complexité des tâches réalisées sont ici détaillés et permettent d'envisager une future application en ligne. Les figures 2a, 2b et 2c illustrent ces nouveaux résultats de la planification de trajectoire des bouts des doigts pour différentes tâches de manipulation élémentaires d'un cylindre. Le but est donc de proposer une stratégie globale qui prend en compte la tâche de manipulation dans sa globalité en intégrant la planification de trajectoire, la stabilité et le repositionnement qui fait l'objet du présent article.

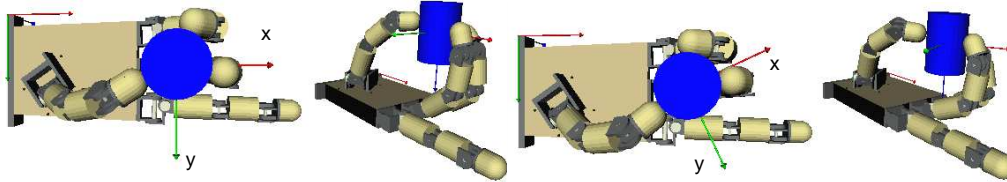


FIG. 2 – Tâche de Manipulation : rotation/translation combinées suivant l'axe z

Plusieurs méthodes pour traiter le repositionnement ont été largement présentées au sein de la communauté scientifique. La plupart de ces méthodes sont orientées vers des tâches d'assemblage [3]. Quelques études considèrent toutefois ce problème dans le contexte de la manipulation avec une main mécanique. Ainsi Hong et al [4] ont proposé l'utilisation de la méthode dite « finger gaiting ». Han et Trinkle [5] ont également utilisé cette méthode comme point de départ pour la planification générale des tâches de manipulation. Notre approche considère ce problème du repositionnement des doigts sur l'objet sous un angle différent, en proposant une nouvelle méthode pour générer les nouveaux points de contacts (après repositionnement) à partir d'une position de blocage. Le quatrième doigt (doigt libre) est alors utilisé pour atteindre cette nouvelle prise sans changer la configuration de l'objet dans la main. La méthode développée repose dans un premier temps sur la synthèse d'une nouvelle prise ; cette synthèse est abordée dans la section qui suit. Ensuite il s'agit de proposer une approche permettant de définir la succession de déplacements des doigts impliquant le doigt libre, pour atteindre la nouvelle prise synthétisée. Finalement les performances obtenues sont illustrées par des résultats en simulation.

2 Formalisation du problème de synthèse de prise

2.1 Généralités

Si un doigt atteint une de ses butées pendant la manipulation, ou entre en collision avec l'objet, la tâche de manipulation s'arrête ; la prise est alors dite « prise bloquée », et il faut repositionner les doigts sur l'objet afin de poursuivre la tâche de manipulation. La transition de la prise bloquée à une nouvelle prise (3 nouveaux points de contact sur l'objet) nécessite non seulement de synthétiser une nouvelle prise, mais également de réaliser une succession de prises intermédiaires à trois doigts. On considère dans notre approche quasi statique de la manipulation, que le contact est rigide, ponctuel, et que la prise est « force-closure ». On rappelle qu'une prise est dite « force closure » lorsqu'elle peut résister à des couples et à un torseur d'efforts arbitraire. Pour s'assurer de cette condition, nous utilisons l'algorithme de Li décrit dans [6]. Avant de synthétiser une nouvelle prise, il est important de retenir des critères qualitatifs pour évaluer la qualité de cette prise recherchée, on se propose de :

- Minimiser les efforts de serrage ;
- Maximiser la manipulabilité ;
- Produire des configurations des axes éloignées des butées articulaires.

2.1.1 Les critères qualitatifs retenus

Pour la minimisation des efforts de serrage, on propose le critère T_1 :

$$T_1 = \frac{1}{2} F^T \cdot F \text{ avec } F = [f_1 \quad f_2 \quad f_3]^T \text{ et } f_i : \text{l'effort normalisé appliqué par le doigt } i.$$

La manipulabilité décrite par Yoshikawa dans la littérature, signifie dans notre cas, la capacité à positionner et orienter les extrémités des doigts dans leurs espaces de travail respectifs. La manipulabilité se calcule avec la relation suivante :

$w = \sqrt{\det(JJ^T)}$ avec $J(q)$: la matrice jacobienne définie par la relation entre le vecteur vitesse v est le vecteur vitesses articulaires q' . On propose donc le critère T_2 qui représente la somme des manipulabilités des trois doigts ; et ainsi la capacité à orienter et positionner globalement l'ensemble des doigts.

$$T_2 = \sum_{i=1}^{i=3} w_i = w_1 + w_2 + w_3$$

Le troisième critère proposé pour éloigner les axes des doigts de leurs butées articulaires est T_3 ; ce critère est calculé à l'aide de la relation suivante :

$$T_3 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=3} Q_i^T \cdot Q_i \text{ avec } Q_i = q_i - q_{moyen} \text{ et } q_i = [q_{i1} \quad q_{i2} \quad q_{i3} \quad q_{i4}]^T$$

où le vecteur q_i est le vecteur des paramètres des quatre articulations du doigt i .

On peut définir une fonction objective F_{fit} ou fonction fitness avec ces trois critères pour l'évaluation de la qualité d'une prise donnée :

$$F_{fit} = A_1 \cdot T_{1norm} + A_2 \cdot T_{2norm} + A_3 \cdot T_{3norm}$$

où, les coefficients A_1, A_2, A_3 sont des coefficients de pondération décrites dans la section suivante et T_{inorm} ($i=1..3$) représentent les critères normalisés tels que :

$$T_{inorm} = \frac{T_{i\max} - T_i}{T_{i\max} - T_{i\min}} \text{ pour } i=1,3 \text{ et } T_{2norm} = \frac{T_2 - T_{2\min}}{T_{2\max} - T_{2\min}}$$

2.1.2 Synthèse d'une nouvelle prise et stratégie générale

La prise recherchée est la solution d'un problème d'optimisation multi-critères où l'on cherche à optimiser la fonction objective présentée ci-dessus.

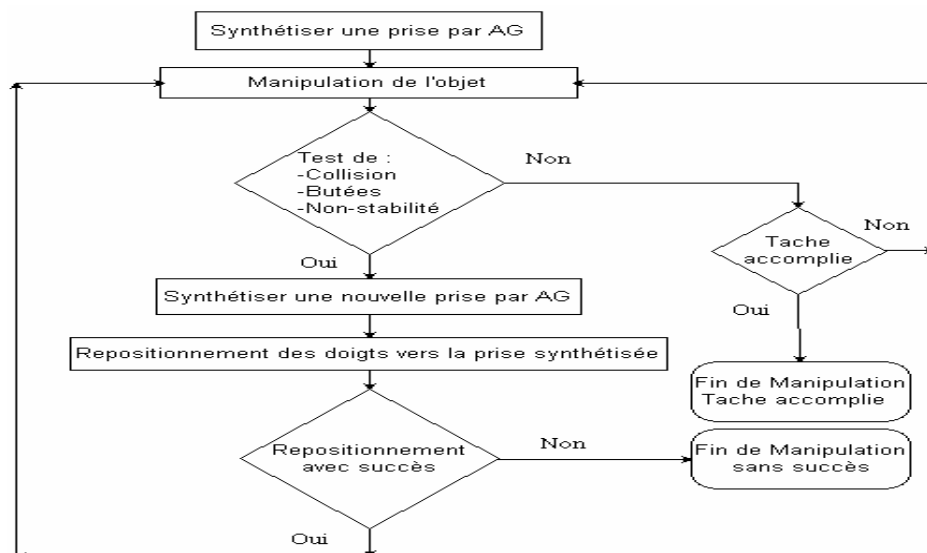


FIG. 3 – Stratégie de manipulation

Afin de résoudre ce problème, nous nous sommes appuyés sur l'approche génétique qui s'intègre dans notre stratégie générale de manipulation représentée par le schéma à la figure 3.

2.2 Codage d'une prise dans l'approche génétique

L'individu généré à l'issue du processus d'évolution génétique représente une prise réalisée à trois doigts, synthétisée en considérant la tâche et les dimensions de l'objet. A la différence des travaux antérieurs, l'algorithme est capable de synthétiser une prise à trois doigts ; sans que le pouce soit impliqué. En effet le pouce est habituellement systématiquement impliqué dans toute prise dans la mesure où il est en opposition avec au moins un doigt (index, majeur, annulaire ou auriculaire) ; ce concept décrit par Cutkosky dans [8] est étendu ; dans notre approche, il s'agit d'être capable de proposer une opposition entre deux doigts quelconques. L'intérêt de ce changement est double : il permet de réaliser la saisie et la manipulation de petits objets qui sont hors d'atteinte du pouce ; il permet également de réaliser facilement des prises intermédiaires lors de la transition de la prise bloquée vers la prise synthétisée. Le codage de l'individu représentant la prise est effectué par trois points de contact et un plan, appelé plan de prise. Ce plan est défini par un point et une orientation. Ce choix conduit à introduire 7 paramètres pour représenter une prise (cf. figure 4) :

- La position du centre de plan de la prise (un point) ;
- L'orientation du plan de prise (les trois angles de Cardan) ;
- L'angle matérialisant l'abduction-adduction et la distance entre les deux doigts en opposition.

Les paramètres d'un individu se génèrent ensuite aléatoirement dans des limites choisies selon la nature du paramètre lors de la phase de génération d'une population initiale.

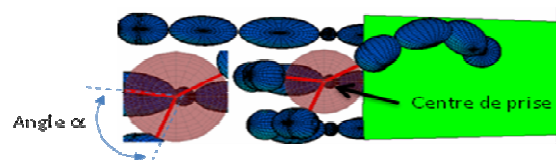


FIG. 4 – Un individu (une prise à trois doigts)

2.3 Les paramètres de l'AG :

Les paramètres de l'AG sont la taille de la population, la probabilité de croisement, la probabilité de mutation, le nombre maximal de générations. L'algorithme génétique a été évalué avec plusieurs tailles de population initiale ; cette évaluation a conduit systématiquement à un bon résultat. D'où l'idée pour minimiser le temps de calcul de choisir la taille minimale de la population conduisant à ces bons résultats ; on choisit ainsi une taille de 8 individus. Les probabilités de croisement et de mutation sont choisies à 0.25 ; elles déterminent le pourcentage d'individus croisés et mutés à chaque étape du processus d'évolution. On limite également le nombre maximal d'itération à 100. Les coefficients de pondération de la fonction fitness ont été calculés avec la méthode des plans d'expérience en considérant des objets (cylindre et prisme) et des tâches typiques (rotation-translation) ; soit au final la fonction fitness suivante :

$$F_{fit} = 0.467 \cdot T_{1norm} + 0.411 \cdot T_{2norm} + 0.475 \cdot T_{3norm}$$

2.4 Résultats expérimentaux de synthèse

L'algorithme a été testé pour des objets caractéristiques (parallélépipède, cylindre, sphère et cône) comme le montre la figure 5 ; le poids de l'objet testé est de 30g.

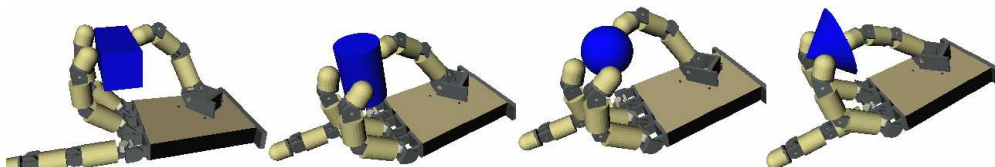
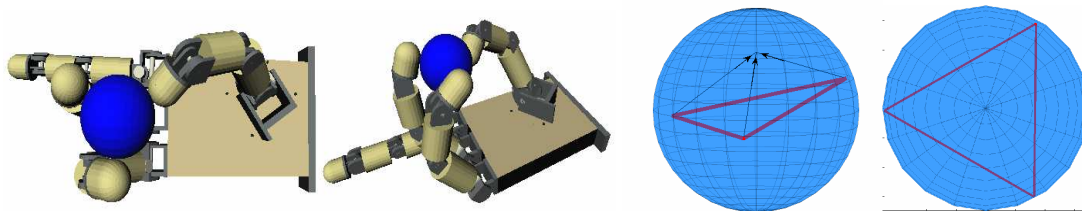


FIG. 5- Les Objets Testés

On constate que les doigts participants à chaque prise ne sont pas systématiquement les mêmes ; ce qui différencie singulièrement notre méthode des approches précédentes ; en effet en fonction des dimensions et des formes des objets et de leur position/orientation par rapport à la paume, l'AG optimise la prise et sélectionne les doigts à utiliser ; il en résulte un doigt libre qui varie en fonction

des objets manipulés. Pour démontrer la fiabilité de la synthèse par AG, un test sur un objet sphérique est réalisé. La sphère est intéressante en raison de la discrétisation 3D plus complexe de la surface. Considérons que l'on souhaite utiliser la méthode pour minimiser seulement les efforts ($A1=1, A2=0, A3=0$); la prise optimale résultante doit être équilatérale telle que décrite dans [9]. C'est en effet le résultat obtenu (cf. figure 6) avec des efforts de serrage identiques à chaque point de contact. Il est important de noter que les contraintes de non collision sont vérifiées avec le calcul de distance minimale décrit dans [10].



$$\text{Effort} = [0.104267 \quad 0.0982137 \quad 0.09753]^T$$

FIG. 6 – Prise équilatérale synthétisée - Points de contact et efforts

Les temps de calcul obtenus pour synthétiser une prise sont présentés dans le tableau I (PC Windows avec AMD Athlon™ 64 Processor 2.20 GHz, 2,00 Go de RAM). Plusieurs objets sont considérés.

Objet	Nombre de générations	Temps de calcul [sec]
Sphère	20-50	15-25
Cylindre	30-45	10-15
Cône	10-15	2-10
Parallélépipède	30-50	10-20

Tableau. 1 - Résultats

3 La manipulation avec repositionnement des doigts :

L'utilisation conjointe de la stratégie de synthèse et planification avec repositionnement est ici abordée. Il en résulte la réalisation d'une tâche de manipulation complète apte à considérer tout type de tâche ou d'objet rigide. L'algorithme utilisé pour le repositionnement est présenté sur la figure 7.

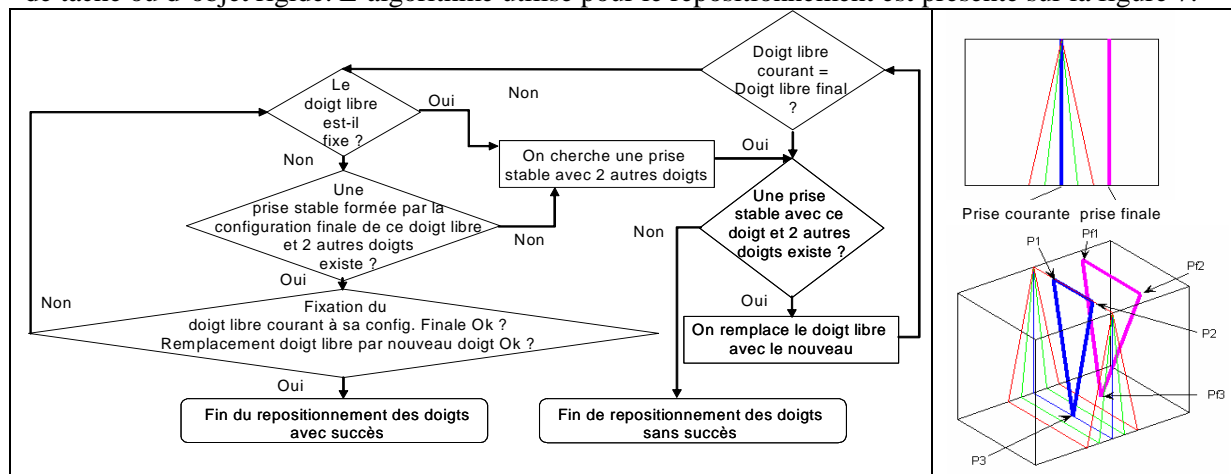


FIG. 7- Algorithme de repositionnement des doigts - Recherche de prises intermédiaires

Il permet de calculer les prises intermédiaires permettant la transition entre la prise dite « bloquée » et la nouvelle prise synthétisée par l'AG. Pour illustrer cette approche, on choisit de présenter sur la figure 8 une tâche nécessitant une seule opération de repositionnement des doigts ; il s'agit d'une rotation d'axe Z d'amplitude 30°. La figure 7 montre que la seule situation où le repositionnement échoue est lorsque l'étape au centre échoue. Il s'agit donc pour garantir la robustesse de l'algorithme, de construire une fonction de recherche qui trouve systématiquement un point de contact correspondant au doigt libre pour réaliser une prise valide avec deux autres doigts. Une fonction de recherche (figure 7) a ainsi été élaborée pour trouver ce point s'il existe en cherchant dans les plans qui passent par l'arrête entre les deux autres points de contact P1 et P2.

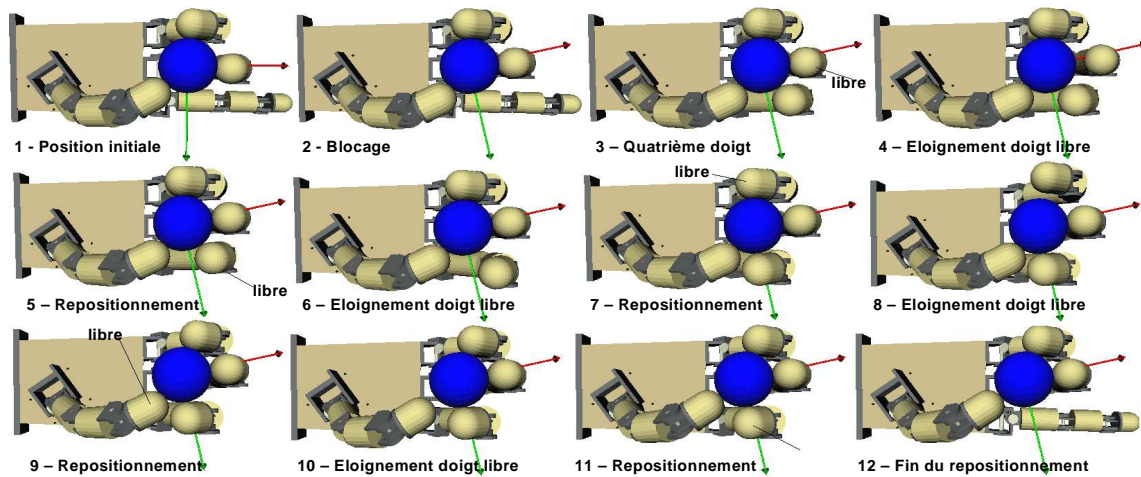


FIG. 8 - Manipulation avec repositionnement

On est ainsi sûr que le futur doigt libre ne risque pas une collision avec le doigt qui vient d'être repositionné. Par contre si le doigt libre n'est pas le doigt libre final, cela signifie que l'algorithme cherche le point qui satisfait la validité de la prise (la stabilité et la non collision), et qui est le plus proche possible du point final à atteindre (Pfi).

4 Conclusion

L'approche présentée dans cet article propose une stratégie générale robuste pour réaliser des tâches complexes de manipulation avec prise en compte du repositionnement des doigts sur l'objet, dès lors qu'une situation de blocage apparaît. Il est ainsi possible avec cette méthode de réaliser des mouvements d'amplitude quelconque en considérant non seulement des objets de tout type, mais également des tâches complexes (rotations/translations combinées). Les résultats produits permettent d'envisager une manipulation en ligne dans la mesure où les temps de synthèse sont faibles. Les perspectives de cette méthode sont intéressantes ; nous travaillons aujourd'hui sur l'extension de la méthode au problème plus général de la synthèse de prise initiale en considérant la manipulation visée.

References

- [1] Gazeau, J.-P., Zegloul, S., Arsicault, M., Lallemand, J.P., Manipulation with the LMS mechanical hand. Strategy for fingertip manipulation task, 2002, JESA, 36 (9), pp. 1205-1219.
- [2] Gazeau, J.P., Zegloul, S., Ramirez, G., Manipulation with a polyarticulated mechanical hand: A new efficient real-time method for computing fingertip forces for a global manipulation strategy (2005) Robotica, 23 (4), pp. 479-490.
- [3] Rapela, D.R., Rembold, U., Kuchen, B., Planning of regrasping operations for a dextrous hand in assembly tasks, 2002, Journal of Intelligent & Rob. Syst. Theory and Applications, 33(3), pp. 231-266.
- [4] Hong, J., Lafferriere, G., Mishra, B., Tan, X.L., Fine manipulation with multifinger hand, IEEE Proc. Of Int. Conf. On Robotics And Automation, pp. 1568 – 1573, 1990, vol.3
- [5] Han, L., Trinkle, J.C., Dextrous manipulation by rolling and finger gaiting, (1998) Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1, pp. 730-735.
- [6] Li, J.-W., Liu, H., Cai, H.-G., On computing three-finger force-closure grasps of 2-D and 3-D objects, (2003) IEEE Transactions on Robotics and Automation, 19 (1), pp. 155-161.
- [7] Gazeau, J.P., Zegloul, S., Fernandez, A., Arsicault, M., Object manipulation task with a dextrous mechanical hand including regrasp, (2007) WSEAS Transactions on Systems, 6 (4), pp. 815-822.
- [8] Cutkosky, Mark R., On grasp choice, grasp models, and the design of hands for manufacturing tasks, (1989) IEEE Transactions on Robotics and Automation, 5 (3), pp. 269-279.
- [9] Mirtich, Brian, Canny, John., Easily computable optimum grasps in 2-D and 3-D (1994) Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, (pt 1), pp. 739-747.
- [10] Zegloul, S., Rambeaud, P., A fast algorithm for distance calculation between convex objects using the optimization approach, (1996) Robotica, 14 (4), pp. 355-363.