

0.1 Introduction

Il s'agit dans ce chapitre d'introduire les problématiques et méthodologies qui nous guideront dans notre étude de l'utilisation de l'asservissement visuel pour les robots parallèles à câbles. Notre objectif est double: il s'agit dans un premier temps d'ajouter des fonctionnalités de saisie et manipulation d'objets à nos prototypes existants, et d'améliorer les propriétés de ces mêmes prototypes dans un second temps.

Pour cela, nous évoquons dans une première section les avantages et inconvénients des structures parallèles comparativement aux structures en série. Les spécificités des manipulateurs à câbles sont introduites dans une deuxième section, suivie par un rappel des modèles géométriques et cinématiques des manipulateurs parallèles à câbles. Nous présentons dans la section suivante le prototype sur lequel nos expérimentations et validations ont été effectuées, avant d'introduire quelques notions fondamentales pour la suite.

Après un rappel des modèles d'asservissement visuel, nous introduirons les spécificités de notre choix de configuration, dont nous montrerons de quelle manière il se démarque des travaux existants dans ce domaine précis. Nous pourrions alors conclure par l'exposition des problématiques à partir desquelles nous nous sommes proposé de mener cette étude, ainsi que des choix méthodologiques qui en auront guidée la réalisation.

0.1.1 Manipulateurs série et parallèles

Définitions

C'est incontestablement l'industrie qui aura été le principal vecteur de développement de la robotique ces deux derniers siècles. L'introduction des robots dans les usines s'inscrit dans une démarche d'augmentation de la productivité et d'amélioration de la manufacture. Cela aura permis dès lors de soulager le travailleur humain dans des situations de travail pénible et/ou répétitif, et d'augmenter ses compétences en permettant par exemple une précision qu'il ne saurait fournir seul, ou la possibilité de déplacer des charges élevées. Si la grande diversité que recouvre aujourd'hui le terme de *robot* rend extrêmement difficile l'élaboration d'une définition générique, nous pouvons cependant en dériver des sous-catégories plus faciles à appréhender. Parmi celles-ci, nous distinguons en particulier la classe des manipulateurs dont l'objectif sera le déplacement et positionnement d'objets dans l'espace. Un manipulateur sera constitué de manière générale d'une base et d'un organe terminal, reliés par une ou plusieurs chaînes cinématiques plus ou moins élaborées.

Une chaîne cinématique est caractérisée par une succession de solides reliés par des articulations. Les articulations simples peuvent être de nature *prismatique* 1a – permettant la translation d'un solide par rapport à l'autre – ou *rotoïdes* 1b – effectuant un mouvement de rotation autour d'un axe donné. Des articulations complexes sont obtenues à partir de la combinaison de mouvements prismatiques et/ou rotoïdes : une articulation cylindrique 1c permet par exemple la combinaison d'un mouvement de translation selon un axe donné et d'un mouvement de rotation autour de ce même axe ; autre exemple, une articulation sphérique 1d combinera quant à elle trois rotations.

On appelle *coordonnées articulaires* l'ensemble des états de chacune des ar-

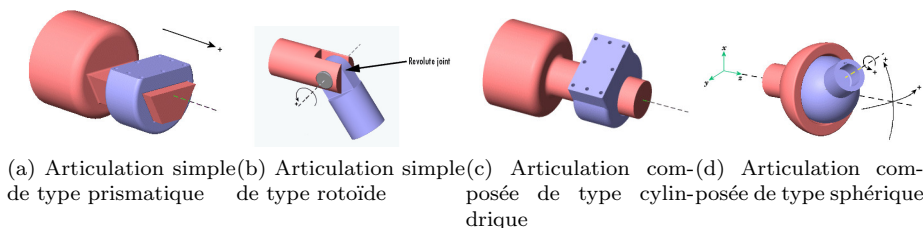


Figure 1: Différents exemples d'articulations.

articulations à un instant donné. Lorsque les articulations ne sont pas laissées libres, leur valeur dans l'*espace articulaire* sera contrôlée par des *actionneurs* : on distinguera donc les *articulations actionnées* des *articulations libres*. Les coordonnées articulaires sont exprimées dans un espace articulaire propre à chaque articulation. Les paramètres nécessaires à l'expression des coordonnées articulaires sont généralement au nombre de 3 pour un point (ses coordonnées dans l'espace cartésien) et de 6 pour un solide (position cartésienne complétée par trois angles de rotation). Le nombre de paramètres non fixés par la géométrie du robot et nécessaires à la description exhaustive des coordonnées d'une articulation est appelé *degré de liberté*.

De la même manière, on parlera des *coordonnées opérationnelles* pour définir la position de l'organe terminal, exprimées dans le repère de l'organe terminal. A nouveau, nous pouvons définir les degrés de liberté de l'organe terminal comme le nombre de paramètres contrôlés pour le déplacer dans l'espace. Cette notion est à distinguer de la mobilité de l'organe terminal, qui correspond aux possibilités de déplacement de l'organe terminal. Si l'on décide par exemple de contrôler les mouvements en rotation, de bloquer deux rotations mais d'en laisser libre une, la mobilité sera de 4, mais le nombre de degrés de libertés ne sera que de 3.

Enfin, on peut définir pour chaque segment son *degré de connexion* comme étant le nombre de solides auxquels il est relié par une articulation libre ou actionnée. Lorsque l'ensemble des segments ont un degré de connexion égal à 2 à l'exception de la base et de l'organe terminal qui ont de degré de connexion égal à 1, on parle de *chaîne cinématique ouverte* 2a. Lorsque l'un des segments au moins (différent de la base) possède un degré de connexion supérieur ou égal à 3, nous avons une *chaîne cinématique fermée* 2b [2]. Les chaînes cinématiques complexes sont constituées de plusieurs chaînes fermées et/ou ouvertes.

Architectures séries

On appelle *robot série* un système constitué d'une **chaîne cinématique ouverte dont chaque segment est relié au suivant par une articulation simple** 3. Longtemps dominants dans l'industrie, les robots séries ont pu être privilégiés grâce aux deux caractéristiques suivantes :

- sous certaines conditions, le modèle cinématique inverse des robots séries peut être résolu analytiquement [5]
- leur espace de travail peut rapidement devenir assez conséquent.

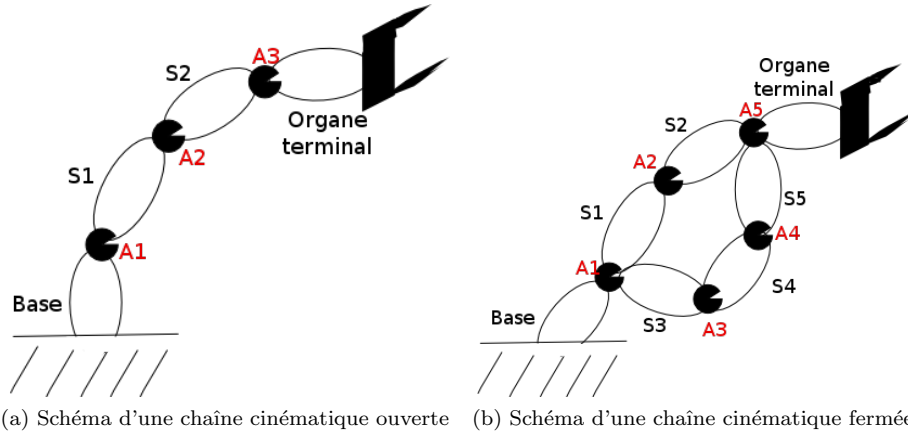


Figure 2: Exemples de chaînes cinématiques ouvertes et fermées : les S_i représentent les différents segments intermédiaires, tandis que les A_i correspondent aux articulations. Dans 2a, tous les segments S_i ont un degré de connexion égal à 2 ; seuls la base et l'organe terminal ont un degré de connexion égal à 1. Il est visible dans 2b que tous les segments à l'exception de S_4 possèdent un degré de connexion égal à 3.

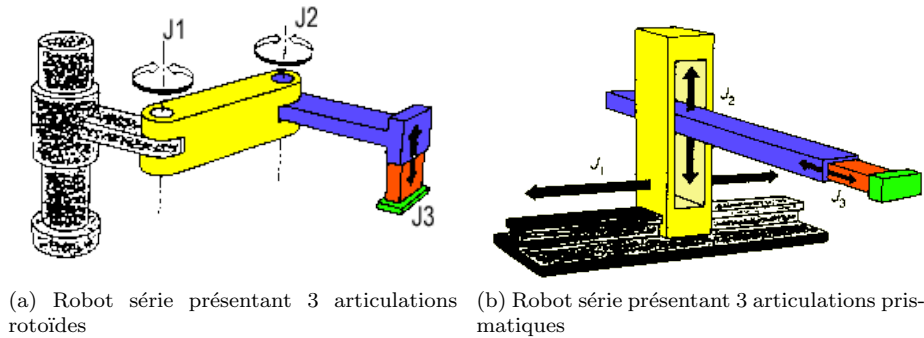


Figure 3: Exemples de robots séries

Une architecture série présente toutefois plusieurs inconvénients non-négligeables dans un contexte industriel tels que :

- chaque segment et articulation porte la charge de tous ceux qui leur succèdent dans la chaîne cinématique. En particulier, cela affaiblit la dynamique lors de l'actionnement des articulations : segments et articulations doivent être rigidifiés, ils sont donc plus lourds,
- les erreurs se propagent de segments en segments ; la précision tout comme la répétabilité du manipulateur en sont affectées,
- les charges manipulables ne peuvent être excessives, car elles seront supportées par l'ensemble des segments et articulations.

Ainsi, une architecture série impose souvent un dispositif imposant, dont la précision, la dynamique et la faible capacité de charges se révéleront insuffisants pour un grand nombre de tâches requises en particulier par l'industrie moderne.

Une alternative possible consiste en l'utilisation de chaînes cinématiques fermées permettant

- une répartition des charges (segment ultérieurs et poids de l'objet manipulé),
- une compensation des erreurs entre chaque "branche" de la chaîne cinématique fermée,
- une plus grande flexibilité des articulations, impliquant une dynamique plus grande.

Les architectures parallèles en particulier présentent une des implémentations possibles de chaînes cinématiques fermées, et leurs caractéristiques – sur lesquelles nous allons nous pencher par la suite – ont contribué à ce qu'elles s'installent progressivement dans le paysage de la robotique.

Architectures parallèles

Une définition des robots parallèles est donnée dans [4] :

Un manipulateur parallèle est constitué d'un organe terminal à n degrés de liberté et d'une base fixe, reliés entre eux par au moins deux chaînes cinématiques indépendantes, la motorisation s'effectuant par n actionneurs simples.

Parmi les exemples les plus cités dans la littérature, nous trouvons la plateforme de Gough-Stewart [3], [6] et le robot Delta [1].

Initialement développée pour des applications dans l'industrie automobile 4a, la plateforme de Gough-Stewart a par la suite été utilisée dans des applications diverses au rang desquelles les simulateurs de vols 4b. Sa plateforme mobile peut être déplacée selon 6 degrés de liberté (translations + rotations) à l'aide de six jambes indépendantes actionnées par des vérins pneumatiques. Les articulations la reliant à la base (cardan) et à la plateforme (rotule) sont quant à elles laissées libres.

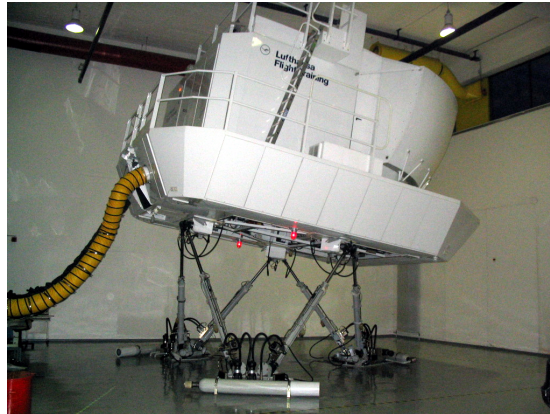
Le robot Delta 4c permet un déplacement de sa plateforme selon les trois degrés de liberté correspondant aux translations. Trois jambes sont utilisées pour cela, chacune étant reliée à la base par une articulation rotoïde à un levier, lui-même relié à un segment parallélogramme par une seconde articulation rotoïde, une troisième articulation rotoïde liant ce segment à l'organe terminal. Il peut atteindre des vitesses allant jusqu'à 10 m/s et des accélérations jusqu'à 20G, ce qui le rend particulièrement adapté pour des tâches de conditionnement.

De manière générale, les manipulateurs parallèles présentent les caractéristiques suivantes permettant de les comparer avantageusement aux manipulateurs séries :

- blablabla
- blablabla
- blablabla
- blablabla



(a) Plateforme de Gough utilisée dans une usine de pneumatiques



(b) Plateforme de Gough-Stewart utilisée pour des simulateurs de vols



(c) Robot Delta, particulièrement adapté aux tâches de "pick and place"

Figure 4: Exemples de robots parallèles

Bibliography

- [1] R. Clavel. Delta, a fast robot with parallel geometry. In *18th Int. Symp. on Industrial Robots (ISIR)*, pages 91–100, Lausanne, 26-28 april 1988.
- [2] C. Gosselin and J. Angeles. The optimum kinematic design of a spherical three-degree-of-freedom parallel manipulator. *J. of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design*, 1989.
- [3] V.E. Gough. Contribution to discussion of papers on research in automobile stability, control and tyre performance, 1956-1957. Proc. Auto Div. Inst. Mech. Eng.
- [4] J.P. Merlet. *Les robots parallèles*. Collection robotique. Hermes, 1997.
- [5] D.L. Pieper. *The Kinematics of Manipulators Under Computer Control*. Memo (Stanford artificial intelligence Laboratory). Department of Mechanical Engineering, Stanford University, 1968.
- [6] D. Stewart. A platform with 6 degrees of freedom. *Proc. of the Institution of mechanical engineers*, 180(Part 1, 15):371–386, 1965.