

La vérité sur les robots parallèles

Si les robots pouvaient parler (ce qu'ils ne manqueront pas de faire un de ces jours), ils seraient parfois étonnés de savoir que certains d'entre eux sont sériels et d'autres parallèles. Un jargon qui peut paraître scientifique, mais qui n'en est pas moins une réalité si l'on veut être compris, si ce n'est de son robot, au moins de son voisin humain.

Soyons sérieux et laissons la place à Reymond Clavel de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, l'un des spécialistes des robots parallèles qui nous détaille les deux définitions. Commençons par un robot sériel : leur structure mobile est une chaîne ouverte formée d'une succession de segments reliés entre eux par des liaisons à un degré de liberté ; chaque articulation est commandée par un actionneur situé à l'endroit de l'articulation ou sur un des segments précédents ; dans ce dernier cas, un mécanisme assure la transmission entre l'actionneur et l'articulation considérée.

Dans le but de diminuer les masses en mouvement, certains robots du marché comportent une ou plusieurs boucles fermées formant un polygone articulé plan ; toutes les articulations d'une boucle n'étant pas indépendantes ; il est possible de choisir dans la boucle celle que l'on veut motoriser, ceci permet de ramener les moteurs vers la base, donc de diminuer les masses en mouvement.

Un robot parallèle est un robot comportant au moins deux corps reliés par plus d'une chaîne cinématique, en excluant les robots qui diffèrent des robots à

structure série uniquement par le fait qu'ils comportent une ou plusieurs boucles formant chacune un polygone plan.

J'espère que vous avez bien compris cette définition quelque peu professorale, mais indispensable pour suivre les propos qui suivent. Revenons quelque peu en arrière, car les robots parallèles se sont inspirés des plates-formes de Stewart qui sont appliquées depuis un certain temps comme structures mobiles aux simulateurs de vol (les mêmes simulateurs que vous trouvez au Parc de la Villette ou à Disney et qui vous secouent dans tous les sens). C'est à partir de ce concept que l'École de Lausanne a développé son premier robot à structures parallèles avec pour objectif d'atteindre des performances, en cadence et en précision, encore inatteignables par les robots sériels.

Il faudrait, pour être juste, remonter plus loin pour arriver sur le nom d'un ingénieur du domaine automobile dénommé Pollard qui fut réellement le précurseur de la robotique parallèle en déposant son brevet de mécanisme pour peindre automatiquement les carrosseries de voitures en 1938. Il ne put compléter son idée car il n'existait pas de moyens électroniques et informatiques adéquats pour le commander. Certains prétendent même que ce fut l'une des premières idées de robot industriel.

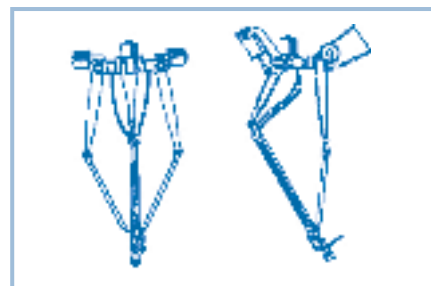
Ce brave homme, inconnu des roboticiens, a mis au point une structure à trois chaînes cinématiques que l'on nomme maintenant Tripodes. Son principe assurait les mobilités d'orientation

Sujet: Les robots parallèles.

Verbe: Prendre et placer.

Complément: Depuis une dizaine d'années une nouvelle génération de cinématique est en train de se frayer un chemin, celle des robots parallèles. Ils sont déjà quelques centaines de par le monde. Combien seront-ils dans dix ans ?

en ajoutant un poignet à trois degrés de liberté en série avec la structure parallèle. Son idée préfigure bien ce que vont faire la plupart des concepteurs de robots : 3 degrés de liberté pour localiser l'extrémité du robot et 3 autres distincts pour l'orienter.



Dans les années cinquante, Gough, un ingénieur mécanique du domaine aéronautique, conçut et construisit une plate-forme mobile à structure parallèle dont le but était de tester les pneus des avions (la plate-forme de Gough). Il est le premier à avoir mis au point une structure à six chaînes cinématiques que l'on nomme maintenant Hexapodes.

On prête à Stewart d'avoir adapté la plate-forme de Gough au domaine des simulateurs de vols en proposant une structure parallèle commandée comme base mobile. La boucle de l'histoire est donc bouclée.

Pour la robotique, le point d'orgue eut lieu en 1989 où le robot Delta, à géométrie parallèle, reçut le JIRA Award, prix décerné par l'Association japonaise de robots industriels. Une récompense qui a dix ans et qui aura passionné les chercheurs et quelques industriels en mal de nouveautés, mais les résultats d'implantations industrielles sont encore loin des objectifs de départ.

Car si cinématiquement, ce type de robots est intéressant il fallait lui trouver des applications adéquates. Au titre des avantages, on peut avancer des capacités de charges élevées, des mouvements à hautes cadences et surtout des accélérations importantes, une grande rigidité mécanique, peu de masse en mouvement... En face, quelques inconvénients sont venus perturber ce catalogue envoûtant comme sur le plan mécanique, un volume de travail restreint par la conception même du robot et un fort couplage entre le mouvement des différentes chaînes cinématiques. Mais les robots parallèles soulevaient bien des difficultés comme celle qui consiste à déterminer les modèles géométriques et différentiels ou la présence de singularités dans le volume de travail. Par exemple, l'incrément du moteur dépend de la position du robot, il va être plus petit au fur et à mesure que le robot va se rapprocher du centre, ce phénomène induit une inertie variable qui devra être gérée par le contrôleur, tout en conservant des vitesses importantes de fonctionnement.

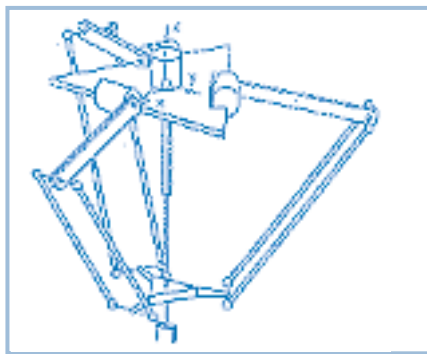
Vous imaginez aisément les freins industriels et l'engouement des chercheurs. Le monde industriel éliminait au plus vite les singularités repérées sur leurs robots sériels, des singularités qui parfois ont même bloqué les premiers robots qui se demandaient de quel côté poursuivre leur mouvement. Des complexités qui allaient forcément se retrouver dans les contrôleurs, encore une fois l'informatique devrait régler les difficultés cinématiques. Une horreur pour les industriels.

L'arrivée du Delta

De l'Université à l'Industrie, il n'y avait qu'un pas qui fut franchi avec le développement du robot Delta dont l'objectif

était de transférer des pièces de faible masse (5 à 20 grammes) à cadence élevée (>150 pièces par minute).

Ce robot à 4 degrés de liberté est constitué d'une base fixe solidaire d'un bâti support de l'installation et d'une nacelle (une sorte de plaque mobile). La liaison entre la base fixe et la nacelle est assurée par trois chaînes cinématiques, chacune d'elles est formée d'un bras monté en articulation pivot sur la base fixe et de 2 barres parallèles munies chacune d'une articulation à chaque extrémité. L'ensemble formé de 2 barres parallèles et des 2 éléments de liaison au bras et à la nacelle forme un parallélogramme.



Le préhenseur est monté en pivotement sur la nacelle et entraîné par un moteur par l'intermédiaire d'un arbre télescopique muni d'une articulation de type cardan. L'orientation de la nacelle est constamment assurée par les 3 parallélogrammes dont le petit côté supérieur est par construction toujours parallèle à l'axe de pivotement du bras.



Pour ceux que l'anecdote intéresserait, le nom de Delta provient d'un muscle de l'anatomie humaine. Chaque moteur de bras du robot remplit une fonction identique à celle du muscle de l'épaule nommé "deltoïde" qui actionne, en coopération avec d'autres muscles, la partie supérieure du bras humain. De

façon humoristique, vous aurez noté que les deltoïdes de Schwarzeneger sont plus imposants que la moyenne de nos abonnés (la rédaction ne se mouille pas trop), pour les robots Delta ce fut la même chose avec deux lignes de robots distincts.

Pour les applications de Pick and Place, ce fut Demaurex qui s'engouffra dans la brèche et décida de commercialiser le fameux robot Delta. Fut également conçu le Delta MSS, une structure beaucoup plus imposante développée par la société DeeMed, via AID, qui avait proposé ce robot pour le domaine médical.

Des développements en parallèle

La Suisse n'est pas seule à s'intéresser aux robots parallèles. En France, plusieurs laboratoires travaillent sur le sujet avec même un certain nombre de projets, comme nous allons le voir, qui sont partis alimenter les catalogues de fournisseurs nippons.

Nous n'avons pas l'intention ici de faire un point exhaustif des travaux de recherche, même si nous le voulions nous n'y arriverions pas, mais seulement citer quelques exemples montrant tout l'intérêt suscité par les robots parallèles.

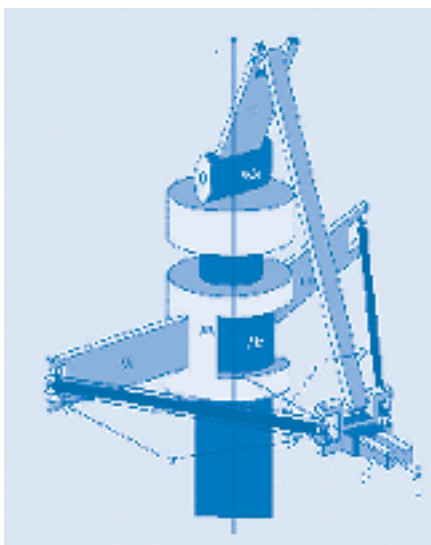
C'est à Toulouse que le Speed-R-Man est étudié depuis plusieurs années par le CERT qui a débuté en présentant un poignet à compliance active au SITEF en 1985.



C'est en comparant les caractéristiques des robots Scara qui présentent un défaut inhérent à ce type d'architecture à savoir un manque de rigidité qui ne peut être compensé qu'au prix d'une mécanique complexe et d'une structure massive que l'équipe de Claude Rebutlet de l'ONERA/CERT s'est penchée sur les structures parallèles. Le robot fut conçu dans des matériaux légers et

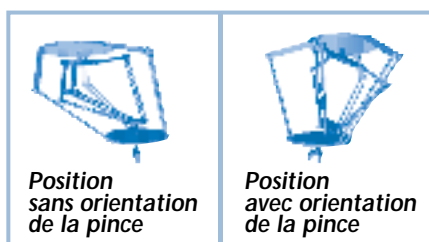
cette structure adaptée aux applications nécessitant le transfert d'objets légers à cadence élevée correspondait bien aux marchés du conditionnement, de la palettisation et de l'inspection sans oublier l'assemblage. C'est pourquoi, l'intégration d'un capteur d'effort, destiné à conférer au robot un sens tactile, a constitué une deuxième étape du projet.

Le poignet possède un grand volume de travail exempt de singularités. Sa morphologie particulière autorise le couplage de deux dispositifs identiques, l'un fonctionnant comme "maître", l'autre comme "esclave", intéressant des applications comme la chirurgie endoscopique.



Ce mécanisme, conçu pour les besoins de la téléopération, possède trois degrés de liberté en translation. Se présentant sous forme d'une boule, sur laquelle un opérateur peut poser la main, il est en combinaison avec le système précédent, utilisé comme syntaxeur à 6 degrés de liberté.

De Toulouse, direction l'Université de Poitiers ou l'équipe de JP Lallemand a développé le robot parallèle 2-Delta, un robot à 6 degrés de liberté caractérisé par le découplage entre translation et



rotation de la pince. Le robot est constitué de deux structures delta imbriquées: la première correspond au robot delta initial de Clavel et ne commande que les mouvements parallèles à la base; la seconde commande uniquement les orientations de la pince.

Les deux structures permettent de découpler les mouvements de translation et de rotation de la pince.

D'Orléans, direction Montpellier avec le LIRMM. Dans ce laboratoire, vouloir copier les mouvements de l'homme conduisait inexorablement au concept de robots sériels, aussi une nouvelle architecture fut recherchée et partant du principe de l'équipe de R. Clavel, un robot fut développé avec de nouveaux objectifs. Le but était d'obtenir un vrai six axes avec une chaîne à six degrés de liberté.

Du nom d'Hexa, ce robot repose sur un principe de six bras mobiles indépendants, les bras étant par groupe de deux, le robot pouvant même être commercialisé en trois ou six axes. Les premiers résultats aux débuts des années 90 faisaient figure d'exploit avec une vitesse de 6 m/sec et des accélérations de 22g, le tout avec une précision de 0,01 mm. Une mécanique qui intéressa le japonais Toyota Machine Works qui intégra ce robot à son catalogue.

Mais pendant ce temps, l'Ecole de Lausanne n'est pas restée sur son acquis avec des travaux sur plusieurs évolutions comme la version avec moteurs



linéaires qui devrait décupler les capacités d'accélération des robots mais également de nouvelles versions 4 et 5 degrés de libertés, et une version sphérique du robot parallèle. Seulement, avant le passage dans le monde industriel il restera à gérer les problèmes de fils embarqués, qui vont devoir supporter des mouvements rapides, répétitifs, 24 heures/24...

Et l'industrie passe la vitesse supérieure

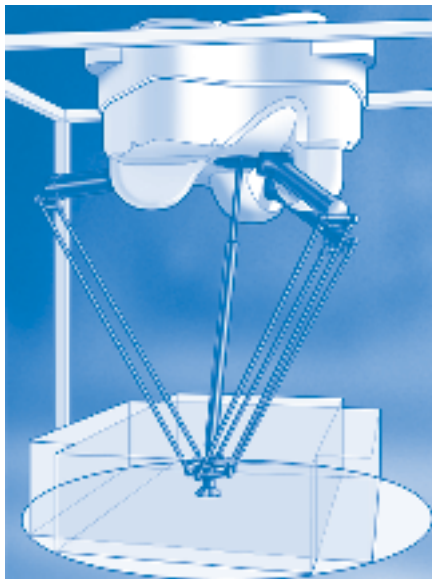
Dans l'industrie la Suisse Demarex a été suivi, non pas par les Français mais, surtout par les Suédois. L'un des premiers fut Neos, société pratiquement inconnue qui a développé le robot Tricept, un concept de robot parallèle, non basé sur une structure Delta, mis au profit de la puissance pure (revoir le chapitre sur les Deltoïdes, car ici c'est du sérieux).



Neos Robotics est une toute jeune société suédoise qui a lancé au début des années 90 un robot parallèle suspendu -triceptual- destiné à des applications d'assemblage/montage et de parachèvement. Ce produit visait à proposer un robot qui n'aurait plus les problèmes d'oscillation ou de flexion des robots traditionnels. De l'idée de départ dans le milieu des années 80, il en est sorti un concept de trois actionneurs linéaires. Seulement le concept mécanique retenu, il restait à contrôler ce robot parallèle, c'est ainsi que la PME a démarré une collaboration avec Comau en utilisant son contrôleur.

Depuis, le robot est commercialisé sous le nom de Tricept par la firme italienne pour des applications de parachèvement-montage, mais également par la société allemande SEF Roboter (créée par des anciens de Volkswagen). Parmi les chiffres, on retiendra une poussée de 15.000 N, un soulèvement de 500 kilos, une capacité de charge de 150 kilos le tout avec une précision de +/- 0,02 mm. Récemment, Neos présentait une version encore plus musclée de son produit, la version 805 piloté par une CNC et destiné au marché de la machine-outil.

Le Suédois Neos fut suivi par le Suédois (un peu suisse aussi) ABB Flexible Automation, avec un robot à structure Delta. Ce fut d'ailleurs un coup de fouet pour la profession qui pensait le brevet du Delta en sécurité en Suisse, et bien non (voir plus loin).



Avec son IRB 340 FlexPicker, ABB nous gratifie de quelques chiffres de marché. Car pour le moment les données chiffrées faisaient défaut. Tout d'abord trois grandes lignes d'applications sont visées, en premier c'est l'agroalimentaire, mais ce domaine n'est pas seul à avoir retenu l'intérêt, on trouve également les applications dans le domaine de la pharmacie et dans celui des biens de grandes consommations non alimentaires comme les détergents par exemple. Le marché total des machines de picking pour ces applications serait de 17 billions de dollars par an. ABB part du principe que la robotique pourrait prendre de 10 à 20 % de parts de marché soit de 1,7 à 3,4 billions de dollars. ABB visant les 25%, il estime sa part entre 400 et 800 millions par an.

Anecdotiquement, la firme suédoise parle de 20.000 robots pour manipuler les 49,3 millions de tonnes que représente la seule industrie agroalimentaire.

De quoi rêver, encore faut-il avoir un robot rapide. De ce côté là, l'IRB 340 tient la route. Le robot existe en trois ou quatre axes avec une capacité de charge de 1 kilo, les vitesses sont respectivement de 10 m/sec et de 3.600° par seconde, les accélérations de 100 m/sec² et de 1.200 rad/sec². Difficile de donner des temps de cycle, pourtant ABB s'y essaie en annonçant un temps de cycles de 0,5 seconde pour une enveloppe de travail de 250 mm en hauteur par 1.130 mm de diamètre.

Ce robot piloté par l'armoire S4C d'ABB peut dialoguer au travers de plusieurs bus de terrain dont DeviceNet, Interbus et Profibus mais également directement via Ethernet. Dernier point pour la vision, ABB s'est reposé sur Cognex qui voit là une des premières applications de son Patmax, une technologie qui fait suite à Search qui permettait de reconnaître une forme dans un espace à 2 dimensions, Patmax fonctionne lui dans un espace à 4 dimensions X,Y, rotation, échelle.

Et Demarex alors ?

L'arrivée d'ABB dans les robots parallèles pourraient donner un coup de pouce à cette cinématique. Mais, en dix ans, Demarex en a vu des vertes et des pas mûres et continuant son bonhomme de chemin, la firme suisse a annoncé le Top Placer et va bientôt présenter le Presto.

Car depuis le premier robot, les applications se sont succédées, par exemple on peut trouver des lignes de 7 robots pour le conditionnement de pralinées chez Nestlé, mais également 8 îlots chez Mars pour saisir les barres chocolatées en sortie de chaîne afin de les mettre dans différentes sortes de présentoirs.



L'export est également à l'honneur, parmi les références on notera General Motor, Rolex... au total ce sont un peu plus de 400 robots qui sont installés, avec notamment des ventes importantes au Japon, via Hitachi Seiki qui représente la firme Suisse en Asie. Aujourd'hui l'objectif de Marc Olivier Demarex est de commercialiser 150 robots/an dont 1/3 en Asie, 1/3 en Europe et 1/3 aux USA, en faisant appel notamment aux Top Placer et Presto.

Conçu pour saisir au vol des produits par aspiration et les mettre en carton à grande vitesse, le nouveau Top Placer accepte tout type de produit jusqu'à 1 kilo. En prise séquentielle de 6 sachets sur un convoyeur à 30 mètres/minutes, cet îlot de remplissage de boîtes atteint une moyenne de 180 sachets par minute. Le Top Placer est livré en configuration standard avec le robot, une armoire de commande, d'un tapis d'amenée, d'une encartonneuse, d'un transport de cartons et si nécessaire d'un module de vision. Il est à noter que toutes les boîtes sont acceptées tant qu'elles rentrent dans un volume de 300 mm de large sur 370 mm de haut. Le Presto va concerner un autre type d'applications celui des Flowpack (pour les non-spécialistes de l'agroalimentaire, il s'agit de l'emballage de barres type chocolatées). Avec ces deux nouveaux produits, Demarex propose donc un concept de package que ne dénierait sûrement pas ABB.

Un brevet qui réunit tout le monde

L'histoire pourrait s'achever ici, seulement la plupart des intervenants précédents vont refaire une apparition dans ce dernier chapitre. Car l'IRB340 fait partie de la famille Delta, tout autant que le Delta Demarex.

Le brevet du Delta appartient à Demarex qui en présenta les premiers exemplaires en 1989. Mais avant que Demarex ne rachète le brevet du Delta dont il avait industrialisé les prototypes, le propriétaire du brevet, l'Ecole Polytechnique de Lausanne, avait vendu deux licences d'exploitation. L'une concernant les robots de petites dimensions (bras + avant-bras < 800 mm) a été attribuée à Demarex et une à AID racheté par DeeMed pour les robots de grandes dimensions. Cette entreprise ayant été racheté par la société suédoise Elekta IGS spécialisée dans le domaine chirurgical, c'est cette dernière qui a négocié avec ABB.

C'est ainsi que vous noterez que le robot ABB se situe dans les grandes dimensions (1.200 mm), Demarex n'ayant pas encore présenté de robots pour cette

Des structures parallèles c'est bien, encore faut-il trouver les composants idéals, notamment pour les hexapodes et autres tripodes. Mais le marché est tel que plusieurs offreurs viennent d'investir le créneau, c'est le cas d'Ina Roulements qui propose une série d'articulations pour cinématique parallèle. Trois types d'articulations sont commercialisés, les articulations sphériques à billes pour la manutention lourde, les articulations à joint universel avec des angles d'oscillation importants et plutôt adaptées à la manutention légère et enfin, les articulations à cardan pour les articulations imposants de grands déplacements.

Ina propose des bras télescopiques, existant en deux dimensions, et qui peuvent être équipées de l'une ou l'autre des articulations décrites ci-dessus.

catégorie (le Delta est à 780 mm), mais en parallèle avec ces événements, la

société suisse vient d'annoncer le développement prochain de robots de plus grandes dimensions (vraisemblablement aux alentours de 1.200 mm). Car en rachetant le brevet, Demarex a également acquis les obligations, c'est à dire que la société Suisse, si elle est seule détentrice des droits pour les robots < à 800 mm, ne peut pas développer de robots > 1.200 mm.

De petits détails viennent donner à ce brevet un peu de piment, par exemple Demarex détient seul la possibilité de développer un robot équipé de moteurs Direct Drive (encore faudra t-il régler les problèmes d'inertie variable que nous avons évoqués plus haut) et les robots à moteurs linéaires (avec les difficultés de fils embarqués). Mais d'autres ouvertures seraient actuellement dans les cartons, attendons.

Si tous les protagonistes voient un regain d'intérêt pour les robots parallèles, c'est qu'ils sont confortés par l'arrivée de robots orientés de plus en

plus vers des marchés spécifiques. Certes les robots restent génériques, mais il n'en demeure pas moins que les robots de palettisation ressemblent de moins en moins à ceux de soudage, d'assemblage ou de picking.

La meilleure preuve en a été donnée par la présence à la dernière foire de Hanovre des robots précédemment cités mais également de l'apparition du nouveau Fanuc, un robot parallèle d'un autre type que le Delta, un hexapode, composé de six bras indépendants et similaires, qui va permettre à une plateforme de se mouvoir dans toutes les directions, un robot avec des capacités de charges de 100 kilos et une précision de 0.1 mm.

De nouveaux robots qui montrent que le marché est prêt, mais également que les problèmes techniques aussi bien mécanique qu'informatique sont totalement réglés, car le monde industriel a horreur d'essayer les plâtres. ■

Guy FAGES