

Session 4 : Technologies génériques de l'intervention sous-marine (robotique)

TAO PAR SYNTAXEUR PARALLELE

Constantino DIAZ

LOGABEX
20 Avenue Didier Daurat
31400 TOULOUSE

En téléopération, l'organe maître sur lequel agit l'opérateur ressemble, pour des raisons pratiques et historiques, au bras esclave et adopte donc une architecture série qui possède un certain nombre d'inconvénients portant sur la masse, l'encombrement, la rigidité et la complexité mécanique.

Nous présentons un organe maître à cinématique parallèle qui pallie ces défauts. Ce syntaxeur, à six degrés de liberté, dérivé des manipulateurs de Steward, est composé de six liaisons motorisées, disposées entre un plateau fixe (la base) et un plateau mobile sur lequel est fixé un capteur d'efforts six axes et une poignée.

Le dispositif est rendu artificiellement libre sur certains axes ou la totalité, grâce à un logiciel de commande hybride position effort qui traduit le torseur d'efforts appliqué par l'opérateur sur la poignée, en déplacement pour le syntaxeur, ainsi que pour le bras esclave. L'opérateur peut de cette manière piloter le syntaxeur et le bras esclave sur des mouvements libres, ou contraints, tels le perçage, le tronçonnage.

Lorsque l'esclave est également muni d'un capteur d'efforts six axes dans sa partie terminale, le torseur d'efforts opérationnel est alors envoyé vers le maître, de manière à réaliser un système de téléopération bilatérale doté de modes connus tels la suppression de poids, l'homothétie d'efforts.

Session 4 : Basic underwater technology (robotics)

COMPUTER-AIDED REMOTE CONTROL BY PARALLEL SYNTACTOR

Constantino DIAZ

LOGABEX
20 Avenue Didier Daurat
31400 TOULOUSE

In remote control, the master element which the user operates looks for practical and historical reasons like the slave arm and therefore features a series architecture, with a few drawbacks in terms of mass, dimensions, rigidity and mechanical complexity.

To remedy these defects, we are now introducing a new master element with parallel kinematics. This syntactor, derived from Steward's manipulators, has six degrees of freedom and comprises six motor-driven links arranged on a fixed plate (the base) and a moving plate on which a 6-axis force transducer and a handle are mounted.

The device is made artificially free along a few or all axes by means of a hybrid position / force control software which translates the wrench of forces applied by the operator on the handle into displacement for the syntactor, as well as for the slave arm. The operator can thus control the syntactor and the slave arm on free moves, or forced moves, such as drilling, cutting.

When the slave is also equipped with a 6-axis force transducer in its terminal part, the operational wrench of forces is then sent to the master in order to implement a two-direction remote control system with known modes, such as weight suppression, homothetic forces.

TAO PAR SYNTAXEUR PARALLELE

Constantino Diaz

Département Robotique
Logabex, 20 av Daurat
31400 Toulouse

INTRODUCTION

En robotique non manufacturière, et notamment sous-marine, les tâches à réaliser sont en général trop diversifiées et le contexte de travail trop évolutif pour permettre une approche de type robotique classique. De ce fait, la démarche courante consiste à utiliser un système de Télémanipulation Assistée par Ordinateur qui permet l'intégration progressive de processus automatiques de reconnaissance de formes, d'identification de scènes, de génération de plans d'actions, de supervision d'exécutions..., afin de créer un système de Téléopération présentant à la fois un caractère autonome et versatile.

L'organe maître sur lequel l'opérateur exprime les déplacements à réaliser par le bras esclave joue un rôle primordial car il doit être transparent pour l'homme, tant du point de vue physique que mental, ceci afin de ne pas ajouter une surcharge par rapport à la tâche à accomplir dans le milieu hostile.

Les syntaxeurs, également appelés bras maître, mini-bras maîtres, exosquelettes, en fonction de leur morphologie, possèdent une structure mécanique série, qui recopie plus ou moins fidèlement l'architecture série du bras esclave.

Un nouveau type de syntaxeur doté d'une architecture parallèle est présenté. Il possède des caractéristiques intéressantes:

- encombrement réduit,
- grande rigidité,
- faible masse,
- simplicité mécanique, modularité, faible variété de composants
- facilité de maintenance,
- restitution d'efforts importants.

PRESENTATION DU SYNTAXEUR

Il est constitué de (figure 1) :

- un manipulateur parallèle motorisé (1a),
- un capteur d'efforts six axes disposé sur la partie terminale du manipulateur (1b),
- une poignée destinée à être manipulée par l'opérateur (1c),
- un ordinateur (1d) sur lequel est implanté un logiciel de commande hybride position-efforts qui traduit les variations d'efforts au niveau de la poignée en variations de position de celle-ci.

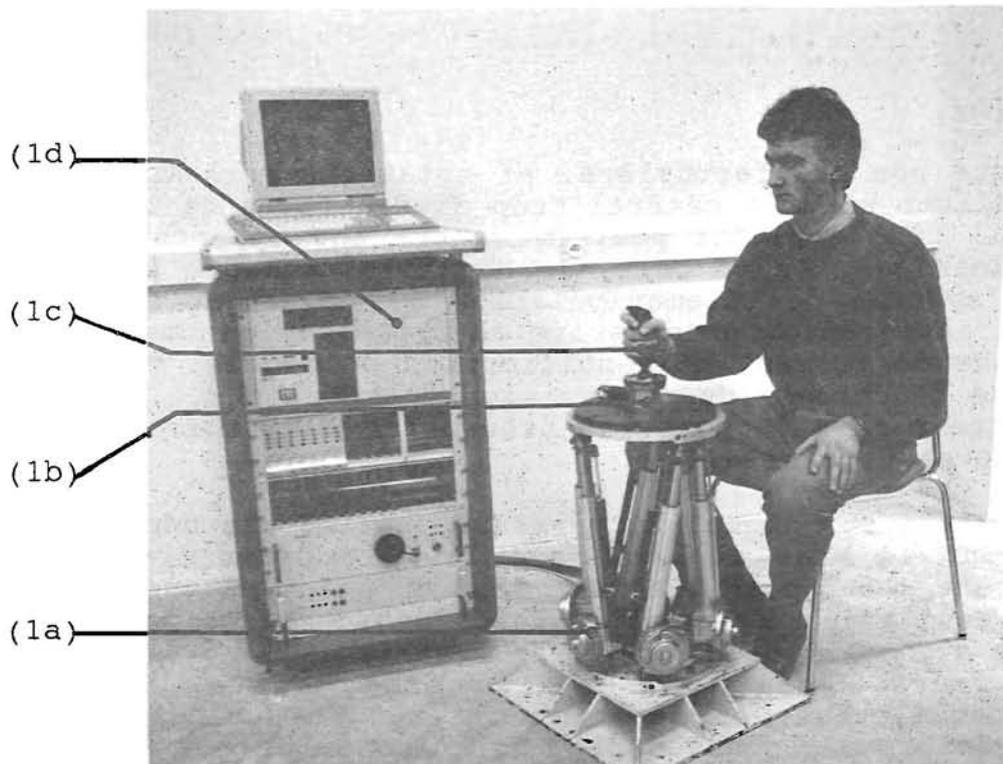


figure 1

1 MANIPULATEUR

1_1 Structure:

Il s'agit d'un mécanisme parallèle connu sous le nom de " Manipulateur de Stewart " [STEWART 1965]. Ce mécanisme est depuis longtemps employé en aéronautique dans la réalisation de simulateurs de vol et depuis peu en robotique pour la réalisation de robots d'assemblage et de parachèvement.

Le manipulateur est composé de (figure 2):

- deux plateaux:
 - un plateau fixe servant de base de référence (2a),
 - un plateau mobile recevant l'élément terminal (2b),
- six actionneurs linéaires, tous identiques, en technologie électrique (2c),
- douze liaisons de type cardan, également identiques, réalisant la jonction vérins-plateaux (2d).

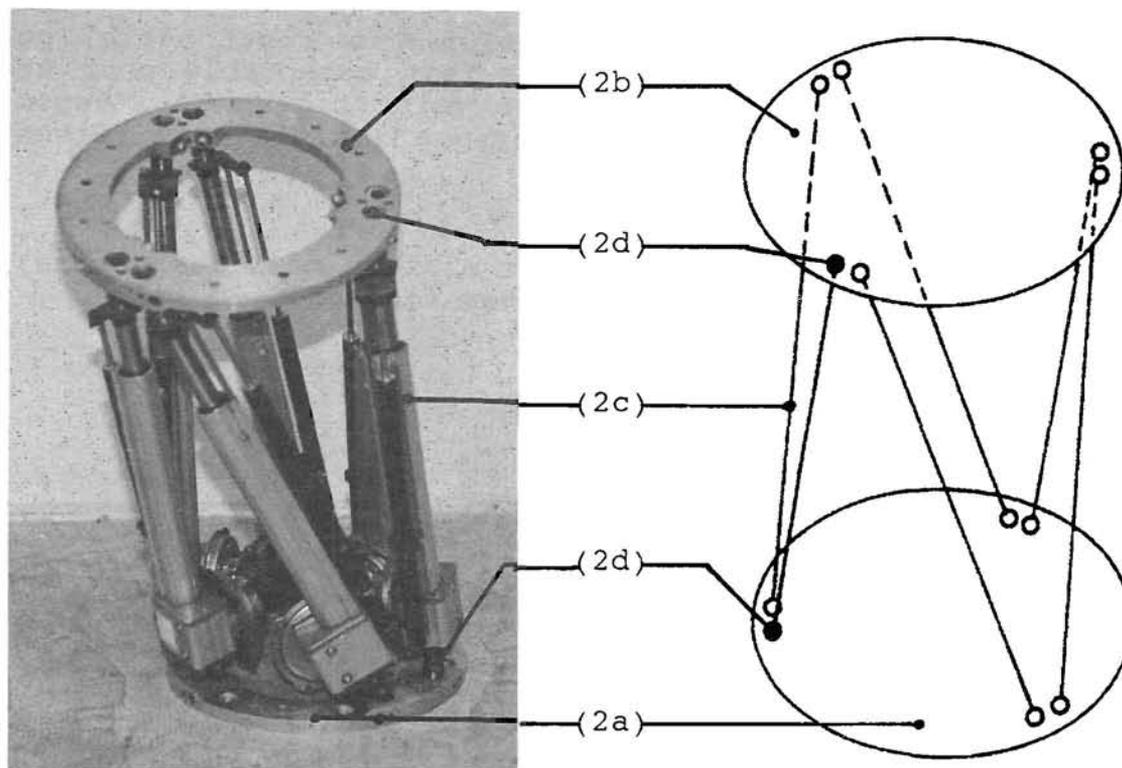


figure 2

Les six vérins sont disposés entre les deux plateaux suivant une architecture angulée, de manière à créer un système triangulé fermé isostatique.

Le mécanisme possède six mobilités internes et excepté en des points singuliers [Merlet 1988], que le concepteur place en dehors de l'espace effectivement accessible, il génère six degrés de liberté au niveau du terminal. En dehors de ces points, le système est "carré": toute combinaison de longueurs d'actionneurs engendre une et une seule situation relative d'un plateau par rapport à l'autre. Le manipulateur est alors continuellement commandable.

L'agencement triangulé conduit à des contraintes mécaniques dans les actionneurs qui sont de type traction et compression, permettant de réaliser un système nettement plus rigide que les structures ouvertes, telles les bras classiques, dans lesquelles les contraintes de flexion et torsion existent.

Ces contraintes de traction-compression nécessitent l'utilisation de peu de matière, de plus les actionneurs participent à la charpente du robot. Le système résultant est alors, pour une charge terminale donnée, plus léger qu'un bras série.

Le mécanisme obtenu est simple et possède une faible variété de pièces. Sa conception, fabrication et maintenance s'en trouvent facilitées. Quant au stock de pièces de rechange nécessaires, il est minime.

1_2 Espace Accessible

Celui-ci est limité par rapport à celui d'un robot série, notamment en rotation, mais reste tout à fait acceptable pour une utilisation de type syntaxeur. On peut voir (figure 3) l'espace accessible du manipulateur utilisé, lorsque les plateaux restent parallèles.

Il est conditionné par:

- les butées articulaires (longueurs mini et maxi des vérins),
- les angles admissibles au niveau des liaisons,
- les dimensions de plateaux.

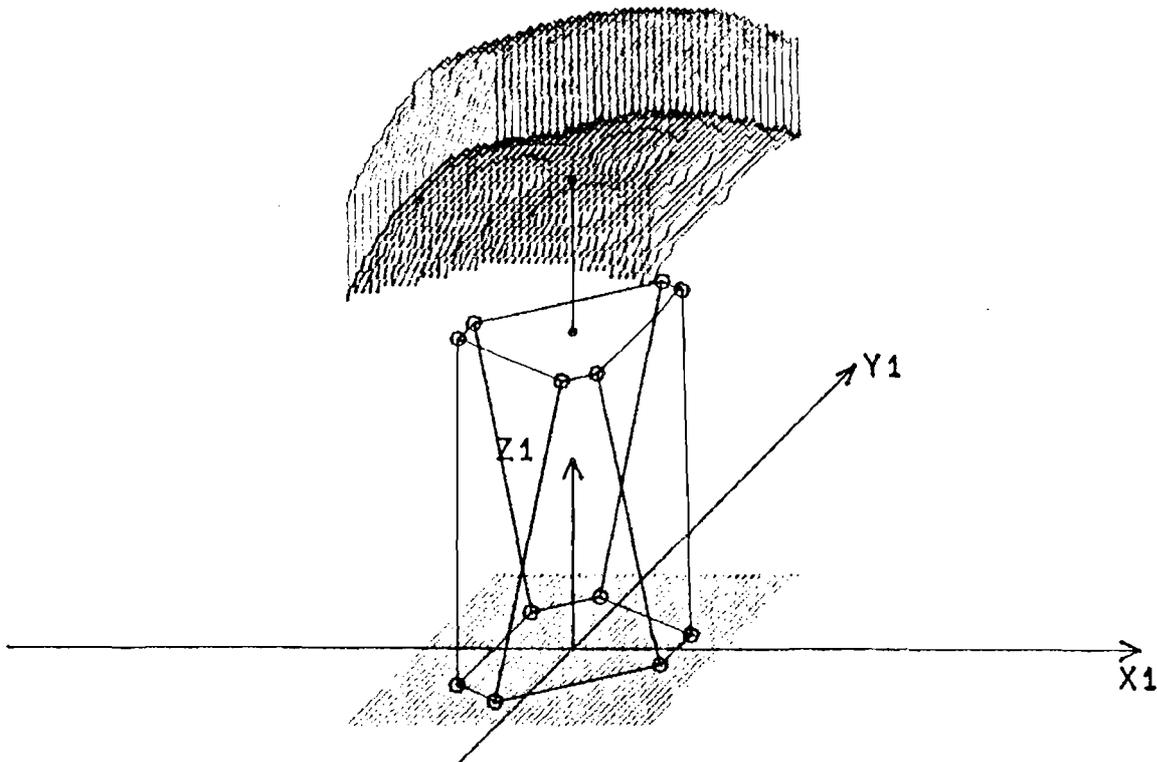


figure 3

1_3 Commande

Les déplacements du plateau mobile par rapport au plateau fixe sont spécifiés dans l'espace cartésien. Or, les variables commandées par l'électronique sont les longueurs de vérins. Il est dès lors évident que des modèles réalisant les transformations d'espaces sont nécessaires.

Modèle Inverse:

Il est utilisé dans la commande en position du manipulateur et permet de calculer les longueurs à donner aux 6 vérins pour générer une situation relative donnée d'un plateau par rapport à l'autre. Le calcul est analytique et ne présente pas de difficultés particulières, contrairement aux robots classiques. La symétrie ternaire du robot autorise en outre une optimisation considérable du volume d'opérations à réaliser.

Modèle Direct:

Il est utilisé dans la commande hybride du syntaxeur et permet de définir la situation relative des deux plateaux, connaissant les longueurs de vérins.

Malgré l'acharnement de nombreuses personnes [Charentus 1989], [Bellido 1989], aucun modèle purement analytique n'est pour l'instant disponible. L'emploi de procédures itératives est alors nécessaire, la plus simple consistant à utiliser la Jacobienne du système. Certaines méthodes permettent d'accélérer le volume de calculs, ainsi l'utilisation d'une Jacobienne précalculée en un point central conduit à un nombre d'itérations plus grand, mais diminue le temps de calcul.

2 CAPTEUR D'EFFORTS SIX AXES

2_1 Structure (figure 4)

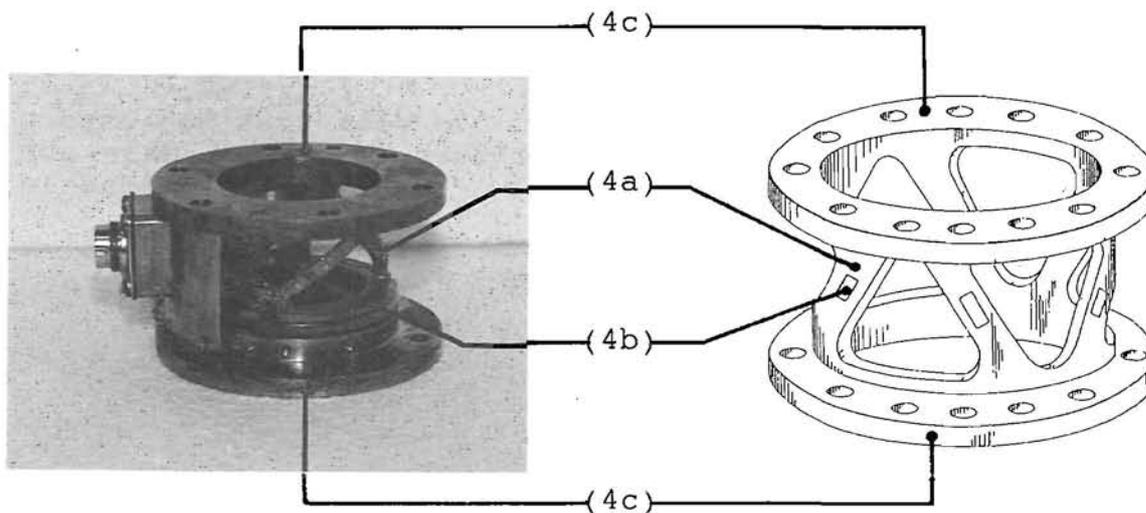


Figure 4

Sa structure en treillis est semblable au manipulateur. Il est réalisé à partir d'un cylindre creux, dans lequel sont taillées des lumières de manière à faire apparaître six poutres (4a) qui sont instrumentées par des jauges d'élongation (4b). Chaque extrémité du capteur est terminée par une bride (4c) permettant sa

fixation. L'aspect monolithique du capteur lui confère une rigidité élevée et l'absence totale de jeux.

La relation entre efforts mesurés au niveau de chaque poutre (par les jauges) et le torseur appliqué au capteur est de type matriciel et linéaire dans la plage d'utilisation du capteur. La matrice, déterminée théoriquement lors de la conception, est ensuite identifiée plus finement sur banc, une fois le capteur réalisé. Cette procédure annule ainsi les effets dûs à la dispersion entre poutres résultant de l'usinage et du collage de jauges.

La taille du capteur est uniquement fonction du torseur mesurable, elle s'affranchit ainsi des dimensions maximales ou minimales des composants du commerce entrant dans la conception d'autres capteurs multi-axes.

2_3 Calcul du torseur mesuré

Après conditionnement des signaux analogiques et conversion analogique-numérique, les valeurs des 6 ponts de jauges sont multipliées par la matrice gain pour former le torseur mesuré (3 composantes d'effort et 3 composantes de moment).

3 POIGNEE DE COMMANDE

Elle assure l'interface avec la main de l'opérateur et comporte des boutons pour l'utilisation en TAO (figure 5):

- homme mort: le maître est actif si l'interrupteur (5a) est actionné,
- couplage/découplage maître-esclave: le maître et l'esclave sont actifs (recopie de l'un sur l'autre) si la gachette (5b) est enfoncée.

L'opérateur peut ainsi déplacer l'esclave dans tout son espace de travail (en principe élevé) par pompages du maître dans son espace propre (qui est à taille humaine), et dès qu'il lâche la poignée, les deux se figent.

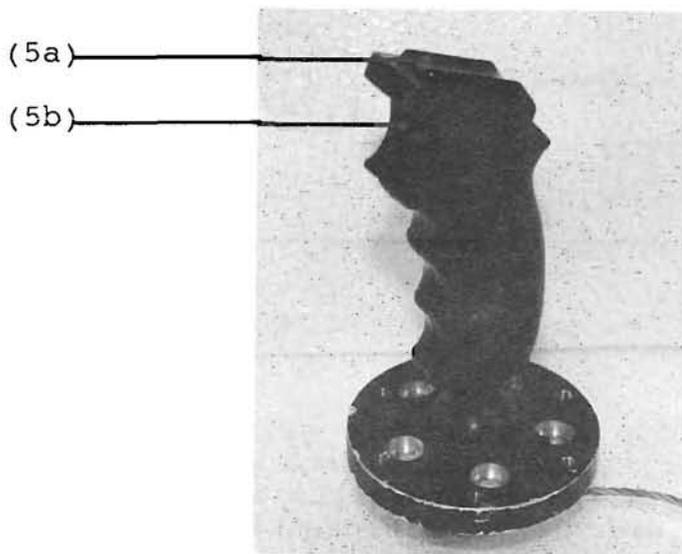


figure 5

4 COMMANDE HYBRIDE POSITION-EFFORT

4_1 Principe (figure 6)

Le concept, développé depuis quelques années [Raibert 1981], [Robert 1986], consiste à sélectionner chacun des six degrés de liberté du manipulateur pour le commander en position ou en effort. Dans le cas où l'axe est commandé en position, la consigne est une consigne de position. Dans le cas où il est commandé en effort, la consigne est alors un agrégat de position mesurée (la position courante de ce degré de liberté) et de variation d'effort constatée sur cet axe (mesurée par le capteur d'efforts).

Ce principe appliqué au syntaxeur peut également être implanté sur le bras esclave pour des actions réalisées en mode automatique (insertion, suivi de surface..).

Dans tous les cas, les axes commandés en position peuvent faire l'objet d'une génération de trajectoire.

L'effort consigne pour les axes commandés en effort peut être:

- nul, le système s'efface alors sous la contrainte extérieure et s'arrête dès que celle-ci cesse;
- non nul, le système se déplace tant qu'il ne rencontre pas un obstacle, il s'asservit ensuite dessus en exerçant l'effort désiré.

Enfin, en plus du choix binaire commande position/commande effort, chaque axe peut être commandé à la fois en position et en effort. En l'absence d'efforts extérieurs, l'axe est asservi en une position donnée. Il s'efface sous un effort perturbateur, en résistant d'autant plus que la position courante est loin de la position consigne. Il revient au point d'asservissement dès que l'effort cesse. Un ressort virtuel dont on peut choisir la raideur est ainsi superposable sur chacun des six axes, en n'importe quel endroit de l'espace accessible.

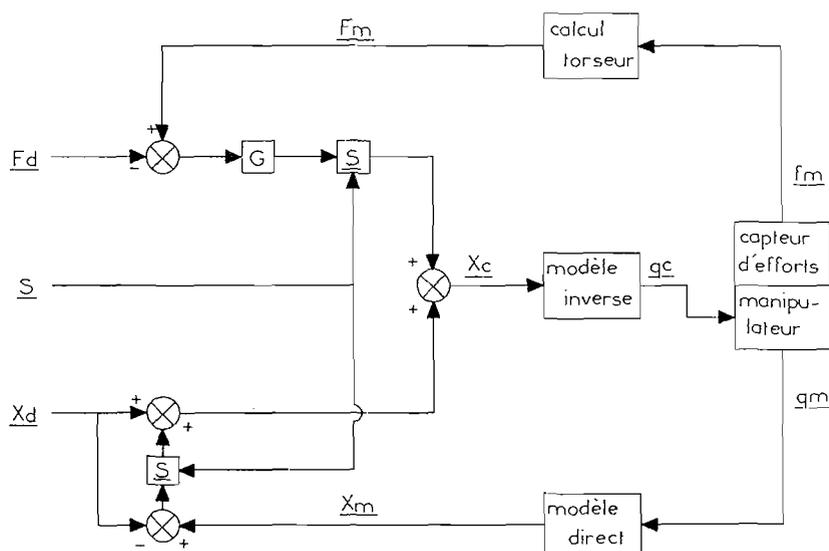


figure 6

4_2 Application

Le logiciel de pilotage du syntaxeur prévoit quatre modes:

* Les six degrés de liberté du manipulateur sont sélectionnés pour être commandés en effort, avec une consigne d'effort nul: le syntaxeur est alors libre, et toute variation de torseur sur la poignée se traduit en mouvement de la poignée dans le même sens, le manipulateur suit la main de l'opérateur. Dans ce cas la motorisation du syntaxeur n'est exploitée que pour permettre le suivi du mouvement (également réalisable par un système purement passif).

* Seuls certains degrés de liberté sont pilotés en effort: le syntaxeur est alors bloqué sur les autres axes et l'opérateur ne peut manipuler que suivant les axes libres. Ce mode est utilisé pour des tâches spécifiques. Ainsi lors de la réalisation d'un perçage, les trois rotations et deux translations sont figées, alors que la troisième translation est placée en mode effort. La motorisation du syntaxeur est alors active et crée un robot cartésien virtuel.

* Un capteur d'efforts est placé sur le poignet du bras esclave et l'information de torseur terminal esclave est mixée au niveau du maître. Un retour des efforts esclave est alors réalisé sur le syntaxeur (dans l'un quelconque des deux modes précédents). L'opérateur ressent l'entrée en contact de l'esclave et de son environnement ainsi que l'effort exercé (poids de la pièce manipulée, effort de perçage..).

* Un effet de ressort virtuel est superposé à certains axes (choisis par l'opérateur) de manière à réaliser des trajectoires dans des tubes flous.

CARACTERISTIQUES DE LA MAQUETTE REALISEE

1 Manipulateur

Le manipulateur parallèle utilisé sur le site d'expérimentation de Logabex est composé de six vérins électriques, de course 200mm, capables de développer un effort de 150 daN chacun. Ils intègrent un moteur à courant continu, un réducteur et une vis à billes. Un capteur linéaire est disposé parallèlement à chaque vérin, à des fins d'asservissement.

L'espace accessible est assimilable à une boule de diamètre 200mm. Les efforts et couples engendrés au niveau de la poignée sont supérieurs à ceux que peut générer un opérateur. La vitesse est de l'ordre de 3 cm/s.

Le manipulateur a une forme cylindrique, de diamètre 350mm, de hauteur 550mm en position neutre, et pèse 25 kg.

Chaque vérin est asservi par un calculateur à travers un port numérique-analogique et une carte de puissance d'axe Logabex MCX 50.

2 Capteur

Le capteur employé lors des essais supporte des efforts de l'ordre de 100 daN et des moments de 5 daN.m . Le conditionnement des jauges et la conversion analogique-numérique sont réalisés par une carte Logabex DXC2121 qui dialogue avec le calculateur précédent à travers un bus.

3 Logiciel

Le logiciel de commande hybride du syntaxeur est implanté sur le même ordinateur. Celui-ci est basé sur un processeur 80386 travaillant sous système d'exploitation multitâches. Le programme est exécuté à une fréquence de 100 Hz. Une interface homme-machine par menus déroulants le complète de manière à permettre la mise au point du système (réglage de gains...).

ESSAIS, DEVELOPPEMENTS FUTURS

Le syntaxeur décrit a été expérimenté pour le pilotage d'un bras hydraulique (figure 7).

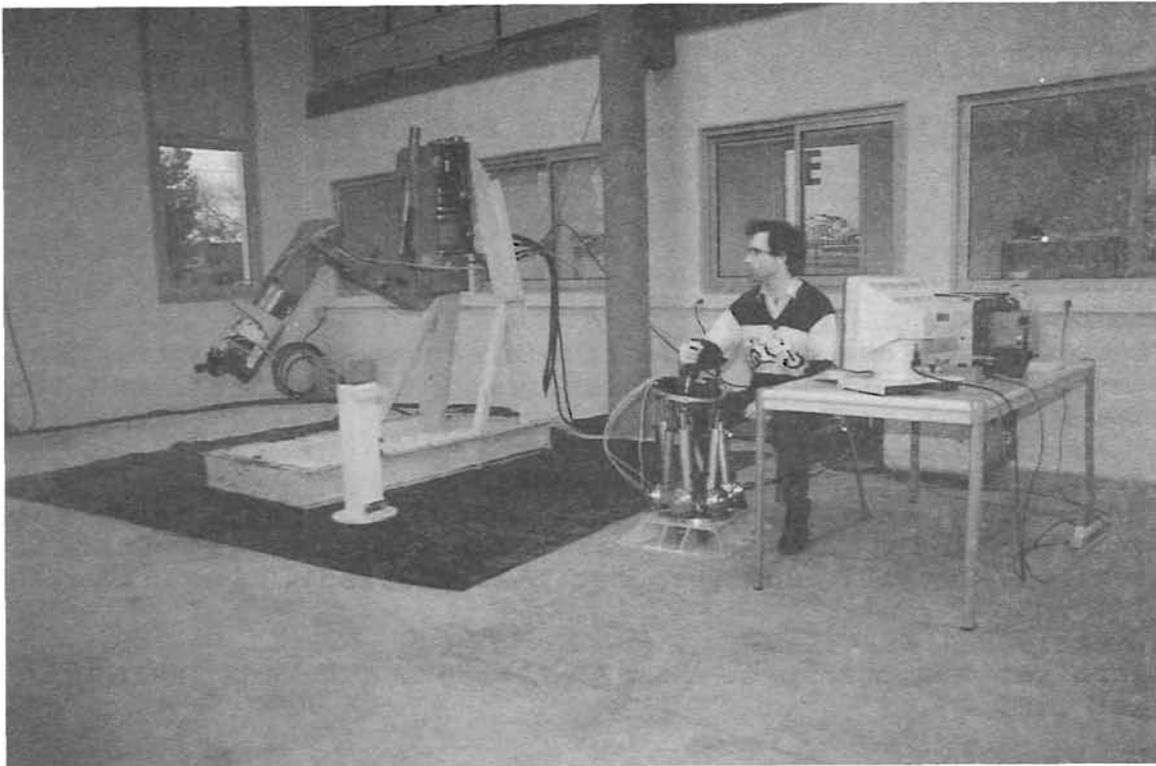


figure 7

Divers modes et tâches ont été essayés:

- manipulation sur 6 degrés de liberté,
- prise / dépose d'objets,
- empilements,
- insertions, suivi de surfaces,
- manipulation sur quelques degrés de liberté seulement...
- homothéties de déplacements (0.1, 1, 10),
- retour d'efforts pondérés (rapport 0.1, 1, 10).
- suppression du poids terminal de l'esclave.
- ressort virtuel de raideurs différentes.

Les essais ont montré qu'un tel mécanisme parallèle est adapté pour la commande d'un bras esclave.

Il faut toutefois remarquer que le manipulateur et le capteur employés n'ont pas été développés spécifiquement pour l'emploi qui en est fait et qu'ils sont de ce fait surdimensionnés.

L'étape suivante consiste à industrialiser ce système. Pour cela trois actions doivent être lancées:

- réalisation d'un manipulateur parallèle
 - plus léger,
 - plus rapide,
 - ayant un espace accessible plus important,
- fabrication d'un capteur d'efforts
 - compact,
 - davantage adapté aux efforts humains,
- développement d'un calculateur dédié à la gestion du syntaxeur, à partir de cartes déjà disponibles de
 - conditionnement de signaux,
 - calcul rapide.

CONCLUSION

Une maquette de syntaxeur parallèle, utilisable en téléopération pour le pilotage d'un bras esclave, a été réalisée par Logabex. Le principe a été essayé et validé sur site d'expérimentation. Le développement d'une version industrielle est à faire.

Remerciements: les études menées ont été en partie financées par l'ANVAR.

BIBLIOGRAPHIE

[Bellido 1989] BELLIDO A.

"Etude du problème direct de la plateforme de Stewart", DEA de mathématiques appliquées, Laboratoire d'Analyse Numérique, Université P. Sabatier Toulouse, 21 sept. 1989.

[Charentus 1989] CHARENTUS S., RENAUD M.

"Modelling and control of a modular, redundant robot manipulator", 1st Int. Symposium on Experimental Robotics, Montréal, 19-21 juin 1989 (rapport LAAS n°89255).

[Merlet 1988] MERLET JP.

"Parallel manipulators, part2: theory", Rapport INRIA n°791, février 1988.

[Raibert 1981] RAIBERT M.H., CRAIG J.J.

"Hybrid position/force control of manipulators", J. of Dynamic Control, Measurement Control 102, pp126-133, june 1981.

[Robert 1986] ROBERT A.

"Commande hybride position-force; mise en oeuvre et expérimentation sur un micro-manipulateur parallèle", Thèse DI n°128, EN-SAE Toulouse, 16 déc 1986.

[Stewart 1965] STEWART D.

"A platform with 6 degrees of freedom", Proc. of the institution of mechanical engineers 1965-1966, vol 180, part 1, number 15, pp 371-386.