

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale

WO 2012/069430 A1

(43) Date de la publication internationale
31 mai 2012 (31.05.2012)

(51) Classification internationale des brevets :
B25J 9/10 (2006.01) B25J 17/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/070598

(22) Date de dépôt international :
21 novembre 2011 (21.11.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR1004525 22 novembre 2010 (22.11.2010) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : CNRS DIRE [FR/FR]; 3 rue Michel-Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR). ECOLE CENTRALE DE NANTES [FR/FR]; 1 rue de la Noë, F-44300 Nantes (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BRIOT, Sébastien [FR/FR]; 47 rue Martin Luther King, F-44240 La Chapelle Sur Erdre (FR). CARO, Stéphane [FR/FR]; 2 quai de la Jonelière, Appt 2, F-44300 Nantes (FR). GERMAIN, Coralie [FR/FR]; 2 rue de Lusanger, F-44590 Sion les Mines (FR).

(74) Mandataire : SAINT-MARC-ETIENNE, Christophe; Technopôle Atalante, 16B rue de Jouanet, F-35703 Rennes Cedex 7 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, TM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TN), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PARALLEL ROBOT WITH TWO DEGREES OF FREEDOM HAVING TWO KINEMATIC CHAINS WITH MAXIMIZED FLEXURE STIFFNESS

(54) Titre : ROBOT PARALLELE A DEUX DEGRES DE LIBERTE PRESENTANT DEUX CHAINES CINEMATIQUES DONT LA RAIDEUR EN FLEXION EST MAXIMISEE

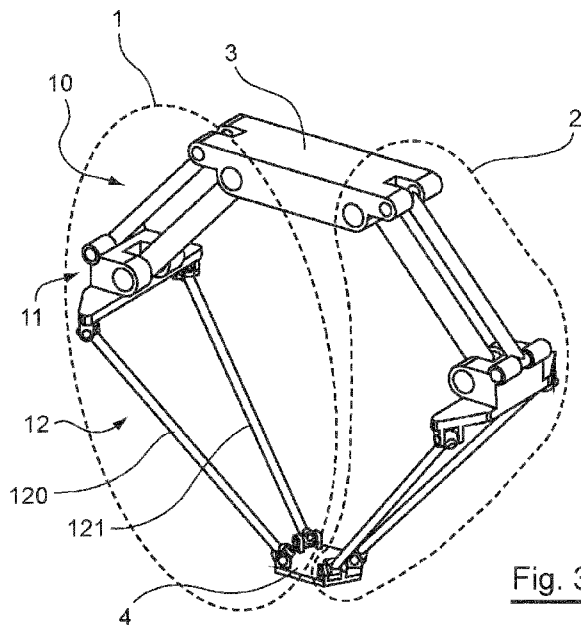


Fig. 3

(57) Abstract : The invention relates to a parallel robot consisting of two kinematic chains (1, 2) connecting a base (3) to a platform (4) which is intended to be moved relative to the base, said robot comprising only two degrees of freedom such that the platform can be moved relative to the base in a plane (x, z) of a space (x, y, z) in which the x, y, and z directions are orthogonal, wherein the kinematic chains each include a bend (11) connecting a proximal sub-chain (10) connected to the base and a distal sub-chain (12) connected to the platform, said proximal sub-chain being intended to drive the bend in translation in the (x, z) plane, characterized in that the distal sub-chain of at least one of the two kinematic chains includes two rods (120, 121) spaced from each other in the (y) direction, a first end of each rod being connected to said bend by a link system consisting of two pivots (50, 51, 60, 61) having mutually orthogonal axes, wherein the axes of the two pivots (50, 51) of the link system of one of the rods (120) each define a non-zero angle with the axes of the two pivots (60, 61) of the link system of the other rod (121), the second end of each rod being connected to said platform by a link system also consisting of two pivots (52, 53, 62, 63) having mutually orthogonal axes, wherein the axes of the two pivots (52, 53) of the link system of one of the rods (120) each define a non-zero angle with the axes of the two pivots (62, 63) of the link system of the other rod (121).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2012/069430 A1

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

L'invention concerne un robot parallèle composé de deux chaînes cinématiques (1, 2) reliant une base (3) à une plate-forme (4) destinée à être déplacée par rapport à la base, du type présentant uniquement deux degrés de liberté de telle sorte que la plate-forme est susceptible d'être déplacée par rapport à la base dans un plan (x, z) d'un espace (x, y, z) dans lequel les directions x, y et z sont orthogonales entre elles, les chaînes cinématiques présentant chacune un coude (11) reliant une sous-chaîne proximale (10), elle-même reliée à la base, et une sous-chaîne distale (12), elle-même reliée à la plate-forme, ladite sous-chaîne proximale étant destinée à entraîner le coude en translation dans le plan (x, z), caractérisé en ce que la sous-chaîne distale de l'une au moins des deux chaînes cinématiques comprenant deux barres (120, 121) écartées l'une de l'autre dans la direction (y), une première extrémité de chaque barre étant reliée audit coude par un système de liaisons composé de deux pivots (50, 51, 60, 61) d'axes orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots (50, 51) du système de liaisons d'une des barres (120) formant chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots (60, 61) du système de liaisons de l'autre barre (121), la deuxième extrémité de chaque barre étant reliée à ladite plate-forme par un système de liaisons composé également de deux pivots (52, 53, 62, 63) d'axes orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots (52, 53) du système de liaisons d'une des barres (120) formant chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots (62, 63) du système de liaisons de l'autre barre (121).

Robot parallèle à deux degrés de liberté présentant deux chaînes cinématiques dont la raideur en flexion est maximisée.

Le domaine de l'invention est celui de la conception et de la fabrication des robots manipulateurs. Plus précisément, l'invention concerne un robot
5 parallèle à deux degrés de liberté de translation, conçu pour des applications impliquant le placement de composants ou d'objets à haute cadence, ces applications étant communément désignées par les termes de « pick and place ».

Dans le domaine de l'invention, les robots utilisés pour les applications de manipulation à haute cadence sont peu nombreux. Les robots de ce type
10 peuvent toutefois être classés en deux catégories principales :

- les robots sériels, composés d'une succession d'éléments rigides et d'articulations motorisées, formant ainsi une chaîne cinématique ouverte, l'organe piloté étant relié à la base par une seule chaîne cinématique ;
- 15 - les robots parallèles, composés d'au moins deux chaînes cinématiques, reliant la base à l'organe piloté, désignés couramment par le terme de « plate-forme », formant ainsi une architecture fermée.

Chaque catégorie peut encore être décomposée en sous catégories en
20 fonction du nombre de degrés de liberté du robot.

Dans la catégorie des robots sériels, les plus performants permettent d'atteindre des accélérations de 8 G, pour des temps de cycle Adept ($\Delta z = 0,025$ m, $\Delta x = 0,3$ m) de 0,4 s, et une répétabilité de l'ordre du centième de millimètre. Ces robots présentent quatre degrés de liberté : 3 translations et 1
25 rotation de l'organe piloté.

Dans la pratique, on constate que ces robots présentent des limites en termes d'accélération ; ceci est principalement dû à leur architecture sérielle. En effet, les masses en déplacement sont généralement importantes puisque les éléments des robots sériels portent, en plus de la charge, le poids des éléments de
30 la chaîne cinématique reliant la base et l'organe piloté. Ils sont ainsi soumis à des sollicitations de flexion importantes et doivent être alourdis et volumineux pour

garantir une bonne raideur globale au robot. Leurs capacités dynamiques d'accélération sont donc fortement dégradées.

A l'inverse, les robots d'architecture parallèle présentent l'avantage de minimiser les masses en mouvement, en particulier lorsque les moteurs sont
5 fixés sur la base, ce qui permet d'améliorer les performances dynamiques.

Par ailleurs, les architectures fermées engendrent intrinsèquement une raideur plus importante des chaînes cinématiques mises en œuvre.

Des robots industriels pour les applications de type « pick and place » ont donc été développés sur la base d'architectures parallèles. Les robots de ce type
10 ont des capacités d'accélération plus importantes (allant de 15 G à 25 G) que les robots sériels, avec des temps de cycle Adept pouvant être compris entre 0,25 s et 0,33 s.

Globalement, même si la répétabilité des robots parallèles utilisés pour les applications de pick and place (de l'ordre de 0.1 mm) est moins bonne que
15 celle des robots sériels utilisés pour les mêmes tâches (de l'ordre de 0.008 mm), les robots parallèles permettent clairement d'améliorer les temps de cycle ainsi que la productivité d'une entreprise, dès lors que la précision n'est pas un critère prépondérant.

Par ailleurs, pour limiter le coût des robots, dû en grande partie au moteur et à leur contrôleur, des robots dont l'organe piloté possède moins de degrés de
20 liberté ont récemment été proposés.

Ces robots sont utiles dans de nombreuses tâches, telles que les opérations de manutention entre deux convoyeurs ou encore d'assemblage de composants.

Puisqu'ils ont moins de degrés de liberté, ils nécessitent moins de
25 moteurs et sont par conséquent moins coûteux. Parmi tous les robots à deux degrés de liberté, les plus répandus sont ceux à deux degrés de liberté de translation. Parmi ces robots, on peut distinguer deux catégories :

- les robots planaires, dont les déplacements de tous leurs
30 éléments sont coplanaires ;
- les robots à architecture spatiale, dont les déplacements de certains éléments s'effectuent dans des plans non parallèles.

Les robots les plus couramment utilisés sont les robots planaires. Parmi ceux-ci, on connaît les robots tels que ceux illustrés par les figures 1 et 2, dont l'orientation constante de la plate-forme est maintenue grâce à l'utilisation de parallélogrammes plans, qui permettent seulement des translations entre solides.
5 Ils peuvent être soit actionnés par des moteurs rotatifs, soit dans certains cas par des moteurs linéaires.

S'agissant en particulier du robot illustré par la figure 1, celui-ci atteint des temps de cycle de 1,7 s, des accélérations de 18 G et une répétabilité de 0,5 mm. Ses capacités d'accélération sont limitées du fait de l'architecture
10 planaire qui présente une raideur moindre puisqu'elle est soumise à des sollicitations de flexion dans la direction normale au plan du déplacement.

Afin de résoudre ce problème, il est possible d'augmenter la masse des éléments en mouvement. Ceci s'opère toutefois au détriment des capacités d'accélération et du temps de cycle.

Récemment, un nouveau type de robot parallèle à deux degrés de liberté de translation a été proposé. Ce robot, décrit par le document de brevet publié sous le numéro WO-2009/089916, présente la particularité d'avoir une chaîne cinématique spatiale, c'est-à-dire que, bien que les déplacements de la plate-
15 forme restent dans un plan, les déplacements de certains autres éléments constituant les chaînes cinématiques peuvent ne pas s'effectuer pas dans ce plan. Le robot est composé de quatre jambes reliant la base fixe à la plate-forme mobile, chaque jambe étant constituée d'un bras et d'un parallélogramme spatial composé de deux barres connectées à leurs extrémités à la plate-forme et au bras
20 par des liaisons rotules.

L'architecture de ce robot est conçue de telle manière que de nombreuses sollicitations de flexion sont supprimées, améliorant la raideur du robot et permettant ainsi de diminuer les masses en mouvement. Un tel robot atteint des accélérations supérieures à 50 G, des temps de cycle Adept de 0,25 s. Cependant, on peut déplorer, avec un tel robot, une faible précision (supérieure à 1 mm), due
25 à plusieurs vecteurs parmi lesquels :

- l'architecture du robot est complexe (avec ses quatre jambes), tendant à augmenter la difficulté d'identification

- des modèles servant à la commande du robot, qui peuvent donc s'avérer peu précis et, par conséquent, détériorer la précision finale du robot ;
- il met en œuvre une courroie de couplage des bras, ce qui diminue la raideur du robot ;
 - il est difficile à calibrer et conduit par conséquent à des erreurs de positionnement de la plate-forme ;
 - les liaisons rotules contraintes par des ressorts mis en œuvre dans les parallélogrammes spatiaux pour limiter les jeux dans les liaisons engendrent des frottements importants et difficiles à identifier dans les modèles de commande, qui peuvent donc s'avérer peu précis et, par conséquent, détériorer la précision finale du robot ; par ailleurs, le frottement dans ces liaisons entraîne une usure importante et, par conséquent, une maintenance fréquente et coûteuse.

L'invention a notamment pour objectif de pallier les inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, l'invention a pour objectif de proposer un robot parallèle à deux degrés de liberté de translation avec une raideur en flexion maximisée qui permette d'améliorer les capacités d'accélération, et donc les cadences, du robot et/ou d'obtenir une meilleure précision finale.

L'invention a également pour objectif de diminuer la complexité de l'architecture en comparaison de certains robots de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est de fournir un tel robot qui limite les opérations de maintenance.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints grâce à l'invention qui a pour objet un robot parallèle composé de deux chaînes cinématiques reliant une base à une plate-forme destinée à être déplacée par rapport à la base, du type présentant uniquement deux degrés de liberté de telle sorte que la plate-forme est susceptible d'être déplacée par rapport à la base dans un plan (x, z) d'un espace (x, y, z) dans lequel les directions x , y et z sont orthogonales entre elles, les chaînes cinématiques présentant chacune un coude

reliant une sous-chaîne proximale, elle-même reliée à la base, et une sous-chaîne distale, elle-même reliée à la plate-forme, ladite sous-chaîne proximale étant destinée à entraîner le coude en translation dans le plan (x, z) . Selon l'invention, la sous-chaîne distale de l'une au moins des deux chaînes cinématiques comprend
5 deux barres écartées l'une de l'autre dans la direction (y) , une première extrémité de chaque barre étant reliée audit coude par un système de liaisons composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots du système de liaisons d'une des barres formant chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots du système de liaisons de l'autre barre, la deuxième extrémité de
10 chaque barre étant reliée à ladite plate-forme par un système de liaisons composé également de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots du système de liaisons d'une des barres formant chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots du système de liaisons de l'autre barre.

Ainsi, grâce à l'invention, on obtient un robot de conception optimisée
15 s'agissant notamment de :

- améliorer sa raideur, et donc ses capacités d'accélération et de cadence et/ou sa précision ;
- diminuer la complexité de son architecture, permettant de faciliter la commande de ses différents composants afin
20 d'obtenir une meilleure précision finale et/ou de diminuer les opérations de maintenance liées à l'usure.

En effet, les systèmes de liaison reliant les barres de la sous-chaîne distale d'une part au coude et, d'autre part, à la plate-forme, permettent de ne faire travailler les barres de la sous-chaîne distale qu'en traction et/ou en compression
25 et/ou en torsion. Il en résulte que toutes les contraintes de flexion sont reportées au niveau de la sous-chaîne proximale qui constitue un élément dont les concepteurs de robot parviennent classiquement à adapter les caractéristiques pour supporter des contraintes de flexion sans que cela nuise notablement à la précision et/ou la cadence du robot.

30 En d'autres termes, par rapport aux architectures planes à deux degrés de liberté dans lesquelles tous les éléments sont soumis à des sollicitations de flexion dans la direction orthogonale au plan du déplacement, un robot selon

l'invention comprend beaucoup moins d'éléments soumis à ces sollicitations de flexion. Ainsi, il est intrinsèquement plus raide que les robots planaires existants. Ceci permet d'alléger la masse des éléments en mouvement et d'améliorer les capacités d'accélération et/ou sa précision.

5 Il a été montré qu'avec un robot selon l'invention, à raideur équivalente, l'architecture selon l'invention est au moins deux fois plus légère qu'un robot tel que celui illustré par la figure 1.

De plus, en comparaison du robot décrit par le document de brevet WO-2009/089916, qui est composé de quatre jambes limitant le battement de l'organe piloté et ajoutant de l'inertie, un robot selon l'invention présente un espace de travail plus grand et moins de masses en mouvement. A raideur équivalente, l'architecture d'un robot selon l'invention est environ une fois et demi plus légère que le robot décrit par le document WO-2009/089916.

10 En synthèse, l'amélioration de la raideur et la diminution des masses en mouvement d'un robot selon l'invention permet de conduire à une amélioration de ses capacités d'accélération et à une amélioration de sa précision par rapport au robot de l'art antérieur. En outre, l'espace de travail (zone balayée par la plate-forme mobile dans l'espace cartésien) est plus important avec un robot selon l'invention.

20 De plus, l'architecture d'un robot selon l'invention met seulement en œuvre deux chaînes cinématiques, et ne met pas en œuvre de liaisons rotules. Au contraire, toutes ces liaisons peuvent être réalisées à l'aide de roulements, qui sont par défaut bien adaptés aux déplacements à grande vitesse dans les mécanismes. Il résulte de ces avantages, une diminution des opérations de maintenance et une facilité de pilotage du robot en vue d'obtenir une très bonne précision.

Selon un mode de réalisation préféré, les deux pivots reliant ladite barre aux coudes sont regroupés au sein d'un cardan, pour l'une au moins des barres.

30 Selon un autre aspect préféré, les deux pivots reliant ladite barre à la plate-forme sont regroupés au sein d'un cardan, pour l'une au moins des barres.

La mise en œuvre de l'une et/ou l'autre de ces caractéristiques permet d'obtenir un robot d'une plus grande compacité.

De plus, pour une même barre, les axes des deux pivots à l'une des extrémités de la barre sont parallèles aux axes des pivots à l'autre extrémité de la barre.

5 Selon une solution avantageuse, la sous-chaîne proximale comprend deux côtés parallèles définissant avec la base et le coude un parallélogramme.

Dans ce cas, chaque côté est avantageusement relié à la base par un pivot.

Préférentiellement, chaque chaîne cinématique est reliée à la base par au moins un pivot motorisé.

10 De plus, chaque côté est avantageusement relié au coude également par un pivot.

Dans ce cas, les pivots qui relient les deux côtés à la base et au coude sont tous parallèles entre eux.

Selon une variante envisageable, l'un au moins des côtés comprend deux tringles parallèles.

15 Selon un autre mode de réalisation, la sous-chaîne proximale comprend un ensemble de trois tringles liant la base au coude dont une première est reliée à chacune de ses extrémités par deux pivots et dont les deux autres sont reliées chacune d'une part à la base par un système de liaisons composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux et, d'autre part, au coude également par un système de liaisons composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux.

20 Selon encore un autre mode de réalisation envisageable, la sous-chaîne proximale comprend deux segments reliés entre eux par une liaison prismatique, l'un des segments étant relié à la base et l'autre segment étant relié à la plate-forme.

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante de cinq modes de réalisation préférentiels de l'invention, donnés à titre de simples exemples illustratifs et non limitatifs, et des dessins annexés parmi lesquels :

- les figures 1 et 2 sont des robots de l'art antérieur ;
- 30 - la figure 3 est une vue schématique en perspective d'un robot selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- les figures 4 et 5 sont des schémas illustrant les règles de numérotation des directions x_{kji} , y_{kji} et z_{kji} ;
- la figure 6 est une représentation cinématique partielle du robot illustré par la figure 3 ;
- 5 - la figure 7 est une représentation cinématique partielle d'un robot selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 8 est une représentation cinématique partielle d'un robot selon un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 9 est une représentation cinématique partielle d'un robot selon un quatrième mode de réalisation de l'invention ;
- 10 - la figure 10 est une représentation cinématique partielle d'un robot selon un cinquième mode de réalisation de l'invention.

En référence à la figure 3, un robot parallèle selon l'invention comprend deux chaînes cinématiques 1, 2, chacune reliant la base 3 à la plate-forme 4 (constituant l'organe mobile piloté), destinée à être déplacée par rapport à la base (constituant l'organe fixe).

Un tel robot présente uniquement deux degrés de liberté de translation de telle sorte que la plate-forme 4 puisse être déplacée par rapport à la base dans un plan x_0, z_0 d'un espace (x_0, y_0, z_0) dans lequel les directions x_0, y_0 et z_0 sont orthogonales entre elles et définissent un espace à trois dimensions.

Chaque chaîne cinématique (les deux chaînes étant identiques) comprend :

- une sous-chaîne proximale 10 ;
- 25 - un coude 11 ;
- une sous-chaîne distale 12.

Le coude 11 relie, par un système de liaisons décrit plus en détails par la suite, la sous-chaîne proximale et la sous-chaîne distale.

La sous-chaîne proximale est donc reliée par l'une de ses extrémités au coude 11, et par l'autre de ses extrémités à la base 3, ceci par l'intermédiaire de liaisons de type pivot.

La sous-chaîne distale est quant à elle reliée d'une part au coude 11, et d'autre part à la plate-forme par un système de liaisons également décrit plus en détails par la suite.

5 Selon le principe de l'invention, la sous-chaîne distale des deux chaînes cinématiques du robot comprend deux barres 120, 121 écartées l'une de l'autre dans la direction y.

Tel que cela apparaît sur la figure 3, les barres 120, 121 ne sont pas parallèles entre elles et s'étendent symétriquement par rapport à un axe médian reliant le coude 11 et la plate-forme 4 entre les extrémités inférieures et
10 supérieures des barres 120, 121.

De plus, les articulations entre les barres de la sous-chaîne distale et le coude d'une part, et la plate-forme d'autre part sont conçues de telle sorte que :

- 15 - l'extrémité de la barre supérieure 120 est reliée au coude 11 par un système de liaison composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux ;
- l'extrémité supérieure de la barre 121 est reliée au coude 11 par un système de liaison composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux ;
- 20 - l'extrémité inférieure de la barre 120 est reliée à la plate-forme 4 par un système de liaison composé également de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux ;
- l'extrémité inférieure de la barre 121 est reliée à la plate-forme 4 par un système de liaison composé également de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux.

25 En outre, les axes des deux pivots du système de liaison reliant l'extrémité supérieure de la barre 120 avec le coude 11 forment chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots du système de liaison reliant l'extrémité supérieure de la barre 121 avec le coude 11.

Il en va de même avec les systèmes de liaison des extrémités inférieures
30 des barres 120, 121. Plus précisément, les axes des deux pivots du système de liaison reliant l'extrémité inférieure de la barre 120 avec la plate-forme 4

forment chacun un angle non nul avec les axes des deux pivots du système de liaison reliant l'extrémité inférieure de la barre 121 avec la plate-forme.

Il est à noter que, pour une même barre, les axes des deux pivots du système de liaison à l'une des extrémités de la barre sont parallèles aux axes des deux pivots du système de liaison à l'autre extrémité de la barre.

Ces aspects sont illustrés par la figure 6 qui représente de façon cinématique l'une des chaînes cinématiques d'un robot selon un premier mode de réalisation de l'invention.

Il est à noter au préalable les règles de notation suivantes relatives aux directions y_{kji} et z_{kji} .

Selon cette numérotation, l'indice i correspond au numéro de la chaîne cinématique ($i = 1$ ou 2 suivant la chaîne que l'on étudie). Ensuite, dans la notation y_{kji} ou z_{kji} , l'indice j ($j = 1$ ou 2) correspond à l'un des sous-ensembles de la sous-chaîne distale. Le sous-ensemble $j = 1$ est composé, sur la figure 6 par exemple, des éléments 50, 51, 120, 52 et 53 et la sous-chaîne $j = 2$ est composée des éléments 60, 61, 121, 62 et 63. Quant à l'indice k ($k = 1$ ou 2), il définit le nombre de transformation(s) de repère nécessaire pour passer de (x_0, y_0, z_0) à $(x_{kji}, y_{kji}, z_{kji})$ (figures 4 et 5). C'est-à-dire que pour passer du vecteur y_0 à y_{1ji} , on fait une rotation autour du vecteur y_0 , (figure 4), donc $k = 1$. Pour passer du vecteur z_0 à z_{2ji} , on fait deux rotations (donc $k = 2$), une autour du vecteur z_0 (figure 4) et une autre autour de y_{1ji} (figure 5).

Tel qu'illustré par la figure 6, la sous-chaîne distale est conçue de la façon suivante :

- la barre 120 est reliée au coude 11 par un ensemble de deux pivots 50, 51, le pivot 51 présentant un axe de pivotement y_{11i} et le pivot 50 présentant un axe de pivotement z_{21i} orthogonal à l'axe de pivotement y_{11i} ;
- la barre 120 est reliée à la plate-forme 4 par deux pivots 52, 53, le pivot 52 présentant un axe de pivotement y_{11i} (donc parallèle à celui de l'axe de pivotement du pivot 51) et le pivot 53 présentant un axe de pivotement z_{21i} (donc parallèle

- à l'axe de pivotement du pivot 50) orthogonal à l'axe de pivotement y_{11i} ;
- la barre 121 est reliée au coude 11 par deux pivots 60, 61, le pivot 61 présentant un axe de pivotement y_{12i} et le pivot 60 présentant un axe de pivotement z_{22i} orthogonal à l'axe de pivotement y_{12i} ;
 - la barre 121 est reliée à la plate-forme 4 par deux pivots 62, 63, le pivot 62 présentant un axe de pivotement y_{12i} (donc parallèle à l'axe du pivot 61) et le pivot 63 présentant un axe de pivotement z_{22i} (donc parallèle à l'axe du pivot 60).

Selon le principe de l'invention, les axes de pivotement y_{11i} et y_{12i} respectivement des pivots 51 et 61 ne sont ni parallèles ni confondus. Il en va de même pour les axes de pivotement y_{11i} et y_{12i} respectivement des pivots 52 et 62.

Par ailleurs, selon un mode de réalisation illustré par la figure 6, la sous-chaîne proximale 10 est constituée par deux côtés parallèles 101, 102, définissant un parallélogramme avec la base 3 et avec le coude 11.

Les extrémités supérieures des barres 101, 102 sont reliées à la base 3 chacune par une liaison pivot 70, 71. Les pivots 70, 71 présentent des axes de pivotement parallèles entre eux, selon la direction y_0 du référentiel x_0, y_0, z_0 associé à la base 3.

Les extrémités inférieures des barres 101, 102 sont reliées au coude 11 chacune par un pivot 72, 73. Les pivots 72, 73 présentent des axes de pivotement parallèles entre eux s'étendant selon la direction y_0 .

Dans cette configuration, les axes des pivots 70, 71 sont donc parallèles entre eux et parallèles aux axes de pivotement des pivots 72, 73.

On note que dans le mode de réalisation illustré par la figure 6, ainsi que dans les modes de réalisation décrits par la suite, le robot présente en outre les caractéristiques suivantes :

- les barres 120, 121 sont non parallèles, et s'étendent de façon symétrique de part et d'autre d'un axe médian reliant les points 123, 124 (le point 123 étant le point centré entre les extrémités inférieures des barres 120, 121 au niveau de la

plate-forme 4 et le point 124 étant le point centré entre les extrémités supérieures des barres 120, 121 au niveau du coude 11) ;

- 5 - la base 3 s'inscrit dans un plan P_0 défini par la direction x_0 , y_0 d'un référentiel x_0, z_0 associé à la base, la plate-forme 4 s'inscrivant dans un plan P_2 parallèle au plan P_0 ;
- le coude 11 s'inscrit dans un plan P_1 , parallèle au plan P_0 , dans lequel s'inscrivent les directions y_{11i} et y_{12i} .

De plus, dans le mode de réalisation illustré par la figure 6, un des pivots 10 70, 71 reliant respectivement les barres 101, 102 à la base 3 est actionné par un moteur fixé sur la base 3.

La figure 7 illustre un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La différence avec le mode de réalisation précédent réside dans le fait que :

- 15 - les pivots 50, 51 du système de liaison reliant la barre 120 au coude 11 sont regroupés au sein d'un cardan 54 dont les axes de pivotement sont orthogonaux et reprennent les directions de y_{11i} et z_{21i} des pivots 50, 51 ;
- les pivots 52, 53 du système de liaison reliant la jambe 120 à 20 la plate-forme 4 sont regroupés au sein d'un cardan 55 dont les axes orthogonaux reprennent les directions y_{11i} et z_{21i} des pivots 52, 53 ;
- les pivots 60, 61 du système de liaison reliant la barre 121 au coude 11 sont regroupés au sein d'un cardan 64 dont les axes 25 orthogonaux reprennent la direction y_{12i} et z_{22i} des pivots 61, 60 ;
- les pivots 62, 63 du système de liaison reliant la barre 121 à la plate-forme 4 sont regroupés au sein d'un cardan 65 dont 30 les axes orthogonaux reprennent les directions y_{12i} et z_{22i} des pivots 62, 63.

La figure 8 illustre, sous forme cinématique une variante de la chaîne cinématique illustrée par la figure 7.

Selon la variante illustrée par la figure 8, les systèmes de liaison reliant les barres 120, 121 au coude 11 et à la plate-forme 4 sont conservés.

En revanche, le parallélogramme de la sous-chaîne proximale 10 est remplacé par deux segments 103, 104 reliés entre eux par une liaison prismatique 105, le segment 103 étant relié à la base 3 et le segment 104 étant relié au coude 11.

Dans les variantes illustrées par les figures 9 et 10, la sous-chaîne proximale a été modifiée afin d'améliorer sa raideur en flexion, sans toutefois changer le mouvement du coude (translation par rapport à la base).

Selon le mode de réalisation illustré par la figure 9, un des sous-ensembles du parallélogramme formé par la sous-chaîne proximale 10 a été doublé afin d'améliorer sa raideur en flexion.

La sous-chaîne proximale 10 est donc constituée de deux sous-ensembles formant deux côtés parallèles d'un parallélogramme, à savoir :

- un premier sous-ensemble constitué par une tringle 101 ;
- un deuxième sous-ensemble constitué par deux tringles 1020 et 1021 parallèles entre elles.

Ces deux sous-ensembles définissent donc un parallélogramme avec la base 3 et le coude 11. Il est à noter que le premier sous-ensemble pourrait être constitué également de deux tringles parallèles entre elles selon encore une autre variante envisageable.

Dans le mode de réalisation illustré par la figure 10, le parallélogramme de la sous-chaîne proximale est supprimé et remplacé par un ensemble de trois barres.

La barre numéro 106 est la barre actionnée du système, donc celle qui est reliée au moteur posé sur la base. Elle est reliée au coude par un pivot d'axe y_0 . La base est aussi reliée au coude par les barres 107, 108 par l'intermédiaire de liaisons cardan (ou pivots orthogonaux), respectivement 1070 et 1080 fixées à leurs extrémités. Les axes des deux cardans 1070, 1071 de la barre 107 sont parallèles entre eux. Les axes y_{13} et y_{14} ne doivent pas être parallèles entre eux. Ce type de système permet une translation circulaire du coude. Mais son principal avantage est le suivant : les barres 107 et 108, grâce à l'arrangement

particulier des liaisons cardan, ne sont sollicitées qu'en traction/compression/torsion. Ainsi, la raideur de la partie proximale est considérablement augmentée grâce à ce système. Il faut cependant noter que la barre 106 est toujours sollicitée en flexion, cette sollicitation étant minimisée grâce à l'utilisation du mécanisme composé des barres 107 et 108.

REVENDICATIONS

- 5 **1.** Robot parallèle composé de deux chaînes cinématiques identiques
reliant une base à une plate-forme destinée à être déplacée par rapport
à la base, du type présentant uniquement deux degrés de liberté de
telle sorte que la plate-forme est susceptible d'être déplacée par
rapport à la base dans un plan (x, z) d'un espace (x, y, z) dans lequel
10 les directions x, y et z sont orthogonales entre elles, les chaînes
cinématiques présentant chacune un coude reliant une sous-chaîne
proximale, elle-même reliée à la base, et une sous-chaîne distale, elle-
même reliée à la plate-forme, ladite sous-chaîne proximale étant
destinée à entraîner le coude en translation dans le plan (x, z),
15 caractérisé en ce que la sous-chaîne distale de l'une au moins des deux
chaînes cinématiques comprenant deux barres écartées l'une de l'autre
dans la direction (y), une première extrémité de chaque barre étant
reliée audit coude par un système de liaisons composé de deux pivots
d'axes orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots du système de
20 liaisons d'une des barres formant chacun un angle non nul avec les
axes des deux pivots du système de liaisons de l'autre barre, la
deuxième extrémité de chaque barre étant reliée à ladite plate-forme
par un système de liaisons composé également de deux pivots d'axes
orthogonaux entre eux, les axes des deux pivots du système de
25 liaisons d'une des barres formant chacun un angle non nul avec les
axes des deux pivots du système de liaisons de l'autre barre, la sous-
chaîne proximale étant constituée par deux côtés parallèles définissant
avec la base et le coude un parallélogramme, chaque côté étant relié à
la base par un pivot.
- 30 **2.** Robot parallèle selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour
l'une au moins des barres, les deux pivots reliant ladite barre au coude
sont regroupés au sein d'un cardan.

3. Robot parallèle selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour l'une au moins des barres, les deux pivots reliant ladite barre à la plate-forme sont regroupés au sein d'un cardan.
- 5 4. Robot parallèle selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque chaîne cinématique est reliée à la base par au moins un pivot motorisé.
5. Robot parallèle selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque côté est reliée au coude par un pivot.
- 10 6. Robot parallèle selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que les axes des pivots reliant les deux côtés à la base et à la plate-forme sont tous parallèles entre eux.
7. Robot parallèle selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'un au moins des côtés comprend deux tringles parallèles.
- 15 8. Robot parallèle selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la sous-chaîne proximale comprend un ensemble de trois tringles liant la base au coude dont une première est reliée à chacune de ses extrémités par deux pivots et dont les deux autres sont reliées chacune d'une part à la base par un système de liaisons composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux et, d'autre part, au coude également par un système de liaisons composé de deux pivots d'axes orthogonaux entre eux.
- 20 9. Robot parallèle selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la sous-chaîne proximale comprend deux segments reliés entre eux par une liaison prismatique, l'un des segments étant relié à la base et l'autre segment étant relié au coude.
- 25

1/6

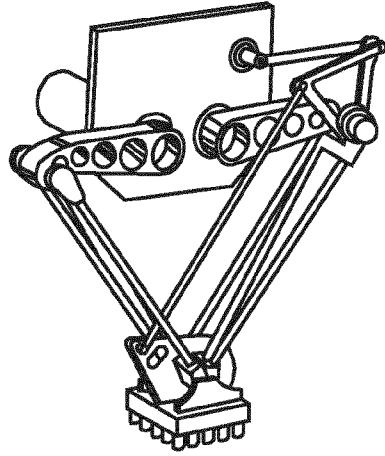


Fig. 1

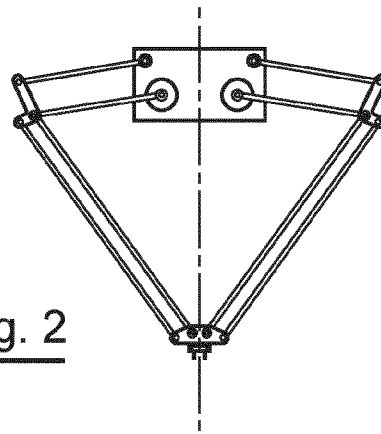


Fig. 2

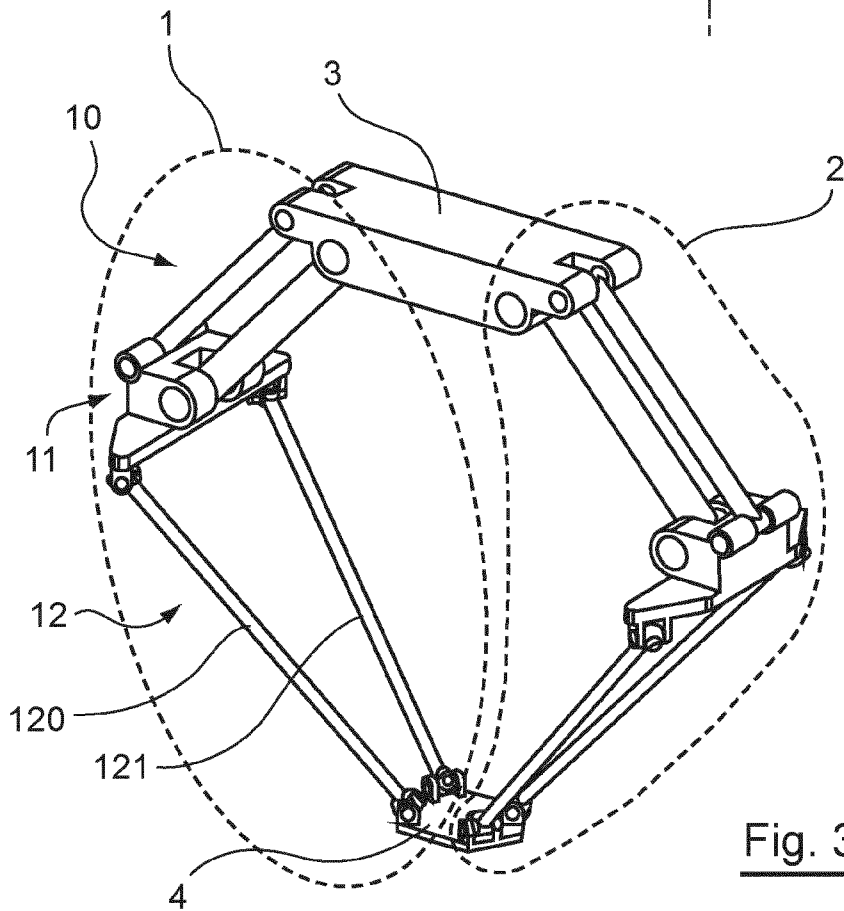


Fig. 3

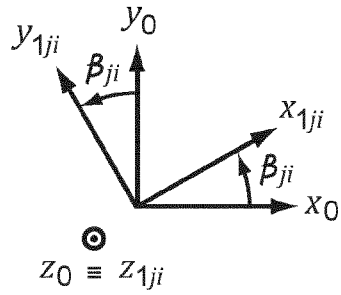


Fig. 4

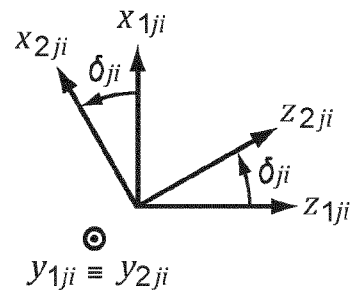


Fig. 5

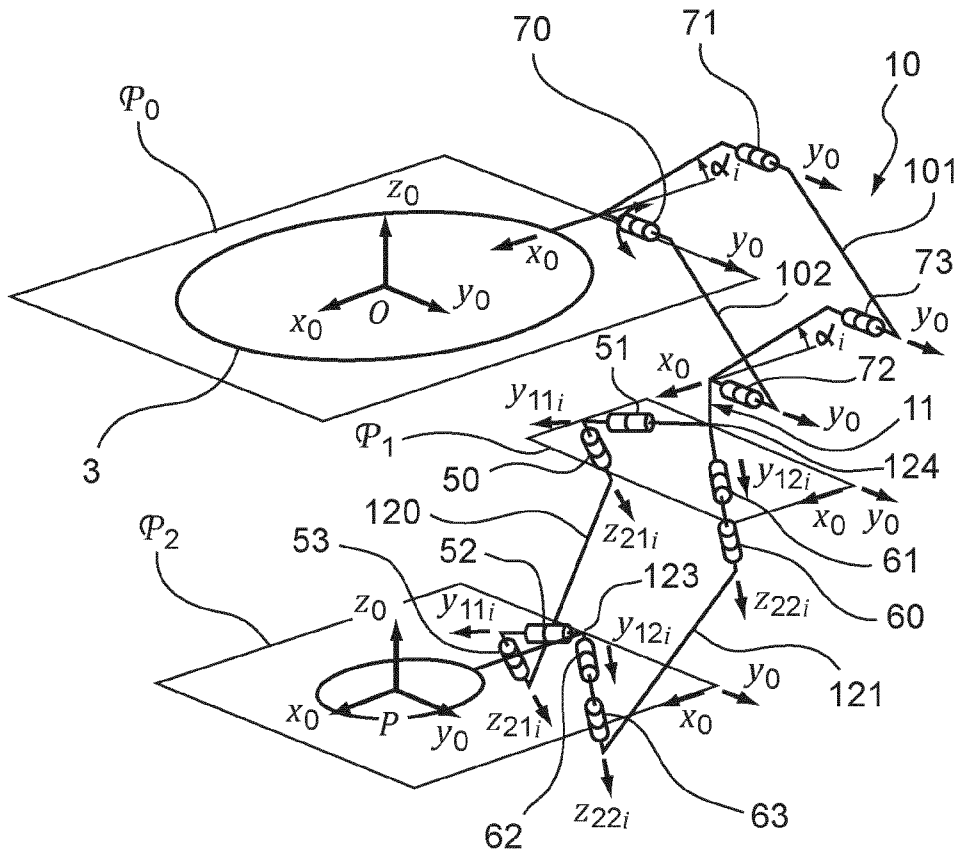


Fig. 6

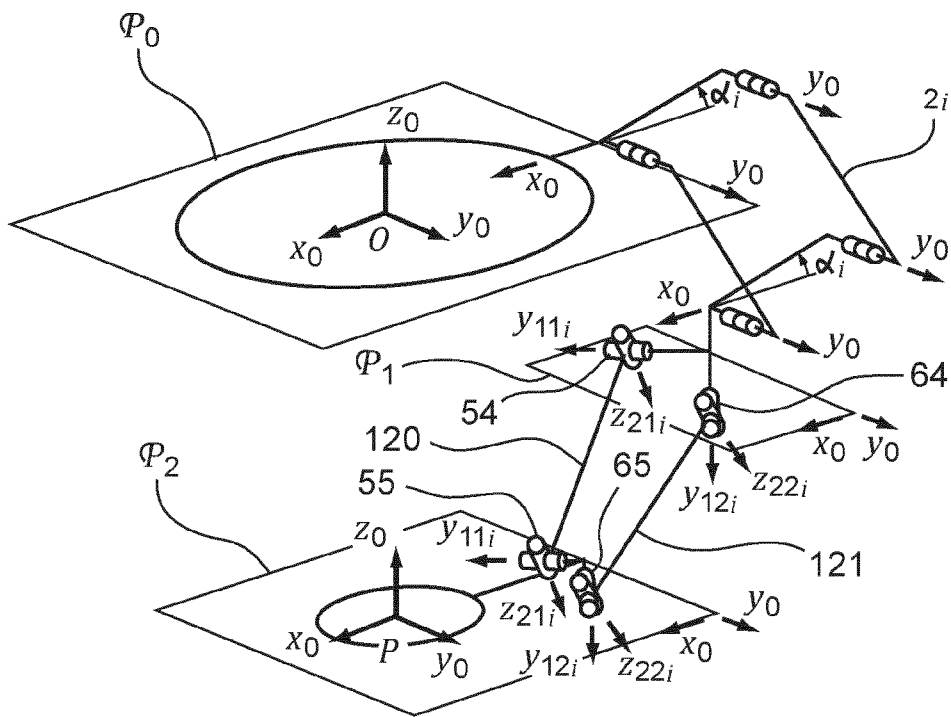


Fig. 7

4/6

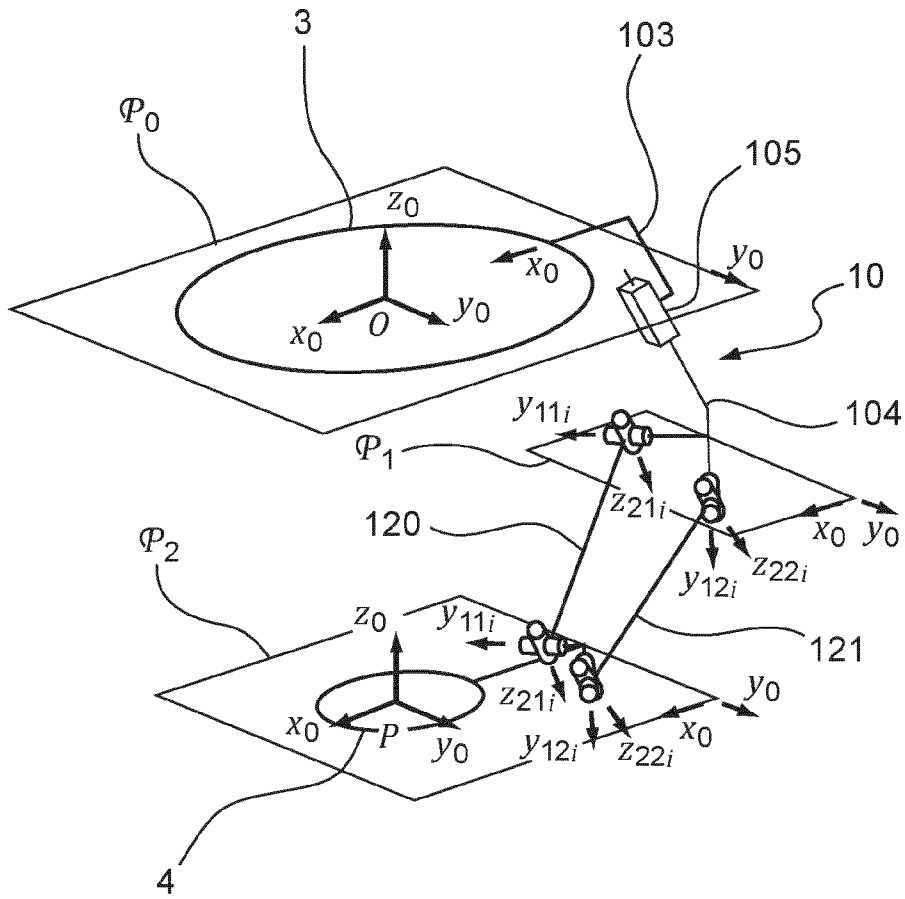


Fig. 8

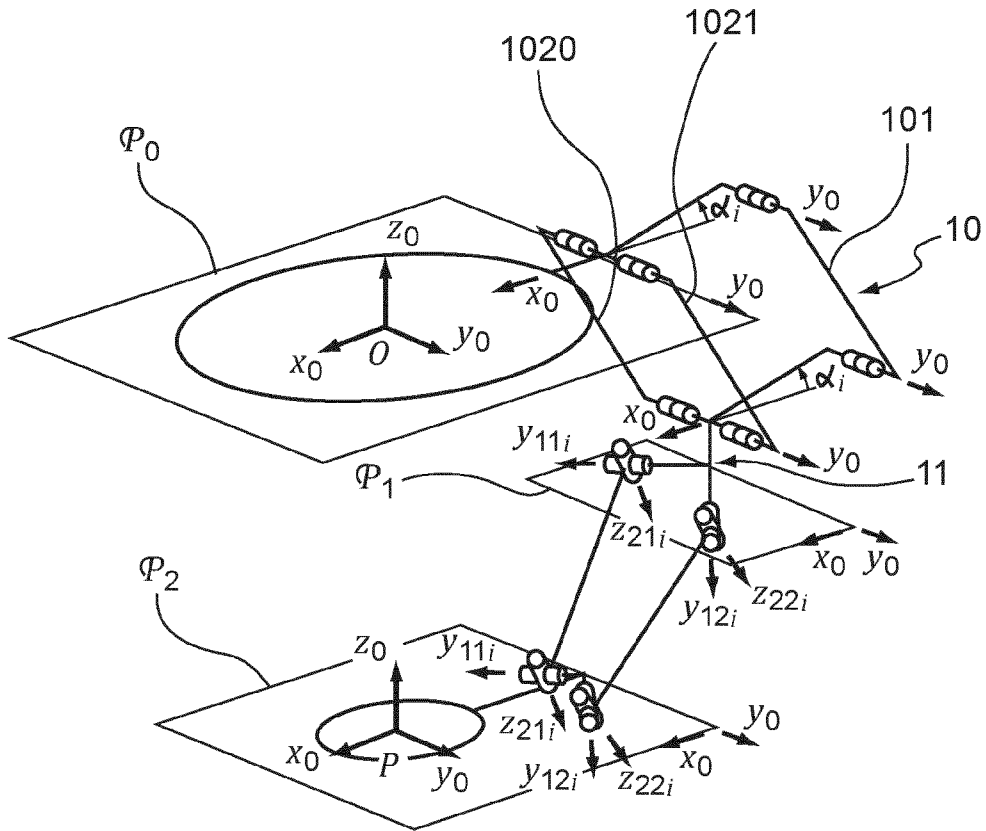


Fig. 9

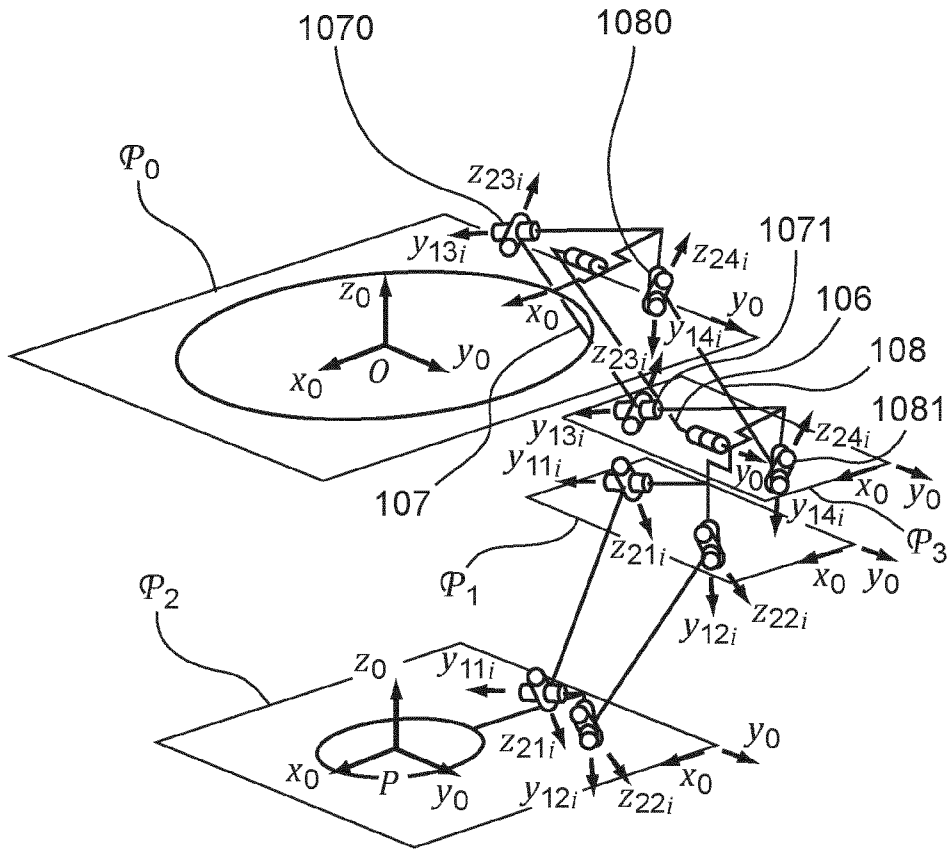


Fig. 10