

(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 2017/103489 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B25J 9/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/053446

(22) Date de dépôt international :
15 décembre 2016 (15.12.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1562802 18 décembre 2015 (18.12.2015) FR

(71) Déposant : AIRBUS GROUP SAS [FR/FR]; 2, rond-
point Emile Dewoitine, 31700 Blagnac (FR).

(72) Inventeur : DOUILLY, Marc; 48, avenue du Général Le-
clercq appt 35C, 80300 Albert (FR).

(74) Mandataire : DERRIENNIC, Tanguy; Ipside, 4, rue de
Kerogan, 29337 Quimper CEDEX (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, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,

DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN,
KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS,
RU, RW, SA, 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.

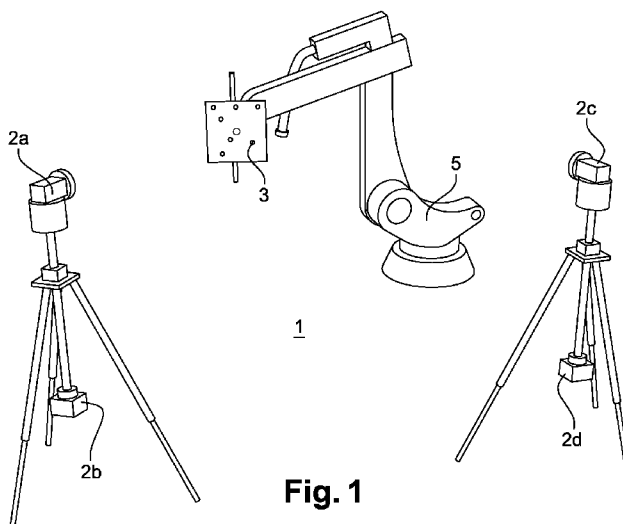
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues (règle 48.2.h))

(54) Title : SYSTEM AND METHOD FOR CORRECTING A TRAJECTORY OF AN EFFECTOR CARRIED BY A ROBOT

(54) Titre : SYSTÈME ET PROCÉDÉ POUR LA CORRECTION D'UNE TRAJECTOIRE D'UN EFFECTEUR PORTÉ PAR UN
ROBOT



(57) Abstract : System (1) for correcting a trajectory of at least one robot (5) comprising: - an effector (4) carried by the robot; - a control unit for the robot; - at least one target (3) linked with the effector (4); said system comprises: - at least two cameras (2a, 2b, 2c, 2d) connected to at least one processing unit (6a, 6b, 6c, 6d); and - a central unit (8) configured to receive the two-dimensional coordinates of the targets (3) and to transmit position correction information, to the robot control unit.

(57) Abrégé : Système (1) pour la correction d'une trajectoire d'au moins un robot (5) comprenant : - un effecteur (4) porté par le ro-
bot; - une unité de commande

[Suite sur la page suivante]

WO 2017/103489 A1



du robot; - au moins une cible (3) liée à l'effecteur (4); ledit système comporte : - au moins deux caméras (2a, 2b, 2c, 2d) connectée à au moins une unité de traitement (6a, 6b, 6c, 6d); et - une unité centrale (8) configurée pour recevoir les coordonnées bidimensionnelles des cibles (3) et pour transmettre des informations de correction de position, à l'unité de commande du robot.

SYSTÈME ET PROCÉDÉ POUR LA CORRECTION D'UNE TRAJECTOIRE D'UN EFFECTEUR PORTÉ PAR UN ROBOT

La présente invention concerne un système pour la correction d'une trajectoire d'un outil porté par un robot.

Elle s'applique, en particulier, au domaine des procédés robotisés devant suivre une trajectoire lorsque l'outil est soumis à des efforts susceptibles
5 d'induire des déformations de la structure du robot et des écarts de la trajectoire réelle de l'outil par rapport à la trajectoire souhaitée.

De telles situations se rencontrent par exemple dans le soudage par friction malaxage (FSW), ou encore dans le placement de fibres pour la réalisation de pièces en matériaux composites, pour lesquels il est essentiel de
10 suivre précisément une trajectoire programmée.

Un robot portant un outil devant travailler en appui sur une pièce doit impérativement suivre la trajectoire programmée afin de garantir le respect des tolérances de fabrication ou d'assemblage.

15 La programmation des trajectoires des outils portés par des robots peut être conduite de différentes façons, par exemple :

- la programmation hors-ligne, où la trajectoire est définie à l'avance, par exemple dans un outil de visualisation virtuel en trois dimensions, à partir de la définition d'une pièce théorique,
- 20 - par apprentissage, où la trajectoire est définie à vide (sans exécution d'un procédé) dans un environnement réel en apprenant au robot un certain nombre de points de passage.

Dans le premier cas, le robot exécute la trajectoire programmée, dans le second, le robot rejoue une séquence apprise.

25 Dans l'un ou l'autre cas, les efforts s'exerçant sur l'outil du robot lors de l'application du procédé mis en œuvre ont tendance à déformer la structure mécanique du robot, déformation dont il résulte un écart entre la trajectoire réelle suivie par l'outil et la trajectoire programmée ou apprise, alors que le système de commande du robot considère que l'outil est correctement
30 positionné. Ce phénomène est d'autant plus flagrant dans le cas de trajectoires courbes dans l'espace géométrique de travail.

Le constat est donc un décalage à chaque instant entre la trajectoire réelle et la trajectoire théorique.

Différentes méthodes sont connues pour corriger de tels écarts de trajectoires.

5 Il est connu de mettre en œuvre le système pour réaliser une pièce sacrifiée sans correction de la trajectoire de l'outil et d'introduire ensuite dans le système de contrôle de la trajectoire les écarts entre la trajectoire réelle mesurée lors de la réalisation de cette pièce sacrifiée et la trajectoire théorique.

10 Cette solution peut s'avérer intéressante pour des grandes séries où il y a peu de trajectoires à générer. Elle peut cependant s'avérer très coûteuse suivant le coût de réalisation des pièces ainsi que le nombre de trajectoires à générer. De plus, les dérives au cours du temps ne sont pas forcément maîtrisées, il peut donc y avoir besoin de recalibrer les trajectoires de façon périodique, avec des impacts pouvant être importants sur les cycles de fabrication et sur les coûts.

15 Il est également connu de modéliser le comportement du robot, le modèle prenant en compte la rigidité de ses différents composants, et d'en déduire par calculs les déformations du robot en fonction des efforts qui lui seront appliqués par le procédé mis en œuvre et de prendre en compte dans la trajectoire programmée les écarts de position de l'outil résultant de ces déformations. Cette solution est plus complexe que la précédente et elle dépend de la finesse du modèle utilisé pour simuler le comportement du robot sous efforts, et de la précision avec laquelle les efforts appliqués par le procédé sont connus. Elle nécessite souvent de nombreux essais de caractérisation et s'applique en général pour une utilisation restreinte à des zones ou des configurations de robot spécifiques

20 Il est également connu d'embarquer une solution locale de correction relative, de type optique par exemple, et de positionner une référence à suivre à chaque instant le long de la trajectoire de travail (suivi de joint et/ou de profilé). Cette solution est adaptée à certain cas de soudage. Elle est en particulier utilisable dans les procédés qui ne nécessitent que de faibles amplitudes de variation des angles de la tête du robot. Elle consiste en une correction relative locale. Elle ne permet pas de garantir un respect nominal de la trajectoire.

Il est également connu de suivre la position réelle de la tête du robot à l'aide d'un système externe de mesure optique. Un tel système de mesure met par exemple en œuvre des caméras et des calculs de position par triangulation, comme cela est décrit dans le brevet US 7 813 830. Un tel système de mesure
5 peut aussi mettre en œuvre des lasers de poursuite. Dans son application au suivi d'un outil monté en bout d'un robot, il faut cependant garantir de ne pas couper le faisceau des lasers de poursuite, ce qui s'avère difficile dans le cas de trajectoires d'outils sur des pièces complexes.

En pratique aucun des systèmes connus de correction de la trajectoire
10 d'un outil porté par un robot et soumis à un effort lors de l'application du procédé ne satisfait les exigences de précision et/ou les contraintes économiques pour une application industrielle de procédés tels que le soudage à friction malaxage ou la dépose de fibres pour la réalisation de pièces en matériaux composites.

La présente invention concerne un système pour la correction d'une trajectoire d'au moins un robot comprenant :

- un effecteur porté par le robot ;
- une unité de commande du robot ;
- 20 - au moins une cible liée à effecteur ;
- au moins deux caméras fixes dans un système de coordonnées de référence, chaque caméra étant indépendante de la ou des autres caméras et connectée à au moins une unité de traitement d'analyse des images, la ou les unités de traitement étant configurées pour déterminer
25 une liste de coordonnées bidimensionnelle des cibles dans un repère image ; et
- une unité centrale configurée pour recevoir les coordonnées bidimensionnelles des cibles obtenues de chaque unité de traitement, pour traiter lesdites coordonnées bidimensionnelles et déterminer par
30 triangulation les positions des cibles dans un repère tridimensionnel de travail (ou repère de travail), pour déterminer la position de l'effecteur dans le repère tridimensionnel de travail, pour calculer une erreur de position de l'effecteur par rapport à des valeurs théoriques souhaitées et

pour transmettre des informations de correction de position, élaborées à partir desdites erreurs à l'unité de commande du robot.

5 Le système de coordonnées de référence peut être le repère d'une caméra, mais pas exclusivement. Le repère d'une caméra peut servir initialement de référence lors de la calibration mais un autre peut être utilisé, il s'agit d'une simple construction géométrique.

10 Le terme « position », parfois qualifié de « pose » dans ce domaine de la technique, doit être compris comme la position cartésienne et la position angulaire de l'objet, ou autrement dit, la position en tant que telle et l'orientation dudit objet.

Le terme « effecteur » correspond à l'outil positionné sur le robot qui effectue des tâches comme par exemple le soudage ou le placement de fibres.

15 Un tel système comporte au moins deux caméras qui sont agencées distantes l'une de l'autre ou les unes par rapport aux autres.

Le système comporte au moins quatre cibles fixées à l'effecteur.

Une telle configuration du système selon l'invention permet d'assurer une correction en temps réel de la trajectoire du robot.

20 Le système selon l'invention comprend plusieurs caméras positionnées dans un environnement robotisé. Ces caméras observent une scène dans laquelle est présente au moins quatre cibles fixées à l'outil ou à un support de l'outil porté par le robot dans une position connue sur ledit outil. Le fonctionnement du système est basé sur des mesures par triangulation à l'aide de plusieurs caméras. Le nombre de caméras utilisées n'est pas limité en
25 théorie, il dépend du volume de travail souhaité, de la configuration de l'espace de travail et de l'incertitude des corrections de trajectoires voulues. Un nombre de caméras augmenté permet de couvrir un volume de mesure plus important par la répartition des caméras. Un nombre de caméras augmenté permet également de réaliser des mesures dans des configurations géométriques
30 complexes dans lesquelles certaines caméras perdent la visibilité des cibles. Un nombre de caméras augmenté permet également d'augmenter la précision des mesures, par exemple par la mise en œuvre d'algorithmes connus pour diminuer l'incertitude sur la position à partir de positions calculées avec différents sous-ensembles de caméras.

L'ensemble des étapes d'acquisition, de traitement, de calcul et de transmission de donnée effectuées par le système selon l'invention peuvent être réalisées en étapes successives ou en simultané afin de minimiser le temps de cycle.

5 Un tel temps de cycle, correspond à l'intervalle de temps entre deux déterminations de la correction de la position de l'effecteur qui doit être appliquée par le robot, et est adapté à la dynamique des opérations réalisées par le robot et à la précision recherchée sur la position de la tête. Par exemple pour une vitesse de déplacement de l'outil de 250 mm/s (XX) et pour une
10 précision recherchée de la position mesurée pour l'effecteur de 0.25 mm (YY) un temps de cycle sera avantageusement inférieur ou égal à 10 ms ($0.5 \times YY/XX$).

Un temps de cycle entre une acquisition des images des cibles par les caméras et la prise en compte de la correction de la position de l'effecteur par
15 le robot intègre notamment le temps pour effectuer les opération suivantes : le traitement des images des caméras en deux dimensions, le calcul des positions des cibles en trois dimensions par triangulation, la détermination d'une position mesurée de l'effecteur par le traitement des positions des cibles, le calcul de l'erreur de position de l'effecteur et d'un ordre de correction de position.

20 Avantageusement, chaque caméra est connectée à une seule unité de traitement qui lui est affectée. Le système selon l'invention est alors qualifié de système modulaire, dans lequel chaque module est relié à sa propre entité pour l'acquisition et le traitement des images. Une telle structure modulaire permet d'effectuer des calculs, voire des traitements de données, en parallèle et
25 augmente considérablement la vitesse, et donne ainsi la possibilité d'avoir accès à des temps de cycle plus courts.

Un tel système modulaire présente une grande souplesse en termes de positionnement des caméras, et il est ainsi possible de positionner les caméras pour couvrir un volume plus important. Idéalement, quatre caméras sont
30 conseillées pour traiter un volume d'environ 8 m³, et pour une entre distance maximale entre cibles d'environ 500 mm. La répartition des caméras dépend ensuite du type de trajectoire effectuée ainsi que des risques d'occultation dus à la présence d'outillages fixes, par exemple.

De plus, la position des caméras est déterminée par l'utilisateur en fonction des opérations qu'il souhaite faire réaliser à son robot, contrairement aux systèmes de l'art antérieur mettant en œuvre des calculs par triangulations dont le volume géométrique de travail ne peut pas être modifié. En outre, la mesure n'est jamais interrompue, les effets de masquage étant évités voire compensés, si le nombre de caméra est suffisant et que leur positionnement est optimisé, à la différence des systèmes de l'art antérieur qui ont recours à des faisceaux laser.

Les cibles émettent avantageusement dans le l'infrarouge ou le proche infrarouge, ou les deux. De telles cibles permettent une luminosité homogène dans l'image des caméras.

Les cibles peuvent être des cibles actives, comme par exemple des LED équipées de diffuseurs, parfois qualifiées illuminateurs.

Les cibles peuvent être des cibles passives, comme par exemple des cibles plates ou sphériques et disposant d'un revêtement permettant de renvoyer la lumière à la source (rétro-réfléchissant), les caméras sont alors couplées à un éclairage, par exemple annulaire, disposé autour de l'objectif et émettant dans la gamme de longueur d'onde voulue.

Les caméras comprennent avantageusement au moins un filtre passe-bande ou passe-haut, laissant de préférence uniquement bien passer les ondes centrées sur l'infrarouge et/ou le proche infrarouge. La présence de tels filtres permet d'éliminer tout ce qui est de l'ordre du visible et ainsi isoler plus facilement les cibles du reste de l'image. De tels filtres participent à augmenter la fiabilité en terme de robustesse et permettent la diminution des temps de cycle.

Les caméras sont par exemple connectées aux unités de traitement par une interface de communication numérique. Un protocole Ethernet est utilisé par exemple, ou le protocole « CoaXPress », ou encore le protocole « Camera Link », ou bien encore la fibre optique pour réduire considérablement le temps de cycle.

La présente invention vise également un procédé pour la correction d'une trajectoire d'au moins un robot soumis à des efforts mettant en œuvre l'utilisation du système décrit dans le cadre de l'invention comprenant les étapes suivantes :

- acquisition des images contenant les cibles par les caméras;
- traitement des images par chaque unité de traitement pour la détermination des coordonnées bidimensionnelles dans le repère de chaque caméra ;
- mise en correspondance des indices des coordonnées bidimensionnelles
- 5 entre les caméras et calcul d'une position tridimensionnelle du repère fixe de chaque cible par triangulation ;
- calcul de coordonnées tridimensionnelles des cibles dans un repère de travail ;
- détermination de la position de l'effecteur à partir des coordonnées
- 10 tridimensionnelles calculées sur les cibles ;
- comparaison entre la position obtenue et la position théorique souhaitée à l'instant donnée ;
- calcul de la correction par comparaison entre les données mesurées et les données issues de l'unité de commande du robot ; et
- 15 - transmission des informations de correction de position à l'unité de commande du robot.

Le système selon l'invention est couplé à l'unité de commande d'un robot et reçoit et/ou émet des données du/au robot de manière périodique.

- Avant de pouvoir être utilisé, un tel système est avantageusement
- 20 calibré. Une telle calibration met avantageusement en œuvre des étapes, telles qu'une initialisation de la pose de chaque caméra par rapport aux autres caméras après mise en mouvement d'au moins une cible de référence ; et une calibration de la pose de chaque caméra par rapport aux autres caméras et détermination de l'échelle de mesure après mise en mouvement d'au moins
- 25 deux cibles de référence.

Avantageusement, la calibration du système selon l'invention comprend les étapes suivantes :

- détermination du repère de chaque caméra, avec prises de vue d'une plaque de référence équipée de cibles déplacée par rapport à la caméra,
- 30 ou l'inverse, puis calcul des paramètres internes par optimisation non-linéaire ;
- détermination d'un repère de travail, en calculant la position de chaque caméra par rapport aux autres caméras par une procédure robotisée de

déplacement de cibles de référence dans le volume de travail du système ;

- détermination des coordonnées tridimensionnelles des cibles, et calcul de la position théorique souhaitée en temps donné ; et
- 5 - création d'un repère de travail (au sens géométrique) commun entre le robot et le système. Ce repère de travail, encore qualifié de base de données, est généré par l'enregistrement simultané dans le système de N points dont les coordonnées sont lues par un système externe ou sur le moniteur du robot.

10

Selon un autre aspect, la présente invention concerne une utilisation du système pour le suivi d'une trajectoire de soudage par friction malaxage (FSW) ou le placement de fibres pour la réalisation de pièces en matériaux composites. Ce type de soudage par friction et ce placement de fibres imposent des efforts qui ont tendance à déformer la structure mécanique du robot l'amenant à dévier de la trajectoire programmée (ou apprise), alors que sa commande doit être correctement positionnée : le système selon l'invention permet de corriger ces déviations.

Le procédé de friction malaxage (FSH) est typiquement utilisé pour la solidarisation de pièces en tôle avec création d'un joint. L'effecteur qui effectue les opérations de FSW provoque des phénomènes de friction à l'interface entre les tôles, jusqu'à provoquer le ramollissement du métal en contact avec l'outil en rotation. Une telle friction entraîne des efforts considérables de l'effecteur sur les tôles avec des déformations qui rendent difficile le contrôle de la trajectoire de l'effecteur qui doit rester localisé sur le joint. Le système selon l'invention est particulièrement adapté pour permettre un suivi et une correction permanente de la trajectoire de l'effecteur pendant ses déplacements pendant qu'il procède à un assemblage par FSW.

30 D'autres avantages, buts et caractéristiques de la présente invention ressortent de la description qui suit faite, dans un but explicatif et nullement limitatif, en regard des dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue en perspective d'un système selon l'invention mettant en œuvre un robot anthropomorphe ; et

- la figure 2 représente de manière schématique le fonctionnement du système selon l'invention ; et

- la figure 3 représente une vue schématique du bras du robot anthropomorphe illustrant la position de l'outil avec et sans correction de trajectoire.

La figure 1 représente un système 1, selon un exemple de réalisation de l'invention, comprenant, dans l'exemple illustré, quatre caméras 2a, 2b, 2c, 2d qui reçoivent des images d'une pluralité de cibles de référence 3 positionnées sur un support, montée sur un effecteur 4 d'un robot anthropomorphe 5. Les cibles de référence sur le support servent à la calibration, dans la pratique les cibles peuvent être directement positionnées sur l'effecteur.

En figure 2, les quatre caméras 2a, 2b, 2c, 2d sont connectées respectivement à quatre unités de traitement 6a, 6b, 6c, 6d. Une interface de communication 7, qui utilise un protocole Ethernet (norme internationale : ISO/IEC/IEEE 8802-3-1), collecte les informations des images depuis les unités de traitement 6a, 6b, 6c, 6d. Chaque unité de traitement traite les images collectées et détermine les coordonnées bidimensionnelle des cibles 3.

Ces coordonnées bidimensionnelles sont transmises en temps réel à une unité centrale 8 de traitement numérique. L'unité centrale 8, à partir des informations transmises de position en deux dimensions des cibles et d'une connaissance des positions des caméras, établit, par des calculs de triangulation conventionnels, des coordonnées tridimensionnelles des cibles et une orientation du support desdites cibles, dans un repère de travail, ce qui est équivalent à une position de l'effecteur 4.

L'unité centrale 8 compare les données de position obtenues par la mesure avec des données de référence. Le lien existant entre la commande du robot et le système est bilatéral, étant donné que d'une part le système mesure, donc reçoit de l'unité de commande du robot en quelque sorte, les valeurs de position que le robot doit avoir atteint en théorie, et, que d'autre part le système transmet au robot les décalages entre les valeurs de la position que le robot devrait avoir atteinte et ce que le système mesure en pratique.

L'unité centrale 8 transmet, via l'interface de communication 7, l'erreur sur la position à une unité de commande du robot anthropomorphe 5 et ladite

unité de commande commande le robot pour corriger la position et l'orientation de l'effecteur.

Il doit être compris ici que cette correction est réalisée de manière continue ou au moins avec une fréquence suffisante, compte tenu de la dynamique du robot dans le procédé mis en œuvre, pour que l'erreur de position et d'orientation de l'effecteur reste dans une plage de valeur tolérée.

La figure 3 représente un bras du robot anthropomorphe 5 avec la position mesurée de l'effecteur 4 avant correction, dont les coordonnées 9 sont reportées à gauche sur la figure 3, et la position souhaitée de l'effecteur 4 après correction, dont les coordonnées 10 sont reportées à droite sur la figure 3.

Pour une mise en œuvre du système, la position des caméras et les positions relatives des cibles sur l'effecteur doivent être connues de manière aussi précise que possible. De la précision de ces positions dépendra naturellement la précision de la mesure de la position de l'effecteur et donc la correction qui sera appliquée. L'application des algorithmes de localisation en deux dimensions des cibles et des algorithmes de triangulation utilisés à des erreurs de positions des caméras et/ou des cibles donne en pratique la précision qui peut être attendue du dispositif de mesure.

Une méthode pour connaître de manière précise la position des caméras et des cibles consiste en une calibration du dispositif de mesure.

En particulier des cibles fixes de référence sont avantageusement mises en œuvre pour effectuer cette calibration qui évite un placement précis des caméras.

Dans le mode de réalisation présenté précédemment, l'étape de calibration met en œuvre les sous-étapes suivantes :

- détermination du repère de chaque caméra, avec prises de vue d'une plaque de référence équipée de cibles déplacée par rapport à la caméra, ou l'inverse, puis calcul des paramètres internes par optimisation non-linéaire ;
- détermination d'un repère de travail, en calculant la position de chaque caméra par rapport aux autres caméras par une procédure robotisée de déplacement de cibles de référence dans le volume de travail du système ;

- détermination des coordonnées tridimensionnelles des cibles, et calcul de la position théorique souhaitée en temps donné ; et
 - création d'un repère de travail commun entre le robot et le système. Cette base est générée par l'enregistrement simultané dans le système
- 5 de N points dont les coordonnées sont lues par un système externe ou sur le moniteur du robot.

En pratique, dans le mode de réalisation du système présenté précédemment, les caméras 2a, 2b, 2c, 2d réceptionnent les images, puis les

10 unités de traitement 6a, 6b, 6c, 6d déterminent les coordonnées bidimensionnelles de manière individuelle, avec acquisition des images contenant les cibles par les caméras; et traitement des images par chaque unité de traitement pour la détermination des coordonnées bidimensionnelles dans le repère de chaque caméra ; enfin l'unité centrale 8 met en œuvre les

15 étapes suivantes :

- mise en correspondance des indices des coordonnées bidimensionnelles de cibles et calcul d'une position tridimensionnelle du repère fixe de chaque cible par triangulation ;
 - calcul de coordonnées tridimensionnelles des cibles dans un repère de
- 20 travail ;
- détermination de la position de l'effecteur à partir des coordonnées tridimensionnelles calculées sur les cibles ;
 - comparaison entre la position obtenue et la position théorique souhaitée à l'instant donnée ;
- 25 - calcul de la correction par comparaison entre les données mesurées et les données issues de l'unité de commande du robot ; et
- transmission des informations de correction de position à l'unité de commande du robot.

L'invention décrite est susceptible de variantes respectant les principes

30 exposés en détail dans un mode de réalisation.

Le nombre de caméras peut être différent de quatre. Au moins deux caméras sont nécessaires pour réaliser une triangulation, mais le nombre maximum de caméras n'est pas en théorie limité. Une augmentation du nombre de caméras permet d'améliorer la précision des mesures par la diminution des

incertitudes sur les mesures obtenues par chaque caméra individuelle, et permet également d'éviter des pertes de la mesure de la position et/ou de l'orientation de l'effecteur en raison de la perte de l'acquisition des cibles par certaines caméras lors des mouvements de l'effecteur.

5 Le robot, décrit dans l'exemple comme un robot anthropomorphe, peut être de tout type, par exemple à portique ou par exemple tripode/tricept ou hexapode.

 L'application de l'invention au cas du soudage par friction malaxage et au cas de la dépose de fibres pour la réalisation de pièces en matériau
10 composite n'est pas limitative et l'invention trouvera en particulier application dans toutes les situations où se produisent des déformations du robot mis en œuvre du fait des efforts générés par le procédé.

 Le nombre de cibles peut également être différent suivant les mesures réalisées et l'application.

15 Par exemple une seule cible liée à l'effecteur peut s'avérer nécessaire si le robot mis en œuvre ne modifie pas l'orientation de l'effecteur et que seulement une position de l'effecteur est mesurée sans orientation (uniquement dans le cas d'une trajectoire rectiligne selon un axe donné, sans modification d'orientation).

20 Si la position et l'orientation doivent être mesurées, plusieurs cibles seront nécessaires et une redondance de cibles permet comme dans le cas des caméras d'améliorer la précision des mesures et de palier à des limitations de la visibilité de certaines cibles en fonction des positions pouvant être prises par l'effecteur.

25 Il doit être également être considéré que le système de caméras peut être affecté à un atelier comportant plusieurs robots.

 Dans ce cas un sous-ensemble de caméras peut être affecté à chacun des robots en opération à un moment donné, et les données résultant du traitement des images fournies par les caméras seront partagées entre les
30 différents robots pour les mesures qui concernent chacun d'eux.

 L'exemple d'architecture des moyens de calculs de l'exemple décrit est arbitraire et, de manière connue dans le domaine du traitement numérique des signaux, tout système comportant des moyens d'acquisition des signaux issus des caméras et de traitement des signaux pour appliquer les algorithmes

donnant la position et l'orientation de l'effecteur, et calculer une erreur sur la position et l'orientation de l'effecteur, peut être mis en œuvre.

En particulier l'ensemble des moyens de traitement peut être implémenté dans un centre de calculs, qui peut être le centre contrôlant les
5 mouvements du robot.

REVENDICATIONS

1. Système (1) pour la correction d'une trajectoire d'au moins un robot (5) comprenant :

- un effecteur (4) porté par le robot ;
- une unité de commande du robot ;
- 5 - au moins une cible (3) liée à l'effecteur (4) ;

caractérisé en ce que ledit système comporte :

- au moins deux caméras (2a, 2b, 2c, 2d) fixes dans un système de coordonnées de référence, chaque caméra étant indépendante de la ou des autres caméras et connectée à au moins une unité de traitement
10 (6a, 6b, 6c, 6d) d'analyse des images, la ou les unités de traitement étant configurées pour déterminer une liste de coordonnées bidimensionnelles des cibles dans un repère image ; et
- une unité centrale (8) configurée pour recevoir les coordonnées bidimensionnelles des cibles (3) obtenues de chaque unité de traitement
15 (6a, 6b, 6c, 6d), pour traiter lesdites coordonnées bidimensionnelles et déterminer par triangulation les positions des cibles (3) dans un repère tridimensionnel de travail, pour déterminer la position de l'effecteur (4) dans le repère tridimensionnel de travail, pour calculer une erreur de position de l'effecteur par rapport à des valeurs théoriques souhaitées et
20 pour transmettre des informations de correction de position, élaborées à partir desdites erreurs, à l'unité de commande du robot.

2. Système selon la revendication 1, dans lequel chaque caméra est connectée à une seule unité de traitement qui lui est affectée.

25

3. Système selon la revendication 1 ou 2, dans lequel les cibles (3) émettent dans au moins un des domaines choisi parmi l'infrarouge et le proche infrarouge.

4. Système selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les caméras (2a, 2b, 2c, 2d) comprennent au moins un filtre passe-bande ou un filtre passe-haut.
5. Procédé mettant en œuvre l'utilisation d'un système selon l'une des revendications 1 à 4 pour la correction d'une trajectoire d'au moins un robot soumis à des efforts, comprenant les étapes suivantes :
- acquisition des images contenant les cibles (3) par les caméras (2a, 2b, 2c, 2d) ;
 - 10 - traitement des images par chaque unité de traitement (6a, 6b, 6c, 6d) pour la détermination des coordonnées bidimensionnelles dans le repère de chaque caméra ;
 - mise en correspondance des indices des coordonnées bidimensionnelles entre caméras et calcul d'une position tridimensionnelle du repère fixe de
 - 15 chaque cible (3) par triangulation ;
 - calcul de coordonnées tridimensionnelles des cibles (3) dans un repère de travail ;
 - détermination de la position de l'effecteur (4) à partir des coordonnées tridimensionnelles calculées sur les cibles (3) ;
 - 20 - comparaison entre la position obtenue et la position théorique souhaitée à l'instant donnée ;
 - calcul de la correction par comparaison entre les données mesurées et les données issue de l'unité de commande du robot (5); et
 - transmission des informations de correction de position à l'unité de commande
 - 25 du robot (5).
6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel une première étape de calibration est mise en œuvre, qui comporte les sous-étapes suivantes :
- détermination du repère de chaque caméra (2a, 2b, 2c, 2d), avec prises
 - 30 de vue d'une plaque de référence équipée de cibles (3) déplacées par rapport à la caméra, ou l'inverse, puis calcul des paramètres internes par optimisation non-linéaire ;
 - détermination d'un repère de travail, en calculant la position de chaque caméra (2a, 2b, 2c, 2d) par rapport aux autres caméras par une

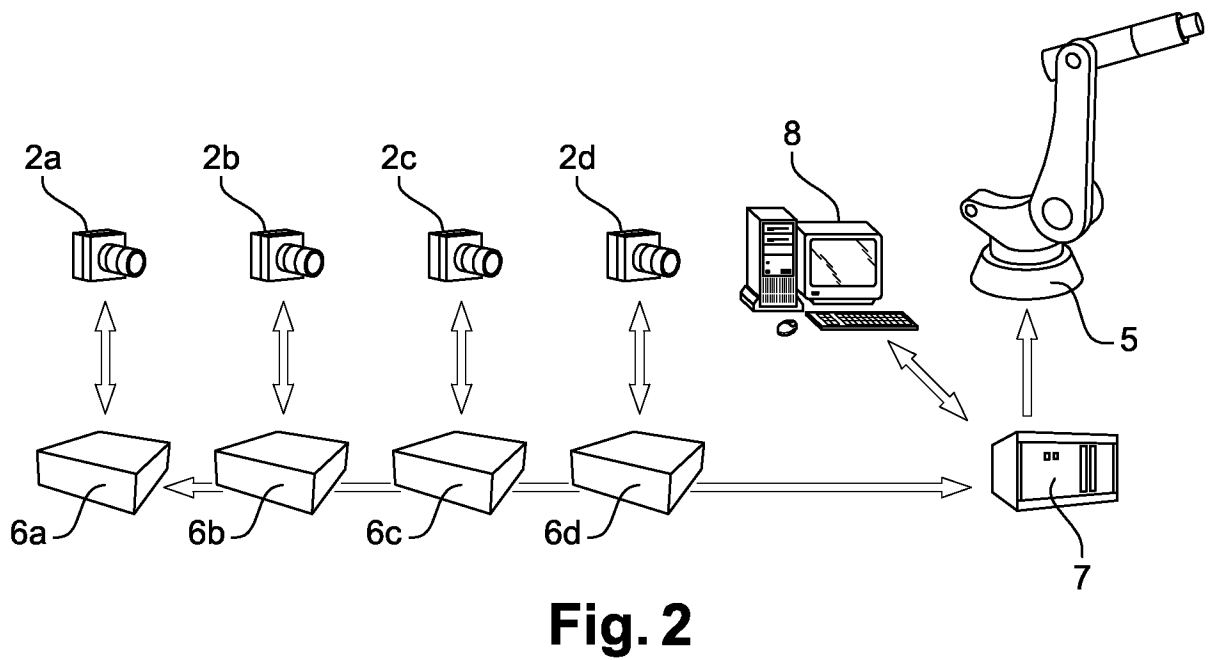
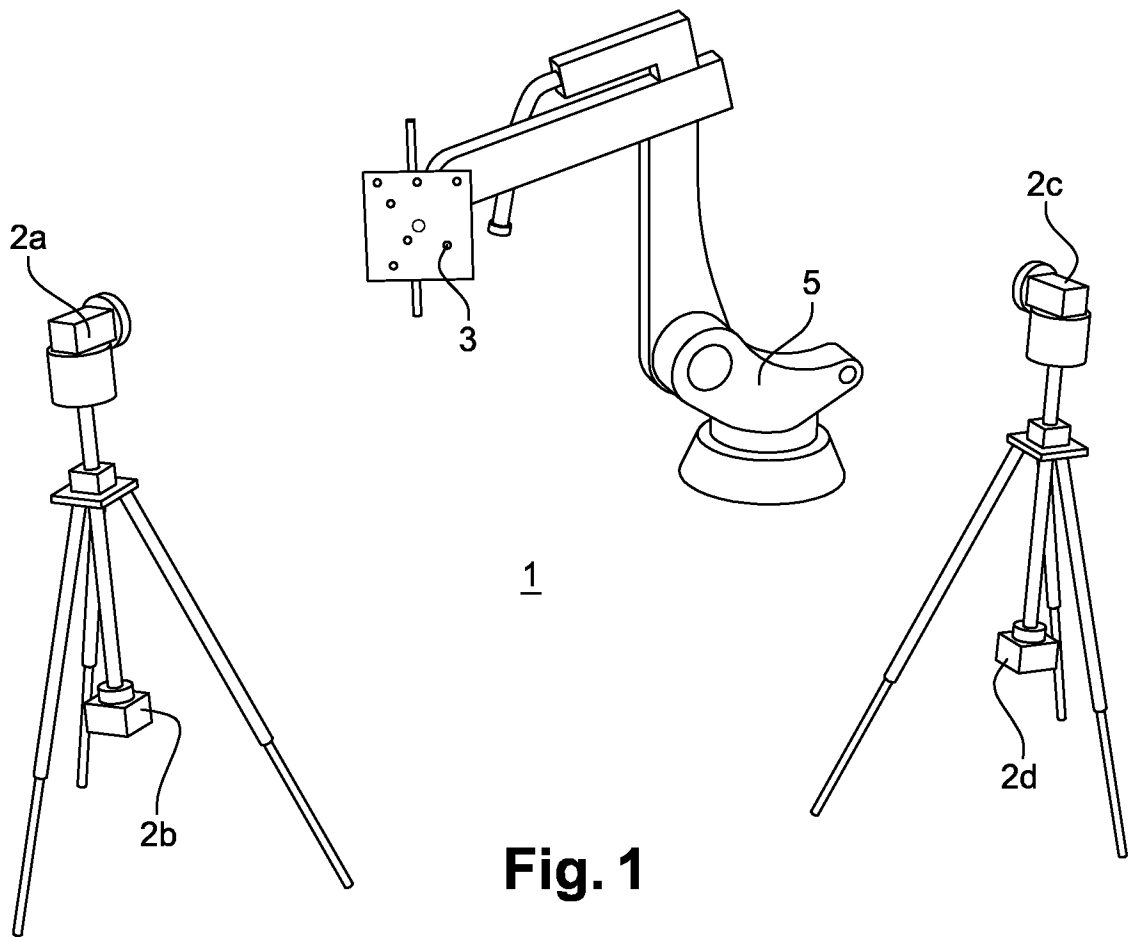
procédure robotisée de déplacement de cibles (3) de référence dans le volume de travail du système ;

- détermination des coordonnées tridimensionnelles des cibles, et calcul de la position théorique souhaitée en temps donné ; et
- 5 - création d'un repère de travail commun entre le robot (5) et le système (1).

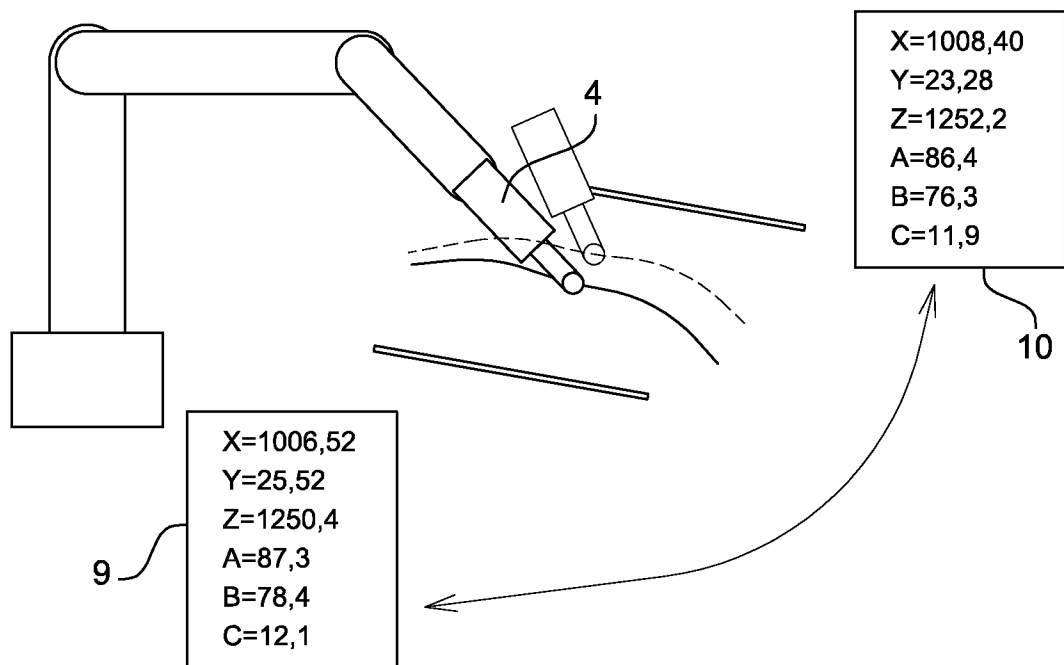
7. Utilisation du système (1) selon l'une des revendications 1 à 4 pour le suivi d'une trajectoire de soudage par friction malaxage ou le placement de fibres

10 pour la réalisation de pièces en matériaux composites.

1/2



2 / 2

**Fig. 3**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/053446

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B25J9/16
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B25J G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 963 816 A2 (AMATEC GMBH [DE]) 15 December 1999 (1999-12-15) paragraph [0029] - paragraph [0046]; figure 1	1-7
X	----- JP 2003 117861 A (DENSO CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV) 23 April 2003 (2003-04-23) the whole document -----	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 April 2017

Date of mailing of the international search report

13/04/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hauser, Leon

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2016/053446

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0963816	A2	15-12-1999	AT 319538 T 15-03-2006
		DE 19826395 A1	23-12-1999
		EP 0963816 A2	15-12-1999
		ES 2262269 T3	16-11-2006

JP 2003117861	A	23-04-2003	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/053446

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. B25J9/16
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
B25J G05B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 963 816 A2 (AMATEC GMBH [DE]) 15 décembre 1999 (1999-12-15) alinéa [0029] - alinéa [0046]; figure 1 -----	1-7
X	JP 2003 117861 A (DENSO CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV) 23 avril 2003 (2003-04-23) le document en entier -----	1-7



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

6 avril 2017

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

13/04/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hauser, Leon

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/053446

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0963816	A2	15-12-1999	AT 319538 T 15-03-2006
			DE 19826395 A1 23-12-1999
			EP 0963816 A2 15-12-1999
			ES 2262269 T3 16-11-2006

JP 2003117861	A	23-04-2003	AUCUN
