

(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 2020/193571 A1

(43) Date de la publication internationale
01 octobre 2020 (01.10.2020)

(51) Classification internationale des brevets :
A61H 3/00 (2006.01) A61H 1/02 (2006.01)

Friant, 75014 PARIS (FR). **MOREL, Guillaume** ; 3 rue des Chantiers, 75005 PARIS (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2020/058203

(74) Mandataire : **NOVAGRAAF TECHNOLOGIES** ; Seine Avenue, 2, rue Sarah Bernhardt, CS 90017, 92665 ASNIÈRES-SUR-SEINE CEDEX (FR).

(22) Date de dépôt international :
24 mars 2020 (24.03.2020)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR1903103 25 mars 2019 (25.03.2019) FR

(71) Déposants : **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR] ; 3 rue Michel-Ange, 75016 PARIS (FR). **INSERM - INSTITUT NATIONAL DE LA SANTÉ ET DE LA RECHERCHE MÉDICALE** [FR/FR] ; 101 rue de Tolbiac, 75013 PARIS (FR). **SORBONNE UNIVERSITÉ** [FR/FR] ; 21 rue de l'École de Médecine, 75006 PARIS (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, JO, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

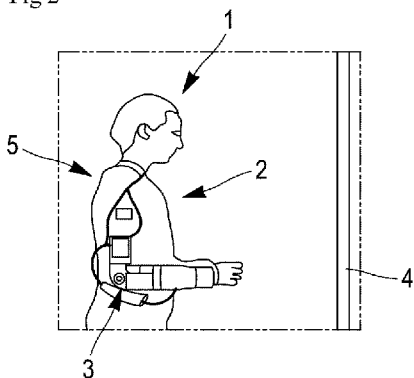
(72) Inventeurs : **JARRASSÉ, Nathanaël** ; 64 avenue Jean Jaurès, 75019 PARIS (FR). **LEGRAND, Mathilde** ; 3 rue

(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,

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING A ROBOTIC SYSTEM FOR ASSISTING THE MOBILITY OF A USER

(54) Titre : DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN SYSTÈME ROBOTIQUE D'ASSISTANCE À LA MOBILITÉ D'UN UTILISATEUR

Fig 2



(57) Abstract: The present invention concerns a device (2) for controlling a robotic system for assisting the mobility of a user, the robotic system comprising at least one active mobility assistance element (3) capable of assisting a given mobility action of the user, characterised in that the device (2) comprises a detection system capable of detecting a compensatory movement of the user (1) associated with the mobility action, the compensatory movement being a movement made by a user who is disabled, or able-bodied but locally and/or temporarily constrained, in order to perform at least part of the mobility action, and which at least partially substitutes the normal movement an unconstrained, able-bodied user would make in order to perform this mobility action, and a control system capable of controlling the at least one active element (3) when the compensatory movement is detected.

(57) Abrégé : La présente invention a pour objet un dispositif (2) de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur, ledit système robotique comprenant au moins un élément actif d'assistance à la mobilité (3) apte à assister une action de mobilité donnée de l'utilisateur, caractérisé en ce que le dispositif (2) comprend un système de détection apte à détecter un mouvement compensatoire de l'utilisateur (1) associé à ladite action de mobilité, ledit mouvement compensatoire étant un mouvement que réalise un utilisateur non valide, ou valide mais localement et/ou temporairement contraint, pour effectuer au moins une partie de l'action de mobilité, et qui se substitue au moins en partie au mouvement normal que réaliserait un utilisateur valide non contraint pour réaliser cette action de mobilité, et un système de commande apte à commander ledit au moins un élément actif (3) lorsque ledit mouvement compensatoire est détecté.



WO 2020/193571 A1

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))

Description

Titre de l'invention : Dispositif de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur

[0001] [La présente invention concerne de manière générale un dispositif de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur, et en particulier d'assistance à la mobilité de membres supérieurs d'un utilisateur. Elle a également pour objet un procédé de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité mettant en œuvre le dispositif.

[0002] Hormis les exosquelettes de réhabilitation qui rejouent des mouvements préprogrammés, on connaît différents dispositifs de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur, notamment pour les membres supérieurs.

[0003] On connaît ainsi un système de commande clavier/souris/manche, qui a le défaut de contraindre les capacités fonctionnelles restantes ou celles du membre valide de l'utilisateur, une commande myoélectrique (par électromyogrammes), une commande par mesure de l'activité cérébrale (par exemple avec une mesure des électroencéphalogrammes (EEG)), une commande par les mouvements du visage ou de la bouche, une simple commande proportionnelle entre le mouvement d'une articulation mobile et le mouvement d'une articulation robotisée, une commande avec un mouvement des pieds, ou encore une commande basée sur les synergies articulaires.

[0004] Les documents WO 2015/140353 A2, EP 1 260 201 A1 et CN 105 456 000 B décrivent des éléments actifs d'assistance à la mobilité des membres inférieurs. Dans ces documents, un couplage est réalisé, mais il s'agit d'une synergie : ce sont les mouvements du torse en avant qui déclenchent la marche. Incliner le torse n'est pas une compensation pour marcher (c'est lever le pied qui serait un mouvement compensatoire), c'est un mouvement anticipateur synergique. Plus précisément, incliner le tronc vers l'avant est un mouvement (parfois quasiment imperceptible) que chacun fait quand il commence à marcher, même quand il n'a pas de problème de mobilité. Un mouvement compensatoire pour la marche est utilisé uniquement quand la jambe ne peut pas fonctionner normalement. Dans ce cas, la personne cherche à lever son pied puis à marcher par un autre moyen qu'avec sa jambe. Il ferait par exemple un mouvement de hanches pour soulever son pied, accompagné d'une rotation du tronc pour l'amener vers l'avant (on peut s'imaginer essayant de marcher sans béquille avec une attelle de genoux).

[0005] Dans le document WO 2015/106278 A2, les mouvements du corps ou des bras ne sont pas non plus des mouvements compensatoires, ce sont des synergies que le sujet doit apprendre (des corrélations).

[0006] Un premier inconvénient majeur de ces dispositifs, excepté la commande basée sur les synergies articulaires, est qu'ils imposent une loi de commande artificielle à l'utilisateur. Ceci demande un temps d'apprentissage important, jusqu'à plusieurs semaines pour la commande myoélectrique et/ou une commande basée sur l'activité cérébrale, et la difficulté de commande augmente rapidement avec le nombre d'articulations à contrôler. De plus, la plupart de ces dispositifs sont basés sur une commande dans l'espace articulaire, c'est-à-dire que chaque articulation est contrôlée individuellement et souvent de façon séquentielle, l'une après l'autre. La charge cognitive pour effectuer un geste est alors importante car l'utilisateur doit décomposer le mouvement en sous-mouvements de chaque articulation, ce que personne ne fait habituellement.

[0007] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients.

[0008] L'invention a ainsi pour objet un dispositif de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur, ledit système robotique comprenant au moins un élément actif d'assistance à la mobilité apte à assister une action de mobilité donnée de l'utilisateur.

[0009] Le dispositif selon l'invention comprend un système de détection apte à détecter un mouvement compensatoire de l'utilisateur associé à ladite action de mobilité, ledit mouvement compensatoire étant un mouvement que réalise un utilisateur non valide, ou valide mais localement et/ou temporairement contraint, pour effectuer au moins une partie de l'action de mobilité, et qui se substitue au moins en partie au mouvement normal que réaliserait un utilisateur valide non contraint pour réaliser cette action de mobilité, et un système de commande apte à commander ledit au moins un élément actif lorsque ledit mouvement compensatoire est détecté.

[0010] Un mouvement compensatoire, ou mouvement de compensation, peut être défini comme un mouvement que réalise un utilisateur non valide (porteur d'un handicap réduisant une partie de sa mobilité) ou valide mais localement et/ou temporairement contraint, pour effectuer au moins une partie de l'action de mobilité, et qui se substitue au moins en partie au mouvement normal que réaliserait un utilisateur valide non contraint pour réaliser cette action de mobilité. L'utilisateur non valide utilise ainsi les parties

valides de son corps pour compenser des parties non valides, manquantes, déficientes ou contraintes, et pour par exemple au moins engager l'action de mobilité.

[0011] L'idée de l'invention découle de l'observation que, lorsqu'un utilisateur est assisté par un système robotique d'assistance à la mobilité, si ledit système robotique n'est pas dans la configuration géométrique souhaitée pour réaliser une tâche et si ledit utilisateur ne dispose d'aucun moyen direct pour changer ladite configuration, ledit utilisateur aura naturellement tendance à générer un mouvement compensatoire, comme si le système robotique était « non valide ». Cette observation vaut aussi, parfois, lorsque le moyen direct de contrôle existe mais représente un coût cognitif ou physique trop important.

[0012] Ainsi, conformément à l'invention, pour réaliser une action de mobilité donnée (par exemple un mouvement donné ou un ensemble de mouvements donnés), on associe à l'action de mobilité un mouvement compensatoire prédéterminé, et on commande un élément actif d'assistance à la mobilité dès que le mouvement compensatoire est détecté. La commande de l'élément actif n'est pas réalisée directement en fonction de l'action de mobilité, mais à partir de la détection d'un mouvement de compensation associé à l'action de mobilité. Ainsi, la commande s'effectue naturellement, diminuant la charge cognitive actuellement nécessaire pour commander l'élément actif, et réduisant le temps d'apprentissage pour maîtriser la commande.

[0013] Le dispositif selon l'invention utilise ainsi la réaction naturelle du corps à une diminution de la mobilité. L'utilisateur n'a pas à apprendre une quelconque loi de contrôle artificielle imposée. La commande de l'élément actif est d'autant plus naturelle qu'elle se fait dans l'espace de l'action de mobilité (espace de la tâche), et non dans l'espace articulaire.

[0014] L'invention permet également de réduire les mouvements de compensation nécessaires pour effectuer une action de mobilité, en transférant la mobilité d'articulations proximales compensatoires (par exemple mobilisées pour compenser l'absence d'un membre amputé) à des articulations distales robotisées.

[0015] L'élément actif peut être un élément d'assistance à la mobilité d'un membre supérieur de l'utilisateur. L'élément actif peut être une prothèse de bras robotisée ou un exosquelette de bras d'assistance. L'action de mobilité peut ainsi être d'atteindre une cible, par exemple à l'aide du bras, et le mouvement compensatoire peut être une inclinaison du torse de l'utilisateur.

- [0016] L'élément actif peut également être un élément d'assistance à la mobilité d'un membre inférieur de l'utilisateur.
- [0017] Le système de détection peut être apte à détecter un écart entre une position de référence et une position de l'utilisateur, par exemple à l'aide d'un ou plusieurs capteurs associés à l'utilisateur, et à détecter un mouvement compensatoire lorsque ledit écart atteint un écart prédéterminé.
- [0018] La position de référence peut être définie de manière générale comme étant une position confortable, sans compensation posturale, que l'utilisateur adopterait naturellement pour réaliser l'action de mobilité s'il avait le contrôle de toutes ses articulations.
- [0019] Dans un mode de réalisation, ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité peut être un élément actif destiné à être solidarisé à l'utilisateur.
- [0020] Ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité peut ainsi être une articulation motorisée, destinée par exemple à commander une articulation défaillante ou absente de l'utilisateur ou une articulation robotisée supplémentaire/surnuméraire. L'élément actif peut ainsi être une prothèse de bras robotisée (par exemple une articulation de coude prothétique), pour un utilisateur amputé d'un membre supérieur, ou encore un exosquelette de bras d'assistance, pour un utilisateur en situation de paralysie des extrémités ou de faiblesse musculaire, dans un environnement domestique.
- [0021] Dans un autre mode de réalisation, ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité peut être un élément actif extérieur à l'utilisateur.
- [0022] Ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité peut être dans ce cas un élément actif de commande d'un déplacement d'une cible de l'utilisateur, par exemple un élément actif de commande d'un déplacement d'un objet que l'utilisateur souhaite atteindre ou d'un objet sur ou avec lequel il travaille.
- [0023] Le système de commande peut être en outre apte à induire une correction du mouvement compensatoire, et notamment une fois que le mouvement compensatoire a été détecté, la correction du mouvement compensatoire pouvant être réalisée simultanément et/ou postérieurement à la commande dudit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité.

[0024] L'invention a également pour objet un ensemble d'assistance à la mobilité d'un utilisateur.

[0025] L'ensemble selon l'invention comprend un dispositif décrit ci-dessus et un système robotique commandé par ledit dispositif.

[0026] L'invention a également pour objet un procédé de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur.

[0027] Le procédé selon l'invention met en œuvre un dispositif décrit ci-dessus.

[0028] Le procédé peut comprendre les étapes de :

- déterminer une action de mobilité d'un utilisateur,
- associer à ladite action de mobilité un mouvement compensatoire de l'utilisateur,
- lorsque ledit mouvement compensatoire est détecté, commander ledit au moins élément actif d'assistance à la mobilité, notamment de manière à réaliser l'action de mobilité.

[0029] D'autres avantages et particularités de la présente invention résulteront de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux figures annexées :

- la figure 1 est un diagramme sous la forme de schéma-bloc illustrant le fonctionnement global d'un dispositif de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité selon l'invention,
- les figures 2 à 4 illustrent schématiquement différentes positions d'un utilisateur réalisant une action de mobilité à l'aide du dispositif de commande selon l'invention,
- la figure 5 est un graphique illustrant l'évolution au cours du temps de l'angle d'inclinaison du tronc et de l'angle de flexion du coude de l'utilisateur des figures 2 à 4, conformément à un premier mode de réalisation,
- la figure 6 est un graphique illustrant l'évolution au cours du temps de l'angle de flexion du tronc et de l'angle de flexion du coude de l'utilisateur des figures 2 à 4, conformément à un deuxième mode de réalisation, et
- la figure 7 est un graphique illustrant différentes simulations de l'évolution au cours du temps de l'angle de flexion du tronc et de l'angle de flexion du coude chez un utilisateur réalisant un geste de pointage et dans différents cas : geste naturel, geste avec coude bloqué (entraînant une compensation importante du tronc) et geste avec le mode de

commande proposé (contrôlant ici automatiquement le mouvement du coude en fonction des compensations du tronc).

[0030] Le dispositif selon l'invention permet de commander un système robotique d'assistance à la mobilité, et en particulier d'assistance à la mobilité de membres supérieurs, par exemple une prothèse ou un exosquelette de membre supérieur. Il utilise comme entrée de commande les mouvements de compensation naturellement mis en œuvre par le système nerveux central (SNC) pour réaliser des tâches fonctionnelles, par exemple, dans l'exemple qui va être décrit, lorsque la mobilité du ou des membres supérieurs de l'utilisateur est réduite.

[0031] Ces compensations, enregistrées par différents capteurs, permettent au système d'identifier le mouvement, ou intention motrice, que souhaite effectuer l'utilisateur et d'en déduire une stratégie d'action du système robotique, grâce notamment à un modèle cinématique inverse, pour assister l'utilisateur dans la réalisation de sa tâche. Le mouvement est ensuite réalisé par la ou les articulations robotisées, alors que l'utilisateur revient naturellement et instinctivement dans une posture neutre, sans compensation posturale.

[0032] Ceci est illustré à la figure 1. Θ_r désigne la position de référence du corps de l'utilisateur, sans compensation, tandis que Θ_c désigne la position courante du corps et β' désigne la matrice des vitesses angulaires des articulations robotisées.

[0033] Dans l'exemple qui va être décrit en liaison avec les figures 2 à 7, l'invention utilise un algorithme de commande qui permet d'aider à la mobilité d'un membre supérieur. L'algorithme permet une commande intuitive du dispositif car il repose sur l'utilisation de stratégies naturellement mises en place par le système nerveux central pour pallier une réduction de cette mobilité. Dans une version simplifiée qui est la commande d'une unique articulation, celle du coude, le dispositif selon l'invention a été testé sur dix utilisateurs sains dont le mouvement du coude était conduit par une articulation robotisée, de type exosquelette. Les utilisateurs portaient des capteurs sur le tronc et sur le bras. L'expérience consistait à atteindre un ensemble de six cibles, localisées à différentes distances et à différentes hauteurs. Tous les utilisateurs ont réussi l'action de mobilité, contrôlant correctement l'articulation grâce à la mise en œuvre de stratégies compensatoires, et ceci alors qu'aucune explication sur le fonctionnement de la commande de l'outil robotique ne leur avait été donnée.

[0034] Ainsi, tel qu'illustré à la figure 2, un utilisateur 1 est initialement dans une position de référence, le tronc étant disposé verticalement. La position de référence peut être définie de manière générale comme étant une position confortable, sans compensation posturale, que l'utilisateur adopterait naturellement pour réaliser l'action de mobilité s'il avait le contrôle de toutes ses articulations. On peut toutefois envisager que la position de référence du tronc soit une position penchée, car certains gestes nécessitent que l'utilisateur soit naturellement penché. On peut ajouter dans la loi de commande une définition non statique de la position de référence.

[0035] L'action de mobilité consistant à atteindre une cible éloignée de l'utilisateur, l'utilisateur dont le bras est invalide va naturellement incliner le tronc 5 vers l'avant pour compenser l'invalidité de son bras. Ainsi, dans le cas où l'action de mobilité est d'atteindre une cible éloignée 4, le mouvement compensatoire associé est l'inclinaison du tronc 5 vers l'avant. Alternativement, on pourrait choisir comme mouvement compensatoire associé un mouvement de l'épaule ou des omoplates.

[0036] Lorsque l'utilisateur 1 se penche vers l'avant (figure 3), des capteurs déterminent l'inclinaison du tronc 5 par rapport à la position de référence de la figure 2. On peut utiliser des capteurs disposés sur le tronc 5 de l'utilisateur 1, comme des capteurs élastiques déformables, ou encore des capteurs optiques.

[0037] Lorsque l'inclinaison du tronc 5 atteint une valeur prédéterminée, le mouvement compensatoire est détecté et le dispositif 2 va commander l'élément actif d'assistance à la mobilité qui est dans cet exemple une articulation de coude prothétique 3. Lorsque le mouvement compensatoire est détecté, le dispositif 2 commande alors l'ouverture du coude prothétique ce qui va permettre à l'utilisateur 1 d'atteindre la cible 4 (figure 4).

[0038] Dans cet exemple, on utilise un modèle cinématique inverse en deux dimensions, pour l'articulation du coude. On peut toutefois envisager plus généralement un modèle en trois dimensions, avec par exemple au moins deux articulations motorisées.

[0039] L'invention se distingue par sa loi de commande naturelle, qui utilise uniquement les stratégies déjà mises en place naturellement par le système nerveux central, et ne demande donc que très peu d'apprentissage. L'utilisateur n'a aucunement à réfléchir à ce qu'il doit faire. De plus, la commande s'effectue dans l'espace de l'action de mobilité (espace de la tâche). Ce qui importe n'est pas de bouger une articulation, mais d'effectuer un geste donné, de positionner la main à un endroit donné. La sortie de la loi de

commande n'est pas le mouvement d'une seule articulation, mais celui, coordonné, de toutes les articulations contrôlées nécessaires pour effectuer le geste désiré, et ce, combiné avec les articulations que l'utilisateur contrôle toujours naturellement (articulation valide, moignon, etc.). Les articulations ne sont pas commandées individuellement et séquentiellement, mais simultanément, comme dans un geste naturel. Dans la tâche de saisie d'un objet par exemple, aucune personne non-amputée ne réfléchit à la position individuelle de ses articulations. La personne est concentrée sur l'objet à atteindre, et donc sur la position de sa main, et elle commande son bras dans l'espace de la tâche.

[0040] L'invention réduit donc le temps d'apprentissage et la charge cognitive. Sa mise en œuvre est simple et rapide, car il n'y a pas de phase d'entraînement de l'algorithme. Le faible nombre ainsi que la petite taille des capteurs de mouvement permettent une utilisation sans contrainte, dans un environnement ouvert et domestique.

[0041] La figure 5 illustre l'évolution au cours du temps de l'angle d'inclinaison du tronc Θ_T et de l'angle de flexion du coude β de l'utilisateur lorsque l'action de mobilité est la saisie d'un objet.

[0042] Au début du procédé, le tronc de l'utilisateur est dans sa position de référence Θ_0 . L'utilisateur, désireux d'atteindre l'objet visé avec sa main, va engager un mouvement compensatoire qui est l'inclinaison du tronc vers l'avant. Lorsque l'inclinaison du tronc atteint une valeur prédéterminée Θ_1 , caractéristique de la détection du mouvement compensatoire, le système de commande du dispositif commande l'ouverture de l'articulation de coude prothétique. Le coude s'ouvre ainsi progressivement, depuis un angle de flexion β_0 jusqu'à un angle de flexion β_1 , ce qui entraîne le rapprochement de la main par rapport à l'objet à saisir.

[0043] La figure 6 illustre l'évolution au cours du temps de l'angle d'inclinaison du tronc Θ_T et de l'angle de flexion du coude β de l'utilisateur lorsque l'action de mobilité est la saisie de deux objets.

[0044] La saisie du premier objet commence de la même manière que dans le mode de réalisation illustré à la figure 5. A partir d'une position de référence Θ_0 du tronc de l'utilisateur, celui-ci engage un premier mouvement compensatoire du tronc vers l'avant jusqu'à incliner le tronc à une valeur prédéterminée Θ_1 , caractéristique de la détection du premier mouvement compensatoire. Le système de commande du dispositif commande

l'ouverture de l'articulation de coude prothétique depuis un angle de flexion β_0 jusqu'à un angle de flexion β_1 , ce qui entraîne le rapprochement de la main par rapport au premier objet à saisir.

[0045] Une fois le premier objet atteint, l'utilisateur souhaite alors saisir un deuxième objet, qui est plus proche de lui que le premier objet. L'utilisateur va alors engager un deuxième mouvement compensatoire, qui est d'incliner le tronc vers l'arrière, de manière à rapprocher sa main du deuxième objet. Lorsque l'inclinaison du tronc atteint une valeur prédéterminée Θ_2 , caractéristique de la détection du deuxième mouvement compensatoire, le système de commande du dispositif commande la fermeture de l'articulation de coude prothétique. Le coude se ferme ainsi progressivement, depuis l'angle de flexion β_1 jusqu'à un angle de flexion β_2 lui permettant d'atteindre le deuxième objet.

[0046] La figure 7 illustre différentes simulations de l'évolution au cours du temps de l'angle d'inclinaison du tronc et de l'angle de flexion du coude, l'action de mobilité étant d'atteindre une cible dans l'espace. Trois configurations ont été envisagées : un utilisateur dont l'articulation du coude est valide (courbes « naturel »), un utilisateur dont l'articulation du coude n'est pas valide, sans l'assistance du dispositif (courbes « coude bloqué »), et un utilisateur dont l'articulation du coude n'est pas valide avec l'assistance du dispositif (courbes « détection des compensations »).

[0047] Les simulations montrent que le comportement de l'utilisateur invalide utilisant le dispositif d'assistance selon l'invention, en termes d'inclinaison du tronc et de flexion du coude, se rapproche du comportement d'un utilisateur valide.

[0048] Le système de commande du dispositif selon l'invention peut être aussi vu comme une simple approche de correction du mouvement compensatoire. Dans l'exemple de la saisie d'un objet illustré à la figure 5, on peut ainsi considérer qu'un élément actif robotique est en fait commandé de manière à diminuer l'inclinaison du torse lorsque le mouvement compensatoire a été détecté : l'ouverture du coude est en fait augmentée de manière à compenser la diminution de l'inclinaison du torse.

[0049] Dans un mode de réalisation de l'invention, le dispositif peut non pas commander un rapprochement de l'utilisateur par rapport à l'objet à atteindre, comme cela vient d'être décrit, en rapprochant la main de l'objet par l'ouverture ou la fermeture du coude, mais commander un rapprochement de l'objet à atteindre par rapport à l'utilisateur. Dans l'exemple de la saisie d'un objet illustré à la figure 5, on peut ainsi envisager qu'un

élément actif robotique solidaire de l'objet soit commandé de manière à rapprocher l'objet de la main de l'utilisateur lorsque le mouvement compensatoire est détecté. On peut naturellement combiner ce mode de réalisation avec le mode de réalisation dans lequel on commande un rapprochement de l'utilisateur par rapport à l'objet à atteindre.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif (2) de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur, ledit système robotique comprenant au moins un élément actif d'assistance à la mobilité (3) apte à assister une action de mobilité donnée de l'utilisateur, caractérisé en ce que le dispositif (2) comprend un système de détection apte à détecter un mouvement compensatoire de l'utilisateur (1) associé à ladite action de mobilité, ledit mouvement compensatoire étant un mouvement que réalise un utilisateur non valide, ou valide mais localement et/ou temporairement contraint, pour effectuer au moins une partie de l'action de mobilité, et qui se substitue au moins en partie au mouvement normal que réaliserait un utilisateur valide non contraint pour réaliser cette action de mobilité, et un système de commande apte à commander ledit au moins un élément actif (3) lorsque ledit mouvement compensatoire est détecté.
- [Revendication 2] Dispositif (2) selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément actif (3) est une prothèse de bras robotisée ou un exosquelette de bras d'assistance.
- [Revendication 3] Dispositif (2) selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'action de mobilité est d'atteindre une cible, et en ce que le mouvement compensatoire est une inclinaison du torse de l'utilisateur.
- [Revendication 4] Dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le système de détection est configuré pour détecter un écart entre une position de référence (Θ_r) et une position (Θ_c) de l'utilisateur (1), et pour détecter un mouvement compensatoire lorsque ledit écart atteint un écart prédéterminé.
- [Revendication 5] Dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité (3) est un élément actif destiné à être solidarisé à l'utilisateur (1).
- [Revendication 6] Dispositif (2) selon la revendication 5, caractérisé ledit au moins un élément actif d'assistance à la mobilité (3) est une articulation motorisée.
- [Revendication 7] Dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'élément actif d'assistance à la mobilité est un élément actif extérieur à l'utilisateur (1).
- [Revendication 8] Dispositif (2) selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'élément actif d'assistance à la mobilité est un élément actif de commande d'un déplacement d'une cible (4) de l'utilisateur (1).

[Revendication 9] Dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le système de commande est en outre configuré pour induire une correction du mouvement compensatoire.

[Revendication 10] Ensemble d'assistance à la mobilité d'un utilisateur (1), caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 9 et un système robotique commandé par ledit dispositif (2).

[Revendication 11] Procédé de commande d'un système robotique d'assistance à la mobilité d'un utilisateur (1), caractérisé en ce qu'il met en œuvre un dispositif (2) selon l'une des revendications 1 à 9.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- déterminer une action de mobilité d'un utilisateur (1),
- associer à ladite action de mobilité un mouvement compensatoire de l'utilisateur (1),
- lorsque ledit mouvement compensatoire est détecté, commander ledit au moins élément actif d'assistance à la mobilité (3)

Fig 1

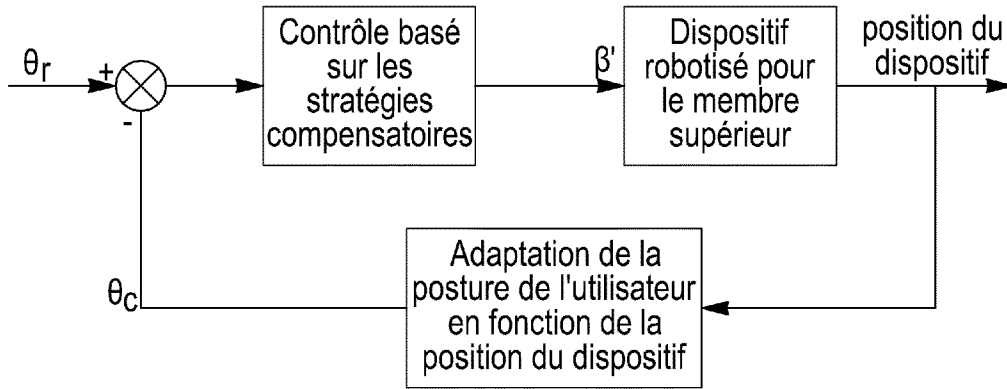


Fig 2

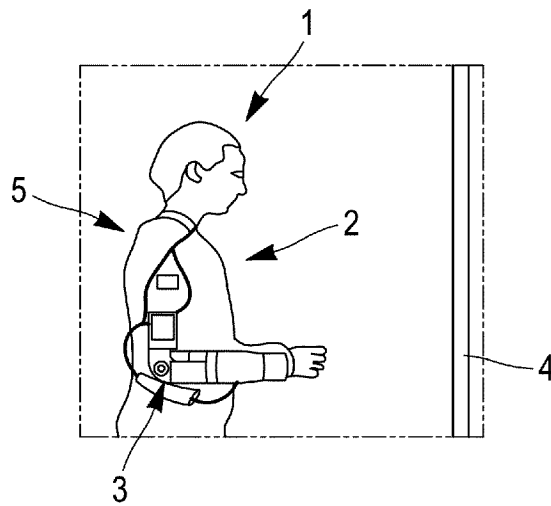


Fig 3

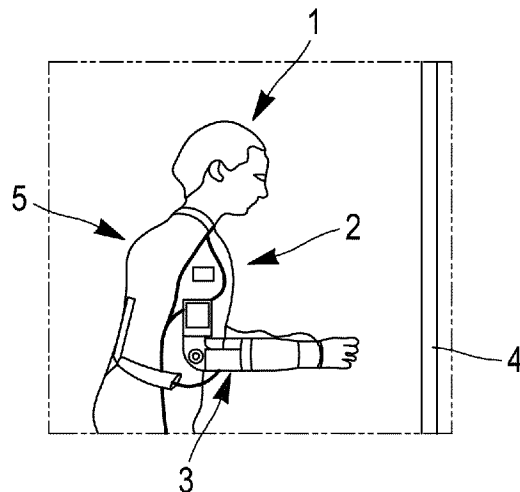


Fig 4

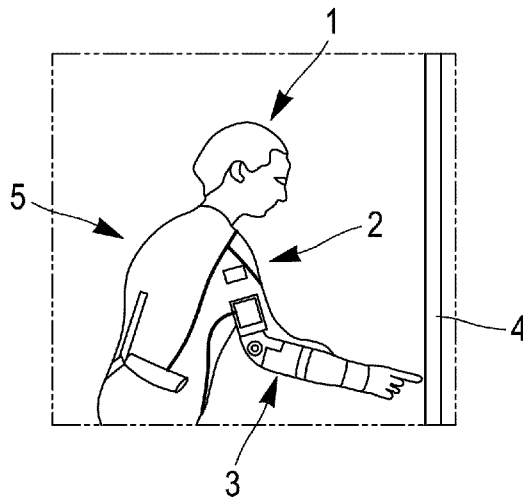


Fig 5

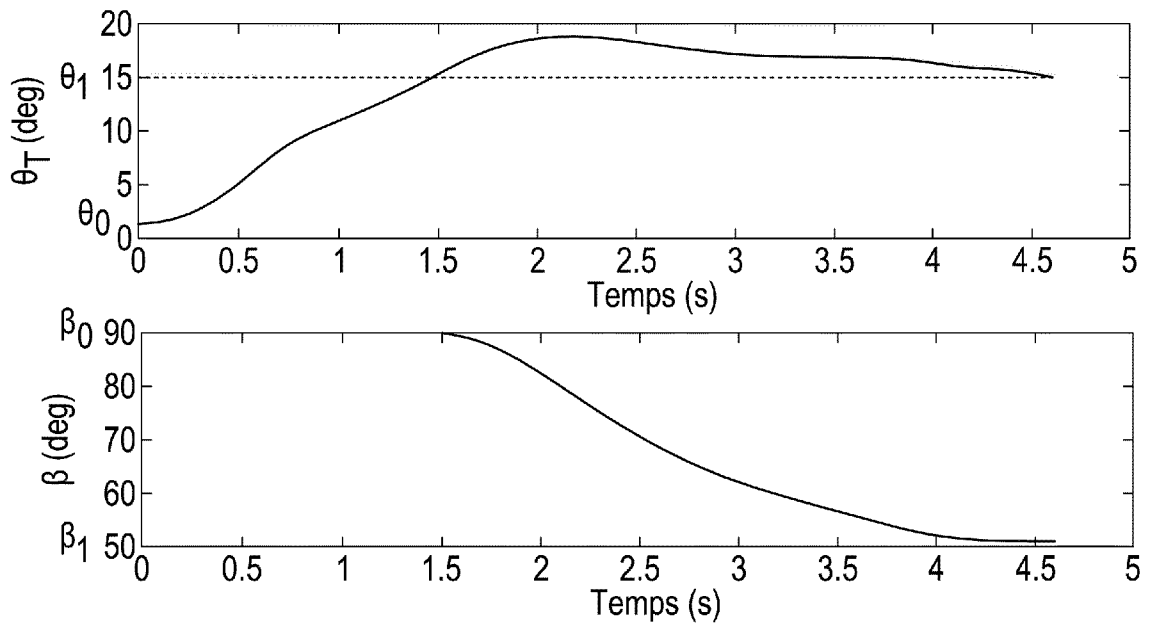


Fig 6

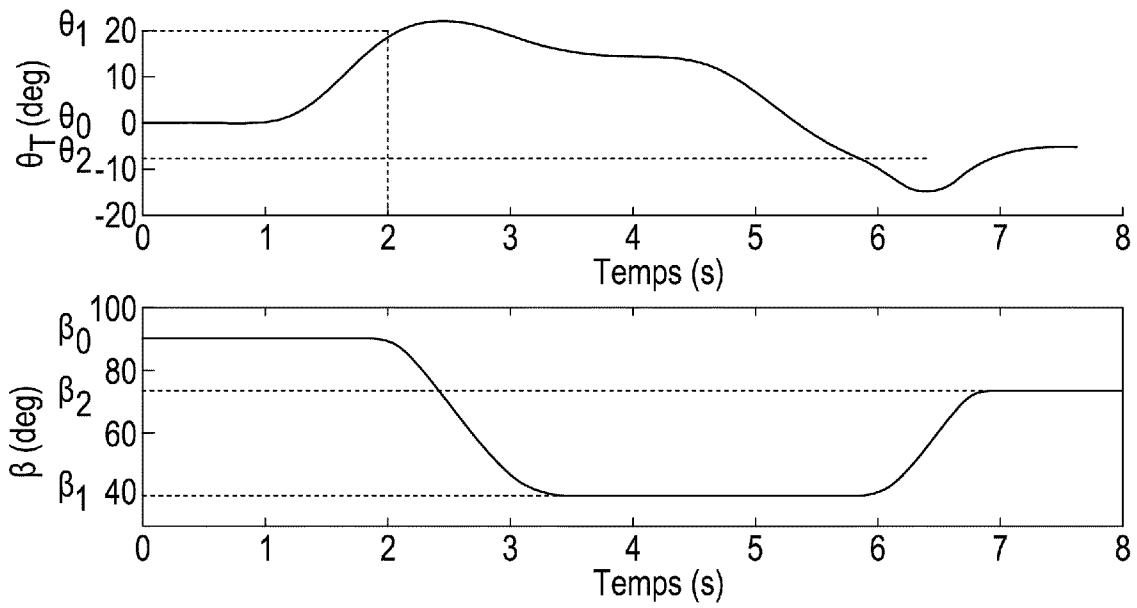
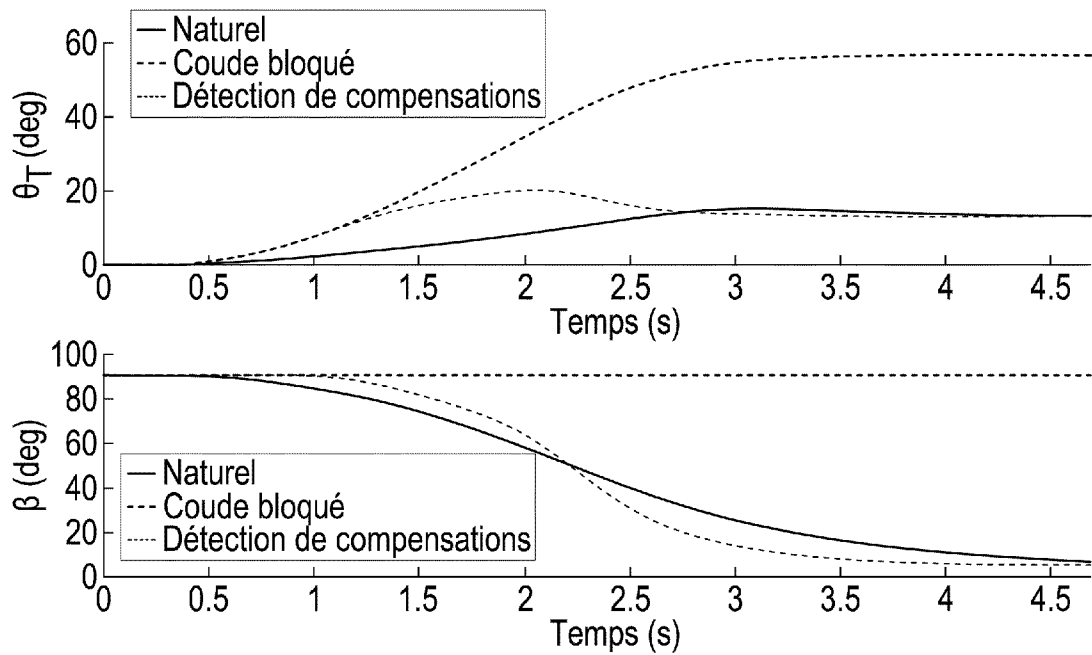


Fig 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/058203

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>A61H 3/00</i> (2006.01)i; <i>A61H 1/02</i> (2006.01)i 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) A61H 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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2015140353 A2 (WANDERCRAFT [FR]) 24 September 2015 (2015-09-24) paragraph [0070] - paragraph [0073]; figures 1-14	1-12
X	EP 1260201 A1 (ARGO MEDICAL TECHNOLOGIES LTD [IL]) 27 November 2002 (2002-11-27) paragraphs [0111], [0139]; claims 1-39; figures 1-8	1-12
X	WO 2015106278 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 16 July 2015 (2015-07-16) claims 1-6; figures 1-6	1-12
X	CN 105456000 B (UNIV SOUTH CHINA TECH) 14 September 2018 (2018-09-14) claims 1-8; figures 1-6	1-12
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 04 June 2020		Date of mailing of the international search report 16 June 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Shmonin, Vladimir Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/058203

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2015140353	A2	24 September 2015	CN	106456432	A	22 February 2017
				EP	3125848	A2	08 February 2017
				JP	2017514640	A	08 June 2017
				KR	20160135348	A	25 November 2016
				US	2017143573	A1	25 May 2017
				WO	2015140353	A2	24 September 2015
EP	1260201	A1	27 November 2002	AT	416739	T	15 December 2008
				EP	1260201	A1	27 November 2002
				ES	2319390	T3	07 May 2009
				US	2003093021	A1	15 May 2003
WO	2015106278	A2	16 July 2015	US	2015217444	A1	06 August 2015
				WO	2015106278	A2	16 July 2015
CN	105456000	B	14 September 2018	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2020/058203

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. A61H3/00 A61H1/02 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) A61H		
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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2015/140353 A2 (WANDERCRAFT [FR]) 24 septembre 2015 (2015-09-24) alinéa [0070] - alinéa [0073]; figures 1-14 -----	1-12
X	EP 1 260 201 A1 (ARGO MEDICAL TECHNOLOGIES LTD [IL]) 27 novembre 2002 (2002-11-27) alinéas [0111], [0139]; revendications 1-39; figures 1-8 -----	1-12
X	WO 2015/106278 A2 (MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY [US]) 16 juillet 2015 (2015-07-16) revendications 1-6; figures 1-6 -----	1-12
X	CN 105 456 000 B (UNIV SOUTH CHINA TECH) 14 septembre 2018 (2018-09-14) revendications 1-8; figures 1-6 -----	1-12
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> 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 4 juin 2020		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 16/06/2020
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 Shmonin, Vladimir

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2020/058203

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015140353 A2	24-09-2015	CN 106456432 A	22-02-2017
		EP 3125848 A2	08-02-2017
		JP 2017514640 A	08-06-2017
		KR 20160135348 A	25-11-2016
		US 2017143573 A1	25-05-2017
		WO 2015140353 A2	24-09-2015
EP 1260201 A1	27-11-2002	AT 416739 T	15-12-2008
		EP 1260201 A1	27-11-2002
		ES 2319390 T3	07-05-2009
		US 2003093021 A1	15-05-2003
WO 2015106278 A2	16-07-2015	US 2015217444 A1	06-08-2015
		WO 2015106278 A2	16-07-2015
CN 105456000 B	14-09-2018	AUCUN	