

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
9 décembre 2004 (09.12.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/107241 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **G06F 19/00**

Domaine de Voluceau, Rocquencourt - BP 105, F-78153
Le Chesnais Cedex (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2004/001193

(72) Inventeurs; et

(22) Date de dépôt international : 14 mai 2004 (14.05.2004)

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **COSTE-MANIERE, Eve** [FR/FR]; 8, Alphonse Karr - Résidence Le Palace, F-06600 Nice (FR). **DONAL, Stevan** [FR/FR]; 6, rue Championnet, F-06000 Antibes (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
03/06178 22 mai 2003 (22.05.2003) FR

(74) Mandataires : **PLACAIS, Jean-Yves** etc.; Cabinet Netter, 36, avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

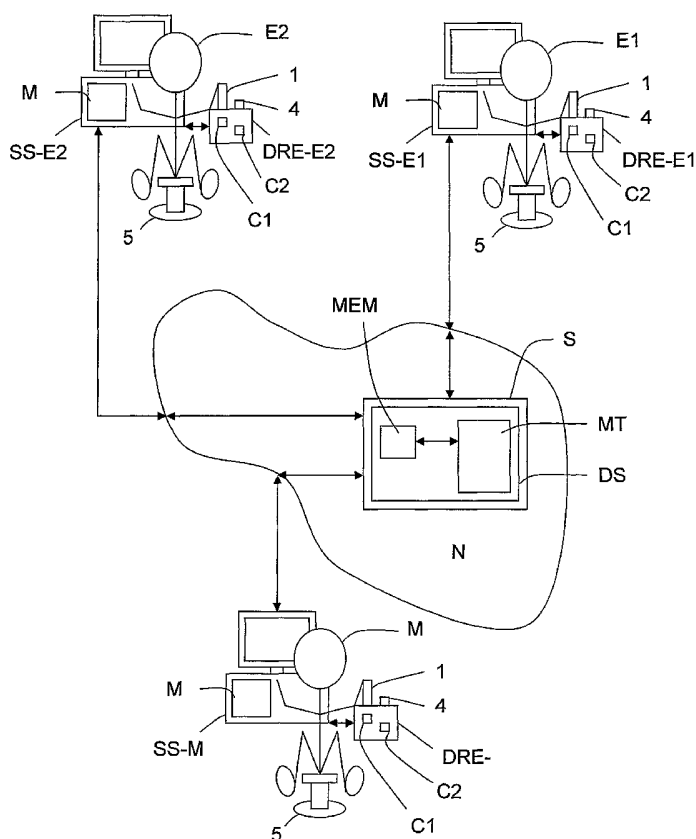
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **INRIA INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE** [FR/FR];

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: REAL-TIME SIMULATION OF ACTIONS CARRIED OUT ON A VIRTUAL OBJECT BY MEANS OF A VIRTUAL TOOL TELEOPERATED BY CORRELATED FORCE FEEDBACK DEVICES

(54) Titre : SIMULATION EN TEMPS RÉEL D'ACTIONS EFFECTUÉES SUR UN OBJET VIRTUEL PAR UN OUTIL VIRTUEL TÉLÉOPÉRÉ PAR DES DISPOSITIFS À RETOUR D'EFFORT CORRÉLÉS



(57) Abstract: The invention relates to a device (DS) for the real-time simulation of actions carried out on a virtual object by means of a virtual tool teleoperated by at least two simulation stations (SS-E, SS-M), each comprising a force feedback device (DRE-E, DRE-M). The inventive device (DS) comprises treatment means (MT) which receive primary data representing the states of a virtual tool (R) acted upon by two force feedback devices (DRE-E, DRE-M), and are then used to determine secondary data representing a force vector (or torsor) depending on a variation in the primary data received, and to transmit the determined secondary data to at least one of the simulation stations (SS-E, SS-M) in such a way that said station adapts the force applied to the force feedback device (DRE-E, DRE-M) thereof, according to the secondary data transmitted.

(57) Abrégé : Un dispositif (DS) est dédié à la simulation en temps réel d'actions effectuées sur un objet virtuel par un outil virtuel téléopéré par au moins deux stations de simulation (SS-E, SS-M) comprenant chacune un dispositif à retour d'effort (DRE-E, DRE-M). Ce dispositif (DS) comprend des moyens de traitement (MT) chargés, lorsqu'ils reçoivent des données primaires

[Suite sur la page suivante]



GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

représentatives des états d'un outil virtuel (R) sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort (DRE-E, DRE-M), de déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur (ou torseur) force fonction d'un écart entre les données primaires reçues, et de transmettre les données secondaires déterminées à l'une au moins des stations de simulation (SS-E, SS-M) de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort (DRE-E, DRE-M) en fonction des données secondaires transmises.

**SIMULATION EN TEMPS RÉEL D'ACTIONS EFFECTUÉES SUR UN OBJET
VIRTUEL PAR UN OUTIL VIRTUEL TÉLÉOPÉRÉ PAR DES DISPOSITIFS À
5 RETOUR D'EFFORT CORRÉLÉS**

L'invention concerne le domaine de la simulation, et plus particulièrement la simulation en temps réel d'interactions entre un objet virtuel et un outil (ou instrument) virtuel.

10

La simulation est une technique particulièrement utile pendant la phase de préparation d'une intervention (ou opération), en particulier lorsque les conditions d'intervention sont difficiles et/ou lorsque les interventions réelles sont rares et/ou dangereuses et/ou nécessitent plusieurs intervenants, éventuellement distants les uns des autres. C'est
15 notamment le cas dans le domaine de la chirurgie où l'apprentissage des gestes opératoires revêt une importance considérable du fait des risques encourus par les patients. Mais, c'est également le cas dans d'autres domaines tels que la rééducation fonctionnelle ou la robotique sous-marine.

20 Afin de permettre de telles simulations, il a été proposé des installations comportant, d'une part, un serveur muni du modèle volumique (3D), et parfois dynamique et comportemental, d'au moins un objet virtuel et du modèle volumique et comportemental d'au moins un outil (ou instrument) virtuel d'intervention à degrés de liberté multiples, et d'autre part, une ou plusieurs stations couplées au serveur et équipées d'un dispositif à retour d'effort
25 permettant de piloter à distance tout ou partie du ou des outils d'intervention virtuels. Chaque station comporte un afficheur, reconstruisant la scène, alimenté en temps réel, par le serveur, en données d'image définissant des séquences d'images virtuelles du ou des objets virtuels et du ou des outils virtuels téléopérés par le(s) dispositif(s) à retour d'effort.

30 Ce type d'installation permet donc à des personnes distantes d'agir simultanément sur un même outil d'intervention et par conséquent de coordonner leurs actions.

Mais, ce type d'installation peut également servir dans le domaine de la formation (ou l'apprentissage). Dans ce cas, l'enseignant peut observer en temps réel, sur son afficheur, le résultat des actions entreprises par son (ses) élèves à l'aide de son (leur) dispositif à retour d'effort, et lui (leur) dispenser des conseils et/ou lui (leur) adresser des instructions
5 ou des informations, via une interface homme/machine.

L'installation peut également permettre aux élèves de visualiser sur leurs afficheurs le résultat des actions entreprises par l'enseignant à l'aide de son dispositif à retour d'effort. Mais, un enseignant ne peut pas contraindre le dispositif à retour d'effort piloté par l'un de
10 ses élèves à reproduire physiquement, en temps réel, les actions qu'il entreprend avec son propre dispositif à retour d'effort. En d'autres termes, la gestuelle d'un élève ne peut pas être physiquement corrigée, ce qui constitue un réel inconvénient.

L'invention a donc pour but de remédier à cet inconvénient.

15 Elle propose à cet effet un dispositif dédié à la simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel par au moins un outil virtuel téléopéré par au moins deux stations de simulation comprenant chacune un dispositif à retour d'effort.

20 Ce dispositif se caractérise par le fait qu'il comprend des moyens de traitement chargés, lorsqu'ils reçoivent des données primaires représentatives des états d'un outil virtuel sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort (par exemple ceux d'un maître et d'un élève), de déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur (ou torseur) force fonction d'un écart entre les données primaires reçues, et de transmettre les données
25 secondaires déterminées à l'une au moins des stations de simulation (par exemple celle de l'élève) de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort en fonction des données secondaires transmises.

Les données primaires sont avantageusement transmises par les stations de simulation qui
30 les déterminent à l'aide de capteur(s).

Par ailleurs, chaque état est préférentiellement représentatif de la position et de l'orientation du dispositif à retour d'effort correspondant. En outre, certaines données primaires peuvent être également représentatives d'informations complémentaires relatives à l'outil virtuel téléopéré, comme par exemple des coordonnées articulaires d'un bras articulé ou le degré d'ouverture d'une pince.

Préférentiellement, ce qui différencie une station de simulation élève d'une station de simulation maître c'est le niveau de priorité auquel elle est associée. Un tel niveau de priorité peut par exemple définir une autorisation d'action sur un paramètre de réglage et/ou une autorisation d'action sur un autre dispositif à retour d'effort et/ou une autorisation de modification de la force appliquée à un autre dispositif à retour d'effort.

Le dispositif de simulation selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui pourront être prises séparément ou en combinaison, et notamment:

- * des moyens de traitement capables de définir des sessions associant chacune une station de simulation de type "maître" et au moins une station de simulation de type "élève",
- * des moyens de traitement capables de gérer en parallèle plusieurs sessions,
- * des moyens de traitement capables d'associer une station de simulation maître à au moins deux sessions,
- * des moyens de traitement agencés de manière à ne transmettre les données secondaires représentatives des vecteurs (ou torseurs) force qu'aux stations de simulation élève, de sorte que le maître puisse corriger et/ou guider la gestuelle de ses élèves,
- * des moyens de traitement capables de stocker dans une mémoire les paramètres de fonctionnement qui définissent les états successifs de l'outil virtuel du fait des actions effectuées à l'aide des dispositifs à retour d'effort dont les stations de simulation sont associées dans une même session et impliquées dans une même séquence d'intervention. Dans ce cas, les moyens de traitement sont préférentiellement chargés de transmettre à des

stations de simulation maître et élève, qui sont associées dans une même session (et qui en font la demande), les paramètres de fonctionnement d'une séquence stockée, afin qu'elles puissent rediffuser simultanément cette séquence sur leurs afficheurs respectifs. Par ailleurs, les moyens de traitement peuvent être agencés, lorsque l'un des deux dispositifs à retour d'effort fait l'objet d'une intervention pendant la visualisation d'une ancienne séquence, de manière à interrompre la transmission des paramètres de fonctionnement de cette ancienne séquence, puis à déterminer et transmettre les données secondaires correspondant à l'intervention, tout en procédant à l'enregistrement des paramètres de fonctionnement représentatifs des nouveaux états des dispositifs à retour d'effort concernés,

10

* des moyens de traitement pouvant placer, sur ordre, les stations de simulation dans différents modes de fonctionnement, et notamment:

- un mode dit "indépendant" dans lequel son dispositif à retour d'effort peut téléopérer l'outil indépendamment des actions exercées par les autres dispositifs à retour d'effort de sa session,
- un mode dit "d'envoi" dans lequel son dispositif à retour d'effort est autorisé à téléopérer l'outil et ses paramètres de fonctionnement sont transmis aux autres dispositifs à retour d'effort de sa session afin qu'ils les appliquent,
- un mode dit "d'écoute" dans lequel son dispositif à retour d'effort applique les paramètres de fonctionnement qu'il reçoit sans pouvoir téléopérer indépendamment l'outil,
- un mode dit "guidé" dans lequel son dispositif à retour d'effort peut téléopérer l'outil en tenant compte des données secondaires qu'il reçoit, et
- un mode dit "guide" dans lequel son dispositif à retour d'effort ne peut pas téléopérer l'outil mais transmet ses données primaires et contraint un autre dispositif à retour d'effort, de sa session, à téléopérer l'outil compte tenu de données secondaires élaborées à partir des données primaires transmises et de ses propres données primaires.

25

L'invention concerne en outre une station de simulation destinée à faire partie d'une installation de simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel par au moins un outil virtuel.

30

Cette station de simulation comprend un dispositif à retour d'effort permettant de contrôler à distance le fonctionnement d'une partie au moins de l'outil virtuel en fonction de son état, et muni d'au moins un capteur, délivrant des données représentatives de l'état de ce dispositif, à partir desquelles sont déterminées des données primaires représentatives de l'état de l'outil virtuel sur lequel agit au moins le dispositif à retour d'effort, et de moyens de contrôle alimentés en données primaires et en données secondaires par un dispositif de simulation du type de celui présenté ci-avant, et chargés d'adapter la force appliquée au dispositif à retour d'effort en fonction des données primaires et secondaires reçues.

- 10 L'invention concerne également une installation dédiée à la simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel par au moins un outil virtuel téléopéré par au moins deux stations de simulation du type de celle présentée ci-avant, et comprenant un serveur équipé d'un dispositif de simulation du type de celui présenté ci-avant. Une telle installation peut par exemple définir une architecture d'agent ouverte (ou OAA pour "Open Agent Architecture").

L'invention concerne également un procédé dédié à la simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel par au moins un outil virtuel téléopéré par au moins deux stations de simulation du type de celle présentée ci-avant.

- 20 Ce procédé consiste à déterminer des données primaires représentatives des états d'un outil virtuel sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort, puis à déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur (ou torseur) force fonction d'un écart entre les données primaires, et à transmettre les données secondaires déterminées à l'une au moins des stations de simulation de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort en fonction de ces données secondaires.

Le procédé selon l'invention peut comporter d'autres caractéristiques qui pourront être prises séparément ou en combinaison, et notamment:

- 30 * des données primaires préférentiellement déterminées au niveau des stations de simulation,

* des états représentatifs au moins de la position et de l'orientation du dispositif à retour d'effort correspondant,

5 * des données primaires représentatives d'informations complémentaires relatives à l'outil virtuel,

* on peut définir des sessions associant chacune une station de simulation maître et au moins une station de simulation élève, plusieurs sessions pouvant être gérées en parallèle, et une station de simulation maître pouvant être associée à au moins deux sessions,

10

* on peut transmettre les données secondaires au moins à la station de simulation élève,

15 * on peut stocker dans une mémoire les paramètres de fonctionnement représentatifs des états successifs de l'outil virtuel du fait des actions effectuées à l'aide des différents dispositifs à retour d'effort dont les stations de simulation sont associées dans une même session et impliquées dans une même séquence. Dans ce cas, on peut transmettre à des stations de simulation maître et élève, associées dans une même session, les paramètres de fonctionnement d'une séquence stockée, afin qu'elles rediffusent simultanément la séquence sur leurs afficheurs respectifs. Par ailleurs, lorsqu'un dispositif à retour d'effort fait l'objet
20 d'une intervention pendant la rediffusion d'une ancienne séquence, on peut interrompre la transmission des paramètres de fonctionnement de cette ancienne séquence, puis déterminer et transmettre des données secondaires correspondant à l'intervention, tout en procédant à l'enregistrement des paramètres de fonctionnement représentatifs des nouveaux états des dispositifs à retour d'effort concernés,

25

* on peut placer les stations de simulation dans l'un des modes de fonctionnement présentés ci-avant.

30 L'invention trouve une application particulièrement intéressante, bien que non exclusive, dans le domaine de la simulation d'interventions chirurgicales sur des objets virtuels, par exemple lorsque ces objets représentent des organes, éventuellement déformables.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique un exemple de réalisation d'une installation selon l'invention, en réseau, et
- 5 -la figure 2 illustre schématiquement une station de simulation sur l'écran de laquelle sont matérialisés le bras d'un robot virtuel d'intervention et un organe virtuel.

Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

10

L'invention concerne la simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel par au moins un outil (ou instrument) virtuel au sein d'une installation de simulation. Dans ce qui suit, il sera fait référence à une installation de simulation adaptée à l'enseignement à distance dans laquelle l'outil virtuel est un robot. Mais, d'autres types d'outil (ou

15 instrument) virtuel peuvent être envisagés, comme par exemple un instrument laparoscopique non robotisé.

L'installation de simulation selon l'invention, illustrée à titre d'exemple non limitatif sur les figures 1 et 2, est adaptée à l'apprentissage de séquences d'actions permettant d'intervenir

20 sur un objet virtuel H, de type organe déformable, à l'aide d'un robot virtuel R piloté par un dispositif à retour d'effort DRE.

Plus précisément, dans l'exemple illustré l'installation est agencée sous la forme d'un réseau N comportant un serveur S auxquels sont raccordées plusieurs stations de simulation SS

25 (ici trois). L'installation définit par exemple une architecture d'agent ouverte (ou OAA pour "Open Agent Architecture"). Par ailleurs, le serveur S est équipé d'un dispositif de simulation DS, selon l'invention, sur lequel on reviendra plus loin.

Chaque station de simulation SS est couplée à une interface homme/machine et à un

30 dispositif à retour d'effort DRE comportant au moins un levier de pilotage 1 (ici de type "joystick"), destiné à piloter l'un au moins des bras manipulateurs 2, 3 du robot virtuel R. L'interface homme/machine peut prendre n'importe quelle forme. Il peut s'agir d'un clavier

de commande et/ou d'une ou plusieurs touches 4 de commande (de type sensitif, ou bouton-poussoir, ou encore "souris", y compris une souris 3D (ou "space mouse")). On peut également utiliser des tablettes graphiques, par exemple de type WACOM, et/ou des stylos électroniques de commande, et/ou des moyens permettant d'adresser des commandes

5 vocales.

Dans cet exemple, on a dissocié la station de simulation SS du dispositif à retour d'effort DRE, mais, ils peuvent être intégrés dans une console en regard de laquelle est installée une chaise 5 sur laquelle peut s'installer un utilisateur.

10

Tout type de dispositif à retour d'effort peut être envisagé, et notamment un pantascopie, un dispositif de type Immersion (ou "Impulse engine"), un bras de type PHANTOM fabriqué par la société Sensable Technologies (décrit par exemple à l'adresse internet "http://www.sensable.com/products/phantom_ghost/phantom.asp"), un bras de type

15 DELTA fabriqué par la société Force Dimension (décrit par exemple à l'adresse internet "<http://www.forcedimension.com/products/index.html>"), ou un bras de type Freedom 6S fabriqué par la société MPB Technologies (décrit par exemple à l'adresse internet "http://www.mpb-technologies.ca/space/freedom6_2000/f6s/freedom6s.html"), ou encore d'une interface de laparoscopie virtuelle à retour d'effort bras de type PHANTOM fabriqué

20 par la société Immersion (décrite par exemple à l'adresse internet "http://www.immersion.com/products/medical/laparoscopy_hardware.html"). D'une manière générale, le dispositif à retour d'effort est un système haptique.

Chaque dispositif à retour d'effort DRE est équipé d'au moins un capteur C1 capable de

25 déterminer à chaque instant son vecteur de position (qui définit sa position et son orientation). Plus précisément, chaque capteur C1 délivre des données primaires représentatives du vecteur de position du dispositif à retour d'effort DRE par rapport au référentiel de l'outil virtuel R. Ces données primaires définissent l'état de l'outil virtuel R sur lequel agit le dispositif à retour d'effort DRE. Elles peuvent être complétées par des

30 informations complémentaires (ou auxiliaires) relatives à l'outil virtuel téléopéré R, comme par exemple des coordonnées articulaires d'un bras articulé ou le degré d'ouverture d'une pince.

Chaque station de simulation SS comporte également un écran SC permettant d'afficher des séquences d'images virtuelles (ou de synthèse) de la zone d'intervention, et notamment de l'organe virtuel H, objet de l'intervention, et des bras 2 et 3 du robot virtuel R. L'écran SC peut également permettre d'afficher des informations relatives, par exemple, à l'intervention.

Enfin, chaque station de simulation SS est équipée d'un module de contrôle MC couplé au dispositif à retour d'effort DRE. Ce module de contrôle MC reçoit du capteur C1 les données primaires représentatives du vecteur de position (ou état) du dispositif à retour d'effort DRE associé, et par conséquent de l'état de l'outil virtuel R. Il reçoit également les commandes et instructions de pilotage fournies par l'utilisateur, par exemple à l'aide du clavier et des touches 4. Comme on le verra plus loin, il peut adresser des commandes destinées à adapter la force appliquée au dispositif à retour d'effort DRE associé.

Les séquences d'images virtuelles affichées sur les écrans SC sont transmises aux différentes stations de simulation SS par le serveur S. Plus précisément, ces images virtuelles sont construites à partir de données d'image numériques délivrées par le dispositif de simulation DS, selon l'invention.

Ces données d'image sont élaborées à partir du modèle volumique (3D), et éventuellement du modèle dynamique et/ou comportemental, de l'organe virtuel, et du modèle volumique et comportemental du robot virtuel R à degrés de liberté multiples, ainsi que des données primaires, données auxiliaires et commandes et instructions de pilotage qui lui sont transmises, via le réseau N, par les différents modules de contrôle MC.

Les modèles sont préférentiellement stockés dans une mémoire MEM du dispositif de simulation DS. Tout type de modèle peut être envisagé, qu'il soit statique ou dynamique, et tout type de traitement d'image peut être envisagé, qu'il intègre ou non des modèles de déformation, ou de découpe, ou encore de texture, de l'organe virtuel.

Lorsque l'installation présente une architecture de type OAA, le dispositif de simulation DS est classiquement capable de délivrer à chaque station de simulation SS les séquences

d'images virtuelles (ou de synthèse) qui correspondent à l'interaction entre une instance (ou copie) de l'objet virtuel H et une instance (ou copie) du robot virtuel R piloté par le dispositif à retour d'effort DRE associé à ladite station de simulation SS. Ainsi, chaque utilisateur peut observer sur l'écran SC de sa propre station de simulation SS l'état du robot
5 virtuel R qui correspond à l'état de son propre dispositif à retour d'effort DRE.

Le dispositif de simulation DS comporte un module de traitement MT chargé, tout d'abord, d'établir des sessions, indépendantes les unes des autres, et regroupant chacune au moins deux stations de simulation SS. Une session correspond à un "état" commun à plusieurs
10 clients (ou utilisateurs). Le lien entre un client et une session est établi par le serveur S et peut être modifié à chaque instant. Au sein d'une session, les différents clients partagent plusieurs paramètres, et notamment la scène, qui est la représentation virtuelle de la zone d'observation, l'objet virtuel commun, qui fait l'objet de l'intervention, les éventuels obstacles et le robot virtuel R.

15

Certains paramètres sont en revanche modifiables par chaque client, comme par exemple la position/orientation des outils virtuels placés aux extrémités des bras 2 et 3 du robot R. A chaque client est associé un niveau de priorité qui définit les paramètres qu'il est autorisé à modifier et par conséquent ce que sa station de simulation SS est autorisée à faire. Par
20 exemple, un niveau de priorité définit l'autorisation d'action sur un paramètre de réglage de l'installation, et/ou l'autorisation d'action sur le dispositif à retour d'effort DRE d'une autre station de simulation SS, et/ou l'autorisation de modifier la force appliquée à un dispositif à retour d'effort DRE d'une autre station de simulation SS.

25 Un niveau de priorité définit donc un mode de fonctionnement régissant la relation du client concerné avec les clients qui appartiennent à la même session et qui pilotent un même robot virtuel R.

Par exemple, dans le cas de l'apprentissage, une session regroupe une station de simulation
30 SS-M pilotée par un maître (ou enseignant) et au moins une station de simulation SS-E pilotée par un élève E, et les niveaux de priorité associés définissent un mode de

fonctionnement dans lequel le maître montre une séquence de gestes opératoires, l'élève tente de reproduire la séquence et le maître corrige la séquence de l'élève.

Il est important de noter qu'une même station de simulation maître SS-M peut être associée
5 à plusieurs sessions différentes.

Le module de traitement MT est en outre chargé de calculer un écart entre les données primaires représentatives des états de l'outil virtuel R piloté par un dispositif à retour d'effort et les données primaires représentatives des états de ce même outil virtuel R piloté
10 par un autre dispositif à retour d'effort. Plus précisément, l'état de l'outil est caractérisé par rapport aux positions et orientations successives de chaque dispositif à retour d'effort DRE. Par conséquent, l'écart est préférentiellement la différence vectorielle entre les vecteurs de position (ou position/orientation définies par les données primaires reçues) de couples de dispositifs à retour d'effort DRE qui agissent sur un même outil virtuel R. Le module de
15 traitement MT est également chargé de calculer des données secondaires représentatives d'un vecteur force fonction de la différence vectorielle calculée. Par exemple un couple est constitué d'un dispositif à retour d'effort DRE-E1 ou DRE-E2 piloté par un élève E1 ou E2 et un dispositif à retour d'effort DRE-M piloté par un maître M (ou enseignant).

20 En fait, l'état de chaque dispositif à retour d'effort DRE, tant sur le plan de la position/orientation que sur le plan de l'intensité du retour d'effort qu'il exerce, est entièrement défini par une matrice dite de transformation, connue du module de traitement MT et dont les valeurs sont constituées notamment par les données primaires fournies par le module de contrôle MC associé. Par conséquent, les données secondaires représentent en réalité ce
25 que l'homme de l'art appelle un torseur force représentatif de la différence entre les matrices de transformation de deux dispositifs à retour d'effort.

Les données secondaires, qui représentent ce torseur (ou vecteur) force, sont transmises à l'une au moins des stations de simulation SS (par exemple celle SS-E de l'élève) afin qu'elle
30 adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort DRE-E en fonction desdites données secondaires. La variation de force dépend des écarts de position (et si besoin d'orientation) du robot virtuel R téléopéré par les deux dispositifs à retour d'effort DRE.

Ainsi, toute différence de positionnement/orientation du robot virtuel R téléopéré par l'un des deux dispositifs à retour d'effort DRE du maître M et de l'élève E, peut être détectée et estimée par le module de traitement MT, puis corrigée au niveau du dispositif à retour d'effort DRE-E de l'élève E après une transposition sous la forme d'un vecteur force. En d'autres termes, le maître M peut faire ressentir à son élève E ce qu'il fait à l'aide de son
5 dispositif à retour d'effort DRE et qui est défini à chaque instant par son état.

L'élève peut ainsi être non seulement corrigé, mais également guidé dans sa gestuelle.

10 De façon plus détaillée, les données secondaires (représentant le vecteur force) sont transmises, via le réseau N, au module de contrôle MC du serveur de simulation élève SM-E, lequel les convertit en commande de variation de force qu'il adresse à son dispositif à retour d'effort DRE-E de sorte qu'il adapte la force qu'il applique.

15 Bien entendu, on pourrait également envisager que l'élève agisse sur le dispositif à retour d'effort DRE-M du maître M, par l'intermédiaire du module de traitement MT, notamment pour que ledit maître ressente physiquement via son dispositif à retour d'effort ce que ressent son élève.

20 Grâce à cette nouvelle fonctionnalité qu'autorise l'invention, le module de traitement MT du dispositif de simulation DS peut définir plusieurs modes de fonctionnement entre des clients appartenant à une même session.

Dans un mode dit "indépendant" le dispositif à retour d'effort DRE est autorisé à téléopérer
25 le robot virtuel R indépendamment des actions exercées par les autres dispositifs à retour d'effort de sa session. Dans un mode dit "d'envoi", le dispositif à retour d'effort DRE est autorisé à téléopérer le robot virtuel R, et ses paramètres de fonctionnement sont transmis aux autres dispositifs à retour d'effort DRE de sa session afin qu'ils les appliquent. Dans un mode dit "d'écoute", le dispositif à retour d'effort DRE applique les paramètres de
30 fonctionnement qu'il reçoit sans pouvoir téléopérer le robot virtuel R indépendamment. Dans un mode dit "guidé", le dispositif à retour d'effort DRE est autorisé à téléopérer le robot virtuel R en tenant compte des commandes d'adaptation qui lui sont transmises par

son module de contrôle MC et qui ont été élaborées à partir des données secondaires adressées par le module de traitement MT. Dans un mode dit "guide", le dispositif à retour d'effort DRE est interdit de téléopérer le robot virtuel R mais est autorisé à transmettre ses données primaires (au moins) et à contraindre un autre dispositif à retour d'effort DRE, de sa session, à téléopérer le robot virtuel R compte tenu des données secondaires transmises par le module de traitement MT et élaborées à partir des données primaires transmises et de ses propres données primaires.

Préférentiellement, le module de traitement MT est agencé de manière à mettre à la disposition des stations de simulation SS d'une même session une fonction de rediffusion d'une séquence d'intervention.

A cet effet, le module de traitement MT stocke dans une mémoire, par exemple celle (MEM) contenant les modèles, les paramètres de fonctionnement qui définissent les états successifs pris par le robot virtuel R du fait des actions effectuées à l'aide des dispositifs à retour d'effort DRE des différentes stations de simulation SS associées dans une même session et impliquées dans une même séquence d'intervention.

Les utilisateurs (maître et élève(s)) peuvent ainsi visualiser l'intégralité d'une séquence à laquelle ils ont participé. La vitesse de la rediffusion est préférentiellement réglable.

Mais, le module de traitement MT peut également être configuré de manière à permettre aux stations de simulation SS d'intervenir à tout moment pendant une phase de rediffusion d'une séquence d'intervention afin de poursuivre la séquence à l'aide de leur dispositif à retour d'effort DRE. Cela permet à un élève ou à un maître de recommencer (ou poursuivre) une partie d'une séquence, à l'instant de son choix, avec son propre dispositif à retour d'effort DRE.

Pour ce faire, lorsque le module de traitement MT reçoit un ordre d'interruption de rediffusion d'une station de simulation SM (autorisée), il extrait de la mémoire MEM les paramètres de fonctionnement qui définissent l'état du robot virtuel R à l'instant de l'interruption. Puis, il transmet ces paramètres de fonctionnement au moins au module de

- contrôle MC de la station de simulation SS qui a demandé l'interruption (il peut également les transmettre aux autres stations de simulation de la session), afin qu'il détermine les commandes de positionnement/orientation et/ou les commandes de retour d'effort qui leurs correspondent. Ces commandes sont alors transmises au dispositif à retour d'effort DRE
5 associé afin qu'il se place dans l'état correspondant. Son utilisateur (E ou M) peut alors actionner son levier de pilotage 1 et adresser des commandes et instructions au module de traitement MT, avec ses touches de commande 4 et/ou son clavier et/ou ses moyens de synthèse vocale.
- 10 Les paramètres de fonctionnement qui définissent les nouveaux états successifs du robot virtuel R sont également enregistrés, en vue d'une éventuelle rediffusion. En fait, la session se poursuit avec une nouvelle séquence dans laquelle les stations de simulation SS peuvent intervenir à tout moment selon leurs niveaux de priorité respectifs (lesquels ont éventuellement été modifiés).
- 15 Le dispositif de simulation DS, et notamment son module de traitement MT, et le module de contrôle MC, équipant les stations de simulation SS, peuvent être réalisés sous la forme de circuits électroniques, de modules logiciels (ou informatiques), ou d'une combinaison de modules logiciels et de circuits électroniques.
- 20 L'invention concerne également un procédé dédié à la simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel H par au moins un outil virtuel R téléopéré par au moins deux stations de simulation SS comprenant chacune un dispositif à retour d'effort DRE.
- 25 Celui-ci peut être mis en œuvre à l'aide d'une installation de simulation du type de celle présentée ci-avant. Les fonctions et sous-fonctions principales et optionnelles assurées par les étapes de ce procédé étant sensiblement identiques à celles assurées par les différents moyens constituant l'installation, seules seront résumées ci-après les étapes mettant en
30 œuvre les fonctions principales du procédé selon l'invention.

Ce procédé se caractérise par le fait qu'il consiste à déterminer des données primaires représentatives des états d'un outil virtuel sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort, puis à déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur (ou torseur) force fonction d'un écart entre les données primaires, et à transmettre les données
5 secondaires déterminées à l'une au moins des stations de simulation de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort en fonction de ces données secondaires.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de dispositif de simulation, station de simulation, installation de simulation et procédé de simulation décrits ci-avant, seulement
10 à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

Ainsi, on a décrit une installation de simulation agencée sous la forme d'un réseau supervisé par un serveur de simulation. Mais, on peut envisager une installation de simulation réduite
15 dans laquelle le serveur de simulation et l'une des stations de simulation sont confondus en un unique système.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (D) de simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel (H) par au moins un outil virtuel (R) téléopéré par au moins deux stations de simulation (SS) comprenant chacune un dispositif à retour d'effort (DRE), caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de traitement (MT) agencés, à réception de données primaires représentatives des états d'un outil virtuel (R) sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort (DRE), pour déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur force fonction d'un écart entre lesdites données primaires, et pour transmettre lesdites données secondaires déterminées à l'une au moins desdites stations de simulation (SS) de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort (DRE) en fonction desdites données secondaires.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdites données primaires sont transmises par lesdites stations de simulation.
3. Dispositif selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que chaque état est représentatif au moins de la position et de l'orientation du dispositif à retour d'effort correspondant.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que certaines au moins desdites données primaires sont représentatives d'informations complémentaires relatives audit outil virtuel (R).
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdites stations de simulation (SS) étant de type "maître" ou "élève" et étant associées à des niveaux de priorité fonction de leur type, lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour définir des sessions associant chacune une station de simulation (SS) de type "maître" (SS-M) et au moins une station de simulation de type "élève" (SS-E).

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'un niveau de priorité définit une autorisation d'action sur un paramètre de réglage et/ou une autorisation d'action sur un autre dispositif à retour d'effort (DRE) et/ou une autorisation de modification d'une force appliquée à un autre dispositif à retour d'effort (DRE).
5
7. Dispositif selon l'une des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour gérer en parallèle plusieurs sessions.
8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits moyens de
10 traitement (MT) sont agencés pour associer une station de simulation maître (SS-M) à au moins deux sessions.
9. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que lesdits moyens
15 de traitement (MT) sont agencés pour transmettre lesdites données secondaires au moins à ladite station de simulation élève (SS-E).
10. Dispositif selon l'une des revendications 5 à 9, caractérisé en ce que lesdits moyens
20 de traitement (MT) sont agencés pour stocker dans une mémoire (MEM) les paramètres de fonctionnement représentatifs des états successifs de l'outil virtuel (R) du fait des actions effectuées à l'aide des différents dispositifs à retour d'effort (DRE) dont les stations de simulation (SS) sont associées dans une même session et impliquées dans une même séquence.
11. Dispositif selon la revendication 10, caractérisé en ce que, lesdites stations de
25 simulation comportant chacune un afficheur (SC), lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour transmettre à une station de simulation maître (SS-M) et à une station de simulation élève (SS-E) associées dans une même session les paramètres de fonctionnement d'une séquence stockée, de sorte qu'elles rediffusent simultanément ladite séquence sur leurs afficheurs (SC) respectifs.
30
12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'en cas d'intervention sur un dispositif à retour d'effort (DRE) pendant une rediffusion de séquence, lesdits

5 moyens de traitement (MT) sont agencés pour interrompre la transmission des paramètres de fonctionnement de ladite séquence, puis effectuer la détermination et la transmission des données secondaires correspondant à ladite intervention, tout en procédant à l'enregistrement des paramètres de fonctionnement représentatifs des nouveaux états des dispositifs à retour d'effort (DRE) concernés.

10 13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de traitement (MT) sont agencés pour placer lesdites stations de simulation (SS) dans un mode de fonctionnement choisi parmi un groupe de modes de fonctionnement comprenant un premier mode dit "indépendant" dans lequel son
15 dispositif à retour d'effort peut téléopérer ledit outil virtuel (R) indépendamment des actions exercées par les autres dispositifs à retour d'effort (DRE) de sa session, un deuxième mode dit "d'envoi" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) est autorisé à téléopérer ledit outil virtuel (R) et ses paramètres de fonctionnement
20 correspondants sont transmis aux autres dispositifs à retour d'effort de sa session de sorte qu'ils les appliquent, un troisième mode dit "d'écoute" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) applique les paramètres de fonctionnement qu'il reçoit sans pouvoir téléopérer indépendamment ledit outil virtuel (R), un quatrième mode dit "guidé" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) peut téléopérer
25 ledit outil virtuel (R) en tenant compte desdites données secondaires qu'il reçoit, et un cinquième mode dit "guide" dans lequel son dispositif à retour d'effort ne peut pas téléopérer ledit outil virtuel (R) mais transmet des données primaires et contraint un autre dispositif à retour d'effort (DRE) de sa session à téléopérer ledit outil virtuel (R) compte tenu de données secondaires élaborées à partir desdites données primaires transmises et de ses propres données primaires.

30 14. Station de simulation (SS) pour une installation de simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel (H) par au moins un outil virtuel (R), comprenant un dispositif à retour d'effort (DRE) propre à contrôler à distance le fonctionnement d'une partie au moins dudit outil virtuel (R) en fonction de son état, et muni d'au moins un capteur (C1) délivrant des données représentatives de l'état dudit dispositif (DRE), à partir desquelles sont déterminées des données

- 5 primaires représentatives de l'état de l'outil virtuel (R) sur lequel agit au moins le dispositif à retour d'effort, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de contrôle (MC) alimentés en données primaires et en données secondaires par un dispositif de simulation (DS) selon l'une des revendications précédentes, et agencés pour adapter la force appliquée audit dispositif à retour d'effort (DRE) en fonction desdites données primaires et secondaires.
- 10 15. Installation de simulation en temps réel d'actions effectuées sur au moins un objet virtuel (H) par au moins un outil virtuel (R), caractérisée en ce qu'elle comprend au moins deux stations de simulation (SS) selon la revendication 14 couplées à un serveur (S) équipé d'un dispositif de simulation (DS) selon l'une des revendications 1 à 13.
- 15 16. Procédé de simulation en temps réel d'actions entre au moins un objet virtuel (H) et au moins un outil virtuel (R) téléopéré par au moins deux stations de simulation (SS) comprenant chacune un dispositif à retour d'effort (DRE), caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer des données primaires représentatives des états d'un outil virtuel (R) sur lequel agissent deux dispositifs à retour d'effort (DRE), puis à déterminer des données secondaires représentatives d'un vecteur force fonction d'un écart entre lesdites données primaires, et à transmettre lesdites données secondaires déterminées à l'une au moins desdites stations de simulation (SS) de sorte qu'elle adapte la force appliquée à son dispositif à retour d'effort (DRE) en fonction desdites données secondaires.
- 20 25 17. Procédé selon la revendication 16, caractérisé en ce que lesdites données primaires sont déterminées au niveau desdites stations de simulation.
- 30 18. Procédé selon l'une des revendications 16 et 17, caractérisé en ce que chaque état est représentatif au moins de la position et de l'orientation du dispositif à retour d'effort correspondant.

19. Procédé selon l'une des revendications 16 à 18, caractérisé en ce que certaines au moins desdits données primaires sont représentatives d'informations complémentaires relatives audit outil virtuel (R).
- 5 20. Procédé selon l'une des revendications 16 à 19, caractérisé en ce que l'on définit des sessions associant chacune une station de simulation de type "maître" (SS-M) et au moins une station de simulation (SS-E) de type "élève" (DRE-E), associées à des niveaux de priorité fonction de leur type.
- 10 21. Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce qu'un niveau de priorité définit une autorisation d'action sur un paramètre de réglage et/ou une autorisation d'action sur un autre dispositif à retour d'effort (DRE) et/ou une autorisation de modification d'une force appliquée à un autre dispositif à retour d'effort (DRE).
- 15 22. Procédé selon l'une des revendications 20 et 21, caractérisé en ce que l'on gère en parallèle plusieurs sessions.
23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que l'on associe une station de simulation (SS-M) à au moins deux sessions.
- 20 24. Procédé selon l'une des revendications 20 à 23, caractérisé en ce que l'on transmet lesdites données secondaires au moins à ladite station de simulation élève (SS-E).
- 25 25. Procédé selon l'une des revendications 20 à 24, caractérisé en ce que l'on stocke dans une mémoire (MEM) les paramètres de fonctionnement représentatifs des états successifs de l'outil virtuel (R) du fait des actions effectuées à l'aide des différents dispositifs à retour d'effort (DRE) dont les stations de simulation (SS) sont associées dans une même session et impliquées dans une même séquence.
- 30 26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que, lesdits dispositifs à retour d'effort (DRE) étant chacun associé à un afficheur (SC), on transmet à une station de simulation maître (SS-M) et à une station de simulation élève (SS-E), associées

dans une même session, les paramètres de fonctionnement d'une séquence stockée, de sorte qu'elles rediffusent simultanément ladite séquence sur leurs afficheurs (SC) respectifs.

- 5 27. Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce qu'en cas d'intervention sur un dispositif à retour d'effort (DRE) pendant une rediffusion de séquence, on interrompt la transmission des paramètres de fonctionnement de ladite séquence, puis on effectue la détermination et la transmission des données secondaires correspondant à ladite intervention, tout en procédant à l'enregistrement des
10 paramètres de fonctionnement représentatifs des nouveaux états des dispositifs à retour d'effort (DRE) concernés.
28. Procédé selon l'une des revendications 16 à 27, caractérisé en ce que l'on place
15 lesdites stations de simulation (SS) dans un mode de fonctionnement choisi parmi un groupe de modes de fonctionnement comprenant un premier mode dit "indépendant" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) peut téléopérer ledit outil virtuel (R) indépendamment des actions exercées par les autres dispositifs à retour d'effort de ladite session, un deuxième mode dit "d'envoi" dans lequel son dispositif à retour d'effort est autorisé à téléopérer ledit outil virtuel (R) et ses paramètres de
20 fonctionnement correspondants sont transmis aux autres dispositifs à retour d'effort de ladite session de sorte qu'ils les appliquent, un troisième mode dit "d'écoute" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) applique les paramètres de fonctionnement qu'il reçoit sans pouvoir téléopérer indépendamment ledit outil virtuel (R), un quatrième mode dit "guidé" dans lequel son dispositif à retour
25 d'effort (DRE) peut téléopérer ledit outil virtuel (R) en tenant desdites données secondaires qu'il reçoit, et un cinquième mode dit "guide" dans lequel son dispositif à retour d'effort (DRE) ne peut pas téléopérer ledit outil virtuel (R) mais transmet des données primaires et contraint un autre dispositif à retour d'effort, de sa session, à téléopérer ledit outil virtuel (R) compte tenu de données secondaires
30 élaborées à partir desdites données primaires transmises et de ses propres données primaires.

29. Utilisation des dispositif de simulation (DS), station de simulation (SS), installation de simulation et procédé de simulation selon l'une des revendications précédentes, dans le domaine de la simulation d'intervention chirurgicale.

1/2

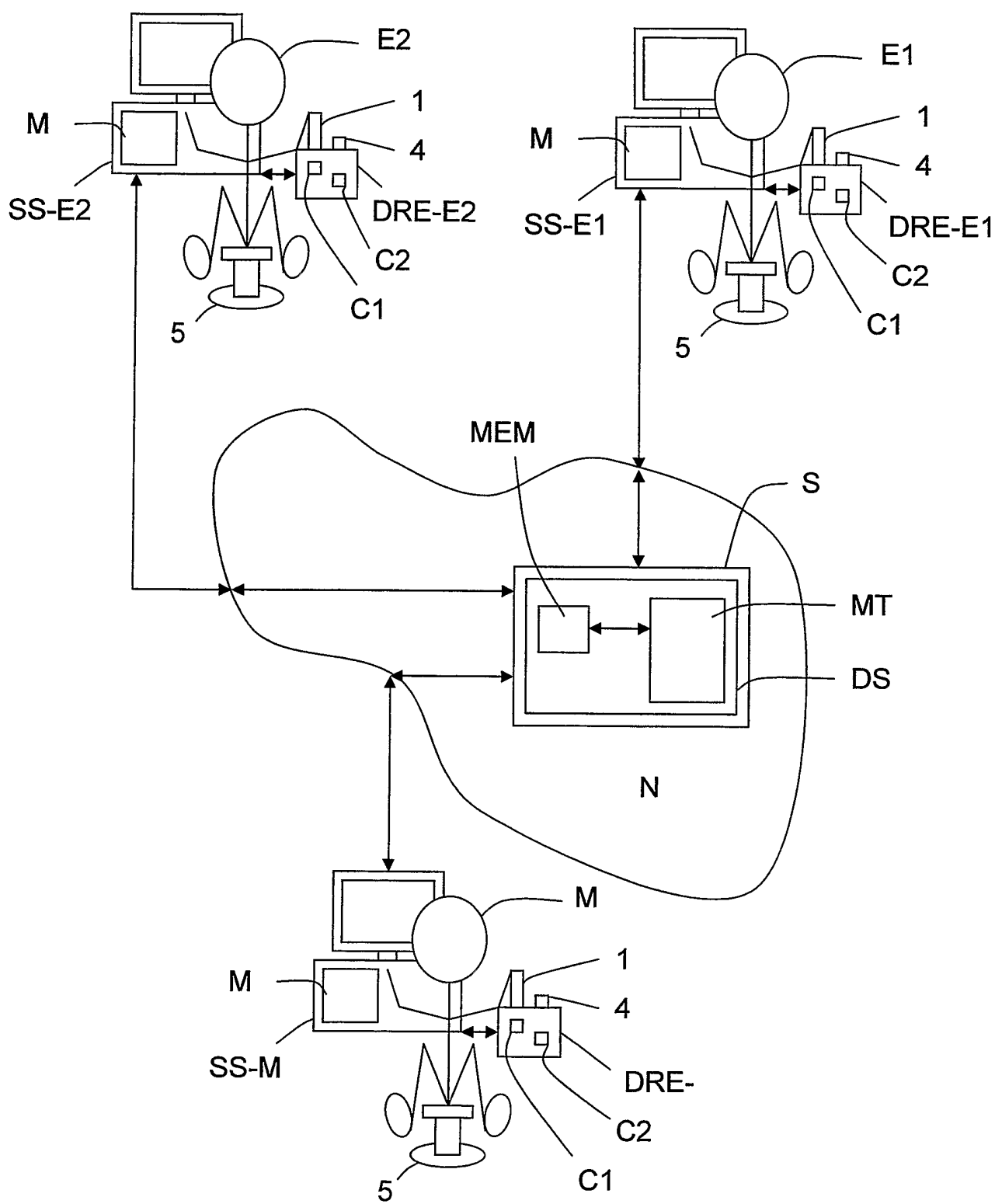


FIG.1

2/2

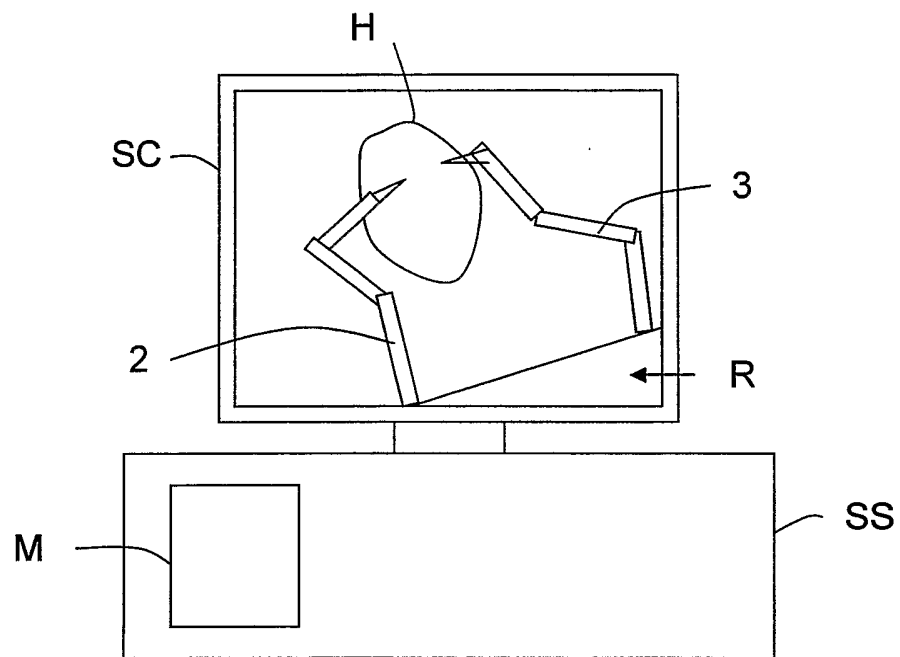


FIG.2