(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 583 542**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **85 09420**

(51) Int Cl⁴ : G 06 G 7/48; A 63 B 71/04; A 63 F 9/22.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 14 juin 1985.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 51 du 19 décembre 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *MINISTERE DE LA CULTURE, Etat français.* — FR.

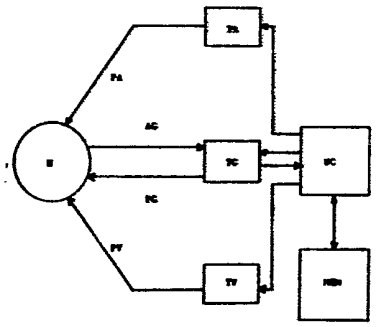
(72) Inventeur(s) : Claude Cadoz, Jean-Loup Florens et Annie Luciani.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Poncet.

(54) Procédé et dispositif pour simuler un objet matériel et ses intéractions avec un utilisateur.

(57) Le dispositif comprend au moins un capteur TG, actionnable par l'utilisateur, produisant des signaux électriques d'entrée, des moyens de calcul UC pour générer des signaux de sortie, fonction des signaux électriques fournis par le capteur TG et fonction de paramètres propres à l'objet à simuler, au moins un transducteur TA, TV transformant les signaux de sortie en effets perceptibles par l'utilisateur et images du comportement de l'objet.



FR 2 583 542 - A1

PROCEDE ET DISPOSITIF POUR SIMULER UN OBJET MATERIEL ET SES INTERACTIONS AVEC UN UTILISATEUR

La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour simuler un objet matériel en interaction avec un utilisateur.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif destiné à créer des effets perceptibles, par exemple, visuels, tactiles, kinesthésiques, sonores, les plus proches de ceux que percevrait un utilisateur manipulant physiquement un objet réel.

On connaît des dispositifs permettant de représenter visuellement, par exemple sur un écran cathodique, des mouvements d'un objet.

Toutefois, ces dispositifs connus sont incapables de rendre compte avec suffisamment de vraisemblance des réactions naturelles d'un objet sur l'utilisateur ou sur d'autres objets. Par exemple, la perception que l'utilisateur peut en avoir est une perception purement visuelle.

Or, dans la réalité, un objet est également perçu par le son qu'il peut émettre, par son apparence visuelle, et par les effets de sa masse : poids, inertie, impulsion par choc.

La présente invention a nótamment pour objet de perfectionner les dispositifs de simulation connus, en proposant un nouveau dispositif capable de rendre compte le plus complètement possible des interactions entre un objet et un utilisateur.

En particulier, l'invention permet de rendre compte des impressions visuelles produites par un objet : trajectoire, déformation.

L'invention permet également de simuler les effets sonores produits par un objet, lorsqu'il est percuté ou mis en vibration de quelque manière que ce soit.

L'invention permet, en outre, de créer les effets kinesthésiques d'un objet sur l'utilisateur.

Il est alors possible de simuler, par exemple, un jeu de tennis, qui comprend une raquette, une balle déformable, des sols, des murs. L'utilisateur, par l'intermédiaire d'une "manette" connectée à la raquette, frappe la balle qui rebondit, par exemple, sur des murs, des sols et sur la raquette ; simultanément, l'utilisateur perçoit le choc de la balle sur la raquette et les sons produits par les murs, les sols et la raquette, lorsqu'ils sont percutés par la balle.

Selon un autre objet de l'invention, l'utilisateur a la

possibilité de modifier les paramètres de l'objet simulé, et par exemple sa forme, son poids, son élasticité ; pour permettre ces modifications, le dispositif selon l'invention présente une structure modulaire, et l'utilisateur a la possibilité de rajouter ou d'enlever des modules à tout instant.

Selon un autre objet de l'invention, le dispositif assure la cohérence de la représentation des effets produits par un objet matériel, de sorte que l'ensemble des effets semble provenir d'un même objet manipulé : le son est perçu de manière synchrone avec l'image et avec les effets mécaniques, et la perception semble continue et en temps réel.

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, la présente invention prévoit un dispositif qui comprend :

- des mémoires (MEM) contenant les données d'un modèle représentatif de l'objet à simuler : une première série de données (M, L) représentant la constitution et la position physique de l'objet matériel, une seconde série de données (AG) représentant les moyens d'action de l'utilisateur sur l'objet matériel, une troisième série de données (PA, PV, PG) représentant les moyens de perception de l'utilisateur du comportement de l'objet matériel,
- au moins un transducteur gestuel (TG), actionnable par l'utilisateur, produisant des signaux électriques d'entrée,
- une unité de calcul (UC) pour calculer la variation des données présentes dans les mémoires en réponse aux signaux électriques d'entrée en fonction de l'écoulement du temps, et pour générer les signaux de sortie,
- au moins un transducteur (TA, TV, TG) recevant et transformant les signaux de sortie en effets perceptibles par l'utilisateur et images du comportement de l'objet,
- une horloge pour synchroniser l'unité de calcul.

D'autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention, ressortiront de la description suivante d'un mode de réalisation particulier, faite en relation avec les figures jointes, parmi lesquelles :

- la figure 1 représente schématiquement les différents organes d'un dispositif de simulation selon l'invention, et les interactions avec l'utilisateur ;

- la figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation de transducteur gestuel ;
- la figure 3 représente un exemple de modélisation d'un objet matériel ;
- la figure 4 représente des exemples d'éléments matériels constitutifs d'un modèle d'objet ;
- la figure 5 représente des exemples d'éléments de liaison reliant des éléments matériels ;
- la figure 6 illustre un exemple de liaison conditionnelle entre deux objets ;
- la figure 7 représente un ensemble de vecteurs pour visualisation de l'objet ;
- la figure 8 illustre l'organisation des mémoires et leur affectation pour recevoir les données représentant l'objet et les relations avec l'utilisateur ;
- la figure 9 illustre les algorithmes de simulation d'un élément matériel et d'un élément de liaison ;
- la figure 10 illustre le procédé de simulation ;
- la figure 11 illustre un exemple d'application ; et
- la figure 12 illustre le procédé de commande des transducteurs gestuels.

Comme le représente schématiquement la figure 1, le dispositif selon l'invention comprend au moins un transducteur gestuel TG, actionnable par l'utilisateur H, produisant des signaux électriques numériques d'entrée transmis à des moyens de calcul comportant une unité de calcul UC et des mémoires MEM ; le dispositif comprend en outre au moins un transducteur transformant des signaux de sortie en effets perceptibles par l'utilisateur. Dans le mode de réalisation représenté, le dispositif comprend un transducteur visuel TV, recevant des signaux émis par l'unité de calcul UC et produisant une image perçue par l'utilisateur H, un transducteur acoustique TA, recevant des signaux émis par l'unité de calcul UC, et produisant un son perceptible par l'utilisateur H, et un transducteur gestuel TG produisant des effets kinesthésiques perçus par l'utilisateur.

Les fonctions générales du dispositif sont les suivantes : selon une première fonction, au moyen de périphériques connus, par exemple un clavier alphanumérique, l'utilisateur H introduit dans les

mémoires MEM un ensemble de données destinées à représenter un objet matériel dans un environnement choisi.

Selon une deuxième fonction, par l'intermédiaire des transducteurs gestuels TG, l'utilisateur H introduit ensuite des données représentant les stimulations ou actions de l'utilisateur sur l'objet matériel. L'unité de calcul en déduit des variations de l'objet, et produit des signaux envoyés sur les transducteurs visuels TV, les transducteurs acoustiques TA, et les transducteurs gestuels TG, qui transforment ces signaux en grandeurs perceptibles par l'utilisateur : des perceptions visuelles PV, des perceptions kinesthésiques ou tactiles qui seront appelées par la suite perceptions gestuelles PG, des perceptions acoustiques PA, telles qu'elles résulteraient d'un objet matériel réel.

LES TRANSDUCTEURS GESTUELS

Les transducteurs gestuels transforment, d'une part, des gestes de l'utilisateur H en signaux électriques, et d'autre part, des signaux électriques en actions mécaniques perçues par l'utilisateur.

On distingue trois types de gestes, auxquels peuvent correspondre trois types de transducteurs gestuels :

- le geste de manipulation : il permet de déplacer et de déformer l'objet. C'est lui qui est la cause d'un mouvement, c'est-à-dire d'un déplacement et/ou d'une déformation de l'objet.
- le geste de modification : ce geste, s'il est effectué seul, ne provoque pas de mouvement. Il peut, par contre, modifier les mouvements provoqués par un geste de manipulation. Il en est ainsi lorsqu'on modifie la matière ou la structure d'un objet.
- le geste de sélection : il permet de sélectionner l'objet à manipuler en choisissant entre différents objets ou différentes configurations d'un même objet.

A partir des trois catégories de gestes définies ci-dessus, l'invention définit les catégories de transducteurs gestuels suivantes :

- le transducteur gestuel rétroactif : il est destiné à recevoir les actions gestuelles AG et à produire les perceptions gestuelles PG ; il est bien adapté pour recevoir les gestes de manipulation ; il est constitué de capteurs qui génèrent les signaux images de l'action, et d'autre part, d'organes actifs tels que des moteurs qui reproduisent la réaction mécanique ou retour d'effort, en fonction de l'objet simulé. Un

exemple de réalisation d'un transducteur est représenté schématiquement sur la figure 2 : un levier 1, mobile en rotation autour d'un axe de rotation 2, est actionnable par l'utilisateur H par action manuelle illustrée par la flèche 3. Le levier 1 est en outre sollicité en rotation par un moteur 4, par exemple, par l'intermédiaire d'une transmission réversible à cable 5 dont un point 6 est solidarisé au levier 1. Le moteur 4, alimenté par une source d'énergie 7, fournit un couple réglable selon un signal électrique présent sur son entrée 8. Par ailleurs, le dispositif comprend un capteur pour mesurer la force exercée par le levier 1 et la position de ce levier, et fournir, sur la sortie 9, des signaux électriques images de ces informations. La mesure de la force et de la position peut être effectuée par tout moyen connu dans la technique, par exemple une jauge de contrainte pour mesurer la force entre la partie préhensible du levier et la partie entrainée par le cable, et des capteurs de déplacement montés sur l'axe du moteur.

- le transducteur gestuel non rétroactif : un tel transducteur reçoit les actions gestuelles AG, il est bien adapté pour recevoir le geste de modification. Entrent dans cette catégorie tous les dispositifs purement capteurs, tels que capteurs de force, de déplacement, d'angle.
- le transducteur gestuel non rétroactif discret : un tel transducteur reçoit également des actions gestuelles AG, et il est adapté au geste de sélection. On peut le réaliser par un clavier ou tout autre dispositif équivalent.

LE TRANSDUCTEUR ACOUSTIQUE

Un tel transducteur permet de produire les perceptions acoustiques PA. On utilise pour cela un transducteur connu, de type haut-parleur, excité par un signal électrique produit par l'unité de calcul.

LE TRANSDUCTEUR VISUEL

Un tel transducteur est destiné à produire les perceptions visuelles PV. Il peut être constitué par exemple d'une unité de visualisation utilisée habituellement dans le domaine informatique.

L'OBJET MANIPULABLE

Le dispositif de l'invention permet de simuler un objet manipulable. De manière générale, un objet mobile manipulable est un objet qui peut être mis en mouvement, qui a la capacité de se mouvoir dans un espace. Un tel objet se déplace et se déforme lorsqu'il est soumis à des actions, actions en provenance d'autres objets ou en

provenance de l'utilisateur. L'état cinétique de l'objet peut changer, par action humaine. L'objet a une masse, une élasticité, il oppose une résistance au déplacement ou à la déformation.

Pour représenter l'objet mobile manipulable, le dispositif de l'invention comprend l'unité de calcul UC et les mémoires MEM. Les mémoires MEM contiennent notamment des informations ou données numériques images de la constitution, de l'état, et de la situation de l'objet dans un environnement. L'objet n'est pas représenté intégralement, mais est modèlisé par une structure destinée à produire sensiblement les mêmes effets que l'objet lui-même.

Selon la présente invention, on utilise un modèle mécanique, car il s'agit du type de modèle qui assure le mieux la cohérence et la simultanéité entre les actions gestuelles et les perceptions gestuelles, visuelles et acoustiques.

A un niveau élémentaire, les objets sont discrétisés spatialement selon des éléments de "masse", de "raideur", de "frottement". Tout objet se décrit donc sous la forme d'un réseau discret dont les "masses" sont disposées aux noeuds. Les autres éléments - raideur/frottement sans masse -, en définissant des liaisons entre les masses, définissant les mailles. Les variables mécaniques conjuguées sont les forces et les déplacements.

Les déplacements et les déformations de l'objet sont représentés par les déplacements des points où sont concentrées les masses. Ce sont ces déplacements qui seront les données utilisables pour la visualisation, et pour la génération du son.

Le geste de manipulation peut se décrire également selon ces 2 variables mécaniques conjuguées, forces et déplacements.

Les forces extérieures, c'est à dire en provenance de l'opérateur sont appliquées en ces points.

La figure 3 illustre une telle modélisation pour une balle.

La balle est représentée par l'assemblage de plusieurs masses telles que la masse M, les masses étant concentrées en des points déterminés, reliées par des liaisons mécaniques L. On définit ainsi deux types d'éléments : les éléments matériels, tels que masses ou sols, et les éléments de liaison tels que les ressorts.

La figure 4 illustre différentes sortes d'éléments matériels. Sur la figure 4a), on a représenté l'élément matériel de base, ou masse

concentrée en un point. L'élément matériel masse est représenté, dans le dispositif, par une portion de la mémoire MEM à laquelle on affecte des valeurs numériques représentant : la valeur m de la masse, sa position P, la résultante F des forces qui lui sont appliquées. Si l'élément matériel est à 1 dimension, la position P et la force F seront données chacune par une variable, respectivement x et f. Si l'élément matériel est à 2 dimensions, la position P et la force F seront données chacune par 2 variables, respectivement (Px, Py) et (Fx, Fy). Si l'élément matériel est à 3 dimensions, la position P et la force F seront données chacune par 3 variables, respectivement (Px, Py, Pz) et (Fx, Fy, Fz).

La figure 4b) illustre un élément matériel plus complexe, comprenant plusieurs masses réunies en ligne, et constituant l'équivalent d'une corde.

La figure 4c) illustre un élément matériel dans lequel plusieurs masses sont réunies dans un plan par des liaisons mécaniques, et réalisant une surface.

Les éléments matériels sont réunis par des éléments de liaison représentant les relations mécaniques entre les différents éléments matériels.

La figure 5a) illustre une liaison pure ressort-frottement. Un tel élément est représenté, dans le dispositif, par une partie de la mémoire MEM comprenant des données numériques images des caractéristiques suivantes : le type de liaison, qui ici est le type "liaison pure" ; le nom de la masse à laquelle la première extrêmité est attachée ; le nom de la masse à laquelle la seconde extrêmité est attachée ; le paramètre d'élasticité K et le paramètre de frottement Z, la longueur au repos du ressort.

La figure 5b) illustre une liaison au sol. Les données correspondantes enregistrées dans la mémoire MEM sont alors le paramètre d'élasticité K, le paramètre de frottement Z, la position du sol en abscisse et en ordonnée, la longueur de la liaison au repos, et l'identification de l'élément matériel auquel la liaison est connectée.

La figure 5c) illustre une liaison double au sol, représentée dans la mémoire MEM par le même type de données que la liaison précédente.

La figure 5d) illustre une liaison multiple à plusieurs branches, par exemple à trois branches, définie par trois paramètres

d'élasticité, trois paramètres de frottement, la position de la masse centrale, des longueurs au repos des liaisons, et l'identification des éléments matériels que les branches relient à la masse centrale.

La figure 6 illustre un type de liaison particulièrement important, qui est la liaison conditionnelle. Un tel type de liaison permet de rendre compte des discontinuités, telles que chocs, rugosités, changements de milieux. Par exemple, un objet est saisi puis lâché ; un objet percute une paroi ou un autre objet et rebondit ; ou s'accroche à ce dernier en cours de mouvement ; traverse un milieu plus dense ou plus visqueux. La liaison conditionnelle est du même type qu'une liaison linéaire décrite précédemment, mais les valeurs des paramètres tels que raideurs, frottements, longueurs ainsi que l'état des variables à un instant donné dépendent de conditions.

Ces conditions, ou conditions de changement d'état de la liaison, sont : augmentation, diminution, changement de signe, supérieur ou inférieur à un seuil ou des conditions extérieures en provenance soit de l'utilisateur, soit d'autres systèmes.

La figure 6 illustre, à titre d'exemple, une liaison conditionnelle particulière appelée liaison conditionnelle de proximité. La condition porte sur la distance entre deux éléments triangulaires. On définit un espace Ei autour de l'élément matériel Mi, et un espace Ej autour de l'élément matériel Mj ; si, pour toutes les masses d'un premier objet et toutes les masses d'un second objet, les espaces Ei et Ej n'ont pas d'intersection, c'est à dire si la longueur (Mi, Mj) est supérieure à un seuil donné, il n'y a pas liaison ; si, par contre, la longueur devient inférieure à un seuil donné, la liaison est établie.

On définit également des liaisons spéciales, par exemple, pour représenter l'attraction terrestre : la force fournie n'est alors pas fonction de la position ; elle est représentée dans la mémoire MEM par un paramètre G, valeur de l'accélération de la pesanteur, et par le nom de l'élément matériel sur lequel l'attraction s'applique.

On définit également la liaison spéciale constituée par un moteur qui fournit une force ou un couple constant.

La visualisation de l'objet manipulé s'effectue, par le dispositif de l'invention, en représentant la position des éléments matériels constituant le modèle de l'objet. On peut bien entendu représenter visuellement l'ensemble des éléments matériels. Toutefois,

une telle représentation n'est pas toujours souhaitable. Selon l'invention, on définit des éléments spécifiques destinés à être visualisés, éléments liés à l'ensemble des éléments matériels, mais qui peuvent n'être pas identiques à ces éléments matériels. Ainsi, sur la figure 7, on a représenté le modèle d'un objet comprenant 4 éléments matériels M1, M2, M3 et M4 reliés par des éléments de liaison L1, L2, L3 et L4 ; on désire visualiser seulement les deux vecteurs V1 et V2, c'est à dire les éléments matériels M1, M2, M3 et les lignes qui relient M1 à M2 et M2 à M3. On définit alors deux vecteurs V1 et V2, représentés dans la mémoire MEM par les noms des masses qu'ils relient. Ainsi, lorsque l'objet est manipulé, on voit apparaître sur l'unité de visualisation seulement les deux vecteurs.

La génération du son est obtenue en envoyant sur les transducteurs acoustiques TA un signal image du déplacement ou de la vitesse d'au moins un point matériel, ou de la force qui lui est appliquée. Pour généraliser, on définit des éléments spécifiques, appelés éléments acoustiques A, constitués par une combinaison de points matériels. Ils sont représentés dans la mémoire MEM par les noms des éléments matériels qui les composent. Par exemple on peut générer un son stéréophonique en envoyant sur un premier transducteur acoustique un signal proportionnel à la somme des déplacements de deux premiers points matériels, constituant un premier élément acoustique A1, et en envoyant sur un second transducteur acoustique un signal proportionnel à la somme des déplacements de trois autres points matériels, constituant un second élément acoustique A2.

La représentation tactile et kinesthésique de l'objet s'effectue en envoyant sur les organes actifs des transducteurs gestuels TG des signaux images de la force ou du déplacement des éléments mécaniques - matériel ou liaison - auxquels sont connectés les transducteurs gestuels. On définit des éléments spécifiques, appelés éléments d'entrée-sortie gestuelle FEP ou PEF. La figure 12a représente la connexion d'un transducteur gestuel rétroactif à un élément de liaison de l'objet : le capteur génère un signal de position et le moteur reçoit en retour un signal de force. L'élément d'entrée-sortie gestuelle est alors un élément PEF de type élément matériel, auquel est affectée une zone de la mémoire MEM contenant les données de position et les données de force. La figure 12b représente la connexion d'un transducteur gestuel

rétroactif à un élément matériel : le capteur génère un signal de force, et le moteur reçoit en retour un signal de position. L'élément d'entrée-sortie gestuelle G est alors un élément FEP de type élément de liaison, représenté par une partie de la mémoire MEM contenant le nom de la masse à laquelle il est attaché.

ORGANISATION DES MEMOIRES MEM

L'organisation des mémoires MEM du dispositif doit répondre aux objectifs suivants :

- rapidité de calcul pour la simulation de l'objet en temps réel ;
- possibilité de modification qualitative en temps réel de l'objet ;
- optimisation de la taille mémoire.

La mémoire MEM comprend une zone D, appelée mémoire de données, contenant l'ensemble des paramètres et caractéristiques des éléments matériels M, des éléments de liaison L, des éléments à visualiser V, des éléments acoustiques A, et des éléments d'entrée-sortie gestuelle PEF et FEP.

La mémoire MEM contient une seconde zone P contenant le programme, ou mémoire de programme.

Pour atteindre les objectifs visés, la mémoire de données est décomposée en zones de taille fixée et correspondant chacune à un type d'élément : une zone de mémoire par type d'éléments matériels, pouvant contenir l'ensemble des données correspondant à Nm éléments matériels ; une zone de mémoire par type d'éléments de liaison L, pouvant contenir les données correspondant à Nl éléments de liaison ; une zone de mémoire d'éléments visuels V pouvant contenir les données correspondant à Nv éléments visuels ; et des zones de mémoire correspondantes pour contenir Na éléments acoustiques et Ng éléments d'entrée-sortie gestuels.

Par ailleurs, les données sont organisées contigument en mémoire, et permettent l'optimisation du temps de calcul.

La figure 8 représente une telle organisation de mémoire de données, contenant l'ensemble des informations concernant l'objet représenté sur la figure 7.

Dans ce cas, la mémoire de données D contient essentiellement :

- pour chacune des masses M1, M2, M3, M4, la valeur m de la masse, sa position x y, et la résultante Fx Fy des forces qui lui sont appliquées;
- pour le sol S1, sa position x y et la force Fx Fy ;
- pour les liaisons pures L1, L2, L3, L4, L5, la valeur des paramètres

de raideur K et de frottement Z et le nom des éléments matériels qu'elles relient ; Ainsi la liaison L1 relie la masse M1 et la masse M2, et la liaison L4 relie la masse M2 et l'élément d'entrée-sortie gestuelle PEF 1 ;

-pour la liaison conditionnelle LIC1 : le nom des éléments matériels S1 et M3 qu'elle relie, ses paramètres K et Z et les conditions ;

- la définition des vecteurs à visualiser V1 et V2 ;
- la définition des entrées-sorties gestuelles PEF 1 et FEP 1.
- la définition des éléments acoustiques A1 et A2.

Dans chaque zone de mémoire, les paramètres des éléments non utilisés sont affectés de valeurs telles qu'ils n'ont pas d'effet sur la simulation en cours.

Pour changer la configuration, par exemple, supprimer la liaison L5, il suffit d'affecter la valeur 0 aux paramètres K5 et Z5 de cette liaison.

La modification qualitative de structure se ramène ainsi à une modification quantitative de paramètre.

Le programme, implanté dans la mémoire de programme P, effectue systématiquement le calcul pour la totalité des éléments prévus, c'est à dire sur la totalité de la mémoire de données.

Ainsi, le temps de calcul est constant et connu, puisqu'il s'effectue toujours sur un objet de complexité fixe.

Pour optimiser l'utilisation de la mémoire de données en fonction des catégories d'objets que l'on souhaite simuler, la taille et l'emplacement en mémoire des différentes zones peuvent être définis par l'utilisateur avant la simulation. Pour cela, il précise au préalable le nombre maximal d'éléments de chaque type : matériels, liaisons, acoustiques, visuels, gestuels.

LE PROCEDE DE SIMULATION

En cours de simulation, le dispositif de la présente invention manipule les données présentes dans la mémoire de données D, selon plusieurs phases successives.

On distingue notamment une phase de simulation au cours de laquelle on traite un élément matériel M : la figure 9a) illustre cette phase, dans un exemple dans lequel deux éléments de liaison L1 et L2 s'appliquent sur un élément matériel M : l'unité de calcul UC calcule la position P de l'élément matériel, en fonction des paramètres de

l'élément matériel et de la résultante des forces F1 et F2 qui lui sont appliquées par les éléments de liaison L1 et L2. Ce calcul s'effectue par des équations aux différences déduites des relations de la mécanique. Dans le cas où l'élément matériel est une masse, la relation mécanique est la suivante :

F1 + F2 = M * G G : accélération de la masse

M : valeur de la masse

D'une manière générale, les éléments matériels fournissent des positions à partir des forces qui peuvent provenir soit de transducteurs gestuels TG, soit d'éléments de liaison.

Une autre phase de simulation est illustrée par la figure 9b), et concerne les éléments de liaison. Les éléments de liaison fournissent des forces à partir de positions fournies par les éléments matériels ou par les transducteurs gestuels. Ainsi, la phase de simulation concernée consiste à calculer les forces F1 et F2, en fonction des paramètres de liaison et des positions P1 de l'élément matériel M1 et P2 de l'élément matériel M2, selon des équations aux différences déduites des relations de la mécanique. Dans le cas d'un ressort, la relation est :

F = - K * DL DL : variation de longueur de l'élément élastique

K : coefficient d'élasticité

Dans le cas d'une liaison de type frottement, la relation est :

F = - Z * DV DV : différence de vitesse entre deux éléments matériels

Z : coefficient de frottement

La simulation n'est possible qu'en imposant un ordre dans le calcul de ces deux phases. Pour cela, on choisit l'hypothèse suivante : les positions à l'instant n, sont calculées à partir des forces à l'instant n - 1, puis les forces à l'instant n sont calculées à partir des positions à l'instant n. Moyennant cette hypothèse, le calcul se déroule de la façon représentée sur la figure 9c) : à réception d'un signal de synchronisation fourni par une horloge, non représentée sur la figure 1, l'unité de calcul UC calcule l'ensemble des éléments matériels, selon la procédure représentée sur la figure 9a), et pour toutes les données de la zone de mémoire d'éléments matériels M ; puis, l'unité de calcul UC calcule l'ensemble des éléments de liaison, selon l'organigramme représenté sur la figure 9b), pour toutes les données

contenues dans la zone de mémoire de liaison L. On attend ensuite le signal de synchronisation suivant.

Une autre phase de la simulation consiste à générer les données contenues dans les éléments acoustiques A, dans les éléments visuels V et dans les éléments d'entrée-sortie gestuelle PEF et FEP.

Le dispositif de simulation de la présente invention doit, pour produire une simulation de bonne qualité, assurer la synchronisation entre les entrées-sorties gestuelles et les sorties visuelles et sonores.

Le problème qui se pose en premier lieu est le choix des fréquences d'échantillonnage.

Pour l'acquisition des entrées gestuelles, une fréquence comprise entre 0 et 200 Hertz est suffisante. Cependant, pour un meilleur fonctionnement des transducteurs gestuels rétroactifs, il est souhaitable que les informations de retour d'effort puissent être transmises jusqu'à 1 Kilohertz environ.

Pour l'image, les calculs peuvent s'effectuer entre 20 Hertz et 1 Kilohertz.

Par contre, pour le son, les calculs doivent s'effectuer entre 20 et 40 Kilohertz.

Une fréquence inférieure à environ 1 KHz sera désignée par "fréquence lente" ; une fréquence supérieure à environ 1 KHz sera désignée par "fréquence rapide".

Ainsi, dans le cas d'une simulation où interviennent des éléments sonores et des éléments visuels, deux procédés différents sont utilisés, selon que la scène à simuler est simple ou complexe.

Si la scène est simple, c'est-à-dire si le nombre d'éléments à simuler est suffisamment faible pour que les moyens de calcul puissent assurer le calcul de tous les éléments à une même fréquence rapide imposée par les éléments intervenant pour produire le son, on utilise alors la succession des phases illustrées sur la figure 10a : à l'arrivée d'un signal de synchronisation dont la fréquence est choisie dans la plage de fréquence lente, l'unité de calcul UC effectue l'acquisition des données gestuelles en provenance des capteurs, et effectue la transmission des données gestuelles à destination des moteurs ; l'unité de calcul calcule ensuite N fois les éléments matériels et les éléments de liaison, et effectue à chaque calcul les

sorties sonores sur les transducteurs acoustiques TA. N est le rapport entre la fréquence de calcul, ici rapide, et la fréquence des acquisitions et des transmissions des données gestuelles, ici lente.

A la fin des N calculs, l'unité de calcul effectue la sortie visuelle sur les transducteurs visuels TV.

Si la scène est complexe, les moyens de calcul peuvent s'avérer trop lents. Selon l'invention, la mémoire de données est alors décomposée en deux parties : une première partie de mémoire D1 contient l'ensemble des données relatives à la partie de la scène qui sert à la simulation des éléments vibrants à fréquence rapide ; une deuxième partie de mémoire D2 contient l'ensemble des données relatives à la partie de la scène qui sert à la simulation des éléments à fréquence lente. On utilise alors la succession des phases illustrée sur la figure 10b, comprenant une phase distincte du cas précédent décrit à la figure 10a au cours de laquelle l'unité UC effectue une fois le calcul des éléments lents.

L'un des avantages du procédé de simulation selon l'invention est que les calculs d'éléments de types différents sont indépendants les uns des autres. Ainsi il est possible de calculer dans une même unité UC, les éléments matériels, puis les éléments de liaison, puis les éléments visuels, etc..., ou de les calculer dans un autre ordre, à condition que l'ordre soit constant. Mais il est aussi possible de calculer les éléments matériels dans une première unité UC1 et, simultanément, de calculer les éléments de liaison dans une seconde unité UC2, ou par toute autre combinaison de ce genre.

PREPARATION DE LA SIMULATION

La description qui précède concerne les étapes du procédé en phase de jeu, c'est-à-dire pendant le déroulement de la scène. Plusieurs étapes antérieures sont nécessaires pour préparer la simulation. On distingue notamment les étapes suivantes consistant à :

a) introduire dans la mémoire de programme P des données numériques définissant le format des éléments de base d'un modèle mécanique, et comprenant au moins :

- un élément matériel défini par sa masse m, sa position x y, les forces qui lui sont appliquées Fx Fy, et défini par la méthode de calcul de la position à partir de la force résultante,
- au moins un élément de liaison, défini par les paramètres de

raideur K et de frottement Z, ainsi que par la méthode de calcul de la force à partir des positions extrêmes de la liaison,

b) introduire dans la partie donnée D de la mémoire les paramètres de l'objet à simuler, à savoir au moins les éléments matériels et les éléments de liaison.

On distingue également une étape intermédiaire précédant la phase b), au cours de laquelle on fixe la taille des différentes zones de la mémoire de données D.

APPLICATION

On a représenté schématiquement sur la figure 11 un exemple d'application du dispositif à la simulation du punching-ball. L'objet matériel 1 est une balle simulée par un ensemble de masses réunies par des liaisons comme le représente la figure. La balle est liée par une liaison conditionnelle L1 avec le sol S, lié par une liaison ressort-frottement L2 avec le sol L, et liée par une liaison conditionnelle de proximité L3 avec un organe 11 actionné par l'utilisateur au moyen d'un levier 12 du type de celui représenté sur la figure 2. Un potentiomètre 13 permet de modifier les paramètres d'élasticité de la balle 10.

La présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation qui ont été explicitement décrits, mais elle en inclut les diverses variantes et généralisations contenues dans le domaine des revendications ci-après.

REVENDICATIONS

1 - Dispositif pour simuler un objet matériel et ses interactions avec un utilisateur, caractérisé en ce qu'il comprend :

- des mémoires (MEM) contenant les données d'un modèle représentatif de l'objet à simuler : une première série de données (M, L) représentant la constitution et la position physique de l'objet matériel, une seconde série de données (AG) représentant les moyens d'action de l'utilisateur sur l'objet matériel, une troisième série de données (PA, PV, PG) représentant les moyens de perception de l'utilisateur du comportement de l'objet matériel,

- au moins un transducteur gestuel (TG), actionnable par l'utilisateur, produisant des signaux électriques d'entrée,

- au moins une unité de calcul (UC) pour calculer la variation des données présentes dans les mémoires en réponse aux signaux électriques d'entrée en fonction de l'écoulement du temps, et pour générer les signaux de sortie,

- au moins un transducteur (TA, TV, TG) recevant et transformant les signaux de sortie en effets perceptibles par l'utilisateur et images du comportement de l'objet,

- une horloge pour synchroniser l'unité de calcul.

2 - Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un transducteur de l'une des catégories suivantes :

- une unité de visualisation (TV) sollicitée par un signal image du déplacement d'au moins un point de l'objet,

- un transducteur acoustique (TA) sollicité par un signal image du déplacement d'au moins un point de l'objet,

- un transducteur gestuel de sortie (TG) couplé mécaniquement à un capteur gestuel pour reproduire la réaction de l'objet sur l'utilisateur lors de sa manipulation.

3 - Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que:

- les données, contenues dans la mémoire (MEM) pour représenter la constitution, la position et les interactions de l'objet matériel, sont des paramètres d'un modèle mécanique comprenant au moins deux catégories d'éléments : des éléments matériels (M) constitués de points discrets où sont concentrées les masses de l'objet, des éléments de liaison (L) de type ressort- frottement sans masse reliant les éléments

matériels,

- les mémoires (MEM) sont organisées en au moins une première et une seconde zones distinctes,

- la première zone de mémoire contient des paramètres représentant la constitution des éléments matériels et des variables représentant les coordonnées de chaque élément matériel et la force résultante qui lui est appliquée,

- la seconde zone de mémoire contient des paramètres représentant la constitution des éléments de liaison, et les noms des éléments matériels reliés par la liaison.

4 - Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la mémoire (MEM) comprend une zone de mémoire de programme (P) et une zone de mémoire de données (D), la zone de mémoire de données étant décomposée en zones de tailles fixées et correspondant chacune à un type d'élément : une zone de mémoire par type d'éléments matériels (M), pouvant contenir l'ensemble des données correspondant à un nombre maximal (Nm) d'éléments matériels ; une zone de mémoire par type d'éléments de liaison (L) pouvant contenir les données correspondant à un nombre maximal (Nl) d'éléments de liaison ; une zone de mémoire d'éléments visuels (V) pouvant contenir les données correspondant à un nombre maximal (Nv) d'éléments visuels ; des zones de mémoire pouvant contenir respectivement un nombre maximal (Na) d'éléments acoustiques (A) et un nombre maximal (Ng) d'éléments d'entrée-sortie gestuels.

5 - Dispositif selon la revendication 4, caractérisé en ce que:

- dans chaque zone de mémoire, les données sont organisées de façon contigue,

- dans chaque zone de mémoire, les paramètres des éléments non utilisés sont affectés de valeurs telles qu'ils n'ont pas d'effet sur la simulation en cours.

6 - Dispositif selon l'une des revendication 4 ou 5, caractérisé en ce que la mémoire de données (D) est divisée en deux parties, une première partie de mémoire (Dl) contenant l'ensemble des données relatives à la partie de la scène qui sert au calcul des éléments vibrants à fréquence rapide, une deuxième partie de mémoire (D2) contenant l'ensemble des données relatives à la partie de la scène qui sert au calcul des éléments à fréquence lente.

7 - Procédé pour simuler un objet matériel et ses interactions

avec un utilisateur au moyen d'un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend la répétition des étapes suivantes :

a) générer les valeurs des positions P de tous les éléments matériels en fonction des paramètres mécaniques de ces éléments et des forces qui leur sont appliquées,

b) générer les valeurs des forces F de tous les éléments de liaison à partir des positions des éléments matériels et en fonction des paramètres de liaison,

c) générer les valeurs des données de sortie à destination des transducteurs de sortie,

d) acquérir les données en provenance des capteurs d'entrée (TG),

e) transmettre les données à destination des transducteurs de sortie (TA, TG, TV).

8 - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les phases a), b), c), d), et e), s'effectuent de manière répétitive selon un cycle comprenant N fois le calcul de l'ensemble des éléments vibrants à fréquence rapide utilisés pour le calcul des signaux sonores de sortie, et une fois le calcul de l'ensemble des éléments lents.

9 - Procédé pour réaliser un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, destiné à simuler un objet matériel et ses interactions avec un utilisateur, caractérisé en ce qu'il comprend notamment les phases consistant à :

a) introduire dans la mémoire de programme (P) des données numériques définissant le format des éléments de base d'un modèle mécanique, et comprenant

- au moins un élément matériel défini par sa masse (m), sa position (x y), les forces qui lui sont appliquées (Fx Fy), et défini par la méthode de calcul de la position à partir de la force résultante,

- au moins un élément de liaison, défini par les paramètres de raideur (K) et de frottement (Z), ainsi que par la méthode de calcul de la force à partir des positions extrêmes de la liaison,

b) introduire dans la partie donnée (D) de la mémoire les paramètres de l'objet à simuler, à savoir au moins les éléments matériels et les éléments de liaison.

10 - Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il

comprend une phase intermédiaire, précédant la phase b), au cours de laquelle on fixe la taille des différentes zones de la mémoire de données (D).

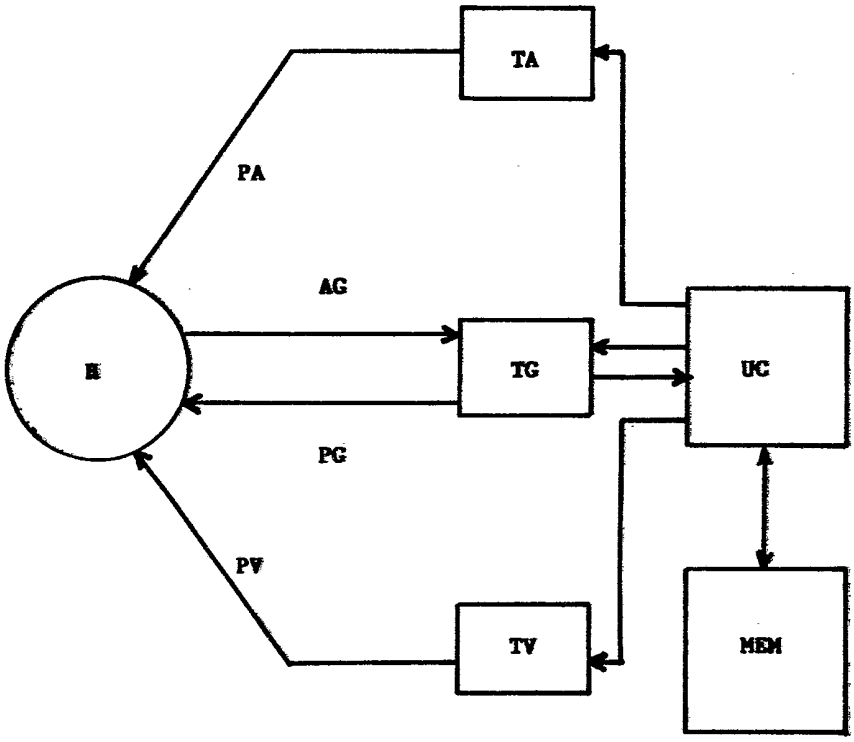


FIG. 1

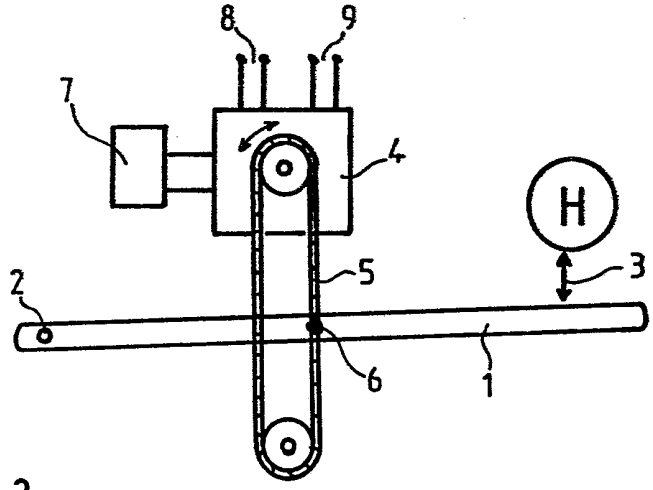


FIG. 2

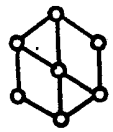


FIG. 3

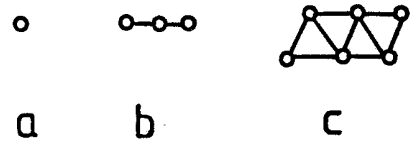


FIG. 4

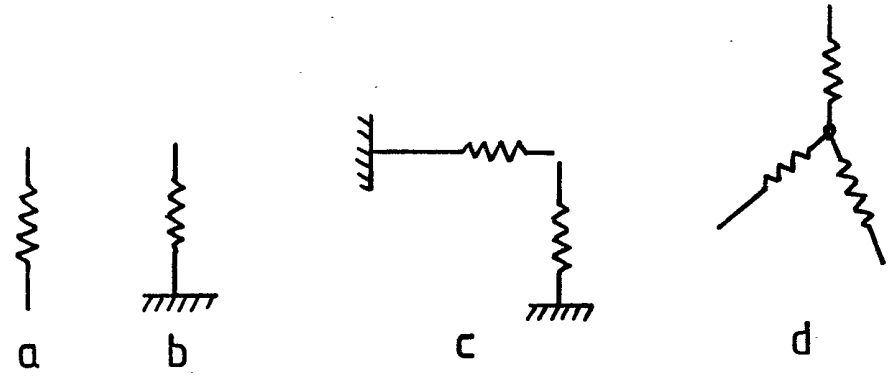


FIG. 5

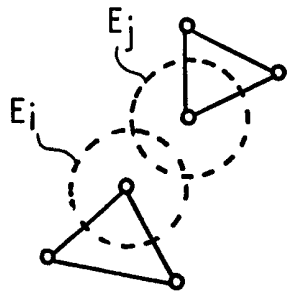
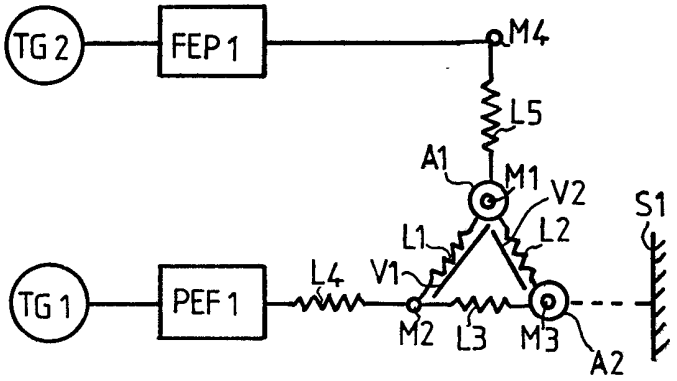


FIG. 6

FIG. 7



MASSES	M1	x	y	Fx	Fy	■
	M3	x	y	Fx	Fy	■
	M3	x	y	Fx	Fy	■
	M4	x	y	Fx	Fy	■
		0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0
		.....				
SOLS	S1	x	y	Fx	Fy	
		0	0	0	0	
		.....				
LIAISONS PURES	L1	M1	M2	K	Z	
	L2	M1	M3	K	Z	
	L3	M2	M3	K	Z	
	L4	M1	PEF1	K	Z	
	L5	M1	M4	K	Z	
		0	0	0	0	
		.....				
LIAISONS CONDITIONNELLES	LIC1	S1	M1	K	Z	CONDITIONS
		0	0	0	0	0
		.....				
ENTREES-SORTIES VISUELLES	V1	M1	M2			
	V2	M1	M3			
		0	0			
		.....				
ENTREES-SORTIES AUDIO	A1	M1				
	A2	M2				
		..				
ENTREES-SORTIES GESTUELLES TYPE PEF	PEF1	x	y	Fx	Fy	
		0	0	0	0	
		.....				
ENTREES-SORTIES GESTUELLES TYPE FEP	FEP1	M4				
		0				
		..				

FIG. 8

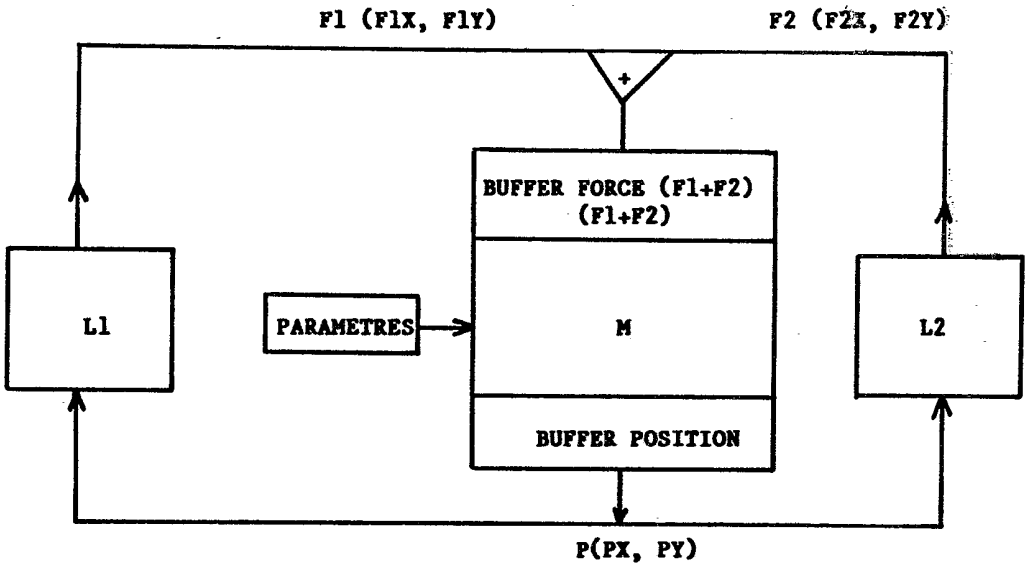

F1 (F1X, F1Y)
F2 (F2X, F2Y)
+
BUFFER FORCE (F1+F2)
(F1+F2)
L1
PARAMETRES
M
L2
BUFFER POSITION
P(PX, PY)

FIG. 9a

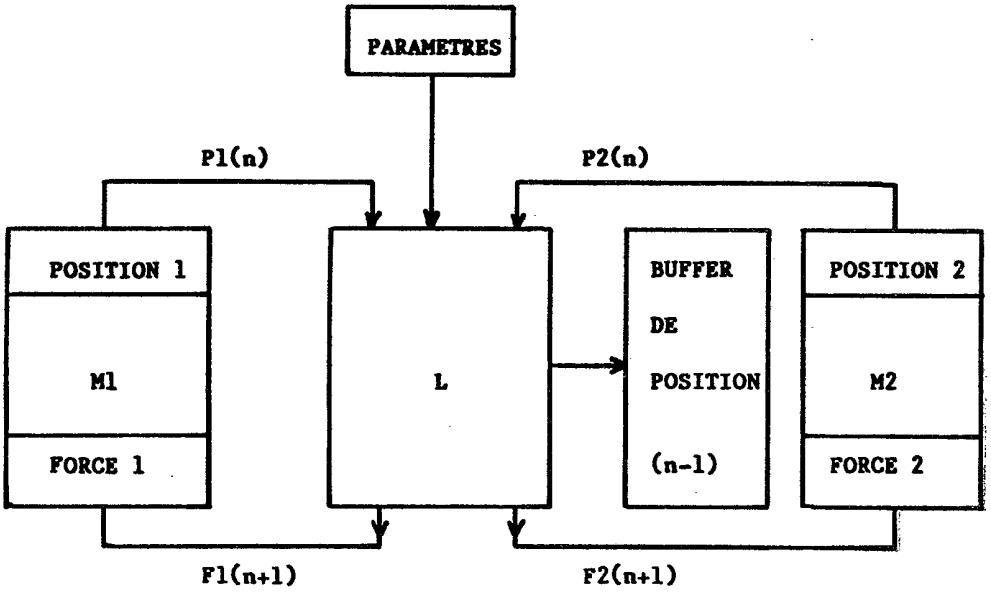

PARAMETRES
P1(n)
P2(n)
POSITION 1
M1
FORCE 1
L
BUFFER
DE
POSITION
(n-1)
POSITION 2
M2
FORCE 2
F1(n+1)
F2(n+1)

FIG. 9b

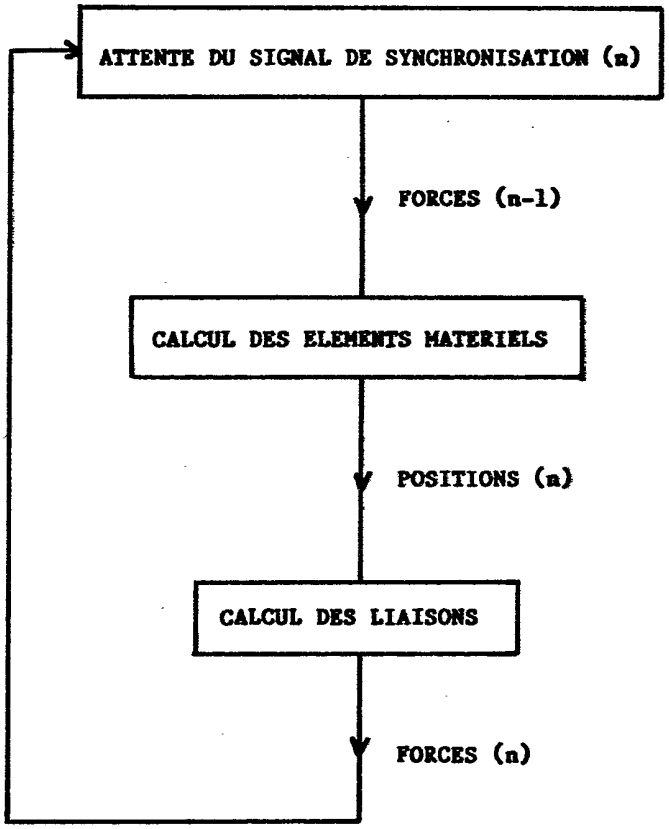

ATTENTE DU SIGNAL DE SYNCHRONISATION (n)
FORCES (n-1)
CALCUL DES ELEMENTS MATERIELS
POSITIONS (n)
CALCUL DES LIAISONS
FORCES (n)

FIG. 9c

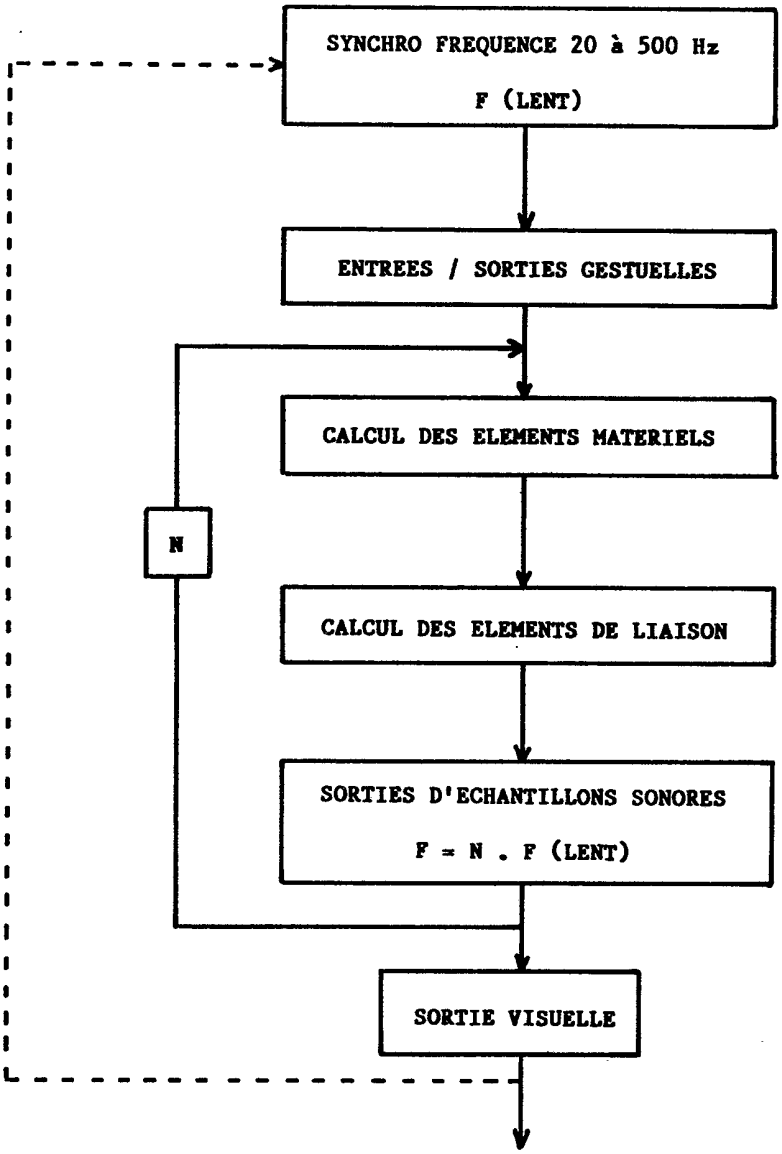

SYNCHRO FREQUENCE 20 à 500 Hz
F (LENT)
ENTREES / SORTIES GESTUELLES
CALCUL DES ELEMENTS MATERIELS
N
CALCUL DES ELEMENTS DE LIAISON
SORTIES D'ECHANTILLONS SONORES
F = N . F (LENT)
SORTIE VISUELLE

FIG. 10a

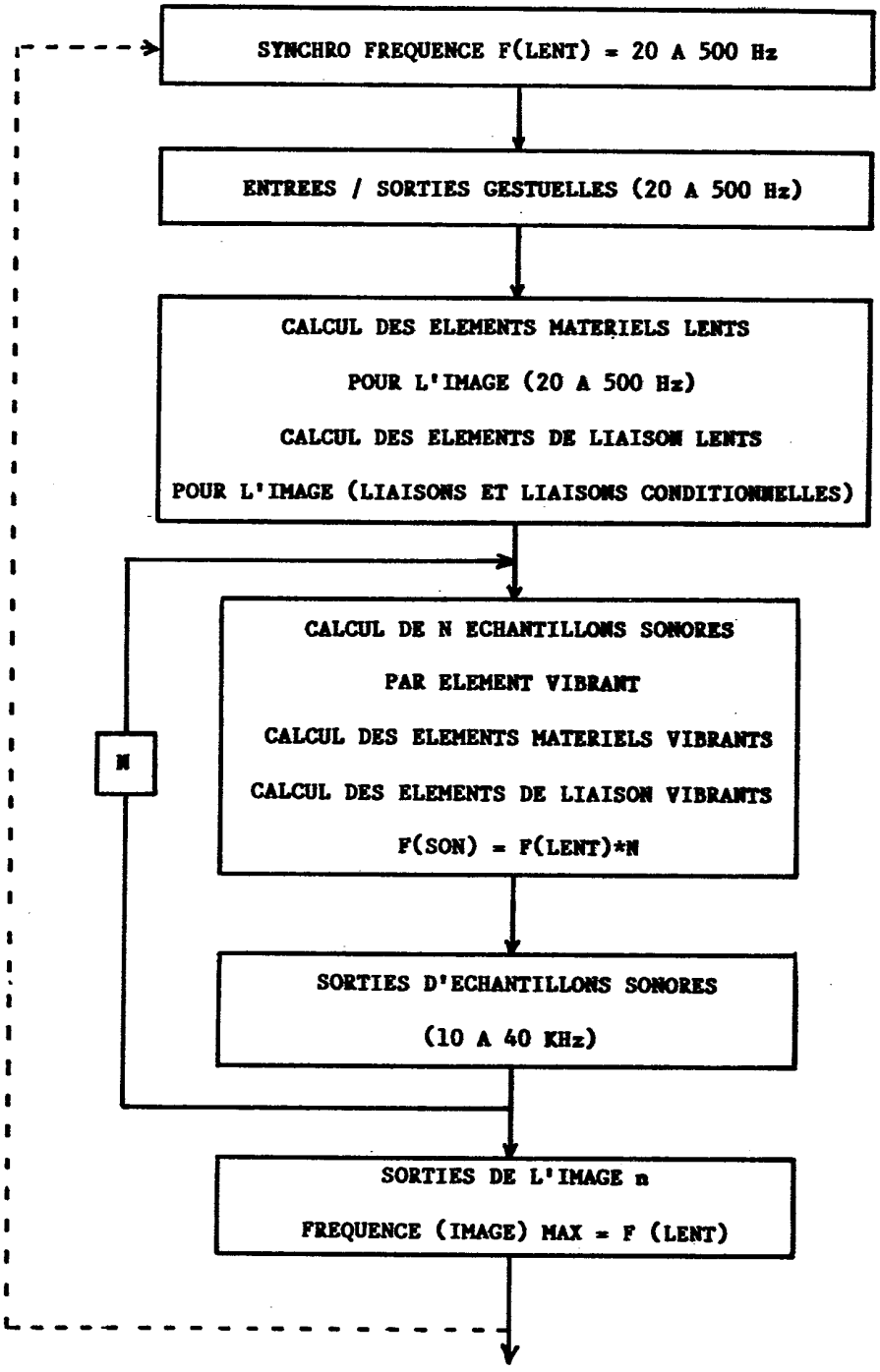

SYNCHRO FREQUENCE F(LENT) = 20 A 500 Hz
ENTREES / SORTIES GESTUELLES (20 A 500 Hz)
CALCUL DES ELEMENTS MATERIELS LENTS
POUR L'IMAGE (20 A 500 Hz)
CALCUL DES ELEMENTS DE LIAISON LENTS
POUR L'IMAGE (LIAISONS ET LIAISONS CONDITIONNELLES)
N
CALCUL DE N ECHANTILLONS SONORES
PAR ELEMENT VIBRANT
CALCUL DES ELEMENTS MATERIELS VIBRANTS
CALCUL DES ELEMENTS DE LIAISON VIBRANTS
F(SON) = F(LENT)*N
SORTIES D'ECHANTILLONS SONORES
(10 A 40 KHz)
SORTIES DE L'IMAGE n
FREQUENCE (IMAGE) MAX = F (LENT)

FIG.10b

2583542

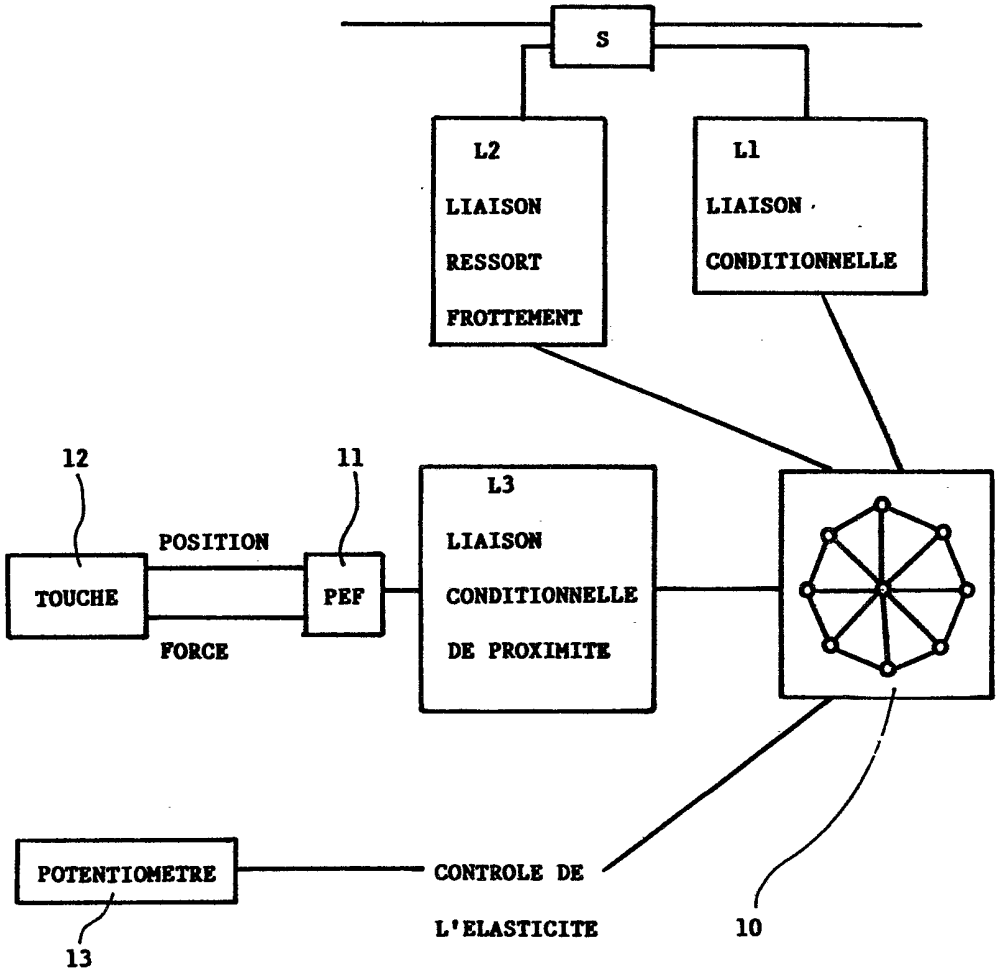


FIG. 11

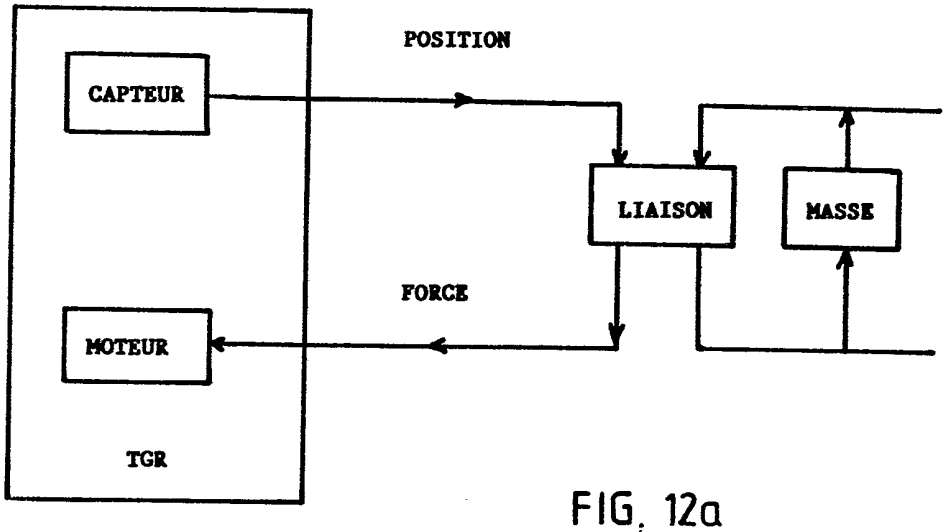


FIG. 12a

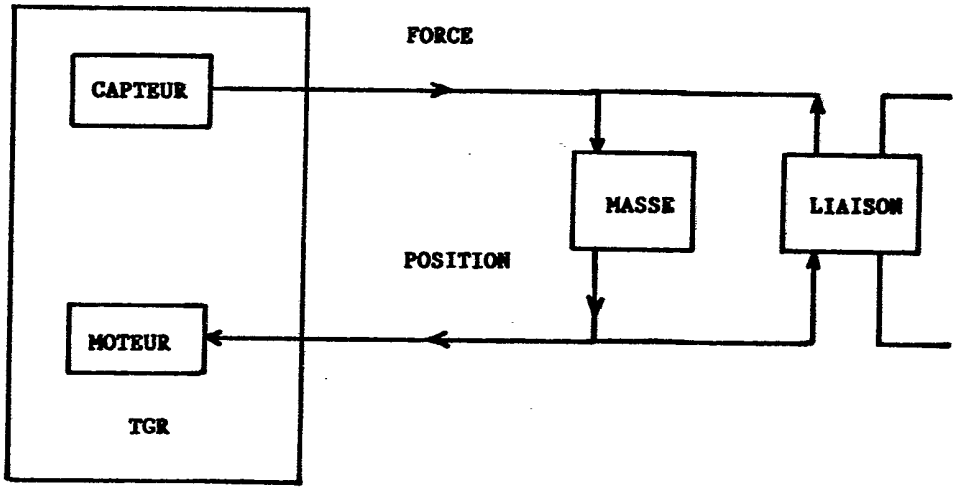


FIG. 12b