(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 654 945**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **89 15549**

(51) Int Cl[5] : A 63 B 71/06, 69/38

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 27.11.89.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande :** 31.05.91 Bulletin 91/22.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche :** *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

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

(71) **Demandeur(s) :** *DUBAIL Jean-Christophe* — FR et *DUBAIL Gilles* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** DUBAIL Jean-Christophe et DUBAIL Gilles.

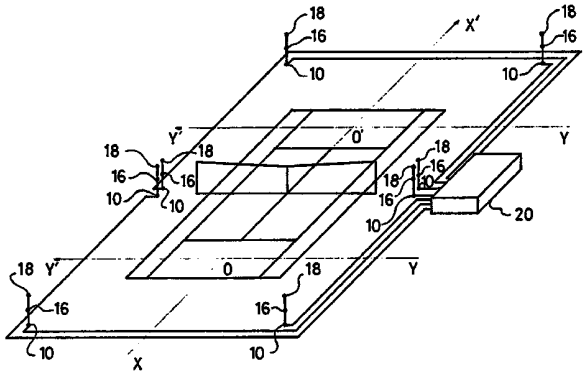
(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire :**

(54) Procédé et dispositif de localisation sonore applicable au jeu de tennis.

(57) Le procédé et le dispositif servent d'aide à l'arbitrage du jeu de tennis.

Ils associent au moins trois capteurs accoustiques 10 et 16, couplés chacun à un analyseur de fréquences sonores, un ou plusieurs transducteurs 18, dont la gamme de fréquences peut aller de l'infrason à l'ultrason, et un calculateur 20 qui donne la position exacte par rapport à l'espace repéré de la source du signal sonore, en fonction des différents temps fournis par les capteurs accoustiques et corrigée par les mesures des vitesses de propagation du son dans l'air fournies par les transducteurs.



FR 2 654 945 - A1

Procédé et dispositif de localisation sonore, applicable au jeu de tennis.

La présente invention concerne un procédé et dispositif de détection et de localisation sonore.Elle concerne plus particulièrement un procédé de localisation sonore destiné à déterminer l'emplacement d'une source sonore impulsionnelle, suivant lequel on détecte les instants de reception du son provenant de la source en au moins trois points non alignés et on détermine la position de la source à partir des différents instants de reception aux trois points.L'invention vise notamment à affranchir la mesure, des variations de la vitesse du son, afin de déterminer le point d'émission d'un signal sonore dans un espace donné.

Le paramètre essentiel d'une bonne localisation et/ou d'un suivi précis, dans un espace déterminé, d'un signal dans l'air entre son origine et sa détection est la connaissance des paramètres qui influent en direction et en module sur la vitesse de propagation du son dans l'air.Ils s'agit notamment de la vitesse et de la direction du vent, de la température, de l'humidité relative, de la pression atmosphérique, et de la fréquence du son recherché.

L'invention vise à éviter la mesure simultanée de tous ces paramètres, source de complexité technique et

facteur important d'erreurs.Pour cela, il est proposé d'effectuer une mesure directe de la vitesse de propagation du son, dans les mêmes conditions que les mesures à effectuer sur le son à repérer.

Suivant un procédé de la présente invention, on détecte les moments d'arrivée du signal sonore provenant de la source en au moins trois points non alignés, pour déterminer la position de la source à partir des différents moments d'arrivée du dit signal aux trois points, et on détermine par mesure des temps de parcours du son suivant au moins deux trajets non parallèles dans une zone contenant la source et les dits points, les corrections à apporter aux dits instants de réception et on prend en compte les dites corrections lors du calcul de localisation.

L'invention a également un dispositif de localisation sonore destiné à déterminer l'emplacement d'une source sonore impulsionnelle, comprenant au moins trois capteurs, fournissant un signal éléctrique représentatif du signal sonore qu'il reçoit et associés chacun à des moyens de filtrage ayant une bande passante correspondant à au moins un pic de puissance de la source, et un moyen de calcul de l'emplacement de la source par rapport aux capteurs à partir de la différence entre les instants de reception des signaux

fournis par les capteurs en réponse au dit signal sonore, caractérisé en ce qu'il comprend, de plus, des moyens émetteurs-récepteurs, sonores ou ultrasonores, placés de part et d'autre de l'espace contenant les capteurs et la source, aptes à mesurer la vitesse de parcours du son suivant au moins deux trajets non parallèles traversant le dit espace, et reliés à un moyen de calcul pour lui permettre de calculer les termes correctifs des dits instants de réception.

La gamme de fréquence utilisée pour les transducteurs peut aller de l'ultrason à l'infrason avec une fréquence choisie de manière à ne pas perturber la localisation de la source du signal sonore, ni éventuellement l'environnement.

L'analyse et le calcul des temps de propagation fournissent la vitesse de propagation du son, à la fréquence de référence, émis par les transducteurs, avec une précision qui ne dépend que de l'appareillage utilisé.

Par des opérations mathématiques utilisant des algorithmes classiques, réalisées dans le calculateur, la vitesse du son est déterminée dans la bande passante dans laquelle a été effectuée la détection du signal sonore à repérer puis introduite dans le calcul de localisation, permettant de déterminer la position de

la source du dit signal.

Les avantages de la présente invention par rapport à l'art antérieur sont notament:

-Une plus grande précision de localisation et/ou un suivi précis des signaux sonores dans un espace défini.

-La possibilité d'effectuer des mesures dans toutes les conditions atmosphériques.

La présente invention trouve une application particulièrement intéressante, mais non exclusive, constituée par la détermination, sur le terrain de tennis, du point d'impact de la balle avec la précision requise, pour que l'arbitre puisse juger de la validité du coup autrement que par une observation visuelle, toujours subjective et sujette à erreur.

Suivant un mode avantageux de réalisation de l'invention, chacun des dits capteurs est associé à un capteur supplémentaire, permettant une discrimination entre les signaux ayant leur origine au sol et ceux ayant une origine au dessus du sol, par comparaison des instants de réception des signaux.

En général, deux émetteur-récepteurs sont disposés suivant les diagonales du court afin de faciliter le calcul des termes correctifs.

Chaque émetteur-récepteur est avantageusement placé sur la même verticale qu'un des capteur afin de faciliter

le calcul des termes correctifs.Les capteurs et les émetteur-recepteurs pouvant être confondus sur un court de tennis.Suivant une disposition avantageuse, les ensembles, constitués chacun d'un capteur et éventuellement d'un capteur supplémentaire et d'un émetteur-recepteur, sont placés aux quatre coins du court, suffisamment éloignés de la surface de jeu pour ne pas géner le déroulement de la partie de tennis.

Dans une variante de réalisation, les ensembles constitués chacun d'un capteur et éventuellement d'un capteur supplémentaire et d'un émetteur-recepteur sont placés aux quatre coins de chaque moitié de court, suffisamment éloignés de la surface de jeu pour ne pas géner le déroulement de la partie de tennis.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit un mode particulier de réalisation et d'une variante donnée à titre d'exemples non limitatifs.

La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels:

La figure 1 est un schéma montrant la disposition des différents éléments du dispositif sur un court de tennis.

La figure 2 est un schéma synoptique de principe d'une réalisation possible de la partie éléctronique.

La figure 3 est un schéma montrant, dans la variante de réalisation, la disposition des différents éléments du dispositif sur un court de tennis.

Plusieurs capteurs 10, au nombre de quatre sur la figure 1 et désignés Da, Db, Dc et Dd, constitués généralement par des microphones ayant des positions déterminées et connues sur un court de tennis, sont associés à une chaine de traitement à amplification à commande automatique de gain 12, facilitant le traitement ultérieur vis à vis des variations du bruit ambiant, et à analyse de fréquences sonores, qui permet de discrimer le signal sonore émis par le rebond d'une balle de tennis des autres bruits ambiants, et de déterminer l'instant de réception du dit signal sonore au capteur 10:le signal électrique fournit par le capteur 10 en réponse au signal sonore recherché, après son passage éventuel dans l'amplificateur 12 à commmande automatique de gain, passe, dans ce mode de réalisation, dans des filtres passe-bande 14 dont la bande passante contient la fréquence caractéristique du bruit du rebond de la balle de tennis.Dans d'autre cas il passe dans un échantillonneur muni de moyens de mesure dans le domaine fréquentiel, le tout constituant un analyseur de fréquences qui aide à reconnaître le signal sonore, en rejettant les signaux intempestifs

(choc sur une raquette par exemple) et à l'identifier comme tel par le boîtier électronique.

A chaque capteur 10 peut être ajouté un capteur suplémentaire 16, comme sur la figure 1, afin de faciliter la distinction des bruits provenant du ras du sol de ceux qui provienne du dessus.Si le capteur suplémentaire 16 placé en hauteur reçoit le premier le signal sonore recherché, il interdit la transmission du signal éléctrique provenant du capteur 10, situé au ras du sol, vers le boîtier électronique.

Plusieurs transducteurs 18, au nombre de quatre sur la figure 1 et désignés ERa, ERb, ERc, ERd, constitués chacun par l'association d'un émetteur Ej et d'un récepteur Rj à ultrason, permettent de mesurer les temps de propagation du signal ultrason dans l'air.Les ultrasons permettent une bonne résolution temporelle et donc une bonne précission de la correction.Ils ne perturbent ni la détection du bruit de balle ni le déroulement de la partie de tennis.Les transducteurs 18 sont disposés deux par deux, face à face suivant des axes non parallèles entre eux et à la verticale des capteurs 10, comme sur la Figure 1 avec ERa face à ERc et ERb face ERd, dans le cas réprésenté, ils sont couplés selon les diagonales.

A un instant initial, donné par le boîtier

électronique, tous les émetteurs Ej envoient des signaux ultrasonores qui se propagent avec une vitesse respective Vj jusqu'au détecteur Rj qui lui est diamétralement opposé sur le court de tennis et l'atteignent après un temps respectif tj décompté par le boîtier électronique Z0 (figure 2).

Le boîtier électronique Z0 contient un système de comptage Z2 afin de numériser tous les temps tj et Ti, où les Ti sont les moments d'apparition du rebond de la balle de tennis en provenance du détecteur Di avec i égal à a, b, c ou d, un système de calcul Z4, à base de microprocesseurs, faisant appel à une mémoire Z6, contenant les algorithmes de calcul et les positions, respectives et connues de tous les détecteurs Di et transducteurs ERj, sur le court de tennis, ces dernières pouvant être entrées dans la mémoire Z6 par l'utilisateur via un clavier de saisie Z8.Le boîtier électronique Z0 calcule la position d'origine du signal sonore en fonction des différents temps Ti.Une horloge, non représentée, permet de numériser les différents temps Ti.Le calcul de position de l'emplacement du rebond de la balle, après recalage dans le temps de l'apparition du signal sonore, pour quatre détecteurs Di disposés autour d'un terrain de tennis, comme le cas de la figure 1, pour un bruit de rebond de balle de

tennis intervenant à To, à l'emplacement de coordonnées (Xo,Yo), et pour une vitesse de propagation Vs, vitesse du son dans l'air calme, a pour équations avant correction:

pour le recalage dans le temps

$$To = \frac{\dfrac{2\,(Rx^2 - Ry^2)}{Vs^2} + (Tc^2 - Ta^2) + (Tb^2 - Td^2)}{2\,(Ta + Td + Tc + Tb)}$$

pour la position

$$Xo = \frac{Vs^2\,(Ta^2 - Td^2)\,(Ta + Td + 2\,To)}{4\,Rx}$$

$$Yo = \frac{Vs^2\,(Tc^2 - Tb^2)\,(Tb + Tc + 2\,To)}{4\,Ry}$$

Et ensuite, le boîtier électronique 20 calcule pour la distance Lo parcourue en ultrasonore :

$$Lo = Vj \times tj = 2\,(Rx^2 + Ry^2)^{1/2}$$

Or il se trouve que Vj est la projection sur l'axe entre émission et réception de la somme vectorielle de la vitesse de propagation dans l'air du signal ultrason et de la vitesse du vent.Dans le cadre de la figure 1, les équations sont pour la vitesse de propagation du

son dans l'air

$$Vp = \frac{Lo}{Z}\left(\frac{1}{ta} + \frac{1}{tc}\right) = \frac{Lo}{Z}\left(\frac{1}{tb} + \frac{1}{td}\right)$$

pour la vitesse du vent

$$Vx = Rx\left(-\frac{1}{ta} - \frac{1}{tb} + \frac{1}{tc} + \frac{1}{td}\right)$$

$$Vy = Ry\left(+\frac{1}{ta} - \frac{1}{tb} - \frac{1}{tc} + \frac{1}{td}\right)$$

Comme pour l'ultrason, la vitesse de propagation du bruit de balle de tennis entre son point d'impact (Xo,Yo) et le détecteur Di (Xi,Yi) est fonction de la vitesse de propagation du son dans l'air et de la vitesse du vent, une vitesse spécifique Vi de propagation du signal sonore à repérer est définie pour chaque détecteur tel que :

$$Vi = \left(Vs^{Z} - \left((Vx\,(Yi - Yo) + Vy\,(Xi - Xo)) / Li\right)^{Z}\right)^{1/Z}$$

$$+ (Vx\,(Xi - Xo) - Vy\,(Yi - Yo)) / Li$$

avec $Li = \left((Xo - Xi)^{Z} + (Yo - Yi)^{Z}\right)^{1/Z}$

Les fréquences utilisées étant intrinsèques au système, un facteur de correction en fréquence K est défini et permet de calculer la vitesse de propagation du signal sonore par: $Vs = K \times Vp$.

La solution s'obtient par calcul itératif en prenant comme Xo et Yo de départ ceux définis sans la correction, c'est à dire Vi = Vs.

La position est modifiée par les nouvelles valeurs de vitesse de propagation donc :

$$Xo = \frac{Va^2 (Ta + To)^2 - Vd^2 (Td + To)^2}{4\,Rx}$$

$$Yo = \frac{Vb^2 (Tb + To)^2 - Va^2 (Ta + To)^2}{4\,Ry}$$

avec To solution de l'équation du second degré:

$$A\,To^2 + 2B\,To + C = 0$$

avec :

$$A = Va^2 - Vb^2 + Vc^2 - Vd^2$$

$$B = Va^2\,Ta - Vb^2\,Tb + Vc^2\,Tc - Vd^2\,Td$$

$$C = Va^2\,Ta^2 - Vb^2\,Tb^2 + Vc^2\,Tc^2 - Vd^2\,Td^2$$

Le boîtier électronique 20 calcule alors la distance entre la position exacte du rebond de la balle de tennis et les lignes du court, déterminant en fonction de la règle du jeu, la validité du rebond.

La variation de réalisation, montrée sur la figure 3, où les différents éléments ont l'avantage d'avoir des performances supérieures à la réalisation de la figure 1, car en disposant au coins de chaque demi-court de

tennis, les capteurs 10 et les transducteurs 18, elle améliore le rapport signal sur bruit pour les capteurs 10 et les transducteurs 18, et les ondes sonores et ultrasonores n'ont plus à franchir l'obstacle du filet.

Le boîtier électronique 20 a une capacité de comptage doublée pour numériser les données provenant de chaque demi-court.Les algorithmes de calcul sont identiques à ceux explicités précédemment mais sont exécutés en double pour couvrir tout le court de tennis.

Bien que la présente description soit une forme particulière de réalisation, des variations de réalisation peuvent-être apportées sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

Revendications

Ø1.Procédé de localisation sonore destiné à déterminer l'emplacement d'une source sonore impulsionnelle, suivant lequel on détecte les instants de reception du son provenant de la source en au moins trois points non alignés et on détermine la position de la source à partir des différents instants de reception aux trois points, caractérisé en ce qu'on détermine préalablement, par mesure du temps de parcours du son, suivant au moins deux trajets non parallèles dans une zone contenant la source et les dits points, les corrections à apporter aux dits instants de réception et en ce qu'on prend en compte les dites corrections lors du calcul de localisation.

Ø2.Dispositif suivant la revendication 1, destiné à déterminer l'emplacement d'une source sonore impulsionnelle, comprenant au moins trois capteurs (1Ø), fournissant un signal électrique représentatif du signal sonore qu'il reçoit et associés chacun à des moyens de filtrage (14) ayant une bande passante correspondant à au moins un pic de puissance de la source, et un moyen de calcul (2Ø) de l'emplacement de la source par rapport aux capteurs (1Ø) à partir de la différence entre les instants de reception des signaux fournis par les capteurs en réponse au dit

signal sonore, caractérisé en ce qu'il comprend, de plus, des moyens émetteurs-récepteurs (18), sonores ou ultrasonores, placés de part et d'autre de l'espace contenant les capteurs (10) et la source, aptes à mesurer la vitesse de parcours du son suivant au moins deux trajets non parallèles traversant le dit espace, et reliés au moyen de calcul (20) pour lui permettre de calculer les termes correctifs des dits instants de réception.

03. Dispositif suivant la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est placé sur un court de tennis pour localiser des rebonds de balle sur le court et assister l'arbitrage et en ce que les capteurs (10) et les émetteurs-récepteurs (18) encadrent le court.

04. Dispositif suivant la revendication 3, caractérisé en ce que chaqu'un des dits capteurs (10) est associé à un capteur supplémentaire (16), permettant une discrimination entre les signaux ayant leur origine au sol et ceux ayant une origine au dessus du sol, par comparaison des instants de réception des signaux.

05. Dispositif suivant la revendication 4, caractérisé en ce que deux émetteur-récepteurs (18) sont disposés suivant les diagonales du court afin de faciliter le calcul des termes correctifs.

06.Dispositif suivant la revendication 3, 4, ou 5, caractérisé en ce que chaque émetteur-récepteur (18) est placé sur la même verticale qu'un des capteur (10) afin de faciliter le calcul des termes correctifs.Les capteurs (10) et les émetteur-recepteurs (18) pouvant être confondus.

07.Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé en ce que des ensembles constitué chacun d'un capteur (10) et éventuellement d'un capteur supplémentaire (16) et d'un émetteur-recepteur (18) sont placés aux quatre coins du court, suffisamment éloignés de la surface de jeu pour ne pas géner le déroulement de la partie de tennis.

08.Dispositif suivant la revendication 6, caractérisé en ce que des ensembles constitué chacun d'un capteur (10) et éventuellement d'un capteur supplémentaire (16) et d'un émetteur-recepteur (18) sont placés aux quatre coins de chaque moitié de court, suffisamment éloignés de la surface de jeu pour ne pas géner le déroulement de la partie de tennis.

09.Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que chaque capteur (10) ou capteur supplémentaire (16) est associé à un système de filtrage utilisant soit une

transformée de Fourier, soit des filtres passe-bande, soit les deux.

10. Dispositif suivant la revendication 9, caractérisé en ce que le système de filtrage a une fréquence centrale ajustable permettant de centrer la bande passante sur le pic de puissance du spectre sonore du rebond de la balle, quelque soit le terrain.

11. Dispositif suivant l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que les capteurs (10) ou éventuellement les capteurs (16) transmettent ces signaux électrique au moyen de calcul (20) à travers un amplificateur à commande automatique de gain réalisé pour réduite l'effet des fluctuations du bruit de fond.

Abrégé descriptif

Le procédé et le dispositif servent d'aide à l'arbitrage du jeu de tennis.

Ils associent au moins trois capteurs accoustiques (10 et 16), couplés chacun à un analyseur de fréquences sonores, un ou plusieurs transducteurs (18), dont la gamme de fréquences peut aller de l'infrason à l'ultrason, et un calculateur (20) qui donne la position exacte par rapport à l'espace repéré de la source du signal sonore, en fonction des différents temps fournis par les capteurs accoustiques et corrigée par les mesures des vitesses de propagation du son dans l'air fournies par les transducteurs.

Figure pour l'Abrégé descriptif : Figure 3

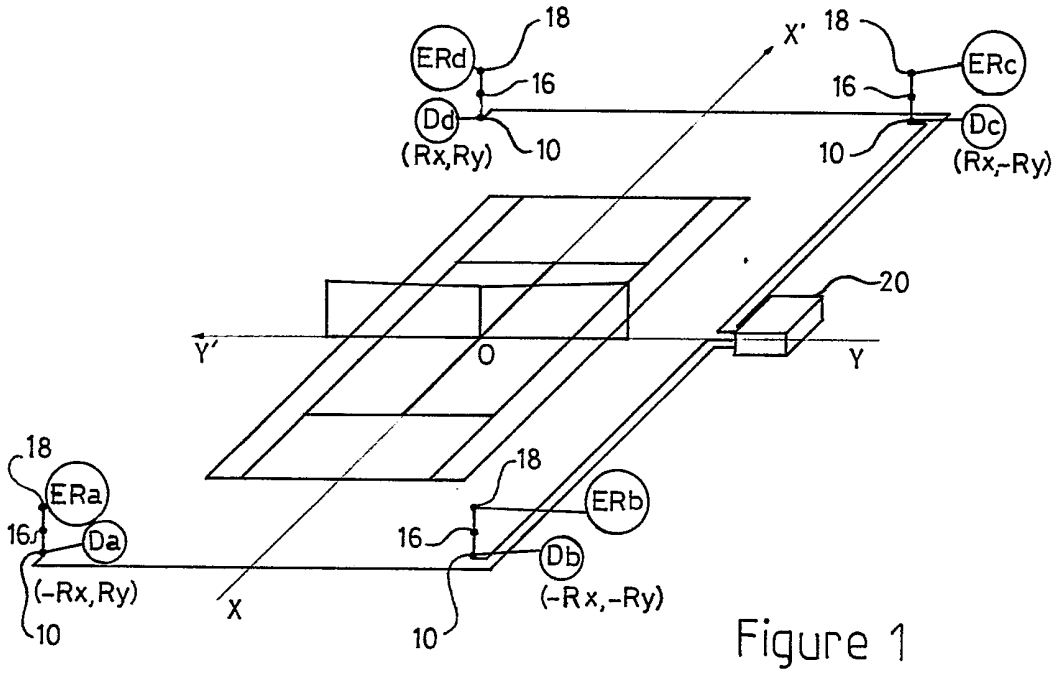


Figure 1

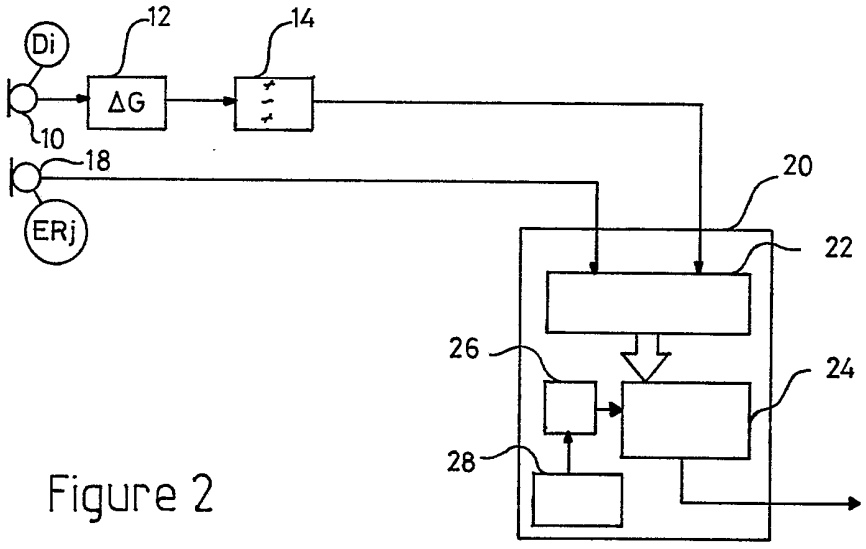


Figure 2

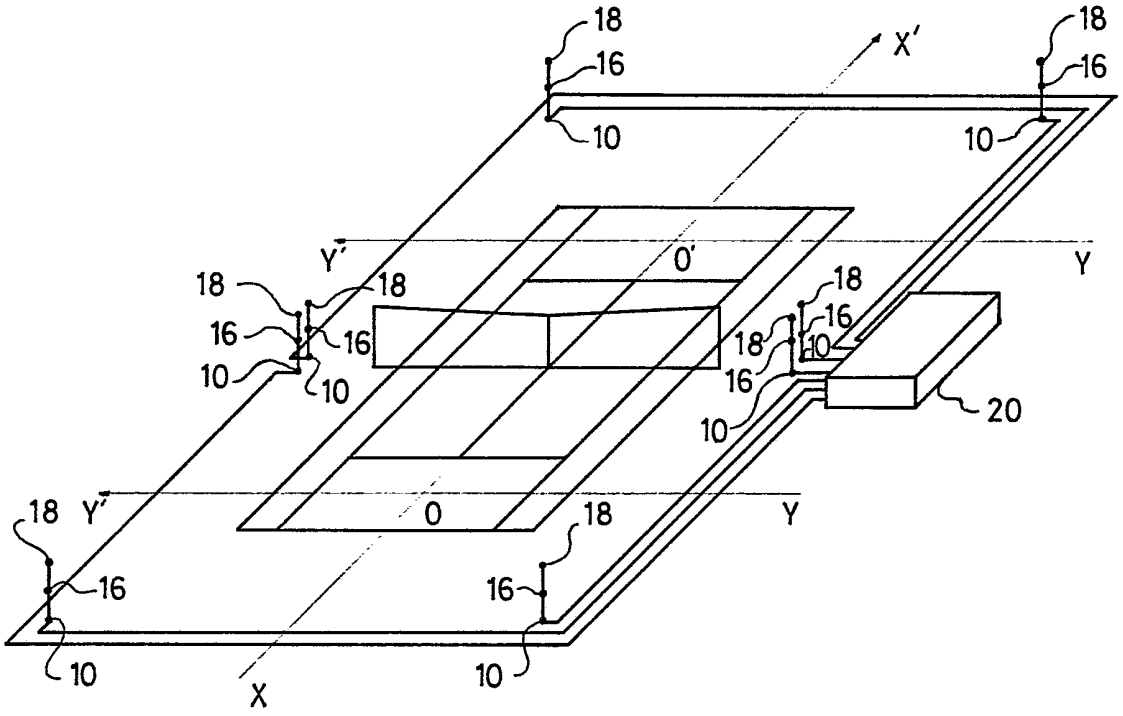


Figure 3

2654945

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national
FR 8915549
FA 437562

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
X	EP-A-0 012 580 (AUSTRALIAN TRAINING AIDS) * Figures 2-3; abrégé; page 10, ligne 17 - page 11, ligne 17 *	1-2
Y	---	9-11
Y	WO-A-8 202 671 (BIXO) * Figure 1; abrégé; page 3, dernier paragraphe; page 2, lignes 12-26 *	9-11
A	---	3
A	US-A-4 719 605 (EDER et al.) * Abrégé *	1-2

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)

A 63 B
G 01 S

Date d'achèvement de la recherche: 07-08-1990

Examinateur: JONES T.M.

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 03.82 (P0413)