

(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
13 octobre 2011 (13.10.2011)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/124813 A2

- (51) Classification internationale des brevets :
G01V 1/38 (2006.01) *G01S 5/18* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050660
- (74) Mandataires : **HUISMAN, Aurélien** et al.; Cabinet Plasseraud, 52, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).
- (22) Date de dépôt international :
25 mars 2011 (25.03.2011)
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
10 52600 6 avril 2010 (06.04.2010) FR
- (71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :
TOTAL SA [FR/FR]; 2 place Jean Millier La Défense 6, F-92400 Courbevoie (FR). **CGGVERITAS SERVICES S.A.** [FR/FR]; 1 Rue Léon Migaux, F-91300 Massy (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
CANTILLO, Juan [FR/FR]; C/o TOTAL SA 2 place Jean Millier La Défense 6, F-92400 Courbevoie (FR).
BOELLE, Jean-Luc [FR/FR]; C/o TOTAL SA 2 place
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD OF DETERMINING THE POSITION OF A DETECTOR DISPOSED AT THE BOTTOM OF THE SEA

(54) Titre : PROCÉDÉ DE DÉTERMINATION DE LA POSITION D'UN DÉTECTEUR DISPOSÉ AU FOND DE LA MER

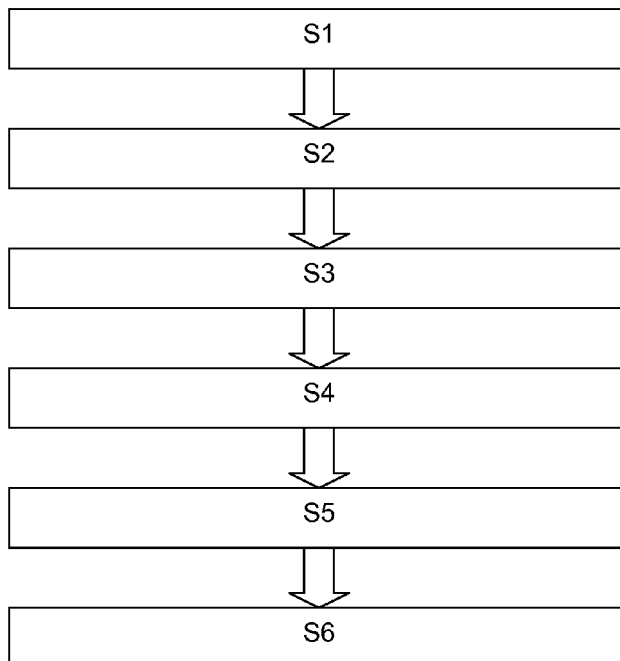


Fig. 1

(57) Abstract : Method of determining the position of a detector disposed at the bottom of the sea. Method of determining the position of a detector disposed under the sea, comprising the following steps: emission of N waves from N emission points, recording of the propagation time of said wave between each emission point and the detector, determination of P time intervals T_i , with $P \geq 1$ such that, for each time interval T_i , there exist M_i emission points, $M_i \geq 3$ for $1 \leq i \leq P$, whose propagation times lie in the said time interval, determination for each time interval T_i of the circle which passes closest to the M_i points whose propagation time lies in said time interval, determination of the position of the detector as being the barycentre of the P centres of the circles determined previously.

(57) Abrégé : Procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé au fond de la mer Procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé sous la mer, comprenant les étapes suivantes : émission de N ondes à partir de N points d'émission, enregistrement du temps de propagation de ladite onde entre chaque point d'émission

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/124813 A2

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, **Publiée :**
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, — *sans rapport de recherche internationale, sera republiée*
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, *dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

et le détecteur, détermination de P intervalles de temps T_i , avec $P \geq 1$ tels que, pour chaque intervalle de temps T_i , il existe M_i points d'émission, $M_i \geq 3$ pour $1 \leq i \leq P$, dont les temps de propagation soient compris dans ledit intervalle de temps, détermination pour chaque intervalle de temps T_i du cercle qui passe au plus près des M_i points dont le temps de propagation est compris dans ledit intervalle de temps, détermination de la position du détecteur comme étant le barycentre des P centres des cercles déterminés précédemment.

**Procédé de détermination de la position d'un détecteur
disposé au fond de la mer**

La présente invention concerne les techniques d'exploration du sous-sol, en particulier un procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé sous la mer, notamment sur la surface du fond marin.

Il est connu, notamment dans l'exploration pétrolière, de produire des images sismiques à partir de séries de mesures géophysiques effectuées depuis la surface d'un sous-sol. Dans la technique de la sismique, ces mesures impliquent l'émission dans le sous-sol d'une onde et la mesure d'un signal comportant diverses réflexions de l'onde sur les structures géologiques rencontrées. Ces structures sont typiquement des surfaces séparant des matériaux distincts ou des failles.

Les images sismiques sont des représentations du sous-sol à deux ou trois dimensions, la dimension verticale correspondant soit aux temps de propagation des ondes sismiques, soit aux profondeurs. Elles sont obtenues par des techniques connues sous l'appellation de "migration" qui utilisent un modèle de vitesse estimée fournissant une cartographie de la vitesse de propagation des ondes sismiques dans les roches constituant la zone explorée. Ce modèle de vitesse est utilisé pour estimer les positions des réflecteurs du sous-sol à partir des enregistrements sismiques. Bien entendu, les images sismiques ainsi produites, ainsi que les modèles de vitesse sous-jacents, présentent certaines distorsions car ce ne sont que des estimations dérivées d'un nombre nécessairement limité de mesures.

Dans le cas d'exploration de sous-sol sous marin, des détecteurs sont généralement placés au fond de la mer sur le sous-sol à explorer. Des ondes sismiques sont émises à partir de la surface de la mer. Ces ondes se propagent dans l'eau et pénètrent le sous-sol. Les détecteurs placés au fond de l'eau sur la surface du sous-sol vont détecter l'arrivée de l'onde sismique directe ainsi que les ondes réfléchies par le sous-sol.

Afin de suivre l'évolution d'un réservoir pétrolier d'un sous-sol, il est possible de réaliser une première image sismique du sous-sol à un temps donné puis de réaliser une deuxième image sismique du même sous-sol après un certain temps.

En particulier, pour suivre les changements en teneur en hydrocarbure d'un réservoir exploité en production, il peut être intéressant de suivre l'évolution de l'image sismique du sous-sol dans le temps.

Afin de pouvoir comparer deux images sismiques d'un même sous-sol, il est important de savoir positionner le plus précisément possible chaque détecteur placé sur la surface dudit sous-sol.

Les détecteurs sont généralement positionnés au fond de l'eau par plusieurs centaines de mètres de profondeur au moyen d'un robot dirigé à la surface (ROV ou « Remote Operated Vehicle »). Cependant, les contraintes de déploiement opérationnel combinées avec la précision des systèmes de positionnement acoustique embarqués sur ces robots, qui exigent un temps de stabilisation et de calibration élevé, conduisent de façon courante à un positionnement imprécis du récepteur par rapport à la position planifiée.

Généralement, la position du détecteur n'est connue qu'avec une précision de l'ordre de 10 mètres.

Dans le contexte de campagne de mesures répétées dans le temps, cela implique une incertitude de 20 m sur la position du détecteur, ce qui réduit considérablement la répétitivité des mesures.

Il est envisageable de déterminer la position d'un détecteur par triangulation. Trois ondes sismiques sont émises de trois points de la surface et la distance entre le détecteur et les coordonnées de chaque point d'émission est calculée à partir du temps de parcours de l'onde sismique.

La précision d'une telle méthode repose sur la connaissance conjointe de la bathymétrie et de la vitesse de propagation de l'onde sismique dans l'eau. Cette vitesse de propagation peut varier sensiblement, en particulier en fonction de la température de l'eau et de sa salinité. D'autre part, la mesure de la bathymétrie se fait généralement à l'aide de moyens acoustiques, eux-mêmes dépendants de la vitesse de l'eau et d'autres paramètres. Ainsi, la précision de la méthode de triangulation variera sensiblement d'une campagne de mesure à l'autre.

Il existe donc un besoin pour un moyen permettant de positionner plus précisément des détecteurs placés au fond de l'eau, ne reposant ni sur la connaissance de la vitesse de propagation des ondes dans l'eau ni de la bathymétrie. Il est suffisant que cette méthode permette la détermination de la position dans un plan, car il est connu que le détecteur est placé sur la surface du fond marin.

L'invention propose ainsi, un procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé sous la mer, comprenant les étapes suivantes :

- émission de N ondes à partir de N points d'émission,
- enregistrement pour chaque point d'émission du temps de propagation de ladite onde entre ledit point

d'émission et du détecteur,

- détermination de P intervalles de temps T_i , avec $P \geq 1$ tels que, pour chaque intervalle de temps T_i , il existe M_i points d'émission, $M_i \geq 3$ pour $1 \leq i \leq P$, parmi les N points d'émission dont les temps de propagation soient compris dans ledit intervalle de temps,
- détermination pour chaque intervalle de temps T_i du cercle qui passe au plus près des M_i points dont le temps de propagation est compris dans ledit intervalle de temps,
- détermination de la position du détecteur comme étant sur le fond de la mer, à la verticale du barycentre des P centres des cercles déterminés précédemment.

Avantageusement, le procédé selon l'invention permet de déterminer la position du détecteur de façon totalement indépendante de la vitesse de propagation de l'onde dans l'eau et de la bathymétrie.

Un procédé selon l'invention peut en outre comporter une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles ci-dessous, considérées individuellement ou selon toutes les combinaisons possibles :

- la méthode pour déterminer le cercle passant au plus près des M_i points est choisie parmi l'une des méthodes suivantes :
 - la méthode des moindres carrés ordinaires,
 - la méthode des moindres carrés généralisés, ou
 - la méthode des moindres carrés pondérés ;
- la position du détecteur est l'isobarycentre des P centres des cercles déterminés précédemment ;
- on détermine les P intervalles de temps T_i de façon à ce que, par rapport au détecteur, l'écart angulaire azimutal maximum entre deux points consécutifs M_i dont les temps de propagation sont compris dans ledit

- intervalle de temps soit inférieur ou égal à 120° ; et
- l'onde émise à partir de chaque point d'émission est une onde de pression.

L'invention concerne également un procédé de détermination des positions d'un ensemble de détecteurs disposés sous la mer, dans lequel la position de chaque détecteur est déterminée par un procédé selon l'invention en utilisant les mêmes points d'émission.

L'invention se rapporte également à un procédé de cartographie d'un sous-sol sous-marin comprenant les étapes suivantes :

- échantillonnage de la surface du sous-sol à cartographier en K points de mesure,
- disposition d'un ou plusieurs détecteurs d'onde aux environs de chaque point de mesure,
- détermination de la position de chaque détecteur au moyen d'un procédé selon l'invention,
- enregistrement pour chaque détecteur de l'onde émise à partir de chaque point d'émission et des ondes réfléchies par le sous-sol.

L'invention concerne également un procédé de suivi de l'évolution dans le temps d'un sous-sol sous marin, caractérisé en ce qu'on répète le procédé de cartographie selon l'invention à au moins deux temps différents et qu'on compare les cartographies obtenues.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 illustre les différentes étapes d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 illustre l'échantillonnage de la surface de la mer en N points d'émission, et

- la figure 3 illustre la détermination du cercle qui passe au plus près des M_i points parmi les N dont le temps de propagation est compris dans un intervalle de temps défini.

Pour des raisons de clarté, les différents éléments représentés sur les figures ne sont pas nécessairement à l'échelle.

Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention peut s'inscrire dans un procédé de cartographie d'un sous-sol sous-marin.

Dans le cadre d'un procédé de cartographie d'un sous-sol sous-marin, le sous-sol est échantillonné en K points de mesure.

La zone à cartographier peut par exemple être sensiblement carrée et présenter une dimension de 5km de coté. L'échantillonnage du sous-sol sous-marin peut consister à positionner des points de mesure à environ 200 mètres de distance les uns des autres.

L'homme du métier peut adapter les distances entre les points de mesure en fonction d'objectifs opérationnels prédéfinis.

On positionne sur chaque point de mesure un détecteur d'onde sismique. Chaque détecteur est positionné au moyen d'un robot dirigé à partir de la surface. Comme indiqué précédemment, dans le contexte opérationnel il est généralement difficile et coûteux de déterminer avec précision la position du détecteur lorsque ce dernier est placé avec un robot dirigé à distance.

Afin d'augmenter la fiabilité et d'assurer une répétitivité des mesures, il est important de pouvoir déterminer le plus précisément possible la position de chaque détecteur placé aux environs de chaque point de mesure.

Comme représenté à la figure 1, un procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé sous la mer selon l'invention peut comprendre :

- une étape d'échantillonnage S1 de la surface de la mer en N points d'émission,
- une étape d'émission d'ondes S2 à partir de chaque point d'émission,
- une étape d'enregistrement S3 des temps de propagation correspondant à chaque point d'émission,
- une étape de détermination d'intervalles de temps S4,
- une étape de détermination d'un cercle S5, et
- une étape de positionnement du détecteur S6.

Comme illustré sur la figure 2, selon un mode réalisation, on échantillonne la surface de la mer en N points d'émission. A chaque point d'émission, une onde est émise et l'on enregistre le temps de propagation de ladite onde entre le point d'émission et le détecteur dont on cherche à déterminer avec précision la position.

Selon un mode de réalisation, un bateau parcourt la surface de la mer à proximité des dispositifs en émettant des ondes sismiques régulièrement. Les coordonnées de chaque point d'émission sont déterminées à partir des coordonnées connues du bateau au moment du tir.

Pour chaque point d'émission, on enregistre le temps de propagation de l'onde sismique entre le point d'émission et chaque détecteur dont on cherche à déterminer avec précision la position.

Selon un mode de réalisation de l'invention, au cours de l'étape de détermination d'intervalles de temps S4, on détermine P intervalles de temps T_i , avec $P \geq 1$ tel que pour chaque intervalle de temps T_i , il existe M_i points d'émission, $M_i \geq 3$ pour $1 \leq i \leq P$, parmi les N points d'émission

dont les temps de propagation soient compris dans ledit intervalle de temps.

Selon un mode de réalisation, l'étape de détermination d'un intervalle de temps $T_i=[T_{i,1}, T_{i,2}]$ pour un détecteur peut être réalisée en fixant un premier temps, par exemple $T_{i,1}$, et en déterminant le deuxième temps $T_{i,2}$ de l'intervalle de sorte qu'il existe au moins 3 points d'émission dont les temps de propagation sont compris entre $T_{i,1}$ et $T_{i,2}$.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'intervalle de temps est déterminé de sorte qu'il existe au moins 3 points d'émission dont les temps de propagation soient compris entre $T_{i,1}$ et $T_{i,2}$, et que l'écart angulaire azimutal maximum entre deux points consécutifs de cet ensemble de points et la position supposée du récepteur soit inférieur ou égal à 120° .

L'intervalle de temps T_i peut être déterminé de sorte qu'il existe un nombre de points d'émission dont le temps de propagation est compris entre T_1 et T_2 supérieur ou égal à 3 et inférieur ou égal à 200, par exemple inférieur ou égal à 100.

Selon un mode de réalisation de l'invention, au cours de l'étape de détermination d'un cercle S_5 , le cercle qui passe au plus près des M_1 points dont le temps de propagation est compris dans l'intervalle de temps $[T_1, T_2]$ est déterminé.

La détermination de ce cercle peut se faire par toute méthode connue de l'homme du métier.

Par exemple, la méthode permettant de déterminer le cercle passant au plus près des M_1 points est choisie parmi l'une des méthodes suivante :

- la méthode des moindres carrés ordinaires,
- la méthode des moindres carrés généralisés, ou

- la méthode des moindres carrés pondérés.

L'invention ne se limite pas aux méthodes ci-dessous, toute méthode connue de l'homme du métier peut être utilisée pour déterminer le cercle le plus près des M_i points.

Au sens de l'invention, la méthode des moindres carrés ordinaires consiste à considérer que le cercle qui passe au plus près des M_i points est celui qui minimise la somme quadratique des écarts entre les points M_i et ledit cercle.

L'échantillonnage de la surface de la mer en points d'émission peut être suffisamment dense pour linéariser les équations de détermination du cercle passant au plus près des M_i points d'émission. Avantageusement, le procédé selon l'invention est facile à mettre en œuvre.

Selon un mode de réalisation de l'invention, la position du détecteur est déterminée comme étant sur le fond de la mer, à la verticale de la position du centre du cercle passant au plus près des M_i points d'émission dont les temps de propagation sont compris entre $T_{i,1}$ et $T_{i,2}$.

Selon un mode de réalisation de l'invention, on détermine une pluralité d'intervalles de temps et de cercles. La position du détecteur est déterminée comme étant le barycentre des centres des cercles, par exemple l'isobarycentre des centres des cercles.

On entend par isobarycentre au sens de l'invention le barycentre des centres des cercles déterminés en affectant le même poids à chaque centre.

Selon un mode de réalisation de l'invention, l'homme du métier peut choisir d'attribuer des poids différents aux centres des cercles, par exemple en fonction du nombre de points utilisés pour déterminer chaque cercle

ou encore du résidu issu de la minimisation de la somme quadratique pour chaque cercle.

L'invention ne se limite pas au mode de réalisation décrit et doit être interprétée de façon non limitative, en englobant tout mode de réalisation équivalent.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détermination de la position d'un détecteur disposé sous la mer, comprenant les étapes suivantes :

- émission de N ondes à partir de N points d'émission,
- enregistrement pour chaque point d'émission du temps de propagation de ladite onde entre ledit point d'émission et du détecteur,
- détermination de P intervalles de temps T_i , avec $P \geq 1$ tels que, pour chaque intervalle de temps T_i , il existe M_i points d'émission, $M_i \geq 3$ pour $1 \leq i \leq P$, parmi les N points d'émission dont les temps de propagation soient compris dans ledit intervalle de temps,
- détermination pour chaque intervalle de temps T_i du cercle qui passe au plus près des M_i points dont le temps de propagation est compris dans ledit intervalle de temps,
- détermination de la position du détecteur comme étant sur le fond de la mer, à la verticale du barycentre des P centres des cercles déterminés précédemment.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la méthode pour déterminer le cercle passant au plus près des M_i points est choisie parmi l'une des méthodes suivantes :

- la méthode des moindres carrés ordinaires,
- la méthode des moindres carrés généralisés, ou
- la méthode des moindres carrés pondérés.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la position du détecteur est déterminée comme étant sur le fond de la mer, à la verticale de l'isobarycentre des P centres des cercles déterminés précédemment.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on détermine les P intervalles de

temps T_i , tel que par rapport au détecteur, l'écart angulaire azimutal maximum entre deux points consécutifs M_i dont les temps de propagation sont compris dans ledit intervalle de temps soit inférieur ou égal à 120° .

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'onde émise à partir de chaque point d'émission est une onde de pression.

6. Procédé de détermination des positions d'un ensemble de détecteurs disposés sous la mer, dans lequel la position de chaque détecteur est déterminée par un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes en utilisant les mêmes points d'émission.

7. Procédé de cartographie d'un sous-sol sous-marin comprenant les étapes suivantes :

- échantillonnage de la surface du sous-sol à cartographier en K points de mesure,
- disposition d'un détecteur d'onde aux environs de chaque point mesure,
- détermination de la position de chaque détecteur au moyen d'un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
- détermination pour chaque détecteur de l'onde émise à partir de chaque point d'émission et des ondes réfléchies par le sous-sol.

8. Procédé de suivi de l'évolution dans le temps d'un sous-sol sous marin, caractérisé en ce qu'on répète le procédé de cartographie selon la revendication 7 à au moins deux temps différents et qu'on compare les cartographies obtenues.

1/2

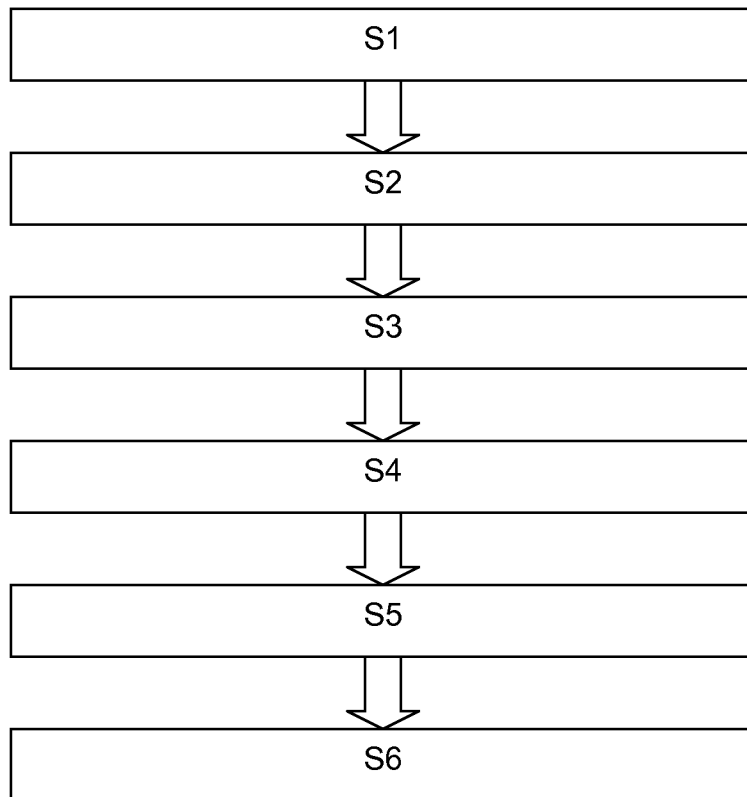


Fig. 1

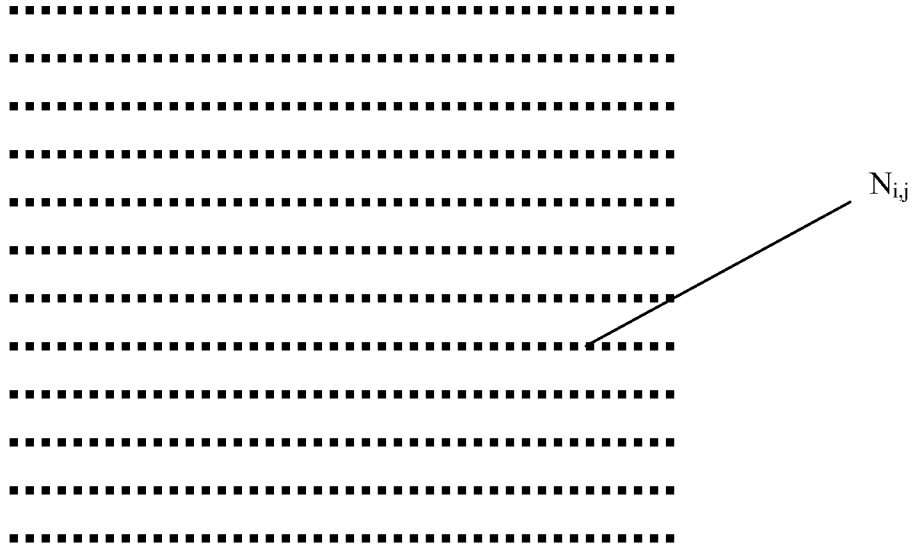


Fig. 2

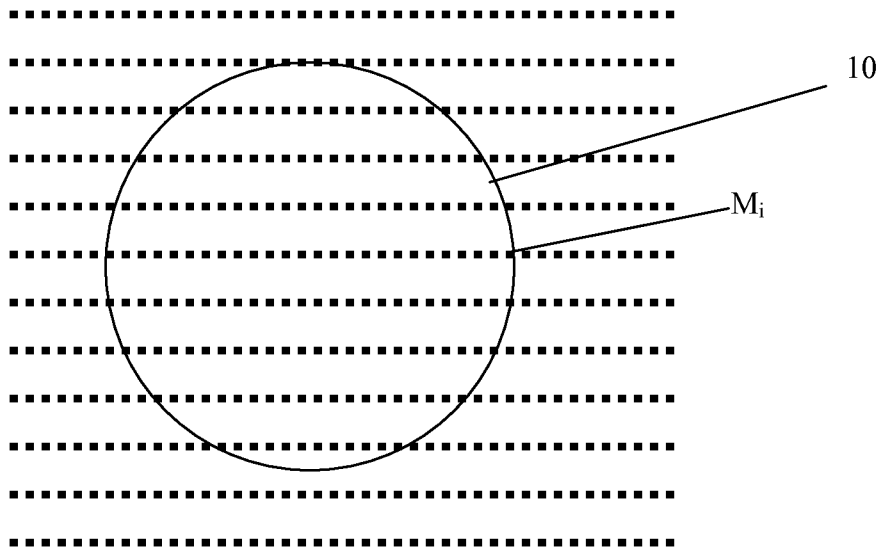


Fig. 3