



República Federativa do Brasil
Ministério do Desenvolvimento, Indústria
e do Comércio Exterior
Instituto Nacional de Propriedade Industrial

(21) PI 1105427-1 A2



(22) Data de Depósito: 17/01/2011

(43) Data da Publicação: 28/07/2015
(RPI 2325)

(54) Título: MÉTODO E DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS

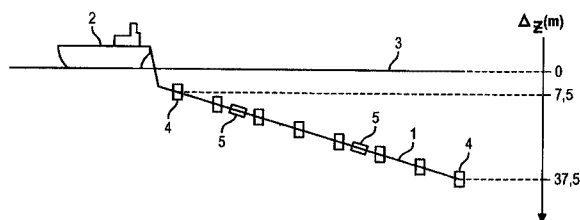
(51) Int.Cl.: G01V1/48

(30) Prioridade Unionista: 15/01/2010 FR 1050276

(73) Titular(es): Cggveritas Services SA

(72) Inventor(es): Robert Soubaras

(57) Resumo: MÉTODO E DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS. A presente invenção refere-se a um método para adquirir ondas sísmicas por meio de um cabo flutuante (1) rebocado por um navio e compreendendo de uma pluralidade de receptores sísmicos (4). O cabo flutuante compreende de uma parte de cabeça (1a) que é inclinada em relação à superfície da água (3) e uma parte final (1b) tendo pelo menos uma seção com uma inclinação diferente.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO E DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS"**.

DESCRIÇÃO

5 A presente invenção refere-se à coleta de dados sísmicos marítimos.

Mais especialmente, refere-se a um método e dispositivo para aquisição sísmica marítima, capaz de produzir dados os quais podem ser processados para a eliminação de sinais de reflexão (ghost path) na superfície.

10 Um sinal de reflexão na superfície é um sinal parasítico devido às reflexões das ondas sísmicas na água – interface do ar formado pela superfície da água.

ESTADO DA TÉCNICA

15 Durante pesquisas sísmicas, o objetivo é permitir a localização de refletores sísmicos localizados em diferentes profundidades sob o leito do mar. Os refletores podem estar em águas rasas (chamados evenros rasos), em profundidade média ou alta (chamados eventos profundos).

20 Uma técnica difundida utilizada na indústria de prospecção de óleo e gás consiste em conduzir uma pesquisa sísmica da subsuperfície. Para fazer o imageamento da estrutura da subsuperfície, os geofísicos utilizam técnicas de "reflexão sísmica".

Na sísmica marítima, a técnica convencional consiste em rebo-car atrás de um navio:

25 -uma ou mais fontes de energia para a emissão de ondas acústicas, e

-receptores sísmicos dispostos em cabos chamados cabos flutuantes posicionados horizontalmente em uma profundidade constante Δz para registrar a onda acústica refletida pelas interfaces entre as formações geológicas.

30 A fonte transmite uma onda acústica à água, pelo ajuste de um campo de onda (ondas de compressão) a qual se propaga coerentemente e para baixo (propagação descendente) para dentro da subsuperfície. Quando

o campo de onda atinge uma interface entre as formações, chamados refletores, é refletido através da subsuperfície e a água até os receptores sísmicos (propagação ascendente) onde é convertido em sinais elétricos e registrados.

5 Os receptores sísmicos são dispostos de modo que os sinais registrados chamados traços, de dados sísmicos, os quais podem ser usados para construir uma imagem das camadas geológicas.

Um problema que é encontrado é a reverberação, e pode ser explicado como segue. Uma onda sísmica refletida por um refletor passa 10 através da água em uma direção em geral ascendente. Esta onda, chamada "primária", propaga na água e passa através do receptor sísmico o qual registra sua presença.

O campo de onda continua sua progressão em direção à superfície da água (cujo coeficiente de reflexão é -1) onde é refletido para baixo. 15 Este campo de onda refletida ou "fantasma" também é propagado na água e passa através dos receptores onde é registrado mais uma vez com polaridade reversa e um tempo de retardo Δt o qual, para ondas se propagando verticalmente, é:

$$\Delta t = 2\Delta z/c$$

20 no qual:

$-\Delta t$: a diferença de tempo entre o registro da onda principal e o ghost respectivamente pelo receptor,

$-\Delta z$: a distância entre o cabo flutuante e a superfície da água,

$-c$: a taxa de propagação da onda na água (a saber 1500 m/s).

25 Esta reverberação de campo de onda sísmica na água afeta os dados sísmicos pela amplificação de algumas frequências e pela atenuação de outras, o que torna a localização do refletor difícil.

No campo do espectro, o "fantasma" corresponde a uma função de filtro:

30
$$G(f) = 1 - \exp(2j\pi f\Delta t)$$

Esta função de transferência $G(f)$ é zero pelas frequências múlti-

plas na qual
$$f_n = \frac{1}{\Delta t} = \frac{c/2}{\Delta z} = \frac{750}{\Delta z}$$

Estas frequências para as quais a função de transferência é zero são chamadas "entalhes". Os entalhes são um obstáculo já que não podem ser uma deconvolução.

Na década de 1980 foram propostas técnicas de coleta de dados utilizando cabos flutuantes inclinados. Ditas técnicas são (especialmente) descritas nos documentos US 4 353 121 e US 4 992 992.

No primeiro documento, o cabo sísmico de 1,2 km de comprimento é utilizado, tendo um ângulo na ordem de 2º graus com a superfície d'água.

Com esta configuração, é a operação de acúmulo de dados a qual assegura a eliminação de ghosts. Os dados adquiridos são efetivamente redundantes, e o método de processamento compreende de uma etapa de acúmulo de dados. Os registros contribuindo para este acúmulo, os quais são registrados por diferentes receptores, mostram entalhes em diferentes frequências, de modo que a informação que falta devido à presença de um entalhe em um receptor sísmico é obtido de outro receptor.

Um dispositivo utilizando um cabo sísmico de 1 km de comprimento tem uma profundidade de exploração limitada devido a seu comprimento, e não possibilita a localização de refletores sísmicos assentados em vários quilômetros de profundidade.

Os cabos flutuantes utilizados atualmente em pesquisas sísmicas marítimas de 3D adaptadas para localizar refletores profundos, geralmente possuem um comprimento na ordem de 6 a 10 quilômetros. O princípio de um cabo flutuante inclinado proposto nas patentes acima mencionadas não podem ser aplicados a estes, já que, com um ângulo de 2 graus isto poderia levar a uma profundidade máxima de 280m, enquanto que na prática, uma profundidade de 50m é considerada como sendo máxima. Por conta disso, este princípio não tem sido usado desde o final da década de 1980.

Desde a década de 1990 os interesses foram focados em estruturas geológicas em maiores profundidades.

Para localizar refletores profundos, ondas acústicas de alta frequência não são adequadas devido à alta atenuação que são submetidas

durante sua propagação.

De modo a manter uma largura de faixa em maiores profundidades, compreendendo de um número suficiente de oitavos que é uma condição necessária para obter uma boa imagem, um oitavo deve ser obtido em frequências baixas, aumentando a largura de faixa de 3 oitavos 5-40 Hz a uma largura de faixa de 2,5-20 Hz, por exemplo. Contudo, não é suficiente dar prioridade a baixas frequências já que altas frequências são necessárias para estimar com precisão o modelo de velocidade das camadas da superfície.

Portanto, a relação sinal-ruído deve ser aperfeiçoada para ondas acústicas de baixa frequência.

Um propósito da presente invenção é propor uma técnica para adquirir dados sísmicos marítimos os quais possuem dinâmicas largas com relação à profundidade dos refletores a serem localizados, e que são simples e eficientes com relação à operação e economia.

APRESENTAÇÃO DA INVENÇÃO

De acordo com a invenção, é fornecido um método de aquisição de onda sísmica que compreende de:

- reboque com um navio com pelo menos um cabo flutuante compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos, dito cabo flutuante sendo equipado com uma variedade de birds controlando sua profundidade na água, ditos birds sendo espaçados ao longo de seu comprimento,
- ajuste individual dos ditos birds começando da cabeça do cabo flutuante de modo que o cabo flutuante compreende de uma parte de cabeça tendo uma primeira inclinação na qual a profundidade dos receptores aumenta quanto maior a distância do navio, e uma parte final compreendendo de pelo menos uma seção tendo uma segunda inclinação para a primeira inclinação,
- registro de ondas sísmicas com uma variedade de receptores sísmicos durante o reboque do cabo.

A invenção também se refere a um método de adquirir ondas sísmicas, o método compreendendo de:

- reboque com um navio com pelo menos um cabo flutuante compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos, dito cabo flutuante sendo equipado com uma variedade de birds controlando sua profundidade na água, ditos birds sendo espaçados ao longo de seu comprimento e

5 - ajuste individual dos ditos birds começando da cabeça do cabo flutuante, de modo que a profundidade dos receptores aumenta conforme sua distância do navio, e o cabo flutuante compreende de pelo menos duas porções com diferentes inclinações.

A invenção também se refere a um dispositivo para adquirir ondas sísmicas rebocadas por um navio e incluindo pelo menos um cabo flutuante compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos e equipados com controladores de profundidade espaçados ao longo de sua profundidade em que ditos controladores são ajustados de modo que, na porção da cabeça do cabo flutuante, a profundidade dos receptores aumenta conforme
10 eles se assentam quanto mais distante do navio, o cabo flutuante tendo uma primeira inclinação relativa à superfície da água e sua porção compreende de pelo menos uma seção tendo uma segunda inclinação diferente da primeira inclinação.

APRESENTAÇÃO DAS FIGURAS

20 Outras características e vantagens da invenção ficarão ainda mais aparentes a partir da descrição a seguir que é somente ilustrativa e não limitativa, e deve ser lida apenas como referência aos desenhos anexos, nos quais:

25 –figuras 1 e 2 ilustram dispositivos de aquisição pertencentes à técnica anterior;

 –figuras 1' e 2' ilustram os espectros de um evento raso, obtido utilizando dispositivos ilustrados nas figuras 1 e 2;

 –figuras 3 e 4 ilustram duas modalidades de um dispositivo de aquisição de acordo com a invenção;

30 –figuras 3' e 4' ilustram os espectros de um evento raso obtido utilizando dispositivos ilustrados nas figuras 3 e 4;

 –figura 5 ilustra outra modalidade de dispositivo de aquisição de

acordo com a invenção;

–figura 6 é um diagrama ilustrando um método permitindo o processamento de dados sísmicos marítimos registrados pelo dispositivo de aquisição da invenção.

5 DESCRIÇÃO DETALHADA DAS MODALIDADES

Com referência à figura 1, um dispositivo de aquisição da técnica anterior é ilustrado compreendendo de um cabo flutuante sísmico rebocado por um navio 2. O cabo flutuante 1 compreende de uma variedade de receptores 4a, 4b espaçados em intervalos regulares na ordem de uns poucos
10 metros ao longo do cabo flutuante. Os receptores são normalmente hidrofo-
nes. O cabo flutuante 1 também é equipado, como é convencional, com uni-
dades de controle chamados birds 5 montados no cabo flutuante em interva-
los regulares, por exemplo, em torno de 300 metros um do outro. Ditos birds
de controle de profundidade são disponíveis comercialmente. Cada um dos
15 birds 5 podem ser ajustados individualmente à posição do cabo flutuante em
uma determinada profundidade.

No dispositivo mostrado na figura 1, os dispositivos 5 são ajus-
tados em profundidades aumentadas começando da cabeça do cabo flutu-
ante 1, de modo que o cabo flutuante 1 é uma inclinação relativa para a su-
20 perfície da água 3. O receptor sísmico 4a mais próximo do navio 2 é posicio-
nado em uma profundidade de 7,5 metros, e o receptor sísmico 4b assenta-
do o mais distante do navio 2 (em uma distância horizontal a qual em geral
fica assentado entre 6 e 10 km em dispositivos de aquisição atualmente utili-
zados) ficam assentados em uma profundidade de 37,5 metros. É observado
25 na figura 1, como nas outras figuras, que a representação da inclinação é
altamente exagerada ao ser comparada com a realidade.

Dois espectros 10, 20 de imagens finais (depois do empilhamen-
to) de um refletor raso (800 metros de profundidade) são ilustrados na figura
1'.

30 O primeiro espectro 10 (chamado "espectro ideal" no restante do
presente documento) é obtido ao fazer a modelagem e não inclui qualquer
ghost. Portanto, é o espectro ideal o qual poderia ser obtido se o sinal "fan-

tasma" parasítico for totalmente eliminado nos sinais registrados pelos hidro-fones (traços).

O segundo espectro 20 (chamado "espectro efetivo" no restante do presente documento) é obtido utilizando o dispositivo ilustrado na figura 1.

Foi verificado que estes espectros possuem formas muito diferentes. Em especial, a largura do espectro efetivo 20 é menor do que a largura do espectro ideal 10: o espectro efetivo 20 contém menos energia para as frequências baixas (menor do que 10 Hz) e frequências altas (maior do que 60 Hz) do que o espectro ideal 10.

Mesmo assim é precisamente dentro dessas faixas de frequências que a relação sinal-ruído deve ser melhorada.

Com referência à figura 2, outro dispositivo de aquisição é ilustrado compreendendo de um cabo flutuante 1 rebocado por um navio 2. Os birds de controle de profundidade 5 equipando o cabo flutuante são ajustados de modo que o cabo flutuante 1 é inclinado com relação à superfície da água 3. Desta vez, o receptor sísmico 4a mais próximo da embarcação 2 está localizado em uma profundidade de 15 metros e o receptor sísmico 4b numa distância maior da embarcação 2 (em uma distância horizontal de 8 km ou mais) assentado em uma profundidade de 37,5 metros.

Portanto, a única diferença ao comparar com o dispositivo na figura 1 refere-se à profundidade do receptor sísmico mais próximo do navio.

A vantagem de aumentar a profundidade do receptor sísmico mais próximo da embarcação é para minimizar o efeito do ruído da onda a qual somente afete áreas próximas à superfície.

O espectro 10, 20 de imagens finais (depois do empilhamento) do mesmo refletor raso (profundidade de 800 metros) são ilustrados na figura 2'.

O espectro ideal 10 é obtido quando a modelagem não inclui qualquer ghost. O espectro efetivo 20 é obtido utilizando o dispositivo ilustrado na figura 2.

Novamente é verificado que estes dois espectros têm formas

muito diferentes, o espectro efetivo 20 contendo o entalhe de um receptor a 15m, assentado em 50 Hz, este entalhe ainda estando presente apesar de estar na forma atenuada.

5 A eliminação imperfeita de ghosts obtida utilizando dispositivos de aquisição ilustrados nas figuras 1 e 2 está relacionada à profundidade do refletor sendo considerado (800 metros).

Para um refletor nesta profundidade, os dados registrados pelos receptores relativamente próximos à fonte sísmica têm uma influência dominante no empilhamento, os receptores distantes fazendo uma contribuição
10 de forma insignificante.

Portanto, para um refletor raso, somente são usados os registros dos receptores sísmicos posicionados na porção da cabeça do cabo flutuante (o mais próximo do navio).

Para os dispositivos ilustrados nas figuras 1 e 2, isto significa
15 que as dinâmicas das profundidades dos receptores, os quais determinam a diversidade dos entalhes, são insuficientes para a eliminação com boa qualidade de "fantasmas" no processamento.

Com referência às figuras 3, 4 e 5, diferentes modalidades da invenção são ilustradas. Por razões de simplicidade, estas figuras mostram
20 somente um cabo flutuante sísmico 1, mas na prática os dispositivos de coleta de dados sísmicos atuais compreendem de uma variedade de cabos flutuantes 1 (oito, dez ou mais) rebocados pelo navio 2, e a invenção é aplicável independente do número de cabos flutuantes rebocados pelo navio.

Cada cabo sísmico 1 compreendo de uma variedade de receptores 4,
25 res 4, normalmente hidrofones os quais produzem sinais quando estes recebem ondas sísmicas marítimas emitidas por uma fonte de emissão 6 rebocadas pelo navio 2, e são ativados em intervalos regulares (representado como uma fonte de ponto, mas na prática consistindo em várias linhas paralelas de canhões de ar, e ainda compreende de birds de controle de profundidade 5. Os cabos flutuantes são cabos flutuantes adequadamente sólidos
30 comercializados pela Sercel sob a marca registrada de Sentinel, mas a invenção é aplicável a outros tipos de cabos flutuantes. Os birds de controle

de profundidade podem ser dispositivos adequados do tipo Nautilus (marca registrada pela Sercel) os quais também permitem posicionamento lateral dos cabos flutuantes, mas enfatizamos que outros tipos de dispositivos de controle de profundidade podem ser usados para implementar a invenção.

- 5 As distâncias entre receptores adjacentes 4 estão na ordem de uns poucos metros, e as distâncias adequadas entre os birds de controle de profundidade adjacentes estão entre 200 e 400 metros.

Como conhecido por si mesmo, significa que não são fornecidos, o que não é mostrado, para determinar as coordenadas da posição da fonte 6 e os receptores 4 em cada disparo feito pela fonte 6.

Cada cabo sísmico 1 compreende de uma parte de cabeça 1a e uma parte final 1b. Cada parte consiste em uma variedade de receptores sísmicos 4. Os birds de controle de profundidade 5 da parte da cabeça 1a são ajustados para as respectivas profundidades as quais aumentam quando maior for a distância que estiverem do navio, de modo que a parte 1a está assentada em um ângulo inclinado em relação à superfície da água 3. Nas modalidades ilustradas as figuras 3 e 4, os birds de controle de profundidade 5 da parte final 1b são ajustados uniformemente de modo que a parte 1b fica horizontal, em outras palavras, seu ângulo de inclinação é zero.

20 Estas diferentes configurações permitem suficientes dinâmicas de entalhe a serem obtidos para refletores rasos, utilizando receptores em profundidades que são aceitáveis na prática.

Na modalidade mostrada na figura 3, o receptor sísmico mais próximo da fonte sísmica 6 fica em uma profundidade de 7,5 metros. A parte inicial 1a tem um comprimento apropriado de entre 1 a 3 km, por exemplo, de 2 km. O receptor sísmico 4 na primeira parte 1a que está a uma maior distância da fonte sísmica 6 ficando em uma profundidade de 37,5 metros. Evidentemente, este valor é dado somente como ilustração. A profundidade pode ser escolhida em cada caso em relação às condições especiais (profundidade do setor e água, características geológicas).

30 Figura 3' ilustra dois espectros 10, 20 das imagens finais (depois do empilhamento) de um refletor raso (profundidade de 800 metros).

O primeiro espectro 10 ("espectro ideal") é obtido ao fazer a modelagem não inclui qualquer ghost. Portanto, é o espectro ideal o qual seria obtido se o sinal de ghost parasítico tivesse sido totalmente eliminado dos sinais registrados dos hidrofones (traços).

5 O segundo espectro 20 ("espectro efetivo") é obtido utilizando o dispositivo ilustrado na figura 3.

Foi descoberto que a eliminação do ghost é realmente obtido, já que o espectro efetivo 20 segue o espectro ideal 10. Em especial, o espectro efetivo 20 possui o mesmo comportamento como o espectro ideal para bai-
10 xas frequências e altas frequências.

A figura 4 ilustra uma modalidade que difere de uma na figura 3 através da profundidade do receptor sísmico o mais próximo da fonte sísmica. Neste caso a figura mostrada na figura 4 este receptor fica em uma profundidade de 15 metros.

15 A figura 4' ilustra os espectros das imagens finais (depois do empilhamento) do mesmo refletor raso, obtido do dispositivo na figura 4, para o caso ideal e para o caso efetivo.

Ao comparar o espectro ideal 10 e o espectro efetivo 20, é verificado que a eliminação do ghost foi obtido adequadamente, que o comportamento do espectro efetivo 20 nas frequências altas e baixas é similar à-
20 quella do espectro ideal 10, e que o entalhe em 50 Hz é adequadamente preenchido.

Para dar atenção às considerações hidrodinâmicas, a inclinação da parte inicial 1a é de preferência menor do que 2%. Isto evita o ajuste de
25 turbulência a qual deveria ser prejudicial à qualidade dos sinais registrados pelos receptores sísmicos. Esta inclinação é de preferência mais do que 1% o qual fornece uma faixa suficiente de profundidades de receptor para obter boa qualidade de eliminação de ghost no processamento.

Com referência à figura 5 outra modalidade é ilustrada na qual
30 os birds de controle de profundidade são ajustados de modo que a porção final 1b do cabo flutuante 1, sobre a junção e depois da junção com a porção inicial, compreende de uma seção 1c de menor inclinação do que a porção

cabeça 1a, uma seção 1d tendo uma inclinação menor do que da seção 1c e uma seção 1e tendo uma inclinação menor do que a seção 1d. Nesta modalidade, o receptor sísmico mais próximo à superfície da água fica em uma profundidade entre 7 metros e 8 metros. De acordo com uma variante da modalidade, a seção 1 pode ser horizontal, isto é, ter uma inclinação zero. De acordo com outra variedade, as seções 1d e 1e formam uma seção única de inclinação uniforme.

Será entendido que para alcançar a variação de profundidade dos receptores de acordo com a invenção, é suficiente se a inclinação da seção de cabo flutuante, como referido acima, é uma média sobre a seção na questão. O ângulo de inclinação dentro da seção de cabo flutuante não é requerido ser rigidamente constante.

Método de Processamento

Na presente invenção, os dados sísmicos são registrados por receptores localizados em diferentes profundidades. Os métodos para processar dados sísmicos marítimos são geralmente adaptados a receptores os quais ficam na mesma profundidade.

A operação de "datuming" consiste em utilizar dados registrados utilizando para construir dados os quais teriam sido obtidos se os receptores estivessem na mesma profundidade. O método para processar derivado de um cabo flutuante inclinado na Patente US 4 353 121 compreende de uma etapa datuming 1D a qual presume que a propagação de onda é vertical. A patente US 4 992 992 substitui o datuming 1D da Patente US 4 353 121 pelo datuming 2D, o qual leva em consideração o ângulo de propagação na direção do cabo sísmico, implicitamente presumindo que a propagação ocorre no plano vertical passando através do cabo flutuante. Além disso, é limitado ao caso no qual o cabo flutuante possui um ângulo de inclinação constante.

Generalização tri-dimensional do método descrito na Patente US 4 992 992, substituindo 2D datuming por 3D datuming, aparece em restrições de y-amostragem das geometrias 3D atuais: geometrias de aquisições modernas possuem vários cabos flutuantes cuja dimensão de amostra y,

mas a amostragem de oscilação (distância cruzada entre 2 cabos flutuantes) fica na ordem de 150m, uma ordem de magnitude que é maior do que a distância entre 2 receptores consecutivos em um cabo sísmico (12,5 m).

Conclui-se que os métodos descritos nas Patentes US 4 353 121 e US 4 992 992 não são aplicáveis a uma geometria de aquisição correspondente às modalidades da invenção descrita acima.

O método de processamento fornecido abaixo pode ser usado para obter uma imagem diretamente da subsuperfície, utilizando dados derivados do acima mencionado – descreveu a aquisição 3D levando em consideração direções não verticais de propagação.

Este método compreende de receber dados sísmicos marítimos derivados de aquisição 3D, migração 3D de dados sísmicos e obter uma imagem representando a topografia da subsuperfície.

A migração 3D por ponto de disparo é um método moderno para processar dados sísmicos, os quais permitem uma imagem precisa da subsuperfície a ser obtida levando a propagação de onda precisamente em consideração em meio complexo.

Dita migração consiste em sintetizar a onda de incidente da informação na fonte sísmica e onda refletida utilizando dados registrados.

Para a migração do tipo "unidirecional" o princípio é o seguinte.

A onda incidente D (isto é, a onda emitida pela fonte), é presumida como sendo de viagem descendente. Esta onda incidente D (x, y, z, t) é sintetizada recursivamente na profundidade z , a onda de viagem descendente sendo inicializada na profundidade da fonte sísmica z_s . A onda incidente D em toda profundidade $n\Delta z$ é então calculada recursivamente pelo cálculo da onda incidente na profundidade $z+\Delta z$ da onda incidente na profundidade z .

Da mesma forma, a onda refletida $U(x, y, z, t)$ é presumida como tendo viajado ascendentemente e é inicializada em $z=z_r$ com os dados registrados pelos receptores sísmicos (se todos os receptores tiverem a mesma profundidade). A onda refletida U em todo o seu volume é então calculada recursivamente pelo cálculo da onda viajando ascendentemente U na profundidade $z+\Delta z$ da onda viajando ascendentemente na profundidade z .

A imagem da subsuperfície é calculada pela correlação cruzada de tempo dos dois volumes $D(x,y,z,t)$ e $U(x,y,z,t)$.

A altimetria, isto é, o fato de que a fonte e os receptores podem possuir profundidades não zero (e todas diferentes) podem ser levadas em
 5 consideração pelo acréscimo de fontes e receptores como z através dos cálculos recursivos: por exemplo, um receptor na profundidade z_r estando entre $n\Delta z$ e $(n+1)\Delta z$ é acrescentado durante o cálculo recursivo de $U((n+1)\Delta z)$ de $U(n\Delta z)$.

Além disso, a etapa de migração é apropriadamente uma migra-
 10 ção espelho adaptado, chamado dessa maneira por analogia com a migração de espelho e o filtro adaptado usado para processamento de sinal (consistindo em convolução de uma medição $s(t)$, perturbada pela convolução com um filtro $h(t)$, por $h(-t)$ de modo a otimizar a relação sinal-ruído.

Para migração de espelho, a superfície do mar é usada como
 15 espelho: ao invés de "ver" o leito do mar, é a superfície da água que é "visualizada" para ver os refletores localizados em baixo dos receptores sísmicos.

Na prática, os dados sísmicos são considerados como não tendo
 20 sidos registrados nos receptores do cabo flutuante, mas em uma altitude acima da superfície da água igual à profundidade do receptor localizado na maior profundidade, como ilustrado na figura 6.

Uma técnica de imagem de espelho utilizando migração de espelho é descrito, por exemplo, na publicação "Facilitating technologies for permanently instrumented oil fields" Dan Ebrom, Xiuyuan Li, e Dwight Sukup, The Leading Edge, Vol.19, N°3, pp. 282–285, Março 2000.

25 Nesta publicação, esta técnica é utilizada para coleta de dados utilizando receptores sísmicos localizados no leito do mar 8a. O princípio utilizado é o princípio da reciprocidade, e consideração fictícia é dada às fontes do leito do mar (nas posições de receptor) e dos receptores na superfície (nas posições de fonte).

30 A imagem de espelho consiste em utilizar a fonte de "fantasma" fictício para obter a imagem, a qual pode ser alcançada pela substituição de fontes fictícias nas suas posições de espelho em relação à superfície da á-

gua, as posições da fonte (x_s, y_s, z_s), sendo alteradas para ($x_s, y_s, -z_s$).

A imagem de espelho fornece melhor iluminação de refletores rasos.

Com relação à migração adaptada, (x_r, y_r, z_r) sendo as posições dos receptores nos cabos sísmicos, a onda refletida U (admitido como sendo de viagem ascendente) é inicializado com migração de altimetria na altitude $-z_{\max}$, $z_{\max}$ sendo a profundidade máxima dos receptores sísmicos (o máximo de todos z_r) e altitude 0 correspondendo à superfície da água. Valores para as respectivas posições x_r, y_r dos receptores são obtidos pelos métodos conhecidos utilizados em aquisição sísmica marítima convencional pelos cabos flutuantes. Quanto as posições de profundidade z_r , um valor para cada receptor sísmico pode ser determinado por interpolação linear entre os valores de profundidade dos dois birds localizados o mais próximo ao receptor em cada lado do receptor, o qual controla o perfil de profundidade do cabo sísmico na região daquele receptor, com base na distância entre estes dois birds e a distância entre este receptor e aqueles dos birds, as distâncias sendo conhecidas.

Durante o movimento para baixo recursivo da onda U como z entre os valores $-z_{\max}$ e 0, o registro do receptor sendo considerado é acrescentado com uma mudança de sinal nas posições de espelho dos receptores relativos ao leito do mar, isto é, a ($x_r, y_r, -z_r$).

Continuando para baixo para $z=0$ até $z_{\max}$, os registros do receptor sendo considerado são acrescentados em suas posições reais (x_r, y_r, z_r). O restante do cálculo recursivo de U, a geração de onda incidente D (presumido como sendo descendente) e a etapa de correlação cruzada entre a onda incidente e a refletida para obter a imagem, são conduzidas de uma maneira similar a uma migração de unidirecional convencional.

Deste modo, a imagem da subsuperfície é obtida diretamente dos dados adquiridos utilizando o método da invenção, levando em consideração as posições exatas do receptor e a propagação 3D exata das ondas.

A etapa, durante a qual os registros são acrescentados às posições espelho dos receptores, fornece fortalecimento da relação sinal-ruído

pela imagem baseada no receptor ghosts, sem dobrar a o tempo de cálculo de migração o qual seria o caso se as duas imagens fossem calculadas e depois empilhadas como proposto em "Facilitating technologies for permanently instrumented oil fields". Os processos acima descritos permitem que
5 seja obtida uma imagem da subsuperfície diretamente dos dados derivados da aquisição 3D de acordo com a invenção.

Contrário aos métodos descritos nas Patentes US 4.353.121 e US 4.992.992 o método de processamento descrito acima não compreendem de qualquer etapa consistindo em reconstruir dados sísmicos, os quais
10 teriam sido registrados por um cabo flutuante horizontal, utilizando dados sísmicos registrados pelo cabo flutuante inclinado antes de sua migração.

O método de processamento descrito acima leva em consideração os ângulos de propagação tanto em x quanto em y.

Este método também torna possível melhorar a relação sinal-ruído pela utilização de dados ghost para reforçar dados de reflexão principais.
15

Se a diversidade de profundidade dos sensores não permitirem a total eliminação de ondas ghost, a perturbação resultante nos dados finais é convolução por um filtro que é simétrico (fase zero) e pode ser de deconvolução (sem entalhe). Esta etapa de deconvolução é simplificada pelo fato de que é uma fase de deconvolução zero.
20

A descrição da migração de espelho adaptado dada acima se refere ao caso de migração 3D para ponto de disparo "unidirecional". Há outros tipos de migrações as quais podem ser adaptadas como migração de espelho adaptado pelo acréscimo de cálculos da onda refletida, em acréscimo aos registros de receptores em suas exatas posições, os registros opostos dos receptores em suas exatas posições, os registros opostos em suas posições espelhadas.
25

Também há uma migração 3D por ponto de disparo chamado
30 "Migração de Tempo Reverso" o qual não presume que a onda incidente é uma onda descendente e a onda refletida uma onda ascendente. Neste caso, a migração de espelho adaptada pode ser realizada pelo acréscimo de

receptores em suas efetivas posições (x_r, y_r, z_r) , mas a utilização na superfície da água denominadas condições de limite de superfície livre ao invés das condições usualmente utilizadas de absorção de limite.

5 Nas modalidades descritas acima, os receptores sísmicos dos cabos sísmicos são hidrofones. As geometrias de aquisição descritas podem também ser aplicadas quando os cabos sísmicos compreendem da combinação de hidrofones sensíveis à pressão, e receptores sensíveis para o deslocamento, tais como geofones ou acelormetros.

10 Neste caso, o processamento de migração de espelho adaptado descrito acima também pode ser usado, atentando para que este processamento deva ser obtido separadamente para cada tipo de receptor.

15 Além disso, a mudança de sinal não deve ser aplicada aos registros de geofones verticais, mas somente geofones horizontais. O resultado obtido desta maneira pode ser combinado utilizando um operador de calibração, ferramenta conhecida por aquele versado na técnica.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de adquirir ondas sísmicas, o método compreendendo de:

5 - reboque com um navio de pelo menos um cabo sísmico (1) compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos (4), dito cabo sísmico sendo equipado com uma variedade de birds (5) controlando sua profundidade na água, ditos birds sendo espaçados separadamente ao longo de sua profundidade, e

10 - ajustar os ditos birds individualmente (5) começando a cabeça do cabo sísmico (11), de modo que o cabo flutuante compreende de

 - uma parte inicial tendo uma primeira inclinação (1a) no qual a profundidade do receptor aumenta conforme aumenta a distância do navio, e

 - uma parte final (1b) compreendendo de pelo menos uma seção tendo uma segunda inclinação diferente da primeira inclinação,

15 - registro de ondas sísmicas com uma variedade de receptores sísmicos (4) ao rebocar o cabo.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a porção inicial (1a) é inclinada em relação à horizontal em um ângulo inclinado entre 1 e 2%.

20 3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 e 2, em que a porção inicial (1a) possui um comprimento entre 1 e 3 km.

4. Método de acordo com quaisquer reivindicações 1 a 3, em que o receptor sísmico (4) mais próximo da superfície da água (3) fica em uma profundidade entre 7 metros e 8 metros.

25 5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, em que a parte final (1b) possui uma inclinação zero.

6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, em que a parte final (1b) compreende de pelo menos duas seções (1c, 1d) cujos receptores têm uma profundidade a qual aumenta conforme se distanciam do navio, a seção (1c) o mais próximo do navio tendo uma inclinação maior do que da seção (1d) que fica mais longe do navio,

30

7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a

6, em que os receptores sísmicos (4) dos cabos sísmicos (1) são hidrofones.

8. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, em que os receptores sísmicos (4) dos cabos sísmicos (1) compreendem de uma combinação de hidrofones e geofones.

5 9. Método de adquirir ondas sísmicas, o método compreendendo de:

- reboque com um navio em pelo menos um cabo flutuante (1) compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos (4), dito cabo flutuante sendo equipado com uma variedade de birds (5) controlando sua profundidade na água, ditos birds sendo espaçados ao longo de seu comprimento e

10

- ajustar individualmente ditos birds (5) começando pelo início do cabo flutuante, de modo que a profundidade dos receptores aumenta conforme sua distância do navio e o cabo flutuante compreende de pelo menos duas partes com diferentes inclinações.

15

10. Dispositivo de adquirir ondas sísmicas rebocado por um navio (2) e incluindo pelo menos um cabo sísmico (1) compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos (4) e equipado com controladores de profundidade (5) são ajustados de modo que, na parte da cabeça, (1a) do cabo flutuante, a profundidade dos receptores aumenta conforme se distanciam do navio, o cabo flutuante tendo uma primeira inclinação relativa à superfície da água (3), e uma porção final (1b) compreendendo de pelo menos uma seção tendo uma segunda inclinação diferente da primeira inclinação.

20

FIG. 1

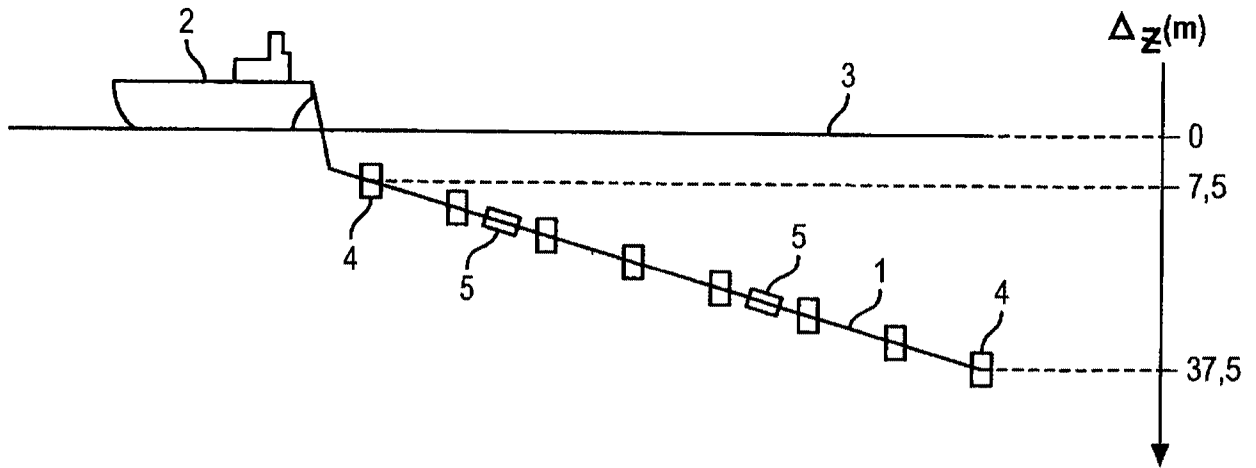


FIG. 1'

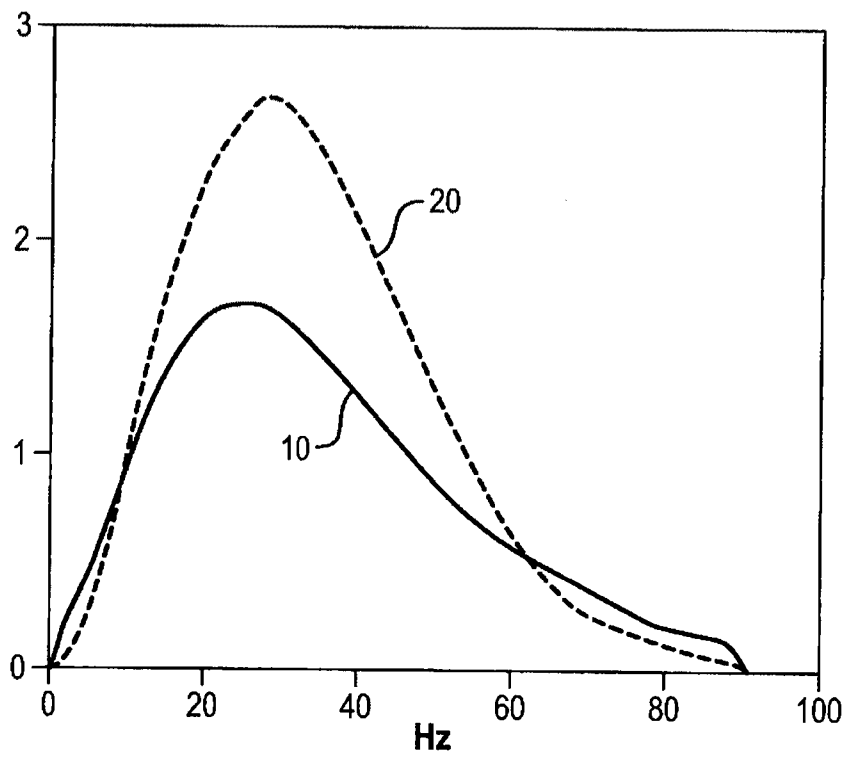


FIG. 2

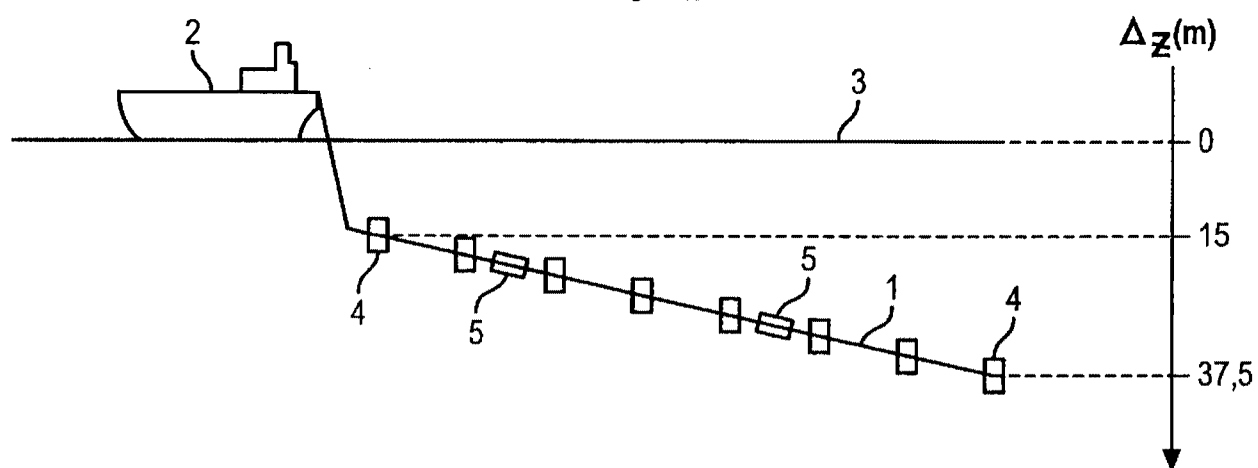


FIG. 2'

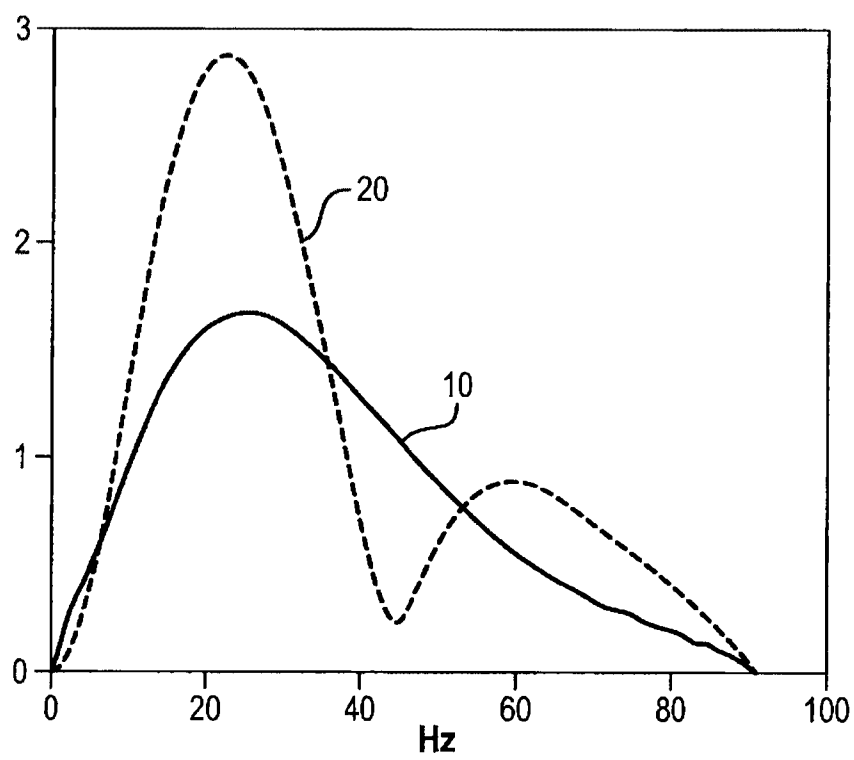


FIG. 3

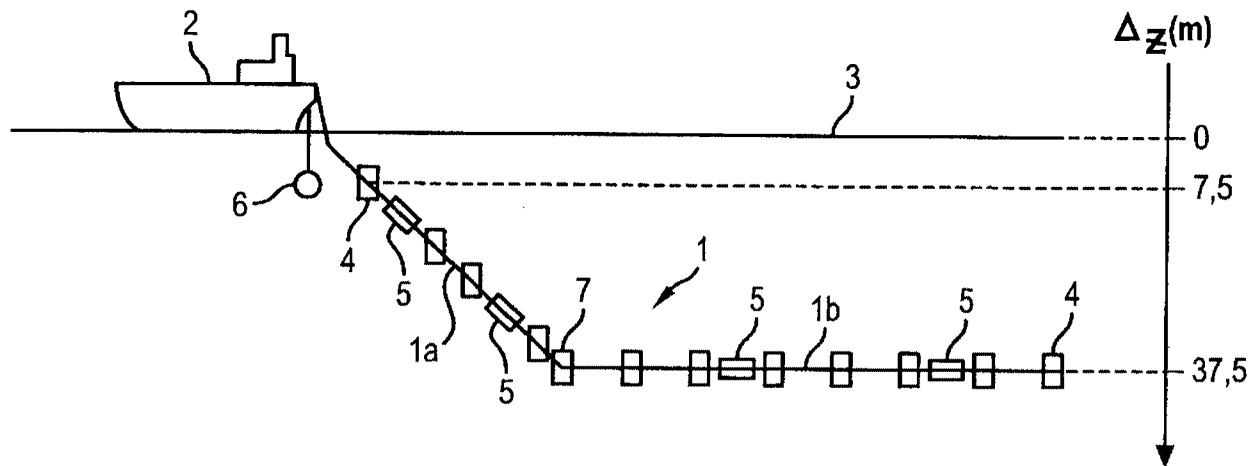


FIG. 3'

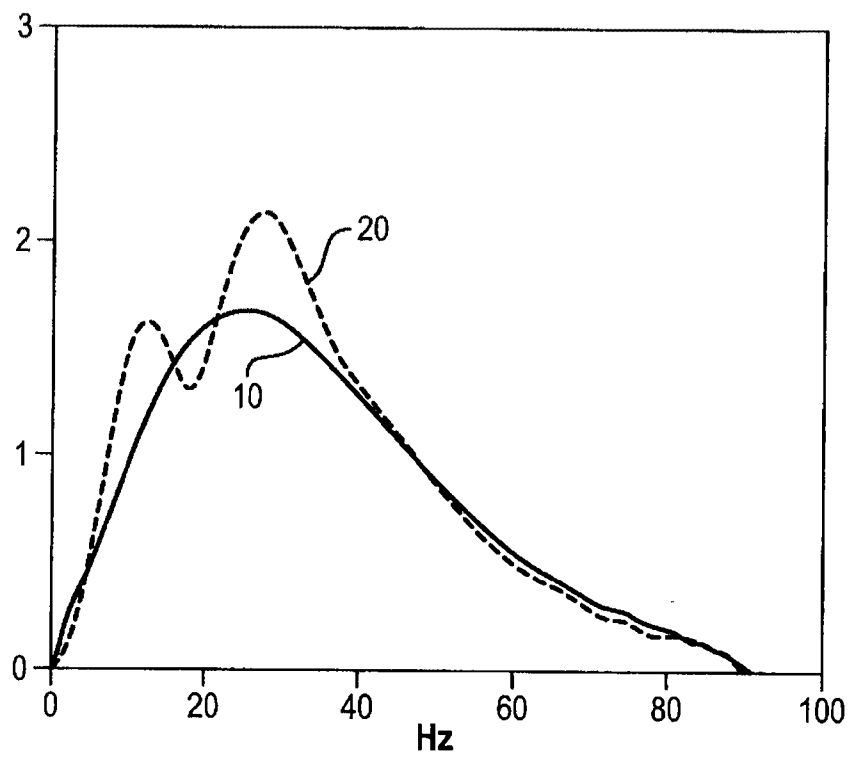


FIG. 4

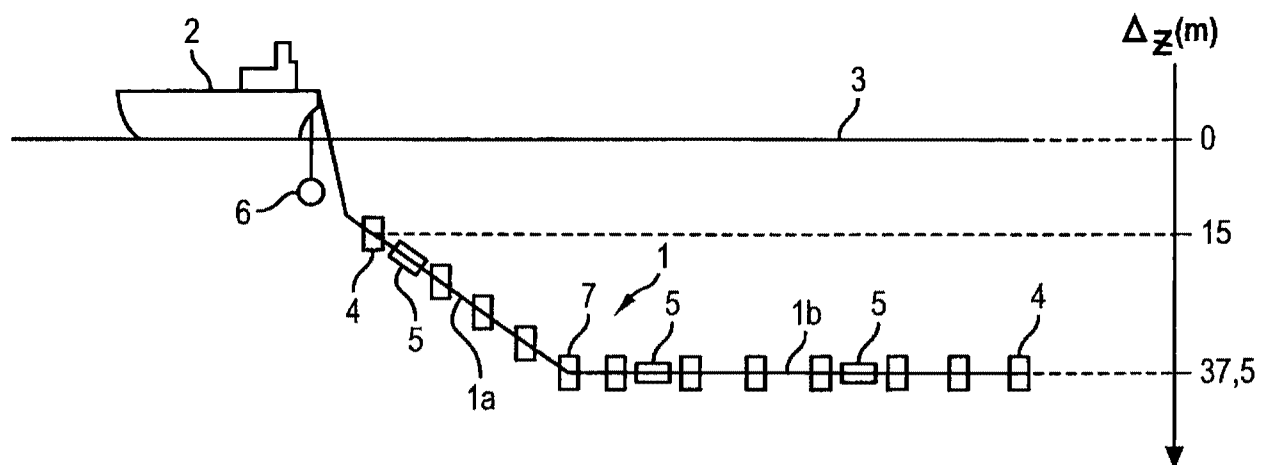


FIG. 4'

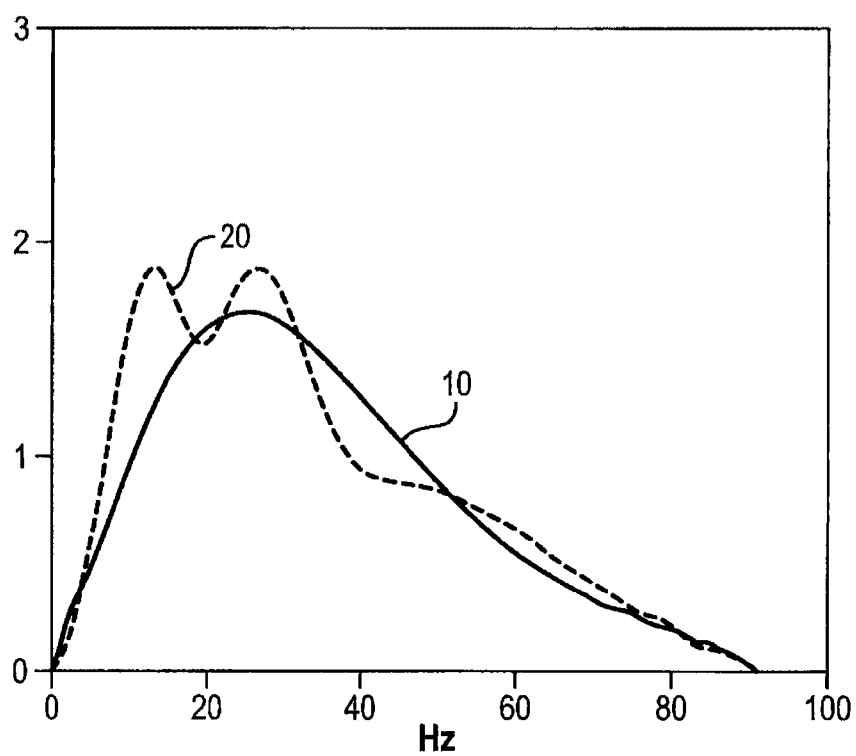


FIG. 5

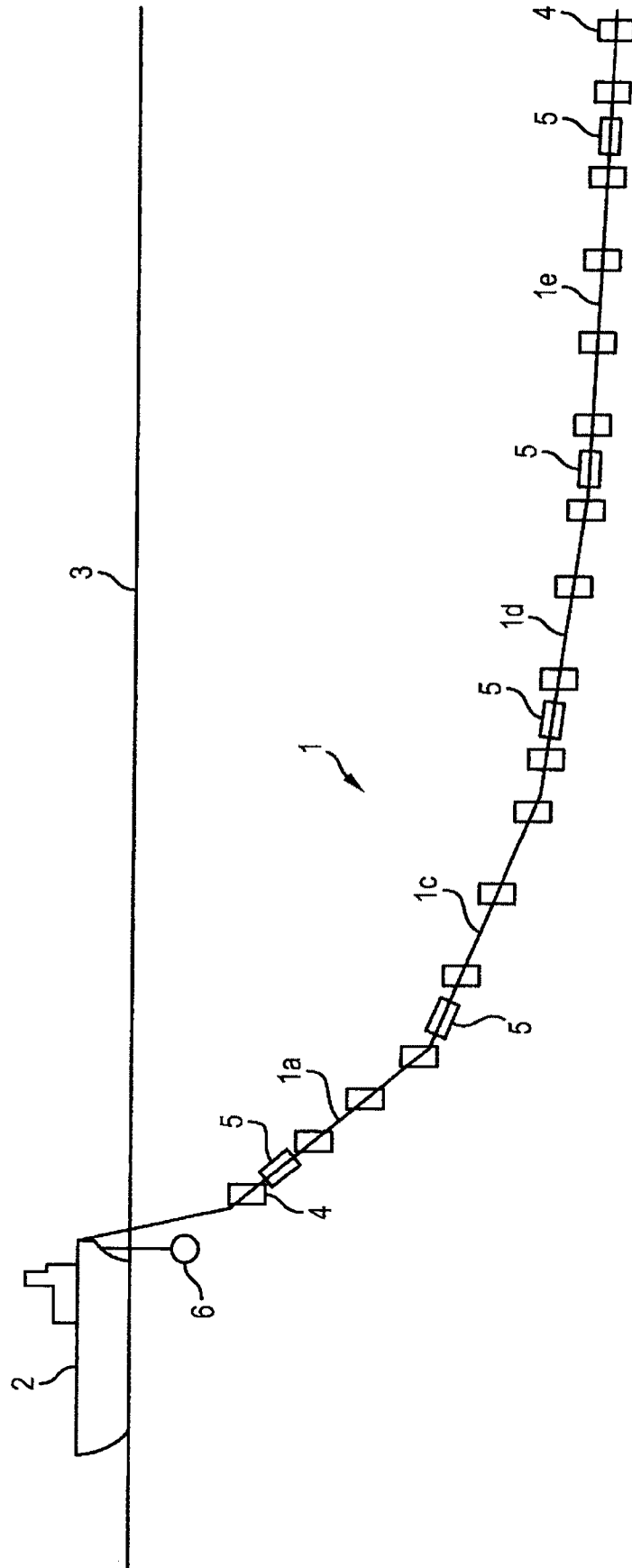
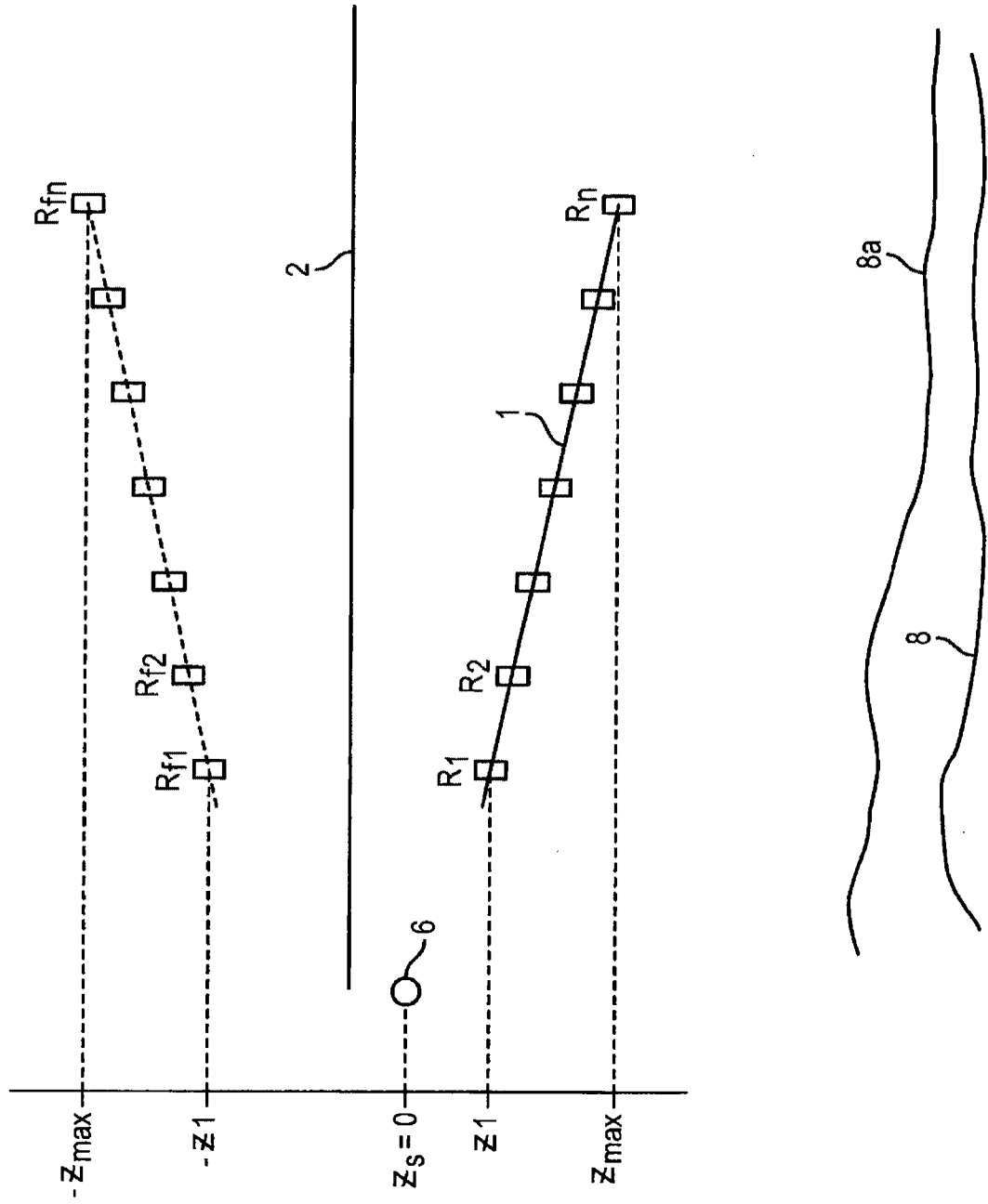


FIG. 6



RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO E DISPOSITIVO PARA ADQUIRIR DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS"**.

5 A presente invenção refere-se a um método para adquirir ondas sísmicas por meio de um cabo flutuante (1) rebocado por um navio e compreendendo de uma variedade de receptores sísmicos (4).

O cabo flutuante compreende de uma porção de cabeça (1a) que é inclinada em relação à superfície da água (3) e uma porção final (1b) tendo pelo menos uma seção com uma inclinação diferente.