



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



* B R P I 0 9 1 3 2 2 7 B 1 *

(11) PI 0913227-9 B1

(22) Data do Depósito: 27/05/2009

(45) Data de Concessão: 10/10/2023

(54) Título: MÉTODO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR, SISTEMA, E OBJETO

(51) Int.Cl.: G01V 1/28; G01V 1/38; G01V 1/24.

(30) Prioridade Unionista: 02/06/2008 US 12/131.870.

(73) Titular(es): SCHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V..

(72) Inventor(es): ALI OZBEK; AHMET KEMAL OZDEMIR; MASSIMILIANO VASSALLO.

(86) Pedido PCT: PCT US2009045240 de 27/05/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/044918 de 22/04/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 25/11/2010

(57) Resumo: MÉTODO, E OBJETO. Uma técnica inclui a representação de reais medições de um campo de onda sísmica como combinações de um componente ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma. Os componentes interpolados e defantasmizados do campo de onda sísmica são determinados em conjunto com base pelo menos em parte nas reais medições e representação.

MÉTODO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR, SISTEMA, E OBJETO

Fundamentos da Invenção

[0001] A invenção está relacionada de modo geral a interpolação e defantasmização conjunta de dados sísmicos.

[0002] A exploração sísmica envolve prospecção das formações geológicas subterrâneas de depósitos de hidrocarbonetos. Uma prospecção tipicamente envolve a implantação de fonte(s) sísmica(s) e sensores sísmicos em locais predeterminados. As fontes de geração de onda sísmica que se propagam para dentro das formações geológicas criam alterações de pressão e vibrações em seu caminho. Alterações nas propriedades elásticas da difusão da formação geológica de onda sísmica, mudando sua direção de propagação e de outras propriedades. Parte da energia emitida pelas fontes atinge os sensores sísmicos. Alguns sensores sísmicos são sensíveis a mudanças de pressão (hidrofonos), outros ao movimento de partículas (por exemplo, geofones) e as prospecções para fins industriais podem utilizar apenas um tipo de sensor ou ambos. Em resposta aos eventos sísmicos detectados, os sensores geram sinais elétricos para produzir dados sísmicos. Análise dos dados sísmicos pode indicar a presença ou ausência de prováveis locais de depósitos de hidrocarbonetos.

[0003] Algumas prospecções são conhecidos como prospecções "marinhas" porque elas são conduzidas em ambientes marinhos. No entanto, as prospecções "marinhas" podem ser realizadas não apenas em ambientes de água salgada, mas também em águas doces e salobras. Em um tipo de prospecção marinha, chamada de prospecção por "matriz rebocada", uma matriz de cabos

flutuadores e fontes contendo sensores sísmicos é rebocada por uma embarcação de prospecção.

Sumário da Invenção

[0004] Em uma modalidade da invenção, uma técnica que inclui a representação de reais medições de um campo de onda sísmica como combinações de um componente ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma. Os componentes interpolados e defantasmizados do campo de onda sísmica são determinados conjuntamente com base pelo menos em parte, nas reais medidas e representações.

[0005] Em uma outra modalidade da invenção, um sistema inclui uma interface e um processador. A interface recebe as reais medições de um campo de onda sísmica, que são adquiridas por sensores sísmicos. O processador é adaptado para representar as reais medições do campo de onda sísmica como combinações de um componente ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma; e o processador é adaptado para definir em conjunto os componentes interpolados e defantasmizados do campo de onda sísmica com base pelo menos em parte, nas medições e na representação reais.

[0006] Ainda em outra modalidade da invenção, um objeto inclui instruções que são armazenadas em um meio de armazenamento acessível por computador, que quando executado por um sistema baseado no processador que o sistema baseado no processador representa as reais medições de um campo de onda sísmica como combinações de um componente ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma. As instruções quando executadas também induzem o sistema baseado em processador a determinar em conjunto os componentes interpolados e

defantasmizados do campo de onda sísmica com base pelo menos em parte, nas medições e na representação.

[0007] Vantagens e outras características da invenção se tornarão aparentes a partir do desenho apresentado adiante, descrição e reivindicações.

Breve Descrição dos Desenhos

[0008] A Figura 1 é um diagrama esquemático de um sistema de aquisição de dados marinhos de acordo com uma modalidade da invenção.

[0009] As Figuras 2 e 3 são diagramas de fluxo que descreve técnicas para em conjunto interpolar e defantasmizar dados sísmicos de acordo com as modalidades da invenção.

[00010] A Figura 4 é um diagrama esquemático de um sistema de processamento de dados de acordo com uma modalidade da invenção.

Descrição Detalhada da Invenção

[00011] A Figura 1 mostra uma modalidade 10 de um sistema de aquisição de dados sísmicos em ambiente marinho, de acordo com algumas modalidades da invenção. No sistema 10, uma embarcação de prospecção 20 reboca uma ou mais cabos flutuadores de obtenção de dados sísmicos 30 (dois cabos flutuadores representativos 30 sendo representado na Figura 1) atrás da embarcação 20. Os cabos flutuadores de obtenção de dados sísmicos 30 podem ser vários milhares de metros de comprimento e podem conter vários cabos de suporte (não mostrado), bem como a fiação e/ou circuitos (não mostrado) que podem ser utilizados para sustentar a comunicação ao longo da extensão dos cabos flutuadores 30. Em geral, cada cabo flutuador 30 inclui um cabo principal em que se montam sensores sísmicos que registram sinais sísmicos.

[00012] De acordo com as modalidades da invenção, os sensores sísmicos são sensores sísmicos multicomponentes 58, cada um dos quais é capaz de detectar um campo de onda de pressão e pelo menos um componente de um movimento de partículas que esteja associado com sinais acústicos, que estejam nas proximidades do sensor sísmico multicomponentes 58. Exemplos de movimentos de partículas incluem um ou mais componentes de um deslocamento de partículas, um ou mais componentes (componentes em alinhamento (x), transverso (y) e vertical (z) (ver eixos 59, por exemplo)) de uma velocidade de partículas e um ou mais componentes de uma aceleração de partículas.

[00013] Dependendo da modalidade específica da invenção, o sensor sísmico multicomponentes 58 pode incluir um ou mais módulos de hidrofones, geofones, sensores de deslocamento de partículas, sensores de velocidade de partículas, acelerômetros, sensores de gradiente de pressão, ou combinações desses mencionados.

[00014] Por exemplo, de acordo com algumas modalidades da invenção, um específico sensor sísmico multicomponentes 58 pode incluir um hidrofone 55 para medir pressão e três acelerômetros ortogonalmente alinhados 50 para medir três correspondentes componentes ortogonais da velocidade e/ou aceleração de partículas nas proximidades do sensor sísmico 58. É de notar que o sensor sísmico multicomponentes 58 pode ser implementado como um único dispositivo (como mostrado na figura 1), ou pode ser implementado como uma pluralidade de dispositivos, dependendo da modalidade específica da invenção. Um específico sensor sísmico multicomponentes 58 também pode incluir sensores do gradiente de pressão 56, que constituem um outro tipo de sensores de movimento de partículas. Cada sensor

do gradiente de pressão mede a variação do campo de onda de pressão em um determinado ponto com relação a uma determinada direção. Por exemplo, um dos sensor do gradiente de pressão 56 pode adquirir dados sísmicos indicativo de, em um determinado ponto, da derivada parcial do campo de onda de pressão com relação à direção transversal, e outro dos sensores de gradiente de pressão poderá adquirir, em um determinado ponto, os dados sísmicos indicativos dos dados de pressão em relação à direção em alinhamento.

[00015] O sistema de aquisição de dados sísmicos em ambientes marinhos 10 inclui uma ou mais fontes de obtenção de dados sísmicos 40 (uma fonte 40 representativa sendo representada na Fig. 1), tal como pistolas de ar e semelhantes. Em algumas modalidades da invenção, as fontes de obtenção de dados sísmicos 40 pode ser acopladas a, ou rebocada por uma embarcação de prospecção 20. Alternativamente, em outras modalidades da invenção, as fontes de obtenção de dados sísmicos 40 podem operar independentemente da embarcação de prospecção 20, em que as fontes 40 podem ser acopladas a outras embarcações ou bóias, como apenas alguns exemplos.

[00016] À medida que os cabos flutuadores de obtenção de dados sísmicos 30 são rebocados atrás da embarcação de prospecção 20, os sinais acústicos 42 (um sinal acústico representativo 42 sendo representada na Figura 1), muitas vezes referido como "tiros" são produzidos pelas fontes de obtenção de dados sísmicos 40 e são direcionados para baixos através de uma coluna de água 44 para dentro do estrato 62 e 68 por debaixo de uma superfície inferior da água 24. Os sinais acústicos 42 são refletidos a partir das diferentes

formações geológicas subterrâneas, tal como uma formação representativa 65 que está representada na Figura 1.

[00017] Os sinais acústicos incidentes 42 que são adquiridos pelos 40 fontes produzem os correspondentes sinais acústicos refletidos ou ondas de pressão 60, que são captadas por sensores sísmicos multicomponentes 58. Note-se que as ondas de pressão que são recebidas e percebidas pelos sensores multicomponentes de obtenção de dados sísmicos 58 incluem ondas de pressão ascendentes que se propagam aos sensores 58 sem reflexão, bem como ondas de pressão descendentes que são produzidos por reflexões das ondas de pressão 60 a partir de um limite ar-água 31.

[00018] Os sensores multicomponentes de obtenção de dados sísmicos 58 geram sinais (sinais digitais, por exemplo), chamado de "traços", que indicam as medições obtidas do campo de onda de pressão e o movimento de partículas. Os traços são registrados e podem ser pelo menos parcialmente processados por uma unidade de processamento de sinal 23, que é implantado no navio de prospecção 20, de acordo com algumas modalidades da invenção. Por exemplo, um específico sensor sísmico multicomponentes 58 podem fornecer um rastreamento, o que corresponde a uma medida de um campo de onda de pressão por sua hidrofones 55, e o sensor 58 podem fornecer um ou mais traços que correspondem a um ou mais componentes do movimento de partículas, que são medidos pelos seus acelerômetros 50.

[00019] O objetivo da aquisição de dados sísmicos é construir uma imagem de uma área de prospecção para fins de identificação das formações geológicas subterrâneas, tais como a formação geológica representativa 65. Após análise a representação pode revelar prováveis locais de depósitos de

hidrocarbonetos em formações geológicas subterrâneas. Dependendo da modalidade específica da invenção, partes da análise da representação podem ser realizadas a bordo da embarcação de prospecção de dados sísmicos 20, tal como pela unidade de processamento de sinal 23. De acordo com outras modalidades da invenção, a representação pode ser processada por um sistema de processamento de dados sísmicos (tal como um representativo sistema de processamento de dados sísmicos 320 que é descrito na Figura 4, sendo também descrito adiante) que pode estar, por exemplo, situado em terra ou na embarcação 20. Assim, muitas variações são possíveis e estão dentro do escopo das reivindicações anexas.

[00020] As ondas de pressão descendentes vão criar uma interferência conhecida na arte como "fantasma". Dependendo do ângulo de incidência do campo de onda ascendente e da profundidade do cabo flutuador 30, a interferência entre os campos de onda ascendente e descendente cria nulos, ou inserções, no espectro registrados. Essas inserções podem reduzir a largura de faixa útil do espectro e pode limitar a possibilidade de rebocar os cabos flutuadores 30 em águas relativamente profundas (água superior a 20 metros (m), por exemplo).

[00021] A técnica de decompor o campo de onda registrado na forma de componentes ascendentes e descendentes é frequentemente referido como separação do campo de onda, ou "defantasmização". Os dados de movimento de partículas que são fornecidos pelos sensores multicomponentes de obtenção de dados sísmicos 58 permitem a recuperação do dado livre de "fantasma", o que significa dados que são indicativos do campo de onda ascendente.

[00022] Os dados sísmicos defantasmizados e interpolados tipicamente são essenciais para muitas das importantes tarefas de processamento de dados sísmicos, tais como a obtenção de dados de imagens, atenuação múltipla, processamento sísmico por lapso de tempo, etc. De acordo com modalidades da invenção aqui descritas, são descritas técnicas que proporcionam a simultânea, ou articulação da interpolação e a defantasmização dos dados sísmicos adquiridos. Mais especificamente, os dados sísmicos são obtidos por amostragem regular ou irregular dos dados de pressão e dados de movimento de partículas. Como um exemplo, esses dados podem ser tomados ao longo de um ou mais cabos flutuadores situados ambiente marinho ou podem ser recolhidos por sensores sísmicos localizados no fundo do mar, como outro exemplo.

[00023] Técnicas e sistemas são aqui descritos, os quais em conjunto interpolam e defantasmizam os dados sísmicos adquiridos. Mais especificamente, com base nas medidas que são adquiridas pelos sensores multicomponentes, um componente ascendente do campo de onda de pressão (aqui chamado de componente " $p_u(x, y; z_s, f)$ ") é determinado no localizações dos sensores sísmicos, bem como em outros locais além daquelas do sensor, sem primeiramente interpolar os dados sísmicos adquiridos e em seguida defantasmizar o dado interpolado (ou vice-versa).

[00024] O componente ascendente onda de pressão numa frequência temporal f e numa profundidade do cabo z_s podem, em geral, serem modelados como um sinal contínuo como a soma de senoidais J que têm amplitudes complexas (chamado de " A_j "), conforme descrito abaixo:

$$p_u(x, y; z_s, f) = \sum_{j=1}^J A_j e^{j2\pi(k_{x,j}x + k_{y,j}y + k_{z,j}z_s)} . \quad \text{Eq. 1}$$

[00025] Na equação. 1 “ $k_{x,j}$ ” representa o número de onda em alinhamento para o índice “ j ”; “ $k_{y,j}$ ” representa o número de onda em transverso para o índice j , “ z_s ” representa a profundidade de reboque do cabo flutuador; “ f ” representa a frequência temporal dos senoidais; e “ c ” representa a velocidade acústica na água. Além disso, “ $k_{z,j}$,” o número de onda na direção vertical, ou em profundidade, pode ser descrito da seguinte forma:

$$k_{z,j} = f / c \sqrt{1 - c^2(k_{x,j}^2 + k_{y,j}^2) / f^2} . \quad \text{Eq. 2}$$

[00026] Com base na representação do componente de pressão ascendente $p_u(x, y; z_s, f)$ na equação 3, as medições de pressão e movimento de partículas podem ser representadas como sinais contínuos descritos abaixo:

$$m^P(x, y; z_s, f) = \sum_{j=1}^P A_j H(k_{x,j}, k_{y,j}; z_s, f) e^{j2\pi(k_{x,j}x + k_{y,j}y + k_{z,j}z_s)} , \quad \text{Eq. 3}$$

onde “ $m^P(x, y; z_s, f)$ ” representa um vetor de medição, que inclui a pressão e componentes ortogonais da velocidade de partícula nas coordenadas em alinhamento, transversal e vertical, respectivamente. Desse modo, as medições do vetor $m^P(x, y; z_s, f)$ são contíguos.

[00027] O vetor de medição $m^P(x, y; z_s, f)$ pode ser descrito da seguinte forma:

$$m^P(x, y; z_s, f) = \left[p^P(x, y; z_s, f) \quad v_x^P(x, y; z_s, f) \quad v_y^P(x, y; z_s, f) \quad v_z^P(x, y; z_s, f) \right]^T, \quad \text{Eq. 4}$$

onde " $H(k_x, k_y; z_s, f)$ " representa um operador de fantasmização, que é definido como a seguir:

$$H(k_x, k_y; z_s, f) = \left[\left(1 + \xi e^{j4\pi k_z z_s}\right) \frac{ck_x}{f} \left(1 + \xi e^{j4\pi k_z z_s}\right) \quad \frac{ck_y}{f} \left(1 + \xi e^{j4\pi k_z z_s}\right) \quad \frac{ck_z}{f} \left(1 - \xi e^{j4\pi k_z z_s}\right) \right]^T, \quad \text{Eq. 5}$$

[00028] Na equação 5, " z_s " representa a profundidade do cabo flutuador, e " ξ " representa o coeficiente de reflexão da superfície do mar.

[00029] Devido às relações estabelecidas nas Equações 1 e 3, os parâmetros A_j podem ser determinados, para efeitos de interpolar em conjunto o dado sísmico adquirido e a determinação do componente de pressão ascendente $p_u(x, y; z_s, f)$.

[00030] Mais especificamente, referindo-se à Figura 2, de acordo com algumas modalidades da invenção, uma técnica 120 para gerar um componente ascendente de um campo de onda de dado sísmico, tal como um componente de pressão ascendente, inclui a representação das reais medições (bloco 124) de um campo de onda sísmica como combinações de um componente ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma. De acordo com a técnica 120, os componentes interpolados e defantasmizados do campo de onda sísmica são determinados com base pelo menos em parte, nas medidas e nas representações reais. De acordo com o bloco 128.

[00031] As Equações 1 e 3 definem o componente de pressão ascendente $p_u(x, y; z_s, f)$ e o vetor de medição $m^P(x, y; z_s, f)$ como uma combinação de funções de base senoidal. No entanto, é notado que o componente $p_u(x, y; z_s, f)$ e o vetor de medição $m^P(x, y; z_s, f)$

podem ser representados como uma combinação de outros tipos de funções de base, de acordo com outras modalidades da invenção.

[00032] Se os senoidais na Equação 3 não foram submetidos aos operadores de fantasmização, então uma técnica de buscar a compatibilização poderia ser usada para identificar os parâmetros dos senoidais. A técnica de busca de compatibilização é descrita de modo geral em S. Mallat e Z. Zhang "Matching pursuits with time-frequency dictionaries" IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 41, nº. 12, p. 3397-3415 (1993). O algoritmo de busca de compatibilização pode ser considerado um algoritmo iterativo, que expande um sinal particular em termos de uma combinação linear de funções de base. Como descrito, o algoritmo de busca de compatibilização é generalizado para os casos onde o sinal é representado como uma combinação linear de funções de base que estão sujeitas a alguma transformação linear, por exemplo, a operação de fantasmização. Esta técnica generalizada aqui descrita é conhecida como algoritmo de Busca Generalizada de Compatibilização (Generalized Matching Pursuit - GMP). o Sistema Geral de Matching Pursuit algoritmo (BPF).

[00033] Referindo-se a Figura 3, de acordo com algumas modalidades da invenção, uma técnica 150 pode ser utilizado para efeitos de determinação dos coeficientes das equações. 1 e 3. Neste sentido, a técnica 150 inclui, nos termos do bloco 152, selecionar uma nova função de base, aplicar o operador de fantasmização $H(k_x, k_y; z_s, f)$ para a nova função de base e adicionar a função de base transformada a uma existente função de medição para forma uma nova função de medição. A este respeito, após a primeira função de base (que pode ser na forma mais simples uma única função senoidal ou mesmo uma

constante) ser adicionada, um novo exponencial é adicionado a cada iteração do conjunto de funções de base utilizado, e a correspondente função de base "fantasmizada" é adicionada à representação, e, em seguida, um erro, ou residual, é determinado com base nos dados sísmicos reais que são adquiridos pelas medições do sensor, em conformidade com o bloco 156.

[00034] A energia residual é então minimizada, para fins de determinação dos parâmetros A_j para a nova função de base. Mais especificamente, é feita uma determinação (losango 160) caso a energia residual tenha sido minimizada com os parâmetros atuais quanto à nova função de base. Se não, os parâmetros são ajustados e a energia residual é novamente determinada, nos termos do bloco 156. Assim, um ciclo é formado, para fins de minimizar algumas métricas da energia residual até que um valor mínimo seja determinado, o que permite que os coeficientes para a próxima função de base sejam determinados. Assim, de acordo com o losango 168, se uma outra função de base é para ser adicionada (com base em um limite predeterminado de funções de base, por exemplo,), a técnica 150 continua com o bloco 152 para adicionar a próxima função de base e calcular os correspondentes parâmetros. Por outro lado, se funções de base não são mais para serem adicionadas, o componente ascendente do evento sísmico é determinado, em conformidade com o bloco 174.

[00035] Como um exemplo mais específico, os parâmetros A_j para a função de base mais recente pode ser determinada pela minimização da energia do residual. Portanto, se as funções de base P-1 foram determinadas previamente, a representação do

componente $p_u(x, y; z_s, f)$ com os senoidais P-1 pode ser como adiante:

$$p_u(x, y; z_s, f) = \sum_{j=1}^{P-1} A_j e^{j2\pi(k_{x,j}x + k_{y,j}y + k_{z,j}z_s)} \quad \text{Eq. 6}$$

[00036] A função de medição correspondente para as funções de base P-1 podem ser obtidas através da aplicação dos operadores fantasma às funções de base:

$$m^{P-1}(x, y; z_s, f) \approx \sum_{j=1}^{P-1} A_j H(k_{x,j}, k_{y,j}; z_s, f) e^{j2\pi(k_{x,j}y + k_{z,j}z_s)} \quad \text{Eq. 7}$$

[00037] O residual na aproximação, denominado " $r^{P-1}(x, y; z_s, f)$ " pode ser definido como segue:

$$r^{P-1}(x, y; z_s, f) = m(x, y; z_s, f) - \sum_{j=1}^{P-1} A_j H(k_{x,j}, k_{y,j}; z_s, f) e^{j2\pi(k_{x,j}y + k_{z,j}z_s)} \quad \text{Eq. 8}$$

[00038] Se uma nova função de base " $\bar{A}_P e^{j2\pi(\bar{k}_{x,P}x + \bar{k}_{y,P}y + \bar{k}_{z,P}z_s)}$ ", que tem um correspondente coeficiente chamado " \bar{A}_P " é adicionado à existente representação do campo de onda ascendente, então o residual pode ser reescrito como a seguir:

$$r_{(\bar{A}_P, \bar{k}_{x,P}, \bar{k}_{y,P})}^P(x, y; z_s, f) = r^{P-1}(x, y; z_s, f) - \bar{A}_P H(\bar{k}_{x,P}, \bar{k}_{y,P}; z_s, f) e^{j2\pi(\bar{k}_{x,P}x + \bar{k}_{y,P}y + \bar{k}_{z,P}z_s)} \quad \text{Eq. 9}$$

[00039] Note-se que para a equação 9, os parâmetros $\bar{A}_P, \bar{k}_{x,P}, \bar{k}_{y,P}$ para os termos da nova função de base são determinados.

[00040] Como um exemplo específico, os parâmetros da nova função de base podem ser encontrados mediante minimizar alguma métrica do residual, que é calculado sobre localizações do sensor em alinhamento e em transversal, como descrito adiante:

$$(k_{x,P}, k_{y,P}, A_P) = \arg \min_{(\bar{A}_P, \bar{k}_{x,P}, \bar{k}_{y,P})} M(\bar{A}_P, \bar{k}_{x,P}, \bar{k}_{y,P}; z_s, f), \quad \text{Eq. 10}$$

[00041] Uma tal métrica representativa pode ser descrita como adiante:

$$M(\bar{A}_p, \bar{k}_{x,p}, \bar{k}_{y,p}; z_s, f) = \sum_{m,n} \left(r_{(\bar{A}_p, \bar{k}_{x,p}, \bar{k}_{y,p})}^P(x, y; z_s, f) \right)^H C^{-1} r_{(\bar{A}_p, \bar{k}_{x,p}, \bar{k}_{y,p})}^P(x, y; z_s, f), \text{ Eq. 11}$$

onde "C" representa uma matriz quatro por quatro de definidos positivos; "X_m" representa posições do sensor na direção em alinhamento; e "Y_n" representa posições do sensor na direção em transverso.

[00042] Referindo-se a Figura 4, de acordo com algumas modalidades da invenção, um sistema de processamento de dados sísmicos 320 pode realizar, pelo menos, algumas das técnicas que são divulgadas aqui, para efeitos de interpolação e defantasmização conjunta de dados sísmicos. De acordo com algumas modalidades da invenção, o sistema 320 pode incluir um processador 350, tal como um ou mais processadores e/ou microcontroladores. O processador 350 pode estar posicionado em um cabo flutuador 30 (Fig. 1), localizado no navio 20 ou localizado em uma unidade de processamento em terra (como exemplos), dependendo da modalidade específica da invenção.

[00043] O processador 350 pode ser acoplado a uma interface de comunicação 360 para fins de recebimento de dados sísmicos que corresponde à pressão e/ou medições do movimento de partículas. Assim, de acordo com as modalidades da invenção descrita aqui, o processador 350, quando as instruções de execução armazenadas em uma memória do sistema de processamento de dados sísmicos 320, pode receber dados de múltiplos componentes que são adquiridos pelos sensores sísmicos multicomponentes enquanto rebocado. É notado que, dependendo da modalidade específica da invenção, os dados dos multicomponentes podem ser dados que são recebidos diretamente

do sensor sísmico multicomponentes à medida que os dados estão sendo adquiridos (para o caso em que o processador 350 é parte do sistema de prospecção, tal como parte da embarcação ou cabo flutuador) ou podem ser dados multicomponentes que foram previamente adquiridos pelos sensores sísmicos, enquanto rebocado e armazenados e comunicados ao processador 350, que pode estar em uma instalação em terra , por exemplo.

[00044] Como exemplos, a interface 360 pode ser uma interface de barramento serial USB, uma interface de rede, uma mídia removível (como um cartão de memória flash, CD-ROM, etc), interface ou uma interface de armazenamento magnético (interfaces IDE ou SCSI, como exemplos). Assim, a interface 360 pode assumir inúmeras formas, dependendo da modalidade específica da invenção.

[00045] De acordo com algumas modalidades da invenção, a interface 360 pode ser acoplada a uma memória 340 do sistema de processamento de dados sísmicos 320 e poderá armazenar, por exemplo, diversos conjuntos de entrada e/ou de saída de dados envolvidos com a técnica 120 e/ou 150, como indicado pela referência numeral 348. A memória 340 pode armazenar instruções de programa 344, que quando executadas pelo processador 350, podem induzir o processador 350 a realizar uma ou mais das técnicas que são aqui reveladas, tais como as técnicas 120 e/ou 150 e exibir os resultados obtidos através da(s) técnica(s) em uma tela (não mostrado na Figura 4) do sistema 320, de acordo com algumas modalidades da invenção.

[00046] Outras modalidades estão dentro do escopo das reivindicações anexado. Por exemplo, em outras modalidades da invenção, os dados sísmicos podem ser adquiridos usando outro tipo de plataforma de aquisição de dados sísmicos, tal como um

conjunto de cabos de fundo do oceano, como um exemplo não-limitante.

[00047] Como exemplos de outras modalidades da invenção, as medidas que são obtidas podem ser amostradas de forma irregular ou regular com relação ao espaço e/ou tempo. Além disso, as técnicas que estão descritas neste documento podem ser usadas para determinar um componente descendente da pressão ou do movimento de partículas. Além disso, as técnicas que estão descritas neste documento podem ser usadas com um subconjunto das medições movimento de partículas (isto é, medidas em menos de todas as três dimensões). Por exemplo, de acordo com algumas modalidades da invenção, a interpolação pode ser feita na direção da linha transversal e os dados sísmicos podem ser defantasmizados quando apenas a pressão e o componente "vertical" da velocidade de partículas são medidos. Como outro exemplo, os dados sísmicos podem ser interpolados e defantasmizados quando a pressão, o componente "vertical" da velocidade de partículas e o componente "transversal" da velocidade de partículas são usados. Outras variações são contempladas e estão dentro do escopo das reivindicações anexas.

[00048] Como uma outra variação, de acordo com algumas modalidades da invenção, a função de medição pode ser representado como sinais múltiplos, onde cada sinal está associado a uma diferente faixa de frequência. A este respeito, o sinal para cada faixa de frequência pode ser interpolado de forma em separado, ou independentemente. Além disso, diferentes larguras espaciais de faixa podem ser usadas nas diferentes faixas de frequência para a representação do campo de onda ascendente pelas funções de forma combinada.

Note-se que as diferentes larguras espaciais de faixa podem ser determinadas pela velocidade de propagação dos sinais.

[00049] Embora a presente invenção tenha sido descrita em relação a um número limitado de modalidades, aquele usualmente versado na técnica, possuindo o benefício dessa divulgação, irá vislumbrar numerosas modificações e variações decorrentes. É pretendido que as vrs anexas abranjam a totalidade de tais modificações e variações como a se inserir no verdadeiro espírito e escopo da presente invenção.

- REIVINDICAÇÕES -

1. MÉTODO IMPLEMENTADO POR COMPUTADOR, caracterizado por compreender:

representar as reais medições de um campo de onda sísmica como combinações de um componente de pressão ascendente do campo de onda sísmica e operadores fantasma, na qual o ato de representar compreende a representação do componente de pressão ascendente como um combinação linear ponderada de funções de base; e

determinar os coeficientes da combinação linear ponderada de funções de base, desse modo determinar em conjunto os componentes interpolados e defantasmizados do campo de onda sísmica, com base pelo menos em parte nas reais medições e na representação, na qual o ato de determinar compreende:

determinar os coeficientes da combinação linear das funções de base em uma seqüência iterativa de adicionar uma função de base à existente combinação linear das funções de base, aplicar o operador fantasma à função de base adicionada para gerar uma função de base transformada;

adicionar a função de base transformada a uma representação existente da medição atual para gerar uma nova representação da medições reais; e

minimizar um residual entre as reais medições e a nova representação das reais medições; e construir uma imagem de uma área de prospecção com base nos dados sísmicos interpolados e defantasmizados para fins de identificação das formações geológicas subterrâneas

2. Método, de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado por o ato de determinar compreender a determinação dos parâmetros da combinação linear das funções de base usando uma técnica geral de busca de compatibilização.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ato de determinar em conjunto compreender a determinação de um componente ascendente ou de um componente descendente de uma pressão ou de um movimento de partículas.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o operador fantasma compreender um operador que é uma função de pelo menos um de uma velocidade acústica, uma profundidade do cabo flutuador e um coeficiente de reflexão da superfície do mar.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as reais medições compreenderem um vetor das medições da pressão e do movimento de partículas.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por o real vetor de medição compreender os três componentes do movimento de partícula além do componente de pressão ou por o real vetor de medição compreender qualquer subconjunto de componentes de pressão e de movimento de partículas.

7. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as reais medições compreender um de:

a) as medições adquiridas por um lançamento de cabos flutuadores rebocados.

b) as medições adquiridas por um lançamento de cabos flutuadores acima/abaixo ou por um conjunto de cabos de fundo oceânico.

c) medições adquiridas em posições e/ou tempos espaçados regularmente ou irregularmente; ou

d) medições em um espaço tridimensional.

8. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o ato de determinar compreender:

representar as medições como sinais associados com uma pluralidade de faixas de frequência; e

determinar os sinais de forma independente.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o ato de determinar adicionalmente compreender:

utilizar diferentes larguras espaciais de faixa nas diferentes faixas de frequências para a representação de um campo de onda ascendente mediante combinar as funções de base.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por as diferentes larguras espaciais de faixa serem baseadas na velocidade de propagação dos sinais.

11. SISTEMA, caracterizado por compreender:

uma interface para receber as reais medições de um campo de onda sísmica adquiridas por sensores sísmicos; e

um processador para processar os dados sísmicos de acordo com um método como nas reivindicações 1 a 10.

12. OBJETO, caracterizado por compreender instruções armazenadas em um meio de armazenamento acessível por computador, que quando executado por um sistema baseado em processador induz o sistema baseado em processador a realizar um método de acordo com o disposto nas reivindicações 1 a 10.

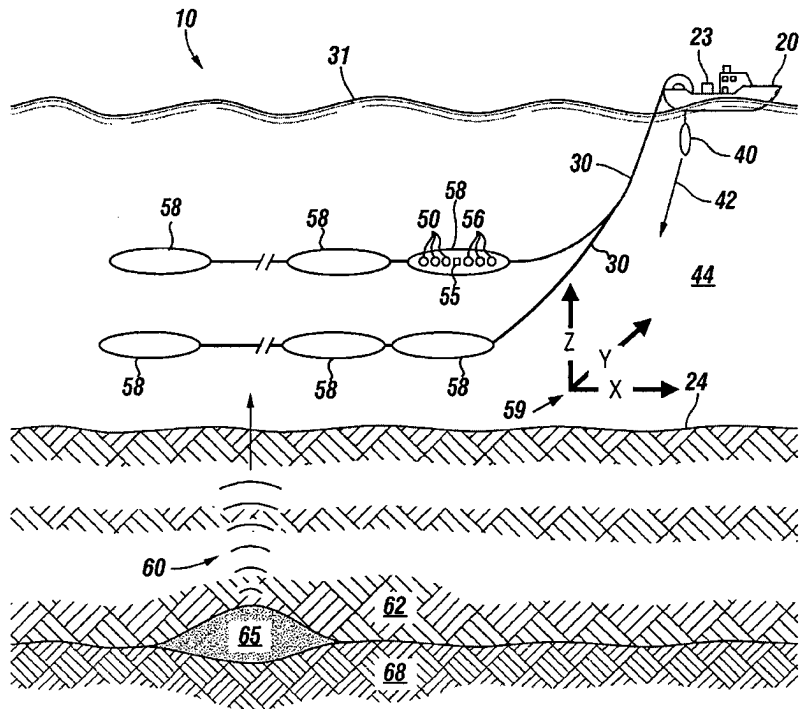


FIG. 1

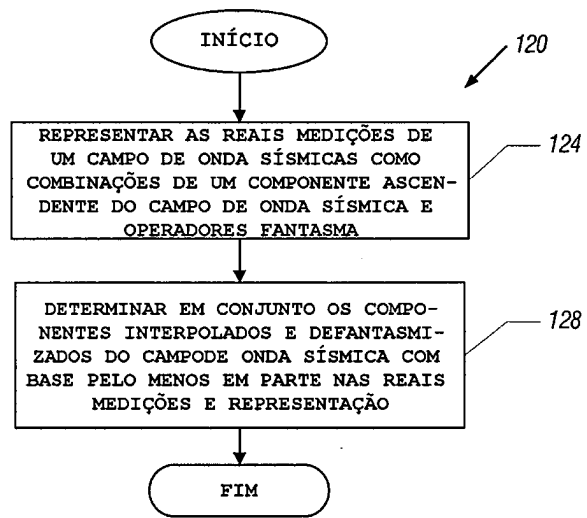


FIG. 2

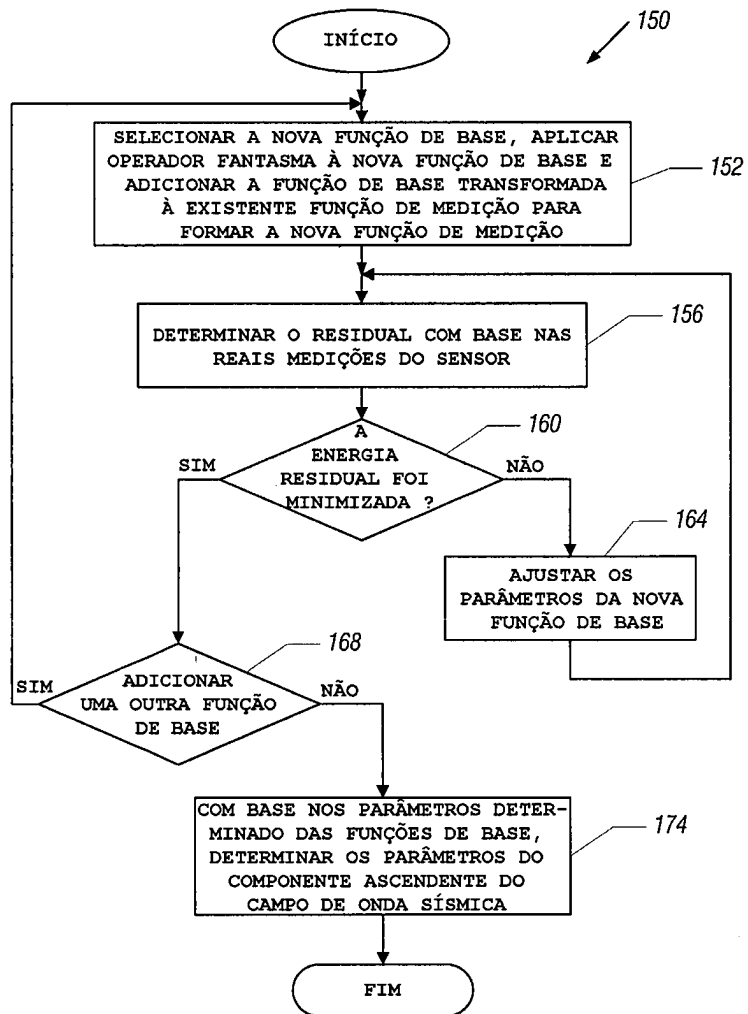
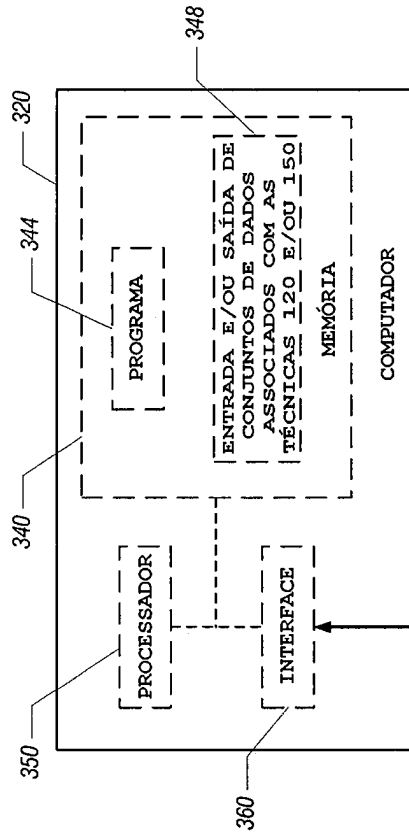


FIG. 3



DADO DE ONDA DE PRESSÃO
DADO DO MOVIMENTO DE PARTÍCULAS
FIG. 4