



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1100710-9 B1



(22) Data do Depósito: 19/01/2011

(45) Data de Concessão: 19/05/2020

(54) Título: MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS PARA PREDIÇÃO DE MÚLTIPLOS RELACIONADOS À SUPERFÍCIE 3-D USANDO UM COMPUTADOR PROGRAMÁVEL

(51) Int.Cl.: G01V 1/28; G01V 1/40.

(30) Prioridade Unionista: 07/04/2010 US 12/798,594; 20/01/2010 US 12/657,412.

(73) Titular(es): PGS GEOPHYSICAL AS.

(72) Inventor(es): PETER A. AARON; ROALD G. VAN BORSELEN; SIMON R. BARNES; ROBERTUS F. HEGGE.

(57) Resumo: CORREÇÕES COM BASE EM IMERSÃO PARA RECONSTRUÇÃO DE DADOS EM PREDIÇÃO MÚLTIPLA RELACIONADA À SUPERFÍCIE TRIDIMENSIONAL. Um melhor ajuste de traços em dados sísmicos é determinado para um traço desejado a ser reconstruído. Uma correção com base em imersão é calculada por traço, e por amostra para diferenças no azimuth, coordenadas de ponto comum, e ajuste entre o melhor ajuste de traço e o traço desejado. A correção com base em imersão é aplicada ao melhor ajuste de traço para reconstruir o traço desejado para predição de múltiplos relacionados à superfícies 3-D.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA RECONSTRUÇÃO DE DADOS SÍSMICOS MARÍTIMOS PARA PREDIÇÃO DE MÚLTIPLOS RELACIONADOS À SUPERFÍCIE 3-D USANDO UM COMPUTADOR PROGRAMÁVEL**".

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] O presente pedido é uma parte em continuação do Pedido de Patente U.S. Número 12/667.412 depositado em 20 de janeiro de 2010, que está aqui de forma copendente.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Campo da Invenção

[0002] A presente invenção refere-se, de forma geral, ao campo da prospecção geofísica. Mais particularmente, a invenção refere-se ao campo da superfície relacionada à predição múltipla em observações sísmicas marinhas.

Descrição da Técnica Relacionada

[0003] Na indústria de óleo e gás a prospecção geofísica é comumente usada para ajudar na pesquisa e na avaliação de formações subterrâneas. As técnicas de prospecção geofísicas rendem conhecimento da estrutura da sub- superfície da terra, que é útil para encontrar e extrair recursos minerais valiosos, particularmente depósitos de hidrocarboneto tais como óleo e gás natural. Uma técnica bem conhecida de prospecção geofísica é uma observação sísmica.

[0004] Os dados sísmicos obtidos na realização de observação sísmica são processados para render informação em relação à estrutura geológica e propriedades das formações subterrâneas na área que está sendo observada. Os dados sísmicos processados para demonstração e análise do potencial de conteúdo hidrocarboneto destas formações subterrâneas. O objetivo do processamento dos dados sísmicos é extrair dos dados sísmicos tanta informação quanto possível em consideração às formações subterrâneas com o propósito de

adequadamente visualizar a sub-superfície geológica. Com o propósito de identificar localizações na sub-superfície da Terra onde há probabilidade de encontrar acumulações de petróleo, grandes somas de dinheiro são despendidas na junção, processamento, e interpretação de dados sísmicos. O processo de construção o refletor de superfícies definindo as camadas de terra subterrânea de interesse dos dados sísmicos registrado proporciona uma imagem de terra em profundidade ou tempo. A imagem da estrutura da sub-superfície da Terra é produzida com o propósito de capacitar um intérprete a selecionar locais com a maior probabilidade de ter acumulações petrolíferas.

[0005] Na observação de sísmicos marinhos, fontes de energia sísmica são usadas para gerar um sinal sísmico que, após a propagação na terra, é pelo menos parcialmente refletido pelos refletores sísmicos de sub-superfície. Tais refletores sísmicos tipicamente são interfaces entre as formações subterrâneas tendo diferentes propriedades elásticas, especificamente velocidade de ondas sonoras e densidade de rocha, que conduzem a diferenças na impedância acústica junto às interfaces. A energia sísmica refletida é detectada por sensores sísmicos (também chamados receptores sísmicos) e registrados.

[0006] As fontes sísmicas apropriadas para geração de sinal sísmico em observações sísmicas marinhas tipicamente incluem uma fonte sísmica submersa rebocada por um navio e periodicamente ativada de modo a gerar um campo de onda acústico. A fonte sísmica gerando o campo de onda é tipicamente uma pistola de ar ou um arranjo espacialmente distribuído por pistolas de ar.

[0007] Os tipos apropriados de sensores sísmicos tipicamente incluem sensores de velocidade de partículas (conhecidos na técnica como geofones) e sensores de pressão d'água (conhecidos na técnica no hidrofones) montados dentro de uma serpentina sísmica rebocada

(também conhecida como cabo sísmico). Sensores sísmicos podem ser implantados por si mesmos, porém não são comumente implantados nos dispositivos de sensor dentro da serpentina.

[0008] Após a onda refletida alcançar os sensores sísmicos, a onda continua a propagar-se para a interface da água/ar na superfície d'água, da qual a onda está refletida descendentemente, e é novamente detectada pelos sensores. A onda continua a propagar-se e pode ser refletida ascendentemente novamente, pelo fundo da água ou outras interfaces de formação subterrânea. Ondas refletidas que refletem mais que uma vez são denominadas “múltiplas” e são tipicamente tratadas como ruídos. Uma categoria particular de ruídos compreende múltiplos que refletem pelo menos a superfície d'água e são chamados múltiplos relacionados à superfície.

[0009] Uma predição de múltiplo relacionado à superfície tridimensional (3D SRMP), um processo para estimar os múltiplos relacionados à superfície em dados sísmicos, é uma parte da eliminação de múltiplo de superfície relacionada (3D SRME) que empenha-se para atenuar os múltiplos relacionados à superfícies por um processo de predição de subtração. Os múltiplos relacionados à superfície são previstos primeiro a partir de dados sísmicos e em seguida os múltiplos previstos são subtraídos dos dados sísmicos para deixar um sinal de ruído atenuado. Uma primeira etapa do presente processo construindo uma juntada de contribuição múltipla para um traço de receptor de fonte, o qual envolve a computação do envoltório de pares de traços por sobre uma área espacial. Uma segunda etapa compreende a construção de um traço de múltiplas predições que contém, primariamente, reflexões múltiplas, que envolve o empilhamento de todos os traços de contribuição múltipla pertencentes ao traço de fonte receptora. Uma terceira etapa compreende a subtração dos traços de múltipla predição a partir de dados sísmicos originais.

[0010] Desta forma, o processo de predição de múltiplos relacionados à superfície 3D dos dados sísmicos, para a combinação de uma fonte específica e um local de receptor específico, consiste na acumulação dos resultados de envolvimento dos traços em pares através de uma área de superfície de locais possíveis de ligação. Tipicamente, contudo, nem todos os pares de traços a serem envolvidos em todas as conexões de ligações estão sempre prontamente disponíveis a partir da aquisição de dados sísmicos. Isto é devido à subamostragem de fonte e posições receptoras, especialmente na direção de linha transversal, que é inerente na aquisição de dados sísmicos marinhos usando serpentinas rebocadas. Adicionalmente, limitações práticas no posicionamento e nos sistemas de navegação, assim como, correntes de ondas que provocam plumagem das serpentinas e configuração da fonte, proíbem que as fontes e receptores sejam posicionados exatamente onde eles são desejados.

[0011] Diversos métodos existem que visam regularizar os dados com o propósito de reconstruir dados perdidos. Estes métodos podem ser aplicados para gerar dados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D. Estes métodos conhecidos para a indústria estão baseados no NMO (Movimento de Saída Normal), DMO pleno (Movimento de Saída de Inclinação), DMO inverso, AMO (Movimento de Saída Azimute) ou operadores de migração. Estes métodos têm em comum que eles objetivam gerar novos dados a partir de dados adquiridos que mais similares aos traços desejados.

[0012] Desta forma, uma necessidade existe para um método para reconstrução de dados de modo a gerar traços desejados a partir do conjunto de traços, com o propósito de uma predição de múltiplos relacionados à superfície mais precisa.

BREVE SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0013] A presente invenção é um método de correções com base

em inclinação para reconstrução de dados em predição de múltiplos relacionado à superfície em 3D. Um melhor ajuste de traços sísmicos é determinado para um traço desejado a ser reconstruído. Uma correção com base em inclinação é calculada por amostra para diferenças em azimuth, coordenadas de meio ponto comum, e um ajuste entre o melhor ajuste de traço e o traço desejado. As correções são aplicadas ao melhor ajuste de traço para reconstruir o traço desejado para a predição de múltiplos relacionados à superfície.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0014] A invenção e suas vantagens podem ser mais facilmente compreendidas por referência às descrições detalhadas que seguem e aos desenhos em anexos, nos quais:

[0015] a figura 1 é um diagrama esquemático de traços para construção de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3D, como no método da presente invenção;

[0016] a figura 2 é um fluxograma ilustrando uma modalidade da presente invenção para uma correção com base em inclinação para reconstrução de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3D; e

[0017] a Figura 3 é um fluxograma ilustrando uma outra modalidade da presente invenção para uma correção de inclinação para reconstrução de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3D.

[0018] Ainda que a invenção venha ser descrita em conexão com suas modalidades preferidas, será compreendido que a presente invenção não se limita a estas. Ao contrário, a presente invenção é pretendida cobrir todas as alternativas, modificações e equivalentes, que podem ser incluídos dentro do escopo da presente invenção, conforme definido pelas reivindicações apensas.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[0019] De modo geral, a presente invenção é um método para transformação de dados sísmicos em dados de ruídos atenuados. De modo particular, a presente invenção é um método para reconstrução de dados sísmicos usando correções com base em inclinação para esquemas de predição de múltiplos relacionados à superfície. A invenção é usada na fase de predição de um processo de predição de subtração 3-D para atenuar múltiplos relacionados à superfície em dados sísmicos. O processo de predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D de dados sísmicos compreende a acumulação dos resultados de pares envoltos de traços através de uma área de superfície de possíveis locais de ligação para cada combinação de um local de fonte selecionado e um local de receptor selecionado.

[0020] A figura 1 é um diagrama esquemático de traços para reconstrução de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície, de acordo com o método da presente invenção. O local em que os múltiplos de superfícies relacionados são para ser previstos (e subtraídos) é determinado por um traço de receptor de fonte 10. Um traço de receptor de fonte 10 é dado por uma combinação de um local de fonte selecionado 11 e local de receptor selecionado 12. O processo de predição dos múltiplos de superfícies relacionadas dos dados sísmicos do traço de recepção de fonte 10 compreende o envolvimento de pares de traços e em seguida acumulando os resultados envolvidos através de uma área de superfície 13. O primeiro traço, em cada par de traços envoltos é denominado um traço de ligação de fonte lateral 14 e tem um local de fonte em um local de fonte selecionado 11 do traço de recepção de fonte 10 e tem um local receptor em um local de ligação selecionado 15. O segundo traço 16 no par é denominado traço de ligação de recepção lateral 16 e tem um local de fonte no mesmo local de ligação selecionado 15 e tem um local de receptor no local de receptor selecionado 12 do traço de recepção de fonte 10.

[0021] Os locais de ligação 15 para todos os pares de traços de ligação de fonte lateral 14 e traços de ligação de receptores laterais 16 são distribuídos através da área de superfície 13. Cada local de ligação 15 corresponde a um ponto de reflexão de superfície potencial dos múltiplos de superfícies relacionados associados com o traço de recepção de fonte 10. Os traços criados pelo envolvimento dos pares dos traços de ligação de fonte lateral 14 e traços de ligação de recepção lateral 16 são referidos aos traços de contribuição múltiplos e à montagem destes traços de contribuição múltiplos (antes da acumulação) é referido aos conjuntos de contribuição múltipla. A acumulação dos traços de contribuição múltiplos para os múltiplos de superfícies relacionados previstos compreende um processo comumente conhecido como empilhamento de Fresnel. A extensão ou cobertura na área de superfície 13 dos pontos de reflexão de superfície conforme incorporado (após acumulação) na predição é comumente referida como a abertura da predição.

[0022] A abertura pode ser escolhida como o caso simplíssimo, uma área de superfície retangular 13 circundando o ponto médio 17 do traço de receptor de fonte 10 para o local de fonte específico 11 e o local do receptor específico 12. A área de superfície retangular 13 pode ser submetida a parâmetros por uma direção alinhada 18 e uma direção em linha transversal 19. Contudo a área de superfície 13 da abertura não tem uma área retangular ou área orientada no alinhamento 18 das direções de linha transversal 19. Isto não é uma limitação da presente invenção, mas meramente empregada para simplicidade e ilustração.

[0023] Contudo, conforme discutido acima na seção Antecedentes da Invenção, nem todos os pares de traços a serem envolvidos em todas as localizações de ligação estão prontamente disponíveis a partir da aquisição de dados sísmicos. A presente invenção é um método para reconstrução de dados sísmicos por meio de correções com base em

inclinação para solucionar este problema. A informação de inclinação requerida refere-se à geologia local e pode também ser predeterminada ou determinada durante a reconstrução de dados.

[0024] Uma abordagem convencional é reconstruir os traços desejados a partir dos traços mais próximos nos dados sísmicos adquiridos. Os dados sísmicos são expressos como $(x^{CMP}, y^{CMP}, h, \phi, t)$, em que o dado sísmico é transformado para este formato se necessário. O Ponto Médio Comum (CMP) define as posições x e y da local de ponto médio entre a fonte e as localizações de recepção para o traço e será referido às coordenadas CMP. Aqui, o X e o Y são coordenadas ortogonais na grade de processamento, tipicamente orientada de modo que x está na direção alinhada e Y está na direção de linha transversal da observação sísmica, embora esta orientação possa ser definida pelo usuário. Azimute, ϕ , é aqui definido como o ângulo entre a direção da aquisição dos dados (tipicamente, navega na direção alinhada na aquisição dos dados de marinha) e a linha reta entre a fonte e os locais de recepção. O ajuste, h , é definido como a distância total entre a fonte e a locação do receptor para o traço individual. O tempo de chegada t é o tempo que é registrado no traço.

[0025] No presente método, o traço desejado é selecionado como o melhor traço disponível que minimiza a diferença entre o ajuste melhor (mais próximo) e o traço desejado. A diferença Φ é uma soma ponderada das diferenças nas posições CMP x e y , e o azimute entre os traços mais próximos e desejados, que pode ser expresso como

$$\Phi = \alpha |x_b^{CMP} - x_d^{CMP}| + \alpha |y_b^{CMP} - y_d^{CMP}| + \beta |h_b - h_d| + \varepsilon |\phi_b - \phi_d| \quad (1)$$

[0026] em que α , β e ε são pesos definidos por usuário, e os subscritos b e d denotam melhor ajuste r e traços desejados respectivamente.

[0027] Infelizmente, por razões afirmadas acima, o traço desejado

como as posições CMP x e y ou, o ajuste h e o azimute ϕ está frequentemente não presente no conjunto de traços necessários. A aquisição de dados convencionais frequentemente ajuda em uma distribuição de fontes e receptores de forma que cada recipiente de CMP, que contém uma pequena faixa das posições CMP x e y , e do recipiente de ajuste, que contém uma pequena faixa de ajustes h está disponível. Neste caso, somente um azimute está disponível para o dado recipiente CMP, e a combinação de recipiente de ajuste. Contudo, a minimização da Equação (1) não está restrita a um recipiente simples de CMP e a combinação de recipiente de ajuste. Adicionalmente, determinadas geometrias de aquisição de dados modernos objetivam em ter mais que um traço disponível tal como recipiente de CMP, e uma locação de recipiente de ajuste. Nestes casos, mais que um traço está disponível, cada um com seu próprio azimute ϕ , para cada recipiente CMP e combinação de recipiente de ajuste.

[0028] Isto significa que na prática convencional, o melhor traço de ajuste é encontrado por minimizar a diferença como uma soma pesada das diferenças de posições CMP x e y , e do ajuste h somente, daí ignorando o azimute ϕ . Desta forma a equação (1) é aplicada como a versão encurtada:

$$\Phi = \alpha \left| x_b^{CMP} - x_d^{CMP} \right| + \alpha \left| y_b^{CMP} - y_d^{CMP} \right| + \beta \left| h_b - h_d \right| \quad (2)$$

[0029] sem a o termo de diferença final no azimute ϕ .

[0030] Após encontrar o melhor ajuste, ou o mais próximo, traço, um movimento de saída é aplicado a este traço de dados com o propósito de corrigir a diferença de ajuste entre o traço desejado e o melhor ajuste de traço, Este operador de movimento de saída diferencial somente corrige as diferenças de ajuste daí ele não pode corrigir as diferenças de azimute. A diferença nas coordenadas de CMP x e y , ou as diferenças de temporização de inclinação dependentes relacionadas

ao ajuste entre o traço desejado e o melhor ajuste de traço.

[0031] A invenção é um método para incorporar correções com base em inclinação determinada e aplicada por traço e por amostra para azimute, as coordenadas CMP, e ajuste relacionado com diferenças entre o traço desejado e melhor ajuste de traço na reconstrução de esquemas de dados descrito acima. O melhor ajuste de traço é encontrado, correções são computadas para o os traços desejados e de melhor ajuste com base na informação de inclinação local, e as correções são então aplicadas ao melhor ajuste de traço em cada amostra. A informação de inclinação local refere-se à geologia local e é também determinada ou predeterminada durante a aplicação para o esquema de reconstrução a partir dos dados disponibilizados no local. Em razão das correções é determinada e então aplicada por traço, e por amostra, o método da presente invenção torna-se computacionalmente bem eficiente. O método da presente invenção é desta forma fundamentalmente diferente do alcance da regularização de dados descritos na Seção Antecedentes da Invenção. O presente método para a presente invenção é utilizado para aplicar correções com base em inclinação durante a reconstrução de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D.

[0032] As figuras 2-3 mostram fluxogramas ilustrando realizações da presente invenção para correções com base em inclinação para reconstrução para predição múltiplos relacionados à superfície. A figura 2 é um fluxograma ilustrando uma realização geral da presente invenção. A figura 3 é um fluxograma ilustrando uma realização mais detalhada da presente invenção.

[0033] A figura 2 é um fluxograma ilustrando uma realização da presente invenção para correção com base em inclinação para de predição de múltiplos relacionados à superfície.

[0034] No bloco 20, um traço de ajuste melhor é determinado para

um traço desejado a ser reconstruído.

[0035] No bloco 21, uma correção com base em inclinação é calculada para diferenças em azimuth, coordenadas CMP e o ajuste entre o melhor ajuste de traço e o traço desejado. A correção é calculada para cada amostra nos traços.

[0036] No bloco 22, a correção com base em inclinação é aplicada ao melhor traço de ajuste para reconstruir o traço desejado para predição de múltiplos relacionados à superfície.

[0037] A figura 3 é um fluxograma ilustrando outra modalidade da presente invenção para correção com base em inclinação para reconstrução de dados para predição de múltiplos relacionados à superfície. A figura 3 é uma modalidade mais detalhada do método da presente invenção discutida com referência ao fluxograma na figura 2.

[0038] No bloco 30, o dado sísmico marítimo é obtido em um formato $(x^{CMP}, y^{CMP}, h, \phi, t)$ onde o dado sísmico adquirido é transformado para este formato, se assim necessário.

[0039] No bloco 31, para cada amostra de dados do bloco 30, com coordenadas CMP x^{CMP} e y^{CMP} e a amostra de tempo t , a inclinação predominante nas direções x e y é determinada. As inclinações podem ser determinadas por qualquer método conhecido na técnica. As inclinações podem ser determinadas a partir de qualquer ou conjunto apropriado do volume de dados total adquiridos, tais como, por exemplo, dos volumes de ajustes comuns. Estas determinações geram o volume de inclinação estimado.

[0040] A inclinação é a vertente entre dois traços adjacentes na juntada do mesmo evento sísmico. A inclinação é mensurada com uma razão entre a diferença de tempo e um espaço entre (análogo ao dt/dx). A inclinação é tipicamente decomposta em dois componentes, orientados ao longo de eixos x e y da grade de processamento que está sendo usada. Ainda que o evento de inclinação geralmente queira

significar ser não horizontal, um evento horizontal não é de todo excluído.

[0041] O método da presente invenção não é restrito por uma necessidade de estimar inclinações para cada traço desejado a ser reconstruído. Em uma realização alternativa, a estimativa de inclinação pode ser aplicada de uma forma bem esparsa onde as estimativas de inclinação para posições intermediárias sejam obtidas pela interpolação de inclinações estimadas adquiridas na grade esparsa.

[0042] Em outra modalidade alternativa, um número finito de inclinações predominantes pode ser estimado para quaisquer amostras de dados. Esta estimativa de inclinações múltiplas pode ser alcançada pela separação dos componentes de inclinação diferente anterior à estimativa usando-se métodos bem conhecidos como $f-k$ (frequência-número de onda) ou filtragem Radon, ou pela utilização de métodos bem conhecidos de decomposição de inclinação, tais como filtragem por empilhação inclinada. A correção com base em inclinação final a ser aplicada será uma soma pesada das correções individuais para cada inclinação.

[0043] No bloco 32, um filtro, por exemplo, um filtro mediano, é aplicado ao volume de inclinação estimado a partir do bloco 31 para descontinuidades suaves, se desejado. Esta etapa é opcional.

[0044] No bloco 33, um conjunto de traços para reconstruir é selecionado. Este conjunto de traços compreende os traços que requerem reconstrução de modo a se obter traços desejados para predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D.

[0045] No bloco 34, para cada um dos traços no conjunto de traços do bloco 33, um melhor ajuste de traço dos dados sísmicos do bloco 30 é determinado. Em uma modalidade, este melhor ajuste de traço é determinado pela aplicação da equação (2). Contudo, isto não é uma restrição da presente invenção. Em outra realização, um traço dos

dados sísmicos do bloco 30 é determinado para que esteja perto do traço a ser reconstruído, porém não necessariamente, um melhor ajuste de traço até após a correção com base em inclinação ser aplicada no bloco 36 abaixo.

[0046] No bloco 35, uma correção com base em inclinação é determinada para o traço desejado a partir de bloco 33 e o melhor ajuste de traço do bloco 34. A correção com base em inclinação representa a diferença entre o melhor ajuste de traço do bloco 34 e que do traço desejado a ser reconstruído do bloco 33. A correção é aplicada para cada amostra de tempo t no melhor ajuste de traço do bloco 34.

[0047] Conforme discutido acima, a correção pode ser uma soma pesada de correções para cada inclinação nas amostras de dados.

[0048] Em uma modalidade, uma correção de base em inclinação para diferenças de azimuth é determinada com base em meio ajuste, tempo de chegada, azimuth, lentidão, coordenadas CMP, inclinação e direção da inclinação.

[0049] Em uma modalidade, a correção de azimuth Δt_ϕ usada é dada por:

$$\Delta t_\phi = -\frac{(h')^2}{2t} |p|^2 \sin(\phi_b - \phi_d) \sin(\phi_b + \phi_d - 2p_\theta), \quad (3)$$

com magnitude de lentidão p dada por:

$$|p| = \sqrt{\left(\frac{dt}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dt}{dy}\right)^2} \quad (4)$$

e direção de lentidão p dada por:

$$p_\theta = \cos^{-1} \left(\frac{dt/dx}{|p|} \right), \quad (5)$$

[0050] Quando h' é um meio ajuste, t é o tempo de chegada, p e a lentidão ϕ_b é o azimuth do melhor ajuste de traço, ϕ_d é o azimuth do

traço desejado, dt/dx é o local de inclinação ao longo da coordenada x e dt/dy é o local de inclinação ao longo da coordenada y .

[0051] Em outra modalidade, uma correção de base em inclinação para diferenças de ajuste é determinada com base em meio ajuste, tempo de chegada, azimute, lentidão, inclinação e direção de inclinação. Em outra modalidade, a correção de ajuste Δt_h é dada por:

$$\Delta t_h = \frac{2h'_d \Delta h'}{t} |p|^2 \cos^2(\phi_d - p_\theta) \quad (6)$$

[0052] em que h'_d é o meio ajuste do traço desejado e $\Delta h' = h' - h'_d$ é a diferença entre as metades de ajustes do melhor ajuste de traço e do traço desejado.

[0053] Em outra modalidade, uma correção de base em inclinação para diferentes locais de CMP é determinada com base nas coordenadas de CMP, lentidão, inclinação, direção de inclinação. Em uma modalidade, a correção de local de CMP Δt_{cmp} usada é dada por:

$$\Delta t_{cmp} = |p| (\Delta x^{CMP} \cos(p_\theta) + \Delta y^{CMP} \sin(p_\theta)) \quad (7)$$

[0054] com a diferença de coordenada x CMP Δx^{CMP} dada por:

$$\Delta x^{CMP} = x_b^{CMP} - x_d^{CMP} \quad (8)$$

[0055] e a diferença de coordenada y CMP Δy^{CMP} dada por:

$$\Delta y^{CMP} = y_b^{CMP} - y_d^{CMP} \quad (9)$$

[0056] Em outra modalidade, a correção com base em inclinação usada é determinada a partir de uma combinação das correções para diferenças individuais entre o melhor ajuste de traço e o traço desejado.

[0057] No bloco 36, a correção com base em inclinação do bloco 35 é aplicada ao melhor ajuste de traço do bloco 34 para reconstruir um traço de desejado correspondente para predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D. O fator de correção é aplicado por traço e por amostra, após a seleção do melhor ajuste de traço. Como um resultado o método é computacionalmente bem eficiente.

[0058] Em adição, a correção com base em inclinação conforme

determinado pelo método da presente invenção é independente das velocidades de propagação de campos de onda, desta forma, nenhum conhecimento *a priori* de velocidades de propagação de campos de onda é necessário na equação (3), (6) e (7) acima. Contudo, este alcance de velocidade independente é uma possível vantagem, porém não uma limitação requerida da presente invenção. Em outras realizações, outras equações poderiam ser derivadas que alcançariam o mesmo efeito, uma correção com base em inclinação, porém requereria mais informações de sub-superfícies, tais como velocidades de propagação de campo de onda. Por exemplo, a equação que segue poderia ser aplicada para determinar uma correção de azimuth: Δt_ϕ :

$$\Delta t_\phi = -\frac{2h'^2}{v^2 t_d} \sin^2(\psi) \sin(\phi_b - \phi_d) \sin(\phi_b + \phi_d - 2\theta) \quad (10)$$

[0059] em que h' é um meio ajuste, v é a velocidade do meio, t é o tempo de chegada, ψ é o angulo de inclinação, ϕ e o azimuth da fonte de recepção, θ a direção de inclinação. Os subscritos b e d referem-se ao melhor ajuste de traço e traços desejados, respectivamente.

[0060] Em outra modalidade, a equação que segue poderia ser aplicada de modo a determinar a correção de ajuste Δt_h :

$$\Delta t_h = \frac{2}{v^2 t_d} 2h'_d \Delta h' \sin^2(\psi) \cos^2(\phi_d - \theta) \quad (11)$$

[0061] em que $\Delta h' = h'_b - h'_d$ é a diferença em meios ajustes.

[0062] Em outra modalidade, a equação que segue poderia ser aplicada de modo a determinar a correção de local CMP Δt_{cmp} :

$$\Delta t_{cmp} = \left| \frac{2\sin(\psi)}{v} \right| (\Delta x^{CMP} \cos(\theta) + \Delta y^{CMP} \sin(\theta)) \quad (12)$$

[0063] em que Δt^{cmp} é a diferença na coordenada x entre os locais CMP e Δy^{cmp} é a diferença na coordenada y entre os locais CMP.

[0064] Em outra modalidade, a seguinte equação pode ser aplicada para se determinar a correção do local da CMP Δt_{cmp} :

$$t_{cmp} = \frac{4\sin(\psi)}{v^2 t_d} \sqrt{\frac{v^2 t_d^2}{4} + h'^2 \sin^2(\psi) \cos^2(\phi_d - \theta)} (\Delta x^{CMP} \cos(\theta) +$$

$$\Delta y^{\text{CMP}} \sin(\theta)) \quad (13)$$

[0065] Em outra modalidade, o método da presente invenção pode ser utilizado no processo de predição de múltiplos interleitos 3-D em preferência aos múltiplos relacionados à superfície. Na Predição de Múltiplo Inter Leito 3-D, uma tripla entrada de traços e dois envoltórios são usados como parte do método, em vez de dois traços e envoltório simples como no 3-D SRMP. O método da presente invenção pode ser usado para reconstruir os traços faltantes para cada um dos dois envoltórios.

[0066] A invenção foi discutida acima como um método, apenas com fins ilustrativos, porém pode também ser implementada como um sistema. O sistema da presente invenção é preferivelmente implementado por meio de computadores, de modo particular computadores digitais, ao longo com outros equipamentos de processamento de dados convencionais. Tais equipamentos de processamento de dados, bem conhecidos na técnica, compreenderão qualquer combinação apropriada ou rede de equipamento de processamento de computadores, incluindo, porém não se limitando a, hardware (processadores, dispositivos de armazenagem temporária ou permanente, e qualquer outro equipamento de processamento de dados apropriado), software (sistemas de operação, programas de aplicação, bibliotecas de programas de matemática, e qualquer outro software apropriado), conexões (elétrica, ótica, sem fio ou de outra forma), e dispositivos periféricos (dispositivos de entrada e saída tais como teclados, dispositivos de pontuação e escaneadores, dispositivos de exibição, tais como monitores e impressoras; meios de armazenagem de leitura por computadores tais como fitas, e discos rígidos, e qualquer outro equipamento apropriados).

[0067] Em outra modalidade, a invenção poderá ser implementada como o método descrito acima, especificamente processado usando-se

um computador programável para realizar o método. Em outra modalidade, a invenção poderá ser implementada como um programa de computador armazenado em um meio de leitura computadorizada, com o programa tendo lógica operável para promover um computador programável de modo a realizar o método descrito acima. Em outra modalidade, a invenção poderá ser implementada por um meio de leitura por computador com um programa de computador armazenado no meio, tal que o programa tenha uma lógica operável de modo a fazer com que o computador programável realize o método descrito acima.

[0068] Deve ser compreendido que o que precede é meramente uma descrição detalhada das modalidades específicas da presente invenção e que inúmeras mudanças, modificações e alternativas para as realizações descritas podem ser feitas de acordo a descrição aqui feita sem que se afaste do âmbito da presente invenção. A descrição precedente, contudo, não é para ser entendida como limite do âmbito da invenção. De preferência, o âmbito da invenção é para determinar somente pelas reivindicações apensas e seus equivalentes.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para prospecção geofísica, **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

dispor uma serpentina sísmica marinha em um corpo de água

em resposta aos sinais registrados nos receptores na serpentina sísmica marinha, calcular os traços sísmicos que representam os campos de ondas de pressão física que se deslocam na massa de água incidente nos receptores;

corrigir o posicionamento irregular da fonte e do receptor, transformando os traços sísmicos de modo a produzir os traços sísmicos desejados reconstruídos que representam campos de ondas de pressão, como apareceriam se incidentes em receptores regularmente posicionados a partir de fontes regularmente posicionadas, a transformação incluindo:

determinar (20) um melhor ajuste de traço nos dados sísmicos para um traço desejado a ser reconstruído;

calcular (21) uma correção de azimuth por amostra para diferenças no azimuth entre o melhor ajuste de traço e o traço desejado; e

aplicar (22) a correção de azimuth no melhor ajuste de traço para reconstruir o traço desejado para predição de múltiplos relacionados à superfície 3-D

registrar os traços desejados.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** calcular a correção de azimuth compreende a aplicação da seguinte equação:

$$\Delta t_h = \frac{2}{v^2 t_1} 2h_1 \Delta h \sin^2(\phi) \cos^2(\psi_1 - \theta),$$

em que v é a velocidade do meio, t_1 é um primeiro tempo de chegada, $\Delta h = h_2 - h_1$ é a diferença em meios ajustes do primeiro meio

ajuste h_1 e do segundo meio ajuste h_2 , ϕ é o angulo de inclinação, ψ_1 é o primeiro azimuth de fonte de recepção, e θ é a direção de inclinação.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** calcular a correção de azimuth compreende a aplicação da seguinte equação:

$$\Delta t_h = \frac{2}{v^2 t_1} 2h_1 \Delta h \sin^2(\phi) \cos^2(\psi_1 - \theta),$$

em que v é a velocidade do meio, t_1 é um primeiro tempo de chegada, $\Delta h = h_2 - h_1$ é a diferença em meios ajustes do primeiro meio ajuste h_1 e do segundo meio ajuste h_2 , ϕ é o angulo de inclinação, ψ_1 é o primeiro azimuth de fonte de recepção, e θ é a direção de inclinação.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** calcular uma correção com base em inclinação compreende:

calcular uma correção com base em inclinação para melhor ajuste de traço e o traço desejado correspondente, com base em meio ajuste, azimuth, tempo de chegada, lentidão, coordenadas de meio ponto comum, inclinação e direção de inclinação.

5. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo fato de que** o cálculo da

$$\Delta t_\phi = -\frac{(h')^2}{2t} |p|^2 \sin(\phi_b - \phi_d) \sin(\phi_b + \phi_d - 2p_\theta),$$

com

$$|p| = \sqrt{\left(\frac{dt}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dt}{dy}\right)^2}$$

e

$$p_\theta = \cos^{-1} \left(\frac{dt/dx}{|p|} \right),$$

em que h' é o meio ajuste, t é o tempo de chegada, p é lentidão, θ é a direção de inclinação, ϕ é a fonte do azimuth de recepção

e subscritos b e d denotam melhor ajuste de traço e traços desejados, respectivamente.

6. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** determinar um melhor ajuste de traço compreende as etapas de:

obter (30) os dados sísmicos em um formato $(x^{CMP}, y^{CMP}, h, \phi, t)$:

determinar (31) uma inclinação predominante em direções x e y para coordenadas para ponto médio comum x^{CMP} e y^{CMP} e tempo de chegada t em cada traço dos dados sísmicos;

aplicar (32) um filtro para as inclinações para suavizar as descontinuidades;

selecionar (33) um conjunto de traços desejados para reconstrução; e

determinar (34) um melhor ajuste de traço a partir dos dados sísmicos para cada traço desejado no conjunto de traços.

7. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** o filtro aplicado é um filtro mediano (32).

8. Método, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado pelo fato de que** a determinação de um melhor ajuste de traço compreende minimizar a diferença Φ em uma soma ponderada de diferenças em meio ponto comum x e y nas posições x^{CMP} e y^{CMP} , ajuste h , e azimute ϕ entre o melhor ajuste de traços e traços desejados.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** a minimização da diferença Φ compreende a aplicação da seguinte equação:

$$\Phi = \alpha |x_b^{CMP} - x_d^{CMP}| + \alpha |y_b^{CMP} - y_d^{CMP}| + \beta |h_b - h_d| + \varepsilon |\phi_b - \phi_d|,$$

em que α , β e ε são pesos definidos pelo usuário, e subscritos b e d denotam melhor ajuste e traços desejados,

respectivamente.

10. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** a minimização da diferença Φ compreende a aplicação da seguinte equação:

$$\Phi = \alpha \left| x_b^{CMP} - x_d^{CMP} \right| + \alpha \left| y_b^{CMP} - y_d^{CMP} \right| + \beta \left| h_b - h_d \right|,$$

em que α e β são pesos definidos pelo usuário, e os subscritos b e d denotam melhor ajuste e traços desejados, respectivamente.

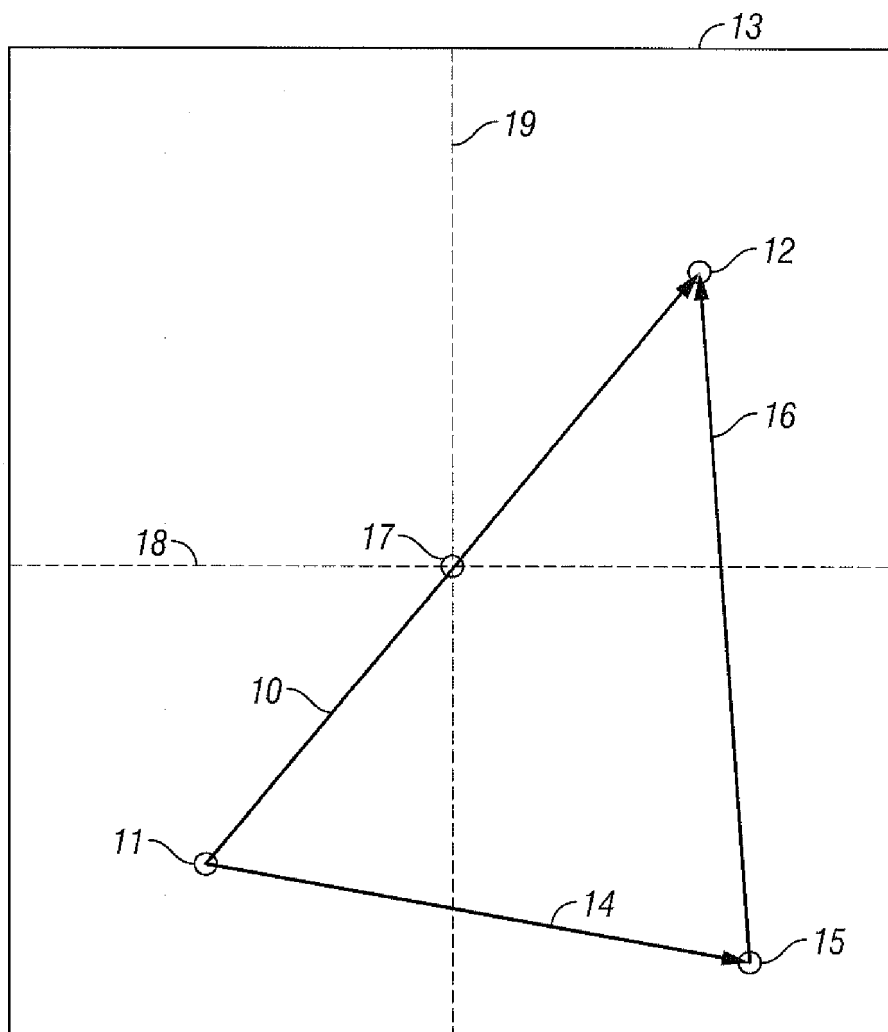


FIG. 1

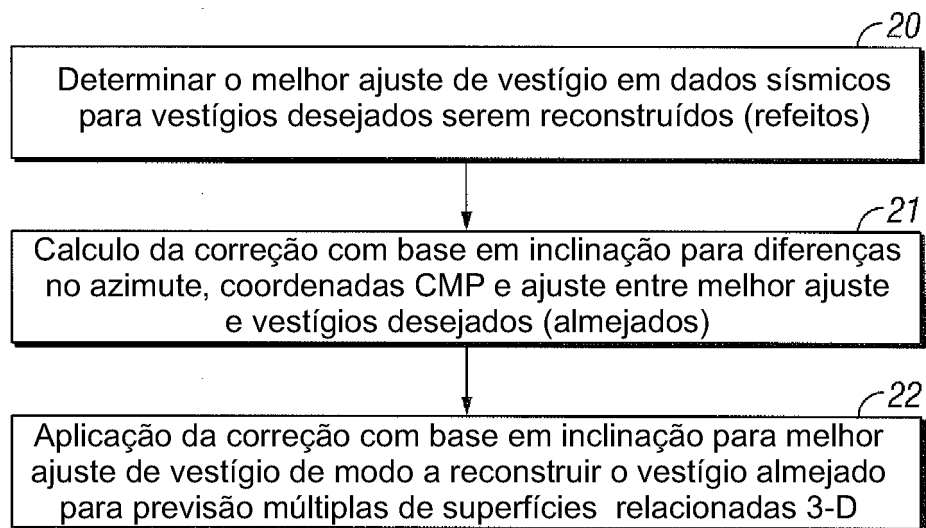


FIG. 2

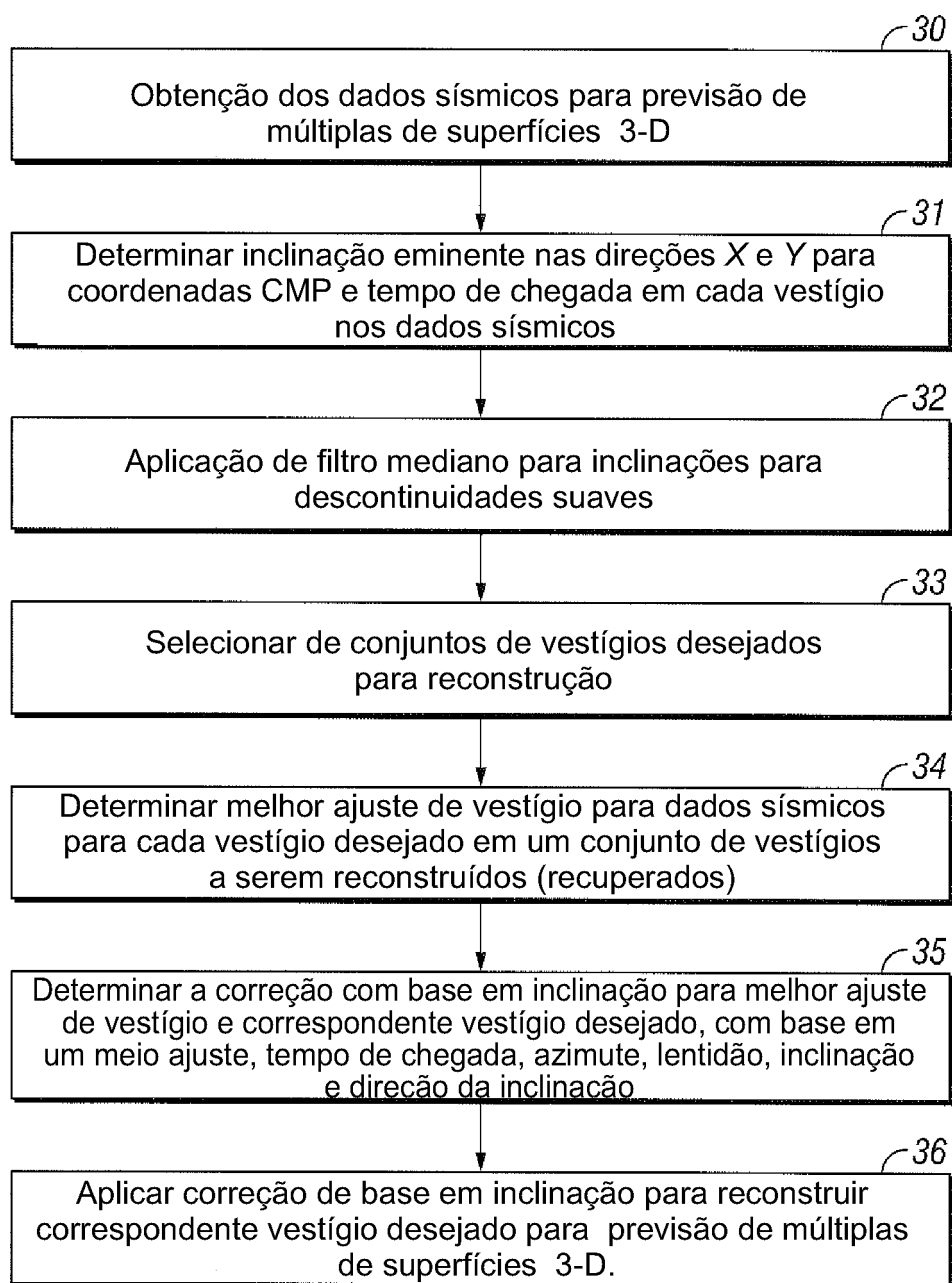


FIG. 3