



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0517326-4 B1

(22) Data do Depósito: 12/08/2005

(45) Data de Concessão: 04/04/2017



(54) Título: MÉTODO PARA MIGRAR EM PROFUNDIDADE DADOS SÍSMICOS UTILIZANDO MIGRAÇÃO DE TEMPO PRÉ-EMPILHAMENTO, DEMIGRAÇÃO, E MIGRAÇÃO DE PROFUNDIDADE PÓS-EMPILHAMENTO

(51) Int.Cl.: G01V 1/00

(30) Prioridade Unionista: 23/09/2004 US 10/947,745

(73) Titular(es): PGS AMERICAS, INC.

(72) Inventor(es): SHU-SCHUNG LEE; JOHN WILLIS; YEASHUNG LIN

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"MÉTODO PARA MIGRAR EM PROFUNDIDADE DADOS SÍSMICOS UTILIZANDO MIGRAÇÃO DE TEMPO PRÉ-EMPILHAMENTO, DEMIGRAÇÃO, E MIGRAÇÃO DE PROFUNDIDADE PÓS-EMPILHAMENTO"**.

5 ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se geralmente ao campo de processamento de dados sísmicos. Mais especificamente, a invenção refere-se a métodos para demigrar dados sísmicos anteriormente migrados em tempo
10 de modo que os processos de migração de profundidade pós-empilhamento possam ser utilizados.

ANTECEDENTES DA TÉCNICA

O levantamento sísmico é utilizado para avaliar as estruturas de, as composições de, e o conteúdo de fluido de formações terrestres de sub-
15 superfície. Uma aplicação específica para o levantamento sísmico é inferir a presença de materiais úteis, tal como o petróleo, nas formações terrestres de subsuperfície. Geralmente, o levantamento sísmico inclui dispor uma rede de sensores sísmicos na ou próximo da superfície terrestre, e dispor uma fonte de energia sísmica próximo dos sensores também na ou próximo da
20 superfície. A fonte de energia sísmica é atuada e a energia sísmica emana da fonte, deslocando-se geralmente para baixo através da subsuperfície até esta atingir um ou mais limites de impedância acústica na subsuperfície. As ondas sísmicas são refletidas dos um ou mais limites de impedância, após o que estas então deslocam-se para cima até serem detectadas por um ou
25 mais sensores sísmicos. A composição de estrutura e estratigráfica da subsuperfície da Terra é inferida, entre outras propriedades da energia detectada, do tempo de deslocamento da onda sísmica, e da amplitude e da fase dos vários componentes de frequência da onda sísmica em relação à energia que emana da fonte sísmica.

30 De modo a inferir as estruturas de formações terrestres de subsuperfície de ondas sísmicas medidas na superfície terrestre da posição de fonte / receptor na superfície, é necessário determinar a velocidade das vá-

rias formações através das quais a onda sísmica passa. As velocidades das formações terrestres podem variar tanto em relação à profundidade na terra (verticalmente), quanto em relação a posição geográfica (lateralmente). Dados (sísmicos, no entanto, são registrados somente com relação ao tempo.

5 Os métodos conhecidos na técnica para estimar as velocidades das formações terrestres tanto verticalmente quanto lateralmente baseiam-se em inferências sobre a geometria do percurso de deslocamento da onda sísmica conforme esta desloca-se da fonte para os vários receptores dispostos na superfície terrestre.

10 Para que as imagens produzidas de dados sísmicos correspondam precisamente à distribuição espacial de estruturas de subsuperfície e mudanças de composição na subsuperfície da Terra, técnicas geralmente conhecidas como "migração de tempo" e "migração de profundidade" são executadas nos dados sísmicos. A migração é um processo pelo qual os

15 eventos de reflexão nos dados sísmicos são feitos para corresponderem em tempo (migração de tempo) aos tempos de reflexão que ocorreriam se a geometria de aquisição de dados sísmicos fosse idêntica para cada posição de superfície para a qual uma imagem é produzida, e no caso de migração de profundidade, ter tais eventos sendo localizados nas profundidades na Terra

20 nas quais estes estão localizados. Assim, a migração é executada em duas classes gerais de processo de migração. A migração de tempo é utilizada para fazer com que os eventos refletivos estejam posicionados no tempo correto na imagem. A migração de profundidade é utilizada para fazer com que os eventos refletivos estejam posicionados na profundidade correta na

25 imagem. As técnicas de migração são executadas ou "pré-empilhamento" ou "pós-empilhamento". A migração pós-empilhamento refere-se a técnicas de migração que são executadas dados sísmicos para os quais os números de registros de dados individuais ("traços") são processados e somados para aperfeiçoar a razão de sinal para ruído sísmica. A migração pré-

30 empilhamento, em contraste, é executada sobre registros de dados individuais. A migração pré-empilhamento tipicamente produz melhores imagens. Um método efetivo de migração de tempo de pré-empilhamento está descri-

to, por exemplo, em Sun, C., Martinez R., Amplitude preserving 3D pre-stack Kirchhoff time migration for $V(z)$ and VTI media, 72nd Annual International Meeting, Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, pp. 1224-1227 (2002).

5 A migração de profundidade de pré-empilhamento tipicamente produz as melhores imagens comparando com outros tipos de migração. A migração de profundidade de pré-empilhamento, no entanto, é computacionalmente intensa, e portanto relativamente dispendiosa, se comparado com as técnicas de migração de profundidade de pós-empilhamento. As técnicas
10 de migração de profundidade de pré-empilhamento tais como a técnica descrita no documento Sun et al. acima referido, são relativamente computacionalmente econômicas. O que é necessário é uma técnica para produzir uma seção sísmica empilhada que tem a qualidade de imagem das técnicas de migração de profundidade de pré-empilhamento enquanto incorrendo no
15 custo de computação de migração de tempo de pré-empilhamento.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Um aspecto da invenção é um método para a migração de profundidade de dados sísmicos. O método inclui migrar em tempo de pré-empilhamento os dados sísmicos para formar uma imagem empilhada, migrada em tempo. A imagem empilhada, migrada em tempo é demigrada, e
20 uma migração de profundidade de pós-empilhamento é então executada na imagem demigrada. Em algumas modalidades, a migração de tempo de pré-empilhamento e a demigração levam em conta a curvatura de raio e a mídia isotrópica transversal vertical.

25 Outro aspecto da invenção é um programa de computador armazenado em um meio legível por computador. O programa inclui uma lógica operável para fazer com que um computador programável execute a migração de profundidade de dados sísmicos. A migração de profundidade inclui migrar em tempo de pré-empilhamento os dados sísmicos para formar
30 uma imagem empilhada, migrada em tempo. A imagem empilhada, migrada em tempo é demigrada, e uma migração de profundidade de pós-empilhamento é então executada na imagem demigrada. Em algumas moda-

lidades, a migração em tempo de pré-empilhamento e a demigração levam em conta a curvatura de raio e a mídia isotrópica transversal vertical.

Outros aspectos e vantagens da invenção ficarão aparentes da descrição seguinte e das reivindicações anexas.

5 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Figura 1 mostra um fluxograma de uma modalidade de um método de acordo com a invenção.

Figura 2 mostra uma seção sísmica processada utilizando as técnicas de migração de profundidade de pré-empilhamento conhecidas na
10 técnica.

Figura 3 mostra uma seção de registro sísmico processada utilizando um método de acordo com a invenção para os mesmos dados utilizados para gerar a seção na figura 2.

Figura 4 mostra um computador programável e várias mídias legíveis por computador nas quais um programa de computador de acordo
15 com a invenção pode ser armazenado.

DESCRIÇÃO DETALHADA

Geralmente, os métodos de acordo com a invenção utilizam uma combinação de migração de tempo de pré-empilhamento e análise de velocidade, iterativamente para obter um modelo de velocidades de camadas
20 dentro da subsuperfície da Terra, e substancialmente corrigir os tempos de deslocamento em dois sentidos para vários refletores dentro da subsuperfície da Terra. Um volume de dados sísmicos é migrado em tempo de pré-empilhamento. A imagem empilhada, baseada em tempo produzida da migração de tempo de pré-empilhamento é então demigrada. Os dados de imagem demigrada são então utilizados como uma entrada para um processo de migração de profundidade de pós-empilhamento subsequente. Todos os processos de migração e de demigração podem utilizar o mesmo modelo de velocidade de formação.
25

A primeira parte de um método de acordo com a invenção, a migração de tempo de pré-empilhamento, pode ser explicada como segue. Uma onda sísmica pode ser imaginada como deslocando-se ao longo de um
30

percurso de raio de uma fonte sísmica na ou próximo da superfície da Terra, até um ponto de reflexão ou "ponto de imagem" na subsuperfície da Terra, de volta para um receptor sísmico na ou próximo da superfície da Terra. O tempo de deslocamento total das ondas sísmicas da localização da fonte, para o ponto de imagem, e então para o receptor sísmico é conhecido como o "tempo de deslocamento em dois sentidos". Para o caso onde a fonte e o receptor estão localizados na mesma posição geográfica, o tempo de deslocamento em dois sentidos T para as zonas sísmicas que deslocam-se ao longo de percursos de raio de "curvatura", uma mídia isotrópica com uma velocidade que varia verticalmente, também referido como a mídia $V(z)$, pode ser determinada pela expressão:

$$T = 2T_{g0} \left(1 + \frac{1}{2} CC \frac{c_2 x^4}{T_{g0}^2} \right) \quad (1)$$

onde x é a distância ao longo da superfície da Terra ("distância de superfície") entre a localização da fonte de energia sísmica e a localização da imagem, CC é uma constante. T_{g0} , é o tempo de deslocamento em um sentido que contém um termo de até quarta ordem de x . T_{g0} , pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$T_{g0} = \sqrt{(c_1 + c_2 x^2 + c_3 x^4)} \quad (2)$$

Para os tempos de deslocamento de "raio de curvatura" onde existem grandes razões de abertura para profundidade na mídia isotrópica transversalmente vertical (VTI), os diferenciais de tempo de deslocamento que resultam da mídia de VTI podem ser levados em conta para a migração de tempo sem a necessidade de "traçamento de raio". A diferença entre os tempos de deslocamento na mídia isotrópica e de VTI pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\Delta T(VTI) = 2\sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{\infty}^2}} - 2\sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_{\infty}^2}} - C(VTI)x^4 \quad (3)$$

onde $C(VTI)$ pode ser calculado de acordo com a expressão:

$$C(VTI) = \frac{2\eta}{V_m^2 [T_0^2 V_m^2 + (1 + 2\eta)x^2]} \quad (4)$$

Nas equações acima, V_{rms} representa a velocidade de valor médio quadrático (RMS) das formações de subsuperfície, T_0 representa o tempo de deslocamento em dois sentidos vertical, e η representa um parâmetro de anisotropia. Ver, por exemplo, Alkhalifah, T., Velocity analysis using non-hyperbolic moveout in transversely isotropic media, *Geophysics*, 62, 839-1854 (1977).

Em geral, como a mudança em tempo de deslocamento na média de VTI é pequena comparada com o tempo de deslocamento de "raio reto" equivalente (o tempo de deslocamento que ocorreria se a energia sísmica se deslocasse ao longo de percursos retos da fonte para o ponto de imagem para o receptor), uma aproximação para $\Delta T(VTI)$ pode ser feita pela simplificação das equações (3) e (4) para o seguinte:

$$\Delta T(VTI) = \frac{C(VTI)x^4}{\sqrt{T_0^2 + \frac{x^2}{V_m^2}}} \quad (5)$$

A equação (5) descreve o diferencial de tempo de deslocamento entre um raio de curvatura na média isotrópica e na média de VTI. Utilizando o diferencial da equação (5), o tempo de deslocamento T para um raio de curvatura em média de VTI pode ser calculado pela expressão:

$$T = 2T_{s0} + \Delta T = 2T_{s0} \left(1 + \frac{1}{2} CC \frac{C_4 x^6}{T_{s0}^2} \right) + \Delta T(VTI) \quad (6)$$

A equação (6) pode ser utilizada para executar a migração de tempo na média de VTI. Executar o processamento incorporado na equação (6) em uma pluralidade de traços sísmicos, cada um representando uma diferente fonte e posição de receptor durante a aquisição, e então empilhar os resultados de traços migrados uma seção de imagem empilhada, migrada em tempo.

A equação (6) pode então ser modificada e implementada para computar os tempos de deslocamento de demigração para os raios de dobramento na média de VTI. A equação (6) assim implementada leva ambos os efeitos de curvatura de raio e VTI em conta para os dados sísmicos adquiridos utilizando grandes razões de abertura para profundidade (uma

grande separação lateral entre as posições da fonte e do receptor e uma profundidade relativamente rasa na Terra) e é aplicável em uma demigração de deslocamento zero. Alternativamente, a equação (1) pode ser implementada para calcular os tempos de deslocamento de demigração na mídia isotrópica. Na demigração, a recuperação de coeficientes de reflexão é executada pela remoção de um fator de dispersão geométrica para as reflexões primárias utilizadas no processo de migração para preservar as amplitudes de sinal sísmico. Com base em uma função de ponderação de demigração como descrito em Zhang, Y., Karazincir, M., Notfors, C., Sun, J., Hung, B., 2002, Amplitude preserving $v(z)$ Prestack Kirshhoff Migration, Demigration and Modeling, 64th Conference EAGE, Expanded Abstracts, uma função de ponderação de deslocamento zero pode ser simplificada para a expressão:

$$W = \frac{2V_0}{\cos \alpha_0 \psi \sigma} \quad (7)$$

onde ψ e σ representam termos de dispersão geométrica no plano e fora do plano, α_0 representa o ângulo de decolagem e de emergência das ondas sísmicas e V_0 é a velocidade sísmica da primeira camada da subsuperfície. Assumindo que as velocidades de camada de formação são substancialmente constantes lateralmente na vizinhança da fonte e dos receptores, (isto é ignorando quaisquer gradientes de velocidade lateral) então para uma camada horizontal os pesos W para os raios de curvatura podem ser aproximados pela expressão:

$$W \approx \frac{8V_0}{V_{rms}^4 T^2} \quad (8)$$

onde V_0 novamente representa a velocidade da primeira camada, T é o tempo de deslocamento em dois sentidos migrados de entrada para o ponto de imagem, e V_{rms} é a velocidade RMS das formações de subsuperfície.

A demigração de tempo de Kirshhoff de uma imagem migrada em tempo pode ser expressa como:

$$I(T, x, y) = \int W(x, y, T, x_s, y_s, x_r, y_r) D(x_s, y_s, x_r, y_r, t_s + t) dx_s dy_s dx_r dy_r \quad (9)$$

onde $I(T, x, y)$ é a imagem demigrada em relação ao tempo de

deslocamento em dois sentidos e à posição de superfície, T é o tempo de saída de imagem (dois sentidos), W é a função de ponderação (tal como pode ser calculada utilizando a equação (8) acima), e D é a derivada de tempo dos dados sísmicos de entrada. Substituindo a equação (1) pelo tempo de deslocamento na mídia isotrópica ou substituindo a equação (6) para o tempo de deslocamento na mídia de VTI, utilizando a equação (8) para a função de peso, e então utilizando tais substituições na equação (9), permite a demigração de tempo de Kirshhoff de pós-empilhamento ou na mídia $V(z)$ (isotrópica) ou VTI, dependendo de qual equação de tempo de deslocamento é substituída. A imagem demigrada ou seção de imagem pode então ser utilizada como uma entrada para as técnicas de migração de profundidade de pós-empilhamento conhecidas na técnica. "Seção de imagem" refere-se a uma pluralidade de imagens cada uma representando uma posição de superfície equivalente diferente, porém geograficamente próxima.

Em uma modalidade exemplar de um método de acordo com este aspecto da invenção, e referindo à figura 1, os dados sísmicos podem ser utilizados como uma entrada para um processo de migração de tempo de pré-empilhamento. Um exemplo do processo de migração de tempo de pré-empilhamento está descrito no documento de Sun e Martinez acima referido. O resultado da migração de tempo de pré-empilhamento é uma imagem ou seção de imagem migrada em tempo, empilhada, como mostrado em 14. A imagem ou seção de imagem empilhada, migrada em tempo é então demigrada 16, como acima explicado, e utilizando uma fórmula tal como a equação (9). A imagem ou seção de imagem demigrada é então utilizada como uma entrada para um processo de migração de profundidade de pós-empilhamento, em 18.

Resultados exemplares comparando a saída de um processo de acordo com a invenção e as técnicas de migração de profundidade de pré-empilhamento conhecidas na técnica serão explicados com referência às figuras 2 e 3. A figura 3 mostra os dados sísmicos utilizados para produzir uma seção de imagem que utiliza um processo de migração de profundidade de pré-empilhamento conhecido na técnica. A figura 4 mostra uma seção de

imagem sísmica gerada utilizando os mesmos dados sísmicos, e utilizando o método de acordo com a invenção. Como pode ser visto comparando as Figuras 2 e 3, a qualidade de imagem do processo da invenção é substancialmente a mesma que utilizando as técnicas de migração de profundidade de pré-empilhamento conhecidas na técnica.

Em outro aspecto, a invenção refere-se a programas de computador armazenados em um meio legível por computador. Referindo à figura 4, o processo acima como explicado com referência à figura 1, pode ser incorporado em um código legível por computador. o código pode ser armazenado em um meio legível por computador, tal como um disco flexível 68, um CD-ROM 70 ou um disco rígido magnético (ou de outro tipo) 66 que formam parte de um computador programável de uso geral. O computador, como conhecido na técnica, inclui uma unidade de processamento central 60, um dispositivo de entrada do usuário tal como um teclado 62 e um display do usuário 64 tal como um display de LCD de painel plano ou um display de tubo de raios catódicos. De acordo com este aspecto da invenção, o meio legível por computador inclui uma lógica operável para fazer com que o computador execute os atos acima apresentados e explicados em relação à figura 1.

Os métodos de acordo com a invenção podem prover os dados sísmicos migrados de profundidade em um modo mais rápido, computacionalmente mais econômico do que a migração de profundidade de pré-empilhamento convencional, enquanto mantendo a maior parte da qualidade de imagem aperfeiçoada da migração de profundidade de pré-empilhamento. Ainda, os métodos de acordo com a invenção podem prover imagens migradas de profundidade e/ou em tempo que levam em conta os efeitos da mídia de VTI. Mais ainda, os métodos de acordo com a invenção podem prover imagens migradas de profundidade que substancialmente preservam as amplitudes de imagem levando em conta a curvatura de raio.

Apesar da invenção ter sido descrita em relação a um número limitado de modalidades, aqueles versados na técnica, tendo o benefício desta descrição, apreciarão que outras modalidades podem ser imaginadas

as quais não afastam-se do escopo da invenção como aqui descrita. Consequentemente, o escopo da invenção deve ser limitado somente pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a migração de profundidade de dados sísmicos, que compreende:

5 migrar em tempo de pré-empilhamento os dados sísmicos para formar uma imagem empilhada, migrada em tempo, a migração de tempo incluindo estimar o tempo de deslocamento para um ponto de imagem como uma expansão polinomial de fonte para a distância de superfície de ponto de imagem com relação ao tempo de deslocamento, o tempo de deslocamento estimando incluir ajuste para variação de velocidade em mídia isotrópica transversalmente vertical;

10

 demigrar em tempo de integral de Kirchhoff a imagem empilhada, migrada em tempo, a demigração incluindo estimar o tempo de deslocamento de um ponto de imagem para uma posição de fonte como uma expansão polinomial de tempo de deslocamento com relação à fonte para a distância de superfície de ponto de imagem;

15

 migrar em profundidade a imagem demigrada e pelo menos um dentre armazenar e exibir a imagem migrada em profundidade.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, em que a demigração compreende calcular uma função de ponderação, a função de ponderação levando em conta no plano e fora do plano a difusão geométrica.

20

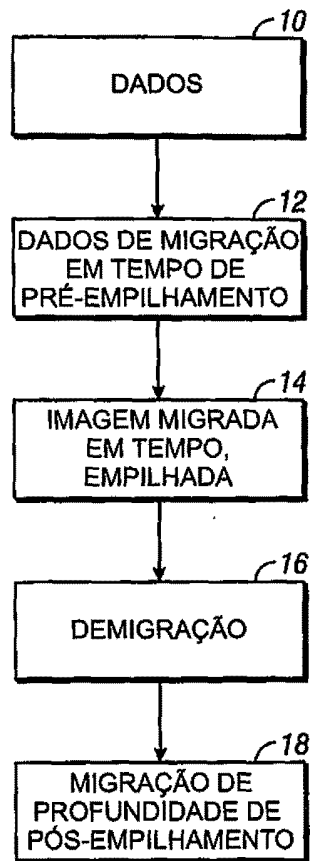


FIG. 1

POSIÇÃO DA SUPERFÍCIE

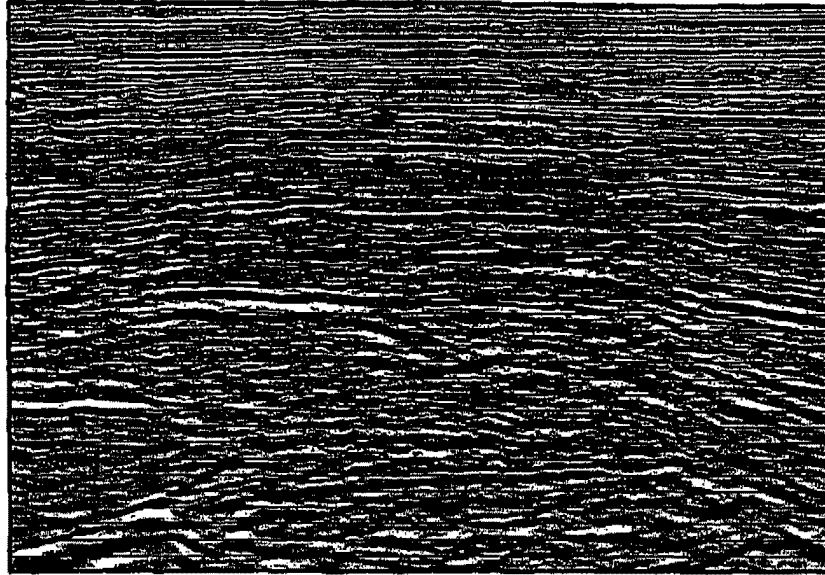


FIG. 2

POSIÇÃO DA SUPERFÍCIE

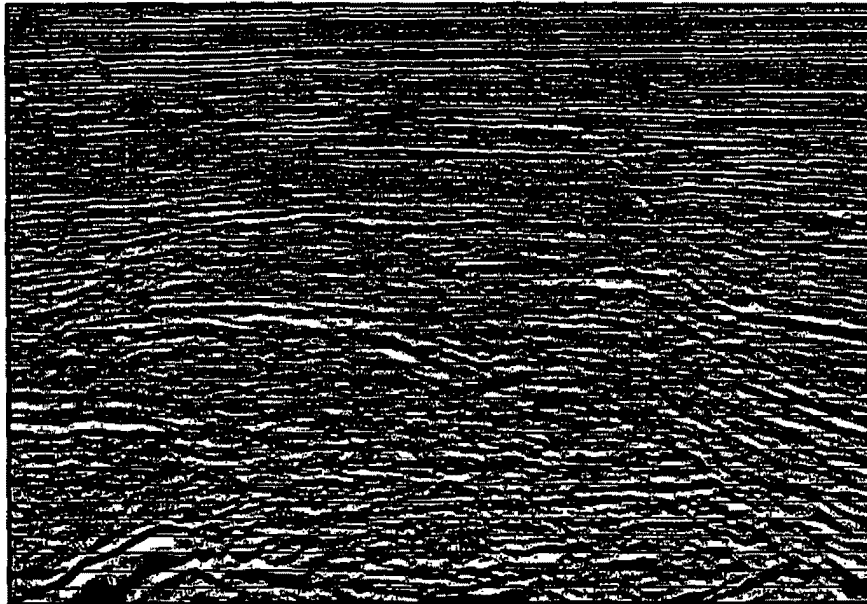


FIG. 3

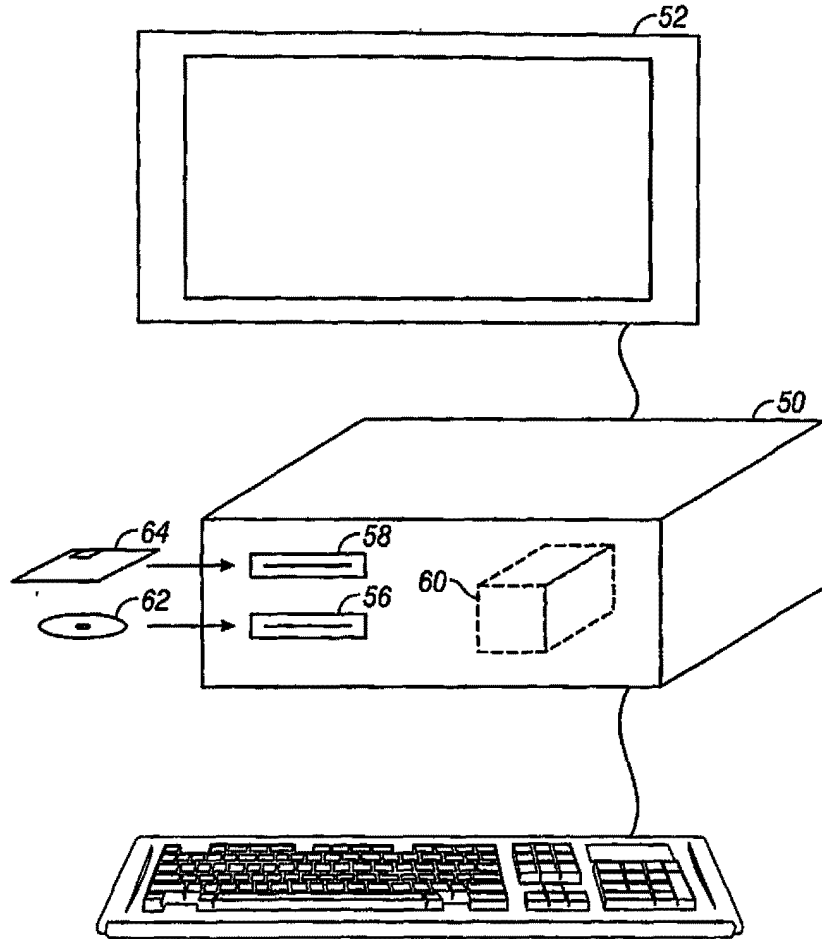


FIG. 4