República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial

* B R 1 0 2 0 2 1 0 2 1 4 4 7 A 2 *

(21) BR 102021021447-3 A2

(22) Data do Depósito: 25/10/2021

(43) Data da Publicação Nacional: 09/05/2023

(54) Título: MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO E REMOÇÃO AUTOMÁTICA DE ARTEFATOS DE PATINS EM IMAGENS ULTRASSÔNICAS DE POÇOS

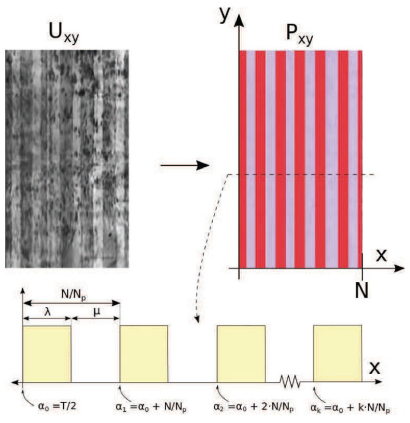
(51) Int. Cl.: G01V 1/48; G06T 5/00; G06T 5/10.

(52) CPC: G01V 1/48; G06T 5/002; G06T 5/10.

(71) Depositante(es): PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS; CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS - CBPF.

(72) Inventor(es): MARCELO PORTES DE ALBUQUERQUE; BRUNO BARBOSA RODRIGUES; LUCIANA OLIVIA DIAS; ELISANGELA LOPES DE FARIA; MARCIO PORTES DE ALBUQUERQUE; CLÉCIO ROQUE DE BOM; MANUEL BLANCO VALENTIM; ANDRÉ PERSECHINO AMÉRICO DE OLIVEIRA.

(57) Resumo: MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO E REMOÇÃO AUTOMÁTICA DE ARTEFATOS DE PATINS EM IMAGENS ULTRASSÔNICAS DE POÇOS. A presente invenção apresenta um método de caracterização e remoção automática de marcas e artefatos de patins em imagens ultrassônicas de poços de reservatórios. O método demonstra a efetividade da caracterização automática deste ruído e de sua remoção mediante a modelização de um sinal de onda quadrada bidimensional, periódico no eixo angular da imagem e inclui: A obtenção da curva média de espectro de potência unidimensional da imagem de poço para a detecção automática do pico de resposta frequencial do ruído dos artefatos; A derivação dos parâmetros geométricos do sinal dos artefatos mediante o pico frequencial estimado na etapa anterior; A modelização automática do sinal do artefato como onda quadrada periódica mediante os parâmetros obtidos nas etapas anteriores; O processamento da imagem original mediante o filtro do modelo de onda quadrado obtido na etapa anterior.



“MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO E REMOÇÃO AUTOMÁTICA DE ARTEFATOS DE PATINS EM IMAGENS ULTRASSÔNICAS DE POÇOS”

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção trata de um método de remoção de artefatos (ruídos) em imagens de poço do tipo ultrassônico capaz de preservar a informação geológica e litológica presente no mesmo.

Descrição do Estado da Técnica

[0002] A caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos é uma tarefa de vital importância para a petrofísica no referente à determinação da viabilidade de exploração de uma bacia ou um poço reservatório. É com este fim que diversos dados são obtidos do solo do reservatório, de forma que as características geológicas, litológicas e físicas do entorno da possível localização do mesmo possam ser mapeadas. Dentre os diversos mecanismos de caracterização geológica e obtenção de dados petrofísicos de reservatórios, destaca-se a perfuração de poços de perfilagem de reservatório.

[0003] Estes poços são criados mediante perfuração direta do solo na localização do reservatório (prévia análise de dados sísmicos, de gravitometria e/ou outros para determinação do local com maior probabilidade de conter hidrocarbonetos), e estão destinados à medição de propriedades petrofísicas e geológicas do mesmo (e não à extração de hidrocarboneto em si). Para dita perfuração é necessário o uso de perfuradoras e brocas especiais, as quais incorporam diversos sistemas telemétricos destinados a monitorar variáveis físicas que interferem no processo de perfuração (temperatura, pressão, etc.).

[0004] Durante a própria perfuração de poços é comum utilizar ferramentas para mapear diversas propriedades físicas da parede e de um certo grau de profundidade dentro da parede do poço. As propriedades mais comumente mapeadas são as nucleares relacionadas com a radiação natural das formações do reservatório (raios-gama, porosidade de neutrão, radioatividade natural, espectroscopia de raio-gama, etc.), propriedades elétricas (potencial

espontâneo, resistividade, propagação eletromagnética), respostas ao estímulo de ressonância magnética (RMN) e propriedades acústicas.

[0005] Dentre todas estas ferramentas, destaca-se a de obtenção de imagens de impedância acústica da parede do poço. Este tipo de ferramenta permite a geração de imagens que capturam propriedades mecânicas do reservatório e do poço perfurado. Estas propriedades mecânicas estão relacionadas com características tais como a densidade, o empacotamento, a geologia e a litologia das formações mapeadas, dentre outras.

[0006] Devido ao custo de operação de utilização destas ferramentas, é comum utilizar ferramentas que permitam realizar o mapeamento de mais de uma propriedade ao mesmo tempo. Alguns desses instrumentos, como é o caso da ferramenta de obtenção de imagens de resistividade elétrica de poço, contém elementos de estabilização da posição que permitam garantir que a ferramenta sempre se encontre em uma determinada posição específica (ou a uma distância absoluta ou relativa específica em função do centro da própria ferramenta) da parede do poço, de forma que a qualidade da medida possa ser garantida.

[0007] Estes elementos estabilizadores necessariamente entram em contato com a parede do poço. Dependendo do tipo de litologia presente na formação, é comum que os mesmos deixem marcas na parede do poço, os quais podem ser observados em dados de imagem obtidos posteriormente por outras ferramentas, tais como a de imageamento de impedância acústica.

[0008] Ditas marcas são nocivas para o dado de imagem capturado nessas ferramentas, já que introduzem no mesmo informação que não está relacionada com as propriedades geológicas e litológicas a serem mapeadas pela ferramenta. Esta informação, na realidade, acaba mascarando a informação relevante sobre a formação, muitas vezes fazendo com que a interpretação das propriedades de certas regiões do dado seja extremamente complicada e controversa.

[0009] patente norte-americana US 20140205201A1, de titularidade de Schlumberger Technology, e intitulada “*Cyclic noise removal in borehole*

imaging", descreve um método de remoção de ruído cíclico, não especificamente de patins verticais, mediante a aplicação de um filtro no espaço 2D de Fourier. Este método se baseia na caracterização e modelização manual do ruído (artefatos) no espectro de potência das imagens, o que faz com que ele não possa ser considerado um método de caracterização automática de patins, como proposto neste documento.

[0010] O documento US9250060B2 revela um sistema de tomografia de coerência óptica com correção de artefatos e saturação em tempo real que inclui uma unidade de tomografia de coerência óptica, e um sistema de processamento e visualização de sinais adaptado para comunicar com a unidade de tomografia de coerência óptica, a fim de receber os sinais de imagem dela provenientes.

[0011] O documento US4935904A revela um método para remover os artefatos gerados nos limites sintéticos e reais em dados sísmicos. Após o processamento dos dados sísmicos, os artefatos indesejáveis gerados nos limites aparecem na seção sísmica final. Para remover este ruído indesejável da seção, são adicionados zeros ao limite inferior da seção sísmica, empurrando essencialmente as fontes do ruído para baixo no tempo, na seção.

[0012] O documento US6215841B1 revela um sistema de redução de artefatos na formação de imagens tridimensionais. Mais especificamente, é utilizado um algoritmo de geração de imagem 3D para gerar um perfil de contorno composto do objeto. Numa encarnação, o perfil de limite composto é determinado através da seleção de um nível de intensidade limite adequado.

[0013] O documento US9245320B2 revela métodos e sistemas para a correção de artefatos em processos de reconstrução iterativos. Sendo aplicados esquemas de ponderação de modo a que menos do que todos os dados de varrimento ou projeção disponíveis sejam utilizados na reconstrução iterativa. Desta forma, as inconsistências nos dados em reconstrução podem ser reduzidas.

[0014] Ambas as anterioridades apresentadas revelam tecnologias para redução/remoção de ruídos em imagens geradas pela coleta de dados, porém,

nenhuma delas é aplicada diretamente em remoção de marcas e artefatos de patins em imagens ultrassônicas de poços de reservatórios. Além do estado da técnica apresentado, métodos anteriores fazem uso de uma ferramenta adicional a ser inserida no poço para a exclusiva detecção das formações durante a perfuração.

[0015] Diante das dificuldades presentes no estado da técnica citado acima, e para soluções de caracterização e remoção automática de artefatos de patins em imagens ultrassônicas de poços, surge a necessidade de desenvolver uma tecnologia capaz de performar de maneira eficaz e que esteja em acordo com as diretrizes ambientais e de segurança. O estado da técnica citado acima não possui as características únicas que serão apresentadas detalhadamente a seguir.

Objetivo da invenção

[0016] É um objetivo da invenção fornecer um método de remoção automática de artefatos de marcas de patins a partir de imagens de poços reservatórios.

[0017] É ainda um objetivo da invenção não fazer uso de nenhuma outra ferramenta de poço, de forma que não supõe nenhum custo extra ao projeto exploratório.

[0018] É ainda um objetivo da invenção proporcionar ao especialista na análise de dados de reservatório a capacidade de recuperar a informação geológica e litológica relevante das imagens que são mascaradas pelos próprios artefatos, contribuindo assim para a melhora da qualidade dos resultados obtidos na própria análise e no processo de caracterização de reservatório.

Descrição Resumida da Invenção

[0019] A presente invenção apresenta um método de caracterização e remoção automática de marcas e artefatos de patins em imagens ultrassônicas de poços de reservatórios. O método demonstra a efetividade da caracterização automática deste ruído e de sua remoção mediante a modelização de um sinal de onda quadrada bidimensional, periódico no eixo angular da imagem e inclui:

A obtenção da curva média de espectro de potência unidimensional da imagem de poço para a detecção automática do pico de resposta frequencial do ruído dos artefatos; A derivação dos parâmetros geométricos do sinal dos artefatos mediante o pico frequencial estimado na etapa anterior; A modelização automática do sinal do artefato como onda quadrada periódica mediante os parâmetros obtidos nas etapas anteriores; O processamento da imagem original mediante o filtro do modelo de onda quadrado obtido na etapa anterior.

Breve Descrição dos Desenhos

[0020] A presente invenção será descrita com mais detalhes a seguir, com referência às figuras em anexo que, de uma forma esquemática e não limitativa do escopo inventivo, representam exemplos de realização da mesma. Nos desenhos, têm-se:

- A Figura 1 ilustra um exemplo do método de detecção automática de período de repetição de patins, etapa necessária para a modelização automática do filtro e a caracterização dos artefatos;
- A Figura 2 ilustra um detalhe da modelização de um pulso quadrado com amplitude unidade, entre o intervalo [-b, +b];
- A Figura 3 ilustra o processo pelo qual os artefatos de patins que aparecem nas imagens ultrassônicas analisadas podem ser modelizados utilizando uma onda quadrada periódica no eixo angular (horizontal) da parede do poço, repetida verticalmente por uma certa profundidade;
- A Figura 4 ilustra um exemplo da resposta frequencial de um filtro gerado mediante a técnica proposta neste documento, para um caso específico de composição de artefatos de patins. A magnitude é mostrada em cima e a fase embaixo;
- A Figura 5 ilustra quatro exemplos do resultado final do método, onde é possível visualizar a imagem original com os artefatos, ao lado do dado processamento mediante o método, com os artefatos removidos e a informação geológica preservada.

Descrição Detalhada da Invenção

[0021] Abaixo segue descrição detalhada de uma concretização preferida da presente invenção, de cunho exemplificativo e de forma nenhuma limitativo. Não obstante, ficará claro para um técnico no assunto, a partir da leitura desta descrição, possíveis concretizações adicionais da presente invenção ainda compreendidas pelas características essenciais e opcionais abaixo.

[0022] A presente invenção proporciona um novo método para superar as limitações do estado da técnica para a remoção de ruído de artefatos por marca de patins em imagens de impedância ultrassónica em poços de reservatórios. Além disso, também introduz um método de caracterização e modelização automática deste tipo de ruído. Segue a continuação a descrição detalhada do método aqui apresentado, mediante exemplificação fazendo referência às figuras.

[0023] Devido ao fato de o método ser baseado em dados de imagem que usualmente são obtidos em manobras de perfuração de poço, faz com que não seja necessário o uso de recursos adicionais para a realização desta tarefa.

[0024] O método aqui apresentado utiliza dados de imagem de impedância acústica como entrada para caracterizar o ruído dos artefatos de marcas de patins, mediante a modelização automática destes artefatos como uma onda quadrada periódica no eixo horizontal. Essa modelização permite a remoção específica do ruído das marcas mediante a filtragem da equação do modelo e a imagem original.

[0025] Este método pressupõe a realização de um carregamento do dado a ser processado, por qualquer método. Usualmente esse dado é armazenado em arquivos no formato DLIS ou LAS. Não é objetivo deste método a descrição do método utilizado para leitura/modificação/escritura deste tipo de arquivos, mas é importante considerar que será necessária esta etapa prévia de importação de dado para a utilização do método. O método requer as seguintes etapas:

Etapa 1

[0026] Obtenção automática do valor de período das marcas de patins. Esta etapa só deverá ser aplicada em dado com varrimento azimutal completo, isto é,

em dado que tenha sido obtido depois de varrer os 360° da parede do poço e não apenas uma porção desta. Com este fim será necessário obter a magnitude do espectro unidimensional da transformada de Fourier de cada uma das linhas da imagem de entrada. Uma vez os espectros calculados, será necessário calcular a média por frequência para todos as linhas, obtendo assim a média do espectro unidimensional pra todas as linhas da imagem. A localização do pico nesta distribuição caracteriza a frequência das marcas dos patins. Este processo é exemplificado na figura 1, e o cálculo pode ser realizado mediante a aplicação da equação (1):

$$\omega_x = \underset{\forall x}{\operatorname{argmax}} \left| \frac{1}{N_y} \sum_{n=0}^{N_y-1} fft_{1D}(I_n) \right| \quad (1)$$

onde I representa a imagem de impedância acústica a ser processada, n é o índice da linha da imagem (de 0 até o tamanho total de linhas menos 1), N_y representa o número total de linhas da imagem, x representa os índices angulares da imagem (número de colunas da imagem) e ω_x representa a frequência de repetição dos patins.

Etapa 2

[0027] Modelização dos artefatos de patins como onda quadrada periódica no eixo azimutal. Um pulso quadrado com amplitude unitária no intervalo fechado [-b, +b], como mostrado na figura 2, pode ser expresso segundo a equação (2):

$$f_x = \begin{cases} 1 & -b \leq x \leq +b \\ 0 & outro\ valor\ de\ x \end{cases} \quad (2)$$

onde f representa a equação que define a amplitude do pulso.

[0028] A figura 3 mostra como é possível utilizar a definição mostrada em (2) para definir uma onda quadrada como a somatória infinita de pulsos quadrados espaçados um certo valor constante, como expressado segundo a equação (3):

$$g_{x,y} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f\left(x - \frac{2bk}{D}, y\right) \quad (3)$$

onde $g_{x,y}$ representa a equação que define a amplitude da onda quadrada periódica em x, f vem dado pela equação (2), x representa os índices angulares da imagem (número de colunas da imagem), y representa os índices verticais (número de linhas da imagem), k é o índice de cada um dos pulsos que

conformam o sinal (teoricamente de -∞ até +∞) e D representa a proporção entre o espaçamento entre os pulsos e o tamanho do pulso, também denominado "*duty cycle*" (uma onda quadrada perfeita com igual espaçamento tem um valor D = 0.5).

[0029] Mediante a aplicação da transformada discreta de Fourier é possível obter a equação equivalente, no espaço frequencial, de (3), que vem dada pela equação (4):

$$H_{\omega_x,\omega_y} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sin\left(\omega_x D \frac{N}{N_p}\right)}{\omega_x} \sum_{k=0}^{N_p-1} e^{-j\omega_x \frac{N}{N_p}\left(\frac{D}{2}+k\right)} \delta(\omega_y) \quad (4)$$

onde H_{ω_x,ω_y} representa a equação que define a onda quadrada bidimensional dada por (3) no espaço frequencial definido por ω_x e ω_y (componentes frequenciais horizontais e verticais, respectivamente), e N_p é o número de patins, o qual pode ser calculado a partir do tamanho da imagem (número de colunas) e a frequência dos patins obtida segundo (1).

[0030] O valor de D é uma constante para todo o poço que depende da ferramenta utilizada. Esta informação é acessível mediante os catálogos das ferramentas oferecidos pelos fabricantes das mesmas e pode ser derivado a partir das informações sobre dita ferramenta obtidas durante a importação do dado. O valor pode também ser modificado pelo usuário no momento de aplicação do método e, em caso de indeterminação, pode ser considerado D = 0,5.

[0031] Um exemplo da resposta frequencial do filtro definido na equação (4) pode ser vista na figura 4. Nesta figura, a parte superior mostra a magnitude desta resposta, enquanto que a parte inferior mostra a fase.

Etapa 3

[0032] Aplicação do filtro mediante a multiplicação do modelo da onda (4) e a transformada de Fourier bidimensional da imagem de entrada.

Etapa 4

[0033] Obtenção da imagem final processada mediante a aplicação da transformada de Fourier bidimensional inversa no resultado obtido na Etapa 3 A

figura 5 mostra um exemplo real do resultado obtido mediante o processamento por este método em imagens de impedância ultrassônica de poços de reservatório. Nela, os dados originais são mostrados em 5.1, 5.3, 5.5 e 5.7; enquanto os dados processados, após a aplicação do método aqui mostrado aparecem em 5.2, 5.4, 5.6 e 5.8, respectivamente.

[0034] A invenção aqui revelada é capaz de ser aplicada a uma ferramenta que realiza medições de amplitude por um transdutor de emissão e recepção de ondas ultrassônicas. É ainda capaz de ser aplicada a poços de sondagem para qualquer tipo de reservatório e sem revestimento.

[0035] Os versados na arte valorizarão imediatamente os importantes benefícios decorrentes do uso da presente invenção. Esse método não requer o uso de nenhuma outra ferramenta de poço, de forma que não supõe nenhum custo extra ao projeto exploratório. Além disso, a capacidade de recuperação da informação geológica e litológica mascarada pelos artefatos de patins devido à utilização de outras ferramentas de mapeamento de propriedades de poço, aumenta não só a usabilidade do dado em métodos automáticos (como, por exemplo, aplicação do dado para processos de caracterização, classificação, uso de redes neurais, detectores de textura, etc.), mas também melhora a robustez e a confiabilidade dos resultados e das informações que podem ser concluídas e extraídas dos mesmos pelos especialistas que os analisam.

Reivindicações

1- MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO E REMOÇÃO AUTOMÁTICA DE ARTEFATOS DE PATINS EM IMAGENS ULTRASSÔNICAS DE POÇOS caracterizado por compreender as seguintes etapas:

Etapa 1) Obtenção automática do valor de período das marcas de patins;

Etapa 2) Modelização dos artefatos de patins;

Etapa 3) Aplicação de um filtro;

Etapa 4) Obtenção da imagem final processada.

2- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela Etapa 1 só ser aplicada em dado com varrimento azimutal completo, depois de varrer os 360° da parede do poço.

3- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por adicionalmente obter a magnitude do espectro unidimensional da transformada de Fourier de cada uma das linhas da imagem de entrada.

4- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado por calcular a média por frequência para todos as linhas, obtendo assim a média do espectro unidimensional pra todas as linhas da imagem.

5- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pela Etapa 2 ser uma onda quadrada periódica no eixo azimutal, um pulso quadrado com amplitude unitária no intervalo fechado [-b, +b].

6- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por definir uma onda quadrada como a somatória infinita de pulsos quadrados espaçados de um certo valor constante.

7- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por aplicar a transformada discreta de Fourier na onda quadrada.

8- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por, na Etapa 3, aplicar um filtro mediante a multiplicação do modelo da onda e a transformada de Fourier bidimensional da imagem de entrada.

9- MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por, na Etapa 4, obter a imagem final processada mediante a aplicação da transformada de Fourier bidimensional inversa no resultado obtido na Etapa 3.

10- MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por ser aplicado a uma ferramenta que realiza medições de amplitude por um transdutor de emissão e recepção de ondas ultrassônicas.

11- MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações anteriores, caracterizado por aplicado a poços de sondagem para qualquer tipo de reservatório e sem revestimento.

Figura 1

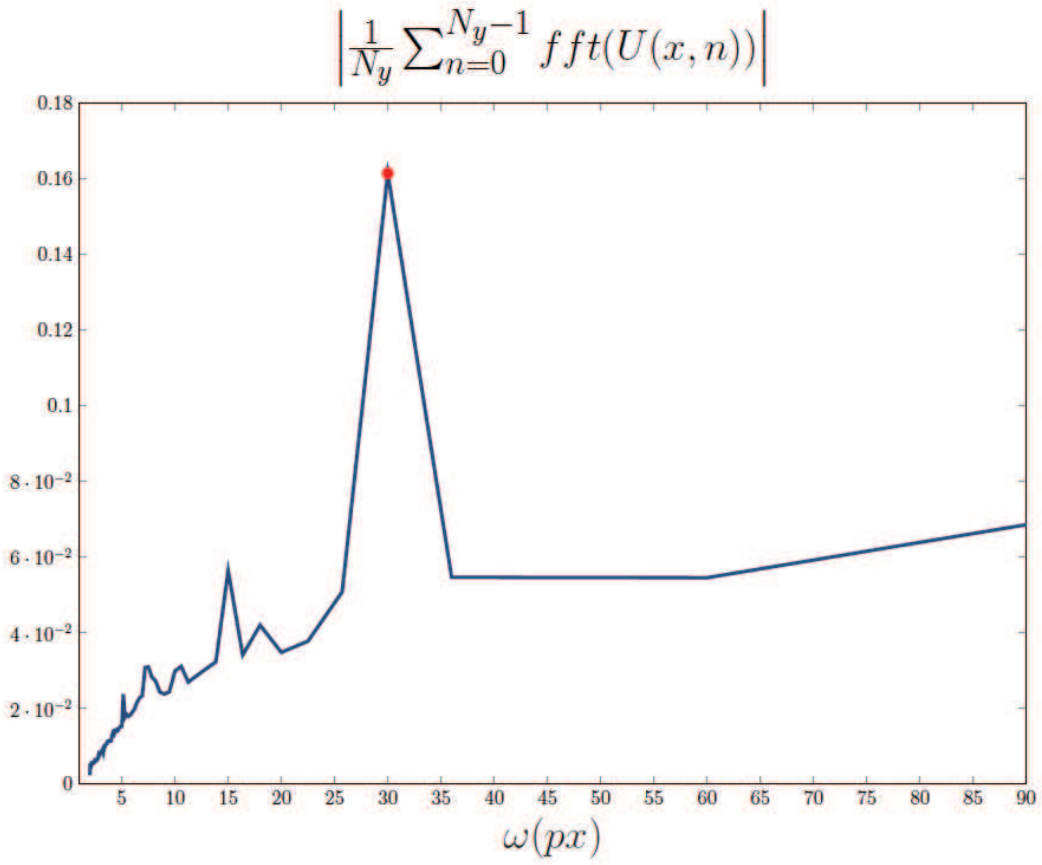


Figura 2

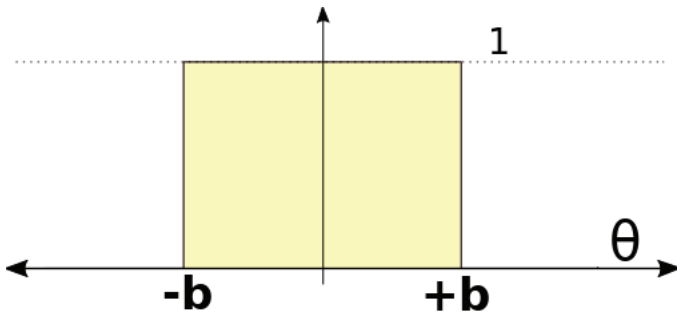


Figura 3

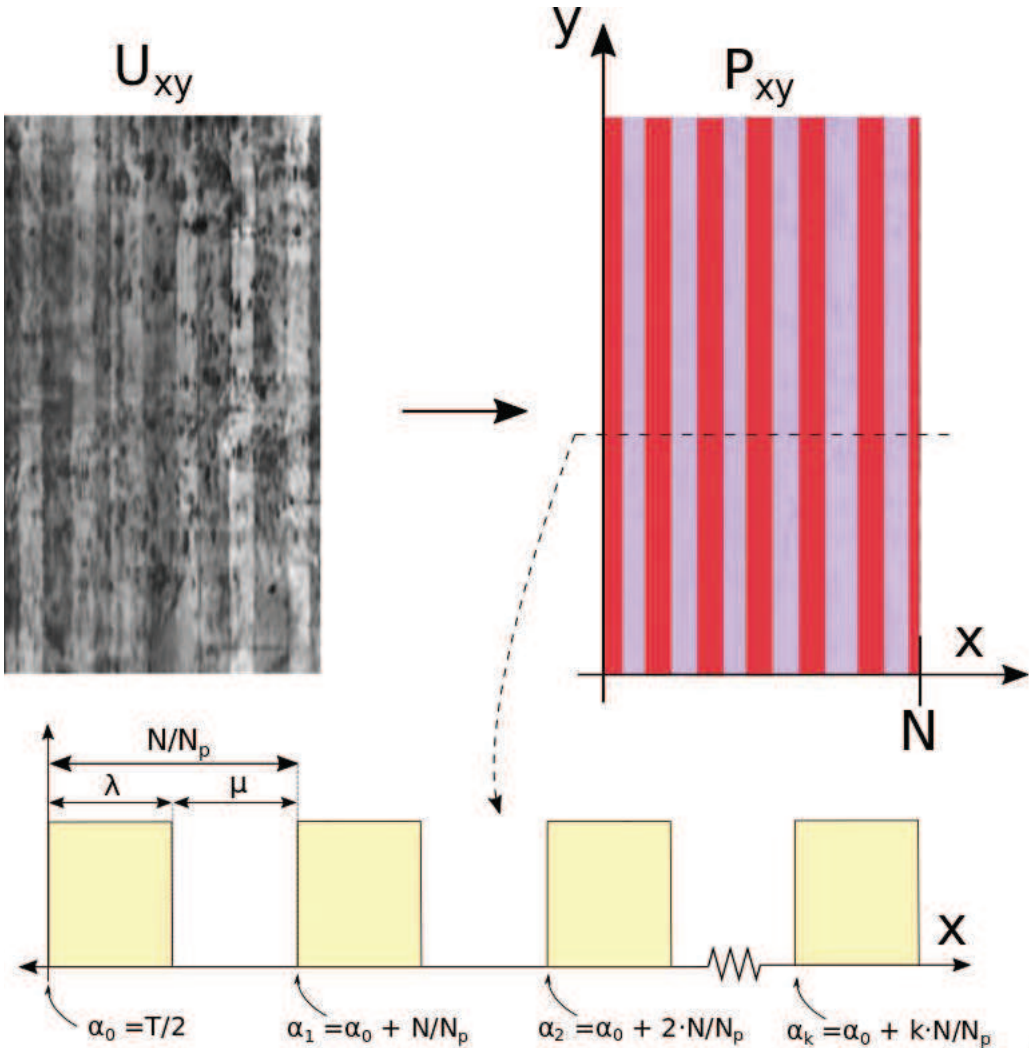


Figura 4

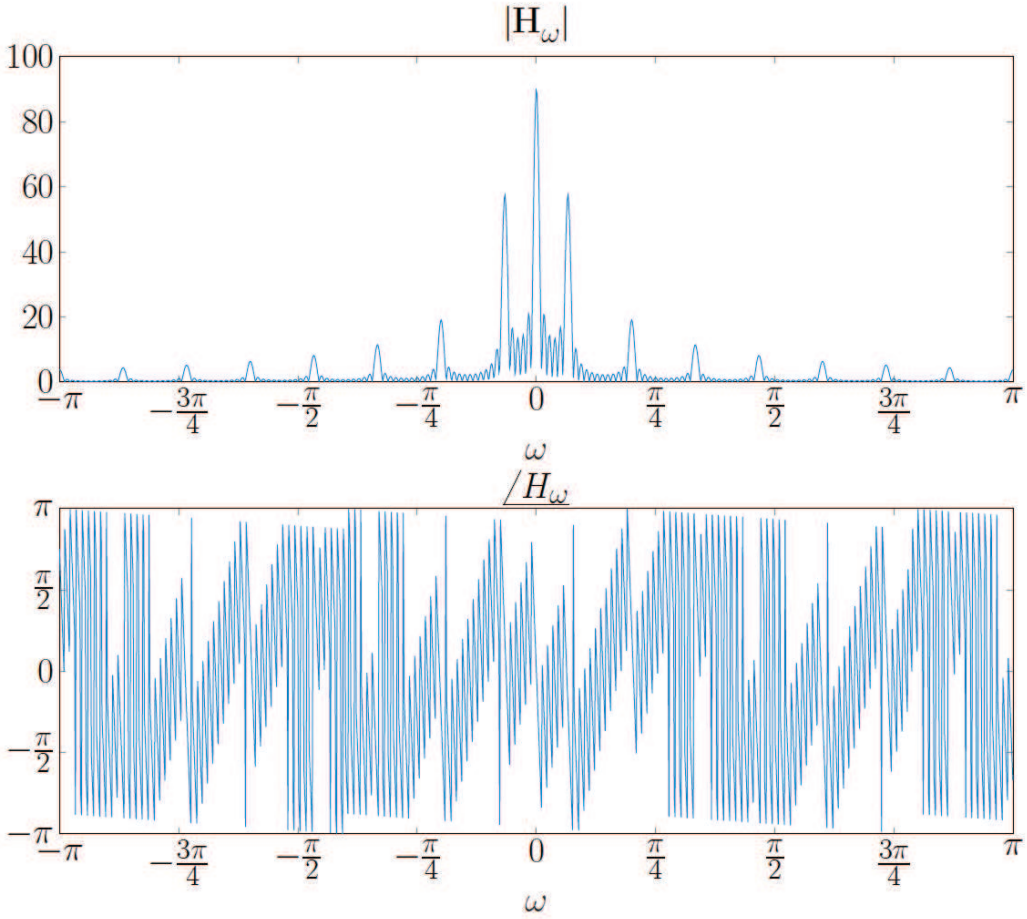
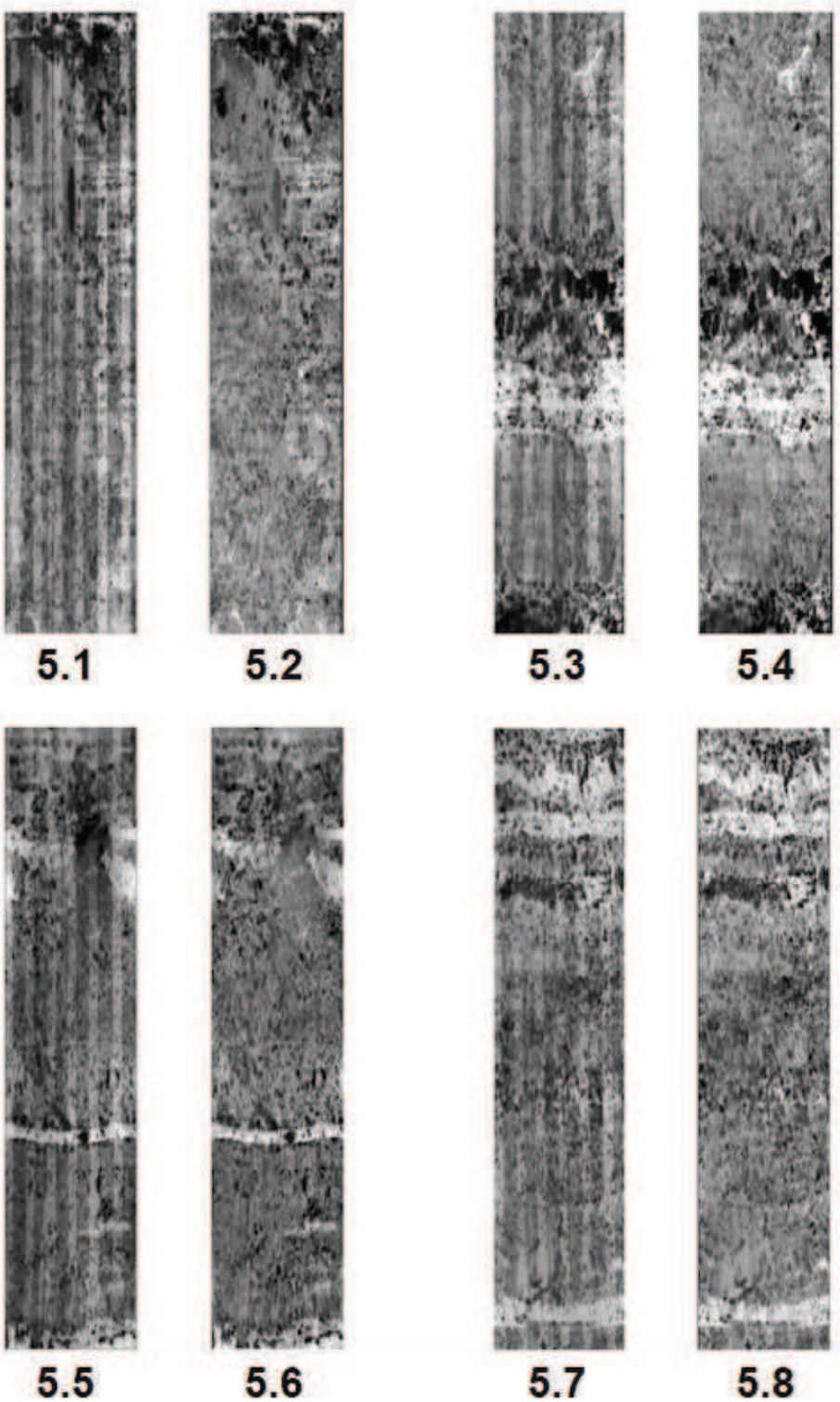

$|H_\omega|$
100
80
60
40
20
0
$-\pi$
$-\frac{3\pi}{4}$
$-\frac{\pi}{2}$
$-\frac{\pi}{4}$
0
$\frac{\pi}{4}$
$\frac{\pi}{2}$
$\frac{3\pi}{4}$
π
ω
$\angle H_\omega$
π
$\frac{\pi}{2}$
0
$-\frac{\pi}{2}$
$-\pi$
$-\pi$
$-\frac{3\pi}{4}$
$-\frac{\pi}{2}$
$-\frac{\pi}{4}$
0
$\frac{\pi}{4}$
$\frac{\pi}{2}$
$\frac{3\pi}{4}$
π
ω

Figura 5



Resumo

“MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO E REMOÇÃO AUTOMÁTICA DE ARTEFATOS DE PATINS EM IMAGENS ULTRASSÔNICAS DE POÇOS”

A presente invenção apresenta um método de caracterização e remoção automática de marcas e artefatos de patins em imagens ultrassônicas de poços de reservatórios. O método demonstra a efetividade da caracterização automática deste ruído e de sua remoção mediante a modelização de um sinal de onda quadrada bidimensional, periódico no eixo angular da imagem e inclui: A obtenção da curva média de espectro de potência unidimensional da imagem de poço para a detecção automática do pico de resposta frequencial do ruído dos artefatos; A derivação dos parâmetros geométricos do sinal dos artefatos mediante o pico frequencial estimado na etapa anterior; A modelização automática do sinal do artefato como onda quadrada periódica mediante os parâmetros obtidos nas etapas anteriores; O processamento da imagem original mediante o filtro do modelo de onda quadrado obtido na etapa anterior.