



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

(21) BR 102018009637-0 A2



(22) Data do Depósito: 11/05/2018

(43) Data da Publicação Nacional: 26/11/2019

(54) **Título:** MÉTODO DE DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE BREAKOUTS A PARTIR DE IMAGENS DE POÇOS RESERVATÓRIOS

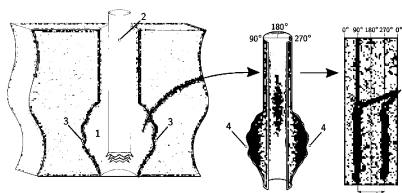
(51) **Int. Cl.:** G01V 1/50.

(52) **CPC:** G01V 1/50.

(71) **Depositante(es):** CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS-CBPF.

(72) **Inventor(es):** MARCELO PORTES DE ALBUQUERQUE; MANUEL BLANCO VALENTÍN; ELISANGELA LOPES DE FARIA; MAURY DUART CORREIA; MARCIO PORTES DE ALBUQUERQUE; LUCIANA OLIVIA DIAS; CLÉCIO ROQUE DE BOM.

(57) **Resumo:** A presente invenção descreve um método de detecção automática de breakouts em poços reservatórios a partir de dados de imagem de alta resolução de sondas ultrassônicas. O método demonstra a efetividade de caracterizar breakouts como regiões de alto ruído local em imagens de tempo de trânsito e inclui: O processamento da imagem de tempo de trânsito mediante um filtro de desvio padrão bidimensional; O processamento da imagem resultante mediante um filtro gaussiano bidimensional; A binarização da imagem resultante em regiões de candidatos de breakouts e regiões de fundo; A determinação das propriedades geométricas de cada um dos objetos das regiões de candidatos de breakouts segmentadas; A busca de pares de candidatos dentre todas as possíveis combinações de objetos segmentados que atendam os critérios que definem um par-breakout; A obtenção de uma imagem final segmentada com os pares-breakouts detectados e suas propriedades geométricas; Opcionalmente, a determinação das propriedades volumétricas dos objetos detectados a partir do dado original de tempo de trânsito.



Método de Detecção e Caracterização Automática de Breakouts a partir de Imagens de Poços Reservatórios

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção trata de um método de caracterização de imagens de poços reservatórios visando a identificação de breakouts nas mesmas.

Antecedentes da Invenção

[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 gravimetria 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] A perfuração do solo pela broca provoca uma distribuição de tensões de estresse mecânico na parede do poço. Tensões anulares que superem o limite mecânico da rocha do poço (que depende das características físicas e litológicas do material que conforma a parede do poço), ou um crescimento excessivo da temperatura provocado pela perfuração, poderá provocar o desprendimento de partes do material rochoso da parede. As estruturas formadas por esta ausência de materiais na parede do poço causada pelo

excesso de estresse mecânico aplicado durante a perfuração são conhecidas como Breakouts.

[0005] Usualmente, Breakouts aparecem em pares e no mesmo eixo devido à simetria na distribuição de tensões anulares na parede do poço inerente ao próprio processo de perfuração. Isto significa que, em imagens de poços de reservatório (imagens azimutais da parede do poço, onde uma certa propriedade é mensurada a cada profundidade e ângulo de rotação), pares de Breakouts tendem a aparecer separados 180° (ou π radianos). Um exemplo de ferramenta de obtenção de imagens de um poço de reservatório onde um par breakout foi formado, assim como sua representação bidimensional, é mostrado na FIG 1. Em condições de distribuições anisotrópicas de tensão é possível encontrar separações angulares entre os pares de breakouts com desvios referente a estes valores.

[0006] Durante a própria perfuração de poços é comum utilizar ferramentas de imageamento para detectar breakouts e outro tipo de formações induzidas pelas tensões da operação de perfuração. Esta detecção *in-situ* de Breakouts permite tomar medidas de prevenção pra que outros possíveis se formem no resto da operação, evitando perfurar de forma agressiva em regiões com material rochoso não consolidado, de forma que a estabilidade do poço seja mantida. Esse método, no entanto, não se destina a detectar os breakouts durante a perfuração, e sim após a perfuração do poço.

[0007] A detecção realizada após a perfuração do poço também é importante devido ao impacto que estas formações têm nos dados obtidos e, por conseguinte, em qualquer análise que se faça a partir deles. Um dos tipos de dados mais afetados por estas formações são as imagens ultrassônicas de alta resolução, as quais capturam a impedância acústica da parede do poço. Regiões onde breakouts foram gerados são claramente distorcidas pelo efeito destas estruturas, como pode ser verificado na FIG 2. Existem diversas análises e processos que permitem extrair informação geológica destas imagens. No entanto, breakouts causam erros e distorções nos resultados obtidos nestes

métodos, de forma que é necessário detectá-los para não levá-los em conta ou compensá-los nos mesmos.

[0008] Atualmente, a detecção de breakouts em imagens de poço é realizada de forma aproximada, muitas vezes mediante a seleção manual por parte do analista, o que além de consumir tempo de especialista e recursos, não permite obter resultados precisos.

[0009] Neste documento é apresentado um novo método de detecção automática de breakouts a partir de imagens de tempo de trânsito de poços reservatórios. Devido ao fato do 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, a diferença de outros métodos anteriores que requeriam o uso de uma ferramenta adicional a ser inserida no poço para a exclusiva detecção das formações durante a perfuração. Além disso, o método demonstra a efetividade em caracterizar breakouts como regiões de alto ruído local em imagens de tempo de trânsito.

[00010] No atual estado da técnica, não foram encontrados documentos que antecipem tal método de detecção automática de breakouts a partir de imagens de poços reservatórios, nem que sugiram o escopo da mesma.

[00011] A patente norte-americana US 008965701B2, de titularidade de Baker Hughes Incorporated, e intitulada “System and Method for automatic detection and analysis of borehole breakouts from images and the automatic generation of alerts”, descreve um método e uma ferramenta de monitoramento de formação de breakouts durante a perfuração do poço reservatório, assim como um método de geração de alertas automáticos para evitar o colapso da parede do poço por excesso de tensão ou outros fatores. Conforme dito anteriormente, tal método requer custos adicionais e é realizado durante a perfuração do poço.

[00012] Assim, fica claro que o estado da técnica carece de um método automático de identificação de breakouts em imagens ultrassônicas. 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 tarefa de

detecção de breakouts, que hoje em dia é feita manual e imprecisamente desperdiçando tempo de geólogos e analistas, pode ser realizada de forma muito mais rápida, eficiente e precisa mediante a utilização desse método.

Breve descrição dos desenhos

[00013] A FIG. 1 mostra um exemplo de ferramenta de perfuração **2** entrando em uma formação rochosa **1** na qual foi induzida a geração de breakouts devido à própria operação de perfuração **3**. A representação tridimensional da parede do poço **1** obtida por uma ferramenta de imageamento de tempo de trânsito é mostrada ainda na FIG. 1, onde se apreciam as formações Breakouts mais claramente **4**;

[00014] A FIG. 2 mostra um exemplo de fragmento de Perfil de Imagem Ultrassônica de uma região de poço que apresenta Breakouts (formações escuras e alongadas na imagem);

[00015] A FIG. 3 apresenta a aplicação do Passo 1 do método a um exemplo de dado ultrassônico de Tempo de Trânsito. **3.1** mostra o dado original. **3.2** mostra a repetição horizontal do dado antes do processo de filtragem.

[00016] A FIG. 4 apresenta uma exemplificação do tratamento das imagens pelos passos 2, 3 e 4, onde **4.1** é o dado original e **4.2** é o dado processado pelo filtro de desvio padrão, **4.3** é o resultado suavizado pelo filtro gaussiano e **4.4** é a imagem binarizada.

[00017] A FIG. 5 mostra um exemplo do resultado final do método, onde é possível visualizar a imagem segmentada **5.2** a partir do dado original **5.1**. Em **5.2** cada formação detectada é representada por uma cor diferente.

Sumário da invenção

[00018] A presente invenção descreve um método de detecção automática de breakouts em poços reservatórios a partir de dados de imagem de alta resolução de sondas ultrassônicas. O método demonstra a efetividade de caracterizar breakouts como regiões de alto ruído local em imagens de tempo de trânsito e inclui: O processamento da imagem de tempo de trânsito mediante

um filtro de desvio padrão bidimensional; O processamento da imagem resultante mediante um filtro gaussiano bidimensional; A binarização da imagem resultante em regiões de candidatos de breakouts e regiões de fundo; A determinação das propriedades geométricas de cada um dos objetos das regiões de candidatos de breakouts segmentadas; A busca de pares de candidatos dentre todas as possíveis combinações de objetos segmentados que atendam os critérios que definem um par-breakout; A obtenção de uma imagem final segmentada com os pares-breakouts detectados e suas propriedades geométricas; Opcionalmente, a determinação das propriedades volumétricas dos objetos detectados a partir do dado original de tempo de trânsito.

Descrição Detalhada da Invenção

[00019] A presente invenção proporciona um novo método para superar as limitações do estado da técnica para a caracterização de imagens de tempo de trânsito de poços reservatórios. Segue a continuação a descrição detalhada do método aqui apresentado, mediante exemplificação fazendo referência às figuras.

[00020] O método aqui apresentado utiliza dados de imagem de tempo de trânsito como entrada para detectar a localização (centroide), área, orientação, perímetro e excentricidade (dentre outras propriedades geométricas) de cada estrutura. Neste método, as formações breakouts são identificadas como regiões de alta concentração local de ruído em imagens ultrassônicas de tempo de trânsito. Também é possível obter uma estimativa do volume total de cada estrutura mediante a estimativa da velocidade do som no fluido de perfuração e a curva de caliper.

[00021] A FIG. 1 mostra um exemplo de ferramenta de perfuração **2** entrando em uma formação rochosa **1** na qual foi induzida a geração de breakouts devido à própria operação de perfuração **3**. A representação tridimensional da parede do poço **1** obtida por uma ferramenta de imageamento de tempo de trânsito é mostrada ainda na FIG. 1, onde se apreciam as formações Breakouts mais

claramente **4**. Nosso método utiliza processamento bidimensional, de forma que o dado 3-D é transformado em dado bidimensional, no qual os Breakouts aparecem como regiões escuras e proeminentes **5**, separadas aproximadamente 180°.

[00022] 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 necessário este passo prévio de importação de dado para a utilização do método.

[00023] Nosso método requer os seguintes passos:

[00024] Passo 1 – Repetição horizontal no total de 3 vezes do dado de tempo de trânsito carregado. Este passo só deverá ser aplicado 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. Este passo garantirá a conservação sem distorção dos valores nas bordas do dado. Tal repetição pode ser averiguada na FIG. 3, onde 3.1 é o dado original e 3.2 é o dado repetido horizontalmente 3 vezes.

[00025] Passo 2 – Aplicação do filtro de desvio padrão bidimensional no dado processado pelo passo anterior. Esse filtro devolverá uma imagem resultante, cujo valor de cada um de seus pixels dependerá do valor de desvio padrão dos pixels do dado inicial em uma certa janela $[\omega, \omega]$. A equação que define o valor final de cada pixel da imagem processada por um filtro de desvio padrão de tamanho $[\omega, \omega]$ pode ser calculado segundo a equação (1)

$$Y_{i,j,\omega} = \sqrt{\frac{1}{\omega^2 - 1} \sum_{k=i}^{i+\omega-1} \sum_{p=j}^{j+\omega-1} (X_{i,j} - \mu_{i,j,\omega})^2} \quad (1)$$

, onde o valor da média para cada pixel e a janela $[\omega, \omega]$ pode ser calculado segundo a equação (2)

$$\mu_{i,j,\omega} = \frac{1}{\omega^2} \sum_{k=i}^{i+\omega-1} \sum_{p=j}^{j+\omega-1} X_{i,j}. \quad (2)$$

[00026] Uma exemplificação deste passo pode ser visualizada na FIG. 4, onde 4.1 é o dado original e 4.2 é o dado processado pelo filtro apresentado no passo

2. A repetição horizontal apresentada no passo 1 foi suprimida para melhor visualização do efeito deste passo.

[00027] Passo 3 – (Opcional) Aplicação de um filtro gaussiano para suavização da imagem processada pelo filtro desvio padrão. Este filtro aplicará uma transformação na imagem que tem por finalidade a melhoria na qualidade dos resultados. A aplicação deste filtro pode eliminar ruído espúrio ainda presente na imagem depois do Passo 2. As características do filtro gaussiano (tamanho, sigma) deverão ser indicadas pelo usuário. A ilustração de imagem com o filtro aplicado pode ser verificada no item 4.3 da FIG. 4

[00028] Passo 4 – Binarização da imagem filtrada pelos passos 2 e 3 em regiões de fundo e estruturas candidatas a breakout, segundo um limiar introduzido pelo usuário. Este limiar estará matematicamente delimitado pelos valores mínimo e máximo da imagem filtrada pelos passos 2 e 3. O resultado deste passo pode ser observado na FIG. 4, item 4.4. Uma vez que Breakouts são formações em proporção minoritária em poços reservatórios (em relação ao resto da parede do poço), pode ser considerado que o fundo (parede do poço, cujas propriedades geológicas é necessário manter) será aquela estrutura cuja área, depois do passo 4, seja maior; enquanto que os breakouts estarão contidos no resto de estruturas detectadas na imagem binarizada. A segmentação das estruturas da imagem binarizada então, passa pela associação de um identificador (número, neste caso) a cada uma das estruturas individuais (separadas, que não conformam uma só unidade) da imagem binarizada categorizadas como não-fundo. Desta forma cada estrutura com alto índice de desvio padrão local (entre as quais encontram-se os candidatos a Breakout) pode ser identificada individualmente.

[00029] Passo 5 – Obtenção das propriedades geométricas de cada estrutura da imagem binarizada. Dentre as propriedades geométricas destacam-se a área, localização espacial do centroide, orientação e excentricidade como algumas das mais importantes.

[00030] Passo 6 – Discriminação de candidatos a pares Breakouts mediante as regras de categorização, as quais são: a) Breakouts devem aparecer em

pares separados a 180° (ou π radianos); b) Pares de Breakouts não podem estar excessivamente separados verticalmente, a saber, um breakout está excessivamente separado do outro quando a distância vertical entre os centroides do par de candidatos for menor ou igual à metade da altura do candidato inicial; c) Breakouts tendem a aparecer com uma orientação de 90° em relação à horizontal da referência da imagem, de forma que eles só podem aparecer com uma orientação dentro de uma certa margem próximo a esse valor (tal margem pode ser definida pelo usuário). Primeiramente, é permitido ao usuário escolher um mínimo de área de breakout. Desta forma, é possível eliminar pequenos objetos, às vezes relacionados com a própria porosidade da rocha do reservatório, que de outra forma prejudicariam o processamento. Posteriormente, cada estrutura candidata a breakout é comparada com todas as possíveis combinações de estruturas candidatas a breakout (a exceção dela mesma) cujos centroides tenham uma distância vertical ao seu próprio centroide inferior à altura do próprio candidato. Dessa forma garante-se que só sejam considerados pares-breakouts aqueles pares de estruturas que se encontrem verticalmente próximas. Dentre as estruturas que cumpram a condição anterior, checa-se quais são aquelas que têm seus centroides separados horizontalmente em torno de 180° do centroide da estrutura original (dentro de uma margem, especificada pelo usuário). Toda estrutura que cumpra com estes requisitos deverá ser considerada como integrante do par-Breakout (um par Breakout pode estar formado por mais de duas formações, caso uma delas apareça fragmentada em mais de uma estrutura, por exemplo). O processo é então repetido para o restante de estruturas, sem incluir a estrutura candidata original e nem aquelas que cumpriram os requisitos.

[00031] Passo 7 – A partir do emparelhamento das estruturas candidatas pode ser obtida uma imagem segmentada onde cada estrutura Par-Breakout é identificada com um distintivo (cor ou número, por exemplo), em contraste entre eles e com o fundo. Uma representação da imagem segmentada **5.2** a partir do dado original **5.1** pode ser observado na FIG. 5. Também é obtida uma tabela

onde da relação das propriedades geométricas mais importantes destas estruturas (área total, orientação, centroide médio, etc.).

[00032] Passo 8 – (Opcional) É possível também obter uma estimativa do volume total de cada Par-Breakout mediante a conversão da imagem de tempo de trânsito em imagem de distância, utilizando uma aproximação do valor da velocidade do som no fluido de perfuração e a curva de caliper. A curva de caliper é utilizada para a determinação da relação entre pixel e área física, no dado de imagem. Desta forma é possível converter os valores de área em pixels obtidos pelo cálculo geométrico, em valores de área em centímetros quadrados. Havendo feito isso é possível estimar o volume de cada formação mediante o uso desta área e a imagem de distância estimada anteriormente, utilizando um método de cálculo de volume aproximado.

[00033] 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 tarefa de detecção de breakouts, que hoje em dia é feita manual e imprecisamente desperdiçando tempo de geólogos e analistas, pode ser realizada de forma muito mais rápida, eficiente e precisa mediante a utilização desse método.

Reivindicações

1. Método de detecção e caracterização automática de breakouts a partir de imagens de poços reservatórios, compreendendo a realização de medição de valores de tempo de trânsito de pulsos acústicos ultrassônicos emitidos em pluralidade de ângulos predefinidos, **caracterizado** por compreender as etapas de: detecção de breakouts mediante a identificação de áreas de alta concentração de ruído; Repetição horizontal no total de 3 vezes do dado de tempo de trânsito carregado; Aplicação do filtro de desvio padrão bidimensional no dado processado pelo passo anterior; Opcionalmente aplicação de um filtro gaussiano para suavização da imagem processada pelo filtro desvio padrão; Binarização da imagem filtrada pelos passos 2 e 3 em regiões de fundo e estruturas candidatas a breakout, segundo um limiar introduzido pelo usuário; Obtenção das propriedades geométricas de cada estrutura da imagem binarizada; Discriminação de candidatos a pares Breakouts mediante as regras de categorização; A partir do emparelhamento das estruturas candidatas pode ser obtida uma imagem segmentada onde cada estrutura Par-Breakout é identificada com um distintivo, em contraste entre eles e com o fundo e Opcionalmente obter uma estimativa do volume total de cada Par-Breakout mediante a conversão da imagem de tempo de trânsito em imagem de distância, utilizando uma aproximação do valor da velocidade do som no fluido de perfuração e a curva de caliper.
2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender a etapa de obtenção de uma imagem resultante de filtro de desvio padrão bidimensional onde as formações de breakouts aparecem destacadas.
3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pela aplicação opcional de um filtro gaussiano para suavização da imagem processada.
4. Método, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 3, **caracterizado** pela binarização da imagem filtrada em regiões de fundo e estruturas candidatas a breakout, segundo um limiar matematicamente delimitado pelos valores mínimo e máximo da imagem filtrada;

5. Método, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 4, **caracterizado** pela segmentação das estruturas identificadas entre candidatos a breakouts e regiões de fundo;
6. Método, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 5, **caracterizado** pela obtenção das propriedades geométricas de cada estrutura encontrada;
7. Método, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 6, **caracterizado** pela discriminação dos candidatos a pares de breakouts seguindo suas regras de categorização;
8. Método, de acordo com qualquer das reivindicações de 1 a 7, **caracterizado** por ser aplicado a uma ferramenta que realiza medições de amplitude e tempo de trânsito por um transdutor de emissão e recepção de ondas ultrassônicas;
9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 8, **caracterizado** por ser aplicado a poços de sondagem para qualquer tipo de reservatório e sem revestimento.

FIGURAS

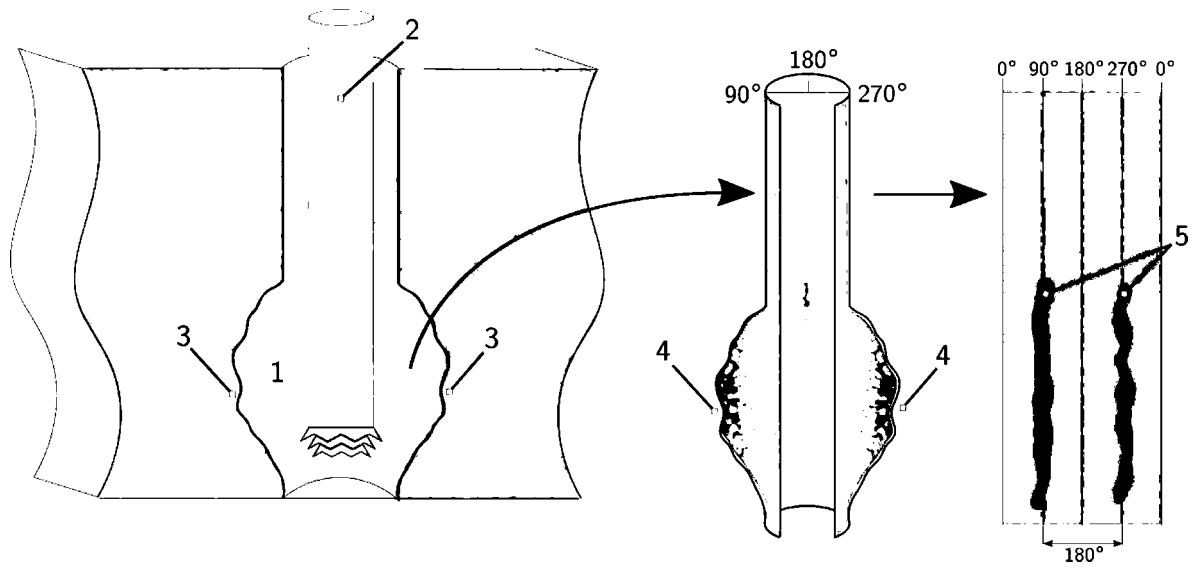


FIG 1.

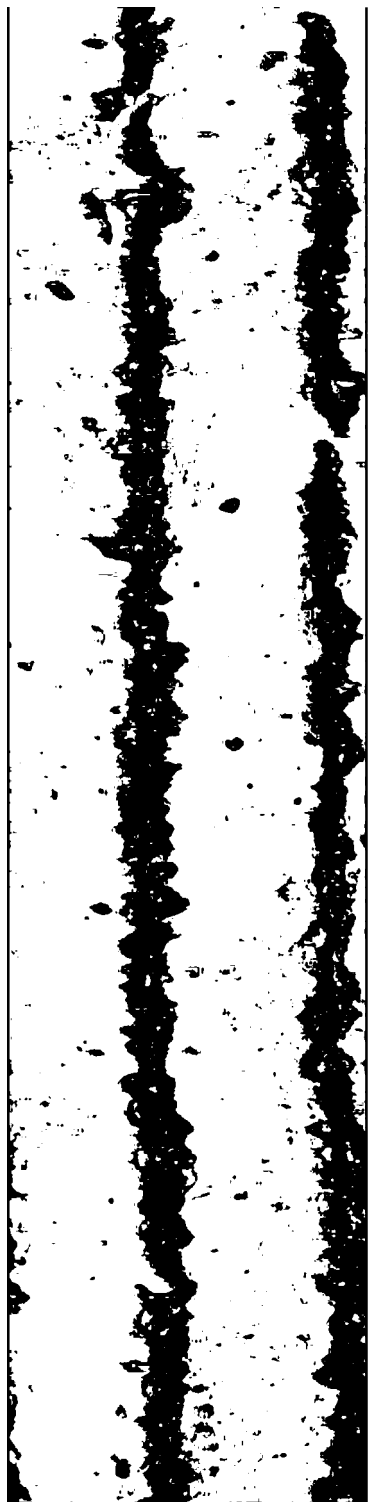
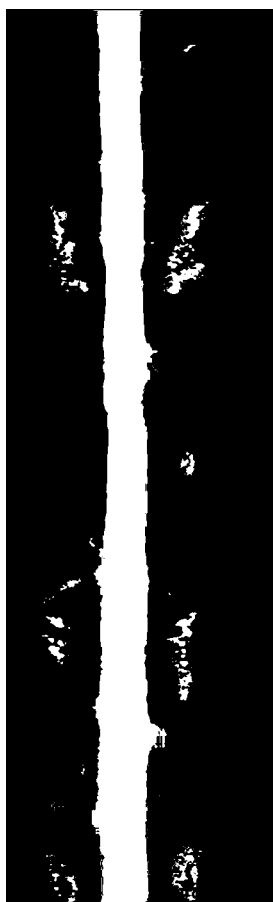


FIG 2



3.1

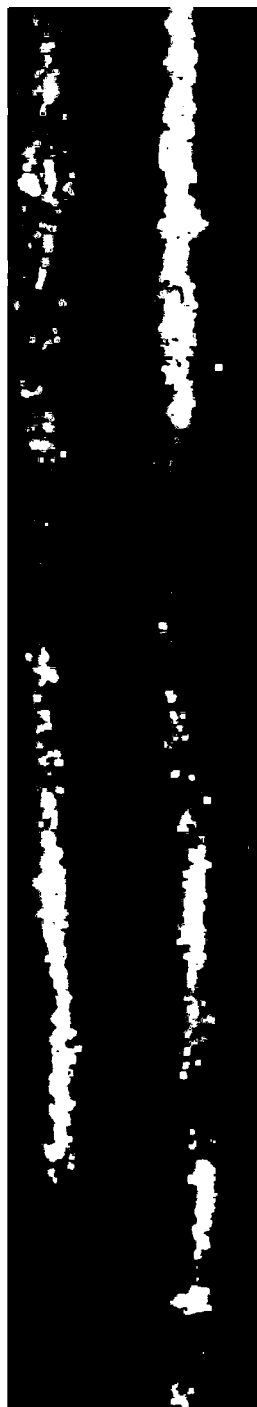


3.2

FIG. 3



4.1



4.2

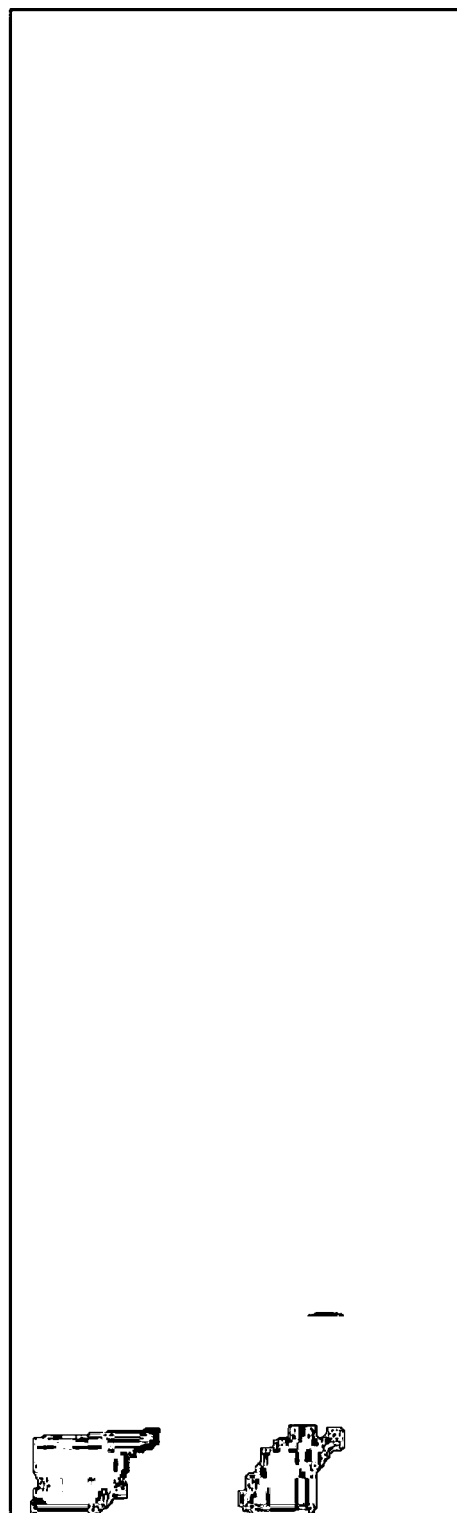


4.3

FIG. 4



5.1



5.2

FIG. 5

Resumo

Método de detecção e caracterização automática de breakouts a partir de imagens de poços reservatórios

A presente invenção descreve um método de detecção automática de breakouts em poços reservatórios a partir de dados de imagem de alta resolução de sondas ultrassônicas. O método demonstra a efetividade de caracterizar breakouts como regiões de alto ruído local em imagens de tempo de trânsito e inclui: O processamento da imagem de tempo de trânsito mediante um filtro de desvio padrão bidimensional; O processamento da imagem resultante mediante um filtro gaussiano bidimensional; A binarização da imagem resultante em regiões de candidatos de breakouts e regiões de fundo; A determinação das propriedades geométricas de cada um dos objetos das regiões de candidatos de breakouts segmentadas; A busca de pares de candidatos dentre todas as possíveis combinações de objetos segmentados que atendam os critérios que definem um par-breakout; A obtenção de uma imagem final segmentada com os pares-breakouts detectados e suas propriedades geométricas; Opcionalmente, a determinação das propriedades volumétricas dos objetos detectados a partir do dado original de tempo de trânsito.