

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA DETECÇÃO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Adriane B. S. Serapião¹, José Ricardo P. Mendes², Kazuo Miura³

INSTITUIÇÃO:

¹DEMAC/IGCE/UNESP – Rio Claro

²DEP/FEM/UNICAMP

³CENPES/PETROBRAS

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

SISTEMA DE VISÃO COMPUTACIONAL PARA DETECÇÃO DE CASCALHO DE PERFURAÇÃO EM POÇOS DE PETRÓLEO

Abstract

This work describes part of an under construction application for implementing a computer vision system for fragment detection in images of drill cuttings produced in the petroleum well drilling operations. In the next step the drill cuttings features will be used for pattern recognition, because the geometric forms can indicate any problem during the well drilling process. In the current stage, it is considered only the segmentation process of the objects (drill cuttings) contained in the image.

Introdução

As atividades de exploração de petróleo geram uma quantidade significativa de resíduos. Entre os diversos tipos de resíduos gerados encontra-se o “cascalho de perfuração”, que é um resíduo proveniente do processo de perfuração de poços de petróleo produzido em grande quantidade (Azar & Sanchez, 1997). O cascalho de perfuração pode ser utilizado, através do monitoramento da sua forma geométrica, para observar o êxito de cada etapa do processo de perfuração de um poço de petróleo.

Na perfuração de poços de petróleo, a eficiência de remoção de sólidos gerados pela broca, principalmente na fase de ganho de ângulo e nos trechos horizontais consiste em um ponto crítico para o sucesso da operação. A limpeza se torna crítica, especialmente em situações em que há: restrições na vazão impostas pelas bombas, limitação por parte dos separadores de sólidos em superfície ou por limites definidos pela janela operacional poros-fratura.

Nestes casos, é comum que a perfuração se dê na presença de um leito de cascalho, o que torna ferramentas para monitoramento de limpeza de poço em tempo real fundamentais para garantir a segurança da operação (Pilehvari *et al.*, 1996).

As operações de remoção de cascalho são projetadas tentando-se prever as combinações de geometria do espaço anular, vazão de fluido e rotação da coluna que otimizem a remoção de cascalho e a potência de bombeamento necessária para manter o fluido em escoamento. Parte da escolha destes parâmetros depende do tipo de formação rochosa no interior do poço. Entretanto, visto que não há como saber precisamente que tipo de formação se está perfurando, pode-se apenas inferi-lo com base em dados como a taxa de avanço da broca e o tipo de cascalho que chega à superfície (Costa *et al.*, 2006). Comumente, por falta de informações disponíveis, os perfis de velocidade dentro do espaço anular usam aproximações grosseiras.

Uma alternativa para a inferência de informações sobre o tipo de formação e sobre o processo de perfuração é a inspeção da geometria do cascalho. De forma geral, os cascalhos produzidos em operação normal apresentam formas e tamanhos semelhantes. Mudanças no formato ou no tamanho dos cascalhos podem indicar a ocorrência de anormalidades, tais como o desmoronamento do poço, que pode ser evitado tomando-se precauções como ajustes adequados dos parâmetros de perfuração.

Hoje em dia, os procedimentos correntes de análise de cascalhos são realizados manualmente. Assim, a identificação de eventos inesperados pode tardar demasiadamente. Desta forma, técnicas para

detecção automática e antecipação de problemas durante a perfuração de poços de petróleo tornam-se bastante atrativas.

Este trabalho descreve uma aplicação que está em desenvolvimento para a implementação de um sistema de visão computacional para a detecção em imagens de fragmentos de rochas produzidos na operação de perfuração de poços de petróleo. As formas obtidas na detecção e separação do cascalho serão posteriormente usadas para o reconhecimento de padrões, cujas geometrias poderão indicar algum tipo problema durante o processo de perfuração do poço.

Entretanto, este trabalho restringe-se somente à etapa de extração de objetos de interesse da imagem, no caso, o cascalho. Essa etapa é conhecida como segmentação de objetos e é uma fase determinante para possibilitar a extração de características dos objetos para sua futura classificação (reconhecimento de padrões).

Na próxima seção, descreve-se o processo de perfuração de um poço de petróleo e caracteriza-se o papel do cascalho durante a operação de perfuração. Em seguida, apresenta-se a concepção do sistema de visão computacional proposto para a tarefa de identificação de formas de cascalho. A metodologia usada para implementar o processo de segmentação da imagem é mostrada na seção posterior. Os resultados obtidos até o momento são mostrados na seção subsequente. Por fim, as conclusões e passos futuros são discutidos na última seção.

Perfuração de poço de petróleo

A perfuração de um poço de petróleo é o processo no qual um buraco é escavado no solo a fim de permitir que os hidrocarbonetos abrigados no subsolo escoem para a superfície. Os poços de petróleo são perfurados empurrando-se a broca de perfuração contra a rocha, até que ocorra o seu desgaste. Um sistema de perfuração é usado para controlar a broca e para remover os fragmentos de rocha dentro do poço.

A perfuração de um poço de petróleo é executada por meio de uma sonda. No caso da perfuração rotativa, perfuram-se as rochas através da ação da rotação e peso aplicados a uma broca fixada na extremidade da coluna de perfuração. Basicamente esta coluna consiste de comandos (tubos de paredes espessas) e tubos de perfuração (tubos de paredes finas) (Thomas, 2001).

Durante operações de perfuração de um poço de petróleo, um fluido de perfuração (chamado vulgarmente de lama) circula entre o interior e o exterior da coluna (tubulação), o qual é injetado por bombas para o interior da coluna de perfuração através da cabeça de injeção (*swivel*) e sai através de pequenos buracos na broca (Serra, 2003). Os fluidos de perfuração são líquidos multifásicos que atuam no auxílio à penetração da broca e na suspensão do cascalho gerado na perfuração de um poço de petróleo.

A lama é responsável por várias funções, principalmente de trazer à superfície o cascalho de rocha cortado pela broca na zona de perfuração (limpeza do poço), de manter a lubrificação e resfriamento da broca, e de garantir a estabilidade das paredes do poço (Ferreira, 2003).

Ao retornar à superfície, a lama passa por uma peneira vibratória (*shale shaker*) que separa o cascalho. O fluido é reinjetado no poço para continuar exercendo sua função e o cascalho é despejado em um tanque, denominado dique de perfuração, para posterior tratamento.

A remoção dos cascalhos gerados pela perfuração em poços de alta inclinação é um processo mais crítico, pois os cascalhos que se depositam devido à ação da gravidade, formam um leito no interior do

espaço anular formado entre a coluna de perfuração e o revestimento. Quando este leito ocupa grande parte do espaço anular, ele é responsável pelos diversos problemas causados na perfuração, como por exemplo, o desgaste prematuro da broca, baixas taxas de penetração, fraturamento da formação, torque excessivo na coluna de perfuração e arrastes, prisão da coluna de perfuração, interrupção da perfuração. Desta forma, o cascalho deve ser adequada e continuamente carregado até a superfície pelo fluido para garantir o sucesso da operação.

A identificação da forma geométrica do cascalho pode indicar uma interpretação do tipo de fenômeno ocorrendo dentro do revestimento anular. A partir deste diagnóstico pode-se sugerir alterações no modo de operação da perfuração do poço, através da modificação de variáveis atuantes no processo de perfuração, como por exemplo: mudança na vazão do fluido, troca do fluido de perfuração, variação no torque da coluna de perfuração, substituição da broca, entre outros. Certos tipos de problemas ou situações no processo de perfuração, se não identificadas e tratadas de maneira adequada, podem inclusive provocar a perda do poço. Um exemplo disso é o desmoronamento do poço. O desmoronamento do poço é caracterizado pela queda de blocos ou fragmentos que se desprendem após a passagem da broca de perfuração. Uma das principais causas do desmoronamento é a insuficiência de pressão hidrostática no interior do poço. O alargamento do poço pode acontecer em decorrência do desmoronamento. Condições severas de desmoronamento podem provocar *packer* hidráulico e prisão da coluna de perfuração. A identificação do tamanho e do formato dos fragmentos de cascalho auxilia na caracterização do desmoronamento e pode prevenir a perda do poço.

Pelo exposto, o reconhecimento da forma dos pedregulhos e das suas quantidades, através do processamento das imagens do cascalho na peneira vibratória torna-se uma importante ferramenta de diagnóstico e de auxílio preventivo na identificação de anomalias na operação de perfuração de um poço de petróleo.

Sistema de Visão Computacional

A tarefa de reconhecimento de imagens de cascalho foi aqui dividida neste projeto em duas etapas: segmentação da imagem e classificação de formas. Neste trabalho são discutidos apenas os resultados referentes à primeira etapa, que consiste na separação das formas de cascalho encontradas na imagem, ou seja, a segmentação de imagem.

De modo geral, o processamento de imagens consiste de três passos: aquisição da imagem, pré-processamento e processamento. No presente caso, neste momento, a etapa de processamento restringe-se à detecção de objetos, que será fornecida pela segmentação. Em desenvolvimento posterior, será adicionada ao processamento da imagem a etapa de classificação, que consistirá da extração de características dos objetos e do reconhecimento de padrões baseados nessas características.

Na primeira etapa, no passo de aquisição de imagem, o sistema de visão computacional captura a imagem da esteira vibratória, conforme Figura 1, através de um dispositivo óptico-eletrônico (como, por exemplo, máquina fotográfica, *webcam* ou filmadora digital). Aqui, as imagens foram adquiridas com uma máquina fotográfica digital. O pré-processamento é um procedimento usado para realçar características da imagem. O processamento da imagem consiste em produzir descrições relevantes dos dados contidos na imagem (Gonzalez & Woods, 1992). A detecção de objetos no presente trabalho desempenha o primeiro passo dessa tarefa. Os objetos segmentados da imagem serão utilizados na etapa seguinte de processamento da imagem, onde serão extraídas as características dos objetos identificados, a fim de produzir a classificação das formas de cascalho, que por sua vez irão sugerir a ocorrência ou não algum tipo de problema da perfuração.

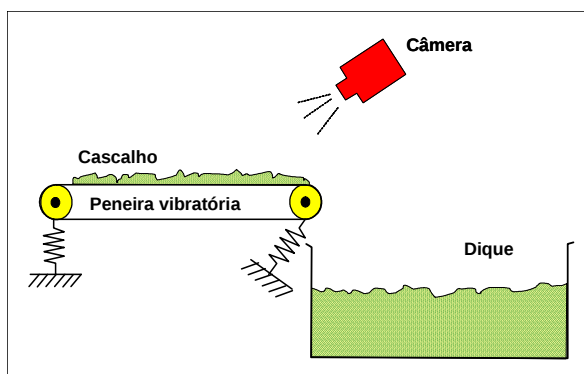


Figura 1 – Esquema de captura de imagem do cascalho na esteira

Metodologia

As imagens foram capturadas *in-situ*, em um ambiente parcialmente controlado, sob alguns poucos ângulos, diferentes iluminações e somente uma condição operacional. Esta aquisição inicial foi feita como tentativa de identificar os melhores posicionamentos da câmera para a futura implementação do sistema em campo. Entretanto, como será visto mais adiante, esta etapa necessitará ser aprimorada.

Após a aquisição da imagem, realizou-se o seu pré-processamento, que consistiu das seguintes operações, conforme Figura 2: transformação da imagem colorida em tons de cinza, ajuste de contraste, filtragem de ruídos e equalização da imagem. O ajuste do contraste visou reforçar os limites de contorno dos objetos (pedregulhos) em relação à esteira. O filtro teve como função reduzir a influência do padrão de textura da esteira para a futura segmentação. Neste caso foi usado o filtro passa-baixa, mais filtro de média, seguido pelo filtro da mediana. Então, utilizou-se a equalização da imagem para melhorar a distribuição da luminosidade dos pixels da imagem e homogeneizar os objetos.

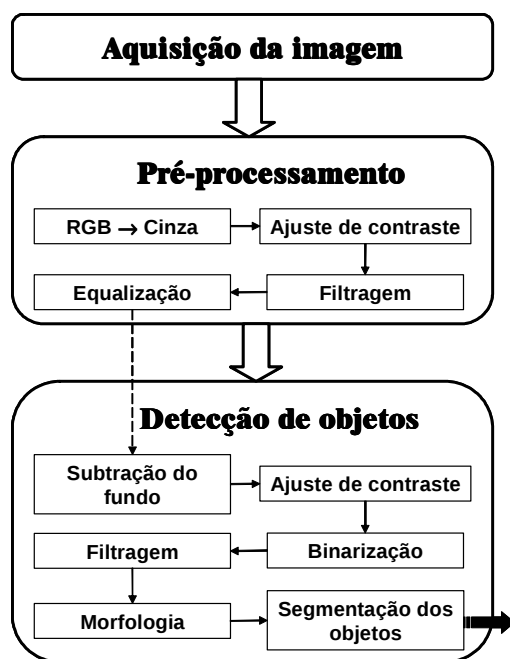


Figura 2 – Descrição da etapa de segmentação

O primeiro procedimento realizado para a detecção dos objetos (cascalho) na imagem foi a extração do fundo da imagem, a fim de deixar em cena apenas os elementos de interesse na imagem (plano principal). Nesse estágio aplicou-se a operação de abertura morfológica para estimar o fundo, cujo resultado foi subtraído da imagem equalizada. Em seguida realizou-se o ajuste de contraste para acentuar a intensidade das bordas dos objetos.

A próxima fase foi a limiarização para criação da imagem binária. O limiar de separação foi obtido pelo método de Otsu. A binarização foi sucedida pela filtragem de ruídos espúrios e pela remoção de pixels conectados na forma de H.

A morfologia matemática foi utilizada na imagem binária para atuar sobre os objetos baseando-se em formas geométricas. A dilatação foi aplicada visando o preenchimento de pequenos buracos no interior dos objetos. A erosão foi usada para permitir a separação de grãos próximos.

Por fim, a técnica de *blob coloring* foi empregada para segmentar os distintos objetos da imagem. Objetos com bordas nos limites da imagem foram descartados.



a) Imagem original



b) Imagem segmentada

Figura 3 – Imagens do cascalho na esteira.

Resultados e Discussão

Algumas imagens foram analisadas pelo sistema de detecção de objetos. Antes de indicar os resultados, algumas considerações iniciais devem ser observadas.

A esteira vibratória acumula resíduos da lama em sua superfície, que vai sendo depositada no processo vibratório de separação do cascalho com o fluido de perfuração. O cascalho remanescente na esteira permanece envolvido por resíduos de lama, como mostrado na Figura 3a. Desta forma, pouco contraste de cor é percebido entre o fundo (esteira) e os objetos (cascalho). Ainda nesta figura, considerou-se um ângulo de observação desfavorável, pois a câmera capturava também a parede no entorno da esteira vibratória. A parede também fica coberta com resíduos da lama de perfuração, reforçando a falta de contraste entre os elementos da cena. Além disso, alguns fragmentos de cascalho ficam aglutinados ou sobrepostos, de modo que podem ser falsamente percebidos como um único objeto. Este é o ambiente comum sobre o qual o sistema de visão computacional deverá constantemente atuar, e que naturalmente incorpora muitas dificuldades para o processamento das imagens.

Na Figura 3b foram detectados 194 fragmentos, constando de pedregulhos de tamanhos variados e pequenos estilhaços de cascalho. As bordas dos pedregulhos apresentaram uma dificuldade maior na detecção. Partes mais brilhantes pela incidência de iluminação foram detectadas com mais facilidade.

De modo geral, a localização dos fragmentos foi bem sucedida, embora muitos deles tenham sido segmentados apenas parcialmente. Os objetos maiores indicaram uma maior imprecisão dos contornos em relação à sua dimensão real.

Resultados análogos foram produzidos em outras imagens avaliadas, mostrando as mesmas dificuldades sinalizadas na análise da Figura 3.

Conclusões

A metodologia de segmentação de imagens desenvolvida para extrair da imagem os objetos correspondente ao cascalho apresentou resultados aceitáveis, apesar das dificuldades mencionadas anteriormente, como superposição de fragmentos de cascalho, iluminação da parede semelhante à da esteira, imagem borrada. Porém, tanto a etapa de aquisição de imagens quanto à de segmentação devem ainda ser melhoradas.

Este estudo piloto mostra que a segmentação das imagens não é uma tarefa trivial e que um certo grau de incerteza estará fortemente incorporado aos resultados, visto que as condições locais do processo de aquisição e processamento de imagem são bastante adversas.

Antes de iniciar a etapa de classificação das formas, novas perspectivas metodológicas deverão ser investigadas para o processo de segmentação, buscando a preservação com mais acuidade das fronteiras dos fragmentos de rocha para tentar reduzir a perda da área segmentada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do desenvolvimento de um sistema de visão computacional para detecção de formas de cascalho durante o processo de perfuração de poços de petróleo. Neste sentido, a tarefa mais crítica deste sistema seria a parte de segmentação. Assim sendo, este estudo preliminar mostrou que é possível desenvolver um sistema de processamento de imagens para a aplicação proposta.

Referências Bibliográficas

Azar, J.J. e Sanchez, R.A. (1997). Important Issues in cuttings Transport for Drilling Directional Wells, *Proceedings of the 5th Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference and Exhibition*, Society of Petroleum Engineers, SPE 39020, Rio de Janeiro, Brazil.

Costa, S.S., Stuckenbruck, S. e Fontoura, S.A.B. (2006). Modelo Transiente Para Carreamento de Cascalhos, *Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás (ENAHPE)*, Pedra Azul, Domingos Martins – ES, Brasil.

Ferreira, M. I. P., (2003). *Impactos Ambientais Associados ao Emprego dos Fluidos de Perfuração*, COPPE / UFRJ, Macaé, RJ.

Gonzalez, R.G. e Woods, R. (1992). *Digital Image Processing*, Addison Wesley.

Pilehvari, A.A., Azar, J.J. e Siamack, A.S. (1996). State of the Art Cuttings Transport in Horizontal Wellbore, *Proceedings of the SPE International Conference on Horizontal Well Technology*, Calgary, Canada, SPE 36075.

Serra, A.C.S. (2003). *A influência de aditivos de lamas de perfuração sobre as propriedades ge químicas de óleos*, COPPE/UFRJ–CENPES/PETROBRAS, Rio de Janeiro, RJ.

Thomas, J.E. (2001). *Fundamentos da Engenharia do Petróleo*, Editora Interciência, Rio de Janeiro.