Reconstrução Topológica Tridimensional de Objetos Geológicos em Bacias Marítimas Usando Dados Sísmicos 2D ou 3D: uma Ferramenta Exploratória e Explotatória de Hidrocarbonetos

Thomas Lewiner, Hélio Lopes, Geovan Tavares, Alex Bordignon e Rener Castro -PUC-Rio e Rogério Santos, Amin Murad - Petrobras

Abstract

The interplay between geophysics and geology is today one of the main challenges in reservoir characterization. In this paper we expose the ideia that by careful mathematical formulation and computer graphics tools it is possible to reconstruct 3D geological forms starting with seismic parameters. We reconstruct all the topological components of isosurfaces in subvoxel resolution starting with seismic parameters. Each isosurface component represents the boundary of a geobody. This type of reconstruction helps the modeler to understanding better the seismic information, the geobody spatial characteristics and make quantitative estimations such as reservoir volume.

Introdução

O método sísmico tem se revelado como uma ferramenta geofísica líder tecnológica em aplicações técnicas com imensos retornos econômicos na prospecção de petróleo. Porém, uma de suas limitações é a sua resolução, principalmente para grandes profundidades e espaçamentos laterais.

Santos et alii (2003) apresentaram métodos de reconstrução de objetos sísmicos 3D correlacionados a objetos geológicos conceitualmente compreendidos em função de uma imposiçao matemática à possíveis topologias de cada corpo sedimentar que a imagem sísmica possa sugerir.

Tal reconstrução honra, o mais precisamente possivel, as possíveis geometrias de corpos sedimentares e reservatórios, conforme teriam sido depositados originalmente e, posteriormente, modificados, considerando os diferente tipos de deformações estruturais e petrofísicas posteriormente sofrido. Tratar a amostra sísmica como uma parte construtiva de um determinado corpo geológico, transformado em um ponto textural de uma imagem (Texel), traz grandes benefícios técnicos que, entre outros, restringe e otimiza o conceito de geração de formas geologicas ao se usar voxels. Com esse benefício, as intersecções e fronteiras entre corpos e superfícies são melhor definidas e as geometrias finais de cada objeto possuem formas externas muito mais razoáveis e associativas a objetos geológicos, compreendidos em diversos ambientes deposicionais. Com isso a volumetria e reconstrução estratigráfica dos corpos passam a ser muitos mais precisas e compreendidas geologicamente.

Neste trabalho, expande-se o conceito de reconstruções tridimensionais a partir de dados 3D, também para reconstruções topológicas a partir de dados 2D, com aspectos mais regionais e cujas distancias entre linhas sismicas são, em ordem de grandeza média, entre 1000 e 5000 vezes superiores, quando comparadas com a distâncias entre linhas consideradas 3D.

Nesse quadro regional, o intérprete deve conduzir tal reconstrução em função de seu modelo conceitual interpretativo, para um determinado corpo sísmico, e trazer essa concepção para os hiatos de informação entre linhas. Com isso, a forma geométrica final reconstruída honrará não só seu conceito geológico, mas também a informação sísmica da qual foi pré-concebido.

Apresentam-se reconstruções sísmicas 3D de corpos em regiões sedimentares maritimas, incluindo ambientes costeiros, de plataformas rasas, de quebras de plataforma, taludes e planicies abissais, incluindo derivas sedimentares.

Os objetos contínuos, tais como estratos sedimentares ou reservatórios, são modelados geralmente por suas superfícies limitantes. Esses objetos geofísicos podem ser definidos a partir de atributos sísmicos ou suas combinações em um dado intervalo. Uma isosuperfície limitante corresponde então aos pontos cujos atributos combinam as extremidades desse intervalo. A partir dessas isosuperfícies geradas podem ser, por exemplo, estimadas otimamente diversas características do reservatório, com suas conectividades, e também o seu volume. Para isso, torna-se então essencial estimar, no cubo sísmico, a topologia e conexões desses objetos, tanto quanto permita a resolução da sísmica. Assim, uma pergunta importante a ser respondida nesse sentido é: quantas componentes conexas tem cada isosuperfície gerada?

Embora as técnicas baseadas em tetraedros na extração de isosuperfícies sejam mais simples no uso de grides não estruturados, não se pode garantir a topologia da isosuperfície. Este trabalho descreve uma versão estendida do método de cubos marchantes, que lida também com grides não estruturados, obtendo uma resolução subsísmica.

Isosuperfície confiável para modelar reservatórios e bacias

Esta seção cobre os três aspectos principais deste trabalho: a extração do isosuperfície que garante sua topologia, considerando a interpolação cúbica dentro de cada voxel; a geração de superfície fechada para o cálculo geométrico tal como o volume; e a simplificação da isosuperfície preservando suas geometria e topologia. Este último tópico é importante quando se lida com grande quantidade de dados que impactam a sua visulização em tempo real, como será descrito adiante.

Isosuperfície com topologia garantida

Considerando primeiramente o exemplo matemático abstrato de uma função contínua tri-variada f: R^3 -> R, a isosuperfície de isovalor 0 é o conjunto $f^{-1}(0)$. Sua topologia é definida basicamente pelo número de peças conectadas que compõem a superfície.

Dados sísmicos são aqui representado por cubóides. Os oito vértices do cubóide $\{v_{ijk}$, (i, j, k) inteiros$\}$ são associados valores escalares $f(v_{ijk})$. Cada valor escalar pode ser um atributo sísmico ou uma combinação de atributos. A isosuperfície associada a essa função f é uma função contínua f definida pela interpolação trilinear de f em cada um dos cubóides:

$$f(\mathbf{v}) = \sum_{(i,j,k)\in\{0,1\}^3} \left(\frac{\mathbf{v}^x_{ijk} - \mathbf{v}^x}{\mathbf{v}^x_{ijk} - \mathbf{v}^x_{(1-i)jk}}\right) \cdot \left(\frac{\mathbf{v}^y_{ijk} - \mathbf{v}^y}{\mathbf{v}^y_{ijk} - \mathbf{v}^y_{i(1-j)k}}\right) \cdot \left(\frac{\mathbf{v}^z_{ijk} - \mathbf{v}^z}{\mathbf{v}^z_{ijk} - \mathbf{v}^z_{ij(1-k)}}\right) \cdot \hat{f}(\mathbf{v}_{(1-i)(1-j)(1-k)})$$

$v=(v^x,v^y,v^z)$.

Essa isosuperfície pode ser aproximada por algoritmos tais como os cubos marchantes de Lorensen et alii (1988). Em Lewiner et alii, 2003, descreve-se uma implementação eficiente de um algoritmo de cubos marchantes que resolve, sem ambigüidades, a topologia das isosuperfícies no contexto das funções trilineares. Ver também Nielsen (2003) para um enfoque mais teórico do assunto.

Geração de superfícies fechadas

Em comparação a modelagem implícita usual, modelar bacias ou reservatórios adiciona várias dificuldades. Primeiramente a superfície modelada corresponde geralmente a um intervalo de isovalores em vez de um único isovalor. Em segundo lugar, a isosuperfície é usada geralmente estimando quantidades geométricas, tais como o volume estimado de óleo, mesmo que camadas geológicas ou reservatórios possam exceder o cubo sísmico considerado.

O primeiro problema é resolvido facilmente por uma transformação simples na função implícita. Caso o reservatório, ou camada, corresponda a $f^{-1}([a, b])$, seu limite é $f^{-1}(\{a\})$ e $f^{-1}(\{b\})$, que é igual $(f\circ g_{ab})^{-1}(\{0\})$ com $g_{ab}(t)$ = (t-a) (b-t) (ver ilustração).

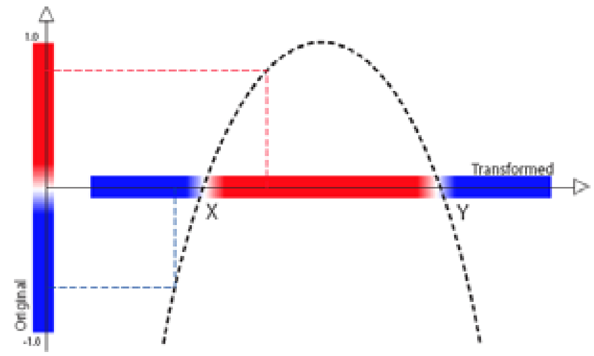

Figura 1. Transformando a isosuperfície para o isovalor 0.

O segundo problema pode ser resolvido fechando a isosuperfície na fronteira do cubo sísmico.

Simplificação preservando a topologia

Volumes de dados relacionados a modelos usuais de bacia ou de reservatório são de grande porte. Cada voxel, que contem uma parte da isosuperfície, gera diversos triângulos.

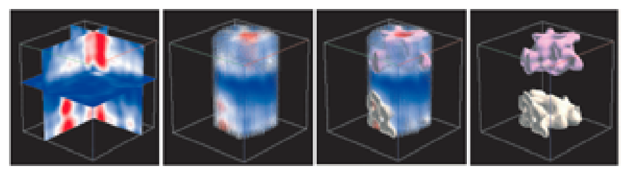

Figura 2. Sequência de imagens mostrando desde a sísmica até a superfície reconstruída com topologia garantida.

Para melhorar a eficiência da renderização, usamos técnicas avançadas de simplificação baseadas no trabalho de Vieira, et alii (2003). Esta execução operacional incorpora também a separação de componentes conectados em corpos diferentes, e remove os componentes pequenos demais que resultam geralmente do ruído nos dados sísmicos.

Resultados

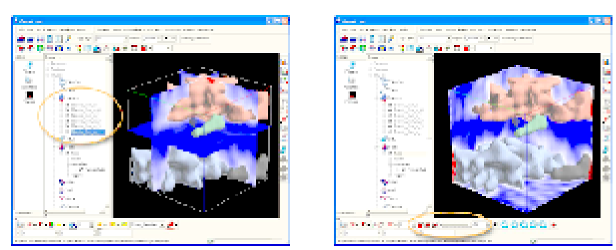

Figura 3. Reconstrução a partir da sísmica em ambiente Gocad mostrando as componentes conexas da reconstrução.

Conclusões

Os métodos de extração de isosuperfície propostos neste trabalho permitem garantir a confiabilidade dos modelos de reservatório. Estes métodos foram implementados computacionalmente, fornecendo uma extração confiável e eficiente de isosuperfícies, que garantem a topologia do reservatório ou camada, de acordo com os dados sísmicos.

Agradecimentos

Agradecemos à Petrobras pelo contínuo suporte ao Projeto Sismolitofacies, através de convênio tecnológico com a PUC-Rio, dentro do qual são desenvolvidas as teorias aqui ilustradas.

Referências

T. Lewiner, H. Lopes, A. W. Vieira, and G. Tavares. Efficient implementation of Marching Cubes' cases with topological guarantees. Journal of Graphics Tools, 8(2), 2003, pp.1-15,.

W. E. Lorensen and H. E. Cline. Marching Cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. In ACM Siggraph Proceedings, volume 21, 1987, pp. 163-169.

G. M. Nielson. On Marching cubes. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Volume 9(3), July-Sept. 2003, pp. 283 - 297

Santos, R. A ., Aggio A . , Tavares, G. e Lopes, H. . Reconstrução sismo-topológica de reservatórios delgados usando Texels. 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society, 2003.

A. W. Vieira, L. Velho, H. Lopes, G. Tavares, and T. Lewiner. Stellar Mesh Simplification Using Probabilistic Optimization. Computer Graphics Forum 23(4), 2004, pp. 825–838