(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 034189 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.01.15

(21) Номер заявки
201691707

(22) Дата подачи заявки
2011.01.07

(51) Int. Cl. *G01V 1/28* (2006.01)

(54) СИСТЕМА (ВАРИАНТЫ) И СПОСОБ (ВАРИАНТЫ) МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

(31) **12/710,253**
(32) **2010.02.22**
(33) **US**
(43) **2017.01.30**
(62) **201201175; 2011.01.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЛЭНДМАРК ГРЭФИКС КОРПОРЕЙШН (US)

(72) Изобретатель:
Мокек Марко, Ярус Джеффри М., Лян Лу Мин (US)

(74) Представитель:
Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова И.И., Новоселова С.В., Дощечкина В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)

(56) US-A1-20040006450
US-A1-20040075659
US-A1-20090177402
US-A1-20070061117
US-A1-20080212838
US-A1-20060158447

(57) Предложены системы и способы моделирования трехмерной (3D) геологической структуры для улучшения интерполяции максимальной непрерывности. Способ интеграции описывает локальные анизотропные эффекты и вводит способы интерполяции для выполнения интерполяции между двумя интересующими местами вдоль направления максимальной непрерывности и по поверхностям сбросов.

034189 B1

034189 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение в целом относится к моделированию трехмерных (3D) геологических структур. Более конкретно настоящее изобретение относится к способу интеграции для максимальной интерполяции непрерывности при трехмерном геологическом моделировании.

Уровень техники

Традиционно геостатистическое программное обеспечение описывает модель пространственного изменения геологических свойств (например, пористости и проницаемости), используя модель вариограммы, которая количественно определяет среднее значение ожидаемой изменчивости как функцию расстояния и направления. В резервуарах, где геологические характеристики являются полностью непрерывными и легко коррелируются от скважины к скважине, диапазон (масштаб) корреляции будет большим, а в резервуарах, где геологические характеристики быстро изменяются на коротких расстояниях, диапазон (или масштаб) корреляции будет меньшим.

В определенных геологических средах диапазон корреляции может быть независимым от направления. Это явление очень распространено в осадочных средах, особенно в тех, где первичным механизмом переноса во время отложения осаждений является ветер или вода, которые приводят в результате к сильно канализированным структурам, таким как дельтовые каналы, речные отложения, мутности и т.п. Эти среды обычно демонстрируют значительную степень изменения корреляции между направлениями вдоль оси канала и перпендикулярно оси канала. Принципы традиционной геостатистической практики, введенные в большинство коммерческих инструментов для геологического моделирования, в настоящее время доступного на рынке, требуют выбора единого направления максимальной непрерывности, которая является средним значением для всей области, подвергаемой исследованию.

Традиционные способы моделирования резервуара для представления геологических структур с сложными геометрическими конфигурациями, такими как дельтовые каналы, речные отложения, мутности и сланцевые складки, используют упрощенную двухточечную статистику. Двухточечная корреляция моделируется через определение вариограммы, которая делает описание вышеупомянутых структур крайне сложным, если не невозможным. Одним из преимуществ двухточечных геостатических способов является их скорость. Один из способов использует, например, методику на основе фильтра Фурье, которая описывается в статье авторов Maucec et al. "Streamline-based History Matching and Uncertainty: Markov-Chain Monte Carlo Study of an Offshore Turbidite Oil Field", и способен создавать новую реализацию поля проницаемости с большими количествами переменных ($\sim 10^6$) в течение нескольких секунд. Хотя этот способ более эффективен, чем традиционные известные алгоритмы, такие как разложение Холецкого, он непригоден для интеграции в потоки операций для динамической инверсии и автоматизированного согласования историй моделей резервуаров, в частности, из-за его зависимости от использования определения вариограммы.

В последнее десятилетие были сделаны перспективные шаги в форме многоточечной геостатистики (MPS). Технология MPS использует корреляции между многочисленными местоположениями одновременно, чтобы воспроизвести зависимость между объемом и дисперсией и реализовать модели, которые обуславливаются локальными данными выборок. Примеры технологии MPS содержат коды, такие как SNESIM и S-GeMS. Последний, например, назначается локальной оптимизации параметров, вовлеченных в модели на основе вариограммы, чтобы учесть локальные структурные характеристики данных. Технология MPS, однако, все же обладает недостатками, такими как, например: a) зависимость от эталонного изображения или от набора эталонных данных; и b) очень большие времена вычислений для создания новой геологической модели/реализации.

Совсем недавно компания Landmark Graphics разработала технологию трехмерного объемного моделирования геологических свойств, используя область максимальной непрерывности, Maximum Continuity Field (MCF). Эта технология чаще упоминается как технология Point Vector, которая описывается в международной публикации патентной заявки № WO 2009/151441 и введена сюда посредством ссылки. Технология Point Vector вводит несколько преимуществ, позволяющих пользователю i) осуществлять прямое управление по направлениям локальной непрерывности; ii) интерактивно взаимодействовать с "геологически интуитивными" наборами данных, такими как интервалы слоистости, фрагменты карт и чертежи от руки, через MCF; iii) сохранять максимальную точность воспроизведения геологической модели, откладывая создание координатной сетки/решетки на заключительный этап построения статической модели, непосредственно перед интегрированием статической модели в динамическую модель (устройство моделирования резервуара). Моделирование свойств резервуара не нуждается в стандартной сетке, для него необходимы только правильные расстояния между точками, чтобы определить/моделировать свойство и данные вокруг них.

Существующая технология Point Vector в своей основе вводит решение, обычно называемое "80%-решением", которое основано на подходе с простой переориентацией осей вариограммной модели на локальное направление, определенное пользователем. В геологических структурах с высокой степенью локальной анизотропии (например, извилистые каналы), направление максимальной непрерывности для каналов с большой извилистостью локально значительно изменяется. 80%-решение не имеет никакого способа узнать, как смотреть за угол канала. Определение правильного расстояния в таких геологических

структурах требует введения криволинейных расстояний, потому что минимальное расстояние между двумя точками в геологических формациях не всегда является прямой линией (то есть евклидовым расстоянием) и может быть криволинейным в зависимости от области локальной анизотропии. Остающимися проблемами являются следующие: i) как вычислить кратчайшее расстояние между двумя интересующими точками в модели геологической структуры без координатной сетки; ii) какое направление/ориентацию использовать для правильного описания эффектов локальной анизотропии.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение удовлетворяет упомянутые выше потребности и устраняет один или более недостатков, существующих на предшествующем уровне техники, применяя способ интегрирования для вычисления кратчайшего расстояния между двумя интересующими точками в бессеточной модели геологической структуры и для определения направления/ориентации, которая должна использоваться для правильного описания эффектов локальной анизотропии.

В одном варианте осуществления настоящее изобретение содержит способ моделирования трехмерной (3D) геологической структуры, содержащий этапы, на которых i) выбирают входные данные для геологической структуры; ii) оцифровывают изображение геологической структуры, представленной входными данными, причем оцифрованное изображение содержит многочисленные точки выборки; iii) обрабатывают оцифрованное изображение, используя интеллектуальное уплотнение точек, чтобы инициализировать только одно местоположение для каждой точки выборки и оптимизировать каждое местоположение точки выборки; iv) вычисляют область структурных и диффузных тензоров для оцифрованного изображения, причем каждый тензор для области тензоров связывается с соответствующей точкой выборки в оптимизированном местоположении точки выборки для соответствующей точки выборки; v) обрабатывают оцифрованное изображение, используя структурно ориентированное сглаживание для формирования улучшенного изображения; vi) вычисляют область сбросового смещения для оцифрованного изображения; и vii) интерполируют область структурных и диффузных тензоров, улучшенное изображение и область сбросового смещения для создания трехмерной геологической модели.

В другом варианте осуществления настоящее изобретение содержит считываемый компьютером носитель данных для хранения исполняемых компьютером команд для моделирования трехмерной (3D) геологической структуры. Команды могут исполняться, чтобы осуществлять этапы, на которых i) выбирают входные данные для геологической структуры; ii) оцифровывают изображение геологической структуры, представленной входными данными, причем оцифрованное изображение содержит многочисленные точки выборки; iii) обрабатывают оцифрованное изображение, используя интеллектуальное уплотнение точек, чтобы инициализировать только одно местоположение для каждой точки выборки и оптимизировать каждое местоположение точки выборки; iv) вычисляют область структурных диффузных тензоров для оцифрованного изображения, причем каждый тензор в области тензоров связывается с соответствующей точкой выборки в оптимизированном местоположении точки выборки для соответствующей точки выборки; v) обрабатывают оцифрованное изображение, используя структурно ориентированное сглаживание для формирования улучшенного изображения; vi) вычисляют область сдвигового смещения для оцифрованного изображения; и vii) интерполируют структуру и область диффузных тензоров, улучшенное изображение и область сдвигового смещения для создания трехмерной геологической модели.

Дополнительные варианты, преимущества и варианты осуществления изобретения станут очевидны для специалистов в данной области техники из последующего описания различных вариантов осуществления и сопутствующих чертежей.

Краткое описание чертежей

Настоящее изобретение описывается ниже со ссылками на сопроводительные чертежи, на которых схожие элементы обозначаются схожими ссылочными позициями и на которых

фиг. 1 - блок-схема последовательности выполнения операций одного варианта осуществления способа реализации настоящего изобретения;

фиг. 2 - схема последовательности выполнения операций одного варианта осуществления этапа 106 на фиг. 1;

фиг. 3 - схематическое представление вектора максимальной непрерывности;

фиг. 4A - применение технологии Point Vector для слежения за областью максимальной непрерывности по линии сброса;

фиг. 4B - изображение сейсмических данных, демонстрирующее потерю информации о направленности в результате использования технологии Point Vector.

фиг. 5A - изображение сейсмических данных, демонстрирующее область смещения сдвига, вычисленную в соответствии с этапом 205 на фиг. 2;

фиг. 5B - увеличенное изображение области, отмеченной кружком на фиг. 5A, представляющей информацию направленности для области смещения сброса;

фиг. 6 - сравнение криволинейного расстояния и евклидова расстояния для пояснения этапа 108 на фиг. 1;

фиг. 7 - блок-схема одного варианта осуществления системы для реализации настоящего изобретения.

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления

Предмет настоящего изобретения описывается со всеми особенностями, однако описание само по себе не предназначено ограничивать объем изобретения. Предмет изобретения, таким образом, может быть также осуществлен другими способами, чтобы содержать различные этапы или комбинации этапов, подобные описанным здесь, в сочетании с другими технологиями. Кроме того, хотя термин "этап" может быть здесь использован для описания различных элементов применяемых способов, термин не должен интерпретироваться как подразумевающий какой-либо конкретный порядок среди или между различными этапами, раскрытыми здесь, если что-либо иное явно не ограничивается описанием конкретного порядка.

Описание способа

Нижеследующее описание содержит один или более способов (здесь далее обычно упоминаемых как "способ интеграции") для интеграции технологии Point Vector и способов криволинейной интерполяции "точка-точка" (CPP), хорошо известных в технике, через абстракцию данных для слияния широкого диапазона доступных наборов данных и структур. Платформа дискретизации изображения раскрывается с помощью группового потока данных ввода-вывода, который является унифицированным для интерполяции. Способ интеграции обеспечивает уникальный инструмент в области трехмерного геологического моделирования.

На фиг. 1 представлена блок-схема последовательности выполнения операций одного из вариантов осуществления способа 100 реализации настоящего изобретения. Способ 100 представляет способ интеграции для трехмерного геологического моделирования, которое учитывает многочисленные источники и типы геологической и структурной информации. Такая информация может содержать, например, интуитивное вычерчивание от руки структурированных объектных структур и изображений сейсмических данных с высокой разрешающей способностью.

На этапе 102 структурная информация, такая как, например, сейсмические данные с высокой разрешающей способностью, может быть выбрана в качестве входных данных для способа 100, используя интерфейс клиента и/или видеоинтерфейс, описанный со ссылкой на фиг. 7. Сейсмические данные могут содержать структурную информацию, используемую для интерполяции CPP и структурно ориентированного сглаживания.

На этапе 104 другие типы и форматы геологической и структурной информации, такие, например, как i) интервалы (104a) слоистости, которые представляют вертикальное пространство, ограниченное 2 геологическими поверхностями; ii) фрагменты (104b) карты с ограничениями каналов; iii), интуитивные чертежи (104c) от руки структурированных структур (например, векторы на конкретном участке интересующего объема могут быть выбраны в качестве входных данных для способа 100, использующего интерфейс пользователя и/или видеоинтерфейс, описанный со ссылкой на фиг. 7. Геологическая и структурная информация, выбранная на этапе 104, может основываться на едином направлении максимальной непрерывности, используя Область Максимальной Непрерывности, описанную таким способом в международной публикации патентной заявки № WO2009/151441 A1. По определению, направление максимальной непрерывности является направлением, вдоль которого интересующее свойство наиболее вероятно должно оставаться одним и тем же при перемещении от местоположения вектора вдоль направления вектора, как показано на фиг. 3. Другими словами, оно определяет неявные соотношения между местоположениями в геологической модели для целей моделирования свойств.

На фиг. 3 вектор 302 максимальной непрерывности имеет местоположение 304, величину, направление и корреляцию (длину) 306. Корреляция (длина) вектора 302 совпадает с большим диапазоном вариограммной модели. Чтобы сохранить информацию о векторе в канализированных, чрезвычайно извивающихся геологических структурах с высокой степенью локальной анизотропии, оси вариограммной модели могут быть интуитивно переориентированы на указанное локальное направление способом, предложенным в международной публикации № WO 2009 1151441 A1 патентной заявки.

На этапе 106 абстракция данных выполняется для входных данных, выбранных на этапе 102 и/или 104 способом, дополнительно описанным со ссылкой на фиг. 2. Абстракция данных выполняется, потому что входные данные, выбранные на этапах 102 и/или 104, обычно появляются в совсем других режимах или с другим разрешением и, чтобы развернуть входные данные во время этапа 108 интерполяции, требуются генерализация или абстракция входных данных.

На этапе 108 интерполяция CPP, такая как, например, интерполяция естественных соседей или направляемая изображением интерполяция смешанных соседей, выполняется по результатам этапа 106. В одном варианте осуществления интерполяция применяет двухступенчатое смешивание данных области тензоров: 1) любое анизотропное эйкональное уравнение, известное в технике, решается в течение минимального времени прохождения от выбранной точки до известной точки данных (то есть данных/местоположения скважины) способами, известными в технике, такими как, например, способ быстрого марша на основе Дикстра (FMM); и 2) итерационный способ сопряженных градиентов, известный в технике, используется для решения смешанного соседнего интерполянта, являющего производной уравнения давления. Интеграция области основополагающих структурных/диффузных тензоров диффузии и структурно ориентированное сглаживание анизотропии устанавливает важную аналогию между технологией Point Vector и интерполяцией CPP: корреляция (длина или диапазон) вектора максимальной не-

прерывности пропорциональна максимальному собственному значению диффузного тензора D, который выровнен со структурной ориентацией (то есть доминантным направлением структурного тензора или локальной линейной диффузности). Основная идея заключается в выравнивании главных осей диффузии с ориентацией изображения. Диффузный тензор D должен быть создан так, чтобы его собственные векторы следовали локальной ориентации изображения.

При применении к геологическому моделированию стандартная, на основе евклидовой геометрии, интерполяция "точка-точка" свойств резервуара может привести к ошибочным результатам, потому что не учитываются сложные основополагающие геологические структуры (например, каналы). Другими словами, интерполяция на основе евклидовой геометрии не учитывает извилистость, являющуюся распространенным признаком извивающегося канала. Смешивая данные области тензоров (например, структурных/диффузных), чтобы направлять интерполяцию, достигается значительное улучшение физической точности геологического моделирования. Как показано на фиг. 6, это достигается решением для криволинейного расстояния 604. Криволинейное расстояние 604 представляет ограниченное евклидово расстояние между двумя точками $(\vec{x},\vec{y})$ оптимальной траектории. Решение для криволинейного расстояния 604 может быть получено, используя $t(\vec{x},\vec{y}) < t_m(\vec{y})$, где t и t_m представляют время (t) в $(\vec{x},\vec{y})$ и минимальное время прохождения (t_m) в $(\vec{y})$, соответственно. Как вариант, решение для криволинейного расстояния 604 может быть получено, используя решение для анизотропного эйконального уравнения для минимального времени прохождения (t_m) вдоль оптимальной траектории. Евклидово расстояние 602 определяет линейное расстояние между двумя точками $(\vec{x},\vec{y})$ и неточно для канализированных признаков.

До настоящего времени интерполяция CPP осуществлялась, используя только изображение сейсмических данных в качестве основополагающих структурных входных данных. Способ интеграции поэтому объединяет другие типы и форматы геологических и структурных данных (например, интервалы слоистости, фрагменты карт и чертежи от руки) в качестве входных данных для интерполяции.

На фиг. 2 представлена блок-схема последовательности выполнения операций варианта осуществления способа 200 для этапа 106 реализации, показанного на фиг. 1.

На этапе 201 изображение геологической структуры, представленной входными данными, оцифровывается, используя любой стандартный способ, известный в технике, для представления изображения дискретным набором точек или выборок, как, например, при растеризации или сжатии изображения. Основным признаком должно быть формирование общего формата изображения, совместимого с интерполяцией на этапе 108.

На этапе 202 оцифрованное изображение после этапа 201 обрабатывается с использованием интеллектуальное уплотнение точек (IPoD). IPoD является усовершенствованием способов атомного слияния, описанных в патенте США № 7050612, введенном сюда посредством ссылки. IPoD обычно используется, чтобы 1) инициализировать определение местоположения точки выборки, заполняя пространство, перекрытое оцифрованным изображением, псевдорегулярной решеткой из точек, где номинальное расстояние между точкой и ее ближайшими соседями последовательно изменяется вместе с плотностью структурных признаков в оцифрованном изображении; и 2) оптимизировать местоположение точки выборки, перемещая точки внутри пространства, перекрытого оцифрованным изображением, чтобы минимизировать полную потенциальную энергию, определенную как взвешенная сумма потенциальной энергии точки для каждой точки выборки и потенциальной энергии оцифрованного изображения. Подробности алгоритмов инициализации точки выборки и минимизации потенциальной энергии приведены в патенте США № 7050612. Преимущества IPoD перед стандартным атомным слиянием состоят в том, что этот способ используется строго для инициализации и оптимизации местоположения точки выборки. Таким образом, этап создания фактической триангулированной сетки исключается. Стандартный способ атомного слияния соединяет оптимизированное местоположение точек выборки посредством триангуляции, которая может быть триангуляцией Делоне или любым другим стандартным способом триангуляции, известным в технике, чтобы сформировать сетку точек выборки. Однако создание триангуляционной сетки является процедурой, требующей значительных вычислений, и может потребовать специальных способов рендеринга для коррекции артефактов, как описано в статье авторов A. Rueger и D. Hale под названием "Meshing for Velocity Modeling and Ray-Tracing in Complex Velocity Fields". Согласно технологии Point Vector точки выборки создаются на регулярной квадратной сетке и случайно или равномерно распределяются внутри интересующего объема (VOI). Поскольку IPoD требует меньшего объема вычислений, чем атомное слияние, ожидается, что IPoD будет создавать примерно 1/300-ю часть от количества точек выборки по сравнению с технологией Point Vector. На типичном изображении сейсмических данных это может привести к увеличению скорости вычислений в 300 раз.

На этапе 203 область структурных и диффузных тензоров вычисляется для оцифрованного изображения после этапа 201 с использованием способа, известного в технике. Индивидуально вычисленные тензоры для области тензоров связываются с соответствующей точкой выборки, инициализированной и оптимизированной на этапе 202 IPoD. Если применяемый способ является поиском "ближайшего соседства", то тензор связывается с ближайшей соседней точкой выборки. Если применяемый способ является поиском "естественного соседства", то тензор связывается с естественной соседней точкой выборки. Как

способ поиска ближайшего соседства, так и способ поиска естественного соседства хорошо известны в технике. Область метрических тензоров является связью между расстоянием и временем и представляет когерентность, ориентацию и размерность признаков в изображении, которое направляет интерполяцию на этапе 108. Область тензоров изменяет интерполяцию, так что известным значениям выборки в пределах пространственно когерентных признаков изображения придается больший вес, чем значениям на противоположных сторонах таких признаков или где изображение менее когерентно. Любая основополагающая область тензоров нуждается в некотором основополагающем направляющем представлении в компьютере, таком как, например, чертеж, фотография или другое изображение. Если поле тензоров выведено из изображения сейсмических данных, область тензоров может иметь выборки с разрешающей способностью изображения сейсмических данных. Альтернативно область тензоров может иметь выборки, более приближенно/искусно используя, например, IPoD. Это означает, что область тензоров будет иметь выборки с более низким разрешением только в местах изображения, определенных оптимизированными местоположениями точек выборки на этапе 202.

На этапе 204 оцифрованное изображение после этапа 201 обрабатывается, используя структурно ориентированное сглаживание вдоль структур, которые очевидны в изображении (то есть вычисленные в форме области структурных и диффузных тензоров на этапе 203), которое улучшает структурные признаки и сохраняет важные разрывы, такие как, например, сбросы или каналы. На этом этапе может использоваться широкий спектр хорошо известных алгоритмов фильтрации, таких как, например: i) улучшающие когерентность анизотропные фильтры; ii) фильтры структурно ориентированной интерпретации (то есть фильтры ван Гога); iii) рекурсивные (анизотропные) гауссовы фильтры; iv) новые реализации билатеральных фильтров.

На этапе 205 область сбросового смещения (FDF) для оцифрованного изображения после этапа 201 вычисляется, как описано ниже. FDF соединяется с результатами этапа 203 и этапа 204, который возвращается к этапу 108 на фиг. 1 для интерполяции. Традиционные способы сейсмической интерпретации сосредоточены на обнаружении линии сброса в изображении сейсмических данных, например посредством способов когерентности. Вычисление FDF, однако, соответствует слежению MCF по линии сброса (в двумерном изображении) или по поверхности сброса (в трехмерном изображении). Здесь проблема рассматривается с точки зрения вычисления области вектора смещения на оцифрованном изображении и извлечении компонента сбросового смещения такой области, основываясь на критерии, который, например, определяет различие между высотой сброса и наклонным слоем. Таким образом, этап 205 может применяться к обнаружению линии/поверхности сброса в изображении сейсмических данных, а также к любому другому формату оцифрованных данных, имеющих отношение к структурной информации (например, интервалы слоистости, фрагменты карт и чертежи от руки).

FDF поэтому вычисляется путем поиска очевидных векторов смещения в изображении и поиска местоположений пиков локальных взаимных корреляций между соседними следами изображения, которые вертикальны. FDF ограничивает векторы сброса, которые плавно изменяются в пределах сброса, то есть в направлении сброса. Поскольку генерализация относится к невертикальным сбросам, применяется окно сглаживания корреляции, которое выравнивается с вектором задержки. Другими словами, сглаживание применяется для любого вектора задержки в направлении этого вектора посредством сдвига, где корреляция делается по трассам и с такой скоростью, как если бы она делалась для вертикальных сбросов. Сдвиг является известным понятием, используемым в алгоритмах компьютерной графики.

На фиг. 4A представлено применение технологии Point Vector для слежения за областью 404a поиска данных и связанный MCF 408a по линии 400a сброса от области 404a к области 406a, отображая область 404a поиска и следуя вектору 402 высоты сброса к области 406a. Поскольку эта операция должна быть выполнена на многочисленных линиях сброса в VOI для всего MCF, это отнимает чрезвычайно много времени и трудно для эффективного осуществления на практике. Как показано на фиг. 4B, которая является двумерным изображением сейсмических данных, представляющим амплитуду, вычисленная структура и область тензоров диффузии, представленная эллипсоидами, не продолжаются по линии сброса. Области, представленные посредством 402b, 404b и 406b, показывают области, в которых информация направленности потеряна. Другими словами, по мере того как эллипсоиды становятся менее вытянутыми, информация о направленности области тензоров теряется на линии сброса и прекращается слежение MCF. При вычислении FDF на этапе 205 слежение MCF по линиям сброса обычно может применяться к любому основополагающему структурному представлению в цифровом изображении. Этап 205 представляет усовершенствование технологии Point Vector, которая не требует заранее определенного ввода пользователя для векторов сброса и связанных высот сброса, которые требуются для использования технологии Point Vector.

На фиг. 5A изображение сейсмических данных показывает область сбросового смещения, вычисленную на этапе 205 по амплитудным сейсмическим данным.

Теперь на фиг. 5B представлено увеличенное изображение области внутри окружности, показанной на фиг. 5A, которое показывает информацию направленности для области сбросового смещения. Для ясности, на фиг. 5B показана информация о направленности (то есть стрелки векторов). Стрелки векторов представляют вычисленные вектора смещения. Из абсолютной длины стрелок векторов ясно видно,

что смещение просто связывается с признаками высокого изменения градиента (например, высотами сброса), но не с вариацией наклона горизонтальной слоистости, где длина стрелок векторов уменьшается. Это предпочтительное поведение, потому что область векторов смещения предполагается как структурное свойство.

Настоящее изобретение отличается от существующих на рынке технологий интеграцией i) областей максимальной непрерывности, Maximum Continuity Fields (MCF); ii) интеллектуального уплотнения точек, Intelligent Point Densification (IPoD); iii) области сбросовых смещений (FDF); iv) интерполяции CPP. Способ интеграции, соответствующий настоящему изобретению, поэтому i) описывает эффекты локальной анизотропии, вводя область максимальной непрерывности и область сбросового смещения, основанные на лежащей в их основе структурной информации, и ii) вводит способы интерполяции CPP, чтобы выполнить интерполяцию между двумя интересующими точками вдоль направления максимальной непрерывности и через поверхности сбросов.

Описание системы

Настоящее изобретение может быть осуществлено посредством исполняемой компьютером программы команд, таких как программные модули, обычно упоминаемые как приложения программного обеспечения или прикладные программы, исполняемыми компьютером. Программное обеспечение может содержать, например, стандартные программы, программы, объекты, компоненты и структуры данных, которые выполняют частные задачи или реализуют конкретные типы абстрактных данных. Программное обеспечение формирует интерфейс, чтобы позволить компьютеру реагировать в соответствии с источником входного сигнала. Программа DecisionSpace Earth Modeling (DSEM™), которая является коммерческим приложением программного обеспечения, продаваемым на рынке компанией Landmark Graphics, может использоваться в качестве интерфейсного приложения для осуществления настоящего изобретения. Программное обеспечение может также работать совместно с другими сегментами управляющей программы, чтобы инициировать множество задач в ответ на данные, принятые в сочетании с источником принятых данных. Программное обеспечение может храниться и/или выполняться на большом разнообразии носителей памяти, таких как CD-ROM, магнитный диск, память на цилиндрических магнитных доменах и полупроводниковая память (например, различные типы RAM или ROM). Дополнительно, программное обеспечение и его результаты могут передаваться через множество носителей-переносчиков, таких как оптоволокно, металлический провод и/или через любое множество сетей, таких как Интернет.

Кроме того, специалисты в данной области техники должны понимать, что изобретение может быть осуществлено во множестве конфигураций компьютерных систем, в том числе карманных устройствах, многопроцессорных системах, основанных на микропроцессорах или программируемых электронных устройствах, миникомпьютерах, универсальных компьютерах и т.п. Любое количество компьютерных систем и компьютерных сетей приемлемо для использования с настоящим изобретением. Изобретение может быть практически реализовано в распределенных компьютерных средах, где задачи выполняются дистанционно расположенными процессорами, связанными между собой через систему связи. В распределенной компьютерной среде программные модули могут располагаться на локальных и расположенных на носителях хранения данных удаленных компьютерах, в том числе на запоминающих устройствах. Настоящее изобретение может поэтому быть осуществлено в связи с различным аппаратурным обеспечением, программным обеспечением или их комбинацией в компьютерной системе или в другой системе обработки.

На фиг. 7 представлена блок-схема системы осуществления настоящего изобретения на компьютере. Система содержит компьютерный блок, иногда упоминаемый как компьютерная система, который содержит память, прикладные программы, интерфейс пользователя, видеоинтерфейс и процессорный блок. Компьютерный блок является только одним из примеров соответствующей компьютерной среды и не предназначен предлагать какое-либо ограничение в отношении объема использования или функциональности изобретения.

В памяти хранятся прежде всего прикладные программы, которые могут быть также описаны как программные модули, содержащие исполняемые компьютером команды, исполняемые компьютерным блоком для осуществления настоящего изобретения, описанного здесь и показанного на фиг. 1-2. Память поэтому, прежде всего, содержит модуль ввода данных, модуль абстракции и модуль интерполяции данных, позволяющие выполнять способы, показанные и описанные со ссылкой на фиг. 1-2. Модуль ввода данных содержит функциональные возможности, поддерживающие ввод сейсмических данных, интервалов/слоистости, фрагментов карт и чертежей от руки. Другими словами, модуль ввода данных интегрируется с DSEM™ и интерфейсом пользователя/видеоинтерфейсом, чтобы выполнять функции, описанные для этапов 102a, 104a, 104b и 104c на фиг. 1. Модуль абстракции данных интегрируется с DSEM™, чтобы выполнять функции, описанные для этапа 106 на фиг. 1. В частности, модуль абстракции данных содержит оцифровку, интеллектуальное уплотнение точек, структурные/диффузные тензоры, структурно ориентированное сглаживание и компоненты области сбросового смещения, чтобы выполнять функции, описанные для этапов 201-205 на фиг. 2. Модуль интерполяции данных интегрируется с DSEM™, чтобы

выполнять функции, описанные для этапа 108 на фиг. 1.

Хотя компьютерный блок показан как имеющий объединенную память, компьютерный блок обычно содержит разнообразные считываемые компьютером носители. Для примера, в частности, считываемые компьютером носители могут содержать компьютерные носители хранения данных. Компьютерная системная память может содержать компьютерный носитель для хранения данных в форме энергозависимой и/или энергонезависимой памяти, такой как постоянное запоминающее устройство (ROM) и оперативное запоминающее устройство (RAM). Базовая система ввода-вывода (BIOS), содержащая основные программы, которые помогают передавать информацию между элементами внутри компьютерного блока, такую как во время начальной загрузки, обычно хранится в ROM. RAM обычно содержит данные и/или программные модули, являющиеся немедленно доступными и/или в данный момент используемыми процессорным блоком.

Для примера, в частности, компьютерный блок содержит операционную систему, прикладные программы, другие программные модули и данные программ.

Компоненты, показанные в памяти, могут также содержаться на других съемных/несъемных, энергозависимых/энергонезависимых носителях для хранения компьютерных данных или могут быть реализованы в компьютерном блоке посредством прикладного программного интерфейса ("API"), который может находиться на отдельном компьютерном блоке, подключенном через компьютерную систему или через сеть. Только для примера, жесткий диск может считывать и/или записывать данные на несъемный, энергонезависимый магнитный носитель, дисковод магнитного диска может считывать и/или записывать на съемный, энергонезависимый магнитный диск и дисковод оптического диска может считывать и/или записывать на съемный, энергонезависимый оптический диск, такой как CD-ROM или другие оптические носители. Другие съемные/несъемные энергозависимые/энергонезависимые носители для хранения компьютерных данных, которые могут использоваться в примере операционной среды, могут содержать, в частности, кассеты с магнитной лентой, карты флэш-памяти, цифровые универсальные диски, цифровые видеоленты, твердотельное RAM, твердотельное ROM и т.п. Приводы и связанные с ними носители хранения компьютерных данных, обсуждавшиеся выше, обеспечивают хранение считываемых компьютером команд, структур данных, программных модулей и других данных для компьютерного блока.

Пользователь может вводить команды и информацию в компьютерный блок через интерфейс пользователя, который может быть устройством ввода, таким как клавиатура и манипулятор, обычно называемый "мышью", шаровым манипулятором или сенсорной панелью. Устройства ввода могут содержать микрофон, джойстик, спутниковую антенну, сканер и т.п. Эти и другие устройства ввода часто соединяются с процессорным устройством через системную шину, но могут соединяться через другие структуры интерфейсов и шины, такие как параллельный порт или универсальная последовательная шина (USB).

Монитор или другой тип устройства отображения могут соединяться с системной шиной через интерфейс, такой как видеоинтерфейс. Графический интерфейс пользователя ("GUI") может также использоваться вместе с видеоинтерфейсом, чтобы принимать инструкции от интерфейса пользователя и передавать команды на процессорный блок. В дополнение к монитору, компьютеры могут также содержать другие периферийные устройства вывода, такие как громкоговорители и принтер, которые могут также присоединяться через периферийный интерфейс вывода.

Хотя многие другие внутренние компоненты компьютерного блока не показаны, специалисты в данной области техники должны понимать, что такие компоненты и их взаимосвязи являются общепринятыми.

Хотя настоящее изобретение было описано в связи с предпочтительными в настоящее время вариантами осуществления, специалистам в данной области техники должно быть понятно, что эти варианты осуществления не предназначены ограничивать изобретение. Поэтому подразумевается, что в раскрытых вариантах осуществления могут быть реализованы различные альтернативные варианты осуществления и изменения, не отступая от сущности и объема изобретения, определяемых приложенной формулой изобретения и ее эквивалентами.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Осуществляемый компьютером способ моделирования трехмерной (3D) геологической структуры, содержащий этапы, на которых

оцифровывают изображение геологической структуры, представленной входными данными, причем оцифрованное изображение содержит многочисленные точки выборки; причем каждый тензор связывают с соответствующей точкой выборки в оптимизированном местоположении точки выборки для соответствующей точки выборки, основываясь на поиске ближайшего соседства или основываясь на поиске естественного соседства;

вычисляют область структурных и диффузных тензоров для оцифрованного изображения геологической структуры;

обрабатывают оцифрованное изображение для формирования улучшенного изображения, используя интеллектуальное уплотнение точек, чтобы инициализировать только одно местоположение для каж-

дой точки выборки и оптимизировать каждое местоположение точки выборки, чтобы минимизировать полную потенциальную энергию;

используя процессор компьютера, вычисляют область сбросового смещения для указанного оцифрованного изображения; и

интерполируют область структурных и диффузных тензоров, улучшенное изображение и область сбросового смещения для создания трехмерной геологической модели.

2. Способ по п.1, в котором обрабатывают оцифрованное изображение, используя структурно ориентированное сглаживание для формирования улучшенного изображения, содержащее по меньшей мере один из следующих фильтров: улучшающий когерентность анизотропный фильтр, структурно ориентированный фильтр интерпретации, рекурсивные (анизотропные) гауссовы фильтры и билатеральные фильтры.

3. Способ по п.2, в котором вычисление области сбросового смещения для указанного оцифрованного изображения содержит поиск векторов явного смещения в оцифрованном изображении и поиск местоположений пиков локальных взаимных корреляций между соседствующими вертикальными трассами для оцифрованного изображения.

4. Способ по п.3, в котором вычисление сбросового смещения для оцифрованного изображения может быть применено к любому формату оцифрованных данных, имеющих отношение к структурной информации.

5. Способ по п.1, в котором этап интерполяции содержит интерполяцию естественного соседства.

6. Способ по п.1, в котором этап интерполяции содержит направляемую изображением интерполяцию смешанного соседства.

7. Долговременный считываемый компьютером носитель, хранящий исполняемые компьютером команды для моделирования трехмерной (3D) геологической структуры, причем команды при их исполнении осуществляют следующее:

оцифровывают изображение геологической структуры, представленной входными данными, причем оцифрованное изображение содержит многочисленные точки выборки; причем каждый тензор связывают с соответствующей точкой выборки в оптимизированном местоположении точки выборки для соответствующей точки выборки, основываясь на поиске ближайшего соседства или основываясь на поиске естественного соседства;

вычисляют область структурных и диффузных тензоров для оцифрованного изображения геологической структуры;

обрабатывают оцифрованное изображение для формирования улучшенного изображения, используя интеллектуальное уплотнение точек, чтобы инициализировать только одно местоположение для каждой точки выборки и оптимизировать каждое местоположение точки выборки, чтобы минимизировать полную потенциальную энергию;

используя процессор компьютера, вычисляют область сбросового смещения для указанного оцифрованного изображения; и

интерполируют область структурных и диффузных тензоров, улучшенное изображение и область сбросового смещения для создания трехмерной геологической модели.

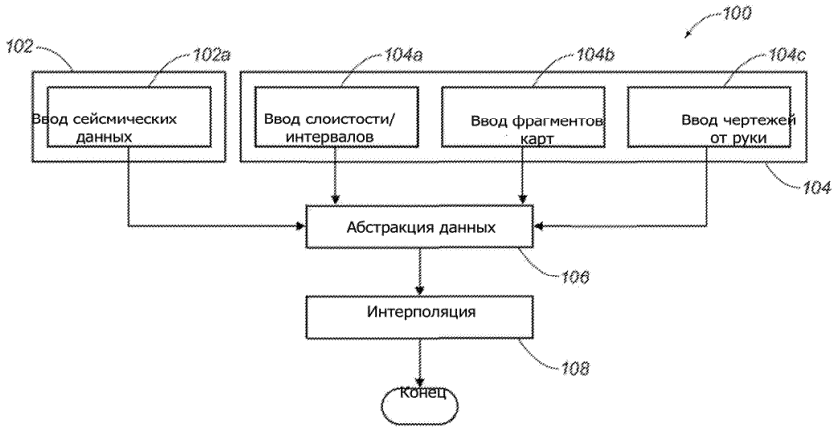
8. Считываемый компьютером носитель по п.7, в котором обрабатывают оцифрованное изображение, используя структурно ориентированное сглаживание для формирования улучшенного изображения, содержащее по меньшей мере один из следующих фильтров: улучшающий когерентность анизотропный фильтр, структурно ориентированный фильтр интерпретации, рекурсивные (анизотропные) гауссовы фильтры и билатеральные фильтры.

9. Считываемый компьютером носитель по п.8, в котором вычисление области сбросового смещения для указанного оцифрованного изображения содержит поиск векторов явного смещения в оцифрованном изображении и поиск местоположений пиков локальных взаимных корреляций между соседствующими вертикальными трассами для оцифрованного изображения.

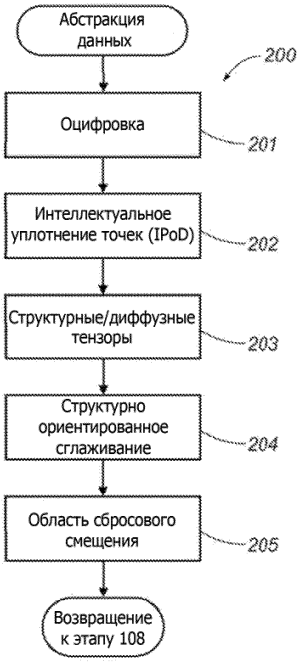
10. Считываемый компьютером носитель по п.9, в котором вычисление сбросового смещения для оцифрованного изображения может быть применено к любому формату оцифрованных данных, имеющих отношение к структурной информации.

11. Считываемый компьютером носитель по п.7, в котором этап интерполяции содержит интерполяцию естественного соседства.

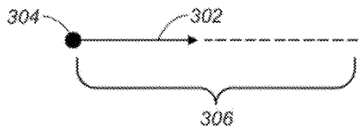
12. Считываемый компьютером носитель по п.7, в котором этап интерполяции содержит направляемую изображением интерполяцию смешанного соседства.



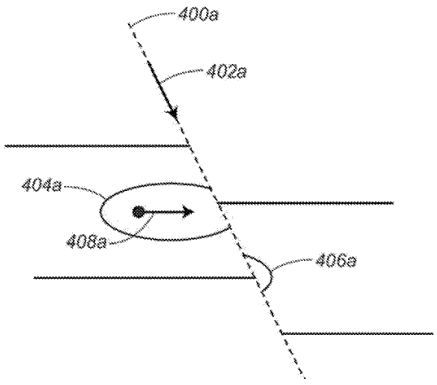
Фиг. 1



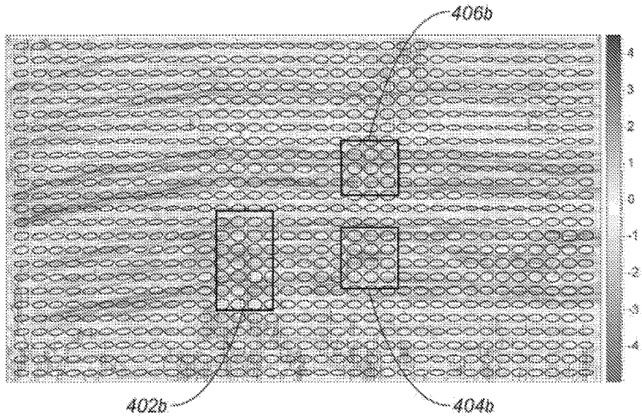
Фиг. 2



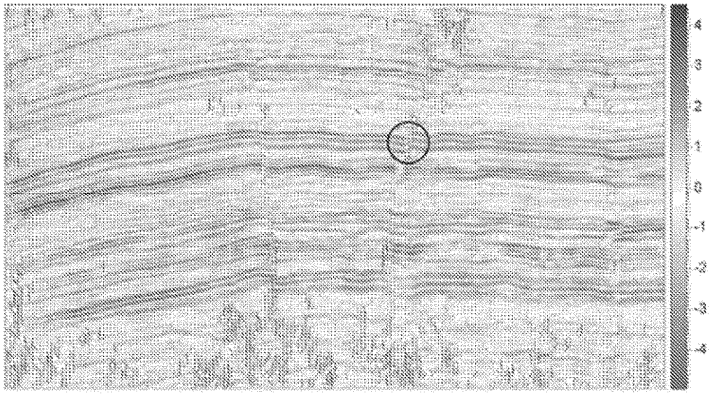
Фиг. 3



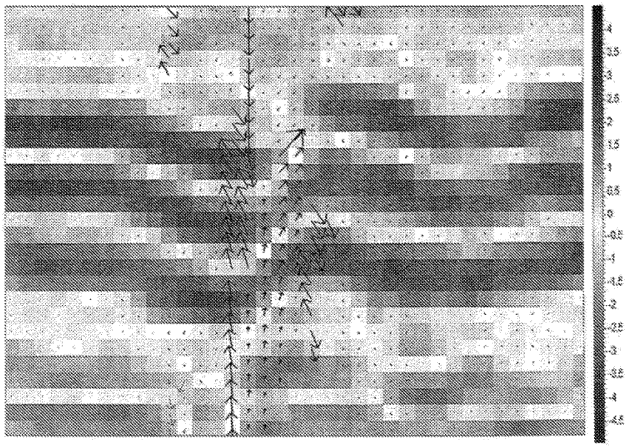
Фиг. 4А



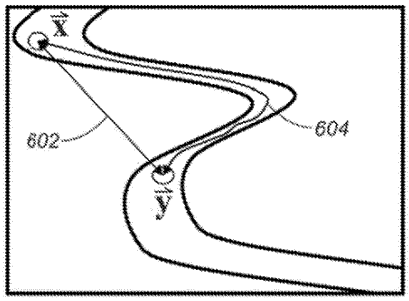
Фиг. 4B



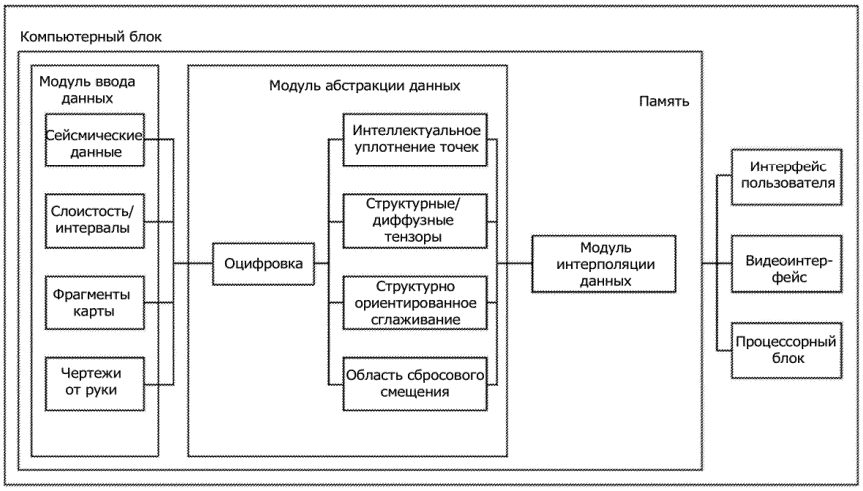
Фиг. 5A



Фиг. 5B



Фиг. 6



Фиг. 7

Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2