

7. Wu S.W., Gersho A. Rate-constrained picture-adaptive quantization for JPEG baseline coders // IEEE Intern. Conf. on Acoustic, Speech and Signal Processing. – 1993. – V. 5. – P. 390–392.
8. Liang J. Fast Multiplierless approximations of DCT with the lifting scheme // IEEE Trans. on Signal Processing. – 2001. – V. 49. – № 12. – P. 3032–3044.
9. ITU-CCITT Recommendation T.81 Information technology. – Digital compression and coding of continuous-tone still images. – ISO/IEC 10918-1. – 1992. – 182 p.
10. Набор изображений Calgary Corpus Gray Set 2. 2002. URL: <http://cdb.paradise-insight.us/?corpus=10> (дата обращения: 16.03.2011).
11. Модификация JPEG сжатия. 2012. URL: <http://jpg.vt.tpu.ru> (дата обращения: 10.03.2012).
12. Wang Z., Bovik A.C. Modern image quality assessment. – N.Y.: Morgan & Claypool, 2006. – 157 p.

Поступила 11.04.2012 г.

УДК 519.71+004

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ, НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

А.А. Захарова, А.В. Шкляр

Томский политехнический университет
E-mail: shklyarAV@mail.ru

Показана необходимость разработки и совершенствования визуальных моделей данных, способов их создания и использования. Представлен подход к построению многокомпонентных визуальных 3D-моделей, позволяющих проводить проверку, интерпретацию и анализ пространственной информации на примере моделей геологических данных.

Ключевые слова:

3D-моделирование, способы визуализации, визуальные образы, технология обработки данных.

Key words:

3D-modelling, visualization, data processing, visual form.

Использование визуальных способов анализа и интерпретации информации имеет многочисленные преимущества, одним из которых является высокая скорость понимания общего смысла данных и обнаружения содержащихся в них особенностей. Отдельным направлением в визуальном анализе данных является создание 3D-моделей – трехмерных графических образов, способных иметь разнообразную информационную основу [1].

Целью работы является обоснование актуальности использования трехмерных визуальных моделей при анализе сложных разнородных данных. Эффективность использования визуальных 3D-моделей обусловлена тем, что к анализу информации подключается ассоциативное образное мышление человека. Во многих случаях, создание подобной модели позволяет решать многочисленные задачи, для которых любое другое решение является дорогостоящим, технически сложным или вообще не существует. Важной особенностью 3D-моделирования является возможность создания моделей, как реальных пространственных объектов, так и несуществующих. Отдельной задачей, в общем случае не имеющей однозначного решения, является создание моделей при отсутствии исчерпывающей информации о пространственных характеристиках исходных объектов.

Трехмерное пространство, в котором создается модель, имеет интуитивно понятную ассоциативную связь с привычным для наблюдателя координатным представлением. Поэтому 3D-модели являются удобным способом представления информации о реальных пространственных объектах, позволяя легко распознавать и интерпретировать. Во многих задачах, созданные 3D-модели можно рассматривать как компактный и эффективный способ представления и, возможно, хранения информации.

Кроме того, пространство моделирования способно выполнять важную роль объединения пространств представления моделей, имеющих совершенно разное информационное содержание. Это позволяет дополнять восприятие каждой из таких субмоделей новой информацией, а также значительно ускорить интерпретацию предлагаемых наблюдателю данных. Как следствие, при создании визуальных 3D-моделей часто возникает стремление использовать пространство моделирования для объединения моделей всех данных, которые имеют отношение к исследуемой задаче. Одним из оценочных параметров визуальной модели является ее информационная ценность, которая определяется как количеством подключенных к модели информационных источников, так и скоростью интерпретации данных [2].

Вопросы, которые возникают при разработке визуальных 3D-моделей выглядят следующим образом:

- Общая постановка задачи, для решения которой создается модель.
- Источники данных, участие которых в формировании модели обязательно.
- Способы представления данных разных типов в едином трехмерном пространстве создания модели.
- Способы дополнительной обработки исходных данных и варианты включения результатов в состав модели при условии увеличения информационной ценности модели.
- Оценка необходимой для правильной визуализации точности (детальности) исходной информации, а также возможных вариантов упрощения модели.
- Определение способов визуализации данных, позволяющих интерпретировать их максимально эффективно, учитывая все имеющиеся компоненты модели.

В качестве показательного примера рассмотрим создание 3D-модели геологической среды. В общем случае такая модель включает в себя сразу несколько субмоделей: модель, описывающую геологическое строение моделируемого объекта, модель поверхности, объекты инфраструктуры (дороги, коммуникации, строения и т. д.), возможно, выделение в обособленные субмодели водных объектов, растительности, определенных по какому-либо критерию наборов искусственных сооружений и т. д. В силу целого ряда причин, каждая из таких субмоделей может иметь свой источник исходной для моделирования информации. Эта информация, в свою очередь, может иметь разный тип (цифровые данные, фотоизображения, схемы, чертежи и т. д.), а также различную детальность или достоверность.

Построение подобной модели может преследовать несколько целей: сопоставление информации, полученной из разных источников, но имеющей пересекающиеся области, моделирование технологических процессов, поиск визуальных решений для некоторых задач и, наконец, формирование у наблюдателя полноценного представления о сложной системе пространственных объектов, которой является любая геологическая система. В последнем случае требования к точности данных не столь высоки, как при моделировании для решения каких-то технологических задач. В такой ситуации имеет смысл оценить качество всех информационных источников, подключаемых к модели, чтобы определить максимально точный и при построении модели считать его опорным. Иными словами, возникает возможность на этапе моделирования уточнять и, при необходимости, корректировать некоторые данные в сторону увеличения их достоверности. Кроме того, оценивая подключаемые информационные источники с точки зрения их полноты и достоверности, мы опре-

деляем очередность их участия в моделировании. В большинстве ситуаций субмодели, имеющие наименьшее информационное наполнение (обычно, это разного рода схемы или, например, словесные описания), создаются в последнюю очередь. Это позволяет в качестве корректирующей информации или граничных условий для таких частей модели использовать уже созданные субмодели.

На следующем этапе происходит разработка механизмов использования исходной информации, в которую входит возможная конвертация форматов данных, определение соответствующих процедур моделирования 3D-геометрии, а также вариантов использования данных, не соответствующих визуальной модели по размерности. Ответы на эти вопросы могут быть получены после определения программного обеспечения, участвующего в создании модели. В настоящий момент, существует большое количество программных комплексов предназначенных для 3D-моделирования, как специализированных, обладающих средствами трехмерного моделирования только для определенных задач, так и универсальных, обладающих очень большим, постоянно пополняющимся набором инструментов. В ситуации, когда модель содержит компоненты разных типов, отличающихся друг от друга способами построения, анимации, взаимодействия с окружением и т. д., имеет смысл создавать 3D-модель, используя именно универсальные средства. Кроме того, использование универсальных средств является хорошим решением, предоставляющим возможность в случае необходимости в качестве субмоделей использовать результаты моделирования, полученные в специализированных программах. Это позволяет намного эффективнее использовать вычислительные мощности и время.

Вместе с вопросами импорта внешних данных, необходимо определиться с выбором наиболее правильного, с точки зрения общей цели создания модели, и информативного их представления. Поиск адекватной метафоры представления является отдельной самостоятельной задачей моделирования в силу того, что присутствие в модели нескольких информационных источников, может привести к созданию субмоделей, одновременное восприятие которых в едином визуальном пространстве становится затрудненным. Кроме того, моделирование и, возможно, анимация некоторых объектов может быть чрезвычайно трудоемким процессом как с технологической, так и с вычислительной точек зрения. Обычно, это касается моделирования сложных многочастичных систем, жидкостей или органических объектов. К тому же, модель может содержать данные, визуальное представление которых является условным. Например, варианты визуализации скалярных или векторных массивов данных могут быть определены исходя из их собственных свойств или происхождения, а также с позиции их наиболее эффективного визуального представления в рамках создаваемой модели.

Задачи выбора представления на этапе моделирования могут решаться по-разному. В одних случаях, используются возможности, предоставляемые средствами моделирования. Например, текстурирование является мощным средством, иногда позволяющим избежать, излишне детального воссоздания геометрии объекта. В других ситуациях, имеет смысл разработать для данных собственный визуальный образ, позволяющий наблюдателю правильно понимать заключенную в них информацию, но не создающий непреодолимых сложностей при моделировании. Одним из распространенных решений является использование цветового кодирования, позволяющее с хорошей степенью наглядности визуализировать скалярные данные на трехмерных поверхностях. Если же информация, на основании которой создается субмодель, имеет более сложную природу, то вопрос о соответствующем ей визуальном образе может иметь самые разные ответы. В любом случае, необходимо помнить о том, что основным приоритетом является не визуальный образ отдельной информацион-

ной составляющей модели, а общая цель ее создания и определяемая этой целью информационная ценность модели.

Наконец, помимо разрешения всех конструктивных вопросов, необходимо разработать еще одну составляющую часть любой 3D-модели. Речь идет об определении способов наблюдения модели, ее визуального исследования и, возможно, изменения параметров, управляющих вариантами представления модели. Существует достаточно большое количество различных приемов, позволяющих эффективно использовать преимущества трехмерного представления данных в визуальных моделях. К ним относятся, например, панорамный обзор, наблюдение за моделью из любой удобной точки или с выбранного ракурса, упрощенное (с уменьшенной детализацией) представление, возможность исключения из визуального образа модели отдельных компонент и т. д.

Этапы описанной выше технологии представлены на рис. 1.



Рис. 1. Этапы технологии создания визуальных моделей

В задаче создания модели геологической системы выбор источников информации сделан следующим образом. Собственно геологическая часть строится на основании данных, полученных из специализированных геоинформационных пакетов – так называемые *grid*-данные. Данные этого типа описывают геологическую структуру как набор непересекающихся поверхностей, являющихся геометрическим местом узловых точек с трехмерными координатами, определенными относительно заданной системы отсчета. Кроме этого, в качестве источников исходной информации выступают результаты аэрофотосъемки, схемы расположения наземных сооружений, коммуникаций и других объектов. Все эти данные имеют различное происхождение, форматы хранения и точность. Однако, с учетом схемы моделирования (рис. 1), при создании 3D-модели вся эта информация может быть использована.

В качестве среды моделирования выбран пакет 3Ds Max компании Autodesk, который предоставляет возможности трехмерного моделирования и соответствуют требованиям решаемой задачи. Данный пакет является достаточно универсальным средством, что позволяет эффективно использовать его для задач создания трехмерных геометрических объектов разных типов в едином пространстве многокомпонентной модели. Кроме того, 3Ds Max имеет инструменты взаимодействия (в том числе на уровне обмена форматами данных) со многими другими программными продуктами, а также для работы с текстами. Все это позволяет значительно упростить создание моделей объектов, имеющих сложную геометрию, не имеющих симметрии или регулярных структур. Именно с такими объектами приходится иметь дело при моделировании большинства природных объектов.

Исходя из специфики данных, описывающих геологическое строение набором N поверхностей, процесс моделирования предполагает создание $(N-1)$ трехмерных объектов, ограниченных сверху и снизу соответствующими поверхностями. В общем случае, значение N может быть достаточно большим, поэтому процедура создания каждого такого объекта должна содержать минимально возможное количество действий и зависеть лишь от определенного набора численных или иных параметров, полученных на основании исходных данных. Чтобы реализовать такой процесс, необходимо к одному из стандартных геометрических примитивов, имеющихся в 3Ds Max, последовательно применить серию преобразований с необходимыми параметрами.

Наиболее подходящим геометрическим примитивом для описываемой задачи является параллелепипед (*Box*). Поскольку все трансформации, которые произойдут с исходным объектом при моделировании будут действовать в направлении вертикальной оси координат (Z), то вертикальные поверхности *Box* могут иметь лишь минимально возможное разбиение. По этой же причине горизон-

тальные поверхности *Box*: верхнюю (*Top*) и нижнюю (*Bottom*) следует разбить на полигоны, получив таким образом точки поверхностей, которые будут непосредственно участвовать в преобразованиях. Частота разбиения по каждой из горизонтальных осей (X, Y) для одного параллелепипеда не может быть больше 200, а кроме этого зависит от числа точек в исходных для построения *grid*-данных. Так как целью создания визуальной модели для рассматриваемой задачи является предоставление наблюдателю всей необходимой исходной информации в виде набора визуальных образов, способных сформировать правильное представление об объекте моделирования даже у неподготовленного наблюдателя, то указанное выше разбиение является вполне приемлемым. Поскольку частота разбиения напрямую связана с достижимой точностью построения модели, то в случаях, когда детальность исходных данных оказывается более высокой, необходимо определять иные способы моделирования.

Размеры создаваемого объекта, который является образом одного из моделируемых геологических слоев, в горизонтальной плоскости задаются равными размерам реального объекта. Это позволяет в дальнейшем достаточно легко контролировать расположение и размеры любых субмоделей на поверхности. Для усиления выразительности ко всем вертикальным размерам может быть применен масштабирующий коэффициент, приемлемое значение которого определяется визуально. Расположение точки отсчета системы координат, общей для всего пространства моделирования определяется исходя из формата исходных данных, а также из соображений удобства моделирования.

Итак, процедура создания модели отдельного слоя происходит следующим образом. Исходный объект (ИО), имеющий необходимые размеры в плоскости XU и минимальный размер по высоте (Z), например 1 м (учитывая, что по X и Y размеры имеют значения порядка нескольких тысяч метров), позиционируется в пространстве. Расположение по Z относительно нижней поверхности (*Bottom*). Затем к ИО применяется модификатор растяжения (*Stretch*) в направлении Z на величину расстояния между нижними точками моделируемых поверхностей, соответствующих нижней и верхней поверхностям ИО.

$$K_n = z_{\min, n+1} - z_{\min, n}.$$

Остается только трансформировать эти поверхности в соответствии с исходными данными моделирования. Для трансформации нижней поверхности к узлам, расположенным на ней, применяется модификатор смещения (*Displace*). В качестве параметра трансформации выступает карта смещений (*Displacement Map*), полученная на основании данных, описывающих геологическую модель в пакете Petrel (рис. 2). Карта смещений представляет собой растровое монохромное изображение, значение яркости которой в точке, соответствующей узлу поверхности пропорционально величине мак-

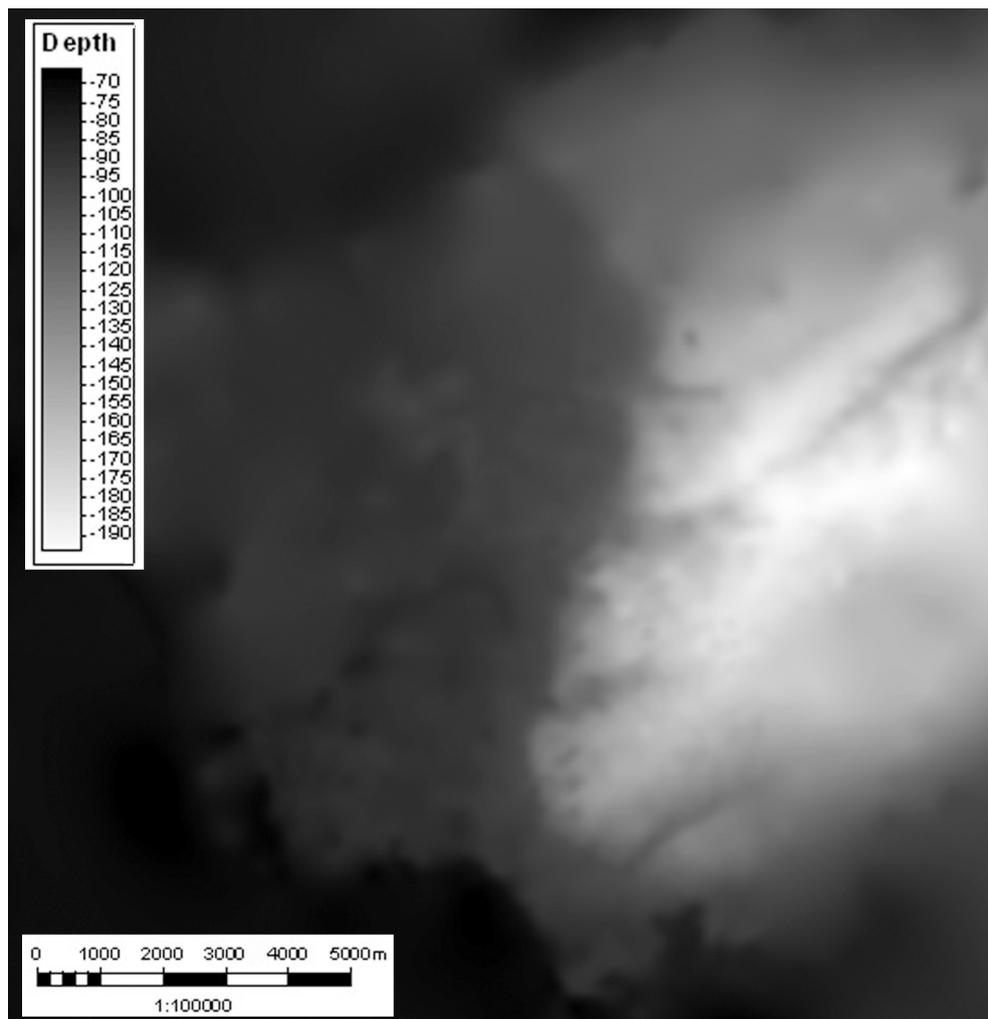


Рис. 2. Исходные данные для создания карты смещений

симального смещения $S_{D,n}$ для этой поверхности. Коэффициентом смещения *Strength* для модификатора *Displace* является расстояние между верхней и нижней точками поверхности n :

$$S_{D,n} = Z_{\max,n} - Z_{\min,n}$$

К узлам верхней поверхности будет применяться та же процедура, но с данными, соответствующими поверхности $n+1$.

В результате мы получаем 3D-модель отдельного слоя – независимый объект, ограниченный со всех сторон построенными поверхностями, спозиционированный в пространстве и соответствующий данным, исходным для моделирования (рис. 3).

Преобразования, примененные к ИО, являются независимыми и управляемыми, поэтому полученный объект свободно поддается изменениям и кор-

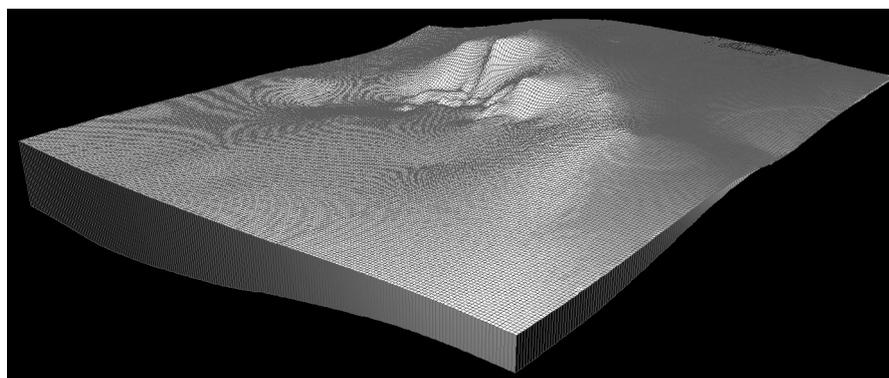


Рис. 3. 3D-модель отдельного слоя

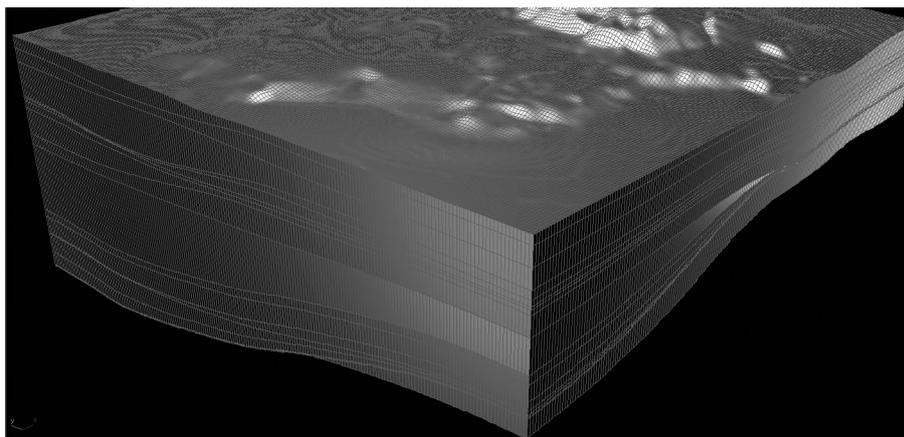


Рис. 4. Полный набор слоев модели

ректировке. Таким образом, для получения уникальной модели слоя геологической системы к ИО, являющемуся стандартным примитивом 3Ds Max, применена последовательность трансформаций, определенная и зависящая лишь от набора управляющих ею параметров: линейные размеры, положение в пространстве, карты смещений и соответствующие им коэффициенты растяжений. Все эти параметры могут быть получены из соответствующих информационных источников. Для построения моделей всех остальных слоев, присутствующих в геологической модели, необходимо в копиях уже построенного объекта заменить управляющие данные на соответствующие другим слоям (рис. 4).

Полученный набор объектов уже позволяет наблюдателю получить представление о геометрических свойствах моделируемой системы. Чтобы облегчить эту задачу, необходимо решить вопросы текстурирования и наиболее эффективной визуализации модели.

Инструменты текстурирования могут быть использованы в этой задаче двумя способами (рис. 5). С одной стороны, возможности 3Ds Max позволяют подобрать текстуры, соответствующие реальным породам, составляющим тот или иной слой, и получить, таким образом, возможность наблюдения действительной картины геологического строения. Этот вариант имеет смысл использовать лишь в случае особой необходимости, так как возникают сложности правильного визуального восприятия

объектов разного масштаба, которыми являются образцы пород и сама геологическая система.

С другой стороны, есть смысл сосредоточить усилия на подборе текстур, передающих наблюдателю информацию о функциональной или какой-то другой роли объекта, но не затрудняющий визуальное восприятие остальной информации. Этот вариант является разновидностью цветового кодирования, интуитивно понятен и потому имеет достаточно широкое применение.

Использование результатов аэрофотосъемки создает отдельный информационный объект, существенно дополняющий визуальную информативность модели (рис. 6). Происходит это из-за появления большого количества деталей, содержащихся в растровых источниках, а также за счет возникновения визуально распознаваемых масштабных элементов. В то же время, уже созданная рельефная 3D-модель дополняет информативность исходных материалов аэрофотосъемки, представляющих собой, по сути, обычную плоскую картографическую проекцию [3].

Построенная к этому моменту 3D-модель уже представляет собой достаточно объемный источник визуальной информации, но может, при необходимости, дополняться субмоделями любых, интересующих наблюдателя, объектов. Например, самостоятельными объектами могут быть модели коммуникаций, дорожной сети, инженерных сооружений и т. д. — все зависит от постановки основной задачи моделирования (рис. 7).

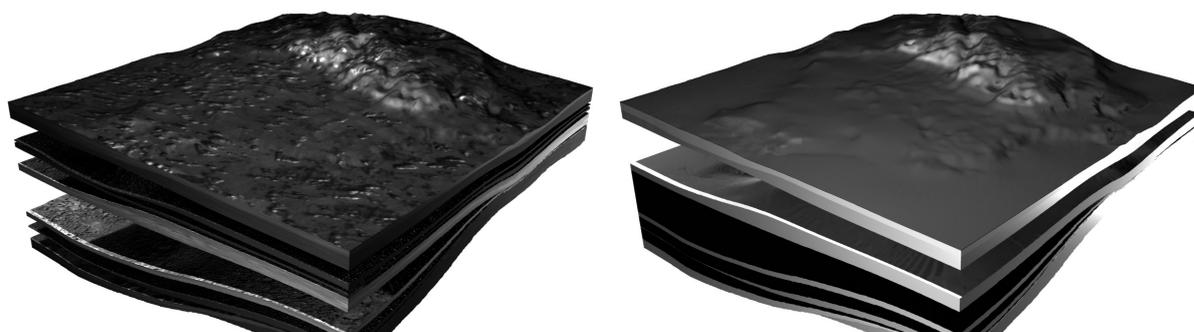


Рис. 5. Примеры различных вариантов текстурирования

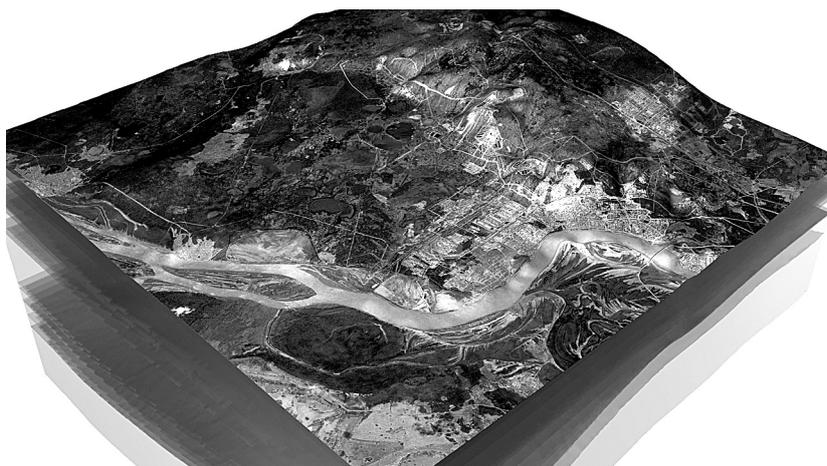


Рис. 6. Модель, содержащая данные аэрофотосъемки

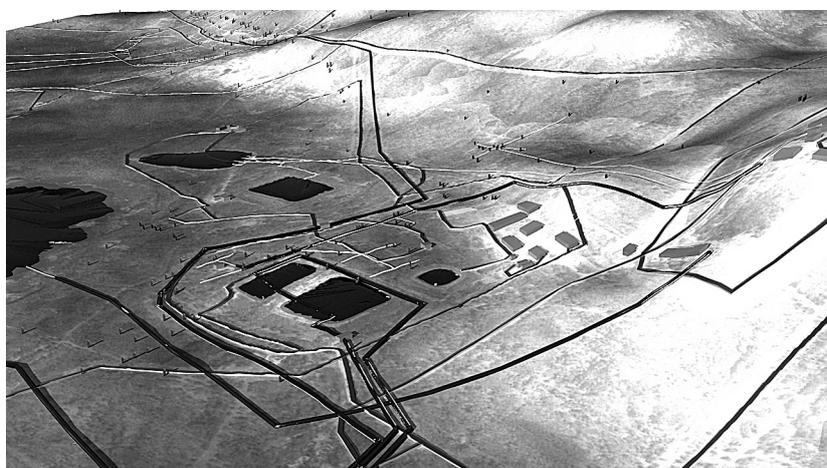


Рис. 7. Субмодели (дополнительные объекты модели)

Если модель включает в себя большое число субмоделей или визуальные образы некоторых из них слишком сложны, может возникнуть ситуация, когда восприятие содержащейся в них информации становится затрудненным. В таких случаях необходимо либо находить способы упрощения визуального представления субмоделей (или модели в целом), либо, если постановка задачи позволяет это сделать, временно исключать некоторые из субмоделей из общего визуального образа.

Одним из самых эффективных способов получения наблюдателем информации, заложенной в 3D-модель, является возможность наблюдения за ней из любой точки пространства, выбирая ту, которая обеспечивает максимальную информативность (точки наблюдения) [4]. Для достижения этой цели используют всевозможные перемещения точки наблюдения (виртуальной камеры), а также ее вращения. Кроме этого, очень часто в ситуациях, когда исследуемый объект имеет сложную геометрию или является совокупностью большого числа более мелких объектов, получение наблюдателем полноценного представления о модели возможно только с использованием подвижной камеры. Создание замкнутых траекторий движения ка-

меры различной сложности позволяет наблюдателю плавно менять положение точки наблюдения, использовать при необходимости эффекты масштабирования, заменяя статичное наблюдение на динамичный содержательный процесс исследования.

Заключение

Обоснована эффективность использования визуальных 3D-моделей для интерпретации и анализа сложной информации. Построена визуальная 3D-модель геологического комплекса, имеющая необходимые средства наблюдения и изучения. Информационное содержание модели объединяет в едином визуальном пространстве все имевшиеся при создании модели источники информации. Обеспечена возможность дополнения и расширения модели при подключении новых данных, а также механизмы бесконфликтного объединения разнородной информации в рамках единой модели. Описанная технология в общем случае может быть применена при создании визуальных 3D-моделей объектов самой разной природы, степени сложности и использующих источники информации разных типов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Могиленских Д.В., Павлов И.В., Федоров В.В., Мельникова С.Н., Сапожникова Е.Э. Принципы построения и функциональное содержание системы визуализации для анализа скалярных и векторных полей, заданных на двумерных регулярных сетках / Препринт РФЯЦ – ВНИИТФ. – Снежинск, 2000. – № 172. – 26 с.
2. Бондарев А.Е., Галактионов В.А. Анализ развития концепций и методов визуального представления данных в задачах вычислительной физики / Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – № 53. – 28 с. URL: http://www.keldysh.ru/papers/2009/prep53/prep2009_53 (дата обращения: 28.03.2012).
3. Андреев С.В., Галактионов В.А., Денисов Е.Ю., Кирилов Н.Е. Синтез фотореалистичных трехмерных изображений в современных системах презентаций // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 37–40.
4. Ванданов В.Г., Долговесов Б.С., Исламов Р.Р., Казанский И.П., Клименко С.В., Ковальков М.А., Мазурок Б.С., Морозов Б.Б. Программно-аппаратный комплекс 3D презентаций на основе виртуальной студии и виртуального окружения // Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования: Труды I Международ. конф. – Ижевск: УдГУ, 2009. – Т. 1. – С. 73–77.

Поступила 28.03.2012 г.

УДК 550.8.053

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДОВ ФАЗОЧАСТОТНОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.П. Иванченков, А.И. Кочегуров, О.В. Орлов

Томский политехнический университет
E-mail: kai@cc.tpu.edu.ru

Приведены результаты исследования разрешающей способности методов фазочастотного прослеживания сейсмических сигналов на моделях волновых полей и реальных данных. Показано, что методы фазочастотного прослеживания сигналов с равновесной и неравновесной обработкой обладают высокой разрешающей способностью и позволяют выделять слабые отражения в волновом поле. Результаты обработки полевых материалов подтверждают выводы математического моделирования и практическую ценность разработанных методов.

Ключевые слова:

Сейсмические сигналы, фазочастотные характеристики, разрешающая способность, функция правдоподобия.

Key words:

Seismic signals, phase-frequency characteristic, resolving ability, likelihood function.

Прослеживание сейсмических волн и границ занимает одно из ведущих положений при решении задач структурной сейсморазведки. В общей постановке в задачу прослеживания входит обнаружение волн, их идентификация и оценка параметров. Основными неизвестными параметрами при прослеживании волн являются моменты их прихода. Варианты прослеживания фиксированных волн (границ) связаны с назначением участков, в пределах которых исследуется поведение искомого объекта. На основе результатов прослеживания выходных данных осуществляется построение структурных карт и палеопостроения.

Не менее важное значение имеет прослеживание волн при решении задач прогноза геологического разреза, в том числе прогноза нефтегазоносности. При решении этих задач требуется проводить как детальное изучение геометрических параметров и формы выделяемых локальных геологических объектов, так и осуществлять оценку комплекса кинематических параметров, используемых при прогнозе. При прослеживании волн может также производиться определение ряда динамических параметров выделяемых отражений, напри-

мер, их амплитудных, энергетических и фазовых спектров.

На практике довольно часто необходимо решать задачи прослеживания волн в условиях их интенсивной интерференции. Такая ситуация наиболее характерна при исследованиях тонкослоистых сред. При этом, как правило, приходится осуществлять прослеживание волн в условиях, когда форма сигналов неизвестна. В этой связи реализуемые алгоритмы прослеживания сейсмических волн должны обладать повышенной разрешающей способностью и позволять надежно осуществлять оценку их кинематических параметров в условиях неполной априорной информации о свойствах выделяемых сигналов.

Для решения задач прослеживания волн нами был предложен ряд спектральных методов, использующих только информацию о фазовых спектрах регистрируемых сигналов [1–3]. Так в [1] рассмотрен оптимальный метод прослеживания фиксированных волн, наблюдаемых на фоне гауссовых помех, который реализуется в виде процедуры поиска максимума функции правдоподобия:

$$L(t) = \sum_{k=1}^m \delta(\omega_k) \cos(\Delta\phi(\omega_k) - \omega_k t). \quad (1)$$