КОГНИТИВНАЯ ГРАФИКА И СЕМАНТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ РЕШЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Л.В. Массель, А.Г. Массель*, Р.А. Иванов**
**Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева*
Иркутск, Россия, massel@isem.sei.irk.ru

COGNITIVE GRAPHICS AND SEMANTIC MODELING FOR GEOSPATIAL SOLUTIONS IN ENERGY SECTOR

L.V. Massel, A.G. Massel*, R.A. Ivanov**
**Melentiev energy system institute,*
Irkutsk, Russia, massel@isem.esi.irk.ru

Abstract. The author team proposes the integration of mathematical and semantic modeling and visual analytics techniques, including the use of geographic information technologies, to solve geospatial problems. We consider these types of semantic modeling as ontological, cognitive, probability and event simulation. It is shown that graphic semantic models have properties of cognitive graphics. Traditional GIS and geo-tools providing opportunities of 3D-geovisualization are compared. The author tool of 3D-geovisualization named Geocomponent and its application to solving of geospatial energy problems are described. We consider the integration of semantic modeling and 3D-geovisualization providing situational awareness of the researcher, and, as a result, the expansion of visual analytics opportunities and their using to solve geospatial problems of management in the energy sector.

Keywords: cognitive graphics, semantic modeling, visual analytics, geographic information technologies, 3D-geovisualization.

Введение. Решение геопространственных задач всегда было актуально для управления энергетическими системами России, которые характеризуются как большой протяженностью энергетических магистралей (трубопроводов и линий электропередач (ЛЭП)), так и распределенностью энергетических объектов на огромных территориях страны. В настоящее время эта актуальность обострилась в связи с быстроменяющейся политической и экономической обстановкой и необходимостью оперативного обоснования решений по развитию энергетики.

Для решения геопространственных задач коллективом, возглавляемым автором, предлагается интеграция математического и семантического моделирования и методов визуальной аналитики, в том числе с использованием геоинформационных технологий.

Семантическое моделирование представляет одно из современных направлений искусственного интеллекта и связано с описанием предметной области с помощью концептов (базовых понятий) и отношений между ними. В авторском коллективе разрабатываются такие виды семантического моделирования, как онтологическое, когнитивное, вероятностное и событийное.

Первое (онтологическое) используется для классификации концептов предметной области, второе (когнитивное) позволяет выявить причинно-следственные отношения между концептами (факторами) и вклад факторов, например, в формирование угроз энергетической безопасности. Вероятностное и событийное моделирование в этом случае используются для моделирования развития критических и чрезвычайных ситуаций, являющихся следствием реализации угроз энергетической безопасности. Обзор этих методов дан, например, в работе авторов [7].

Онтологии были предложены для декларативного представления знаний и определяются в общем виде как база знаний специального вида, или как «спецификация концептуализации» предметной области. Это означает, что в предметной области на основе классификации базовых терминов выделяются основные понятия (концепты) и устанавливаются связи между ними (концептуализация). Затем онтология может быть представлена в графическом виде или описана на одном из формальных языков (формальная онтология) – это процесс спецификации онтологий. В коллективе, представляемом авторами, для поддержки онтологического моделирования разработано инструментальное средство OntoMap (могут использоваться также и другие, свободно распространяемые средства онтологического моделирования).

Под когнитивным моделированием понимается построение когнитивных моделей, или, иначе, когнитивных карт (ориентированных графов), в которых вершины соответствуют факторам (концептам), а дуги – связям между факторами (положительным или отрицательным), в зависимости от характера причинно-следственного отношения. Математическим аппаратом для построения когнитивных моделей является теория графов. Вопросы когнитивного моделирования в энергетике рассматривались, например, в [7]. В исследованиях проблем ЭБ когнитивное моделирование используется для ситуационного анализа проблемы ЭБ и моделирования угроз ЭБ, под которыми понимаются неблагоприятные для энергетики события. В авторском коллективе реализованы инструментальные средства поддержки когнитивного моделирования – библиотека CogMap. Пример интерфейса этой библиотеки приведен на рисунке 1.

Рис. 1. Пример интерфейса библиотеки CogMap
(когнитивная модель угрозы «Авария, взрыв, пожар»)

Под событийным моделированием понимается построение поведенческих моделей, причем в качестве объектов моделирования могут рассматриваться как люди, так и технические объекты. Сущность событийного метода моделирования заключается в отслеживании на модели последовательности событий в том же порядке, в каком они происходили бы в реальной системе. Задаваемые моделью последовательности реализаций событий – цепочки событий – описывают сценарии реакции системы на возникновение инициирующего события, стоящего в начале цепочки.

В качестве инструмента событийного моделирования используется аппарат Joiner-сетей (JN) – одной из разновидностей алгебраических сетей, которую можно рассматривать как расширение сетей Петри, ориентированное на построение поведенческих моделей. В основе теории JN лежит описание логики взаимодействия асинхронных процессов в виде набора пусковых и флаговых функций, состоящих из булевых функций. Особенностью JN является то, что они предусматривают как графическое представление, так и описание в виде логических формул, обработку которых можно автоматизировать. Событийное моделирование в энергетике развивается авторами совместно с В.Л. Аршинским [1, 7]. Реализованы инструментальные средства поддержки когнитивного моделирования – библиотека EventMap. В последнее время область семантического моделирования расширена применением байесовских сетей доверия для оценки рисков чрезвычайных ситуаций, для поддержки которого реализована библиотека BayNet [10].

Все семантические модели, как правило, представляются в графическом виде, хотя каждый вид семантической модели имеет свой математический или формализованный аппарат для их описания: специальные формализованные языки для описания онтологий (XML, RDF, OWL и др.), теория графов для когнитивных моделей, теория Байесовских сетей доверия для вероятностных и теория Joiner-сетей для событийных моделей). Инструментальные средства семантического моделирования интегрированы в рамках интеллектуальной ИТ-среды, схема которой приведена в конце статьи.

Когнитивная графика и визуальная аналитика. Представление семантических моделей в графическом виде позволяет связать их с когнитивной графикой. Этот термин был введен в российской науке А.А. Зенкиным в 90-х гг. прошлого столетия и первоначально связывался с новыми возможностями визуализации результатов научных исследований, обусловленными появлением новых графических средств персональных компьютеров [4]. Впоследствии было осознано, что графические образы могут активизировать ассоциативную логику подсознательных процессов мышления человеческого мозга, что позволяет с помощью когнитивной графики быстро находить оригинальные и зачастую неожиданные решения. По сути дела, семантические модели обладают свойствами когнитивной графики и особенно полезны для специалистов с преобладающим образным мышлением. Следует отметить, что семантические модели позволяют выполнить качественный анализ решаемой задачи. Для количественного обоснования предлагаемых решений необходимо привлекать результаты математического моделирования, которые, кроме того, представляются более убедительными для специалистов с преобладающим логическим мышлением. Тем не менее, для иллюстрации математических решений также может использоваться когнитивная графика, что и было успешно продемонстрировано А.А. Зенкиным в его работах.

Появление термина «визуальная аналитика» (Visual Analytics) датируют 2004 г., связывая его с книгой Д. Томаса «Освещающая путь, программа исследований и разработок по Visual Analytics», выпущенной как

программный документ Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, входящей в число шестнадцати лабораторий Министерства энергетики США. В этой книге визуальная аналитика определяется как умение мыслить аналитически, поддержанное графическим интерфейсом. Visual Analysis имеет как минимум две трактовки. Согласно первой так называют широкий круг междисциплинарных исследований, так или иначе связанных с применением интерактивных визуальных средств для анализа данных. Второе значение распространяется на собственно аналитический компонент Visual Analytics, состоящий из автоматической и интерактивной частей. Связь визуальной аналитики с другими областями применения информационных технологий (ИТ) показана на рисунке 2 [12].

Рис. 2. Связь визуальной аналитики с другими областями применения ИТ

Аналитические задачи являются частью одной из самых быстроразвивающихся областей применения ИТ, иногда неожиданных. Например, сейчас активно развивается область визуализации текстовых данных (возможность вынести достоверное суждение о содержании документов, не прибегая к чтению в деталях), что хорошо коррелируется с когнитивной графикой. Как показано на рисунке 1, визуальная аналитика лежит на пересечении двух областей: автоматического анализа и визуализации данных.

При решении геопространственных задач визуальная аналитика, безусловно, тесно связана с геоинформационной аналитикой, поддерживаемой технологиями геовизуализации. Остановимся на них подробнее.

Технологии геовизуализации. В исследованиях направлений развития энергетики с учетом требований энергетической безопасности первоначально использовались (и продолжают использоваться в некоторых отделах Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, где работает автор) традиционные геоинформационные системы (ГИС), интегрирующие базы данных и электронные карты с векторным представлением информации. К сожалению, традиционные ГИС не пользовались большим успехом у энергетиков и не нашли широкого распространения при решении стратегических задач развития энергетики. Это было обусловлено тем, что при прокладке новых газопроводов и ЛЭП, а также размещении проектируемых энергетических объектов (например, ГЭС), большое значение имеют особенности рельефа, которые наглядно не иллюстрируются в традиционных ГИС. Кроме того, использование картографических проекций и необходимость построения отдельной ГИС для каждого уровня генерализации объектов создает определенные ограничения в применении такого подхода для решения геопространственных задач в энергетике.

С появлением нового направления визуализации геопространственной информации, названного неогеографией, появилась возможность использования при решении геопространственных задач в энергетике реалистичных отображений земной поверхности (космических и аэрофотоснимков) в совокупности с трехмерной моделью Земного шара, что позволяет перейти на новый уровень развития средств поддержки принятия решений в энергетике. Новый подход разумеется, не означает отказа от карт или от картографической информации, они могут входить в новые информационные среды в качестве одного из элементов.

Термин Неогеография получил широкое распространение после появления в 2005 г. принципиально нового геосервиса Google Earth, радикально отличавшегося от прежних обычных и цифровых географических карт, глобусов и ГИС. Новизна подхода заключалась в принципиально новом подходе к работе с геопространственной информацией, которое было достигнуто путем слияния нескольких известных ранее технологий [3].

Существенные признаки, отличающие неогеографические продукты, впервые выделены в российском определении Неогеографии. Неогеография – новое поколение средств и методов работы с геопространственной информацией, отличающееся от предыдущих (карт и ГИС) тремя основными признаками:

- использованием географических систем координат, а не картографических проекций;
- применением растрового, а не векторного представления географической информации в качестве основного;
- использованием открытых гипертекстовых форматов представления геоданных.

Основой принципов неогеографии является переход к использованию нередуцированных наборов данных. Информация хранится уже не в виде проекции её на что бы то ни было, а в геоцентрической системе координат, обеспечивающей полноту трёхмерного представления данных, всеракурсность, сочетание глобальности и детальности. Неогеография даёт пользователю возможность произвольным образом выбирать ракурсы (и определяемую ими степень детальности) просмотра информации, плавно переходя при этом от одного ракурса к другому по мере необходимости. При этом обеспечивается естественное и метрически точное представление трёхмерного пространства без его редукции к какой-либо поверхности. Пользователь продуктов и сервисов, в которых реализован принцип неогеографии получает возможность оказаться «внутри» данных, а не только воспринимать их «снаружи», как в рамках картографического подхода [3].

В авторском коллективе реализован подход, позволяющий использовать новый подход и открытые-геосервисы (например, GoogleEarth) с помощью специального авторского геокомпонента, преобразующего данные в требуемый геосервисом формат KML, при этом могут использоваться как первоначально вводимые данные и результирующие данные научных расчетов, так и накопленные данные, в том числе из баз данных ГИС [Массель Л. и др., 2011].

Примеры решения энергетических задач с использованием 3D-геовизуализации. Авторами разработаны соответствующая методика и инструментальные средства 3D-геовизуализации (Геокомпонент) для решения пространственно-распределенных энергетических задач [Иванов 2013]. В последнее время Геокомпонент реализован как Web-приложение [Массель Л. и др., 2014]. Поставлен и решен ряд геопространственных задач с использованием 3D-геовизуализации, таких как:

- задача получения профиля рельефа и участков с различными горно-геологическими условиями строительства для первичного экономического обоснования маршрутов трубопроводов (рис. 3);

Рис. 3. 3D-геовизуализация четырех сравниваемых маршрутов транспортировки газа от Ковыктинского газоконденсатного месторождения на экспорт в Китай

- задача определения вклада различных энергетических объектов в загрязнение окружающей путем визуализации полей выбросов и функций распределения загрязняющих веществ (рис. 4);

Рис. 4. 3D-геовизуализация результатов измерений загрязнений вблизи объектов энергетики (содержание SO_4 в мг/л вблизи ТЭЦ г. Шелехов) и поля выбросов построенного методом бикубической интерполяции

- задача отображения текущего состояния энергетической безопасности как по России в целом, так и по отдельным федеральным округам с помощью отображения индикаторов энергетической безопасности в привязке к территориям (рис. 5).

Рис. 5. Визуализация индикатора энергетической безопасности по Сибирскому Федеральному округу, Высота и цвет цилиндра соответствуют текущему значению индикатора

Интеграция семантического моделирования и 3D-геовизуализации. Геокомпонент интегрирован в состав интеллектуальной ИТ-среды для исследований и обеспечения энергетической безопасности страны и ее регионов (рис. 6).

Рис. 6. Взаимосвязь инструментальных средств интеллектуальной ИТ-среды

Интеллектуальная ИТ-среда интегрирует инструментальные средства семантического моделирования: OntoMap (для поддержки онтологического моделирования), CogMap (инструмент когнитивного моделирования), BayNet (поддержка вероятностного моделирования на основе Байесовских сетей доверия), EventMap (инструмент событийного моделирования). Также ИТ-среда обеспечивает возможность передачи результатов качественного анализа, проведенного с помощью семантического моделирования, в традиционные программные комплексы, реализующие экономико-математические модели топливно-энергетического комплекса страны, использующиеся для исследований проблем энергетической безопасности (например, в авторский многоагентный программный комплекс ИНТЭК-М).

Интеграция Геокомпонента и перечисленных средств семантического моделирования позволяет обеспечить 3D-геовизуализацию результатов когнитивного и событийного моделирования, что усиливает «когнитивный эффект» этих видов моделирования. Иными словами, использование 3D-визуализации существенно усиливает эффект когнитивной графики, которым обладают графические семантические модели (рис. 7).

Рис. 7. Сравнение сценариев развития ситуации путем сравнения индикаторов энергетической безопасности. Два цилиндра для каждого субъекта РФ соответствуют исходному значению показателя и его изменению при реализации сценария развития ситуации

Выводы. «Погружение» исследователя в визуальную среду решения геопространственных задач обеспечивает ситуационную осведомленность, что, безусловно, связано с активизацией подсознательного мышления и повышает качество решаемых задач, привлекая интуицию и накопленный опыт.

Таким образом, интеграция когнитивной графики и ситуационной осведомленности, основанной на 3D-визуализации, существенно расширяет возможности визуальной аналитики, придает ей новое качество и переводит исследования на другой уровень, позволяя связать знаковое (семиотическое) и беззнаковое (образное) восприятие информации и использовать новые возможности для решения управленческих геопространственных задач, в частности, в энергетике.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ №13-07-00140, 15-07-01284, №14-07-00116, №15-57-04074 Бел_мол_а и гранта Программы Президиума РАН №229.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК REFERENCE

1. Аршинский В.Л. Событийное моделирование чрезвычайных ситуаций в энергетике // Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе: Труды Международной конференции – Украина, Гурзуф, 2010. С. 299–301.
Arshinskij V.L. Sobytijnoe modelirovanie chrezvychajnyh situacij v jenergetike [Event simulation of emergency situations in the energy sector], Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii, telekommunikacii i biznese: Trudy Mezhdunarodnoj konferencii – Ukraine, Gurzuf, 2010. pp. 299–301 (in Russian).
2. Ерёмченко Е.Н. Неогеография: особенности и возможности. Материалы конференции «Неогеография XXI-2008» IX Международного Форума Высокие технологии XXI в., М.: 22–25 апреля 2008 г. С. 170–179.
Erjomchenko E.N. Neogeografija: osobennosti i vozmozhnosti [Neogeography: features and capabilities], Neogeografija: osobennosti i vozmozhnosti. Materialy konferencii 'Neogeografija XXI-2008' IX Mezhdunarodnogo Foruma Vysokie tehnologii XXI veka, M.: April 22–25, 2008. pp. 170–179 (in Russian).
3. Ерёмченко Е.Н. Неогеография и Situational Awareness. Материалы конференции «Неогеография XXI-2009» X Международного Форума «Высокие технологии XXI в., М.: 21–24 апреля 2009 г., С. 434–436.
Erjomchenko E.N. Neogeografija i Situational Awareness. [Neogeography and Situational Awareness], Neogeografija i Situational Awareness. Materialy konferencii 'Neogeografija XXI-2009' X Mezhdunarodnogo Foruma 'Vysokie tehnologii XXI veka', M.: April 21–24, 2009. pp. 434–436 (in Russian).
4. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. – М.: Наука, 1991. 192 с.

Zenkin A.A. Kognitivnaja komp'juternaja grafika [Cognitive Computer Graphics], – М.: Nauka, 1991. 192 p. (in Russian)

5. *Иванов Р.А.* Методика 3D – визуализации для поддержки принятия решений в энергетических исследованиях // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. №1(37).С. 116–121.

Ivanov R.A. Metodika 3D – vizualizacii dlja podderzhki prinjatija reshenij v jenergeticheskix issledovanijah [Methods of 3D-visualization for decision support in energy research], Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. – 2013.No1 (37). pp. 116–121(in Russian).

6. *Массель А.Г.* Когнитивное моделирование угроз энергетической безопасности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), отд. вып. №17. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010.С. 194–199.

Massel' A.G. Kognitivnoe modelirovanie ugroz jenergeticheskoy bezopasnosti [Cognitive modeling threats to energy security], Gorny informatsionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal), Vol. No17. – М.: Izd-vo 'Gornajakniga', 2010. pp. 194–199.

7. *Массель Л.В., Аршинский В.Л., Массель А.Г.* Интеллектуальные информационные технологии поддержки принятия решений в исследованиях и обеспечении энергетической безопасности// Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного эксперимента: Труды Международной конференции. – Евпатория, 2010.С.192–196.

Massel' L.V., Arshinskij V.L., Massel' A.G. Intel'ktual'nye informacionnye tehnologii podderzhki prinjatija reshenij v issledovanijah i obespechenii jenergeticheskoy bezopasnosti [Intelligent information technology to support decision-making in research and energy security], Intel'ktual'nye sistemy prinjatija reshenij i problemy vychislitel'nogo jeksperimenta: Trudy Mezhdunarodnoj konferencii. - Yevpatoriya, 2010pp. 192–196.

8. *Массель Л.В., Иванов Р.А.* 3D-геомоделирование в исследованиях энергетики: примеры применения и перспективы// Вестник ИрГТУ. – 2011. Вып. 4(51). С. 6–11.

Massel' L.V., Ivanov R.A. 3D-geomodelirovanie v issledovanijah jenergetiki: primery primenenija i perspektivy [3D-geomodeling energy research: application examples and prospects], Vestnik ISTU. – 2011. Vol. 4 (51). pp. 6–11.

9. *Массель Л.В., Массель А.Г.* Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135–141.

Massel' L.V., Massel' A.G. Intel'ktual'nye vychislenija v issledovanijah napravlenij razvitija jenergetiki [Intelligent computing research areas of energy development], Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2012. – Т. 321. – No 5. Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika. pp. 135–141.

10. *Массель Л.В., Пяткова Е.В.* Применение байесовских сетей доверия для интеллектуальной поддержки исследований проблем энергетической безопасности // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – №2С. 8–13

Massel' L.V., Pjatкова E.V. Primenenie bajesovskih setej doverija dlja intel'ktual'noj podderzhki issledovanij problem jenergeticheskoy bezopasnosti [Application of Bayesian belief networks to support research of intellectual energy security problems], Vestnik ISTU. – 2012. No2 pp. 8–13

11. *Массель Л.В., Иванов Р.А., Чemezov А.А.* Web-приложение для 3d-визуализации в исследованиях и обосновании решений в энергетике // Образовательные ресурсы и технологии. 2014. №5. С. 101–107. [Электронный ресурс]. URL: http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_5_101-107.pdf

Massel' L.V., Ivanov R.A., Chemezov A.A. Web-prilozhenie dlja 3d-vizualizacii v issledovanijah i obosnovanii reshenij v jenergetike [Web - application for 3d-visualization in research and justification of decisions in the energy sector], Obrazovatel'nye resursy i tehnologii. 2014.No5. pp. 101–107. URL: http://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_5_101-107.pdf

12. *Черняк Л.* Визуальная аналитика и обратная связь. «Открытые системы», №6, 2013. URL: <http://www.osp.ru/os/archive/> (Дата обращения 02.12.2014)

Chernjak L. Vizual'naja analitika i obratnaja svjaz' [Visual analytics and feedback], 'Otkrytye sistemy', No6, 2013. URL: <http://www.osp.ru/os/archive>.