

УДК 004.822+528.9

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

И.Т. ДАВЫДЕНКО, С.А. САМОДУМКИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 1 ноября 2013*

Рассмотрены принципы и подходы к проектированию интеллектуальных справочных систем. В основу предлагаемого подхода положено понятие семантической модели интеллектуальной справочной системы и кодирование информации с использованием семантической сети. Предложенные в работе принципы иллюстрируются на примере разработки отдельного класса справочных систем – геоинформационных систем.

*Ключевые слова:* семантическая сеть, методика проектирования, геоинформационные системы, база знаний, справочные системы.

### Введение

Проблема разработки практически полезных, реально и широко используемых интеллектуальных систем является одной из важнейших в области искусственного интеллекта [1]. Одним из основных классов систем, исследуемых в рамках этой области, является класс интеллектуальных справочных систем. Под интеллектуальной справочной системой (ИСС) будем понимать систему, способную отвечать на различные свободно конструируемые вопросы пользователя, а также решать задачи из соответствующей предметной области, то есть осуществлять информационное обслуживание пользователя в заданной предметной (проблемной) области. Такая система включает в себя в качестве информационного компонента базу знаний, а программных компонентов – информационно-поисковую подсистему и интеллектуальный решатель задач.

Сформулируем требования, предъявляемые к функциональным возможностям ИСС: предоставление пользователю возможности навигации по семантическому пространству предметной области; интерпретация вопросов (запросов) пользователя, поиск необходимой информации и представление ее пользователю в удобной для него форме; интерпретация формулировок задач пользователя, поиск способов их решения и генерация решений, если они отсутствуют в базе знаний; анализ деятельности пользователя для оказания ему помощи, а также обучения, что является следующим этапом развития интеллектуальных справочных систем.

### Комплексная методика проектирования семантических моделей интеллектуальных справочных систем

Несмотря на большое число работ, ведущихся в данном направлении [2–4], до настоящего времени не предоставлено технологии проектирования ИСС, в полной мере предоставляющей возможность быстро и качественно разрабатывать системы рассматриваемого класса. Данное обстоятельство указывает на необходимость создания технологии проектирования ИСС.

Предлагаемый в данной работе подход к построению ИСС основан на комплексной методике проектирования ИСС OSTIS [5]. В основе данной методики лежат следующие принципы [5]: поэтапное эволюционное проектирование ИСС на основе быстрого прототипирования; ориентация на коллективное проектирование компонентов ИСС в рамках открытого интернет-проекта; ориентация на представление знаний в виде семантических сетей и использование в качестве основного способа кодирования информации для таких сетей SC-кода (Semantic Code) [6]; унификация моделей баз знаний ИСС; модульное проектирование на основе библиотек типовых многократно используемых компонентов и другие принципы массовой семантической технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS [5].

Интеллектуальная справочная система состоит из следующих компонентов: декларативная часть базы знаний (БЗ); процедурная часть базы знаний, которая представляет собой пакет программ для решения задач из заданной предметной области; интеллектуальная информационно-поисковая машина (ИПМ); интеллектуальный решатель задач (ИРЗ); пользовательский интерфейс (ПИ).

Соответственно, для разработки каждого из этих компонентов используется ряд частных семантических технологий [7]: семантическая технология проектирования декларативной части базы знаний; семантическая технология проектирования процедурной части базы знаний; семантическая технология проектирования интеллектуальных информационно-поисковых машин; семантическая технология проектирования интеллектуальных решателей задач; семантическая технология проектирования пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем.

Разработка интеллектуальной системы сводится к разработке ее логико-семантической модели, то есть формальному описанию структуры интеллектуальной системы и всех ее компонентов. Достоинством такого подхода к проектированию систем является независимость от платформ реализации этих систем, т.е., разработав только лишь семантическую модель ИСС, появляется возможность реализовывать эту модель на различных программных платформах, т.е. предлагаемый подход реализует инвариантность модели от ее программной реализации.

Семантическая модель ИСС включает в себя семантическую модель базы знаний интеллектуальной системы и семантическую машину обработки знаний этой интеллектуальной системы. Исходя из того, что формальные описания операций, работающих над семантической памятью, также хранятся в базе знаний и являются ее частью, то, следовательно, проектирование семантической модели интеллектуальной системы сводится к проектированию семантической модели базы знаний этой системы.

В основе комплексной методики проектирования семантических моделей интеллектуальных систем лежат два аспекта: эволюционное проектирование и коллективное проектирование ИСС.

*Эволюционное проектирование ИСС.* Данный аспект методики проектирования заключается в поэтапной разработке системы на основе быстрого прототипирования. На каждом новом этапе проектирования интеллектуальная система приобретает новые функциональные возможности, которые соответствуют разработке определенных компонентов системы (см. данные табл.).

При таком подходе изначально необходимо выделить линии развития системы. Они соответствуют разрабатываемым компонентам системы (см. табл.), причем учитывается приоритет разработки следующим образом. Изначально проектируется семантическая модель базы знаний, затем происходит непосредственное наполнение базы знаний до заранее оговоренной степени полноты.

На следующем эволюционном этапе развития системы происходит разработка интеллектуальной поисковой машины, которая изначально формируется из уже разработанных стандартных многократно используемых компонентов интеллектуальной поисковой машины, хранимых в библиотеке многократно используемых компонентов. Взяв необходимый набор поисковых операций интеллектуальной машины, мы получим уже готовый работающий прототип системы с базой знаний и минимальным набором поисковых операций (рис. 1).

### Соответствие между компонентами системы и ее функциональными возможностями

Компоненты системы	Функциональные возможности системы
1. База знаний	Хранение знаний о предметной области
2. Пакет программ для решения задач	Решение задач с помощью некоторого хранимого в базе знаний алгоритма
3. Интеллектуальная поисковая машина	Обеспечение интеллектуального поиска и навигации по базе знаний
4. Интеллектуальный решатель задач	Решение задач с применением логического вывода
5. Пользовательский интерфейс	Адаптация к пользователю
6. Help-система с различными уровнями интеллектуализации	Обеспечение помощи пользователю, управление обучением пользователя
7. Подсистема управления процессом проектирования и жизненным циклом системы	Управление процессом проектирования системы (в том числе коллективным), а также управление жизненным циклом системы

	Версия 1	Версия 2	Версия 3	Версия 4
БЗ	1-я версия	2-я версия	3-я версия	4-я версия
ИПМ	типовое ядро	1-я версия	2-я версия	3-я версия
ИР	типовое ядро	типовое ядро	1-я версия	2-я версия
ПИ	типовое ядро	типовое ядро	типовое ядро	1-я версия

Рис. 1. Эволюция версий ИСС

На следующем этапе полученный прототип развивается путем наполнения базы знаний и разработкой новых необходимых поисковых операций интеллектуальной поисковой машины до тех пор, пока не достигнет заранее оговоренной степени полноты в наборе операций интеллектуальной поисковой машины.

Аналогичным образом происходит разработка остальных компонентов системы, т. е. на каждом этапе разработки системы в процесс проектирования включается ветвь разработки нового компонента системы, при условии, что остальные компоненты системы достигли минимального заранее оговоренного уровня полноты разработки. При этом разработка остальных компонентов системы не прекращается, а сам процесс проектирования повторяется циклически на протяжении всего жизненного цикла системы, в том числе при сопровождении системы.

После того, как все этапы, соответствующие линиям развития, пройдены и системой накоплен определенный набор необходимых знаний и навыков, система вводится в эксплуатацию для конечных пользователей, которые в процессе эксплуатации тестируют эту систему на предмет ошибок и недостающих знаний и навыков. Тем самым завершается процесс проектирования интеллектуальной системы как прототипа и начинается процесс проектирования интеллектуальной системы в процессе ее эксплуатации. Этот процесс поддерживается подсистемой управления процессом проектирования и управления жизненным циклом системы. Данная подсистема является частью основной системы и разрабатывается на основе тех же методов и средств, что и основная.

Отличительной особенностью такого похода к проектированию является наличие на каждом этапе проектирования реально работающего прототипа системы, что значительно ускоряет введение разрабатываемой системы в эксплуатацию как для тестирования, так и для конечных пользователей, а также существенное увеличение ее жизненного цикла.

*Коллективное проектирование ИСС.* Данный аспект заключается в распараллеливании процесса проектирования на независимые ветви, которые могут выполняться различными разработчиками, что существенно сокращает время разработки системы. При этом основным проблемным вопросом является декомпозиция в рамках проектирования отдельных задач.

Первым критерием декомпозиции процесса проектирования на отдельные задачи является разделение работ по различным компонентам системы, такие как база знаний, интеллектуальная поисковая машина, решатель задач и пользовательский интерфейс. Все эти

компоненты являются важными в рамках справочной системы, однако наиболее значимой является база знаний, так как база знаний для каждой разрабатываемой справочной системы является уникальной, в то время как другие компоненты могут использоваться как предметно независимые в других системах. Как уже отмечалось ранее, проектирование интеллектуальной системы есть не что иное, как проектирование базы знаний. В связи с этим выделение задач будем рассматривать в рамках проектирования семантической модели базы знаний.

### **Интеллектуальные геоинформационные системы**

В настоящее время геоинформационные системы являются инструментом обработки пространственной информации [8,9]. Общей характерной чертой для такого класса систем является решение информационно-поисковых задач с привязкой объектов на некоторую территорию местности. Однако многообразие типов объектов местности, большое количество различных топологических отношений и множество встречаемых на практике задач, для которых не всегда существуют алгоритмические решения, требуют обратиться к вопросу интеллектуализации геоинформационных систем.

Классическая архитектура геоинформационной системы в качестве информационных компонентов включает пространственную и атрибутивную базы данных. Таким образом, все объекты местности имеют пространственную привязку к территории местности, а также задаются характеристики объектов. На практике же для решения прикладных задач требуется установление отношений между объектами местности, и в данном случае, используя инструментальные геоинформационные системы, возможно только установление топологических отношений. Установление других типов отношений, в том числе предметных отношений, весьма затруднительно и может быть решено в частном виде путем создания программ на встраиваемых в инструментальные геоинформационные системы языках программирования. Причем для установления какого-либо вида семантической связи требуется разработка алгоритма и его программирование.

В основе предложенного подхода лежит создание семантической модели (sc-модели) [6] геоинформационной системы, которая включает в себя базу знаний, машину обработки знаний и интеллектуальный пользовательский интерфейс со средствами визуального взаимодействия с объектами карты. Особенностью такой модели является представление знаний предметной области в виде семантической сети, а проектирование прикладных интеллектуальных систем осуществляется по технологии OSTIS [7, 5].

Для каждого объекта местности выделены основные, присущие только ему, семантические характеристики. Особо отметим, что метрические характеристики таким свойством не обладают. Для указания семантических свойств классам объектов местности используется разработанный и действующий классификатор топографической информации, отображаемой на топографических картах и планах городов ОКРБ 012-2007 [10].

Согласно данному классификатору каждый класс объектов местности имеет уникальное однозначное обозначение. Иерархия классификатора имеет восемь ступеней классификации и состоит из кода класса, кода подкласса, кода группы, кода подгруппы, кода отряда, кода подотряда, кода вида, кода подвида. Таким образом, благодаря способу кодирования уже заданы родовидовые связи, отражающие соотношения различных классов объектов местности, а также установлены характеристики конкретного класса объектов местности. В связи с тем, что задаются основные свойства и отношения не конкретных физических объектов, а их классов, то такая информация является по отношению к конкретным объектам местности метаинформацией, а совокупность данной метаинформации представляет собой онтологию объектов местности, которая в свою очередь является частью базы знаний интеллектуальной геоинформационной системы [11].

Онтология объектов местности включает описание следующих классов объектов местности: водные объекты и гидротехнические сооружения; населенные пункты; промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты; дорожная сеть и дорожные сооружения; растительный покров и грунты. Онтология объектов местности представляет собой дерево классификации в соответствии с иерархией, приведенной на рис. 2. Для каждого класса объектов местности установлены родовидовые связи.

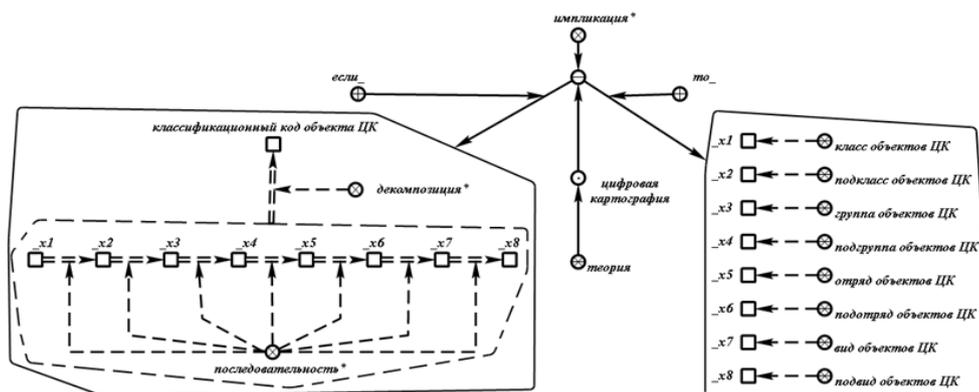


Рис. 2. Уровни иерархии классов объектов местности

Далее рассмотрим получение онтологии объектов местности и ее представление в sc-модели на примере кодирования одного из классов объектов местности «реки». На первом этапе создается статья, кодированная с использованием SCn-кода [7] (см. рис. 3). На втором этапе sc.n-статья транслируется во внутреннее представление, т.е. в семантическую сеть специального вида. Эквивалентное кодирование в виде графического представления sc.g-текста показано на рис. 4.

### **реки**

≈ [ "ОК\_31410000" ]

∈ *реальный объект*

∈ *подгруппа объектов местности*

⊂ *водотоки*

– Отношения, заданные на понятии:

- *собственное название\**
- *ширина по шкале\**
- *признак судоходства\**
- *качественные особенности воды\**

Рис. 3. SCn-статья описания объекта «река»

Кроме статей, описывающих классы объектов местности, в онтологию объектов местности входят статьи с описанием признаков, характеризующих объекты местности. Отметим, что для каждого класса объектов местности выделен свой, характерный только ему, набор признаков (например, на рис. 3 для всех объектов местности типа «реки» могут быть заданы отношения «собственное значение\*», «ширина по шкале\*», «признак судоходства\*», «качественные особенности воды\*»).

Таким образом, рассмотренная онтология объектов местности и способ ее формального задания позволяют описать все основные классы объектов местности и установить для этих классов набор признаков, характерных для рассматриваемого класса объектов местности, что, в свою очередь, позволяет в дальнейшем создать базу знаний объектов местности с уже установленными родовидовыми отношениями, а также семантическими атрибутами [12].

Одним из достоинств интеллектуальных систем, разработанных по технологии OSTIS, является решение предметных задач, когда нет четкой спецификации и алгоритма ее решения. Это достигается с помощью формирования продукций, которые записываются и хранятся так же в базе знаний. Технология проектирования машин обработки знаний и модели решения задач в соответствии с указанной технологией рассмотрена в [13].

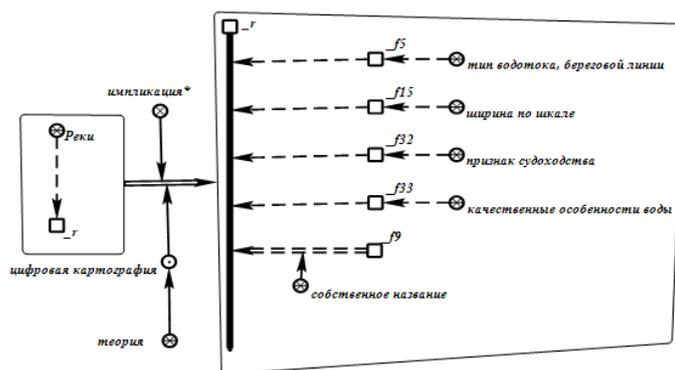


Рис. 4. Описание класса объектов местности «реки» в виде семантической сети и его представление в виде sc.g-текста

В качестве примера рассмотрим решение следующей задачи: «Определить, существует ли водный путь между городами Минск и Речица. При наличии такого водного пути результат отобразить на карте».

Исходными данными являются следующие утверждения базы знаний. 1. Через город Минск протекает река Свислочь. 2. Через город Речица протекает река Днепр. 3. Река Свислочь является притоком реки Березина. 4. Река Березина является притоком реки Днепр.

В процессе решения на первой итерации на основе анализа топологических отношений «примыкание» будет установлено: 1. Река Свислочь впадает в реку Березина (т. е. река Свислочь примыкает к реке Березина). 2. Река Березина впадает в реку Днепр (т. е. река Березина примыкает к реке Днепр). Будет сделано заключение о том, что по реке Свислочь можно попасть в реку Днепр.

На второй итерации сопоставляется топологическая принадлежность города Минска и реки Свислочь, а также города Речица и реки Днепр. В итоге будет найден путь, который отображается (визуализируется) на карте местности. Необходимо отметить, что в процессе решения задач генерируются дополнительные знания, необходимые в процессе вывода, которые могут быть сохранены и в дальнейшем использоваться при решении других задач или участвовать в выводе при ответе на поисковые запросы.

Интерфейс пользователя поддержан картографическим редактором, совместимым с системой координат исходного набора картографической информации. Для визуализации объектов местности используется картографический сервис <http://maps.yandex.ru>. С целью интеграции с последним для каждого объекта местности осуществляется геокодирование физических объектов местности.

## Заключение

Представлена комплексная методика проектирования моделей интеллектуальных справочных систем. Ключевым понятием данного подхода является понятие семантической модели интеллектуальной справочной системы и кодирования информации с использованием SC-кода. Отличительной особенностью такого подхода к проектированию справочных систем является наличие на каждом этапе проектирования реально работающего прототипа системы, что сокращает время разработки системы, а также увеличивает ее жизненный цикл.

Приведенный в работе подход к проектированию интеллектуальных геоинформационных систем в соответствии с технологией OSTIS позволяет создавать прикладные интеллектуальные системы указанного класса. Причем сроки проектирования сокращаются за счет повторного использования следующих компонентов: онтологии объектов местности, базы знаний объектов местности, машины обработки знаний и картографического интерфейса. В общем случае проектировщику прикладной геоинформационной системы необходимо в соответствии с онтологией объектов местности сформировать базу объектов местности на заданную территорию и записать утверждения предметной области в виде продукций.

# INTELLIGENT GIS-SYSTEMS BASED ON INTEGRATED METHODOLOGY OF DESIGN OF THE INTELLIGENT REFERENCE SYSTEM SEMANTIC MODEL

I.T. DAVYDENKO, S.A. SAMODUMKIN

## Abstract

The principals and approaches of design of intelligent systems are described. The proposed approach based on the concept of the semantic model of intellectual reference system and used encoding information semantic network. Proposed principles are illustrated by the development of a particular class of information systems – GIS-systems.

## Список литературы

1. Грибова В.В., Клецев А.С., Шалфеева Е.А. Системы управления интеллектуальными Интернет-приложениями. Владивосток, 2010.
2. Грибова В.В. // Матер. междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2011. Москва, 10–12 февраля 2011. С. 5–14.
3. Web-сервер онтологий системы ЭЗОП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ezop-project.ru/drupal5/>. – Дата доступа: 14.08.2013.
4. Сайт системы динамической геометрии GeoGebra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geogebra.org> – Дата доступа: 11.08.2013.
5. Проект OSTIS [Электронный ресурс]. Минск, 2013. – Режим доступа: <http://ostis.net/>. – Дата доступа: 11.02.2013.
6. Голенков В.В., Елисеева О.Е., Иващенко В.П. Представление и обработка знаний в графодинамических ассоциативных машинах. М, 2001.
7. Голенков В.В., Гулякина Н.А. // Матер. междунар. научн.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем». Минск, 2011.
8. Абламейко С. В., Апарин Г. П., Крючков А. Н. Географические информационные системы. Создание цифровых карт, М., 2000
9. Крючков А.Н. Интеллектуальные технологии в геоинформационных системах. М., 2006.
10. Самодумкин С.А. // Матер. междунар. научн.-техн. конф. «Информационные технологии и системы-2011». Минск, 26 октября 2011 г.
11. ОКРБ 012-2007. Цифровые карты местности. Топографическая информация, отображаемая на топографических картах и планах городов.
12. Geonames [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geonames.org/> – Дата доступа: 14.08.2013.
13. Заливако С.С., Шункевич Д.В. // Матер. междунар. науч.-техн. конф. OSTIS-2012. Минск, 18 февраля 2012.