

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

DOI: 0.61726/4747.2024.42.92.001

УДК [004.82+528.9]:004.89

**ИМПЛЕМЕНТАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-СООТНЕСЕННЫХ ДАННЫХ
В СЕМАНТИЧЕСКИ СОВМЕСТИМЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ**

С.А. САМОДУМКИН

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники»,**ул. П. Бровки, 6, 220013, Минск, Беларусь
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1836-2315>**Поступила 25 ноября 2024*

Рассматривается модель интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными и имплементация пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах, разрабатываемых в соответствии с открытой комплексной технологией разработки интеллектуальных систем на основе семантических сетей.

Ключевые слова: пространственно-соотнесенные данные, интеллектуальная система, семантическая сеть, геоинформационная система, база знаний, онтология объектов местности, решатель задач, картографический интерфейс, интеллектуальная система с интегрированными пространственно-соотнесенными данными.

Введение. Накопленные человечеством большие наборы пространственно-соотнесенных с территорией Земли данных, их представление и хранение посредством созданных картографических сервисов, развитие технологий дистанционного зондирования Земли способствовали созданию и разработке прикладных геоинформационных систем (ГИС) различного назначения.

Современные ГИС представляют собой компьютерные системы, обеспечивающие ввод, манипулирование, анализ и вывод пространственно-соотнесенных данных о территории, социальных и природных явлениях при решении задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [1]. Поскольку перечисленные задачи являются интеллектуальными, такие системы относятся к классу интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными (ИСПД).

Вместе с тем предлагаемые в настоящее время инструментальные средства разработки ИСПД не в достаточной мере обладают совместимостью из-за отсутствия унификации знаний предметных областей, в интересах которых проектируются прикладные системы, и онтологий объектов местности и явлений. При этом для фиксированной территории одни и те же пространственные данные используются в разных прикладных областях: эпидемиологии, строительстве, охране окружающей среды, создании цифровых двойников предприятий, мобильных робототехнических системах и т. д., что делает необходимым согласование онтологии предметных областей с объектами местности и явлениями и тем самым обеспечивает вертикальный (предметно-ориентированный) уровень проектирования ИСПД. С другой стороны, при проектировании ИСПД на новую территорию сохраняются основные функциональные требования и необходимо учитывать не только предыдущий опыт проектирования систем, но и использовать ранее спроектированные функциональные компоненты, т. е. речь идет о горизонтальном уровне проектирования ИСПД, когда расширяется территориальная область и проектируются системы на новые территории или в новых временных интервалах.

Таким образом, для проектирования интеллектуальных систем с пространственно-соотнесенными данными необходима разработка программного обеспечения, обеспечивающего имплементацию пространственно-соотнесенных данных в семантически совместимых интеллектуальных системах.

Предлагаемые модели и инструментальные средства являются частью открытой комплексной технологии разработки интеллектуальных систем на основе семантических сетей [2]. При этом разработанные по данной технологии системы лишены недостатков систем, основанных на генеративных моделях (системы типа ChatGPT), поскольку происходит не генерация новых данных, которые похожи на обучающие данные, а устанавливаются отношения между фактическими данными и знаниями предметной области, что обеспечивает достоверность выводов на основе знаний. В связи с чем в данной работе под интеллектуальной системой с интегрированными пространственно-соотнесенными данными (синоним интеллектуальная геоинформационная система) понимается информационная система, предназначенная для выдачи ответов на вопрос пользователя, основным объектом исследования которой являются знания и данные об объектах местности (явления), организованные в виде баз знаний, выступающие интеграционной основой для решения прикладных задач в различных предметных областях.

Основная часть. Формально модель интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными задается следующим образом:

$$S_{SRD} = \{M_{BK}, S_P, UI_{Map}\},$$

где M_{BK} – семантическая модель базы знаний; S_P – семантическая модель решателя задач; UI_{Map} – семантическая модель пользовательского интерфейса.

Семантическая совместимость знаний достигается за счет онтологии пространственных объектов, в задачу которой входит четкое и однозначное определение семантики объектов местности и явлений. Формально онтология пространственных объектов задается следующим образом:

$$O_{SRD} = \{O_{To}, O_{GeoCH}\},$$

где O_{To} – онтология объектов местности и явлений; O_{GeoCH} – семантические характеристики объектов местности и явлений.

В онтологии объектов местности и явлений объектами классификации являются объекты местности и явления, которым соответствуют объекты карты, а также признаки (характеристики) этих объектов. В данном разделе онтологии представлены классы геопропространственных понятий, имеющие общие признаки, характерные для определенного класса объектов местности. Таким образом, объекты местности и классы объектов местности предназначены для разных целей. Объекты местности формируются в базе знаний по спецификациям, заданным в онтологии объектов местности и явлений. Соответственно в базе знаний хранятся непосредственно знания о конкретном объекте, а в онтологии объектов местности – объект местности является понятием и для него установлены свойства и отношения, заданные для всех объектов данного типа (класса).

Формально раздел онтологии геосемантических характеристик объектов местности задается следующим образом:

$$O_{GeoCH} = \{R_{CLoc}, D_{Cond}, R_S\},$$

где R_{CLoc} – координатное местоположение объекта местности; D_{Cond} – динамика состояния объекта местности; R_S – класс пространственных отношений для установления семантических свойств объекта местности или явления по отношению к другим объектам местности, который, в свою очередь, задается:

$$R_S = \{R_{Top}, R_M, R_{SO}, R_{S.md}\},$$

где R_{Top} – класс топологических пространственных отношений; R_M – метрическое пространственное отношение; R_{SO} – отношение пространственной упорядоченности; $R_{S.md}$ – отношение главных направлений объектов местности.

Обобщенная структура интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными, соответствующая представленной модели, приведена на рис. 1, где показано взаимодействие пользователя системы, а также основных составляющих компонентов (семантическая память, решатель задач и картографический интерфейс).



Рис. 1. Обобщенная структура интеллектуальной системы с интегрированными пространственно-соотнесенными данными

Способом выражения информационной потребности пользователя в интеллектуальных системах является вопрос [3]. Представление структурированной информации и установление отношений между понятиями в базе знаний упрощает формирование информационной потребности пользователя, поскольку при формировании базы знаний происходит установление субъектно-объектных отношений в рамках заданной предметной области средствами семантического кода (SC-кода).

Целью разработки языка вопросов для интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными и последующего его развития является реализация возможности понимания действий, осуществляемых такой системой, при формировании ответа на поставленный вопрос. В процессе формирования ответа на поставленный вопрос возможны следующие варианты: 1) ответ существует в базе знаний и происходит локализация фрагмента базы знаний; 2) ответ связан с разрешением некоторой задачной ситуации, которая содержится в контексте вопроса, и формирование ответа на вопрос возлагается на решателя задач.

В связи с этим интеллектуальная система с интегрированными пространственными данными декомпозируется на следующее множество систем:

$$S_{испд} = \{S_{иипс}, S_{го}\},$$

где $S_{иипс}$ – интеллектуальная информационно-поисковая система; $S_{го}$ – подсистема генерации ответов.

Декомпозиция ИСПД в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, на базу знаний, решатель задач и интерфейс пользователя позволяет выделить три этапа проектирования системы.

Первый этап проектирования связан с формализацией знаний и представлением их в базе знаний ИСПД. Формализованные в соответствии с семантической технологией проектирования баз знаний интеллектуальных систем предметные знания и формулировки вопросов на семантическом коде находятся в базе знаний интеллектуальной системы с интегрированными пространственными данными.

Второй этап – это реализация операций обработки знаний, находящихся в системе, т. е. проектирование решателя задач интеллектуальной системы.

В подсистеме $S_{иипс}$ для каждого семантического класса вопросов сопоставляются информационно-поисковые операции решателя задач. В первом случае – предикатный вопрос, когда пользователь задает вопрос по шаблону. Результатом является ответ, сформированный при помощи базовых навигационно-поисковых операций. Во втором случае, когда нет четкого образца поиска, требуется специализированная процедура поиска в зависимости от семантического класса вопроса,

а сам ответ имеет сложную процедуру локализации (это при том, что ответ явно имеется в текущем состоянии системы).

В подсистеме $S_{го}$ для каждого вопроса проектируются в общем случае множество операций в решателе задач, позволяющих сгенерировать ответ пользователю на основе имеющихся в базе знаний: предметных знаний, логических закономерностей, способов решений задач определенного класса, алгоритмов вычислений.

Третий этап – реализация пользовательского интерфейса в соответствии с семантической технологией проектирования пользовательских интерфейсов интеллектуальных систем, т. е. реализация диалога конечного пользователя с системой. Интерфейс пользователя позволяет управлять диалогом пользователя при запросах к системе или ответах.

При этом интеллектуальная информационно-поисковая система представляется кортежем следующего вида:

$$S_{интпс}: \{\{Q\}, \{A\}, \{F\}, \{UI\}\},$$

где $\{Q\}$ – совокупность вопросов; $\{A\}$ – совокупность ответов, имеющихся в текущем состоянии системы; $\{F\}$ – совокупность операций решателя задач, осуществляющих поиск и генерацию ответов на вопросы пользователей; $\{UI\}$ – совокупность способов визуализации ответов пользователю.

Каждый вопрос, входящий в множество вопросов $\{Q\}$, вне зависимости от способа его задания с помощью пользовательского интерфейса, имеет поисковое предписание – представление информационного вопроса в виде поискового образа вопроса и задание на поиск на языке вопросов. Данное поисковое предписание есть sc-конструкция, т. е. информационная конструкция, представленная в семантическом коде. Это позволяет, во-первых, организовать многомодальный пользовательский интерфейс, когда имеются возможности эквивалентного построения вопроса пользователя различными интерфейсами, а, во-вторых, обеспечить совместимость со всеми компонентами системы. Ответ представляет собой результаты поиска и также представляется SC-конструкцией. Управление способом представления ответов и вопросов пользователей осуществляется пользовательским интерфейсом ИСПД.

С целью формального описания языка вопросов для интеллектуальных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными необходимо задать синтаксис данного языка и определить денотационную и операционную семантику. Соответственно синтаксис языка вопросов является подмножеством синтаксических конструкций семантического кода, что позволяет отнести язык вопросов к семейству семантических совместимых языков – sc-языков и предназначен для формального описания поискового предписания. Денотационная семантика направлена на формальное уточнение формулировок вопросов средствами семантического кода, а операционная семантика языка вопросов определяется множеством sc-агентов вывода ответов на поставленные в процессе диалога пользователя с интеллектуальной системой.

Для систематизации типов вопросов введены следующие отношения: *отношение в рамках заданного вопроса* – определенное отношение между знаками предметной области в контексте вопроса; *базовое отношение в рамках заданного вопроса* – класс отношений, объединяющий отношения в заданном вопросе, отражающие однотипный смысл и раскрывающие определенный признак знаков предметной области (отношение состояния, отношение действия, отношение состава, теоретико-множественное отношение, темпоральное отношение, пространственное отношение, количественное отношение, качественное отношение); *составное отношение в рамках заданного вопроса* – устойчивая комбинация двух отношений действия: *действия, направленного на параметр вопроса, и действия, направленного на ответ на вопрос*.

Все агенты, выводящие ответы на поставленные вопросы, формируют многоагентную систему – интерпретатор языка вопросов для интеллектуальных справочных систем с интегрированными пространственно-соотнесенными данными, где каждому классу вопросов соответствуют определенные агенты, реализующие поиск или синтез из базы знаний ИСПД соответствующих ответов на поставленные вопросы.

В соответствии с предложенной моделью и структурой ИСПД, языка вопросов на рис. 2 представлена схема программных компонентов, обеспечивающих имплементацию пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах на основе картографического сервиса OpenStreetMap (OSM).

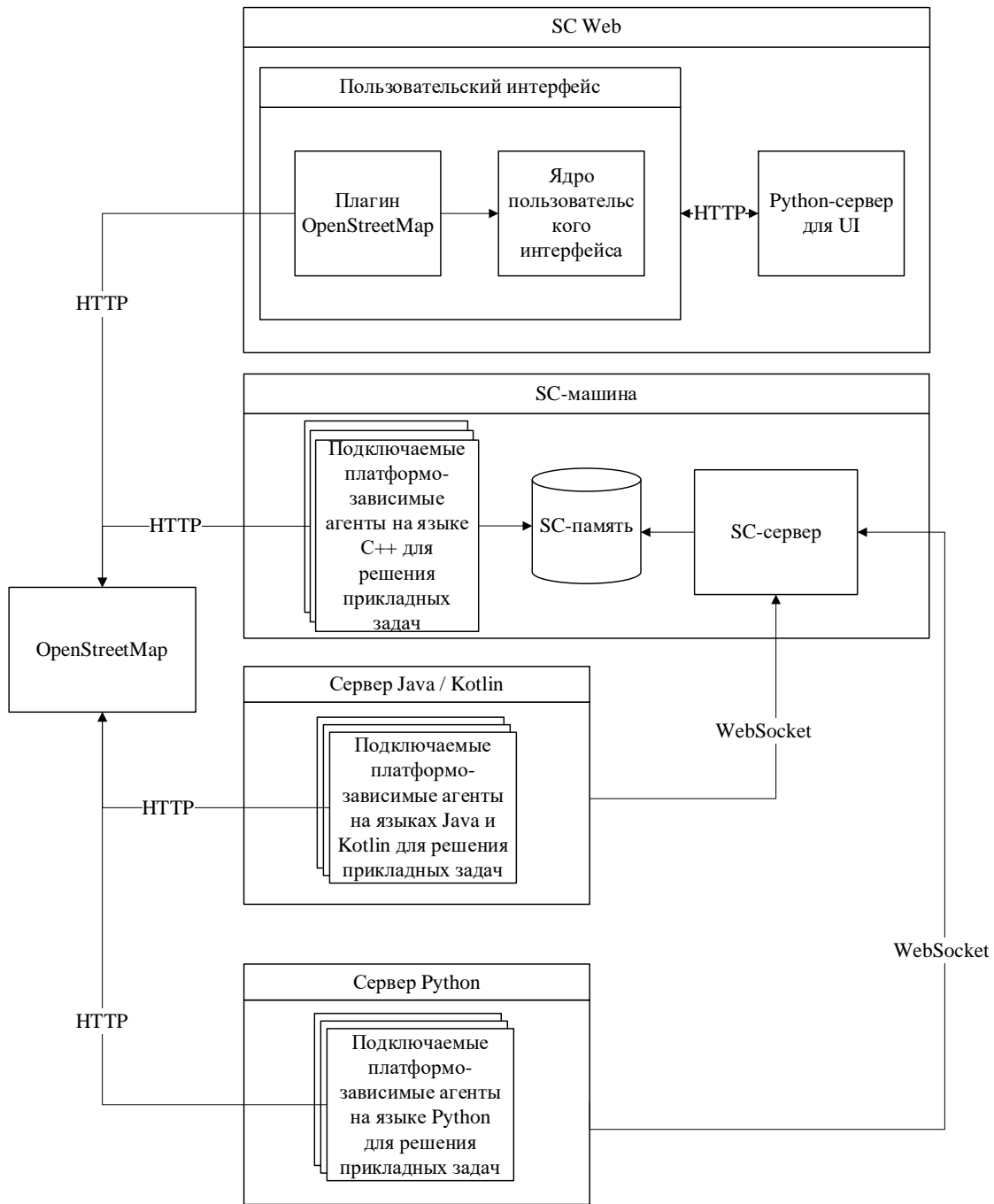


Рис. 2. Схема программных компонентов, обеспечивающих имплементацию пространственно-соотнесенных данных в интеллектуальных системах на основе картографического сервиса OpenStreetMap

Особенность программной реализации заключается в том, что обеспечивается доступ к картографическим данным, которые собраны сообществом заинтересованных пользователей и свключают практически полное описание объектов местности всей Земли, тем самым отсутствует надобность в сборе картографического материала при проектировании прикладных систем, а требуется верификация и отбор существующих в картографическом сервисе пространственных данных. При этом OpenStreetMap распространяется под свободной лицензией и позволяет получать доступ как к растровым картам, так и ко всем лежащим в их основе пространственным данным с помощью запросов Overpass [4]. Пример взаимодействия при использовании пространственно-соотнесенных данных представлен на рис. 3

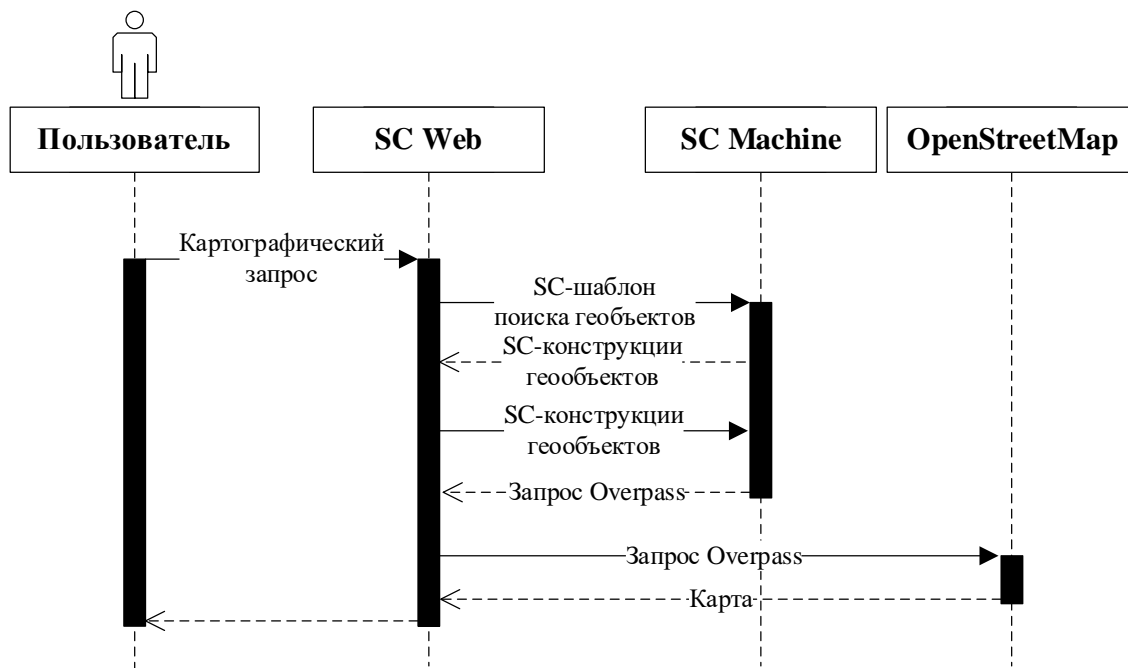


Рис. 3. Пример взаимодействия при использовании пространственно-соотнесенных данных

Заключение. Предложенная в работе семантическая модель ИСПД, включающая семантическую память, решатель задач и картографический интерфейс, позволяет интегрировать в базе знаний объекты местности и явления заданной территории, транслированные на внутренний язык базы знаний, и знания различных предметных областей, а также осуществлять взаимодействие на семантически совместимом с языками представления и обработки знаний языке вопросов и предназначенном для формального описания поискового предписания с целью удовлетворения информационной потребности пользователя. Программная реализация картографического интерфейса ИСПД на основе картографического сервиса OpenMapStreet позволяет имплементировать пространственно-соотнесенные данные с целью их использования семантически совместимыми интеллектуальными системами.

IMPLEMENTATION OF SPATIALLY REFERENCED DATA IN SEMANTICALLY COMPATIBLE INTELLIGENT SYSTEMS

S. SAMODUMKIN

The model of intellectual system with integrated spatially-referenced data and implementation of spatially-referenced data in intellectual systems developed in accordance with the open complex technology of development of intellectual systems on the basis of semantic networks is considered.

Список литературы

1. Интеллектуальные технологии в геоинформационных системах : учеб. пособие / А. Н. Крючков [и др.]; под науч. ред. В. В. Голенкова. – Минск : БГУИР, 2006. – 201 с.
2. Технология комплексной поддержки жизненного цикла семантически совместимых интеллектуальных компьютерных систем нового поколения / под ред. В. В. Голенкова – Минск : Бестпринт. – 2023. – 1064 с.
3. Сулейманов, Дж. Ш. Система семантического анализа ответных текстов обучаемого на естественном языке / Дж. Ш. Сулейманов // Онтология проектирования. – 2014. – № 1 (11). – С. 65–77.
4. OpenStreetMap [Electronic resource]. – Mode of access : <https://www.openstreetmap.org/>. – Date of access : 28.09.2024.