

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ГИС В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

В. В. Попович, С. Н. Потапычев, А. В. Панькин, С. С. Шайда,  
М. Н. Воронин

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<popovich@mail.iias.spb.su>

---

УДК [912+002.6]:004.9

Попович В. В., Потапычев С. Н., Панькин А. В., Шайда С. С., Воронин М. Н. **Интеллектуальная ГИС в системах мониторинга** // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 1. — СПб.: Наука, 2006.

**Аннотация.** Рассматривается развитие интеллектуальных геоинформационных систем для различных систем мониторинга. Статья представляет метод построения интеллектуальных геоинформационных систем, основанный на SOA концепции. — Библ. 14 назв.

UDC [912+002.6]:004.9

Popovich V. V., Potapuychev S. N., Pankin A. N., Staida S. S., Voronin M. N. **Intellectual GIS in Systems of Monitoring** // SPIIRAS Proceedings. Issue 3, vol. 1. — SPb.: Nauka, 2006.

**Abstract.** The development of Intelligent Geographic Information Systems (IGIS) for monitoring systems in the broad sense including urban and regional applications is considered. The paper is focused on the development of the IGIS method based on a Service Oriented Architecture (SOA) concept. — Bibl. 14 items.

---

## 1. Введение

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) находят все более широкое применение при моделировании процессов и явлений в системах мониторинга различного назначения. При этом разработка ГИС-приложений для систем мониторинга сопряжена с рядом проблем, имеющих различную природу.

Например, затраты на разработку математических, статистических и имитационных моделей, баз данных и знаний, методов их обработки и интеграции с универсальными ГИС соизмеримы, а в ряде случаев превосходят затраты на разработку собственно самой ГИС.

В то же время, разработка ГИС, специализированной для прикладной области, включает реализацию как стандартных ГИС-функций, так и полного исходного кода, и документации по прикладным задачам, решаемым в такой системе, что так же увеличивает общие затраты при разработке ГИС-приложения для конкретной предметной области.

Идея данной статьи заключается в формулировании основных требований к многофункциональным системам мониторинга, в основу которых положены ГИС. Особенность процесса разработки таких систем мониторинга заключается в необходимости учета и обеспечения следующих основных требований:

- полный и легкий доступ к информации;
- легкость сопровождения и модификации при изменении требований к работающим приложениям;
- открытость архитектуры для интеграции дополнительных функциональных модулей;
- поддержка различных стандартов форматов данных;
- высокая степень повторного использования исходного кода и других информационных ресурсов приложений;

- динамическая настройка системы на предметную область без дополнительного программирования и перекомпиляции;
- общность архитектуры системы как для работы на автономных компьютерах, так и в локальных и глобальных вычислительных сетях.

Реализация вышеизложенных требований в ГИС позволяет рассматривать ее как интеллектуальную систему с новыми качественными свойствами. С технологической точки зрения разработка подобной ГИС предполагает использование концепций сервис-ориентированной архитектуры (service-oriented architecture, сокр. SOA), т.е. декомпозиция архитектуры системы на отдельные сервисные компоненты, служащие строительными блоками для многоплатформенных распределенных приложений. Использование в качестве одного из таких сервисных компонентов системы искусственного интеллекта на основе экспертной системы обеспечивает гибкую динамическую настройку приложения на определенные требования, их изменение в процессе эксплуатации приложения.

Во втором параграфе статьи рассматривается система мониторинга, как объект автоматизации. В параграфе 3 описаны концепции интеллектуальной ГИС. Создание ГИС на основе концепций cSOA анализируется в параграфе 4. В параграфе 5 приводится вариант построения интеллектуальной ГИС на основе концепций SOA. В выводах показывается, как предлагаемая технология обеспечивает реализацию вышеизложенных требований для автоматизированных систем мониторинга различного назначения.

## 2. Системы мониторинга

Концепции мониторинга, и в особенности мониторинга окружающей среды, очень часто обсуждаются в специальной литературе, большом количестве публикаций и средствах массовой информации. В настоящей статье мы проведем анализ систем мониторинга окружающей среды в интересах поддержки некоторых объектов и/или процессов. В качестве примера таких систем можно привести транспортные диспетчерские системы (воздушные, морские, сухопутные), системы защиты окружающей среды и т.п.

Специфическими особенностями таких систем являются:

- использование различных единиц измерения для параметров среды и параметров объектов с заданной дискретностью изменения их значений;
- обработка больших объемов разнотипной информации из множества различных источников;
- реакция системы на поступающие события в реальном режиме времени.

Для таких систем важнейшую роль играют концепции гармонизации, интеграции и слияния информации (данных). Определяющее значение имеет концепция слияния данных. Слияние данных преследует следующие цели:

- уменьшение объемов информации, циркулирующей в системе;
- повышение степени достоверности и надежности данных, уменьшение степени неопределенности;
- увеличение стабильности данных (коррекция ошибок).

На рис. 1 показана общая модель слияния информации (данных) для систем мониторинга в соответствии с основными идеями, изложенными в [1, 2, 3].



Рис. 1. Общая модель слияния информации в системах мониторинга.

Эта модель определяет как методологические, так и технические требования для компьютерных систем, включая ГИС, и может служить основой для технологии создания интеллектуальной ГИС.

### 3. Интеллектуальные географические информационные системы

Проблемы современного мира, такие как борьба с террористическими организациями, торговлей наркотиками, атаками компьютерных вирусов, управление миграционными потоками населения, прогнозирование и ликвидация последствий экологических катастроф, эпидемий, имеют явно выраженный пространственный характер. Для их адекватного исследования необходимо приме-

нять пространственное моделирование. Только математическое моделирование без визуального представления его хода и результатов, можно сказать, «вслепую», существенно снижает эффективность работы экспертов при выявлении характерных признаков вышеуказанных явлений. Для визуального представления результатов пространственного моделирования используются ГИС. В настоящее время наблюдается быстрое развитие ГИС из простых программ, предназначенных для просмотра электронных цифровых карт, в комплексные программные приложения, предназначенные для пространственного моделирования процессов реального мира. В то же время, использование традиционных языков программирования для разработки высокоуровневых ГИС-приложений со сложной внутренней логикой становится тормозящим фактором. Практика показывает, что для интеллектуальной поддержки решаемых в ГИС-приложениях задач, а особенно для Web-приложений, в состав ГИС необходимо включать элементы искусственного интеллекта, такие как машины логического вывода, онтологии, мультиагентные системы и др.

Необходимо также отметить, что интеллектуальные информационные технологии незаменимы также в слабо структурированных предметных областях, где отсутствуют строгие математические теории и точные алгоритмы обработки информации. Большинство ГИС-приложений относятся именно к таким предметным областям. В то же время интеллектуальные технологии могут применяться и для решения традиционных задач геоинформатики, имеющих хорошо структурированную теоретическую основу, например обнаружение объектов с высокой точностью. Например, нам необходимо контролировать дистанцию между 100 подвижными объектами. При этом мы должны периодически проверять до 5000 значений различных параметров. Насколько часто? Это зависит от текущей дистанции между каждой парой объектов, их текущей скоростью и многих других факторов. Для традиционных языков программирования алгоритм решения данной задачи будет весьма сложным. Другой пример. Как представить процесс разлива нефти после столкновения двух танкеров? Каждая элементарная частица нефти движется под влиянием морского течения и ветра. Движение всего нефтяного пятна может быть представлено как совокупность параллельных процессов движения каждой из элементарных частиц. В новейших экспертных системах используется известный алгоритм Рита, специально разработанный для мониторинга сотен тысяч параллельных процессов. Для моделирования и дальнейшего анализа сложных пространственных процессов целесообразно применение технологий искусственного интеллекта.

Адекватное моделирование сложных процессов в географической среде, таких как поверхность земли, океан, атмосфера, требует интенсивного использования знаний из различных областей науки и практики. Разработка компьютерных систем для подобного моделирования должна включать и новейшие достижения в геоинформационных технологиях, технологиях представления и добытия знаний. В этом контексте интеллектуальная ГИС может рассматриваться, как конечная цель разработки такой системы.

Под интеллектуальной ГИС (ИГИС) будем понимать сложный программный продукт, включающий как непосредственно саму ГИС, так и различные методы искусственного интеллекта для решения сложных задач, в том числе задачи пространственного моделирования. Эти методы объединены в системе на основе единой структуры представления и обработки знаний.

Центральной частью ИГИС является *база знаний*, включающая онтологию, которая представляет собой «каркас» для представления концепций и связей

между ними в предметной области приложения. Другая часть базы знаний основана на базе объектов — хранилище экземпляров абстракций реальных объектов предметной области. Универсальная ИГИС должна обеспечивать загрузку в базу знаний различных онтологий и баз объектов и, таким образом, настраиваться на различные предметные области.

Следующим важным компонентом ИГИС является *экспертная система* или машина логического вывода. Обычно она представляет собой ориентированную на правила систему, предназначенную для обработки знаний, хранящихся в базе знаний. Описания правил так же могут храниться в базе знаний, как часть описания предметной области. Экспертная система служит для решения двух задач в ИГИС. Первая из них традиционна для экспертных систем и заключается в выдаче рекомендаций в сложных для принятия решения ситуациях. Вторая задача — управление сложными режимами моделирования. Алгоритм Рита, упомянутый выше, дает возможность описывать сложные параллельные процессы множеством простых правил и при этом обеспечивает высокую эффективность имитационного моделирования.

Другая часть ИГИС традиционна для ГИС систем. Это ГИС-интерфейс — программный компонент для визуального представления пространственных данных в различных географических цифровых форматах и объектов, хранящихся в базе знаний. Он объединяет различные источники геопространственных данных и программные компоненты обработки информации с помощью традиционных методов.

В настоящее время в академической среде все более распространенной становится практика публиковать не только идеи, но так же и программный код, использованный в процессе исследований и разработок. В связи с этим необходимо отметить ряд мотивов, по которым целесообразно использование программных пакетов с открытым исходным кодом в исследовательских проектах [4]:

- 1) низкая цена или ее отсутствие позволяют свободно опробовать различное программное обеспечение с открытым исходным кодом, выбирать наиболее удовлетворяющее конкретным требованиям, легко переходить с одного программного обеспечения на другое. В то же время дорогостоящее программное обеспечение ставит пользователей в зависимость как от него, так и от его производителя;
- 2) программное обеспечение с открытым исходным кодом разрабатывается, тестируется и корректируется достаточно быстро. В основу этого процесса положено использование отзывов и корректур большого количества пользователей. Его авторы постоянно опираются на мнение пользователей и охотно включают в состав программных продуктов дополнительную функциональность по их просьбам;
- 3) вопреки широко распространенному мнению, программные системы с открытым кодом имеют высокую надежность, так как проходят тестирование большим количеством добровольных тестеров;
- 4) ряд фирм-производителей коммерческого программного обеспечения начали так же распространять свои продукты с открытым исходным кодом для проверки новых идей и их дальнейшего использования в своих работах.

Лидирующее место среди программных пакетов с открытым исходным кодом, распространяемых через Интернет, занимают программы, написанные на языке программирования Java. Java-программы действительно переносимые и

работают на различных вычислительных платформах без каких-либо изменений исходного кода. Кроме того, Java-платформа предоставляет множество специальных возможностей для интеграции с различными программными системами. С учетом изложенного, нами разработан прототип ИГИС для имитации и моделирования на основе следующих свободных программных продуктов с открытым кодом на языке программирования Java:

- инструмент для разработки баз знаний Protégé [5];
- оболочку экспертной системы Jess [6];
- инструмент для разработки ГИС-приложений — OpenMap [7].

Protégé имеет открытую архитектуру, позволяющую расширять его функциональность на основе подключаемых модулей, называемых plug-ins. В настоящее время для Protégé разработано около 60 таких модулей.

Для поддержки визуализации компьютерной имитации различных процессов нами разработан еще один plug-in для Protégé. Его основные функции включают создание абстракций подвижных объектов с привязкой к географическим координатам, управление движением этих объектов в соответствии с их маршрутом и скоростью в реальном или произвольном масштабе времени. Наиболее сложные процессы управляются модулем, связывающим экспертную систему и Protégé — JessTab [8]. Этот модуль изменяет направление и скорость движения объектов в нужные моменты времени в соответствии со специально определенными правилами. Для отображения подвижных объектов на фоне цифровой карты, используется OpenMap, встроенный в модуль расширения Protégé. Визуальный эффект движения достигается частой перерисовкой изображений объектов с использованием двойной буферизации. Такая подсистема имитационного моделирования позволяет останавливать моделирование в любой момент времени и сохранять позиции подвижных объектов в файл для их дальнейшего анализа или продолжения имитационного моделирования. Данная подсистема предоставляет пользователю возможность ручного управления поведением объектов и получения информации о них. Подвижные объекты, кроме их изображений, могут иметь так же привязанные к ним текстовые строки и/или геометрические фигуры. Геометрические фигуры могут обозначать, например, район действий. Районы могут иметь произвольную геометрическую форму и представлять природные или искусственные сущности, например, атмосферные фронты или нефтяные пятна. Эти фигуры могут перемещаться и изменяться так же произвольно в соответствии с правилами, описывающими их поведение. Этот процесс так же находится под управлением экспертной системы. Разработанный нами модуль расширения является основой для локализации ИГИС для различных прикладных областей. Он может быть загружен с веб-сайта лаборатории объектно-ориентированных геоинформационных систем СПИИРАН <<http://www.oogis.ru>>.

#### **4. SOA и геоинформационные системы**

Трудно представить себе, сколько программных модулей может содержать современная ИГИС, разрабатываемая для систем мониторинга различных типов и масштабов. Приложения ИГИС должны учитывать большое количество разнообразных факторов, таких как: надежный прием информации в кратчайший срок из различных источников, ее изменение в масштабе реального времени, визуальное представление в удобной для восприятия форме. Кроме это-

го, необходимо помнить, что ГИС-интерфейс может использоваться одновременно сотнями, а в некоторых системах и тысячами пользователей. Для удовлетворения каждого из этих требований система должна обладать возможностью настройки для обеспечения необходимого информационного пространства. Таким образом возникает вопрос — как эффективно построить ИГИС для обеспечения производительного, надежного и безопасного выполнения цепочки бизнес-процессов, которые отражают логику предметной области приложения? Ответ на этот вопрос предоставляет технология Enterprise Application Integration (EAI), которая обеспечивает решение множества проблем, характерных для современных распределенных систем мониторинга и, прежде всего, ее составная часть — сервис-ориентированная архитектура (SOA) [9], представленная в самом общем виде на рис. 2. Интерфейс разработанного прототипа ИГИС показан на рис. 3.

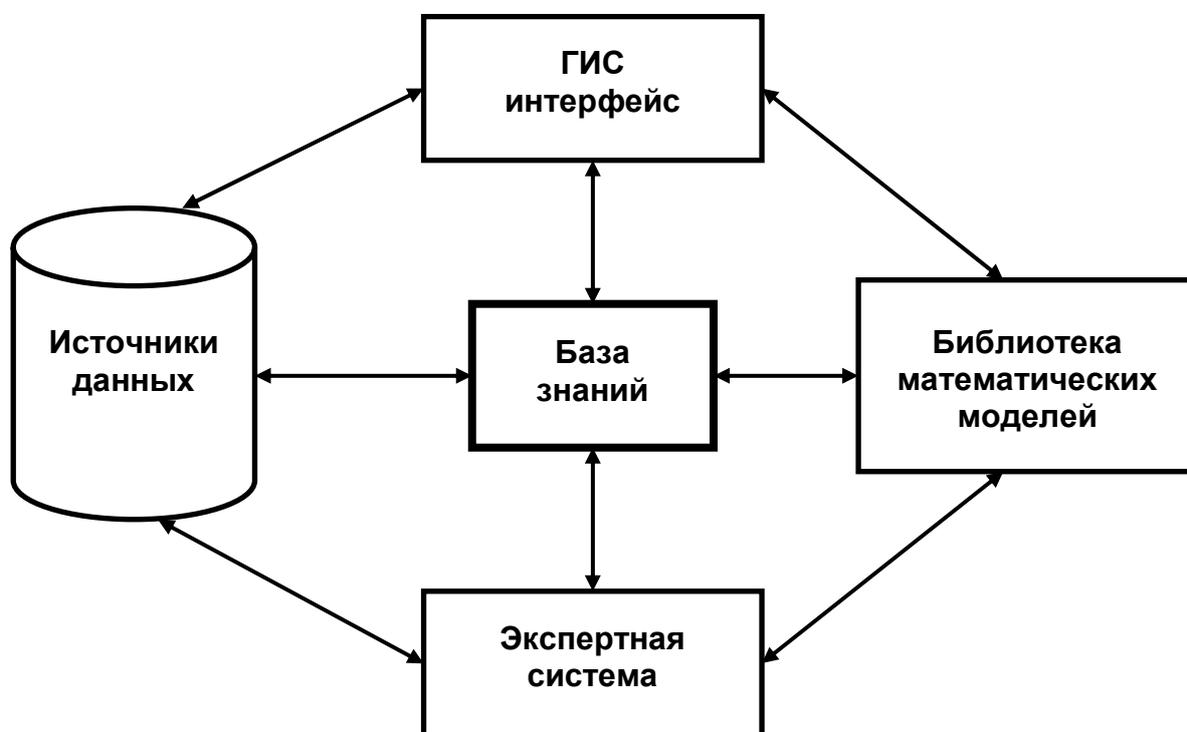


Рис. 2. Архитектура интеллектуальной геоинформационной системы.

На текущий момент, терминология SOA еще не устоялась. Тем не менее, SOA можно рассматривать не как некоторый технологический стандарт, а как тенденцию развития технологии разработки сложных систем. Поэтому выделим четыре основные базовые основополагающие характеристики SOA:

- 1) SOA является *распределенной*. Функциональные элементы приложения могут распространяться, как множество компьютерных систем и могут взаимодействовать между собой через локальные и глобальные вычислительные сети. В частности, Web-сервисы могут использовать существующие протоколы, например HTTP;
- 2) SOA строится как совокупность динамически подключаемых служб (process-centric), каждая из которых предназначена для решения отдельных задач (task-centric);

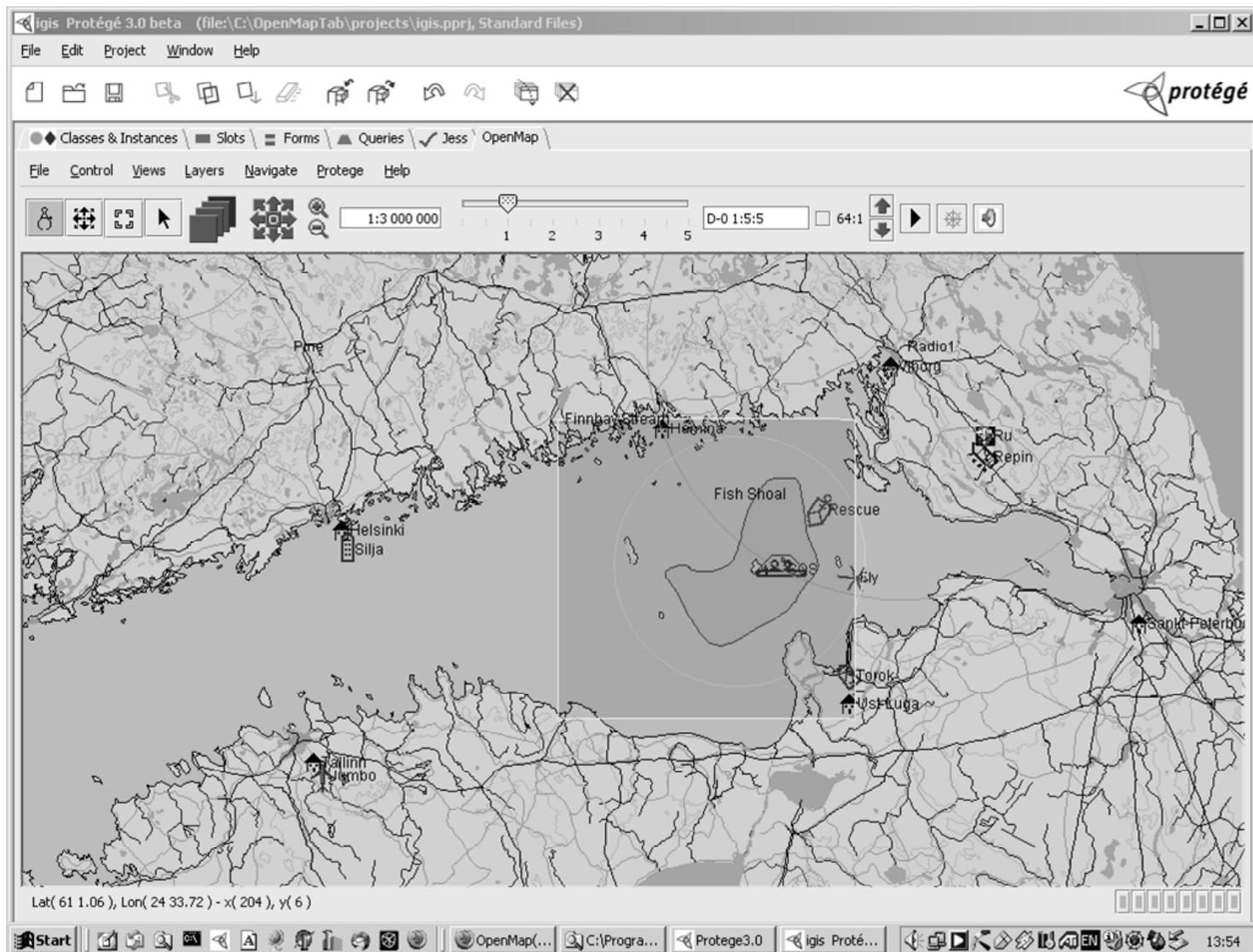


Рис. 3. Интерфейс интеллектуальной геоинформационной системы.

- 3) SOA строится на основе *слабо связанных интерфейсов*. Обычные приложения строятся на основе жестких связей между их элементами. Как следствие, их изменение в процессе эксплуатации весьма проблематично. Системы со слабо связанной архитектурой компонентов изменяются значительно проще с помощью их переконфигурации;
- 4) SOA базируется на широко распространенных и проверенных временем технологиях.

Поэтому, с функциональной точки зрения, ИГИС может рассматриваться, как совокупность взаимодействующих между собой служб, определенных в терминах сервис-ориентированной архитектуры.

Итак, под сервис-ориентированной архитектурой (SOA) будем понимать компонентную модель, состоящую из функционально независимых модулей приложения, называемых службами, имеющих четко определенные правила, интерфейсы и механизмы взаимодействия друг с другом.

К SOA предъявляются следующие требования, соответствующие современному состоянию и взаимному влиянию развития экономики и информационных технологий:

- 1) создание эффективных приложений на основе объединения унаследованных (существующих) информационных систем;
- 2) обеспечение интеграции различных типов:
  - интеграция с пользователем — обеспечить взаимодействие ИГИС с конкретными пользователями;
  - взаимодействие приложений — обеспечить взаимодействие приложений на уровне интерфейсов интеллектуальной ГИС;
  - интеграция процессов — интеграция бизнес-процессов;
  - интеграция информации — интеграция информации и данных различных форматов из разных источников;
  - интеграция с новыми приложениями — интеграция новых приложений и служб с существующими приложениями;
- 3) обеспечение совместимости реализации вновь создаваемых и переносимости существующих информационных подсистем, а так же их повторное использование на основе стандартизированных технологий и инструментов разработки.

Современный уровень развития SOA показывает, что вышеперечисленные требования в том или ином аспекте обязательно присутствуют и должны быть учтены при разработке ИГИС.

В процессе разработки ИГИС на основе SOA нами принимались во внимание следующие концептуальные решения:

- использование открытого исходного кода;
- применение общепринятых и часто используемых технологий и стандартов: XML, HTTP, TCP/IP, SOAP, BizTalk [10];

Предлагаемые решения находятся в стадии формирования для их успешного и эффективного применения большим количеством независимых разработчиков во всем мире.

## 5. Архитектура интеллектуальной ГИС на основе концепций SOA

Определим некоторые термины для рассмотрения архитектуры ИГИС на основе SOA.

Служба — ресурс, реализующий бизнес функцию и имеющий следующие свойства:

- восстановимость;
- определяемость одним или несколькими четкими технологически независимыми интерфейсами;
- слабая связанность с другими подобными ресурсами и способность взаимодействовать с ними на основе протоколов обмена;

Сервис-ориентированная архитектура — архитектура приложения, в которой все функции реализованы в виде независимых служб с полностью определенными интерфейсами и могут вызываться в требуемом для формирования бизнес-процесса порядке.

На рис. 4 представлена архитектура интеллектуальной ГИС на основе концепций SOA.

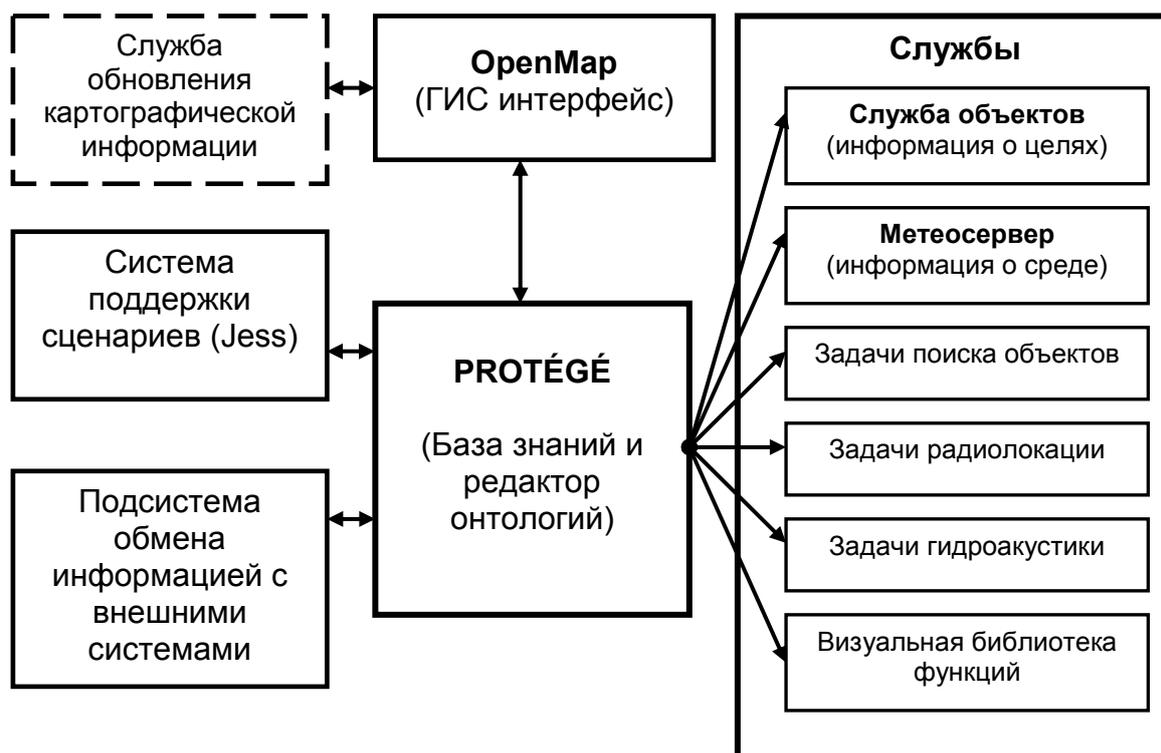


Рис. 4. Архитектура интеллектуальной ГИС на основе концепций SOA.

Центральным звеном ИГИС является редактор онтологий и баз знаний PROTÉGÉ. С одной стороны PROTÉGÉ — редактор онтологий, а с другой — хранилище экземпляров классов объектов. Архитектура PROTÉGÉ показана на рис. 5.

PROTÉGÉ тесно взаимодействует с программным компонентом визуального представления картографической информации OpenMap. Этот компонент

отвечает за отображение картографических данных, полученных из цифровых наборов различных форматов, например, S57, VPF и т.д.

Служба обновления картографической информации — инструмент поддержания картографической информации в актуальном состоянии.

Например, пользователь, получив уведомление о необходимости обновления картографической информации, адресует его этой службе, и получает обновленную информацию для использования в ГИС-интерфейсе.

Подсистема обмена информацией с внешними системами формирует документы в формате XML для обмена информацией и/или данными о текущей обстановке.

Такие службы, как визуальная библиотека функций, задачи поиска объектов, радиолокации, гидроакустики разрабатываются для поддержки моделирования процессов предметной области. В зависимости от класса системы мониторинга набор этих служб может меняться.

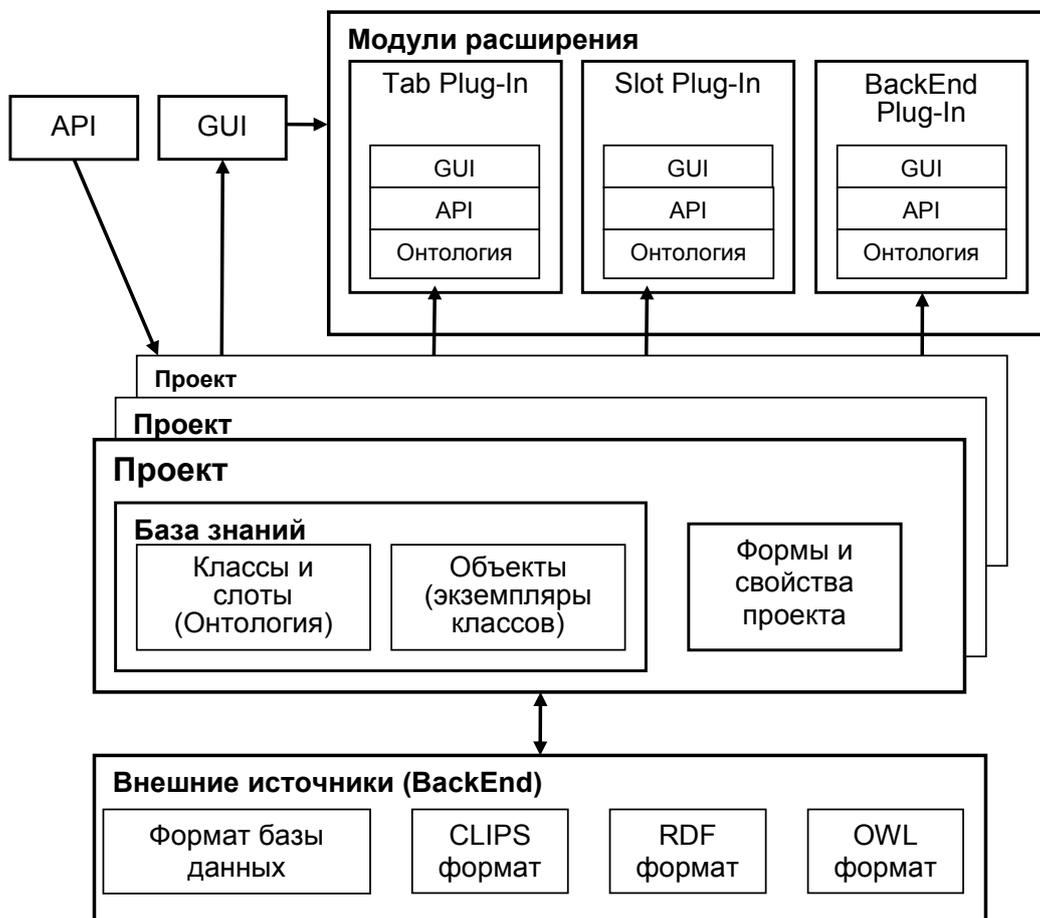


Рис. 5. Архитектура Protégé.

## 6. Выводы

Метод разработки интеллектуальной ГИС для систем мониторинга различного назначения, должен удовлетворять следующим требованиям:

- удобный и четкий доступ к данным и информации;
- гибкая и быстрая модификация приложений;
- быстрая интеграция новых приложений в работающую систему;

- поддержка стандартных форматов данных;
- высокая степень повторного использования исходного кода и других информационных ресурсов;
- динамическое наращивание функций систем без дополнительного программирования и/или перепрограммирования проекта целиком;
- возможность работы ИГИС как в локальной, так и распределенной среде.

Основа интеллектуальной ГИС, наряду с традиционной ГИС-технологией, включает следующие технологии:

- визуальная разработка онтологии для систем мониторинга на основе Protégé-2000 с использованием OWL;
- система интеграции данных из различных источников (баз данных Всемирной метеорологической организации, цифровых картографических форматов данных S57, VPF и т.д.) и их отображение на основе OpenMap;
- открытая технология разработки экспертных систем на основе правил и объектов с использованием среды CLIPS и JESS;
- открытая технология для представления знаний на основе редактора онтологий Protégé-2000.

Дополнительные возможности интеллектуальной ГИС:

- визуальная разработка классов и объектов систем мониторинга на основе концепции метаданных;
- визуальная разработка сценариев действий объектов в геопропорциональной среде;
- выполнение сценариев действий объектов в реальном или произвольном масштабе времени с визуальным отображением в форме значков на фоне электронной карты;
- выработка рекомендаций для лиц, принимающих решения, в процессе выполнения сценария в системах мониторинга, бизнес игр, анализа обстановки;
- легкая масштабируемость (локальный компьютер, локальные и глобальные вычислительные сети).

## Литература

1. Попович В. В., Корольков Г. Н. Задачи информационного обеспечения в ВМФ // Морской сборник. 2003. № 5 (1878). С. 40–47.
2. Попович В. В., Корольков Г. Н., Растрогов А. В. Поддержка принятия решения на основе ГИС // Морской сборник. 2003. № 6 (1879). С. 46–51.
3. Mahler R. The Levels 2, 3, 4 Fusion Challenge: Fundamental Statistics // Fusion 2004; Proceedings. Vol 1. Stockholm. 2004. P. 535–536.
4. Sorokin R. Intelligent Geoinformation Systems for Modeling and Simulation // Proceedings of The International Workshop on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modeling & Simulation (HMS-2003) Riga. 2003. P. 395–398.
5. Knublauch H. An AI tool for the real world // JavaWorld. 2003. No. 20 [Электронный ресурс] <<http://www.javaworld.com>> (по состоянию на 20.03.2006).
6. Friedman-Hill E. Jess in Action: Rule-Based Systems in Java. Manning. 2003. 459 p.
7. OpenMap [Электронный ресурс] // <<http://openmap.bbn.com>> (по состоянию на 20.03.2006).
8. Eriksson H. Using JessTab to Integrate Protégé and Jess // IEEE Intelligent Systems. 2001. No. 18(2). P. 43–50.
9. What is Service-Oriented Architecture? [Электронный ресурс] //

- <http://webservices.xml.com/pub/a/ws/2003/09/30/soa.html> (по состоянию на 20.03.2006).
10. SOAP 1.2 [Электронный ресурс] // <http://www.w3c.org/2000/xp/Group/> (по состоянию на 20.03.2006).