

УДК 528.83

## ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОНТОЛОГИИ В СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

С. А. Карин<sup>а</sup>, канд. воен. наук, заместитель начальника кафедры

<sup>а</sup>Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, РФ

**Цель:** построение предметно-ориентированной онтологии единого информационного пространства в системах обработки пространственных данных. **Результаты:** разработана концептуальная модель распределенной автоматизированной системы сбора, обработки и анализа пространственных данных. Описана модель предметно-ориентированной онтологии единого информационного пространства. Разработан алгоритм информационного взаимодействия узлов в распределенных автоматизированных системах, включающий формирование передаваемого информационного пакета, определение перечня доступных адресатов, гарантированную доставку данных по каналам связи, получение пакета адресатами, передачу квитанции о получении отправителю. Разработан алгоритм поиска данных, включающий описание поисковых критериев, поиск требуемых данных на локальном узле автоматизированной системы, передачу управления алгоритму информационного взаимодействия в целях доставки поисковых критериев на взаимодействующие узлы, поиск требуемых данных на удаленных узлах и передачу потребителю объединенных результатов. **Практическая значимость:** разработанная предметно-ориентированная онтология единого информационного пространства позволяет динамически описать типовую предметную область в автоматизированных системах сбора, обработки и анализа разнородных пространственных данных без перепрограммирования, что приводит к повышению эффективности применения таких систем и снижению затрат на их эксплуатацию. Полученные алгоритмы и модели использованы в программном комплексе сбора, хранения и поиска разнородной пространственной информации.

**Ключевые слова** — единое информационное пространство, геоинформационные системы, пространственные данные, предметно-ориентированная онтология, информационное взаимодействие.

### Введение

Роль данных в различных областях деятельности человека — научных исследованиях, здравоохранении, образовании, промышленности — непрерывно растет в последние годы. Развиваются новые информационные технологии, в которых данные становятся доминирующим фактором, новые подходы к концептуализации, организации и реализации автоматизированных информационных систем сбора, обработки и анализа разнородных данных (АИС СОАРД) [1–4]. К системам такого класса, например, можно отнести системы поддержки принятия решений, автоматизированные системы управления, системы автоматизации делопроизводства, системы мониторинга, геоинформационные системы и др.

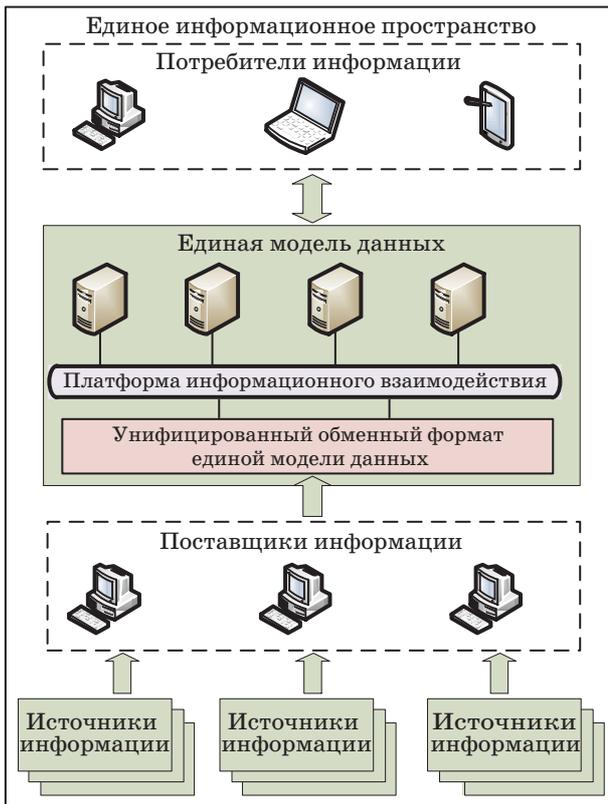
Ряд особенностей характеризует АИС СОАРД, выделяя их среди систем других классов [3–6]. Во-первых, значительная часть (до 80 %) обрабатываемых информационных ресурсов имеет пространственную и временную привязку (т. е. является геопространственной). Во-вторых, объемы информации, которую необходимо обработать, сохранить и предоставить потребителю, в настоящее время достигают размеров в десятки и сотни терабайт и продолжают возрастать. В-третьих, обрабатываемые информационные ресурсы, а также участники информационного взаимодействия (пользователи) характеризуются территориальной распределенностью. В-четвертых, обрабатываемые информационные ресурсы характеризуются значительной гетерогенностью (разнородностью).

В-пятых, все чаще требуется гарантированное доведение информационных ресурсов до потребителей, в том числе при «нестабильных» каналах связи. В-шестых, современные АИС СОАРД характеризуются необходимостью постоянного мониторинга их функционирования, а также постоянного масштабирования.

Данные особенности определяют задачу обеспечения работы пользователей в единой понятийной среде и в едином информационном пространстве, что требует единых правил адресования субъектов и объектов АИС, согласования содержания информационного и информационно-лингвистического обеспечения отдельных объектов АИС и поддержания их в актуальном состоянии в масштабе времени, близком к реальному.

### Концептуальная модель распределенной АИС

В настоящее время в мире возрастает интерес к применению новых методов организации сбора, хранения, поиска и обработки разнородных данных. С учетом вышеназванных особенностей современных АИС СОАРД одним из перспективных методов является формирование единого информационного пространства в виде взаимоувязанных распределенных АИС, в основе которых лежит обработка пространственных данных. Такие системы будем называть распределенными автоматизированными информационными системами сбора, обработки и анализа разнородных пространственных данных (АИС СОАРПД).



■ Рис. 1. Концептуальная модель АИС СОАРПД

Важнейшим отличием АИС СОАРПД является то, что выход из строя одного из узлов системы не приведет к выходу из строя всей системы в целом.

Концептуальная модель систем такого класса приведена на рис. 1.

Формирование единого информационного пространства предполагает формальное описание единой модели данных, а также способов преобразования циркулирующей в системе информации из форматов внешних источников в унифицированный формат единой модели данных. При этом обмен данными между поставщиками и потребителями информации должен осуществляться с использованием специализированной программно-аппаратной платформы информационного взаимодействия.

Одним из эффективных методов реализации указанных задач является использование предметно-ориентированных онтологий [1, 7–9].

### Описание модели предметно-ориентированной онтологии

Онтологии получили широкое распространение в решении проблем представления знаний и инженерии знаний, семантической интеграции информационных ресурсов, информационного

поиска и многих других областей [1, 7–12]. Онтология — это комплекс понятий от самых общих до наиболее конкретных, охватывающий полный спектр объектов и отношений, включая события и процессы, а также значения (атрибутов и отношений), определяемые, если необходимо, во времени и пространстве [1, 8, 9].

В настоящее время развиваются, в основном, следующие типы онтологий: предметно-ориентированные (Domain-oriented), ориентированные на прикладную задачу (Task-oriented), общие онтологии (Top-level ontologies).

Предметно-ориентированная онтология — это концептуализация мира в понятиях словаря для объектов, их качественных характеристик, отличительных особенностей и т. п. для данной предметной области [1, 8, 9]. Понятия, определенные в словаре, являются принятой в данной предметной области терминологией.

Формально определим рассматриваемую предметно-ориентированную онтологию следующим образом:

$$O = \langle C, I, E, L, F_{ext}, F_{md}, F_s, F_{int} \rangle,$$

где

$C$  — набор категорий (классов объектов, понятий) единого информационного пространства;

$I$  — набор информационных ресурсов, которые описываются различными категориями;

$E$  — унифицированный обменный формат единой модели данных, который позволяет формально описать все виды разнородных информационных ресурсов;

$L$  — набор внешних форматов представления данных из унаследованных систем;

$F_{ext}(L_i) \rightarrow E$  — функция преобразования данных из внешних форматов в унифицированный формат единой модели данных;

$F_{md}(E) \rightarrow I$  — функция преобразования данных из обменного формата в набор информационных ресурсов;

$F_s(I_j) \rightarrow I$  — функция поиска требуемых информационных ресурсов ( $I$ ), удовлетворяющих заданным поисковым критериям ( $I_j$ );

$F_{int}(I_i) \rightarrow I_j$  — функция информационного обмена узлов распределенной АИС СОАРПД.

Дадим определения некоторым основным понятиям словаря рассматриваемой предметно-ориентированной онтологии.

**Категория** — поименованная сущность, включающая в себя описание набора атрибутов, вложенных рубрик, шаблонов визуализации, а также указания на тип категории (справочник, документ, журнал учета).

**Атрибут** — поименованная сущность, включающая в себя описание типа атрибута, принадлежность к некоторой группе атрибутов, правила его фильтрации (для атрибута, описывающего

ссылку на элемент справочника), описание начального значения, значения по умолчанию, название, код и другие параметры. Атрибут представляет собой описание некоторого свойства объекта реального мира.

*Шаблон визуализации* — поименованная сущность, включающая в свой состав сгруппированные атрибуты, включенные в заданную категорию. Каждая группа имеет название и содержит произвольное подмножество атрибутов заданной категории и подгрупп, при этом учитывается порядок их следования в рассматриваемой группе. В свою очередь также учитывается порядок следования каждой группы в шаблоне визуализации. Шаблон визуализации предназначен для визуализации информационных ресурсов с учетом рассматриваемой предметной области, требуемой степени детализации и т. п.

*Информационный ресурс (экземпляр категории)* — поименованная сущность, включающая данные о ее принадлежности к заданной категории (с наследованием всех ее свойств), значениях атрибутов, авторе и владельце, правах доступа, состоянии, дате и времени его создания, настройках синхронизации, прикрепленных файлах. Набор доступных атрибутов, шаблонов визуализации и вложенных рубрик информационный ресурс наследует от категории. В общем виде информационный ресурс является моделью какого-либо объекта реального мира. Взаимосвязь «категория» — «информационный ресурс» можно описать в терминах объектно-ориентированной парадигмы как «класс» — «объект».

*Рубрика* — поименованная сущность иерархического типа, характеризующаяся названием; вхождением в рубрику более высокого уровня; ассоциированным поисковым запросом, при удовлетворении которому информационные ресурсы будут автоматически вкладываться в рубрику; категорией, экземпляры которой могут вкладываться в рубрику; правами доступа к рубрике.

*Информационный обмен* — информационное взаимодействие двух и более узлов АИС СОАРПД, при котором единицей передачи данных является информационное сообщение специальной структуры или в обменном формате. В основе этой структуры и формата лежат понятия атрибутов, категорий и информационных ресурсов. Неотъемлемым свойством информационного обмена является гарантированность доставки информационных сообщений получателю.

В соответствии с вышеприведенными определениями формально понятие категории можно описать следующим образом:

$$C = \langle s, A, R, T \rangle,$$

где

$s = \langle s_1, s_2 \rangle$ , при этом  $s_1$  — название категории,  $s_2$  — тип категории;

$A$  — набор атрибутов категории, при этом  $A = \{a_i \mid a_i$  — описание  $i$ -го атрибута категории,  $i = 1 \div n$ ,  $n$  — количество атрибутов в категории};

$R$  — набор вложенных рубрик категории, при этом  $R = \{r_i \mid r_i$  — описание  $i$ -й рубрики,  $i = 1 \div m$ ,  $m$  — количество рубрик в категории};

$T$  — набор шаблонов визуализации категории, при этом  $T = \{t_i \mid t_i$  — описание  $i$ -го шаблона,  $i = 1 \div k$ ,  $k$  — количество шаблонов в категории}.

В свою очередь понятие информационного ресурса можно описать следующим образом:

$$I = \langle p, C, V, D, S, F \rangle,$$

где

$p = \langle p_1, p_2, p_3, p_4 \rangle$ , при этом  $p_1$  — название информационного ресурса,  $p_2$  — его состояние,  $p_3$  — дата и время его создания,  $p_4$  — информация об авторе и владельце;

$C$  — категория информационного ресурса;

$V$  — набор значений атрибутов, при этом  $V = \{v_i \mid v_i$  — описание  $i$ -го значения атрибута,  $i = 1 \div n$ ,  $n$  — количество значений атрибутов в информационном ресурсе};

$D$  — набор описаний прав доступа к информационному ресурсу, при этом  $D = \{d_i \mid d_i$  — описание  $i$ -го права доступа некоторого пользователя,  $i = 1 \div m$ ,  $m$  — количество определенных прав доступа};

$d_i = \langle d_1, d_2, d_3, d_4 \rangle$ , при этом  $d_1$  — возможность чтения,  $d_2$  — возможность изменения,  $d_3$  — возможность удаления,  $d_4$  — возможность передачи информационного ресурса другим пользователям и на другие узлы системы по каналам информационного обмена;

$S$  — набор настроек синхронизации, где каждая настройка определяет достаточные данные для осуществления информационного обмена, т. е. для выполнения функции  $F_{int}(I_i) \rightarrow I_j$ , при этом  $S = \{s_i \mid s_i$  — описание настройки синхронизации с  $i$ -м узлом распределенной АИС СОАРПД,  $i = 1 \div k$ ,  $k$  — количество узлов, с которыми синхронизируется информационный ресурс};

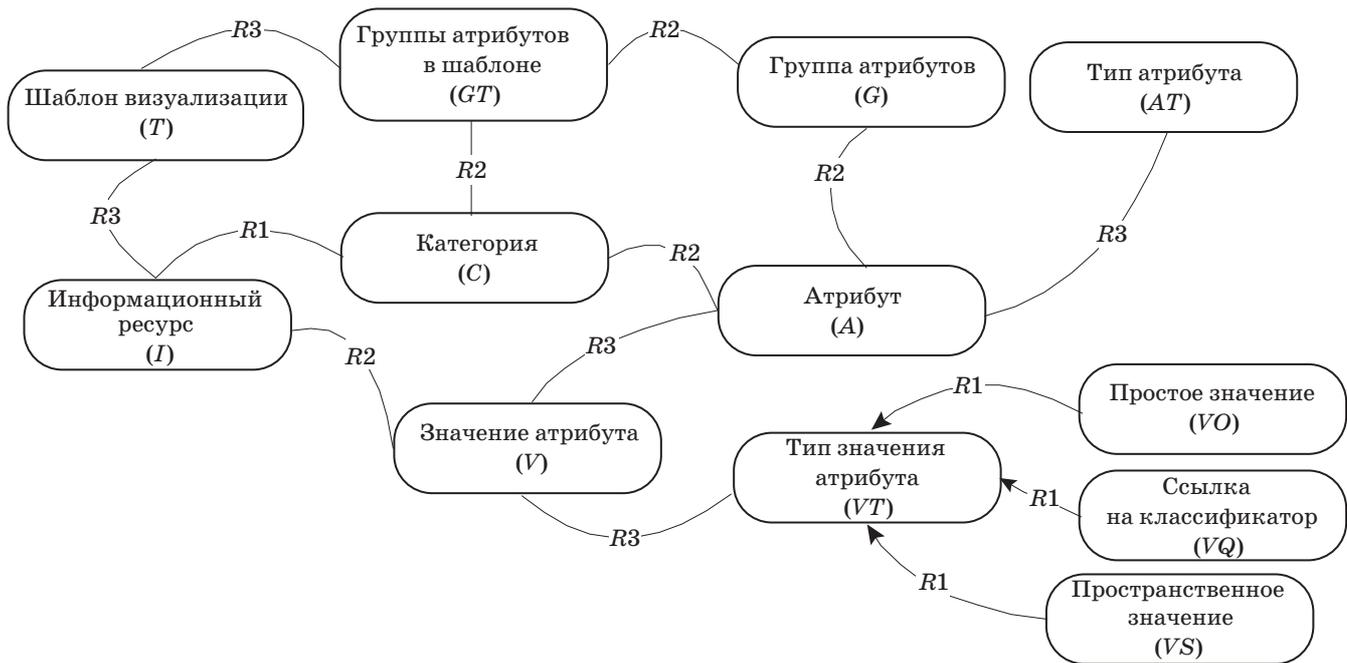
$F$  — набор прикрепленных файлов, при этом  $F = \{f_i \mid f_i$  — описание  $i$ -го файла,  $i = 1 \div l$ ,  $l$  — количество прикрепленных к информационному ресурсу файлов}.

На схеме отношений между различными элементами словаря рассматриваемой предметно-ориентированной онтологии (рис. 2) выделены следующие типы отношений:

$R1$  — является экземпляром класса;

$R2$  — содержит набор (список);

$R3$  — включает в себя часть.



■ Рис. 2. Схема отношений между различными элементами словаря онтологии

**Описание алгоритмов работы функций по управлению основными сущностями онтологии**

В состав модели предметно-ориентированной онтологии единого информационного пространства сбора, обработки и анализа разнородных пространственных данных входят различные сущности или элементы словаря онтологии (см. рис. 2), а также набор функций по управлению этими сущностями:

- 1) функция преобразования данных из внешних форматов в унифицированный обменный формат единой модели данных ( $F_{ext}(L_i) \rightarrow E$ );
- 2) функция преобразования данных из обменного формата в набор информационных ресурсов ( $F_{md}(E) \rightarrow I$ );
- 3) функция поиска информационных ресурсов в соответствии с заданными критериями ( $F_s(I_i) \rightarrow I$ );
- 4) функция информационного взаимодействия узлов распределенной АИС СОАРПД ( $F_{int}(I_i) \rightarrow I_j$ ).

На уровне АИС каждая из этих функций должна быть представлена набором программных модулей, которые реализуют их алгоритмы. Необходимо отметить, что в рамках данной статьи представлены только функции, которые обеспечивают базовые возможности типовой АИС СОАРПД. В реально действующих АИС перечень этих функций будет более широким.

Функции  $F_{ext}(L_i) \rightarrow E$  и  $F_{md}(E) \rightarrow I$  могут быть реализованы в виде преобразователя с магазинной памятью на основе математического аппарата теории формальных грамматик [6, 13, 14].

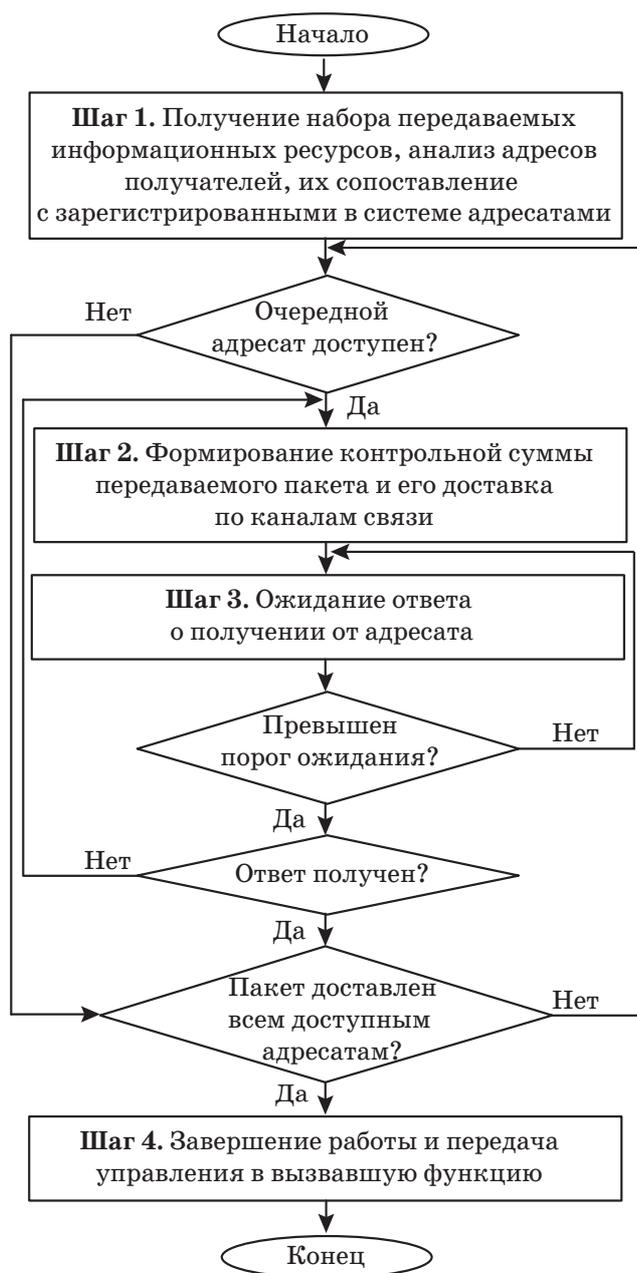
Функция ( $F_{int}(I_i) \rightarrow I_j$ ) получает на вход набор информационных ресурсов, которые требуется передать получателю. При этом в качестве одного из атрибутов, входящих в категорию информационного ресурса, входит адрес отправителя и получателей. Функция осуществляет анализ адресов получателей и посредством платформы информационного взаимодействия (которая в данном случае играет роль маршрутизирующей инфраструктуры) производит доставку наборов информационных ресурсов на целевые узлы.

В основе работы данной функции лежат следующие основные требования:

- 1) наличие единых правил адресования субъектов и объектов АИС;
- 2) согласование содержания информационного и информационно-лингвистического обеспечения отдельных объектов АИС;
- 3) поддержание их в актуальном состоянии в масштабе времени, близком к реальному;
- 4) гарантированное доведение информационных ресурсов до потребителей, в том числе при «нестабильных» каналах связи.

Структурная схема алгоритма работы функции информационного взаимодействия узлов распределенной АИС СОАРПД ( $F_{int}(I_i) \rightarrow I_j$ ) представлена на рис. 3.

**Шаг 1.** Получение от вызывающей функции (например, функции поиска  $F_s(I_i) \rightarrow I$ ) набора передаваемых информационных ресурсов, анализ адресов получателей, их сопоставление с зарегистрированными в системе адресатами. Выбирается очередной адресат, если он доступен



■ Рис. 3. Схема алгоритма работы функции информационного взаимодействия узлов распределенной АИС СОАРПД

(каналы связи находятся в работоспособном состоянии) — переход на шаг 2. В противном случае проверка доступности выполняется для следующего адресата в списке до тех пор, пока не будут обработаны все адресаты.

**Шаг 2.** Формирование эталонной контрольной суммы передаваемого пакета и его доставка по каналам связи.

**Шаг 3.** Ожидание ответа от адресата о получении передаваемого пакета. Предполагается, что адресат должен отправить ответ только в случае успешного получения пакета и совпадения эта-

лонной и вычисленной контрольных сумм. Если ответ от адресата не получен и превышен порог ожидания ответа — переход на шаг 2. Если ответ получен — передача пакета следующему адресату.

Шаги 2 и 3 выполняются для всех указанных адресатов. При этом их выполнение осуществляется в асинхронном режиме.

**Шаг 4.** Завершение работы и передача управления в вызвавшую функцию.

Таким образом, алгоритм (см. рис. 3) обеспечивает гарантированное доведение информационных ресурсов до соответствующих адресатов.

Функция поиска ( $F_s(I_t) \rightarrow I$ ) реализована таким образом, чтобы обеспечить распределенный поиск требуемых информационных ресурсов на всех узлах АИС СОАРПД с учетом дискреционных прав доступа пользователей. На рис. 4 представлена структурная схема алгоритма работы этой функции.

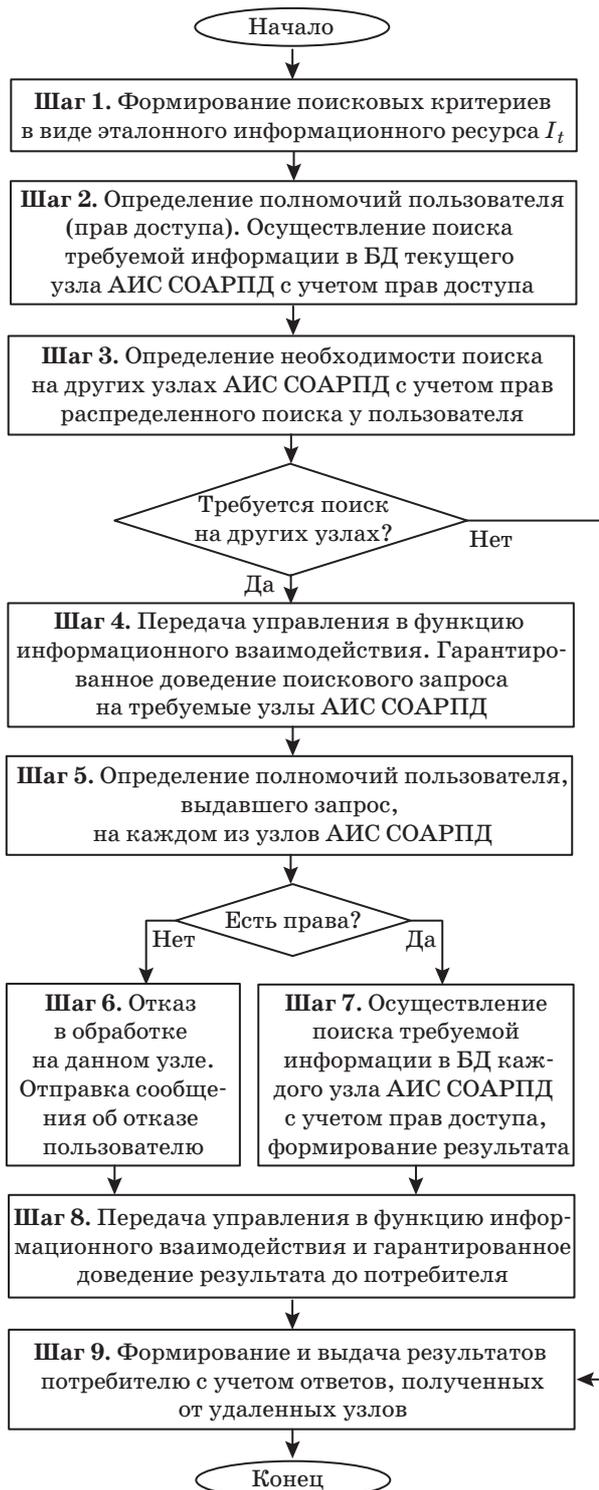
**Шаг 1.** Формирование поисковых критериев в виде эталонного информационного ресурса  $I_t$ . Поисковые критерии описываются потребителем (пользователем, выполняющим поиск). Функция агрегирует эти критерии в виде набора значений атрибутов, входящих в категорию формируемого эталонного информационного объекта.

**Шаг 2.** Поиск требуемой информации (искомых информационных ресурсов) в базе данных текущего (локального относительно потребителя) узла АИС СОАРПД. При этом происходит определение полномочий пользователя (дискреционных прав доступа). Кроме того, по умолчанию полагается, что пользователь не имеет прав на потенциально искомый информационный ресурс, если явно не указано обратное. Далее происходит генерация SQL-запросов к таблицам базы данных, в которых хранятся информационные ресурсы. Результатом выполнения SQL-запросов является промежуточный набор информационных ресурсов, которые удовлетворяют запросу пользователя.

**Шаг 3.** Определение необходимости поиска на других узлах АИС СОАРПД с учетом прав распределенного поиска у пользователя. При этом если принимается решение об отсутствии необходимости поиска на удаленных узлах, то сформированный на предыдущем шаге промежуточный набор информационных ресурсов передается на шаг 9, где формируется окончательный ответ пользователю. В противном случае управление передается на шаг 4.

**Шаг 4.** Передача сформированного на первом шаге эталонного информационного ресурса  $I_t$  в функцию информационного взаимодействия ( $F_{int}(I_t) \rightarrow I_p$ ), которая осуществляет его гарантированное доведение на все требуемые узлы АИС СОАРПД.

**Шаг 5.** Анализ полномочий пользователя, выдавшего поисковый запрос, на всех узлах АИС СОАРПД, на которые был доставлен эталонный



■ **Рис. 4.** Схема алгоритма работы функции поиска информационных ресурсов в соответствии с заданными критериями

информационный ресурс  $I_t$ . При этом по умолчанию полагается, что пользователь не имеет прав на потенциально искомый информационный ресурс, если явно не указано обратное. Кроме того, если пользователю явно не выданы полномочия на поиск на данном узле, то происходит переход на шаг 6. В противном случае — переход на шаг 7.

**Шаг 6.** Формирование отказа от выполнения поиска на текущем удаленном узле, формирование пустого набора информационных ресурсов в качестве результирующего ответа.

**Шаг 7.** Генерация SQL-запросов к таблицам базы данных, в которых осуществляется хранение информационных ресурсов. Результатом выполнения SQL-запросов является промежуточный набор информационных ресурсов, которые удовлетворяют запросу пользователя.

**Шаг 8.** Передача сформированного промежуточного набора информационных ресурсов в функцию информационного взаимодействия ( $F_{int}(I_i) \rightarrow I_i$ ), которая осуществляет его гарантированное доведение до потребителя.

**Шаг 9.** Ожидание завершения работы функции информационного взаимодействия, которая должна доставить ответы от всех удаленных узлов, где осуществлялся поиск. После этого с учетом полученных ответов, а также промежуточного набора информационных ресурсов, сформированных на втором шаге, выдается результат поиска потребителю.

### Заключение

В данной работе рассмотрена модель предметно-ориентированной онтологии в автоматизированных информационных системах сбора, обработки и анализа разнородных пространственных данных. Сформулированы определения основных сущностей онтологии. Дано описание концептуальной модели типовой распределенной АИС СОАРПД. Предложены алгоритмы работы функций, входящих в разработанную предметно-ориентированную онтологию, дана их краткая характеристика.

Описанные в данной статье модели и алгоритмы легли в основу ряда АИС, разработанных в интересах Министерства обороны Российской Федерации, а также других органов государственного и муниципального управления. Направления дальнейших исследований по теме данной статьи связаны с расширением предложенной предметно-ориентированной онтологии путем включения в нее новых сущностей и функций их обработки, а также разработки алгоритмов работы этих функций.

### Литература

1. **Лапшин В. А.** Онтологии в компьютерных системах. — М.: Научный мир, 2010. — 224 с.

2. **Калиниченко Л. А.** Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. — М.: Наука, 1983. — 424 с.  
3. **Коголовский М. Р.** Перспективные технологии информационных систем. — М.: ДМК Пресс, 2003. — 288 с.

4. Жижимов О. Л., Мазов Н. А. Принципы построения распределенных информационных систем на основе протокола Z39.50/OIGGM СО РАН; ИВТ СО РАН. — Новосибирск, 2004. — 361 с.
5. Бездушный А. Н., Жижченко А. Б., Кулагин М. В., Серебряков В. А. Интегрированная система информационных ресурсов РАН и технология разработки цифровых библиотек // Программирование. 2000. № 4. С. 3–14.
6. Карин С. А. Интеграция в едином информационном пространстве разнородных геопространственных данных // Информационно-управляющие системы. 2012. № 2. С. 89–94.
7. Добров Б. В., Иванов В. В., Лукашевич Н. В., Соловьев В. Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 173 с.
8. Gruber T. R. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proc. of the Second Intern. Conf. / J. A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell — eds. Morgan Kaufmann, 1991. P. 601–602.
9. Найханова Л. В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования: монография. — Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2008. — 244 с.
10. Бениаминов Е. М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. — М.: Научный мир, 2003. — 184 с.
11. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
12. Клещев А. С., Шалфеева Е. А. Классификация свойств онтологий. Онтологии и их классификации // Научно-техническая информация. Сер. 2. 2005. № 9. С. 16–22.
13. Алферова З. В. Теория алгоритмов. — М.: Статистика, 1973. — 165 с.
14. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т. 1: Синтаксический анализ. — М.: Мир, 1978. — 612 с.

UDC 528.83

### Developing a Domain-Specific Ontology in Spatial Data Processing Systems

Karin S. A.<sup>a</sup>, PhD, Mil., Deputy Head of a Sub-Faculty, sergey.karin@gmail.com

<sup>a</sup>A. F. Mozhaevskii Military Space Academy, 13, Zhdanovskaia St., 197082, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Purpose:** Developing a domain-specific ontology for common information space in spatial data processing systems. **Results:** A conceptual model is developed for a distributed automated system of collecting, processing and analyzing spatial data. A model of domain-specific ontology of a single information space is described. An algorithm is developed for informational interaction of nodes in distributed automated systems. This algorithm includes forming the transmitted data packet; determining the list of the available destinations; guaranteed delivery of the data over the communication channels; receipt of the packet by the destinations; transfer of the receipt to the sender. A data search algorithm is developed which includes: search criteria description; search for the required data on the local node of the automated system; transfer of the control to the informational interaction algorithm in order to deliver the search criteria to the interacting nodes; search for the required data on remote nodes and transmission of the results to the consumers. **Practical relevance:** The developed domain-specific ontology for single information space allows to dynamically describe a typical subject area in automated systems of collection, processing and analysis of heterogeneous spatial data without reprogramming, which makes the efficiency of such systems higher and their operation cost lower. The obtained algorithms and models are used in a software package for collecting, storing and retrieval of heterogeneous spatial information.

**Keywords** — Common Information Space, Geographic Information Systems, Spatial Data, Domain-Specific Ontology, Communication.

#### References

1. Lapshin V. A. *Ontologii v komp'yuternykh sistemakh* [Ontology in Computer Systems]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 2010. 224 p. (In Russian).
2. Kalinichenko L. A. *Metody i sredstva integratsii neodnorodnykh baz dannykh* [Methods and Tools for Integration of Heterogeneous Databases]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 424 p. (In Russian).
3. Kogalovskii M. R. *Perspektivnye tekhnologii informatsionnykh sistem* [Prospective Information Systems Technology]. Moscow, DMK Press Publ., 2003. 288 p. (In Russian).
4. Zhizhimov O. L., Mazov N. A. *Printsipy postroeniia raspredelennykh informatsionnykh sistem na osnove protokola Z39.50* [Principles for Building Distributed Information Systems Based on the Z39.50 Protocol]. Novosibirsk, OIGGM SO RAN; IVT SO RAN Publ., 2004. 361 p. (In Russian).
5. Bezдушnyi A. N., Zhizhchenko A. B., Kulagin M. V., Serebriakov V. A. Integrated Resources Information System of Sciences and Technology Digital Library. *Programirovanie*, 2000, no. 4, pp. 3–14 (In Russian).
6. Karin S. A. Integration in the Single Information Space of Heterogeneous Geospatial Data. *Informatsionno-upravliayushchie sistemy*, 2012, no. 2, pp. 89–94 (In Russian).
7. Dobrov B. V., Ivanov V. V., Lukashevich N. V., Solov'ev V. D. *Ontologii i tezaurusy: modeli, instrumenty, prilozheniia*. [Ontologies and Thesauri: Models, Tools, Applications]. Moscow, Binom. Laboratoria Znaniy Publ., 2009. 173 p. (In Russian).
8. Gruber T. R. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases. *Proc. of the Second Intern. Conf. "Principles of Knowledge Representation and Reasoning"*. J. A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell — eds. Morgan Kaufmann, 1991, pp. 601–602.
9. Naikhanova L. V. *Tekhnologiia sozdaniia metodov avtomaticheskogo postroeniia ontologii s primeneniem geneticheskogo i avtomatnogo programirovaniia* [Technology for Creating Methods of Automatic Construction of Ontologies Using Genetic Programming and Automata]. Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 2008. 244 p. (In Russian).
10. Beniaminov E. M. *Algebraicheskie metody v teorii baz dannykh i predstavlenii znanii* [Algebraic Methods in the Theory of Databases and Knowledge Representation]. Moscow, Nauchnyi Mir Publ., 2003. 184 p. (In Russian).
11. Gavrilova T. A., Khoroshevskii V. F. *Bazy znanii intellektual'nykh sistem* [Knowledge Databases in Intelligent Systems]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2000. 384 p. (In Russian).
12. Kleshchev A. S., Shalfeeva E. A. Classification Properties of Ontologies. Ontology and their Classification. *Nauchno-tehnicheskaia informatsiia*. Ser. 2. 2005, no. 9, pp. 16–22 (In Russian).
13. Alferova Z. V. *Teoriia algoritmov* [Theory of Algorithms]. Moscow, Statistika Publ., 1973. 165 p. (In Russian).
14. Akho A., Ul'man Dzh. *Teoriia sintaksicheskogo analiza, perevoda i kompiliatsii. T. 1: Sintaksicheskii analiz* [The Theory of Parsing, Translation and Compilation. Vol. 1. Parsing]. Moscow, Mir Publ., 1978. 612 p. (In Russian).