

На правах рукописи

Тесля Николай Николаевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ПОСТРОЕНИЯ
СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ИНФОМОБИЛЬНОСТИ**

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и
компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО).

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Смирнов Александр Викторович

Официальные оппоненты: **Хомоненко Анатолий Дмитриевич**
Доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
Заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы»

Попов Сергей Геннадьевич
Кандидат технических наук
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»,
доцент кафедры «Телематика»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет»

Защита состоится «8» декабря 2015 г. в «15» часов «30» минут на заседании диссертационного совета Д 002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 14 линия, д. 39, ауд.401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 14 линия, д. 39 и на сайте <http://www.spiiras.nw.ru/dissosvet/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.199.01

кандидат технических наук

Фаткиева Роза Равильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В процессе урбанизации многие города столкнулись с проблемой обеспечения удобного и быстрого перемещения населения. Научным сообществом было предложено множество решений данной проблемы, среди которых особое место занимает разработка информационных транспортных сервисов (ИТС): от простых навигационных сервисов до автоматизированных систем управления дорожным движением.

К ИТС также относятся системы обеспечения «инфомобильности» (далее — СОИМ), предоставляющие пользователям доступ с помощью мобильных устройств к мультимодальной динамической персонализированной информации и транспортным сервисам с учетом контекста с целью повышения их мобильности и удобства перемещения. Под контекстом здесь и далее понимается любая информация, которая может быть использована для описания ситуации, в которой находится в определенный момент некоторый объект (человек, транспортное средство или сервис).

СОИМ осуществляют информационную поддержку пользователя как при планировании поездки, так и во время нее, для чего используется широкий набор сервисов, начиная с поиска транспортных средств для совершения поездки и объектов интереса на пути пользователя, заканчивая уведомлениями в реальном времени о событиях на дороге.

Существующие СОИМ (*VEMA* (Чехия), *Verkehr, aim4it* (Германия) и другие) предлагают ограниченный набор ИТС и, как правило, создаются для конкретного региона, что затрудняет их расширение. Некоторые компании (например, *Deutsche Bahn*), предоставляют ИТС, сохраняя монопольное право на использование информации, что позволяет предоставлять к ней эксклюзивный доступ и возможность монетизации, однако затрудняет использование ИТС в СОИМ. Таким образом, разработка открытой СОИМ, позволяющей повысить мобильность населения за счет использования открытых данных о транспорте, открытых информационных транспортных и геоинформационных сервисов, является актуальной и востребованной задачей.

Целью диссертационной работы является разработка методов и моделей построения сервис-ориентированной СОИМ, позволяющей повысить качество обслуживания пользователей за счет использования открытых данных и сервисов как при планировании поездки, так и во время нее. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие основные задачи:

1. Анализ имеющихся исследований по обеспечению инфомобильности, определение характеристик СОИМ, формулировка требований к ним и принципов их построения.

2. Разработка подхода к построению СОИМ, учитывающего сформулированные требования и включающего в себя сценарную, концептуальную и онтологическую модели системы.

3. Обеспечение семантической интероперабельности сервисов, входящих в состав разрабатываемой СОИМ, и модификации их поведения в зависимости от изменений в системе.

4. Разработка метода планирования мультимодальных маршрутов, предоставляющего возможность планирования мультимодальных поездок на уровнях от локального до международного, с использованием общественного транспорта (далее — ОТ), и возможность планирования совместных поездок с использованием личного транспорта.

5. Апробации предложенных решений путем создания прототипа СОИМ.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе используются методы теории множеств, управления онтологиями, управления контекстом, системного анализа, защиты конфиденциальных данных, геопоиска и формирования рекомендаций.

Положения, выносимые на защиту:

1. Контекстно-управляемый подход к построению системы обеспечения инфомобильности с использованием открытых данных о транспортной инфраструктуре, открытых информационных транспортных и геоинформационных сервисов.

2. Сценарная, концептуальная и онтологическая модели сервис-ориентированной системы обеспечения инфомобильности.

3. Модификация метода автоматического сопоставления онтологий за счет использования технологии краудсорсинга.

4. Метод планирования мультимодальных маршрутов с учетом расписания движения общественного транспорта и возможностью планирования совместных поездок с использованием личного автотранспорта.

5. Комплекс программных средств, реализующий предложенный подход, модели и методы для обеспечения инфомобильности.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработан контекстно-управляемый подход к построению сервис-ориентированной СОИМ, отличающийся использованием независимых друг от друга сервисов, взаимодействующих между собой для выработки общего решения на основе открытых данных о транспортной инфраструктуре, открытых информационных транспортных и геоинформационных сервисов.

2. Предложены сценарная, концептуальная и онтологическая модели сервис-ориентированной СОИМ, на основе которых была разработана архитектура СОИМ, отличающиеся использованием модели «классная доска» для обеспечения асинхронного взаимодействия независимых сервисов, представлением знаний с помощью онтологии для организации взаимодействия сервисов и поддержкой сервисами способности к самоконтекстуализации для адаптации к изменениям в системе.

3. Предложена модификация метода сопоставления онтологий¹, отличающаяся использованием технологии краудсорсинга для автоматизированного сопоставления онтологий с целью обеспечения семантической интероперабельности сервисов системы.

4. Разработан метод планирования мультимодальных маршрутов, отличающийся использованием мультиграфа с динамически задаваемыми весами для учета расписания движения общественного транспорта и возможностью планирования совместных поездок с использованием личного автотранспорта.

5. Создан комплекс программных средств для обеспечения инфомобильности в сфере туризма, отличающийся использованием сервисов, способных к самоконтекстуализации (планирования маршрутов, поиска объектов на карте и информации о них, выработки рекомендаций), а также сервисов для обеспечения конфиденциальности информации пользователей и сопоставления онтологий.

Обоснованность и достоверность научных положений, основных выводов и результатов диссертационной работы обеспечивается анализом состояния исследований в проблемной области, согласованностью теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки моделей на наборе сценариев, разработанных в ходе выполнения работы, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на международных научных конференциях.

Практическая ценность работы. Предложенные методы и модели построения сервис-ориентированных СОИМ могут быть использованы для разработки систем данного класса, внедрение которых на уровнях от локального до международного позволит обеспечить пользователей программным средством, повышающим качество обслуживания при планировании поездок и предоставляющим информационную поддержку в ходе поездки за счет использования открытых данных и сервисов.

Реализация результатов работы. Исследования, отраженные в диссертации, проведены в рамках НИР: грантов РФФИ № 13-07-12095 «Методы и модели поддержки социально-ориентированных решений участников транспортного процесса» (2013-2015 гг.), 13-07-00336 «Контекстно-ориентированное управление знаниями для поддержки принятия решений участниками интеллектуального пространства» (2013-2015 гг.), 13-01-00286 «Разработка онтологических моделей и механизмов контекстно-зависимого доступа к ресурсам интеллектуального пространства» (2013-2015 гг.); гранта КА322 «Разработка трансграничной туристической информационной инфраструктуры (Smart e-Tourism)» (2012-2014 гг.) программы ENPI в республике Карелия, финансируемого совместно Европейским союзом, Российской Федерацией и республикой Финляндия. Работа также выполнена

¹ A. Smirnov, et al. On-the-Fly Ontology Matching in Smart Spaces: A Multi-Model Approach. LNCS. — Springer, 2010. — Vol. 6294. — Pp.72-83.

при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01). Результаты, полученные в ходе исследования, применяются в сервисе рекомендации достопримечательностей в республике Карелия, в системе управления группой роботов ЦНИИ РТК, а также в учебном процессе по курсу «Интеллектуальные системы и технологии» кафедры информационных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики и в учебном процессе по курсу «Сервис-ориентированные системы» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационного исследования представлялись на международных конференциях ассоциации открытых инноваций FRUCT: FRUCT 11 (Санкт-Петербург, 2012), FRUCT 13 (Петрозаводск, 2013), FRUCT 14 (Хельсинки, 2013), FRUCT 15 (Санкт-Петербург, 2014), FRUCT 16 (Оулу, 2014; *лучший демо-стенд*), международных конференциях по интеллектуальным пространствам “ruSMART/NEW2AN” (Санкт-Петербург, 2012, 2014), международном семинаре “Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS)” (Санкт-Петербург, 2013), международной конференции “Cyber Conflict (CyCon)” (Таллин, 2013), международной конференции “Enterprise Information Systems (ICEIS)” (Анже Луар, 2013), международной конференции “Joint conference on Software Technologies (ICSofT)” (Рейкьявик, 2013), международной конференции “Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW)” (Казань, 2014; *лучшая статья конференции*). По разработанным сервисам были получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ «Система обеспечения безопасности личных данных в интеллектуальных пространствах» № 2015619362 от 01.09.2015 и «Сервис рекомендации достопримечательностей для системы обеспечения инфомобильности» № 2015619363 от 01.09.2015.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 28 печатных работ, включая 3 работы в журналах из списка ВАК («Труды СПИИРАН» и Journal of Intelligent Systems) и 11 работ в международных изданиях, индексирующихся в реферативных базах Web of Science и Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 186 машинописных страниц, содержит введение, четыре главы и заключение, список литературы (180 наименований), 7 таблиц, 50 рисунков, одно приложение с копиями актов внедрения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование важности и актуальности работы, формулируются основные цели работы, решаемые задачи, определяется научная новизна и указывается практическая ценность результатов работы.

В первой главе раскрывается сущность понятий, характерных для проблемной области, таких как: инфомобильность, открытые ИТС и открытые ГИС. Глава содержит обзор существующих исследований в области СОИМ, на

основе которого формулируются требования к системам подобного класса и задачи, которые необходимо решить для их удовлетворения. Также приводятся примеры существующих ИТС и сервисов, предоставляющих информацию в зависимости от местоположения, которые могут быть использованы в разрабатываемой СОИМ.

Анализ существующих исследований позволил обобщить подходы и сформулировать основные требования к построению СОИМ: система должна быть ориентирована на использование открытых данных, ГИС и ИТС; в системе должно поддерживаться планирование мультимодальных маршрутов; информация должна предоставляться пользователям с учетом их предпочтений; поддержка пользователя и предоставление ему информации должны обеспечиваться в режиме реального времени с учетом текущего контекста.

Проведенный анализ также позволил выделить три категории информационных ресурсов в СОИМ (рисунок 1). Первой категорией являются ресурсы физической среды, параметры которой определяются и передаются в систему с помощью физических устройств (мобильные устройства, транспорт, сенсорные сети и другие). Второй – ресурсы информационной среды, в которой представлена информация, полученная после обработки ресурсов других сред. Третья категория – ресурсы социальной среды, предоставляющие информацию о взаимоотношениях между людьми и информацию, полученную от людей и их взаимодействия (оценки, отзывы, экспертная информация).

Функциональность открытых ИТС частично удовлетворяет требованиям, связанным с планированием маршрутов и информационной поддержкой в ходе следования по маршруту. Для предоставления информации о местоположении также существуют соответствующие открытые сервисы. Удовлетворение других требований достигается путем разработки соответствующих сервисов, использующих открытые данные, и организации их совместной работы. Для оценки повышения качества обслуживания пользователей рассматривается снижение временных затрат на обработку информации и независимость времени обработки от используемых устройств.

Во второй главе формулируются основные принципы построения сервис-ориентированной СОИМ, предлагается контекстно-управляемый подход к



Рисунок 1 — Информационные ресурсы в СОИМ

построению систем данного класса, а также их сценарная, концептуальная и онтологическая модели.

В основе предложенного подхода к построению СОИМ лежат следующие принципы: *открытость* основных источников информации и конечной системы; *распределенность архитектуры*, обеспечивающая возможность простого добавления и замены сервисов и упрощающая масштабирование системы; *ориентированность на пользователя*, предполагающая предоставление персонализированной информации, поддержку в проактивном режиме и выработку рекомендаций на основе оценок других пользователей; *использование онтологии* для представления знаний в системе, обеспечивающее семантическую интероперабельность сервисов при обмене информацией; *использование контекстной информации* для персонализации, рекомендаций, проактивной поддержки и адаптации сервисов к изменениям контекста — самоконтекстуализации; *мультимодальность маршрутов*, обеспечивающая планирование маршрута с использованием нескольких видов транспорта в одном маршруте с учетом их расписания движения, что обеспечивает более эффективное использование имеющейся транспортной инфраструктуры; обеспечение *конфиденциальности информации* пользователей.

Предложенный контекстно-управляемый подход к построению сервис-ориентированной СОИМ заключается в предоставлении и обработке информации из открытых ресурсов соответствующими сервисами, функционирующими в пространстве взаимодействия (рисунок 2) и учитывающими контекст при выработке решения.

Для обеспечения семантической интероперабельности и учета контекста проблемная область каждого сервиса представлена с помощью онтологии, в которой выделяется абстрактный контекст (АК), определяющий структуру описания контекста текущей ситуации. При наполнении АК информацией от

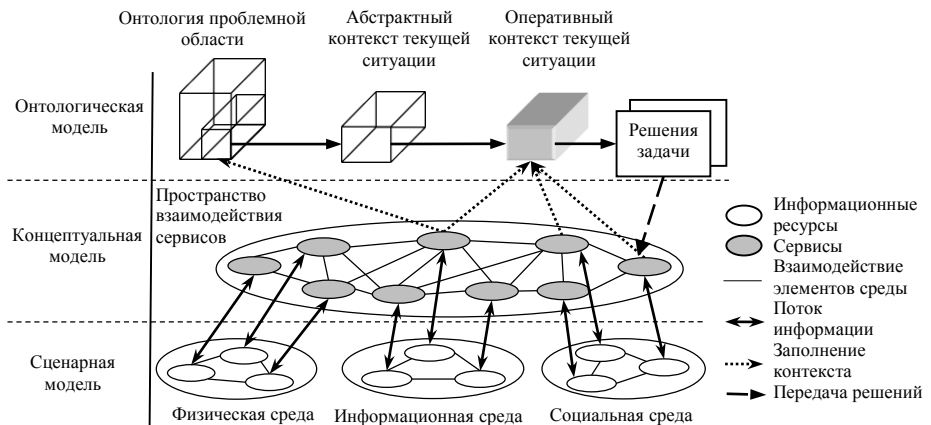


Рисунок 2 — Контекстно управляемый подход к построению СОИМ

ресурсов формируется оперативный контекст (ОК), отражающий конкретные знания о текущей ситуации и используемый для выработки решений задачи, стоящей перед СОИМ. Взаимодействие сервисов также предполагает их самоконтекстуализацию при изменении текущей ситуации.

В ходе электронного опроса, проведенного в международном интернет-сообществе, были определены потребности пользователей, на основе которых были сформированы типовые сценарии использования СОИМ, объединенные в обобщенную сценарную модель (рисунок 3), включающую в себя три основных сценария:

1. *Планирование маршрута.* Система производит планирование маршрута в реальном времени, при необходимости совмещая несколько видов транспорта в ходе следования по маршруту с учетом расписания движения ОТ и обеспечивая возможность планирования совместных поездок с использованием личного автотранспорта.

2. *Поиск объектов.* Система обеспечивает информационную поддержку пользователя при поиске объектов на карте. Пользователю предоставляется информация об объекте, маршрут до него, рекомендации ближайших объектов того же типа, что и найденный, ранжированные на основе отзывов других пользователей с учетом текущей ситуации.

3. *Визуализация контекста.* На устройстве пользователя отображается информация о текущей ситуации вокруг него: погода, расположение транспортных средств на маршрутах ОТ, заторы и другие дорожные события.

Для реализации сценариев была предложена концептуальная модель СОИМ (рисунок 4), использующая архитектуру «классная доска» для организации асинхронного взаимодействия независимых сервисов. Источниками информации в модели являются сервисы, взаимодействующие с устройствами пользователя (смартфон, автомобиль и т. д.) и источниками открытых данных. Эти же сервисы могут обрабатывать информацию, размещенную на «классной доске» и возвращать на нее результаты обработки. Взаимодействие с устройствами пользователя осуществляется через сервис, позволяющий контролировать уровень доступа к предоставляемой информации.

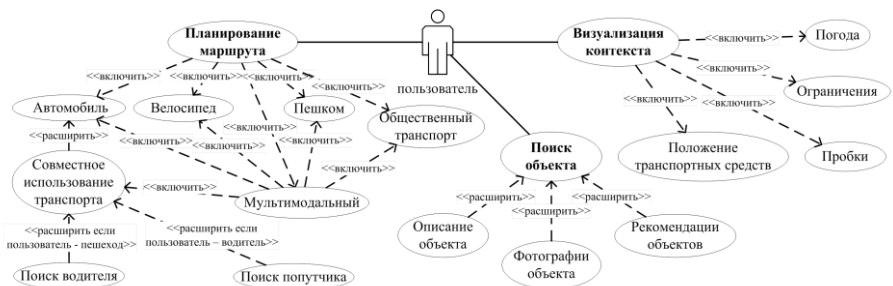


Рисунок 3 — UML-диаграмма основных сценариев использования СОИМ

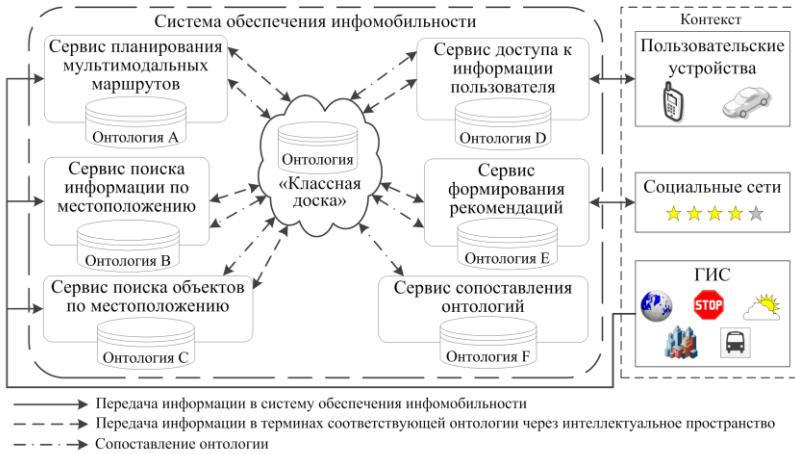


Рисунок 4 — Концептуальная модель СОИМ

Представление знаний проблемной области сервисов в СОИМ обеспечивается с помощью онтологии. Онтологическая модель АК формализована с учетом категорий информационных ресурсов. Онтология сервиса описывается в виде $A = (O, Q, D, R)$, где O — множество классов объектов, используемых для описания контекста; $Q = \{P, V, S\}$ — множество атрибутов классов, в которых выделяются три подмножества атрибутов, описывающих: параметры физической среды $P = \{p_1, \dots, p_n\}$; результаты обработки информации и другие информационные составляющие $V = \{v_1, \dots, v_m\}$; социальные характеристики пользователя $S = \{s_1, \dots, s_l\}$, $n, m, l \in \mathbb{N}$; D — множество доменов — областей допустимых значений атрибутов, R — множество ограничений (отношений). Онтологическая модель АК текущей ситуации, представляется в виде:

$$\text{Context}(C, t) = \langle A, WS, T, \Delta T \rangle, \quad (1)$$

где C — текущая ситуация; WS — множество сервисов, присваивающих значения атрибутам Q ; T — время адекватности модели; $\Delta T = t - t_0$ — длительность существования контекста (от момента его создания t_0 до текущего времени t).

Сервисы СОИМ характеризуются способностью к самоконтекстуализации — изменению поведения, абстрактного и оперативного контекстов в зависимости от текущей ситуации. Под поведением сервиса понимается его способность выполнять определенные действия как внутри себя, так и в своем окружении. Самоконтекстуализация осуществляется следующим образом (рисунок 5): 1) сервис i совершает действие в окружении и 2) отражает соответствующие изменения в ОК, структура которого задана АК данного сервиса; 3) через сопоставление онтологий выявляются общие классы контекстов сервисов i и j ; 4) изменение ОК сервиса j вызывает корректировку его поведения и/или 5) структуры его АК согласно текущей ситуации.

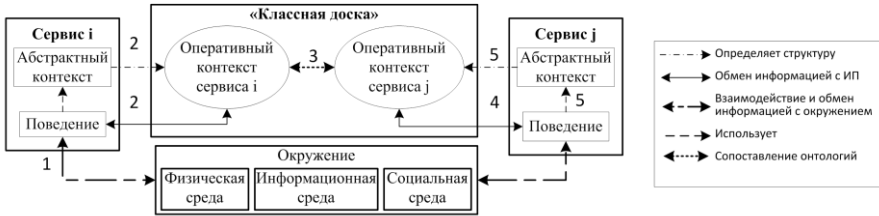


Рисунок 5 — Самоконтекстуализация сервисов

В третьей главе рассматривается архитектура СОИМ и алгоритмы сервисов, разработанных для поддержки основных сценариев работы системы.

Архитектура СОИМ (рисунок 6) основана на объединении сервисов с помощью технологии интеллектуальных пространств (ИП), реализующей модель «классная доска». ИП реализовано с помощью открытой технологической платформы *Smart-M3*, разработанной по инициативе компании *Nokia* в сотрудничестве с совместным предприятием *ARTEMIS JU* в рамках проекта *SOFIA* по индустриальной реализации технологии ИП. Платформа базируется на идеях повсеместных вычислений, совмещенных с технологиями семантического веб и представлении знаний проблемной области в виде онтологии, полностью соответствующая заявленному подходу к построению СОИМ. Приложения, установленные на устройствах пользователя, используют датчики устройств для отслеживания текущего контекста, который размещается в ИП в виде RDF-онтологии с использованием протокола *SSAP*.

Для сопоставления онтологий разных сервисов используется модификация разработанного ранее метода сопоставления онтологий, определяющего соответствие понятий различных онтологий за счет их сопоставления на трех уровнях: синтаксическом, семантическом и контекстном. Данный метод был



Рисунок 6 — Сервис-ориентированная архитектура СОИМ

выбран в связи с его высокой эффективностью при работе с онтологиями. Выделение подмножеств в множестве атрибутов онтологии ускоряет сопоставление за счет сравнения в первую очередь атрибутов из подмножеств одного типа.

В предложенной модификации при невозможности автоматического сопоставления онтологии система использует технологию краудсорсинга, формируя задачу по сопоставлению онтологий для решения ее участниками интернет-сообщества (рисунок 7). Теоретический анализ результатов работы выбранного метода сопоставления онтологий показал, что класс o_i онтологии 1 невозможно сопоставить с классами онтологии 2, если:

$$\forall j (w_{ij} < Tr), \quad (2)$$

где i – индекс класса онтологии 1, j индекс классов онтологии 2, w_{ij} – коэффициент сходства классов, полученный в результате работы метода автоматического сопоставления онтологий, $Tr \in [0,1]$ – пороговое значение коэффициента сходства, при котором классы считаются похожими. Значение Tr задается сервисом, запрашивающим сопоставление для своей онтологии.

В случае выполнения условия (2) в краудсорсинговой платформе *Amazon Mechanical Turk* формируется задача, которая включает классы объектов o_i и o_j , для которых коэффициенты сходства w_{ij} оказались меньше требуемого порога, их атрибуты и сами коэффициенты. Значение коэффициентов w_{ij}^* вычисляется как среднее от коэффициентов схожести, полученных от независимых исполнителей из числа пользователей платформы. До получения новых значений коэффициентов w_{ij}^* функциональность сервиса исключается из числа доступных в сложившемся контексте.

Метод сопоставления онтологий с использованием технологии краудсорсинга реализован в соответствующем сервисе СОИМ (рисунок 6). Сервисы системы могут разместить свои онтологии в интеллектуальном пространстве, указав порог Tr и получить модели сопоставления с онтологиями других сервисов. Полученные модели сохраняются в сервисе, запрашивающем сопоставление, и используются для получения знаний из «классной доски».

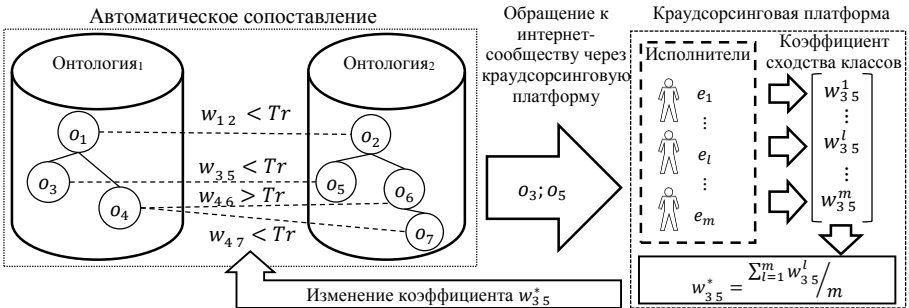


Рисунок 7 — Метод автоматизированного сопоставления онтологий с использованием технологии краудсорсинга

Сервис планирования маршрутов взаимодействует с ГИС по протоколу *REST* для построения маршрута по определенному виду транспорта, обеспечивая возможность планирования мультимодальных маршрутов. Для этого сеть маршрутов ОТ представляется в виде мультиграфа, вершины которого соответствуют остановкам ОТ, а ребра — маршрутам, соединяющим остановки. Для осуществления пересадок вершины дополнительно соединяются ребрами, отражающими пешеходные маршруты. Веса ребер задают время движения между остановками и являются динамическими, что позволяет отобразить текущее состояние сети ОТ. Для поиска маршрута в мультиграфе с динамическими весами была предложена модификация алгоритма Дейкстры: выбор вершин на каждом шаге осуществляется с учетом типа транспортного средства, номера маршрута и его расписания движения (листинг 1).

Параметры:

$Routes \leftarrow Graph(V, E, l)$ - мультиграф маршрутов ОТ;
 $rt(Num, Type, Cost) \in RT$ - маршрут ОТ. Включает в себя номер маршрута, тип транспорта, стоимость поездки;
 $u(RT^* \subseteq RT, T(RT^*)), v(RT^* \subseteq RT, T(RT^*)) \in V$ - вершины графа = остановки, включают маршруты и их расписания;
 $T(rt, v)$ - время прибытия маршрута rt на остановку v согласно расписанию;
 $e(u, v, rt) \in E$ - ребро графа, задающее маршрут rt между вершинами u и v
 $time(e), cost(e)$ - веса ребра $e(u, v, rt)$ задающие время и стоимость пути соответственно

Begin

```

1. while u != end do //пока не достигнута конечная точка
2.   u = minT(rt)(u) //выбор вершины по минимальному времени
3.   for each neighbor v of u do // u, v - перебор соседних вершин к u
4.     for each e(u, v, rt) do // проверяются все маршруты между u, v
5.       if rt != u.rt do // маршрут не совпадает с минимальным в u
6.         alt_time ← u.time + time(e) + (T(u.rt, u) - T(rt, u))
7.         alt_cost ← u.cost + cost(e) //стоимость поездки
8.       else do // используется тот же маршрут
9.         alt_time = u.time + time(e)
10.        alt_cost ← u.cost
11.        if alt_time < v.time do // найденный путь быстрее
12.          v.time ← alt_time
13.          v.prev_time_stop ← u
14.          v.cost = alt_cost
15.          v.rt = rt

```

End

Листинг 1 — Алгоритм Дейкстры для планирования мультимодального маршрута

Модификация позволяет найти самый быстрый путь (с учетом времени пересадки), дополнительно рассчитав его стоимость (затраченные денежные средства). Вычислительная сложность модифицированного алгоритма составляет $O(|V| \log |V| \cdot |RT|)$. По вершинам построенного пути $prev_time[v]$ определяются типы используемых транспортных средств, номера маршрутов и точки их пересечения. В области точек пересечения маршрутов производится поиск остановок, между которыми осуществляется пересадка.

Мультимодальный маршрут может включать в себя совместное использование личного транспорта. Для этого из списка пользователей СОИМ выбираются водители, по маршрутам которых производится поиск попутчиков. Из полученных пар водитель-пассажир выбираются пары, удовлетворяющие критериям пользователей, таким как максимально допустимое время ожидания в точках встречи, допустимое отклонение от кратчайшего пути, максимально допустимый путь до точек встречи (листинг 2).

Как видно из листинга 2, задача поиска совпадающих путей имеет достаточно большую размерность, обусловленную пересчетом маршрутов через все комбинации потенциальных точек встречи и высадки — точек, удовлетворяющих ограничениям пользователей по максимальному расстоянию от точки начала движения до точек встречи и от точек высадки до точки окончания движения. Вычислительная сложность задачи составляет $O(|MP[s]| \cdot |MP[e]| \cdot |V| \log |V|)$.

Параметры:

DR – список водителей; PS – список пассажиров;
 dr[s], dr[e] – начальная и конечная точки пути водителя;
 ps[s], ps[e] – начальная и конечная точки пути пассажира;
 MP[s], MP[e] – потенциальные точки встречи и высадки;

Begin

```

1. For each dr ∈ DR do
2.   dr[path] = dijkstra_shortest_path(dr[s], dr[e]) // путь водителя
3.   For each ps ∈ PS do
4.     MP[s]=find_meeting_points(dr[path], ps[s])// потенциальные точки встречи
5.     MP[e]=find_meeting_points(dr[path], ps[e])// потенциальные точки высадки
6.     For each start_MP ∈ MP[s] do
7.       For each end_MP ∈ MP[e] do
8.         Common_path=common_shortest_paths(dr[path],ps[s],ps[e],start_MP,end_MP)
9.         If check_preferences(dr, common_path) and
10.            check_preferences(ps, common_path) then // проверка условий
11.           dr[fellow] = ps // назначение попутчика водителю
12.           ps[fellow] = dr // назначение попутчика пассажиру

```

End

Листинг 2 — Алгоритм поиска попутчиков при совместном использовании автотранспорта

Уменьшение времени поиска попутчиков было достигнуто за счет применения эвристик, исключающих из рассмотрения пассажиров и водителей, заведомо не удовлетворяющих заданным ограничениям, что сокращает количество потенциальных точек встречи и высадки. Их эффективность зависит от плотности размещения пользователей и от ограничений, заданных водителями и пассажирами: чем меньше плотность и строже ограничения, тем больше потенциальных точек встречи и высадки будет исключено.

Сервис рекомендаций СОИМ использует контекстно-зависимую модификацию подхода коллаборативной фильтрации. Для учета контекста при формировании рекомендаций используется механизм предварительной

контекстной фильтрации и метод обобщения контекста², суть которого заключается в сохранении значений атрибутов классов контекста вместе с отзывом пользователя. При последующем формировании рекомендации, в первую очередь, рассматриваются отзывы, контекст которых совпадает с текущим контекстом пользователя.

Для обеспечения доступа к конфиденциальной информации был разработан сервис, предоставляющий авторизацию доступа на основе контекста сервиса в ИП. Контекст используется для определения роли участника, задающей набор прав доступа к определенным классам информации. Разделение на роли позволяет упростить политики предоставления прав доступа и сделать их понятными для пользователей, самостоятельно устанавливающих степень доступности своей информации. В политиках выделены три типа правил:

1. Правила отображения атрибута класса объекта контекста в уровень доверия $f_{trust_i}(o_i, q_i)$. Для каждого класса o_i определена функция (3):

$$f_{trust_i}(o_i, q_i) \rightarrow [0,1] \quad (3)$$

Значения уровней доверия, соответствующие определенному значению атрибута класса объекта, определяются экспертной оценкой, проведенной на основе анализа проблемной области, для которой реализуются правила.

2. Правила определения роли в системе $f_{rl}(Context(t))$. Роль участника определяется множеством классов контекста $o_{rl} \in O$ с допустимыми значениями атрибутов q_{rl_i} : (a_{rl_i}, b_{rl_i}) , $0 < a_{rl_i} < b_{rl_i} < 1$. Имеют вид логической функции (4):

$$f_{rl}(Context(t)) = \bigwedge_{i=0}^n (f_{trust_i}(o_{rl_i}, q_{rl_i}) \in (a_{rl_i}, b_{rl_i})) \quad (4)$$

3. Правила, определяющие права доступа к ресурсу res , закрепленные за ролью rl , $f_{access}(rl, res)$ (5).

$$f_{access}(rl, res) \rightarrow \{false, true\} \quad (5)$$

Четвертая глава описывает программную реализацию СОИМ на основе методов и моделей, представленных в предыдущих главах.

Предложенные в предыдущих главах методы и модели были реализованы в сервисах на языках программирования *Java* и *Python*. Приложение, устанавливаемое на устройства пользователя, было реализовано для операционной системы *Android* с использованием языков *Java* и *JavaScript*.

Планирование маршрутов осуществляется по данным краудсорсингового картографического проекта *OpenStreetMap* с помощью библиотеки *pgRouting*, поддерживающей алгоритм Дейкстры для поиска кратчайшего пути. Для построения мультимодального пути, учитывающего расписание маршрутов ОТ, импортированных из свободно распространяемых данных о маршрутах в формате *GTFS (General Transit Feed Specification)*, алгоритм Дейкстры был модифицирован согласно листингу 1. Для планирования междугородних

² Adomavicius G., et al. Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach // ACM Trans. Inf. Syst. — 2005. — Vol. 23, no. 1. — Pp. 103-145.

маршрутов используется сервис *Яндекс.Расписания*, предоставляющий поиск маршрутов ОТ между населенными пунктами с учетом расписания движения и стоимости поездки.

В проверке метода автоматизированного сопоставления онтологий участвовало 39 исполнителей, которым потребовалось суммарно 20 часов на решение 1040 заданий (208 комбинаций классов онтологий по 5 исполнителей на каждую комбинацию). При проверке результатов решения были обнаружены классы, для которых использование технологии краудсорсинга позволило повысить значение коэффициента сходства до требуемого порога, при котором классы считаются совпадающими.

Для сервиса обеспечения конфиденциальности информации пользователей были введены следующие роли: *service_role*, *friend_role*, *non_friend_role*. Роль *service_role* присваивается только сервисам, удовлетворяющим параметрам контекста, заданным пользователями. Роль *friend_role* позволяет предоставить доступ к конфиденциальным данным другим пользователям, состоящим в дружеских отношениях с пользователем. Роль *non_friend_role* присваивается всем участникам ИП, не попадающим в параметры контекста, требуемые для присвоения какой-либо роли. Использование сервиса обеспечения конфиденциальности незначительно повысило время доступа к информации пользователя (со 100 мс до 130 мс).

Производительность разработанных сервисов была протестирована на компьютере с ЦП *Intel Core i7*, с тактовой частотой *3.5 ГГц*, ОЗУ — *DDR3 8 Гб*. Для проведения тестов на карте Санкт-Петербурга выбирались фиксированные точки, для которых запуск сервисов повторялся 100 раз на постепенно увеличивающейся области (от области, ограниченной Васильевским островом, до границы Санкт-Петербурга). На рисунке 8 представлены результаты тестов для сервиса построения маршрутов.

На рисунке 9 представлены примеры интерфейса пользователя, отображающие основные сценарии работы системы. Рисунок 9(а) представляет

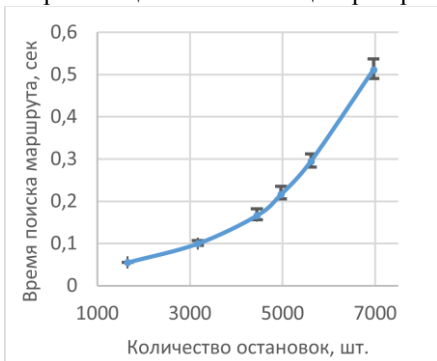


Рисунок 8 — Зависимость времени поиска мультимодального маршрута от количества остановок

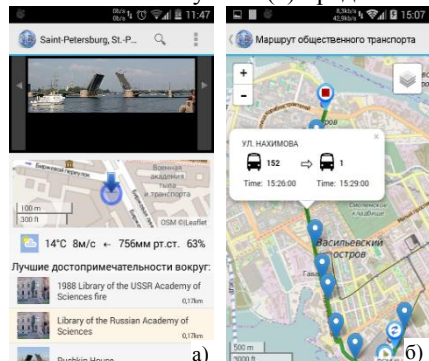


Рисунок 9 — Примеры интерфейса пользователя для СОИМ

сценарий визуализации контекста для поддержки туриста. Рисунок 9(б) представляет пример мультимодального маршрута с указанием остановок, пересадок, номеров маршрутов и типов используемых транспортных средств, а также предполагаемое время пересадки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации предложено решение актуальной научно-технической задачи по разработке методов и моделей построения сервис-ориентированной СОИМ, позволяющей улучшить качество обслуживания пользователей как при планировании поездки, так и во время нее. В процессе решения данной задачи были получены следующие результаты:

1. Разработан контекстно-управляемый подход к построению сервис-ориентированной СОИМ, позволяющий использовать независимые друг от друга сервисы, взаимодействующие между собой для выработки общего решения на основе открытых данных о транспортной инфраструктуре, открытых информационных транспортных и геоинформационных сервисов.

2. Разработаны концептуальная, онтологическая и сценарная модели сервис-ориентированной СОИМ, на основе которых была разработана архитектура СОИМ, позволяющая использовать модель «классная доска» для обеспечения асинхронного взаимодействия независимых сервисов, представлять знания с помощью онтологии для организации взаимодействия сервисов и обеспечить поддержку сервисами свойства самоконтекстуализации для адаптации к изменениям в системе.

3. Предложена модификация метода сопоставления онтологий, позволяющая использовать технологию краудсорсинга, привлекая интернет-сообщество для автоматизированного сопоставления онтологий сервисов в случае невозможности автоматического сопоставления.

4. Разработан метод планирования мультимодальных маршрутов, использующий мультиграф с динамически задаваемыми весами для учета расписания движения ОТ и позволяющий планировать совместные поездки с использованием личного автотранспорта.

5. Создан комплекс программных средств для обеспечения инфомобильности в сфере туризма, использующий сервисы, способные к самоконтекстуализации (планирования маршрутов, поиска объектов и информации о них, выработки рекомендаций), а также сервисы для обеспечения конфиденциальности информации пользователей и сопоставления онтологий.

Полученные результаты соответствуют п. 3 «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем» и п. 8 «Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования» паспорта специальности 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК и изданиях, приравненных к ним:

1. Кашевник, А.М. Архитектура логистической системы поиска попутчиков для водителей / А.М. Кашевник, **Н.Н. Тесля** // Труды СПИИРАН. — СПб., 2011. — № 2(17). — С. 114-150. **(ВАК)**.
2. Smirnov, A. Smart Logistic Service for Dynamic Ridesharing / A. Smirnov, N. Shilov, A. Kashevnik, **N. Teslya** // Lecture Notes in Computer Science. NEW2AN/ruSMART. — Springer, 2012. — vol. 7469 — Pp. 140-151. **(Scopus)**.
3. Smirnov, A. Context-based Access Control Model for Smart Space. / A. Smirnov, A. Kashevnik, N. Shilov, **N. Teslya** // 5th Intern. Conf. on Cyber Conflict. — CCD COE, 2013. — Pp. 47-62. **(Web of Science, Scopus)**.
4. Smirnov, A. Virtual Tourist Hub for Infomobility: Service-Oriented Architecture and Major Components / A. Smirnov, A. Kashevnik, **N. Teslya**, N. Shilov // Proc. of the 15th Intern. Conf on Enterprise Inform. Systems (ICEIS 2012), ESEO. — 2013. — Pp. 428-435. **(Web of Science, Scopus)**.
5. Smirnov, A. Smart Space-based Ridesharing Service in e-Tourism Application for Karelia Region Accessibility. Ontology-based Approach and Implementation / A. Smirnov, N. Shilov, A. Kashevnik, **N. Teslya**, S. Laizane // 8th Intern. Joint Conf. on Software Technologies. — 2013. — Pp. 591-598. **(Scopus)**.
6. **Teslya, N.** Ontology for Resource Self-Organisation in Cyber-Physical-Social Systems / N. Teslya, A. Smirnov, T. Levashova, N. Shilov // Communications in Computer and Information Science. — Springer, 2014. — Vol. 468. — Pp. 184-195. **(Scopus)**.
7. **Teslya, N.** Web Mapping Service for Mobile Tourist Guide / N. Teslya // Open Innovations Assoc. FRUCT, Proc. of 15th Conf. — 2014. — Pp. 135-143. **(Web of Science, Scopus)**.
8. Smirnov, A. Proactive Recommendation System for m-Tourism Application / A. Smirnov, A. Kashevnik, A. Ponomarev, N. Shilov, **N. Teslya** // Lecture Notes in Business Inform. Processing. — Springer, 2014. — Vol. 194. — Pp. 113-127. **(Web of Science, Scopus)**.
9. Smirnov, A. Smart Space-Based Intelligent Mobile Tourist Guide: Service-Based Implementation / A. Smirnov, A. Kashevnik, A. Ponomarev, N. Shilov, M. Shchekotov, **N. Teslya** // Open Innovations Assoc. FRUCT, Proc. of 15th Conf. — 2014. — Pp. 126-134. **(Web of Science, Scopus)**.
10. **Тесля, Н.Н.** Принципы построения интеллектуальных транспортных систем для обеспечения инфомобильности / Н.Н. Тесля // Труды СПИИРАН. — СПб., 2014. — № 6(37). — С. 21-36. **(ВАК)**.
11. Smirnov, A. Context-Aware Access Control Model for Privacy Support in Mobile-Based Assisted Living / A. Smirnov, A. Kashevnik, N. Shilov, **N. Teslya** // Journal of Intelligent Systems. — De Gruyter, 2015. — Vol. 24, issue 3. — Pp. 333-342. **(Scopus)**.