

В. А. ЗЕЛЕНЦОВ, И. Ю. ПИМАНОВ, С. А. ПОТРЯСАЕВ  
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук,  
Санкт-Петербург

## МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Рассматриваются и обосновываются методы и программные технологии, которые позволяют практически реализовать методологию комплексного моделирования природно-технических объектов. Показано, что программные комплексы рассматриваемого класса целесообразно строить на базе сервис-ориентированных архитектур. Стек используемых технологий должен также включать применение обмена сообщениями между программными компонентами систем моделирования, реализацию адаптеров и медиаторов сообщений, использование битемпоральных баз данных и реестра сервисов.*

**Введение.** С развитием систем мониторинга и проактивного управления сложными природно-техническими объектами (ПТО) как в нормальных условиях, так и при чрезвычайных ситуациях, актуальными становятся вопросы автоматизации функционирования моделирующих систем, осуществляющих прогноз изменения состояния ПТО и информационно-аналитическую поддержку принимаемых решений по управлению ими. Основу систем моделирования ПТО составляют распределенные программные комплексы (ПК), задачи создания которых отличаются целым рядом особенностей. В первую очередь, это необходимость использования для описания ПТО не одной, а семейства (комплекса) моделей, реализуемых соответствующими программными модулями (сервисами), каждый из которых предназначен для моделирования ПТО в конкретном диапазоне внешних условий. Применение данной методологии комплексного моделирования [1] позволяет существенно улучшить показатели качества прогнозов, но только при условии разработки технологий выбора моделирующих сервисов и их адаптации в процессе функционирования систем моделирования. Кроме того, возникают задачи получения, ввода и интегрированного использования в разрабатываемых распределенных системах комплексного моделирования (РСКМ) больших объемов разнородных данных об анализируемых объектах, интерпретации и предоставления в наглядной форме результатов моделирования, и т. д. В случае, если потребителями РСКМ являются специалисты-практики, принципиальным требованием является необходимость сквозной автоматизации всех этапов функционирования РСКМ с предоставлением результатов в простой и наглядной форме. Доклад посвящен обоснованию и выбору методов и технологий создания и организации взаимодействия компонентов ПК РСКМ, учитывающих перечисленные особенности.

**Архитектура ПК РСКМ.** Основными видами программных компонентов, согласованное взаимодействие которых необходимо обеспечить при функционировании РСКМ, являются расчетно-моделирующие модули и сервисы, а также разнородные информационные ресурсы, которые привлекаются для поставки исходных данных для выполнения расчетов и решения тематических задач (мониторинга, прогнозирования, проактивного управления). Организация взаимодействия программных компонентов включает вопросы выбора базовой архитектуры РСКМ, формирования состава модулей и сервисов для решения системой целевых задач, и интеграции разнородных информационных ресурсов, необходимых для моделирования.

Сетевое взаимодействие модулей программного обеспечения наиболее полно реализовано в сервис-ориентированной архитектуре (СОА). В СОА воплощен модульный подход к разработке программного обеспечения, использующий распределенные, слабо связанные заменяемые компоненты, которые оснащены стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам, что позволяет создавать сложные распределенные информационные системы [2]. Одно из главных достоинств СОА, определяющих перспективность ее использования при создании РСКМ, состоит в адаптивности и эластичности, которые основываются на слабой связанности существующих и создаваемых программных компонентов (веб-сервисов). При этом отдельные интерфейсы не зависят от используемых аппаратных платформ,

операционных систем или языков программирования, используемых для разработки распределенных моделирующих сервисов, что обеспечивает их более эффективное взаимодействие [3].

**Технологии сервис-ориентированного взаимодействия в ПК РСКМ.** Вопросами, которые требуют рассмотрения при организации сервис-ориентированного взаимодействия, являются, прежде всего, *технология обмена сообщениями между компонентами РСКМ, применение адаптеров и медиаторов сообщений, способы организации хранения данных, использование реестра сервисов.*

При выборе *технологии обмена сообщениями* между компонентами ПК и внешними необходимыми сервисами на первом месте стоит требование гарантированной доставки сообщения по технологии запрос-ответ. В РСКМ источниками данных для работы сервисов являются различные государственные и частные службы, информационные порталы, почтовые рассылки и т. д. Располагаемые на них данные и информация зачастую изначально не предназначены для автоматического извлечения. Решение этой проблемы заключается в использовании программных *адаптеров*. Адаптер действует как клиент для системы обмена сообщениями и вызывает функции приложений через интерфейс, предоставляемый приложением. Таким образом, любое приложение может подключиться к системе обмена сообщениями и интегрироваться с другими приложениями, если у него есть соответствующий адаптер. Использование программного адаптера может быть расширено до трансформации разнородных неструктурированных и слабо структурированных данных в семантические данные.

При наличии системы упорядоченных входных данных, преобразованных в вид унифицированных сообщений, появляется возможность использования технологии преобразования и маршрутизации этих сообщений посредством *медиаторов*. Одна из главных функций медиаторов – сопоставление несовместимых протоколов, форматов данных и шаблонов взаимодействия между различными ресурсами. Данные могут быть разделены, дублированы, агрегированы и дополнены, что позволяет взаимодействовать сервисам с различными возможностями. Технологическая основа преобразования – применение языков преобразования документов XQuery и XSLT, а для маршрутизации на основе содержимого используется фильтрация XPath.

Проблема *хранения данных* для РСКМ может быть эффективно решена путем применения битемпоральной базы данных, базирующейся на темпоральной модели данных (ТМД). Благодаря битемпоральности используемой ТМД сохраняется не только время актуальности конкретных данных, но и транзакционное время, т. е. момент их записи в хранилище [4]. Эта особенность упрощает поиск данных, согласованных по времени. Битемпоральная БД позволяет РСКМ функционировать в оперативном и сценарном режимах, а также выполнять моделирование «по прошлому».

*Реестр сервисов* обеспечивает возможность реализации механизма автоматического выбора того или иного моделирующего сервиса из множества альтернатив и назначение его в качестве исполнителя заданной расчётной процедуры. Реестр должен содержать по каждому сервису информацию, с помощью которой можно в автоматическом режиме получить сведения о точке доступа к сервису и параметрах его запуска. При этом никаких требований к глобальной унификации описания сервисов не предъявляется, публикация сервисов для внешнего доступа не планируется. Поэтому может быть использована любая программная реализация реестра, позволяющая дополнять техническое описание сервисов собственными параметрами.

**Методы и модели интеграции разнородных информационных ресурсов.** Для создания и функционирования РСКМ существенным является определение базовых подходов к интеграции данных для моделирующих сервисов, в том числе требуют обоснования: (1) метод интеграции данных; (2) уровень интеграции; (3) способ интеграции; (4) модель данных. При их выборе для РСКМ должны учитываться основные возникающие проблемы, определяемые спецификой решаемых системой задач, а именно: (1) проблемы разнородности источников данных с различными моделями данных; (2) проблемы автономности источников данных, которые в общем случае спроектированы под решение различных конкретных задач разными методами; (3) проблемы распределенности, т. к. интегрируемые информационные ресурсы могут быть доступны зачастую только через протоколы удаленного доступа, в том числе могут быть распределены в сети Интернет. Наличие таких особенностей определяет преимущества *федеративного подхода* [5] при выборе метода интеграции данных в РСКМ с применением концепции «интеграции корпоративных приложений» (Enterprise application integration, EAI).

Несомненным достоинством федеративного подхода является возможность обеспечения доступа к текущим данным, которые локализованы в месте их получения и обработки, и не требуется консолидации первичных данных в новом едином месте хранения. Данная концепция предполагает интеграцию данных *на физическом и логическом уровнях*, и возможно ее расширение для интеграции данных различной физической природы, поступающих из различных информационных ресурсов, *на семантическом уровне*. В качестве модели данных целесообразно использовать *объектную модель*, основанную на стандартах XML и JSON-LD, прежде всего, из-за удобства автоматического извлечения данных, высокой совместимости (кроссплатформенности) и наличия инструментов формализации описания типов данных.

**Заключение.** Рассмотренные методы и технологии организации взаимодействия программных компонентов РСКМ позволяют практически реализовать методологию комплексного моделирования сложных объектов путем создания механизмов автоматического выбора наиболее адекватных моделей этих объектов для каждого рассматриваемого момента времени и диапазона внешних условий, а также за счет интегрированного использования разнородных исходных данных при моделировании. При этом обеспечивается максимально полная автоматизация функционирования РСКМ и не требуется переноса моделирующих компонентов (сервисов) на единый аппаратный ресурс с их отчуждением от разработчиков, что подтверждается выполненными практическими реализациями РСКМ.

*Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ (№№20-08-01046), в рамках бюджетной темы FFZF-2022-0004*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Микони С.В., Соколов Б.В. Юсупов Р.М.** Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: РАН, 2018. 314 с.
2. **Зеленцов В.А., Потрясаев С.А.** Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. *Труды СПИИРАН*. 2017. Т.6. №55. С. 86–113.
3. **Дмитриев А.** Сервис-ориентированная архитектура в современных моделях бизнеса. М.: ДК, 2006. 221 с.
4. **Georgia Garani, George K. Adam, Dimitrios Ventzas.** Temporal data warehouse logical modelling. *International Journal of Data Mining, Modelling and Management*. 2016. Vol. 8. No. 2.
5. Интеграция данных и Хранилища. [Электронный ресурс]. CitCity: [сайт]. URL: <http://citcity.ru/12101/> (дата обращения: 10.04.2022).

V.A.Zelentsov, I.Yu.Pimanov, S.A.Potryasaev (St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg)

#### **Methods and technologies for interaction implementation of distributed systems software components for complex objects integrated modeling**

Methods and software technologies that implement the methodology of complex modeling for natural and technical objects are considered and substantiated. It is shown that software systems of the proposed class should be built on the basis of service-oriented architectures. The technology development stack should also include message exchange between software components, adapters, message mediators, bitemporal database using and a services registry.

Авторы готовы представить текст на английском языке для сборника материалов мультиконференции, который будет подан для индексирования в Scopus.