

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.415

Костевич  
Алексей Андреевич

Анализ проблем и особенностей проектирования архитектуры  
распределённых систем для областей со сложной предметной логикой

**АВТОРЕФЕРАТ**

На соискателя степени магистра технических наук  
По специальности 1 - 40 80 05 «Математическое и программное  
обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

Научный руководитель  
Смолякова О. Г.  
кандидат технических наук

Минск 2014

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проектирование архитектуры любой сложной системы всегда является результатом выбора и определения приоритетов и компромиссов. Появление и развитие сети web, а также увеличение естественной сложности, поставленных перед системой задач, требует переосмысление существующих подходов проектирования, выработке системы взглядов и принципов проектирования, создания так называемых архитектурных шаблонов проектирования распределённых систем для сложных предметных областей.

Существующие на сегодняшний день подход Domain-Driven Design, основанный на принципе проектирования по модели, позволяет спроектировать выразительную и информативную модель предметной области, управлять естественной сложностью предметной области в ее программной реализации.

Однако с использованием концепций проектирования по модели связан ряд концептуальных и технических проблем и противоречий, не позволяющих реализовать инфраструктурные уровни архитектуры без компромиссов на модель предметной области или компромиссов в качественных характеристиках системы.

Данное исследование направлено на анализ существующих концептуальных и технических проблем проектирования распределённых систем при использовании подхода проектирования по модели, исследование противоречий в архитектуре системы и ограничений существующих технологий, исследование возможных вариантов решений выявленных проблем и минимизацию их влияния на архитектуру системы.

Как итог исследования проблем проектирования по модели разработана библиотека, позволяющая спроектировать концептуально правильную модель предметной области, готовую для работы в распределённой среде.

Разработка любой сложной распределённой системы неразрывно связано с проектированием инфраструктурных уровней: уровня хранения данных и уровня взаимодействия между компонентами системы.

Данная диссертация исследует проблемы проектирования данных уровней и влияние модели на характеристики системы, представляет варианты решения рассмотренных проблем, позволяющие без компромиссов в модели предметной области использовать концепции REST и технологии организации хранения данных.

Как итог, представлен вариант полноценной архитектуры распределённой системы, отвечающей принципам проектирования по модели Domain-Driven Design и архитектурному стилю REST.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Цель и задачи исследования

*Целью* магистерской диссертации является исследование существующих подходов проектирования модели предметной области и способов их улучшения, разработка архитектурного шаблона распределенной системы, отвечающей концепциям архитектурного стиля REST и Domain-Driven Design.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

5. Провести исследование способов организации бизнес-логики в архитектуре системы, концепций и принципов Domain-Driven Design.

6. Определить основные правила и принципы проектирования модели и особенности проектирования модели для распределённых систем.

7. Провести исследование проблем проектирования инфраструктурных слоев распределённой архитектуры и предложить варианты их решения.

8. Адаптировать архитектурный стиль REST к принципам проектирования Domain-Driven Design и предложить архитектуру системы, отвечающую требованиям обоих подходов.

*Объектом* данной магистерской диссертации является проектирование архитектуры программных систем.

*Предметом* магистерской диссертации является архитектура распределённой системы, основанная на принципах REST и Domain-Driven Design.

Главной *гипотезой*, положенной в основу данного исследования, является возможность проектирования архитектур распределённых систем без компромиссов в модели предметной области при обеспечении высоких показателей масштабируемости и производительности, независимости программной модели от инфраструктуры системы. Отличительной особенностью данной работы является то, что при наличии целого ряда архитектурных принципов и шаблонов решения указанных задач, существует их концептуальная противоречивость, оказывающая негативные воздействия на характеристики архитектуры. Таким образом, данное исследование направлено на адаптацию данных подходов друг к другу и разработку масштабируемой, максимально бескомпромиссной и обозримой архитектуры распределённой системы для сложной предметной области.

**Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Работа выполнялась в соответствии научно-техническими заданиями и планами работ кафедры «Программное обеспечение информационных

технологий» по теме «Разработать модели, методы, алгоритмы для оценки параметров, повышения надежности и качества функционирования аппаратно-программных средств систем и сетей сложной конфигурации и внедрить в современные обучающие комплексы» (ГБ № 11-2004, № ГР 20111065, научный руководитель НИР – В. В. Бахтизин).

### **Личный вклад соискателя**

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя О. Г. Смоляковой, заключается в формулировке целей и задач исследования.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на III Международной научной-практической конференции студентов и аспирантов «Наука, образование, общество: тенденции и перспективы» (Москва, 2014 г.); III Республиканской научной конференции студентов и аспирантов «Приоритетные направления развития науки и образования» (Чебоксары, 2014).

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 2 работы в сборниках трудов и материалов международных конференций.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений.

В первой главе представлен анализ предметной области, выявлены основные существующие проблемы в рамках тематики исследования, показаны направления их решения.

Вторая глава посвящена исследованию архитектурных подходов организации бизнес-логики, анализу достоинств и недостатков для проектирования сложных предметных областей.

В третьей главе представлен анализ основных принципов и концепций Domain-Driven Design и на основе полученных результатов разработана библиотека для проектирования модели предметной области.

Четвертая глава содержит анализ проблем проектирования уровня хранения и уровня доступа к данным, исследование влияние модели предметной

области на производительность и масштабируемость хранилища модели предметной области, предложенные способы решения выявленных архитектурных проблем.

В пятой главе рассматриваются проблемы проектирования распределённых систем, анализируются концепции архитектурного паттерна REST и предлагается архитектурное решение по адаптации данного стиля к принципам Domain-Driven Design.

Общий объем работы составляет 69 страниц, из которых основного текста – 62 страницы, 13 рисунков на 13 страницах, 2 таблицы на 2 страницах, список использованных источников из 37 наименований на 3 страницах и 1 приложения на 5 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов и обозначена практическая ценность работы.

В **первой главе** проведен анализ изучаемой предметной области, рассмотрены основные причины появления концепций Domain-Driven Design и их последующее влияние на развитие новых технологий и инструментов разработки. Дан краткий анализ основных проблем проектирования по модели, существующих подходов и их решений, актуальных проблем проектирования.

Рассмотрены основные тенденции развития идей Domain-Driven Design и REST, пересечение данных концепций с другими подходами и технологиями.

Представлен краткий обзор основных работ по тематике изучаемой проблемы, проведен их краткий анализ и выявлены нерешенные проблемы проектирования.

Результаты исследований, проведенных в этих направлениях, отражены в работах Э. Эванса (E. Evans), М. Фаулера (M. Fowler), В. Вернона (V. Vernon), Дж. Палермо (J. Palermo), Дж. Нильсона (J. Nilson).

Как итог анализа, определено место диссертационной работы в изучаемой предметной области, определены основные направления исследования.

**Вторая глава** посвящена архитектурным паттернам организации бизнес-логики предметной области.

В данной главе представлен сравнительный анализ трех наиболее популярных и распространённых архитектурных паттернов организации бизнес-логики: Transaction Script (скрипт транзакции), Table Module (таблица данных) и Domain Model (модель предметной области) в контексте их использования для моделирования процессов сложной предметной области.

Произведена классификация рассматриваемых подходов по направлению проектирования и образования зависимостей: выделены паттерны,

ориентированные на данные (Transaction Script, Table Module) и паттерны, ориентированные на модель предметной области (Domain Model).

Установлено, что паттерны, ориентированные на данные, непригодны для проектирования сложных систем, так как размывают понятия и процессы моделируемой предметной области по всем уровням архитектуры системы. Процедурный характер отображения модели предметной области становится причиной анемичности программной модели или ее отсутствия вовсе в архитектуре системы. При увеличении естественной сложности рассматриваемой предметной области, усилия, необходимые, на разработку системы нелинейно возрастают.

Таким образом, делается и обосновывается вывод: использование архитектурных паттернов, ориентированных на данные, применимо только для разработки CRUD-систем.

Domain Model предоставляет гораздо более богатые средства отображения модели предметной области в архитектуре системы.

Анализ данного подхода показывает, что использование классической многоуровневой архитектуры концептуально противоречит принципам архитектурного паттерна Domain Model, так как создает зависимости между моделью и инфраструктурными механизмами. Такая зависимость – причина проблем тестируемости и компромиссов в модели предметной области, нарушающих принципы инкапсуляции и целостности программной модели.

Как решение данной проблемы рассмотрен архитектурный стиль Onion Architecture, позволяющий естественным образом выразить в архитектуре системы принцип инверсии зависимостей и принципы проектирования по модели.

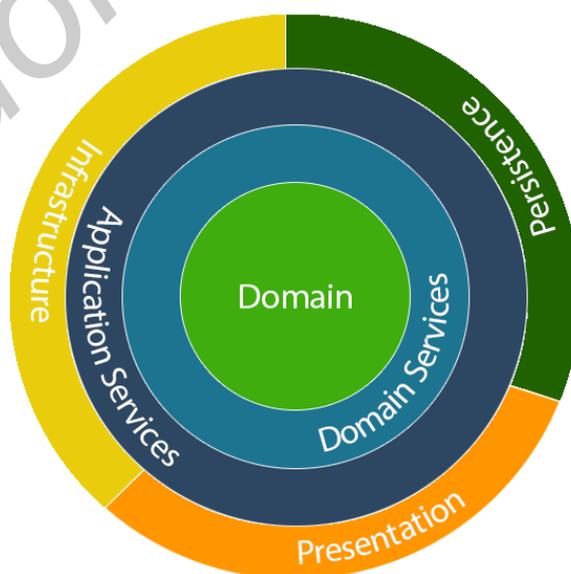


Рис. 1 – Domain Model в Onion архитектуре

Изложение всех последующих исследований структурировано в соответствии концепциями Onion архитектуры.

**Третья глава** представляет собой анализ принципов и концепций Domain-Driven Design. Данный раздел работы рассматривает принцип проектирования по модели как теоретическую основу дальнейших исследований.

Представлен анализ компонентов модели предметной области в терминах DDD: Entity (сущность), Value Object (объект-значение), Aggregate Root (корень агрегации).

Рассмотрены проблемы структуризации модели предметной области с использованием данных компонентов, характер данных компонентов относительно ограниченных контекстов предметной области.

Основанная цель данной главы – формулирование и структуризация основных правил и ограничений, возлагаемых на каждый из компонентов модели предметной области.

Как результат исследования, разработана библиотека базовых классов для каждого из компонентов системы, инкапсулирующая поведение соответствующего компонента и реализующая соблюдения основных правил и требований Domain-Driven Design.

Реализация основных классов и методов представлена в приложении А магистерской диссертации.

**Четвертая глава** содержит исследование одного из инфраструктурных уровней Onion архитектуры – уровня хранения и уровня доступа к данным.

Специфика данного исследования – строгое соответствие принципам проектирования по модели. Данная глава рассматривает уровень проектирования в качестве внешнего уровня архитектуры системы, т.е. работающего с моделью предметной области, в противоположность, классическому подходу, рассматривающую модель как составную часть уровня доступа к данным.

В данном разделе представлен анализ влияние модели на характеристики производительности и масштабируемости распределенной системы, предложены возможные варианты решения, сохраняющие независимость модели от требований других уровней архитектуры, т.е. соответствующая правилу «Persistence Ignorance».

Представлен анализ использования метода Eventual Consistency для обеспечения целостности данных модели и уменьшения количества блокировок и ошибок транзакций на уровне хранения данных.

Как результат исследования, разработанная ранее библиотека проектирования, расширена для предоставления функциональности Eventual Consistency для основанной на ней модели.

Глава содержит сравнительный анализ технологий реляционных и документно-ориентированных баз данных, являющихся частным случаем технологий NoSQL в контексте их применения для хранения сложной модели предметной области. В рамках данного исследования обозначена проблема Object-Relational Impedance Mismatch и произведен сравнительный анализ

наиболее распространенных библиотек ORM: Entity Framework 6 и NHibernate 4.

Как результат исследования, обозначено, что ни одна из рассмотренных библиотек не позволяет обойтись без компромиссов в модели предметной области, нарушая тем самым принцип Persistence Ignorance. Предложен вариант решения данной проблемы с использованием паттерна проектирования Memento.

В рамках сравнительного анализа технологий реляционных баз данных и NoSQL выявляются концептуальные и технические проблемы использования каждой их технологий: NoSQL базы данных неспособны обеспечить эффективное извлечение данных при хранении корней агрегаций модели, а реляционные базы данных имеют проблемы производительности и масштабируемости чтения сложных структур данных, характерных для программной модели.

Как итог исследования, представлен анализ архитектурного стиля CQRS (Command-Query Responsibility Segregation) как возможного способа решения проблем ограниченности существующих технологий и естественного способа организации работы с моделью предметной области.

**Пятая глава** рассматривает способы проектирования взаимодействия между компонентами системы, спроектированной по модели, в распределённой среде.

Глава предоставляет обоснование выбора REST в качестве архитектурного стиля проектирования распределённых системы, анализирует его основные концепции и принципы в контексте сравнения с принципами и подходами Domain-Driven Design.

Обозначаются основные проблемы и концепции, как противоречащие друг другу, так и находящиеся в ортогональных плоскостях по отношению к решаемым проблемам.

Как один из этапов исследования, рассматриваются форматы представления данных для обеспечения гипермедиа, протоколы RESTful Objects и OData, выделяются их недостатки, анализируется согласованность с принципами проектирования по модели Domain-Driven Design и архитектурного стиля REST.

Как итог, детализирован уровень представления исследуемой архитектуры, основанный на стандарте W3C JSON-LD и его расширения Hydra Vocabulary для описания поведения модели предметной области.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Систематизированы правила проектирования и требования к модели предметной области, обеспечивающие необходимый уровень

производительности и масштабируемости распределённой системы, уменьшение числа ошибок транзакции в распределенной среде.

2. Разработана библиотека базовых классов для компонентов модели предметной области в соответствии с полученными результатами.

3. Предложены решения проблем организации уровня хранения и уровня доступа к данным при использовании Domain-Driven Design. Предложенные решение строго соответствуют принципам подхода проектирования по модели и не образуют зависимости модели от инфраструктурных механизмов хранения.

4. Предложен способ адаптации архитектурного стиля REST к концепциям Domain-Driven Design. Как результат, разработана архитектура RESTful сервиса, строго следующая правилам проектирования по модели и отвечающая всем принципам REST.

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Полученные результаты формируют теоретическую и практическую базу для процесса проектирования по модели сложных распределенных систем на основе лучших на сегодняшний день концепций: REST и Domain-Driven Design.

2. Разработанная библиотека для проектирования модели предметной области может рассматриваться как практический пример применения правил DDD и гарантия соблюдения этих правил в архитектуре системы.

3. Использование изложенных в данной работе решений и подходов могут быть использованы для проектирования высоконагруженных систем в сложных предметных областях, т.к. предоставляют полную свободу в выборе технологий, инструментов, управлении масштабируемости системы при сохранении чистоты программной модели предметной области.

### **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

1. Костевич А. А. Проектирование архитектуры распределенной системы для областей со сложной предметной логикой [Текст] / А. А. Костевич // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: материалы междунар. науч.–практ. конф. (Москва, 28 ноября 2014 г.). – Москва: ООО "АР-Консалт", 2014. – С. 75-77. – ISBN 978-5-9906124-1-9.

2. Костевич А. А. Анализ проблем проектирования уровня доступа к данным на основе принципов DDD [Текст] / А. А. Костевич // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы III междунар. науч.–практ. конф. (Чебоксары, 04 дек. 2014 г.) / редкол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2014. – С. 162–165. – ISBN 978-5-906626-52-3.