

На правах рукописи

Литвинов Юрий Викторович

**Методы и средства разработки графических
предметно-ориентированных языков**

Специальность 05.13.11 —

математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2015

Работа выполнена на кафедре системного программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет".

Научный руководитель: **Терехов Андрей Николаевич**
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой системного программирования федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет".

Официальные оппоненты: **Штейнберг Борис Яковлевич,**
доктор технических наук, старший научный сотрудник,
заведующий кафедрой алгебры и дискретной математики, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»,
Котляров Всеволод Павлович,
кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры «Информационные и управляющие системы», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем информатики им. А.П. Ершова Сибирского отделения Российской академии наук.

Защита состоится DD mmmmmmmm YYYY г. в XX часов на заседании диссертационного совета Д212.232.51 на базе Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: 198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., 28, математико-механический факультет, ауд. 405.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9 и на сайте <http://spbu.ru/disser2/disser/.....Dissert.pdf>.

Автореферат разослан DD mmmmmmmm YYYY года.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Д212.232.51, д.ф.-м.н., проф.

Демьянович Юрий Казимирович

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Визуальное моделирование — это подход к разработке программного обеспечения (ПО), в котором программа представляется в виде набора графических моделей, каждая из которых описывает её с разных точек зрения. Благодаря наличию стандартных широко распространённых графических языков, визуальное моделирование повышает продуктивность разработки ПО и качество результирующего продукта. При этом по набору визуальных моделей возможно автоматически генерировать программы целиком или их фрагменты, тем самым переиспользуя результаты анализа и проектирования.

Использование визуальных языков общего назначения, таких как UML, без заранее подготовленного набора библиотек и генераторов, делает задачу разработки программного обеспечения недостаточно эффективной в силу наличия семантического разрыва между кодом и моделями. Такие языки оперируют теми же терминами, что и традиционные текстовые языки (классы, объекты, компоненты и т.д.), поэтому, чтобы полностью специфицировать поведение системы и сделать возможной автоматическую генерацию, модель должна содержать в себе столько же информации, что и исходный код программы, но это противоречит самому понятию модели как некоего упрощения моделируемого объекта. На самом деле, визуальная модель в этом случае даже менее удобна, чем код программы — визуальные символы занимают на экране больше места, чем текст. Если же визуальная модель будет изображать только важные аспекты функционирования системы, опуская излишние подробности, то она будет обозрима и полезна для человека, но это сделает её бесполезной для исполнителя (например, для интерпретатора или генератора исходного кода). Поэтому UML в основном сейчас используется как средство для анализа и дизайна системы, а сама система программируется на текстовых языках. Большинство инструментов для создания UML-диаграмм позволяют генерировать заглушки, куда предполагается дописывать код вручную, но существенного выигрыша для разработчиков это не даёт. Наличие заранее подготовленных библиотек, шаблонов и генераторов кода может существенно улучшить ситуацию, но подобные технологии оказываются применимы только для той предметной области, для которой они создавались.

Существует принципиально другой подход к использованию визуального моделирования, называемый предметно-ориентированным моделированием. Он основан на том наблюдении, что часто создать новый язык для узкой предметной области или даже для конкретной задачи и решить задачу на нём оказывается быстрее и эффективнее, чем решать эту задачу на языке общего назначения. В таком случае наличие знаний о предметной области позволяет добиться полной автоматической

генерации программ по визуальным моделям. Ряд исследований (проводимых, в частности, S. Kelly, R. Kieburtz) показывает, что продуктивность труда программистов при использовании предметно-ориентированных языков вырастает в 3-10 раз по сравнению с использованием языков общего назначения, поэтому такой подход представляется весьма перспективным.

Разумеется, создавать новый предметно-ориентированный визуальный язык и инструментальные средства его поддержки «с нуля» для каждой узкой предметной области или конкретной задачи было бы неоправданно трудозатратно. Поэтому существуют специальные средства для автоматизации этой задачи, называемые DSM-платформами или MetaCASE-средствами. Такие средства позволяют задать синтаксис визуального языка, используя какой-либо формализм (как правило, это метамодели), и автоматически сгенерировать редактор для этого языка и другие средства инструментальной поддержки (мы будем называть результат генерации DSM-решением). Это позволяет реализовывать технологии программирования, использующие новые предметно-ориентированные языки, в рамках приемлемых трудозатрат, что позволяет применять предметно-ориентированное моделирование даже для небольших проектов. Существуют зрелые исследовательские и промышленные DSM-платформы, такие как Eclipse Modeling Project, MetaEdit+ и другие. Однако несмотря на преимущества предметно-ориентированного моделирования, применяется оно довольно редко. Во многих случаях для создания предметно-ориентированного решения требуется привлекать экспертов в разработке языков моделирования, которыми зачастую оказываются авторы выбранной для реализации этого решения DSM-платформы, что могут позволить себе лишь крупные компании. Такая ситуация указывает на необходимость продолжения исследований в этой области с целью упростить процесс создания предметно-ориентированных решений и снизить требования к квалификации специалистов, которые могли бы этим заниматься.

Степень разработанности темы. Методические вопросы создания предметно-ориентированных языков хорошо проработаны в случае, если языки текстовые (заслуживают упоминания работы A. Van Deursen, M. Mernik), для визуальных языков сейчас существует лишь набор слабо структурированных рекомендаций и наблюдений (наиболее обстоятельно этим вопросом занималась исследовательская группа во главе со S. Kelly и J.-P. Tolvanen, заслуживают упоминания работы M. Voelter). Тем не менее, существует довольно много DSM-платформ, многие из которых хорошо описаны в литературе (MetaEdit+, Eclipse Modeling Project, Generic Modeling Environment, PSL/PSA, AToM³, Microsoft Modeling SDK, Pounamu, DOME, MetaLanguage). Подавляющее большинство научных работ, связанных с этими

DSM-платформами, сфокусированы на технических подробностях их реализации и обходят стороной вопросы методической поддержки, при этом часто внимание уделяется только самой реализации визуального языка.

Исследования в области графических языков также ведутся на кафедре системного программирования Санкт-Петербургского государственного университета под руководством проф. А.Н. Терехова. Кафедра имеет более чем двадцатилетний опыт в создании инструментов и методик графического программирования (технологии RTST, RTST++, REAL, работы Д.В. Кознова). Данная работа выполнялась в рамках проекта по разработке DSM-платформы QReal, являющегося продолжением работ кафедры по этой теме. Проект QReal имеет открытый исходный код¹, разрабатывается на языке C++ с использованием библиотеки Qt силами студентов и преподавателей кафедры, автор данной диссертации — один из руководителей проекта.

Целью диссертационной работы является уменьшение трудозатрат и требований к квалификации при создании визуальных предметно-ориентированных языков и инструментальных средств для их поддержки (редакторов диаграмм, генераторов кода, средств проверки ограничений на диаграммы, интерпретаторов диаграмм) до уровня, при котором их было бы возможно создать даже без специальной подготовки и опыта.

Для достижения поставленной цели достаточно решить следующие **задачи**.

1. Разработать методику создания предметно-ориентированных визуальных языков и инструментальных средств для них, использующую визуальные языки для их спецификации.
2. Разработать метод прототипирования визуального языка, позволяющий специфицировать его прямо в процессе создания на нём диаграммы.
3. Реализовать в рамках DSM-платформы QReal простую в использовании технологию для создания предметно-ориентированных языков, реализующую разработанные методики.
4. Провести апробацию технологии путём создания нескольких DSM-решений с её помощью.

Цель и задачи диссертационной работы соответствуют области исследований паспорта специальности 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»: пунктам 1 (Модели, методы и алгоритмы проектирования и анализа программ и программных систем,

¹Страница проекта и репозиторий с исходным кодом на GitHub, URL: <https://github.com/qreal/qreal>

их эквивалентных преобразований, верификации и тестирования) и 2 (Языки программирования и системы программирования, семантика программ).

Объектом исследования являются визуальные языки, **предметом исследования** являются методы их создания и технологии для разработки инструментальных средств визуальных языков.

В качестве **методологии** используется методология, типичная для исследований в области программной инженерии: исследование существующей литературы, формулирование задачи и поиск её возможного решения, реализация решения в виде набора инструментов, апробация и анализ результатов. При этом в качестве **методов исследования** используются методы теории формальных языков и теории графов, методы объектно-ориентированного программирования, эмпирические методы (методы анализа литературы и постановки эксперимента).

Научная новизна данной работы заключается в следующем.

1. Разработанная методика для создания предметно-ориентированных языков с помощью графического языка метамоделирования и сопутствующих визуальных языков превосходит известные аналоги по объёму функциональных возможностей инструментальных средств, которые можно специфицировать с помощью визуальных языков.
2. Предложенный метод создания предметно-ориентированного языка («метамоделирование на лету») является оригинальным.
3. Разработанные с использованием предложенных методик визуальный язык программирования роботов и среда QReal:Robots, предоставляющая для него средства инструментальной поддержки, превосходит известные аналоги по функциональным возможностям.

Теоретическая и практическая значимость данной работы определяется разработанными методами создания визуальных предметно-ориентированных языков и использованием полученных результатов при разработке DSM-платформы QReal, а также при создании ряда DSM-решений, самым зрелым из которых стала среда программирования роботов QReal:Robots, предназначенная для обучения школьников основам информатики и кибернетики с использованием робототехнических конструкторов ТРИК, Lego Mindstorms NXT, Lego Mindstorms EV3.

QReal, куда интегрированы созданные в диссертационной работе средства, разрабатывается как среда визуального моделирования, поддерживающая ряд широкоизвестных визуальных языков (UML 2.0, BPMN, блок-схемы), и одновременно как DSM-платформа, позволяющая быстро и без специальных знаний создавать свои собственные визуальные языки и DSM-решения на их основе. DSM-платформа

QReal использовалась для реализации ряда предметно-ориентированных решений, использовавшихся в проектах компании «ЛАНИТ-Терком», связанных с разработкой информационных систем и систем компьютерного зрения.

Среда программирования роботов QReal:Robots — наиболее зрелая предметно-ориентированная технология, созданная с помощью среды QReal. Среда QReal:Robots демонстрировалась на Открытых состязаниях Санкт-Петербурга по робототехнике в 2012 году и на робототехническом фестивале «Робофест 2012» в Москве. На данный момент эта среда получила дальнейшее развитие в виде продукта TRIK Studio и используется как основное средство программирования кибернетического конструктора ТРИК, а также в нескольких робототехнических кружках в России и на мастер-классах по робототехнике, проводимых компанией «Кибернетические технологии».

Степень достоверности и апробация результатов подтверждается следующим.

- Результаты данной работы были представлены на второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее» [12]. Доклад был отмечен наградой.
- Результаты работы были представлены на международной конференции «8th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering» (ENASE-2013) [4].
- Результаты, связанные с применением разработанной технологии при создании среды QReal:Robots, были доложены на VII Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии и ИТ-образование» [14] и на конференции «Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia — 2013» (CEE-SECR'13) [7].
- Результаты, связанные с применением разработанной технологии для разработки предметно-ориентированного языка для платформы Ubiq, были доложены на международной конференции «10th Conference of Open Innovations Association FRUCT» [5].
- Результаты, связанные с использованием предлагаемой технологии, представлялись сообществу в виде научных публикаций [1–3], [8, 15] и докладов на конференциях [6, 9–11, 13, 16].
- Проект поддержан грантом Санкт-Петербургского государственного университета №6.39.1054.2012.

Публикации. Результаты диссертации отражены в пяти научных работах и одиннадцати тезисах докладов, основные результаты изложены в журналах, входящих в

перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, утвержденный решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России [1–3], а также [8, 15] — в журнале, входящем в РИНЦ. Работы в сборниках из перечня ВАК [2] и [3] написаны в соавторстве. В работе [2] автору данной диссертации принадлежит проектирование и разработка средств метамоделирования, Т.А. Брыксину — архитектура и реализация основных компонент платформы, А.С. Кузенковой — реализация некоторых частей метаредактора, А.О. Дерипаска — реализация редактора форм фигур системы QReal, А.В. Подкопаеву — реализация средств задания правил генерации кода, К.С. Тарану — реализация средств эволюции визуальных языков. В работе [3] автору данной диссертации принадлежит идея и реализация средств метамоделирования, А.Н. Терехову принадлежит постановка задачи, Т.А. Брыксину — разработка архитектуры и реализация основных модулей платформы QReal.

Личный вклад автора. Результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем либо самостоятельно, либо при его непосредственном участии.

Проект QReal в силу своей трудоёмкости разрабатывается большой группой студентов, аспирантов и преподавателей кафедры системного программирования СПбГУ, соискатель претендует лишь на результаты, явно перечисленные в списке положений, выносимых на защиту. Особо следует отметить, что соискатель заявляет как свой результат среду QReal:Robots, её дальнейшее развитие TRIK Studio приводится здесь лишь как апробация и внедрение предлагаемых результатов.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (130 наименований) и двух приложений. Объём основной части работы — 133 страницы с 20 рисунками и 2 таблицами, общий объём работы составляет 198 страниц.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработана методика для создания предметно-ориентированных визуальных языков с помощью графического языка метамоделирования и сопутствующих визуальных языков.
2. Предложен новый метод метамоделирования: «метамоделирование на лету», позволяющий создавать визуальный язык в процессе его использования.
3. Предложенные методики реализованы в виде технологии на базе системы QReal.

4. Проведена апробация разработанных методик и технологии при создании редактора, генератора, средств проверки ограничений среды QReal:Robots и других предметно-ориентированных решений.

Содержание работы

Во **введении** обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, формулируется цель работы, научная новизна и практическая значимость, приводятся сведения об апробации работы.

В **главе 1** приводятся основные понятия, используемые в предметно-ориентированном визуальном моделировании. Обсуждается структура визуального языка: синтаксис (абстрактный, конкретный и синтаксис сериализации), уровни абстракции (предметная область, модель, метамодель, метаметамодель), вводится классификация формальных языков по важным для дальнейшего изложения свойствам.

По форме представления информации языки делятся на следующие группы: *текстовые* языки — используют в основном текст для представления информации, *графические* или *визуальные* языки, использующие визуальные символы, и *тексто-графические* языки, активно использующие и текст, и графику для представления программы. Графические языки, в свою очередь, делятся на графовые (в которых диаграмма представляет собой помеченный мультиграф, либо сводится к нему) и неграфовые (не сводящиеся к помеченному мультиграфу).

По используемой модели вычислений языки делятся на *статические* (задающие структуру разрабатываемой системы) и *динамические* (описывающие поведение), которые, в свою очередь, делятся на языки, модель вычислений которых основана на сетях Петри (с простыми токенами — ориентированные на поток управления, или с токенами, содержащими в себе существенную информацию — ориентированные на поток данных), и языки, в основе которых лежат диаграммы конечных автоматов.

В качестве математического формализма для визуальных языков были выбраны помеченные ориентированные мультиграфы: $G = (V, A, e, L, M)$, где V — конечное множество вершин, A — конечное множество дуг, $e : A \rightarrow V \times V$ — функция, ставящая в соответствие дуге из множества A пару вершин (v, w) , где v — начало дуги, w — конец дуги. L — это множество меток, $M : V \cup A \rightarrow L$ — функция разметки, ставящая в соответствие вершинам и дугам мультиграфа их метки из L . Метамодель и модель рассматриваются как два помеченных мультиграфа, соответствие модели метамодели определяется как отображение над метками мультиграфа модели.

Глава 2 содержит обзор существующих подходов к созданию DSM-решений. Рассматриваются существующие методики разработки предметно-ориентированных языков, обсуждаются возможности, достоинства и недостатки существующих DSM-платформ, включая зрелые системы и академические разработки. Результаты анализа существующих DSM-платформ сведены в таблицу 1.

Таблица 1: Основные возможности существующих DSM-платформ

Название	Метаязык	Метаредактор	Конкретный синтаксис	Ограничения
MetaEdit+	GOPRRR	Визуальный или диалоговые окна	Визуально	Только средствами метаязыка
Eclipse Modeling Project	Ecore (аналог MOF)	Визуальный, текстовый, импорт метамодели	Визуально или вручную поверх библиотек	Текстовые (OCL)
Generic Modeling Environment	Свой, довольно развитый	Визуальный	Настройкой существующих фигур	Текстовые (OCL)
PSL/PSA	Сущность-связь	Текстовый	Нет	Нет
AToM3	Сущность-связь	Визуальный	Визуально	Вручную, на Python
Microsoft Modeling SDK	Свой (диаграммы классов)	Визуальный	Настройкой существующих фигур или кодированием на C#	Вручную поверх библиотеки
Pounamu	Сущность-связь	Визуальный	Визуально	Визуальным языком общего назначения или Java
DOMÉ	Свой (DSTL), довольно развитый	Визуальный	Настройкой существующих фигур или кодированием на Alter	Вручную, на Alter
MetaLanguage	Сущность-связь	Визуальный	Неизвестно	Да

Делаются выводы о том, что существующие среды не автоматизируют весь жизненный цикл создания предметно-ориентированного решения, особенно его начальные этапы — если автор DSM-решения уже «знает, что писать» (то есть имеет ясное представление о предметной области и даже метамодель создаваемого языка), то к его услугам множество существующих инструментов. Но если требуется вести разработку предметно-ориентированного решения «с нуля» (начиная с оценки осуществимости и анализа предметной области), очень многое придётся делать без какой-либо инструментальной поддержки и методических рекомендаций. Таким образом, имеется пробел в существующих исследованиях, который данная работа призвана помочь заполнить.

Глава 3 содержит описание предлагаемого подхода к разработке DSM-решений. Приводятся этапы жизненного цикла DSM-решения, обсуждается возможная степень автоматизации каждого этапа, формулируются требования на средства автоматизации, приводится описание предлагаемой технологии. Предлагается два варианта методик разработки — «Классическая» методика и методика «Метамоделирования на лету», которая является вариантом классической и служит для упрощения первых этапов жизненного цикла DSM-решения. Схематически «Классическая» методика изображена на рисунке 1.

Фаза разработки и внедрения состоит из нескольких итераций, порядок действий для каждой из которых представлен на рисунке 2.

Такая методика называется классической, поскольку примерно такой схемы придерживается большинство существующих DSM-платформ и большинство авторов, описывающих процесс создания предметно-ориентированных языков и дающих рекомендации по этому процессу. Вклад данного исследования состоит в структуризации этапов жизненного цикла, описании действий на каждом этапе жизненного цикла и предложении технологии автоматизации каждого этапа. Основная идея, предлагаемая здесь — использование визуальных языков на каждом этапе жизненного цикла, вплоть до описания генераторов.



Рис. 1: «Классическая» методика разработки.

С методологической точки зрения научную новизну имеет предлагаемый здесь подход «Метамоделирования на лету». Ключевой принцип данной методики состоит в том, что создание визуального языка проходит непосредственно в процессе рисования диаграммы, без использования метаредактора.

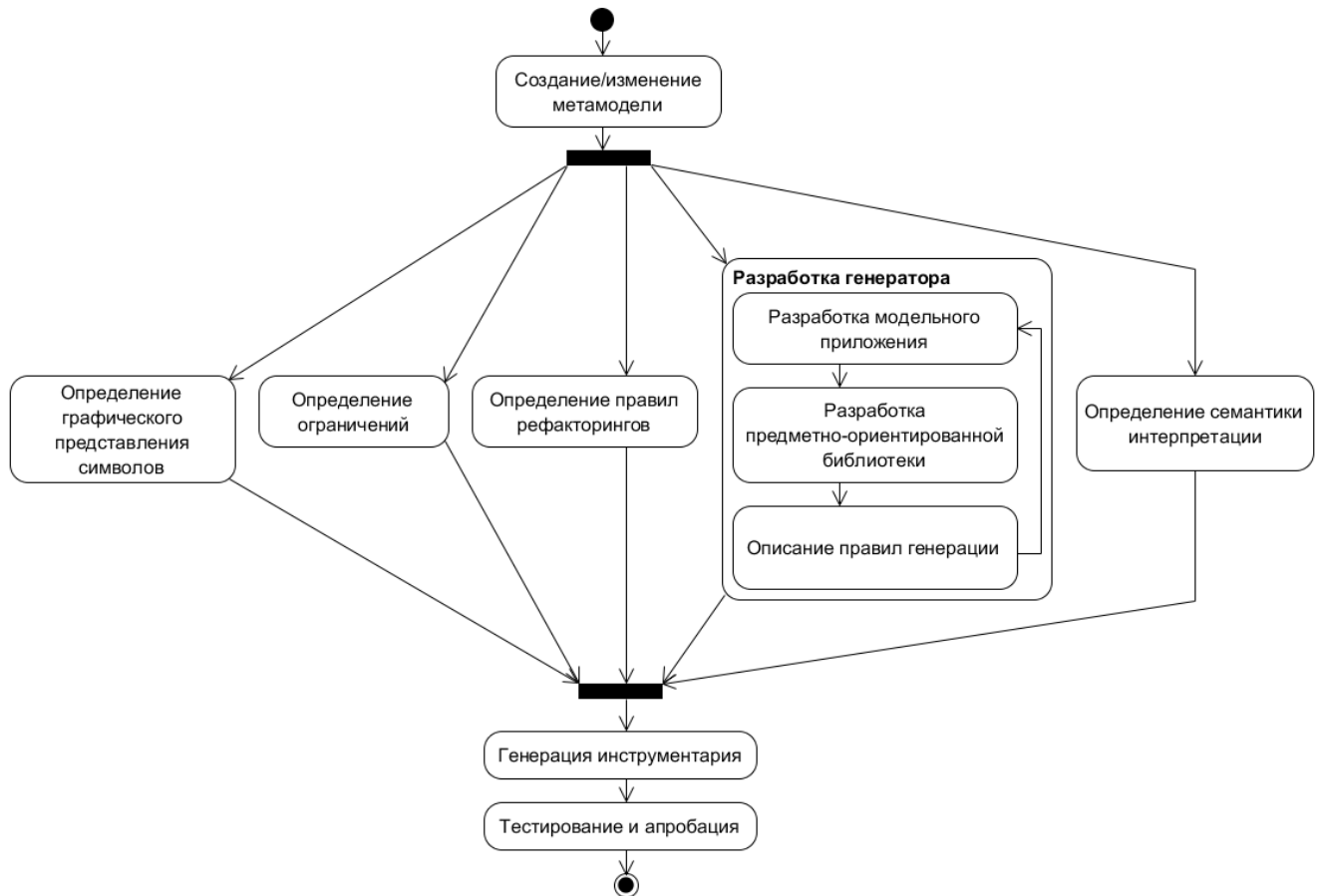


Рис. 2: Итерация проектирования и разработки языка.

Основной этап предлагаемой методики — прототипирование языка — начинается сразу после этапа анализа применимости. Разработчик языка и будущий пользователь работают за одним рабочим местом. При запуске DSM-платформы они видят канву для рисования и пустую палитру. Пользователь объясняет, что он примерно хотел бы нарисовать, разработчик языка добавляет на палитру новые элементы, определяет для них графическое представление, пользователь рисует. Пользователь может сказать, что такой-то элемент должен содержать такую-то дополнительную информацию, тогда разработчик добавляет элементу новое свойство, задаёт его тип и значение по умолчанию, и пользователь продолжает рисовать диаграмму, используя новое свойство. Через некоторое время пользователь может сам добавлять и редактировать типы элементов, и работа полностью передаётся ему, разработчик языка лишь следит за процессом и консультирует при необходимости пользователя. Работа заканчивается, когда модельное приложение полностью нарисовано, после

чего текущая интерпретируемая метамодель сохраняется в виде, пригодном для дальнейшего редактирования в метаредакторе. После этой фазы идут итерации «классической» методики по доработке созданного прототипа, дополнению его ограничениями, рефакторингами, интерпретатором и генератором, подготовки инсталляционного пакета, развертывания и сбора обратной связи. На этих этапах пользователи, как и в «классической» модели, непосредственно в разработке не участвуют, поскольку этапы гораздо более продолжительны во времени и прямо при пользователе выполнены быть не могут.

Модель жизненного цикла языка, использующая «метамоделирование на лету», представлена на рисунке 3.

В главе 4 анализируются результаты реализации инструментальных средств поддержки предлагаемой технологии в проекте QReal. Описываются возможности системы QReal, связанные с поддержкой техник метамоделирования, включая метамоделирование на лету, принятые архитектурные решения.

Приложение А содержит примеры применения результатов, описанных в данной диссертации, для разработки DSM-решений. Описывается среда QReal:Robots, то, какие преимущества были получены от использования DSM-платформы QReal при её разработке, то, чем QReal помочь не смог, и почему. Также приводится описание среды разработки сервисов для мобильных телефонов QReal:Ubiq и среды разработки аппаратуры QReal:HaSCoL, описываются их визуальные языки, достоинства и недостатки принятых при их создании подходов.

В приложении В описывается визуальный метаязык системы QReal.

В приложении С приводятся копии актов о внедрении результатов диссертационного исследования.

В заключении приведены итоги выполненного исследования, рекомендации и перспективы дальнейшего развития.

Заключение

Итоги диссертационной работы таковы.



Рис. 3: Методика «метамоделирования на лету».

1. Разработана методика для создания предметно-ориентированных визуальных языков с помощью визуального языка метамоделирования и других визуальных языков.
2. Предложен новый способ метамоделирования: «метамоделирование на лету», позволяющий доопределять и изменять визуальный язык в процессе его использования.
3. Предложенные методики реализованы в виде технологии на базе системы QReal.
4. Проведена апробация разработанных методик и технологии при создании инструментальных средств среды программирования роботов QReal:Robots и других предметно-ориентированных решений.

Были сформулированы следующие **рекомендации** по применению полученных результатов.

1. Предложенные методики подходят для реализации небольших и средних по размерам предметно-ориентированных языков.
2. Наиболее эффективны предлагаемые методики в ситуации, когда нет чёткого представления о языке, который должен быть создан, но есть эксперт предметной области, участвующий в создании языка

Также были сформулированы **перспективы дальнейшей работы**: реализация интеграции созданных инструментальных средств с существующими средствами других коллективов, разработка средств задания семантики и правил генерации кода для режима «метамоделирования на лету», проведение экспериментов по количественной оценке эффективности предложенных методик и средств в промышленных условиях и сравнению с существующими DSM-платформами.

Публикации автора по теме диссертации

В изданиях из перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

1. Литвинов, Ю.В. Реализация визуальных средств программирования роботов для изучения информатики в школах [Текст] / Ю.В. Литвинов // Компьютерные инструменты в образовании. — 2013. — № 1. — С. 36–45.

2. Средства быстрой разработки предметно-ориентированных решений в metaCASE-средстве QReal [Текст] / А.С. Кузенкова, А.О. Дерипаска, К.С. Таран, А.В. Подкопаев, Ю.В. Литвинов, Т.А. Брыксин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2011. — № 4 (128). — С. 142–145.
3. Терехов, А.Н. QReal: платформа визуального предметно-ориентированного моделирования [Текст] / А.Н. Терехов, Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов // Программная инженерия. — 2013. — № 6. — С. 11–19.

В изданиях, индексируемых в реферативных базах Scopus и Web Of Science

4. Kuzenkova, A. QReal DSM platform-An Environment for Creation of Specific Visual IDEs [Text] / A. Kuzenkova, A. Deripaska, T. Bryksin, Y. Litvinov, V. Polyakov // ENASE 2013 — Proceedings of the 8th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering. — Setubal, Portugal : SciTePress, 2013. — P. 205–211.

В других изданиях

5. Bryksin, T. Ubiq Mobile + QReal: a Technology for Development of Distributed Mobile Services [Text] / T. Bryksin, Y. Litvinov, V. Onossovski, A.N. Terekhov // 10th Conference of Open Innovations Association FRUCT and the 2nd Finnish-Russian Mobile Linux Summit: Proceedings. — Saint-Petersburg : State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), 2011. — P. 27–35.
6. Osechkina, M. Multistroke Mouse Gestures Recognition in QReal metaCASE Technology [Text] / M. Osechkina, Y. Litvinov, T. Bryksin // SYRCoSE 2012: Proceedings of the 6th Spring/Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. — Perm : ISPRAS, 2012. — P. 194–200.
7. Terekhov, A. QReal:Robots — an environment for teaching computer science and robotics in schools [electronic resource] / A. Terekhov, Y. Litvinov, T. Bryksin // CEE-SECR '13 Proceedings of the 9th Central & Eastern European Software Engineering Conference in Russia. — New York, NY, USA : ACM, 2013. — URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2556610.2596543> (online; accessed: 2015-11-30).
8. Архитектура среды визуального моделирования QReal [Текст] / А.Н. Терехов, Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов, К.К. Смирнов, Г.А. Никандров [и др.] // Системное программирование. — 2009. — № 4. — С. 171–196.

9. Брыксин, Т.А. Среда визуального программирования роботов QReal:Robots [Текст] / Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов // Материалы международной конференции «Информационные технологии в образовании и науке». — Самара : Самарский филиал МГПУ, МГПУ, 2011. — С. 332–334.
10. Брыксин, Т.А. Технология визуального предметно-ориентированного проектирования и разработки ПО QReal [Текст] / Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов // Материалы второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. — СПб. : ОАО «КБСМ», 2011. — С. 222–225.
11. Кузенкова, А.С. Метамоделирование: современный подход к созданию средств визуального проектирования [Текст] / А.С. Кузенкова, Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов // Материалы второй научно-технической конференции молодых специалистов «Старт в будущее», посвященной 50-летию полета Ю.А. Гагарина в космос. — СПб. : ОАО «КБСМ», 2011. — С. 228–231.
12. Кузенкова, А.С. Поддержка метамоделирования в среде визуального программирования QReal [Текст] / А.С. Кузенкова, А.О. Дерипаска, Ю.В. Литвинов // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2011. — С. 100–101.
13. Кузенкова, А.С. Поддержка механизма рефакторингов в DSM-платформе QReal [Текст] / А.С. Кузенкова, Ю.В. Литвинов // Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада «Технологии Microsoft в теории и практике программирования». — СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2013. — С. 71–72.
14. Литвинов, Ю.В. Визуальные средства программирования роботов и их использование в школах [Текст] / Ю.В. Литвинов // Современные информационные технологии и ИТ-образование, сборник избранных трудов VII Международной научно-практической конференции. — М. : ИНТУИТ.РУ, 2012. — С. 858–868.
15. Осечкина, М.С. Поддержка жестов мышью в мета-CASE-системах [Текст] / М.С. Осечкина, Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов, Я.А. Кириленко // Системное программирование. — 2010. — № 5. — С. 52–75.
16. Терехов, А.Н. Среда визуального программирования роботов QReal:Robots [Текст] / А.Н. Терехов, Т.А. Брыксин, Ю.В. Литвинов // III Всероссийская конференция «Современное технологическое обучение: от компьютера к роботу» (сборник тезисов). — СПб. : [б. и.], 2013. — С. 2–5.

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ