

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Высшая школа программной инженерии



Работа допущена к защите

Директор ВШ ПИ

\_\_\_\_ П.Д. Дробинцев

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2019г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Разработка и реализация языка описания сценариев  
тестирования автомобильных систем

По направлению *09.03.01 «Информатика и вычислительная  
техника»*

по образовательной программе

*09.03.01\_06 «Распределенные информационные системы»*

Выполнил  
студент гр. 43504/6  
Руководитель  
д.т.н., проф.

А. А. Спасеева

А. В. Самочадин

Санкт-Петербург  
2019



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт компьютерных наук и технологий

Утверждаю

Директор ВШ ПИ

\_\_\_\_\_ П.Д. Дробинцев

"\_\_" \_\_\_\_\_ 2019г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы  
студенту А. А. Спасеевой гр. 43504/6

1. Тема: *Разработка и реализация языка описания сценариев тестирования автомобильных систем*
2. Срок сдачи работы.
3. Исходные данные к проекту (работе).
4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов).
5. Перечень графического материала с точным указанием обязательных чертежей.
6. Консультанты по проекту (с указанием относящегося к ним разделов проекта, работы).

Дата выдачи задания: \_\_\_\_\_ г.

Руководитель ВКР: \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. А. В. Само-  
чадин

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ г.

Студент \_\_\_\_\_ А. А. Спасеева

# Реферат

На 38 с.,

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке языка описания сценариев тестирования автомобильных систем. Проводится сравнительный анализ схожих по тематике инструментов.

Так же описываются принципы разработки языков и технических инструментов, выбранных для разработки.

Результат работы – язык описания сценариев тестирования автомобильных систем, являющийся потенциально пригодным для внедрения на производстве.

Ключевые слова: Предметно-ориентированный язык, функциональное тестирование, автомобильные системы.

# Abstract

38 pages

Final year graduation diploma dedicated to the development of the language designed for describing various automobile system testing scenarios. The comparable analysis of systems that share similar instruments is conducted.

Furthermore, this paper aims to describe the development of the programming languages as well as technical instruments used by them. The final result of this work is a fully functional language used for describing automobile testing scenarios. Also, this language could potentially be integrated into the corporate environment.

Keywords: domain specific language, functional testing, automobile systems.

# Оглавление

<b>Список обозначений</b>	<b>7</b>
<b>Введение</b>	<b>8</b>
<b>1 Обзор литературы и постановка задачи</b>	<b>11</b>
1.1 Цель и задачи . . . . .	11
1.2 Обзор литературы . . . . .	12
1.3 Анализ существующих инструментов для тестирования	15
1.3.1 Выделение критериев сравнения . . . . .	15
1.3.2 Обзор аналогов . . . . .	15
1.3.3 Результаты . . . . .	17
1.4 Уточненные требования к работе . . . . .	18
<b>2 Теоретическая часть</b>	<b>19</b>
2.1 Тестирование автомобильных систем . . . . .	19
2.2 Описание синтаксиса языка . . . . .	20
2.3 Общая структура . . . . .	23
2.3.1 Лексический анализ . . . . .	23
2.3.2 Синтаксический анализ . . . . .	24
2.3.3 Семантический анализ . . . . .	25
2.3.4 Симуляция работы сетей . . . . .	26
<b>3 Реализационная часть</b>	<b>27</b>
3.1 Лексер . . . . .	27
3.2 Парсер . . . . .	29
3.3 Использование грамматики . . . . .	30
3.4 Обработчик ошибок . . . . .	33

<b>4 Экспериментальная часть</b>	<b>36</b>
<b>Заключение</b>	<b>38</b>

# Список обозначений

UML	Унифицированный язык моделирования
ECU	Electronic Control Unit
BDD	Behaviour-driven development
ПО	Программное обеспечение
TTD	Test-driven development
DSL	Domain-specific language
AUTOSAR	Automotive Open System Architecture
БНФ	Форма Бэкуса-Наура
РБНФ	Расширенная форма Бэкуса-Наура
AST	Abstract syntax tree



# Введение

С развитием автомобильной промышленности тестирование автомобильных систем стало неотъемлемой частью жизненного цикла разработки программного и аппаратного обеспечения. Современные автомобили включают множество встроенных систем для повышения уровня безопасности и комфорта водителей и пассажиров путем обеспечения функций, таких как адаптивный круиз-контроль, контроль давления в шине и др.

Современные автомобили имеют несколько блоков управления (electronic control unit, ECU), связанных между собой внутримашинной сетью. Эти блоки взаимодействуют между собой через стандартные шинные архитектуры CAN, FlexRay, LIN и Ethernet. С развитием техники количество ECU в автомобильных системах стремительно растет, что приводит к созданию сложных структур сетей. К основным особенностям автомобильного программного обеспечения можно отнести:

- надежность: в сложной сети ECU в течение всего срока эксплуатации автомобиля автомобильные программные системы должны работать исключительно надежно;
- функциональная безопасность: такие функции, как антиблокировочная тормозная система, требуют безотказной работы, что определяет высокие требования к процессам разработки программного обеспечения и к самим программам;
- работа в режиме реального времени: быстрая реакция (от микросекунд до миллисекунд) на внешние события требует оптимизированных операционных систем и особой программной архитектуры;

- минимальное потребление ресурсов: любое дополнение вычислительных ресурсов или памяти увеличивает стоимость продуктов, что при миллионных тиражах выливается в немалые деньги;
- надежная архитектура: автомобильное программное обеспечение должно выдерживать искажение сигналов и поддерживать электромагнитную совместимость;

Функциональные проверки безопасности автомобильных систем на программном уровне включают:

- Функциональное тестирование, целью которого является предоставление гарантий, что ПО удовлетворяет требованиям высокого и низкого уровней.
- Анализ времени выполнения худшего сценария, для того, чтобы гарантировать, что критические функции ПО выполняются достаточно быстро (такие как срабатывание подушек безопасности).
- Структурный анализ покрытия.

Что касается тестирования автомобильных систем, необходимо хорошо понимать, как устроен автомобиль в целом и его составляющие по отдельности. Однако представления о системе у инженеров и менеджеров зачастую очень сильно расходятся. Взаимодействие участников бизнес процесса, а именно заказчика, бизнес-аналитика, менеджера, разработчика и тестировщика является неотъемлемой частью гибкой методологии разработки ПО (Agile software development).

В данной работе рассматривается разработка языка для функционального тестирования ПО автомобильных систем таким образом, чтобы тестовая документация была понятна всем участникам бизнес цикла. Практика «разработка через поведение» (behaviour-driven development, BDD) была создана для достижения взаимопонимания между всеми участниками процесса. В сфере автомобильных систем BDD подход сильно облегчать процесс разработки.

Данная работа организована следующим образом. В главе 1 представлен обзор проблемы создания языка для описания тестовых сценариев тестирования автомобильных систем и обзор аналогов. Глава 2 содержит описание предлагаемого подхода к непосредственному построению языка. Вопросы его практической реализации рассмотрены

в главе 3. Результаты экспериментального исследования его эффективности приведены в главе 4.

# Глава 1

## Обзор литературы и постановка задачи

### 1.1 Цель и задачи

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проблемно-ориентированного языка для функционального тестирования автомобильных систем, который облегчит взаимодействие между тестировщиком, заказчиком, менеджером, аналитиками, разработчиками и предоставит функционал, необходимый для симуляции работы автомобильных сетей. Такой язык позволит достичь большего взаимопонимания между менеджерами, аналитиками и инженерами, что в свою очередь значительно упростит разработку ПО и повысит качество разрабатываемого продукта. Для достижения поставленной цели следует выполнить ряд задач:

- Исследовать предметную область
- Выделить аналоги и сравнить их
- Разработать язык
- Реализовать язык
- Протестировать язык

## 1.2 Обзор литературы

Одно и то же оборудование, разрабатываемое для разных автомобильных компаний с различной внутренней архитектурой программного обеспечения при тестировании ПО может рассматриваться в качестве «черного ящика». Данное понятие предложил У.Р. Эшби в своей книге «Введение в кибернетику». Под черным ящиком подразумевается объект исследования, внутреннее устройство которого неизвестно. В электро-вычислительных системах оно помогает изучать поведение систем, абстрагируясь от их внутреннего устройства. Такое тестирование называется поведенческим. В этом случае проверяется функциональное поведение объекта с точки зрения внешнего мира. Под этой стратегией понимается создание тестов для тестового набора, основанных на технических требованиях и их спецификациях. Фактически, при поведенческом тестировании известно какой результат должен быть при определенном наборе данных, которые подаются на вход. Проанализировав требования и спецификации тестировщик может легко определить набор тестовых сценариев для проверки различной функциональности тестируемой системы. Принимая тестируемую систему в качестве черного ящика ее можно исследовать, манипулируя входными данными и данными, полученными на выходе.

В марте 2006 года Dan North предложил BDD методологию (behaviour-driven development), основанную на agile методологиях. BDD является своего рода расширением техники разработки программного обеспечения через тестирование (test-driven development, TDD). Идея BDD подхода была в том, что в процессе написания требования для разрабатываемого ПО аналитики должны описать тестовые сценарии таким образом, чтобы их смог понять и разработчик, и тестировщик, и заказчик. При этом тестовые сценарии состоят из набора заранее обговоренных предложений. В своей статье Dan North описал следующие BDD идеи:

- Название тестового метода должно быть предложением. В этом случае хорошо разработанная документация будет понятна и бизнес пользователям и инженерам.
- Простой шаблон делает тестовые методы более определенными.
- Выразительное название очень помогает, когда тест обрушился.

- Слово «поведение» более полезное, чем «тест».
- Методология BDD предоставляет «общий язык» для анализа.
- Приемочные критерии должны быть выполняемыми.

Почти в то же время Эрик Эванс опубликовал книгу «Проблемно-ориентированное проектирование», в которой описал набор принципов и схем, направленных на создание оптимальных систем объектов. Его идея заключается в том, что для бизнеса удобно смоделировать систему, в которой будет определен единый язык (Domain specific language), основанный на бизнес области, такой, что бизнес словарь смогут использовать как менеджеры так и инженеры.

Совместно Эрик Эванс и Dan North разработали шаблон для выявления приемочных критериев теста. Они разработали структуры тестовых сценариев, в которых каждый шаг определялся ключевым словом

- Given – дано начальное условие
- When – происходит событие
- Then – проверка, что получены некоторые результаты

На основе вышеперечисленных принципов BDD был создан язык Gherkin – человеко-читаемый язык, используемый для описания поведения системы.

С точки зрения автомобильной индустрии, в которых функциональное тестирование ПО подразумевает достаточно нетривиальную задачу данный подход сильно облегчает взаимодействие между всеми бизнес участниками. Однако не существует инструмента облегчающего разработку документации, а как следствия взаимопонимания между менеджерами и инженерами и, в то же время, учитывающего особенности данной сферы.

Возможность использовать единую всеми участниками модель предметной области позволяет значительно ускорить процесс проектирования ПО. Предметно-ориентированное программирование (Domain-driven design, DDD) основано на трех главных определениях:

- Область (англ. domain, домен) — предметная область, к которой применяется разрабатываемое программное обеспечение.

- Модель (англ. model) — описывает отдельные аспекты области и может быть использована для решения проблемы.
- Язык описания — используется для единого стиля описания домена и модели.

Использование концепции моделирования системы с использованием единого языка, основанного на бизнес области таким образом, что словарь используется в разработке ПО может решить проблему взаимодействия участников бизнес процесса.

В 2003 году была создана Автомобильная Открытая Системная Архитектура (AUTOSAR, Automotive Open System Architecture). Это открытая архитектура, которая стандартизирует архитектуры ПО для автомобильных ECU и жизненный цикл разработки. Сегодня в Autosar входят более 150 компаний, и в рамках этого партнерства разрабатывается архитектура ECU, базовое программное обеспечение, методология и стандартизированные интерфейсы для прикладного программного обеспечения.

Учитывая, что все системы стандартизированы, одну и ту же систему (например, лидары для автомобилей марок Diamler и Audi) можно протестировать используя одни и те же инструменты. Однако, среди современных средств для тестирования программных систем нет специализированных под специфические нужды автомобильной промышленности, и при этом позволяющих разрабатывать спецификации на человеко-читаемом языке для реализации BDD подхода.

С расширением областей применения вычислительной техники возникла необходимость в новом — проблемно-ориентированном языке (domain-specific language, DSL), позволяющем в определенной области использовать специфичные обозначения и термины. Такие языки обеспечивают пользователям возможность коротко и четко сформулировать задачу и получить результаты в необходимой для них форме.

Хорошо разработанный DSL язык должен быть основан на следующих принципах (Debasish, G. 2011 DSLs in Action, Manning Publications):

- Язык зеркально отображает артефакты предметной области.
- Язык должен использовать общий словарь предметной области. Словарь становится катализатором для лучшей связи между разработчиками и бизнес-пользователями.
- Имплементация языка должна быть абстракцией. В язык не должно быть точных фрагментов имплементации языка.

Использование проблемно-ориентированный языка позволит решить проблему разработки тестовой документации понятной всем участникам бизнес процесса с учетом специфики автомобильной промышленности.

## **1.3 Анализ существующих инструментов для тестирования**

### **1.3.1 Выделение критериев сравнения**

Требования к разрабатываемой системе

- Архитектура тестов, разрабатываемых с помощью языка, должна быть событийно-управляемая (Event based).
- Язык должен быть проблемно-ориентированным
- Язык должен позволять использовать BDD подход.

### **1.3.2 Обзор аналогов**

- CAPL (Communication Access Programming Language)

Компания Vector, разрабатывающая программные инструменты для работы с коммуникационными сетями, основывающихся на шинах CAN, LIN, FlexRay, Ethernet и др., используемыми в автомобильной промышленности создала программный пакет для разработчиков: CANoe. Этот инструмент поддерживает симуляцию работы сетей, предоставляет диагностические инструменты и т.д. Данный пакет используется большинством OEM-производителей и поставщиков автомобильных компонентов. В среде CANoe есть возможность разрабатывать тестовые сценарии на языке CAPL (Communication Access Programming Language).

CAPL - процедурный язык, на котором выполнение блоков программы управляются событиями. Эти блоки программы упоминаются как событие процедуры.

С помощью CAPL можно описать тесты, полностью покрывающие функциональные требования АС. Однако данный язык



является Си подобным, достаточно трудным для понимания менеджерами и аналитиками.

- CCDL

Еще одним языком для описания тестовых спецификаций в автомобильной сфере является CCDL. Это язык тестовых спецификаций для тестирования, основанном на требованиях. Предоставляет высокоуровневый язык тестирования. CCDL может использоваться для автоматизированного black box тестирования. Однако, спецификации содержат в себе программный код, непонятный для части бизнес участников.

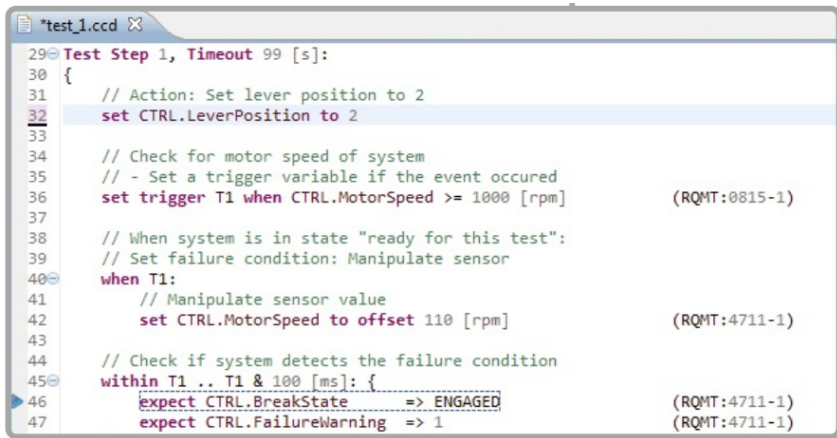


Рис. 1.1. Тестовый сценарий на языке CCDL

- Cucumber

Cucumber – это фреймворк, реализующий подход BDD. В Cucumber для разработки тестов используется Gherkin-нотация. Она определяет набор ключевых слов и структуру теста. Программная реализация шагов отделена от теста, что очень удобно для бизнеса. Однако для создания полной domain specific модели АС необходимо каждый раз заново реализовывать протокол коммуникации с тестовым оборудованием.

```

# language: ru
@withdrawal
функция: Снятие денег со счета

@success
Сценарий: Успешное снятие денег со счета
  Дано на счете пользователя имеется 120000 рублей
  Когда пользователь снимает со счета 20000 рублей
  Тогда на счете пользователя имеется 100000 рублей

@fail
Сценарий: Снятие денег со счета - недостаточно денег
  Дано на счете пользователя имеется 100 рублей
  Когда пользователь снимает со счета 120 рублей
  Тогда появляется предупреждение "На счете недостаточно денег"

```

Рис. 1.2. Тестовая спецификация Cucumber

```

}

@Когда("^пользователь снимает со счета (\\d+) рублей$" )
public void пользовательСнимаетСоСчетаРублей(int arg1) throws Throwable {
    // Write code here that turns the phrase above into concrete actions
    throw new PendingException();
}

```

Рис. 1.3. Реализация шага Cucumber

### 1.3.3 Результаты

Из вышеперечисленных инструментов для тестирования ПО видно, что ни один из них не удовлетворяет требованиям. Таким образом существует необходимость в создании domain specific языка для функционального тестирования, который объединит в себе принципы BDD и функционал, необходимый для симуляции работы автомобильных сетей CAN, LIN, Ethernet. Наличие такого языка значительно упростит разработку ПО и повысит качество разрабатываемого продукта.

## 1.4 Уточненные требования к работе

Окончательная постановка задачи с явным отсечением лишнего (чужого, нереализуемого и т.д.)

## Глава 2

# Теоретическая часть

Разрабатываемый язык описания сценариев тестирования автомобильных систем должен быть проблемно-ориентированным, при этом прост в использовании и изучении, а так же предоставлять возможность разрабатывать сценарии не только инженерами, но и бизнес-аналитиками.

### 2.1 Тестирование автомобильных систем

Принимая автомобильные системы в качестве черного ящика их можно исследовать, манипулируя входными данными и данными, полученными на выходе. В этом случае под данными понимаются пакеты автомобильной сети, передающиеся на сетевом уровне модели OSI через стандартные шинные архитектуры CAN, FlexRay, LIN и Ethernet.

Поведенческое тестирование автомобильных систем может быть выполнено следующими способами:

- **Разделение на классы эквивалентности**  
Часто легко заметить, что входные данные имеют схожие характеристики. В этом случае их можно сгруппировать и подавать на вход только одну единицу данных из каждой группы. Идея заключается в разделении входных данных на классы эквивалентности таким образом, что каждый член класса обладает схожими характеристиками.

Данный способ включается в себя два шага: определение класса эквивалентности и генерацию тестовых сценариев. Под определением класса эквивалентности подразумевается разделение входных данных на два класса: корректные и некорректные данные. Например, если действительный диапазон данных от 0 до 100, то в качестве корректных данных может быть выбрано значение 49, а в качестве некорректного 106.

- Анализ граничных значений

Тестирование граничные значения данных позволяют достаточно хорошо проверить качество программного обеспечения. Следовательно, если тестовые сценарии разработаны для граничных значений входной области, то эффективность тестирования повышается. Например, если действительный диапазон данных от 0 до 100, то в качестве корректных данных выбираются граничные значения 0 и 100 для корректных данных, а в качестве некорректных -1 и 101.

- Тестирование, основанное на требованиях

Данный способ тестирования подразумевает валидацию требований, предоставленных аналитиками и инженерами, которые составляют требования. Например, если в требовании описано, что сеть должна переходить в активный режим при получении любого кадра, то в качестве входных данных формируется любой корректный в данной сети кадр.

Прежде чем начать разрабатывать язык для описания сценариев тестирования автомобильных систем рассмотрим основные стандарты, используемые в автомобильной промышленности.

## 2.2 Описание синтаксиса языка

Существуют три основных метода описания синтаксиса языков программирования: формальные грамматики, формы Бэкуса-Наура и диаграммы Вирта.

Формальной грамматикой называется четверка вида:  $G = (VN, P, S)$ ,

где  $VN$  - конечное множество нетерминальных символов грамматики,  $VT$  - множество терминальных символов грамматики  $P$  -

множество правил вывода грамматики,  $S$  – начальный символ грамматики.

Для записи правил вывода с одинаковыми левыми частями вида  $a \rightarrow b_1, a \rightarrow b_2, \dots, a \rightarrow b_n$  используется сокращенная форма записи  $a \rightarrow b_1 | b_2 | \dots | b_n$ .

Во второй половине 20-го века Джон Брэкус и Ноам Хомски независимо друг от друга создали форму записи, которая в последствии стала методом формального описания синтаксиса языков. Форма Бэкуса-Наура (БНФ) – формальная система описания синтаксиса, используемая для описания контекстно-свободных грамматик, в которой одни синтаксические абстракции последовательно определяются через другие абстракции. Для описания синтаксических структур форма БНФ использует абстракции.

Форма БНФ является порождающим устройством для определения языков. С помощью последовательности правил создаются предложения языка. Создание предложений называется выводом. Вывод должен начинаться с начального символа *start symbol*. Сентенциальная форма грамматики – это строка, которая может быть выведена из стартового символа. Предложение (сентенция) грамматики – это сентенциальная форма, состоящая только из терминальных символов. Язык  $L(G)$  грамматики – это множество всех ее предложений.

Метаязык, предложенный Бэкусом и Науром, использует следующие обозначения:

- символ « $::=$ » отделяет левую часть правила от правой (читается: «определяется как»);
- нетерминалы обозначаются произвольной символьной строкой, заключенной в угловые скобки « $<$ » и « $>$ »;
- терминалы – это символы, используемые в описываемом языке;
- правило может определять порождение нескольких альтернативных цепочек, отделяемых друг от друга символом вертикальной черты « $|$ » (читается: «или»).

Из-за некоторых незначительных неудобств в БНФ Никлаус Вирт предложил свой вариант расширенной формы Бэкуса-Наура (РБНФ,

расширенная Бэкус — Наурова форма). Эти расширения не увеличивают описательную силу БНФ, а упрощают чтение и использование такой формы.

Для повышения удобства и компактности описаний, в РБНФ вводятся следующие дополнительные конструкции (метасимволы):

- квадратные скобки «[» и «]» означают, что заключенная в них синтаксическая конструкция может отсутствовать;
- фигурные скобки «{» и «}» означают повторение заключенной в них синтаксической конструкции ноль или более раз;
- сочетание фигурных скобок и косой черты «{/» и «/}» используется для обозначения повторения один и более раз;
- круглые скобки «(» и «)» используются для ограничения альтернативных конструкций.

Синтаксическими графами называются ориентированные графы, на которых представляется информация о правилах форм БНФ и РБНФ. Так же их называют синтаксическими диаграммами или синтаксическими схемами. При построении диаграмм учитывают следующие правила:

- каждый графический элемент, соответствующий терминалу или нетерминалу, имеет по одному входу и выходу, которые обычно изображаются на противоположных сторонах;
- каждому правилу соответствует своя графическая диаграмма, на которой терминалы и нетерминалы соединяются посредством дуг;
- альтернативы в правилах задаются ветвлением дуг, а итерации - их слиянием;
- должна быть одна входная дуга (располагается обычно слева или сверху), задающая начало правила и помеченная именем определяемого нетерминала, и одна выходная, задающая его конец (обычно располагается справа и снизу);
- стрелки на дугах диаграмм обычно не ставятся, а направления связей отслеживаются движением от начальной дуги в соответствии с плавными изгибами промежуточных дуг и ветвлений.

## 2.3 Общая структура

Существует два главных вида языков программирования: компилируемый и интерпретируемый. Компилятор выясняет все, что должна выполнить программа, превращает инструкции в машинный код и сохраняет его, чтобы выполнить позже. Интерпретатор проходит всю программу строчку за строчкой и тут же выполняет.

Технически любой язык может быть, как компилируемым так и интерпретируемым. Обычно компилируемый язык выбирают, если в программе важна скорость работы. Интерпретируемый же язык более гибкий.

В случае разработки интерпретатора стадии разработки можно разбить на следующие этапы:

- Лексический анализ – разбор исходного кода на токены. Этот этап выполняется лексером.
- Синтаксический анализ – сбор токенов в абстрактное синтаксическое дерево (AST). Данный этап выполняется синтаксическим анализатором (парсером).
- семантический анализ;
- Исполнение AST

Естественные языки и искусственные, вне зависимости от их происхождения, представляют собой совокупность строк, состоящих из символа некоторого алфавита. Предложения или утверждения – это строки, состоящие из символов языка. Какие именно утверждения существуют в языке определяют синтаксические правила.

### 2.3.1 Лексический анализ

Первым шагом в разработке языков зачастую является лексический анализ – процесс аналитического разбора входной последовательности символов на лексемы, с целью получения на выходе идентифицированных последовательностей, называемых токенами. Токен – это малая единица языка. Токен может быть именем переменной или функции, оператором или числом.

Предполагается, что лексер берет входную строку, содержащую файлы с исходным кодом на разрабатываемом языке и разделяет его на



список токенов. Лексер может выполнять такие задачи, как удаление комментариев, определение чисел и т.д.

ЛА необязательный этап, но желательный так как:

1) замена идентификаторов, констант, ограничителей и служебных слов лексемами делает программу более удобной для дальнейшей обработки.

2) Лексический анализатор уменьшает длину программы, устраняя из ее исходного представления комментарии и несущественные пробелы.

3) если будет изменена кодировка в исходном представлении программы, то это отразится только на лексическом анализаторе.

В процедурных языках лексемы обычно делятся на классы: служебные слова и ограничители.

Входные данные ЛА - текст транслируемой программы на входном языке.

Выходные данные ЛА - файл лексем в числовом представлении.

### **2.3.2 Синтаксический анализ**

Синтаксический анализ – это процесс сопоставления линейной последовательности лексем (слов, фраз) языка с его формальной грамматикой. Результатом обычно является синтаксическое дерево. Обычно применяется совместно с лексическим анализом. Синтаксический анализатор— это программа или часть программы, выполняющая синтаксический анализ, то есть распознавание входной информации. При этом входные данные преобразуются к виду, пригодному для дальнейшей обработки. Этот вид обычно представляет собой формальную модель входной информации на языке последующего процесса обработки информации.

Во время парсинга входной текст преобразуется в структуру данных, которая отражает синтаксическую структуру входной последовательности и подходит для последующей обработки. Как правило синтаксическая структура представляется в виде дерева зависимостей.

Существуют следующие алгоритмы синтаксического анализа:

- Нисходящий (англ. top-down) – это такой анализ, в котором продукции грамматики раскрываются, начиная со стартового символа, до получения требуемой последовательности лексем.

- Восходящий (англ. bottom-up) – это такой анализ, в котором продукции восстанавливаются из правых частей, начиная с токенов-лексем и кончая стартовым символом.

Нисходящий анализ (метод рекурсивного спуска) является наиболее эффективным методом синтаксического анализа. В его основе лежит левосторонний разбор строки языка. Исходной сентенциальной формой является начальный символ грамматики, а целевой – заданная строка языка. На каждом шаге разбора правило грамматики применяется к самому левому нетерминалу сентенции. Данный процесс соответствует построению дерева разбора цепочки сверху вниз (от корня к листьям).

### 2.3.3 Семантический анализ

В ходе семантического анализа проверяются отдельные правила записи исходных программ, которые не описываются КС-грамматикой. Эти правила носят контекстно-зависимый характер, их называют семантическими соглашениями или контекстными условиями.

Пользовательские инструкции, используемые в тестовых сценариях должны быть заранее объявлены пользователями в специальной библиотеке. Ключевое слово должно отражать смысл инструкции: Send- для отправки пакета, Recieve - для получения пакета и т.д.

В теле метода соответствующей инструкции должны быть реализованы шаги отправки, получения пакетов и т.д. в зависимости от аннотации. Для того, чтобы определить метод, который должен быть выполнен при вызове заданной текстовой инструкции, а так же приведения типов пользовательских параметров можно использовать рефлексия.

Рефлексия (от лат. reflexio — обращение назад) — это механизм исследования данных о программе во время её выполнения. Рефлексия позволяет исследовать информацию о полях, методах и конструкторах классов.

Механизм рефлексии позволяет обрабатывать типы, отсутствующие при компиляции, но появившиеся во время выполнения программы. Возможность использования рефлексии реализована в Java с помощью Reflection API.

### **2.3.4 Симуляция работы сетей**

рассказать о шине CAN в промышленной автоматизации, ethernet, fleahguy? немного о их пакетах и что нужно для тестирования?

## Глава 3

# Реализационная часть

Задача построения языка довольно трудозатратная. Однако существуют программные инструменты, помогающие сделать его меньше и проще. Для этого был разработан следующий инструментарий для создания компиляторов: генераторы лексических анализаторов (сканеров), генераторы синтаксических анализаторов (парсеров), автоматические генераторы кода.

Для реализации языка было выбрано «еще одно средство распознавания языков» ANTLR4 (ANother Tool for Language Recognition). Это генератор нисходящих анализаторов (парсеров) для формальных языков. Он преобразует контекстно-свободную грамматику в форме РБНФ в программу на Java, C++, JavaScript, Go, Python и Go.

ANTLR4 удобен для работы с AST, является свободным программным обеспечением, предоставляет сообщение об ошибках и восстановление после них, а так же предоставляет плагины для Eclipse и IntelliJ IDEA, что позволяет удобно создавать и отлаживать грамматики. Интерпретатор реализован на языке java.

### 3.1 Лексер

DSL для описания тестовых сценариев автомобильных систем должен иметь следующие характерные инструкции (предложения):

- Отправить фрейм, сигнал или набор данных по UDS протоколу на тестируемое ПО

- Получить фрейм, сигнал или набор данных по UDS протоколу от тестируемого ПО
- Сделать паузу между инструкциями, чтобы тестируемое ПО успело сформировать и отправить необходимый пакет
- Выполнять шаги определенное количество раз, т.к. многие системы имеют алгоритмы со счетчики, которые можно выполнить определенное количество раз. Зачастую значения таких счетчиков измеряются сотнями и даже тысячами шагов. При удачной группировке этих шагов количество строк тестового сценария можно сократить в десятки раз, поместив из в цикл.
- Выполнять определенные действия по событию (триггер).
- Установить значение отправляемого сигнала
- Проверить полученное значение сигнала

При этом набор инструкций команды, состоящие из аналитиков, тестировщиков и разработчиков должны определять сами, так как процессе разработки автомобильного ПО могут выявляться свойства, специфичные для того или иного программного продукта. У пользователей должна быть возможность описать сценарии с использованием специфичных терминов (рычаги у рулевой колонки, расстояние у лидача и т.д). Предполагается, что пользователи сами определяют ограниченный набор шагов, необходимых для описания тестовых сценариев, а тестировщик набор шагов для каждой инструкции.

Допустим, пользователи об определили следующий ограниченный набор команд: «Отправить запрос ‘запрос’», «Получить ответ ‘ответ’». При этом формат запроса и ответа является проектно-специфичным, а значит при описании любого шага должна быть возможность описывать кастомизированные параметры. Добиться этого можно, выделив параметр в отдельную лексему.

Было принято решение, что синтаксис разрабатываемого языка будет иметь аналогичные с Gherkin ключевые слова, возможность описывать сценарии на языке, привычном пользователю, будь то русский или английский. Из вышеуказаного можно определить следующий набор ключевых слов с которых должен начинаться любой шаг сценария: Send, Set, Check, Receive, Pause, Trigger, When, Repeat.

В свою очередь шаги группируются в тестовые сценарии, которых в тестовой спецификации может быть несколько.

При этом для удобства пользователя все эти лексемы языка должны быть регистронезависимы. К сожалению, в ANTLR нет поддержки регистронезависимых токенов, и для токенов приходится использовать следующую запись с использованием фрагментных токенов, которые используются для построения реальных токенов:

```
fragment S: [sS];
```

Листинг 3.1. Ключевые слова

```
Send
    : DOG [Ss][e][n][d]
    ;
Receive
    : DOG [Rr][e][c][i][e][v][e]
    ;
Set
    : DOG [Ss][e][t]
    ;
Check
    : DOG [Cc][h][e][c][k]
    ;
Pause
    : DOG [Pp][a][u][s][e]
    ;
```

## 3.2 Парсер

Для описания синтаксической структуры языка нужно определить порядок записи:

- Предложений в тексте;
- Фраз в предложении;
- Лексем и фраз в более общих фразах.

Для разрабатываемого языка необходимы такие синтаксические правила как текст инструкции и кастомизированный параметр. При

этом текст может содержать пробелы, любые символы английского и русского языков, а так же любые другие символы, кроме символов, обозначающих начало и конец кастомизированного параметра, а так же служебный символ «@», обозначающий начало ключевого слова.

Синтаксические правила одного шага можно описать следующим образом:

- Шаг должен начинаться с ключевого символа, определяемого служебным символом “@”
- Шаг не может начинаться с пользовательского параметра
- Шаг может начинаться с любого символа
- Шаг может иметь сколь угодно много параметров

TODO: описать синтаксические правила шагов и сценария в целом

По описанным правилам ANTLR генерирует файлы для распознавания. `BddParser.java` - это описание класса парсера, то есть синтаксического анализатора, отвечающего грамматике `BddParser`. `BddLexer.java` -это описание класса лексера, или лексического анализатора, отвечающего грамматике

`BddParser.tokens`, `BddLexer.tokens` — это вспомогательные классы, которые содержат информацию о токенах

`BddParserVisitor.java`, `BddParserListener.java`, `BddParserBaseListener` — это интерфейсы и классы , содержащие описания методов, которые позволяют выполнять определенный действия при обходе синтаксического дерева

Вопрос: вставлять ли картинки с построенными ANTLR ast?

### 3.3 Использование грамматики

Для использования разработанного парсера ANTLR4 представляет возможность сгенерировать два паттерна проектирования: `Visitor` (посетитель) и `Listener`(слушатель). Каждый из них предполагает анализ определенного подмножества узлов дерева разбора. Узлы дерева разбора, не являющиеся листьями, соответствуют каким-либо синтаксическим правилам грамматики. При анализе узлов дерева разбора нужно обращаться к дочерним узлам, соответствующим фрагментам

исходного правила. Причем обращаться можно как к отдельным узлам, так и к группам узлов. Следовательно важным условием создания хорошей грамматики является возможность интуитивно простой доступ к любой части правила. ANTLR4 предоставляет такие сущности как альтернативные и элементарные метки. Альтернативные метки позволяют разбить сложное правило на альтернативные фразы и обрабатывать каждую фразу отдельно. В нашем случае правило инструкции можно разбить на следующие альтернативные метки:

Листинг 3.2. альтернативные метки синтаксического правила  
instruction

```
instruction
    : Send  annotationText      #send
    | Recieve annotationText    #recieve
    | Set  annotationText      #set
    | Check annotationText      #check
    | Pause time TEXT?         #pause
```

Элементными метками помечаются отдельные нетерминалы или последовательности терминалов. Они предоставляют доступ к содержимому контекста правила в виде поля с заданным именем. Таким образом, вместо вычисления (извлечения) отдельного элемента содержимого некоторого контекста достаточно просто обратиться к такой элементной метке.

В реализации интерпретатора используется паттерн Listener. При обходе абстрактного синтаксического дерева интерпретатор находит очередную нотированную инструкцию, с помощью рефлексии находит метод, аннотированный соответствующим ключевым словом и добавляет ее в список необходимых для выполнения. При этом инструкция должна быть заранее определена пользователем в библиотеке инструкций. Во время семантического анализа все параметры пользовательских параметров приводятся к типам, объявленным в параметрах метода. Методы инструкций могут принимать параметры следующих типов: boolean, byte, short, integer, long, float, double, String, Enum.

При завершении обхода AST инструкции поочередно выполняются в том порядке, в котором были заданы в тестовой спецификации.

Листинг 3.3. Пример реализации пользовательской инструкции с аннотацией Send

```
@Send(text = "request_[p1]_in_[p2]_addressing_mode")
```



```
public void sendRequest(String p1, AddressingMode p2){
    //do something
}
```

Для реализации функционала симуляции автомобильных сетей используется XL-Driver-Library. XL-Driver-Library – это универсальный программный интерфейс, позволяющий получить доступ к интерфейсам аппаратных средств Vector. Он поддерживает следующие шины:

- CAN / CAN FD
- LIN
- FlexRay
- Automotive Ethernet
- MOST
- ARINC

XL-Driver-Library предоставляет общие и шинно-специфичные методы, которые облегчают управлять интерфейсами шины от Vector. Каналы и порты управляются общими методами. Шинно-специфичные методы используются, чтобы настроить сетевые узлы и послать или получить сообщения. XL-Driver-Library позволяет эффективно использовать интерфейсы шины в пользовательских приложениях. Особенно полезно это при реализации специализированных инструментов, которые адаптированы к автоматизированному рабочему месту и его окружению, с целью увеличения производительности. По словам производителей данная библиотека может быть использована при создании инструментов тестирования для тестового оборудования автомобильных систем.

Для разработки XL Driver Library приложений требуется подключить динамические библиотеки, которые находятся в открытом доступе на сайте компании Vector. необходимые методы реализованы на языке C, поэтому для доступа к методам через java был реализован класс JNIvxlApi.java с использованием механизма JNI.

Java Native Interface (JNI) — стандартный механизм для запуска кода, под управлением виртуальной машины Java (JVM), который

написан на языках C/C++ или Ассемблера, и скомпонован в виде динамических библиотек, позволяет не использовать статическое связывание. Это даёт возможность вызова функции C/C++ из программы на Java, и наоборот.

Ниже представлена диаграмма классов интерпретатора.

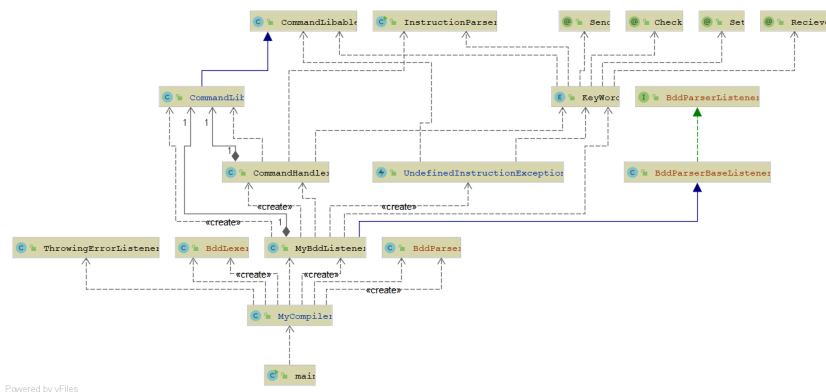


Рис. 3.1. Диаграмма классов

## 3.4 Обработчик ошибок

Важной способностью каждого парсера является обработка ошибок. В случае, если исходный текст не соответствует синтаксическим правилам языка, необходимо корректно реагировать на некорректную цепочку лексем. В этом случае можно завершить синтаксический анализ и вывести сообщение об ошибке, либо попробовать за одну попытку синтаксического анализа найти как можно больше ошибок.

В ANTLR существуют следующие типы ошибок парсинга:

- ошибка распознавания токена (Lexer no viable alt); единственная существующая лексическая ошибка, обозначающая отсутствие правила для формирования токена из существующей лексемы.
- отсутствующий токен (Missing token); в этом случае ANTLR вставляет в поток токенов отсутствующий токен, помечает, что его не хватает, и продолжает парсинг.

- лишний токен (Extraneous token). Генератор помечает, что токен ошибочный и продолжает парсинг дальше.
- несовместимая входная цепочка (Mismatched input). При этом включается «режим паники», цепочка входных токенов игнорируется, а парсер ожидает токена из синхронизирующего множества.
- отсутствующая альтернатива (No viable alternative input). Данная ошибка описывает все остальные возможные ошибки парсинга.

Для обработки ошибок используется класс `ThrowingErrorListener`, наследуемый от `BaseErrorListener`. `BaseErrorListener` предоставляет пустую имплементацию интерфейса `ANTLRErrorListener`. Реализация каждого метода по умолчанию ничего не делает, но может быть переписана в наследнике по мере необходимости. Для обработки синтаксических ошибок используется метод `syntaxError`, уведомляющий в какой строке и в на какой позиции в строке возникла ошибка и ее причину.

Ниже представлен пример тестового сценария с синтаксической ошибкой: на 9 строке после ключевого слова не указана текстовая инструкция. В этом случае `ThrowingErrorListener` должен сообщить о синтаксической ошибке (листинг 3.4)

Листинг 3.4. Пример тестового сценария с синтаксической ошибкой

```
@TestCase [1]
@Send request [00 AB A5] in [functional] addressing mode
@Send request to read did ECU_Serial_Number
@Check signal [RM_LDS_AS_1] is [equal] to [0.0]
@Send request [33 33 33 ]
@Set signal LSD_1 to 1
@Set Signal [LDS_AS_1]
@Pause [2] ms
@Set
@Pause [0] ms
```

Листинг 3.5. Результат работы интерпретатора для тестового сценария с синтаксической ошибкой

```
Error in the Specification example.cc:
line 9:4 missing TEXT at '\r\n'
```

В случае, если на вход подается тестовая спецификация, в которой указана инструкция, не объявленная в пользовательской библиотеке команд, возникает исключение `UndefinedInstructionException`, сообщающее какая именно инструкция была неопределена.

Листинг 3.6. Пример тестового сценария необъявленной инструкцией

```
@TestCase [1]
@Send request [00 AB A5] in [functional] addressing mode
@Send request [00 AB A5] in functional addressing mode
```

Листинг 3.7. Результат работы интерпретатора для тестового сценария с необъявленной инструкцией

```
Error in the Specification example.cc:
Instruction 'request_[]_in_functional_addressing_mode' is und
```

## Глава 4

# Экспериментальная часть

Для тестирования реализованного языка были разработаны Unit тесты. Модульное тестирование, оно же юнит-тестирование, позволяет проверить корректность отдельных модулей исходного кода программы.

Листинг 4.1. входные данные для теста  
testTwoInstructionsInTheSameLine

```
TestCase 1
Send request [00 AB A5] in [functional] addressing mode
Send request to read did ECU_Serial_Number
Check signal [RM_LDS_AS_1] is [equal] to [0]
Check signal [RM_LDS_AS_1] is [equal] to [0]
Send request [33 33 33 ]
Set signal LSD_1 to 1
Set Signal [LDS_AS_1] Pause [2] ms
```

Листинг 4.2. входные данные для теста testSetEmptyInstruction

```
TestCase 1
Send request [00 AB A5] in [functional] addressing mode
Send request to read did ECU_Serial_Number
Check signal [RM_LDS_AS_1] is [equal] to [0.0]
Send request [33 33 33 ]
Set signal LSD_1 to 1
Set Signal [LDS_AS_1]
```

Входной текст	Ожидаемое поведение	Статус
@Pause [erf] ms	line 1:8 mismatched input 'erf' expecting INTEGER	выполнено
@Pause [] ms	line 1:8 missing INTEGER at ']'	выполнено
@Pause [2] ms		
@Pause [] ms	line 2:8 missing INTEGER at ']'	выполнено
@Pause [2] ms		
@Send	line 2:6 missing TEXT at '<EOF>'	выполнено
@Pause [2] ms		
@Send @Pause [2] ms	line 2:6 mismatched input '@Pause' expecting TEXT	выполнено

Pause [2] ms

Set

Pause [0] ms

Ниже представлена спецификация для разработанного синтаксического анализатора и результаты выполнения тестов

В результате тестирования выявлено, что интерпретатор работает корректно.

# Заключение