САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Методы генерации тестовых сценариев на основе структурированных UCM-моделей проектируемой системы

Воинов Никита Владимирович

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

Научный руководитель: к.т.н., проф. кафедры ИУС, ФТК

Котляров Всеволод Павлович

Проблемная область

- Обеспечение качества программного обеспечения (ПО)

- Предотвращение ошибок на ранних этапах проекта
- Актуальность применения тестирования на основе моделей
- Ограниченная вовлеченность заказчика в контроль разработки

Требуется усовершенствование технологии для контролируемого заказчиком процесса получения тестовых сценариев на проектируемую систему

Актуальность исследования

Сложность применения формальных нотаций в инженерной практике.

Фундаментальные работы по использованию моделей в спецификации, верификации и тестировании программного обеспечения:

- Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. – верификация моделей программ
- Ершов А.П., Лавров С.С. – математические основы технологии программирования
- Липаев В.В., Петренко А.К. – подход к индустриальному тестированию и его автоматизации
- Карпов Ю.Г., Смелянский Р.Л. – метод проверки на моделях
- Боем Б. – экономика индустриального программного обеспечения
- Майерс Г. – искусство тестирования программного обеспечения

Составляют базис теорий программирования, тестирования и формальных методов, который необходимо расширять

Контроль на этапе дизайна системы

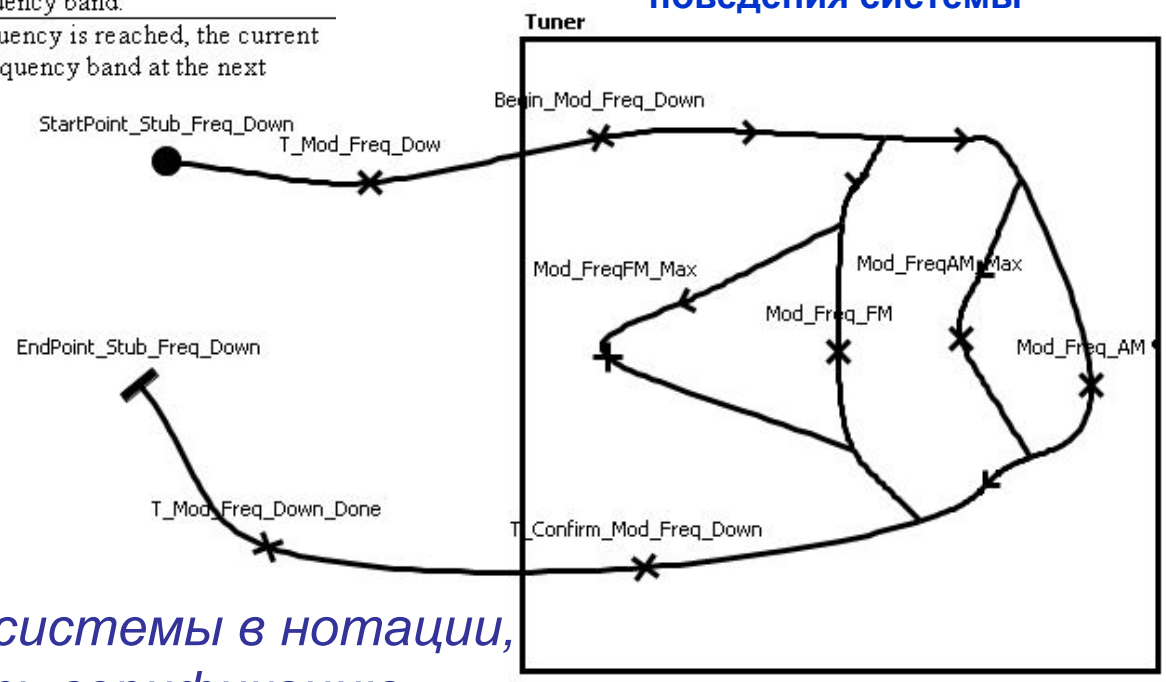
Исходные требования

4	Manual setting the frequency
RAD.10	The lower frequency bound of the FM band is 84.1 megahertz. The upper frequency bound of the FM band is 108.4 megahertz. The lower frequency bound of the AM band is 23.0 kilohertz. The upper frequency bound of the AM band is 80.0 kilohertz.
RAD.11	The minimal stride for changing the frequency in the FM band is 0.1 megahertz. The minimal stride for changing the frequency in the AM band is 0.5 kilohertz.
RAD.12	In the process of manual decreasing the frequency it is changed at the minimal stride for changing the frequency in the current frequency band.
RAD.13	After the lower frequency bound for the current frequency is reached, the current frequency is set to the upper bound of the current frequency band at the next frequency decrease.
RAD.14	In the process of manual increasing the frequency it is changed at the minimal stride for changing the frequency in the current frequency band.
RAD.15	After the upper frequency bound for the current frequency is reached, the current frequency is set to the lower bound of the current frequency band at the next frequency increase.

+ Форма представления поведения системы, понятная как заказчику, так и исполнителям проекта

+ Единая интерпретация требований

Высокоуровневое описание поведения системы



- Модель системы в подобной нотации не может быть проверена на корректность

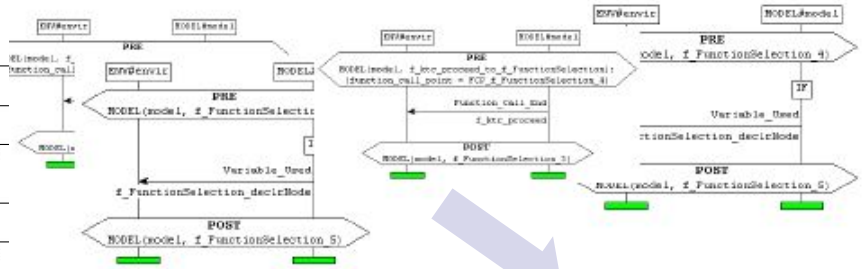
Необходима также модель системы в нотации, позволяющей проводить верификацию

Верифицируемая формальная модель

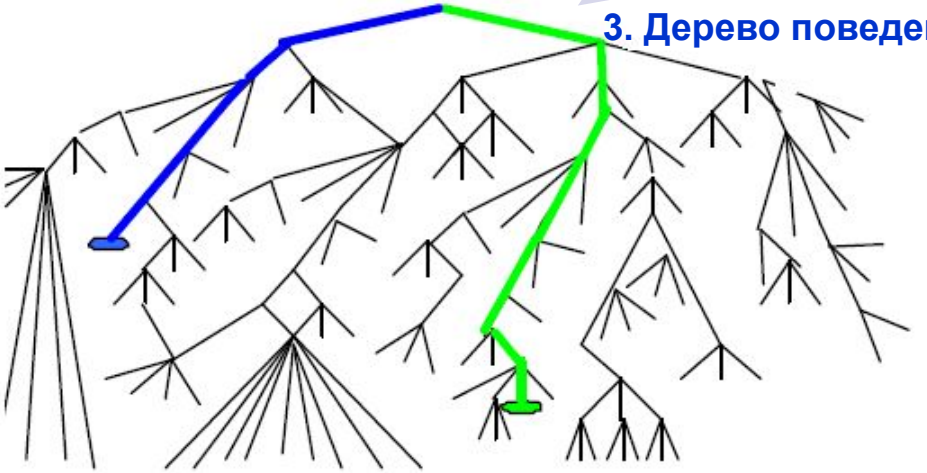
1. Исходные требования

4	Manual setting the frequency
RAD.10	The lower frequency bound of the FM band is 84.1 megahertz. The upper frequency bound of the FM band is 108.4 megahertz. The lower frequency bound of the AM band is 23.0 kilohertz. The upper frequency bound of the AM band is 80.0 kilohertz.
RAD.11	The minimal stride for changing the frequency in the FM band is 0.1 megahertz. The minimal stride for changing the frequency in the AM band is 0.5 kilohertz.
RAD.12	In the process of manual decreasing the frequency it is changed at the minimal stride for changing the frequency in the current frequency band.
RAD.13	After the lower frequency bound for the current frequency is reached, the current frequency is set to the upper bound of the current frequency band at the next frequency decrease.
RAD.14	In the process of manual increasing the frequency it is changed at the minimal stride for changing the frequency in the current frequency band.
RAD.15	After the upper frequency bound for the current frequency is reached, the current frequency is set to the lower bound of the current frequency band at the next frequency increase.

2. Базовые протоколы



3. Дерево поведения

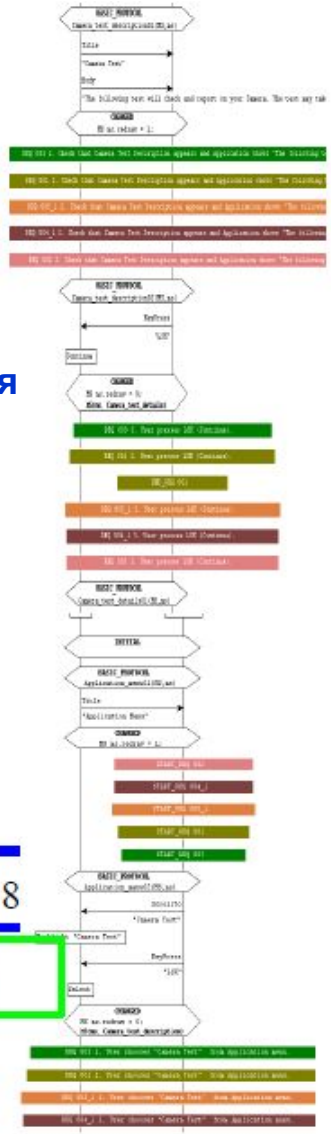


Применение двух формальных моделей в рамках единой технологической цепочки создания тестовых сценариев

$$s1 \xrightarrow{bp_1} s2 \xrightarrow{bp_3} s5 \xrightarrow{bp_7} s9 \xrightarrow{bp_{14}} s35 \xrightarrow{bp_{56}} s58$$

$$s1 \xrightarrow{bp_2} s3 \xrightarrow{bp_5} s4 \xrightarrow{bp_8} s13 \xrightarrow{bp_{21}} s22 \xrightarrow{bp_{34}} s49 \xrightarrow{bp_{59}} s62 \xrightarrow{bp_{61}} s75 \xrightarrow{bp_{64}} s81$$

4. Поведенческие сценарии – трассы и MSC



Цели и задачи исследования

Цель – сокращение трудоемкости процесса разработки тестовых сценариев путем применения высокоуровневых UCM-моделей, контролируемых заказчиком.

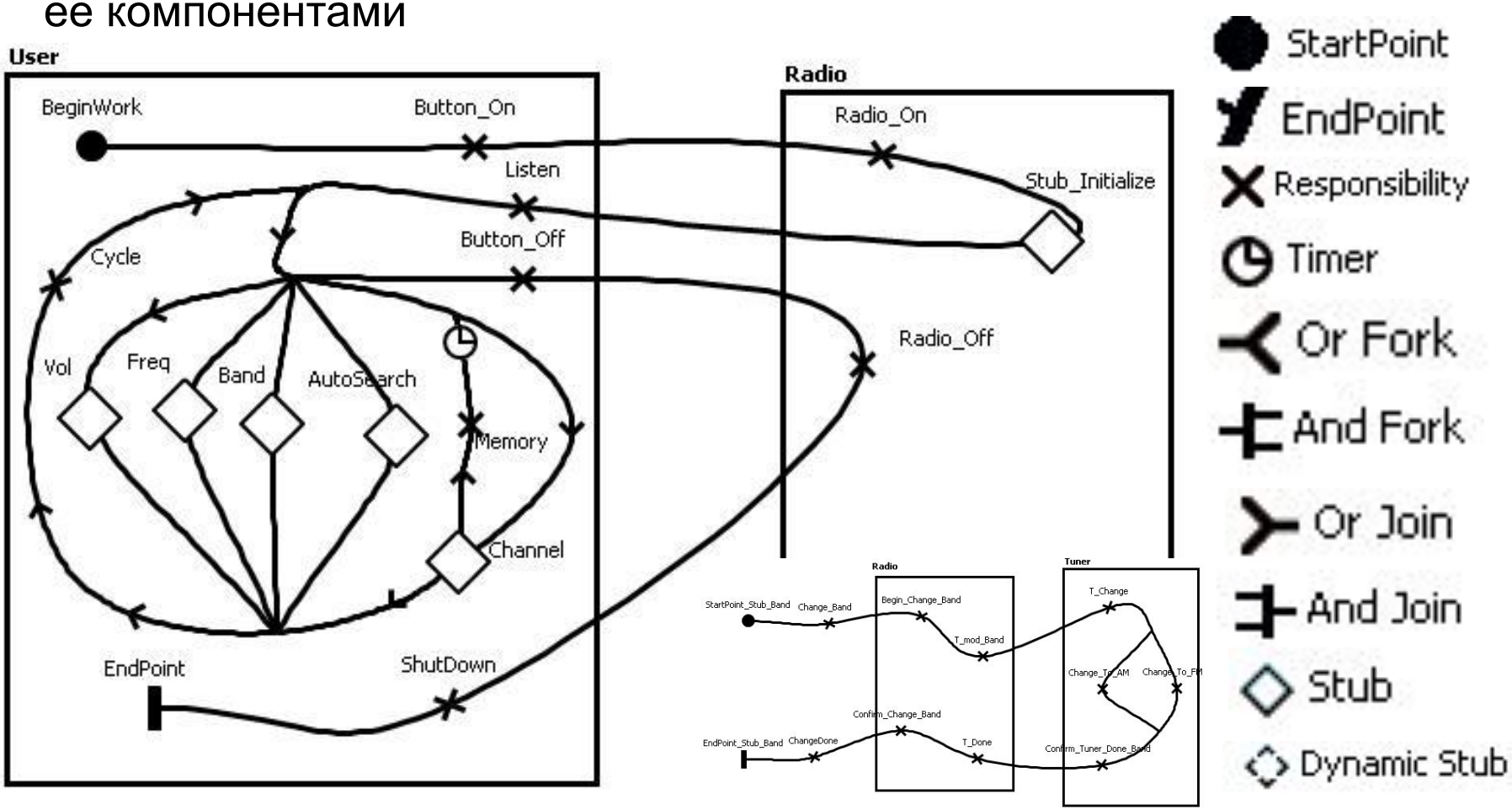
Задачи:

- обоснование использования UCM-нотации;
- обоснованный выбор базового инструментария для реализации;
- поиск наиболее трудоемких этапов процесса разработки тестовых сценариев;
- разработка методов и инструментов автоматизации выделенных этапов;
- интеграция разработанных методов и инструментов в процесс проверки качества разрабатываемого ПО.

Подход к реализации цели – автоматизация трудоемких этапов процесса разработки тестовых сценариев на основе UCM-модели

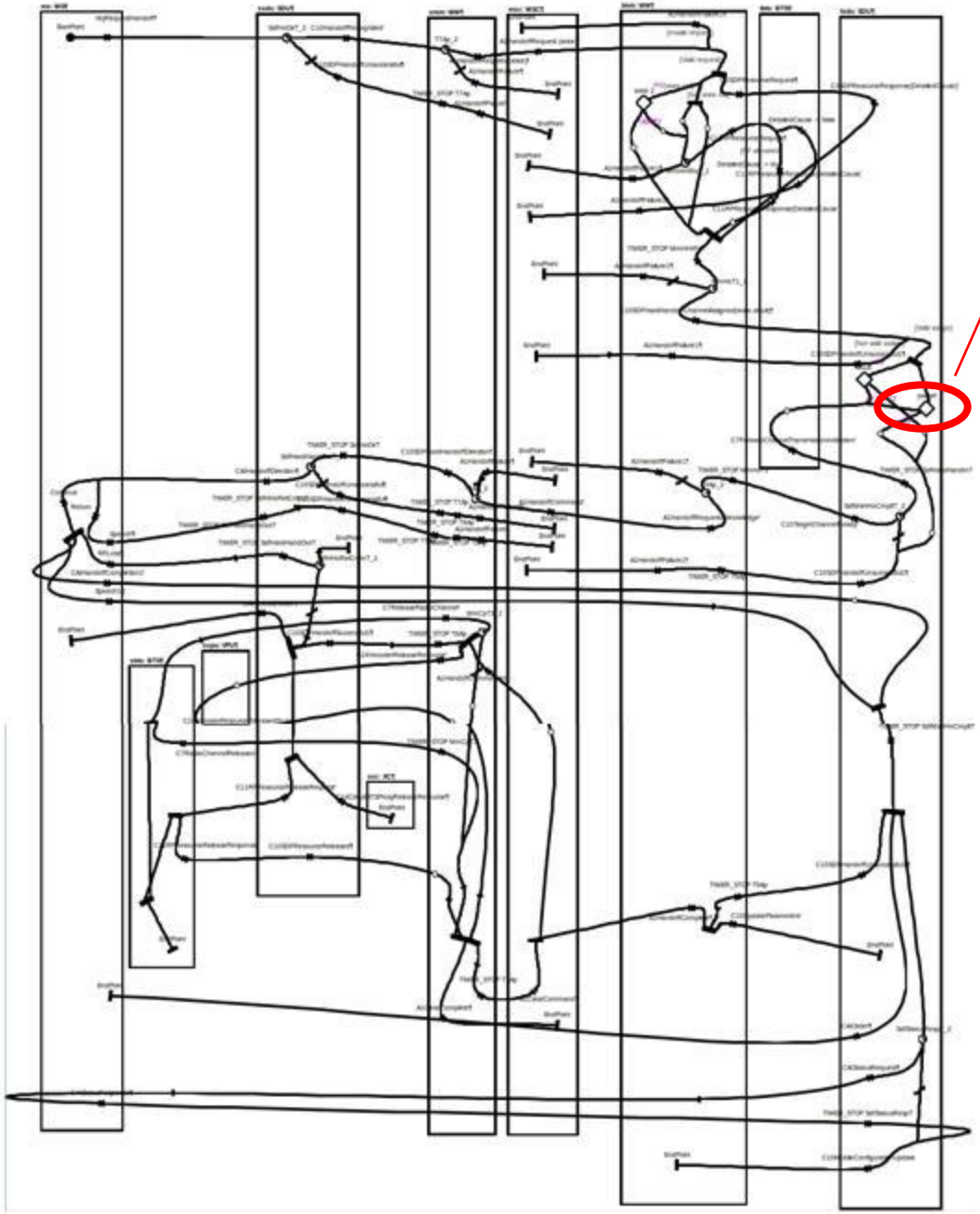
Нотация UCM (Use Case Maps)

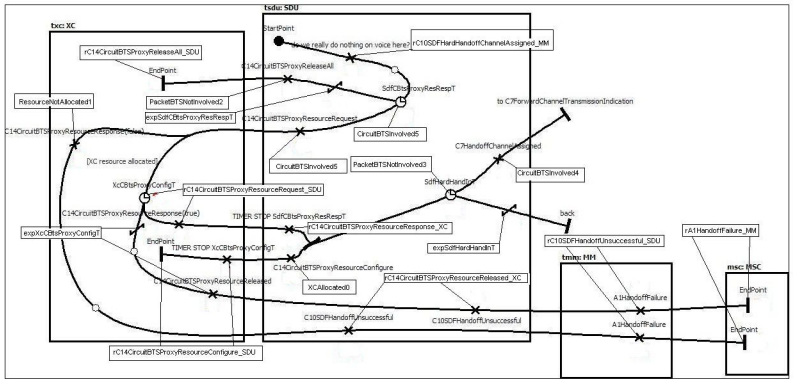
- UCM – последовательность событий, описывающих поведение системы
- Задается набором взаимодействующих между собой диаграмм
- Наглядное представление поведения системы и взаимодействий между ее компонентами



На сегодняшний день наиболее высокоуровневое описание проектируемой системы, сохраняющее при этом все сценарии ее поведения

Фрагмент UCM-модели компонента проекта CDMA





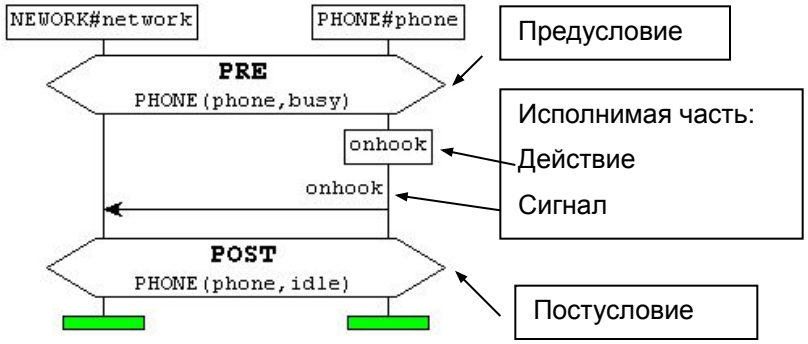
Всего в проекте порядка 9000 требований.

Характеристики компонента: 148 требований, 205 базовых протоколов, порядка 10^{13} сценариев поведения.

Нотация базовых протоколов

$\forall x(\alpha \rightarrow < P > \beta)$, α и β – пред- и постусловия, *P* – процесс
x – список типизированных параметров

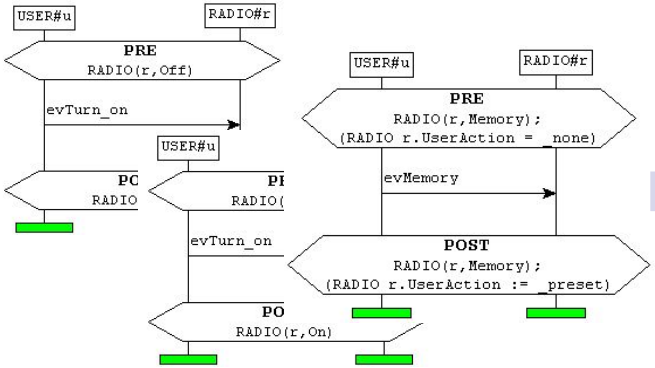
Базовый протокол -
элементарная MSC диаграмма:

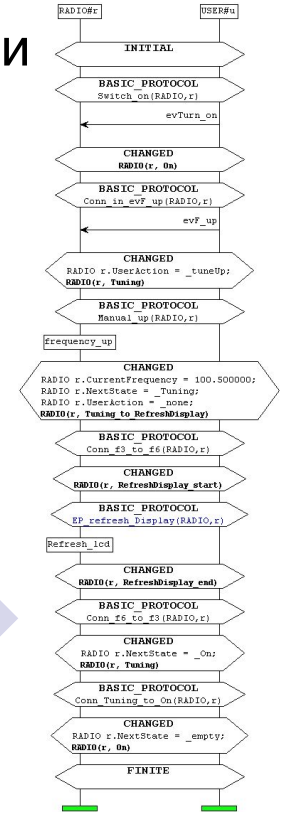


Основные функции VRS:

- проверка свойств требований
- проверка корректности поведения модели
- доказательство выполнимости требований в модели

Нотация базовых протоколов – входной язык системы верификации VRS





Взаимодополняемость формальных нотаций

	Преимущества	Недостатки
UCM	• близость к исходным требованиям • модель понятна для контроля и согласования с заказчиком • высокоуровневое описание архитектуры и поведения системы	отсутствие инструментальных средств проверки корректности модели и генерации тестовых сценариев
Базовые протоколы	• доказательство свойств модели и проверка корректности • автоматическое создание символических тестовых сценариев • определение областей допустимых значений	большая трудоемкость формализации и сложность согласования с заказчиком

Недостатки одной нотации устраняются использованием другой.
Эффективно совместное использование нотаций

Уточнение цели и задач исследования

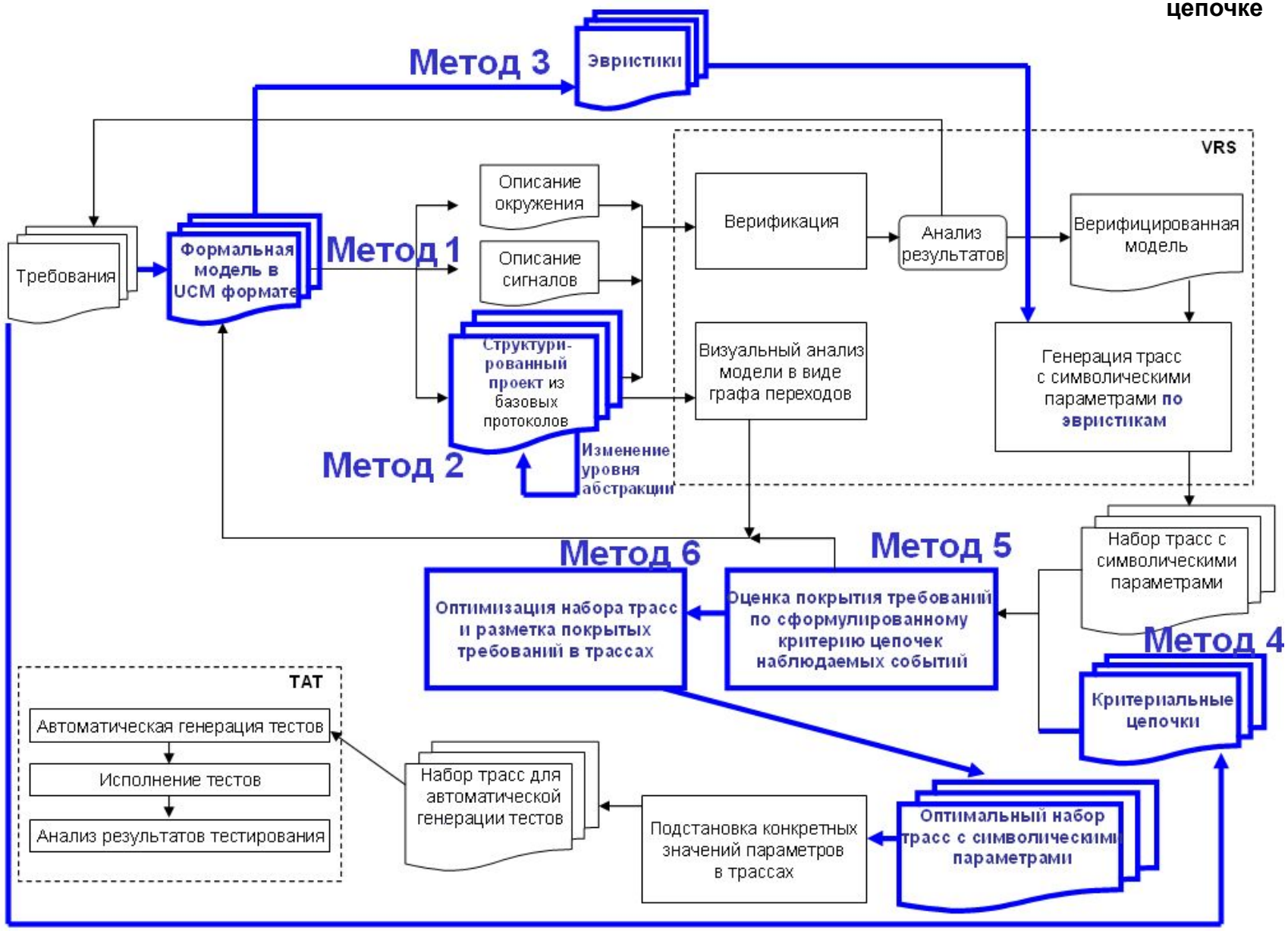
Цель – сокращение трудоемкости процесса разработки тестовых сценариев путем применения высокоуровневых UCM-моделей, контролируемых заказчиком. **Сокращение трудоемкости осуществляется автоматизацией:**

- **преобразования UCM-моделей в модели базовых протоколов;**
- **структурирования модели базовых протоколов;**
- **направленного поиска определенных сценариев поведения модели;**
- **отслеживания соответствия между требованиями и элементами модели;**
- **поиска покрытия требований полученными тестовыми сценариями.**

Задачи:

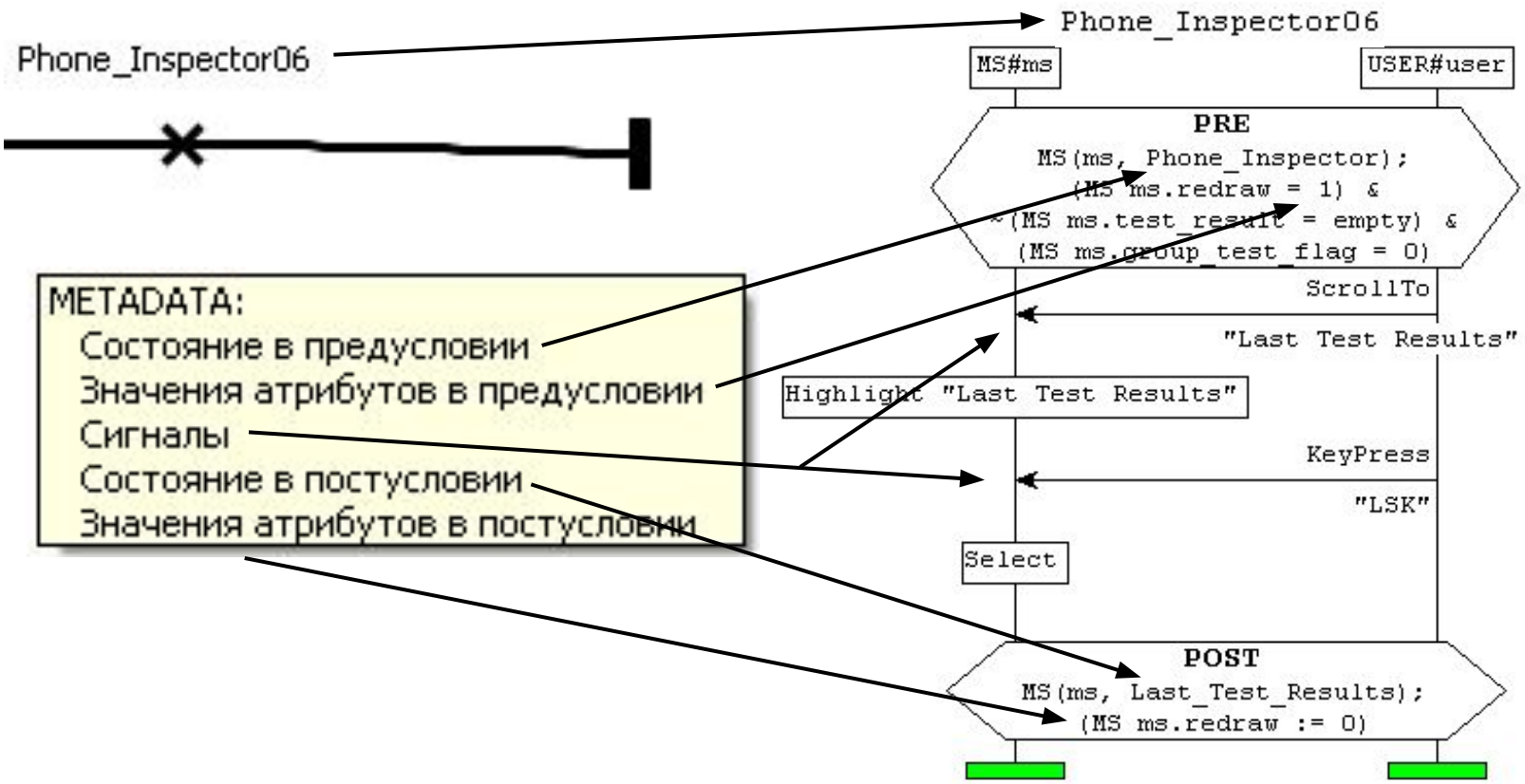
- **разработка методов и инструментов автоматической трансляции высокоуровневой UCM-модели в формальную нотацию, используемую VRS/TAT;**
- **разработка методов структурирования формальной модели;**
- **разработка методов отслеживания соответствия между требованиями и элементами модели;**
- **разработка методов и инструментальных средств построения тестовых сценариев на основе анализа формальной модели;**
- интеграция разработанного подхода в процесс проверки качества разрабатываемого ПО **средствами VRS/TAT**;
- **применение и проверка работоспособности предложенных методов и инструментальных средств в составе технологической цепочки VRS/TAT в крупных промышленных телекоммуникационных проектах**.

Интеграция разработанных методов в технологическую цепочку VRS/TAT



Метод 1 - автоматическое создания формальной модели базовых протоколов по нотации UCM

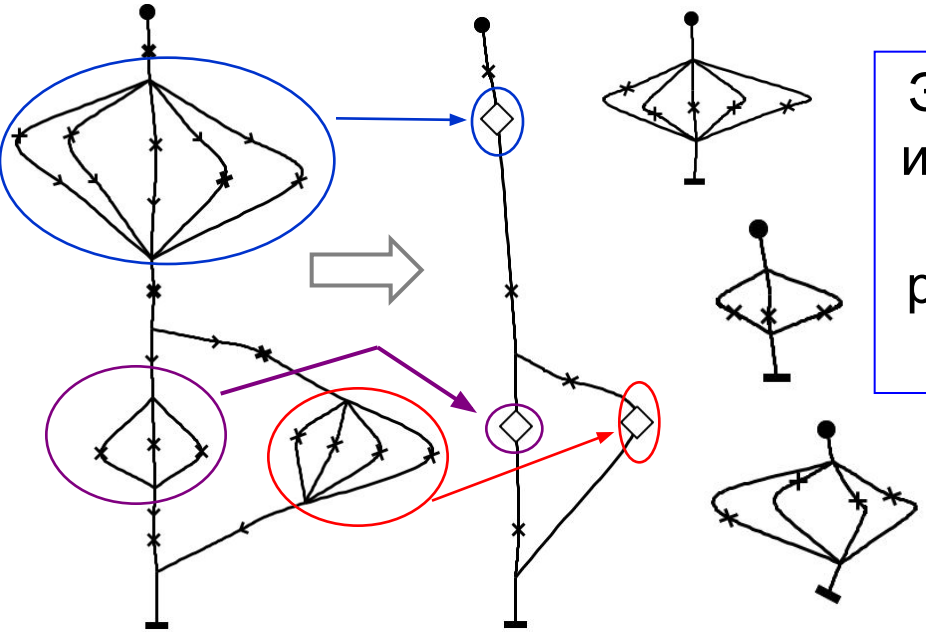
- преобразование компонентов и элементов UCM в базовые протоколы;
- использование полей метаданных для детализации поведения.



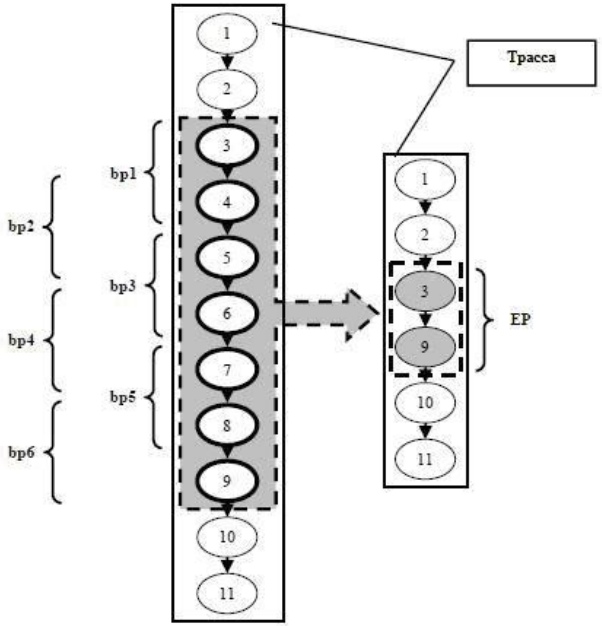
Автоматическое создание формальной модели в виде набора базовых протоколов

Метод 2 - структурирование формальной модели

Преобразование UCM модели, факторизованной элементами Stub, в модель базовых протоколов, факторизованную расширенными протоколами, их интерпретирующими.



Элемент Stub интерпретируется как расширенный протокол.



Элемент Stub – механизм структурирования диаграмм

Расширенный протокол заменяет последовательность базовых протоколов

$$\forall DIAG_i \in S_PROJ, DIR_{DIAG_i} = CREATE_DIR(DIAG_i), DIR_{DIAG_i} \in T_PROJ$$

$$\forall DIR_{DIAG_i} \in T_PROJ, DIR_{DIAG_EP_i} = CREATE_DIR(DIAG_EP_i), DIR_{DIAG_EP_i} \in T_PROJ$$

$$\forall DIR_{DIAG_i} \in T_PROJ, DIR_{DIAG_CONN_i} = CREATE_DIR(DIAG_CONN_i), DIR_{DIAG_CONN_i} \in T_PROJ$$

Покомпонентный анализ поведения модели

Сокращение времени генерации тестовых сценариев

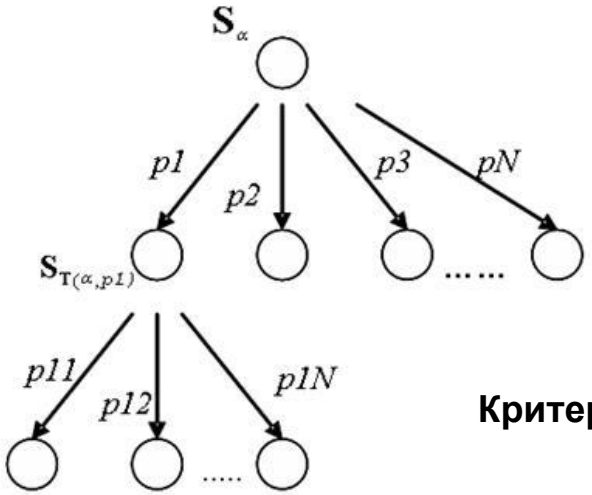
Уравнение А.А.Летичевского:

$$\mathbf{S}_\alpha = \sum_{p \in P^1(\alpha)} \mathbf{proc}(p) * (\mathbf{T}(\alpha, p) : \Delta) * \mathbf{S}_{\mathbf{T}(\alpha,p)} + \sum_{p \in P^0(\alpha)} \mathbf{proc}(p) * (\mathbf{T}(\alpha, p) : \Delta) * (\mathbf{S}_{\mathbf{T}(\alpha,p)} + \Delta)$$

$\mathbf{proc}(p)$ – процесс базового протокола $\mathbf{post}(p)$ – постусловие

$\mathbf{T}(\alpha, p) = \mathbf{Tr}(\alpha, \mathbf{post}(p))$ – предикатный трансформер

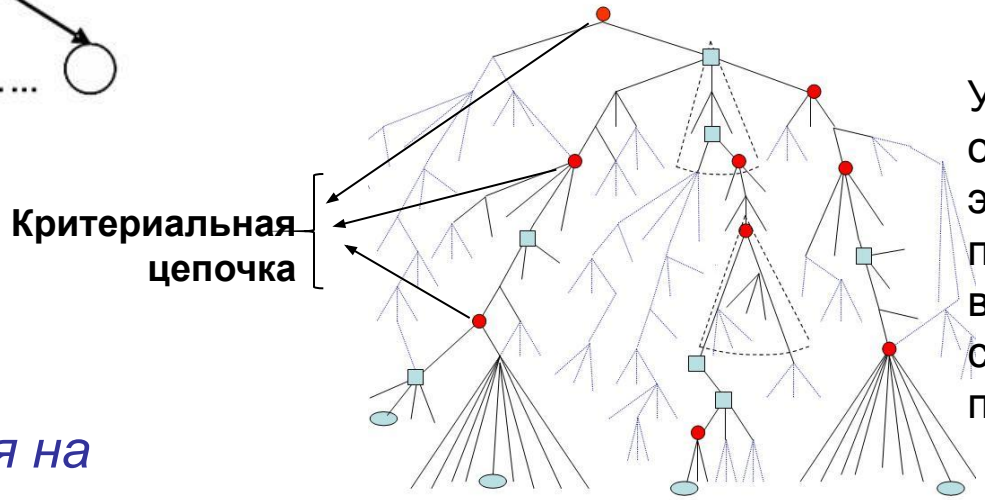
Графическая интерпретация:



Если L - высота дерева поведения , N – кол-во базовых протоколов, на каждом шаге может примениться любой, то общее количество трасс $\mathbf{N}^{\mathbf{L}}$

Экспоненциальный взрыв числа состояний!

Применение эвристик:



Указание определенных элементов дерева поведения для включения в тестовый сценарий сокращает пространство поиска:

$$N_0^{k_1} + N_1^{k_2-k_1} + N_2^{k_3-k_2} + \ldots + N_i^{L-k_i}, k_i \le L, N_i < N$$

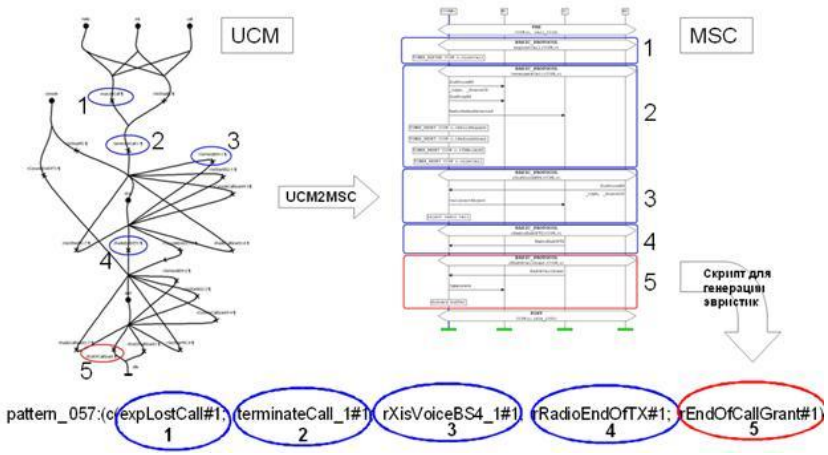
Эвристики сокращают время на получение важных трасс

Метод 3 - автоматическое создание эвристик

1) Создание эвристик по набору MSC-диаграмм:

$$\forall MSC_i \in MSC_DIR_j, GUIDE_{MSC_i} = CREATE_GUIDE(MSC_i),$$

$$GUIDE_{MSC_i} \in GUIDES_FILE_{MSC_DIR_j}$$

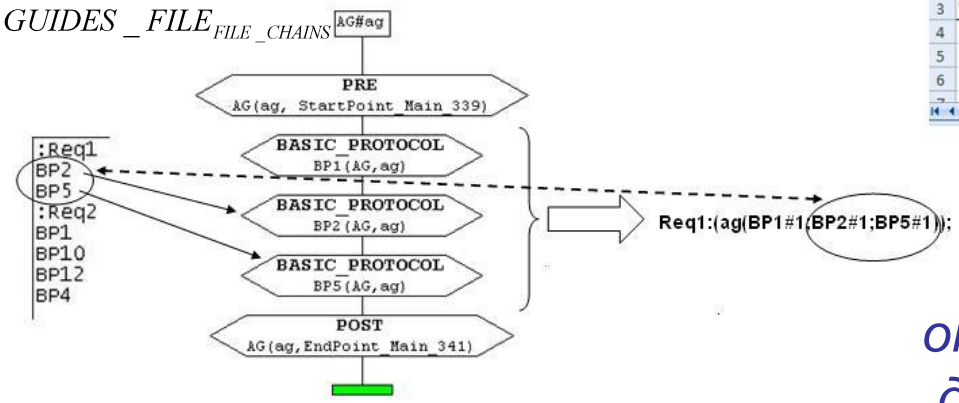


2) Создание эвристик по набору MSC-диаграмм и критериальным цепочкам:

$$\forall CHAIN_i \in FILE_CHAINS : IF(CHAIN_i \in \{MSC_i, ..., MSC_j\}),$$

$$THEN(GUIDE_{CHAIN_i} = CREATE_GUIDE(CHAIN_i)),$$

$$GUIDE_{CHAIN_i} \in GUIDES_FILE_{FILE_CHAINS}$$



3) Инкрементальный метод создания эвристик:

$$\forall ID, ID \in \text{int}:$$

$$IF(DEFINED(\{MSC_i, ..., MSC_j\}_{ID} \in \{UCM_k, ..., UCM_l\}),$$

$$\{UCM_k, ...UCM_l\} \in S_PROJ),$$

$$THEN(\exists GUIDE_{ID} : CHAIN_{\{MSC_i, ..., MSC_j\}_{ID}} \in GUIDE_{ID})$$

	A	B	C	D
1	Behavior	Heuristic ID	Reference	Name of corresponding MSC diagram
2	Включение и инициализация радио		Stub_Initialize	Main_MSC1
3	Изменение громкости	1	Vol	Main_MSC2
4	Изменение частоты		Freq	Main_MSC3
5	Переключение диапазона		Band	Main_MSC4
6	Автопоиск станций		AutoSearch	Main_MSC5
7	Занесение станции в память радио		Chanel	Main_MSC6
8	Выключение радио			Main_MSC7
9				
10				

Main | Vol | Freq | Band | Autosearch | Chanel

	A	B	C	D
1	Behavior	Heuristic ID	Reference	Name of corresponding MSC diagram
2	Увеличение громкости	1		Vol_MSC1
3	Уменьшение громкости			Vol_MSC2
4				
5				
6				

Main | Vol | Freq | Band | Autosearch | Chanel

Гибкая настройка направленного поиска определенных сценариев в дереве поведения модели

Метод 4 – отслеживание соответствия между требованиями и элементами модели

- формулировка последовательности наблюдаемых событий в строгом порядок исполнения;
- формулировка цепочек базовых протоколов;
- отслеживание соответствия между событиями, характеризующими требования в терминах исходных спецификаций, доступных заказчику, и элементами модели (базовыми протоколами):

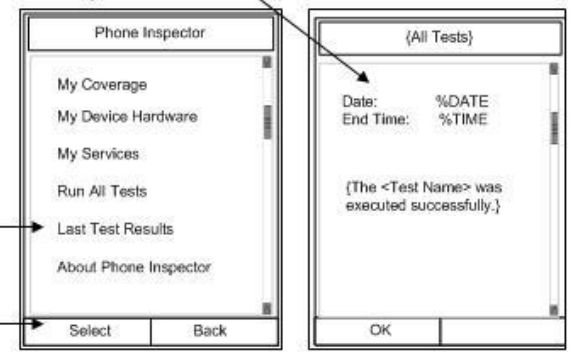
$$\forall REQ_i \in REQ_BOOK:$$
$$\forall EVENT_j \in REQ_i, \exists BP_j \in BP_PROJ$$

Метод реализован с помощью матрицы отслеживания:

Identifier	Requirements	Scenario of requirements	Scenario ID	Traceability	Traces
Req_1984-177	Через меню приложения должны быть доступны результаты последнего теста.	scn#005 1. Пользователь выбирает пункт "Результаты последнего теста" (Last Test Results) из меню приложения. 2. Пользователь нажимает левую функциональную клавишу "Выбрать" (Select). 3. Проверить, что на экране появились результаты последнего теста.	scn#005	:Req_1984-177 Phone_Inspector06 Last_Test_Results01_1	

Последовательность БП

Критериальная цепочка



Связь между тестовыми сценариями и требованиями; идентификация покрытых и непокрытых требований

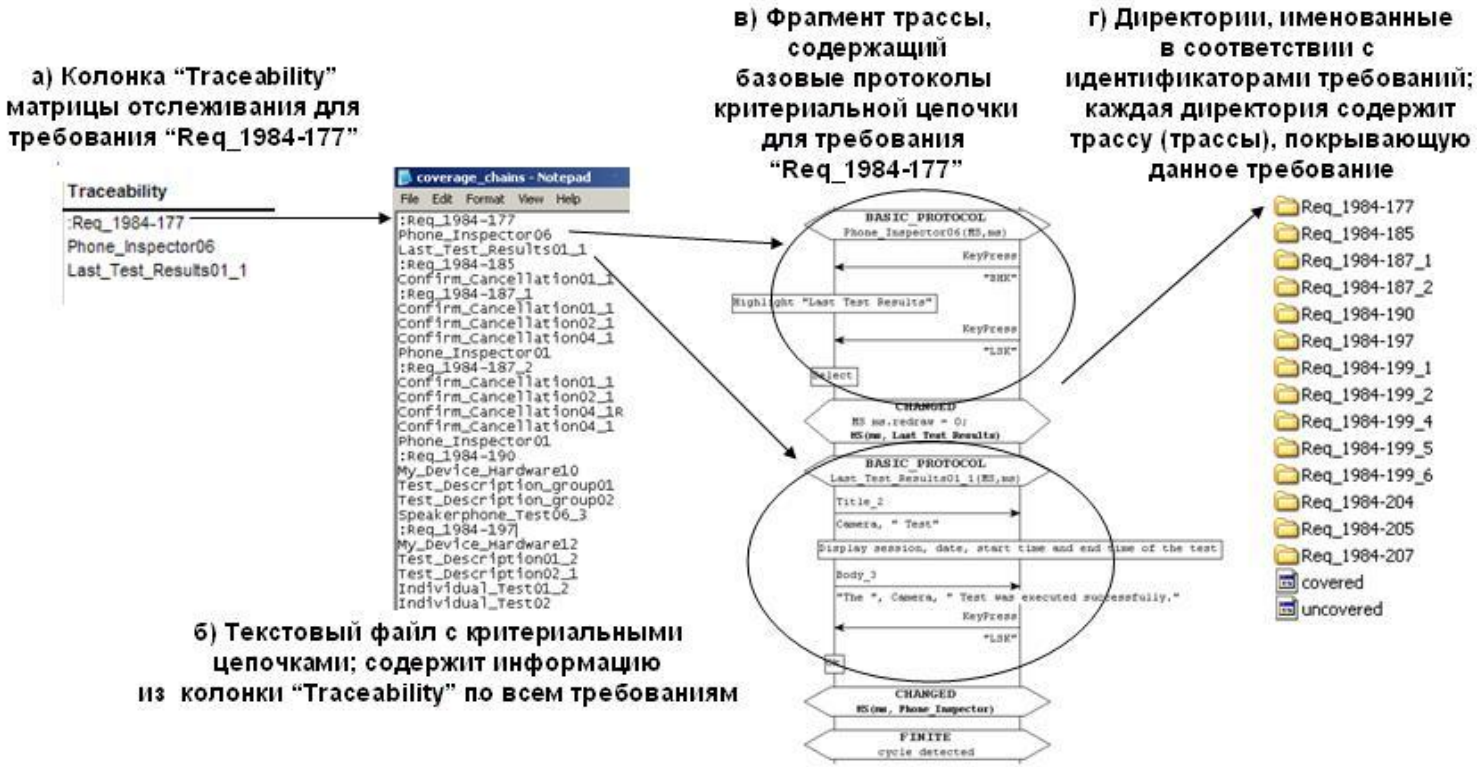
Метод 5 - поиск покрытия требований в соответствии с критерием цепочек наблюдаемых событий

поиск последовательностей базовых протоколов, описывающих требования, в сгенерированных трассах:

$$\forall CHAIN_i \in FILE_CHAINS, \forall TRACE_j \in TRACES:$$

$$IF(CHAIN_i \in TRACE_j), THEN(REQ_{CHAIN_i} = COVERED_{TRACE_j}),$$

$$IF(CHAIN_i \notin TRACES), THEN(REQ_{CHAIN_i} = \mathrm{UN}COVERED_{TRACES})$$



Определение степени покрытия требований набором тестовых сценариев

Метод 6 – сокращение тестового набора

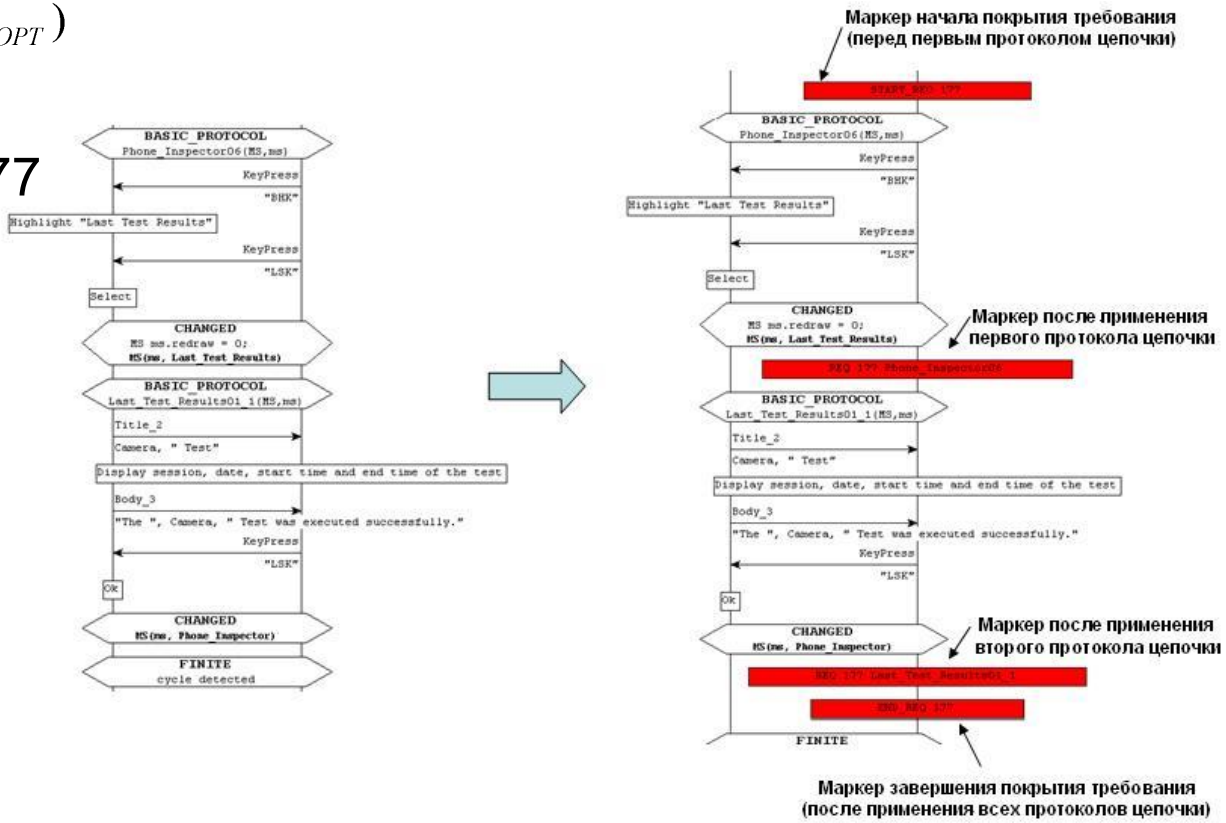
Выявление минимального количества тестовых сценариев из всех сгенерированных, покрывающего при этом все требования, покрытые исходным сгенерированным набором сценариев:

$$\forall TRACE_i, TRACE_j \in TRACES:$$

$$IF((REQ_{TRACE_i}^{COVERED} \subset REQ_{TRACE_j}^{COVERED}) \wedge (TRACE_j > TRACE_i))$$

$$THEN(TRACE_i \notin TRACES_{OPT})$$

Разметка покрытого требования Req_1984-177 в минимальном наборе трасс:



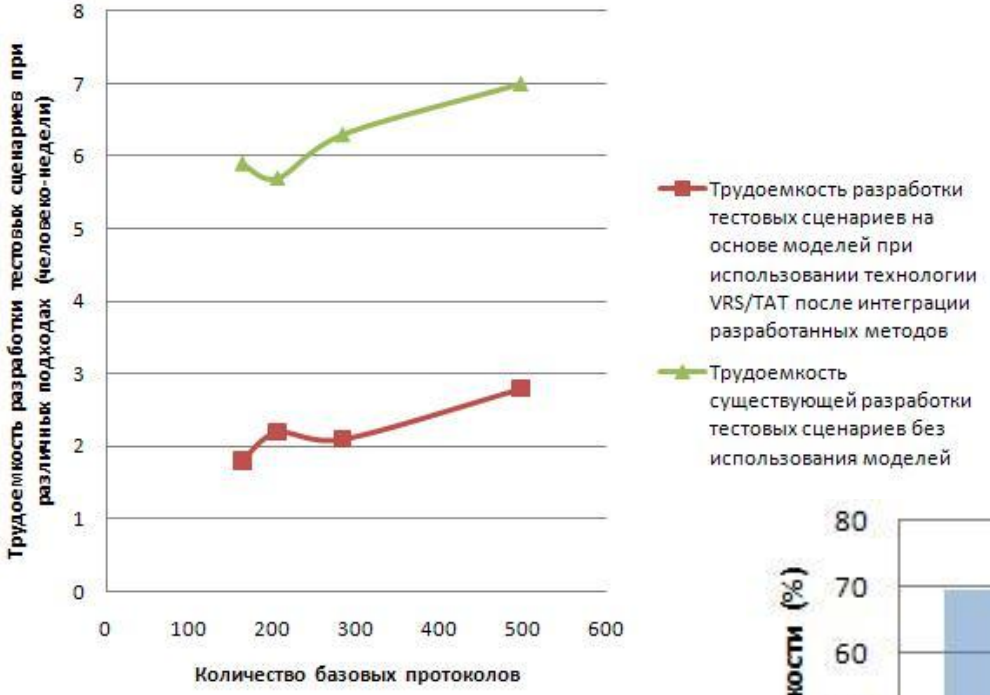
Сокращение итогового числа тестовых сценариев

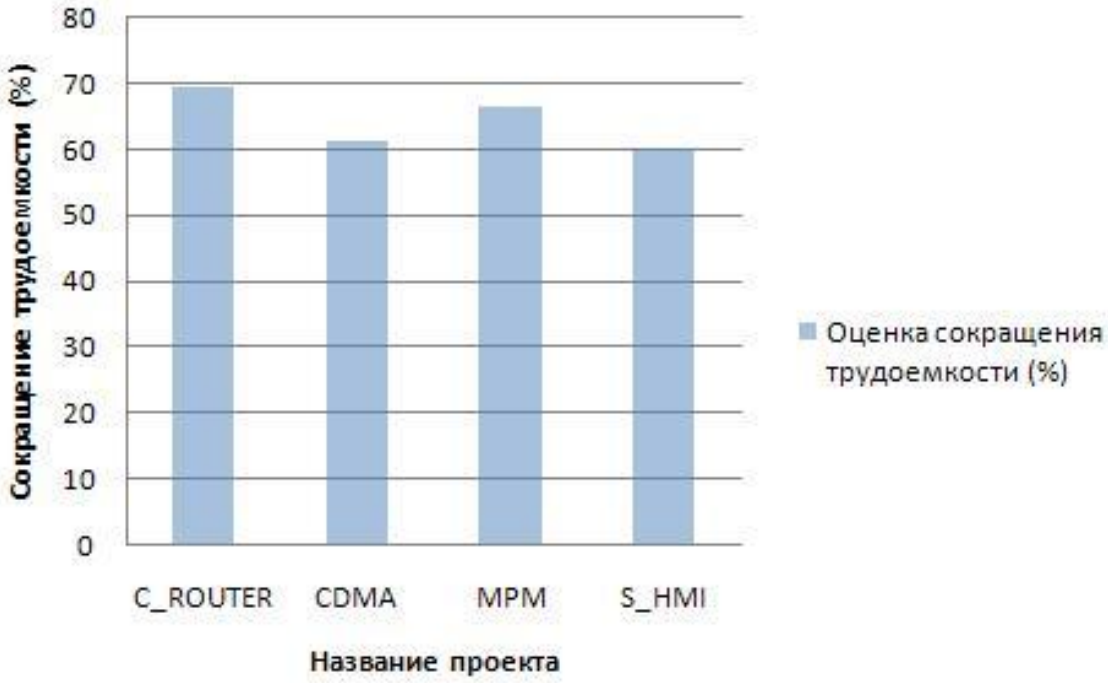
Применение разработанных методов

Проекты:

- базовая станция системы, реализующей технологию **CDMA;** характеристики модуля: 148 требований, 205 базовых протоколов, порядка 10^{13} возможных сценариев поведения; всего в проекте порядка 9,000 требований;
- **C_ROUTER** – компонент телекоммуникационной сети, связывающий базовые станции с администратором базовых станций; характеристики компонента:107 требований, 163 протоколов, порядка 10^{8} возможных сценариев поведения; всего в проекте порядка 5,000 требований;
- модуль **MPM**, решающий проблему совместимости между интерфейсами модемов и контроллера станции приемопередатчика, в рамках проекта WiMAX; характеристики модуля: 51, 283, 10^{10}; всего в проекте порядка 12,000 требований;
- **S_HMI** – проект электронного табло в кабине машиниста поезда метрополитена (57, 497,10^{12}); всего в проекте порядка 240 требований

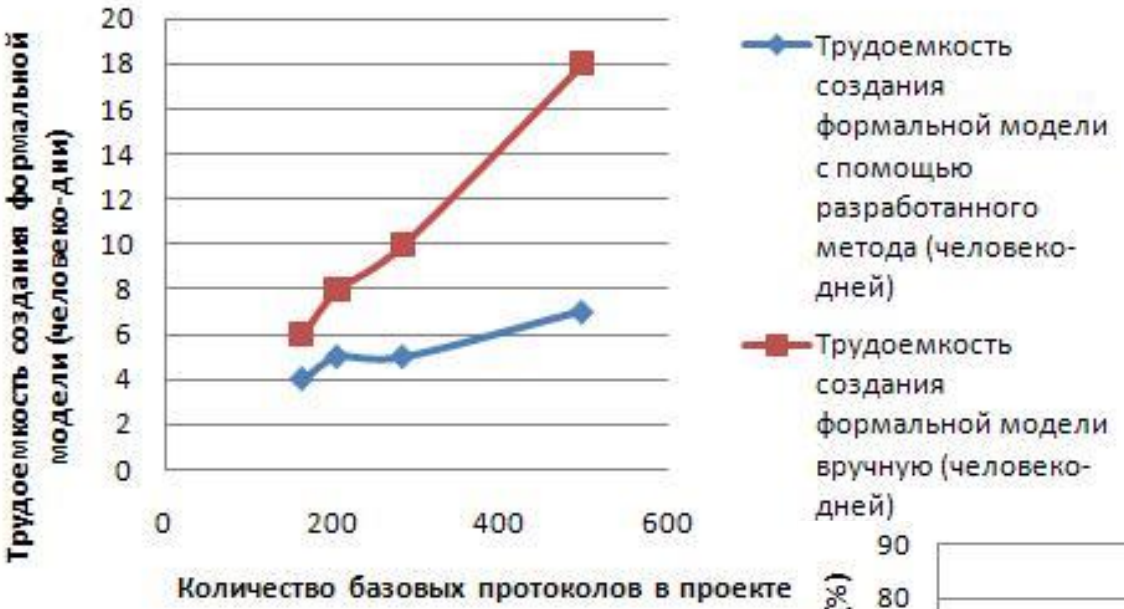
Анализ результатов применения. Общее сокращение трудоемкости

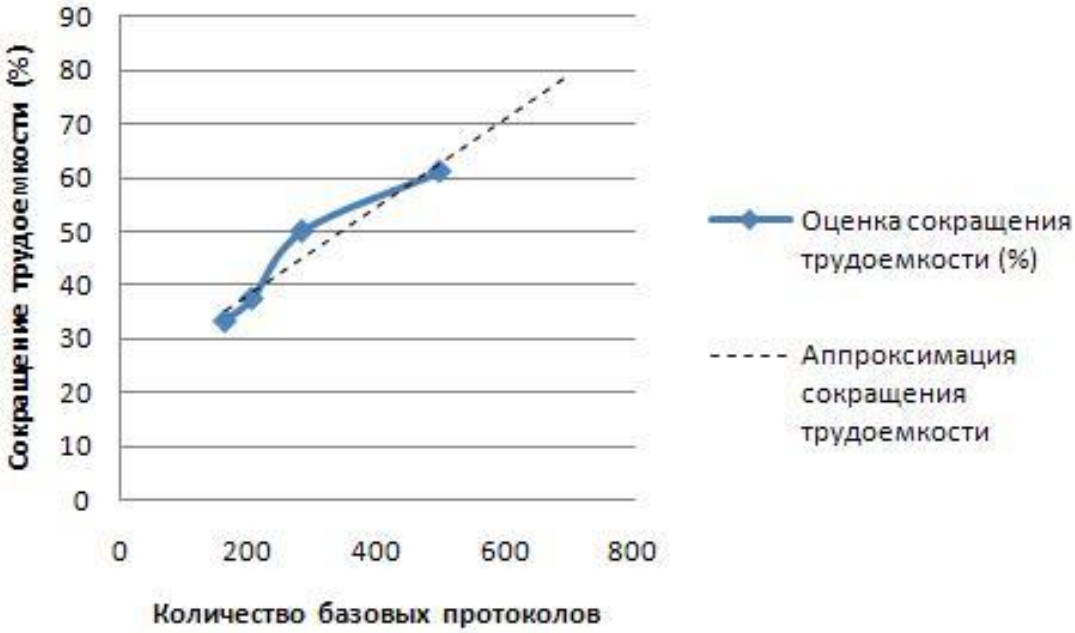




60%-ное сокращение трудоемкости по сравнению с ручным подходом к созданию тестов без использования моделей

Анализ результатов применения. Сокращение трудоемкости создания формальной модели





В среднем 45%-ное сокращение трудоемкости создания формальной модели базовых протоколов

Заключение

- Впервые в рамках технологической цепочки VRS/TAT применен подход, состоящий в использовании двух формальных моделей
- Выявлены преимущества UCM формализации для эффективного взаимодействия с заказчиком и сокращения трудозатрат
- Разработаны, реализованы и интегрированы в технологию VRS/TAT 6 методов ее усовершенствования
- Разработанные методы испытаны в 4-х крупных телекоммуникационных проектах
- Получены оценки применения этих методов в промышленных проектах на основе анализа результатов применения
- Достигнуто 60%-ное сокращение трудоемкости по сравнению с ручным подходом к созданию тестов

На защиту выносятся:

1. Обоснование применения двух формальных моделей: в высокоуровневой нотации UCM и в нотации базовых протоколов.
2. 6 методов усовершенствования технологии VRS/TAT:
   1) автоматическое построение модели базовых протоколов;
   2) структурирование модели базовых протоколов;
   3) автоматическое создание эвристик;
   4) отслеживание соответствия между требованиями и элементами модели;
   5) поиск покрытия требований в соответствии с критерием цепочек наблюдаемых событий;
   6) сокращение набора тестовых сценариев.
3. Программная реализация разработанных методов (≈12,5 KLOC на языках Perl и Java).
4. Результаты пилотирования разработанных методов и инструментальных средств в 4-х промышленных проектах, подтвердившие их преимущества.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Сравнение инструментов тестирования на основе моделей. Покрытие элементов графа поведения модели

+	поддерживается	-	не поддерживается
+/-	поддерживается частично		

Название	Катего-рия	Состоя-ния модели	Заданное подмн-во переходов	Все пе-реходы*	Парал. переходы	Пользователь-ские сценарии
AGEDIS	бесплатн.	+	+	-	-	+/-
GOTCHA-TCBeans	коммерч.	+/-	+/-	-	-	+/-
Mbt	бесплатн.	+	+	-	-	+/-
MOTES	бесплатн.	+	+	+	-	+
ParTeG	бесплатн.	+	+	-	-	-
Qtronic	коммерч.	+	+	+	+	-
Spec Explorer	коммерч.	-	+	-	-	-
Test Designer	коммерч.	+	+	+	-	-
TestOptimal	коммерч.	+	+	-	-	+
UniTESK	коммерч.	+	+	+	+	+
VRS/TAT	коммерч.	+	+	+	+	+

Покрытие значений переменных и отслеживание требований

+ поддерживается - не поддерживается

Название	Категория	Покрытие конкретных значений	Покрытие диапазона значений	Покрытие приграничн. значений	Отслежи-вание требований
AGEDIS	бесплатн.	-	-	-	-
GOTCHA-TCBeans	коммерч.	-	-	-	-
mbt	бесплатн.	-	-	-	+
MOTES	бесплатн.	-	-	-	-
ParTeG	бесплатн.	-	-	-	-
Qtronic	коммерч.	-	-	+	+
Spec Explorer	коммерч.	+	+	+	+
Test Designer	коммерч.	+	+	+	+
TestOptimal	коммерч.	-	-	-	-
UniTESK	коммерч.	+	+	+	+
VRS/TAT	коммерч.	+	+	+	-

Поддерживаемая функциональность

+ поддерживается - не поддерживается

Название	Формаль-ная нотация	Созда-ние модели	Верифи кация модели	Структу рир-е модели	Генера-ция тестов	Исполне-ние тестов	Язык целевой платформы
AGEDIS	UML	-	-	-	+	+	C/C++, Java
GOTCHA-TC Beans	FSM	-	-	-	+	+	C/C++, Java
mbt	FSM/EFSM	-	-	+	+	-	любой
MOTES	EFSM	-	-	-	+	-	любой
ParTeG	UML	-	-	-	+	-	Java
Qtronic	UML	+	+	-	+	-	любой
Spec Explorer	FSM	-	+	+	+	+	любой
Test Designer	UML	-	+	+	+	-	любой
TestOptimal	FSM	+	+	+	+	-	любой
UniTESK	FSM	+	-	-	+	+	C, C#, Java
VRS/TAT	MSC	+	+	-	+	+	любой

Создание среды тестирования

+	поддерживается	-	не поддерживается
+/-	поддерживается частично		

Название	Тестовый “адаптер”	Тестовый “оракул”	Тестовое окружение	Online тестирование	Offline тестирование
AGEDIS	+/-	+/-	-	-	+
GOTCHA-TCBeans	+/-	+/-	-	+	+
mbt	+/-	+/-	-	+/-	-
MOTES	-	+/-	-	-	-
ParTeG	+	+	-	-	-
Qtronic	-	+/-	-	-	-
Spec Explorer	+/-	+/-	-	-	+
Test Designer	-	-	-	-	-
TestOptimal	+/-	+/-	-	-	-
UniTESK	+	+	-	-	+
VRS/TAT	+	+	+	-	+

Результаты сравнения инструментов тестирования на основе моделей

Название	Произво-дитель	Кол-во удов-летворяемых критериев
VRS/TAT	Motorola	17
UniTESK	ИСП РАН	15
Spec Explorer	Microsoft	12
Test Designer	Smartesting	11
Qtronic	Conformiq Inc	10,5
TestOptimal	TestOptimal	9
mbt	open source	8
AGEDIS	IBM	6,5
GOTCHA-TCBeans	IBM	6,5
MOTES	Elvior LLC	6,5
ParTeG	open source	5

- В инструментах не применяются высокоуровневые формальные нотации
- Инструментарий VRS/TAT функционально наиболее полон
- Технология VRS/TAT имеет ряд ограничений

VRS/TAT – базовый инструментарий для реализации цели. Но требуется устранение некоторых ограничений

Ограничения и недостатки существующей технологии VRS/TAT

1 – трудоемкая ручная формализация модели базовых протоколов; модель сложна для согласования с заказчиком

2 – отсутствие структурирования модели; сложность работы с крупными проектами

3 – генерация трасс по всему дереву поведения модели; большое количество ненужных трасс и длительное время генерации

4 – не отслеживается соответствие между требованиями и элементами модели; отсутствует контроль покрытия требований

Результаты применения разработанных методов

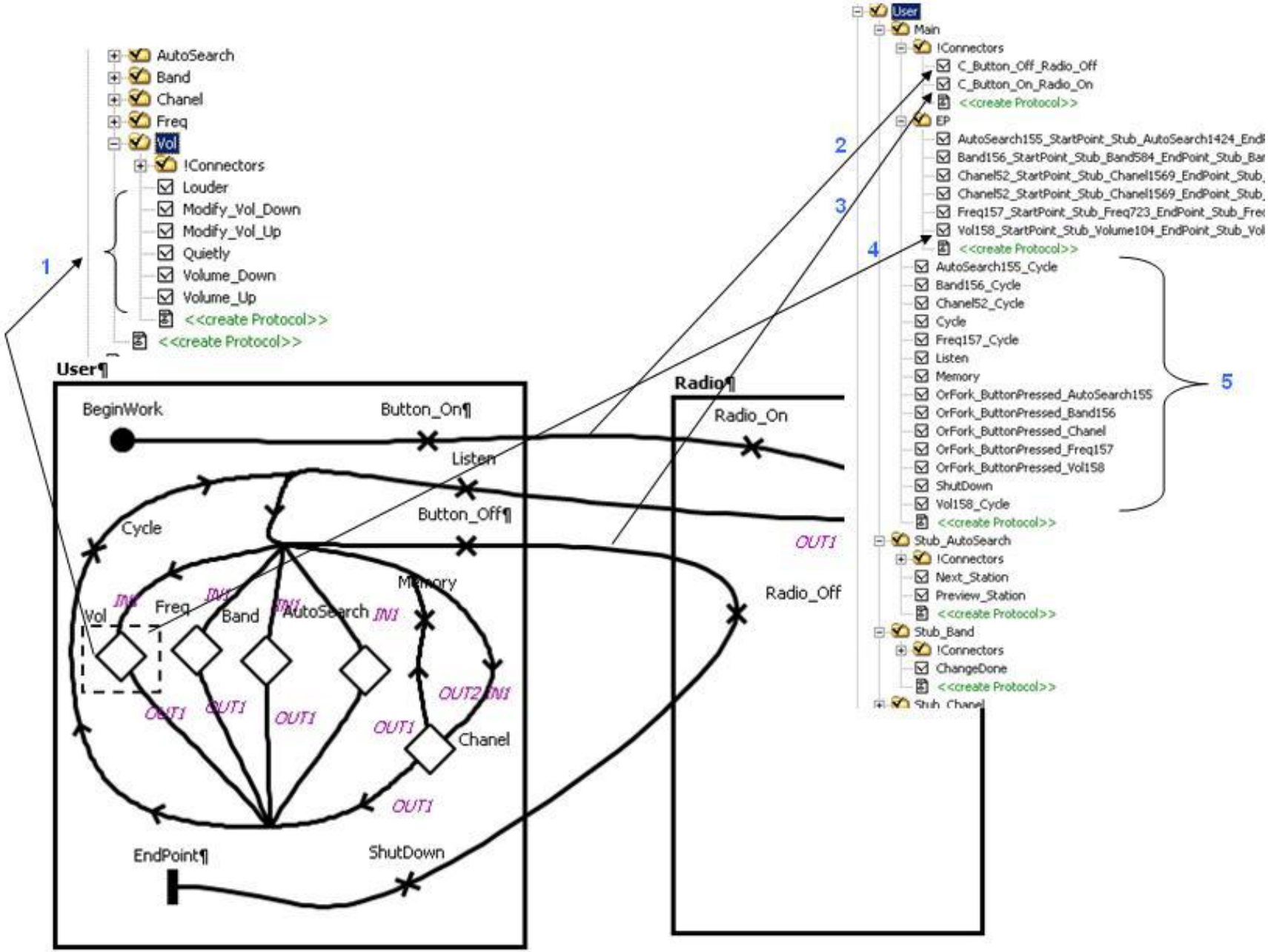
1 – Трудоемкость тестирования на основе моделей при использовании технологии VRS/TAT после интеграции разработанных методов (человеко-недель);
2 – Трудоемкость ручной разработки тестов без использования моделей (человеко-недель);
3 – Трудоемкость создания формальной UCM-модели и генерации модели базовых протоколов с помощью разработанного метода (человеко-дней);
4 – Трудоемкость создания формальной модели базовых протоколов вручную (человеко-дней);
5 – Кол-во трасс, покрывающих требования;
6 – Оптимизированный набор трасс

Проект	1	2	Оценка сокращения трудоемкости (%)	3	4	Оценка сокращения трудоемкости (%)	5	6	Оценка сокращения набора трасс (%)
C_ROUTER	1,8	5,9	69	4	6	33	113	49	56
CDMA	2,2	5,7	61	5	8	37	163	26	84
MPM	2,1	6,3	67	5	10	50	51	51	0
S_HMI	2,8	7	60	7	18	61	223	195	12

Сравнение формальных нотаций

Критерии	UCM	UML	SDL	MSC
Описание архитектуры системы	+	+	+	-
Высокоуровневое описание поведения	+	+	+	+
Прозрачность и доступность описания	+	-	-	-
Бесплатная инструментальная поддержка	+	-	-	-

Пример структурирования модели



Список публикаций по теме диссертации

1. Воинов Н.В., Котляров В.П. Верификация и автоматизация тестирования UML-проектов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 3 (80). СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2009. – С. 220-225. (издание из перечня ВАК)

2. Воинов Н.В., Котляров В.П. Применение метода эвристик для создания оптимального набора тестовых сценариев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 4 (103). СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2010. – С. 169-174. (издание из перечня ВАК)

3. Воинов Н.В., Веселов А.О., Котляров В.П. Автоматизация тестирования UML проектов // Вычислительные, измерительные и управляющие системы. Сборник научных трудов. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2007. – С. 57-65.

4. Воинов Н.В., Котляров В.П. Методика автоматизации тестирования проектов, специфицированных средствами UML // Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада. 17-18 марта 2009 г. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2009. – С. 84-85.

5. Воинов Н.В., Котляров В.П. Применение метода оптимизации обхода пространства поведения формальной модели для генерации тестовых сценариев // Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада. 16-17 марта 2010 г. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2010. – С. 139-140.

6. Воинов Н.В., Веселов А.О., Котляров В.П. Технология генерации тестовых наборов из UML спецификаций // Технологии Microsoft в теории и практике программирования. Материалы межвузовского конкурса-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Северо-Запада. 11-12 марта 2008 г. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2008. – С. 22-24.

7. Здробилко С.Н., Воинов Н.В. Автоматизированная формализация функциональных требований XMPP сервера // XXXVIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. 24-28 ноября 2009 г. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2009. – С. ???.

8. Синицкий Г.Ю.., Воинов Н.В. Применение UCM нотации для автоматизации тестирования программного продукта // XXXIX Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. 06-11 декабря 2010 г. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та. – 2010. – С. 93-95.

9. Voinov N., Kotlyarov V. Verification and Testing Automation of UML Projects // Proceedings of the Third Spring Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. Vol. 3. Moscow, 2009. P. 41-45.

Сводка о разработанном подходе

Решаемая проблема	Повышение прозрачности и доступности для заказчика процесса тестирования на основе моделей с целью сокращения трудозатрат
Конкурирующие альтернативы	Формальные нотации UML, SDL, MSC
Инновационные отличия	(1) Применение двух формальных моделей: в высокоуровневой нотации UCM и в нотации базовых протоколов; (2) 6 методов усовершенствования технологии VRS/TAT
Барьеры для внедрения	Отсутствие опыта работы с нотацией UCM у исполнителей проектов и заказчиков
Открывающиеся перспективы	Эффективное взаимодействие с заказчиком на фазе дизайна архитектуры системы для согласования, контроля и раннего обнаружения и исправления ошибок в спецификациях

Направления будущих работ

- Сокращение количества генерируемых вспомогательных базовых протоколов, сохраняющих поток управления между элементами Responsibilities
- Упрощение ввода метаданных
- Проверка корректности введенных метаданных
- Разработка более гибких алгоритмов сокращения тестовых сценариев, покрывающих все требования
- Применение разработанных методов в новых проектах