

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ СО СМЕНЯЕМЫМ НАБОРОМ МОДУЛЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Жуков, М.М. Ластовченко, В.В. Лукашенко, В.С. Терещенко, М.А. Ярмолович

Министерство образования и науки Украины
Национальный авиационный университет, Институт компьютерных технологий
03680, г. Киев, проспект Комарова 1, корп. 5. Тел. 497 5294,
zobr@ua.fm

Рассмотрена многоуровневая архитектура математического и программного обеспечения процессов проектирования телекоммуникационных сетей. Проведен анализ наиболее перспективных инструментальных технологических систем проектирования с интегрируемой средой моделирования. Определена функциональная структура и обоснованы требования к программному обеспечению интегрируемой среды моделирования.

The multilevel architecture mathematical and the software of processes of designing of telecommunication networks is considered. The analysis of the most promising tools systems design with advanced modeling tools. The functional structure is defined and requirements to the software modeling environments are proved.

Введение

В настоящее время – время интенсивной интеллектуализации процессов создания телекоммуникационных сетей – проблема создания высокоэффективных программных средств моделирования стала занимать ведущую роль в проектировании [1, 2].

В работе рассматриваются два базовых аспекта создания реконфигурируемой программной среды моделирования [3, 4].

1. Создание программного обеспечения (ПО) моделирования телекоммуникационных сетей на базе развитого математического обеспечения (МО) и с обоснованием требований к инструментально-технологическим системам (ИТС) проектирования и разработки.

2. Создание на базе наиболее перспективных ИТС, таких программных средств, которые обеспечивали бы интеграцию модулей моделирования в единую реконфигурируемую среду проектирования.

В заключение приводится пример формирования ПО для инструментальных технологических систем (ИТС) проектирования со сменяемым набором модулей графического моделирования [2, 5].

1. Развитие математического и программного обеспечений инструментария для проектирования с использованием графического моделирования.

Формируемые в рамках многоуровневой архитектуры математическое и программное обеспечение для ИТС должны обеспечивать проектирование на основе моделирования в рамках эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС). Исходя из этого требования, в инструментарии проектирования можно выделить два базовых системотехнических уровня моделирования (рис. 1) [3].

Для каждого уровня определены специализированные наборы математического и программного обеспечений, создаваемых на языках графического описания, моделирования и спецификаций алгоритмов протоколов управления процессами передачи в интеллектуальных сетях (ИС) и наиболее развитого их подкласса мультисервисных сетях реального времени (МСС РВ) [6, 7].

На первом уровне уже начали применяться специальные программные средства имитационного моделирования со спецификацией требований к компонентам ИС и МСС РС. Алгоритмы протоколов первого уровня (процессы передачи на канальном и физическом уровнях, ЭМ ВОС), должны обеспечивать в рамках специфицированных требований заданное качество обслуживания (QoS) передачи мультимедийного трафика (ММТ).

Инструментарий проектирования на втором уровне (процессы передачи на сетевом и транспортном уровнях ЭМ ВОС) должен формировать алгоритмы протоколов, которые обеспечивают выбор составляющих для сети с оптимизацией ее топологии.

При моделировании результаты должны отображаться в виде соответствующих графических диаграмм (сценариев) процессов, а также временных диаграмм, графов переходов и графиков количественного анализа результатов моделирования.

Системотехнические уровни и комплексы (ИТК) составляющие ИТС	Уровни ЭМ ВОС	Существующее математическое обеспечение процессов проектирования	Существующее программное обеспечение процессов графического описания, моделирования и частичной спецификации	Результаты проектирования/консалтинга
Второй уровень ИТК 2	Транспортный и сетевой уровни ШТП Потоковые модели ШТП	1. Воспроизведение процессов функционирования ШТП в виде дискретно-событийных систем и сетей 2. Модели систем и сетей массового обслуживания 3. Обобщенные стохастические сети Петри 4. E-сети	1. Пакет Net Maker 2. Пакет COMMNET Predictor 3. Пакет SES/Strategizer 4. Пакет OmNet++ 5. Пакет OpNet и др.	1. Алгоритмы сетевого программного обеспечения (СПО) адаптивного управления процессами маршрутизации и реконфигурации 2. Количественный анализ мониторинга процессов функционирования ТП ИС 3. Количественный анализ эффективности функционирования компонент ТП ИС 4. Консалтинг ИТС для ТС и ТП ИС
Первый уровень ИТК 1	Канальный и физический уровни ШТП Сигнальные и спектральные модели	1. Конечные/вероятностные автоматы (КА/ВА) 2. Модели процедур тактированных триггеров и КА (булевы функции) 3. Модели параллельной, последовательной и комбинационной логики (булева алгебра) 4. Модели гармонического анализа (в т. ч. шумоподобных сигналов)	1. Пакет Telelogic Tau (UML, SDL, MSC, TTCN) 2. Пакет Cinderella (SDL, TTCN) 3. Пакет JADE (SDL, VHDL) 4. Пакет VHDL, VHDL AMS 5. Пакет VHDL-FD	1. Алгоритмы и диаграммы процессов с анализом тестирования прототипов аппаратно-программных средств (АПС) или СПО 2. Алгоритмы процедур (временные диаграммы процессов/процедур) 3. Алгоритмы, временные эпюры и графы процедур вычислительных систем (в т. ч. мультиплексоров, интерфейсов) 4. Схемы, алгоритмы, спектры сигналов

Рис. 1. Двухуровневая архитектура математического и программного обеспечений в виде двух инструментально-технологических комплексов проектирования

Наиболее важным с точки зрения спецификации требований является инструментально-технологический комплекс первого уровня (ИТК1). В основу его средств спецификации должен быть положен существенно модифицированный инструментарий на базе обновленного языка спецификаций SDL (его графической SDL GR и линейной SDL PR форм). При этом итеративное (сжатые аналитические и расширенных имитационных моделей) моделирование должно решать задачи анализа на всех этапа моделирования.

Новый язык SMDL-транслятор, состоящий из лексического и синтаксического анализаторов, должен обеспечивать трансляцию исходного текста SMDL воспроизведения и спецификаций в операторы внутреннего кода. Компилятор C/C++ SMDL должен иметь стандартные средства: генератор лексических анализаторов и генератор синтаксических анализаторов [3, 4].

Концептуальная модель ИТК1 первого уровня проектирования, представлена на рис. 2.

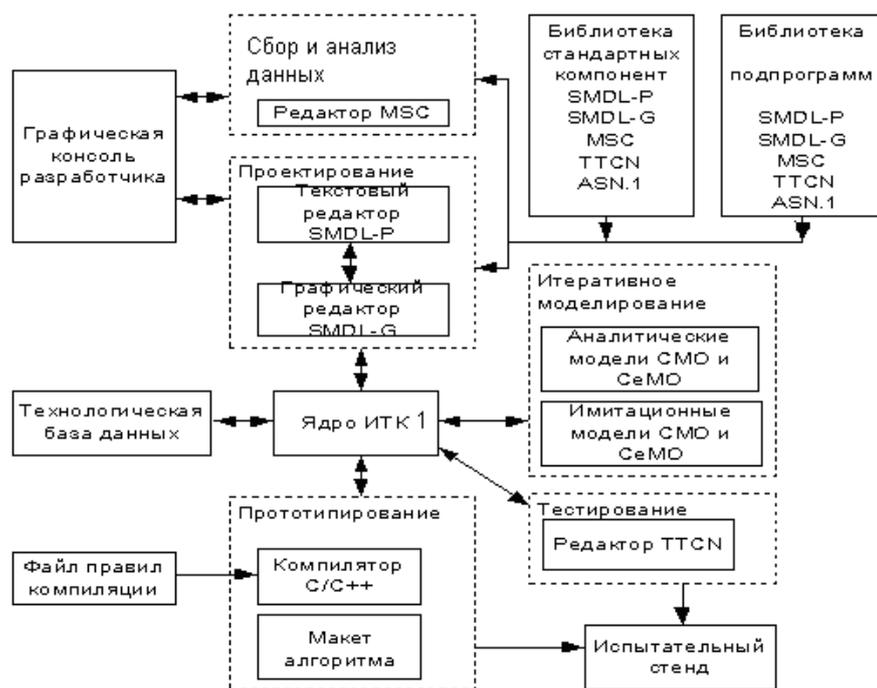


Рис. 2. Концептуальная модель инструментально-технологического комплекса первого уровня с программным обеспечением, создаваемым на языках SMDL и MSC

Помимо базовых составляющих – графической консоли, библиотеки компонент и программ системотехнического анализа, нужно выделить еще две составляющие [4]:

- систему итеративного моделирования как набор аналитических и имитационных моделей;
- систему TTCN, которая представляет тесты в рамках специфицированных требований с применением гибкого языка определения типов системных тестов.

На рис. 3 представлена концептуальная модель ИТК2 второго уровня, отображающего процессы передачи на сетевом и транспортном уровнях.

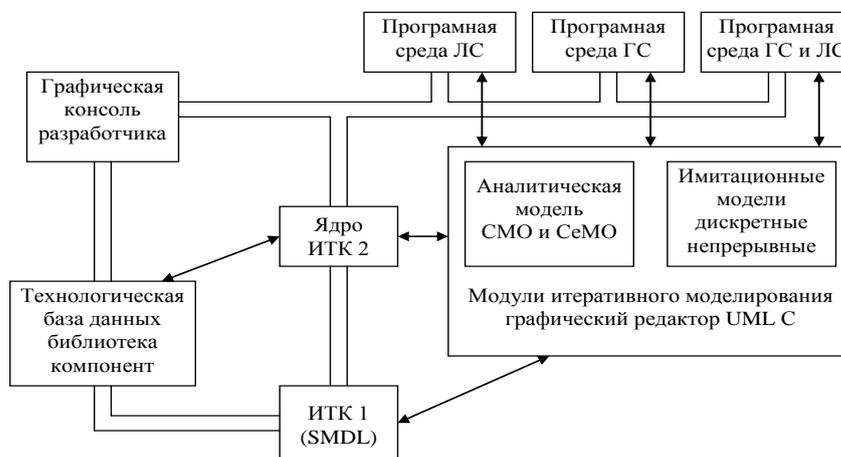


Рис. 3. Концептуальная модель инструментально-технологического комплекса с программными средствами, создаваемыми на языке UML: ЛС – локальные сети; ГС – глобальные сети; UML C – универсальный язык моделирования коммуникаций

В настоящее время двухуровневая архитектура программных средств (см.рис. 1) как базовых составляющих ИТК1 и ИТК2 реализуется как одна интегрируемая инструментально-технологическая система (ИТС). Автономная реализация только лишь начинает свое развитие.

Существующие ИТС проектирования и разработки имеют общую программную среду, точнее единое программное обеспечение и поэтому только лишь частично удовлетворяет требованиям ЭМ ВОС.

Вместе с тем создание принципиально новых ИТС практического смысла не имеет, так как целый ряд из них имеет, как правило, развитые интерфейсы пользователя (визуализация сценариев процессов передачи, хотя пока без графиков анализа). Поэтому нужно уже на базе наиболее лучших существующих ИТС проводить их модификацию, обеспечив требования, которым удовлетворяют и ИТК1, и ИТК2 в рамках ЭМ ВОС.

2. Анализ наиболее перспективных инструментально-технологических систем проектирования с учетом обеспечения требований двух системотехнических уровней математического и программного обеспечений

Для выбора из уже существующих ИТС наиболее применяемых для модификации, учитывающей использование их для графического моделирования, можно рассмотреть пять наиболее применяемых ИТС: J-Sim, SSFNet, JiST, OPNET и OmNet [8–12].

1. ИТС J-Sim (прежде известная как JavaSim) основана на компонентах, композиционной окружающей среде моделирования, реализуемой в рамках языка Java [8]. ИТС J-Sim подобна OMNeT++ в тех модулях моделирования, которые являются иерархически построенными из отдельных компонент. Принятая интеграция модулей в модели больше походит на NS-2. J-Sim – как интегральная среда моделирования с использованием двух языков, в которых классы написаны на Java, а интегрируются они для использования на языке Tcl в пакете J-Sim. Фактически, J-Sim, представляя графическому редактору (*gEditor*), использует формат XML. Хотя *gEditor* может экспортировать подлинники Tcl. При этом рекомендуется, чтобы файлы XML были непосредственно загружены в имитатор, обходя применение Tcl.

Таким образом, XML становится эквивалентом языком OMNeT++ NED. Однако проблема с применением XML как наиболее простого формата файла состоит в том, что он труден как для чтения, так и для написания. Вместе с тем модули, используемые при моделировании, интегрированы в пакет Inet, который содержит их в виде набора модулей моделей для сетей с технологиями IPv4, TCP, MPLS и другими моделями протоколов.

Следует отметить, что ИТС J-Sim, реализуемая на Java, имеет преимущества. С одной стороны, корректное развитие и отладка могут быть значительно проще, чем на C++ (реализация превосходящих Java средств). Однако процесс моделирования значительно уступает C++, так как не позволяет снова использовать существующее реальное воспроизведение процесса с протоколом, написанное на C как моделирование.

2. ИТС SSFNet (Масштабируемая Структура Моделирования) определена как "стандарт обобщенной области для моделирования дискретных процессов для реализации больших, сложных систем в Java и C++." Стандарт SSFNet определяет эту ИТС как подобную API, которая была разработана с параллельным моделированием. Топология и конфигурация сетей при моделировании в рамках SSFNet даны в файлах DML. Язык DML основан на тексте формата, сопоставимого с XML, но имеет собственный синтаксис. Язык DML можно считать эквивалентом языка NED (OMNeT++). ИТС SSFNet имеет недостаток – все параметры должны быть даны в DML. ИТС SSFNet обеспечивает четыре режима реализации моделирования два: DaSSF и CSSF в C++, и два на Java выполняемы в Renesys Recewaz и JSSF. Она имеет значительно больше модулей моделирования на Java версиях, чем на C++ для DaSSF и CSSF.

3. В ИТС JiST представлен очень эффективный подход к построению базовой интегрируемой среды моделирования, которая поддерживается высококачественной программой, реализуемой на Java [9]. Он реализует одну из лучших виртуальных машин Java, управляя программными модулями во время моделирования в режиме реального времени. Но эта ИТС JiST (в основном только ее ядро моделирования), имеет и недостатки в расширении и реконфигурации интегрируемой среды. Более развитая ее версия ИТС SWANS с масштабируемым имитатором сети, будучи построенной на базовой системе JiST имеет более эффективную виртуальную машину.

4. ИТС Qualnet является коммерческой интегрируемой средой моделирования главным образом для проектирования беспроводных сетей. ИТС Qualnet применяется как система развитого параллельного моделирования на языке Парсека [10]. Модули, написанные на языке Парсека, соответствуют иерархии моделирования. Язык Парсека делит модули моделирования на два типа: модули конкретных главных пользователей и модули вспомогательные, которые обеспечивают конкретизацию моделирования API (таймеры, и т. д.). Здесь главные пользователи поддерживаются более строго в рамках стеков центрального процессора, что требует относительно большого количества памяти. Язык Парсек обеспечивает очень эффективную параллельную инфраструктуру моделирования.

5. ИТС OPNET является ведущим продуктом Технологий OPNET [11]. Это коммерческий продукт, но он свободно используется во всем мире для университетов. В ИТС OPNET есть вероятно наибольший выбор готовых моделей алгоритмов протоколов (включая IPv6, MIPv6, WiMAX, QoS, Ethernet, MPLS, OSPFv3 и многие другие).

В ИТС OPNET реализован развитый способ представления топологии сети для использования в рамках графического редактора. Редактор хранит модули модели, представляя их в формате бинарного файла.

6. ИТС OMNeT++ (и главное, ее последняя версия OMNeT++ 4.0) имеет ряд преимуществ в рамках сменяемой среды моделирования [12, 13]. Каждое моделирование реализуется в следующем порядке.

– Осуществляется перевод существующего кода модели на формальный язык NED с целью его последующего использования в интегрируемой среде моделирования (возможны также переводы с языков SDL и UML).

– Осуществляется разбиение полученных диаграмм (обобщенной спецификации процессов) на составляющие базовые диаграммы в виде алгоритмов протоколов, представляемых в рамках языка MSC (оценка безошибочности взаимодействия).

– Осуществляется тестирование алгоритмов протоколов с использованием ранее полученных трас (диаграммы MSC).

– Осуществляется использование результатов тестирования алгоритмов протоколов для выявления ошибок в режимах управления процессами передачи и функционирования проектируемой сети.

Для обеспечения безошибочности программ протоколов используется и верификация, и тестирование. Первая представляет статистический метод (диаграммы сценариев) в виде представления системы графов, дуги которых обозначены символами параметров и атрибутов. Второй (тестирование) как динамический метод анализа осуществляет проверку безошибочности на основе использования множества конкретных диаграмм сценариев, которые получают за счет символического изменения анализируемых параметров и атрибутов.

И OPNET, и OMNeT++ обеспечивают графическую отладку с достаточной степенью автоматической мультипликации, которая является существенной при графическом моделировании [13].

Из рассмотренных шести ИТС со сменяемой средой моделирования следует выбрать для сравнительной оценки эффективности их применения только три последние (Qualnet, OPNET, OMNeT++) как наиболее отвечающих требованиям проектирования со сменяемой средой моделирования (таблица).

Поскольку наиболее эффективной ИТС Qualnet ориентирован главным образом на беспроводные технологии и, кроме того, очень громоздка, предпочтение следует отдать ИТС OPNET OMNeT++ 4.0. Последняя после введения в нее существенно модифицированного программного обеспечения спецификации требований выполняемых на языках UML, MSC и SDL, должна стать самой применяемой для проектирования перспективных телекоммуникаций.

Таблиця. Данніе сравнительных характеристик ИТС Qualnet, OPNET, OMNeT++

Тип ИТК	ATM	WATM	Программное обеспечение, специальные языки			
	IPv6 MPLS DWDM	MPLS CWDW	управления	спецификации		
Qualnet	+	+	Парсек	UML	MSC	SDL
OPNET	+	–	–	UML	–	–
OMNeT++	+	–	NED	UML	MSC	SDL

3. Программное обеспечение для инструментально технологических систем проектирования телекоммуникации реального времени

Инструментально-технологическая система OMNeT++ разработана для моделирования сетей с учетом требований второго (ИТК2) и частично первого (ИТК1). Исходя из этого она должна обеспечивать выполнение следующих требований:

1. Обеспечение крупномасштабного моделирования, когда модули должны взаимодействовать в иерархической системе, а создаваемые модули из компонентов многократного применения должны использоваться в ней свободно.

2. Обеспечивать визуализацию всех процессов, в том числе отладку модулей моделирования, таким образом чтобы уменьшить время отладки, процент времени моделирования. (Один и тот же набор признаков (диаграмм) полезен для широкого использования за счет развитого программного обеспечения.)

3. Интерфейсы баз данных должны быть открытыми: должна быть реализована возможность генерации и обработки файлов входа и выхода с обычно доступным инструментальным программным обеспечением.

Исходя из этих требований в основу ПО ИТС положены программные средства, выполненные на специальном языке NED. В состав базовой библиотеки ИТС входят программные модули графического представления результатов моделирования (диаграммы) выполненные на языке UML, а также диаграммы спецификаций требований, выполненные на языках MSC и SDL.

Принятая в OMNeT++ система моделирования состоит из модулей, которые взаимодействуют используя передачу сообщений. Активные модули (базовые) называются простыми модулями; так как они написаны на C++, используя библиотеку классов моделирования. Простые модули могут быть сгруппированы в составные модули и т. д. Число уровней иерархии не ограничено. Сообщения можно послать или через связи, которые установлены между модулями или непосредственно к их модулям предназначения. И простые, и составные модули являются экземплярами модульных типов. Описывая модель пользователь определяет модульные типы (экземпляры этих модульных типов служат компонентами для более сложных модульных типов). Когда модульный тип используется как компоновочный блок, нет никакого различия, является ли это простым или составным модулем. Это позволяет пользователю прозрачно раскладывать модуль на несколько простых модулей в пределах составного модуля.

Модули, как указывалось выше, взаимодействуют за счет сообщений, которые в дополнение к обычным атрибутам, таким как timestamp могут содержать произвольные данные. Простые модули посылают типичные сообщения через логические элементы, но также могут послать их непосредственно. Логические элементы как интерфейсы входа и выхода модулей формируют сообщения. Они отсылаются через эти логические элементы и прибывают через входные логические элементы. Связи созданы в пределах единственного уровня модульной иерархии: в пределах составного модуля могут быть связаны соответствующие логические элементы двух подмодулей или логический элемент одного подмодуля и логический элемент составного модуля. Охват связей через уровни иерархии не разрешен, поскольку он препятствовал бы образцовому повторному использованию. Исходя из иерархической структуры модели, сообщения регламентировано идут через цепь связей. Составные модули действуют как «контейнеры», прозрачно ретранслируя сообщения между их внутренней частью и внешним составляющими среды моделирования. Требования к функциям взаимодействия, таким как задержка распространения, скорость передачи данных и степень допустимых ошибок по элементам должны быть назначены для каждой связи.

В рамках формального підходу в якості мов графічного моделювання і специфікацій в OMNeT використовуються мови UML, SDL, MSC. Однією з важливіших задач виробництва ПО для ІТС є розробка модифікованих компонентів ПО на основі старих версій шляхом додавання нових властивостей в існуючий код. В цьому випадку виникає необхідність вивчення старого коду до його модифікації.

Подібна задача успішно вирішується при наявності формальних специфікацій старих версій ПО. При цьому представлення старого коду в вигляді множини діаграм (наприклад на UML, SDL або MSC), використовується як база, на основі якої моделюються нові функціональності мережі [14].

В останнє час все частіше виникає проблема перекладу старих формальних специфікацій (SDL, MSC) на нові (UML на другому рівні: ІТК2, рис. 3). Ці задачі вирішуються в OMNeT за рахунок нових оснащених засобів трансформації засобів специфікацій з однієї мови на іншу (наприклад, з SDL на UML). Основні задачі модифікації ПО в OMNeT:

1. Переклад існуючого коду мови специфікацій на формальну мову з метою його подальшого використання з урахуванням специфікацій вимог (в даному випадку виконується перехід з мови SDL на UML).
2. Розбиття отриманої специфікації в межах UML на елементарні одиниці (діаграми базових протоколів) на мові MSC і їх подальша верифікація.
3. Тестування системи з використанням трас, отриманих в результаті верифікації.
4. Використання програм тестування протоколів, представлених в вигляді MSC трас в верифікаторі, для визначення місця помилок в разі їх виявлення.

Таким чином, в ІТС OMNeT активно реалізується графічне моделювання для специфікації вимог по безпомилковості. Для цього створюються програми, які спільно використовуються для верифікації і тестування. Верифікація представляє статичний метод доказування безпомилковості (діаграми сценаріїв процесів) в вигляді символічних специфікацій, тобто діаграм, описують поведінку системи в вигляді графів, дуги яких навантажені символами параметрів і атрибутів. Тестування представляє динамічний метод перевірки безпомилковості на основі виконання ланцюжків діаграм (пока без кількісного аналізу ефективності процесів передачі) в вигляді множин конкретних діаграм сценаріїв, отриманих з символічних шляхом зазначення конкретних значень параметрів і атрибутів.

Технологічно процес верифікації реалізується на основі множин специфікацій на мовах UML, MSC і SDL. Специфікації, складені на MSC, використовуються переважно для опису моделі взаємодії і генерації набору тестів. Специфікації на SDL застосовуються для опису динамічних і статичних властивостей системи. Специфікації на UML покривають загальне (первинне) опису системи і її зовнішнє оточення.

Використовувана в OMNeT++ інтегрована середовище моделювання з змінюваним набором моделей ґрунтується на верифікаторі, інструменті для автоматичної генерації діаграм моделей і виконанні тестів. Аналогічно CASE-системі IBM Rational / Telelogic Tau G2 [14]. Однак в відміння від тотального використання технології генерації коду по специфікаціям в сучасних CASE-системах, яке здійснюється за рахунок складності отримання прийнятної по реактивності коду в OMNeT вводиться мова узгодженої оболонки NED. Тому в межах описуваної і специфікуваної технології передачі основна увага приділяється тестуванню.

Таким чином, як показано в роботі [15], всі специфікувані вимоги включаються в набір простих діаграм (базових алгоритмів протоколів).

Процес генерації трактів пов'язаний з отриманням множини трас для повного покриття вимог до системи вимагає гнучких можливостей по зазначенню обмежень при генерації дозволяють відсікти те поведінку системи, яке не повинно перевірятися в тестовому наборі. В даному випадку генерація тестів проводиться з використанням програм тестера, який забезпечує трансформацію тестових сценаріїв з MSC на цільову мову (в разі тестуваної телекомунікаційної системи в ІТС OMNeT++ це або мова NED, або мова C/C++). Оскільки тестування працює з цільовим кодом, виникає можливість перевірити властивості низкорівневого коду застосування.

Паралельно з процесом формування тестів відбувається переклад системи з мови SDL на UML з подальшою генерацією коду. Задача вирішується з використанням інструментарію IBM Rational / Telelogic.

Для забезпечення інтеграції модулів моделювання і тестового оточення використовується оболонка – програмний модуль на цільовій мові NED. Оболонка описує всі аспекти взаємодії між тестом і оточенням. Тестове оточення, сгенероване на основі MSC діаграм, надсилає впливи в тестувану систему (мова NED) і отримує відповідну реакцію системи шляхом даного програмного модуля оболонки.

Отримання заключної діаграми по результатам тестування представляє собою набір сигналів, які відображають взаємодію модулів і оточення. Він представлений в вигляді текстового файлу і текстової нотации MSC діаграм, на яких можуть відображатися виявлені помилки.

Таким образом, имея на входе спецификации требований на языке SDL, могут быть получены и расширены спецификации как на языке UML, нотация которого является наиболее распространенной, для верхнего уровня (см. рис. 1, ИТК2), так и тесты нижнего (ИТК1, язык SDL и даже VHDL). Этот набор тестов в рамках ИТС OMNeT++ гарантирует полное покрытие функциональности сети в рамках заданных требований.

Рассматриваемые программные средства в рамках представленной технологии проектирования с использованием ИТС OMNeT++ со сменным набором модулей моделирования обеспечивают верификацию и тестирование алгоритмов протоколов телекоммуникационных систем.

1. Жуков И.А., Ластовченко М.М. Концепция создания программной среды графического моделирования как основы интеллектуального проектирования телекоммуникаций // УСиМ. – 2008. – № 5. – С. 52–61.
2. Ластовченко М.М. Графическое программирование в управлении динамикой моделирования сложных процессов // Проблемы програмування. – 2008. – № 2/3. – С. 254–260.
3. Жуков И.А. Новые компьютерные технологии проектирования телекоммуникаций гражданской авиации Украины // Проблеми інформатизації та управління. – 2009. – № 3(29). – С. 62–72.
4. Жуков И.А., Ластовченко М.М. Концептуальные аспекты создания методологии интеллектуального проектирования цифровых сетей // Проблеми інформатизації та управління. – 2009. – № 1/25 – С. 49–52.
5. Ластовченко М.М., Терещенко В.С. Концепция введения графического программирования в управление моделированием сложных дискретно-событийных систем // УСиМ. – 2008. – № 6. – С. 72–81.
6. Berger L. Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling – RSVP-TE // Extensions Rec 3473. – 2003. – 89 p.
7. Жуков И.А., Клименко И.А., Аленин А.И. Организация многопутевой маршрутизации средствами MPLS // Проблеми інформатизації та управління. – К.: НАУ, 2005. – Вып. 14. – С. 59–70.
8. J-SIM home page: <http://www.i-sim.org>
9. JiST home page // <http://jist.ece.cornell.edu>
10. Qualnet home page: <http://www.qualnet.com>
11. OPNET Technologies, Inc. OPNET Modeler. <http://www.opnet.com>
12. OmNet++ home page // <http://www.omnetpp.org>
13. Michael J.B., Shing M., Miklaski M.H. and Babbitt J.D. Modeling and Simulation of System-of-Systems Timing Constraints with UML-RT and OMNeT++. // Proc. of the 15th IEEE intern. Workshop on Rapid System Prototyping (Rsp'04) – Volume 00 (June 28 – 30, 2004). RSP. IEEE Computer Society, Washington, DC, 202–209. DOI= <http://dx.doi.org/10.1109/RSP.2004.30>.
14. Telelogic TAU 2.3 UML tutorial// Telelogic. – 60 p.
<https://support.telelogic.com/en/tau/download/product/product.cfm?vid=97>.
15. Дробинцев П.Д., Котляров В.П., Дайшев М.Ш., Песков Л.В., Юцупов Ю.В. Применение интегрированной технологии тестирования и верификации к модели телефонной сети // Информатика. – 2004. – №3 – С. 21–36.