

УДК 51.621.391

А.Н. МАРТЫНЮК

*Одесский Национальный политехнический университет***БАЗОВЫЕ МОДЕЛИ ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ТЕСТОВ**

Выполнен анализ моделей автоматного класса, положенных в основу методов разрабатываемой системы синтеза тестов. Рассмотрены задачи сетевой и иерархической декомпозиции, как для моделей дискретных систем, так и для моделей опорных и характеристических свойств, моделей контрольных и распознающих экспериментов. Исследованы морфизмы моделей для сетевой и иерархической декомпозиции. На основании моделей и морфизмов предложены методы синтеза тестов в виде сетей и иерархий экспериментов.

автомат, сеть, иерархия, морфизм, идентификатор, эксперимент, тест**Введение**

В технической диагностике достаточно развитыми являются методы теории экспериментов с автоматами и сетями автоматов, дающие аналитические решения задач контроля и диагноза. Основным объектом этих методов чаще всего являются классический конечный автомат (КА) или сеть автоматов (СА). Однако в формальных описаниях дискретных систем, например, сетевых протоколов, КА может быть использован только для самых простых объектов. В других случаях применяют другие модели автоматного класса, например, расширенные или предикатные КА, сети Петри. Каждый подход обладает собственными свойствами и достоинствами в решении задач описания протоколов, анализа корректности описаний, верификации стандартов и тестировании реализаций [1].

Дальнейшее исследование и развитие контроля и тестирования возможно для задач организации эксперимента на отдельном автомате сети, задач синхронизации, управляемости и наблюдаемости экспериментов, композиции экспериментов в СА и иерархии автоматов (ИА). Эксперименты на основе СА, реализуя пространственную декомпозицию, сохраняют модель параллелизма реальных сетевых объектов и дают методологическую базу для синтеза тестов любого из объектов сети [2].

Поведение протокольного объекта, эквивалентное представляемому абстрактной и сетевой моделями, можно получить на основе временной декомпозиции, используя иерархический автомат, известный из теории структурного программирования. В этом случае сохраняется методологическая общность в применении аппарата теории экспериментов над автоматами к любому из уровней, число таких уровней не ограничено.

1. Модели и морфизмы

В качестве основных моделей в ССТ приняты: во-первых, иерархические автоматы, допускающие подстановку подавтоматов вместо вершин и вместо переходов, т.е. разноуровневые сетевые объекты одной сетевой системы; во-вторых, сети автоматов, т.е. взаимодействующие одноуровневые сетевые объекты разных сетевых систем; в-третьих, комбинированные модели □ на основе первых двух иерархии сетей автоматов.

1.1. Сети автоматов и экспериментов. Сеть автоматов вводит понятия компонентных автоматов, чаще всего полуавтоматов, и структурно-функциональных взаимных зависимостей поведения, в простейшем случае представляемых как алфавитные отображения компонентных автоматов между собой и с общими вход-выходами сети.

Достаточно общим является представление сети автоматов, как четверки

$$CA = (X, Y, \{A_i | i \in I\}, \{\square_i | i \in I\}),$$

где X – общий входной алфавит всей сети, Y – общий выходной алфавит всей сети, $\{A_i | i \in I\}$ – множество компонентных автоматов Мили или Мура обычного вида $A_i = (S_i, X_i, Y_i, \square_i, \square_i, S_{oi})$, где $S_{oi} \in S_i$ – множество начальных состояний, $\{\square_i | i \in I\}$ – множество частичных замещающих алфавитных отображений вида $\square_i: (X \square Y_j \square X_i)$, где $j \in I$, причем, $Y = Y_k$ для некоторого $k \in I$.

Контрольный или распознающий эксперименты для отдельного автономного автомата A сети можно построить, например, на основе множества Id характеристических свойств (идентификаторов) его состояний [1]. Отклонения от эталонной модели автомата (ошибки) в этом случае определяются неявно для множества P проверяемых эталонных свойств (подтверждаемых переходов).

Сеть накладывает на входящие в нее автоматы условия транспортировки информации от и к контрольным точкам. Необходимо полное или частичное отсутствие потери информации в сети, анализ такой потери и ее устранение возможно при построении компонентных автоматов без потери информации (БПИ) или существенно без потери информации (СБПИ) [1], в ходе которого возможно также определить характеристические свойства распознавания (трансляции) $\{Tr_i | i \in I\}$ для каждого из автоматов $\{A_i | i \in I\}$.

При построении для сети CA соответствующей совокупности экспериментов $\{Ex_i | i \in I\}$ и на их основе сети экспериментов

$$CEX' = (X, Y, \{Ex'_i | i \in I\}, \{\square_i | i \in I\}),$$

как теста для всей сети CA построение и использование соответствующих распознаваемых сетей эталонных и характеристических (распознающих и идентифицирующих) свойств

$$CP' = (X, Y, \{P'_i | i \in I\}, \{\square_i | i \in I\}),$$

$$CTr' = (X, Y, \{Tr'_i | i \in I\}, \{\square_i | i \in I\}),$$

$$CId' = (X, Y, \{Id'_i | i \in I\}, \{\square_i | i \in I\}),$$

определяемых для множеств автономных $\{P_i | i \in I\}$, характеристических $\{Tr_i | i \in I\}$ и $\{Id_i | i \in I\}$ свойств каждого из автоматов из $\{A_i | i \in I\}$, возможно при условии реализации от входа X сети к входам $\{X_i | i \in I\}$ и транспортировки от выходов $\{Y_i | i \in I\}$ к выходу сети Y как характеристических, так и проверяемых свойств. Данное условие, предполагает зависимости $\square \square \{P'_i | i \in I\} \square \{P_i | i \in I\}$ и $\square \square \{Id'_i | i \in I\} \square \{Id_i | i \in I\}$, накладывает ограничения на множества допустимых при сетевом эксперименте автоматов $\{A_i | i \in I\}$ и сетевых отображений $\{\square_i | i \in I\}$. В соответствии с ограничениями формируется множество остовных автоматов $\{A'_i | i \in I\}$, связанных гомоморфизмом с исходным множеством $\{A_i | i \in I\}$ и полностью или частично сохраняющих в сетевом окружении проверяемые и характеристические свойства автоматов исходного множества $\{A_i | i \in I\}$. Из этого следует достаточно очевидное утверждение.

Утверждение 1: Гомоморфизмы $CA' \rightarrow CA$, $CP' \rightarrow CP$, $CTr' \rightarrow CTr$, $CId' \rightarrow CId$ порождают гомоморфизм $CEX' \rightarrow CEX$.

Таким образом, формируется пятерка сетей – сеть автоматов CA' , сеть проверяемых свойств CP' , сеть характеристических свойств CId' и CTr' и сеть CEX' экспериментов [2]. Последняя сеть может быть использована в качестве пространственной структуры для контрольного или распознающего теста в задачах верификации стандартов и тестирования реализаций протоколов.

1.2. Иерархии автоматов и экспериментов.

Иерархический автомат (ИА) вводит понятия макросостояний и макропереходов и допускает подстановку вместо них детализирующих подавтоматов с соответствующим отображением алфавитов состояний, входных воздействий, выходных реакций и функций переходов-выходов.

Двухуровневый иерархический автомат можно представить шестеркой

$IA = (A, \{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}, \{\square_i \mid i \in I\}, \{\square_j \mid j \in J\}, \square_j)$,
 где $A = (S, X, Y, \square, \square, S_0)$ – старший автомат верхнего уровня (макроавтомат) с традиционной интерпретацией компонентов, $\{A_{ci} \mid i \in I\}$ – множество подавтоматов, замещающих через подстановку макровершины вида $A_{ci} = (S_{ci}, X_{ci}, Y_{ci}, \square_{ci}, \square_{ci}, S_{oci}, F_{oci})$, где $S_{oci} \subseteq S_{ci}$ и $F_{oci} \subseteq S_{ci}$ – множества соответственно начальных и конечных состояний подавтомата A_{ci} , $\{A_{tj} \mid j \in J\}$ – множество подавтоматов, замещающих через подстановку макропереходы автомата вида $A_{tj} = (S_{tj}, X_{tj}, Y_{tj}, \square_{tj}, \square_{tj}, \{s_{otj}\}, \{f_{otj}\})$, где $s_{otj} \subseteq S_{tj}$ и $f_{otj} \subseteq S_{tj}$ – соответственно начальное и конечное состояния подавтомата A_{tj} , $\{\square_i \mid i \in I\}$ – множество частичных замещающих отображений входов в расщепляемые макросостояния вида $\square_i: (S \times X \times s) \rightarrow (S \times X \times S_{ci} \times X)$, $\{\square_j \mid j \in J\}$ – множество частичных инъективных замещающих отображений выходов из расщепляемых макросостояний вида $\square_j: (s \times X \times S) \rightarrow (S_{ci} \times X \times S)$, где s – замещаемое макросостояние, S_{ci} – множество состояний замещающего подавтомата A_{ci} , \square_j – частичное замещающее отображение макропереходов вида $\square_j: S \times X \times \{A_{tj} \mid j \in J\}$.

При построении для автоматов иерархии IA соответствующей совокупности экспериментов $\{\{Ex_{A_{ci}} \mid i \in I\}, \{Ex_{A_{tj}} \mid j \in J\}\}$ на их основе определяется иерархия экспериментов

$$IEx' = (Ex, \{Ex_{A'_{ci}} \mid i \in I\}, \{Ex_{A'_{tj}} \mid j \in J\}, \{\square_i \mid i \in I\}, \{\square_j \mid j \in J\}, \square_j),$$

задающая тест для всей иерархии IA . Ее синтез в свою очередь основан на построении и использовании иерархий эталонных проверяемых и характеристических свойств

$$IP' = (A, \{P'_{ci} \mid i \in I\}, \{P'_{tj} \mid j \in J\}, \{\square_i \mid i \in I\}, \{\square_j \mid j \in J\}, \square_j),$$

$$Pid' = (A, \{Id'_{ci} \mid i \in I\}, \{Id'_{tj} \mid j \in J\}, \{\square_i \mid i \in I\}, \{\square_j \mid j \in J\}, \square_j),$$

определяемых для множеств проверяемых $\{P'_{ci} \mid i \in I\}$, $\{P'_{tj} \mid j \in J\}$ и характеристических $\{Id'_{ci} \mid i \in I\}$, $\{Id'_{tj} \mid j \in J\}$ свойств для автоматов из $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$. Это построение возможно при условии со-

хранения в иерархических отображениях из $\{\gamma: A \rightarrow \{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}, \square \square \{\square_i \mid i \in I\}, \square \square \{\square_j \mid j \in J\}, \square_j\}$ как характеристических, так и проверяемых свойств. Это условие, как и в случае сети автоматов, накладывает ограничения на множества допустимых при иерархическом эксперименте автоматов $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$ и иерархических отображений $\mu = \{\gamma, \square, \square, \square_j\}$. Для $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$ формируется множество остовных автоматов $\{\{A'_{ci} \mid i \in I\}, \{A'_{tj} \mid j \in J\}\}$, как их подавтоматы, связанные простым гомоморфизмом λ с исходным множеством $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$, полностью или частично сохраняющие в иерархии проверяемые $\{\{P_{ci} \mid i \in I\}, \{P_{tj} \mid j \in J\}\}$ и характеристические $\{\{Id_{ci} \mid i \in I\}, \{Id_{tj} \mid j \in J\}\}$. Второй гомоморфизм в соответствии с иерархическими отображениями из μ связывает свойства автомата A на соответствующие свойства автоматов из $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$ и, следовательно, на свойства автоматов из $\{\{A'_{ci} \mid i \in I\}, \{A'_{tj} \mid j \in J\}\}$. Из изложенного следует утверждение.

Утверждение 2: Гомоморфизмы $A \rightarrow \{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\}$, $P \rightarrow IP$, $Id \rightarrow Pid$, $\{\{A_{ci} \mid i \in I\}, \{A_{tj} \mid j \in J\}\} \rightarrow \{\{A'_{ci} \mid i \in I\}, \{A'_{tj} \mid j \in J\}\}$, $IP' \rightarrow IP$, $Pid' \rightarrow Pid$ порождают гомоморфизм $(IEx' \rightarrow IEx \ \& \ Ex \rightarrow IEx) \rightarrow EX \rightarrow IEx'$.

В результате формируется четверка иерархий – иерархия автоматов (иерархический автомат), иерархия проверяемых свойств, иерархия характеристических свойств и иерархия контрольных или распознающих экспериментов [3], позволяющая определить временную структуру теста в задачах верификации стандартов и тестирования реализаций протоколов.

2. Методы синтеза тестов

Выбранные декомпозиционные автоматные модели в свою очередь определяют принятые в прототипе ССТ дополнительные методы, используемые в блоке протокольного контроля наряду с базовыми.

Так из трех традиционных подзадач анализа протокольных объектов две подзадачи — анализа корректности и верификации спецификаций протоколов — в качестве основного метода используют достаточный для малых и средних по размерности объектов метод анализа достижимых состояний, обладающий наглядностью и простотой. Метод основан на переборе возможных взаимодействий протокольных автоматов, при котором рассматривается глобальное состояние сети, определяемое как кортеж состояний взаимодействующих протокольных автоматов и состояний автомата передающей среды [4, 5]. Анализ графа достижимых состояний при анализе корректности дает возможность проверить общие присущие всем протоколам свойства, а именно: отсутствие статических блокировок; всюду определенность (полноту); однозначность соответствия состояний; отсутствие избыточности; ограниченность емкости канала; отсутствие динамических блокировок.

Верификация протоколов в ССТ понимается как доказательство того, что спецификации протокольных объектов исследуемого уровня вместе со спецификациями используемого данными объектами сервиса нижних уровней согласуются с описанием предоставляемого данным уровнем сервиса. При верификации используются два подхода, включающих три подобных базовых шага. Первый подход также основан упомянутом выше методе анализа достижимых состояний и с помощью перебора строит соответствующие графы с последующей проверкой общих протокольных свойств [5].

Второй подход дополняет первый, в его основе лежит представленная выше иерархическая сетевая модель. Предполагается, что верифицирующий тест сервиса (N+1)-уровня уточняет верифицирующий тест сервиса N-уровня, сохраняя его как общую структуру.

Во втором подходе на первом шаге выполняется проверка ограничений, налагаемых используемым

сервисом, для чего определяются восходящие иерархические отображения спецификаций, выделенных свойств и экспериментов объекта N-уровня на сервис, используемый в (N-1)-уровне, а также нисходящие иерархические отображения спецификаций, выделенных свойств и экспериментов объекта (N-1)-уровня на сервис, предоставляемый N-уровнем. Полученные отображения проверяются на морфизмы методами автоматных экспериментов.

На втором шаге, определяются нисходящие иерархические отображения спецификаций, выделенных свойств и экспериментов объекта N-уровня на сервис, предоставляемый (N+1)-уровнем; а также восходящие иерархические отображения спецификаций, выделенных свойств и экспериментов объекта (N+1)-уровня на сервис, используемый в N-уровне. Полученные отображения проверяются на морфизмы методами автоматных экспериментов.

На третьем шаге выполняется анализ совокупности спецификаций, выделенных свойств и экспериментов локального N и удаленного N' объектов N-уровня с учетом сервисных примитивов. Для этого, кроме построения дерева достижимых состояний, на котором проверяются свойства согласованности спецификаций используемого в N-объекте и предоставляемого от N'-объекта сервисов для равноуровневых сетевых N и N' объектов, определяются сетевые отображения спецификаций, выделенных свойств и экспериментов предоставляемого сервиса N'-объекта на спецификации, свойства и эксперименты используемого сервиса N-объекта.

Третья рассматриваемая в ССТ подзадача контроля протокольных объектов — тестирование реализаций протоколов — имеет целью проверку «ручных» и автоматических реализаций протокольных объектов в средах, отличных от области спецификаций, например, в средах других операционных систем. Обычно при тестировании реализации протокола проверяется соответствие эталону для поведения реализации на ее внешней границе с окружением

[6]. В качестве эталона принято поведение стандарта протокола, в качестве основного метода генерации тестовых последовательностей и сценариев в ССТ использован разрабатываемый метод организации контрольного эксперимента для сети автоматов, основанный на сетях выделенных свойств, позволяющий получить сеть контрольных экспериментов. Метод, являясь декомпозиционным, сохраняет свойства автоматных подходов к контролю, относится к экспоненциальным методам, так как включает перебор опорных состояний протокольных объектов. Область применения метода на имеющемся наборе инструментальных средств ограничена протокольными объектами средней степени сложности.

3. Прототип системы синтеза тестов

В ходе реализации прототипа ССТ сделана проверка рассмотренных моделей в ходе разработки основных инструментов контроля протокольных объектов на основе известных и предлагаемых методов. Выполнение анализа сетевых объектов предполагает решение традиционных для систем автоматизированного проектирования задач эффективного описания (спецификаций) сетевых объектов, ввода, трансляции этих описаний во внутреннее представление, специального сетевого анализа, хранения описаний и результатов, вывода результатов. В ССТ каждой из этих задач соответствует свой блок, имеющий специфические особенности, которые определяются характеристиками сетевых объектов. Такими блоками являются интерфейс пользователя, транслятор, блоки сетевого анализа и логического вывода, СУБД.

В ССТ принята двуязыковая схема (для известного языка ESTELLE [7] и разрабатываемого языка GRAPH) описания протокольных объектов, предполагающая наличие в блоке транслятора специально-предтранслятора для выделения однородных описаний, лексического и синтаксического анализатора,

GRAPH-компилятора и стандартного PASCAL-компилятора, меж языковых конверторов. Использование двух языков предполагает наличие нескольких внутренних представлений протокольных объектов: во-первых, исходных и бинарных (объектных и исполняемых) PASCAL-модулей для ESTELLE-описаний; во-вторых, исходных и внутренних таблично-списковых модулей; в-третьих, внутренних двоичных модулей для GRAPH-описаний и графических объектов.

Двуязыковое описание протокольных объектов, структурно-модульный и объектный подходы к описанию их компонент позволяют реализовать частичную инкрементную компиляцию на уровне модулей и объектов языков, что упрощает как процесс отладки, так и в целом проектирование, в частности, благодаря использованию библиотек стандартных и спроектированных ранее объектов и их компонент. Описания представляют представленные ранее обобщенные модели автоматного класса, с заданной адекватностью отражающие структуру, функционирование и временные характеристики протокольных объектов.

В основном блоке ССТ – блоке контроля для протокольных объектов реализуется специальный тестовый анализ.

В соответствии с приведенными моделями и методами блок содержит подблоки, решающие для протокольных объектов задачи анализа корректности, верификации и синтеза тестов на основе процедур, модулей и объектов, строящих графов достижимых состояний и экспериментов с сетевыми и иерархиями автоматов.

Хранение и доступ к данным в системе обеспечивается блоком объектно-реляционной базы данных (БД), структурированной в двух уровнях: внешнем, разделяющем информацию по типу данных (файлов) на четыре основных группы □ текстовую, бинарную, графическую и таблично-списковую; внутреннем, реализованном в каждой из

указанных четырех групп и разделяющем информацию по ее функциональному назначению. Основными функциональными объектами БД являются модели протокольных объектов, сценарии их анализа, тестовые последовательности и сценарии, а также объекты базы знаний, характеризующие слабо формализуемые и статистические свойства, а также текстовая и графическая информация.

Структурирование базы данных позволяет специализировать СУБД-функции для каждого из внешних разделов и ускорить доступ к данным для каждого из внутренних разделов. В качестве инструментальной в ССТ принята СУБД PostgreSQL, пополненная специальным редактором таблиц и отношений.

Расширяет функции системы блок логического вывода, добавляющий возможности: экспертного пополнения базы знаний новыми элементами; учета статистики применения знаний, в том числе тестовых решений в процессе их синтеза; коррекции знаний и тестовых сценариев; пояснения цепочек логических выводов; собственно построения логического вывода на основе имеющихся знаний. В основе блока логического вывода лежат объектные и фрейм-модели, структурированные для предметной и инструментальной областей.

Заключение

Применение в ССТ сетевых и иерархических автоматных моделей и методов анализа протокольных объектов формализует ряд задач их контроля, в частности, задач синтеза тестов.

Декомпозиционный подход позволяет определить переходы зависимостей и морфизмов от иерархий и сетей автоматов через соответствующие иерархии и сети проверяемых и характеристических свойств к иерархиям и сетям экспериментов, которые дают модельную базу и методологическую возможность синтезировать тесты для протокольных объектов.

ССТ и составляющие ее блоки могут быть использованы для анализа протокольных и сервисных объектов на этапах проектирования и эксплуатации сетей.

Литература

1. Богомолов А.М., Грунский И.С., Сперанский Д.В. Контроль и преобразования дискретных автоматов. – К.: Нау. думка, 1975. – 286 с.
2. Мартынюк А.Н. Метод синтеза тестовых последовательностей и сценариев для сетевых протоколов // Статьи по материалам докладов шестой Украинской научно-методической конференции «Новые информационные технологии обучения в учебных заведениях Украины» (часть 1). – Одесса, 1998. – С.194-197.
3. Мартынюк А.Н., Полин Е.Л. Верификация иерархической модели и синтез тестов при сквозном проектировании электронно-вычислительной аппаратуры // Тезисы докладов зональной конференции «Автоматизация проектирования РЭА и ЭВА», 12 – 13 октября 1989 года. – Пенза, 1989. – С. 92-94.
4. West C.H. General Technique for Communications Protocol Validation // IBM J. Res. Develop. – 1978. – Vol. 22 – P. 393-404.
5. Sajkowski M. Protocol Verification Techniques // Proc. IY Int. Workshop on Protocol Specification, Testing and Verification – Amsterdam: North-Holland Publishing Co., 1985. – P. 697-720.
6. ISO/TC 97/SC 21, N 410 Working Draft for OSI Conformance Testing Methodology and Framework. – 1985. – 55 p.
7. ISO/DP 8807. Information Processing Systems. – Open Systems Interconnection – ESTELLE – A Formal Description Technique Based on an Extended State Transition Model. – 1984. – 120 p.

Поступила в редакцию 26.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.