УДК 51.621.391

А.Н. МАРТЫНЮК

Одесский национальный политехнический университет

СИНХРОНИЗАЦИЯ КОМПОЗИЦИЙ ТЕСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Выполнен анализ моделей синхронизации тестовых процессов при сетевом и иерархическом построении автоматных тестов. Рассмотрена алфавитная синхронизация. Исследованы алгебраические системы и отношения, представляющие сетевое и иерархическое поведение алфавитных автоматных систем. Предложены модели синхронизации тестовых процессов на основе системы соответствий и отношений.

***Ключевые слова**: автомат, сеть, иерархия, синхронизация, тест, отношение.*

Введение

Построение тестов, как экспериментов в сетях и иерархиях автоматов, отражающих для объектов анализа их декомпозицию, позволяет снизить вычислительную сложность задач. В сетях автоматных моделей обеспечиваются соответствия алфавитов, событий и интервалов поведения, иерархии моделей к этим соответствиям добавляют их наследования. Соответствия и наследования образуют представления механизмов организации взаимодействий и могут представляться отношениями и алгебраическими системами.

Ставится задача определения отношений и моделей алфавитной синхронизации для тестовых процессов, под которыми понимаются декомпозиционные эксперименты, выполняемой в сетях и иерархиях автоматных моделей.

1. Синхронизация в автоматной сети

Рассмотрение синхронного автомата A = (S, X, Y, δ, λ, S_o) в качестве модели для компонентного автомата (КА) сети автоматов (СА) достаточно для функционального теста (ФТ) при функциональных дефектах и упрощает синхронизацию.

СА — это четверка вида

$$CA = (X, Y, A\hat{}, \alpha\hat{}),$$

где X и Y – общие, внешние входной и выходной алфавиты сети СА; $A\hat{} = \cup_{i\in I} A_i$ – множество КА, где I – множество индексов всех КА сети СА; $\alpha\hat{} = \cup_{i\in I} \alpha_i$ – множество алфавитных отображений вида α_i: $X\times Y_{i'} \to X_i$, где $i' \in I\backslash\{i\}$, причем, $Y=X_k$ для некоторого $k\in I$. Отображения $\alpha\hat{}$ вход-выходных алфавитов представляют связи СА между КА, между КА и общими входами и выходами всей СА.

Операции композиции автоматов – параллельного “||” и последовательного “^{o}” соединений, обратной связи “*” – с множеством подмножеств $B(A\hat{})$ множества $A\hat{}$ определяют алгебру сети автоматов СА

$$ACA = (B(A\hat{}), \{||, ^o, *\}),$$

на основе которой можно построить произвольную СА. Операндные автоматы операций из сигнатуры АСА и итоговый автомат операции удовлетворяют условиям и отношениям сетевой синхронизации.

Автоматное время распространяется на СА и автоматы из $A\hat{}$, в ней функционирующие, с учетом условий корректности построения СА. Так при анализе синхронизации в гамаках и контурах обратных связей (КОС) из СА полагают, что в гамаках изменения сигналов на сходящихся ветвлениях появляются синхронно, в КОС не появляется циклическая генерация. Для гамаков длительность такта должна быть больше времени установления сигналов в аппаратной или программной реализации самой длинной простой цепи автоматов Мили в СА. Достаточное решение для КОС предполагает, что в каждом КОС, присутствующем в СА, должен быть хотя бы один автомат Мура.

Отношения сетевой синхронизации $\gamma_n = \gamma_{na}\cup\gamma_{ne}\cup\gamma_{nt}$ в составе алфавитной $\gamma_{na} = \cup_{i\in I}\gamma_{na,i}$, событийной $\gamma_{ne} = \cup_{i\in I}\gamma_{ne,i}$ и временной $\gamma_{nt} = \cup_{i\in I}\gamma_{nt,i}$, определяющие для любого автомата $A_i\in A\hat{}$ сети СА его синхронизацию $\gamma_{na,i}$, $\gamma_{ne,i}$, $\gamma_{nt,i}$ в сетевом окружении, реализуются комбинациями базовых отношений для пар $(A_i,A_j)\in A\hat{}^2$, где A_j – произвольный КА, непосредственно связанный с A_i согласно структурно-функциональным отображениям $\alpha_a\hat{} = \cup_{i\in I}\alpha_{ia}$ сетевых КА из $A\hat{}$. К таким базовым отношениям для символов вход-выходных алфавитов, событий и временных интервалов относятся: тождественность $\gamma_{ij\equiv}$, эквивалентность $\gamma_{ij=}$, включение $\gamma_{ij\subseteq}$, совместимость $\gamma_{ij\sim}$ несовместимость $\gamma_{ij<>}$, предшествование $\gamma_{ij\angle}$, как общее отношение в составе квазипорядка $\gamma_{ij\leq\kappa}$, нестрогого $\gamma_{ij\leq}$ и строгого $\gamma_{ij<}$ порядков.

Специальные алфавитные символы могут быть приписаны событиям КА, соответствующим началам или концам переходов или входам и выходам состояний. С помощью алфавитных символов также можно определить символические обозначения временных интервалов. При рассмотрении синхронных КА возможно без потери общности выполнять основной анализ структурно-функциональных отображений α_a^ прежде всего для отношения γ_{na} сетевой синхронизации для алфавитных символов поведения автомата A_i в окружении СА, компонентов СА и СА в целом.

В зависимости от вида операции композиции из множества $\{\|,^{o},*\}$ и структурных особенностей ее реализации отношение γ_{na} представляется базовыми отношениями, совпадающими в группе этих операций с точностью до именования символов алфавитов для входов-выходов КА.

Например, для всюду определенной бинарной операции параллельной композиции $Ai\|Aj$, всегда дающей непустой результат, отношение γ_{na} для входных алфавитов Ai и Aj в зависимости от конкретного вида $Ai\|Aj$ представляется:

- отношением тождественности $\gamma_{ija\equiv}:Xi\leftrightarrow Xj$ при Xi=Xj;
- отношением эквивалентности $\gamma_{ija=}:Xi\leftrightarrow Xj$ при $Xi\Leftrightarrow Xj$, то есть при $e:Xi\leftrightarrow Xj$ или $e^{-1}:Xj\leftrightarrow Xi$, где e — взаимно однозначное соответствие (биекция);
- отношением включения $\gamma_{ija\subseteq}:Xi\rightarrow Xj$ при $Xi\subseteq Xj$ или $\gamma_{ija\subseteq}:Xj\rightarrow Xi$ при $Xj\subseteq Xi$, а также при $e1:Xi\rightarrow Xj'$ & $Xj'\subseteq Xj$ или $e2:Xj\rightarrow Xi'$ & $Xi'\subseteq Xi$, где e1 и e2 — всюду определенные, функциональные инъективные соответствия;
- отношением совместимости $\gamma_{ija\sim}:Xi\leftrightarrow Xj$ при $Xi\cap Xj\neq\varnothing$, $Xi\not\subset Xj$ и $Xj\not\subset Xi$, а также при $e1:Xi\rightarrow Xj'$ & $Xj'\subseteq Xj$ & $e2:Xj\rightarrow Xi'$ & $Xi'\subseteq Xi$ & $e1':Xi'\leftrightarrow Xj'$ & $e2':Xj'\leftrightarrow Xi'$, где e1 и e2 — частичные, функциональные инъективные соответствия, e1', e2' — биекции, причем, $e1'\subseteq e1$ и $e2'\subseteq e2$;
- отношением несовместимости $\gamma_{ija<>}:Xi\leftrightarrow Xj$ при $Xi\cap Xj=\varnothing$, а также при $e1:Xi\rightarrow Xj'$ & $Xj'\cap Xj=\varnothing$ & при $e2:Xj\rightarrow Xi'$ & $Xi'\cap Xi=\varnothing$, где e1 и e2 — частичные, функциональные инъективные соответствия.

Отношения предшествования $\gamma_{ia\angle} = \gamma_{ia<к}\cup\gamma_{ia\leq}\cup\gamma_{ia<}$ определяются упорядоченностью КА и компонентов (композиций КА) в СА. В рамках соседних автоматных тактов для отдельного Ai отношения предшествования $\gamma_{ia\angle}$ связывают алфавит состояний, входной, выходной алфавиты отображениями Мили $\gamma_{ia<}:(Si(t-1)\times Xi(t-1)\rightarrow Si(t))$, $\gamma_{ia\lhd}:(Si(t)\times Xi(t)\rightarrow Yi(t))$ или Мура $\gamma_{ia<}:(Si(t-1)\times Xi(t-1)\rightarrow Si(t))$ $\gamma_{ia<}:(Si(t)\rightarrow Yi(t+1))$, где t — некоторый момент времени. Из структурно-топологического предшествования автоматов Ai<Aj следуют отношения алфавитов Yi, Yi+1, Yi+2,..., Xj для цепи операций последовательного соединения Ai, Ai+1, Ai+2,..., Aj, определенные из представленных выше отношений равенства, эквивалентности, включения, совместимости, а также отношение предшествования $\gamma_{ij<}:Yi\rightarrow Xi+1$, $\gamma_{ij<}:Yi+1\rightarrow Xi+2$,..., $\gamma_{ij<}:Yj-1\rightarrow Xj$. Из свойства транзитивности любого из предшествований следует также $\gamma_{ij<}:Yi\rightarrow Xj$.

Совокупность отношений $\gamma\text{^} = \cup_{i\in I}\{\gamma_{ija\equiv}, \gamma_{ija=}, \gamma_{ija\subseteq}, \gamma_{ija\sim}, \gamma_{ija<>}, \gamma_{ia<к}, \gamma_{ia\leq}, \gamma_{ia<}\}$ определена на множестве вход-выходных алфавитов КА из А^ и соответствует множеству ее алфавитных отображений $\alpha\text{^} =\cup_{i\in I}\alpha_i$, которые отражают связи между КА в СА. Следовательно, существуют соответствующие этим отношениям разбиения $R\gamma_{ija\equiv}$, $R\gamma_{ija=}$, покрытия $P\gamma_{ija\sim}$, включения $P\gamma_{ija\subseteq}$ объединенного множества входных и выходных алфавитов $U = \cup_{i\in I} Ui = \cup_{i\in I}(Xi \cup Yi)$, классы которых $\{U_{k\gamma ija\equiv}\}$, $\{U_{k\gamma ija=}\}$, $\{U_{k\gamma ija\subseteq}\}$, $\{U_{k\gamma ija\sim}\}$, $\{U_{k\gamma ija<>}\}$ связаны соответствующими отношениями предшествований $\gamma_{ia\angle} = \gamma_{ia<к}\cup\gamma_{ia\leq}\cup\gamma_{ia<}$.

Отношения γ^, как и операции сигнатуры $\{\|,^{o},*\}$, возможно расширить на множество B(A^) всех КА и компонентов СА. Такое расширение в свою очередь порождает расширение соответствующих разбиений $R\gamma_{ij\equiv}$, $R\gamma_{ij=}$, покрытия $P\gamma_{ij\sim}$, включения $P\gamma_{ij\subseteq}$ объединенного множества булеанов входных и выходных алфавитов $B(U) = B(\cup_{i\in I} Ui) = B(\cup_{i\in I}(Xi \cup Yi))$, что позволяет связать отношениями предшествований $\gamma_{ia\angle} = \gamma_{ia<к}\cup\gamma_{ia\leq}\cup\gamma_{ia<}$ и классы $\{B(U_{k\gamma ija\equiv})\}$, $\{B(U_{k\gamma ija=})\}$, $\{B(U_{k\gamma ija\subseteq})\}$, $\{B(U_{k\gamma ija\sim})\}$, $\{B(U_{k\gamma ija<>})\}$.

При рассмотрении алфавитных отображений $\alpha\text{^} = =\cup_{i}\in_{I}\alpha_i$, соответствующих структурно-топологическим связям между КА из А^, определяются две основные операции над входными и выходными алфавитами, выполняемые для трех базовых операций $\{\|,^{o},*\}$ алгебры АСА, а именно операция пересечения «∩» для последовательного соединения «^{o}» и операция декартова произведения «×» для параллельного соединения «||» и соединения с обратной связью «*». Как следствие, возможна система

$$SCA = (B(U), \{\cap, \times\}, \gamma\text{^})$$

синхронизации входных и выходных алфавитов КА и компонентов сети, операции {∩, ×} в которой частичны, с областями определения, ограничиваемыми отношениями γ^.

Утверждение 1.1. Для синхронизации вход-выходных алфавитов КА и компонентов СА необходимо и достаточно определить SCA.

2. Синхронизация автоматной иерархии

Как и для СА в качестве модели КА в иерархии автоматов (ИА) принят синхронный автомат A = (S, X, Y, δ, λ, S_o). В качестве анализируемого компонента иерархии принята двухуровневая ИА.

Двухуровневая ИА – это шестерка вида:

$$IA = (A, A^{c}\wedge, A^{t}\wedge, \alpha^{c}\wedge, \beta^{c}\wedge, \nu),$$

где $A = (S, X, Y, \delta, \lambda, S_0)$ – старший автомат обычного вида из верхнего уровня иерархии; $A^{c}\wedge = \cup_{i1\in I1} A^{c}_{i1}$ – множество подавтоматов нижнего уровня иерархии, замещающих через подстановку макросостояния автомата верхнего уровня и имеющих вид $A^{c}_{i1} = (S^{c}_{i1}, X^{c}_{i1}, Y^{c}_{i1}, \delta^{c}_{i1}, \lambda^{c}_{i1}, S^{c}_{i1,0}, F^{c}_{i1,0})$, где $S^{c}_{i1,0}\subseteq S^{c}_{i1}$ и $F^{c}_{i1,0}\subseteq S^{c}_{i1}$ – множества соответственно начальных и конечных состояний подавтомата A^{c}_{i1}; $A^{t}\wedge = \cup_{i2\in I2} A^{t}_{i2}$ – множество подавтоматов нижнего уровня иерархии, замещающих через подстановку макропереходы автомата верхнего уровня и имеющих вид $A^{t}_{i2} = (S^{t}_{i2}, X^{t}_{i2}, Y^{t}_{i2}, \delta^{t}_{i2}, \lambda^{t}_{i2}, \{s^{t}_{i2,0}\}, \{f^{t}_{i2,0}\})$, где $s^{t}_{i2,0}\in S^{t}_{i2}$ и $f^{t}_{i2,0}\in S^{t}_{j2}$ – соответственно начальное и конечное состояния подавтомата A^{t}_{i2}; $\alpha^{c}\wedge = \cup_{i1\in I1} \alpha^{c}_{i1}$ – множество частичных отображений, замещающих входы в расщепляемые макросостояния автомата верхнего уровня на входы в новые начальные состояния из $S^{c}_{i1,0}$ подавтомата нижнего уровня, имеющих вид $\alpha^{c}_{i1}:(S\times X\to s)\to(S\times X\to S^{c}_{i1,0})$, где s – замещаемое макросостояние, $S^{c}_{i1,0}$ – множество новых начальных состояний замещающего подавтомата A^{c}_{i1}; $\beta^{c}\wedge = \cup_{i1\in I1} \beta^{c}_{i1}$ – множество частичных отображений, замещающих выходы из расщепляемых макро-состояний автомата верхнего уровня на выходы из новых конечных состояний с $F^{c}_{i1,0}$ подавтомата нижнего уровня, вида $\beta^{c}_{i1}:(s\times X\to S)\to(F^{c}_{i1,0}\times X\to S)$, где s – замещаемое макросостояние, $F^{c}_{i1,0}$ – множество новых конечных состояний замещающего подавтомата A^{c}_{i1}; ν – частичное отображение, замещающее макропереходы автомата верхнего уровня на подавтоматы нижнего уровня, вида $\nu:S\times X\to\cup_{i2\in I2} A^{t}_{i2}$.

КА из множества $A\wedge = A\cup A^{c\wedge}\cup A^{t\wedge}$ для IA достаточен в задачах синтеза ФТ функциональных дефектов. Синхронный автомат сводит иерархическую синхронизацию упорядочения в IA для отношений алфавитной γ_{ia}, событийной γ_{ie} и временной интервальной γ_{iti} синхронизации к синхронизации отношения предшествования γ_{ia} символов алфавитов, событий и интервалов.

Пусть B(A) — булеан A или множество всевозможных подавтоматов автомата A, включая и автоматы-состояния $\{\{s_1\},\{s_2\},...,\{s_n\}\}$, автоматы-переходы $\{\{s_i,(x_f,y_g),s_j\}\}$ и пустой автомат A_0. Операции суперпозиции (замещения) автоматов в IA, а именно, бинарного замещения макросостояния «◊» и бинарного замещения макроперехода «⟨∇», в совокупности с множеством $B(A\wedge) = B(A\cup A^{c\wedge}\cup A^{t\wedge})$ определяют алгебру иерархии автоматов IA

$$AIA = (B(A\wedge), \{\lozenge,\nabla\}),$$

на основе которой можно построить произвольную IA. Первый и второй операндные автоматы операций из сигнатуры алгебры AIA определяют расширяемый автомат с макросостоянием или макропереходом, расширяющий автомат, который замещает макросостояние или макропереход. Эти автоматы, как и результирующий автомат, удовлетворяют условиям иерархического времени, априорным и апостериорным для операций отношениям иерархической синхронизации.

Отображения $\alpha^{c}\wedge$, $\beta^{c}\wedge$, ν для $A\wedge = A\cup A^{c\wedge}\cup A^{t\wedge}$ из IA определяют отношения иерархической алфавитной синхронизации γ_{ia} автоматов в двухуровневой дискретной временной системе IA.

Все отношения иерархической синхронизации $\gamma_{it} = \gamma_{ia}\cup\gamma_{ie}\cup\gamma_{iti}$ в составе алфавитной $\gamma_{ia}= \cup_{i\in I} \gamma_{ia,i}$, событийной $\gamma_{ie}= \cup_{i\in I} \gamma_{ie,i}$ и интервальной $\gamma_{iti}= \cup_{i\in I} \gamma_{iti,i}$, определяющие для любого автомата $A_i\in A\wedge$ иерархии IA его синхронизацию $\gamma_{ia,i}$, $\gamma_{ie,i}$, $\gamma_{iti,i}$ в иерархии, реализуются комбинациями упомянутых ранее базовых отношений $\{\gamma_{ij\equiv},\gamma_{ij=},\gamma_{ij\subseteq},\gamma_{ij\sim}\gamma_{ij<>},\gamma_{ij\leq\kappa},\gamma_{ij\leq},\gamma_{ij<}\}$ для пар $(A_i,A_j)\in A\wedge^2$, где A_j – расширяемый автомат с макросостоянием или макропереходом, A_j – расширяющий автомат, замещающий макросостояние или макропереход согласно иерархическим отображениям $\alpha^{c}\wedge$, $\beta^{c}\wedge$, ν для КА из A^.

Алфавитные символы могут быть приписаны событиям КА и временным интервалам автоматов IA. При рассмотрении синхронных КА возможен тестовый анализ иерархических отображений $\alpha^{c}\wedge$, $\beta^{c}\wedge$, ν для любого компонентного автомата из $A\wedge = A\cup A^{c\wedge}\cup A^{t\wedge}$ иерархии IA, включая анализ отношений алфавитной синхронизации $\gamma_{ia}\wedge = \gamma_{ia}\cup\gamma_{i1,ia}\cup\gamma_{i2,ia}$, представляющих автоматы A^ иерархии IA.

В зависимости от операции суперпозиции из {◊,∇} и структурных особенностей ее реализации отношения γ_{ia}, $\gamma_{i1,ia}$ и $\gamma_{i2,ia}$ представляются базовыми отношениями. Обычно отношения γ_{ia}, $\gamma_{i1,ia}$, $\gamma_{i2,ia}$ являются отношениями предшествования, в общем случае квазипорядка $\gamma_{ia\angle}$, $\gamma_{i1,ia\angle}$, $\gamma_{i2,ia\angle}$.

Для операций замещения макросостояния $A\lozenge A^{c}_{i1}$ и макроперехода $A\nabla A^{t}_{i2}$ отношения γ_{ia}, $\gamma_{i1,ia}$ и $\gamma_{i2,ia}$ для алфавитов порождают несколько возможностей для отношения γ_{ia}^{+} результирующего автомата $A^{+} = (A\lozenge A^{c\wedge})\nabla A^{t\wedge}$ иерархии IA. В произвольном иерархическом переходе $it_{i3}\in It$ иерархии IA со старшим автоматом $A = (S, X, Y, \delta, \lambda, S_0)$ и детализирующими автоматами $A^{c}_{i1} = (S^{c}_{i1}, X^{c}_{i1}, Y^{c}_{i1}, \delta^{c}_{i1}, \lambda^{c}_{i1},$

$S^c_{i1,0}$, $F^c_{i1,0}$) или $A^t_{i2} = (S^t_{i2}, X^t_{i2}, Y^t_{i2}, \delta^t_{i2}, \lambda^t_{i2}, \{s^t_{i2,0}\}, \{f^t_{i2,0}\})$ для перехода любого, например, входного алфавита и для любого из двух детализирующих автоматов, например, A^c_{i1} возможны три случая: а) $X\cap X^c_{i1} = \varnothing$; б) $X^c_{i1}\cap X \neq \varnothing$ при $S\cap S^c_{i1} = \varnothing$; в) $X^c_{i1}\cap X \neq \varnothing$ при $S^c_{i1}\cap S \neq \varnothing$. Остальные случаи сводятся к этим случаям и достаточно рассмотреть их для входного алфавита и алфавита состояний.

Для алфавитов автоматов соответственно A и A^c_{i1} имеют место следующие возможности.

Пусть $X\cap X^c_{i1} = \varnothing$. В этом случае имеет место отношение несовместимости $\gamma_{ii1a<>}:X\rightarrow X^c_{i1}$. Автоматы A и A^c_{i1} и получаемый в результате детализации эквивалентный по отношению к IA младший автомат A^+ не теряют детерминированность ни для одного из переходов и предшествующий тестовый анализ старшего автомата не разрушается. На младшем уровне для A^+ тестовый анализ сводится к анализу организации контрольного эксперимента. Получаемое для A^+ отношение определяется объединением $\gamma_{ia}^{+} = \gamma_{ia}\cup\gamma_{i1,ia}$ без повторяющихся элементов из X или X^c_{i1} и является предшествованием $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ или в общем случае при ($\gamma_{ia<к}$ или $\gamma_{i1,ia<к}$) квазипорядком $\gamma_{ia\lhd}{}^{+}$.

Пусть $X^c_{i1}\cap X \neq \varnothing$ и $S\cap S^c_{i1} = \varnothing$. В этом случае имеет место отношение совместимости $\gamma_{ii1a\sim}:X\rightarrow X_{ci1}$, в частности, включения $\gamma_{ii1a\subseteq}:X\rightarrow X_{ci1}$ или равенства $\gamma_{ii1a\equiv}:X\rightarrow X_{ci1}$, а также отношение несовместимости $\gamma_{ii1a<>}:S\rightarrow S^c_{i1}$. Автоматы A и A^c_{i1}, а также получаемый эквивалентный по отношению к IA автомат A^+ не теряют детерминированность ни для одного из переходов, предшествующий тестовый анализ не разрушается, но A^+ требует анализа минимальности или действий, ее обеспечивающих при нисходящем проектировании. Получаемое для A^+ отношение определяется объединением $\gamma_{ia}^{+} = \gamma_{ia}\cup\gamma_{i1,ia}$, без повторяющихся пар из $X\times S$ или $X^c_{i1}\times S^c_{i1}$ и может быть предшествованием $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ или квазипорядком $\gamma_{\iota\alpha\lhd}{}^{+}$.

Пусть $X^c_{i1}\cap X \neq \varnothing$ и $S^c_{i1}\cap S \neq \varnothing$. В этом случае имеет место отношение совместимости $\gamma_{ii1a\sim}:X\rightarrow X_{ci1}$, в частности, включения $\gamma_{ii1a\subseteq}:X\rightarrow X_{ci1}$ или равенства $\gamma_{ii1a\equiv}:X\rightarrow X_{ci1}$, а также отношение совместимости $\gamma_{ii1a\sim}:S\rightarrow S^c_{i1}$. Автоматы A и A^c_{i1} в эквивалентном автомате A^+ могут потерять детерминированность для переходов из состояний множества S^c_{i1}, предшествующий тестовый анализ старшего автомата может разрушиться, автомат A^+ требует повторного анализа минимальности или действий при нисходящем проектировании, ее обеспечивающих. Для A^+ отношение определяется объединением $\gamma_{ia}^{+} = \gamma_{ia}\cup\gamma_{i1,ia}$, с повторяющимися парами из $X\times S$ или $X^c_{i1}\times S^c_{i1}$ и может быть предшествованием $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ или квазипорядком $\gamma_{\iota\alpha\lhd}{}^{+}$.

Дискретное время для временной иерархической синхронизации γ_{it}, распространяясь на IA и KA из $A^\wedge = A\cup A^{c^\wedge}\cup A^{t^\wedge}$, сохраняет временные условия отношений предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{\wedge} = \gamma_{ija\leq к}\cup\gamma_{ija\leq}\cup\gamma_{ija<}$ старшего A и отношений предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{c^\wedge}\cup\gamma_{ia\angle}{}^{t^\wedge}$ детализирующих автоматов из $A^{c^\wedge}\cup A^{t^\wedge}$, во временных условиях отношения предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ младшего автомата A^+, где $\gamma_{ia\angle}{}^{c^\wedge} = \cup_{i1\in I1}\gamma_{ia\angle,i1}{}^{c^\wedge}$ и $\gamma_{ia\angle}{}^{t^\wedge} = \cup_{i1\in I1}\gamma_{ia\angle,i1}{}^{t^\wedge}$. В случае иерархической синхронизации для произвольного автомата $Ai\in A^\wedge$ отношения временного предшествования $\gamma_{ia\angle}$ связывают алфавитные пары из $Si\times Xi$, то есть $\gamma_{ia\angle}:Si\times Xi\rightarrow Sj\times Xj$. Пусть в результате применения операций $\lozenge$ и ∇ получается отношение предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ результирующего автомата $A^+ = (A\lozenge A^{c^\wedge})\nabla A^{t^\wedge}$ для двухуровневой иерархии IA.

Утверждение 2.1. В иерархических переходах It из IA при замещении макросостояний или макропереходов автомата A детализирующими автоматами из $A^{c^\wedge}\cup A^{t^\wedge}$ в соответствии с последовательной суперпозицией поведения в IA и отображениями $\alpha^{c}{}^\wedge$, $\beta^{c}{}^\wedge$, ν в отношении предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{+}$ результирующего автомата A^+ сохраняются отношения предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^\wedge = \gamma_{ia\angle}\cup\gamma_{\iota\alpha\angle}{}^{\chi\perp}\cup\gamma_{\iota\alpha\angle}{}^{\tau\perp}$.

Отношения предшествования $\gamma_{ia\angle}{}^{+} = \gamma_{ia<к}{}^{+}\cup\gamma_{ia\leq}{}^{+}\cup\gamma_{ia<}{}^{+}$ результирующего автомата A^+ определяются предшествованием операций замещения в автоматах $A^\wedge$ из IA. Как отмечалось, для произвольного $Ai\in A^\wedge$ отношения предшествования $\gamma_{ia\angle}$ сохраняют связь алфавита состояний, входного, выходного алфавитов отображениями Мили $\gamma_{ia<}:(Si(t\text{-}1)\times Xi(t\text{-}1)\rightarrow Si(t))$, $\gamma_{ia\lhd}:(Si(t)\times Xi(t)\rightarrow Yi(t))$ или Мура $\gamma_{ia<}:(Si(t\text{-}1)\times Xi(t\text{-}1)\rightarrow Si(t))$ $\gamma_{ia<}:(Si(t)\rightarrow Yi(t+1))$.

Из сохранения предшествования алфавитов $\gamma_{ia\angle}$, $\gamma_{ia}{}^{c^\wedge}{}_{\angle}$, $\gamma_{ia}{}^{t^\wedge}{}_{\angle}$ для автоматов A и $A^{c^\wedge}$ или $A^{t^\wedge}$ в автомате A^+ следуют сохранение отношений алфавитов Xi и Si, Xi+1 и Si+1, Xi+2 и Si+2,..., Xj и Sj для цепи операций замещения Ai и ($Ai^{c^\wedge}$ или $Ai^{t^\wedge}$), Ai+1 и ($Ai{+}1^{c^\wedge}$ или $Ai{+}1^{t^\wedge}$), Ai+2 и ($Ai{+}2^{c^\wedge}$ или $Ai{+}2^{t^\wedge}$),..., Aj и ($Aj^{c^\wedge}$ или $Aj^{t^\wedge}$), определенные из представленных выше равенства, включения, совместимости. Таким образом, сохраняются отношения предшествования $\gamma_{ii+1a\angle}:(Si\times Xi)^2\rightarrow(Si{+}1\times Xi{+}1)^2$, $\gamma_{i+1i+2a\angle}:(Si{+}1\times Xi{+}1)^2 \rightarrow (Si{+}2\times Xi{+}2)^2,\ldots$, $\gamma_{j\text{-}1ja\angle}:(Sj\text{-}1\times Xj\text{-}1)^2\rightarrow(Sj\times Xj)^2$. Из свойства транзитивности любого из предшествований следует также

$$\gamma_{ij\angle}:(Si\times Xi)^2\rightarrow(Sj\times Xj)^2.$$

Совокупность отношений $\gamma^\wedge = \cup_{i\in I}\{\gamma_{ia\equiv}, \gamma_{ia\subseteq}, \gamma_{ia\sim}, \gamma_{ia<>}, \gamma_{ia<к}, \gamma_{ia\leq}, \gamma_{ia<}\}$, где $I = \{\varnothing, {}^{c^\wedge}, {}^{t^\wedge}\}$, определена на множестве алфавитов автоматов A, $A^{c^\wedge}$, $A^{t^\wedge}$ иерархии IA, и соответствует множеству ее алфавитных отображений α^{c}^, β^{c}^, ν, которые в свою очередь отражают связи между автоматами IA. Следовательно, существуют соответствующие этим отношениям разбиения $R\gamma_{ij\equiv}$, покрытия $P\gamma_{ij\sim}$, включения $P\gamma_{ij\subseteq}$ объединенного множества пар автоматных алфавитов $V^\wedge = \cup_{i\in I} Vi = \cup_{i\in I} (Si\times Xi)$, где $I = \{\varnothing, ^{c\wedge}, ^{t\wedge}\}$, классы которых $\{V_{k\gamma ij\equiv}\}$, $\{V_{k\gamma ij\subseteq}\}$, $\{V_{k\gamma ij\sim}\}$, $\{V_{k\gamma ij<>}\}$ в свою очередь связаны отношениями предшествований $\gamma_{\angle}{}^\wedge = \cup_{i\in I} \gamma_{i\angle}$, где $I = \{\varnothing, ^{c\wedge}, ^{t\wedge}\}$. В иерархии IA в отличие от CA отношения $\gamma_{\angle}{}^\wedge$ взаимно-однозначно соответствуют расширенным на пары $Si\times Xi$ автоматным функциям переходов $\delta^\wedge = \cup_{i\in I} \delta_i$, вида $\delta_i{:}Si\times Xi\rightarrow Si\times Xi$, где $\delta_i(s_{i1},x_{i1}) = s_{i2}$ & $\delta_i(s_{i2},x_{i2})$ – определена & $(s_{i1},x_{i1}),(s_{i2},x_{i2})\in Si\times Xi$. Отношения $\gamma^\wedge$ и операции сигнатуры $\{\lozenge,\nabla\}$ возможно расширить на множество B(A^) всех КА и компонентов многоуровневой IA. Такое расширение порождает расширение разбиения $R\gamma_{ija\equiv}$, покрытия $P\gamma_{ija\sim}$, включения $P\gamma_{ija\subseteq}$ объединенного множества булеанов входных и выходных алфавитов $B(V) = B(\cup_{i\in I} Vi) = B(\cup_{i\in I} (Si\times Xi))$, что позволяет связать отношениями предшествований $\gamma_{ia\angle} = \gamma_{ia<\kappa}\cup\gamma_{ia\leq}\cup\gamma_{ia<.}$ и классы $\{B(V_{k\gamma ija\equiv})\}$, $\{B(V_{k\gamma ija\subseteq})\}$, $\{B(V_{k\gamma ija\sim})\}$, $\{B(U_{k\gamma ija<>})\}$.

При рассмотрении алфавитных отображений $\alpha^\wedge = = \alpha^{c}$^, β^{c}^, ν, соответствующих иерархическим связям между КА из A^, определяются операция над алфавитами, выполняемая для операций $\{\lozenge,\nabla\}$ алгебры AIA, а именно операция объединения «$\cup$».

Следовательно, возможна система SIA = (B(V), $\{\cup\}$, $\gamma^\wedge$) синхронизации алфавитов КА и компонентов IA, операция $\{\cup\}$ в которой частична, с областью определения, ограничиваемой отношениями из $\gamma^\wedge$.

Утверждение 2.2. Для синхронизации вход-выходных алфавитов КА и компонентов IA необходимо и достаточно определить SIA.

Заключение

Согласование и синхронизация алфавитов в композициях и суперпозициях автоматных моделей расширяют возможности формализации задач синтеза тестов. Отношения, операции и системы синхронизации алфавитов для сетей и иерархий автоматов дают основу для рассмотрения алгебраических свойств тестов.

Программный пакет, реализующий данные модели, использован для анализа и синтеза дискретных объектов на этапах проектирования и эксплуатации в рамках автоматизированной системы тестового диагноза.

Литература

1. *Мартынюк А.Н. Базовые модели прототипа системы синтеза тестов / А.Н. Мартынюк // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, - 2007 – 8(27). – С.157-162.*

2. *Ющенко Е.Л. Многоуровневое структурное проектирование программ: Теоретические основы, инструментарий. / Е.Л. Ющенко, Г.Е. Цейтлин, В.П. Грицай, Т.К. Терзян. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 208 с.*

3. *Грунский И.С. Синтез и идентификация автоматов. / И.С. Грунский, В.А. Козловский. – К.: Наук. Думка, 2004. – 246 с.*

Поступила в редакцию 25.01.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., А.В. Дрозд, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.

СИНХРОНІЗАЦІЯ КОМПОЗИЦІЙ ТЕСТОВИХ ПРОЦЕСІВ

О.М. Мартинюк

Виконано аналіз моделей синхронізації тестових процесів при мережевій і ієрархічній побудові автоматних тестів. Розглянута алфавітна синхронізація. Досліджені системи алгебри і відносини, що представляють мережеву і ієрархічну поведінку алфавітних автоматних систем. Запропоновані моделі синхронізації тестових процесів на основі системи відповідностей і відносин.

Ключові слова: автомат, мережа, ієрархія, синхронізація, тест, відношення.

TEST PROCESSES COMPOSITION SYNCHRONIZATION

A.N. Martinyk

Analysis of models of test processes synchronization during network and hierarchical building of automaton tests is conducted. Alphabetical synchronization is reviewed. Algebraic systems and relations, representing network and hierarchical behavior of alphabetical automaton systems is examined. Synchronization models of test processes based on system of conformities and relations is proposed.

Key words: automaton, network, hierarchy, synchronization, test, relation.

Мартынюк Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского Национального политехнического университета, Одесса, Украина, e-mail: martin52@mail.ru.