

УДК 004.942:519.876.5

И.А. Лысенко, А.А. Смирнов

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

РАЗРАБОТКА УПОРЯДОЧЕННЫХ КАСКАДНЫХ ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЦ СЛЕДОВАНИЯ

Рассматриваются вопросы усовершенствования методов тестирования программного обеспечения инфокоммуникационных систем с использованием таблиц решений. Разрабатывается предложение по усовершенствованию описательских возможностей аппарата таблиц решений методом преобразования их в упорядоченные каскадные таблицы решений с использованием матрицы следования.

Ключевые слова: инфокоммуникационная система, таблица решений, матрица

Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы

Интеграция телекоммуникаций и информационных технологий в единую отрасль инфокоммуникации является общемировой тенденцией, ориентированной на развитие телекоммуникационной сети и расширение на её основе числа глобальных информационных сервисов. В течение ближайших лет термины инфокоммуникации и инфокоммуникационные системы (ИКС) приобретут еще большее употребление, поскольку постоянно возрастает количество компаний и учреждений, в которых телекоммуникации и информационные технологии составляют основу их деятельности.

Одними из ярких примеров современных ИКС являются, например, единая информационно-аналитическая система (ЕИАС) «Выборы» в Украине или программный комплекс для проведения выборов и голосования OSV в Нидерландах.

Непосредственно создание новой ИКС состоит из цепи взаимосвязанных процессов, включающих в себя проектирование ИКС как системы в целом, ее подсистем, так и всех видов обеспечения (программного, математического, информационного и т.д.). Одним из основных видов обеспечения ИКС является программное обеспечение, так как именно оно обеспечивает реализацию функций информационной и телекоммуникационной подсистем [4].

Используя конечное множество тестовых наборов, созданных определенным методом, осуществляется проверка соответствия между реальными и ожидаемыми результатами работы программного обеспечения (ПО) или, другими словами – его тестирование. При этом ожидаемые результаты работы программного продукта, как правило, представляются в виде требований к программному обеспечению инфокоммуникационной системы.

Методы формализованного описания требований к программному продукту, которые использу-

ются в разработке технологий тестирования ПО обладают наиболее широкими возможностями для выявления и устранения дефектов во время системного тестирования [5]. В настоящее время технологии проектирования тестовых наборов состоят, в основном, из одного или нескольких тестовых случаев.

В общем случае такие информационные технологии можно рассматривать как совокупность методов проектирования тестовых наборов, проверки корректности тестовых наборов и анализа потоков управления тестовых наборов.

Создание тестовых наборов относится к наиболее сложным и интеллектуальным видам деятельности в процессе тестирования ПО ИКС. Необходимость формализации и последующей автоматизации выполнения процессов создания тестов с автоматизированным контролем их корректности для обеспечения проходимости тестовых случаев в рамках соответствующей информационной технологии проектирования тестовых наборов определяют основную сложность их проектирования.

Для проверки ПО информационных систем, характеризующихся зависимостью от принятия логических решений, существует метод, наиболее часто используемый при проектировании тестовых наборов – на основе таблиц решений (ТР).

С точки зрения методологии тестирования ПО под ТР понимается таблица, отражающая комбинации входных данных и/или причин с соответствующими выходными данными и/или действиями (следствиями), которая может быть использована для проектирования тестовых случаев и тестовых наборов [2].

Рассмотрим метод усовершенствования технологии разработки тестовых наборов с использованием таблиц решений, позволяющий развить их аппарат на основе расширения описательных возможностей таблиц за счет их модификации в виде упорядоченных каскадных таблиц решений (УКТР) и разработанных матриц следования.

Модификация таблиц решений с использованием УКТР и матриц следования

С точки зрения математической формализации ТР определяется набором множеств

$$T = \langle C, A, U, W \rangle,$$

где $C = \{c_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ – множество условий,

$A = \{a_r\}, r = 1, 2, \dots, m$ – множество действий,

$U = \{u_j\}, j = 1, 2, \dots, k$ – множество вектор-столбцов матрицы $\|u_{ij}\|$, описывающих совокупность значений элементов множества C ;

$W = \{w_j\}$ – множество вектор-столбцов булевой матрицы $\|w_{rj}\|$, описывающей подмножества множества A , которые ставятся в соответствие элементам множества U .

Ограничение описательных возможностей является основным недостатком, затрудняющим использование ТР в качестве средства формализованного описания тестовых наборов. С помощью одной ТР описываются только тестовые наборы для случаев использования S_{UC} , в сценариях S_{SUC} которых сначала должны быть выполнены все необходимые проверки условий, а лишь затем требуемые действия. С математической точки зрения диаграммы подобных случаев использования либо принадлежат к классу полных бинарных деревьев, либо приводятся к ним путем переопределения подмножества действий, заданных в каждом правиле ТР, одним обобщающим действием.

Заметим, что класс случаев использования, описывающих требования к ПО информационной подсистемы ИКС, по структурным характеристикам соответствующих сценариев намного шире.

Поставим в соответствие ТР множество

$$T = \{t_s\}, s = 1, 2, \dots, n + m,$$

составленное из множества условий

$$C = \{c_i\}, i = 1, 2, \dots, n$$

и множества действий

$$A = \{a_r\}, r = 1, 2, \dots, m.$$

Порядок на множестве T может быть введен бинарным отношением предшествования $t_{s_1} \rho t_{s_2}$, означающим, что выполнению t_{s_2} должно предшествовать выполнению t_{s_1} .

Булеву матрицу, описывающую бинарное отношение предшествования ρ между элементами множества T , назовем матрицей следования L .

Элементы этой матрицы определяются следующим условием

$$l_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если между } i\text{-м элементом множества } T \\ & \text{существует отношение } \rho; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $i, j = 1, 2, \dots, n + m$.

Для ТР, содержащей n условий и m действий, матрицу следования удобно представить в виде четырех подматриц, размерности которых указаны в скобках

$$L_{ij} = \begin{pmatrix} X(n \times n) & Y(n \times m) \\ Z(m \times n) & V(m \times m) \end{pmatrix}.$$

Сформируем матрицу следования, соответствующую отношению ρ , определяемому обычной ТР. Подматрицы X, Z, V должны содержать предшествования вида $c_i \rho c_i, a_r \rho c_i$ и $a_r \rho a_r$, соответственно.

Очевидно, что предшествований такого вида в обычной ТР не содержится, и, следовательно, подматрицы X, Z, V будут нулевыми. Подматрица Y должна содержать предшествования вида $c_i \rho a_r$.

Для вычисления элементов этой подматрицы воспользуемся матрицами $\|u_{ij}\|$ и $\|w_{rj}\|$, определяемыми соответственно выражениями:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если условие } C_i \\ & \text{выполняется в } j\text{-м правиле;} \\ 0, & \text{если условие } C_i \\ & \text{не выполняется в } j\text{-м правиле;} \\ \lambda, & \text{если условие } C_i \\ & \text{несущественно для } j\text{-го правила} \end{cases}$$

и

$$w_{rj} = \begin{cases} 1, & \text{если действие } a_r \\ & \text{выполняется в } j\text{-м правиле;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Используя матрицу $\|u_{ij}\|$, построим вспомогательную булеву матрицу $\|u_{ij}^\circ\|$, определяемую выражением

$$u_{ij}^\circ = \begin{cases} 1 & \text{если } u_{ij} = 1 \text{ или } u_{ij} = 0, \\ 0 & \text{если } u_{ij} = \lambda, \end{cases}$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, k$.

Тогда значения элементов матрицы Y определяются в соответствии с выражением

$$y_{ir} = \bigvee_{j=1}^k (u_{ij}^\circ \wedge w_{rj}),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, 2, \dots, m$.

Для бинарных отношений определен ряд свойств, из которых основными являются рефлексивность, симметричность и транзитивность.

Согласно теории множеств – бинарное отношение σ , заданное на множестве $B = \{b\}$ рефлексивно, если $\forall(b)(b\sigma b)$, и антирефлексивно, если $\forall(b)\neg(b\sigma b)$.

Это же бинарное отношение симметрично, если

$$\forall(b)\forall(b')(b\sigma b' \rightarrow b'\sigma b),$$

асимметрично, если

$$\forall(b)\forall(b')(b\sigma b' \rightarrow \neg b'\sigma b),$$

антисимметрично, если

$$\forall(b)\forall(b')(b\sigma b' \wedge b'\sigma b \rightarrow b = b'),$$

наконец, это бинарное отношение транзитивно если

$$\forall(b)\forall(b')\forall(b'')(b\sigma b' \wedge b'\sigma b'' \rightarrow b\sigma b'').$$

Исследования показали, что множество $T = \{t_s\}, s = 1, 2, \dots, n + m$, составленное из множества условий $C = \{c_i\}, i = 1, 2, \dots, n$ и множества $A = \{a_r\}, r = 1, 2, \dots, m$ ТР, на котором порядок задан бинарным отношением предшествования ρ , определенным той же ТР, не является ни упорядоченным, ни частично упорядоченным, поскольку ρ не обладает свойством транзитивности. Отсутствие порядка на множестве условий и действий объясняет ограниченные описательские возможности любой таблицы решений.

Выявленная причина ограниченных описательных возможностей ТР указывает путь преодоления этого недостатка – внесение в аппарат ТР средств задания порядка на множестве условий и действий.

Из четырех возможных видов предшествования в ТР неявно содержатся только предшествования вида $c_i \rho a_r$. Этого оказывается недостаточно для того, чтобы бинарное отношение предшествования ρ обладало свойством транзитивности и задавало порядок на множестве условий и действий конкретной ТР.

Следовательно, для описания случаев использования с ациклическими сценариями

$$S_{SUC}^A \subseteq S_{SUC}$$

необходимо доопределить отношение ρ .

Проведенный анализ показывает, что это можно сделать посредством заданий дополнительной информации о сценариях случая использования из множества S_{UC} в матрице следования, используемой совместно с ТР.

Совокупность ТР и связанной с ней матрицы следования будем называть упорядоченной таблицей решений (УТР).

Корректность матрицы следования обусловлена свойствами бинарного отношения ρ , которое оно задает.

Исходя из этого можно указать два свойства, которыми должна обладать корректная матрица следования.

Свойство 1. Диагональные элементы матрицы следования должны быть нулевыми

$$\forall(i)(I_{ii} = 0)$$

Это следует из антирефлексивности отношения ρ .

Свойство 2. Симметричные элементы матрицы следования не могут одновременно быть единичными

$$\forall(i, j)((I_{ij} = 0) \vee (I_{ji} = 0))$$

Это обусловлено асимметричностью отношений ρ .

Для случаев использования с ациклическими сценариями $S_{SUC}^A \subseteq S_{SUC}$, которые не содержат петель и циклов, этими свойствами должна обладать также и матрица транзитивного замыкания отношений ρ .

Требование совместимости матрицы следования и ТР вытекает из того, что не все возможные предшествования могут быть заданы для конкретной ТР.

Если множество действий ТР дополнить особыми действиями – «переход на ТР» и «выполнение ТР», появляется возможность сцеплять между собой несколько ТР. Такое объединение принято называть композицией ТР. «Переход на ТР» означает безусловную передачу управления на указанную ТР, а «выполнение ТР» – переход на указанную ТР с возвратом, аналогично вызову подпрограмм. В [1] показано, что композицией ТР может быть описана любая задача, но получающееся при этом описание, состоящее из множества мелких ТР, теряет такие важные качества, как простоту и наглядность.

В этом смысле описательные возможности УТР шире, что позволяет описать любой случай использования с ациклическим сценарием одной УТР. Но, с другой стороны, чрезмерное увеличение размеров УТР также может привести к потере простоты и наглядности.

В этом случае описание случаев использования может быть представлено композицией из двух-трех УТР без ущерба для простоты и наглядности.

Дополненную особыми действиями «переход на ТР» и «выполнение ТР» УТР, обеспечивающее каскадное сцепление между собой нескольких ТР,

будем называть упорядоченной каскадной таблицей решений.

Для описания задач с циклическими алгоритмами решения можно ввести еще одно особое действие «рекурсивный вызов ТР», которое означает повторное обращение к этой же ТР. Но, поскольку для обычных ТР заранее не известно условие, с проверки которого начнется выполнение сценария описываемого случая использования, то в этом случае не гарантируется продолжение сценария с требуемой точки. В тоже время, цикл может быть описан отдельной УКТР.

Проиллюстрируем эту возможность на примере задачи управления выдачей сообщений на терминалы средств автоматизации некоторой информационной подсистемы ИКС.

Имеется очередь сообщений, организованная в виде списка. Элементы списка содержат тип сообще-

ния (ТС), приоритет сообщения (ПС), номер терминала (НТ), для которого предназначено сообщение, текст сообщения и адрес следующего элемента списка (АДР), который равен нулю в последнем элементе списка. В первом (заглавном) элементе списка используется, только после АДР, нулевое значение которого означает, что очередность сообщений пуста.

Требуется, зная адрес начала списка (А), тип требуемого сообщения (Т), его приоритет (П) и номер терминала (Н), проверить случай использования со сценариями получения адреса элемента списка, содержащего сообщение с заданными параметрами либо нуль при отсутствии в очереди такого сообщения.

Формализованное описание тестового набора этого случая использования с помощью УКТР представлено на рис. 1.

Идентификаторы условий и действий	Содержание условий и действий	Правила				
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
Условия						
c ₁	ТС = Т	-	1	0	1	1
c ₂	ПС = П	-	1	-	0	1
c ₃	НТ = Н	-	1	-	-	0
c ₄	АДР = 0	1	0	0	0	0
Действия						
a ₁	А = АДР	0	1	1	1	1
a ₂	А = 0	1	0	0	0	0
a ₃	Рекурсивный вызов	0	0	0	0	0

	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	a ₁	a ₂	a ₃
c ₁	0	0	0	0	0	0	0
c ₂	0	0	0	0	0	0	0
c ₃	0	0	0	0	0	0	0
c ₄	1	1	1	0	1	1	1
a ₁	1	1	1	0	0	0	1
a ₂	0	0	0	0	0	0	0
a ₃	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 1. Пример формализованного описания тестового набора для случая использования с помощью УКТР

Нулевое значение поля АДР является признаком прекращения обработки. Поэтому в матрице следования заданы предшествования

$$c_4rc_1, c_4rc_2, c_4rc_3, c_4ra_1, c_4ra_2, c_4ra_3.$$

Предшествования $a_1rc_1, a_1rc_2, a_1rc_3, a_1ra_3$ указывают, что проверка типа сообщения, приоритета сообщения и номера терминала в очередном элементе списка, а также рекурсивный вызов УКТР

возможны только после установления адреса очередного элемента списка.

Классы случаев использования из множества S_{UC} , для которых можно описать тестовые наборы с помощью УКТР устанавливается следующей теоремой.

Теорема. Упорядоченными каскадными таблицами решений может быть представлен тестовый набор для любого случая использования.

Доказательство. Известная теорема о структурировании [3] утверждает, что с помощью трех элементарных структур-следование, выбор, повторение можно представить сценарии случаев использования сложности. Каждой из структур соответствует взаимно однозначный эквивалент среди частных случаев УКТР.

Структуре «следование» соответствует вырожденная (безусловная) УКТР с единственным правилом, порядок выполнения действий в котором указан в матрице следования.

Структуре «выбор» соответствует УКТР с одним условием и вырожденной (нулевой) матрицей следования, т.е. обычная ТР с одним условием.

Наконец, структуре «повторение» соответствует УКТР с одним условием, рекурсивно обращающаяся к самой себе. При этом, если в матрице следования проверка условия задана до выполнения действия (тела цикла), то такая УКТР соответствует структуре «цикла пока», если же после выполнения действия, то структуре «цикл до». Теорема доказана.

Выводы

Проведенные исследования показали, что используя рекурсивный вызов и композицию УКТР, можно описать тестовый набор для любого случая использования, а получаемое при этом описание, как следует из структурных особенностей сценариев тестовых случаев, будет состоять из небольшого количества средних по размеру УКТР, т.е. будет достаточно простым и наглядным.

При этом получил дальнейшее развитие аппарат таблиц решений для формального представления тестовых наборов на основе расширения описательных возможностей таблиц за счет их модификации в виде упорядоченных каскадных таблиц решений, позволяющих задавать порядок на множестве условий и действий таблицы решений с использованием матрицы следования и особых действий для связывания зависимых таблиц.

Список литературы

1. Bohm C. *Flow Diagrams, Turing Machines and Languages with Only Two Formation Rules* / C. Bohm, G. Jacopini // *Comm. of the ACM* / – 1966. – V. 9. – P. 366-371.
2. *Стандартный глоссарий терминов, используемых в тестировании программного обеспечения. Версия 2. (от 4 декабря 2008).* Подготовлен 'Glossary Working Party' International Software Testing Qualifications Board. 2008. – 55 с.
3. *Введение в технику работы с таблицами решений* / [Фрайтаг Г., Года В., Якоби Х., и др.]. – М.: Энергия, 1979. – 88 с.
4. Лысенко И.А. *Исследование процесса разработки программного обеспечения инфотелекоммуникационных систем* / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов, Л.И. Полищук // *Системи озброєння і військова техніка*. – Х.: ХУПС, 2014. – № 4(40) – С. 103-106.
5. Лысенко И.А. *Исследование уровней тестирования программного обеспечения инфотелекоммуникационных систем* / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов, Е.В. Мелешко // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – Вип. 4(17). – Х.: ХУПС, 2014. – С. 79-81.
6. Лысенко И.А. *Исследование алгоритма выявления вида неучтенных тестовых случаев в процессе проектирования тестовых наборов* / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов // *Науково-виробничий журнал "Зв'язок"*. – К.: ДУТ, 2014. – № 2 (108). – С. 153-156.

Поступила в редколлегию 31.03.2016

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. С.Г. Семенов, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

РОЗРОБКА ВПОРЯДКОВАНИХ КАСКАДНИХ ТАБЛИЦ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТРИЦЬ СЛІДУВАННЯ

І.А. Лисенко, О.А. Смірнов

Розглядаються питання вдосконалення методів тестування програмного забезпечення інфокомунікаційних систем з використанням таблиць рішень. Розробляється пропозиція по вдосконаленню можливостей опису апарата таблиць рішень методом перетворення їх у впорядковані каскадні таблиці рішень з використанням матриці слідування.

Ключові слова: інфокомунікаційні системи, таблиця рішень, матриця/

ESTABLISHING AN ORDERLY CASCADING SOLUTION USING MATRICES FOLLOW

I.A. Lysenko, A.A. Smirnov

The problems of improving the software testing methods of communication systems with the use of decision tables. Devlops proposals on improvement of decision tables describe the capabilities of the machine by converting them into a cascading ordered solutions using following matrix

Keywords: infocommunication system, decision table, matrix.