УДК 004.942:519.876.5

И.А. Лысенко, А.А. Смирнов

Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПРОВЕРКИ КОРРЕКТНОСТИ ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ

Рассматриваются вопросы проверки корректности таблиц решений для формального представления тестовых наборов, включая проверку их избыточности, противоречивости и полноты на основе выявления неучтенных в таблице ситуаций. Разрабатывается предложение по усовершенствованию существующих методов путем математической формализации.

Ключевые слова: *инфокоммуникационная система, таблица решений, матрица.*

Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы

Интегрированный подход к созданию информационных систем основан на концепции распределенных приложений, которые, в свою очередь, предполагают телекоммуникационную обработку. Телеобработка данных в части создания интегрированных информационных систем должна обеспечивать коллективное использование ресурсов систем обработки данных определенными пользователями с возможностью организации межмашинного обмена. В данном случае уместно говорить о разработке информационно коммуникационных систем или инфокоммуникационных систем (ИКС). При этом информационная подсистема ИКС, как правило, представляет собой подсистему зависящую от принятия логических решений, а коммуникационная подсистема рассматривается как событийно-ориентированная подсистема. В процессе разработки ИКС важен этап выявления и устранения ошибок, который определяется как процесс тестирования программного обеспечения (ПО).

Наибольшими возможностями по формированию основы для выявления и устранения дефектов ПО, обладают методы формализованного описания требований к программному продукту, используемые в рамках соответствующих информационных технологий на этапе системного тестирования ПО [4].

Одним из методов, используемых для проектирования тестовых наборов для проверки ПО информационных систем, характеризующихся зависимостью от принятия логических решений, являются таблицы решений (ТР) – это таблицы, содержащие комбинации входных и выходных данных, а также причины соответствующие выходным данным [1]. Однако, не смотря на достаточную наглядность и удобство их использования, очевидно, что эти ТР должны также проходить проверку. Необходимо разработать метод, который бы наиболее полно исследовал ТР на этапе их разработки.

Усовершенствование метода проверки корректности таблиц решений

Рассмотрим метод проверки корректности таблиц решений для формального представления тестовых наборов, в котором в отличие от существующих проводилась бы проверка избыточности и противоречивости, проверка полноты на основе выявления неучтенных в таблице ситуаций.

Представим такую таблицу решений методом математической формализации. В нашем случае ТР определится набором множеств

$$T = < C, A, U, W >,$$

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

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

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

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

Таблица решений называется ТР с ограниченным входом если элементы множества C принимают значения из множества $\{0,1\}$. Если хотя бы один элемент множества C принимает более двух значений, то ТР называюn ТР с расширенным входом. ТР с расширенным входом всегда можно преобразовать в ТР с ограниченным входом. В дальнейшем под ТР будем принимать ТР с ограниченным входом [5]. Структура классической ТР с ограниченным входом приведена на рис. 1.

Пара $R_j = < u_j, w_j >$ называется правилом решения или просто правилом. Расширенное представление правила можно задать как

$$R_j = < C, A, u_j \in U, w_j \in W >.$$

Идентификаторы условий и действий	Содержание условий и действий	Правила				Правило «иначе»
		R_1	R_2	...	R_k	E
Условия						
c_1		u_{11}	u_{12}	...	u_{1k}	
c_2		u_{21}	u_{22}	...	u_{2k}	
...		...	...	...	...	
c_n		u_{n1}	u_{n2}	...	u_{nk}	
Действия						
a_1		w_{11}	w_{12}	...	w_{1k}	w_{1k+1}
a_2		w_{21}	w_{22}	...	w_{2k}	w_{2k+1}
...		...	...	...	...	
a_r		w_{r1}	w_{r2}	...	w_{rk}	w_{rk+1}

Рис. 1. Структура классических таблицы решений с ограниченным входом

Необязательная пара $E = \langle \_, w_{k+1} \rangle$, в которой не определен первый элемент, называется правилом «иначе» (правилом ELSE). Одно правило соответствует тестовому случаю, предназначенному для проверки сценария из множества S_{SUC}.

Элементы матриц $\|u_{ij}\|$ и $\|w_{rj}\|$ определяются следующим образом:

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

$$w_{rj} = \left\{ \begin{array}{c} 1, \text{если дейтсвие } a_r \text{ выполняется} \\ \text{в } j-\text{ом правиле;} \\ 0, \text{в противном случае} \end{array} \right\}.$$

Ситуацией называется совокупность значений условий, описываемых вектор-столбцом u_j или правилом (тестовым случаем) R_j.

Ситуация называется элементарной, если все условия в ней существенны

$$\forall(i)((u_{ij} = 1) \vee (u_{ij} = 0))$$

и обобщенной в противном случае

$$\exists(i)(u_{ij} = \lambda).$$

Очевидно, что обобщенная ситуация включает 2^p элементарных ситуаций, где p – количество несущественных условий в ней.

Степенью обобщенности ситуации называется количество несуществующих условий в ней.

Два правила (или две ситуации) называются ортогональными друг другу $(R_j \perp R_{j'})$, если в них найдется условие, принимающее противоположные значения истинности

$$\exists(i)((u_{ij} \neq \lambda) \wedge (u_{ij'} \neq \lambda) \wedge (u_{ij} \neq u_j u_{ij'})).$$

Неортогональные правила R_j и $R_{j'}$ содержат общую ситуацию, значения условий которой определяются следующим образом

$$u_{ip} = \begin{cases} u_{ij}, \text{ если } (u_{ij} = u_{ij'}) \vee (u_{ij'} = \lambda); \\ u_{ij'}, \text{ если } u_{ij} = \lambda. \end{cases}$$

Избыточной называется ТР, содержащая, по крайней мере, одну пару неортогональных правил с одинаковыми подмножествами действий

$$\exists(j, j')((\overline{R_j \perp R_{j'}}) \wedge (w_j \neq w_{j'})).$$

Неполной называется ТР, для которой можно построить, по крайней мере, одно правило R', ортогональное всем имеющимся (ТР с правилом «иначе» полна по определению)

$$\forall(j)(R_j \perp R').$$

Формально корректной называется ТР, правила которой образуют полную ортогональную систему.

В такой таблице решений описаны все 2^n возможные элементарные ситуации, где n –количество условий в таблице решений, но каждая из них только один раз.

Рассмотрим множество $T = \{t_s\}, s = 1, 2, ...n + m$, поставленное в соответствие ТР, состоящее из множества условий $C = \{c_i\}, i = 1, 2, ...n$ и множества действий $A = \{a_r\}, r = 1, 2, ...m$.

Порядок на этом множестве может быть введен бинарным отношением предшествования $t_{s_1} \rho t_{s_2}$. Матрицей следования назовем булеву матрицу, описывающую бинарное отношение предшествования ρ между элементами множества T. Элементы этой матрицы отвечают условиям:

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

где $i, j = 1, 2, ..., n + m$.

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 $\|w_{rj}\|$. Используя матрицу $\|u_{ij}\|$, построим вспомогательную булеву матрицу $\|u^{\circ}_{ij}\|$, определяемую выражением

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

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

Тогда значения элементов матрицы Y определяются в соответствии с выражением

$$y_{ir} = \mathop{\vee}_{j=1}^{k} (u^{\circ}_{ij} \wedge w_{rj}),$$

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

Необходимым и достаточным признаком транзитивности бинарного отношения является существование транзитивного замыкания. Под транзитивным замыканием бинарного отношения ρ на множестве T понимается такое бинарное отношение $\bar{\rho}$, что $t_{s_1} \bar{\rho} t_{s_2}$ тогда и только тогда, когда существует цепочка вида

$$t_{k(0)}, t_{k(1)}, ..., t_{k(q)},$$

где $K(0) = S_1$ и $K(q) = S_2$. При этом для всех $p = 1, 2, ...q$ следовательно $t_{k(p-1)} \rho t_{k(p)}$. Значение q называется длинной цепочки.

Транзитивное замыкание бинарного отношения $\bar{\rho}$ удобно описывать квадратной булевой матрицей $\bar{L}$, которая может быть вычислена по матрице следования в соответствии с выражением

$$\bar{L} = L \vee L^2 \vee ... \vee L^q,$$

где L – матриц следования.

Умножение матриц производится по обычным правилам линейной алгебры, но с заменой умножения скаляров на конъюнкцию, а сложения скаляров на дизъюнкцию.

Проверка корректности матрицы следования заключается в выявлении единичных диагональных элементов и единичных элементов, симметричных относительно главной диагонали.

Алгоритм проверки корректности матрицы следования $\|l_{ij}\|$ размерности $(n + m) \times (n + m)$, где n – количество условий, а m – количество действий в ТР, очевиден и представляется в виде совокупности следующих действий:

1. На вход алгоритма подается матрица следования $\|l_{ij}\|$ размерности $(n + m) \times (n + m)$.

2. В цикле для $i = 1, 2, ..., n + m$ и $j = 1, 2, ..., n + m$ оцениваются диагональные значения матрицы следования $\|l_{ij}\|$.

3. Если $(i = j) \& (l_{ij} = 1)$, то установить признак ошибки, указывающей на наличие симметричных единичных элементов, и завершить выполнение алгоритма.

4. Иначе установить признак отсутствия ошибок и завершить выполнение алгоритма.

Данной проверке должна подвергаться не только исходная матрица следования, задающая бинарное отношение ρ, но и матрица, задающая транзитивное замыкание этого отношения. Алгоритм эффективного вычисления транзитивного замыкания приведен в [2, 3].

Условие совместимости матрицы следования и ТР означает, что, если в матрице следования указано предшествование $t_{s_1} \rho t_{s_2}$, то во всех правилах ТР, где существенно t_{s_2} (т.е. для соответствующего условия $u_{ij} \neq \lambda$, а для соответствующего действия $w_{rj} = 1$), должно быть также существенно t_{s_1}.

Отсюда алгоритм проверки совместимости матрицы следования и таблице решений из состава УК ТР можно представить в виде совокупности следующих действий:

1. На вход алгоритма подается матрица следования $\|l_{ij}\|$ размерности $(n+m)\times(n+m)$.

2. В цикле для $i=1,2,...,n+m$ и $j=1,2,...,n+m$ оцениваются диагональные значения матрицы следования $\|l_{ij}\|$.

3. Если $l_{ij}=1$, то для $q=1,2,...,k$ проверить выполнение четырех условий:

$$i \le n \text{ и } j \le n,$$
$$i \le n, \text{ а } j > n,$$
$$i > n, \text{ а } j \le n,$$
$$i > n \text{ и } j > n.$$

4. Если $i \le n$ и $j \le n$, то проверяется следующее условие:

– если $m_{jq}=1$ и $m_{iq}=0$, то установить признак ошибки.

5. Если $i \le n$, а $j > n$, то:

– вычисляется $j_1 = j - n$;

– проверяется условие: если $w_{j_1 q}=1$ и $m_{iq}=0$, то установить признак ошибки.

6. Если $i > n$, а $j \le n$, то:

– вычисляется $i_1 = i - n$;

– проверяется условие: если $m_{iq}=1$ и $w_{j_1 q}=0$, то установить признак ошибки.

7. Если $i > n$ и $j > n$, то:

– вычисляется $i_1 = i - n$;

– вычисляется $j_1 = j - n$;

– проверяется условие: если $w_{j_1 q}=1$ и $w_{i_1 q}=0$, то установить признак ошибки.

8. Завершается выполнение алгоритма.

Выводы

Таким образом, нами усовершенствован метод проверки корректности таблиц решений для формального представления тестовых наборов, в котором в отличие от существующих проводится проверка избыточности и противоречивости упорядоченных каскадных таблиц решений на основе использования булевых матриц масок и решений; проверка полноты на основе выявления неучтенных в таблице ситуаций, а также проверка корректности матрицы следования и ее совместимости с таблицей решений из состава упорядоченных каскадных таблиц решений.

Список литературы

1. *Ахо А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. – М.: Мир, 1979. – 536 с.*
2. *Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы: Теория и практика / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельт, Н. Део. – М.: Мир, 1980. – 476 с.*
3. *Лысенко И.А. Исследование алгоритма выявления вида неучтенных тестовых случаев в процессе проектирования тестовых наборов / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов // Зв'язок : науково-виробничій журнал. – К.: ДУТ, 2014. – № 2 (108) . – С. 153-156.*
4. *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. – № 4(17). – Х.: ХУПС, 2014. – С.79-81.*
5. *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.*
6. *Лысенко И.А. Исследование процесса разработки программного обеспечения инфотелекоммуникационных систем / И.А. Лысенко, А.А. Смирнов, Л.И Полищук // Системи озброєння і військова техніка. – № 4(40) – Х.: ХУПС, 2014. – С. 103-106.*

Поступила в редколлегию 29.04.2016

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

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДА ПЕРЕВІРКИ КОРЕКТНОСТІ ТАБЛИЦЬ РІШЕНЬ ДЛЯ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕСТОВИХ НАБОРІВ

І.А. Лисенко, О.А. Смірнов

Розглядаються питання перевірки коректності таблиць рішень для формального представлення тестових наборів, включаючи перевірку їх надлишковості., суперечливості та повноти на основі виявлення не врахованих у таблиці ситуацій. Розробляється пропозиція щодо вдосконалення існуючих методів шляхом математичної формалізації.

Ключові слова: *інфокомунікаційна система, таблиця рішень, матриця.*

IMPROVEMENT OF METHODS VALIDATION FOR FORMAL DECISION TABLES PRESENTATION TEST SET

I.A. Lysenko, A.A. Smirnov

Questions of validation tables for making a formal presentation of test sets, including verification of redundancy, inconsistency and completeness by identifying not included in the table situations. Developed proposals to improve existing methods by mathematical formalization.

Keywords: *infocommunication system, decision table, matrix.*