

УДК 681.3

А.В. ПОНОМАРЕНКО

*Институт проблем точной механики и управления РАН, Россия***УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ТЕСТЫ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ КЛАССОВ  
КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ**

Показана возможность значительного уменьшения оценки длины универсального теста в некоторых классах автоматов. Значительное уменьшение длины универсального теста возможно при выборе конкретного класса дефектов. Класс дефектов выделяется на основе специфических свойств конечных автоматов.

**диагностирование, конечные детерминированные автоматы, универсальное тестирование, классификация автоматов**

**Основные положения**

Диагностирование технических систем, математическими моделями которых являются конечные детерминированные автоматы может быть проведено в виде эксперимента по распознаванию автомата в заданном семействе автоматов. Решение этой задачи сведено А. Гиллом к решению установочной задачи, разработанному Э. Муром. Предложенный метод распознавания автомата в заданном классе автоматов жестко зависит от заданных автомата и семейства автоматов. Поэтому конкретный тест по заданному автомату и семейству при изменении автомата или семейства требует замены тестом, полученным новым применением метода. Это оказывается принципиальным недостатком на этапах проектирования технической системы и ее эксплуатации, когда в систему вносятся изменения.

В связи с этим стала актуальной проблема разработки тестов, не теряющих своих контрольных и диагностических свойств в достаточно широком диапазоне изменений тестируемой системы и множества неисправностей, относительно которого осуществляется тестирование.

В работе В.А. Твердохлебова [1] разработано понятие универсального тестирования конечных детерминированных автоматов. В дальнейших работах В.А. Твердохлебова продолжено исследова-

ние универсальных тестов – найдены оценки длины и методы построения универсальных тестов. Итоговые результаты работ по универсальному тестированию В.А. Твердохлебов приведены в работе [2].

В работах В.А. Твердохлебовым были получены следующие результаты:

– доказано существование универсальных тестов в классе конечных детерминированных автоматов;

– показано, что критерием существования универсального теста является известное условие Э. Мура отсутствия эквивалентных состояний у анализируемых автоматов;

– разработан метод построения универсальных тестов;

– решен вопрос о наличии у каждого универсального теста его наименьшей по длине формы;

– показано, что универсальный тест может задаваться аналитической формулой для функции  $k$ -значной логики;

– найдена оценка длины универсального теста.

Полученная Твердохлебовым оценка длины универсальных тестов показала, что их применение на практике невозможно даже для достаточно простых технических систем с небольшой емкостью памяти.

В статье решается вопрос о возможности сокращения универсальных тестов в классах специальных автоматов.

### Классификация автоматов

Для выделения частных классов в классе конечных детерминированных автоматов используется разработанная в работе [3] классификация автоматов на основе фундаментальных свойств Поста. В основе классификации автоматов, лежит известная декомпозиция автомата на комбинационную часть, рассматриваемую как совокупность функций алгебры логики, и память. Для функций алгебры логики имеется фундаментальная классификация по свойствам Поста – сохранять нуль, сохранять единицу, быть линейной, быть самодвойственной, быть монотонной. Для любой булевой функции и любого свойства Поста существуют эффективные процедуры проверки, обладает ли функция рассматриваемым свойством. В связи с этим всего возможно 32 варианта сочетаний свойств Поста. Для обозначения этих классов будем использовать букву  $H$  с пятью нижними индексами:  $H_{abcde} = H_a \cap H_b \cap H_c \cap H_d \cap H_e$ , где  $a = 0 | \bar{0}$ ,  $b = 1 | \bar{1}$ ,  $c = S | \bar{S}$ ,  $d = L | \bar{L}$ ,  $e = M | \bar{M}$ . Также рассматриваются более широкие классы, например,  $H_0, H_{0L}$  и т.д. Для классификации автомата его функции переходов и выходов  $\delta$  и  $\lambda$  представляются в виде наборов булевых функций

$$\delta = \langle \delta_1, \delta_2, \dots, \delta_\omega \rangle, \quad \lambda = \langle \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\nu \rangle.$$

Отнесение автомата к какому-либо классу автоматов происходит на основе принадлежности  $\delta_i, 1 \leq i \leq \omega$  и  $\lambda_j, 1 \leq j \leq \nu$  какому-либо классу функций. Так, например, будем считать, что автомат является линейным  $A \in H_L$ , если все булевы функции из наборов, составляющих функцию переходов и функцию выходов – линейные,  $\lambda_j \in H_L$  и  $\delta_i \in H_L$ .

### Выбор классов для исследования

Для исследования возможности понижения оценки длины универсального теста был выбран класс  $(4, 2, 2)$ -автоматов вида

$$A = ((E_2)^2, E_2, E_2, \delta, \lambda),$$

где  $E_2 = \{0,1\}$ .

Этот класс конечных детерминированных автоматов содержит 16777216 автоматов, включая эквивалентные автоматы.

В исследуемом классе автоматов для проведения вычислительного эксперимента были выделены подклассы автоматов:

$$H_L, H_S, H_M, H_{SL}, H_{SM}, H_{LM}, H_{SLM}.$$

Для выделенных подклассов класса конечных детерминированных  $(4, 2, 2)$ -автоматов вычислено общее число автоматов, число попарно неэквивалентных автоматов и определены пары автоматов, составляющие исключительные классы (табл. 1). Определение пар составляющих исключительные классы проводилось по известному алгоритму проверки эквивалентности состояний [4].

Таблица 1

Характеристики исследуемых классов

Класс	Кол-во авт.	Кол-во попарно неэквивалентных авт.	Кол-во пар, составляющих исключительный класс
$H_L$	4096	84	3378
$H_S$	4096	356	61384
$H_M$	8000	1460	621212
$H_{SL}$	512	27	341
$H_{SM}$	64	13	42
$H_{LM}$	125	10	30
$H_{SLM}$	27	3	2

### Исследование классов автоматов

Универсальный тест в классе  $(4, 2, 2)$ -автоматов вида  $A = ((E_2)^2, E_2, E_2, \delta, \lambda)$ , где  $E_2 = \{0,1\}$ , по полученной оценке имеет длину 524 306 символов. Для проверки возможности уменьшения длины универсального теста были выбраны два способа сокращения.

Метод суффиксного сокращения универсального теста:

- построенный вариант универсальный теста побуквенно, начиная с первой, прилагается поочередно ко всем парам автоматов из исследуемого подкласса, образующим исключительные классы;
- по полученным выходным последовательностям определяется префикс универсального теста, на котором автоматы распознавались в паре;
- из полученных префиксов выбирается префикс универсального теста максимальной длины. Эта длина устанавливается в качестве верхней оценки длины префикса универсального теста, в исследуемом подклассе сохраняющего свойство универсальности.

Метод префиксного сокращения универсального теста:

- для каждой пары автоматов из исследуемого подкласса, образующей исключительные классы выбирается конечный отрезок построенного универсального теста по следующему принципу: сначала к паре прилагается последний символ, если пара не распознается, то прилагается предпоследний и последний символы и т.д., до тех пор, пока пара автоматов не будет распознана;
- длина полученного конечного отрезка универсального теста фиксируется для каждой пары автоматов;
- из всех полученных длин выбирается наибольшая, которая является верхней оценкой длины суффикса универсального теста, в исследуемом

подклассе сохраняющего свойство универсальности.

Входной алфавит для класса  $(4, 2, 2)$ -автоматов состоит из двух символов, изменением задаваемого на множестве  $X$  порядка по предложенному В.А. Твердохлебовым методу можно получить два варианта универсального теста:

- Вариант 1. На множестве  $X = \{0,1\}$  порядок “ $\prec$ ” задается по правилу  $0 \prec 1$ .
- Вариант 2. На множестве  $X = \{0,1\}$  порядок “ $\prec$ ” задается по правилу  $1 \prec 0$ .

В результате проведения вычислительного эксперимента в выбранных подклассах класса  $(4, 2, 2)$ -автоматов было установлено значительное сокращение оценки длины универсального теста.

*Утверждение 1.* В подклассе линейных автоматов  $H_L$  класса  $(4, 2, 2)$ -автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 24 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 24 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 22 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 23 символа.

*Утверждение 2.* В подклассе самодвойственных автоматов  $H_S$  класса  $(4, 2, 2)$ -автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 117 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 117 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 106761 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 106761 символа.

*Утверждение 3.* В подклассе монотонных автоматов  $H_M$  класса (4, 2, 2)-автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 533 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 533 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 106765 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 106765 символа.

*Утверждение 4.* В подклассе самодвойственных линейных автоматов  $H_{SL}$  класса (4,2,2)-автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 23 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 23 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 21 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 22 символа.

*Утверждение 5.* В подклассе самодвойственных монотонных автоматов  $H_{SM}$  класса (4, 2, 2)-автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 58 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 58 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 9368 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 9368 символа.

*Утверждение 6.* В подклассе линейных монотонных автоматов  $H_{LM}$  класса (4, 2, 2)-автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 22 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 22 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 20 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 21 символа.

*Утверждение 7.* В подклассе самодвойственных линейных и монотонных автоматов  $H_{SLM}$  класса (4, 2, 2)-автоматов сохраняет свойство быть универсальным тестом в подклассе:

- префикс 1-го варианта универсального теста, длиной 22 символа,
- префикс 2-го варианта универсального теста длиной 22 символа,
- суффикс 1-го варианта универсального теста, длиной 19 символа,
- суффикс 2-го варианта универсального теста длиной 19 символа.

## Литература

1. Твердохлебов В.А. Универсальные генераторы тестов и системы диагностирования // Техническая диагностика. – Ростов-на-Дону, 1982.
2. Твердохлебов В.А. Методы построения универсальных тестов для конечных автоматов // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 1. – С. 154-163.
3. Твердохлебов В.А., Пономаренко А.В. Классификация конечных автоматов по свойствам функций переходов и выходов // Сб. научн. тр. ИПТМУ РАН. – Саратов: СГТУ, 2004. – С. 16-25.
4. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 466 с.

*Поступила в редакцию 17.02.2006*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Е. Федорович, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.