

# Метрики тестирования методом комбинаторного покрытия

А. Барабанов

17 ноября 2010 г.

## Аннотация

Данная статья посвящена обзору и анализу публикации Национального Института стандартов и технологий США (The National Institute of Standards and Technology, NIST) SP 800-142 «Practical Combinatorial Testing» [1] и является продолжением статьи «Тестирование методом комбинаторного покрытия: обзор публикации NIST SP 800-142» [2]. Рассмотрены метрики, которые могут применяться при оценке результатов тестирования методом комбинаторного покрытия.

## Введение

Поскольку тестирование всех возможных комбинаций факторов, влияющих на работу программного обеспечения (ПО), является чрезвычайно трудной задачей, тестирование методом комбинаторного покрытия является хорошей альтернативой исчерпывающему тестированию. Определение степени покрытия пространства факторов тестирования (конфигураций ПО и входных параметров) позволяет разработчику ПО оценить остаточный риск ошибок ПО. Если при тестировании пространство факторов покрывается на 90–100%, то остаточный риск ошибки ПО невелик. Для современного ПО такое покрытие требует больших материальных и временных затрат, поэтому остаточный риск ошибки в данном случае является величиной существенной. Далее рассмотрены различные метрики тестирования методом комбинаторного покрытия, которые могут быть полезны при оценке остаточных рисков.

## 1 Тестовое покрытие

Оценка тестового покрытия — один из наиболее важных процессов при оценке качества ПО. Разработчикам необходима некоторая количественная оценка риска (показателей надежности) использования производимого ПО, которую они могут получить, используя метрики тестирования. Следует отметить, что оценка показателей надежности разрабатываемого ПО существенно отличается от аналогичного процесса, применяемого при производстве технических средств, в котором

может быть выполнена оценка вероятности выхода из строя изделия за определенный промежуток времени. Источником ненадежности технических средств служат объективные факторы, неподвластные человеку (например, скачки напряжения питания). Источником ненадежности ПО – ошибки, совершённые на этапе разработки (программисты, тестировщики) или на этапе эксплуатации. Оценить показатели надежности ПО трудно в свете большого количества возможных путей выполнения программы. Например, если ПО содержит  $n$  операторов IF, для каждого из которых возможны два пути выполнения программы, то общее количество различных путей выполнения программы составляет  $2^n$ . Даже для небольших программ ( $n = 270$ ) число возможных путей выполнения сравнимо с количеством атомов во Вселенной.

Далее приведены наиболее известные оценки тестового покрытия [3]:

- **метрика покрытия инструкций** (*statement coverage*) — доля выполненных во время тестирования инструкций кода программы по отношению ко всем ее инструкциям. Следует отметить, что для обнаружения всех ошибок ПО покрытия 100% инструкций недостаточно: покрытие инструкций не гарантирует, например, обнаружения пропущенных инструкций, поскольку оно вычисляется только по имеющимся.
- **метрика покрытия ветвей** (*decision or branch coverage*) — доля покрытых в ходе теста ветвей программы по отношению к общему количеству достижимых ветвей.
- **метрика покрытия условий** (*modified condition decision coverage*) — доля покрытых текстами элементарных условий, принимающих все возможные значения, по отношению к общему количеству элементарных условий.
- **модифицированная метрика покрытия комбинаций условий** (*condition coverage*) — метрика, применяемая при оценке ПО авиационных бортовых систем в соответствии со стандартом DO-178B по уровню «А» (наиболее критичное ПО).

## 2 Метрики тестирования методом комбинаторного покрытия

Отметим, что использование метрик тестового покрытия, приведенных в разделе 1, зависит от доступности исходного текста тестируемой программы, то есть использовать данные метрики возможно при проведении тестирования с использованием стратегии «белого ящика». Тестирование методом комбинаторного покрытия, в общем случае, не требует знания внутреннего устройства тестируемого объекта и опирается на стратегию тестирования «черного ящика». Однако даже в отсутствии доступа к исходным текстам программы существует ряд метрик, которые могут применяться при оценке полноты тестирования. Далее приведены метрики, которые могут быть использованы при оценке полноты тестирования методом комбинаторного покрытия.

## 2.1 Простое $t$ -факторное комбинаторное покрытие

Данная метрика отвечает на следующий вопрос: какая доля общего числа  $t$ -факторных комбинаций будет покрыта данными тестовыми наборами. Если тестовый набор представляет собой покрывающий массив [2], то очевидно, что в данном случае метрика равна 100%. Некоторые стратегии тестирования, не опирающиеся на применение метода комбинаторного покрытия, могут дать достаточно хороший процент покрытия  $t$ -факторного комбинаторного тестирования. Если мощность тестовых наборов достаточно велика, но они не представляют собой покрывающий массив (например, при использовании датчика случайных чисел для генерации тестовых наборов), то существует большая вероятность полного покрытия данными тестовыми наборами 2-х факторного тестирования или тестирования с большим числом факторов.

**Пример.** Рассмотрим тестовый набор, представленный в таблице 1. Из всех существующих 2-х факторных комбинаций  $\{a, b\}$ ,  $\{a, c\}$ ,  $\{a, d\}$ ,  $\{b, c\}$ ,  $\{b, d\}$ ,  $\{c, d\}$  только комбинации  $\{b, d\}$  и  $\{c, d\}$  полностью покрываются данным тестовым набором (то есть тестируются все возможные значения двух переменных  $\{0, 0\}$ ,  $\{0, 1\}$ ,  $\{1, 0\}$ ,  $\{1, 1\}$ ). Таким образом, метрика «простое 2-х факторное комбинаторное покрытие» для данного тестового набора равно  $2/6 = 33,3\%$ . Существует четыре 3-х факторных комбинации  $\{a, b, c\}$ ,  $\{a, b, d\}$ ,  $\{a, c, d\}$ ,  $\{b, c, d\}$ , каждая из которых принимает  $2^3 = 8$  возможных значений. Представленный тестовый набор полностью не покрывает ни одной из четырех комбинаций. Поэтому метрика «простое 3-х факторное комбинаторное покрытие» для данного тестового набора равно 0.

Таблица 1: тестовый набор

a	b	c	d
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
0	1	1	1

## 2.2 $(t + k)$ -факторное комбинаторное покрытие

Тестовый набор, полностью покрывающий комбинаторное тестирование для  $t$ -факторов, будет, очевидно, покрывать и некоторый процент тестовых комбинаций для  $t + 1$  факторов,  $t + 2$  факторов и т. д. Эта оценка может быть использована для сравнения различных тестовых наборов. Например, может существовать два алгоритма, генерирующих покрывающий массив для 3-факторного тестирования методом комбинаторного покрытия. Каждый из них обеспечивает 100% покрытие комбинаторного тестирования для 3 факторов, но если один из них обеспечивает большее покрытие комбинаций значений четырех или пяти факторов, то именно этому алгоритму следует отдать предпочтение при планировании процедуры тестирования.

**Пример.** Тестовый набор, представленный в таблице 2, полностью покрывает 2-х факторное тестирование методом комбинаторного покрытия. Для 3-х фактор-

ного тестирования из четырех возможных комбинаций полностью покрывается только комбинация  $\{b, c, d\}$ . Таким образом,  $(2 + 1)$ -факторное комбинаторное покрытие для данного тестового набора равно  $1/4 = 25\%$ .

Таблица 2: тестовый набор

a	b	c	d
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
0	1	1	1
0	1	0	1
1	0	1	1
1	0	1	0
0	1	0	0

### 2.3 Покрытие пространства значений факторов тестирования

Данная метрика, в отличие от предыдущих, оценивает не долю комбинаций факторов, полностью покрытых в ходе использования того или иного тестового набора, а процент покрытия различных комбинаций значений факторов при проведении тестирования. Например, для 2-х факторного тестирования  $t$  бинарных переменных каждая комбинация из двух переменных имеет 4 возможных значения  $\{0, 0\}$ ,  $\{0, 1\}$ ,  $\{1, 0\}$ ,  $\{1, 1\}$ . Таким образом, пространство значений факторов тестирования в этом случае имеет мощность  $2^2 \cdot C_n^2$ . Можно ввести две метрики применительно к оценке покрытия пространства значений факторов тестирования:

- **покрытие конфигураций факторов тестирования** – отношение мощности подпространства значений факторов тестирования, покрытого тестовым набором, к мощности пространства значений факторов тестирования;
- $(p, t)$ -**полнота** – для данного числа  $n$  факторов это величина, показывающая долю комбинаций  $t$  факторов (число различных комбинаций  $t$  из  $n$  факторов равно  $C_n^t$ ), различные конфигурации которых покрыты, по крайней мере, на  $p$  процентов.

**Пример.** Для тестового набора из четырех бинарных переменных существует всего  $C_4^2 = 6$  возможных 2-х факторных комбинации и  $2^2 \cdot C_4^2 = 24$  различных конфигураций 2-х факторных комбинаций. Тестовый набор, приведенный в таблице 2, покрывает 19 конфигураций (кроме следующих конфигураций  $\{a, b\} = \{1, 1\}$ ,  $\{a, c\} = \{1, 1\}$ ,  $\{a, d\} = \{1, 0\}$ ,  $\{b, c\} = \{0, 1\}$ ,  $\{b, c\} = \{1, 0\}$ ). При этом полностью покрываются конфигурации только для комбинаций факторов  $\{b, d\}$  и  $\{c, d\}$ . Таким образом, метрика «простое 2-х факторное комбинаторное покрытие» для данного тестового набора равно  $2/6 = 33.3\%$ , а метрика «покрытие конфигураций факторов тестирования» равна  $19/24 = 79\%$ . В таблице 3 приведены все конфигурации 2-х факторных комбинаций, покрываемые тестовым набором таблицы 2.

Таблица 3: покрытие тестовых конфигураций

Комбинации факторов	Покрываемые конфигурации	Покрытие
$\{a, b\}$	$\{0, 0\}, \{0, 1\}, \{1, 0\}$	0,75
$\{a, c\}$	$\{0, 0\}, \{0, 1\}, \{1, 0\}$	0,75
$\{a, d\}$	$\{0, 0\}, \{0, 1\}, \{1, 1\}$	0,75
$\{b, c\}$	$\{0, 0\}, \{1, 1\}$	0,5
$\{b, d\}$	$\{0, 0\}, \{0, 1\}, \{1, 0\}, \{1, 1\}$	1,0
$\{c, d\}$	$\{0, 0\}, \{0, 1\}, \{1, 0\}, \{1, 1\}$	1,0

Из таблицы 3 следует, что все конфигурации 2-х факторных комбинаций покрыты, по крайней мере, на 50% (минимальная доля покрытия приходится на пару  $\{b, d\}$ ). Поэтому метрика «(0.5, 2)-полнота» для данного тестового набора равна 100%. Аналогично получаем и другие значения метрики «(p, t)-полнота»:

- (0.5, 2)-полнота =  $6/6 = 1,0$ ;
- (0.75, 2)-полнота =  $5/6 = 0,8$ ;
- (1.0, 2)-полнота =  $2/6 = 0,3$ .

### 3 Заключение

Измерение тестового покрытия — необходимая процедура, выполняемая в процессе тестирования ПО, позволяющая оценить покрытие пространства конфигураций факторов тестирования и, следовательно, остаточные риски ошибок ПО. Применение метрики «(t + k)-факторное комбинаторное покрытие» позволяет сделать выбор между несколькими тестовыми наборами t-факторного тестирования в пользу набора, покрывающего большее число t+1 и t+2-факторных конфигураций.

### Список литературы

- [1] **NIST Special Publication 800-142**. Practical Combinatorial Testing. — <http://csrc.nist.gov/groups/SNS/acts/documents/SP800-142-101006.pdf>.
- [2] **А.В. Барабанов**. Тестирование методом комбинаторного покрытия: обзор публикации NIST SP 800-142. — <http://s3r.ru/12/11/2010/audit-koda/testirovanie-sp-800-142/>.
- [3] **В.В. Кулямин**. Тестирование на основе моделей. — <http://panda.ispras.ru/~kuliain/lectures-mbt/Lecture02.pdf>.