

УДК 004.052.42

С. А. ЯРЕМЧУК¹, В. С. ХАРЧЕНКО²¹Национальный университет «Одесская морская академия», Украина²Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МЕТОДА ОТБОРА ДЕФЕКТСОДЕРЖАЩИХ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Для проверки метода отбора дефектосодержащих компонентов использована представительная выборка экспериментальных данных пяти различных программных систем. Метод дает возможность управлять достижением требуемой надежности посредством выбора определенной части компонентов для выявления как можно большей части дефектов. Для оценки эффективности применения метода предложен и рассчитан коэффициент, показывающий отношение части выявленных дефектов к части верифицируемых компонентов. С увеличением количества используемых метрик и уменьшением размера выборки коэффициент эффективности повышается. Установлена возможность полной автоматизации метода.

Ключевые слова: надежность, эффективность, программные системы, дефекты, дефектосодержащие компоненты, метрики сложности.

Введение

Мотивация. Растущее число проектов и сложность программных систем (ПС), с одной стороны, и ограниченные ресурсы, - с другой, порождают противоречие между требуемой и получаемой по окончании разработки надежностью ПС. Разрешению этого противоречия препятствует ряд причин.

Большинство существующих моделей и методов используют данные тестирования о времени выявления дефектов. В то же время специалистами известных ИТ-компаний установлено, что выявление и устранение дефектов на ранних этапах разработки в 10-100 раз дешевле, чем на этапе валидации и эксплуатации [1]. Чтобы обеспечить требуемую надежность и снизить затраты на разработку ПС, необходима априорная информация о дефектах до начала верификации исходного кода. Разработчикам важно знать, сколько дефектов содержится в ПС. Это знание позволяет спланировать бюджет и сроки верификации. В этом смысле очень важной является информация, какие именно компоненты с наибольшей вероятностью содержат дефекты. Это знание способствует выявлению и устранению как можно большего количества дефектов, и особенно актуально в условиях ограниченных ресурсов.

Анализ публикаций. Для решения задачи априорного оценивания надежности ПС разработаны методы оценки количества дефектов и идентификации дефектосодержащих компонентов (ДСК) ПС. Это методы статического анализа исходного кода, методы на основе экспертных оценок, метрик сложности и эволюции исходного кода, метрик тестирования и организации процесса разработки, ме-

тоды алгоритмов машинного обучения, нечеткой логики, Байесовских и нейронных сетей.

В последнее десятилетие широкое распространение получили методы оценивания надежности на основе *искусственных нейронных сетей Wavelet* [2]. Эти методы демонстрируют эффективное прогнозирование показателей надежности в начальной стадии тестирования ПС, однако требуют длительного обучения. Одним из новых классов нейронных сетей являются сети на основе *радиально-базисных функций (RBF)*. Такие сети характеризуются большой скоростью обучения, однако имеют различные особенности, исследованные в работе [3]. Ее автором использована программная реализация нейронной сети *RBF*, позволяющая изменять функцию активации, количество нейронов, погрешность и количество эпох обучения. Исследование выявило наилучшую функцию по критерию скорости обучения (*Gaussian*), и наилучшую функцию по критерию точности прогнозирования (*Inverse Multiquadric*). Показано, что функция *Mexican Hat* не применима к решению задачи прогнозирования дефектов, поскольку погрешность оценивания превышает 30%.

Т.о., использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования показателей надежности обязывает разработчиков использовать малоизвестное программное обеспечение, а также знать детальные характеристики нейронной сети и зависимости от них результатов прогнозирования. Сложность, а в ряде случаев низкая скорость обучения и высокая погрешность прогнозирования препятствуют широкому внедрению этих методов в повседневную практику программной инженерии.

Задача априорного оценивания количества де-

фектов в ПС на основе учета ее сложности решена в [4] и предложена аналитическая модель *зависимости количества дефектов в программном коде от показателей его сложности*. Для вычисления коэффициентов модели получена система линейных уравнений на основе показателей сложности и количества дефектов ранее разработанных ПС. Модель и метод на ее основе позволяют спрогнозировать общее количество дефектов в ПС до начала верификации кода с погрешностью 11%, что на 20% меньше погрешности оценок известными моделями. В этой же работе предложен *метод локализации дефектов в компонентах ПС*, который позволяет оценить математическое ожидание количества дефектов в отдельных компонентах определенного уровня сложности. Средняя погрешность оценок составила 9%. Однако задача получения ранжированной выборки ДСК осталась нерешенной.

Для ее решения предложен *метод отбора дефектосодержащих компонентов ПС* [5]. В данном контексте компонент (модуль, класс) – это отдельная дискретная идентифицированная структурная единица ПС, которая может быть протестирована отдельно. Метод основан на оценивании сложности компонентов ПС посредством ряда метрик. Метрика сложности ПС – это мера количественного оценивания одного или нескольких аспектов сложности исходного кода на основе известного математического выражения. Входными данными метода являются показатели сложности отдельных модулей ПС по метрикам $M = \{M_1, M_2, \dots, M_n\}$. Метод состоит в отборе части компонентов с наивысшими показателями сложности по каждой метрике. Размер *базовой* выборки определяется с учетом ограничений ресурсов верификации. Операции пересечения базовых выборок компонентов с показателями сложности по одной, двум, трем, и т.д. метрикам образуют *промежуточные* ранжированные выборки. Наибольший ранг получают компоненты с высокими оценками сложности по всем используемым метрикам. Компоненты с высокими рангами подлежат первоочередной верификации. Наименьший ранг получают компоненты с высокими оценками сложности по одной метрике. *Результирующая* выборка компонентов формируется операцией объединения промежуточных выборок. Метод отличается от существующих учетом сложности компонентов посредством ряда метрик, позволяет определить размер выборки компонентов с учетом ограничений ресурсов, и способствует повышению эффективности верификации за счет роста количества выявляемых дефектов. Предложенный метод нуждается в экспериментальной проверке, что определяет **цель статьи**.

2. Методика проведения эксперимента

Для экспериментальной проверки метода использованы показатели сложности (метрики) и данные о количестве дефектов отдельных компонентов пяти различных ПС. Анализ этих данных [5] свидетельствует, что значительный общий объем данных и различия ПС позволяют считать такую выборку данных представительной. Выбор метрик обоснован в исследовании [4].

С помощью разработанного программного средства было подсчитано количество компонентов с наивысшими показателями сложности по указанным метрикам, и количество содержащихся в компонентах дефектов для каждой ПС. Первой подзадачей анализа полученной информации была определение сложности компонентов, оцененной метриками. Второй подзадачей было определение объема выборки компонентов. Выбирались различные части (10%, ..., 50%) от их общего количества. Размер частей мотивирован возможными ограничениями ресурсов верификации. Поскольку характеристики исследуемых ПС значительно отличались, рассчитывались не абсолютные, а относительные показатели, выраженные в процентном отношении.

У одной исследуемой ПС 99% компонентов содержали дефекты. Этим показателем данная ПС существенно отличалась от остальных. Анализ ее показателей показал, что отбор компонентов с учетом их сложности не давал увеличения количества содержащихся в этих компонентах дефектов. Усредненные данные для четырех ПС представлены в таблице 1 и расположены в две строки. Верхняя строка показывает долю компонентов от их общего количества.

Нижняя строка показывает долю дефектов, содержащихся в этих компонентах, от их общего количества. Значения, выделенные для примера в последней колонке таблицы 1, следует понимать так. Для исследуемых ПС базовая выборка 20% наиболее сложных компонентов по каждой из метрик формирует результирующую ранжированную выборку компонентов размером 41,8% от их общего количества, содержащую 74,8% от общего количества дефектов. Если для верификации 41,8% компонентов ресурсов недостаточно, следует уменьшать размер базовой выборки. Для уменьшения количества анализируемых показателей и анализа эффективности выборки предложен коэффициент $k = \frac{d_m}{m}$, где m – доля компонентов от их общего количества; d_m – доля дефектов от их общего количества, содержащихся в этих компонентах.

Таблиця 1

Усредненные расчетные данные четырех исследуемых ПС

Размер выборки	Показатели	По 7-м метрикам	По 6-ти метрикам	По 5-ти метрикам	По 4-м метрикам	По 3-м метрикам	По 2-м метрикам	По одной метрике	Итого
10 %	% компон.	2,0	1,3	2,5	2,5	3,8	3,3	8,0	23,3
	% дефек.	15,0	6,5	7,0	8,0	6,5	4,8	7,8	55,5
11 %	% компон.	2,0	1,8	2,8	3,0	4,3	3,0	8,8	25,5
	% дефек.	14,3	7,3	7,8	6,8	7,3	4,8	8,0	56,0
13 %	% компон.	2,3	1,8	2,8	3,5	4,0	3,8	8,8	26,8
	% дефек.	17,3	8,8	8,3	7,0	6,8	5,8	8,5	62,3
14 %	% компон.	2,5	2,8	3,3	4,3	4,5	4,3	10,3	31,8
	% дефек.	18,3	11,3	7,3	8,3	5,8	6,5	9,3	66,5
17 %	% компон.	3,0	3,0	3,5	5,3	5,0	4,8	11,0	35,5
	% дефек.	19,8	13,0	7,3	9,5	6,3	5,8	9,0	70,5
20 %	% компон.	4,5	4,0	4,5	5,5	6,0	5,5	11,8	41,8
	% дефек.	23,5	13,3	8,3	7,8	6,5	6,8	8,8	74,8
25 %	% компон.	6,3	5,0	5,5	7,0	7,0	6,3	13,5	50,5
	% дефек.	30,0	12,0	9,0	9,0	5,8	5,3	9,0	80,0
33 %	% компон.	9,0	7,5	8,0	8,8	6,5	8,3	14,5	62,5
	% дефек.	36,0	14,8	9,3	8,5	5,3	6,5	7,0	87,3
50 %	% компон.	17,8	13,3	10,5	9,8	9,0	9,3	11,5	81,0
	% дефек.	47,0	19,3	10,8	5,8	4,3	4,8	4,5	96,3

Чем выше k , тем большую часть дефектов содержит отобранная часть компонентов. Назовем этот показатель коэффициентом эффективности применения метода. С использованием k данные таблицы 1 преобразованы и представлены в таблице 2. Значения k в таблице 2 показывают, во сколько раз часть отобранных компонентов превышает часть содержащихся в них дефектов.

Например, $k=7,5$ означает, что верификация 1% отобранных компонентов позволит выявить 7,5% дефектов. В последней ячейке последней строки данных таблицы 2 указано минимальное значение $k=0,39$. Рассчитано среднее значение $k=2,34$. Предложим следующую трактовку коэффициента. Если $k \leq 1$, будем считать отбор компонентов с учетом их сложности по метрикам неэффективным.

Если $1 \leq k \leq 1,5$, будем считать отбор компонентов малоэффективным. Если $k > 1,5$, будем считать отбор компонентов эффективным.

3. Анализ полученных результатов

Анализ данных таблицы 2 выявил две тенденции. Первая тенденция просматривается в каждом горизонтальном ряду данных. Максимально эффективным является отбор компонентов с наивысшими показателями сложности по всем метрикам. С уменьшением количества метрик, задействованных для оценки сложности компонентов, k уменьшается. В последнем вертикальном столбце таблицы 2 $k \leq 1$. Т.е. учет сложности по одной метрике не дает преимуществ в отборе компонентов с дефектами.

Таблица 2

Усредненные коэффициенты эффективности применения метода для четырех ПС

Размер базовой выборки	k для модулей по 7-ми метрикам	k для модулей по 6-ти метрикам	k для модулей по 5-ти метрикам	k для модулей по 4-м метрикам	k для модулей 3-м метрикам	k для модулей 2-м метрикам	k для модулей по одной метрике
10 %	7,50	5,20	2,80	3,20	1,73	1,46	0,97
11 %	7,13	4,14	2,82	2,25	1,71	1,58	0,91
13 %	7,67	5,00	3,00	2,00	1,69	1,53	0,97
14 %	7,30	4,09	2,23	1,94	1,28	1,53	0,90
17 %	6,58	4,33	2,07	1,81	1,25	1,21	0,82
20 %	5,22	3,31	1,83	1,41	1,08	1,23	0,74
25 %	4,80	2,40	1,64	1,29	0,82	0,84	0,67
33 %	4,00	1,97	1,16	0,97	0,81	0,79	0,48
50 %	2,65	1,45	1,02	0,59	0,47	0,51	0,39

Вторая тенденция просматривается в каждом вертикальном ряду данных. Максимально эффективным является отбор наименьшей части компонентов. С увеличением размера выборки компонентов наблюдается уменьшение k . Т.е., чем меньше размер выборки, тем значительнее эффект от учета сложности по метрикам при отборе компонентов.

Т.о., коэффициент эффективности применения метода зависит от количества метрик, используемых для оценивания сложности, и от размера выборки компонентов. С увеличением количества метрик, используемых для оценки сложности компонентов, и уменьшением размера их выборки коэффициент повышается. Справедливо и обратное утверждение. Максимальное значение коэффициента составило 7,5, среднее значение 2,34, минимальное значение 0,39.

Выводы

Экспериментальная проверка метода на представительной выборке данных пяти различных ПС подтвердила целесообразность его практического использования. Эффективность применения метода зависит от количества метрик, задействованных для оценивания сложности компонентов, и от размера их выборки. Полученные результаты позволяют управлять процессом достижения требуемой надежности за счет отбора определенного количества дефектосодержащих компонентов с целью выявления как можно большего количества дефектов в условиях ограниченных временных, финансовых и аппаратно-программных ресурсов верификации.

Установлена возможность полной автоматизации метода. Выявлено ограничение применения метода для ПС, 99% компонентов которых содержат

дефекты. В таком случае использование метода не эффективно. Актуальными направлениями дальнейших исследований представляется описание программной реализации метода, и его экономическое обоснование в терминах «затраты/прибыль/убытки».

Литература

1. Поморова, О. В. Сучасні проблеми оцінювання якості програмного забезпечення [Текст] / О. В. Поморова, Т. О. Говорущенко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2013. – № 5(64). – С. 319–327.
2. Denghua, M. *Early Software Reliability Prediction with Wavelet Networks Models [Text]* / M. Denghua // *The 2007 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, 15–16 Oct, 2007.
3. Yakovyna, V. S. *Software failures prediction using RBF neural network [Текст]* / V. S. Yakovyna // *Труди Одеського політехнічного університета*. – 2015. – Вып. 2(46). – С. 111–118.
4. Яремчук, С. О. *Моделі, методи і технологія апріорного оцінювання показників надійності обліково-аналітичних інформаційних систем [Текст]* : дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / С. О. Яремчук ; Одеськ. нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2015. – 210 с.
5. Яремчук, С. А. *Метод отбора дефектосодержащих компонентов программных систем. [Текст]* / С. А. Яремчук, В. С. Харченко // *Радиоэлектронные и компьютерные системы*. – 2016. – № 5 (79). – С. 64–69.

References

1. Pomorova, O. V., Hovorushchenko, T. O. Modern problems of the software quality estimation. *Radioelectronic and computer systems*. 2013, no. 5(64), pp. 319–327.

2. Denghua, M. Early Software Reliability Prediction with Wavelet Networks Models. *The 2007 International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, 15-16 Oct. 2007.

3. Yakovyna, V. S. Software failures prediction using RBF neural network. *The works of the Odessa National Polytechnic University*, 2015, no. 2(46), pp. 111–118.

4. Yaremchuk, S. O. *Modeli, metody i tekhnolohiya apriornoho otsynuvannya pokaznykiv nadiynosti*

oblikovo-analitychnykh informatsiynykh system. Dys. ... kand. tekhn. nauk [Models, methods and technology of a priori estimation reliability indices of accounting and analytical information systems. Diss. ... cand. tech. sci.]. Odessa, Odessa National Polytechnic University Publ., 2015. 210 p.

5. Yaremchuk, S. A., Kharchenko, V. S. The method of selection of the program system components containing defects. *Radioelectronic and computer systems*. 2016, no. 5 (79), pp. 64–69.

Поступила в редакцію 22.03.2016, рассмотрена на редколлегии 14.04.2016

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ ВІДБОРУ ДЕФЕКТОВМІЩУЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

С. О. Яремчук, В. С. Харченко

Для перевірки методу відбору дефектовміщуючих компонентів використана репрезентативна вибірка експериментальних даних п'яти програмних систем. Метод дає можливість досягти необхідної надійності за допомогою вибору певної частини компонентів для виявлення якомога більшої частини дефектів. Для оцінки ефективності застосування методу запропонований і розрахований коефіцієнт, що показує відношення частини виявлених дефектів до частини опрацьованих компонентів. Із збільшенням кількості використаних метрик і зменшенням розміру вибірки коефіцієнт ефективності підвищується. Встановлена можливість повної автоматизації методу

Ключові слова: надійність, ефективність, програмні системи, дефекти, дефектовміщуючі компоненти, метрики складності.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE METHOD FOR CHOOSING COMPONENTS WITH FAULTS FOR SOFTWARE SYSTEMS

S. A. Yaremchuk, V. S. Kharchenko

To approve the method of choosing components with faults representative selection of experimental data of five various program systems is used. The method allows receiving the required reliability by means of the choice of a certain components part for identification as it is possible for the most part of faults. For an assessment of efficiency of a method the coefficient is offered and calculated. He shows the attitude of part of the revealed faults to part of the verified components. The effectiveness ratio increases on condition of increase in quantity of the used metrics and reduction of the amount of selection. The possibility of full automation of a method is established.

Key words: reliability, efficiency, program systems, software components with faults, complexity metrics.

Яремчук Светлана Александровна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры общенаучных дисциплин, Национальный университет «Одесская морская академия», Дунайский институт, Измаил, Украина, e-mail: svetlana397@yandex.ru.

Харченко Вячеслав Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерных сетей и систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: v_s_kharchenko@ukr.net.

Yaremchuk Svetlana Aleksandrovna - Candidate of Technical Science, researcher, senior teacher of department of general scientific disciplines, National University "Odessa Maritime Academy", Danube institute, Izmail, Ukraine, e-mail: svetlana397@yandex.ru.

Kharchenko Vyacheslav Sergeevich – Doctor of Technical Science, Prof., Head of Dep. of Computer Systems and Networks, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: v_s_kharchenko@ukr.net.