

УДК 004.412 : 004.415.5

В.В. СКЛЯР¹, Ю.А. БЕЛЫЙ²

¹*Государственный НТЦ по ядерной и радиационной безопасности, Украина*

²*ЗАО «Радий», Украина*

МЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Предложен метрический подход к оценке изменений программного обеспечения информационно-управляющих систем. Проанализированы результаты оценки изменений программного обеспечения, полученные с использованием инструментального средства статического анализа LDRA Testbed. Результаты оценки программного обеспечения представлены в виде радиальных метрических диаграмм и графов вызовов процедур.

ранее разработанное программное обеспечение, метрики сложности, радиальные метрические диаграммы

Постановка задачи и обзор публикаций

Одной из важнейших тенденций эволюции информационно-управляющих систем (ИУС) технических комплексов критического использования (ТККИ) является применение микропроцессорных технологий и связанное с этим увеличение доли программно-реализуемых функций [1]. Рост числа программно-выполняемых функций в ИУС обуславливает возрастание “веса” ПО как возможного источника отказов.

Одним из методов обеспечения качества, надежности и безопасности ПО является применение ранее разработанного программного обеспечения (Pre-Developed Software) [2]. Такое ПО аккумулирует опыт разработчиков и позволяет повысить надежность и безопасность ИУС за счет применения уже апробированных решений. Одновременно снижается стоимость разработки ПО и ИУС за счет применение готовых компонент. Однако в то же время повышается риск отказов ПО из-за неучета новых условий эксплуатации [3]. Например, отказ ранее разработанного ПО (РРПО) привел к взрыву ракетополетителя Ariane-5 в июне 1996 г. [1].

Как правило, учет новых условий эксплуатации для РРПО реализуется путем внесения соответствующих изменений. При этом гарантии соответ-

ствия ПО предъявляемым требованиям по безопасности и к выполняемым функциям обеспечиваются проведением верификации изменений, внесенных в ПО. Таким образом, для РРПО возникает задача оценки объема действий по верификации. Решение задачи оценки изменений ПО позволяет:

- оценить объем действий по верификации РРПО при внесении в него изменений, а также затрат на проведение верификации;
- спрогнозировать объем изменений, вносимых в РРПО при его последующем применении и затрат на выполнение изменений;
- реализовать процесс управления конфигурацией ПО.

Проблема анализа применимости РРПО ИУС в новых условиях эксплуатации нашла отражения в ряде научных работ [4 – 6]. При этом внимание исследователей в области верификации РРПО сконцентрировано, в первую очередь, на проведении регрессионного тестирования.

Тем не менее, представляется целесообразным использовать подход к оценке изменений РРПО на основе метрик. Однако, в известной литературе для РРПО, отсутствуют описания подходов к оценке вносимых изменений с использованием метрик сложности.

Целью статьи является разработка метрического подхода к оценке изменений ранее разработанного программного обеспечения ИУС.

1. Анализ применимости инструментального средства LDRA Testbed для решения задач исследования

Определение значений метрик ПО целесообразно проводить с использованием инструментальных средств (ИС). Одним из ИС, предназначенным для статического анализа программного кода, включая расчет значений метрик ПО, является LDRA Testbed [7]. Разработчиком Testbed является LDRA Ltd (Ливерпульская ассоциация исследований данных). LDRA основана в Ливерпульском университете в 1975 году.

LDRA Testbed позволяет выполнять анализ ПО, разработанного на следующих языках программирования: C; C++; C#; Ada83; Ada95; Java; Visual Basic Intel®; Assemblers Motorola®; Assemblers Texas Instruments®; Assemblers PowerPC®; Assemblers; Cobol; Coral66; Fortran; Pascal; PL/Mx86; PL/1; Algol. Полный набор функций анализа доступен только для C/C++. LDRA Testbed может выполняться на платформах Windows и UNIX.

В качестве входных данных LDRA Testbed используются файлы, содержащие исходный программный код. Этот код должен соответствовать заданному стандарту языка программирования, для которого сконфигурирован LDRA Testbed, кроме того, программный код не должен содержать синтаксические ошибки.

Выходные данные LDRA Testbed включают текстовые и графические результаты.

Текстовые результаты включают, в том числе, отчеты о метриках ПО (Metrics Reports).

Важной возможностью LDRA Testbed является визуализация результатов метрического анализа ПО в виде так называемых радиальных метрических диаграмм (РМД), которые также называют Kiviat-диаграммами [7].

LDRA Testbed позволяет определять значения следующих метрик ПО:

- среднее количество существенных узлов в процедуре; под узлом понимается перекрещивание потока управления, отображаемое на графе потока управления; под существенным узлом понимается такой узел, который существенно влияет на структурированность программного кода;
- общее количество существенных узлов в программе;
- среднее значение существенной цикломатической сложности в процедуре; цикломатическая сложность определяется по формуле $V(G) = (\text{Кол-во ребер управляющего графа программы}) - (\text{Кол-во узлов управляющего графа программы}) + 2$; при определении существенной цикломатической сложности граф программы делится на субграфы;
- общее значение существенной цикломатической сложности в программе;
- среднее количество узлов в процедуре;
- общее количество узлов в программе;
- среднее значение цикломатической сложности в процедуре;
- общее значение цикломатической сложности в программе;
- среднее значение максимального интервала вложения в процедуре; под интервалом вершины графа понимается субграф, содержащий данную вершину и все вершины, которые могут быть достигнуты из нее;
- общее значение максимального интервала вложения в программе;
- среднее значение интервалов первого порядка в процедуре;
- общее значение интервалов первого порядка в программе;
- среднее количество базовых блоков в процедуре; под базовым блоком понимается линейная последовательность выполняемых выражений, имеющая одну входную и одну выходную точку и не

имеющая внешних ветвей; таким образом, если в базовом блоке выполняется любой оператор, то выполняется весь базовый блок;

- общее количество базовых блоков в программе;
- среднее количество строк кода в процедуре;
- количество строк исполнимого кода в программе;
- количество процедур в программе.

Таким образом, функциональные возможности LDRA Testbed позволяют провести метрическую оценку изменений, внесенных в РПО.

2. Анализ результатов оценки изменений ПО

Оценка изменений проводилась для РПО критического назначения. Объектом оценки являлось ПО управляющей системы безопасности (УСБ) ядерного реактора ВВЭР-1000, предназначенной для инициирования действий систем безопасности энергоблока путем выполнения функций технологических защит и блокировок, дистанционного управления и автоматического регулирования в проектных режимах работы энергоблока и в режимах проектных аварий.

Изменения ПО УСБ были вызваны выпуском новой версии, в которой были учтены требования заказчика и устранен ряд замечаний.

При выполнении оценки безопасности ПО УСБ в ходе процесса лицензирования использовалось ИС LDRA Testbed.

На рис. 1 и 2 представлены графы вызовов процедур для двух версий программного модуля support.c, входящего в состав библиотеки стандартных функций ПО УСБ. Данный модуль реализует процедуры инициализации и управления конфигурацией аппаратных блоков УСБ. Вершинами графа вызова процедур являются как внутренние процедуры модуля (выделены более темным цветом), так и внешние процедуры (выделены более светлым цветом), с которыми анализируемый модуль имеет связи. Ребра графа вызова процедур отображают связи

процедур программного модуля, реализуемые в виде программных вызовов.

Сравнительный анализ графов вызовов процедур показал, что во второй версии модуля support.c процедура PutInt (считывание аппаратного адреса блока), которая в первой версии была внешней, теперь введена в состав модуля. Таким образом, вторая версия модуля support.c включает семь процедур вместо шести. Данное преобразование программного кода позволило улучшить его структурированность и упростить сопровождение.

В табл. 1 и на рис. 3 представлены результаты метрической оценки изменений программного модуля support.c.

В состав таблицы 1 входят следующие столбцы:

- наименование метрики – включает перечень метрик, описанных в предыдущем разделе статьи;
- наименование оси – включает наименования осей РМД на рис. 1, по которым отложены значения метрик ПО;
- НЗО – начальные значения осей на рис. 1;
- КЗО – конечные значения осей на рис. 1;
- ЗМ1 – вычисленные значения метрик для первой версии модуля support.c;
- ЗМ2 – вычисленные значения метрик для второй версии модуля support.c;
- ΔЗМ – разность между значениями метрик для второй и первой версий модуля support.c.

Жирным шрифтом в таблице 1 выделены те метрики, значения которых остались неизменными и для первой, и для второй версии модуля.

Две РМД на рис. 1 позволяют наглядно отобразить динамику изменений значений метрик ПО. Слева представлена РМД для первой версии программного модуля support.c, справа – для второй версии. Кроме того, на РМД могут быть выделены разными цветами зоны допустимых и недопустимых значений метрик.

Следует отметить, что для обеих версий support.c все значения метрик находятся в допустимых диапазонах.

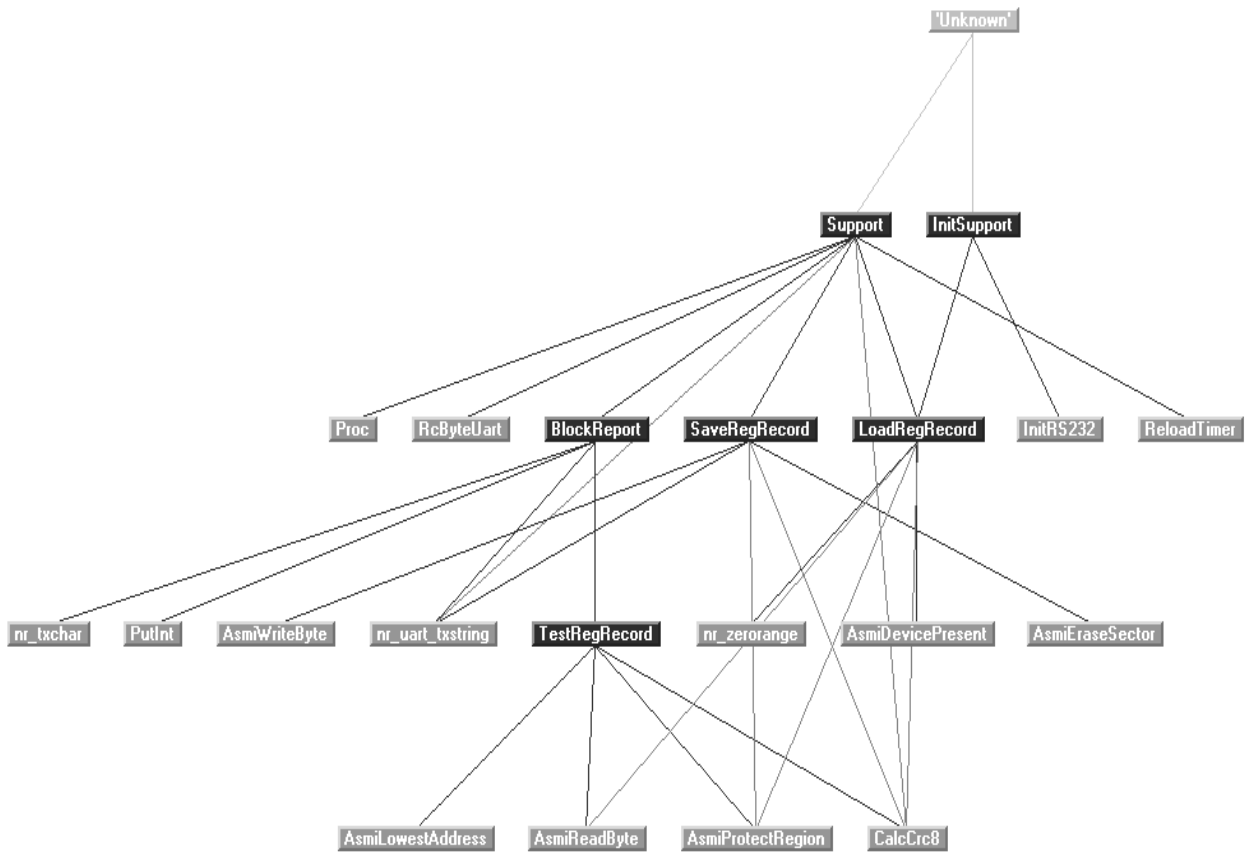


Рис. 1. Граф вызовов процедур для первой версии программного модуля support.c из состава ПО УСБ

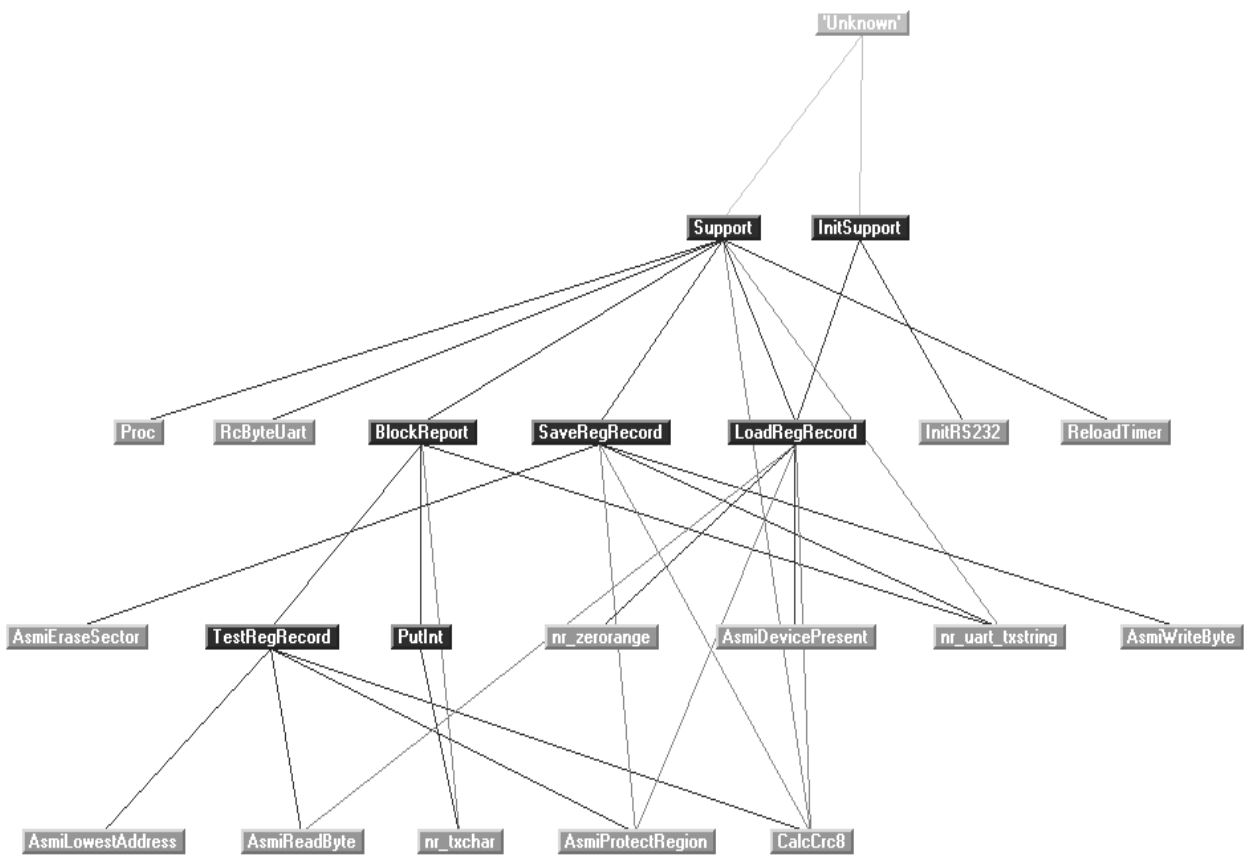


Рис. 2. Граф вызовов процедур для второй версии программного модуля support.c из состава ПО УСБ

Таблиця 1

Значения метрик для двух версий программного модуля support.c из состава ПО УСБ

Наименование метрики	Наименование оси	НЗО	КЗО	ЗМ1	ЗМ2	ΔЗМ
Среднее количество существенных узлов в процедуре	Av EKnt	0	2	0	0	0
Общее количество существенных узлов в программе	EKnts	0	12	0	0	0
Среднее значение существенной цикломатической сложности в процедуре	Av EV(G)	1	3	1	1	0
Общее значение существенной цикломатической сложности в программе	EV(G)	1	13	1	1	0
Среднее количество узлов в процедуре	Av Knots	0	5	2,67	2,29	-0,38
Общее количество узлов в программе	Knots	0	30	16	16	0
Среднее значение цикломатической сложности в процедуре	Av V(G)	1	10	4,83	5	0,17
Общее значение цикломатической сложности в программе	V(G)	1	100	24	29	5
Среднее значение максимального интервала вложения в процедуре	Av MxNest	1	3	1,33	1,29	-0,04
Общее значение максимального интервала вложения в программе	MxNest	6	18	8	9	1
Среднее значение интервалов первого порядка в процедуре	Av O1Int	1	5	1,83	1,71	-0,14
Общее значение интервалов первого порядка в программе	O1Int	6	30	11	12	1
Среднее количество базовых блоков в процедуре	Av Blks	1	10	9,17	9,43	0,26
Общее количество базовых блоков в программе	Blks	1	200	55	66	11
Среднее количество строк кода в процедуре	Av ExLin	1	50	40,50	40,71	0,21
Количество строк исполнимого кода в программе	ExLines	6	300	243	285	42
Количество процедур в программе	Procs	1	200	6	7	1

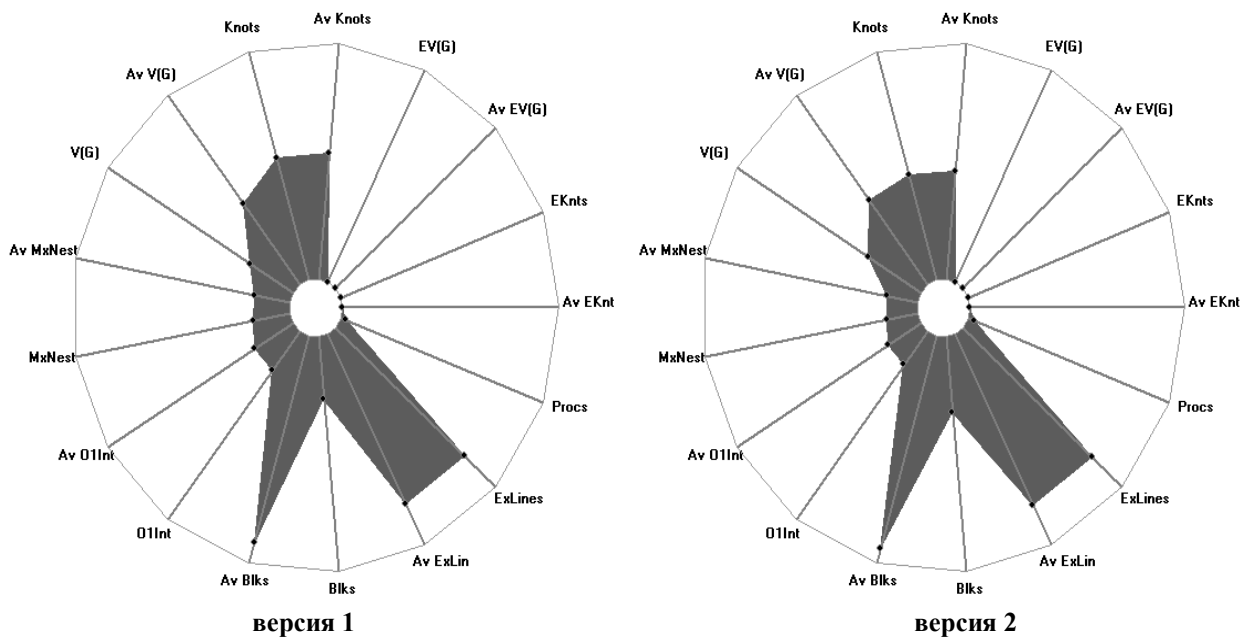


Рис. 3. РМД для двух версий программного модуля support.c из состава ПО УСБ

Изменения значений метрик несущественны. Из 17 метрик для 5 значения не изменились, для 3 уменьшились, для 9 увеличились. Неизменными остались значения наиболее важных метрик, к которым относятся существенная цикломатическая сложность и количество существенных узлов потока управления. Как было отмечено при анализе графов вызовов процедур, во вторую версию модуля support.c была введена дополнительная седьмая процедура PutInt, чем, в первую очередь, объясняется изменение значений метрик ПО. В результате в программный модуль добавилось 42 строки кода. Данное значение близко к средней длине базовых блоков (40,5), поэтому этот показатель существенно не изменился. Также несущественно изменились значения других метрик ПО. Несмотря на некоторое интегральное увеличение сложности программного модуля, значения всех метрик остались в допустимых пределах, а реструктуризация позволила улучшить сопровождаемость ПО.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В результате проведенного исследования были оценены изменения в значениях метрик ПО управляющей системы безопасности (УСБ) АЭС, к которой предъявляются жесткие требования по надежности и безопасности. Методика метрической оценки изменений ПО в общем виде может быть представлена в виде следующих действий:

- автоматизированный статический анализ измененной части ПО;
- анализ полученных значений метрик ПО и их изменений;
- оценка влияния изменений в метриках на качество ПО;
- оценка влияния изменений на процессы жизненного цикла ПО и стоимость их реализации.

Дальнейшее исследование целесообразно направить на развитие аналитической части методики, позволяющей сопоставить количественные значения изменений метрик с затратами на верификацию и сопровождение программного обеспечения ИУС.

Литература

1. Харченко В.С., Скляр В.В., Тарасюк О.М. Методы моделирования и оценки качества и надежности программного обеспечения. – Х.: Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», 2004. – 159 с.
2. IAEA-TECDOC-1328. Solutions for cost effective assessment of software based instrumentation and control systems in nuclear power plants. Report of the Technical Group on Nuclear Power Plant Control and Implementation. – Vienna: IEIA, 2002. – 131 p.
3. Белый Ю.А., Герасименко А.Д., Скляр В.В., Харченко В.С. Анализ методов оценки и обеспечения качества программного обеспечения, важного для безопасности информационно-управляющих систем // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005.– № 4, ч. 1, т. 2. – С. 163-167.
4. Laprie J.-C. Dependability Handbook. LAAS Report 98-346. – Toulouse, France: Laboratory for Dependability Engineering, 1998. – 365 p.
5. Preckshot G., Scott J. A Proposed Acceptance Process for Commercial Off-the-Shelf (COTS) Software in Reactor Applications. NUREG/CR-6421. – Lawrence Livermore National Laboratory, 1995. – 33 p.
6. Lutz R., Mikulski I. Empirical Analysis of Safety-Critical Anomalies During Operations // IEEE Transactions on Software Engineering. – 2004. – Vol. 30, n 3. – P. 172-180.
7. Белый Ю.А., Герасименко А.Д., Скляр В.В., Харченко В.С. Автоматизация экспертной оценки программного обеспечения управляющих систем АЭС с использованием статических анализаторов кода // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова. Спеціальний випуск. – К.: ІПМЕ, 2005. – Т. 1.– С. 14-21.

Поступила в редакцию 16.01.2006

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.М. Конорев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.