

УДК 621.321

Ю.Л. ПОНОЧОВНИЙ, Е.Б. ОДАРУЩЕНКО

Полтавский военный институт связи, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБНОВЛЯЕМЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НЕРЕЗЕРВИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ПОСТОЯННОЙ ГОТОВНОСТИ

Рассмотрена модель надежности программных средств нерезервированной информационно-управляющей системы постоянной готовности. Определены основные допущения моделирования, методы оценки параметров надежности программных средств, получены количественные значения функции готовности обновляемых программных средств для различных значений количества обновлений.

модели надежности программных средств, обновляемые программные средства, многофрагментное моделирование

Введение

Надежность современных информационно-управляющих систем постоянной готовности (в дальнейшем ИУС) принято рассматривать в аспекте проявления физических дефектов аппаратных средств (ДФ АС), дефектов проектирования программных средств (ДП ПС) и дефектов взаимодействия (ДВ) [1 – 3]. При этом интенсивности проявления ДФ, ДП и ДВ влияют на надежность системы в целом, что особенно существенно для нерезервированных систем. Поэтому в задачах оценки надежности ИУС необходимо рассматривать модели надежности каждой компоненты системы, что особенно существенно для критических систем, к надежности которых предъявляются повышенные требования. В связи с этим актуальна задача моделирования надежности ПС как составляющей ИУС критического применения.

Современный математический и методический аппарат моделирования надежности ПС постоянно развивается, что обусловлено разнообразием ПС, требований к ним, условиями функционирования ПС и т.д. В работах [4 – 12] рассмотрены различные модели надежности ПС (МНПС), основанные на ряде допущений, описывающих конкретное ПС и его условия функционирования. Для поздних МНПС [6 – 11] характерно принятие допущения об измене-

нии интенсивности отказов ПС, обусловленном устранением дефектов ПС после восстановления системы из неработоспособного состояния.

1. Формулирование проблемы

Однако имеется определенный класс ИУС, для которых характерны следующие условия функционирования: после отказа системы, обусловленного дефектом ПС, восстановление системы производится путем перезапуска ПС, после чего система продолжает функционировать при наличии тех же дефектов ПС. Устранение дефектов ПС происходит при обновлении программы, при этом ИУС находится в неработоспособном состоянии. Для обновляемых ПС разработаны модели [7, 11], однако они не учитывают вышеописанные условия функционирования ИУС.

В связи с этим необходимо разработать МНПС с учетом обновлений программ в процессе функционирования. Для этого необходимо:

- принять основные допущения для построения модели;
- рассмотреть методы оценки параметров МНПС;
- разработать МНПС;
- провести анализ полученных результатов моделирования.

2. Основные допущения, принимаемые для построения МНПС

Для построения МНПС ИУС приняты следующие допущения:

- потоки событий, переводящих ПС из одного функционального состояния в другое, обладают свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последствия (данное допущение подтверждается на основе экспериментальных данных о функционировании ИУС [12, 13]);

- в процессе функционирования ИУС интенсивность отказов ПС остается постоянной на промежутках между обновлениями ПС;

- ПС в произвольный момент времени может находиться либо в работоспособном, либо в неработоспособном состоянии (допущение ограничивает моделирование в рамках свойства надежности ПС);

- восстановление ИУС после отказа ПС производится с помощью перезапуска ПС (обусловлено рассматриваемыми условиями функционирования ИУС);

- обновления ПС проводятся периодически на протяжении всего периода эксплуатации ИУС (допущение основано на свойстве стационарности простейшего потока);

- при обновлении ПС изменяется только интенсивность отказов ПС (данное допущение принято на основе разработанных моделей [7, 8, 11]);

- в процессе обновления ПС система находится в неработоспособном состоянии (обусловлено рассматриваемыми условиями функционирования резервированных ИУС);

- система переходит в состояние обновления ПС из работоспособного состояния (допущение принято на основе разработанных моделей [7, 8, 11]).

3. Метод определения параметров надежности ПС

В качестве основных параметров надежности ПС выступают:

- интенсивности отказов ПС λ_{SWi} на промежутках между обновлениями ПС;

- интенсивность восстановления ПС μ_{SW} ;

- интенсивность обновления ПС λ_{UP} ;

- интенсивность восстановления ПС после обновления μ_{UP} .

В силу принятых допущений о марковости протекающих процессов, определение неизменяемых параметров μ_{SW} и μ_{UP} производится исходя из длительности среднестатистических временных интервалов перезапуска ПС и начальной установки ПС по формуле

$$\mu_j = \frac{1}{T_j}. \quad (1)$$

Интенсивность обновлений ПС λ_{UP} определяется из выражения:

$$\lambda_{UP} = \frac{1}{\Delta T_{UP}} = \frac{N_{UP}}{T_{\Sigma}}, \quad (2)$$

где ΔT_{UP} – период между обновлениями ПС;

N_{UP} – количество обновлений ПС на протяжении периода эксплуатации системы;

T_{Σ} – период эксплуатации системы.

Определение изменяемых параметров λ_{SW0} и λ_{SWi} производится на основании моделей RL-92 [6] и IBM [9] по следующим выражениям:

$$\lambda_{SW0} = \frac{R}{I_s \cdot Q_x} \cdot K \cdot N \cdot \delta_0; \quad (3)$$

$$\lambda_{SWi} = \frac{R}{I_s \cdot Q_x} \cdot K \times \times (4,905 \cdot HM_i + 4,105 \cdot CM_i), \quad (4)$$

где λ_{SW0} – начальная интенсивность отказов ПС;

λ_{SWi} – интенсивность отказов ПС после i -го обновления;

R – средняя частота обращений к командам программы;

I – количество объектных команд в программе;

I_s – количество исходных команд в программе;

Q_x – коэффициент расширения кода (отношение количества машинных команд к количеству исходных команд), по умолчанию $Q_x = 4$;

δ_0 – начальная плотность дефектов, по умолчанию $\delta_0 = 6$ дефектов/1000 строк;

N – количество строк программного кода;

K – коэффициент проявления дефектов, $K \in (1,4 \times 10^{-7}; 10,6 \cdot 10^{-7})$, по умолчанию $K = 4,2 \cdot 10^{-7}$;

HM_i – количество новых модулей ПС после i -го обновления;

SM_i – количество старых исправляемых модулей ПС после i -го обновления;

i – порядковый номер обновления.

4. Разработка модели оценки надежности ПС ИУС

Основываясь на подходе к получению параметров, определяющих надежность ПС и принятых допущениях, в качестве метода исследования принимается марковский анализ. Учет изменения интенсивности отказов ПС в марковских МНПС возможен при использовании регулярных многофрагментных марковских моделей (РМФМ) оценки надежности ИУС [10] с дискретными состояниями и непрерывным временем с учетом дефектов программных средств. Поэтому в качестве базовой модели выбрана РМФМ, граф которой изображен на рис. 1.

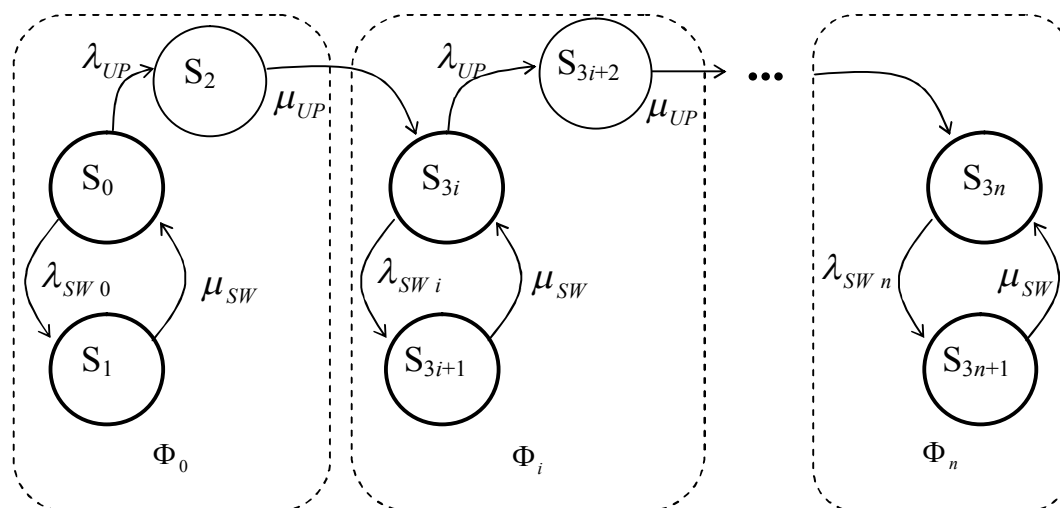


Рис. 1. Размеченный граф функционирования ПС ИУС

Процесс функционирования программных средств информационно-управляющей системы происходит следующим образом. В начальный момент система реализует все предписанные функции и находится в состоянии $S_0(t)$.

В процессе функционирования ПС системы отказывают, вследствие чего система переходит в состояние $S_1(t)$ и восстанавливаются, вследствие чего система возвращается в состояние $S_0(t)$. Через определенный временной интервал происходит обновление ПС системы, и она переходит в состояние $S_2(t)$. После проведения восстановления изменяется пара-

метр системы λ_{SW} и система переходит в новый фрагмент МФМ (состояние $S_{3i}(t)$). Если предположить, что количество обновлений ПС равно трем, то модель будет состоять из четырех фрагментов. Число внутренних фрагментов F можно определить из соотношения

$$F = N_{UP} - 1. \quad (5)$$

Система ДУ Колмогорова для модели надежности ПС ИУС, граф которой изображен на рис. 1, будет состоять из следующих регулярных блоков:

- для исходного фрагмента:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda_{SW0} + \lambda_{UP})P_0(t) + \mu_{SW}P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu_{SW}P_1(t) + \lambda_{SW0}P_0(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -\mu_{UP}P_2(t) + \lambda_{UP}P_0(t), \end{cases} \quad (6)$$

$$A(t) = \sum_{j=0}^{N_F-1} P_{3,j}(t), \quad (9)$$

где N_F – количество фрагментов модели, $N_F = N_{UP} + 1$.

Для исследования РМФМ примем следующие параметры модели [11]: $\mu_{SW} = 2 \text{ час}^{-1}$; $\mu_{UP} = 0,5 \text{ час}^{-1}$; $\lambda_{SW0} = 0,0014 \text{ час}^{-1}$; $T_{\Sigma} = 20 \text{ лет} = 175200 \text{ час}$; $N_{UP} \in \{1, 3, 5\}$; $\lambda_{UP} \in \{1,14 \cdot 10^{-5}; 2,28 \cdot 10^{-5}; 3,42 \cdot 10^{-5}\} \text{ час}^{-1}$.

Значения λ_{SWi} будут определяться из выражения:

$$\lambda_{SWi} = \lambda_{SWi-1} - \Delta\lambda_{SWi}, \quad (10)$$

где $\Delta\lambda_{SW}$ – значение изменения интенсивности отказов ПС. В исследованиях рассмотрено два варианта: $\Delta\lambda_{SW} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ час}^{-1}$ (при обновлении ПС дефекты устраняются) и $\Delta\lambda_{SW} = -1 \cdot 10^{-4} \text{ час}^{-1}$ (при обновлении ПС вносятся новые дефекты).

На рис. 2 изображены изменения функции готовности ПС ИУС для различных значений параметров N_{UP} и $\Delta\lambda_{SW}$.

– для внутренних фрагментов:

$$\begin{cases} \frac{dP_{3,i}(t)}{dt} = -(\lambda_{SWi} + \lambda_{UP})P_{3,i}(t) + \mu_{SW}P_{3,i+1}(t) + \mu_{UP}P_{3,i-1}(t); \\ \frac{dP_{3,i+1}(t)}{dt} = -\mu_{SW}P_{3,i+1}(t) + \lambda_{SWi}P_{3,i}(t); \\ \frac{dP_{3,i+2}(t)}{dt} = -\mu_{UP}P_{3,i+2}(t) + \lambda_{UP}P_{3,i}(t), \end{cases} \quad (7)$$

– для последнего фрагмента:

$$\begin{cases} \frac{dP_{3,n}(t)}{dt} = -\lambda_{SWn}P_{3,n}(t) + \mu_{SW}P_{3,n+1}(t) + \mu_{UP}P_{3,n-1}(t); \\ \frac{dP_{3,n+1}(t)}{dt} = -\mu_{SW}P_{3,n+1}(t) + \lambda_{SWn}P_{3,n}(t). \end{cases} \quad (8)$$

Здесь i – номера внутренних фрагментов; n – номер последнего фрагмента, $n = N_{UP}$.

Значение функции готовности ПС ИУС определяется из выражения:

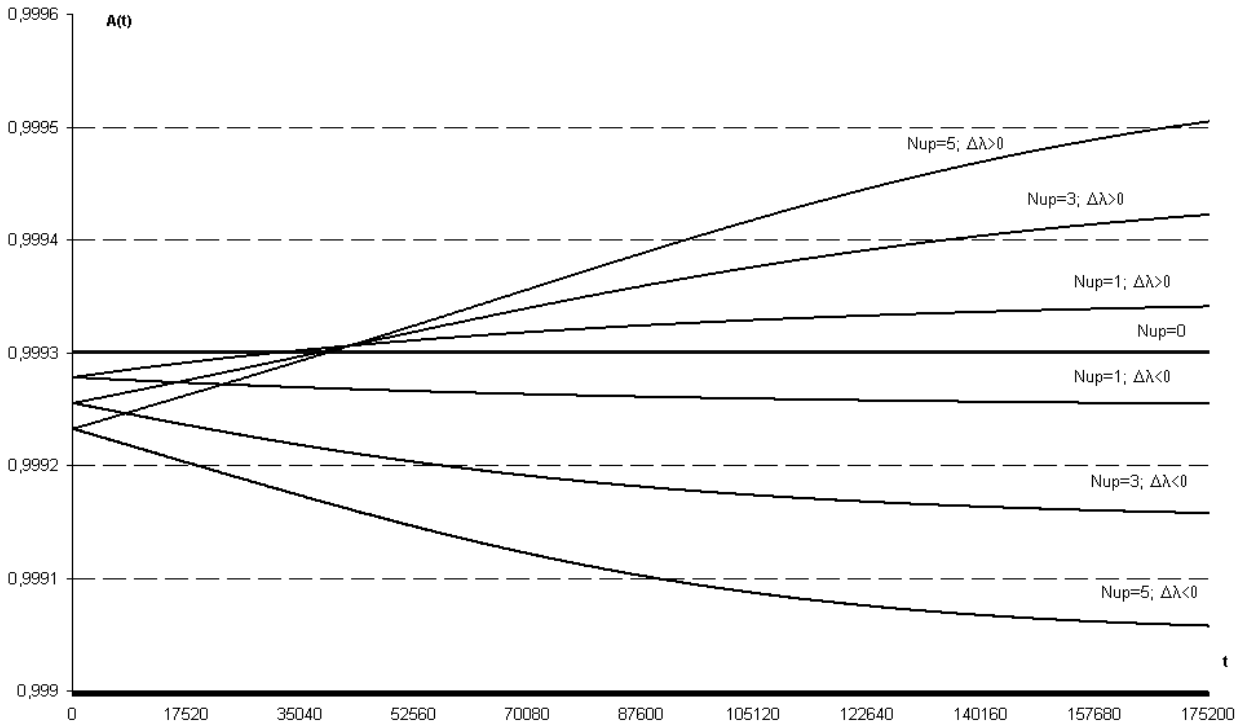


Рис. 2. Зависимость функции готовности ПС ИУС от времени эксплуатации системы

Заключення

Анализ полученных результатов моделирования надежности ПС ИУС позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Функция готовности ИУС с обновляемыми ПС изменяется на протяжении периода эксплуатации системы; при устранении дефектов ($\Delta\lambda_{SW} > 0$) она возрастает, при внесении новых ($\Delta\lambda_{SW} < 0$) – уменьшается.

2. В начальный период эксплуатации готовность обновляемых ПС системы ниже, чем необновляемых, однако в дальнейшем при устранении дефектов она увеличивается.

3. Для обновляемых ПС независимо от количества обновлений через 45000 часов наблюдается явление превышения готовности обновляемых ПС над готовностью не обновляемых ПС.

4. Начальная готовность обновляемых ПС понижается с увеличением количества обновлений на протяжении периода эксплуатации ИУС, однако в дальнейшем (через 45000 часов) готовность систем увеличивается с увеличением количества обновлений.

Анализ полученных результатов показывает, что учет обновлений ПС позволяет уточнить значения показателей функции готовности ПС ИУС постоянной готовности на протяжении периода эксплуатации системы. Планируется включить разработанную модель надежности ПС в комплексную модель надежности ИУС с учетом надежности всех компонент системы (АС, ПС и ЧМВ).

Литература

1. Леонтьев Е.А. Надежность экономических информационных систем: Учебн. пособ. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 128 с.
2. Смагин В.А. Техническая синергетика. – [Электр. ресурс]. – Режим доступа: <http://sir35.narod.ru/Cmagin/index.htm>.
3. Laprie J.-C., Avizienis A. Dependability of Computing Systems: Fundamental Concepts, Terminology, and Examples, LAAS-CNRS Rep.: 99-293, 1999.

4. Майерс Г. Надежность программного обеспечения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 360 с.

5. Мусса Д. Измерение и обеспечение надежности программных средств // ТИИЭР. – 1980. – Т. 68, № 9. – С. 113 – 128.

6. Lyu M.R. Handbook of Software Reliability Engineering. – McGraw-Hill Company, 1996. – 805 p.

7. Analysis of Software Rejuvenation using Markov Regenerative Stochastic Petri Net / S. Garg, A. Puliafito M. Telek, K.S. Trivedi // Proc. of the Sixth IEEE Intl. Symp. on Software Reliability Engineering. – Toulouse, France. – October 1995.

8. Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование: Пер. с англ. / Дэниел А. Менаске, Виргилио А.Ф. Алмейда. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2003. – 480 с.

9. Полонников Р.И., Никандров А.В. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения. – С.-Пб.: Политехника, 1992. – 78 с.

10. Одарущенко О.Н. Многофрагментные марковские модели и их использование для оценки надежности обслуживаемых программно-технических комплексов // Информационные системы. – Х.: НАН Украины, Петровская академия наук и искусств, ХВУ. – 1997. – Вып. 1 (5). – С. 78 – 84.

11. Analysis of Inspection-Based Preventive Maintenance in Operational Software Systems / K. Vaidyanathan, D. Selvamuthu, K.S. Trivedi // Proc. of the Intl. Symp. on Reliable Distributed Systems, SRDS-2002. – Osaka, Japan. – October 2002.

12. Kesselyak P. Zuverlässigkeit der Software-Nachrichtentechnik // Elektron. – 1990. – 40, № 3. – P. 98 – 102.

13. Каган Б.М., Мкртумян И.Б. Основы эксплуатации ЭВМ: Учеб. пособие для вузов / Под ред. Б.М. Кагана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 432 с.

Поступила в редакцию 11.11.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.