

УДК 004.519.217

Ю. Л. ПОНОЧОВНИЙ¹, А. А. СИОРА², В. С. ХАРЧЕНКО³¹ *Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Україна*² *Научно-виробниче підприємство «Радий», Кировоград, Україна*³ *Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «ХАІ», Україна*

МОДЕЛИ ГОТОВНОСТИ ДВУХКАНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Исследованы модели готовности обслуживаемой информационно-управляющей системы. Учтено проведение обновления программных средств (ПС) в процессе эксплуатации, а также устранение выявленных дефектов. Для учета изменения интенсивности отказов ПС использован аппарат многофрагментного моделирования. Рассмотрены модели с накоплением программных ошибок и их устранением, а также с устранением программных дефектов в процессе обновления программных функций. По результатам моделирования сделаны выводы о влиянии временных параметров проведения обновления программных средств на поведение функции готовности системы.

Ключевые слова: многофрагментные модели готовности, устранение программных дефектов, накопление программных ошибок, обновление программных средств.

Введение

Одним из факторов, влияющих на развитие отрасли систем критического применения (АЭС, космические комплексы, банковские и медицинские системы), является улучшение характеристик и повышение надежности и готовности информационно-управляющих систем (ИУС), качества их аппаратных средств (АС) и программного обеспечения. Программные средства (ПС) таких систем относят к классу критических и имеют ряд особенностей, в частности, возможные модификации программного обеспечения в процессе длительной эксплуатации [1].

Применение программных средств с возможностью их модификации (путем проведения обновлений ПС в процессе эксплуатации) позволяет более гибко распределять этапы верификации в критических ИУС. Так, ряд некритических функций можно доверифицировать после введения ИУС в эксплуатацию и устранить выявленные дефекты при проведении очередного обновления ПС [2]. Однако, учитывая критичность ИУС в целом, такой выбор необходимо предварительно обосновать с помощью математических моделей.

В существующих моделях систем с изменяемыми параметрами предпочтительно применение аппарата марковских и полумарковских процессов [3]. В [2] развит системный подход к построению многофрагментных моделей (МФМ) ИУС, однако в нем не предусмотрено моделирование процедур обновления ПС совместно с накоплением программ-

ных ошибок.

Поэтому целью данного исследования является разработка и анализ моделей готовности ИУС при проведении обновлений ПС с учетом роста интенсивности программных отказов и постепенного устранения программных дефектов. В статье рассматривается наиболее распространенная архитектура ИУС, которая включает два аппаратных канала, в каждом из которых функционирует одинаковая версия ПС, система контроля работоспособности АС считается абсолютно надежной.

1. Расширенная модель готовности ИУС с учетом обновления программного кода

Для построения модели готовности ИУС приняты следующие допущения:

– ИУС в любой момент времени может находиться либо в работоспособном, либо в неработоспособном состоянии, состояние обновления ПС является состоянием неготовности;

– потоки событий, переводящих ИУС из одного состояния в другое, – простейшие;

– восстановление ИУС после отказа, вызванного программным дефектом, производится с помощью перезапуска ПС;

– устранение программных дефектов выполняется после проведения обновления ПС, допускается полное устранение всех невыявленных дефектов.

В отличие от модели [4], расширенная модель готовности предусматривает, что после проявления программного дефекта в программном реестре и

оперативной памяти происходит накопление ошибок, вследствие чего интенсивность отказов ПС λ_{SW} будет увеличиваться на некоторую величину $\Delta\lambda_{SW}$ до некоторого предела $\lambda_{SW\max}$.

В силу принятых ранее и перечисленных до-

пущений процесс функционирования ИУС может быть представлен как марковский [3] и моделируется с помощью регулярной МФМ, размеченный граф состояний и переходов которой представлен на рис. 1.

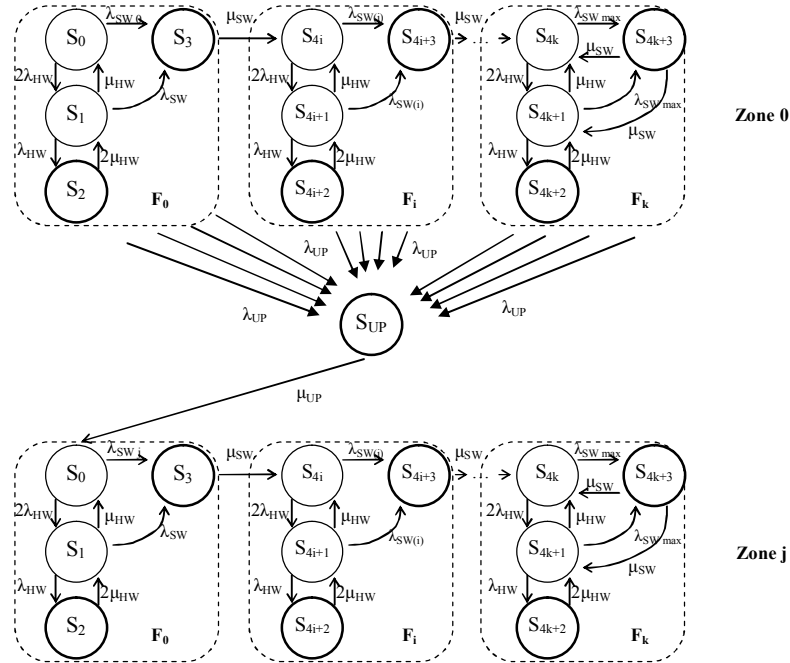


Рис. 1. Размеченный граф состояний и переходов ИУС с учетом роста интенсивности проявления программных дефектов и устранения их за счет обновления программного кода

Данный граф можно условно разбить на зоны фрагментов: исходную Z_0 и внутренние Z_j . В свою очередь каждая зона содержит по три вида фрагментов – исходный F_0 , внутренний F_i и последний F_k . В начальный момент система реализует все предписанные функции и находится в состоянии $S_0(t)$ зоны фрагментов Z_0 . В процессе функционирования элементы системы отказывают и восстанавливаются, вследствие чего система переходит в состояния $S_1(t) - S_3(t)$ исходного фрагмента F_0 зоны Z_0 .

После проявления программного дефекта интенсивность отказов λ_{SW} увеличивается на величину $\Delta\lambda_{SW}$, в результате чего система после восстановле-

ния переходит в следующий фрагмент РМФМ зоны Z_0 , который характеризуется новым параметром λ_{SWi} . После проведения процедур обновления ПС система переходит из неработоспособного состояния S_{UP} в исходный фрагмент новой зоны фрагментов Z_j .

Система дифференциальных уравнений Колмогорова будет состоять из следующих регулярных блоков (приведен пример для первой зоны фрагментов).

Для начального фрагмента F_0 :

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(2\lambda_{HW} + \lambda_{SW0} + \lambda_{UP})P_0(t) + \mu_{HW}P_1(t) + \mu_{SW}P_3(t), \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_{HW} + \lambda_{SW0} + \mu_{HW} + \lambda_{UP})P_1(t) + 2\lambda_{HW}P_0(t) + 2\mu_{HW}P_2(t) + \mu_{SW}P_3(t), \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -(2\mu_{HW} + \lambda_{UP})P_2(t) + \lambda_{HW}P_1(t), \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -(2\mu_{SW} + \lambda_{UP})P_3(t) + \lambda_{SW0}P_0(t) + \lambda_{SW0}P_1(t); \end{cases} \quad (1)$$

для внутренних фрагментов F_i и последнего фрагмента F_k :

$$\begin{cases} \frac{dP_{4,i}(t)}{dt} = -(2\lambda_{HW} + \lambda_{SW(i)} + \lambda_{UP})P_{4,i}(t) + \mu_{HW}P_{4,i+1}(t) + \mu_{SW}P_{4,i+3}(t), \\ \frac{dP_{4,i+1}(t)}{dt} = -(\lambda_{HW} + \lambda_{SW(i)} + \mu_{HW} + \lambda_{UP})P_{4,i+1}(t) + 2\lambda_{HW}P_{4,i}(t) + 2\mu_{HW}P_{4,i+2}(t) + \mu_{SW}P_{4,i+3}(t), \\ \frac{dP_{4,i+2}(t)}{dt} = -(2\mu_{HW} + \lambda_{UP})P_{4,i+2}(t) + \lambda_{HW}P_{4,i+1}(t), \\ \frac{dP_{4,i+3}(t)}{dt} = -(2\mu_{SW} + \lambda_{UP})P_{4,i+3}(t) + \lambda_{SW(i)}P_{4,i}(t) + \lambda_{SW(i)}P_{4,i+1}(t); \\ \frac{dP_{4,k+4}(t)}{dt} = -\mu_{UP}P_{4,k+4}(t) + \lambda_{UP} \cdot \sum_{j=0}^{4-k+3} P_j(t). \end{cases} \quad (2)$$

Здесь i – номера внутренних фрагментов; k – номер последнего фрагмента. Значение функции готовности в пределах одной зоны фрагментов определяется из выражения:

$$A(t)_{Z_j} = \sum_{i=0}^{k_j} [P_{4,i}(t) + P_{4,i+1}(t)]. \quad (3)$$

Соответственно функция готовности системы в целом рассчитывается как сумма готовностей $A(t)_{Z_j}$ в пределах каждой из зон при общем количестве зон N_{up} :

$$A(t) = \sum_{i=0}^{N_{up}} A(t)_{Z_i}. \quad (4)$$

Исходя из анализа модели, следует вывод о том, что она имеет регулярный вид. Регулярность заключается в повторении зон фрагментов и фрагментов внутри каждой зоны, что позволяет отследить изменение коэффициента готовности ИУС во времени.

2. Обоснование входных параметров модели

В ходе проведения исследований с целью выявления характера поведения функции готовности, были приняты следующие значения входных параметров (табл.1).

Таблица 1. Значения входных параметров моделей готовности

Входной параметр	Значение (1/час)
λ_{HW}	1.5e-4
λ_{SW0}	4e-3
μ_{HW}	1.5
μ_{SW}	2
$\Delta\lambda_{SW}$	1e-3
$\lambda_{SW\max}$	1e-2
λ_{UP}	4.63e-4
μ_{UP}	0.5
$\Delta\lambda_{SW\ UP}$	5e-4

Для исследования модели были разработаны

программные конструкции в системе Matlab и рассмотрены два варианта построения моделей:

1. В процессе обновлений ПС устраняются накопленные ошибки и дефекты ПС; при этом переходы в новые зоны фрагментов выполняются до полного устранения дефектов ПС, т.е. $\lambda_{SW} = 0$.

2. В процессе обновлений ПС устраняются только накопленные ошибки ($\Delta\lambda_{SW\ UP} = 0$); для ограничения размерности модели вводится дополнительный параметр N_{up} – количество обновлений.

3. Модель готовности ИУС с устранением программных дефектов и накопленных ошибок

В данной модели при обновлениях ПС будут устраняться не только накопленные ошибки, но и программные дефекты. Для определения количества обновлений (зон фрагментов) и количества фрагментов в каждой зоне используются формулы:

$$N_{up} = \left\lceil \frac{\lambda_{SW0}}{\Delta\lambda_{SW\ UP}} \right\rceil, \quad (5)$$

$$N_{fr}(i) = \left\lceil \frac{\lambda_{SW\max} - \lambda_{SW0} + (i-1) \cdot \Delta\lambda_{SW\ UP}}{\Delta\lambda_{SW}} \right\rceil, \quad (6)$$

а в последней зоне присутствует всего один фрагмент $N_{fr}(при\ i = N_{up} + 1) = 1$.

Для принятых значений входных данных (табл.1) расчетное количество обновлений до полного устранения программных дефектов $N_{up} = 8$. Следовательно, модель включает 9 зон с количеством фрагментов в каждой зоне:

$$N_{fr} = [6\ 7\ 7\ 8\ 8\ 9\ 9\ 10\ 1].$$

Для построения орграфа (рис.2) в системе Matlab был использован компонент `grPlot.m` [5].

Решение СДУ Колмогорова было выполнено в системе Matlab с помощью метода `ode15s` для временного интервала $[0 \dots 50000]$ часов.

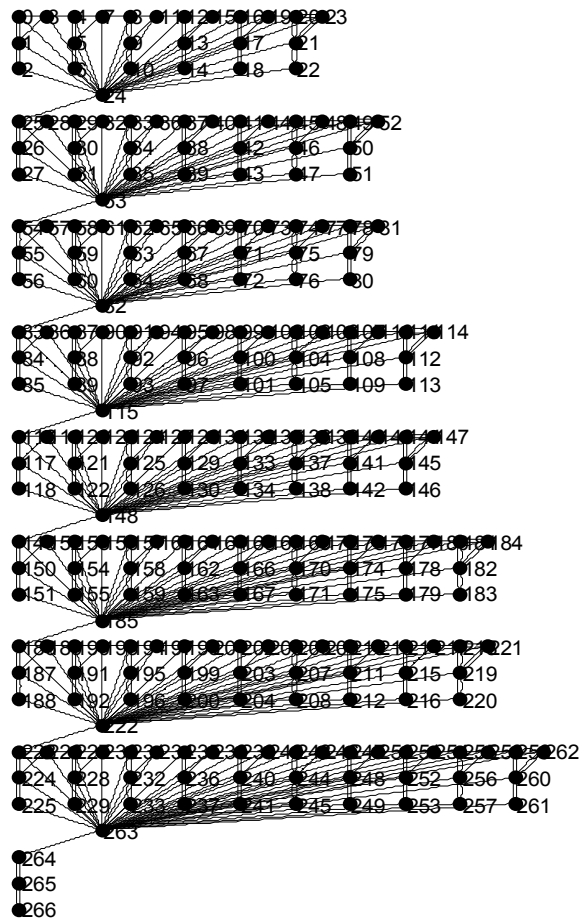


Рис. 2. Орграф расширенной модели готовности ИУС при проведении обновлений ПС

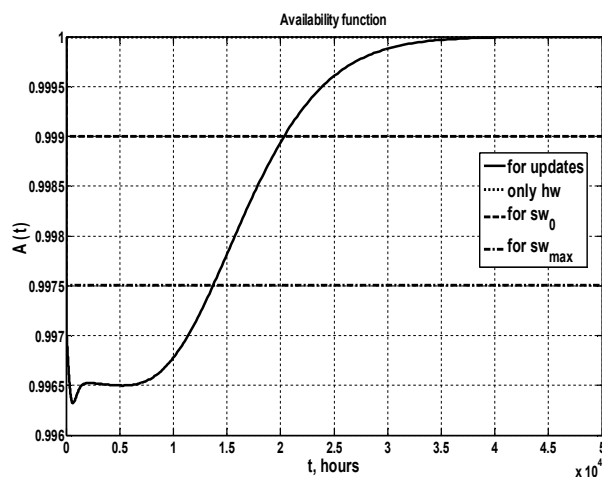


Рис. 3. Функция готовности ИУС при проведении обновлений с устранением дефектов ПС

Результаты моделирования представлены на рис.3. Функция готовности системы с обновлениями постепенно увеличивается до уровня системы с аппаратными дефектами. При этом эффект от обновлений начинает проявляться через 13500 часов (пер-

вая точка пересечения), а выигрыш в готовности проявляется после 20000 часов (вторая точка пересечения).

4. Модель готовности ИУС с устранением накопленных ошибок

В отличие от предыдущей, в данной модели не устраняются программные дефекты ($\Delta\lambda_{SW\ UP} = 0$). Количество обновлений (зон фрагментов) является входным параметром модели $N_{up}=10$. Количество фрагментов в каждой зоне не меняется, и определяется как:

$$N_{fr}(i) = \left\lceil \frac{\lambda_{SW\ max}}{\Delta\lambda_{SW}} \right\rceil. \quad (7)$$

Устранение только накопленных ошибок обуславливает ускорение восстановления системы после обновления. Поэтому при моделировании приняты значения параметров $\lambda_{UP} = 4.63e-2$ и $\mu_{UP} = 1$. Решение СДУ Колмогорова было выполнено в системе Matlab с помощью метода ode15s для временного интервала [0...5000] часов. Результаты моделирования показаны на рис.4.

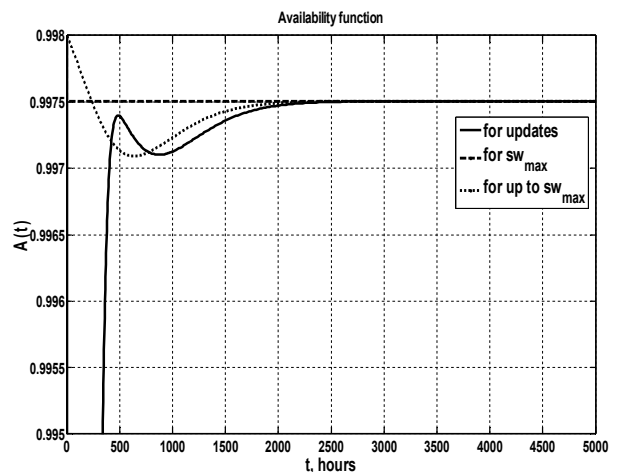


Рис. 4. Функция готовности ИУС при устранении накопленных ошибок

По результатам моделирования можно сделать вывод, что обновление ПС без устранения дефектов позволяет получить выигрыш через 500 часов. Однако затем эффективность проведения обновлений пропадает, готовность стремится к уровню, обусловленному $\lambda_{SW\ max} = 1e-2$ (1/час).

Выводы

Анализ полученных результатов моделирования готовности ИУС с учетом обновлений ПС показал, что:

- а) при устранении дефектов ПС постепенно

проявляється ефект от обновлений (через 13500 часов) и выигрыш в готовности (через 20000 часов);

б) при обновлении без устранения дефектов ПС выигрыш в готовности проявляется только на интервале [500...800] часов.

Практический интерес представляют разработанные Matlab-программы, которые можно использовать в инженерной практике.

Дальнейшее развитие моделей может быть связано с встраиванием программ вычисления интенсивностей отказов и восстановления ПС с использованием разных моделей и исходных данных, получаемых на основе результатов тестирования и применения ИУС.

Литература

1. Луцаев, В. В. Проектирование и производство сложных заказных программных продуктов [Текст] / В. В. Луцаев. – М. : СИНТЕГ, 2011. – 408 с.

2. Засуха, С. А. Методология оперативной верификации ПО КС: модели готовности и выбор сценариев [Текст] / С. А. Засуха, Ю. Л. Поночовний, В. С. Харченко // Вісник Харківського національного університету. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. АСУ». – 2012. – № 1015. – С. 131-147.

3. Liu, Y. Survivability quantification: The analytical modeling approach [Text] / Y. Liu, K. S. Trivedi // Int J Performab Engng. – 2006. – № 2(1). – P. 29-44.

4. Засуха, С. А. Исследование влияния временных параметров обновления программных средств на готовность двухканальной ИУС КА [Текст] / С. А. Засуха // Зб. наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2011. – Вип. 3 (29). – С. 131-135.

5. Функция для рисования графов и орграфов средствами MATLAB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iglin.exponenta.ru/All/grth/grPlot.html>. – 01.03.2014.

Поступила в редакцию 12.02.2014, рассмотрена на редколлегии 25.03.2014.

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

МОДЕЛІ ГОТОВНОСТІ ДВОКАНАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧОЇ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ОНОВЛЕННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Ю. Л. Поночовний, О. А. Сіора, В. С. Харченко

Розглянуто моделі готовності інформаційно-управляючої системи, що обслуговується. При побудові моделей ураховано проведення оновлення програмних засобів у процесі експлуатації системи, а також усунення виявлених програмних дефектів. Для урахування зміни інтенсивності відмов програмних засобів використано апарат багатофрагментного марковського моделювання. Розглянуто моделі з накопиченням програмних помилок і їх усуненням, а також з усуненням програмних дефектів у процесі оновлення програмних функцій. За результатами моделювання зроблено висновки про вплив часових параметрів проведення оновлення програмних засобів на поведінку функції готовності системи.

Ключові слова: багатофрагментні моделі готовності, усунення програмних дефектів, накопичення програмних помилок, оновлення програмних засобів.

AVAILABILITY MODELS TWO CHANNEL INFORMATION-MANAGEMENT SYSTEM WITH SOFTWARE UPDATE

Y. L. Ponochovny, A. A. Siora, V. S. Kharchenko

The article describes a model of availability the instrumentation and control system. The models consider updating software during system operation, as well as eliminating of the detected software faults. To take into account changes of the software failure rate multifragment Markov's chains are applied. The models with the accumulation and eliminating of software faults during software updating are researched. Obtained results of simulation allows to assess the impact of the temporal parameters of software updates to the system availability function.

Key words: multifragment model availability, eliminating software faults, errors, updating software.

Поночовний Юрій Леонидович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедри комп'ютерної інженерії Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна, e-mail: pnchl@rambler.ru.

Сіора Александр Андреевич – канд. техн. наук, Генеральний директор Научно-производственного предприятия «Радий», Кировоград, Україна, e-mail: siora@radiy.com.

Харченко Вячеслав Сергеевич – заслужений изобретатель України, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного аэрокосмического університету ім. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Україна, e-mail: V.Kharchenko@khai.edu.