

¹Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

²Канд. техн. наук, доцент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

³Младший научный сотрудник кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

МОДЕЛЬ ВЕРИФИКАЦИИ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ РЕСУРСАМИ

Актуальность. Рассмотрена задача верификации систем с ограниченными ресурсами. Ключевым моментом в разработке мини-компьютерных систем является их ограниченность в системных ресурсах, что приводит к ужесточению требований к конечным продуктам на их основе. Соответственно это ограничивает область их применения в критичных системах реального времени таких как оборонная промышленность или медицинские приложения. Поэтому разработка средств верификации миникомпьютерных систем для подтверждения их стабильного функционирования является актуальной задачей. Объектом исследования являлся процесс моделирования функционирования работы реконфигурируемых систем с ограниченными ресурсами.

Цель работы – повышение надежности функционирования систем с ограниченными ресурсами с реконфигурируемыми компонентами за счет обеспечения целостности данных и автоматизации процесса верификации.

Метод. Получена модель верификации систем с ограниченными ресурсами, основанная на модели верификации веб-ориентированных систем, которая позволяет описать компоненты верифицируемых объектов и способ обмена данными на основе динамической модели передачи данных. Модифицировано понятие «функциональная единица» за счет добавления не только программных, но и аппаратных блоков, что даёт возможность автоматизации тестирования данных элементов. Особенность данной модели заключается в том, что она учитывает результаты верификации устройств, подключенных к миникомпьютерным системам, и описывает оптимальный период считывания архивных файлов, что позволяет обеспечить актуальность и целостность результатов испытаний систем с ограниченными ресурсами. В качестве экспериментального образца была рассмотрена архитектура миникомпьютерной системы на основе Raspberry Pi.

Результаты. Предложенная модель апробирована для удаленной лаборатории изучения надежности встроенных систем (ISRT).

Выводы. В работе предложена модифицированная модель верификации систем с ограниченными ресурсами, которая в отличие от модели верификации веб-ориентированных систем, описывает адаптивную архитектуру встроенных систем и содержит период передачи результатов верификации во внешнее хранилище, что позволяет применять данную модель для различных конфигураций аппаратного обеспечения.

Ключевые слова: верификация, функциональная единица, система с ограниченными ресурсами, Raspberry Pi.

НОМЕНКЛАТУРА

ИС – информационная система;
 ФЕ – функциональная единица;
 c – концепция;
 C – набор понятий (композиционных и атомарных);
 C_A – набор атомарных концепций;
 DB – хранилище данных;
 e – подмножество ресурсов информационной системы;
 E – набор ресурсов информационной системы;
 e_a – элементарная единица *interprototype* информационной системы;
 e_d – элемент информационной системы;
 E_d – набор web-ресурсов информационной системы;
 E_h – набор адаптивных элементов аппаратного обеспечения информационной системы;
 f – функциональная единица системы;
 F – множество функциональных единиц системы;
 f_a – адаптивная функция преобразования между элементами информационной системы и требованиями пользователя;
 I – множество входных данных;
interprototype – множество элементов прототипа интерфейса ВОИС;
 IoT – Internet of things;
 MV – модель для верификации;

O – множество выходных данных;
 O_s – множество эталонных значений;
 p – вариант тестирования;
 P – множество вариантов тестирования;
 P_h – вариант тестирования для верификации аппаратного обеспечения;
 P_h – множество вариантов тестирования для верификации аппаратного обеспечения;
 r_d – связь атомарных концепций и web-ресурсов информационной системы;
 $rm(a)$ – неявные требования пользователя;
 rmv – связь элементов прототипа с web-ресурсами и базой данных информационной системы;
 $rp(a)$ – явные требования (профиль) пользователя;
 $UM(u)$ – неявные требования пользователя;
 $UP(u)$ – явные требования (профиль) пользователя;
 $Vlog$ – зарезервированный объем памяти под результаты верификации;
 $Verr$ – объем аварийного файла;
 $Varch$ – объем архивного файла;
 W_{res} – набор ресурсов информационной системы;
 Y_i – результаты верификации;
 Y_{Log} – лог хода верификации;
 Y_{Res} – результат верификации;
 Y_{resp} – время отклика;
 Y_{err} – информация о найденных ошибках;

η_i – период передачи архивных файлов из i -го объекта испытаний на хранение в БД;
 τ – прогнозируемое время наработки устройства;
 σ – допустимое количество отказов миникомпьютерных систем;
 v_{net} – средняя скорость передачи данных по сети;
 ω – коэффициент запаса.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие рынка Интернета вещей (IoT) привлекает внимание новых разработчиков и приводит к созданию операционных систем и программных продуктов, являющихся инструментами и средствами для работы с IoT-устройствами. Данная технология направлена на объединение датчиков, сенсоров и других измерительных устройств, физически распределенных в пространстве, с централизованной инфраструктурой для мониторинга и управления физической средой [1]. Данные продукты работают на микроконтроллерах, которые, в свою очередь, работают на различных IoT-устройствах. Для реализации систем управления данными устройствами чаще всего используются микрокомпьютеры, в том числе одноплатные компьютеры такие как Raspberry Pi, Intel Compute Stick, CuBox, МК802 и др. Наибольшую популярность приобрел Raspberry Pi, который при небольшой стоимости способен заменить небольшой персональный компьютер или домашний кинотеатр. Данное устройство позволяет работать не только на Linux, но и на Windows, и используется в основном при создании простых роботов и самодельных систем управления «умного дома» [2]. В совокупности с низкими требованиями открытого программного обеспечения аппаратной части и специально собранным ядром ОС, Raspberry Pi позволяет установить на него до 9 различных операционных систем, а также набор сопутствующего программного обеспечения, которое не требовательно к аппаратным ресурсам.

Ключевым моментом в разработке миникомпьютерных систем является их ограниченность в системных ресурсах [3], что приводит к ужесточению требований к конечным продуктам на их основе, таким как: малый объем потребляемой оперативной памяти и небольшое энергопотребление, модульность, упрощенные инструменты конфигурирования коммуникаций, поддержка широкого спектра беспроводных и сенсорных технологий [4]. Соответственно это ограничивает область их применения в критичных системах реального времени таких как оборонная промышленность или медицинские приложения.

Объектом исследования являлся процесс моделирования функционирования работы реконфигурируемых систем с ограниченными ресурсами.

Предмет исследования – методы и модели верификации миникомпьютерных систем.

Верификация систем с ограниченными ресурсами должна обеспечивать достоверность и логическую целостность данных, что необходимо для функционирования системы в соответствии со стандартами качества [5–6]. Также, учитывая ограниченность объема хранилищ данных, результаты верификации необходимо передавать во внешнее хранилище через определенный период времени [7].

Большинство систем управления на основе миникомпьютера (например, Raspberry Pi [2]) используют веб-интерфейс [5, 8], поэтому целью работы являлось повышение надежности функционирования систем с ограниченными ресурсами с реконфигурируемыми компонентами за счет обеспечения целостности данных и автоматизации процесса верификации.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для верификации систем с веб-интерфейсом возьмем модель верификации web-ориентированных систем [9], которая построена на основании понятия концепции:

$$MV = (\text{interprototype}, E_d, DB, rmv), \quad (1)$$

$$rmv : \text{interprototype} \rightarrow E_d \times DB \mid \forall e_a, e_a \in \{rp(a),$$

$$rm(a)\}, e_a \rightarrow e, e = \{e_d\}.$$

Однако данная модель (1) описывает лишь структуру веб-интерфейса, не учитывая взаимосвязи системы с аппаратным обеспечением, а также процесс передачи данных между датчиками, периферийными устройствами и миникомпьютером. В существующей модели отсутствует описание структуры системы с ограниченными ресурсами для процесса верификации и взаимосвязь между элементами системы и средствами тестирования.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Для определения объекта тестирования в модели верификации web-ориентированных систем выделен элемент e_d – ресурс, или документ, доступный по сети и идентифицируемый уникальным *URI*. e_d определяется функцией [4, 10]:

$$rd : C_A \rightarrow E_d \mid \forall c \in C_A : e_d = rd(c), e_d \cup E_d. \quad (2)$$

Для верификации в [11] было выделено понятие «функциональной единицы системы» f – элементарной структурной составляющей информационной системы, реализующей законченный функциональный блок, для проверки которого может быть разработан один или больше автоматизированных или автоматических проверочных тестов:

$$F = (E_d, P, r) \mid \forall e_d, e_d \in E_d, \exists p, p \in P. \quad (3)$$

Функциональная единица разработки выбирается в зависимости от вида ИС. Например, если разрабатываемая ИС требует связи с базой данных либо обращения к удаленному приложению, имеющему другой формат данных, ФЕ является функция обмена информацией с базой данных (удаленным приложением).

Основываясь на модели верификации информационных систем и онтологической модели для адаптивного web-окружения, которые предоставляют основные понятия ИС и позволяют их связать с требованиями к качеству и средствами тестирования, необходимо учесть особенности систем с ограниченными ресурсами для создания соответствующей модели верификации. Также необходимо расширить понятие ФЕ с целью автоматизации процесса тестирования не только программного, но и аппаратного обеспечения и средств передачи данных между элементами системы с ограниченными ресурсами.

Необходимо данную модель модифицировать для использования совместно с динамической моделью верификации для тестирования средств передачи данных между элементами системы с ограниченными ресурсами (Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet и пр.).

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Особенность современных встроенных систем заключается в том, что архитектура системы тоже становится адаптивной, для чего определим, что совокупность явных UP(u) и неявных UM(u) требований пользователя включает не только множество элементов прототипа интерфейса, но и множество требований к элементам аппаратного обеспечения. Множество ресурсов примем за E , множество адаптивных элементов аппаратного обеспечения обозначим E_h , тогда для адаптивной встроенной системы будем считать $E = E_d \cup E_h, e \in E$.

Для расширения понятия ФЕ с целью автоматизировать процесс тестирования аппаратного обеспечения и средств передачи данных между элементами системы с ограниченными ресурсами было предложено интегрировать в (3) комплекс тестов по верификации аппаратного обеспечения $P_h = \langle I, O, O_s \rangle$. Цель данного комплекса заключается в тестировании методом «черного ящика» корректности полученных данных (O) от аппаратного обеспечения в ответ на отправленный запрос, содержащий некое множество входных данных (I). Полученное множество ответов O сравнивается с эталонным значением O_s и с коммуникационным протоколом, на основании их соответствия принимается решение относительно корректности функционирования тестируемого аппаратного обеспечения.

В соответствии с вышесказанным, множество ФЕ системы с ограниченными ресурсами примет вид:

$$F = (E_d, E_h, P, P_h, P_c, r) | \forall e_d, e_d \in E_d, \exists p, p \in P, \exists p_h, p_h \in P_h. \quad (4)$$

Для вычисления периода передачи данными от i -го миникомпьютерной системы воспользуемся [12]:

$$\eta_i' = (1 + \omega_i)(\tau V \log_i + \sigma Verr_i) \left(\frac{\tau}{Varch_i} - \frac{1}{v_{net}} \right). \quad (5)$$

Результаты верификации представим в виде Y_i в виде множества $\langle Y_{Log}, Y_{Res}, Y_{resp}, Y_{err} \rangle$.

Учитывая указанные преимущества, модель для верификации систем с ограниченными ресурсами MV примет вид:

$$MV = (interprototype, E_d, E_h, DB, rmv, Y, \eta), \quad (6)$$

$$rmv : interprototype \rightarrow E_d \times E_h \times DB | \forall e_a, e_a \in \{rp(a),$$

$$rm(a)\}, e_a \rightarrow e, e = \{e_d\}.$$

4 ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для проведения экспериментов, была модифицирована архитектура системы ISRT [13–14], где аппаратное лабораторное обеспечение было распределено между тремя Raspberry Pi (рис. 1), а функциональность была

расширена административной панелью задания функциональных единиц.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты применения предложенной модели верификации представлены в виде разработанной электронной системы для гибкой верификации встроенных систем, которая имеет возможность работать автономно в различных средах, хранить информацию в базах данных, а также учитывать иерархическую структуру встроенных систем и выполнять верификацию систем с веб-интерфейсом.

Решение этой задачи достигается тем, что электронная информационная система для гибкой верификации встроенных систем, имеет центральный системный блок управления базами данных, соединенный в единую сеть по крайней мере с одним информационным сенсорным терминалом (e_h^1), аудиосистемой (e_h^2), микрофоном (e_h^3), видеокамерой (e_h^4), устройством, регистрирует изменение светового потока (e_h^5), модулем беспроводной связи, а также web-камерой (e_h^6), причем в качестве центрального системного блока управления базами данных используется автономный одноплатный компьютер (e_h^7), который дополнительно содержит блок синтеза данных для многослойных встроенных систем и модуль верификации информационных систем с веб-интерфейсом, а в качестве модуля беспроводной связи используется Wi-Fi модуль (e_h^8) и дополнительно содержит GSM модуль (e_h^9). Для каждого из указанных аппаратных устройств существует программное обеспечение, которое отвечает за прием и обработку данных с физических устройств. Для верификации данной системы разработано множество вариантов тестирования P , где $rf : e \rightarrow p, f = \cup\{e, p\}, e \in E, f \in F$.

Результаты верификации представлены в таблице 1.

Как видно из результатов верификации, устройство 6 (web-камера e_h^6) не прошло тестирование программного обеспечения, что объясняется конфликтом аппаратно-программного обеспечения e_h^6 и e_h^4 . Устройство e_h^9 (GSM модуль) не прошло тестирование, из-за отказа программного обеспечения.

6 ОБСУЖДЕНИЕ

Известная конструкция устройства для встроенных систем [15] состоит из схемы встроенного контроля и анализатору состояния системы, содержащей приемник с единственным входом, запоминающее устройство, системный индикатор, частотные дискриминаторы и ключи. Недостатком устройства является невозможность удаленного управления и отсутствие средств длительного хранения информации типа баз данных и не позволяет учитывать особенности иерархической организации встроенных систем, и соответственно не позволяет решать задачи гибкой верификации встраиваемых систем.

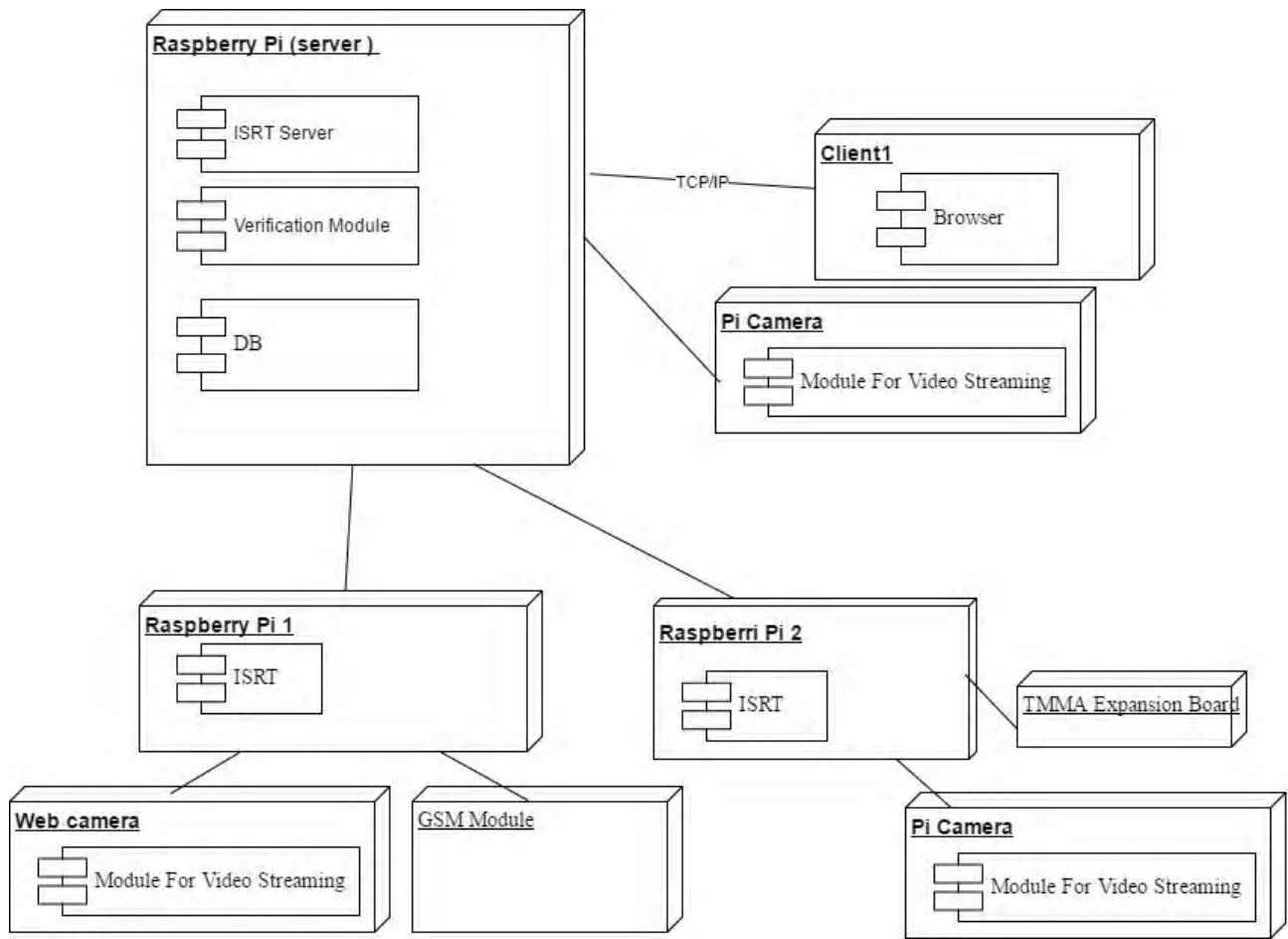


Рисунок 1 – Архітектура ISRT системи

Таблица 1 – Результаты работы электронной информационной системы для гибкой верификации встроенных систем

Номер ресурса информационной системы	Результаты тестирования		
	Аппаратного обеспечения, p_h	Программного обеспечения, p_e	Потеря данных при передаче
1	passed	passed	0%
2	passed	passed	0%
3	passed	passed	0%
4	passed	passed	0%
5	passed	passed	0%
6	passed	failed	0%
7	passed	passed	0%
8	passed	passed	0%
9	failed	failed	100%

Прототипом выбрана электронная информационная система [16], которая содержит центральный пункт управления, имеет центральный системный блок управления базами данных и соединен в единую сеть по крайней мере одним информационным сенсорным терминалом, оборудованным аудиосистемой, микрофоном, веб-камерой, устройством, регистрирует изменение светового потока, а также специализированными периферийными устройствами, такими как сканер штрих-кодов, система охлаждения и источник бесперебойного питания; один локальный пункт управления, содержащий локальный системный блок управления базами данных, оборудован модулем беспроводной связи соединен с персональным компьютером, имеющим устройство для печатания и соединен двунаправленной линией информационного обмена с крайней мере одним информаци-

онным сенсорным терминалом и центральным пунктом управления. Также система-прототип имеет информационный сенсорный терминал дополнительно оснащен модулем беспроводной связи, который соединен с локальным пунктом управления двунаправленной линией беспроводной связи.

Недостатком известной конструкции является наличие персонального компьютера, что не позволяет использовать ее автономно, и требует большие материальные затраты на реализацию электронной системы.

Дальнейшая работа будет проводиться в области автоматизации процесса выбора контрмер по результатам верификации. Также экспериментальный образец содержит лимитированное количество подключенных устройств, и не требовалось передачи данных во внешнее хранилище, поэтому исследование полученного време-

ни отклика от типовых устройств в дальнейшем будет использоваться для моделирования максимально возможной нагрузки на аппаратное обеспечение.

ВЫВОДЫ

В работе описана предложенная авторами модель для верификации систем с ограниченными ресурсами, которая позволяет определить основные концепты для управления встроенной системой, оснащенной различными датчиками, контроллерами и периферийными устройствами, которая основана на модификации модели верификации веб-ориентированных систем.

Авторами модифицировано понятие «функциональная единица» за счет добавления не только программных, но и аппаратных блоков, что даёт возможность автоматизации тестирования данных элементов.

Научной новизной работы является, модифицированная модель верификации систем с ограниченными ресурсами, которая в отличие от модели верификации веб-ориентированных систем, описывает адаптивную архитектуру встроенных систем и содержит период передачи результатов верификации во внешнее хранилище, что позволяет применять данную модель для различных конфигураций аппаратного обеспечения.

Практическая ценность работы заключается в том, что модифицированная модель верификации систем с ограниченными ресурсами, учитывает результаты верификации устройств, подключенных к миникомпьютерным системам, и описывает оптимальный период считывания архивных файлов, что позволяет обеспечить актуальность и целостность результатов испытаний систем с ограниченными ресурсами.

Предложенная модель была апробирована для удаленной лаборатории изучения надежности встроенных систем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы Запорожского национального технического университета «Інформаційна система діагностування розподілених мінікомп'ютерних систем в багатоконпонентному зовнішньому середовищі» (номер государственной регистрации 0117U000615) и при поддержке международного проекта Erasmus + Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications ALIOT573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Advances in Intelligent Systems and Computing. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful / [ed. by S. Gaglio, G. Lo Re]. – Switzerland: Springer, 2014. – 349 p. DOI 10.1007/978-3-319-03992-3.
2. Bell Ch. Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi / Ch. Bell. – NY: Apress, 2013. – 372 p. DOI:10.1007/978-1-4302-5825-4.

Табунщик Г. В.¹, Каплиенко Т. І.², Шитикова О. В.³

¹Канд. техн. наук, доцент, професор кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

²Канд. техн. наук, доцент кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

³Молодший науковий співробітник кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

МОДЕЛЬ ВЕРИФІКАЦІЇ СИСТЕМ З ОБМЕЖЕНИМИ РЕСУРСАМИ

Актуальність. Розглянуто задачу верифікації систем з обмеженими ресурсами. Ключовим моментом в розробці мінікомп'ютерних систем є їх обмеженість в системних ресурсах, що призводить до посилення вимог до кінцевих продуктів на їх основі. Відповідно це обмежує область їх застосування в критичних системах реального часу таких як оборонна промисловість або медичні програми.

3. Открытые операционные системы для IoT [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.pcweek.ru/iot/article/detail.php?ID=189815>.
4. Warren G. Raspberry Pi Hardware Reference / G. Warren. – NY: Apress, 2014. – 248 p. DOI:10.1007/978-1-4842-0799-4.
5. Knutov E. AH 12 years later: a comprehensive survey of adaptive hypermedia methods and techniques / E. Knutov, P. De Bra, M. Pechenizkiy // New Review of Hypermedia and Multimedia. – 2009. – Vol. 15, No. 1.– P. 5–38.
6. Corno F. Design-time formal verification for smart environments: an exploratory perspective/ F. Corno, M. Sanaullah, J Ambient //Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. – 2014. – Vol. 5, Issue 4. – P. 581–599. DOI: 10.1007/s12652-013-0209-4.
7. Морозов В. П. Сбор и анализ метрик при выполнении проектов программных изделий/[В. П. Морозов, С. Н. Баранов, А. Н. Домарацкий и др.] // Программные продукты и системы. – 1998. – № 4. – Режим доступа: – <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=1006>.
8. Balik M. Generic Ontology-based Model for Adaptive Web Environments / M. Balik, I. Jelinek // IEEE 16th International Conference of Computational Science and Engineering. – 2013. – P. 495–500. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSE.2013.80>.
9. Каплиенко Т. І. Інформаційна технологія динамічного планування та моніторингу процесу розроблення веб-орієнтованих інформаційних систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Каплиенко Т. І. ; М-во освіти і науки України, Херсонський Національний Технічний Університет. – Херсон, 2015. – 23 с.
10. Function Point Counting Practices Manual, Release 4.2, IFPUG, 2004. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ifpug.org/>.
11. Віддалений та віртуальний інструментарій в інжинірингу: монографія / [ed. by Karsten Henke]. – Запоріжжя : Дике поле, 2015. – 250 с. ISBN 978-966-2752-74-8.
12. Шитикова Е. В. Динамическая модель передачи данных газотурбинных установок наземного применения / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». – 2016. – № 1(22). – С. 132-135.
13. Interactive platform for Embedded Software Development Study / [G. Tabunshchik, D. Van Merode, P. Arras etc] // Proc. of 14th Int. Conf. on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2017) (15–17 March 2017, Columbia University, New York, USA), 2017. – P. 191–197.
14. А.С. № 66615 Система керування контентом для віддалених експериментів з дослідження надійності вбудованих систем / Г. В. Табунщик, В. О. Охмак, опубл. 13.07.2016
15. Пат. 59109 Україна, МПК (2006.01) H03K 19/20, G06F 11/07, G06F 11/30. Пристрій для функціонального діагностування електронних систем / В. П. Карчевський; заявник і патентовласник Українська Інженерно-Педагогічна Академія. – № u201009322; заявл. 26.07.2010; опубл. 10.05.2011; бюл. № 9.
16. Пат. 30579 Україна, МПК (2006.01) G06F 3/01. Електронна інформаційна система / В. І. Кравченко; заявник і патентовласник Кравченко Валерій Іванович. – № u200800764; заявл. 22.01.2008; опубл. 25.02.2008, бюл. № 4.

Статья поступила в редакцию 03.06.2017.

После доработки 21.08.2017.

Тому розробка засобів верифікації мінікомп'ютерних систем для підтвердження їх стабільного функціонування є актуальним завданням. Об'єктом дослідження був процес моделювання функціонування роботи реконфігурованих систем з обмеженими ресурсами.

Мета роботи – підвищення надійності функціонування систем з обмеженими ресурсами з компонентами, що реконфігуруються, за рахунок забезпечення цілісності даних і автоматизації процесу верифікації.

Метод. Отримано модель верифікації систем з обмеженими ресурсами, заснована на моделі верифікації веб-орієнтованих систем, яка дозволяє описати компоненти об'єктів верифікації і спосіб обміну даними на основі динамічної моделі передавання даних. Модифіковано поняття «функціональна одиниця» за рахунок додавання не тільки програмних, але і апаратних блоків, що дозволяє автоматизації тестування даних елементів. Особливість даної моделі полягає в тому, що вона враховує результати верифікації пристроїв, підключених до мінікомп'ютерних систем, і описує оптимальний період зчитування архівних файлів, що дозволяє забезпечити актуальність і цілісність результатів випробувань систем з обмеженими ресурсами. В якості експериментального зразка була розглянута архітектура мінікомп'ютерної системи на основі Raspberry Pi.

Результати. Запропонована модель апробована для віддаленої лабораторії вивчення надійності вбудованих систем (ISRT).

Висновки. В роботі запропонована модифікована модель верифікації систем з обмеженими ресурсами, яка на відміну від моделі верифікації веб-орієнтованих систем, описує адаптивну архітектуру вбудованих систем і містить період передачі результатів верифікації у зовнішнє сховище, що дозволяє застосовувати дану модель для різних конфігурацій апаратного забезпечення.

Ключові слова: верифікація, функціональна одиниця, система з обмеженими ресурсами, Raspberry Pi.

Tabunshchik G. V.¹, Kapliienko T. I.², Shytikova O. V.³

¹PhD, Associate Professor, Professor of Software Tools Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

²PhD, Associate Professor of Software Tools Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

³Researcher in Software Tools Department, Zaporizhzhya National Technical University, Zaporizhzhya, Ukraine

VERIFICATION MODEL FOR THE SYSTEMS WITH LIMITED RESOURCES

Context. In the article the task of systems with limited resources verification is considered. One of the challenges for implementation of concurrent minicomputer systems for implementations its in real products is high requirements to the limited hardware. As a result it course additional requirements for them and limited the sphere of their implementation especially in critical real-time systems in medicine or defense industry. That's why development verification tools for minicomputer systems is actual task. The object of the research – the process of modelling of reconfiguring systems with limited resources functionality.

Objective – to improve reliability of systems with limited resources by ensuring of data integrity and automating of the verification process.

Method. The model of systems with limited resources verification based on the verification model of web-oriented systems is obtained, which describes the verified components of objects and the way of data exchange based on the dynamic model of data transmission. The concept of “functional unit” has been modified by adding hardware blocks, which makes it possible to automate the testing of these elements. The advantage of this model is that it collect results of verification of the devices connected to the minicomputers systems and describes the optimal period for reading archive files, which improve the relevance and integrity of test results for systems with limited resources. As a case study, the architecture of a minicomputer system based on Raspberry Pi was considered by the authors.

Results. Developed model was applied for the verification of the remote laboratory for reliability tasks (ISRT).

Conclusions. In the article the modified model for system with limited resources verification is suggested, which in contrast to web-oriented verification model describes adaptive architecture of the embedded systems and use model for data transition into the external storage, which make possible to implement this model for variety of hardware configurations.

Keywords: verification, functional unit, system with limited resources, Raspberry Pi.

REFERENCES

- ed. by S. Gaglio, G. Lo Re Advances in Intelligent Systems and Computing. How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful. Switzerland, Springer, 2014, 349 p. DOI 10.1007/978-3-319-03992-3
- Bell Ch. Beginning Sensor Networks with Arduino and Raspberry Pi. NY, Apress, 2013, 372 p. DOI:10.1007/978-1-4302-5825-4
- Otkryitiye operatsionnyie sistemyi dlya IoT [Electronic resource]. Access mode: <https://www.pcweek.ru/iot/article/detail.php?ID=189815>
- Warren G. Raspberry Pi Hardware Reference [Text]. NY, Apress, 2014, 248 p. DOI:10.1007/978-1-4842-0799-4
- Knutov E., De Bra P., Pechenizkiy M. AH 12 years later: a comprehensive survey of adaptive hypermedia methods and techniques, *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 2009, Vol. 15, No. 1, pp. 5–38.
- Corno F., Sanallah M., Ambient J. Design-time formal verification for smart environments: an exploratory perspective, *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2014, Vol. 5, Issue 4, pp. 581–599. DOI: 10.1007/s12652-013-0209-4.
- Morozov V. P., Baranov S. N., Domaratskiy A. N. etc Sbor i analiz metrik pri vyipolnenii proektov programmnyih izdeliy [Electronic resource], *Programmnyie produkty i sistemyi*, 1998, No. 4. Access mode: <http://swsys.ru/index.php?page=article&id=1006>.
- Balik M., Jelinek I. Generic Ontology-based Model for Adaptive Web Environments, *IEEE 16th International Conference of Computational Science and Engineering*, 2013, pp. 495–500. DOI: <https://doi.org/10.1109/CSE.2013.80>.
- Kapliienko T. I. Informatsiina tekhnolohiia dynamichnoho planuvannia ta monitorynhu protsesu rozroblennia web-orientovanykh informatsiinykh system: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.06; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Khersonskiy Natsionalnyi Tekhnichnyi Universytet. Kherson, 2015, 23 p.
- Function Point Counting Practices Manual, Release 4.2, IFPUG, 2004. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.ifpug.org/>.
- ed. by Karsten Henke Viddaleniy ta virtualniy instrumentariy v inzhiniringu: monografiya. Zaporizhzhya, Dike pole, 2015, 250 p. ISBN 978-966-2752-74-8.
- Shytikova E. V., Tabunshchik G. V. Dinamicheskaya model peredachi danyih gazoturbinyih ustanovok nazemnogo primeneniya, *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu, seriya: «Informatika, kibernetika ta obchislyvalna tehnika»*, 2016, No. 1(22), pp. 132–135.
- Tabunshchik G., Van Merode D., Arras P. etc. Interactive platform for Embedded Software Development Study, *Proc. of 14th Int. Conf. on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2017) (15–17 March 2017, Columbia University, New York, USA)*, 2017, pp. 191–197.
- A. S. № 66615 Sistema keruvannya kontentom dlya viddalenih eksperimentlv z doslidzhennya nadiynosti vbudovanih sistem / Tabunshchik G.V., Ohmak V.O., opubl. 13.07.2016
- Karčevs'kyj V. P. Pat. 59109 Ukraïna, MPK (2006.01) H03K 19/20, G06F 11/07, G06F 11/30. Prystrij dlja funkcional'noho diahnostuvannja elektronnyx system [Tekst] ; zajavnyk i patentovlasnyk Ukraïns'ka Inzhenerno-Pedahohichna Akademiya. u201009322; zajavl. 26.07.2010; opubl. 10.05.2011, bjul. № 9.
- Kravchenko V. I. Patent 30579 Ukraïna, MPK (2006.01) G06F 3/01. Elektronna informacijna systema [Tekst] ; zajavnyk i patentovlasnyk Kravchenko Valerij Ivanovykh. u200800764; zajavl. 22.01.2008; opubl. 25.02.2008, bjul. N 4.