

УДК 004. 031.42

DOI: 10.20998/2411-0558.2025.02.07

Я. Ю. КОРОЛЬОВА, канд. техн. наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",

С. Д. ДЕМЕНКОВА, старший викладач, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",

Т. Г. РОЖНОВА, канд. техн. наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків,

Л. А. КЛИМЕНКО, канд. техн. наук, , Український державний університет залізничного транспорту, Харків

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА АРХІТЕКТУРА ТА МОДУЛІ ВБУДОВАНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ІНТЕРАКТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Модифіковано алгоритмічну процедуру виявлення замкнених розбиттів станів клітинного автомата та показано, що запропонований підхід дозволяє реалізувати функціональний модуль інтерактивної комп'ютерної мережі (ІКМ) у вигляді однонаправленої КЛБ-мережі на базі FPGA. Модифіковано методику та процедуру синтезу одновимірних ІКМ з резервними функціональними модулями (ФМ) та вирішено задачу оптимального розміщення резервних ФМ у структурі ІКМ з урахуванням критерію мінімізації обміну даними між модулями. Обґрунтовано межі довжини маршрутів у двовимірній ІКМ, які використовуються для вибору найкращого варіанта реконфігурації системи. Іл.: 2. Бібл.: 7 назв.

Ключові слова: інтерактивна комп'ютерна мережа, мережа що реконфігурується, система управління.

Вступ. Широке поширення реконфігурованих FPGA, конфігуровані логічні блоки (КЛБ) і комутаційні матриці яких дозволяють ізоморфно відобразити геометрію зв'язків і станів однорідних і двовимірних інтерактивних комп'ютерних мереж (ІКМ) з функціональних модулів (ФМ), дало поштовх численним дослідженням зі створення динамічно реконфігурованих ІКМ. Останні покоління сімейства FPGA містять на одному кристалі двовимірну реконфігуровану ІКМ КЛБ, вбудований 18-бітний паралельний множник та оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) та модулі сигнального процесора й пам'яті [1, 2].

Реконфігурованість матриці ФМ, спільність і гнучкість клітинно-

© Корольова Я.Ю., Деменкова С.Д., Рожнова Т.Г., Клименко Л.А., 2025

автоматного підходу до синтезу та моделювання складних динамічних систем з паралельним опрацюванням даних визначають потенційні можливості ОКС з огляду на простоту їхньої схемної реалізації на FPGA.

Аналіз останніх досліджень та літературних джерел. Питання побудови структурно-логічної архітектури та модулів вбудованих засобів діагностування інтерактивних комп'ютерних мереж є актуальним на поточний момент і йому присвячено достатньо багато публікацій у спеціальній технічній літературі.

У дослідженні [1] розглянуто побудову методів синтезу послідовностей, що перевіряють для ітеративних комп'ютерних мереж з використанням різних видів символів автоматної моделі комірки мережи. Також різні методи діагностування одновимірних і двовимірних інтерактивних комп'ютерних мереж з розподіленим управлінням конфігурацією наведено в [2]. У дослідженнях [3] та [4] розроблено діагностичні моделі багатопроцесорних та реактивних систем керування.

Модель мережі передавання даних, що функціонує в умовах інформаційного протиборства за наявності поодиноких загроз у каналі передавання даних розглянуто в [5]. У дослідженнях [6] та [7] наведено методи проектування синхронізованих FSM за допомогою шаблону VHDL Moore та перевірка моделей дискретних пристроїв.

Постановка задачі. Будь-яка вбудована SoC-система може виконувати дуже обмежену кількість функцій. Специфіка завдань, які вирішує вбудована система, дає можливість оптимізувати та забезпечити високу ефективність підвищив швидкодію та зменшив обсягу пам'яті

Аналіз літературних джерел показує, що використання загальних підходів до стандартних підходів до побудови засобів діагностування ІКМ не дає ефективного результату.

Тому доцільно використовувати спеціалізовані методи засобів діагностування вбудованих ІКМ, орієнтовані на вирішення конкретної задачі реалізації алгоритмів діагностування.

Одної з розповсюджених архітектур є структурно-логічна.

Виходячи з цього метою дослідження є розробка архітектури та модулів діагностування ІКМ

Синтез легкотестованих модулів лічильників і таймерів

діагностичної інфраструктури. У цій статті запропоновано методи синтезу легкотестованих модулів лічильних структур і таймерів відповідно до критерію мінімальності апаратних витрат на їх реалізацію, що спостерігаються наведено у [1 – 3].

Для лічильників більшої розрядності комбінаційна схема, що реалізує функції збудження, може складатися з декількох десятків і сотень логічних елементів. Однак, крім модулів сигнатурного моніторингу ІКМ, існує велика кількість технічних застосувань лічильникових структур як дільників частоти, у технічній діагностиці синдромно-сигнатурних аналізаторів, генераторів псевдовипадкових і псевдовичерпних послідовностей, керуючих автоматом та ін., де немає необхідності вести лічбу в лексикографічному порядку проходження двійкових чисел. У цьому випадку, можливо, реалізувати лічильник на одному зсувному регістрі [4 – 7].

Таким чином, використання алгебри розбиття множин, бієктивних відображень множини станів зсувного регістра на кожному такті його функціонування з урахуванням заданих умов початкового встановлення зсувного регістра дає змогу визначити функцію зворотного зв'язку СР для реалізації лічильної структури з довільним числом станів.

Діагностування ІКМ, що реалізуються на ПЛІС та діагностичні експерименти в ІКМ із процесорних модулів. Застосування функціональних модулів (ФМ) модулів діагностичної інфраструктури ІКМ як генераторів вхідних і вихідних станів ІКМ, генераторів розпізнавальних і характеристичних послідовностей (рис. 1), таймерів, генераторів контрольних міток, адресних регістрів постійних запам'ятовуючих пристроїв і блоків керування.

Застосування синдромно-сигнатурних аналізаторів (рис. 2) забезпечує властивості легкотестуємості модулів сигнатурного моніторингу та мінімальність апаратних витрат на їхню реалізацію.

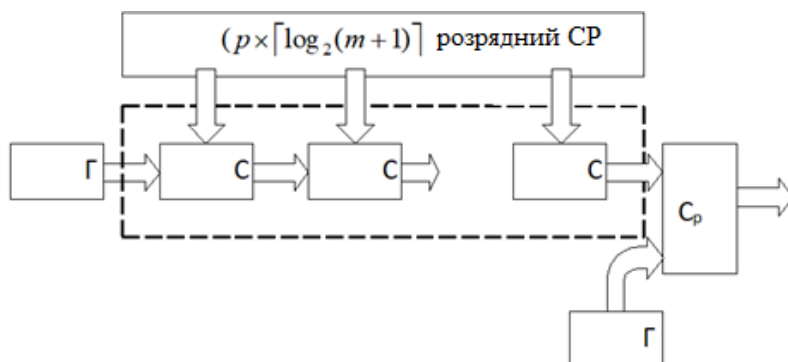


Рис. 1. Структурно-логічна архітектура ІКМ із вбудованими засобами діагностування

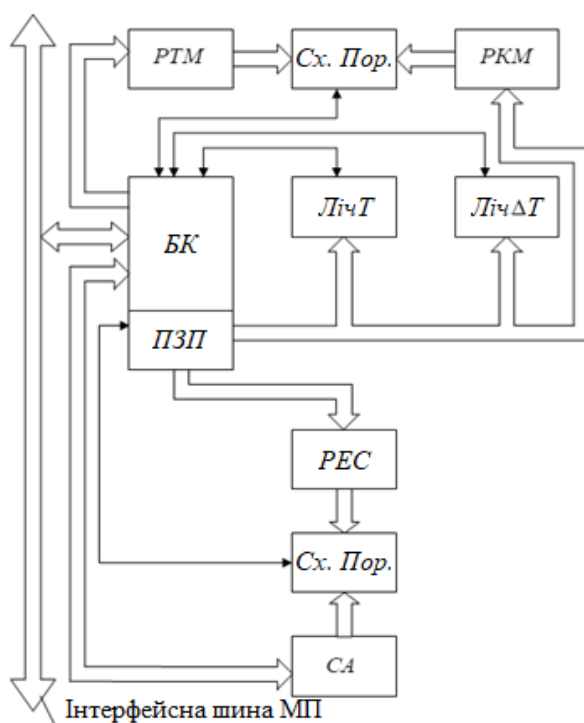


Рис. 2. Структурна схема дискретних пристроїв

Діагностична інфраструктура багатопроцесорної комп'ютеризованої системи керування. У роботі продемонстровано ефективність практичного використання запропонованих методів синтезу

та логічного проектування однорідних клітинних мереж, що реконфігуруються, методів і процедур синтезу тестів, що перевіряють, ІКМ, які було розроблено в попередніх роботах, для побудови діагностичної інфраструктури. Функціонування МКСК являє собою послідовність інтервалів працездатного стану, що чергуються, і відновлення працездатності шляхом реконфігурації структури.

Тому під час проектування діагностичної інфраструктури (ДІ) МКСК запропоновано інтегрувати систему вбудованого тестового діагностування МКСК у процес он-лайнного функціонування системи, тобто здійснювати тестове діагностування модулів у процесі її нормального функціонування, яке було запропоновано в [1, 2, 7].

Використання у складі МКСК процесорних модулів визначає необхідність побудови внутрішньої інфраструктури МКСК, що керує процесом оптимізації продуктивності та функціональної ефективності МКСК, а також онлайнним процесом тестового діагностування, локалізації несправних модулів і реконфігурації її структури. У низці досліджень показано, що споживання енергії в режимі тестового діагностування в півтора рази перевищує енергію, споживану в процесі нормального діагностування, і цей розрив має тенденцію збільшуватися зі зростанням складності МКСК.

Для побудови ДІ МКСК можна використовувати діагностичні процесори (модулі), які здійснюють онлайнне тестове діагностування МКСК. Однак при цьому необхідно керувати процесом перемикання ФМ із режиму функціонування в режим тестового діагностування з урахуванням обмежень на допустимий час виконання функціональних програм керування і споживаної енергії на виконання тестового діагностування.

На рис. 3 представлено структуру МКСК із ФМ із вбудованою діагностичною інфраструктурою.

Кожен процесорний модуль має вбудовану систему самотестування (BIST - Built-In Self Test), яка перевіряє справність ФМ у режимі нормального функціонування за допомогою діагностичних процесорів, представлених у [1, 2, 7]. ФМ через інтерфейсні модулі (ІМ) пов'язані єдиною локальною мережею для оперативного обміну даними в режимі функціонування та реконфігурації структури МКСК у режимі відновлення працездатності в разі виявлення несправного ФМ. Керування процесами

оптимізації продуктивності МКСК та онлайнним тестовим діагностуванням здійснюється діагностичним модулем, що має інтерфейсні тестові шини, позначені на рис.3 пунктирними лініями.

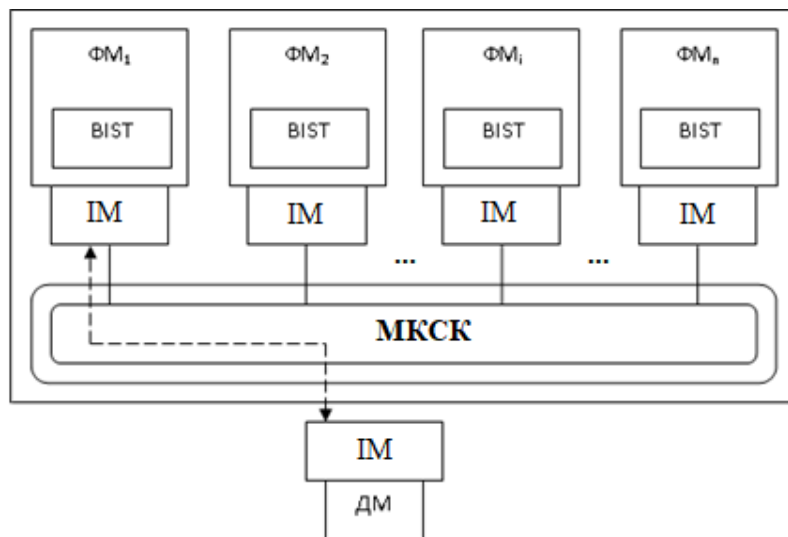


Рис. 3. МКСК із вбудованою ДІ перевірки справності та відновлення працездатності

Структурна схема діагностичний модуль (ДМ) наведена на рис. 4.

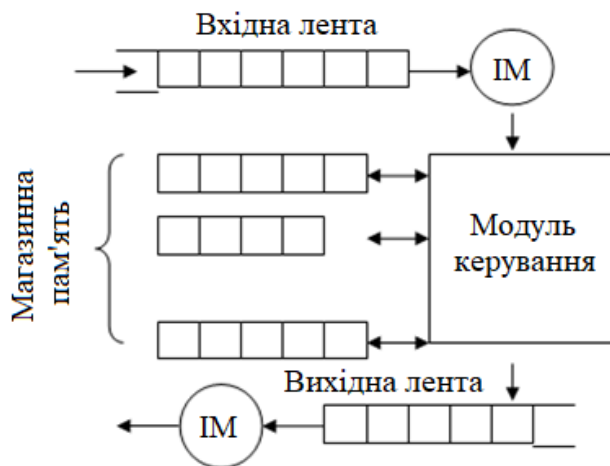


Рис. 4. Структура діагностичного модуля МКСК

Модуль керування є основним ядром ДМ, у якому виконуються основні операції діагностичної інфраструктури МКСК: визначення часу початку і завершення тестового діагностування та його тривалості; локалізація несправних ФМ; запуск процедури реконфігурації МКСК. Ефективність апаратно-програмних засобів для реалізації ДІ МКСК визначається швидкодією і мінімальністю апаратно-програмних витрат, що, своєю чергою, залежить від ємності магазинної пам'яті діагностичного модуля, ефективності алгоритмів диспетчеризації процедур діагностування ФМ і реконфігурації структури МКСК.

Побудова цих функціональних модулів, а також вбудованих засобів ДІ МКСУ на основі використання запропонованих методів синтезу компонентів і модулів, які легко тестуються, забезпечує високу достовірність виконання процедур діагностування та високі показники відмовостійкості МКСК.

Активне впровадження методів компактного тестування із застосуванням генераторів псевдовипадкових і псевдовичерпних тестів, а також стискання вихідних сигналів за допомогою синдромно-сигнатурних аналізаторів як інтегрованих засобів діагностики в МКСК, призвело до появи нових викликів у проектуванні відповідної діагностичної інфраструктури. Основні труднощі полягають у необхідності підвищення рівня виявлення можливих несправностей об'єкта діагностики та у зниженні енергоспоживання під час виконання тестування функціональних модулів.

Паралельне використання синдромного і сигнатурного стиснення вихідних послідовностей дає змогу у 2^n разів підвищити ефективність виявлення несправностей (помилки).

Висновки. Модифіковано структурно-логічну архітектуру ІКМ із вбудованими засобами тестового діагностування, в основі якої використовували розроблені методи перетворення автоматних моделей осередків ІКМ на такі, що легко перевіряються.

Модифіковано метод синтезу легкотестованих лічильних структур, який ґрунтується на використанні алгебри розбиттів множини станів зсувного регістру і двоблокових бієктивних відображень станів, що забезпечує реалізацію модулів на одному зсувному регістрі, мінімальність

апаратних витрат і трудомісткості їхнього тестового діагностування.

Обґрунтовано використання легкотестованих лічильних структур на зсувних регістрах у складі дискретних пристроїв для функціонального тестування мікропроцесорних модулів, що дає змогу спростити процедуру перевірки справності дискретних пристроїв і підвищити вірогідність контролю правильності функціонування ФМ.

Список літератури

1. Мірошник М. А. и др. Методи побудови тестів для інтерактивних комп'ютерних мереж на структурно-логічному рівні. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Інформатика і моделювання. – 2023. – Т. 1. – №. 1-2 (9-10)). – С. 81-90. DOI: 10.20998/2411-0558.2023.01.07.
2. Моделі діагностування інтерактивних комп'ютерних мереж на структурно-логічному рівні / М. А. Мірошник, Я. Ю. Корольова, С. Д. Деменкова, А. В. Шафранський // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Інформатика та моделювання : зб. наук. пр. / гол. ред. Є. І. Сокол. – Харків: НТУ "ХПІ", 2024. – № 1-2 (11-12). – С. 96-104. DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.08.
3. Диагностические модели многопроцессорных систем управления / Л.В. Дербунович, В.С. Суздаль, М.А. Бережная [та ін.] // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №6 (50). – С. 33 – 37. УДК 681.512.54
4. Диагностические модели реактивных многопроцессорных систем управления / Л.В. Дербунович, В.С. Суздаль, А.В. Соболев, [та ін.] // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №4, 5 (48, 49). – С. 108 – 109. УДК 681.512.54
5. Тарасенко В.П. Модель сети передачи данных, функционирующей в условиях информационного противоборства при наличии одиночных угроз в канале передачи данных / В.П. Тарасенко, С.М. Коваль // Электронное моделирование. – 2001. – №3. – С. 33 – 39. УДК 681.512.54
6. Miroshnyk, M.A. Design timed FSM with VHDL Moore pattern / Miroshnyk, M.A.; Shkil, O.S; Kulak, E.N.; Rakhlis, D.Y.; Miroshnyk, A.M.; Malahov, N.V. //Journal Radio electronics computer science control, ISSN 1607-3274 eISSN 2313-688X, 2020, Issue 2, P. 137-148. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-14
7. Мірошник М. А. и др. Асерційна верифікація моделей пристроїв реального часу з недетермінованими зовнішніми подіями // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2024. – Т. 29. – №. 1. – С. 37-44. DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.08

References

1. Miroshnyk M. A. et al. (2023) 'Methods of prompt testing for interactive computer measurements on the structural-logical level', Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Informatics and modeling. DOI: 10.20998/2411-0558.2023.01.07.
2. Miroshnyk M. A. et al. (2024) 'Models for diagnosing interactive computer networks on the structural-logical level', Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Computer

science and modeling: zb. Sci. pr. / goal ed. E. I. Falcon. – Kharkiv: NTU "KhPI". DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.08.

3. Berezhnaya M.A. et al. (2004) 'Diagnostic models of multiprocessor control systems', Information and security systems in commercial transport. UDK 681.512.54.

4. Derbunovic L.V. et al. (2004) 'Diagnostic models of reactive multiprocessor control systems', Information and support systems in travel transport. UDK 681.512.54.

5. Tarasenko V.P. et al. (2001) Model of a data transmission network operating in conditions of information warfare in the presence of single threats in the data transmission channel. UDK 681.512.54.

6. Miroschnyk, M.A. et al. Design timed FSM with VHDL Moore pattern, Journal Radio electronics computer science control, ISSN 1607-3274 eISSN 2313-688X, 2020, Issue 2, P. 137-148. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-14.

7. Miroschnyk M. A. et al. Assertive verification of real-time device models with non-deterministic external inputs, Information-based systems in commercial transport. – 2024. – Т. 29. – №. 1. – С. 37-44. DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.08.

Надійшла 03.04.2025 р.

Статтю представив д-р техн. наук, проф., професор кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки Харківський Національний Університет Радіоелектроніки Кривуля Геннадій Федорович.

Koroleva Yana, Ph.D., associate professor of the Department of Multimedia and internet technologies and systems, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute». 2, Курпухова str., 61002, Kharkiv, Ukraine

Tel.: (050) 576-36-19. E-mail: Yanakoroleva815@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7203-5603>.

Demenkova S. D., Senior Lecturer in Automation of Chemical and Technological Systems and Environmental Monitoring, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute." e-mail: svet1972232765@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6596-6605>

Rozhnova, T. G, PhD Tech, associate professor, associate professor of Computer Systems Design Automation department, Kharkiv National University of Radioelectronics. Nauki, Ave.14, Kharkiv, Ukraine, 61166., e-mail: tetiana.rozhnova@nure.ua

0000-0002-3323-5303

Klimenko L. A. PhD Tech, associate professor, Associate Professor of the Department of Specialized Computer Systems of the Ukrainian State University of Railway Transport, Feerbaha sq.7, Kharkiv, Ukraine, 61166., e-mail: klymenko.liubov73@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8252-7425>

УДК 004.03

Структурно-логічна архітектура та модулі вбудованих засобів діагностування інтерактивних комп'ютерних мереж / Корольова Я.Ю., Деменкова С.Д., Рожнова Т.Г., Клименко Л.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2025. – № 2 (14). – С. 104 – 113.

Модифіковано алгоритмічну процедуру виявлення замкнених розбиттів станів клітинного автомата та показано, що запропонований підхід дозволяє реалізувати функціональний модуль інтерактивної комп'ютерної мережі (ІКМ) у вигляді однонаправленої КЛБ-мережі на базі FPGA. Модифіковано методику та процедуру синтезу одновимірних ІКМ з резервними функціональними модулями (ФМ) та вирішено задачу оптимального розміщення резервних ФМ у структурі ІКМ з урахуванням критерію мінімізації обміну даними між модулями. Обґрунтовано межі довжини маршрутів у двовимірній ІКМ, які використовуються для вибору найкращого варіанта реконфігурації системи. Іл.: 2. Бібл.: 7 назв.

Ключові слова: інтерактивна комп'ютерна мережа, мережа що реконфігурується, система управління.

UDC 004.03

Structural and logical architecture and modules of built-in diagnostic tools for interactive computer networks / Koroleva Ya.Yu., Demenkova S.D., Rozhnova T.G., Klymenko L.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2025. – № 2 (14). – P. 104 – 113.

The algorithmic procedure for detecting closed partitions of cellular automaton states has been modified, and it has been shown that the proposed approach allows the implementation of a functional module of an interactive computer network in the form of a unidirectional network based on FPGA. The methodology and procedure for synthesizing one-dimensional ICMs with backup functional modules (FM) have been modified, and the problem of optimal placement of backup FMs in the ICM structure has been solved, taking into account the criterion of minimizing data exchange between modules. The limits of route lengths in a two-dimensional ICM, which are used to select the best option for system reconfiguration, have been substantiated. Figs.: 2. Refs.: 7 titles.

Keywords: interactive computer network, reconfigurable network, control system.