

РАЗДЕЛ 4

АВТОМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНЫЕ
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.315

Ю. В. Дрозд, О. В. Дрозд, М. О. Кузнєцов

Одеський національний політехнічний університет, пр. Шевченко, 1, Одеса, 65044

ВИКОРИСТАННЯ ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ FPGA-ОРІЄНТОВАНИХ ПРОЕКТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ОБЧИСЛЮВАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розглянуто питання розвитку цільових ресурсів для вирішення задач проектування комп'ютерних систем та їх компонентів - моделей, методів та засобів, а також їх особливостей, що складають природні ресурси. На прикладі сучасного проектування цифрових компонентів на FPGA показано поширення методу заготівлі результатів, що сприяє прояву природних ресурсів. Виявлено природний ресурс LUT-орієнтованої архітектури, що за методом варіантів дозволяє посилювати маскуванню несправностей та підвищувати достовірність обчислюваних результатів.

Ключові слова: Цільові та природні ресурси – Проектування цифрових компонентів – LUT-орієнтована архітектура – Метод варіантів – Маскування несправностей – Достовірність результатів обчислень.

The issue of development of the target resources for solving the tasks of computer systems design and their components - models, methods and means and also their features which compose natural resources is considered. The expansion of the preserved results method which favors activities of natural resources is shown on example of modern co-design of digital components on FPGA. The natural resource of LUT-oriented architecture which allows to increase masking the faults and reliability of the calculated results by the method of variants is detected.

Keywords: Target and natural resources – Co-design of digital components – LUT-oriented architecture – The method of variants – Masking the faults – Reliability of the calculation results.

I. ВСТУП

Вирішення будь-якої задачі, включаючи проектування цифрових компонентів комп'ютерних систем, потребує вкладання цільових ресурсів, тобто ресурсів, що спрямовані на забезпечення певних цільових функцій рішення – продуктивності, достовірності та їх складових. Цільові ресурси розподіляються на інформаційні та технологічні. До інформаційних цільових ресурсів відносяться моделі та методи. Моделі містять наші поняття, уявлення, що покладаються в основу вирішення задачі. Під методами розуміються описи перетворень у найбільш широкому сенсі, що також можуть називатися способами, алгоритмами, підходами, методиками та ін. Технологічні цільові ресурси об'єднують засоби вирішення задачі, включаючи потрібний для цього час, матеріали та інструменти [1].

Крім цільових ресурсів до вирішення задач залучаються також природні ресурси, за які не треба платити, бо вони є особливостями вико-ристаних цільових ресурсів та виникають як їх побічний продукт. Найбільш відомими природними ресурсами є природна інформаційна та природна структурно-часова надмірності. Вони виникають як особливості цільових ресурсів проектування цифрових компонентів комп'ютерних сис-

тем та можуть бути корисно задіяні при вирішенні задач технічної діагностики [2, 3].

Насправді існує безліч природних ресурсів, що скриті в особливостях цільових ресурсів та можуть бути ефективно використані для покращення процесу та результату вирішення задачі, тобто збереження цільових ресурсів (накопичення моделей, методів та інструментів, а також зниження витрат часу та матеріалів) і підвищення показників одержуваного результату. Тому стає актуальною задача виявлення та використання природних ресурсів, яка далі розглядається стосовно проектування цифрових компонентів комп'ютерних систем з FPGA-орієнтованою архітектурою [4].

Аналізуються можливості підвищення достовірності обчислюваних результатів за рахунок маскуванню несправностей, що виникають під час виконання обчислень.

II. ПРИРОДІ РЕСУРСИ ДЛЯ МАСКУВАННЯ
НЕСПРАВНОСТЕЙ FPGA-ПРОЕКТІВ

Розвиток цільових ресурсів відбувається за внутрішньою організацією як систем елементів та функціонально як елементів систем у взаємодії з іншими елементами.

Слід зауважити, що всі цільові ресурси нале-

жать до такої системи, як наш всесвіт, і тому структуруються під його особливості, тобто природні ресурси внутрішньої організації, серед яких виділяються паралелізм та наближеність.

Визначені особливості відбиваються на розвитку комп'ютерних систем та їх компонентів у постійному підвищенні рівня паралелізму системних та схемних рішень, а також обсягів обробки наближених даних. Наприклад, у розвитку персональних комп'ютерів за короткий час пройдено шлях від сопроцесорів Intel8087/287/387 неонов'язкової поставки до вбудованих конвексів FPU з плаваючою точкою у складі Intel486, Pentium для апаратної підтримки обробки наближених даних [5].

Покажемо є розповсюдження методу заготівлі результатів, який під різними назвами та без назв заповнює простір розв'язок задач, підвищуючи ефективність із зростанням їхнього рівня паралелізму [1, 6].

Прикладом може виступати сучасне проектування цифрових компонентів на FPGA, за яким мікросхема є заготівкою під множину проектів, а проект – заготівлею результатів для множини вхідних даних на LUT, тобто таблицях, що зашиті у вузлах пам'яті [7].

Особливістю такого цільового ресурсу як LUT-орієнтована архітектура є декомпозиція обчислень на логічні функції чотирьох змінних, які генеруються за допомогою LUT – постійного запам'ятовуючого пристрою (ПЗП), що має 4 входи адреси, 16 біт пам'яті та один вихід. Обчислення логічних функцій на ПЗП має ту особливість, що урівнює витрати на реалізацію цих функцій. Це утворює для FPGA-проектів певний природний ресурс, коли одна й та LUT-орієнтована архітектура може наповнюватися різним змістом при перепрограмуванні ПЗП на інші функції.

Для включення такого природного ресурсу може бути задіяний метод варіантів, націлений на покращення вже одержаного рішення за заданим показником та полягає в утворенні множини варіантів цього рішення й подальшому виборі найкращого з них за встановленим критерієм.

Ефективність методу визначається простотою утворення множини варіантів, а також наявністю та простотою виявлення кращого рішення. Множина варіантів утворюється з одержаного рішення його модифікацією при збереженні функціональності та низки особливостей, які за вимогами замовника не повинні мінятися.

Метод варіантів може бути використаний згідно з принципом ALARA (as low as reasonability applicable / practicable) [8] – максимального зниження ризику за рахунок наявних ресурсів у сенсі додаткового покращення рішення застосуванням природних ресурсів.

Цілком виправдане додаткове підвищення достовірності результатів в автономних системах, що посилюються до космосу, або імплементуються в тіло людини (наприклад, кардіостимулятори).

Такі впровадження мають ту особливість, що можливості їх покращення за рахунок ускладнення вже, як правило, вичерпані, а межі доцільності підвищення достовірності немає. До того ж немає змоги покращити рішення у період його експлуатації. За такими обставинами метод варіантів дозволяє одержувати важливий додатковий позитивний ефект.

Для метода варіантів цей ресурс має сенс з позиції збереження при перепрограмуванні ПЗП не тільки архітектури цифрового компонента, але і його функціональності, що може бути виконано в межах пари LUT при їх послідовному з'єднанні – вихід першого LUT підключається (безпосередньо або через тригер) до адресного входу другого LUT. Далі розглядаються тільки такі пари LUT.

При аналізі пари LUT з'являється можливість зміни функції першого LUT за умови компенсації цієї зміни у другому LUT. Найбільш просто задати зміну функції на інверсню. Таке перетворення виконується у першому LUT інверсією біт пам'яті, а у другому LUT – переминою місць біт пам'яті, що відповідає інвертуванню адресного входу. При наявності n пар LUT послідовного з'єднання проект має 2^n різних варіантів програмування.

Структурування задач під наближеність Всесвіту міняє стратегію їх вирішення. Зростає ймовірність несуттєвих помилок, що викликаються несправностями. Стає більш ймовірним вирішити задачу, отримавши достовірні результати всупереч несправностям, чому крім несуттєвості помилок сприяє маскуванню несправностей.

В рамках методу варіантів та природного ресурсу, що породжує варіанти різного програмування цифрового компонента, можна запропонувати низку методів підвищення достовірності обчислюваних результатів маскуванню несправностей з урахуванням особливостей, тобто природних ресурсів, їх моделей. До типових несправностей ПЗП можна віднести заростання пам'яті одиницями [9], а також замикання, що виникають між сусідніми розрядами адреси LUT [10].

За першим типом несправності підвищення достовірності результатів можна забезпечити за методом, що посилює маскуванню несправностей, зменшуючи можливості заростання ПЗП одиницями. Для цього кожна пара LUT аналізується на можливість збільшення записаних в них одиниць, що можливе, якщо в першому LUT пари міститься більше нулів ніж одиниць. У такому разі виконується перетворення функцій, що веде до збільшення одиниць першого LUT завдяки інверсії значень біт пам'яті при збереженні кількості одиниць другого LUT. Наприклад, зменшення кількості одиниць на 25% в третині всіх LUT забезпечує покращення маскуванню несправностей та підвищення достовірності результатів на 8%.

За другим типом несправності, тобто замиканням сусідніх розрядів адреси, можливості посилення маскуванню несправностей складаються для другого LUT пари при інверсії розряду адреси. Замикання розрядів викривляє значення адре-

си тільки у разі різних значень цих розрядів, тобто на половині всіх значень адреси. При заміні розряду адреси на його інверсію ця половина значень адреси змінюється на другу половину. Кожна половина має свої можливості маскуванню несправності.

За методом підвищення достовірності результатів необхідно для кожної пари LUT знайти кращу для маскуванню половину значень адреси, зберігаючи або замінюючи на інверсний розряд адреси, що з'єднує пару LUT. Для цього доцільно промоделювати роботу цифрового компонента на робочій послідовності вхідних слів та визначити ймовірність появи кожного значення адреси для кожного LUT. Далі для кожної половини слід обчислити суму ймовірностей значень адреси, за якими на виході другого LUT пари виникає помилка, та порівняти ці суми, вибираючи половину з найменшою сумою. Різниця сум, що порохована сукупно для пар LUT, де потрібно виконати перетворення функцій, та віднесена до загальної кількості LUT, визначає оцінку покращення маскуванню несправностей та підвищення достовірності обчислюваних результатів.

III. ВИСНОВОК

Природний процес розпаралелювання обчислень та зростання обсягів і значення обробки наближених даних звертають увагу на структурування цільових ресурсів вирішення задач проектування комп'ютерних систем та їх компонентів під особливості нашого Всесвіту, до яких насамперед належать його паралелізм та наближеність.

Цільові ресурси, які містять моделі, методи та засоби для розв'язання задач, суттєво доповнюються їх особливостями, що складають природні ресурси. Їх використання значно підіймає рівень вирішення задач.

Природні ресурси розкриваються при розвитку цільових ресурсів у напрямку структурування під особливості Всесвіту. Тому прикладом виступає сучасне проектування на FPGA за методом заготівлі результатів, що посилює ефективність із зростанням паралелізму виконуваних проектів.

Природні ресурси LUT-орієнтованої архітектури дозволяють покращувати маскуванню несправностей та підвищувати достовірність обчислюваних результатів за методом варіантів перепрограмування цифрового компонента без зміни його складу та зв'язків. Метод одержує конкретне наповнення з урахуванням типу несправності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / Под ред. Дрозда А.В., Харченко В.С. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2012. – 614 с.
2. Савченко Ю. Г. Цифровые устройства, нечувствительные к неисправностям элементов. – М.: Советское радио, 1977. – 176 с.
3. Романкевич А. М., Валуйский В. Н., Остафин В. А. Структурно-временная избыточность в управляющих схемах. – Киев: «Вища школа». Головное изд-во, 1979. – 160 с.
4. Бахмач Е.С., Герасименко А.Д., Головир В.А. и др. Отказобезопасные информационно-управляющие системы на программируемой логике / Под ред. Харченко В.С. и Скляра В.В. – Национальный аэрокосмический ун-т «ХАИ», Научно-производственное предприятие «Радий», 2008. – 380 с.
5. Гук, М. Процессоры Intel: от 8086 до Pentium II / М. Гук – СПб: Питер, 1997. – 224 с.
6. Дрозд О.В., Лобачев М. В., Дрозд Ю. В. Специализовані архітектури ЕОМ. Навч. посібн. для студ. спеціальності 7.091501 – «Комп'ютерні та інтелектуальні системи та мережі» / Одеськ. нац. політехніч. ун.-т. – Одеса: Наука і техніка, 2004. – 120 с.
7. Kharchenko V.S. FPGA-based NPP I&C Systems: Development and Safety Assessment // V.S. Kharchenko, V.V. Sklyar / RPC Radiy, National Aerospace University "KhAI", SSTC on Nuclear and Radiation Safety, 2008. – 188 p.
8. Безопасность критических инфраструктур: математические инженерные методы анализа и обеспечения / Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический ун-т им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», 2011. – 641 с.
9. Локазюк В.М. Контроль і діагностування обчислювальних пристроїв та систем: Навч. посібник для студ. вузів з спец. комп'ютерної інженерії. – Хмельницький : Вид-во Технологічного ун-та Поділля, 1996. – 175 с.
10. Blyzniuk M., Kazymyra I., Kuzmich W., a.o. Probabilistic analysis of CMOS physical defects in VLSI circuits for test coverage improvement // Microelectronics Reliability. – 2001. – Vol. 41/12. – P. 2023 – 2040.

Получена в редакции 21.01.2013, принята к печати 23.01.2013