

КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V. Opanasenko, A. Lisovy

THE DESIGNING PROCESS FORMALIZATION OF COMPUTING DEVICES AND SYSTEMS ON PLD BASE

The formalization to solve task of synthesis of devices structure on PLD is offered.

Предложена формализация решения задачи синтеза реализации структуры устройства на ПЛИС.

Запропоновано формалізацію рішення задачі синтезу реалізації структури пристрою на ПЛИС.

© В.М. Опанасенко,
О.М. Лісовий, 2009

УДК 004.31

В.М. ОПАНАСЕНКО, О.М. ЛІСОВИЙ

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ТА СИСТЕМ НА БАЗІ ПЛІС

На процес проектування обчислювальних пристроїв впливають безпосередньо характеристики вибраного кристала (наявні логічні ресурси, пам'ять, наявні hard core та ін.), набір інструментальних засобів для проектування, які можуть включати бібліотеки готових технічних рішень – soft core й інші бібліотеки.

Архітектури сучасних кристалів FPGA сімейства Virtex 6, Spartan 6 [1, 2] оптимізовані для використання hard core і soft core, наприклад кристал XC6VLX365T сімейства Virtex 6 має наступні встроєні блоки: 576 вдосконалених перемножувачів DSP48E1Slices, контролер шини PCI-Express та ін.

У відомих методах формалізованого проектування обчислювальних пристроїв [3] сам процес відображається послідовністю етапів, на кожному з яких проект представлено сукупністю математичних моделей, яка описує їх різні частини. Розрізняють три головні види моделей – функціональні, динамічні, структурні. Функціональні моделі встановлюють функції, які виконує система що проектується, динамічні встановлюють процеси функціонування системи або процеси обчислень, структурні – відображають систему у вигляді композиції взаємозв'язаних компонентів.

Відповідно до [4] модель пристрою, що проектується можна представити, як $S = \langle M, A, B, P \rangle$, де M – множина математичних методів, A – множина алгоритмів реалізації методу, $B = \{b\}$ – алфавіт конструктивів, з яких будується структура, P –

процедура опису проекту.

Процес проектування (рис. 1) полягає в розв'язанні задачі синтезу структури на базі конструктивів $\{b\}$ алфавіту B для виконання алгоритму A за методом M .

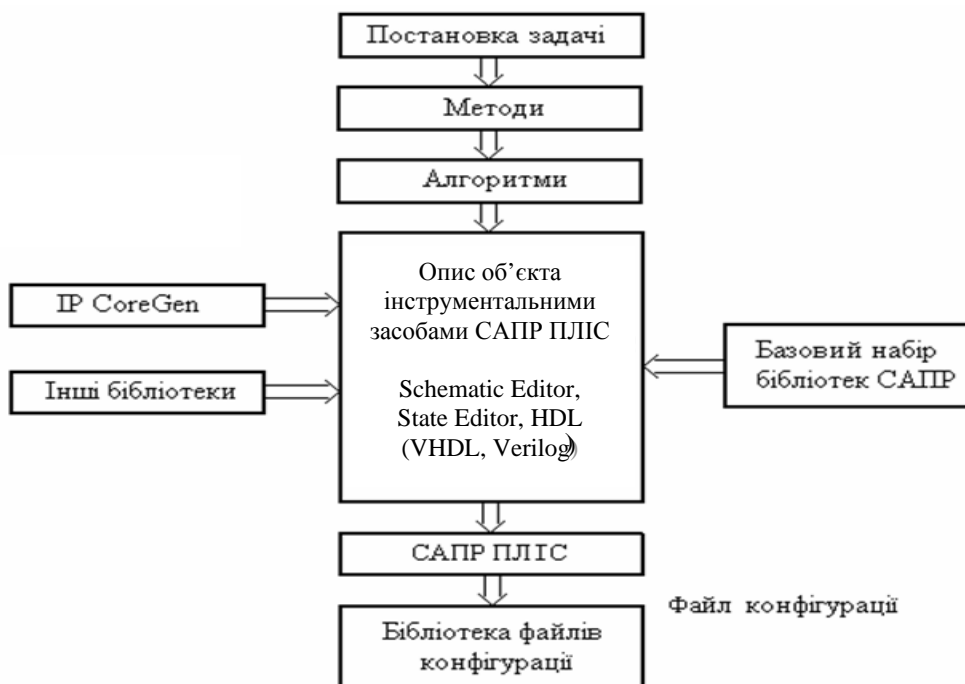


РИС. 1. Процес проектування цифрових пристроїв на ПЛІС

Результатом процедури P є опис проекту вхідною мовою САПР. Зазначимо, що критерієм ефективності методу (алгоритму) є загальні характеристики розробленого пристрою: апаратні затрати, швидкодія, похибка обчислень, складність структури, надійність або спеціальні критерії.

Розглянемо два підходи до формалізації процесу проектування: перший представлено прямонаправленим графом, другий – графом з підзадачею вибору множини оптимально реалізованих функцій.

1-й тип формалізації – граф представлений на рис. 2. Нехай задана постановка задачі D з предметної області, яка може бути розв'язана декількома методами $D = \bigcup M_i, (\forall i = 1 \div n)$. Для кожного з методів існує деяка множина алгоритмів реалізації $M_i = \bigcup A_{ij}, (\forall j = 1 \div m_i)$. Кожний з алгоритмів реалізується на базі множини $B = \{F_\lambda\}, (\forall \lambda = 1 \div s)$ заданих функцій (додавання, множення й ін.). Кожна функція може бути реалізована декількома варіантами $F_\lambda = \bigcup R_\omega, (\forall \omega = 1 \div z_\lambda)$, тому загальна кількість імовірних варіантів реалізацій множин функцій – $KR^{ij} = z_{ij1} \times z_{ij2} \times z_{ij3} \times \dots \times z_{ijs}$, однак варіанти реалізацій

множин функцій KR'' (кількість варіантів реалізацій множин функцій, які не задовольняють постановці задачі оптимізації) не розглядаються, оскільки для будь-якої реалізації структури пристрою, характеристики пристрою не будуть задовольняти постановці задачі. Кількість варіантів, що задовольняють постановці задачі, буде $KR_{ij} = KR'_{ij} - KR''_{ij}$.

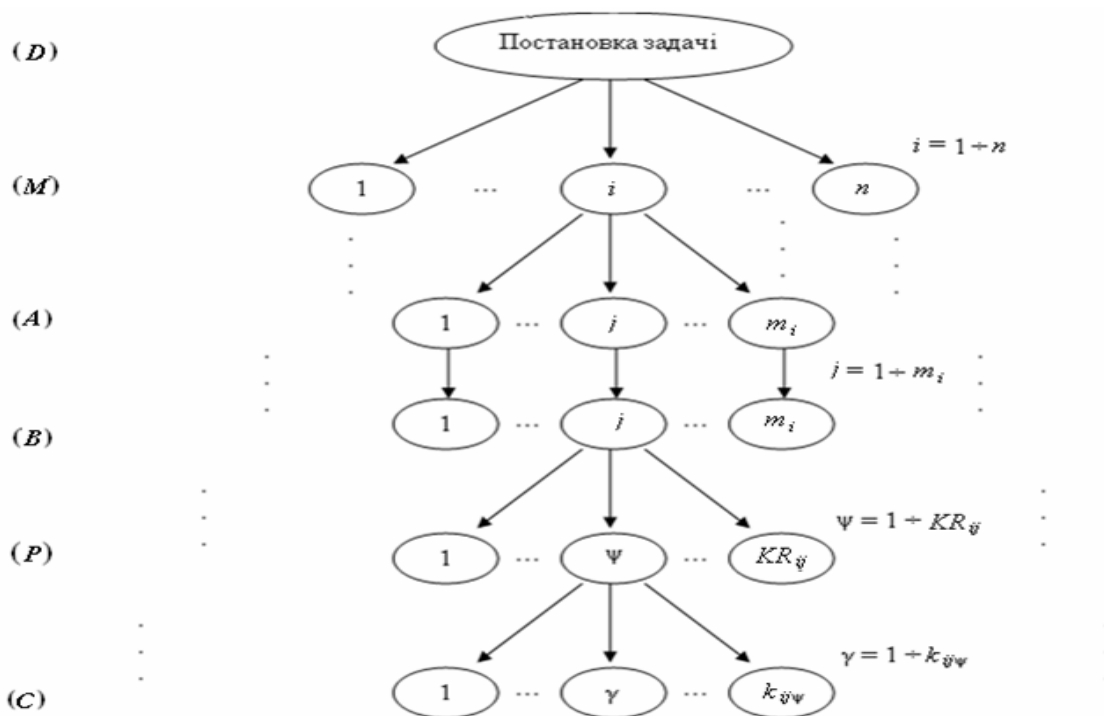


РИС. 2. Формалізація процесу проектування (перший тип)

Рішення задачі синтезу реалізації структури пристрою полягає у виборі з набору існуючих $\{C_{ij\psi\gamma}\}$, $(\forall \gamma = 1 \div k_{ij\psi})$ однієї оптимальної структури, що задовольняє постановці задачі оптимізації. Розглянемо декілька варіантів постановки задачі оптимізації для першого типу формалізації.

1.1. Комплексний критерій, враховує апаратні та часові затрати обладнання. Цей варіант задачі оптимізації може бути сформульовано як задача мінімізації цільової функції з комплексними параметрами

$$\alpha \sum_i \sum_j \sum_\psi \sum_\gamma q_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} + \beta \sum_i \sum_j \sum_\psi \sum_\gamma t_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \Rightarrow \min,$$

$$(\forall i = 1 \div n) (\forall j = 1 \div m_i) (\forall \psi = 1 \div KR_{ij}) (\forall \gamma = 1 \div k_{ij\psi}),$$

враховуючи обмеження

$$\sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} q_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \leq Q_0, \quad \sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} t_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \leq T_0, \quad \sum_{\gamma} x_{ij\psi\gamma} = 1,$$

де α, β – вагові коефіцієнти, які можуть бути визначені методом експертних оцінок; $q_{ij\psi\gamma}, t_{ij\psi\gamma}$ – відповідно апаратні та часові оцінки γ -го варіанту структури пристрою побудованого на функціях з ψ -ї множини реалізацій функцій для j -го алгоритму i -го методу поставленої задачі; Q_0, T_0 – відповідно апаратні та часові обмеження в постановці задачі D .

Для такої постановки задачі оптимізації KR'' дорівнюватиме кількості тих варіантів реалізацій множин функцій, що не задовольняють системі

$$\begin{cases} \sum_{\lambda} Q_{\lambda} < Q_0, \\ \max\{T_{\lambda}\} < T_0, \end{cases} \quad (1)$$

де $\sum_{\lambda} Q_{\lambda}$ – сума апаратних характеристик реалізацій функцій ψ -ї множини; $\max\{T_{\lambda}\}$ – найбільший часовий параметр реалізації з усіх функцій ψ -ї множини.

1.2. Критерієм є сумарні апаратні затрати, необхідні для реалізації пристрою. Такий варіант може бути сформульовано як задача мінімізації функції

$$Q = \sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} q_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \Rightarrow \min,$$

враховуючи обмеження $\sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} t_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \leq T_0, \quad \sum_{\gamma} x_{ij\psi\gamma} = 1.$

Для такої постановки задачі оптимізації KR'' дорівнюватиме кількості тих варіантів реалізацій множин функцій, що не задовольняють умові

$$\max\{T_{\lambda}\} < T_0 \quad (2)$$

1.3. Критерієм є сумарні часові затрати, необхідні для розв'язання поставленої задачі. Такий варіант може бути сформульовано як задача мінімізації функції

$$T = \sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} t_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \Rightarrow \min,$$

враховуючи обмеження $\sum_i \sum_j \sum_{\psi} \sum_{\gamma} q_{ij\psi\gamma} x_{ij\psi\gamma} \leq Q_0, \quad \sum_{\gamma} x_{ij\psi\gamma} = 1.$

Для такої постановки задачі оптимізації KR'' дорівнюватиме кількості тих варіантів реалізацій множин функцій, що не задовольняють умові

$$\sum_{\lambda} Q_{\lambda} < Q_0. \quad (3)$$

Відмінність **2-го типу формалізації** (рис. 3) полягає в тому, що з множини заданих функцій $B = \{F_{\lambda}\}, (\forall \lambda = 1 \div s)$ формується множина $B' = \{F'_{\lambda}\}, (\forall \lambda = 1 \div s)$ – множина оптимально реалізованих функцій, тобто множина з перебору $1 \div KR_{ij}$, яка для конкретної реалізації структури пристрою буде відпові-

дати постановці задачі оптимізації. Відображення $B \Rightarrow B'$ – рішення задачі вибору множини оптимально реалізованих функцій (рис. 4), яке в свою чергу залежить від постановки задачі оптимізації, алгоритму та реалізації структури пристрою.



РИС. 3. Формалізація процесу проектування (другий тип)

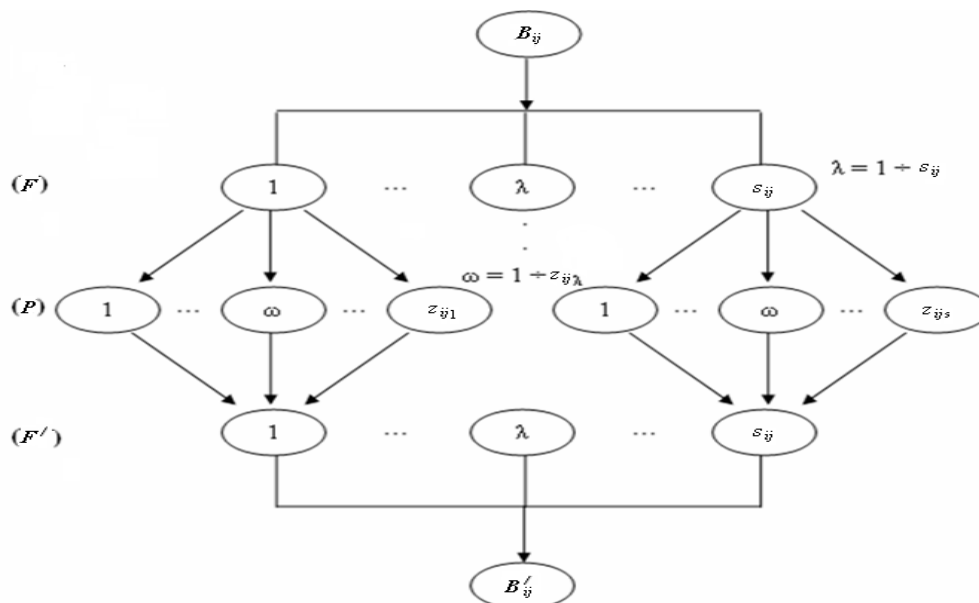


РИС. 4. Задача вибору множини оптимально реалізованих функцій

Рішення задачі синтезу реалізації структури пристрою буде полягати у виборі з набору існуючих $\{C_{ij\gamma}\}$, $(\forall \gamma = 1 \div k_{ij})$ оптимальної структури, з відміткою, що структура $C_{ij\gamma}$ буде будуватися на множині оптимально реалізованих функцій F^l , а задача вибору множини оптимально реалізованих функцій розглядається окремо.

Розглянемо декілька варіантів постановки задачі оптимізації для другого типу формалізації:

2.1. Комплексний критерій:

$$\alpha \sum_i \sum_j \sum_\gamma q_{ij\gamma} x_{ij\gamma} + \beta \sum_i \sum_j \sum_\gamma t_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \Rightarrow \min, \quad (\forall i = 1 \div n) \quad (\forall j = 1 \div m_i) \quad (\forall \gamma = 1 \div k_{ij}),$$

$$\text{враховуючи обмеження } \sum_i \sum_j \sum_\gamma q_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \leq Q_0, \quad \sum_i \sum_j \sum_\gamma t_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \leq T_0, \quad \sum_\gamma x_{ij\gamma} = 1.$$

2.2. Критерієм є сумарні апаратні затрати:

$$Q = \sum_i \sum_j \sum_\gamma q_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \Rightarrow \min, \text{ враховуючи обмеження } \sum_i \sum_j \sum_\gamma t_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \leq T_0, \quad \sum_\gamma x_{ij\gamma} = 1.$$

2.3. Критерієм є сумарні часові затрати:

$$T = \sum_i \sum_j \sum_\gamma t_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \Rightarrow \min, \text{ враховуючи обмеження } \sum_i \sum_j \sum_\gamma q_{ij\gamma} x_{ij\gamma} \leq Q_0, \quad \sum_\gamma x_{ij\gamma} = 1.$$

Задача вибору множини оптимально реалізованих функцій полягатиме у переборі з KR_{ij} комбінацій множин функцій та виборі множини оптимально реалізованих функцій таким чином, щоб пристрій відповідав задачі оптимізації. Для першого й другого типів формалізації процесу проектування значення KR_{ij}^{ll} обчислюватиметься за формулами: (1) – для задач оптимізації 1.1 та 2.1; (2) – для задач оптимізації 2.1 та 2.2; (3) – для задач оптимізації 3.1 та 3.2.

Висновки. Запропоновані два підходи формалізації процесу проектування призначені для опису процесу розробки цифрового пристрою на ПЛІС та вибору одного варіанту структурної реалізації шляхом перебору відповідно до однієї із постановок задачі оптимізації.

У першому підході розглядаються всі варіанти структурних реалізацій, тобто для кожної з C_{ij} структури KR_{ij} варіантів. У другому підході зменшується кількість вихідних структурних реалізацій для рішення загальної задачі синтезу структури за рахунок рішення задачі вибору множини оптимально реалізованих функцій.

1. *Virtex-6 FPGA GTX Transceiver User Guide* / Available at <http://www.xilinx.com>.
2. *All Spartan-6 FPGA Documentation* / Available at <http://www.xilinx.com>.
3. *Капитонова Ю.В., Летичевский А.А.* Математическая теория проектирования вычислительных систем. – М.: Наука, 1988. – 296 с.
4. *Палагин А.В., Опанасенко В.Н.* Реконфигурируемые вычислительные системы. – Киев: Просвіта, 2006. – 293 с.

Отримано 03.08.2009