

УДК 004.942

В.М. ГРИГА, Р.Б. ДУНЕЦЬ

Національний університет "Львівська політехніка", Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ГРАФІВ ДЛЯ СИНТЕЗУ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПЕРЕМНОЖУВАЧІВ

Розглянуто особливості побудови просторово-часових графів для синтезу спеціалізованих перемножувачів числа на константу. В результаті синтезовані перемножувачі мають менші апаратні затрати та вищу швидкодію по відношенню до матричних універсальних перемножувачів, а крім того, вони просто реалізуються на ПЛІС.

перемножувач, просторово-часовий граф, потоковий граф, алгоритм, синтез, ПЛІС

Вступ

Впродовж останніх років у розвитку комп'ютерної техніки проявилася стійка тенденція все ширшого застосування спеціалізованих комп'ютерних систем, оскільки вони, як відомо, більш ефективно розв'язують одну конкретну задачу чи клас задач по відношенню до універсальних комп'ютерних систем. Крім того, спеціалізовані комп'ютерні системи не мають "зайвої" апаратури, яка завжди є в універсальних системах для забезпечення розв'язку довільної задачі, а тому вони мають вищу надійність. Ще одним фактором інтенсивного розвитку спеціалізованих комп'ютерних систем є можливість їх реалізації на одному кристалі НВІС. Щодо структур спеціалізованих комп'ютерних систем, то можна зауважити надзвичайно велике їх різноманіття. Попри те, у них усіх можна виявити одну особливість - застосування спеціалізованих пристроїв, які забезпечують реалізацію окремих операцій, наприклад, арифметичних, обміну інформації тощо, за один чи декілька тактів, що, таким чином, підвищує продуктивність систем в цілому. Серед них можна виділити перемножувачі, зокрема перемножувачі на константу, які застосовуються в процесі розв'язку задач опрацювання сигналів та зображень та ін. Ці пристрої можуть бути побудовані так, що операція виконується за один такт і при цьому вони мають найбільший обсяг апаратури внаслідок її максимального паралелелізму, або за певну кількість тактів,

при якій обсяг апаратури є меншим внаслідок багатократного використання одних і тих самих елементів. Важливим моментом у цьому випадку є вибір оптимального співвідношення між часом роботи таких пристроїв (кількістю тактів) та обсягом їх апаратури при заданій продуктивності спеціалізованої комп'ютерної системи.

Стан проблеми

Загально прийнято проектування апаратури комп'ютерних систем проводити окремо для пристроїв керування та для операційних пристроїв. Якщо для проектування пристроїв керування в більшості випадків підходять методи теорії абстрактних автоматів [1], то для операційних пристроїв ці методи не завжди підходять, оскільки робота їх вимагає врахування просторового та часового аспектів функціонування. З цієї метою було запропоновано графові моделі, а саме моделі потокового графа особливо у ярусно-паралельній формі (ЯПФ) [2]. Наприклад, на основі ЯПФ базуються методи побудови конвеєрних пристроїв [3], синтезу топологій комп'ютерних систем [4] та інші [5]. Основним недоліком цих та інших методів є те, що вони орієнтовані на максимальне застосування паралелізації чи конвеєризації, тобто орієнтовані на максимальний обсяг апаратури. Якщо задане значення продуктивності може бути досягнуто меншим обсягом апаратури, наприклад, рекурсивними пристроями, то в роботі [6]

було запропоновано ідею застосування просторово-часових графів. Просторово-часові графи характеризуються трьома типами об'єктів: вершинами, дугами та вузлами. Оскільки більшість операцій не є унарними і використовують більше одного вхідного оперенда, необхідно вміти відрізнити незалежні входи заданої вершини від послідовних надходжень вхідних даних. З цієї метою введені поняття вхідних та вихідних вузлів вершини графу. Під вузлом вершини графу розуміють незалежні входи (або виходи) даної вершини, послідовність входів (або виходів) гілок до яких однозначно визначає послідовність передачі даних. Незважаючи на те, в цій роботі не наведено прикладів конкретного застосування таких графів при проектуванні пристроїв комп'ютерних систем, які би на практиці продемонстрували свою ефективність.

Постановка задачі. В даній статті робиться спроба синтезу спеціалізованих швидкодіючих перемножувачів з оптимальними апаратними затратами на основі застосування просторово-часових графів, що орієнтовані на реалізацію у виді ПЛІС фірми Xilinx.

Вибір та опис алгоритму

Для опису алгоритму множення числа на константу застосовуються математичні основи множення двійкових чисел.

Результат множення двох восьмирозрядних чисел $Z = X * H$ можна записати:

$$Z = (H_0 * X.L_0) + (H_1 * X.L_1) + (H_2 * X.L_2) + \dots + (H_7 * X.L_7), \quad (1)$$

де H_k – k -ий розряд числа H , $X.L_k$ – число X зсунуте вліво на k розрядів. Оскільки мова йде про множення числа X на константу H , то розряди числа H наперед відомі і формула (1) спрощується. Наприклад, розглянемо множення числа на 32-х розрядну константу, яка має наступне двійкове представлення:

$$H_2 = 11101100100000110101111001111001.$$

Згідно формули (1) результат множення числа на дану константу буде мати наступний вигляд:

$$Z = X.L_0 + X.L_3 + X.L_4 + X.L_5 + X.L_6 + X.L_9 + X.L_{10} + X.L_{11} + X.L_{12} + X.L_{14} + X.L_{16} + X.L_{17} + X.L_{23} + X.L_{26} + X.L_{27} + X.L_{29} + X.L_{30} + X.L_{31}.$$

Групуючи в отриманому виразі доданки попарно, побудуємо потоковий граф перемножувача числа на константу, що наведено на рис. 1.

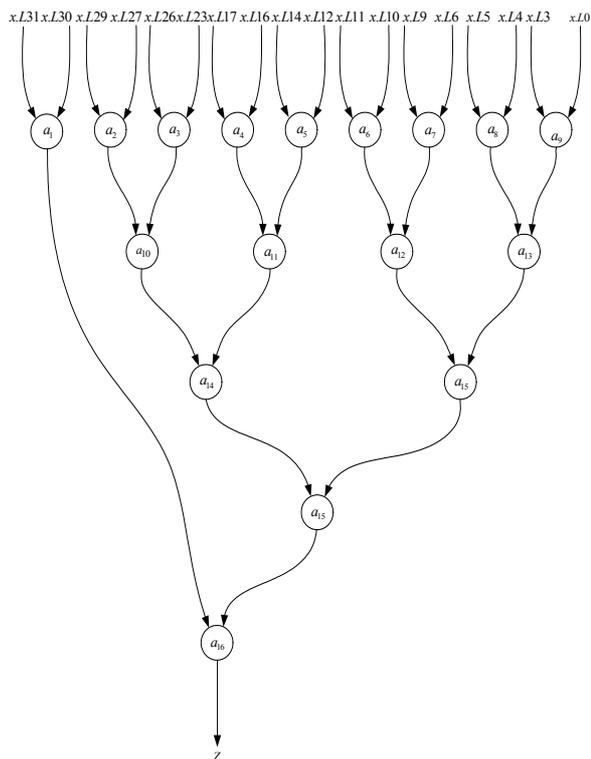


Рис. 1. Потоковий граф перемножувача числа на константу.

Потоковий граф даного алгоритму складається з 17 вершин. Всі вершини виконують операцію додавання.

Оскільки кількість операцій додавання, що використовуються в потоковому графі дорівнює кількості одиниць у двійковому представленні константи то для мінімізації цих операцій потрібно зменшити кількість одиниць в константі. Для мінімізації одиниць двійкового значення чисел представляються згідно такого співвідношення:

$$A * B = A * (B - 1) + A. \quad (2)$$

Мінімізація одиниць буде проводитися тоді, коли вони утворюють групи, що містять більше двох оди-

ниць. Користуючись формулою (2) і позначенням $\underline{1} = -1$, мінімізуємо кількість одиниць в константі, яка буде мати наступний вигляд:

$$H_{2_{\min}} = 1000\underline{1}0\underline{1}00\underline{1}0000\underline{1}00\underline{1}0\underline{1}000\underline{1}01000\underline{1}001.$$

Таким чином запишемо результат множення:

$$\begin{aligned} Z &= X.L0 - X.L3 + X.L7 - X.L9 - X.L13 - X.L15 + \\ &+ X.L18 + X.L23 - X.L26 - X.L28 + X.L32 = \\ &= X.L0 + (X.L7 - X.L3) - (X.L13 + X.L9) + \\ &+ (X.L18 - X.L15) - (X.L26 - X.L23) + \\ &+ (X.L32 - X.L28). \end{aligned}$$

На рис. 2 зображено потоковий граф мінімізованого алгоритму множення числа на константу.

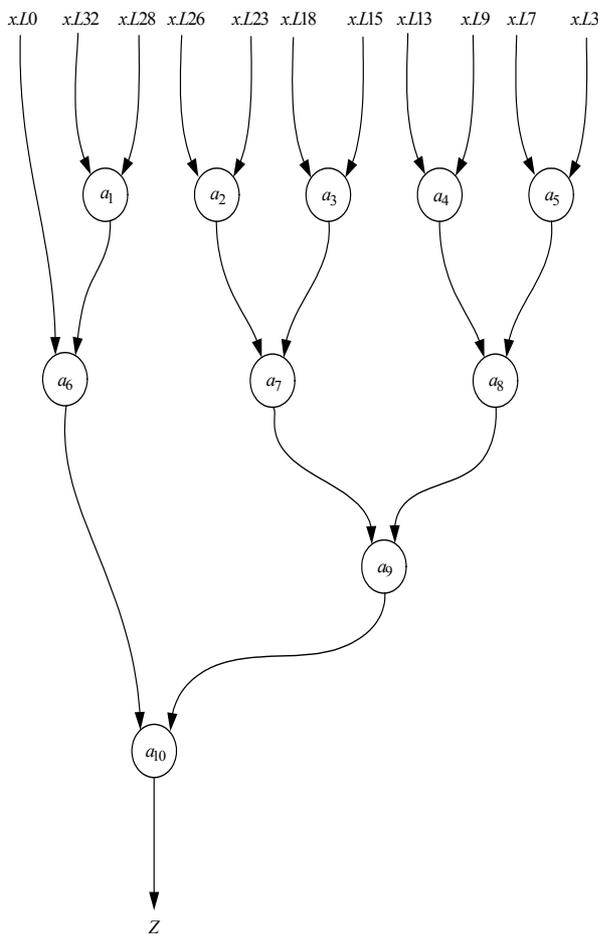


Рис. 2. Потоковий граф мінімізованого перемножувача числа на константу

Потоковий граф мінімізованого перемножувача числа на константу складається з 10 вершин.

Вершини a_4, a_6, a_9, a_{10} виконують операцію додавання а вершини $a_1, a_2, a_3, a_5, a_7, a_8$ виконують операцію віднімання.

Просторово-часове перетворення вибраного алгоритму

Математичною основою для представлення обчислювальної структури алгоритмів є потокові графи, у яких вершинам графів відповідають обчислювальні операції, а дугам – лінії передачі даних для обробки. Зауважимо, що потокові графи дозволяють представити алгоритми, які не залежать від вхідних даних (алгоритми без галужень або інваріантні до зсуву алгоритми).

Виявити паралелізм і навіть керувати ним, забезпечуючи тим самим можливість знаходження компромісних просторово-часових співвідношень, що є головним при виборі структури обчислювального пристрою, дозволяє зображення потокового графу алгоритму в ярусно-паралельній формі [6]. Позначивши яруси потокового графу, який зображено на рис.2. отримаємо ярусно-паралельну форму потокового графу (ЯПФ ПГ) мінімізованого перемножувача на константу.

Ярусно-паралельна форма потокового графу – це такий граф, у якого всі вершини розділені на яруси таким чином, що в межах одного ярусу між вершинами потокового графу не має зв'язків. У ЯПФ ПГ усі вершини одного ярусу залежать від результатів попереднього ярусу, і не залежать від вершин наступних ярусів. Ярусно-паралельна форма визначає ступінь паралелізму графу (максимальна кількість вершин на одному ярусі), а також мінімальний час обчислення даного алгоритму (кількість ярусів).

Застосовавши до ЯПФ ПГ операцію ранжування при якій на всіх дугах, які перетинають яруси ставиться елемент затримки рівний одному такту, отримаємо ранжовану ЯПФ ПГ.

При застосуванні до ранжованої ЯПФ ПГ операції поярусного зжаття вершин до однієї в кожному ярусі отримуємо послідовний просторово-часовий граф (ПЧГ), який зображений на рис. 3.

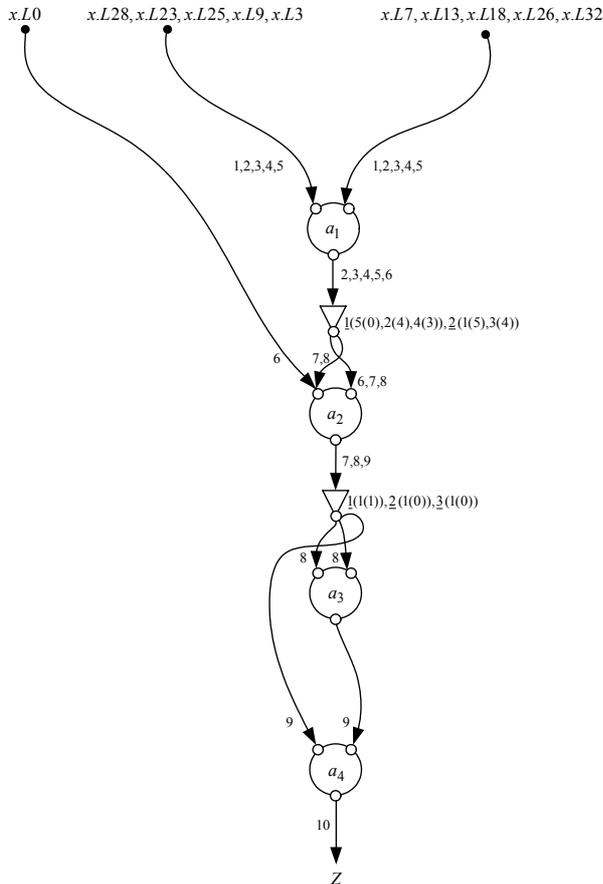


Рис. 3. Послідовний ПЧГ мінімізованого перемножувача числа на константу

При побудові послідовного просторово-часового графу зменшується просторовий паралелізм. В результаті кожна вершина на кожному ярусі виконує операції тільки на даному ярусі. Зазначимо, що послідовний просторово-часовий граф ще називають конвеєрним, оскільки при побудові даного графу з'являється часовий паралелізм обробки пакетів даних. Часова затримка для даного графу складає 5 тактів а пропускна здатність 10 тактів.

Біля дуг, які надходять на вхідні та вихідні вузли записані номери тактів під час яких проходять необхідні дані, а біля елементів затримки записано послідовність чисел, які поступають на вершини графу та їхню затримку на потрібну кількість тактів.

Застосувавши до ранжованої ЯПФ ПГ операцію стиску вершин до одного ярусу, який визначає ширину графу отримуємо паралельний просторово-часовий граф, який зображений на рис. 4.

Шириною графу називається максимальна кількість вершин в одному ярусі. В нашому прикладі – це 5 вершин. Дані вершини розміщуються на одному ярусі і виконують за допомогою рекурсивних зв'язків всі операції алгоритму.

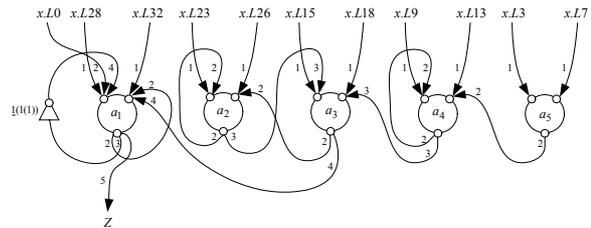


Рис. 4. Паралельний ПЧГ мінімізованого перемножувача числа на константу

При побудові паралельного просторово-часового графу зменшується часовий паралелізм. Часова затримка та пропускна здатність для паралельного просторово-часового графу співпадають і складають 5 тактів. Стискаючи усі вершини ранжованої ЯПФ ПГ до однієї отримуємо рекурсивний ПЧГ, який зображено на рис. 5.

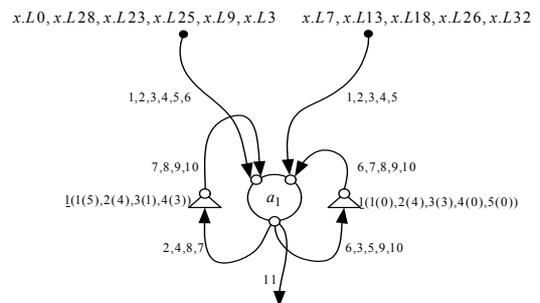


Рис. 5. Рекурсивний ПЧГ мінімізованого перемножувача числа на константу

Цей граф складається з однієї вершини, яка послідовно в часі виконує кожну операцію вибраного алгоритму. Часова затримка та пропускна здатність для рекурсивного просторово-часового графу співпадають і складають 11 тактів. Маючи рекурсивний ПЧГ мінімізованого перемножувача числа на константу можна побудувати структуру рекурсивного обчислювального пристрою, яка зображена на рис. 6.

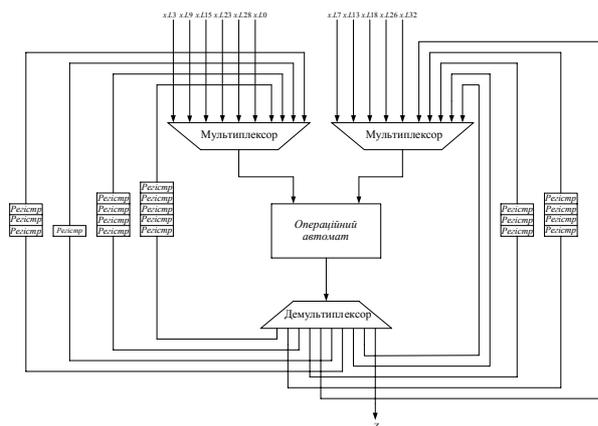


Рис. 6. Структурна схема рекурсивного ПЧГ

Оскільки даний рекурсивний просторово-часовий граф описує роботу рекурсивного пристрою протягом 10 тактів, то для здійснення керування мультиплексами та демультіплексами потрібно побудувати керуючий пристрій на основі лічильника на 10 тактів. Регістри, які забезпечують необхідну затримку вхідних та вихідних даних працюють в режимі постійного переміщення даних, а зняття необхідних результатів забезпечують мультиплекси.

Результати досліджень

У даній роботі з використанням інструментального засобу Active-HDL фірми Aldec було розроблено моделі конвеєрного, послідовного, паралельного та рекурсивного спеціалізованого перемножувача на константу. Було проведено симуляцію роботи основних пристроїв на функціональному рівні, а також, за допомогою програмного пакету Xilinx ISE та синтезатора Modelsim-SE виконано синтез пристроїв на ПЛІС фірми Xilinx. В табл. 1 подані результати максимальної швидкодії та затрати обладнання отримані при синтезі даних пристроїв на ПЛІС сімейства Spartan2E фірми Xilinx.

Таблиця 1.

Результати синтезу пристроїв

Пристрій	Максимальна швидкодія	Затрати обладнання
Конвеєрний	140MHz	23% Slices
Послідовний	97MHz	50% Slices
Паралельний	101MHz	43% Slices
Рекурсивний	83MHz	57% Slices

Як видно з табл. 1 найкраща швидкодія в конвеєрного пристрою при найменших затратах обладнання вибраного кристалу. З пристроїв реалізованих на основі просторово-часових графів найкраща швидкодія спостерігається в паралельній структурі пристрою, дещо гірша в послідовній структурі та найнижча в рекурсивному пристрої.

Висновки

Отримані результати синтезу моделей побудованих пристроїв, дають змогу зробити висновки, що найкращі параметри по швидкодії та затратам обладнання мають конвеєрні пристрої побудовані на основі потокових графів. З пристроїв побудованих на основі просторово-часових графів найкращі параметри по швидкодії та затратам обладнання мають паралельні пристрої. Послідовні та рекурсивні пристрої мають дещо гірші показники по відношенню до паралельних.

Література

1. Глушков. В.М. Синтез цифровых автоматов. – М., Физматгиз, 1962. – 420 с.
2. Поспелов Д.А. Введение в вычислительные системы. – М.: Сов. радио, 1972. – 312 с.
3. Мельник А.О. Специализовані комп'ютерні системи реального часу. – ДУ "Львівська політехніка", Львів, 1996. – 53 с.
4. Дунець Р.Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо-поліграфічних систем: Монографія – Львів: НВФ "Українські технології", 2003. – 192 с.
5. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. – М.: Мир, 1991. – 68 с.
6. Ерметов Ю.О. Проектування обчислювальних структур на основі просторово-часових графів // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 4. – С. 45-51.

Надійшла до редакції 22.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.П. Рак, Державний університет безпеки життєдіяльності, Львів.