

УДК 681.3.06.

**Й. Й. Білінський, к. т. н., доц.; В. Й. Білінський;
А. О. Мельничук**

РЕАЛІЗАЦІЯ ДЕТЕКТОРА ВИДІЛЕННЯ КОНТУРУ НА ПЛІС ФІРМИ XILINX

У статті наводиться апаратна реалізація детектора виділення контуру. Запропоновано паралельно-конвеєрний алгоритм попередньої обробки зображення, при якому на першому етапі виконується паралельно-рекурсивна обробка даних за допомогою гауссових фільтрів із різними ступенями розмитості. На другому – конвеєрна обробка даних, що входять у “ковзне вікно”. Для реалізації такого пристрою вибрана ПЛІС XC3S1000 сімейства Spartan-3 фірми Xilinx. Синтез схеми виконувався в САПР Xilinx Project Navigator 7.1, моделювання виконувалось за допомогою програми моделювання схем ModelSim SE PLUS 5.1. Така реалізація пристрою дала змогу підвищити швидкодію роботи детектора в 20 – 25 разів.

Ключові слова: попередня обробка зображення, згортка, піксел, низькочастотний фільтр, програмована логічна інтегральна схема.

Вступ. В основі багатьох процедур обробки та аналізу зображень лежить операція лінійної обробки “ковзним вікном”, суть якої полягає в тому, що деяка обмежена двовимірна область – “вікно обробки” – послідовно займає всі можливі положення в площині зображення. Для кожного положення вікна за значенням відліків, які лежать в ньому обчислюють значення одного відліку вихідного зображення [1].

Просторово-інваріантна обробка такого виду описується загальним співвідношенням [2]

$$g(n, m) = G[\{f(n - k, m - l)\}, (n, m) \in D], \quad (1)$$

де $f(n, m)$, $g(n, m)$ – двовимірна послідовність відліків вхідного та вихідного зображення відповідно; G – оператор перетворення; D – кінцева множина відліків, яка визначає розмірність вікна обробки.

Це означає, що значення дискретного сигналу зображення на виході системи є результатом цифрової згортки вхідного дискретного сигналу з кінцево-імпульсною характеристикою – КІХ-фільтром. Однак таке обчислення згортки має практичне значення лише для малих розмірностей вікна та невеликих зображень, оскільки об'єм обчислень пропорційний розмірності вікна та розмірності зображення.

Аналіз попередніх джерел. Відомо багато алгоритмів швидкої згортки для КІХ-фільтрів, але внаслідок складності обробки даних не завжди вирішується задача високої швидкодії. Іншим напрямком підвищення швидкодії є апаратна реалізація цифрових фільтрів, яка вимагає використання складних пристроїв і великих апаратних ресурсів. У цьому випадку найефективнішим варіантом апаратної реалізації є використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС).

ПЛІС стають останнім часом усе більш розповсюдженою елементною базою для застосування в пристроях цифрової обробки сигналів (ЦОС). Завдяки розвинутій архітектурі, високій тактовій частоті й невисокій ціні ПЛІС незамінні при макетуванні й дрібносерійному виробництві.

Існує декілька архітектур цифрових КІХ-фільтрів на ПЛІС: паралельна, послідовна й послідовно-паралельна. Цифрові фільтри з паралельною архітектурою мають максимальну продуктивність і мінімальну затримку, але займають багато логічних ресурсів мікросхеми. Послідовні фільтри мають найменшу продуктивність і максимальну затримку, але попри це вони більш компактні у порівнянні з пристроями з паралельною архітектурою [3].

В роботах [4, 5] запропоновано метод виділення стоншеного контуру на основі знаходження спільних точок перетину фільтрованих зображень внаслідок використання

низькочастотних гауссових КІХ-фільтрів з різним ступенем розмитості, який може бути описаний виразом:

$$J(x, y) = p(H^*(n, m)|_{\sigma_1} - H^{**}(n, m)|_{\sigma_2}), \quad (2)$$

де $H^*(n, m)$, $H^{**}(n, m)$ – зображення, отримані внаслідок низькочастотної фільтрації при відповідних параметрах розмитості σ_1 і σ_2 ;

p – коефіцієнт масштабування.

Стоншений контур при цьому можна отримати внаслідок поелементного перетворення вигляду:

$$h(n, m) = \begin{cases} 1, & \text{при } J(n-1, m) \cdot J(n, m) < 0; \\ 1, & \text{при } J(n-1, m) \cdot J(n, m) = 0 \Big|_{J((n-1), m) \neq J(n, m)}; \\ 0, & \text{при } J(n-1, m) \cdot J(n, m) \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Оскільки основна трудомісткість такого методу припадає на арифметичні операції згортки, а в даному методі використовуються дві згортки, то час обробки зростає практично вдвічі.

Метою роботи є підвищення швидкодії роботи детектора виділення контуру на основі реалізації низькочастотного гауссового фільтра на ПЛІС.

Матеріали та результати досліджень. У роботі запропоновано паралельно-конвеєрний алгоритм попередньої обробки зображення, при якому на першому етапі виконується паралельно-рекурсивна обробка даних за допомогою гауссових фільтрів з різними ступенями розмитості. На другому – поелементні операції віднімання двох фільтрованих зображень.

Структурна схема такої обробки наведена на рис. 1. Такий детектор має пристрої введення-виведення (Input/Output Port) два блоки буферної пам'яті (MS1, MS2), які забезпечують безперервний запис і зчитування даних, два гауссові фільтри (GF1, GF2), а також пристрій поелементних арифметичних операцій віднімання (Sub).

На рис. 2 наведена структурна схема фільтра, який передбачає виконання над даними одного пікселя п'яти арифметичних операцій. Такий фільтр складається з пристроїв множення (MD1), поелементного підсумовування (ADD) та регістрів (Rg) для зберігання вхідних даних пікселя, що обробляється, та даних в результаті обробки.

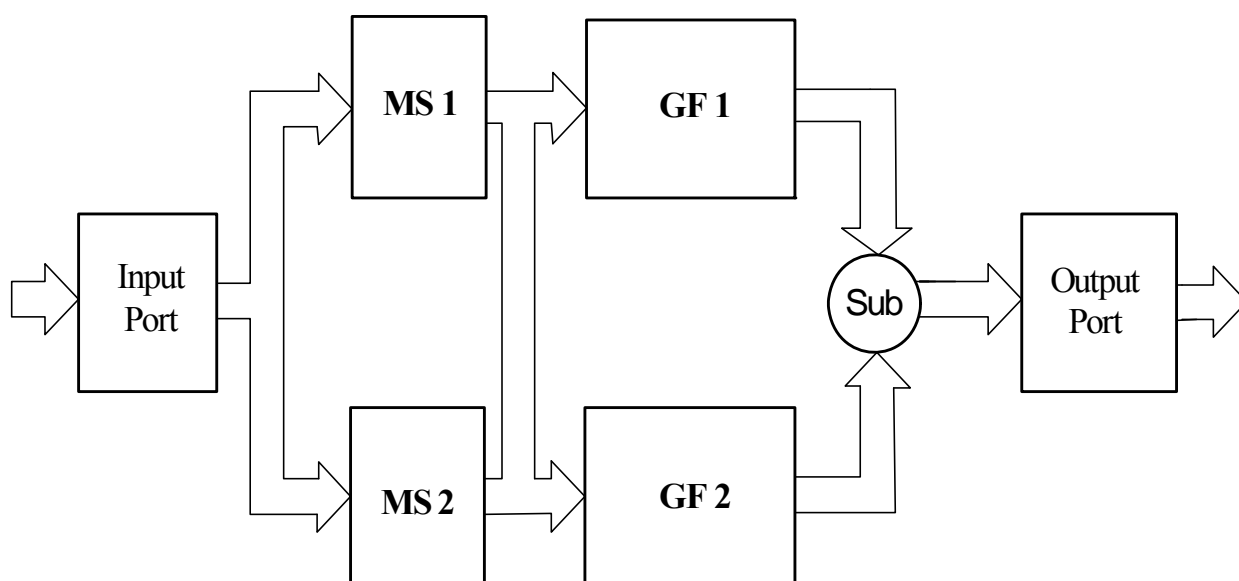


Рис. 1. Структурна схема детектора виділення контуру

Оскільки така обробка виконується над даними всіх пікселів відповідно до (1), що входять у “ковзне вікно”, то для підвищення швидкодії запропоновано використовувати ряд одновимірних фільтрів, робота яких синхронізована в часі. При цьому гауссовий одновимірний фільтр із послідовності відліків вхідного сигналу $f(n)$ розмірністю ширини вікна у вихідну послідовність $g(n)$ і описується співвідношенням:

$$g(n) = \sum_{l=-L^-}^{L^+} h(l)f(n-l), \quad (4)$$

де $h(l)$ – імпульсна характеристика фільтра, яка дорівнює нулю поза межами інтервалу $[-L^-, L^+]$ шириною.

Така схема обробки забезпечує зчитування даних кожного пікселя, що входить у вікно обробки, з тактовою частотою й може бути подана у вигляді суми значень K пікселів «ковзного вікна»

$$h(l) = \sum_{k=0}^{K-1} a_k h_k(l), \quad (5)$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^{K-1} a_k h_k(n), \quad (6)$$

$$y_k(n) = \sum_{l=-L^-}^{L^+} h_k(l)f(n-l), \quad (7)$$

де a_k – коефіцієнти; $h_k(l)$ – лінійно незалежні базисні функції, які розкладені в ряд; $y_k(n)$ – сигнали обробки.

Отже, по кожному сигналу тактової частоти конвеєрно виконуються операції множення даних пікселів на відповідні коефіцієнти маски, то в кожному циклі множення здійснюється підсумовування результату з попереднім результатом. Цей процес продовжується до кінця обробки даних усіх пікселів, що входять у “ковзне вікно”.

Значення інтенсивності пікселя як правило є 24-бітовими по 8 біт на кожний колір системи RGB. Це означає, що для фільтрації можуть бути використані три однакові одновимірні фільтри, робота яких паралельна в часі.

Апаратна реалізація паралельно-конвеєрної обробки, що використовується детектором виділення контуру була реалізована на ПЛІС фірми Xilinx сімейства Spartan-3.

Привабливою рисою ПЛІС Xilinx для реалізації алгоритмів ЦОС у порівнянні із ПЛІС інших фірм є наявність внутрішнього швидкодіючого розподіленого ОЗП, який скомпанований у блоки необхідного розміру. Використання такого ОЗП є дуже ефективним для реалізації алгоритмів ЦОС методом розподіленої арифметики, а також для зберігання коефіцієнтів, результатів проміжних обчислень тощо. При цьому за рахунок можливості апаратного забезпечення паралельності процесу обробки, гнучкої адаптації структури пристрою під потрібний алгоритм, високої ефективності інтегрування засобів розробки, стає можливою проста побудова високопродуктивної системи ЦОС на одному кристалі в найкоротший термін [6].

Для реалізації вищенаведеного пристрою вибрана ПЛІС XC3S1000 сімейства Spartan-3 фірми Xilinx, основні характеристики якого наведені в таблиці.

Характеристики ПЛІС XC3S1000 сімейства Spartan-3

Системні вентиля	Логічні комірки	Розподілена пам'ять, Кбіт	Доступні контакти вводу/виводу	Макс. системна частота, МГц
10 ⁶	17 280	102 10 ³	391	326

На основі аналізу таблиці 1 можна зробити висновок: ПЛІС XC3S1000 сімейства Spartan-3 задовольняє усі параметри для побудови детектора.

Опис пристрою на рівні регістрових передач виконувався мовою VHDL, для одержання файлу конфігурації ПЛІС використовувався САПР Xilinx Project Navigator 7.1, моделювання роботи цього фільтра виконувалось за допомогою програми моделювання схем ModelSim SE PLUS 5.1.

На рис. 3 наведена принципова схема пристрою з одним одновимірним фільтром, який забезпечує обробку 8-бітових даних “ковзним вікном” розмірністю 5×5.

Для виконання безперервної обробки даних використаний принцип двопортової пам'яті. Після запису даних розмірністю 2 Кбайт ОЗП **mem0** наступні дані записуються в аналогічну пам'ять **mem1**. Тобто, поки перша порція даних зчитується з **mem0** та обробляється, інша записується з порта в **mem1**.

Вхідні дані записуються за адресами, які задаються за допомогою 12-тирозрядного лічильника **count12**. Шина адреси запису даних мультиплексована за допомогою мультиплексора **mux22X2** з шиною адреси зчитування даних. Після досягнення лічильником значення 2047 формується сигнал **count(11)**, який перемикає мультиплексор **mux22X2** на режим адреси зчитування даних, мультиплексор **mux_8** на режим зчитування даних з пам'яті **mem0** та **mem1** та запускає лічильник за модулем 25 **count_mod25**. Значення **count_mod25** поступають на вхід постійно запам'ятовувального пристрою (ПЗП) **addr_conv**, на виході якого формується адреса зчитування даних за визначеним принципом “ковзного вікна”. Після переповнення лічильника **count_mod25** формується сигнал **OVF**, який ініціалізує лічильник за модулем 2022 **count2022_mod**. Результат лічби підсумовується з результатом на виході (ПЗП) **addr_conv**, що дозволяє виконати зчитування даних за адресами нового “ковзного вікна”. Таким чином, адреса зчитування даних через мультиплексор потрапляє на шину адреса ОЗП. Після чого виконується операція множення даних в **mult** на відповідний коефіцієнт маски, які поступають з ПЗП **coef_conv** за результатами адресації лічильника **count_mod25**.

Кожні 25 тактів результати множення підсумовуються між собою, оскільки в цьому випадку використовується маска 5×5. Після підсумовування в **sum_16** виконується операція ділення в **div256** на сумарний коефіцієнт вагів “ковзного вікна”, результатом якого є оброблені дані, що видаються в порт ПК.

По закінченню 25 такта виконується скид схеми, зсув адресів зчитування на один розряд, тобто зсув «ковзного вікна» для обробки наступного пікселя і робота схеми повторюється.

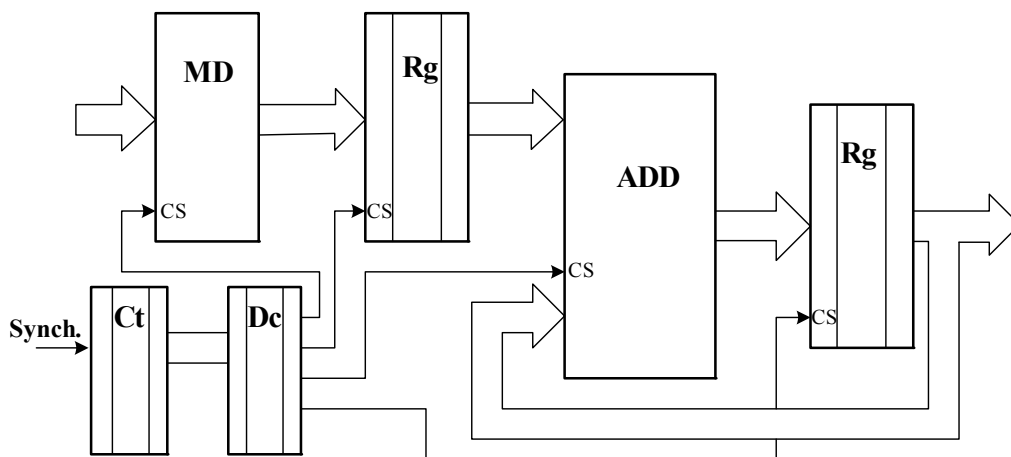


Рис. 2. Структурна схема одновимірного КІХ-фільтра

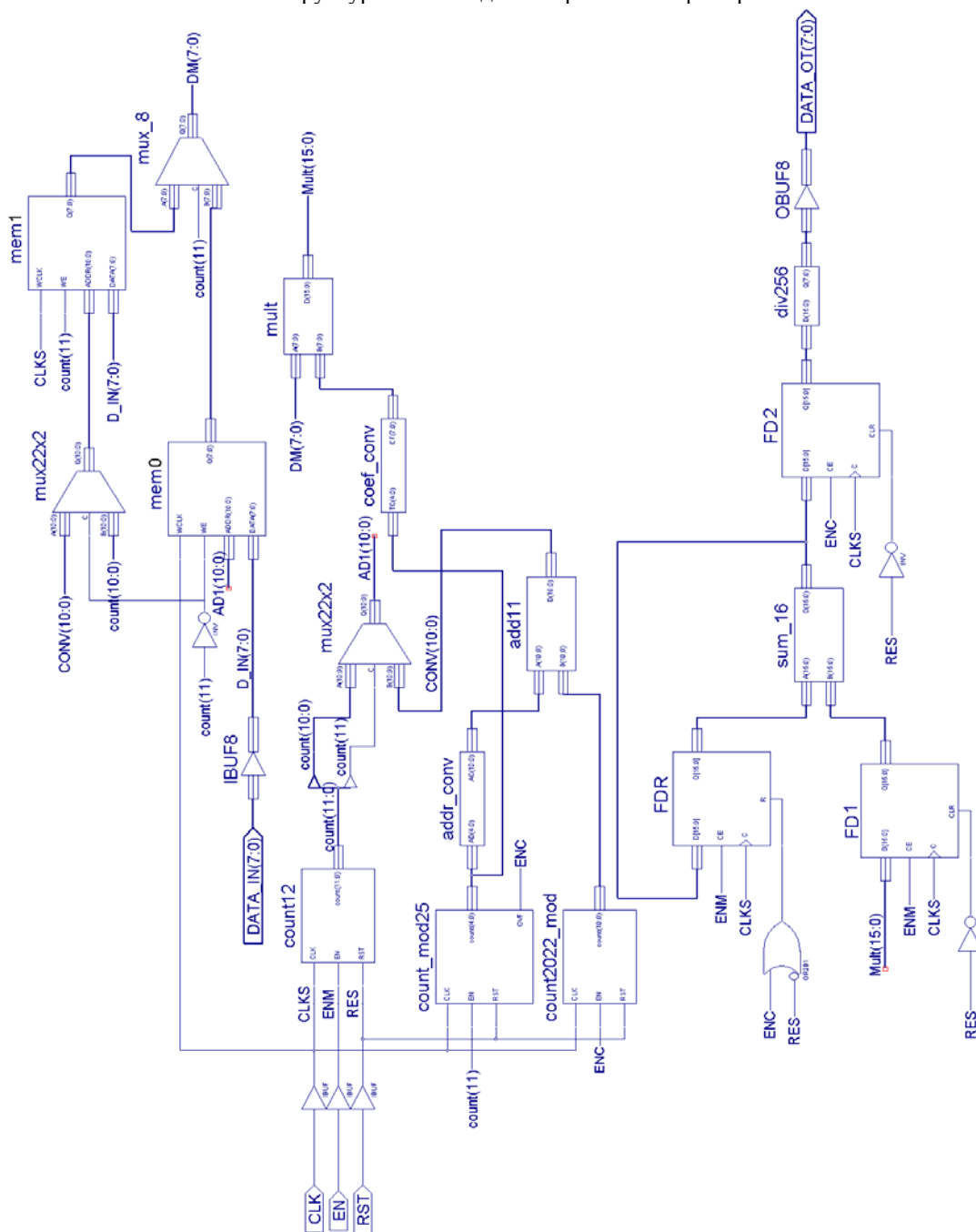


Рис. 3. Принципова схема детектора виділення контуру з одним одновимірним фільтром з використанням САПР Xilinx Project Navigator 7.1

Мельничук Андрій Олександрович — магістрант кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.
Вінницький національний технічний університет.