

Й. Й. Білинський, д-р. техн. наук, проф.;
А. О. Мельничук,
О. А. Павлюк, асп.

РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНОГО ФІЛЬТРА СПЕКЛ-ШУМУ НА ПЛІС EP3C55 ФІРМИ ALTERA

Запропоновано апаратну реалізацію адаптивного фільтра спекл-шуму на УЗД-зображеннях. Для цього використано ПЛІС EP3C55 фірми Altera. Проведено моделювання за допомогою спеціалізованої САПР Quartus II. Результати показали зменшення часу обробки одного пікселя таким фільтром у 25 разів, порівняно з програмною реалізацією.

Вступ

Спекл-шум є типовою проблемою багатьох сучасних методів візуалізації у медицині, зокрема ультразвукового дослідження (УЗД) [1]. Шум значно ускладнює інтерпретацію зображення і може призвести до невірної встановлення діагнозу. Для усунення спекл-шуму найчастіше використовуються методи вторинної обробки отриманих УЗД-зображень. Використання таких методів дає позитивний результат, але при цьому знижується швидкість роботи системи. У випадку використання УЗД для оцінювання органів під час проведення хірургічної операції, швидкість є критично важливим фактором. Швидкість адаптивного фільтра можна підвищити, реалізуючи конвеєрний принцип обробки зображення, коли обчислення відбуваються паралельно.

Відтак створення фільтра з оптимальними параметрами глибини фільтрації, чутливості до країв об'єктів та швидкості є і сьогодні актуальною задачею розвитку технології УЗД [2, 3].

Оптимальною елементною базою для реалізації даного підходу є програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). Програмно реалізований фільтр має обмежені можливості у підвищенні швидкості, оскільки операції виконуються послідовно. Завдяки можливості конвеєрної паралельної обробки даних, ПЛІС обрано як елементну базу для реалізації фільтра.

Метою роботи є підвищення швидкості адаптивного фільтра спекл-шуму, шляхом апаратної реалізації обробки УЗД-зображення на ПЛІС.

Адаптивний фільтр спекл-шуму на ПЛІС

В роботі [4] запропоновано адаптивний метод фільтрації спекл-шуму на УЗД-зображенні, що базується на використанні направленої анізотропної дифузії для усунення шуму та збереження при цьому дрібних деталей об'єктів, які становлять діагностичну цінність. Запропонований метод враховує локальні особливості конкретного оброблюваного зображення (рівень перепаду яскравості та рівень шуму) та відповідно до оцінених показників змінює глибину фільтрації.

Для реалізації пристрою адаптивної фільтрації УЗД-зображень обрано ПЛІС EP3C55 сімейства Cyclone III фірми Altera. Характерною особливістю запропонованого адаптивного фільтра на основі анізотропної дифузії є необхідність використання у процесі обробки проміжних фільтрованих зображень, тому обов'язковою умовою є наявність достатньої кількості внутрішньої розподіленої пам'яті для зберігання таких зображень. Відтак критеріями вибору мікросхеми ПЛІС були наявність достатньої для апаратної реалізації кількості еквівалентних вентилів та внутрішньої RAM-пам'яті. Вказана вище мікросхема відповідає цим критеріям.

Запропоновано пристрій фільтрації спекл-шуму на ПЛІС. Структурна схема адаптивного фільтра показана на рис. 1.

Фільтр складається із програмної частини (блок керування) та апаратної, реалізованої на ПЛІС, і містить такі блоки: інтерфейс вводу, інтерфейс виводу, блок розрахунку порогового значення інтенсивності, блок фільтрації, блок розрахунку функції зупинки ітераційного процесу, блок керування та блоки пам'яті. Блоки пам'яті необхідні для зберігання вхідного зображення та фільтрованих зображень трьох останніх ітерацій, одне з яких є вихідним фільтрованим зображенням із оптимальними параметрами.

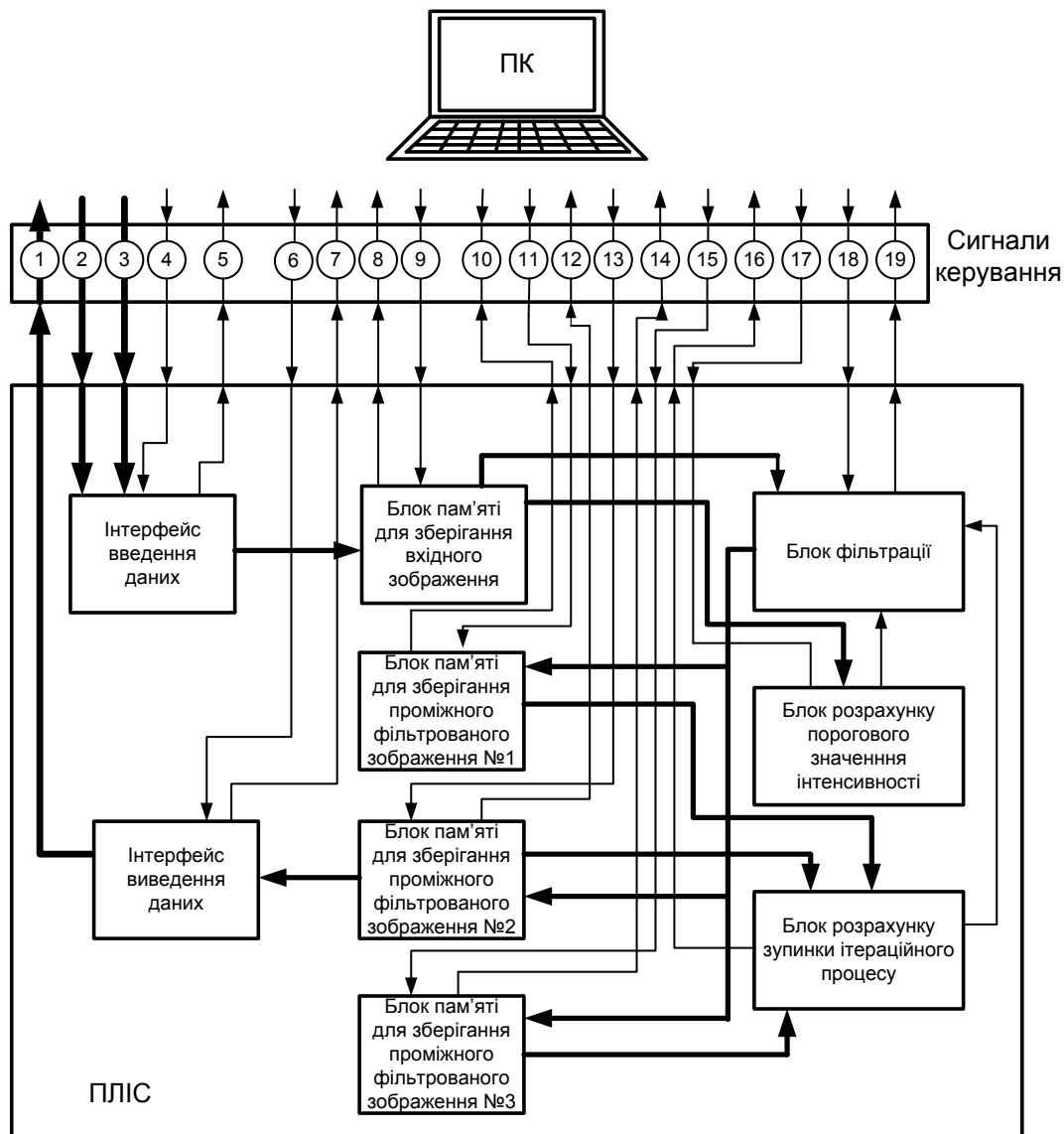


Рис. 1. Структурна схема адаптивного фільтра спекл-шуму на основі анізотропної дифузії

Цифрами на рисунку позначено входні та вихідні сигнали фільтра.

Сигнали керування узгоджують роботу інших блоків і генеруються програмою керування.

Блок фільтрації призначений для виконання ітераційного процесу фільтрації УЗД-зображення і складається з модуля формування вікна, модуля розрахунку градієнта, модуля розрахунку дифузійних коефіцієнтів, та модуля анізотропної дифузії.

Модуль формування вікна приймає на вході послідовність із 3 рядків і стовців пікселів вхідного зображення, $(i = t - 1, t, t + 1, j \in n - 1, n, n + 1)$ і подає їх паралельно у вигляді поточного оброблюваного пікселя (I) та 4 сусідніх пікселів за напрямками (I_n — вверх, I_s — вниз, I_e — вправо, I_w — вліво). Далі значення інтенсивності пікселів зберігаються в 8-бітних регістрах. З надходженням наступного такту синхросигналу, дані з регістрів завантажуються в модуль розрахунку градієнтів, що складається із чотирьох пристроїв віднімання. Кожен із пристроїв віднімання обчислює градієнт у відповідному напрямку (вверх, вниз, вправо, вліво). Після цього, отримані значення градієнтів завантажуються у модуль розрахунку коефіцієнтів анізотропної дифузії. Цей модуль розраховує значення дифузійних коефіцієнтів відповідно до виразу

$$c(\Delta I) = \frac{1}{1 + (\Delta I/K)^2}, \quad (1)$$

де K — порогове значення інтенсивності, отримане з блока визначення порогового значення інте-

нсивності, яке для блока фільтрації є вхідним параметром.

Пристрої додавання, віднімання та ділення слугують для обчислення вказаних коефіцієнтів у відповідному напрямку. На виході цього модуля встановлюються значення розрахованих коефіцієнтів дифузії, які використовуються для отримання нових значень інтенсивності пікселів i -ї ітерації в модулі анізотропної дифузії згідно з виразом

$$I'_s = I_s + \frac{1}{|\bar{\eta}_s|} \sum_{p \in \bar{\eta}} c(\Delta I_s) \Delta I_s, \quad (2)$$

де I_s^t — початкова інтенсивність пікселя; $\bar{\eta}_s$ — сусідні піксели; $c(\Delta I_s)$ — розрахований дифузійний коефіцієнт у напрямку; ΔI_s — градієнт.

Модуль керування призначений для обнулення пристроїв віднімання, додавання, множення, ділення та регістрів після обробки кожного пікселя зображення. Повний цикл обробки одного пікселя складає 55 синхросигналів, оскільки відповідний лічильник підраховує вхідні синхросигнали і при проходженні 55 синхросигналів обнуляє всі компоненти схеми. Вхідними сигналами блока керування є розмірність зображення (m і n), яка використовується для визначення моменту зупинки процесу фільтрації.

Блок розрахунку порогового значення інтенсивності здійснює обчислення показника порогового значення інтенсивності K , що є вхідним параметром для блока фільтрації. Вхідними даними для нього є значення інтенсивності пікселів, розміри ковзного вікна (x , y), та розміри самого зображення (m , n). Інтенсивності пікселів зображення подаються із блока пам'яті для зберігання вхідного зображення. Порогове значення інтенсивності розраховується визначенням середнього рівня шуму на зображенні та найбільшої величини перепаду інтенсивності в крайовій області.

Блок розрахунку кількості ітерацій визначає оптимальну кількість операцій і момент зупинки процесу фільтрації. Для цього в ньому виконується перевірка виконання умови: $I(i, j) > I'(i, j)$ і $I(i+1, j) < I'(i+1, j)$ чи $I(i, j) < I'(i, j)$ і $I(i+1, j) > I'(i+1, j)$ для функції інтенсивності від координати x та $I(i, j) > I'(i, j)$ і $I(i, j+1) < I'(i, j+1)$ чи $I(i, j) < I'(i, j)$ і $I(i, j+1) > I'(i, j+1)$ для функції інтенсивності від координати y . $I(i, j)$ та $I'(i, j)$ — значення інтенсивностей оброблюваних пікселів поточної та попередньої ітерацій, відповідно. $I(i \pm 1, j \pm 1)$, $I'(i \pm 1, j \pm 1)$ — значення інтенсивностей наступних пікселів у рядку і стовпці оброблюваних пікселів поточної та попередньої ітерацій відповідно.

У випадку, якщо виконується хоча б одна з умов, точка $I(i, j)$ є точкою перетину приміжових кривих зображень поточної та попередньої ітерацій. Після цього розраховується показник точок перетину. Зупинка ітераційного процесу — це виконання умови.

Інтерфейс вводу приймає значення m та n та записує їх у регістри. Далі починається прийом значень інтенсивності пікселів вхідного зображення. Лічильник стану завантаження підраховує кількість пікселів, що пройшли, а компаратори стану завантаження порівнюють ці значення із кількістю заданих рядків m та стовпців n . Після проходження останнього пікселя, прийом закінчено і відповідний сигнал передається блоку керування. Інтерфейс виводу працює аналогічно.

Для про підтвердження ефективності запропонованого фільтра, його роботу було промодельовано у САПР Quartus II. На рис. 2 показана часова діаграма роботи послідовної обробки трьох пікселів одного рядка зображення блоком фільтрації.

Фільтр працює таким чином. Високий рівень сигналу «Enable» пропускає синхроімпульси («clock») в елементи блока, починаючи роботу схеми. Розміри зображення (m і n) є вхідними сигналами. В процесі роботи фільтра на виходах відповідних лічильників встановлюються поточні значення оброблюваних рядка та стовпця, котрі збільшуються на «1» у кожному циклі обробки одного пікселя ($m+1$ та $n+1$). При досягненні поточного значення m та n максимального значення сигнал «State_filtered» встановлюється в «1» і процес фільтрації припиняється. Після кожного циклу обробки одного пікселя системою генерується високий рівень сигналу «Clear», що забезпечує обнулення усіх компонентів схеми, починається обробка нового пікселя зображення. Значення порогу «Threshold» використовується для обчислення коефіцієнтів дифузії. Константи «1» та «255» задаються у відведених регістрах та використовуються для обчислення коефіцієнтів дифузії. Також на діаграмі показані результати представлення вхідної послідовності пікселів у вигляді вікна

(«Iw», «Ie», «Is», «In») та значення відфільтрованих пікселів.

Оскільки ПЛІС дає можливість організувати кілька паралельних потоків обробки даних, то максимальна швидкодія обмежується найповільнішим процесом. Для фільтра це є процес анізотропної дифузії, що реалізується в блоці фільтрації.

На основі проведених досліджень встановлено, що кількість тактів, необхідна для обробки одного пікселя за допомогою блока фільтрації — 56, для програмної реалізації такого процесу складає 1346. Таким чином, час обробки одного пікселя апаратно реалізованим на ПЛІС фільтром у 25 разів менший за час обробки пікселя програмною реалізацією.

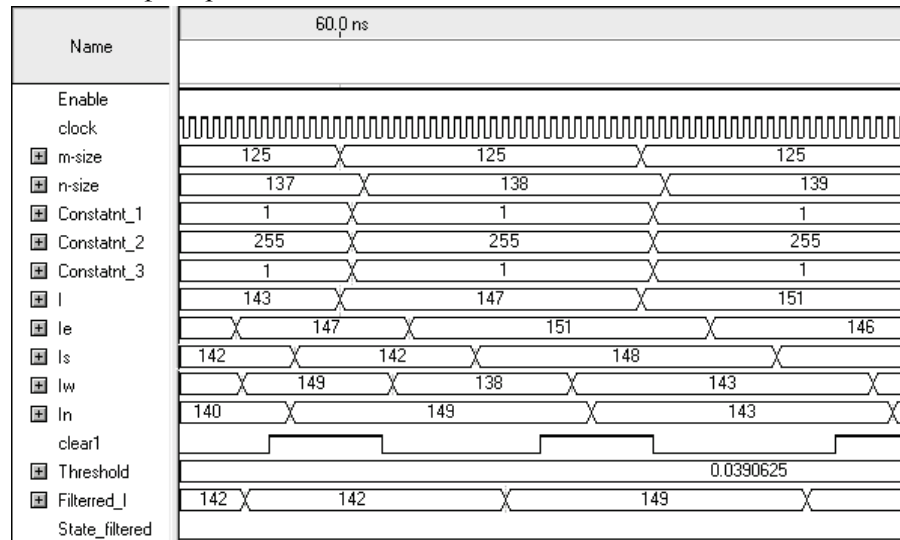


Рис. 2. Часові діаграми обробки 3 пікселів одного рядка адаптивного фільтра спекл-шуму

Висновки

Запропоновано апаратну реалізацію адаптивного фільтра спекл-шуму на ПЛІС EP3C55 фірми Altera. Такий фільтр дозволяє скоротити час виконання обробки УЗД-зображення, у порівнянні із програмною реалізацією у 25 разів. Завдяки реалізації конвеєрної паралельної обробки даних, використання ПЛІС як елементної бази відкриває можливості для створення систем обробки УЗД-зображень реального часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хофер М. Ультразвуковая диагностика. Базовый курс / М. Хофер. — М. : Медлит, 2006 — 104 с.
2. Kalaivani Narayanan S. A View on Despeckling in Ultrasound Imaging / S. Kalaivani Narayanan, R. S. D. Wahidabanu // International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. — 2009. — Vol. 2. — № 3. — P. 85—98.
3. Yu Y. J. Speckle reducing anisotropic diffusion / Y. J. Yu, S. T. Acton // IEEE Trans. Imag. Process. — 2002. — Vol. 11, № 11. — P. 1260—1270.
4. Білинський Й. Й. Адаптивний метод фільтрації УЗД-зображення на основі анізотропної дифузії / Й. Й. Білинський, А. О. Мельничук, О. А. Павлюк, В. П. Білинська // Методи та прилади контролю якості. — Івано-Франківськ : ІФНАУІГ. — 2011. — № 26. — С. 15—21.

Рекомендована кафедрою електроніки

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 16.11.11

Білинський Йосип Йосипович — завідувач кафедри електроніки, **Мельничук Андрій Олександрович** — асистент, **Павлюк Олександр Анатолійович** — аспірант.

Кафедра електроніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця