

А. О. Мельник, В. А. Мельник, І. В. Мороз, Я. С. Парамуд
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електронних обчислювальних машин

ВИКОРИСТАННЯ ПАМ'ЯТІ З УПОРЯДКОВАНИМ ДОСТУПОМ У ПРОЦЕСОРАХ ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

© Мельник А. О., Мельник В. А., Мороз І. В., Парамуд Я. С., 2012

Розглянуто основні задачі, що часто розв'язуються під час опрацювання растрових зображень та дають змогу ефективно застосовувати паралельну пам'ять з упорядкованим доступом. Запропоновано підходи та рекомендації щодо розв'язування задач опрацювання зображень з використанням пам'яті цього типу.

Ключові слова: цифрове опрацювання зображень, пам'ять з впорядкованим доступом.

This paper discusses the basic problems that are often solved for raster image processing and allow effectively use parallel ordered access memory. Approaches and recommendations to solve the problems of image processing using this type of memory are proposed.

Key words: digital image processing, ordered access memory.

Вступ

Робота з растровими зображеннями широко застосовується в сучасних системах опрацювання інформації як загальнонавчального, так і спеціалізованого призначення. Важливе місце займають процесори опрацювання зображень. Дослідження щодо підвищення ефективності процесорів опрацювання зображень є актуальним завданням.

Огляд літературних джерел

Для систем зі значними потоками відео- та фотоданих важливою характеристикою є продуктивність опрацювання кадрів (зображень). До операцій, які часто використовуються під час опрацювання відео- та фотоданих, належать: буферизація та реорганізація; поворот зображення на заданий кут; масштабування; фільтрація; тригонометричні перетворення тощо [1–3]. Для підвищення продуктивності систем опрацювання відеоданих створюються спеціалізовані процесори опрацювання зображень. Одним із ключових вузлів таких процесорів є паралельна пам'ять, яка здійснює паралельну вибірку та запис даних як під час опрацювання зображень, так і під час взаємодії із зовнішніми пристроями. Залежно від виду операції, що виконується над зображенням, на ці процедури може витрачатися велика частина процесорного часу. Тому, для розвантаження центрального процесора та підвищення його продуктивності, доцільно використовувати спеціалізовані типи пам'яті, що перебирають на себе значну частину задач, характерних для опрацювання зображень.

Один з типів такої пам'яті – пам'ять з впорядкованим доступом (ПВД) [4–8]. Основною перевагою цього виду пам'яті є забезпечення доступу до даних у програмно встановленому порядку. Формування індексів комірок пам'яті, в одному випадку, може формуватися за наперед визначеними правилами, а в іншому індекси можуть надходити одночасно з даними, що робить таку пам'ять надзвичайно гнучкою для різноманітних схем доступу до даних.

Постановка задачі

Дослідити особливості та принципи реалізації пам'яті з упорядкованим доступом у процесорах опрацювання зображень на прикладі типових задач.

1. Пам'ять з впорядкованим доступом

У цій пам'яті забезпечується доступ до даних у програмно встановленому порядку, тобто індекс, який надходить у пам'ять разом з даним або під час його зчитування, вказує місце даного у вихідному масиві [4, 6].

Вхідні дані записують до ПВД з l портів рядками матриці

$$\begin{pmatrix} ID_{0,0} & ID_{0,1} & \dots & ID_{0,l-1} \\ ID_{1,0} & ID_{1,1} & \dots & ID_{1,l-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ID_{k-1,0} & ID_{k-1,1} & \dots & ID_{k-1,l-1} \end{pmatrix},$$

де $ID_{i,j}$ – вхідне дане, розміщене в i -му рядку ($i = 0,1, \dots k-1$) та j -му стовпці ($j = 0,1, \dots l-1$) матриці вхідних даних.

Вихідні дані зчитують з ПВД на m портів рядками матриці

$$\begin{pmatrix} OD_{0,0} & OD_{0,1} & \dots & OD_{0,n-1} \\ OD_{1,0} & OD_{1,1} & \dots & OD_{1,n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ OD_{m-1,0} & OD_{m-1,1} & \dots & OD_{m-1,n-1} \end{pmatrix},$$

де $OD_{s,t}$ – вихідне дане, що міститься в s -му рядку ($s = 0,1, \dots m-1$) та t -му стовпці ($t = 0,1, \dots n-1$) матриці вихідних даних.

Матриця індексів, які присвоюють кожному даному, та за їх величиною впорядковують дані, має вигляд

$$\begin{pmatrix} SID_{0,0} & SID_{0,1} & \dots & SID_{0,l-1} \\ SID_{1,0} & SID_{1,1} & \dots & SID_{1,l-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ SID_{k-1,0} & SID_{k-1,1} & \dots & SID_{k-1,l-1} \end{pmatrix},$$

де $SID_{i,j}$ – індекс вхідного даного $ID_{i,j}$, що міститься в i -му рядку ($i = 0,1, \dots k-1$) та j -му стовпці ($j = 0,1, \dots l-1$) матриці вхідних даних.

Ця ПВД може бути створена як для фіксованого розміру матриць вхідних та вихідних даних, так і для змінного [8].

ПВД для фіксованого розміру матриць вхідних та вихідних даних (рис. 1) має l входів та n виходів, причому ємність ПВД дорівнює $Q = lk = mn$. Основною відмінною рисою цієї пам'яті є те, що вхідні дані та їх індекси надходять до пам'яті одночасно окремими входами. Тут зображено два варіанти ПВД – з розділеними (праворуч) та об'єднаними (ліворуч) інформаційними входами та виходами даних.

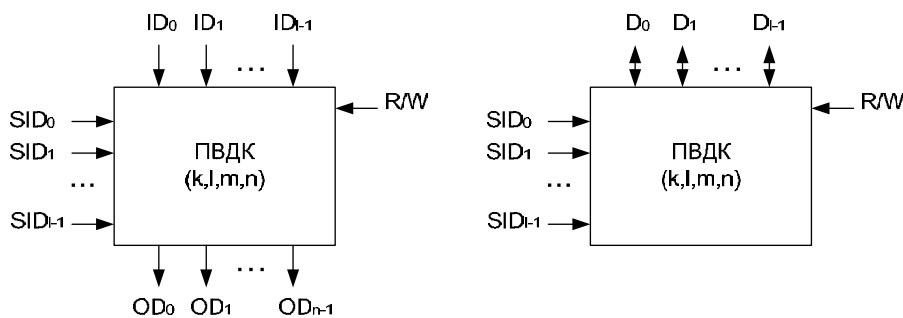


Рис.1. Інтерфейс пам'яті з упорядкованим доступом з паралельним надходженням даних та їх індексів з розділеними та об'єднаними входами і виходами даних

У ПВД для змінного розміру матриць вхідних та вихідних даних кількість входів l , якими надходять дані до ПВД, та розмір вхідної матриці даних kl , а також кількість виходів m , якими дані зчитуються з ПВД, та розмір вхідної матриці даних mn , задаються перед початком роботи ПВД. Інтерфейс ПВД цього типу показано на рис. 2. Тут зображено два варіанти ПВД цього типу – з розділеними (праворуч) та об'єднаними (ліворуч) інформаційними входами та виходами даних.

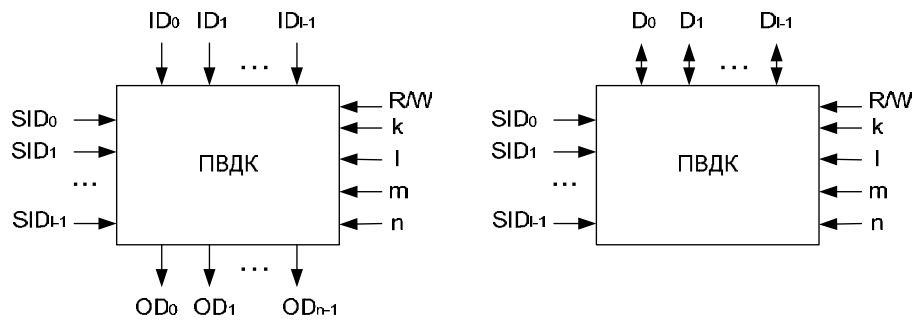


Рис. 2. Інтерфейс пам'яті з впорядкованим доступом з паралельним надходженням даних та їх індексів з розділеними та об'єднаними входами і виходами даних з програмним встановленням розміру матриці даних

2. Задачі ПВД у процесорах опрацювання зображень

Растрове зображення здебільшого подається двовимірною матрицею, елементи якої можуть інтерпретуватися як яскравість чи колір відповідного пікселя зображення. Серед типових задач, що часто використовуються під час опрацювання зображень та добре підходять під концепцію ПВД, можна відзначити: повертання зображення на заданий кут; виділення частини зображення; масштабування зображення; буферизацію та реорганізацію даних на зображенні; опрацювання (фільтрацію) зображення. Деякі з цих задач повністю розв'язуються на основі ПВД. А для інших (буферизація, реорганізація та фільтрація) ПВД використовується як проміжний пристрій між етапами опрацювання зображення.

Нижче наведено особливості виконання на ПВД зазначених операцій опрацювання зображень.

2.1. Повертання зображення на заданий кут

Задача повертання зображення на заданий кут полягає у переміщенні елементів матриці, яка подає зображення, у нову ділянку пам'яті з відповідною перестановкою цих елементів. Залежно від виду перестановки задача повертання може бути тривіальною (повертання на 90 чи 180 градусів) або ж вимагати складнішого виду перестановки (для повертання на довільний кут).

Для повертання на кут 90 градусів необхідно забезпечити транспонування матриці, тобто здійснити перестановку її рядків та стовпців (рис. 3). Для виконання такої операції найдоцільніше використати реалізацію ПВД для фіксованого розміру матриць вхідних та вихідних даних (рис. 1), або ПВД з програмним встановленням розміру матриці даних (рис. 2), якщо опрацьовують зображення різних розмірів. Під час запису зображення до такої ПВД індекси, що супроводжують блок даних з l -портів, є послідовними та забезпечують запис елементів зображення за рядками. Під час зчитування повернутого на 90 градусів зображення індекси, що супроводжують блок даних, повинні бути послівно збільшені на розмір рядка зображення.

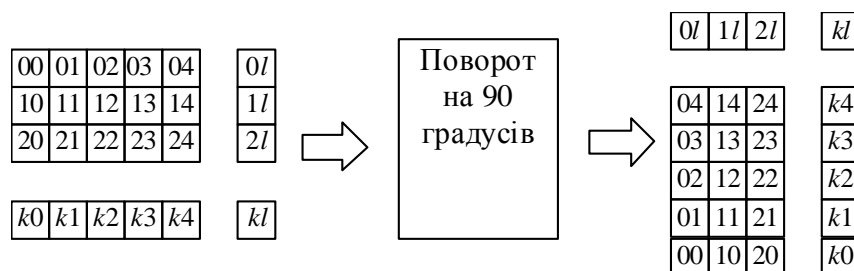


Рис. 3. Повертання зображення на 90 градусів

Для забезпечення коректного записування та зчитування зображення необхідно, щоб довжина рядка вхідного (вихідного) зображення була кратна до кількості портів, якими паралельно записуються (зчитуються) блоки.

Задача повертання на довільний кут є дещо складнішою за повертання на 90 чи 180 градусів. Це пов'язано з тим, що, на відміну від тривіальних поворотів (де індекси елементів блока даних, які

надходять паралельними портами, послідовні та відрізняються на розмір елемента, чи довжину рядка), для кожного кута, на який необхідно повертати зображення, необхідно попередньо розрахувати та зберігати матрицю індексів повороту, кількість рядків та стовпців якої дорівнюють кількості рядків та стовпців повернутого зображення (рис. 4). Такий підхід ефективний тоді, коли ряд зображень повертаються на наперед заданий кут або коли на довільний кут повертаються кадри відеопотоку.

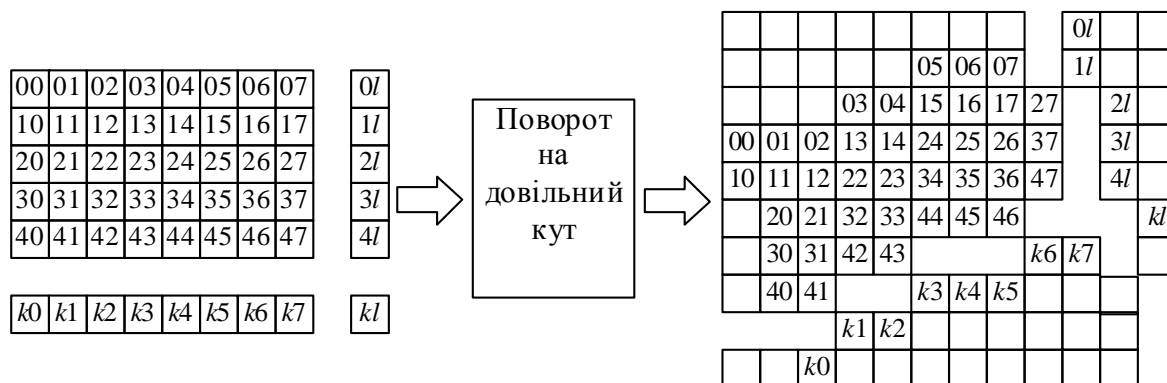


Рис. 4. Повертання зображення на довільний кут

2.2. Виділення частини зображення

Операція виділення частини зображення полягає у виборі частини елементів матриці, яка подає зображення. Вона здійснюється за допомогою ПВД, до якої разом з матрицею елементів частини зображення подають індекси, що задають місце вибраних елементів у матриці. Тут необхідно також забезпечити, щоб довжина рядка частини вибраного зображення була кратною до кількості портів, якими паралельно записуються блоки.

2.3. Масштабування зображення

Операція масштабування подібна до операції виділення частини зображення. Основна її відмінність полягає у формуванні індексів. Для збільшення зображення у матриці індексів деякі з них повинні повторюватися у стовпцях та рядках, кількість повторень визначається коефіцієнтом збільшення. Для зменшення зображення або його частини матриця індексів повинна формуватися прорідженням за рядками та стовпцями. Формуючи відповідно матриці індексів, можна добитися різних видів масштабування: непропорційного за шириною та висотою; з дробовим коефіцієнтом.

2.4. Розщеплення кольорових зображень

Під час опрацювання кольорових (багатоспектральних) зображень, кожен піксел яких представлено компонентами кольору RGB (червоний, зелений та синій), деколи виникає необхідність розділити зображення на окремі площини, які б склалися з компонентів тільки одного кольору: червоного, зеленого чи синього. Зображення площин, отримані у результаті такого розщеплення, опрацьовуються окремо, а пізніше, за необхідності, можна відтворити оригінальний (попиксельний) формат подання зображення. Ця задача подібна до задачі п. 2.2, але потребує матриці індексів, які б розщеплювали піксели зображення на окремі складові.

Ще одна задача, що пов'язана з розщепленням кольорових зображень, виникає під час опрацювання телевізійних відеопотоків та характеризується поняттям черезрядкової розгортки. Кадр відеопотоку складається з двох полів, в одне з яких входять парні, а у друге – непарні рядки кадру. Перед опрацюванням такого відеоматеріалу необхідно перевпорядкувати кадр, відтворивши природну послідовність рядків, а після опрацювання сформувати кадр, що складається з полів парних та непарних рядків.

2.5. Буферизація та реорганізація даних зображення

Під час виконання опрацювання зображень виникають задачі буферизації та реорганізації даних зображення. Наприклад, під час виконання алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень, коли двовимірне перетворення виконується як послідовне виконання відповідних

одновимірних перетворень, необхідно після виконання одновимірного перетворення переставити елементи матриці. На рис. 5 показано типову схему, за якою виконується такий клас перетворень. На ній ПВД використовується для транспонування двовимірної матриці. Спочатку для підготовки до повторного застосування одновимірного тригонометричного перетворення, а вдруге – для відновлення природного порядку слідування коефіцієнтів двовимірного перетворення.

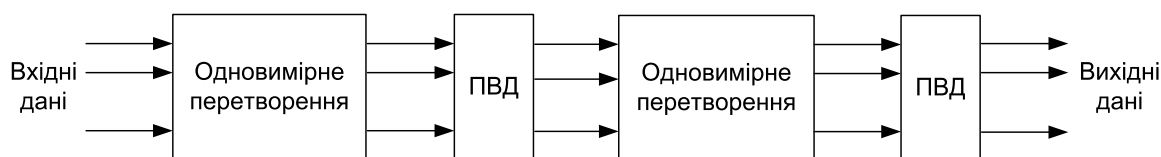


Рис. 5. Використання ПВД як буферної пам'яті під час виконання алгоритмів двовимірних ортогональних тригонометричних перетворень

2.6. Опрацювання зображення

Операції опрацювання зображення передбачають виконання математичних перетворень над елементами матриці, яка подає зображення з метою фільтрування, стиснення, розпізнавання елементів зображення тощо. Для опрацювання зображень застосовуються ефективні процесори потокової структури, які складаються з послідовних процесорних елементів, що виконують етапи алгоритмів опрацювання [9]. При цьому, для забезпечення потрібної продуктивності, ці процесори роблять багатоканальними.

На рис. 6 наведено структуру потокового процесора, як пам'ять процесорного елемента використано паралельну ПВД.

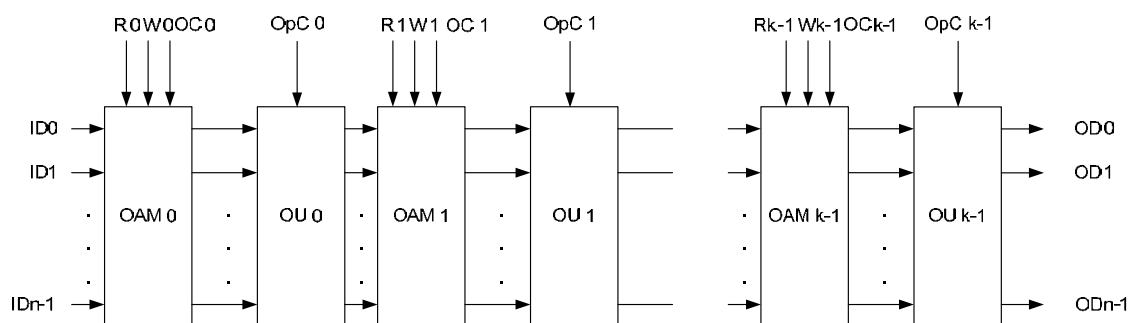


Рис. 6. Потоковий процесор на основі паралельної ПВД

У цій структурі кожна ПВД виконує такі функції [8]: запис даних з вхідних портів, зберігання записаних даних, впорядкування записаних даних відповідно до числових значень індексів, які надходять з пристрою керування та визначають їх місце в масиві вихідних даних, або відповідно до числового значення коду впорядкування, зчитування впорядкованих даних на вихідні порти. Тут: OAM (Ordered Access Memory) – ПВД, OU (Operating Units) – операційні пристрої, R (Read) – читання, W (Write) – запис, OpC (Operation Code) – код операції, OC (Ordering Code) – код впорядкування. Але кількість входів та виходів кожної ПВД може бути різною, так само, як різною може бути і кількість входів та виходів ПВД кожного процесорного елемента.

Потрібно відзначити, що описані функції не може забезпечити жоден із наявних типів пам'яті, крім паралельної ПВД. При цьому, не вдаючись до розрахунків, видно, що ПВД забезпечує вищу продуктивність розв'язання названих задач.

Висновки

Розглянуто основні задачі, що розв'язуються під час опрацювання растрових зображень. Відзначено, що до операцій, які часто використовуються в процесорах під час опрацювання відео- та фотоданих, належать: буферизація та реорганізація; повертання зображення на заданий кут;

масштабування; розщеплення кольорових зображень; фільтрація та тригонометричні перетворення. Для зменшення часу виконання цих операцій запропоновано використовувати пам'ять з впорядкованим доступом. Запропоновано підходи та рекомендації щодо розв'язання цих задач з використанням ПВД та формування матриць індексів перестановок.

1. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т. С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др.; под. ред. Т.С. Хуанга; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с., ил.
2. Форсайт Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. А. Форсайт, Д. Понс; Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2004. – 928 с., ил.
3. Мороз І. Програмний комплекс декодування та фільтрації космічних знімків / І. Мороз // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці, – Вип. 7. – Київ, 2001.
4. Мельник А. О. Структурна організація пам'яті з впорядкованим доступом на основі сортувальних мереж / Мельник А.О., Аль Раваидех Д.Х. // Науково-технічний журнал “Радіоелектронні і комп'ютерні системи”. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2010. – № 6 (47). – С. 15–19.
5. Мельник А. О. Структурна організація пам'яті з впорядкованим доступом на основі налаштовуваних сортувальних мереж / Мельник А.О. // Інформатика та обчислювальна техніка. ВМУРОЛ – 2011. – С. 34–46.
6. Мельник А. О. Реалізація в ПЛІС пам'яті з впорядкованим доступом з паралельним надходженням даних та індексів / А. О. Мельник та В. А. Мельник // Міжвузівський збірник “Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво”; науковий журнал Луцького національного технічного університету. Луцьк, 2012. – Вип. № 8. – С. 71–76.
7. Мельник В. А. Реалізація в програмованих логічних інтегральних схемах паралельної пам'яті з фіксованим впорядкованим доступом / В. А. Мельник // Науковий вісник Чернівецького університету. “Комп'ютерні системи та компоненти”. – Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, 2011. – Т. 2. – Вип. 4. – С. 12–16.
8. Мельник А. О. Паралельна пам'ять з впорядкованим доступом: застосування та варіанти побудови / А. О. Мельник // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – 2012. – № 7 (59). – С. 119–124.
9. Мельник А. Питання побудови високопродуктивних процесорів паралельної архітектури / А. Мельник // Матеріали 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання» (ASCN-2011), 29 вересня – 01 жовтня 2011, Україна, Львів. – С. 253 – 254.