

УДК 378: 004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/20>

Омецинська Н.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Лісовець С.М.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Вишемірська Я.С.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Юсипів Т.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Жовнерчук І.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ МЕТОДОМ ВІОЛИ-ДЖОНСА

У статті розглядається питання SIMD-конформності алгоритму Віоли-Джонса та досліджуються можливості його розпаралелювання на SIMD-архітектурах, у тому числі спеціалізовані графічні процесори (GPU). Розроблено SIMD-конформну реалізацію алгоритму обчислення ознак Хаара у алгоритмі Віоли-Джонса.

Запропоновано кілька варіантів GPU-реалізації алгоритму Віоли-Джонса, проведено чисельні експерименти, що дозволяють порівняти такі варіанти та послідовну реалізацію алгоритму Віоли-Джонса на тому самому фізичному пристрої (APU), що поєднує у собі центральний та графічний процесори.

Натепер із розвитком інформаційних технологій з'явилися засоби, без яких ми не можемо обходитися. Інтернет – один з таких засобів. Це не просто система пошуку інформації. Інтернет нині – це середовище для проведення дозвілля, спілкування, навчання і роботи. Цей розвиток призвів до вибуху інтересу до нейронних мереж за останні декілька років, які успішно застосовуються у самих різних галузях – бізнесі, медицині, техніці, геології, фізиці. Нейронні мережі увійшли в практику всюди, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або управління.

Для ідентифікації людини застосовуються біометричні способи. У зв'язку з простотою розпізнавання обличчя та великою кількістю камер у всіх аспектах життя людини все більш актуальними стають розробки в розпізнаванні облич. Завдання розпізнавання обличчя актуальне як у сфері інтелектуальних середовищ, так і у системах безпеки. У зв'язку із затребуваністю над розробкою алгоритмів розпізнавання облич працюють і великі компанії, але серед продуктів з відкритим кодом можна виділити OpenCV. Це бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення.

Ключові слова: алгоритм Віоли-Джонса, виявлення об'єкта на зображенні, зоровий інтелект, SIMD, OpenCL, GPU.

Постановка проблеми. Базовий алгоритм Віоли-Джонса (далі – базовий алгоритм) має низку проблем:

– тривалий час роботи алгоритму навчання. У процесі навчання алгоритму необхідно проаналізувати велику кількість тестових зображень;

– велику кількість близько розташованих один до одного результатів через застосування різних масштабів та ковзного вікна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розпізнавання образів у режимі реального

часу широкого застосування набув метод Віоли-Джонса (Viola and Jones) на основі ознак Хаара. У роботі Роберта Куїма (Robert Kooima) описується модель узагальненої проєкції перспективи, що може бути використана у разі відображення тривимірних об'єктів на екрані.

Мета дослідження – покращення розпізнавання обличчя у реальному часі; розпізнавання обличчя у відеопотоках; дослідження ефективності різних варіацій локальних бінарних шаблонів стосовно завдання розпізнавання обличчя у реальному

часі; оптимізація алгоритму Віоли-Джонса з використанням OpenCL.

Виклад основного матеріалу. Алгоритм Віоли-Джонса [1] був розроблений для вирішення завдання пошуку облич на малюнках, добре зарекомендував себе для швидкого пошуку та розпізнавання будь-яких умовно-пласких об'єктів, що мають характерне розподілення інтенсивностей і мають при цьому незначне перспективне спотворення як на статичних зображеннях, так і у відеопотоці [2; 3]. Класична версія цього алгоритму використовує машину статистичного навчання AdaBoost, на яку згодом було запропоновано кілька модифікацій. У роботі розглядалася версія алгоритму, що заснована на Real AdaBoost [4].

Для вирішення завдання детекції алгоритм Віоли-Джонса здійснює перебір можливих положень об'єкта, що детектується, і в кожному з положень вирішує завдання класифікації – визначення, є в цьому місці зображення шуканий об'єкт чи ні.

Детектором об'єкта Джонса є каскад класифікаторів. Каскад складається з кількох сильних класифікаторів, кожен із яких повертає одне з двох значень – / (об'єкта немає) або / (об'єкт є).

Умовою виявлення об'єкта є позитивна відповідь усіх сильних класифікаторів каскаду.

Сильний класифікатор своєю чергою складається з кількох слабких. Кожен слабкий класифікатор також повертає або 1. Для обчислення відповіді сильного класифікатора лінійна комбінація відповідей слабких порівнюється з порогом, у разі перевищення повертається 1, інакше – -1.

Первинною ознакою є наявність і величина контрасту між характерними ділянками зображення (такі ознаки називають Хаар-подібними). Слабкий класифікатор містить набір прямокутників, помічених вагами -1 і 1. За цими прямокутниками перевіряється ознака Хаара: виконується проєкція прямокутників на ділянку вхідного зображення, обчислюється інтеграл яскравості вхідного зображення по кожному з прямокутників, а отримані інтеграли сумуються з урахуванням ваги прямокутника (1 або -1). Для нормування результат поділяється на просту суму інтегралів (без урахування ваги).

Слабкий класифікатор також містить масив бінів – заздалегідь заданих чисел, які є можливими відповідями слабого класифікатора. Чисельне значення ознаки Хаара масштабується до відрізка $[0, p - 1]$, де p – довжина вектора бінів, що заокруглюється вниз і використовується як індекс у масиві бінів.

Оскільки об'єкт має значний (порівняно з пікселем) розмір, а детектор Віоли-Джонса не надто

чутливий до порушення вирівнювання каскаду щодо об'єкта (рис. 1), алгоритм можна прискорити. Для прискорення каскади застосовуються не до кожної точки зображення, а розріджено з деяким кроком, у кілька разів меншим за розмір шуканого об'єкта.

Найбільш ресурсомісткою операцією для обчислення детектора Віоли-Джонса є вивчення ознак Хаара, тобто різниць інтегралів зображень по парах (звичайно, суміжних) прямокутників.

Обчислення інтеграла проводиться з невикористанням інтегрального зображення, що для ізольованого прямокутника вимагає 4 доступу до зображення в пам'яті, 1 додавання та 2 віднімання.

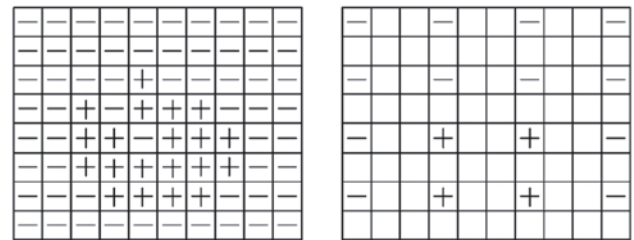


Рис. 1. Обчислення розпізнаючого каскаду на платі (ліворуч) і розрідженої (праворуч) сітках. «+» означає позитивне спрацювання, «-» – негативне, пуста клітка означає, що каскад у такій точці не обчислюється. Крок розрідження $(dx, dy)=(3,2)$

Для суміжних прямокутників, що мають спільні вершини, доступ до елемента в пам'яті потрібен єдиний раз, незалежно від того, скільки прямокутників до цієї вершини входить.

Найбільш витратними для сучасних систем тут є операції доступу до пам'яті. Їх можна прискорити за рахунок ефективного використання кешу даних процесора, що вимагає локальності та передбачуваності звернень до пам'яті.

Послідовність обробки даних у пам'яті також важлива у разі реалізації алгоритму на SIMD-архітектурах, тому можна назвати властивість щільності та послідовності звернень алгоритму до пам'яті SIMD-конформністю.

Більшість сучасних обчислювальних пристроїв мають SIMD-функціональність у тій чи іншій мірі (усі GPGPU та APU, розширення SSE, AVX, Neon на CPU), тому актуальна розробка SIMD-конформної реалізації алгоритму обчислення ознак Хаара.

Набір зсувів на інтегральному зображенні, що відповідають вершинам прямокутників Хаара, назовемо шаблоном, а вершини в ньому – вузлами. Алгоритм Віоли-Джонса, в якому каскади обчислюються на кожній точці зображення, має SIMD-конформність у разі обчислення першого сильного класифікатора, оскільки кожен вузол

шаблону послідовно проходить усі пікселі на зображенні. Однак у разі обчислення ознак Хаара на розрідженому зображенні SIMD-конформність порушується.

SIND-конформний алгоритм обчислення ознак Хаара на розріджених точках зображення.

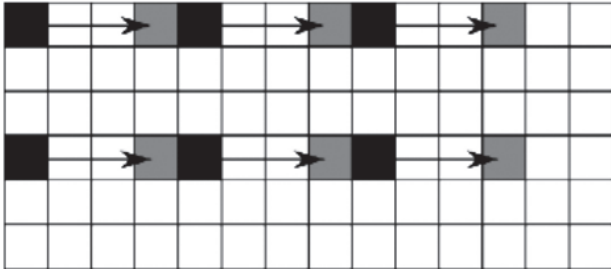


Рис. 2. Паттерн звернень до пам'яті під час переходу до наступної точки інтегрального зображення у разі використання класичної схеми на розрідженій сітці. Крок розрідження (dx, dy) 3D (3,2). Білим позначені точки інтегрального зображення, які не потрібні для обчислень, але можуть потрапити в кеш процесора, що знижує ефективність обчислень

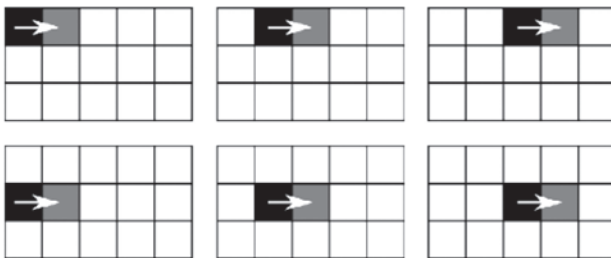


Рис. 3. Паттерн звернень до пам'яті для переходу до наступної точки зображення у разі використання запропонованої схеми на розрідженій сітці. Крок розрідження (dx, dy) (3,2) всі пікселі, крім наявних, заданий залишок від делення на крок розрідження. На такий підвбір алгоритмів мав би SIMD-конформність

Для відновлення SIMD-конформності в загальному випадку, коли зміщення вузлів шаблону мають різні залишки від поділу на крок розрідження, розіб'ємо всі зміщення та елементи інтегрального зображення на трупи з однаковим залишком від поділу на крок розрідження (по кожній з осей). Таким чином, якщо крок розрідження по осі x дорівнює dx , по, відповідно, dy , то виходить $ax \text{ " } dy$ груп. Для кожної групи сформуємо окрему вибірку інтегрального зображення з відповідною «фазою» (залишком від розподілу). Обчислення такої підвибірки будуть SIMD-конформними (рис. 1). У випадку, коли розміри інтегрального зображення w (ширина) і h (висота) кратні, відповідно, і dx , така процедура еквівалентна переупорядкуванню елементів інтегрального зображення і перетворення формулам:

$$\begin{aligned} X' &= x \bmod dx; \\ x' &= x \operatorname{div} dx; \\ w' &= w' * X' + x'; \end{aligned}$$

Застосувавши їх (для y і h все аналогічно), отримаємо координати, в які повинен бути переміщений елемент інтегрального зображення, що знаходився в позиції (x, y) .

Експериментальні дані показують прискорення запропонованого алгоритму порівняно з обчисленням «в лоб» на 5–15% у разі розрідження в 2–4 рази з урахуванням часу, необхідного на переупорядкування інтегрального зображення. За більшого розрідження різниця у продуктивності знижується. Це можна пояснити збільшенням кількості різних можливих фаз зсувів, що погіршує локальність звернень до пам'яті.

Оптимізація алгоритму Віюлі-Джонса з використанням OpenCL.

Для платформи APU Fusion

Технологія OpenCL передбачає поділ коду програми на «послідовну» частину (виконувану на CPU) та «паралельну», що виконується на GPU. Слова «послідовний» і «паралельний» взяті в лапки, оскільки CPU також матиме SIMD-функціональність, т. с. Виконуваний на ньому код також може бути розпаралелений, проте значно меншою мірою, ніж код, що виконується на GPU.

Усі паралельні процесори в технології SIMD виконують один і той же код, але з різними даними, тому завдання розпаралелювання полягає у розділенні вихідних даних на частини, які будуть паралельно оброблятися різними потоками. Наприклад, в алгоритмі Віюлі-Джонса кожен потік повинен детектувати наявність об'єкта у своїй сфері вхідного зображення.

У SIMD-архітектурах, реалізованих на CPU, потоки у разі звернення до пам'яті завжди читають послідовно розташовані осередки (тобто перший потік читає перше слово пам'яті, другий – безпосередньо наступне за ним і т. д.) – так звані *strided-операції*.

Особливістю GPU порівняно з іншими SIMD-пристроями є можливість доступу потоків до довільно розташованих осередків пам'яті, проте швидкість цього доступу дуже сильно варіюється залежно від багатьох факторів, і оптимізація алгоритму вимагає його реалізації таким чином, щоб виробляти тільки *strided-операції* доступу до пам'яті.

Оптимізація можлива за рахунок використання особливого типу константної тек-пам'яті, що підтримується GPU-стурною пам'яті.

Елементи такої пам'яті повинні бути особливим чином підготовлені перед запуском GPU-потоків

і не можуть бути змінені з потоків, але швидкість довільного читання з такої пам'яті значно перевищує несоалізовані читання зі звичайної пам'яті. Ця пам'ять має особливу адресацію, оптимізовану під зберігання одно-, дво- та тривимірних зображень. Було проведено низку тестів, що показали суттєвий вигравш у продуктивності під час використання константної текстурної пам'яті (у термінах OpenCL – image) як контейнер для масиву бінів.

Основні принципи оптимізації будь-якого алгоритму з використанням GPU є такими:

1. Розбиття завдання на паралельні потоки. Проведені авторами тести показали, що на платформі APU Fusion вищої продуктивності вдається досягти у разі збільшення кількості потоків.

2. Зниження накладних витрат на передачу управління та даних між CPU та GPU-кодом. У роботі розглядалося два варіанти розбиття завдання на потоки:

варіант 1: кожен потік GPU обробляє окремий піксель зображення (це дозволяє реалізувати запропонований вище SIMD-конформний алгоритм обчислення ознак Хаара за умови щільного зберігання зображення в пам'яті відсутності проміжків) між рядками, так звані «страйди», різні зображення обробляються послідовно;

варіант 2: кілька зображень склеюються в одне велике, потім кожен потік GPU обробляє один піксель об'єданого зображення. Другий варіант дозволяє збільшити кількість паралельних потоків, але збільшує накладні витрати на складання зображення частин. Спіження накладних передбачає порівняння різних схем передачі від CPU до GPU.

Розглядалися такі варіанти витрат:

варіант 1: ядро алгоритму (процедура, що виконується кожним потоком на GPU) містить лише обчислення слабкого класифікатора, а два зовнішні цикли (за всіма сильними класифікаторами і за всіма слабкими

варіант 2: ядро алгоритму містить обчислення сильного класифікатора (тобто цикл за слабкими класифікаторами), а цикл за сильними класифікаторами обчислюється на CPU;

варіант 3: ядро містить обчислення цілого каскаду (т. с. подвійний цикл – за сильним і слабким класифікаторам);

варіант 4: позаяк у більшості реальних додатків алгоритму Віоли-Джонса в кожній точці зображення

обчислюється не один, а кілька незалежних каскадів, у четвертому варіанті ядро містило потрійний цикл по каскадах, сильним класифікаторам кожного каскаду і слабким класифікаторам кожного сильного.

Оскільки OpenCL не підтримує чотиривимірних константних текстурних зображень, вони були реалізовані у вигляді тривимірних зображень, одним із вимірів якого насправді був двовимірний зріз.

Окремим питанням є порядок обчислення каскадів на GPU. Як уже вказувалося, на CPU значного прискорення вдається домогтися за рахунок того, що якщо хоча б один сильний класифікатор відповів, то подальший розгляд гіпотези про існування в цій галузі шуканого об'єкта безглуздий, і можна припиняти очищення всього каскаду і переходити до наступного. Однак каскадна схема передбачає наявність точок розгалуження (операторів if-then-else), що своєю чергою на паралельній архітектурі може призводити до суттєвого замілення роботи алгоритму (оскільки у разі если в частині потоків умову розгалуження виконано, а в частини – ні, то порушується SIMD-конформність). Якщо ж усі потоки йдуть по одній і тій же нетці (вийти з циклу за класифікаторами або завірити роботу), то наявність розгалуження призводить до прискорення роботи, як і в послідовній реалізації алгоритму.

Висновки. Проведений експеримент показав, що технологія OpenCL принципово дозволяє прискорити роботу алгоритму Віоли-Джонса, особливо для організації паралельної обробки кількох кадрів.

Проте водночас отримані результати демонструють значну залежність швидкості роботи програмного коду, що використовує OpenCL, від сторонніх факторів (таких як вибір операційної системи). Так, у ході виконаної роботи було показано, що поточне покоління APU не дає кратної переваги стосовно процесорів загального призначення за умови використання оптимізованого коду під Linux. На наш погляд, це вказує на недостатню готовність технології OpenCL для широкого використання.

Тим не менш надалі планується продовжити роботу над збільшенням швидкодії алгоритму. Одним із варіантів подальшого розвитку може бути переміщення масштабування каскадів із CPU на GPU.

Список літератури:

1. Viola P. and Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. V. 1. No. 1. IEEE Computer Society, 2001. P. 511–518.

2. Schapire R.E., Singer Y. Improved Boosting Algorithms Using Confidence-rated Predictions. *Machine Learning*. December 1999. V. 37, Issue 3. P. 297–33.

3. Усилин С.А., Николаев Д.П., Постников В.В. Поиск объектов в видеопотоке при известных кинематике и геометрической модели сцены. Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Часть IX. *Инновации и высокие технологии*. Москва : МФТИ, 2010. С. 67–69.

4. Усилин С.А., Николаев Д.П., Постников В.В. Локализация, ориентация и идентификация документов с фиксированной геометрией на изображении. Труды Института системного анализа РАН. *Обработка информационных и графических ресурсов* / Под ред. Арлазарова В.Л. Москва : Красанд/URSS, 2010. С. 248–261.

Ometsinskaya N.V., Lisovets S.M., Vyshemirska Ya.S., Yusypiv T.V., Zhovnerchuk I.V. ACCESS CONTROL SYSTEM BASED ON FACE RECOGNITION BY THE METHOD OF VIOLA-JONES

The paper discusses the issue of SIMD-conformity of Viola Jones' algorithm and investigates the possibilities of its parallelization on SIMD-architectures, including specialized graphics processors (GPUs). The SIMD-conformal implementation of the algorithm for calculating Haar features in the Viola-Jones algorithm has been developed.

Several variants of the GPU implementation of the Viola-Jones algorithm have been proposed, and numerous experiments have been conducted to compare these variants and sequentially implement the Viola-Jones algorithm on the same physical device (APU) that combines CPUs and GPUs.

To date, with the development of information technology, there are tools that we can not do without. The Internet is one such tool. This is not just an information retrieval system. Today, the Internet is an environment for leisure, communication, learning and work. This development has led to an explosion of interest in neural networks over the past few years, which are successfully used in various fields – business, medicine, technology, geology, physics. Neural networks have become practiced wherever you need to solve problems of forecasting, classification or management.

Biometric methods are used to identify a person. Due to the simplicity of face recognition and the large number of cameras in all aspects of human life, developments in face recognition are becoming increasingly important. The task of face recognition is relevant both in the field of intelligent environments and in security systems. Due to the demand for the development of face recognition algorithms, large companies are also working, but among open source products we can single out OpenCV. It is a library of algorithms for computer vision, image processing and general purpose numerical algorithms.

Key words: *Viola-Jones algorithm, object detection in the image, visual intelligence, SIMD, OpenCL, GPU.*