

УСКОРЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА ЭТАПЕ СРАВНЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ ГИСТОГРАММ В ПРОЦЕССЕ КОНТЕКСТНОГО ПОИСКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Шозда Н.С.

Кафедра ПМИИ, ДонГТУ
shozda@r5.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Natalia S. Shozda. Acceleration of computation for color histogram comparison in content-based color image retrieval. This work deals with the hardware acceleration of content-based color image retrieval. Effectiveness of parallel color histogram comparison is analyzed, acceleration of parallel algorithm is estimated. Author offers specialized computational node structure for color histogram comparison with Euclidean distance and histogram intersection.

Введение

Решение задачи контекстного поиска изображений, как было показано в [1], обладает значительной временной сложностью. В связи с этим весьма актуальна задача аппаратного ускорения вычислений при решении этой задачи. Поскольку процесс контекстного поиска изображений состоит из ряда последовательных независимых этапов, предложенная в [2] система для решения данной задачи архитектурно представляет собой конвейерную вычислительную систему. Исходными данными для работы такой системы являются изображение - образец поиска и база данных (БД) изображений, в которой хранятся сами изображения и вычисленные для них характеристики содержимого. Каждая из ступеней предложенной конвейерной ЭВМ выполняет один из этапов решения рассматриваемой задачи, а именно: дискретизацию цветов, построение цветовой гистограммы (ЦГ) исходного изображения, сравнение ЦГ, сортировку изображений. В данной работе рассматриваются вопросы аппаратного ускорения вычислений на этапе сравнения ЦГ.

Сравнение цветových гистограмм изображений

Назначение подсистемы сравнения цветových гистограмм заключается в вычислении расстояний между ЦГ изображения - образца и ЦГ изображений, хранящихся в БД. В дальнейшем вычисленные на данном этапе расстояния должны быть упорядочены по возрастанию с целью определения изображений, наиболее похожих на образец.

Для оценки различия ЦГ можно использовать ряд метрик. Рассмотрим особенности вычисления таких метрик, как конъюнкция гистограмм и евклидово расстояние в предположении, что для представления цветového содержимого используются нормализованные ЦГ.

Если задавать цвет тремя его компонентами в трехмерном цветovém пространстве, дискретизированном до $K1K2-K3$ цветов, то конъюнкция гистограмм h_i и I_2 может быть вычислена по формуле

$$D1 = \sum_{i=1}^{K1} \sum_{j=1}^{K2} \sum_{k=1}^{K3} |h_1[i, j, k] - h_2[i, j, k]|, \quad (1)$$

а евклидово расстояние - по формуле:

$$D2 = \sum_{i=1}^{K1} \sum_{j=1}^{K2} \sum_{k=1}^{K3} (h_1[i, j, k] - h_2[i, j, k])^2. \quad (2)$$

$$D1 = \sum_{l=1}^{K1 \cdot K2 \cdot K3} |h_1[l] - h_2[l]|, \quad (3)$$

$$D2 = \sum_{l=1}^{K1 \cdot K2 \cdot K3} (h_1[l] - h_2[l])^2. \quad (4)$$

Оценим временную сложность вычислений расстояний по этим формулам для традиционной однопроцессорной ЭВМ. Очевидно, время вычисления одной и той же величины не зависит от того, какая из вышеприведенных формул используется. Предположим, процессор может выполнить любую арифметическую операцию за время τ , и временные затраты, связанные с обращением к памяти, отсутствуют. Тогда время вычисления величины D1 составит

$$T_{\text{послед}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \tau. \quad (5)$$

Для вычисления величины D2 оценка времени будет такой же, поскольку в силу принятых ограничений время вычисления абсолютной величины и возведения в квадрат одинаковы.

Параллельное сравнение цветových гистограмм

При попытке распараллеливания вычислений, выполняемых по формулам (1) - (4), легко увидеть, что для решения применима ЭВМ SIMD - архитектуры, в которой все процессорные элементы (ПЭ) на каждом такте выполняют одну и ту же операцию: вычитание, затем вычисление абсолютной величины либо возведение в квадрат, после чего суммируются значения, полученные в ПЭ. При трехкомпонентном задании цвета и, соответственно, вычислении по формулам (1) и (2), естественным выглядит использование SIMD - процессора с кубической сеткой, содержащей $(K1 \cdot K2 \cdot K3)$ ПЭ. При использовании формул (3) и (4) следует использовать линейку из $(K1 \cdot K2 \cdot K3)$ ПЭ, в которой каждый ПЭ связан с двумя соседними и существует циклическая связь. Оценим временные затраты на вычисления по формулам для каждого из подходов, считая, что для каждого ПЭ выполняются условия, принятые для оценки временных затрат при вычислении на однопроцессорной ЭВМ. В этом случае время вычисления

конъюнкции гистограмм и евклидова расстояния также будет одинаковым. Кроме того, если временные затраты, соответствующие различным конфигурациям сетки ПЭ будут различаться, то только за счет выполнения итогового суммирования, поскольку предшествующие вычисления и в первом, и во втором случае выполняются за два такта. Поэтому в дальнейшем будем анализировать только время суммирования, для которого используем метод сдвигания [3]. При суммировании по этому алгоритму вначале выполняется одиночный циклический сдвиг значений и сложение содержимого ПЭ, затем сдвиг на 2 позиции и т.д. Количество позиций для выполнения очередного сдвига определяется элементами последовательности $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^n$, где n - ближайшее большее целое к числу $\log_2(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)$. При таком суммировании на векторной ЭВМ выполняется $\log_2(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)$ операций сложения и $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 - 1$ сдвигов. Общие временные затраты на суммирование в этом случае составят:

$$T_2^1 = \log_2(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) \cdot \tau + (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) \cdot \tau_c,$$

где τ_c - время сдвига. Учитывая, что $r = -r^s, s > 1$ [3], получим:

$$T_{пар}^1 = (\log_2(K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) + S \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 - 1)) \cdot \tau.$$

При использовании кубической сетки ПЭ суммирование выполняется поочередно в трех направлениях, и временные затраты составят:

$$\begin{aligned} T_{пар}^2 &= \tau \cdot \log_2 K_1 + (K_1 - 1) \cdot \tau_c + \\ &+ \tau \cdot \log_2 K_2 + (K_2 - 1) \cdot \tau_c + \\ &+ \tau \cdot \log_2 K_3 + (K_3 - 1) \cdot \tau_c = \\ &= \tau \cdot \log_2(K_1 + K_2 + K_3) + (K_1 + K_2 + K_3 - 1) \cdot \tau_c = \\ &= \tau \cdot (\log_2(K_1 + K_2 + K_3) + S(K_1 + K_2 + K_3 - 1)) \end{aligned}$$

Ускорение, достигаемое за счет распараллеливания [3], составит

$$E = \frac{T^{посл}}{T_{пар}^2} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{\log_2(K_1 + K_2 + K_3) + S(K_1 + K_2 + K_3 - 1)}. \quad (6)$$

Представленные на рисунке 1 графики роста временных затрат в зависимости от количества цветов в изображении ($K_1=K_2=K_3, S=10$) показывают, что использование кубической сетки лучше с точки зрения ускорения вычислений.

На рисунке 2 показана зависимость числа выполняемых операций от количества цветов в изображении при сравнении ЦГ на однопроцессорной ЭВМ и при использовании кубической сетки ПЭ. Очевидно, что за счет распараллеливания достигается значительное сокращение времени вычисления расстояния между гистограммами.

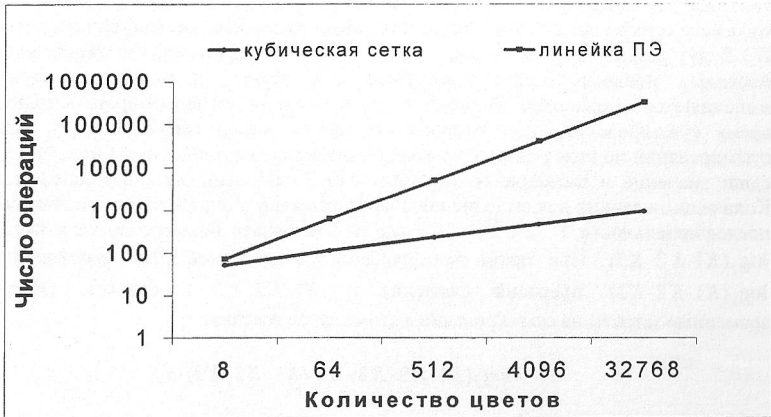


Рисунок 1 - Сравнение времени вычисления расстояния при использовании различной конфигурации ПЭ

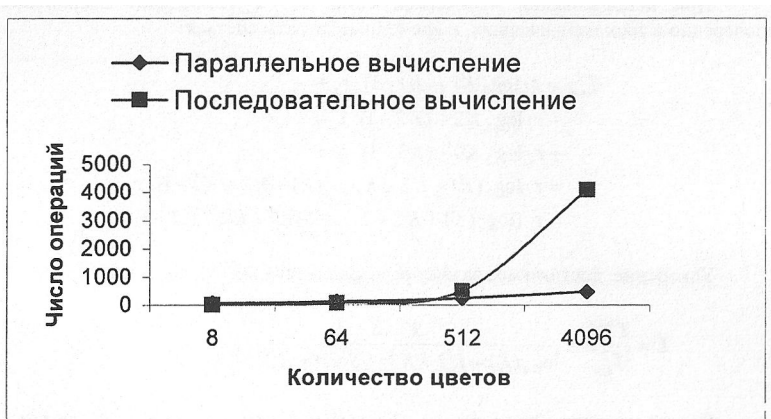


Рисунок 2 - Время сравнения ЦГ при использовании однопроцессорной ЭВМ и кубической сетки ПЭ

Организация процессорного элемента для реализации вычисления расстояния между цветовыми гистограммами

Для вычисления конъюнкции гистограмм и евклидова расстояния предлагается использовать процессорный элемент, структура которого приведена на рисунке 3. В состав ПЭ входят два сумматора, блок для вычисления

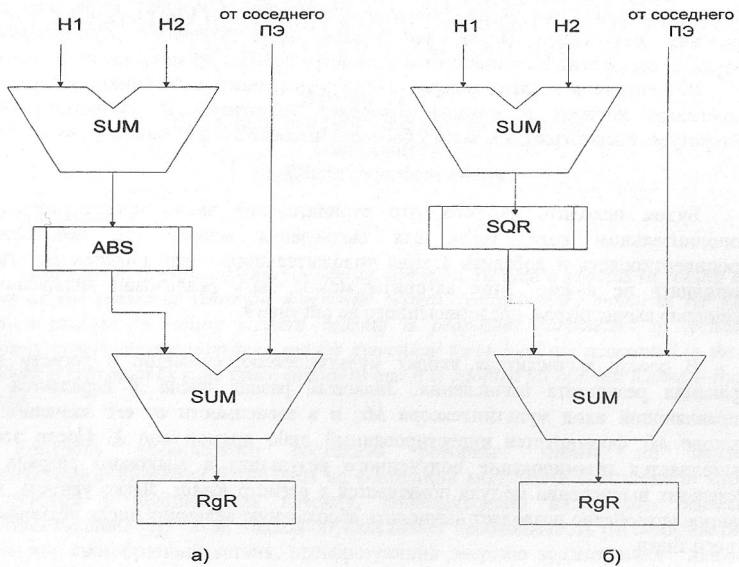


Рисунок 3 - Структура ПЭ для вычисления конъюнкции гистограмм (а) и евклидова расстояния (б) между ЦГ

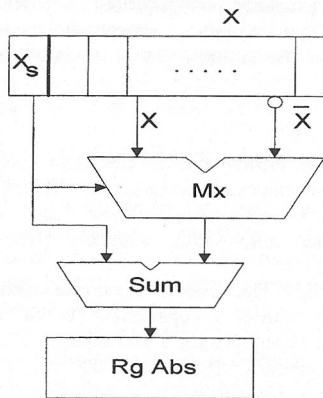


Рисунок 4 - Устройство для вычисления модуля числа

абсолютной величины числа либо для возведения в квадрат и регистр для хранения результата. После выполнения заключительного суммирования результат вычислений накапливается в регистре первого процессорного элемента.

Возведение в квадрат можно заменить операцией умножения, аппаратная реализация которой и методы ускорения излагаются в соответствующей литературе. Рассмотрим, как может быть реализовано вычисление модуля числа.

Будем исходить из того, что отрицательное число представляется в дополнительном коде, тогда для вычисления модуля его необходимо проинвертировать и добавить 1. Для положительного числа никаких действий выполнять не нужно. Этот алгоритм может быть реализован аппаратно с помощью вычислителя, представленного на рисунке 4.

В состав вычислителя входят мультиплексор, сумматор и регистр для хранения результата вычисления. Знаковый разряд числа X передается на управляющий вход мультиплексора Mx , и в зависимости от его значения на выходе Mx формируется инвертированный либо прямой код X . После этого выполняется суммирование полученного результата и знакового разряда X . Результат вычисления модуля помещается в регистр $RgAbs$. Легко увидеть, что данное устройство позволяет вычислить абсолютную величину числа независимо от его знака.

Заключение

Проведенная теоретическая оценка временной сложности процесса сравнения цветовых гистограмм показывает, что при распараллеливании вычислений возможно значительное сокращение времени вычислений. Использование в качестве процессорных элементов специализированных вычислительных устройств вместо универсальных процессоров способствует снижению стоимости системы.

Литература

1. Башков Е.А., Шозда Н.С. Использование специализированной ЭВМ для решения задачи контекстного поиска изображений/ В кн.: Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем". Випуск ІО.-Донецьк: ДонДТУ, 1999, с. 247-252
2. Шозда Н.С., Башков Е.А. Применение специализированной ЭВМ для решения задачи контекстного поиска изображений/ В кн.: "ІІ Всеукраїнська молодіжна науково-практична конференція з міжнародною участю" Людина і космос": Збірник тез".- Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2000, с. 272.
3. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем: Пер. с англ.-М.: Мир, 1991-367 с.