

## ПАРАЛЛЕЛЬНО - РЕКУРСИВНОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.В. Сергеев, Н.И. Глумов, В.В. Мясников

Решение задач обнаружения и распознавания локальных объектов на цифровых изображениях при высоких требованиях к скорости и качеству обработки информации требует разработки новых эффективных алгоритмов и сквозных информационных технологий анализа изображений. При этом весьма перспективными представляются технологии, основанные на использовании параллельно-рекурсивных алгоритмов обработки изображений в режиме скользящего окна [1-3]. Наиболее важным и трудоемким этапом выделения локальных объектов на цифровом изображении  $x(n_1, n_2)$  является формирование для каждого положения скользящего окна, заданного на плоскости дискретных аргументов  $(n_1, n_2)$ , 1-мерного вектора признаков  $\{x(n_1, n_2)\}_{i=1}^{l-1}$ . В данной ситуации часто используются линейные признаки, вычисляемые с помощью дискретных сверток изображения с конечными ядрами

$$r_i(n_1, n_2) = \sum_{m_1} \sum_{m_2} h_i(m_1, m_2) x(n_1 - m_1, n_2 - m_2), \quad (1)$$

где  $h_i(m_1, m_2)$ - ядро для  $i$ -го признака,  $D$  - область его ненулевых значений, определяющая форму и размеры окна обработки. Ниже, рассматривая свертки вида (1), индекс  $i$  для краткости изложения будем опускать, а в ряде случаев - вводить более удобную "двумерную" индексацию.

В данной работе рассматриваются ядра сверток (1), задаваемые фрагментами (двумерными отрезками) полиномиальных функций, для которых обеспечивается рекурсивное вычисление признаков. Вычислительная сложность алгоритмов формирования таких признаков не зависит от размеров окна обработки, что особенно важно при больших размерах окон (в несколько сотен и тысяч отсчетов).

Вычисление степенных моментов

Как известно, обнаружение и распознавание двумерных объектов при неизвестном ракурсе их наблюдения эффективно реализуется с помощью моментных инвариантов, которые рассчитываются по степенным моментам поля яркости [4]. Для случая, когда объекты являются локальными (пространственно-ограниченными), в [2] предложен параллельно-рекурсивный алгоритм вычисления степенных моментов

$$\mu_{kl}(n_1, n_2) = \sum_{(m_1, m_2) \in D} m_1^k m_2^l x(n_1 - m_1, n_2 - m_2) \quad 0 \leq k \leq K, \quad 0 \leq l \leq L \quad (2)$$

в скользящем прямоугольном окне обработки изображения

$$D: -M_1 \leq m_1 \leq M_1^*, \quad -M_2 \leq m_2 \leq M_2^*, \quad (3)$$

где  $M_1, M_1^*, M_2, M_2^*$  - параметры, задающие границы окна по координатам ( $M_1 + M_1^* \geq 0, M_2 + M_2^* \geq 0$ ) Моменты (2) вычисляются каскадно (сначала по одной, а затем по другой координате) с помощью рекуррентных соотношений:

$$\begin{aligned} \mu_k(n_1, n_2) &= \sum_{i=0}^k C_k^i \mu_i(n_1 - 1, n_2) + (-M_1^*)^k x(n_1 - M_1^* - 1, n_2) - \\ &\quad - (M_1^* + 1)^k x(n_1 + M_1^*, n_2) \\ \mu_l(n_1, n_2) &= \sum_{j=0}^l C_l^j \mu_0(n_1, n_2 - j) + (-M_2^*)^l \mu_0(n_1, n_2 + M_2^*) - \\ &\quad - (M_2^* + 1)^l \mu_0(n_1, n_2 - M_2^* - 1) \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\mu_i(n_1, n_2)$  - формируемая промежуточная двумерная последовательность,  $C_k^i$  - биномиальные коэффициенты.

Для вычисления всех двумерных моментов, имеющих порядки (степени) по координатам до  $K$  и  $L$  включительно, требуется выполнить

$$[K, L] = 0.5(K+1)[K^2 + 4 + (L+1)(L+4)]$$

операций сложения (вычитания) и

$$[K, L] = 0.5[K(K+3) + (K+1)L(L+3)]$$

операций умножения на каждый отсчет обрабатываемого изображения.

Синтез цифровых фильтров с полиномиальным представлением импульсных характеристик. При корреляционном обнаружении объектов на изображении полиномиальные ядра вычисляемых сверток можно интерпретировать как базисные

функции разложения конечной импульсной характеристики линейного цифрового фильтра-коррелятора

$$h(m_1, m_2) = \sum_{Q_1} \sum_{Q_2} \beta_{ij} h_{ij}(m_1, m_2) \quad (5)$$

где  $\{\beta_{ij}\}_{Q_1, Q_2}$  - коэффициенты разложения;  $Q$  - множество индексов двумерных базисных функций  $h_{ij}(m_1, m_2) = p_i(m_1)p_j(m_2)$ , используемых в разложении (5).

$p_i(m) = \sum_{k=0}^K a_k m^k$  - одномерный дискретный полином порядка  $k$  с коэффициентами

$\{a_k\}'_{k=0}^K, (a_K \neq 0)$ . Линейные полиномиальные признаки изображения  $y_{ij}(n_1, n_2)$  вычисляются по общей формуле (1), где они (а также соответствующие им базисные функции) некоторым образом упорядочены в векторы. Взвешенная сумма признаков

$$y(n_1, n_2) = \sum_{Q_1} \sum_{Q_2} \beta_{ij} y_{ij}(n_1, n_2) \quad (6)$$

с одной стороны, может рассматриваться как линейная дискриминантная функция, служащая для отделения объектов от фона, а с другой стороны - является выходным сигналом фильтра с полиномиальной импульсной характеристикой, аппроксимирующей требуемую импульсную характеристику коррелятора. В (6) можно использовать рассмотренные выше степенные моменты (2). Однако существует семейство полиномиальных базисов, обеспечивающих более простой (по сравнению с рекурсиями (4)) алгоритм вычисления признаков [3].

Как показано в [3], для любого двумерного полиномиального базиса рассматриваемого вида можно построить аналогичный (4) рекурсивный алгоритм вычисления признаков. Путем надлежащего выбора коэффициентов полиномиальных базисных функций обеспечивается обнуление большей части коэффициентов в записанных рекурсивных соотношениях. При этом наблюдается существенное сокращение сложности формирования двумерных полиномиальных признаков  $y_{ij}(n_1, n_2)$  ( $0 \leq k_1 \leq K, 0 \leq l_1 \leq L$ ) по сравнению с приведенными выше оценками:

$$L(K+1) \approx 2(K+1)(L+2), \quad L_1 \approx (K+1) \approx K+L \quad (7)$$

Если же требуемая импульсная характеристика фильтра с достаточной точностью аппроксимируется одной разделимой полиномиальной функцией

$$h_{ij}(m_1, m_2) = p_i(m_1)p_j(m_2)$$

то корреляционная обработка изображения требует вычисления единственного полиномиального признака, при этом

$$U_n(K, L) = 5K + 3L + 4, \quad U_m(K, L) = 2K + 2L + 4$$

Аппроксимация осесимметричных импульсных характеристик

Во многих задачах аппроксимируемая импульсная характеристика двумерного цифрового фильтра является осесимметричной.

$$h\{m_1, m_2\} = h\{-m_1, m_2\} = h\{m_1, -m_2\}.$$

Тогда можно ограничиться использованием полиномиального базиса, содержащего только четные базисные функции

$$P_k(m) = \sum_{i=0}^{k/2} c_i m^{2i}, \quad 0 \leq k = 2l \leq K.$$

В этом случае также строится параллельно-рекурсивный алгоритм расчета двумерных полиномиальных признаков, но специально адаптированный к ситуации четности. Можно показать, что при надлежащем построении четного базиса сложность алгоритма снижается еще в 2-4 раза по сравнению с вариантом (7). Оценки вычислительной сложности здесь равны

$$U_n(K, L) = 0.75(K+2)\left\lceil L+4\frac{2}{3} \right\rceil + 1, \quad U_m(K, L) = 0.25(K+2)(L+2) - 1$$

Далее в докладе рассматриваются примеры решения задач обнаружения и распознавания двумерных объектов на изображении, и демонстрируются значительные преимущества предложенных алгоритмов перед известными алгоритмами прямой и быстрой свертки

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 93-01-00486)

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глумов Н.И., Коломиец Э.И., Сергеев В.В. Информационная технология обнаружения объектов на изображении в режиме скользящего окна // Научное приборостроение - 1993 - N 1 - С.72-88

1. Glumov N.I., Krainukov N.I., Sergeyev V.V., Khramov A.G. The Fast Algorithm of Image Approximation in a Sliding Window // Pattern Recognition and Image Analysis. - 1991. - N 4. - pp. 424-426.

2. Glumov N.I., Myasnikov V.V., Sergeyev V.V. Polynomial Bases for Image Processing in a Sliding Window // Pattern Recognition and Image Analysis. - 1994. - N 4. - pp. 408-413.

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Е.В. Симонова

Информационные сети (ИС) обеспечивают распределенную обработку данных за счет разделения ресурсов сети среди многочисленных пользователей. Эффективная организация сетевых структур достигается на основе концепции многоуровневой архитектуры, воплощенной в базовой эталонной модели взаимодействия открытых систем.

Одной из важнейших и самых сложных задач, возникающих при исследовании и проектировании ИС, является количественная оценка параметров эффективности сети (пропускной способности или вероятности отказа в обслуживании, средней сетевой задержки передачи блока данных, средней задержки передачи блока данных в очередях) в зависимости от методов маршрутизации, реализуемых на сетевом уровне многоуровневой архитектуры в глобальных сетях (ГС) и от методов множественного доступа, реализуемых на уровне управления доступом к передающей среде в локальных сетях (ЛС), и выра ботка рекомендаций по рациональной реконфигурации сети.

Эффективным и во многих случаях единственным методом исследования и проектирования ИС является имитационное моделирование. Современная концепция имитационного моделирования заключается в создании информационных технологий, ориентированных на проблемное применение и позволяющих автоматизировать процесс перехода от предметно-ориентированной формализации знаний к программе, имитирующей механизмы работы исследуемой системы.