XXXIII Неделя науки СПбГПУ. Материалы межвузовской научно-технической конференции. Ч.XII: С.13-14, 2005.

УДК 004.93

А.Э.Кротов (5 курс, каф. КИТвП), Д.А.Тимофеев, асп.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА ДЛЯ ПОИСКА ПРИМИТИВОВ НА ЗАШУМЛЕННОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

При решении многих задач анализа изображений возникает необходимость поиска на изображении множеств точек, соответствующих заданным примитивам. В частности, эта задача встает при сегментации изображения, при использовании структурных методов распознавания образов и при поиске фрагментов изображения.

Формально задачу поиска примитива можно поставить следующим образом. Дано растровое бинарное изображение (множество точек интереса), содержащее аддитивный шум. Необходимо построить аппроксимации всех таких кривых, что существует n >= N точек, расстояние от которых до соответствующей кривой не превосходит заданного d. Значения параметров N и d задают пороги, предотвращающие ложное обнаружение примитива. Вид функции расстояния от точки до кривой определяется параметрической моделью примитива.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать преобразование Хафа (Hough transform).

Рассмотрим семейство кривых на плоскости, заданное параметрическим уравнением: $F(a_1, a_2, \ldots, a_n, x, y) = 0$, где F – функция, задающая примитив, $a_1, a_2, \ldots, a_n$ – параметры семейства кривых, x, y – координаты на плоскости. Параметры семейства кривых образуют фазовое пространство, каждая точка которого (конкретные значения параметров $a_1, a_2, \ldots, a_n$) соответствует некоторой кривой. Ввиду дискретности машинного представления и входных данных (изображения), требуется перевести непрерывное фазовое пространство в дискретное. Для этого в фазовом пространстве вводится сетка, разбивающая его на ячейки, каждая из которых соответствует набору кривых с близкими значениями параметров. Каждой ячейке фазового пространства можно поставить в соответствие число (счетчик), представляющее количество точек интереса на изображении, которые принадлежат хотя бы одной из кривых, соответствующих данной ячейке. Анализ счетчиков ячеек позволяет найти на изображении кривые, на которых лежит наибольшее количество точек интереса.

Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Обнулить счетчики всех ячеек;
2. Для каждой кривой, расстояние до которой от текущей точки интереса не более d:
   a. Увеличить соответствующий счетчик;
   b. Выбрать ячейки со счетчиком больше N;
   c. Параметры кривой, соответствующей каждой такой ячейке, принять равным координатам центра выбранной ячейки в фазовом пространстве;

Входными параметрами являются множество точек интереса, расстояние d, $m_1, m_2, \ldots, m_n$ – количество ячеек сетки по каждому из параметров, модель искомых кривых: $F(a_1, a_2, \ldots, a_n, x, y) = 0$. Понятно, что чем меньше выбираются значения $m_1, m_2, \ldots, m_n$, тем менее точным будет поиск.

Алгоритмическая сложность данного метода: $O(m_1 \times m_2 \times \ldots \times m_n \times Q)$, где $m_1, m_2, \ldots, m_n$ – количество ячеек сетки по каждому из параметров, а Q – количество точек интереса. Затраты памяти – $O(m_1 \times m_2 \times \ldots \times m_n)$. Таким образом, эффективность предлагаемого метода резко падает с ростом числа параметров кривой (в геометрической прогрессии) и количеством точек интереса (в арифметической прогрессии). На практике оказывается, что использовать метод для поиска кривых с 4 и большим числом параметров невозможно. Поэтому предлагается следующая модификация алгоритма: поиск разбивается на несколько этапов (количество этапов задается). На первом этапе решается задача для малых $m_1, m_2, \ldots, m_n$, отсеиваются ячейки со значением счетчика меньше допустимого. На следующем этапе задача решается в пространстве значений параметров каждой из ячеек. Решение, полученное на последнем этапе, и будет итоговым решением задачи. Таким образом, эффективность повышается на несколько порядков. В полученной реализации такого метода затраты памяти были сведены к $O((k_1 + k_2 + \ldots + k_n) \times g \times Q)$, где g – количество этапов, а $k_1, k_2, \ldots, k_n$ – количество ячеек на каждом этапе. Подобное решение эквивалентно решению задачи при помощи исходного метода при $m_1 = k_1^g, m_2 = k_2^g, \ldots, m_n = k_n^g$.

Предлагаемый метод позволяет находить множество кривых одного типа (описываемых одной моделью) на заданном изображении, устойчив к шуму, не привязан к конкретной модели кривых. Например, можно задавать фигуру, форма которой полностью определяется некоторым набором параметров (например, многоугольники).

Описываемый метод уступает в эффективности специализированным методам, ориентированным на использование конкретной параметрической модели, а также рандомизированным методам, которые для оценки количества принадлежащих примитиву точек используют случайную выборку точек интереса. При этом он универсален и достаточно эффективен для практического использования.