

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Международная лаборатория статистики случайных
процессов и количественного финансового анализа

**Международная научная
конференция
«Робастная статистика и
финансовая математика – 2019»**

(04–06 июля 2019 г.)

Сборник статей

Под редакцией
д-ра физ.-мат. наук, профессора С.М. Пергаменщикова,
канд. физ.-мат. наук, доцента Е.А. Пчелинцева

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2019

Сегментация изображений на основе алгоритма обнаружения разладки¹

Воробейчиков С. Э., Удод В. А.

Национальный исследовательский Томский государственный
университет, Томск
e-mail: sev@mail.tsu.ru

Аннотация

Рассматривается задача сегментации цифрового изображения на однородные в смысле постоянного значения яркости фрагменты. Для определения границ фрагментов используется алгоритм обнаружения разладки [2], который модифицирован для обнаружения многократных разладок с различными уровнями среднего значения яркости на отдельных участках. Построенный многоуровневый алгоритм применяется последовательно к каждой строке и столбцу изображения. В каждом из полученных фрагментов вычисляется среднее значение яркости и все элементы фрагмента получают это значение. Приводятся результаты численного моделирования.

Ключевые слова: алгоритм сегментации, цифровое изображение, обнаружение момента разладки.

Постановка задачи. Одной из задач, возникающих при обработке изображений, является их сегментация на непересекающиеся фрагменты, однородные по некоторому признаку (цвету, яркости и т.д.). Этап сегментации является предварительным и может использоваться в дальнейшем в задачах дефектоскопии [1, 3].

Предполагается, что цифровое изображение размера $n \times m$ описывается уравнениями

$$B(i, j) = B_f + F(i, j) + B_N(i, j) \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Здесь B_f - фон; $F(i, j)$ - функция "яркости" изображения (сигнальная составляющая), обусловленная наличием объектов на изображении; $B_N(i, j)$ - шум. Задача – произвести сегментацию изображения на однородные по яркости фрагменты. Для этого предлагается использовать модифицированный алгоритм обнаружения разладки (кумулятивных сумм) [2].

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, Госзадание 2.3208.2017/4.6

Алгоритм обнаружения разладки. Рассмотрим ситуацию, когда последовательность наблюдений x_n является последовательностью независимых гауссовских случайных величин, у которых дисперсия является постоянной величиной, а среднее значение в момент разладки меняется с a_0 на a_1 . Тогда согласно [2] алгоритм кумулятивных сумм (АКС) определяется следующим образом: вычисляются последовательно суммы

$$S_{n+1} = \max(S_n + x_{n+1} - r, 0), \quad S_0 = 0, \quad r = (a_1 + a_0)/2, \quad a_1 > a_0, \quad (2)$$

и решение о наличии разладки принимается, когда значение S_n превысит некоторый порог h , являющийся параметром алгоритма. В случае $a_1 < a_0$ используется другая сумма

$$C_{n+1} = \max(C_n - x_{n+1} + r, 0), \quad C_0 = 0. \quad (3)$$

В качестве оценки момента разладки принимается значение $k + 1$, где k – то значение n , при котором сумма S_n (или C_n) последний раз равнялась нулю перед принятием решения о наличии разладки.

Отметим, что АКС ориентирован на обнаружение однократной разладки, связанной с увеличением (или уменьшением) среднего значения в наблюдаемой последовательности. При сегментации отдельной строки изображения может происходить многократное изменение среднего значения. Рассмотрим следующий пример. Пусть процесс $x(n)$ описывается уравнениями

$$x_n = s_n + \xi_n, \quad \xi_n \sim N(0, 0.5), \quad n = 1, \dots, 500,$$

$$s_n = \begin{cases} 1, & n \leq 300, \quad n > 400 \\ 2, & 301 \leq n \leq 400. \end{cases}$$

Таким образом, среднее значение процесса x_n изменяется дважды: увеличивается на единицу при $n = 300$ и уменьшается на единицу в точке $n = 401$ и на интервале наблюдений имеется два момента разладки. График процесса x_n представлен на рисунке 1. Далее

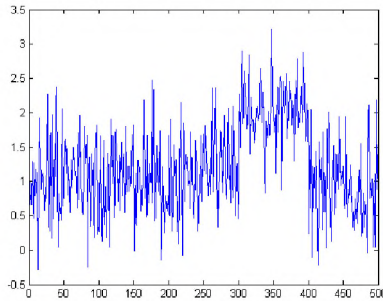


Рис. 1. Наблюдаемый процесс x_n

построим графики кумулятивных сумм

$$\begin{aligned} S_{n+1} &= \max(S_n + x_{n+1} - 1.5, 0), \\ C_{n+1} &= \max(C_n - x_{n+1} + 1.5, 0), \quad h = 10.0. \end{aligned}$$

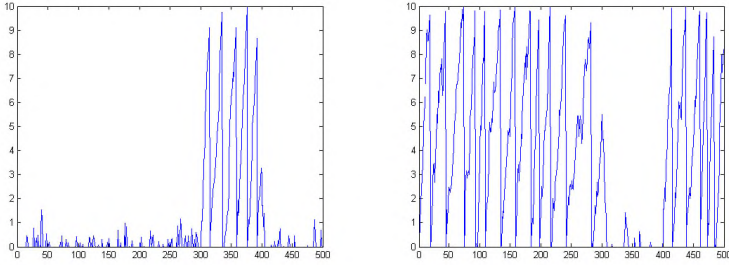


Рис. 2. Кумулятивные суммы S_n и C_n

Отметим, что при превышении любой суммой порога h ее значение обнуляется и суммирование продолжается со следующего значения x_n . Из рисунков 2 видно, что сумма S_n , ориентированная на обнаружение увеличения среднего, принимает значения, близкие к нулю на интервалах $[1, 300]$ и $(401, 500]$ и несколько раз достигает порога h на отрезке $[300, 400]$, где среднее значение наблюдаемого процесса имеет большее значение. Соответственно, сумма C_n многократно превышает порог h на интервалах $[1, 300]$ и $(401, 500]$ и принимает значения, близкие к нулю на отрезке $[300, 400]$.

Для обнаружения многократной разладки на интервале наблюдений будем использовать одновременно две суммы S_n и C_n и фиксировать все моменты t_i превышений суммами порога h . Если в последовательности t_i несколько значений подряд получены за счет превышения порога одной и той же суммой, то будем оставлять только первое из этих значений. В результате в последовательности t_i будут оставлены только те значения, в которых соседние элементы получены при превышении порога различными типами сумм. При этом будут получены оценки моментов разладки. Отметим, что алгоритм обнаружения многократной разладки с использованием только одной суммы S_n рассматривался в [4]. При этом требовалось иметь всю реализацию процесса x_n . Достоинством предложенного в данной работе алгоритма обнаружения многократных разладок является возможность использования его при последовательном поступлении данных.

Сегментация изображений. Описанный алгоритм обнаружения многократной разладки используем для выделения однородных по яркости участков цифрового изображения. Зададим возрастающие граничные значения яркостей B_k , $k = 0, \dots, N$. Например, эти значения могут выбираться равномерно в диапазоне от минимального до максимального значения яркостей точек изображения. Далее выделяются те участки изображения, которые можно считать однородными для диапазона яркостей $(B_{k-1}, B_k]$. Сначала значение k полагается равным N . Изображение "просматривается" построчно и на каждой строке выделяются участки однородности "k-го уровня" (строчные сегменты "k-го уровня") с помощью описанного выше алгоритма обнаружения многократной разладки $S_j = \max(S_{j-1} + x_j - r_k, 0)$, $S_0 = 0$, $r_k = (B_k + B_{k-1})/2$, $j = 1, \dots, m$, $C_j = \max(C_{j-1} - x_j + r_k, 0)$, $C_0 = 0$, $j = 1, \dots, m$, $h = 2(B_k - B_{k-1})$. Здесь x_j представляет собой j -й элемент текущей строки изображения. Далее участки однородности "k-го уровня" выделяются аналогичным образом на каждом столбце изображения (столбцовые сегменты "k-го уровня"). В результате объединения полученных сегментов получаем множество Q_k .

Затем значение k уменьшается на 1 и этап выделения однородных сегментов следующего уровня повторяется. При этом во множество Q_k включаем только те точки изображения, которые не вошли во множества Q_p , $p = k + 1, \dots, N$, которые были получены на предыдущих шагах. В результате каждая точка изображения будет включена только в одно из множеств Q_k .

На следующем шаге алгоритма каждое из множеств Q_k разбивается на непересекающиеся подмножества. На каждом из полученных подмножеств вычисляется среднее значение яркости и каждая точка сегментированного подмножества получает значение, равное вычисленному среднему. В результате будет получено сегментированное изображение.

Результаты моделирования. Для иллюстрации работы алгоритма сегментации рассмотрим следующий пример. Смоделированное изображение имеет размер 100×100 . Значение фона B_f в (1) равно 100. Объектом на изображении является квадрат с тремя уровнями яркости внутри вложенных квадратов, отличающимися по яркости друг от друга и от фона на 10 единиц (от 110 до 130). Изображение искажено шумом $B_N(i, j)$, представляющим собой независимые гауссовские случайные величины с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением $\sigma = 5.56$. Исходное и зашумленное изображения представлены на рисунке 3.

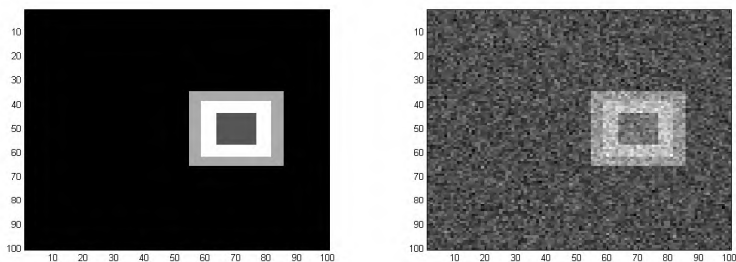


Рис. 3. Исходное и зашумленное изображение

Результаты применения алгоритма сегментации приведены на рисунке 4.

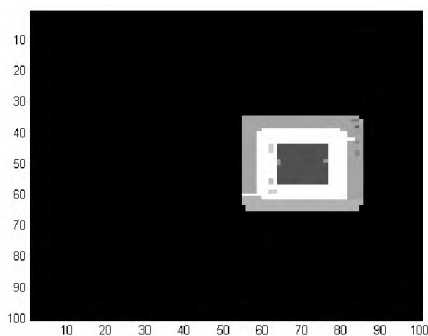


Рис. 4. Сегментированное изображение

По результатам моделирования можно сделать вывод, что предложенный алгоритм сегментации обеспечивает достаточно высокое качество при высоком уровне шумов.

Список литературы

- [1] Baniukiewicz P. Automated Defect Recognition and Identification in Digital Radiography// J. Nondestruct. Eval. 2014. V. 33. No. 3. P. 327-334. doi: 10.1007/s10921-013-0216-6.
- [2] Page E.S. Continuous Inspection Schemes// Biometrika. 1954. V. 4. No. 1. P. 141-154.

- [3] Park J.S., Kim J.K. Calculation of effective atomic number and normal density using a source weighting method in a dual energy X-ray inspection system// Journal of the Korean physical society. 2011. V. 59. No. 4. P. 2709-2713.
- [4] Vorobeychikov S.E., Chakhlov S.V., Udod V.A. A Cumulative sums algorithm for segmentation of digital X-ray images//J. Nondestruct. Eval. 2019. V. 38. doi: 10.1007/s10921-019-0616-3.

Vorobeychikov S. E., Udod V. A. (Tomsk State University, Tomsk, 2019) **Image segmentation on the base of change point algorithm.**

Abstract. The problem of image segmentation is considered. A change-point detection algorithm ([2]) is applied to detect the edges of segments homogeneous in brightness. This algorithm has been modified to detect the multiple change-points with different levels of brightness. The constructed algorithm is repeatedly applying to every row and every column of the image. The average value of the brightness over each fragment is calculated and each point of the fragment gets this value. The results of simulation are presented.

Key words: segmentation algorithm, digital image, change-point detection.