

Раздел IV. Математические методы искусственного интеллекта

УДК 532.5.031

Н.А. Фоменко

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА К ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВОЛНОВЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛКОВОДНОМ ВОДОЕМЕ

Цель данной работы заключается в обработке изображения, полученного в результате исследований волновых гидродинамических процессов в мелководном водоеме. Первичная обработка результатов натурного эксперимента, основанная на методах искусственного интеллекта (распознавание образов), позволяет определить значения функции возвышения уровня, зависящей от времени. Разработан алгоритм для определения расположения меток на измерительном шесте. Разработанный алгоритм и его программная реализация позволяют достаточно точно определять месторасположение объектов заданных размеров, имеющих прямоугольную форму.

Искусственный интеллект; обработка изображения; распознавание образов; натуральный эксперимент.

N.A. Fomenko

APPLICATION ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS, TO PROCESS DATA OBTAINED DURING THE STUDY WAVE HYDRODYNAMICAL PROCESSES IN SHALLOW BASINS

The aim of the work is processing of the image, obtained during investigation of the wave hydrodynamics processes in shallow basins. Preprocessing of results of the full-scale experiment based on the methods of artificial intelligent (pattern recognition) to determine presence the value of elevation level function in dependence on time. In the paper we present an algorithm for detection of labels on the measuring pole. The developed algorithm and its program implementation allow to detect accurately location of objects of specified sizes, having a rectangular shape.

Artificial intelligence; image processing; pattern recognition; full-scale experiment.

Введение. Данная статья посвящена первичной обработке результатов натурного эксперимента на основе методов искусственного интеллекта (распознавание образов) [1–2]. В работе определяются значения функции возвышения уровня, зависящей от времени.

1. Постановка задачи. На рис. 1 приведено исходное изображение. Требуется определить расположение поплавков (двух белых прямоугольников) относительно измерительного шеста (положение шеста определяется черными прямоугольниками).

Для определения положения поплавков относительно измерительного шеста, необходимо распознать белые прямоугольники заданного размера. Размер прямоугольников, приведенных на рис. 1, составляет: 12х60 пикселей (размер изображения равен 480х640 пикселей). Изображение хранится в памяти в виде массива, принимающего значения 0–255. Будем обозначать данный массив литерой А. Размеры белых прямоугольников обозначим: $i_n = 12$, $j_n = 60$. Размеры изображения N= 480, M=640.

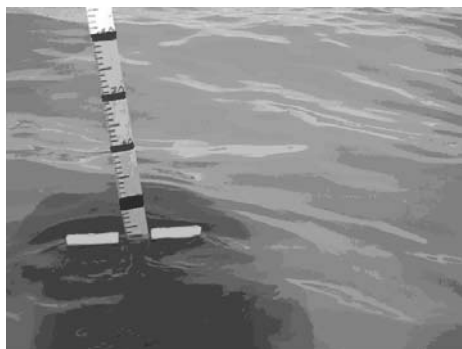


Рис. 1. Исходное изображение

2. Алгоритм решения поставленной задачи. Распознавание местонахождения прямоугольников происходит в два этапа. На первом этапе убираются крупные светлые объекты (объекты, превосходящие по размерам описанные выше белые прямоугольники). На следующем этапе убираются объекты размером меньше чем заданные белые прямоугольники.

Для того чтобы убрать объекты, превышающие по размеру заданные прямоугольники, применялся следующий фильтр:

$$B_{i,j} \leftarrow 3.5A_{i,j} - (A_{i+i_n,j} + A_{i-i_n,j} + A_{i,j+j_n} + A_{i,j-j_n}), \quad (1)$$

где $i = \overline{i_n, N-i_n-1}$, $j = \overline{j_n, M-j_n-1}$.

Для удобства массив В представляется в форме полутонального изображения (элементы массива принимают значения от 0 до 255). При этом отрицательные значения массива обнуляются:

$$B_{i,j} \leftarrow 0, \text{ если } B_{i,j} < 0, \text{ при } i = \overline{i_n, N-i_n-1}, j = \overline{j_n, M-j_n-1}.$$

Далее массив В обрабатывается согласно следующему выражению:

$$B_{i,j} \leftarrow \frac{255B_{i,j}}{buf}, \text{ где } buf = \max(B), \text{ при } i = \overline{i_n, N-i_n-1}, j = \overline{j_n, M-j_n-1}.$$

Результат работы данного фильтра приведен на рис. 2. Из рис. 2 видно, что белые прямоугольники стали ярче, крупные светлые объекты практически исчезли, но остались мелкие светлые детали изображения.

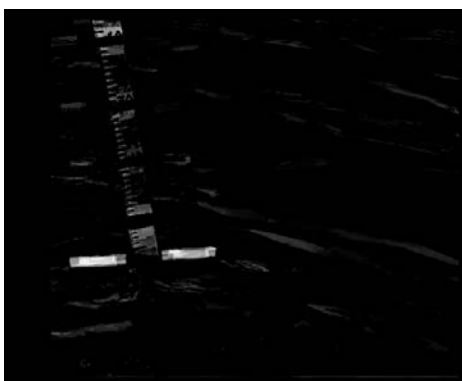


Рис. 2. Результат фильтрации по выделению прямоугольников (в результате работы фильтра исчезают крупные светлые объекты)

На втором этапе мы избавляемся от высокочастотных шумов (сглаживаются элементы размерами меньше чем заданные белые прямоугольники). Для этого найдем следующую сумму:

$$D_{i,j} \leftarrow \sum_{k=0}^{n_i} \sum_{p=0}^{n_j} B_{i+k,j+p} \quad \text{при } i = \overline{0, N-i_n-1}, j = \overline{0, M-j_n-1}. \quad (2)$$

Для вычисления данной суммы используется следующий алгоритм. Вначале находится вспомогательный массив С, согласно следующей формуле:

$$C_{i,j} \leftarrow \sum_{k=0}^{i+n_i} \sum_{p=0}^{j+n_j} B_{k,p} \quad \text{при } i = \overline{0, N-i_n-1}, j = \overline{0, M-j_n-1}. \quad (3)$$

Массива С вычисляется в два шага. На первом шаге выполняется следующая операция:

$$C_{i,j+1} \leftarrow B_{i,j} + C_{i,j+1} \quad \text{при } i = \overline{0, N-i_n-1}, j = \overline{0, M-j_n-2}. \quad (4)$$

На втором шаге:

$$C_{i+1,j} \leftarrow C_{i,j} + C_{i+1,j} \quad \text{при } j = \overline{0, M-j_n-1}, i = \overline{0, N-i_n-2}. \quad (5)$$

После вычисления массива С, вычисляется массив D, который обрабатывается согласно следующему выражению:

$$D_{i,j} \leftarrow C_{i,j} - C_{i-i_n,j} - C_{i,j-j_n} - C_{i-i_n,j-j_n} \quad (6)$$

при $i = \overline{i_n, N-i_n-1}, j = \overline{j_n, M-j_n-1}$.

Использование предложенного алгоритма (3)–(6) для вычисления выражения (2) позволяет существенно сократить вычислительные трудозатраты по сравнению с непосредственным нахождением суммы (2). Результат использования фильтра (2), позволяющего избавиться от объектов размером меньше чем заданные белые прямоугольники, приведен на рис. 3.

На рис. 3 мы видим светлые объекты, примерно совпадающие с размерами заданных белых прямоугольников. Но в то же время они уступают по яркости выделяемым белым объектам.

Следует отметить, что центры светлых прямоугольников, приведенные на рис. 3, смещены относительно центров белых прямоугольников, приведенных на рис. 1, на $i_n/2, j_n/2$ по осям Ох, Оу соответственно.



Рис. 3. Результат сглаживания изображения

Очевидно, что в результате работы фильтра на рис. 3 стало проще выделить область, где предположительно находятся белые прямоугольники, чем из исходного изображения, приведенного на рис. 1.

Следующим шагом все светлые объекты, у которых яркость ниже яркости заданных белых прямоугольников, окрашиваются в темный цвет. В противном случае – белым, что представлено на рис. 4, на котором белым цветом изображено предположительное место расположения геометрических центров светлых объектов, которые были смещены относительно центров белых прямоугольников, приведенных на рис. 1.

Для последующей обработки нас будут интересовать координаты точек белого цвета.



Рис. 4. Месторасположение предположительных геометрических центров белых прямоугольников

Следующей задачей после выделения координат точек вероятного местонахождения белых прямоугольников является построение оптимальной прямой, проходящей через центры искомым объектов.

Для построения оптимальной прямой $y = kx + b$ воспользуемся методом минимальных квадратов. Согласно методу для нахождения тангенса угла наклона прямой (k) и точки пересечения с осью Ox (b), нужно решить систему уравнений

$$\begin{cases} k \sum_{i=0}^n 1 + b \sum_{i=0}^n x_i = \sum_{i=0}^n y_i, \\ k \sum_{i=0}^n x_i + b \sum_{i=0}^n x_i^2 = \sum_{i=0}^n x_i y_i, \end{cases} \quad (7)$$

где (x_i, y_i) – координаты светлых точек; k – тангенс угла наклона прямой, наиболее вероятно проходящей через центр белых прямоугольников; b – угол пересечения прямой с осью Ox .

На рис. 5 приведены результаты работы метода наименьших квадратов. В качестве исходного изображения для данного алгоритма использованы данные, приведенные на рис. 4 (нахождение предположительных геометрических центров белых прямоугольников).

На рис. 6 приведена прямая, проходящая через центры белых прямоугольников, нанесенная на исходное изображение.

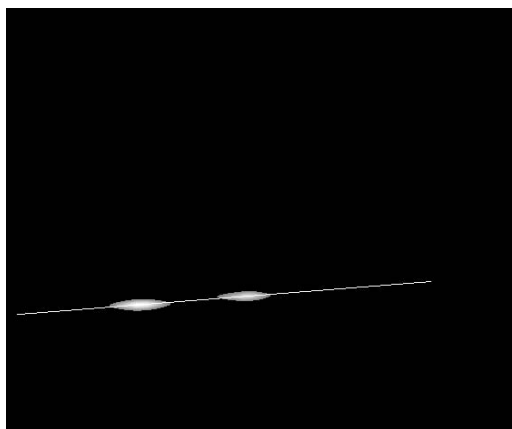


Рис. 5. Результат работы метода наименьших квадратов

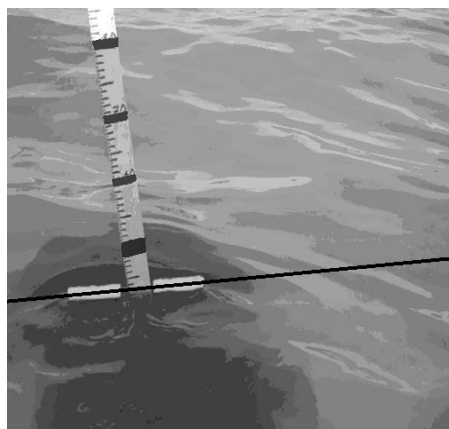


Рис. 6. Изображение прямой, проходящей через центры белых прямоугольников

При построении данной прямой учли смещение изображения, приведенного на рис. 3, относительно изображения, приведенного на рис. 1.

После построения прямой, проходящей через центры белых прямоугольников, необходимо произвести операции аналогичные описанным выше, для выделения измерительного шеста, на котором нанесены метки в виде черных прямоугольников.

Распознавание черных прямоугольников происходит так же, как и распознавание белых прямоугольников, в два этапа. На первом этапе убираются крупные темные объекты (объекты, превосходящие по размерам описанные выше черные прямоугольники). На следующем этапе убираются объекты размером меньше чем заданные черные прямоугольники. Результат работы разработанного алгоритма приведен на рис. 7.

Следующим этапом обработки изображения является определение точки пересечения линий, проходящих через центры белых и черных прямоугольников, относительно нанесенных на шест меток. Далее построим зависимость значений яркости (массива D) от пространственной координаты y при условии $x = |ky + b|$, которая приведена на рис. 8.

Обозначим через Y массив значений яркости на прямой, предположительно проходящей через центры темных прямоугольников.

Следующим этапом обработки является определение значений координат меток на шесте. Для определения расположения меток на шесте был разработан следующий алгоритм:

1. Вводятся две переменные l – номер точки, f – вспомогательная переменная (флажок), m – значение начала метки. В начале алгоритма данным переменным присваиваются нулевые значения.
2. Цикл по переменной j .
3. Для определения начала метки используется следующее условие:
 - ♦ если $Y_j > 0$ и $f = 0$, то в переменную m записывается значение j , а в переменную f значение 1.
4. Для определения конца метки используется следующее условие:

- ♦ если $Y_j = 0$ и $f = 1$, то в переменную f записывается значение 0, а элемент массива R_k принимает значение $\frac{j+m}{2}$.

5. Проверка условия выхода из цикла: $j = 0, M - j_n - 1$.

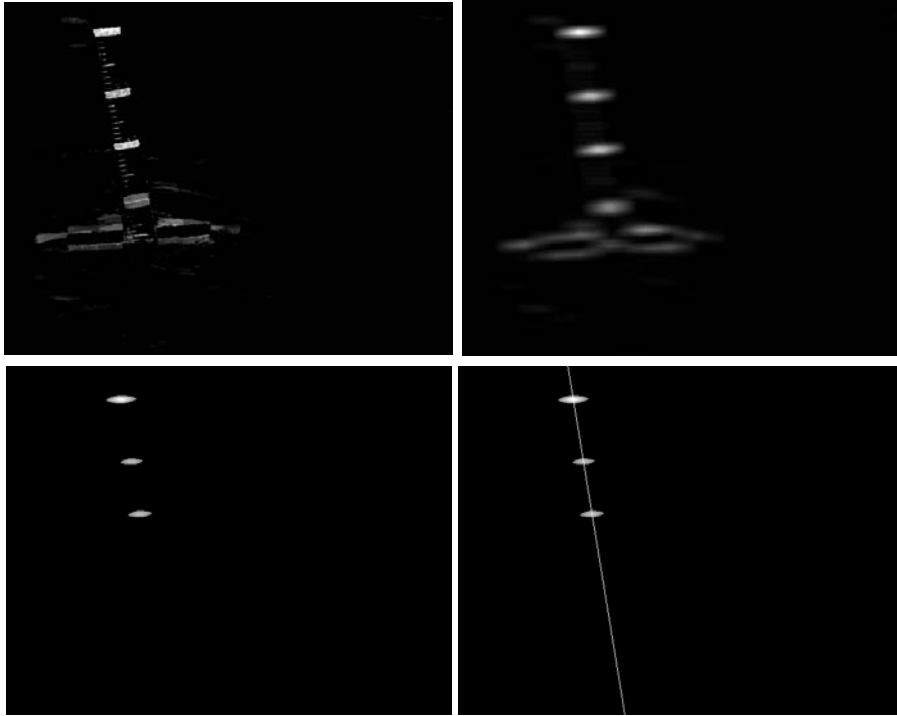


Рис. 7. Результаты выделения прямой, проходящей через центры светлых объектов

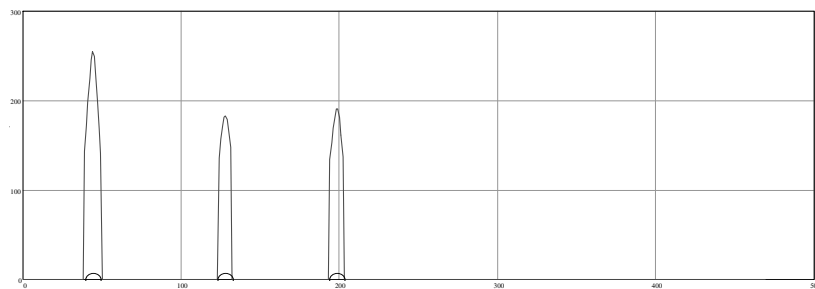


Рис. 8. Зависимость яркости

Входными данными алгоритма является массив Y , а в качестве выходного параметра выступает массив R . Этот алгоритм был использован для определения месторасположения меток на шесте. В результате работы приведенного выше алгоритма было определено, что на шесте имеются 3 метки, центры которых принимают следующие значения: $R = \{44, 128, 198\}$. Данные значения соответствуют месторасположению центров меток на шесте.

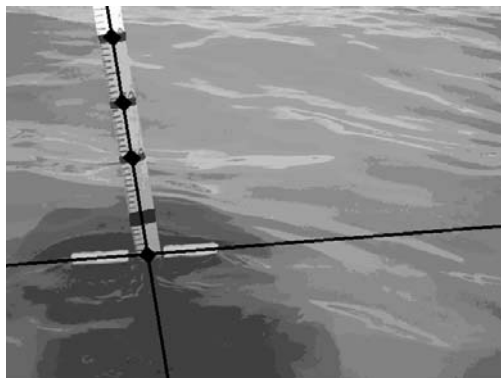


Рис. 9. Определение месторасположения функции возвышения уровня относительно меток, нанесенных на измерительный шест

На рис. 9 приведено исходное изображение, линии, предположительно проходящие через белые и черные прямоугольники, а также месторасположение центров черных прямоугольников и функции возвышения уровня. Для определения точки пересечения прямых был использован метод Крамера.

Выводы. Разработанный алгоритм и его программная реализация позволяют достаточно точно определять месторасположение объектов прямоугольной формы. Результаты работы алгоритма могут быть использованы при изучении параметров волновых процессов на мелководье. Результаты измерений могут быть использованы при моделировании волновых гидродинамических процессов [3–6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лепский А.Е., Броневиц А.Г.* Математические методы распознавания образов. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. –155 с.
2. *Лепский А.Е.* Об устойчивости центра масс векторного представления в одной вероятностной модели зашумления контура изображения // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 1. – С. 82-92.
3. *Сухинов А.И., Тимофеева Е.Ф., Чистяков А.Е.* Построение и исследование дискретной математической модели расчета прибрежных волновых процессов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 8 (121). – С. 22-32.
4. *Фоменко Н.А.* Моделирование гидродинамических процессов при обтекании корпуса судна // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 8 (121). – С. 139-147.
5. *Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А.* Построение дискретной двумерной математической модели транспорта наносов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 8 (121). – С. 32-44.
6. *Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А.* Двумерная гидродинамическая модель, учитывающая динамическое перестроение геометрии дна мелководных водоемов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 8 (121). – С. 159-167.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н. А.И. Жорник.

Фоменко Наталья Алексеевна – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: fomenko.n86@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 89034855580; кафедра высшей математики; аспирантка.

Fomenko Natalya Alexeevna – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: fomenko.n86@mail.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +79034855580; the department of higher mathematics; postgraduate student.