

**ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРЕДОБРАБОТКИ
ДВУМЕРНЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНСТРУМЕНТОВ СТАТИСТИКИ И ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА WOLFRAM LANGUAGE**

У. С. Игнатчик

*Белорусский государственный университет, Беларусь, Минск,
uliana.ignatchik@gmail.com*

В работе приведены варианты подготовки имитирующих натурные дистанционные наблюдения данных для вычислительных экспериментов. Описаны примеры использования функций системы Wolfram Mathematica для устранения искажений путем применения инструментов прикладной статистики, сопоставлением с результатами, полученными с помощью сверточной нейронной сети.

Ключевые слова: имитация натуральных данных; устранение шумов; прикладная статистика; сверточные нейронные сети; Wolfram Mathematica.

**EXAMPLES OF SOLVING A PROBLEM OF PREPROCESSING
TWO-DIMENSIONAL DATA USING STATISTICS AND ARTIFICIAL
INTELLIGENCE WITH WOLFRAM LANGUAGE**

U. S. Ihnatchyk

Belarussian state university, Belarus, Minsk, uliana.ignatchik@gmail.com

This work presents approaches to generating simulated data that emulates natural remote observations for computational experiments. Provided examples demonstrating the use of Wolfram Mathematica functions to eliminate distortions (small-scale noise) in digital fields by applying statistical analysis tools in comparison with convolutional neural network.

Keywords: simulated observational data; noise removal; applied statistics; convolutional neural networks (CNN); Wolfram Mathematica.

Подготовка данных для исследования

Рассмотрим задачу удаления шума из значений функции на равномерной сетке узлов. Зададим исходные данные:

1. В качестве исследуемой функции выбрана гладкая поверхность, задаваемая выражением

$$z = f(x, y) = e^{-(-9+x)^2 - (-2+y)^2} - \frac{2}{3} e^{-(-7+x)^2 - (-3+3y)^2} \quad (1)$$

где $x \in [5; 12], y \in [0; 4]$.

2. Для численного моделирования, имитируя наблюдения, на первом этапе вычисляются значения функции на равномерной сетке узлов. Шаг может быть разным, предварительно рассмотрены варианты 0.025, 0.05, 0.1, 0.2. Сопоставления карт изолиний выбранной эталонной функции $z = f(x, y)$ и интерполирующих сеточных функций, получаемых с помощью функции Wolfram Mathematica ListContourPlot на наборах данных с перечисленными значениями шагов, показали, что представительными можно считать результаты варианта с шагом 0.1. При значениях шага 0.025, 0.05 разница в изолиниях незначительна, а при шаге 0.2 слишком велика. В результате далее работаем с матрицей значений размерности 71×41 .

3. На втором этапе вычисленные сеточные данные искажаются наложением шумов. Используется генератор случайных чисел RandomReal [1], случайные значения шума из равномерного распределения на интервале $[-0.04, 0.04]$. Также отметим, что шум накладывается на внутренние узлы, граничные остаются без изменений.

Для наглядности результатов визуализации функциями Wolfram Language ContourPlot и ListContourPlot [2] рассмотрены и представлены в иллюстрациях ниже линии уровня при значениях

$$z \in \{-0.3, -0.2, -0.15, -0.1, 0.1, 0.15, 0.2, 0.4, 0.6\}$$

Для сопоставления результатов проводилась качественная оценка в виде визуального сравнения исходных, зашумленных и обработанных данных, а также количественная оценка с использованием среднеквадратичного отклонения [3].

Среднеквадратичная ошибка для принятого и используемого далее варианта зашумленных данных по сравнению с исходными равна 0.0043.

Удаление шума с помощью анизотропного диффузионного фильтра

Исходные данные рассматриваем как сумму “полезного сигнала” и аддитивного шума. Соответственно задача состоит в том, чтобы максимально уменьшить шум при сохранении “полезного сигнала”.

Запрограммированный анизотропный диффузионный фильтр [4] (модуль anisotropicDiffusion) выбран в силу его адаптивности:

- В местах с малым градиентом фильтр активно сглаживает, подавляя шум.

- В местах с высоким градиентом диффузия ограничивается, сохраняя особенность данных.

Ключевые фрагменты кода модуля: Module, Dimensions, Do, норма градиента, дискретный оператор дивергенции по 4 компонентам.

Приведенные результаты получены в варианте:

- Число итераций: 50;
- Шаг по времени: 0.015;
- Чувствительность к градиенту: 0.08.

В итоге среднеквадратичная ошибка между исходными и восстановленными данными равна 0.004, то есть уменьшилась на 5.81% по сравнению с исходной.

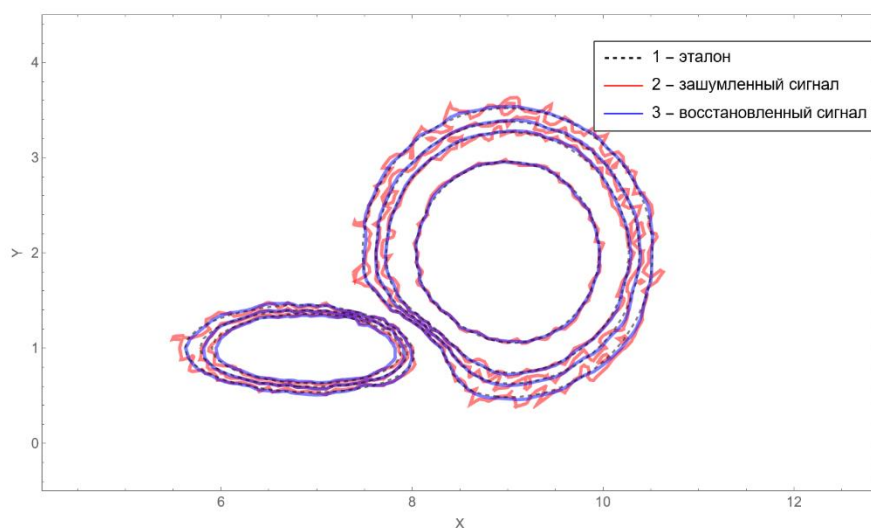


Рис. 1. Результат анизотропного диффузионного фильтра. Эталон (1), зашумленный сигнал (2), восстановленный сигнал (3)

Удаление шума с помощью сверточной нейронной сети

Сверточная нейронная сеть часто используется в задачах удаления шума благодаря следующим особенностям:

- способна автоматически определить сложные зависимости в данных;
- эффективно удаляет шум с сохранением “полезного сигнала”;
- полученные знания способна применить на данные, не встречавшиеся ранее.

Для решения задачи разработана модель, представляющая следующую структуру [5]:

- Входной слой принимает данные размерностью 71×41 ;

- 6 сверточных слоев с ядром размерностью 3×3 и padding со значением 1 для сохранения размерности;

- В качестве функции активации между слоями выбрана сигмоида.

Для обучения и тестирования нейронной сети необходимо достаточное количество данных, исходя из этого было принято решение заменить коэффициенты в исходной функции на параметры и случайным образом подобрать их на подготовленной сетке.

В результате сформирован набор данных, в котором 500 тренировочных и 100 тестовых образцов, каждый из которых представляет собой пару исходных и зашумленных данных.

Ключевые фрагменты кода модуля: createDataset, NetChain, NetTrain.

Параметры обучения [6]:

- Функция потерь: MSE;
- Количество эпох: 70;
- Коэффициент скорости обучения: 0.001;
- Размер батча: 32.

В результате тестирования усредненная среднеквадратичная ошибка на всем наборе тестовых данных составила 0.0005, что позволило уменьшить исходную на 88.17%.

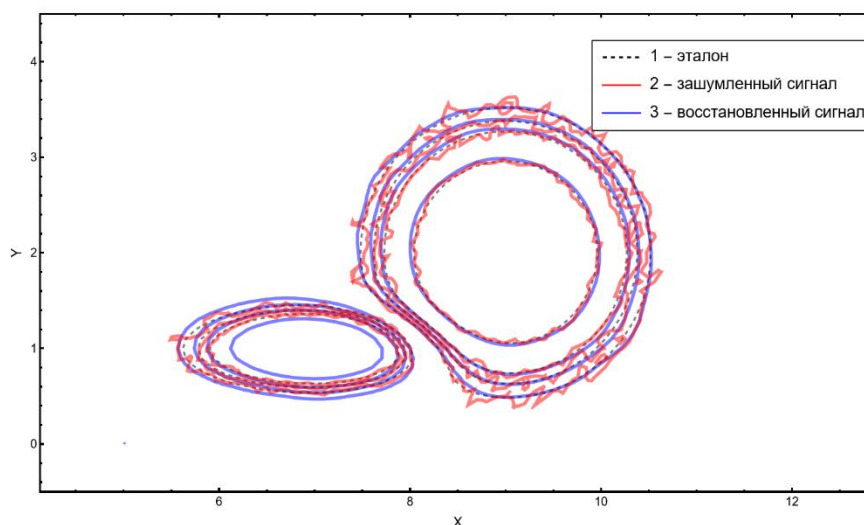


Рис. 2. Результат сверточной нейронной сети. Эталон (1), зашумленный сигнал (2), восстановленный сигнал (3)

Библиографические ссылки

1. Random Number Generation [Электронный ресурс] / Wolfram Language Documentation. Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/Random-NumberGeneration.html> (date of access: 21.03.2025)

2. Data Visualization [Электронный ресурс] / Wolfram Language Documentation. Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/DataVisualization.html> (date of access: 21.03.2025)
3. Statistical Data Analysis [Электронный ресурс] / Wolfram Language Documentation. Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/Statistics.html> (date of access: 21.03.2025)
4. *Pietro Perona*, Jitendra Malik Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1990. Том 12. № 7. С.629 – 633.
5. Neural Network Construction & Properties [Электронный ресурс] / Wolfram Language Documentation. Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/NeuralNetworkConstruction.html> (date of access: 21.03.2025)
6. Neural Network Operations [Электронный ресурс] / Wolfram Language Documentation. Режим доступа: <https://reference.wolfram.com/language/guide/NeuralNetworkOperations.html> (date of access: 21.03.2025)