

Использование машинного обучения в задачах количественной металлографии

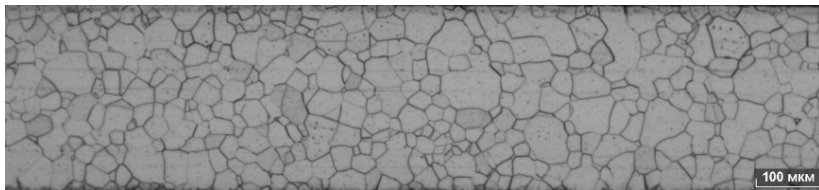
Ковун В.А., Каширина И.Л., Бондаренко Ю.В

Воронежский государственный университет

2019

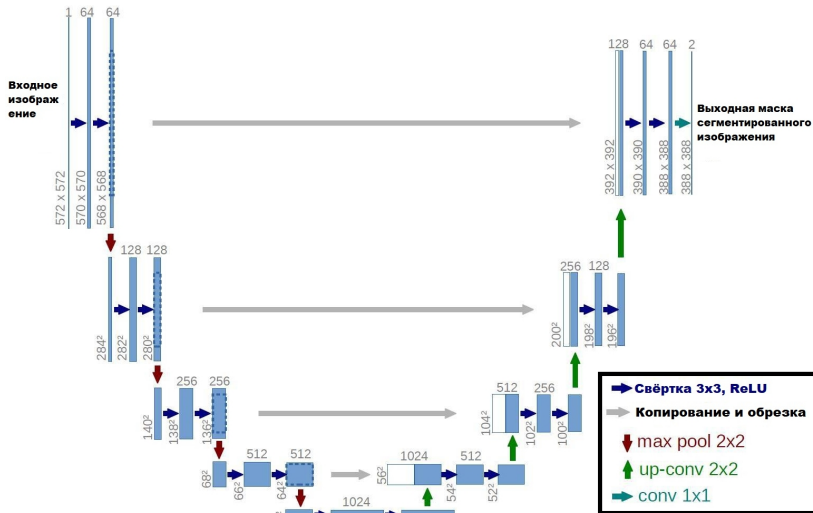
Постановка задачи

- Выделить замкнутые контуры зерен металла на исходном изображении;
- Вывести обработанное изображение с отмеченными контурами зёрен;
- Вычислить площади зёрен;
- Построить гистограмму распределения площадей зёрен.



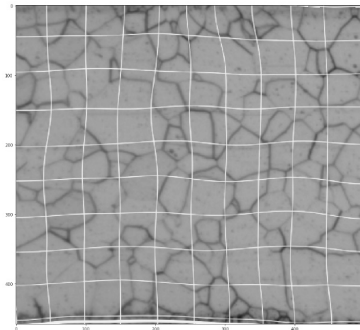
Пример исходного изображения шлифа металла

Сеть U-Net



Обучение сети U-Net

- 1 Разрезание входных изображений и их масок на фрагменты 256x256 пикселей;
- 2 Аугментация изображений (`elastic_transform`, повороты и отражения);
- 3 Нормализация итоговых фрагментов.



Пример работы `elastic_transform`

Параметры эксперимента:

- 1 Размер пакета (батча): 16;
- 2 Количество эпох: 30;
- 3 Количество батчей на одну эпоху при обучении: 50;
- 4 Количество батчей на одну эпоху при валидации: 10;
- 5 Оптимизатор: Adam;

Функция ошибок – бинарная кросс-энтропия:

$$L(y, \hat{y}) = -y \log \hat{y} - (1 - y) \log (1 - \hat{y}) \quad (1)$$

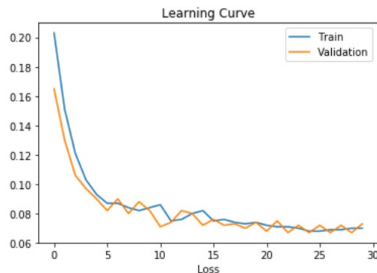
В качестве метрики точности была использована метрика Dice score:

$$dice(Y, \hat{Y}) = \frac{2 \sum_{i,j} y_{ij} \hat{y}_{ij}}{\sum_{i,j} y_{ij}^2 + \sum_{i,j} \hat{y}_{ij}^2}, \quad (2)$$

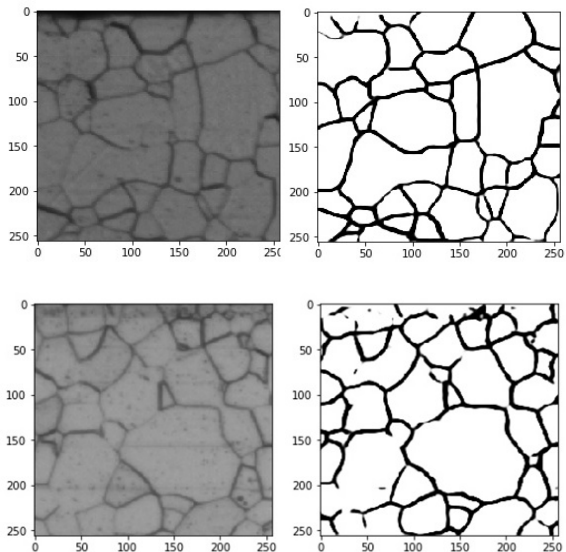
где $Y = (y_{ij})_{i-1}^H \times_{j-1}^W$ – построенная алгоритмом карта сегментации (которая может содержать вещественные значения), $\hat{Y} = (\hat{y}_{ij})_{i-1}^H \times_{j-1}^W$ – корректная карта сегментации (содержащая бинарные значения).

Для обучения нейросетевой модели были сформированы обучающая и тестовая выборки. Размер обучающей выборки (после разрезания и аугментации) – 2800 изображений, размер тестовой – 700.

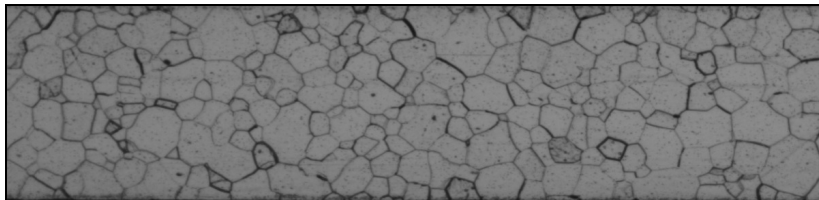
Выборка	loss	DS
Обучающая	0.067	0.9083
Тестовая	0.079	0.8946



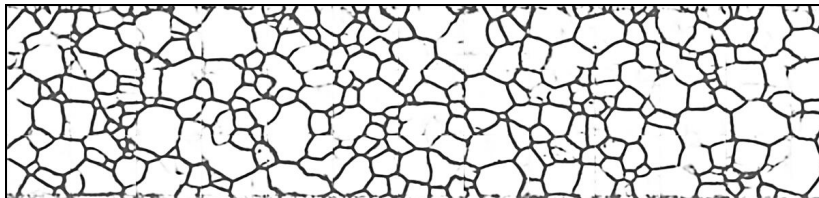
Примеры работы сети



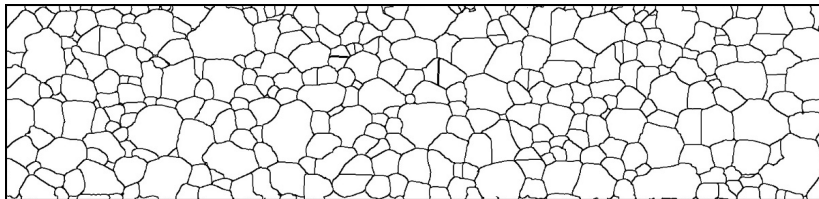
- Контрастирование пикселей;
- Эрозия и дилатация изображения;
- Использование алгоритма водораздела (watershed) для поиска сегментов на изображении;
- Отыскание контуров и площадей найденных алгоритмом сегментов.



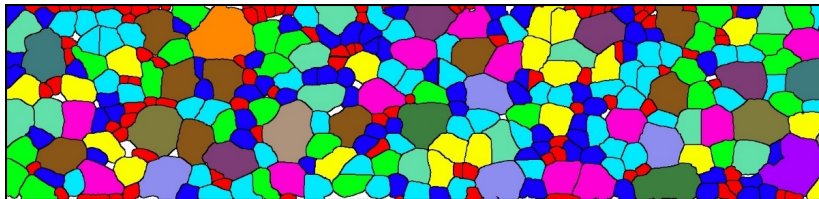
Исходное изображение



Результат работы U-Net (после склейки)

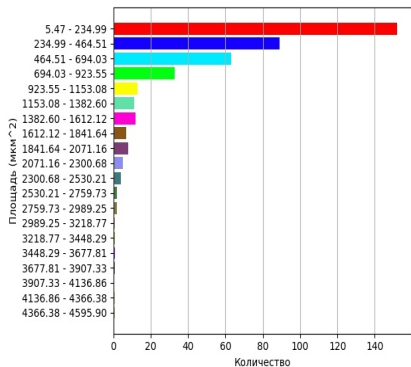


Результат постобработки

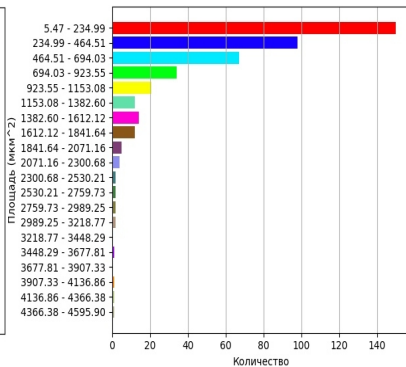


Окраска сегментов по интервалам площадей

Гистограммы



Эталон



Результат

Сравнение гистограмм (метрики)

Метрики, используемые в функции `compareHist()` из библиотеки `OpenCV` для сравнения гистограмм двух распределений:

Корреляция:

$$d_1(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum_I (H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum_I (H_2(I) - \bar{H}_2)^2}} \quad (3)$$

где $\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J)$

Хи-квадрат:

$$d_2(H_1, H_2) = \sum_I \frac{(H_1(I) - H_2(I))^2}{H_1(I)} \quad (4)$$

Пересечение:

$$d_3(H_1, H_2) = \sum_I \frac{\min H_1(I), H_2(I)}{\max H_1(I), H_2(I)} \quad (5)$$

Статистика	Значение
Корреляция	0.996
Хи-квадрат	12.11 ($p < 0.01$)
Пересечение	10.1 (91%)

Предложенный метод демонстрирует гибкость нейронных сетей в обработке изображений. Нейронная сеть U-Net показала себя применимой в задаче сегментации микрофотографий срезов металла. Хороший результат достигается при совмещении нейросетевого подхода с классическим алгоритмом сегментации, что позволяет обоим алгоритмам взаимно компенсировать недостатки. Сравнение результатов вывода программы с эталонными образцами демонстрирует хорошую корреляцию и высокую точность результатов.

- ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна (с Изменением N 1) [Текст]. – Взамен ГОСТ 5639-65; Введ. с 01.01.1983. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. — 16 с.
- *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation // *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, New York: Springer, Cham, 2015. — vol. 9351, С. 234–241.*
- *Beucher S., Meyer F.* The Morphological Approach to Segmentation: The Watershed Transformation // *Mathematical Morphology in Image Processing, New York: Marcel Dekker Inc., 1993. — С. 433–481.*