

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра системного анализа и компьютерного моделирования

ДРОЗДОВСКАЯ Полина Кирилловна

**АЛГОРИТМ АНАЛИЗА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
ПО МЕТОДУ DEEP-STORM**

Аннотация (реферат) к дипломной работе

Научный руководитель:

старший преподаватель И. С. Эйсмонт

Допущена к защите «___» _____ 2025 г.

Заведующий кафедрой
системного анализа и компьютерного моделирования
канд. физ.- мат, наук, доцент

В. В. Скакун

Минск, 2025

РЕФЕРАТ

Объём дипломной работы: 63 страницы, 19 рисунков, 4 таблицы, 36 источников.

Ключевые слова: ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ МИКРОСКОПИЯ, СВЕРХ-РАЗРЕШЕНИЕ, DEEP-STORM, ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ, CNN, U-NET, RESNET, РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

Объект исследования: Процесс реконструкции сверхразрешённых изображений флуоресцентной микроскопии.

Цель исследования: Разработка алгоритма анализа флуоресцентных изображений, основанного на методе Deep-STORM.

Методы исследования: Анализ литературы; машинное обучение (глубокое обучение, свёрточные нейронные сети); цифровая обработка изображений; численное моделирование и генерация синтетических данных; вычислительные эксперименты и статистический анализ; программирование на Python с использованием Keras/TensorFlow, NumPy, Scikit-learn, Matplotlib.

Полученные результаты и их новизна: Впервые проведён систематический сравнительный анализ эффективности архитектур U-Net и ResNet в контексте реконструкции изображений методом Deep-STORM. Разработан полностью Python-ориентированный конвейер для генерации обучающих данных, исключая зависимость от MATLAB. Получены новые эмпирические данные о влиянии объёма обучающей выборки на производительность нейросетей. Эксперименты показали, что U-Net и ResNet с активацией Leaky ReLU достигают PSNR > 50 дБ и SSIM $\approx$ 0.996 на синтетических данных, превосходя базовую CNN типа энкодер-декодер. Подтверждена способность моделей к реконструкции сложных биологических структур и реальных данных.

Достоверность материалов и результатов дипломной работы: Подтверждается использованием апробированных методов глубокого обучения, комплексных вычислительных экспериментов на синтетических данных с «ground truth» и верификацией на реальных данных. Применялись стандартные метрики оценки качества: PSNR, SSIM, MSE, MAE.

Область возможного практического применения: Биомедицинские исследования, клиническая диагностика, онкология, биология, нейробиология, разработка лекарств.

РЭФЕРАТ

Аб'ём дыпломнай працы: 63 старонкі, 19 малюнкаў, 4 табліцы, 36 крыніц.

Ключавыя словы: ФЛУАРЭСЦЭНТНАЯ МІКРАСКОПІЯ, ЗВЕРХРАЗДЗЕЛЬНАСЦЬ, DEEP-STORM, ГЛЫБОКАЕ НАВУЧАННЕ, CNN, U-NET, RESNET, РЭКАНСТРУКЦЫЯ ВЫЯЎ.

Аб'ект даследавання: Працэс рэканструкцыі звышразрозненых выяў флуарэсцэнтнай мікраскапіі.

Мэта даследавання: Распрацоўка алгарытму аналізу флуарэсцэнтных выяў, заснаванага на метадазе Deep-STORM.

Метады даследавання: Аналіз навуковай літаратуры; метады машынага навучання, у прыватнасці глыбокае навучанне і свёрточныя нейронныя сеткі; метады лічбавай апрацоўкі выяў; лікавае мадэляванне і генерацыя сінтэтычных набораў даных; правядзенне вылічальных эксперыментаў і статыстычны аналіз; праграмаванне на мове Python з выкарыстаннем Keras/TensorFlow, NumPy, Scikit-learn, Matplotlib.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Упершыню праведзены сістэматычны параўнальны аналіз эфектыўнасці архітэктур U-Net і ResNet, у дадатак да базавай свёрточной архітэктury, у кантэксце рэканструкцыі выяў метадам Deep-STORM. Распрацаваны і ўкаранёны цалкам Python-арыентаваны праграмны канвеер для генерацыі навучальных набораў даных, які ліквідаваў залежнасць ад MATLAB. Атрыманы новыя эмпірычныя даныя, якія характарызуюць уплыў аб'ёму навучальнай выбаркі на прадукцыйнасць розных нейрасеткавых архітэктур. Эксперыменты паказалі, што U-Net і ResNet з функцыяй актывацыі Leaky ReLU дасягаюць PSNR звыш 50 дБ і SSIM каля 0.996 на сінтэтычных даных, дэманструючы перавагу над базавай CNN тыпу энкодар-дэкодар. Пацверджана здольнасць мадэляў да рэканструкцыі складаных біялагічных структур і рэальных эксперыментальных даных.

Дакладнасць матэрыялаў і вынікаў дыпломнай працы: Пацвярджаецца выкарыстаннем апрабаваных метадаў глыбокага навучання, комплексных вылічальных эксперыментаў на сінтэтычных даных з «ground truth» і верыфікацыяй на рэальных даных. Прымяняліся стандартныя метрыкі ацэнкі якасці: PSNR, SSIM, MSE, MAE.

Вобласць магчымага практычнага прымянення: Біямедыцынскія даследаванні, клінічная дыягностыка, анкалогія, біялогія, нейрабіялогія, распрацоўка лекаў.

ABSTRACT

Volume of the diploma thesis: 63 pages, 19 figures, 4 tables, 36 sources.

Keywords: FLUORESCENCE MICROSCOPY, SUPER-RESOLUTION, DEEP-STORM, DEEP LEARNING, CNN, U-NET, RESNET, IMAGE RECONSTRUCTION.

Object of research: The process of super-resolution image reconstruction in fluorescence microscopy.

Purpose of research: Development of an algorithm for analyzing fluorescence images based on the Deep-STORM method.

Methods of research: Literature analysis; machine learning (deep learning, convolutional neural networks); digital image processing; numerical simulation and synthetic data generation; computational experiments and statistical analysis; Python programming using Keras/TensorFlow, NumPy, Scikit-learn, Matplotlib.

Results obtained and their novelty: For the first time, a systematic comparative analysis of the effectiveness of U-Net and ResNet architectures, in addition to the basic convolutional architecture, was conducted in the context of Deep-STORM image reconstruction. A fully Python-oriented software pipeline for generating training datasets was developed and implemented, eliminating MATLAB dependency. New empirical data on the influence of training sample volume on neural network performance were obtained. Experiments showed that U-Net and ResNet with Leaky ReLU activation achieve PSNR over 50 dB and SSIM around 0.996 on synthetic data, outperforming basic CNN of the encoder-decoder type. The models' ability to reconstruct complex biological structures and real experimental data was confirmed.

Authenticity of the materials and results of the diploma work: Authenticity is confirmed by using established deep learning methods, comprehensive computational experiments on synthetic data with "ground truth," and verification with real experimental data. Standard image reconstruction quality metrics (PSNR, SSIM, MSE, MAE) were applied.

Area of possible practical application: Biomedical research, clinical diagnostics, oncology, biology, neurobiology, drug development.