

УДК 531.391

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ТРЕКОВ ДВИЖЕНИЯ МИКРО- И НАНОЧАСТИЦ

Сорокина А.Б.¹

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент ИТМО

Щербинин Д.П.¹

¹Университет ИТМО

alyona40ina@yandex.ru

Введение

В работе представлены результаты разработки программного комплекса на языке Python для однозначного определения координат микро- и нанообъектов с применением методов машинного зрения и технологий искусственного интеллекта. Произведена разметка отснятого лабораторного видеоматериала с примерами движения заряженных микро- и наночастиц в электрических полях электродинамических ловушек. Разметка позволила определить набор параметров обработки изображений, необходимых для выявления треков частиц с помощью методов машинного зрения, включая фильтрацию, выравнивание фона, подавление шумов и усиление контрастности. В разработанный программный код интегрирована нейронная сеть, обученная автоматически применять к входным данным оптимальный набор ранее определённых параметров обработки изображений. По выявленным трекам движения частиц нейронная сеть выбирает параметры для однозначного восстановления координат частиц на каждом кадре. Таким образом, разработанный программный комплекс позволяет производить характеризацию движения микро- и наночастиц для определения их физических параметров при движении в электрических полях электродинамических ловушек.

Основная часть

В настоящее время методы машинного зрения (МЗ) широко применяются для решения задач в таких областях, как микроскопия, микробиология, вирусология, микроэлектроника, дефектоскопия, синтез микрочастиц, изучение микрокристаллов, левитирующая оптомеханика [1]. Одним из приложений МЗ является решение задачи детектирования положения объектов и их границ на статических изображениях или обработки потоковых данных, в том числе в видеоряде. В свою очередь определение скоростей частиц и формы их траекторий позволяет рассчитывать физические параметры микро- и наночастиц такие как размер, масса и заряд [2].

Целью данной работы является создание универсального программного обеспечения, способного с помощью методов МЗ и технологий искусственного интеллекта (ИИ) определять координаты и размеры микро- и наночастиц на изображениях, полученных при проведении исследований в области левитирующей оптомеханики. Разработанный программный комплекс на языке Python использует в своей работе операции библиотек “OpenCV”, “Numpy”, а также свёрточную нейронную сеть.

В настоящей работе нейронная сеть используется для решения двух задач: получения бинаризованных изображений микро- и наночастиц и определения координат их центра. Экспериментальные изображения представляют собой треки отдельных микрочастиц или их групп, перемещающихся в рабочей области установки. Изображения включают фон, помехи, а также области, соответствующие треку частиц, подлежащие выделению для дальнейшего анализа. Была выполнена разметка первичных данных с определением характерных параметров обработки изображений для последующего обучения нейронной сети. Процесс выделения треков частиц реализован с применением методов кластеризации и алгоритмов МЗ, включающих глобальные, локальные и точечные преобразования. В качестве глобальных преобразований использовались двумерные интегральные преобразования (Фурье, Адамара, Уолша и др.), способствующие выравниванию фона, однако приводившие к потере слабых

полезных пикселей, что компенсировалось применением локальной фильтрации (линейной, сглаживающей, градиентной и нелинейной). Для повышения контрастности использовались точечные преобразования, для выделения отдельных областей — логические операции с применением масок. Качество изображений и структура фона существенно различаются в зависимости от объекта съёмки и параметров оборудования, поэтому для различных лабораторных наборов данных были выявлены наиболее часто используемые параметры обработки: фильтрация, выравнивание фона, подавление шумов и усиление контрастности. На их основе была обучена свёрточная нейронная сеть, автоматически подбирающая оптимальные параметры выявления частиц для каждого экспериментального набора данных [3]. После распознавания частиц реализована бинаризация изображения – преобразование изображения в двухуровневое (объекты/фон) на основе анализа гистограммы почернений и определения оптимального порога выделения – с последующей сегментацией – выделением контуров треков и отделение их от посторонних пятен и включений. Далее анализировалась форма следа частиц в кадре и градиент цвета исходного изображения частиц для выбора оптимальной математической модели определения координаты центра частицы в кадре. решение данной задачи аналогичным образом реализовано с помощью нейронной сети.

Выводы

С ростом количества задач, требующих восстановления координат по отснятому фото- и видеоматериалу производится дообучение нейронной сети, что улучшает качество распознавания. Качество работы нейронной сети было проверено на материале, отснятом в лабораторных условиях и взятом в открытых источниках. Производилось наложение исходного изображения с частицей на бинаризованное и подсчитывалось количество совпадающих пикселей. В полученном программном коде имеется возможность интеграции пользовательских расчётов постобработки координат, применимых к конкретной задаче (к примеру, математический аппарат для произведения расчёта начальных скоростей и удельных зарядов частиц). Настоящий программный комплекс активно применяется при обработке лабораторного фото- и видео материала, иллюстрирующего движение частиц. В перспективах планируется апробация работы данного программного комплекса при обработке материала, полученного иными способами съёмки.

Литература

1. Darulis D. et al. Machine Learned Particle Detector Simulations //arXiv preprint arXiv:2207.11254. – 2022.
2. Рождественский Ю. В. Электродинамические ловушки для микрочастиц: теория и практика. – 2021.
3. Newby J. M. et al. Convolutional neural networks automate detection for tracking of submicron-scale particles in 2D and 3D //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2018. – Т. 115. – №. 36. – С. 9026-9031.