

И. В. Овсянников^{1,2✉}, С. А. Рылов¹

Веб-сервис мониторинга атмосферных осадков по данным камер видеонаблюдения на основе глубокого обучения

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: i.ovsyannikov@ict.nsc.ru

Аннотация. Рассматривается задача оперативного мониторинга атмосферных осадков в городской среде по видеопотокам сети камер наружного видеонаблюдения. Предложен веб-сервис, реализующий сервисно-ориентированную архитектуру и предоставляющий пользователю агрегированную картину осадков на интерактивной карте. В качестве классификатора применена свёрточная нейронная сеть MobileNetV3-Large, дообученная методом контрастного самообучения SimCLR. Для агрегированного представления зон выпадения осадков предложен алгоритм построения «облаков» осадков на основе кластеризации DBSCAN и мягкого расширения выпуклой оболочки. Приведены значения качества классификации и эксплуатационные характеристики системы, обслуживающей более 1 300 действующих камер.

Ключевые слова: мониторинг атмосферных осадков, камеры видеонаблюдения, глубокое обучение, веб-сервис, классификация изображений, MobileNetV3

I. V. Ovsyannikov^{1,2✉}, S. A. Rylov¹

A web service for atmospheric precipitation monitoring from CCTV cameras based on deep learning

¹Federal Research Center for Information and Computational Technologies,
Novosibirsk, Russian Federation

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: i.ovsyannikov@ict.nsc.ru

Abstract. This paper addresses real-time atmospheric precipitation monitoring in urban environments based on video streams from a network of outdoor surveillance cameras. We propose a service-oriented web application that presents the user with an aggregated precipitation map on an interactive map. The classifier is a MobileNetV3-Large convolutional neural network, fine-tuned with the SimCLR contrastive self-supervised learning method. To present precipitation areas in aggregated form, we propose an algorithm for constructing precipitation "clouds" based on DBSCAN clustering and soft expansion of the convex hull. We report the classification quality and the operational characteristics of the system, which serves more than 1 300 active cameras.

Keywords: atmospheric precipitation monitoring, CCTV cameras, deep learning, web service, image classification, MobileNetV3

Введение

Краткосрочное прогнозирование осадков и оперативное информирование о фактических условиях остаются актуальными задачами муниципального управле-

ния и метеорологии. Сеть автоматических метеостанций обеспечивает высокое качество точечных измерений, однако её пространственное покрытие ограничено. Сети городских камер видеонаблюдения охватывают тысячи точек в режиме непрерывной трансляции и могут рассматриваться как естественный источник данных для распределённого визуального мониторинга атмосферных явлений [1].

В работах последних лет показано, что современные свёрточные нейронные сети устойчиво распознают атмосферные осадки по отдельным кадрам с уличных камер, существенно превосходя классические подходы машинного обучения, например, основанные на признаках HOG [2]. Однако в большинстве известных исследований акцент сделан на алгоритме классификации, тогда как задача построения программного комплекса, обеспечивающего непрерывную обработку сети из тысяч камер и построение агрегированной карты осадков, освещена существенно слабее.

В предшествующей работе авторов [3] был предложен метод автоматической детекции осадков по видеопотокам уличных камер на основе свёрточных нейронных сетей. Настоящая работа развивает это направление и фокусируется на программном комплексе, реализующем такой метод в форме веб-сервиса. Целью работы является разработка и опытная эксплуатация веб-сервиса мониторинга атмосферных осадков.

Методы и материалы

Программный комплекс организован как набор взаимодействующих сервисов. Высокоуровневая архитектура комплекса представлена на рис. 1.

В составе комплекса выделены сервис прикладного интерфейса, сервис фоновой обработки камер, сервис проверки доступности камер, хранилища данных и подсистема мониторинга.

Сервис прикладного интерфейса предоставляет возможности классификации произвольного изображения, получения списка активных камер с актуальными предсказаниями, выдачи последнего обработанного кадра для конкретной камеры и принудительного запуска полного цикла её обработки.

Сервис фоновой обработки последовательно обрабатывает все активные камеры под управлением планировщика. Полный цикл обработки одной камеры включает захват короткой последовательности кадров с видеопотока, прогон каждого кадра через классификатор, агрегацию распределений вероятностей оператором минимума и выбор представительного кадра. Параллельно запрашивается метеосводка у внешнего сервиса OpenWeatherMap. Кадр и обновлённое распределение классов сохраняются в объектное хранилище и базу данных; при метке «дождь» или «снег» событие дополнительно фиксируется в таблице подтверждённых осадков.

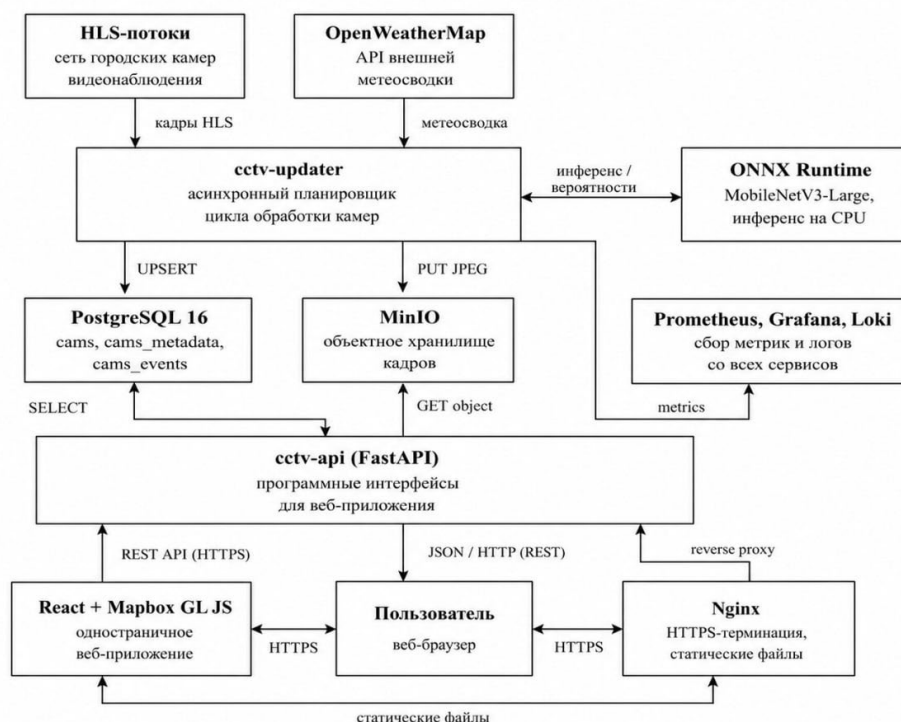


Рис. 1. Архитектура веб-сервиса: сервис прикладного интерфейса, сервис фоновой обработки камер, хранилища и подсистема наблюдаемости

В качестве классификатора используется свёрточная нейронная сеть MobileNetV3-Large [4], дополнительно дообученная методом контрастного самообучения SimCLR [5] на корпусе из более чем 300 тыс. размеченных кадров уличных камер. Подбор гиперпараметров выполнен с помощью библиотеки Optuna [6]. Финальная модель экспортируется в формат ONNX и выполняется на центральном процессоре, что упрощает развёртывание. На выходе сети формируется распределение вероятностей по трём классам – отсутствие осадков, дождь и снег.

Для агрегированного представления зон осадков предложен алгоритм построения «облаков» дождя и снега. Для каждого класса по координатам камер с активной меткой выполняется плотностная кластеризация алгоритмом DBSCAN [7]; кластеры с числом камер менее трёх исключаются. Для каждого оставшегося кластера строится минимальная выпуклая оболочка алгоритмом Грэхэма [8] и мягко расширяется на величину, пропорциональную среднему расстоянию между ближайшими соседями. Алгоритм выполняется на стороне клиента при каждом обновлении списка камер.

Результаты

Веб-приложение реализовано как одностраничное приложение. На карту нанесены маркеры всех активных камер; на малом масштабе соседние маркеры объединяются в кластеры. Каждый маркер отрисовывается в зависимости от класса с наибольшей вероятностью: нейтральная пиктограмма при отсутствии

осадков, капля воды при дожде и снежинка при снеге. Боковое меню фильтров позволяет включать и отключать классы, переключаться между режимами «карта» и «глобус», управлять отображением «облаков» осадков и регулировать минимальное расстояние между объединяемыми маркерами.

При выборе конкретной камеры на карте открывается боковая панель с обработанным кадром, координатами, временной меткой, распределением вероятностей классификатора и сводкой внешних метеоданных.

Помимо отображения отдельных камер пользовательский интерфейс показывает агрегированный слой «облаков» осадков (рис. 2): пространственные области, охватывающие группы соседних камер с одинаковой меткой класса. Области строятся на стороне клиента по описанному выше алгоритму; выбор конкретных классов осадков для отображения, включение и отключение слоя «облаков» и регулировка порогового расстояния между камерами в одном кластере выполняются из бокового меню фильтров. Пользовательский интерфейс также содержит информационную страницу «О проекте» и страницу проверки модели на пользовательском изображении.

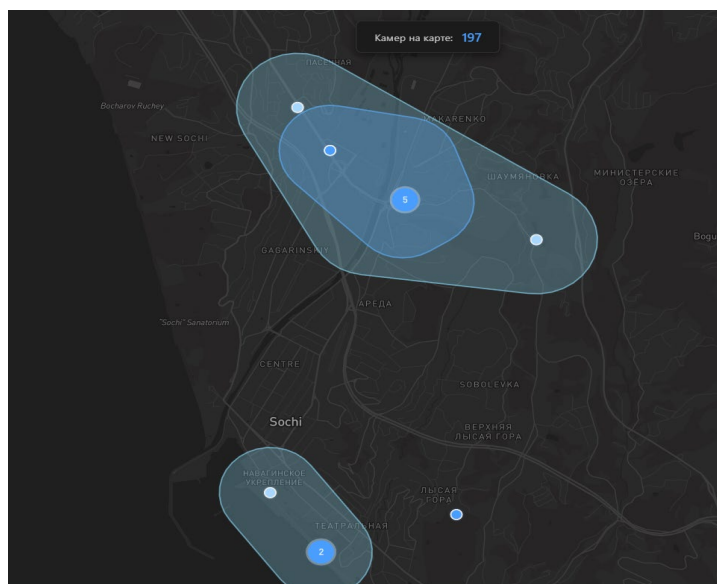


Рис. 2. Агрегированный слой «облаков» осадков на интерактивной карте

Итоговая модель, объединяющая архитектуру MobileNetV3-Large, автоматический подбор гиперпараметров, самообучение и взвешенный семплер, достигает F1-меры 0,889 на тестовой выборке.

Эксплуатационные характеристики системы оценивались по данным панелей мониторинга Grafana за две недели промышленной эксплуатации. Среднее время полного цикла обхода активных камер составляет около 475 секунд. Доминирующий вклад в общее время цикла вносит этап захвата кадров с HLS-потока: медианное значение составляет около 4,5 секунды на камеру и в основном определяется задержкой установления соединения и декодирования первого сегмента. Скорость инференса на центральном процессоре составляет около 310 мс на изображение.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с тенденцией, наблюдаемой в ряде современных работ по визуальному распознаванию погодных условий: качественный прирост достигается не столько за счёт выбора отдельной архитектуры классификатора, сколько за счёт комбинации тщательного формирования датасета, контрастного самообучения и автоматического подбора гиперпараметров.

Анализ ошибок итоговой модели показывает, что доминирующая часть промахов сосредоточена в нескольких систематических сценариях: мокрая дорога без активного дождя, лежащий снег без снегопада, ночные сцены с интенсивным точечным освещением, капли и засохшие потёки на линзе камеры, а также сезонные явления, не связанные с осадками. Указанные сценарии представляют собой естественные направления дальнейших исследований: для их корректной обработки потребуются дополнительная аугментация обучающей выборки, специфичная для ночных условий, и адаптивные алгоритмы исключения «плохих» камер. На сегодняшний день эти сценарии частично купируются стадией двойной верификации событий осадков с применением большой визуально-языковой модели в роли валидатора.

Заключение

В работе предложен и реализован в форме веб-сервиса подход к мониторингу атмосферных осадков по данным сети действующих городских камер наружного видеонаблюдения. Программный комплекс реализован как набор взаимодействующих сервисов, выполняет полный цикл обработки более чем 1 300 камер и достигает F1-меры классификации осадков 0,889. Существенным элементом сервиса является пользовательский веб-интерфейс, предоставляющий интерактивную карту камер, а также алгоритм агрегации меток в пространственные «облака» осадков.

Действующая система развёрнута на сервере ФИЦ ИВТ и открыто доступна для использования [9-10]. Дальнейшее развитие системы видится в расширении сети подключённых источников видеоданных, включении дополнительных классов погодных явлений, а также в интеграции выходных меток сервиса с локальными системами краткосрочного прогноза погоды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fiallos-Salguero M., Khu S.-T., Guan J., Wang T., Wang M. Computer Vision-Based Method for Rainfall Estimation Using CCTV Cameras and Smartphone Videos // 15th International Conference on Hydroinformatics. – 2024. – P. 284.
2. Wang X., Zhao K., Huang H., Zhou A., Chen H. Surveillance camera-based deep learning framework for high-resolution near surface precipitation type observation // Atmospheric Measurement Techniques. – 2025. – Vol. 18. – P. 5457-5484. – DOI: 10.5194/amt-18-5457-2025.
3. Овсянников И. В., Рылов С. А. Использование камер наружного видеонаблюдения для мониторинга осадков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2025. – Т. 4. – С. 40-45.
4. Howard A., Sandler M., Chu G., Chen L.-C., Chen B., Tan M., Wang W., Zhu Y., Pang R., Vasudevan V., Le Q. V., Adam H. Searching for MobileNetV3 // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2019. – P. 1314-1324.

5. Chen T., Kornblith S., Norouzi M., Hinton G. A simple framework for contrastive learning of visual representations // Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning, PMLR. – 2020. – Vol. 119. – P. 1597-1607.
6. Akiba T., Sano S., Yanase T., Ohta T., Koyama M. Optuna: A Next-generation Hyperparameter Optimization Framework // Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. – 2019. – P. 2623-2631.
7. Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96). – 1996. – P. 226-231.
8. Graham R. L. An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set // Information Processing Letters. – 1972. – Vol. 1, № 4. – P. 132-133.
9. Официальный сайт системы мониторинга атмосферных осадков CCTVForecast [Электронный ресурс]. URL: <https://cctvforecast.ru/> (дата обращения: 15.05.2026).
10. Овсянников И.В., Рылов С.А. Программа для автоматического сбора и анализа изображений с камер наружного видеонаблюдения с учетом метеорологических условий. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025662455 от 21.05.2025 г.

© И. В. Овсянников, С. А. Рылов, 2026