

И. В. Овсянников^{1,2}, С. А. Рылов²✉

Использование камер наружного видеонаблюдения для мониторинга осадков

¹Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: RylovS@mail.ru

Аннотация. Важной научно-практической задачей в области метеорологии и компьютерного зрения является разработка систем мониторинга атмосферных осадков в реальном времени. Такие системы необходимы для повышения точности краткосрочных прогнозов погоды и минимизации экономических рисков в транспортном секторе и сельском хозяйстве. В представленном исследовании разработан метод автоматической детекции осадков на основе анализа видеопотока с камер наружного наблюдения. Для обучения моделей создана специализированная методика формирования датасета, включающая синхронизацию видеок кадров с актуальными метеоданными через API метеорологических служб. В работе проведен сравнительный анализ традиционных алгоритмов машинного обучения и современных архитектур сверточных нейронных сетей. Экспериментальные результаты демонстрируют существенное превосходство методов глубокого обучения в точности классификации атмосферных осадков по сравнению с классическими подходами.

Ключевые слова: распознавание образов, детекция осадков, классификация изображений, камеры наблюдения, глубокое обучение, компьютерное зрение, прогноз погоды

I. V. Ovsyannikov^{1,2}, S. A. Rylov²✉

Using outdoor CCTV cameras for rainfall monitoring

¹Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

²Federal Research Center for Information and Computational Technologies,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: RylovS@mail.ru

Abstract. An important scientific and practical challenge in meteorology and computer vision is the development of real-time rainfall monitoring systems. Such systems are crucial for improving short-term weather forecasts and economic risks in transportation and agriculture minimization. This study presents a method for automatic rainfall detection based on the analysis of video streams from surveillance cameras. A specialized dataset labeling methodology was developed for model training, involving synchronization of video frames with current weather data through meteorological service APIs. The work provides a comparative analysis of traditional machine learning algorithms and modern convolutional neural network architectures. Experimental results demonstrate the significant superiority of deep learning methods in atmospheric precipitation classification accuracy compared to classical approaches.

Keywords: pattern recognition, rain detection, image classification, outdoor surveillance cameras, CCTV, deep learning, computer vision, weather forecasting

Введение

Актуальность разработки автоматизированных систем мониторинга атмосферных осадков на основе анализа видеопотоков камер наружного наблюдения обусловлена растущими требованиями к точности метеорологических прогнозов и необходимостью минимизации экономических рисков в транспортной и сельскохозяйственных отраслях. Несмотря на существование традиционных методов измерения осадков с помощью метеорологических станций, их ограниченное пространственное покрытие и высокая стоимость обслуживания стимулируют поиск альтернативных решений [1]. В последние годы наблюдается значительный прогресс в области компьютерного зрения и глубокого обучения, что открывает новые возможности для анализа видеоданных с камер наружного наблюдения в реальном времени [2].

Анализ литературных источников показывает, что существующие методы классификации погодных условий на изображениях можно условно разделить на две группы: классические алгоритмы, основанные на анализе низкоуровневых признаков [3], и современные подходы на основе глубоких нейронных сетей [4-5]. Так, в работе [6] на датасете AAU VIRADA, содержащем 215 часов видеозаписей с камер наблюдения, сравниваются результаты распознавания дождя, полученные классическим методом на основе алгоритма Боссу и 3D CNN-моделью. Результаты показывают, что нейросетевая модель значительно превосходит метод Боссу, достигая точности 98% на тренировочных данных, тогда как метод Боссу показал точность всего около 50%. Однако большинство существующих исследований ограничивается анализом статических изображений высокого качества, в то время как обработка видеопотоков с уличных камер, характеризующихся низким разрешением и наличием артефактов компрессии, остается малоизученной областью.

Целью данной работы является разработка системы автоматической детекции атмосферных осадков на основе анализа видеопотоков с камер наружного наблюдения. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: разработка методики формирования и аннотирования датасета видеок кадров с привязкой к актуальным метеорологическим данным, сравнительный анализ эффективности классических методов машинного обучения и современных архитектур сверточных нейронных сетей, реализация веб-интерфейса для визуализации результатов работы системы в реальном времени.

Методы и материалы

Для формирования обучающей выборки был разработан специализированный Python-скрипт, осуществляющий автоматический сбор видеоданных через протокол HLS (HTTP Live Streaming) из открытых источников. Система в автоматическом режиме извлекает кадры с заданной периодичностью и связывает их с актуальными метеорологическими показателями через API сервисов по прогнозу погоды. Для обеспечения репрезентативности данных реализован механизм временной синхронизации, учитывающий задержку передачи видеопотока

и погодных измерений, сохраняя кадры только в определённый момент времени. Полученные изображения проходят этап предварительной обработки, включающий нормализацию разрешения, коррекцию цветовых характеристик и устранение артефактов сжатия.

Сравнительный анализ методов классификации проводился на двух группах алгоритмов. В качестве классического подхода использовался метод HOG (Histogram of Oriented Gradients), который успешно применяется в задачах обнаружения и классификации по визуальным признакам [7]. Метод HOG позволяет выделять локальные особенности изображения путем анализа распределения направлений градиентов яркости в отдельных областях кадра, что полезно для обнаружения дождевых полос, снежинок и т.д. Результат применения такого метода представлен на рис. 1. Вычисленные дескрипторы HOG подавались на вход логистической регрессии и алгоритма градиентного бустинга, что позволило достичь значения F1-меры на уровне 0.74, подтверждая применимость таких методов для решения поставленной задачи. Однако ограничения классических подходов, связанные с необходимостью ручного конструирования признаков и их низкой адаптивностью к изменяющимся условиям съемки, обусловили переход к современным архитектурам глубокого обучения.

Следует отметить, что полученные результаты для традиционных методов согласуются с данными других исследований в области анализа видеопотоков с камер наблюдения [8]. В частности, аналогичные ограничения по точности классификации наблюдаются при использовании методов, основанных на ручном выделении признаков.

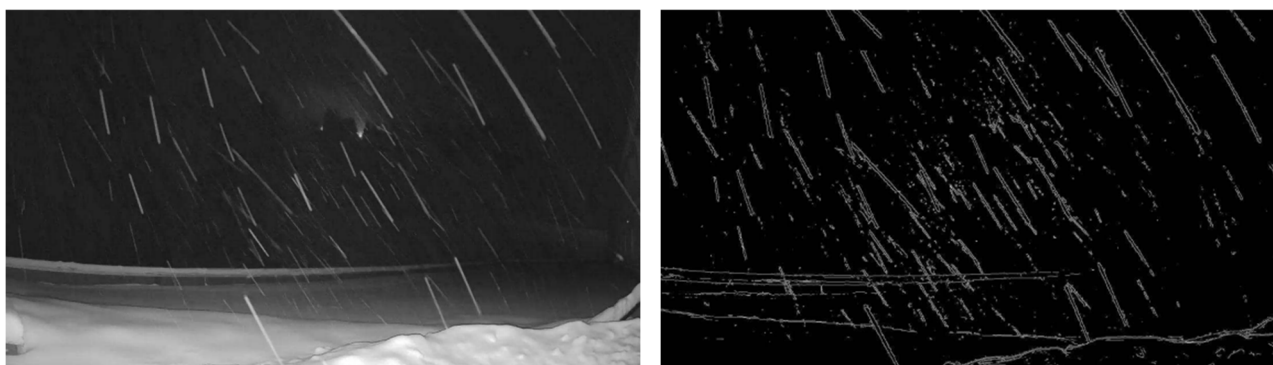


Рис. 1. Исходные данные: слева – изображение до применения HOG, справа – выделенные границы с помощью метода HOG

Для глубокого обучения была выбрана сверточная нейронная сеть EfficientNet, демонстрирующая «state-of-the-art» результаты в задачах классификации изображений при оптимальном соотношении вычислительных затрат и точности [9]. Модель показала существенное улучшение качества классификации по сравнению с традиционными методами, что подтверждается экспериментальными данными, представленными в табл. 1. Важным аспектом реализации стало применение специальных техник аугментации данных, учитывающих ха-

рактёрные искажения в видеопотоках уличных камер, а также использование взвешенной функции потерь для компенсации дисбаланса классов в обучающей выборке.

Таблица 1

Сравнительная характеристика методов классификации

Название способа	Метрики классификации		
	Recall	Precision	F1
HOG LR	0.72	0.71	0.71
HOG GBDT	0.75	0.75	0.74
EfficientNet	0.85	0.83	0.84

Разработанный нами веб-интерфейс [10] представляет собой интерактивную карту, отображающую пространственное распределение подключенных камер видеонаблюдения (рис. 2). На карте в виде меток отмечены все доступные источники видеопотоков, интегрированные в систему. При взаимодействии с конкретной меткой пользователю становится доступен комплекс информации, включающий базовые параметры камеры (географические координаты, идентификатор и название), ссылку для прямого доступа к видеопотоку, последний обработанный системой кадр с указанием времени съемки, результаты работы классификационной модели с указанием типа осадков и уровня уверенности предсказания, а также актуальные данные из внешнего метеорологического сервиса для сравнительного анализа.

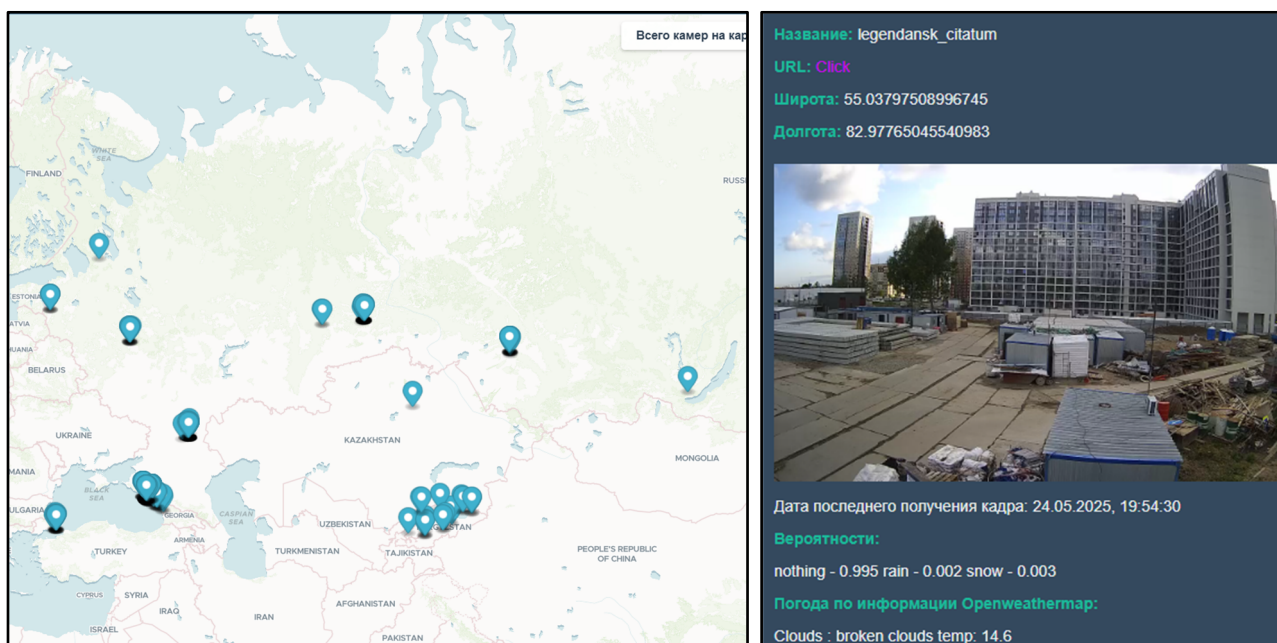


Рис. 2. Скриншоты разработанной системы – интерактивная карта доступных видеокamer и пример информации с конкретной камерой

Особого внимания заслуживает разработанный механизм временной синхронизации видеопотоков и метеоданных, обеспечивающий высокую достоверность обучающей выборки (кадр снимается в момент осадков). Дальнейшее развитие системы видится в расширении функциональности веб-интерфейса и увеличении покрытия за счет подключения дополнительных источников видеоданных (CCTV камер).

Результаты

Экспериментальные исследования продемонстрировали высокую эффективность предложенного подхода к детекции атмосферных осадков на основе анализа видеопотоков с камер наружного наблюдения. Разработанная методика формирования датасета позволила создать репрезентативную выборку объемом 200 тыс. изображений с точной временной привязкой к метеорологическим данным. Сравнительный анализ методов классификации выявил существенное преимущество глубокого обучения перед традиционными подходами - модель EfficientNet достигла F1-меры 0.84, что на 13.5% выше результатов лучшего классического алгоритма (HOG + градиентный бустинг).

Разработанный веб-интерфейс обеспечивает удобную визуализацию результатов в реальном времени, позволяя отслеживать осадки на интерактивной карте с отображением данных по каждой камере.

Заключение

Проведенное исследование показало перспективность использования камер наружного видеонаблюдения для создания систем мониторинга атмосферных осадков. Основной научный вклад работы заключается в разработке комплексной методики, объединяющей автоматизированный сбор видеоданных, их синхронизацию с метеорологическими показателями и современные алгоритмы компьютерного зрения для классификации погодных условий. Сравнительный анализ продемонстрировал, что переход от традиционных методов обработки изображений к глубокому обучению позволяет существенно повысить точность распознавания осадков, что особенно важно при работе с видеопотоками низкого качества. Практическая значимость исследования подтверждается созданием работоспособной системы, включающей не только алгоритмы анализа, но и удобный веб-интерфейс для визуализации результатов.

Разработанное решение может быть использовано метеорологическими службами для дополнения существующих методов наблюдения. Особый интерес представляет перспектива интеграции разработанного подхода с существующими системами прогноза погоды, что позволит создать подход для оценки и коррекции предсказаний таких систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fiallos-Salguero M. et al. Computer Vision-Based Method for Rainfall Estimation Using CCTV Cameras and Smartphone Videos // 15th International Conference on Hydroinformatics. – 2024. – P. 284.

2. Wang X. et al. Surveillance camera-based deep learning framework for high-resolution ground hydrometeor phase observation // *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*. – 2025. – Vol. 2025. – P. 1-38.
3. Manuel F. S. et al. Toward accurate and scalable rainfall estimation using surveillance camera data and a hybrid deep-learning framework // *Environmental Science and Ecotechnology*. – 2025. – P. 100562.
4. Byun J. et al. Snowfall intensity estimation based on convolutional neural networks using CCTV data // *Journal of Korea Water Resources Association*. – 2025. – Vol. 58. – No. 4. – P. 313-327.
5. Rajabi F., Faraji N., Hashemi M. An efficient video-based rainfall intensity estimation employing different recurrent neural network models // *Earth Science Informatics*. – 2024. – Vol. 17. – No. 3. – P. 2367-2380.
6. Bossu J., Hautiere N., Tarel J. P. Rain or snow detection in image sequences through use of a histogram of orientation of streaks // *International journal of computer vision*. – 2011. – Vol. 93. – P. 348-367.
7. Khan M. N. et al. Multilevel weather detection based on images: A machine learning approach with histogram of oriented gradient and local binary pattern-based features // *Journal of Intelligent Transportation Systems*. – 2021. – Vol. 25. – No. 5. – P. 513-532.
8. Penide G. et al. Comparison of two convective/stratiform precipitation classification techniques: Radar reflectivity texture versus drop size distribution-based approach // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. – 2013. – Vol. 30. – No. 12. – P. 2788-2797.
9. Mutasodirin M. A., Falakh F. M. Efficient Weather Classification Using DenseNet and EfficientNet // *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*. – 2024. – Vol. 9. – No. 2. – P. 173-179.
10. Официальный сайт системы мониторинга атмосферных осадков CCTVForecast [Электронный ресурс]. URL: <https://cctvforecast.ru/> (дата обращения: 20.05.2025).

© И. В. Овсянников, С. А. Рылов, 2025