

К. Ю. Корниенко,

магистрант кафедры прикладной информатики и информационных технологий, НИУ «БелГУ»

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИЗУАЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ДЛЯ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты статистического анализа изображений дорожно-транспортных происшествий и штатных дорожных ситуаций на основе открытого набора данных Accident Detection from CCTV Footage. Исследование направлено на выявление информативных визуальных признаков, обеспечивающих разделение кадров классов accident и non_accident для последующего применения в интеллектуальных системах компьютерного зрения. Выполнен анализ шести признаков изображений: средней яркости, контрастности, энтропии, резкости, плотности контуров и интегральной пригодности кадра. Для обработки данных использовались методы описательной статистики, ROC-анализ, критерий Манна–Уитни, корреляционный и многомерный анализ. Установлено, что наиболее информативным признаком является энтропия изображения, тогда как средняя яркость практически не влияет на разделение классов. Полученные результаты могут использоваться при разработке систем автоматического обнаружения ДТП и предварительной фильтрации видеоданных для фотограмметрической реконструкции дорожной сцены.

Ключевые слова: компьютерное зрение, ДТП, видеонаблюдение, обработка изображений, энтропия, ROC-анализ, машинное обучение, статистический анализ.

Введение. Развитие интеллектуальных систем видеонаблюдения и технологий компьютерного зрения существенно расширяет возможности автоматизированного анализа дорожной обстановки [4, 5]. Одной из наиболее актуальных задач является автоматическое обнаружение дорожно-

транспортных происшествий по данным камер видеонаблюдения. Подобные системы позволяют сократить время реагирования экстренных служб, повысить качество мониторинга дорожной инфраструктуры и обеспечить формирование цифровых моделей места происшествия.

Однако эффективность алгоритмов анализа изображений напрямую зависит от статистических характеристик входных данных [1-3]. Низкая резкость, недостаточная контрастность и слабая информационная насыщенность изображения существенно снижают точность выделения объектов и обнаружения ключевых точек сцены. В связи с этим возникает необходимость количественного анализа визуальных признаков кадров с ДТП и штатных дорожных ситуаций.

Целью настоящего исследования является выявление статистически значимых различий между изображениями классов accident и non_accident на основе анализа низкоуровневых визуальных признаков.

Материалы и методы исследования. В качестве источника экспериментальных данных использовался открытый набор Accident Detection from CCTV Footage, размещённый на платформе Kaggle [12]. В исследование вошло 989 изображений, из которых 462 кадра относятся к классу accident и 527 – к классу non_accident.

Таблица 1 – Характеристика исследуемой выборки

Класс изображений	Количество	Доля выборки
accident	462	46,7 %
non_accident	527	53,3 %
Всего	989	100 %

Для анализа изображений вычислялись следующие признаки [4, 7]:

- средняя яркость;
- контрастность;
- информационная энтропия;
- резкость изображения;
- плотность контуров;
- интегральная пригодность кадра.

Обработка изображений выполнялась средствами языка Python с использованием библиотек OpenCV, NumPy, SciPy и scikit-learn [6].

Для статистической обработки данных использовались [1-3]:

- критерий Манна–Уитни;
- ROC-анализ;
- bootstrap-оценка доверительных интервалов;
- корреляционный анализ Пирсона и Спирмена;
- метод главных компонент (PCA).

Результаты исследования. Результаты описательной статистики представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные статистические характеристики визуальных признаков

Признак	Среднее значение	Медиана	Стандартное отклонение
Средняя яркость	120,95	122,15	15,39
Контрастность	51,33	49,79	11,32
Энтропия	7,387	7,432	0,367
Резкость	698,5	565,4	484,8
Плотность контуров	0,108	0,111	0,019
Пригодность кадра	93,08	93,93	4,91

Полученные результаты показывают, что наибольшая вариативность наблюдается у признака резкости, что связано с различиями качества видеозаписи и условиями съёмки [4, 9].

Сравнение классов accident и non_accident выполнялось с использованием критерия Манна–Уитни.

Таблица 3 – Результаты сравнения классов

Признак	p-value	Статистическая значимость
Средняя яркость	0,756	Нет
Контрастность	0,009	Да
Энтропия	<0,001	Да
Резкость	<0,001	Да
Плотность контуров	0,002	Да
Пригодность кадра	0,159	Нет

Наиболее выраженные различия между классами были выявлены по признакам энтропии, контрастности и резкости.

Энтропия изображения продемонстрировала наибольшую информативность [4,7]. Повышенные значения энтропии характерны для аварийных кадров вследствие сложной структуры сцены и большого количества визуальных объектов [4, 5, 11].

Результаты ROC-анализа представлены на рисунке 1.

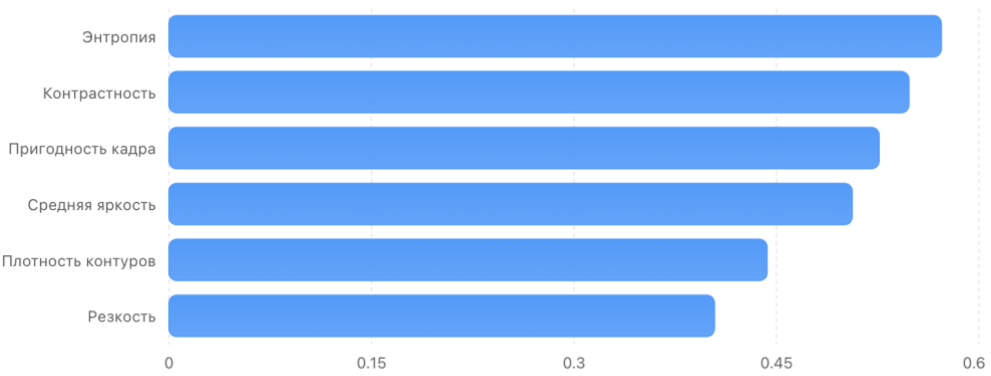


Рисунок 1 – ROC AUC визуальных признаков при классификации кадров accident / non_accident

Наибольшее значение площади под ROC-кривой продемонстрировал признак энтропии изображения, тогда как средняя яркость показала минимальную разделяющую способность.

Дополнительно был проведён корреляционный анализ признакового пространства [1, 2].

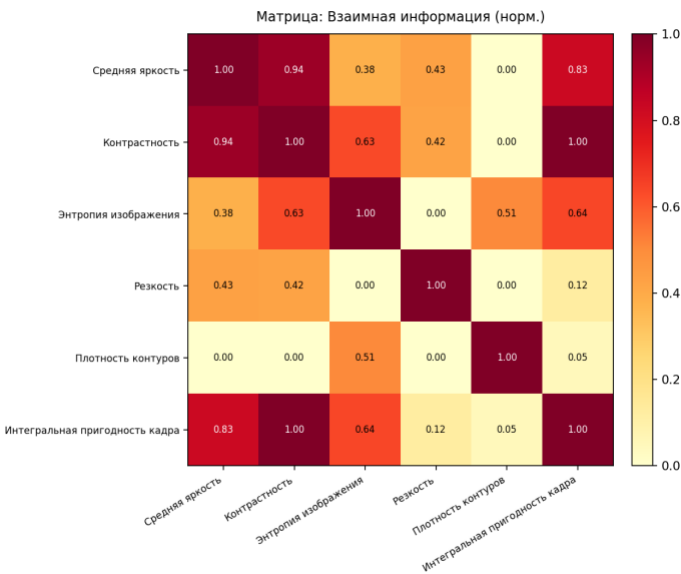


Рисунок 2 – Корреляционная матрица визуальных признаков

На рисунке 2 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между исследуемыми признаками. Наиболее сильная взаимосвязь наблюдается между энтропией и интегральной пригодностью кадра, а также между резкостью и плотностью контуров.

Таблица 4 – Наиболее сильные корреляции между признаками

Пара признаков	Коэффициент корреляции
Энтропия – пригодность кадра	0,878
Контрастность – энтропия	0,771
Резкость – плотность контуров	0,756

Результаты корреляционного анализа подтверждают существование тесной взаимосвязи между информационной насыщенностью изображения и общей оценкой качества кадра.

Наиболее сильная корреляция между энтропией и интегральной пригодностью кадра свидетельствует о том, что информационная насыщенность изображения является одним из ключевых факторов пригодности кадров для алгоритмов компьютерного зрения.

Результаты многомерного анализа методом главных компонент показали, что основная доля дисперсии признакового пространства определяется сочетанием энтропии, контрастности и интегральной пригодности кадра [1, 2, 12]. Это позволяет рассматривать указанные признаки как базовые параметры предварительной фильтрации изображений в интеллектуальных системах анализа дорожной обстановки.

Обсуждение результатов. Полученные результаты подтверждают, что статистические характеристики изображений дорожно-транспортных происшествий существенно отличаются от параметров штатных дорожных сцен. Наиболее информативными признаками являются энтропия, контрастность и резкость изображения.

Повышенные значения энтропии аварийных кадров обусловлены сложностью сцены, большим количеством объектов и хаотичным расположением транспортных средств. Снижение резкости объясняется

динамическим характером ДТП и размытием изображения в момент столкновения.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования выявленных закономерностей для предварительной фильтрации видеоданных перед применением алгоритмов распознавания объектов, построения гомографий и метрической реконструкции места ДТП [4, 5, 8].

Заключение. Полученные результаты подтверждают, что статистические характеристики изображений дорожно-транспортных происшествий существенно отличаются от параметров штатных дорожных сцен. Наиболее информативными признаками являются энтропия, контрастность и резкость изображения.

В результате исследования выполнен статистический анализ изображений дорожных сцен на основе набора данных Accident Detection from CCTV Footage.

Установлено, что:

- энтропия является наиболее информативным визуальным признаком;
- кадры ДТП характеризуются повышенной контрастностью и пониженной резкостью;
- средняя яркость практически не влияет на разделение классов;
- корреляционный анализ подтверждает взаимосвязь между информационной насыщенностью изображения и качеством кадра.

Полученные результаты могут использоваться при разработке интеллектуальных систем автоматического обнаружения ДТП и алгоритмов реконструкции дорожной сцены.

Литература

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2019.
2. Орлов А.И. Прикладная статистика. Москва: Экзамен, 2020.
3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2021.

4. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений. Санкт-Петербург: Лань, 2021.
5. Грошев И.В., Корольков В.И. Системы технического зрения и обработки изображений. Москва: РУДН, 2018.
6. Прохоренок А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2018.
7. Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019.
8. Forsyth D., Ponce J. Computer Vision: A Modern Approach. Pearson Education, 2018.
9. Gonzalez R., Woods R. Digital Image Processing. Pearson, 2018.
10. Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 60. № 2. P. 91–110.
11. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2022.
12. Accident Detection from CCTV Footage // Kaggle Dataset.