

УДК 004.021:004.75

ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ БЕЛОРУССКИХ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ В УСЛОВИЯХ ДИСБАЛАНСА ДАННЫХ



Л.Ю. Шилин
декан факультета
информационных технологий
и управления БГУИР, доктор
технических наук, профессор
dekfitu@bsuir.by



К.Д. Сморщок
студент факультета
информационных
технологий и управления
БГУИР
s.kirill150282@mail.ru



Д.Д. Хмыз
ассистент кафедры
вычислительных методов и
программирования БГУИР
d.khmyz@bsuir.by

Л.Ю. Шилин

Окончил Минский радиотехнический институт. Является автором более 170 научных и научно-методических работ. Проводит научные исследования по анализу и синтезу дискретных систем фазовой синхронизации.

К.Д. Сморщок

Обучается на кафедре информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Область научных интересов связана с разработкой алгоритмов машинного обучения для решения задач компьютерного зрения.

Д.А. Хмыз

Окончила Белорусский национальный технический университет, специальность «профессиональное обучение (информатика)». Область научных интересов связана с разработкой алгоритмов машинного обучения для решения задач компьютерного зрения.

Аннотация. Разработана система автоматического распознавания белорусских дорожных знаков с использованием модели YOLO (You Only Look Once). Проведен анализ данных, включая сбор, предобработку и балансировку классов. Исследованы методы оценки качества модели, такие как кроссвалидация, метрики точности и полноты, сценарные тесты. Показано, что применение андерсемплинга и комбинации YOLO с методами аугментации позволяет достичь средней точности (mAP) 0.570. Результаты визуализированы с помощью PR-кривых и матриц разброса.

Ключевые слова: компьютерное зрение, YOLO, распознавание дорожных знаков, дисбаланс классов, андерсемплинг.

Введение. Создание автономных транспортных систем требует решения задач восприятия окружающей среды, среди которых ключевой является распознавание дорожных знаков. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности дорожного движения и интеграции систем автопилота в реальные условия.

Основная цель работы — разработка прототипа системы на базе модели YOLO, способной распознавать белорусские дорожные знаки в реальном времени. Для достижения цели решены следующие задачи:

- 1 Выполнены сбор и предобработка данных из открытых датасетов.
- 2 Проведен анализ дисбаланса классов и применение методов балансировки.

3 Обоснован выбор архитектуры YOLO.

4 Проведена оценка эффективности модели с использованием метрик качества.

Используемые методы и алгоритмы:

1 Сбор и предобработка данных

Использованы датасеты:

– «df-full-pic» (104 тыс. изображений) — для общего обучения;

– «Russian traffic sign images dataset» (180 тыс. изображений) — адаптирован под белорусские знаки.

Предобработка включала:

– нормализацию размеров изображений;

– андерсемплинг классов с числом экземпляров >2000 (снижение дисбаланса);

– аугментацию (повороты, изменение яркости) для редких классов.

2 Выбор модели.

Архитектура YOLO выбрана исходя из того, что обладает

– высокой скоростью (обработка 45 FPS на NVIDIA Jetson);

– необходимой точностью (mAP 0.570, что выше аналогов (SSD: 0.520; Faster R-CNN: 0.550));

– поддержкой встраиваемых систем.

3 Используемые методы оценки:

– кросс-валидация (K=5): Оценка устойчивости модели;

– метрики: Precision (0.68), Recall (0.62), F1-score (0.65);

– сценарные тесты: Проверка работы при дожде, снеге, ночном освещении.

Проведен анализ дисбаланса классов. Исходный датасет содержал 198 классов с сильным дисбалансом (Рис. 1):

– максимальный класс: 24 264 экз. (5_19_1);

– минимальный класс: 1 экз. (3_33).



Рисунок 1. График распределения количества экземпляров от их классов.

В результате андерсемплинга получено:

– среднее количество экземпляров: 313.33 (ранее 673.28);

– стандартное отклонение снижено с 2259.58 до 525.03.

Результаты обучения

– PR-кривая (Рис. 2): Средняя точность (mAP) — 0.570;

– лучшие классы: «Стоп» (Precision=0.89), «Уступите дорогу» (Precision=0.85);

– Слабые классы: Редкие знаки (Precision <0.30);

– Матрица разброса: Выявлена корреляция между позицией знака (x, y) и его размерами (width, height).

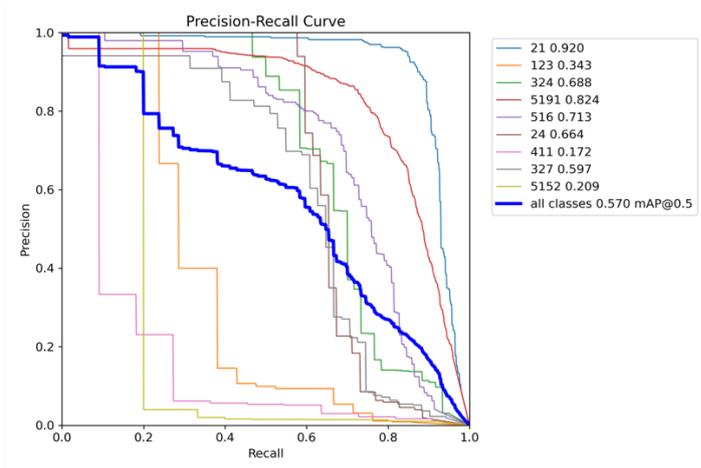


Рисунок 2. pr кривая для YOLOv3

Принципы оптимизации

– балансировка данных: Комбинация андерсемплинга и синтетической аугментации;

– использование взвешенных потерь: Учет весов классов в функции потерь;

– аппаратная оптимизация: Квантование модели для Raspberry Pi.

Заключение. Разработана система, которая имеет достаточную точность для распознавания основных дорожных знаков, однако требует доработки для редких классов. Дальнейшие исследования будут направлены на:

- сбор данных для малочисленных классов;
- тестирование на реальных дорогах Беларуси;
- интеграцию с системами управления автомобилем.

Список литературы

[1] Redmon J. et al. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv, 2018.

[2] Гудфеллоу Я. Глубокое обучение. М.: ДМК Пресс, 2022.

[3] Krizhevsky A. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks // NIPS, 2012.

Авторский вклад

Шилин Леонид Юрьевич – руководство исследованием по разработке алгоритмов глубокого обучения для систем распознавания.

Сморщок Кирилл Дмитриевич – сбор данных, предобработка, обучение модели, анализ результатов.

Хмыз Дарья Дмитриевна – постановка задачи распознавания дорожных знаков.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR RECOGNIZING BELARUSIAN ROAD SIGNS BASED ON YOLO MODEL

V.F. Alekseev

Dean of the Faculty of
Information Technologies and
Control in BSUIR, Doctor of
Technical Sciences, Professor

D.V. Likhachevsky

Student of department of
Information Technologies in
Automated Systems in
BSUIR

G.A. Piskun

Assistant of department of
Computational Methods and
Programming in BSUIR

Abstract. The paper presents the development of an automatic system for recognizing Belarusian road signs using the YOLO model. Data analysis, including collection, preprocessing, and class balancing, was conducted. Evaluation methods such as cross-validation, precision-recall metrics, and scenario tests were applied. The use of undersampling and YOLO-augmentation combination achieved a mean Average Precision (mAP) of 0.570. Results are visualized via PR-curves and scatter matrices

Keywords: computer vision, YOLO, road sign recognition, class imbalance, undersampling.