

Черняева Полина Денисовна

студентка

Журавлёв Михаил Владиславович

канд. физ.-мат. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Российский государственный
аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

г. Москва

**МЕТОДЫ ДОМЕННОЙ АДАПТАЦИИ И СИНТЕЗА ДАННЫХ
ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ РЕДКИХ ОБЪЕКТОВ
В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ**

Аннотация: в работе предлагается теоретическая модель преодоления проблемы дефицита данных при обучении нейронных сетей распознаванию редких и технически сложных элементов в фигурном катании. Обосновывается использование синтетических наборов данных, генерируемых в физически корректных симуляторах, как основной способ формирования сбалансированных обучающих выборок. Особое внимание уделено архитектурным решениям в области доменной адаптации, включая методы рандомизации домена и состязательного обучения, которые позволяют минимизировать разрыв между виртуальной симуляцией и реальными видеоданными. Предложенный подход позволяет создавать высокоточные системы спортивного анализа, способные классифицировать уникальные прыжковые каскады в режиме реального времени.

Ключевые слова: Vision Transformers, синтетические данные, доменная адаптация, Sim-to-Real Gap, биомеханика, глубокое обучение, физическая симуляция.

Проблема автоматизированного распознавания и анализа сверхсложных элементов в фигурном катании упирается в фундаментальный барьер несбалансированности обучающих выборок. В то время как стандартные прыжковые элементы представлены в видеоархивах тысячами примеров, редкие каскады из двух

четверных прыжков или уникальные связки типа «четверной аксель – тройной тулуп» выполняются единственным атлетом мирового уровня, что создает критический дефицит данных для обучения нейронных сетей. Традиционные методы аугментации изображений не способны восполнить этот пробел, так как они не учитывают уникальную биомеханическую вариативность и физику движения, характерную для предельных нагрузок. В данной связи теоретически обоснованным решением становится переход к генерации синтетических наборов данных в контролируемых виртуальных средах на базе высокоточных физических движков. Использование таких систем, как NVIDIA Isaac Gym, позволяет моделировать скелетно-мышечную структуру атлета и генерировать бесконечное число вариаций прыжковых каскадов, задавая вращающие моменты в суставах и варьируя антропометрические параметры виртуальных моделей. Это обеспечивает получение идеально размеченных данных (Ground Truth), где координаты каждого сустава и векторы сил известны с абсолютной точностью, что недостижимо при ручной разметке реального видеоряда.

Однако использование синтетического контента порождает проблему «разрыва между симуляцией и реальностью» (Sim-to-Real Gap), при которой нейросеть, обученная на идеальных 3D-моделях, теряет точность при столкновении с шумами и артефактами реальных телевизионных трансляций. Для нивелирования этого эффекта в архитектуру системы внедряются методы глубокой доменной адаптации. Ключевую роль здесь играет стратегия рандомизации домена, которая в процессе рендеринга случайным образом изменяет визуальные параметры среды – от коэффициентов отражения льда и освещения до динамического размытия движений (motion blur) и зернистости сенсора камеры. Это вынуждает модель игнорировать поверхностные визуальные признаки и фокусироваться исключительно на инвариантных характеристиках движения, таких как динамика изменения углов в коленных и тазобедренных суставах.

Математически этот процесс подкрепляется состязательной адаптацией, где в пайплайн обучения вводится дискриминатор домена. Данный блок пытается отличить синтетический кадр от реального, в то время как основной экстрактор

признаков обучается формировать такие представления данных, которые были бы идентичны для обоих доменов. Применение градиентного реверсивного слоя в такой архитектуре гарантирует, что извлекаемые признаки становятся доменно-инвариантными, позволяя модели успешно классифицировать редкие каскады в реальном эфире, даже если она «видела» их только в виртуальной симуляции. Дополнительное использование семантической сегментации и анализа оптического потока позволяет перевести задачу из плоскости анализа пикселей в плоскость анализа чистой кинематики.

Таким образом, интеграция физически корректного синтеза данных и современных протоколов доменной адаптации формирует надежную теоретическую базу для создания интеллектуальных систем спортивного анализа нового поколения, способных распознавать редкие на данный момент элементы на основе предиктивного моделирования физических возможностей человека.

Список литературы

1. Ганин Я. Состязательная адаптация доменов путем обратного распространения ошибки / Я. Ганин, В. Лемпицкий // Труды 32-й международной конференции по машинному обучению (ICML). – 2015. – Т. 37. – С. 1182–1191.

2. Обнаружение аномалий в данных промышленных сенсорных систем добычи на основе алгоритмов кластеризации / С.О. Курашкин, Л.В. Красовская, М.В. Журавлев, Т.В. Бирюкова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – №4. – С. 382–388. EDN WMCTCH

3. Применение алгоритмов компьютерного зрения для выявления деформационных проявлений в горных выработках / Д.Ю. Евсюков, С.В. Пчелинцева, А.С. Прудкий, А.Н. Лосев // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – №4. – С. 355–360. EDN LJFUQZ

4. Калмыков С.А. Биомеханическое моделирование и компьютерный анализ техники прыжков в фигурном катании / С.А. Калмыков, И.В. Абсалямова // Вестник спортивной науки. – 2023. – №4. – С. 12–18.

5. Петров Д.В. Применение синтетических данных для обучения нейронных сетей в задачах распознавания поз человека / Д.В. Петров, А.Н. Сидоров // Программные продукты и системы. – 2024. – Т. 37. №2. – С. 45–52.

6. Рандомизация доменов для переноса глубоких нейронных сетей из симуляции в реальный мир / Д. Тобин, Р. Фонг, А. Рэй [и др.] // Интеллектуальные роботы и системы (IROS). – 2017. – С. 23–30.

7. Шумилин В.Г. Интеллектуальные системы мониторинга функционального состояния спортсменов на основе технологий компьютерного зрения / В.Г. Шумилин // Теория и практика физической культуры. – 2025. – №1. – С. 88–91.