

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОАНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИГАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО КУРСУ БИОМЕХАНИКА

Современная спортивная наука и педагогическая практика предъявляют высокие требования к методам оценки технического мастерства. Идеальный диагностический инструмент должен сочетать высокую точность, неинвазивность, специфичность к исследуемому двигательному действию и возможность работы в условиях, приближенных к соревновательным или тренировочным. Традиционный визуальный и ручной видеоанализ, будучи широко распространённым, обладает существенными недостатками: высокой трудоёмкостью, субъективностью экспертной оценки и значительной погрешностью при выделении кинематических ключевых точек.

Развитие компьютерных технологий обработки изображений открывает путь к автоматизации этого процесса. Однако полный отказ от экспертного участия зачастую невозможен из-за сложности интерпретации реальных видеоданных, содержащих особенности движения, изменения освещения и фоновый шум. В связи с этим актуальной задачей является разработка специальных методик, сочетающих скорость и объективность автоматизированной обработки с гибкостью и адаптивностью экспертного анализа.

Алгоритм видеоанализа представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, направленных на преобразование исходной видеополосы в количественные кинематические параметры (углы, траектории, скорости) [1].

Первоначально делается видеозапись двигательного действия, выполненная с фиксированной частотой кадров и минимальными искажениями (высокая резкость, стабильная экспозиция). В поле зрения камеры до начала записи помещается объект с известными геометрическими размерами (например, калибровочная рейка). Это позволяет в дальнейшем преобразовывать пиксельные измерения в абсолютные метрические единицы (сантиметры, метры). Полученный видеоматериал обрезается для удаления областей, не содержащих полезной информации. Это сокращает объем обрабатываемых данных и уменьшает время работы алгоритма [2].

Для выделения фигуры спортсмена применяются два параллельных или последовательных метода, а именно, метод временного порога (вычитание фона) и метод пространственного (цветового) порога. При первом, алгоритм вычисляет абсолютную разницу между интенсивностью пикселей двух последовательных кадров. Поскольку фон считается статичным, значительные изменения указывают на положение движущегося объекта. Этот метод эффективен при стабильном освещении и неподвижной камере. При втором, объект выделяется на основе специфических характеристик его пикселей. Наиболее эффективна работа в цветовом пространстве HSV (Hue Saturation Value):

- исходный кадр конвертируется из RGB в HSV;
- для каналов «Оттенок» и «Насыщенность» задаются пороговые диапазоны, соответствующие цвету спортивной формы или нанесённых маркеров;
- пиксели, значения которых попадают в заданные диапазоны, классифицируются как принадлежащие объекту, остальные – как фон. Результатом является бинарное (чёрно-белое) изображение, где белым цветом обозначен объект.

Полученное бинарное изображение часто содержит «шум» (одиночные пиксели, мелкие группы пикселей) и разрывы контура. В этом случае, используется удаление шума и восстановления сплошных областей. К очищенному изображению применяется алгоритм трассировки границ, который формирует векторное представление внешнего контура объекта.

Для выполнения видеоанализа в автоматическом режиме (с использованием маркеров), на тело спортсмена предварительно наносятся активные (светодиодные) или

пассивные (цветные) маркеры в анатомических ориентирах. Алгоритм на каждом кадре ищет области с характеристиками маркера (например, ярко-красный цвет в RGB) и вычисляет их координаты. Исследователю необходимо вручную указать положение ключевых точек на каждом ключевом кадре с помощью специализированного ПО (например, Kinovea, SkillSpector). Для повышения точности процедура повторяется несколько раз (минимум три), после чего вычисляется среднее значение координат.

По координатам ключевых точек вычисляются целевые кинематические параметры: углы в суставах, линейные перемещения центров масс сегментов, угловые скорости и ускорения. Рассчитанные параметры представляются в виде графиков зависимости от времени (кинематических диаграмм), совмещённых с исходным видеорядом. Данные экспортируются в табличный формат для дальнейшего статистического анализа.

Для количественной оценки достоверности алгоритма, нами была проведена процедура валидации. Было отобрано 20 видеороликов, содержащих различные фазы двигательного цикла. Для каждой видеоролика угловые параметры (например, угол в коленном суставе) были измерены трижды вручную. Среднее арифметическое трёх измерений принималось за истинное значение.

Анализ данных видеороликов был сделан с помощью автоматического алгоритма. Для каждой пары измерений вычислялась разность. Оценивалось стандартное отклонение (δ) ручных измерений, характеризующее «цену» экспертной ошибки. В исходном исследовании δ составило $\pm 1.1^\circ$. Подавляющее большинство автоматических измерений (17 из 20) находились в пределах одного стандартного отклонения ($\pm 1.1^\circ$) от эталонного ручного значения. Оставшиеся измерения уложились в диапазон двух δ . Согласно правилу трёх сигм, все результаты были признаны статистически достоверными, что подтверждает приемлемую точность алгоритма для исследовательских и педагогических целей.

При выполнении данной методики есть ряд погрешностей и ограничения методики, а именно, частичное перекрытие сегментов тела или падение тени искажает контур, что особенно критично для методов цветовой сегментации. Наличие других движущихся объектов в кадре (другие спортсмены, зрители) приводит к ложным срабатываниям при вычитании фона. Резкие перепады света (например, при съёмке на открытом воздухе) влияют на цветовые характеристики пикселей, нарушая работу пороговых алгоритмов. «Зубчатость» контура на бинарном изображении приводит к ошибке определения истинного положения границы, что напрямую влияет на точность угловых измерений. Автоматический режим критически зависит от постоянной видимости маркеров, что не всегда достижимо в условиях соревнований или при анализе архивных записей.

Выигрышной стороной использования данной методики является минимизация субъективного фактора при повторных измерениях, автоматизация рутинных операций (поиск кадров, отслеживание точек), возможность обработки видео в реальном времени или с минимальной задержкой, получение точных цифровых данных, пригодных для статистики, возможность выбора между полностью автоматическим и гибридным (эксперт+авто) режимом.

Проигрышной стороной данной методики является необходимость стабильности освещения и статичности фона, достаточно мощного вычислительного оборудования для обработки HD-видео в высоком FPS, риск некритичного принятия ошибочных результатов, сгенерированных алгоритмом, а также то, что настройка параметров алгоритма (пороги, фильтры) требует понимания основ обработки изображений.

Внедрение данной методики в образовательные программы по физической культуре, спортивным наукам и биомеханике позволяет решить несколько важных педагогических задач, к числу которых относится освоением студентами работы со специализированным ПО для видеонализа, обучение проведению калибровки, настройки параметров обработки и интерпретации цифровых данных. Вместе с тем, это позволяет развивать критическое мышление и исследовательские навыки. В этом случае, группа студентов делится на подгруппы, одна из которых проводит анализ только вручную, другая – с помощью автоматизированного алгоритма, третья – комбинированным методом. Последующее

коллективное обсуждение расхождений в результатах позволяет наглядно увидеть преимущества, недостатки и границы применимости каждого подхода.

Можно поставить студентам задачу оценить, как на итоговый результат влияет изменение таких параметров, как значение цветового порога, размер ядра морфологического фильтра, частота кадров исходного видео. Это формирует понимание не абсолютной, а контекстно-зависимой точности измерительных технологий.

Для углубленного понимания биомеханики, можно предложить визуализацию угловых диаграмм, наложенных на видео, что помогает студентам установить прямую связь между внешней картиной движения и его внутренними кинематическими характеристиками. Выпускники, владеющие навыками современного видеоанализа, становятся более востребованными в роли тренеров-аналитиков, специалистов по спортивной диагностике и научных сотрудников.

Представленная методика комбинированного видеоанализа представляет собой эффективный инструмент для перехода от качественной, экспертной оценки двигательных действий к их точному количественному описанию. Разработанный алгоритм, прошедший статистическую верификацию, предлагает разумный компромисс между скоростью автоматизации и гибкостью экспертного контроля. Его ключевое преимущество – адаптивность. В исследовательской работе можно использовать полностью автоматизированный конвейер для обработки больших массивов данных, а в учебном процессе – поэтапно демонстрировать работу каждого блока алгоритма, вовлекая студентов в процесс анализа и критической оценки.

Литература

1. Бондаренко, К. К. Биомеханика : Практическое пособие для студентов специальности 1-03 02 01 «Физическая культура» / К. К. Бондаренко, А. Е. Бондаренко. – Гомель : Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, 2019. – 48 с. – ISBN 978-985-577-605-6.

2. Коршук, М. М. Использование видеоанализа движения для обучения подаче в бадминтоне / М. М. Коршук, А. Е. Бондаренко // Физическая культура и спорт в современном мире : Сборник научных статей / Редколлегия: Г. И. Нарский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, 2021. – С. 233–237.