

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВАЛИДАЦИИ ПОДТЯГИВАНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО СПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ YOLO26N-POSE

<sup>1</sup>Тасыбаев Д.Б.<sup>а</sup>, <sup>1</sup>Амангельды М., <sup>1</sup>Стельвага О., <sup>2</sup>Кокарев Б.Н.

<sup>1</sup> Astana IT University / SIC Industry 4.0, Астана, Казахстан

<sup>2</sup> National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Ukraine

Автор для корреспонденции: Тасыбаев Д.Б. [tassybayev.kostanay@gmail.com](mailto:tassybayev.kostanay@gmail.com)

**Аннотация.** В статье описаны разработка и экспериментальная валидация системы автоматического контроля подтягиваний в реальном времени, предназначенной для соревновательного спорта. Система построена на модели YOLO26n-Pose и включает двумерную оценку позы, извлечение геометрических признаков, экспоненциальное сглаживание угловых измерений и конечный автомат на основе правил для объективного подсчета повторений в соответствии с соревновательными требованиями. Разработан двухуровневый механизм валидации с четырьмя состояниями визуальной обратной связи (DOWN, TRANSITION, UP, CHEATING) и независимой логикой подсчета повторений. Отдельно реализован детектор контакта с полом, исключающий засчитывание повторений при частичной разгрузке массы тела. На ноутбуке класса Intel i5 без дискретного GPU система обеспечивает частоту обновления интерфейса около 25 FPS. В отличие от систем на основе носимых датчиков, предложенное решение не требует специализированного оборудования и пригодно для судейства на малых соревнованиях и в тренировочных условиях.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, подсчет подтягиваний, подсчет повторений, компьютерное зрение, обнаружение нарушений, система реального времени,

**Введение.** Подтягивания широко используются при оценке физической подготовленности и в силовых соревнованиях. Во многих локальных соревнованиях и тренировочных сессиях повторения засчитываются наблюдателями, которые одновременно должны отслеживать амплитуду движения, темп и соблюдение правил [1]. Это порождает ряд практических проблем: судьи допускают ошибки подсчета вследствие усталости или потери концентрации, критерии оценки расходятся от одного арбитра к другому, а спортсмены получают возможность нарушать правила, например, кратковременно касаться пола для снятия нагрузки. В обзоре [2] систематизированы подходы к применению носимых датчиков для мониторинга биомеханических и физиологических параметров спортсменов. Однако такой подход имеет ряд ограничений: закрепление датчиков на каждом спортсмене дорого и неудобно, а также может мешать правильному выполнению движений и упражнений. В работе [3] представлена интеллектуальная напольная система распознавания физических упражнений с использованием емкостного сенсинга. Авторы предложили спортивный коврик, оснащенный восемью распределенными датчиками, способный распознавать восемь силовых упражнений. Экспериментально система достигла точности до 95,1 % в пользователь-зависимом сценарии и 93,5 % в пользователь-независимом, а также была проведена сравнительная оценка с носимыми IMU-сенсорами. Существенным ограничением такого подхода является размер спортивного коврика, который ограничивает диапазон и свободу выполнения упражнений.

Альтернативным направлением является применение технологий компьютерного зрения [4]. Этот подход позволяет разрабатывать экономичные автоматизированные системы оценки на базе стандартных видеокамер, обеспечивающие объективные, воспроизводимые и интерпретируемые результаты анализа без необходимости

использования специализированного носимого оборудования. Анализ упражнений на основе видео, как правило, опирается на двумерную оценку позы и временное моделирование для распознавания и подсчета движений [5].

В работе [6] была предложена система на базе смартфона, работающая непосредственно на устройстве, использующая оценку позы человека и конечный автомат и демонстрирующая высокую точность на нескольких упражнениях, включая подтягивания. В исследовании [7] рассматривалась задача подсчета и валидации повторений с использованием скелетных признаков и глубоких представлений для различных типов тренировок. Независимость к точке наблюдения и устойчивость к изменениям положения камеры по-прежнему остаются нерешенными, поскольку в реальных соревнованиях не всегда возможно установить камеру в идеальном положении. Авторы работы [8] предложили метод инвариантного к ракурсу подсчета повторений на основе анализа сходства поз. Однако вопросы корректности выполнения упражнения и возможных нарушений правил или жульничества в этих работах остаются нерешенными задачами.

В исследовании [9] представлена система мониторинга упражнений на основе мобильной оценки позы и методов машинного обучения для распознавания упражнений и генерации персонализированной обратной связи. В работе [10] разработана облегченная глубокая сеть PEPoseNet для одновременной оценки позы спортсмена и детектирования перекладины с целью интеллектуального тестирования подтягиваний в реальном времени. Авторы сосредоточились на распознавании техники подтягивания и количественной оценке качества выполнения, подчеркнув важность оценки техники, а не только подсчета повторений. Эти исследования подтверждают реализуемость решений только на основе камеры [11], однако многие существующие системы не учитывают явно нарушения правил, такие как контакт с полом во время повторения. BlazePose широко используется в качестве базовой модели для оценки позы и оптимизирована для работы в реальном времени на мобильных устройствах [12]. Подходы на основе YOLO также были расширены на задачи оценки позы и обеспечивают устойчивое определение ключевых точек на скоростях, пригодных для реального времени [13]. Тем не менее разработка стандартизированных и интерпретируемых механизмов оценки, обеспечивающих надежное судейство при переменном освещении, частичных окклюзиях и нестандартном расположении камеры, остается открытой задачей.

Целью данного исследования является разработка интеллектуальной системы мониторинга и валидации правильного выполнения подтягиваний в соревновательных условиях на основе модели YOLO26n-Pose.

**Материалы и методы.** Разрабатываемая система объединяет оценку позы, моделирование состояний на основе правил и механизмы валидации событий для обеспечения объективного и соответствующего правилам соревнований подсчета повторений. Процесс обработки организован таким образом, чтобы работать в реальном времени и предоставлять интерпретируемые результаты, пригодные как для судейства, так и для обратной связи спортсмену (Рисунок 1).

Видеопоток с веб-камеры захватывается с разрешением  $1280 \times 720$ . Каждый четвертый кадр передается в модуль оценки позы для получения ограничивающих рамок и ключевых точек. В качестве основного спортсмена выбирается человек с наибольшей площадью ограничивающего прямоугольника.

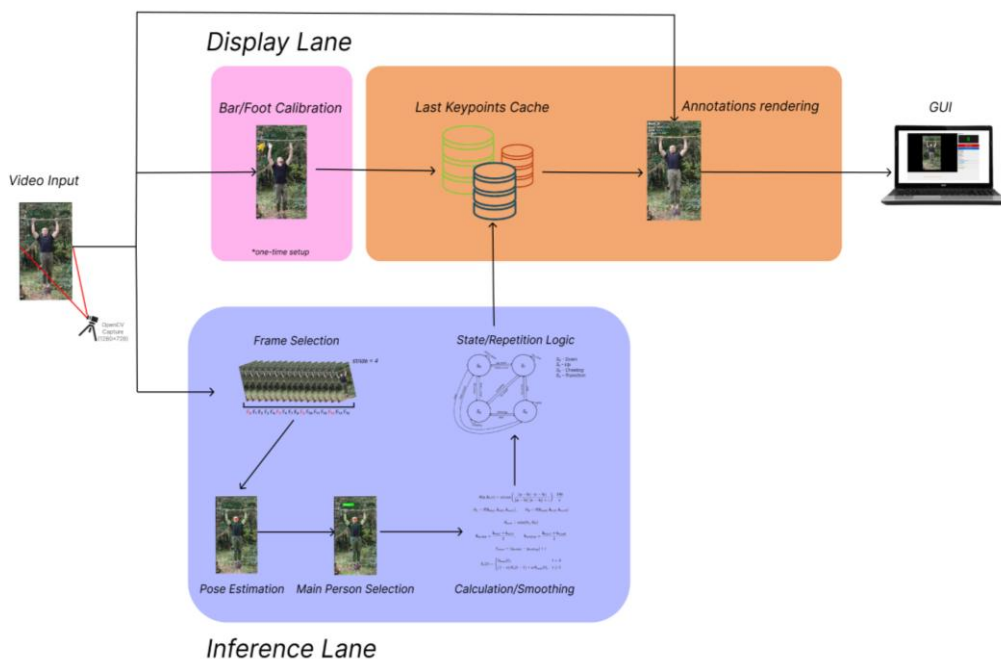


Рисунок 1 - Общая схема предложенного двухчастотного конвейера системы подсчета подтягиваний.

По ключевым точкам вычисляются два сигнала: угол в локтевом суставе и нормализованное расстояние от головы до перекладины. Для угла локтя применяется экспоненциальное скользящее среднее. Конечный автомат, основанный на правилах определяет одно из четырех состояний: DOWN, UP, TRANSITION или CHEATING. Событие повторения генерируется только в том случае, если переход удовлетворяет условиям валидности и детектор контакта с полом показывает отсутствие касания. В графическом интерфейсе отображаются линия перекладины, ключевые точки, текущее состояние и счетчик, а также доступны элементы для перекалибровки и настройки порогов.

Пусть модуль оценки позы формирует множество двумерных ключевых точек  $K = \{k_i = (x_i, y_i) \mid i = 0, \dots, 16\}$ , упорядоченных согласно стандартной схеме COCO. Если обнаружено несколько человек, индекс основного спортсмена  $p$  выбирается как индекс ограничивающего прямоугольника с максимальной площадью.

Калибровка перекладины выполняется с участием пользователя: в режиме настройки оператор кликает по перекладине на отображаемом изображении. Координата клика переводится в координаты исходного кадра и задает значение  $bar_y$ .

Калибровка пола выполняется один раз на начальной стадии настройки системы. На основе обнаруженных ключевых точек лодыжек (левая лодыжка: индекс 15; правая лодыжка: индекс 16) оценивается опорный уровень пола и сохраняется для последующей проверки контакта:

$$y_{floor} = \max(y_{15}^0, y_{16}^0) \quad (1)$$

Это значение представляет вертикальную координату стоп в состоянии покоя на полу. Для каждой руки угол в локтевом суставе вычисляется по ключевым точкам плеча, локтя и запястья. Для левой руки:

$$\theta_L = \angle(k_5, k_7, k_9) \quad (2)$$

Аналогично вычисляется  $\theta_R$ . Далее выбирается:

$$\theta = \max(\theta_L, \theta_R) \quad (3)$$

Угол вычисляется стандартным правилом косинусов для трех точек.

Пусть  $k_0$  - ключевая точка носа, а длина туловища определяется через середину плеч и середину таза:

$$d_{norm} = \frac{bar_y - y_0}{\left\| \frac{k_5 + k_6}{2} - \frac{k_{11} + k_{12}}{2} \right\|} \quad (4)$$

Так как в системе координат изображения ось  $y$  возрастает вниз, величина  $d_{norm}$  увеличивается по мере приближения головы к перекладине.

Переменная  $\theta$  сглаживается экспоненциальным скользящим средним:

$$\theta_s(t) = \alpha \cdot \theta(t) + (1 - \alpha) \cdot \theta_s(t - 1) \quad (5)$$

где  $\alpha$  - настраиваемый параметр.

Система поддерживает два независимых, но согласованных механизма: визуальный конечный автомат для обратной связи в реальном времени и логику активации и подсчета повторений для их валидации.

Для визуального отображения определены четыре дискретных состояния: DOWN, TRANSITION, UP и CHEATING. Переходы между этими состояниями являются комбинационными, то есть зависят только от текущих измерений и пересчитываются на каждом обрабатываемом кадре. Такой подход обеспечивает быструю реакцию системы и упрощает интерпретацию.

Пусть  $\theta_s(t)$  - сглаженный угол локтя, а  $d_{norm}(t)$  - нормализованное расстояние от головы до перекладины. Тогда вводятся два вспомогательных условия:

$$UP_{COND}(t) = [\theta_s(t) \leq \theta_{up}] \wedge [d_{norm}(t) \geq d_{up}] \quad (6)$$

$$DOWN_{COND}(t) = [\theta_s(t) \geq \theta_{down}] \quad (7)$$

Контакт с полом определяется следующим образом:

$$floor_{contact}(t) = [\max(y_{15}(t), y_{16}(t)) \geq 0.95 \cdot y_{floor}] \quad (8)$$

Текущее визуальное состояние определяется по приоритетным правилам:

$$state(t) = \begin{cases} CHEATING, & \text{if } floor_{contact}(t) = \text{true}, \\ UP, & \text{if } UP_{COND}(t) = \text{true}, \\ DOWN, & \text{if } DOWN_{COND}(t) = \text{true}, \\ TRANSITION, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (9)$$

Графическое представление этого автомата состояний показано на рисунке 2.

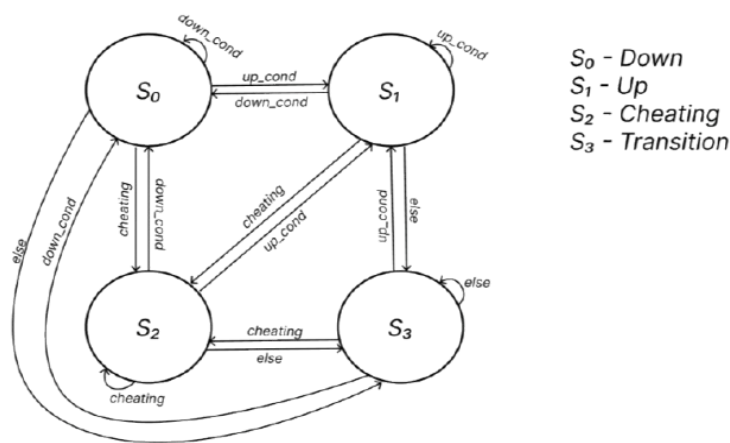


Рисунок 2 - Конечный автомат визуальной обратной связи.

Переходы оцениваются на каждом кадре в соответствии с приоритетом: CHEAT > UP\_COND > DOWN\_COND > TRANSITION. Состояние зависит только от текущих входных измерений и не зависит от истории. Все переходы безусловны относительно предыдущего состояния: текущий входной вектор однозначно определяет следующее состояние.

Хотя визуальное состояние обеспечивает немедленную обратную связь, фактический счетчик повторений опирается на внутренний булев флаг *armed*, который запоминает, полностью ли спортсмен выпрямил руки после предыдущего засчитанного повторения.

Условие установки: *armed* принимает значение true всякий раз, когда  $DOWN_{COND}(t)$  становится истинным, то есть когда руки достаточно выпрямлены.

Условие сброса: *armed* сбрасывается в false только после успешного засчитывания корректного повторения.

Таким образом, *armed* работает как фиксирующий механизм, сохраняя высокое значение даже в том случае, если угол локтя кратковременно покидает область DOWN. Это соответствует поведению реальной реализации и предотвращает пропуск повторений из-за небольших колебаний угла.

Событие повторения формируется как бинарный импульс  $rep(t)$ , когда одновременно выполняются все следующие условия: система активирована, то есть  $armed(t) = true$ ; достигнуто верхнее положение, то есть  $UP_{COND}(t) = true$ ; отсутствует контакт с полом, то есть  $CHEAT(t) = false$ ; с момента предыдущего засчитанного повторения прошло не менее  $F_{min}$  кадров.

Формально:

$$rep(t) = armed(t) \wedge UP_{COND}(t) \wedge \neg CHEAT(t) \wedge [(t - t_{last}) \geq F_{min}] \quad (10)$$

Когда  $rep(t) = 1$ , общий счетчик увеличивается, флаг *armed* сбрасывается, а метка времени повторения обновляется:

$$count \leftarrow count + 1 \quad (11)$$

$$armed \leftarrow false \quad (12)$$

$$t_{last} \leftarrow t \quad (11)$$

Такая двухуровневая архитектура четко разделяет то, что видит пользователь, и то, как валидируются повторения. Это гарантирует, что повторение не будет засчитано, если спортсмен хотя бы один раз полностью не выпрямил руки после предыдущего повторения, а любой контакт с полом мгновенно делает текущее движение недействительным.

**Результаты.** Предлагаемая система реализована на Python 3.10 с использованием PyQt5 для графического интерфейса, OpenCV для захвата видео и Ultralytics YOLO26n-pose для оценки позы. Система работает на стандартном ноутбуке (Intel i5, 8 ГБ RAM, без выделенного GPU) со скоростью около 25 FPS при обработке на каждом четвертом кадре. Главное окно программы показано на рисунке 3.

Интерфейс логически разделен на две области. Левая панель - отображение видео. Поток с камеры отображается с наложенными аннотациями: обнаруженный скелет (ключевые точки и связи), откалиброванная перекладина (желтая горизонтальная линия), текущий счет повторений (крупный белый текст), текущее состояние (цветной текст: UP, DOWN, TRANSITION или CHEATING), а также, при необходимости, красное предупреждение «INVALID: On floor!». Все графические элементы обновляются с частотой кадров камеры, примерно 25 FPS.

Правая панель - управление и мониторинг. Здесь размещены: крупный цифровой индикатор общего числа повторений; кнопки RESET COUNT (сброс счетчика к нулю) и RECALIBRATE BAR (возврат в режим настройки); ползунки для оперативной настройки порогов угла локтя; статистика в реальном времени: сглаженный угол локтя  $\theta_s$ , нормализованное расстояние от головы до перекладины  $d_{norm}$  и текущее визуальное состояние; индикатор наличия контакта с полом, показывающий, касаются ли ступни спортсмена пола (зеленый индикатор «No contact» / красный индикатор «On floor – cheating»). Все параметры могут изменяться в процессе работы, что позволяет адаптировать чувствительность системы к различным антропометрическим особенностям и стилям выполнения.

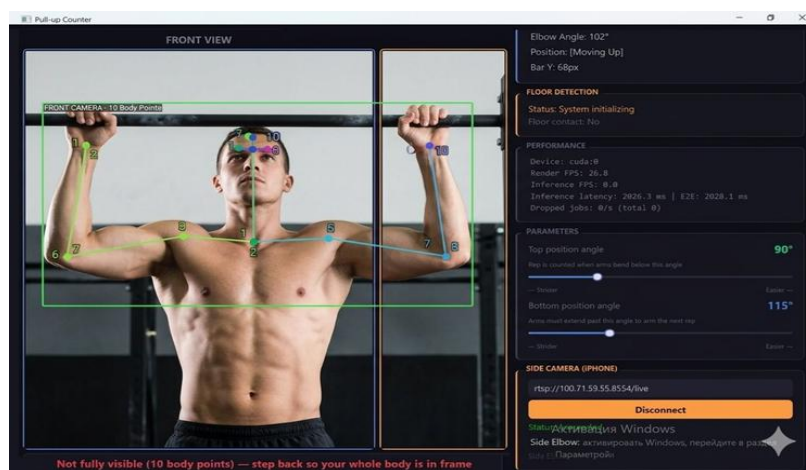


Рисунок 3 - Главное окно счетчика подтягиваний.

Ключевым вкладом данной работы является интеграция явного детектора контакта с полом в конвейер подсчета повторений. На этапе настройки спортсмен стоит неподвижно, полностью опираясь обеими стопами на пол; система фиксирует вертикальные координаты лодыжек и сохраняет максимальное из двух значений как опорный уровень пола  $y_{floor}$ .

Во время работы текущий уровень стопы вычисляется по текущим координатам лодыжек, и бинарный флаг нарушения устанавливается, когда выполняется условие контакта с полом. Допуск 0,95 компенсирует естественное дрожание ключевых точек и

незначительный отрыв пяток. Как только  $floor_{contact}(t)$  становится истинным, система немедленно переключает визуальное состояние в CHEATING; отключает механизм активации повторения; выводит предупреждение на экран «INVALID: On floor!»; запрещает дальнейший подсчет до тех пор, пока спортсмен не поднимет ноги.

Благодаря выполнению инференса позы только на каждом четвертом кадре система снижает вычислительную нагрузку в четыре раза, сохраняя при этом плавную визуальную обратную связь. На ноутбуке Intel Core i5-1135G7 без дискретной видеокарты среднее время инференса на один обрабатываемый кадр составляет 42 мс, что дает эффективную частоту обновления позы около 6 Гц и частоту обновления пользовательского интерфейса 25 Гц. Этого достаточно для судейства в реальном времени в небольших соревнованиях и тренировочных условиях.

Экспериментальное тестирование проводилось в трех локациях: в тренажерном зале (локация А), на открытой уличной спортивной площадке (локация В), в домашнем спортзале (локация С). Тестирование системы позволило апробировать систему в реальных условиях. Результаты эксперимента представлены на рисунке 4. Десять участников (6 мужчин и 4 женщины) с различным опытом силовых тренировок выполнили по одному подходу из 10 подтягиваний в каждой из трёх локаций, что в сумме дало 300 попыток. Для прямой проверки критериев валидации конечного автомата (FSM) участники выполняли в каждом подходе 7 корректных и 3 намеренно ошибочных повторения: одно с чрезмерным киппингом, одно с неполным разгибанием локтей в эксцентрической фазе и одно с преждевременным контактом с полом. Таким образом, набор данных содержит 210 корректных и 90 некорректных повторений

Тестирование на Локации А с равномерным искусственным освещением и четким контрастом спортсмена с фоном обеспечили точность 98,0%. Апробация системы на Локации В показала точность системы 92,0%. Условия на улице вызвали два конкретных режима ошибок: другие люди, проходящие через сагиттальную плоскость, и тени, снижающие уверенность ключевых точек, что периодически приводило к всплескам и отклонению допустимых повторений. На локации С из-за периодических задержек RTSP из-за Wi-Fi немного замедляло переходы состояния FSM, но все же обеспечило точность 93,0%.

**Заключение.** В исследовании представлена интеллектуальная система валидации подтягиваний в реальном времени, объединяющая глубокую оценку позы с временной логикой на основе правил для обеспечения точного и интерпретируемого подсчета повторений в соревновательной среде. Предложенная архитектура включает обнаружение ключевых точек на основе YOLO26n-Pose, вычисление геометрических признаков (угол локтя и нормализованное расстояние от головы до перекладины), экспоненциальное сглаживание и конечный автомат с приоритетным кодированием состояний. В систему также встроен детектор контакта с полом, который явно учитывает нарушения правил, связанные с разгрузкой массы тела, повышая соответствие соревновательным требованиям.

Система эффективно работает на стандартном оборудовании только с центральным процессором и не требует использования носимых датчиков, что делает ее пригодной для судейства в реальном времени. Двухуровневая архитектура, в которой визуальная обратная связь и логика подсчета повторений реализованы независимо, делает поведение системы прозрачным и допускает аудит каждого решения, что особенно важно в условиях соревновательного судейства.

Дальнейшая работа должна быть направлена на повышение устойчивости к окклюзиям, смене освещения и нестандартному расположению камеры, а также на поддержку сценариев с несколькими спортсменами. Для оценки обобщаемости необходима расширенная валидация на выборках с разными антропометрическими характеристиками и в различных соревновательных форматах.

## YOLO26N-POSE НЕГІЗІНДЕ ЖАРЫСТЫҚ СПОРТҚА АРНАЛҒАН НАҚТЫ УАҚЫТТАҒЫ ТАРТЫЛУДЫ ВАЛИДАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

<sup>1</sup>Д. Тасыбаев, <sup>1</sup>М. Амангельды, <sup>1</sup>О. Стельвага, <sup>2</sup>Кокарев Б.Н.

<sup>1</sup>*Astana IT University / SIC Industry 4.0, Astana, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*«Запорожське политехникасы» ұлттық университеті, Запорожье қ., Украина*

*Хат алмасу үшін автор: Тасыбаев Д.Б. [tassybayev.kostanay@gmail.com](mailto:tassybayev.kostanay@gmail.com)*

**Аннотация.** Мақалада YOLO26n-Pose моделі негізінде жарыстық спортқа арналған нақты уақыттағы тартылуды орындауды бақылаудың интеллектуалды жүйесін әзірлеу және эксперименттік валидациялау нәтижелері ұсынылған. Ұсынылған тәсіл адам позасын екіөлшемді бағалауды, геометриялық белгілерді шығаруды, уақытша тегістеуді және ережелерге негізделген соңғы автоматты біріктіреді: бұл жарыс талаптарына сәйкес қайталауларды объективті түрде санауды қамтамасыз етеді. Жұмыста визуалды кері байланыс күйлерін (DOWN, TRANSITION, UP, CHEATING) және қайталауларды санауды іске қосу мен оқиғаларды анықтау логикасын ажырататын екі деңгейлі валидация механизмі ұсынылған. Қосымша түрде дене салмағын жеңілдетуден туындайтын жарамсыз қайталауларды есепке алмауға мүмкіндік беретін еденмен жанасуды анықтайтын калибрленген детектор жүзеге асырылды. Жүйе орталық процессор негізіндегі жабдықта нақты уақыт режимінде жұмыс істейді (интерфейстің жаңару жиілігі  $\approx 25$  FPS). Ұсынылған шешім шағын жарыстар мен жаттығу жағдайларында әділ әрі ашық төрешілік жүргізуге арналған киілетін датчиктерге негізделген жүйелерге түсіндірілетін, арзан және ауқымдалатын балама болып табылады.

**Түйінді сөздер:** интеллектуалды жүйе, тартуды санау, қайталауды санау, компьютерлік көру, бұзылу анықтау, нақты уақыт жүйесі

## DEVELOPMENT OF A REAL-TIME PULL-UP VALIDATION SYSTEM FOR COMPETITIVE SPORTS USING YOLO26N-POSE

<sup>1</sup>Tassybayev D.B., <sup>1</sup>Amangeldy M., <sup>1</sup>Stelvaga O., <sup>2</sup>Kokarev B.N.

<sup>1</sup>*Astana IT University / SIC Industry 4.0, Astana, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Ukraine*

*Corresponding author: Tassybayev D.B. [tassybayev.kostanay@gmail.com](mailto:tassybayev.kostanay@gmail.com)*

**Abstract.** This paper describes the development and experimental validation of an automated real-time pull-up counting system for competitive sports, built on the YOLO26n-Pose model. The system integrates 2D keypoint detection, geometric feature extraction, exponential smoothing of elbow-angle measurements, and a rule-based finite-state machine to count repetitions against competition-compliant criteria. A two-level validation architecture separates visual feedback, four discrete states: DOWN, TRANSITION, UP, and CHEATING, from the underlying repetition-counting logic. A calibrated floor-contact detector prevents repetitions from being credited when the athlete's feet touch the ground. Running on a standard CPU-only laptop (Intel i5, 8 GB RAM), the system achieves roughly 25 FPS interface refresh. Unlike wearable sensor setups, the system requires no athlete-worn hardware, making it practical for judging at small competitions and training sessions.

**Keywords:** intelligent system, pull-up counting, repetition counting, computer vision, violation detection, real-time system

## Список литературы

- 1 Bonidia R. P. et al. Computational intelligence in sports: A systematic literature review. *Advances in Human-Computer Interaction*. 2018. Vol. 2018. Article 3426178. <https://doi.org/10.1155/2018/3426178>
- 2 De Fazio R., Mastronardi V. M., De Vittorio M., Visconti P. Wearable Sensors and Smart Devices to Monitor Rehabilitation Parameters and Sports Performance: An Overview. *Sensors*. 2023. Vol. 23. Article 1856. <https://doi.org/10.3390/s23041856>
- 3 Fu B., Jarms L., Kirchbuchner F., Kuijper A. ExerTrack—Towards Smart Surfaces to Track Exercises. *Technologies*. 2020. Vol. 8. Article 17. <https://doi.org/10.3390/technologies8010017>
- 4 Naik B. T., Hashmi M. F., Bokde N. D. A Comprehensive Review of Computer Vision in Sports: Open Issues, Future Trends and Research Directions. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. Article 4429. <https://doi.org/10.3390/app12094429>
- 5 Zheng F., Al-Hamid D. Z., Chong P. H. J., Yang C., Li X. J. A Review of Computer Vision Technology for Football Videos. *Information*. 2025. Vol. 16. Article 355. <https://doi.org/10.3390/info16050355>
- 6 Sinclair A., Kautai K., Shahamiri S. R. Pūioio: On-device Real-Time Smartphone-Based Automated Exercise Repetition Counting System. arXiv:2308.02420. 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.02420>
- 7 Ferreira B. et al. Deep learning approaches for workout repetition counting and validation. *Pattern Recognition Letters*. 2021. Vol. 151. P. 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.08.012>
- 8 Hsu Y. C., Efstratios T., Tsui K.-L. Viewpoint-invariant exercise repetition counting. *Health Information Science and Systems*. 2023. Vol. 12. No. 1. <https://doi.org/10.1007/s13755-023-00262-z>
- 9 Sideridou M., Kouidi E., Hatzitaki V., Chouvarda I. Towards Automating Personal Exercise Assessment and Guidance with Affordable Mobile Technology. *Sensors*. 2024. Vol. 24. No. 7. Article 2037. <https://doi.org/10.3390/s24072037>
- 10 Liu J., Ma J., Li W., Zhu C. A Novel Model for Intelligent Pull-Ups Test Based on Key Point Estimation of Human Body and Equipment. *Mobile Information Systems*. 2023. Article 3649217. <https://doi.org/10.1155/2023/3649217>
- 11 Bazarevsky V. et al. BlazePose: On-device Real-time Body Pose Tracking. arXiv:2006.10204. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10204>
- 12 Maji J., Nagori S., Mathew M., Poddar D. YOLO-Pose: Enhancing YOLO for Multi Person Pose Estimation Using Object Keypoint Similarity Loss. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2022. <https://doi.org/10.1109/CVPRW56347.2022.00297>
- 13 Ultralytics. Pose Estimation. Ultralytics YOLO Docs. <https://docs.ultralytics.com/tasks/pose/> Дата обращения: 12.02.2026.
- 14 Lin T.-Y. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context. arXiv:1405.0312. 2014. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0312>
- 15 Chander A., Singhal C., Sahani A. K. Towards an RGB camera-based live repetition counter using auto correlation with action recognition for home rehabilitation. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 41799. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89082-7>

## References

- 1 Bonidia R. P. et al. Computational intelligence in sports: A systematic literature review. *Advances in Human-Computer Interaction*. 2018. Vol. 2018. Article 3426178. <https://doi.org/10.1155/2018/3426178>
- 2 De Fazio R., Mastronardi V. M., De Vittorio M., Visconti P. Wearable Sensors and Smart Devices to Monitor Rehabilitation Parameters and Sports Performance: An Overview. *Sensors*. 2023. Vol. 23. Article 1856. <https://doi.org/10.3390/s23041856>

3Fu B., Jarms L., Kirchbuchner F., Kuijper A. ExerTrack—Towards Smart Surfaces to Track Exercises. *Technologies*. 2020. Vol. 8. Article 17. <https://doi.org/10.3390/technologies8010017>

4Naik B. T., Hashmi M. F., Bokde N. D. A Comprehensive Review of Computer Vision in Sports: Open Issues, Future Trends and Research Directions. *Applied Sciences*. 2022. Vol. 12. Article 4429. <https://doi.org/10.3390/app12094429>

5Zheng F., Al-Hamid D. Z., Chong P. H. J., Yang C., Li X. J. A Review of Computer Vision Technology for Football Videos. *Information*. 2025. Vol. 16. Article 355. <https://doi.org/10.3390/info16050355>

6Sinclair A., Kautai K., Shahamiri S. R. Pūioio: On-device Real-Time Smartphone-Based Automated Exercise Repetition Counting System. *arXiv:2308.02420*. 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.02420>

7Ferreira B. et al. Deep learning approaches for workout repetition counting and validation. *Pattern Recognition Letters*. 2021. Vol. 151. P. 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2021.08.012>

8Hsu Y. C., Efstratios T., Tsui K.-L. Viewpoint-invariant exercise repetition counting. *Health Information Science and Systems*. 2023. Vol. 12. No. 1. <https://doi.org/10.1007/s13755-023-00262-z>

9Sideridou M., Kouidi E., Hatzitaki V., Chouvarda I. Towards Automating Personal Exercise Assessment and Guidance with Affordable Mobile Technology. *Sensors*. 2024. Vol. 24. No. 7. Article 2037. <https://doi.org/10.3390/s24072037>

10 Liu J., Ma J., Li W., Zhu C. A Novel Model for Intelligent Pull-Ups Test Based on Key Point Estimation of Human Body and Equipment. *Mobile Information Systems*. 2023. Article 3649217. <https://doi.org/10.1155/2023/3649217>

11 Bazarevsky V. et al. BlazePose: On-device Real-time Body Pose Tracking. *arXiv:2006.10204*. 2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10204>

12 Maji J., Nagori S., Mathew M., Poddar D. YOLO-Pose: Enhancing YOLO for Multi Person Pose Estimation Using Object Keypoint Similarity Loss. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2022. <https://doi.org/10.1109/CVPRW56347.2022.00297>

13 Ultralytics. Pose Estimation. Ultralytics YOLO Docs. <https://docs.ultralytics.com/tasks/pose/> Дата обращения: 12.02.2026.

14 Lin T.-Y. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context. *arXiv:1405.0312*. 2014. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1405.0312>

15 Chander A., Singhal C., Sahani A. K. Towards an RGB camera-based live repetition counter using auto correlation with action recognition for home rehabilitation. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 41799. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89082-7>

#### **Авторлар туралы ақпарат // Информация об авторах // Information about the Authors**

**Тасыбаев Дамир Булатович** – магистрант, разработчик машинного обучения, Astana IT University / НИЦ "Industry 4.0", г. Астана, Казахстан

**Тасыбаев Дамир Булатович** – магистрант, машиналық оқыту әзірлеушісі, Astana IT University / "Industry 4.0" ҒЗО, Астана қ., Қазақстан

**Tassybayev Damir** – master's student, Machine Learning Developer, Astana IT University / SIC Industry 4.0, Astana, Kazakhstan

**e-mail:** [tassybayev.kostanay@gmail.com](mailto:tassybayev.kostanay@gmail.com)

**ORCID iD:** 0009-0004-3180-6207

**Амангельды Магжан** – докторант, разработчик машинного обучения, Astana IT University / НИЦ "Industry 4.0", г. Астана, Казахстан

**Амангельды Магжан** – докторант, машиналық оқыту әзірлеушісі, Astana IT University / "Industry 4.0" ҒЗО, Астана қ., Қазақстан

**Amangeldy Magzhan** – PhD student, Machine Learning Developer, Astana IT University / SIC Industry 4.0, Astana, Kazakhstan

**e-mail:** magzhan.amangeldi@protonmail.com

**ORCID iD:** 0009-0002-7979-0502

**Стельвага Олег** – магистрант, разработчик машинного обучения, Astana IT University / НИЦ "Industry 4.0", г. Астана, Казахстан

**Стельвага Олег** – магистрант, машиналық оқыту әзірлеушісі, Astana IT University / "Industry 4.0" ҒЗО, Астана қ., Қазақстан

**Stelvaga Oleg** – master's student, Machine Learning Developer, Astana IT University / SIC Industry 4.0, Astana, Kazakhstan

**e-mail:** olegstelvaga@gmail.com

**ORCID iD:** 0009-0002-9130-1812

**Кокарев Борис Валерьевич** - кандидат наук по физ.воспитанию и спорту, доцент, Национальный университет «Запорожская политехника», г.Запорожье, Украина

**Кокарев Борис Валерьевич** - дене шынықтыру және спорт ғылымдарының кандидаты, доцент, «Запорожье политехникасы» ұлттық университеті, Запорожье қ., Украина

**Boris Kokarev** - Candidate of Sciences in Physics.Education and Sports, Associate Professor, National University of Zaporizhia Polytechnic, Zaporizhia, Ukraine

**e-mail:** kokarevb@gmail.com

**ORCID iD:** 0000-0002-2335-6611