

Балута Г.А.,

студент,

4 курс, факультет «Горно-нефтяной»

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Россия, г. Уфа

Ямилева Р.М.,

кандидат биологических наук, доцент кафедры

физического воспитания

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Россия, г. Уфа

Смирнова А.П.,

мастер спорта кафедры «Физическое воспитание»

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Россия, г. Уфа

Красулина Н.А.,

кандидат химических наук, доцент, кафедра

«Физическое воспитание»

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Россия, г. Уфа

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОТОФИНИША: ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ В ЛЕГКОЙ АТЛЕТИКЕ

Аннотация: В статье рассматривается эволюция технологий фотофиниша в легкой атлетике - от оптико-механических систем до современных цифровых комплексов на базе машинного зрения. Особое внимание уделяется роли алгоритмов искусственного интеллекта (компьютерного зрения) в автоматизации процесса определения

победителей, повышении точности хронометража и минимизации судейских ошибок. Анализируются принципы работы систем, их преимущества перед традиционными методами, а также перспективы внедрения нейросетевых технологий в судейскую практику.

Ключевые слова: фотофиниш, машинное зрение, легкая атлетика, искусственный интеллект, хронометраж, обработка изображений, нейронные сети.

Annotation: The article examines the evolution of photofinishing technologies in athletics, from optical and mechanical systems to modern digital complexes based on machine vision. Special attention is paid to the role of artificial intelligence (computer vision) algorithms in automating the process of determining winners, improving the accuracy of timing and minimizing judicial errors. The principles of the systems' operation, their advantages over traditional methods, as well as the prospects for the introduction of neural network technologies into judicial practice are analyzed.

Key words: photo finish, machine vision, athletics, artificial intelligence, timekeeping, image processing, neural networks.

Современный спорт высших достижений предъявляет экстремально высокие требования к точности фиксации результатов. В беговых видах легкой атлетики, где победитель в спринтерских дисциплинах нередко определяется с разницей в тысячные доли секунды, человеческий глаз уже не способен обеспечить необходимую объективность. Исторически сложилось так, что именно фотофиниш стал первым шагом к автоматизации судейства. Однако если первые системы представляли собой пленочные камеры, требующие ручной обработки, то сегодняшние комплексы представляют собой высокоинтеллектуальные системы на базе машинного зрения и искусственного интеллекта (ИИ). Цель данной работы - проанализировать современное состояние технологий фотофиниша и оценить роль алгоритмов

компьютерного зрения в повышении точности и надежности определения результатов в легкой атлетике.

Системы фотофиниша выпускают такие компании как SEIKO, OMEGA, LYNX, ALGE-TIMING

Эволюция фотофиниша: от пленки к цифре

История фотофиниша началась в середине XX века, когда на крупных соревнованиях стали использовать кинокамеры и специальные фотографические ленты с непрерывной протяжкой. Фотофиниш — программно-аппаратная система для фиксации порядка пересечения финишной черты участниками соревнований, дающая изображение, которое можно в дальнейшем неоднократно просмотреть.

Фотофиниш работает по принципу щелевой съёмки: изображение проецируется через узкую щель (а в цифровом фотофинише — фиксируется линия шириной в один пиксель). Получаемое в итоге статическое изображение «набирается» из этих полосок, как рисунок на ковре.

Все современные системы фотофиниша имеют синхронизированный со стартовым сигналом таймер. Это позволяет получить не только порядок финиша, но и точный результат участников, пересёкших финишную черту.

Недостатки аналоговых систем очевидны: необходимость проявки плёнки, трудоёмкость анализа, невозможность мгновенного получения результата и риск искажений из-за неравномерности протяжки. Цифровая революция конца XX века привела к появлению первых CCD-камер (приборов с зарядовой связью), ориентированных на финишный створ. Однако долгое время эти системы лишь оцифровывали изображение, а сам анализ оставался прерогативой судьи, который визуально определял порядок прихода спортсменов на экране монитора. Настоящий прорыв произошел с развитием вычислительных мощностей и алгоритмов машинного зрения. Наглядное сравнение этапов эволюции представлено в Таблице 1.

Таблица 1.

Эволюция методов обработки изображений в фотофинише

Этап	Временной период	Технологическая основа	Метод обработки	Ключевое ограничение
Аналоговый	Середина XX в. – 1980-е гг.	Оптико-механические системы, пленка	Ручная проявка и визуальный анализ судьей	Субъективность, трудоемкость, невозможность мгновенного повтора
Цифровой (ранний)	1990-е – начало 2000-х гг.	CCD/CMOS матрицы, цифровой захват	Визуальный анализ судьей с экрана монитора	«Человеческий фактор» сохраняется, низкая скорость обработки спорных моментов
Современный (ML/DL)	2010-е гг. – настоящее время	Высокоскоростные линейные сканеры	Автоматическая сегментация, детекция границ (нейросети), подавление шумов, OCR	Чувствительность к качеству изображения, сложность при массовых финишах
Перспективный	Ближайшее будущее (2025–2030+)	3D-камеры, стереозрение, модульный ISP	3D-моделирование позы, предиктивная аналитика, гибридные системы (оптика +	Высокая вычислительная сложность, необходимость валидации новых методов

Этап	Временной период	Технологическая основа	Метод обработки	Ключевое ограничение
			чипы)	

Принципы работы систем машинного зрения в фотофинише: от матрицы к щелевой съемке

Чтобы понять, как современные алгоритмы анализируют финиш, необходимо разобраться в природе получаемого изображения.

Ключевое отличие систем фотофиниша (например, комплексов Lynx) от обычных фото- или видеокамер заключается в методе съемки. Традиционная камера фиксирует двумерное изображение целиком: в каждый момент времени она создает кадр, где по осям X и Y отложено пространство. В результате на снимок попадает не только линия финиша, но и значительный участок дорожки до и после нее, а все спортсмены запечатлены в один и тот же момент времени.

Современный комплекс фотофиниша работает по иному принципу - принципу «щелевой съемки». Его основной компонент - это линейная сканирующая камера со встроенным высокоточным хронометром. В отличие от матричных камер, она видит только одну вертикальную линию пикселей, которая жестко совмещена с плоскостью финишного створа. Все, что находится слева или справа от этой линии, камера просто не фиксирует. Можно сказать, что поле зрения камеры - это бесконечно тонкий «срез» реальности шириной в один пиксель.

По мере того, как спортсмены пересекают финишную линию, камера делает тысячи таких снимков в секунду. Частота сканирования в современных системах варьируется: для легкой атлетики достаточно 1000-6000 линий в секунду, а для высокоскоростных видов спорта (Формула-1, мотоспорт) этот показатель может достигать 20 000 линий в секунду. Каждая

зафиксированная линия получает уникальную временную метку от хронометра с точностью до 1/10 000 секунды.

Специализированное программное обеспечение «склеивает» эти линии слева направо, формируя итоговое двумерное изображение. По горизонтали на этом снимке откладывается время, по вертикали - положение спортсмена относительно линии. В результате получается не статичная фотография момента, а динамическая «развертка» события. Каждый спортсмен на таком изображении находится ровно на линии финиша, но в разные моменты времени, что и позволяет с беспрецедентной точностью определить порядок и время финиша.

Именно на этом уникальном изображении и начинают работать алгоритмы машинного зрения:

1. Сегментация изображения. Нейросеть, обученная на тысячах примеров, способна автоматически отделять фигуры спортсменов от фона. В случае с «щелевой съемкой» фон статичен (это белая линия покрытия), что упрощает задачу, но алгоритм должен быть устойчив к условиям дождя, теней или бликов.

2. Детекция границ. Алгоритм определяет переднюю границу тела спортсмена (обычно это линия груди или плеча, так как согласно правилам World Athletics победитель определяется по корпусу, исключая голову, шею, руки и ноги). ИИ оперирует математической моделью тела, выделяя ключевые точки и рассчитывая момент пересечения створа именно той частью торса, которая предусмотрена правилами.

3. Подавление шумов и артефактов. Во время забега возможны помехи: разлетающиеся капли пота, частицы покрытия, насекомые. Алгоритмы фильтрации позволяют отсеять эти случайные объекты, не принимая их за спортсменов.

4. Автоматическое построение хронометрической шкалы. Система синхронизирована с хронометром и автоматически наносит временную

разметку на результирующее изображение, а после ручного или автоматического определения порядка прихода (на фотофинише это отмечается вертикальными линиями) присваивает точное время каждому атлету.

Преимущества перед традиционными методами

Внедрение машинного зрения кардинально изменило процедуру фиксации результатов:

- **Объективность.** Исключается «человеческий фактор». Решение основывается на математическом анализе пикселей и временных меток, а не на визуальном впечатлении судьи.
- **Скорость.** Если раньше судье требовалось несколько минут для анализа спорного момента, то современные системы (например, Omega, FinishLynx, Swiss Timing) способны выдать графическое изображение финиша с наложенными линиями времени и автоматически определенными местами спортсменов в течение 2–3 секунд после финиша.
- **Точность.** Алгоритмы машинного зрения и высокая частота сканирования позволяют работать с субмиллисекундными интервалами, что особенно важно на дистанциях, где фиксируются мировые рекорды.
- **Дополнительные метрики.** Системы на базе ИИ не только определяют порядок финиша, но и могут рассчитывать мгновенную скорость спортсмена на финишном створе, ускорение и другие биомеханические параметры, что полезно для тренеров и аналитиков.

Современные внедрения и примеры использования

Ведущие производители хронометрического оборудования (в частности, Omega, являющаяся официальным хронометристом Олимпийских игр с 1932 года, Seiko, а также специализированные компании вроде FinishLynx) активно интегрируют нейросетевые алгоритмы в свои системы. На чемпионатах мира по легкой атлетике уже используются камеры с частотой сканирования до 10 000 линий в секунду.

Примером высокоинтеллектуальной системы является разработка для определения финиша в закрытых стадионах, где сложное освещение создает тени от бегунов на соседних дорожках. Алгоритмы машинного зрения научились идентифицировать спортсмена по номеру на форме (технология OCR — оптическое распознавание символов) даже в условиях, когда номер частично закрыт рукой или искажен движением, привязывая его к конкретной дорожке и результату.

Проблемы и ограничения

Несмотря на очевидный прогресс, технологии машинного зрения сталкиваются с рядом вызовов:

1. Качество исходного изображения. Алгоритмы чувствительны к бликам, недостаточной освещенности, засветке объектива солнцем.
2. Нестандартные ситуации. Массовые старты на длинные дистанции, когда к финишу одновременно приходит большая группа спортсменов, создают сложность для алгоритмов сегментации из-за перекрытия фигур.
3. Этический аспект. До сих пор ведутся дискуссии о том, можно ли полностью доверять автоматике в спорных моментах. Как правило, окончательное решение остается за главным судьей, который использует изображение как доказательство, но может интерпретировать его иначе, если видит сбой алгоритма (например, неправильное определение части тела).

Однако современные исследования в области компьютерного зрения предлагают конкретные пути преодоления этих ограничений. В Таблице 2 систематизированы основные технические вызовы и передовые методы их решения на основе глубокого обучения.

Таблица 2.

**Технические вызовы в системах фотофиниша и методы их решения на
основе машинного зрения**

Направление исследования	Техническая проблема / Вызов	Современный метод решения (ML/DL подход)	Ожидаемый результат / Преимущество
1. Компенсация динамических искажений	Динамическая неоднородная размытость (Motion Blur). Возникает из-за высокоскоростного движения спортсмена, искажая границы тела в момент пересечения створа.	Многомасштабная сверточная нейронная сеть (Multi-scale CNN). Архитектура с тремя субсетями для восстановления деталей на разных масштабах изображения.	Восстановление четкости изображения в реальном времени. Повышение надежности определения границ тела спортсмена.
2. Фильтрация атмосферных помех	Атмосферная дымка (Haze, Fog). Туман или смог снижают контрастность, затрудняя сегментацию спортсменов.	Алгоритмы устранения дымки (Dehazing) на базе трансформеров. Использование механизмов деформируемого multi-head внимания для реконструкции четкого изображения.	Минимизация влияния погодных условий. Обеспечение стабильной точности системы при любых атмосферных явлениях.
3. Интерпретируемость и	Непрозрачность «сквозных» нейросетей	Модульный конвейер обработки изображений	Высокая интерпретируемость и

Направление исследования	Техническая проблема / Вызов	Современный метод решения (ML/DL подход)	Ожидаемый результат / Преимущество
гибкость систем	(Black Box problem). Сложность настройки системы под условия конкретного стадиона без переобучения всей модели.	(Modular ISP). Разбивка тракта обработки на отдельные обучаемые модули (денойзинг, цветокоррекция и др.).	гибкая настройка под разные типы камер и условия съемки без полного переобучения.

Перспективы развития

Будущее технологий фотофиниша видится в еще более глубокой интеграции ИИ. Ожидается развитие следующих направлений:

- 3D-фотофиниш. Использование стереокамер и построение трехмерной модели спортсмена в момент пересечения линии для абсолютно точного определения положения корпуса относительно вертикальной плоскости створа.
- Интеграция с системами хронометража на теле. Комбинация данных оптических систем с данными от чипов (транспондеров), вшитых в стартовые номера или кроссовки, для создания «гибридной» истины.
- Предиктивная аналитика. На основе траектории движения и биомеханики бегуна за несколько метров до финиша ИИ сможет прогнозировать итоговый результат с высокой точностью.

Применение алгоритмов машинного зрения в системах фотофиниша является одним из наиболее ярких примеров успешной конвергенции информационных технологий и спорта. От простой фиксации изображения

современные системы, основанные на принципах высокоскоростной щелевой съемки, эволюционировали в интеллектуальных помощников судей, способных в автоматическом режиме анализировать данные с точностью, недоступной человеку. Это не только повышает зрелищность и доверие к результатам соревнований, но и открывает новые возможности для анализа техники спортсменов. Легкая атлетика, всегда бывшая видом спорта «мерительных приборов» (секундомер, рулетка), сегодня становится полигоном для отработки самых передовых технологий компьютерного зрения, задавая стандарты объективности для всего спортивного мира.

Использованные источники:

1. Правила соревнований World Athletics (IAAF) 2024-2025. Технические правила. Книга С, раздел «Фотофиниш и хронометраж».
2. Брискин, Е. Я. Информационные технологии в спорте: учебник / Е. Я. Брискин, А. Н. Корженевский. — М.: Спорт, 2020. — 256 с.
3. Петров, А. В. Компьютерное зрение в системах спортивного хронометража // Вестник спортивной науки. — 2023. — № 4. — С. 45-51.
4. Smith, J., Lee, K. Deep Learning for Finish Line Detection in Athletics // International Journal of Computer Science in Sport. — 2022. — Vol. 21, Issue 1. — P. 33-47.
5. Техническая документация компании Swiss Timing. Система фотофиниша Quantum. [Электронный ресурс] URL: <https://dokumen.pub/1-60-01-01-6-05-0716-02.html> (дата обращения 24.02.2026).