

УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

Артём Михайлович Михайлов,

директор по развитию Научно-исследовательского центра "Промышленная оптика", Москва

Как известно, человеческий глаз способен воспринимать движущиеся изображения лишь в определенном диапазоне скоростей. При этом способность нашего мозга обрабатывать поступающую по зрительным нервам информацию еще более ограничена. Так, например, уже при смене изображений со скоростью 16 кадров в секунду отдельные картинки начинают сливаться в нашем восприятии в движущееся изображение. Чем больше частота кадров, тем более плавным и естественным будет казаться движение. В звуковом кинематографе частота съемки и проекции стандартизирована с 1932 года и составляет 24 кадра в секунду. Системы телевидения PAL и SECAM используют 25 кадров в секунду (25 fps или 25 Гц), а система NTSC использует 30 кадров в секунду (точнее, 29,97 fps из-за необходимости кратного соответствия частоте поднесущей). Компьютерное видео хорошего качества, как правило, использует частоту 30 кадров в секунду. Верхняя пороговая частота мерцания, воспринимаемая человеческим мозгом, в среднем составляет 39...42 Гц и индивидуальна для каждого человека.

В окружающем нас мире многие процессы и события происходят за пределами возможности человеческого визуального восприятия, и, чтобы их наблюдать и исследовать, человек придумал различные способы и устройства наблюдения как за очень медленными, так и за очень быстрыми процессами и событиями. Одним из широко используемых инструментов изучения быстротекущих процессов и событий являются скоростные и высокоскоростные

видеокамеры с частотой съемки от 200 до 10 000 000 и выше кадров в секунду. Ускоренная съемка позволяет при последующем просмотре и записи замедлить движение на экране до привычного для восприятия человека вплоть до каждого отдельного стоп-кадра и рассмотреть его во всех подробностях. В отличие от ускоренной съемки, используемой, главным образом, в научно-популярном и художественном кинематографе, а также в спортивном телевидении, скоростная и высокоскоростная запись изображения применяются для исследования быстротекущих процессов в науке и технике.

Первые опыты с хронофотографией, ставшей прообразом кинематографа, проводились с теми же целями, позволяя изучать явления, недоступные человеческому восприятию. Наиболее известным примером таких исследований являются опыты Эдварда Майбриджа (Eadward J. Muybridge) по фиксации фаз лошадиного галопа, позволившие определить момент отрыва от земли всех четырех ног. Эдвард Майбридж занимался изучением движения в

общем и движения животных в частности, вопросами его фиксации и отображения. В своих исследованиях он пришел к экспериментам с пофазовым фотографированием бега коней, которые проводились в 1872-1878 годах. Это стало первым успешным опытом хронофотографии - прототипом того, что спустя двадцать лет братья Люмьер назовут кинематографом. Оригинальная идея Эдварда Майбриджа нашла своё применение в спорте: с помощью фотофиниша и сейчас определяют победителя скачек.

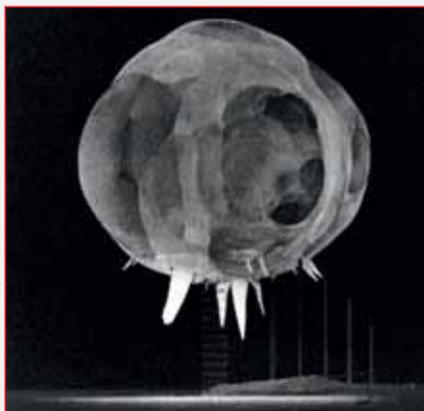


Опыты покадровой съемки Эдварда Майбриджа

После появления цифровых фотографии и видеозаписи большинство технологий скоростной съемки, основанных на кинематографических процессах, устарели, поскольку электронные устройства не содержат никаких движущихся частей, ограничивающих быстродействие. ПЗС-матрицы позволяют регистрировать быстротекущие процессы с частотой до 1000 кадров в секунду. Появление КМОП-матриц стало примером подрывной инновации, позволив снимать миллионы кадров в секунду и полностью заменить киноплёнку. Достигнутый в 2011 году уровень быстродействия в 0,58 триллиона кадров в секунду позволяет зафиксировать перемещение светового фронта импульсного лазера.

При этом очевидно, количество регистрируемой камерой видеoinформации в единицу времени возрастает в десятки и сотни раз. Это влечет за собой необходимость использования в видеокамерах высокоскоростного интерфейса передачи данных и памяти высокой производительности. Другой серьезной задачей, с которой приходится сталкиваться при записи высокоскоростного видео, является очень малое количество света, которое приходится на экспозицию одного кадра. Для этого в видеокамерах применяются высокочувствительные и малозумные матрицы и часто при видеосъемке дополнительно используются специальные мощные и немерцающие источники света.

На протяжении десятилетий традиционными лидерами в области разработки и серийного производства видеокамер для высокоскоростной съемки являются компании из США и Японии. Однако определенная работа в этом направлении велась и в нашей стране. После нескольких лет изучения зарубежного опыта, разработки, тщательного отбора компонентов и многочисленных тестов команда энтузиастов создала и вывела на российский ры-



Кадр из высокоскоростной съемки испытания атомной бомбы

нок линейку отечественных высокоскоростных камер Evercam. Являясь полностью российской разработкой и, что немаловажно, произведенной в России, высокоскоростные камеры Evercam обладают преимуществом перед зарубежными аналогами как в техническом плане, гарантийном и постгарантийном сервисе, так и существенным преимуществом по цене. Что, в свою очередь, позволяет видеть в этом один из наиболее удачных примеров тренда последних лет на замещение импортной продукции.

Научно-исследовательский центр "Промышленная оптика" (Москва) совместно с компанией "Дженерал Оптикс" (Санкт-Петербург) является на данный момент единственным отечественным разработчиком и серийным производителем высокоскоростных камер, которые позволяют снимать со скоростью до 4000 кадров в секунду при разрешении 1280 x 800 пиксел, и до 85 000 кадров в секунду при уменьшенном разрешении. Пользователям в России так же доступна Full HD версия камеры EVERCAM с разрешением сенсора 1920 x 1080 пиксел и скоростью съемки при этом разрешении - 2800 кадров в секунду. Достоинством видеокамер EVERCAM является высокая чувствительность сенсора, превосходное качество изображения, возможность расширения памяти до 128 Гб.

Благодаря малым габаритам и массе (100 x 90 x 100 мм, 1000 г) камеры являются универсальным инструментом для выполнения широкого спектра задач, таких как лабораторные исследования, промышленные испытания, военное производство и т.д.

Высокоскоростная съемка для научно-исследовательских задач

В настоящее время множество разнообразных научных исследований связано с необходимостью регистрации быстропротекающих процессов. К таким процессам относятся горение, взрывы, распространение излучения, химические реакции, механические испытания, диффузия и многое другое. Поэтому скоростные видеокамеры (от 200 до 200 000 к/с) давно и с успехом применяются учеными и инженерами в различных областях: аэро- и гидродинамике, физике плазмы, спектроскопии, микроскопии, теплофизики, станкостроении и пр.

Большинство подобных исследований связано с качественным анализом исследуемого процесса. Целью при этом, как правило, является детальное исследование определенной стадии его протекания, выявление ранее неизвестных особенностей, обнаружение новых эффектов. Классическими примерами таких процессов являются процессы горения, смешения и диффузии веществ, динамические испытания сложных конструкций и механизмов. При решении таких задач на первый план выходит необходимость выбора оптимальных параметров оптико-электронной системы для скоростной съемки: чувствительности, разрешения и частоты кадров видеокамеры, параметров объектива, расстояния до объекта и др. Так, например, при проведении динамических и механических испытаний, как правило, достаточно частоты кадров 500...1000 Гц, при исследовании химических реакции, в частности, процессов горения - до 50 000 Гц, а при анализе плазмы и распространения излучения - 200 000 Гц и даже более.

Помимо высокоскоростной съемки с целью качественного анализа различных процессов, научные исследования зачастую сопряжены с необходимостью проведения измерений различных кинематических параметров. Таковыми параметрами являются из-

мерение двумерных (в случае съемки одной камерой) или трехмерных (в случае стереосъемки) координат, скоростей, ускорений, положения центров тяжести и пр. Подобные измерения, как правило, необходимы при проведении баллистических испытаний (определение траектории полета снаряда), биомеханических и медицинских исследованиях (функциональная диагностика позвоночника и конечностей, анализ походки), исследовании потоков (вычисление количества и классификация частиц). При решении данных задач, помимо выбора видеокамеры, важными также являются вопросы калибровки системы регистрации и цифровой обработки изображений.

Очевидно, что не существует универсальной системы технического зрения, позволяющей решать все указанные выше научные задачи. Многолетний опыт применения скоростной видеосъемки позволил к настоящему времени разработать скоростные видеокамеры, параметры которых оптимизированы для решения задач конкретного класса.

Высокоскоростная съемка для авиации и космонавтики

Высокоскоростная камера необходима для визуализации сверхбыстрых процессов при испытаниях или проведении научных исследований. Этапы быстропротекающих процессов для человеческого глаза неразличимы. Для их видеосъемки необходимы специальные промышленные видеокамеры, системы машинного зрения. Такие устройства способны зафиксировать мельчайшие изменения в окружающем пространстве и точно передать их.

Камера для скоростной видеосъемки также позволяет:

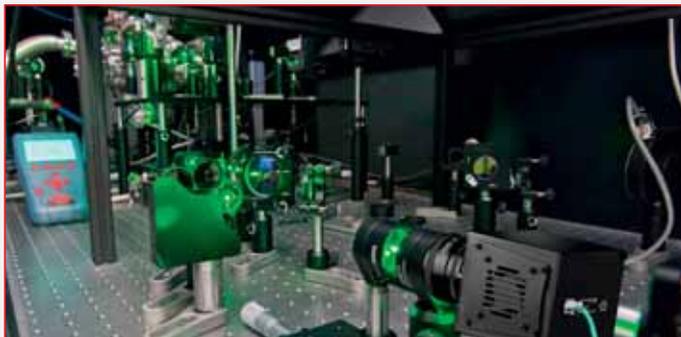
- точно отслеживать движение объекта, в т.ч. угловое и линейное перемещение;
- измерять его размеры, расстояние между предметами;
- контролировать изменение координат в пространстве;
- определять ускорение и скорость движения с максимальной точностью.

Для решения таких задач системы калибруются по известным размерам объектов, находящихся в поле зрения видеокамеры. Для настройки приборов также можно использовать специальные калибровочные мишени.

С помощью современного оборудования можно с легкостью визуализировать этапы разрушения и трансформации, своими глазами оценить влияние вибрации или температуры на объект. Промышленные видеокамеры для скоростной видеосъемки - незаменимое оборудование для технологов, инженеров, конструкторов и разработчиков. Визуализация быстропротекающих процессов поможет точнее определить критические точки и внести соответствующие усовершенствования в проект.

Высокоскоростная камера для авиации и космонавтики может использоваться при проведении следующих испытаний:

- высокоскоростная съемка испытаний авиационных двигателей на обрыв лопатки;
- испытание кабины и двигателей летательного аппарата на птицевстойкость;
- измерение скорости потока в турбинах методом PIV.



Проведение высокоскоростной съемки при исследовании лазера



Кадр высокоскоростной съемки работы ЖРД

Высокоскоростная съемка для оборонной промышленности и испытательных полигонов

В области военных разработок камеры предоставляют уникальную возможность разобраться, наконец, с рядом неразрешимых ранее конструкционных, технологических и иных проблем. В настоящее время эти камеры успешно используются для видеонализа ударной волны, изменений траектории, столкновений быстро движущихся объектов, диагностики и проектирования высокоскоростных машин.

Области применения в оборонной промышленности:

- испытание на удар;
- аэродинамическая труба;
- баллистика и детонации;
- полевые исследования;
- обнаружение объектов.

Производители огнестрельного оружия могут лучше понимать огневые процессы, происходящие в момент выстрела, что позволяет им совершенствовать свою продукцию.



Кадр высокоскоростной съемки вылета пули из ствола

Высокоскоростная съемка для автомобильной промышленности

Еще несколько десятков лет назад ведущие фирмы разбивали машины. Так, в 1935-м с 30-метрового уступа сбросили "Ситроен-СV", с удовлетворением отметив, что автомобиль после приземления "пригоден для дальнейшего движения, если бы не потеря капота". В 50-х получила развитие программа краш-тестов "Мерседеса" под руководством Бель Бареньи - ныне его называют отцом пассивной безопасности. Серьезно занимались ударами в штатах. Со временем на смену единичным тестам пришли масштабные программы, лабораторные испытания приблизились к реальным условиям.

В 1978 г. департамент по транспорту США ввел программу по испытанию новых автомобилей, известную всем как краш-тесты. Спустя 10 лет это сделала Австралия и Япония. В 1995 году была учреждена знаменитая программа Euro NCAP, а первые тесты проведены в 1997 г. Программу Euro NCAP проводят в жизнь несколько организаций-учредителей, в числе которых Международная автомобильная федерация (FIA), германский клуб АДАЦ (ADAC) и другие. Ту же методику использует в австралийской программе ANCAP группа NRMA, ведущая, в том числе страховой бизнес.



Кадр высокоскоростной съемки краш-теста при фронтальном ударе

В настоящее время краш-тесты (на фронтальный, боковой удары и столкновение с пешеходами и др.) являются обязательным требованием к выпуску автомобилей ведущих мировых брендов, таких как Mercedes, Renault, Ford, Nissan, Citroen и др. и проводятся они, как правило, с использованием съемки несколькими высокоскоростными видеокамерами.

Россия, присоединившись к Женевскому соглашению, взяла на себя обязательство испытывать автомобили по Правилам ЕЭК ООН. С 2003 года при сертификации новых моделей обязательными являются фронтальный и боковые удары по Правилам 94 и 95.

Высокоскоростная съемка для настройки и диагностики скоростных производственных линий

В производстве часто используются скоростные промышленные линии, по которым движутся объекты, использующиеся на разных стадиях обработки и сборки. При возникновении сбоев или при выходе брака приходится останавливать линии и искать причины возникших проблем. Для непрерывной диагностики и контроля работы оборудования такого типа часто используются системы на основе скоростных видеокамер.

При изучении работы отдельных узлов оборудования часто оказывается, что в разных местах одной промышленной линии условия съёмки сильно отличаются, поэтому необходимо планировать набор схем работы и требуемых аксессуаров применительно к каждому месту установки промышленной скоростной камеры.

Высокоскоростная съемка для спорта и медицины

Высокоскоростные камеры Evercam используются для решения следующих задач в спортивной области:

- для анализа спортивных элементов, трюков и т.п.;
- для объяснения спортсменам техники выполнения сложнейших действий;
- для проработки малейших неточностей и допущенных технических ошибок;



Наложение кадров высокоскоростной съемки выступления на перекладине

- для оценки судьями спорных моментов на соревнованиях, не заметных при обычном повторе;
- для изучения биомеханики спортивной деятельности.

Высокоскоростная съемка для ТВ и киноиндустрии

Высокоскоростная кино- и видеосъемка, технологии которой разрабатывались прежде всего в интересах науки, сегодня также активно используется в киноиндустрии. Несмотря на то, что с помощью программ 3D-моделирования можно нарисовать практически все что угодно, начиная от полета пули и кончая ядерным взрывом, некоторые режиссеры стараются вставить в свои фильмы фрагменты настоящих съемок быстротекущих событий - этим достигается недоступная компьютерной графике реалистичность.

Таким образом, развитие технологий высокоскоростной съемки позволило существенно расширить сферы ее применения, получить уникальные кадры, измерить и проанализировать параметры движения, и, в конечном счёте, улучшить конструкцию изделий, повысить их безопасность или проверить ряд научных теорий. Становясь, с одной стороны, более экономически целесообразными, а с другой стороны более функционально и технически оснащенными, высокоскоростные камеры постепенно становятся неотъемлемым инструментом наблюдения и контроля быстротекущих процессов практически любой серьезной организации или предприятия в области изучения, разработки, создания или эксплуатации сложных устройств и систем. Что дает нам реальную возможность раздвигать горизонты видимого человеком мира. □