

ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Телевизионная техника, прежде всего, дает нам возможность видеть окружающий мир. Но ее задачи не ограничиваются, как у человека, простым созерцанием видимого пространства. Еще больший мир лежит за пределами возможностей человеческого глаза. Цифровые телевизионные камеры помогают многократно расширить эти возможности и в первую очередь чувствительность глаза (включая пороговую контрастную чувствительность), остроту зрения и воспринимаемый спектральный диапазон.

В чем причина выделения одного из классов камер, а именно цифровых телевизионных камер (ЦТВК), в сфере аналитического приборостроения? Прежде всего, видимо, в том, какова цель их использования. ТВ-камеры, в подавляющем большинстве случаев, формируют динамические или статические изображения на экране для того, чтобы они могли непосредственно восприниматься человеческим глазом. При этом желательно, чтобы такое изображение могло максимально правдоподобно отображать прообраз объекта, или оригинал. С такой задачей обычно может справиться телевизионная камера или электронный фотоаппарат. Для ее решения в цифровом поле вполне можно ограничиться использованием 8-разрядной оцифровки аналогового прообраза. Этот случай мы и наблюдаем на практике — даже цветные видеокамеры ограничиваются 256 (или 2^8) градациями уровня сигнала.

Перечислим некоторые основные области применения ЦТВК:

- микроскопия (в биологии и медицине, при анализе структуры вещества);
- рентгенокопия (в медицине и промышленности, например рентгеновская дефектоскопия);
- астрономия (съемки звездного неба);
- неразрушающий контроль и диагностика;
- системы технического зрения.

Для получения изображения необходимо выполнение двух условий: аппаратного — наличие датчиков видеосигнала, превышающих возможности глаза (по таким параметрам, как динамический диапазон, пороговая чувствительность, число чувствительных элементов), и программной — математическая обработка видеосигнала, адаптирующая результат к возможности восприятия его глазом. Математическая обработка, которой подвергаются полученные изображения, может быть различной. Это и выделение на изображении недоступных

человеческому глазу контрастов объектов, и анализ их геометрии, и многое другое.

В любом случае к камере предъявляются такие требования, как: минимум шумов, высокая линейность сигнального тракта и большой динамический диапазон. Под динамическим диапазоном цифровой камеры на ПЗС (приборах с зарядовой связью) обычно понимают отношение максимального полезного сигнала к среднеквадратичному темновому шуму. Элементом камеры, определяющим этот параметр, является сама ПЗС-матрица. Максимальный полезный сигнал определяется глубиной потенциальной ямы (ПЯ) ПЗС, напрямую зависящей от размера пиксела (элемента изображения, или фоточувствительной ячейки). Темновой шум обусловлен в основном шумом при считывании выходного устройства ПЗС. Свою долю в уровень шума вносит и тракт обработки и оцифровки изображения.

Блок-схема типовой системы ввода изображений на основе широко распространенных аналоговых телевизионных ПЗС-камер показана на рис. 1.

Основное достоинство такой системы — ее доступность и дешевизна, а недостатки очевидны:

- использование длинной линии (например, коаксиального кабеля) для передачи изображения в устройство оцифровки увеличивает искажения и помехи видеосигнала (возникают отражения и переходные процессы);
- АЦП (аналого-цифровой преобразователь) при оцифровке сигнала работает на своей тактовой частоте, не синхронизированной с частотой камеры, что приводит к появлению дополнительных искажений (муар);
- возможности автоматической регулировки камеры далеко не всегда дают приемлемые параметры съемки (усиление, экспозицию), а установить их вручную невозможно;
- максимальное время экспозиции ограничено длительностью телевизионного полукадра (20 мс) и не может быть увеличено;
- чересстрочная развертка не позволяет получать изображения движущихся объектов в полном разрешении по вертикали (эффект чересстрочного "размазывания");
- при использовании цветной камеры кодирование цвета видеосигнала и последующее декодирование также ухудшают динамику полученного изображения.

Такие системы редко позволяют получить разрядность оцифровки более 8 бит/пиксел.

Решение этих проблем — синхронная оцифровка видеосигнала непосредственно в камере и передача оцифрованного изображения в компьютер по одному из стандартных интерфейсов (USB, IEEE 1394, Ethernet) практически без искажений. Такие цифровые камеры получили широкое распространение, но большинство из них (имеются в виду web-камеры и сетевые камеры для систем наблюдения) все равно ограничивают оцифровку 8 битами и используют стандартное

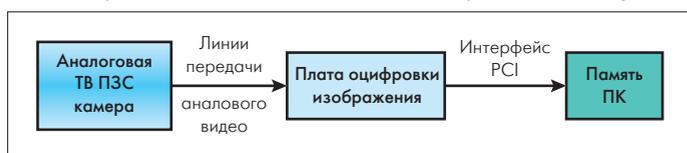


Рис. 1. Типовая система ввода изображений с аналоговых ТВ ПЗС-камер

Таблица 1. Технические характеристики камер семейства SDU

Разрядность АЦП	12 бит (для камер с CMOS сенсорами – 10 бит)
Режимы съемки	периодический, внешний, программный запуск; ведомый режим
Режим объединения пикселей:	
для камер на основе прогрессивных ПЗС	1x1, 2x2, 3x3, 4x4
для камер на основе чересстрочных ПЗС	1x1, 2x2, 4x4
Объем встроенного ОЗУ	8 Мбайт
Напряжение питания	5 В
Потребляемый ток (не более)	0,4 А (рабочий режим), 1 мА ("спящий" режим)
Диапазон рабочих температур	0...50°C
Габаритные размеры	диаметр 48 мм, длина 135 мм (без объектива)
Присоединительная резьба объектива	типа CS

сжатие при передаче изображения в компьютер, что приводит к искажениям сигнала и потере качества.

Поэтому в отдельную группу выделяются цифровые камеры, специально предназначенные для получения высококачественных изображений. Они выпускаются некоторыми зарубежными компаниями и используются для аналитических приложений. Стоимость таких камер достаточно высока – порядка нескольких тысяч долларов. Наиболее известные производители таких камер – компании Pulnix, Roper Scientific, Olympus, Каппа.

Эти камеры обычно имеют разрядность оцифровки изображений 12–14 бит и обеспечивают динамический диапазон 60–70 дБ. Для передачи изображений в компьютер в них обычно используются интерфейсы USB, IEEE 1394 (Fire Wire) или иные специальные интерфейсы (в таких случаях камера комплектуется платой ввода данных в ПК – цифровым устройством захвата кадров). Программное обеспечение (ПО), обычно поставляемое в виде SDK (пакета для разработки ПО), обеспечивает пользователю удобный доступ к управлению ресурсами камеры из своих программ.

Компания "Спецтелетехника" занимается разработкой и производством цифровых ПЗС-камер для решения аналитических задач и выпускает семейство цифровых камер типа SDU на основе ПЗС-матриц компании Sony (монохромных и цветных) различного разрешения или на основе цветных CMOS-матриц компании Micron Technology.

Эти камеры предназначены для получения высококачественных цветных и черно-белых изображений и передачи их в компьютер по интерфейсу USB 2.0.

Все камеры имеют единую конструкцию и программный интерфейс и отличаются только типом используемого сенсора. Блок-схема камеры SDU приведена на рис.2.

В камере для оцифровки сигнала с ПЗС используется специализированная интегральная схема оцифровки изображения (CCD-ID). Она объединяет в себе схемы предварительной аналоговой обработки выходного сигнала ПЗС, программно управляемый усилитель, АЦП (работающий синхронно с ПЗС) и схему привязки к "уровню черного". В такой связке удается получить низкий уровень шумов и большой динамический диапазон.

Основным узлом, формирующим временные диаграммы работы камеры, является программируемая логическая интегральная схема

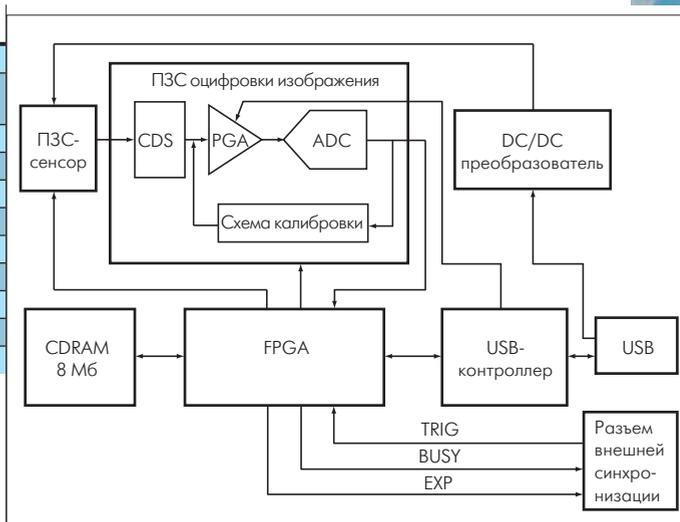


Рис. 2. Структурная схема камер SDU

(ПЛИС) с архитектурой массива FPGA. "Прошивка" такой ПЛИС (т.е. схема внутренних соединений ее элементов) загружается в нее через интерфейс USB каждый раз при подключении камеры. Благодаря этому логика работы камеры может быть легко модифицирована и адаптирована под конкретную задачу.

Питание камер осуществляется через интерфейс USB. Для формирования необходимых для работы ПЗС положительных и отрицательных напряжений в составе камеры предусмотрен DC/DC преобразователь с высоким КПД.

Особенности цифровых камер SDU:

- Высокая скорость передачи данных в компьютер благодаря использованию интерфейса USB 2.0 (до 20 Мбайт/с).
- Отсутствие сжатия изображений, позволяющее избежать потерь качества при передаче в компьютер.
- Возможность подключения до 127 камер к одному компьютеру (с использованием USB-разветвителей).
- Возможность объединения пикселей для повышения чувствительности и динамического диапазона (только для черно-белых камер).
- Возможность ввода только интересующей части изображения (ROI) для повышения частоты съемки или снижения интенсивности потока данных, передаваемых в компьютер.
- Возможность программной установки экспозиции с точностью до 1 мкс в пределах от единиц микросекунд до 4,5 мин.
- Отключение на время экспонирования внутренних устройств ПЗС-матрицы, генерирующих свет (выходной усилитель и источник напряжения смещения подложки), что позволяет избежать паразитной засветки элементов накопления по объему кристалла ПЗС при съемке с длительной экспозицией.
- Возможность получать высококачественные изображения быстропротекающих процессов при полном разрешении для камеры с прогрессивной разверткой.

Таблица 2. Камеры на основе матриц с чересстрочным выводом изображения

Модель камеры	Матрица	Размер ПЗС, дюйм/мм	Размер пиксела, мкм	Разрешение, цветковые фильтры	Максимальная частота съемки, кадров/с	Пределы установки экспозиции
SDU-255	SONY CCD ICX255AL	1/3; 4,9x364	9,8x6,3	500x576, BW	25	5 мкс – 4,5 мин
SDU-255C	SONY CCD ICX255AK	1/3; 4,9x364	9,8x6,3	500x576, CYMG	25	5 мкс – 4,5 мин
SDU-423	SONY CCD ICX423AL	2/3; 8,58x6,47	11,6x11,2	744x576, BW	25	6 мкс – 4,5 мин
SDU-429	SONY CCD ICX429AL	1/2; 6,36x4,8	8,6x8,3	744x576, BW	25	6 мкс – 4,5 мин
SDU-429C	SONY CCD ICX429AK	1/2; 6,36x4,8	8,6x8,3	744x576, CYMG	25	6 мкс – 4,5 мин
SDU-259	SONY CCD ICX259AL	1/3; 4,8x3,73	6,5x6,25	744x576, BW	25	6 мкс – 4,5 мин
SDU-259C	SONY CCD ICX259AK	1/3; 4,8x3,73	6,5x6,25	744x576, CYMG	25	6 мкс – 4,5 мин
SDU-252C	SONY CCD ICX252AQ	1/1,8; 7,1x5,3	3,45x3,45	2048x1536, Bayer RGB	4	6 мкс – 4,5 мин

Таблица 3. Камеры на основе матриц с прогрессивным выводом изображения

Модель камеры	Матрица	Размер ПЗС, дюйм/мм	Размер пиксела, мкм	Разрешение, цветковые фильтры	Максимальная частота съемки, кадров/с	Пределы установки экспозиции
SDU-285	SONY CCD ICX285AL	2/3 8,77x6,6	6,45x6,45	1392x1032, BW	7,5	7 мкс – 4,5 мин
SDU-285C	SONY CCD ICX285AQ	2/3 8,77x6,6	6,45x6,45	1392x1032, Bayer RGB	7,5	7 мкс – 4,5 мин
SDU-205	SONY CCD ICX205AL	1/2 6,32x4,76	4,65x4,65	1392x1032, BW	7,5	7 мкс – 4,5 мин
SDU-205C	SONY CCD ICX205AK	1/2 6,32x4,76	4,65x4,65	1392x1032, Bayer RGB	7,5	7 мкс – 4,5 мин
SDU-TC281	Ti CCD TC281-30	2/3 8,0x8,0	8,0x8,0	1000x1000, BW	11	300 мкс – 4,5 мин
SDU-415	SONY CCD ICX415AL	1/2 6,5x4,83	8,3x8,3	768x576, BW	25	5 мкс – 4,5 мин
SDU-415C	SONY CCD ICX415AQ	1/2 6,5x4,83	8,3x8,3	768x576, Bayer RGB	25	5 мкс – 4,5 мин
SDU-MT2M	Micron Technology MT9D001 (CMOS)	1/2 6,7x5,0	4,2x4,2	1600x1200, Bayer RGB	6	260 мкс – 9,6 с
SDU-MT3M	Micron Technology MT9T001 (CMOS)	1/2 6,55x4,91	3,2x3,2	2048x1536, Bayer RGB	4	350 мкс – 12 с

- Использование различных режимов запуска съемки, в том числе запуска от внешнего сигнала.
- Возможность перевода камеры в "спящий" режим для снижения энергопотребления и тепловыделения. Время выхода из этого режима – не более 0,5 с.
- Обновление внутреннего ПО камеры путем простого обновления драйверов, благодаря полностью загружаемой архитектуре камеры.

Технические характеристики камер приведены в табл. 1, 2 и 3.

Камеры поставляются в комплекте с ПО, включая SDK (в виде библиотеки функций) и программу, предназначенную для ознакомления с работой камер SDU и их возможностями.

Закончена разработка нового семейства камер CSDU. Они обладают всеми функциональными возможностями ПЗС-камер серии SDU и оснащены охладителями на эффекте Пельтье. Охладитель и фоточувствительный сенсор размещены в вакуумной камере, что позволяет охлаждать ПЗС до -20°C. В камерах предусмотрена возможность контроля и поддержки заданной температуры сенсора с точностью до 1°C. Максимальное время экспозиции увеличено до 1 часа, что открывает дополнительные возможности в сфере применения камер там, где требуется съемка слабосветящихся объектов (в астрономии, биолюминесценции и т.д.). Камеры программно совместимы с семейством SDU, их габаритные размеры 124x134x90 мм, питание внешнее – 12В, 3А (рис. 3).



Рис. 3. Вид камеры с охлаждением

При интеграции ТВ-камер с оптическими приборами возникает задача согласования поля зрения прибора с ПЗС-датчиком. Как правило, современные ПЗС имеют размер элемента меньше, чем требуется для большинства применений. Это не значит, что его нельзя увеличить. Весь вопрос в экономических показателях. При увеличении размера кристалла (а увеличивать по площади надо на порядок) существенно падает процент выхода годных изделий. А если потребность в таких изделиях мала, то цена матрицы становится очень большой. Справиться с такой ситуацией можно используя дорогой, но все же приемлемый метод гибридации ПЗС-матрицы и волоконно-оптического фокона (тупой конус с зеркальными стенками, используется для концентрации света). В результате стоимость полученного изделия возрастает на стоимость изготовления фокона и прецизионной технологии его монтажа. Для многих применений такой метод увеличения поля зрения оказывается приемлемым. Примером



Рис. 4. Вид камеры SDU-281 с фоконом

его реализации может служить камера SDU-281 с интегрированной волоконной шайбой с входным окном 28x28 мм² (рис. 4).

Более подробную информацию об этих камерах можно найти на Web-сайте www.sptt.ru.

Иновации, не масштабирование – ключ к развитию микроэлектроники

Таково мнение док. Бернарда Мейерсона – вице-президента по стратегическим альянсам и директора по технологиям компании IBM, высказанное в начале года на саммите глобальной прессы в Монтере. Вскоре промышленность уже не сможет улучшать производительность систем за счет увеличения рабочей частоты, поскольку чем выше рабочая частота и уровень интеграции, тем больше потребляемая мощность приборов, уже сегодня достигающая своего предела. Чтобы увеличить производительность необходимы новые принципы построения компонентов, схем и их архитектуры.

По мнению Мейерсона, в истории развития полупроводниковой электроники можно выделить две поворотные точки. В 60–70-е годы на первых этапах микроэлектроники разработчики продвигали биполярную технологию и сумели довести число транзисторов на кристалле до десятков тысяч. Дальнейшее увеличение плотности элементов столкнулось с проблемой слишком возросших энергозатрат. Но к этому времени уже появилась КМОП-технология, обещавшая улучшить характеристики и степень интеграции микросхем, выполненных на ее основе. И все это при меньшей потребляемой мощности. Поэтому с 70-х годов разработчики непрерывно увеличивают число вентилях на кристалле и улучшают их характеристики. Однако сегодня КМОП-микросхемы так же "голодают", как и их ранние биполярные "сестры". Современная микроэлектроника, считает Мейерсон, подошла ко второй поворотной точке в своей истории, хотя сейчас нет новой технологии, которая позволила бы в ближайшем будущем заменить КМОП-микросхемы. Такие перспективные устройства, как приборы на углеродных нанотрубках появятся лишь через 10–15 лет.

Очевидно в следующем десятилетии новейшие поколения КМОП-микросхем с 45-, 32-нм и меньшими размерами элементов будут выполняться на напряженном кремнии, КНИ-подложках и на основе двух- или трехзатворных транзисторов. Хотя это и позволит повысить производительность систем, но не сможет полностью решить возникшие проблемы. Пример простого решения – предложенная компанией IBM высокоэффективная инфраструктура, позволившая объединить множество параллельных 800-МГц процессоров. Созданная в результате высокопроизводительная суперкомпьютерная система BlueGene не уступает по своим характеристикам лучшим мировым системам. Мейерсон утверждает, что будущие системы компании будут превосходить своих ближайших конкурентов в 20 раз по размерам и в 28 раз по потребляемой мощности.