ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ. Часть 1*

ДЭВИД КАТЦ, РИК ДЖЕНТАЙЛ (DAVID KATZ, RICK GENTILE), инженеры компании Analog Devices

В статье рассматриваются различные форматы видеоизображений и основные принципы, в соответствии с которыми работают современные системы обработки мультимедийной информации.

ПРИНЦИПЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Понимание принципов работы наших глаз сыграло важную роль в развитии систем обработки изображений. Глаза содержат два типа зрительных клеток: палочки и колбочки. Палочки более чувствительны к яркости, но не к цвету. Колбочки, в свою очередь, не реагируют на интенсивность света, зато чувствительны к световым длинам волн в диапазоне от 400 нм (фиолетовый) до 770 нм (красный цвет). Существует три типа колбочек — каждая со своим пигментом, наиболее чувствительным к энергии красного, зеленого или синего цветов. При этом их отклики в значительной степени пересекаются. Совместный отклик колбочек имеет резонанс в области зеленого цвета (примерно 555 нм). Открытие синих, зеленых и красных колбочек привело к появлению трихроматической теории цвета, которая гласит, что любой цвет может быть получен путем смешивания в определенных пропорциях монохроматических длин волн красного, зеленого и синего цветов. Поскольку палочек намного больше, чем колбочек, глаза более чувствительны к интенсивности света, чем к цвету. Это позволяет сократить требуемую для представления изображений полосу путем субдискретизации (оцифровки с пониженной частотой) информации цветности.

Восприятие яркости имеет логарифмический характер. Другими словами, реальная сила света, необходимая для формирования 50-процентного серого изображения (точно посередине между полностью черным и полностью белым), составляет около 18% от силы света, необходимой для формирования полностью белого изображения. Это свойство должно учитываться при выводе информации на дисплеи и обработке изображений, поступающих с сенсоров видеокамер. Из-за нелинейного восприятия яркости при интенсивном свете снижается чувствительность глаза к погрешностям квантования, и эта особенность эксплуатируется во многих алгоритмах кодирования мультимедийных данных.

Еще одной особенностью зрения является то, что наши глаза непрерывно подстраиваются к зрительной среде, создавая собственную опору белого даже при слабом или искусственном освещении. Поскольку сенсоры камер не имеют такой возможности, в камерах требуется регулировка баланса белого, при которой выбирается опорная точка для абсолютно белого цвета.

Вероятно, наиболее важным свойством с точки зрения кодеков неподвижных и движущихся изображений является то, что глаз менее чувствителен к высокочастотной, чем к низкочастотной информации. Более того, он способен выделять мелкие детали и разрешать цвета в неподвижных изображениях, но не способен делать то же самое при быстром изменении картинки. Поэтому для уменьшения полной полосы, необходимой для представления неподвижного или движущегося изображения, может использоваться кодирование с преобразованием и низкочастотная фильтрация.

В условиях яркого света наши глаза реагируют на «мерцание» изображения при скорости обновления картинки, составляющей менее 50…60 кадров в секунду (50…60 Гц). При слабом освещении эта частота уменьшается примерно до 24 Гц. Кроме того, мы более чувствительны к мерцанию в больших равномерных областях, чем в локализованных. Эти моменты оказали значительное влияние на развитие систем с чересстрочной разверткой, методов отображения и выбор частот регенерации.

ЧТО ТАКОЕ ВИДЕОСИГНАЛ?

Видеосигнал — это двухмерный массив данных о яркости и цветности, который обновляется с регулярной частотой кадров. В стандартных электронно-лучевых телевизорах и мониторах электронный луч, который модулирован аналоговым видеосигналом, показанным на рисунке 1, подсвечивает люминофорные точки на экране в направлении сверху вниз, слева направо. Входящие в композитный аналоговый видеосигнал сигналы синхронизации отмечают интервалы времени, в которых луч не подсвечивает точки на экране, а возвращается из правой части экрана в левую — для вывода новой строки или из нижней части в верхнюю — для вывода нового кадра или поля (полукадра). Сигналы синхронизации показаны на рисунке 2.

Сигнал строчной синхронизации (HSYNC) отмечает начало активного видеоизображения в каждой строке видеокадра. Гашением обратного хода строчной развертки называется интервал времени, в течение которого электронная пушка возвращается из правой части экрана в левую для начала вывода новой строки. Сигнал кадровой синхронизации (VSYNC) выделяет начало нового поля изображения. Гашением обратного хода кадровой развертки

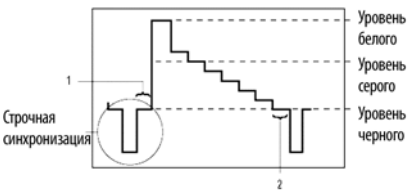


Рис. 1. **Структура сигнала яркости**
(1 — задняя площадка строчного интервала гашения, 2 — передняя площадка строчного интервала гашения)

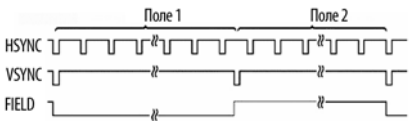
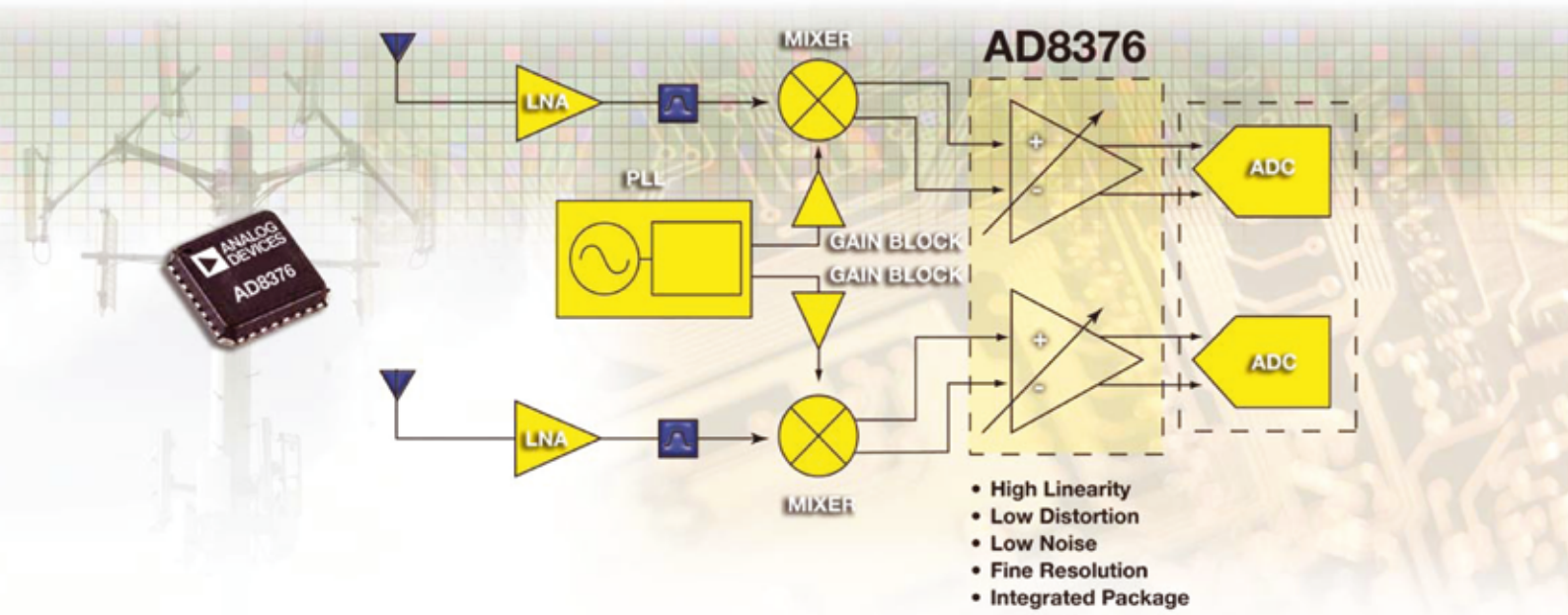


Рис. 2. **Типичные временные соотношения между сигналами HSYNC, VSYNC, FIELD**

**Вторая часть статьи будет опубликована в «ЭК» №3, 2008.*

СДВОЕННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ.

Расширенная функциональность в 1/3 прежнего объёма



ADI предоставляет всю сигнальную цепочку!
Analog Devices — единственный поставщик, который поставляет полный набор микросхем для радиочастотной сигнальной цепочки.

ADL5521 и ADL5523: малошумящие усилители
Малошумящие усилители для полосы 400 MHz…4 GHz с оптимальным соотношением коэффициента усиления и энергопотребления

ADF4360-9: Интегрированная петля ФАПЧ и генератор управляемый напряжением с программируемым делителем частоты
Встроенный ГУН позволяет сэкономить место на плате и деньги. Типичное энергопотребление: 30 мА

ADL5541 и ADL5542: широкополосные радиочастотные усилительные блоки
Работают в полосе от низких частот до 6 GHz. Внутренние согласующие 50-омные резисторы и схема смещения позволяет уменьшить число внешних компонентов

ADL5350: смеситель с высокой линейностью для сигналов от низких частот до 4 GHz
Широкополосные входы для сигналов радиочастоты, промежуточной частоты и гетеродина позволяют применять данный смеситель как в приёмных, так и в передающих трактах

AD6655: высокоинтегрированный прибор для приёмных трактов
Преобразователь со смешанными сигналами для промежуточной частоты включает в себя сдвоенный АЦП на 14 бит с частотой дискретизации 80…150 MHz и широкополосный преобразователь частоты.

Прецизионное управление коэффициентом усиления, высокое значение точки IP3, низкий уровень шумов, — всё для широкого спектра радиоприёмных трактов

Зачем применять два отдельных усилителя с программируемым коэффициентом усиления (VGA)? Analog Devices предоставляет двухканальный VGA с цифровым управлением AD8376, который занимает 67% от объёма соответствующего одноканального VGA.

Усилитель от Analog Devices обеспечивает уровень точки IP3 в 50 дБм при потребляемом токе 130 мА на канал, что обеспечивает великолепную линейность и минимизирует искажения. Вы можете максимизировать уровень сигнала на входе АЦП для различной промежуточной частоты до 400 МГц, и при этом уменьшить площадь, занимаемую на плате: AD8376 поставляется в компактном 32-выводном корпусе размером 5x5 мм. Для тех систем, где требуется расширенный диапазон изменения коэффициента усиления, например, в приёмниках CMTS, ADI предлагает усилитель AD8372, обеспечивающий регулировку усиления до 41 дБ с шагом 1 дБ.

Для получения более подробной информации о радиочастотных усилителях с программируемым коэффициентом усиления фирмы Analog Devices посетите, пожалуйста, наш вебсайт: *www.analog.com/rf-vga*

Dual-and Single-Channel Digital VGAs

N	Полоса -3 dB MHz	К.ус. от (dB)	К.ус. до (dB)	Число каналов	Уровень шума (dB)	Потребл. ток при 5V (mA)	Точность коэф.ус. (dB)	OIP3 (dBm)	Корпус	Цена* $
AD8376	690	–4	20	2	8.7	260	±0.2	50	LFCSP	6.49
AD8372	130	–9	32	2	7.8	212	±0.2	35	LFCSP	6.50
AD8375	690	–4	20	1	8	130	±0.2	50	LFCSP	4.49
AD8370	700	+25	34	1	7	78	–	35	TSSOP	4.20
AD8369	600	–5	40	1	7	37	±0.5	19.5	TSSOP	4.20

analog is everywhere.™

www.analog.com/rf-vga

ANALOG DEVICES

Официальные дистрибьюторы Analog Devices Inc.:

Элтех
www.eltech.spb.ru
Тел.: +7 812 327-90-90
Факс: +7 812 373-98-90

Аргуссофт
www.argussoft.ru
Тел.: +7 495 221-01-30
Факс: +7 495 221-01-31

Автэкс
www.autex.ru
Тел.: +7 495 334-7741
Факс: +7 495 334-8729

VD-MAIS (Украина)
www.vdmais.kiev.ua
Тел.: +38 044 492-88-52
Факс: +38 044 287 3668

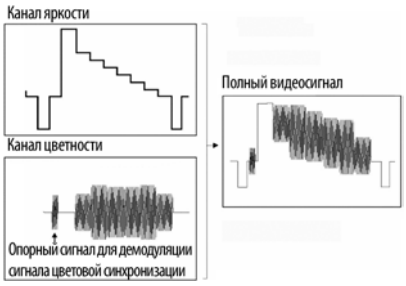


Рис. 3. **Цветной аналоговый видеосигнал**

Таблица 1. **Графические стандарты и стандарты вещательного телевидения**

Области использования	Видеостандарт	Разрешение по горизонтали, пикселы	Разрешение по вертикали, пикселы	Полное количество пикселов
Вещательное ТВ	QCIF	176	144	25344
Графика	QVGA	320	240	76800
Вещательное ТВ	CIF	352	288	101376
Графика	VGA	640	480	307200
Вещательное ТВ	NTSC	720	480	345600
Вещательное ТВ	PAL	720	576	414720
Графика	SVGA	800	600	480000
Графика	XGA	1024	768	786432
Вещательное ТВ	HDTV (720p)	1280	720	921600
Графика	SXGA	1280	1024	1310720
Графика	UXGA	1600	1200	1920000
Графика	QXGA	2048	1536	3145728

называется интервал времени, в течение которого электронная пушка возвращается из нижнего правого угла экрана в левый верхний угол. Сигнал FIELD в системах с чересстрочной разверткой указывает, какое из полей отображается в текущий момент времени.

Первоначально в системах черно-белого телевидения вывод видеоинформации осуществлялся посредством отображения относительной яркости от белого к черному. С появлением цветного телевидения потребовалось обеспечить его обратную совместимость с черно-белыми системами. Поэтому информация цветовой синхронизации в цветном телевидении добавляется, как показано на рисунке 3, поверх существующего сигнала яркости.

ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ — NTSC И PAL

Стандарты аналогового видеоизображения различаются способами кодирования информации о яркости и цветности. В системах широковещательного телевидения доминируют два стандарта — NTSC и PAL. Стандарт NTSC (National Television System Committee) используется преимущественно в Азии и Северной Америке, а PAL (Phase Alternation Line) — в Европе и Южной Америке. Третий стандарт, SECAM, популярен во Франции и отдельных странах Восточной Европы, хотя во многих этих регионах используется также и PAL. Мы будем вести речь о системах стандарта NTSC, однако рассматриваемые положения распространяются и на системы стандарта PAL.

РАЗРЕШЕНИЕ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ

Разрешающая способность по горизонтали определяется количеством пикселов в каждой строке изображения, а разрешающая способность по вертикали — количеством строк в полном кадре. В системах NTSC стандартной четкости (SD, standard definition) используется чересстрочная развертка с 480 строками активного изображения по 720 активных пикселов (то есть 720 × 480 пикселов). Обновление кадров происходит с частотой около 30 (в реальности 29,97) кадров в секунду, а вывод полей изображения — с частотой 60 (в реальности 59,94) полей в секунду. В системах высокой четкости (HD, high definition) часто используется прогрессивная развертка. Разрешающие способности по горизонтали и вертикали в таких системах могут быть намного больше, чем в SD-системах.

Существуют два основных направления развития разрешения и частот обновления кадров: форматы компьютерной графики и форматы широковещательной передачи видеоизображений. В таблице 1 перечислены некоторые распространенные варианты разрешений экрана.

ЧЕРЕССТРОЧНАЯ И ПРОГРЕССИВНАЯ РАЗВЕРТКИ

Формат чересстрочной развертки зародился на раннем этапе развития аналогового телевидения. Поскольку для минимизации визуального дрожания требовалась высокая частота обновления, а доступные технологии не позволяли столь быстро обновлять весь экран, каждый кадр в этом формате выводился в два этапа. То есть полный кадр разделяется на два поля, один из которых состоит из нечетных, а второй — из четных строк. Чтобы достичь компромисса между доступной шириной полосы и необходимостью учитывать повышенную чувствительность глаза к мерцаниям в больших равномерных областях изображения, было принято считать, что частота обновления кадров в формате NTSC (PAL) составляет примерно 30 кадров в секунду.

При чересстрочном выводе изображения может проявляться некоторое остаточное мерцание. Кроме того, полный видеокадр состоит из двух полей, принадлежащих различным интервалам времени. Это может вызывать появление зубчатых краев в движущихся изображениях при преобразовании изображений с чересстрочной разверткой в формат прогрессивной развертки.

С появлением цифрового телевидения большую популярность получил формат видеоизображений с прогрессивной разверткой, который позволяет получить изображение повышенного качества. В этом формате изображение обновляется полностью сверху вниз с удвоенной (по сравнению с чересстрочной развертками) частотой, за счет чего устраняются многие побочные эффекты чересстрочной развертки. Различий между полями в системах с прогрессивной разверткой не делается.

ЦВЕТОВЫЕ ПРОСТРАНСТВА

Существует множество разных способов представления цвета, и каждая цветовая система имеет свою область применения. Наиболее фундаментальным представлением является цветовое пространство RGB (зеленый-синий-красный). Сумма этих трех первичных цветов, взятых в определенных пропорциях, позволяет получить практически любой цвет видимой части спектра. Система RGB является базисной для всех остальных цветовых пространств.

ГАММА-КОРРЕКЦИЯ

Параметр «гамма» описывает нелинейный характер человеческого восприятия яркости и параметров дисплея. Человеческий глаз воспринимает яркость нелинейно, и физические устройства (ЭЛТ или ЖК-дисплеи) также отображают яркостную информацию нелинейно. При этом восприятие яркости человеком практически инверсно выходным характеристикам ЭЛТ. Яркость дисплея примерно пропорциональна напряжению входного аналогового сигнала, возведенному в степень «гамма» (для ЭЛТ- или ЖК-дисплеев — обычно от 2,2 до 2,5).

При обработке сигналов в видеокамере или при работе с компьютерной графикой необходимо выполнять процедуру гамма-коррекции, которая заключается в преобразовании выходного потока RGB (путем возведения отдельных составляющих в степень (1/гамма) для компенсации нелинейности устройства отображения.

Координаты RGB, получаемые после гамма-коррекции, называют пространством R'G'B', и на основе этих координат можно сформировать скорректированный сигнал яркости, Y'.

Микроэлектронные системные решения для мобильных аппликаций

Познавательная прогулка для проектировщиков

[LED] [IC] [OPTO] [RF] [LCD]

Sharp предлагает следующим поколениям проектировщиков приборов мобильные аппликации с комплектными системными решениями. Вы пользуетесь качеством и многообразием продуктов производства фирмы Sharp: **LCD** для совершенно четких и мультимедиа-фотографий. **Камеры CCD и CMOS** для самых красивых щелчков и видеосъемок. **LED** для осветления фона и вспышки. **Регуляторы напряжения** для продолжительного режима Stand-By. IrDA и IrSimple составляют хорошую связь с **тюнером DVB-H** для мобильной телевизионной связи. Пользуйтесь синергией с первых рук и разрабатывайте Ваши проекты при помощи инновативных и RoHS-конформных компонентов фирмы Sharp.

Наш сервисный отдел подготовил для Вас инженерные образцы и с удовольствием проконсультирует Вас. E-Mail: infosme@seeg.sharp-eu.com; телефон: +49(0)180 507 35 07

E·X·P·O ELECTRONICA Посетите нас на Expo Electronica, с 15 по 18 апреля в Crocus Expo, Москва Павильон 14, стенд М04

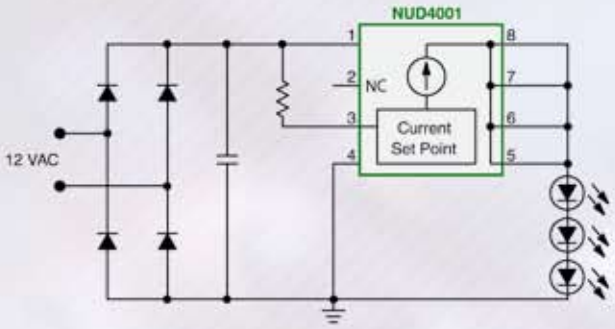
SHARP | Microelectronics

Драйверы питания светодиодов

ON Semiconductor®

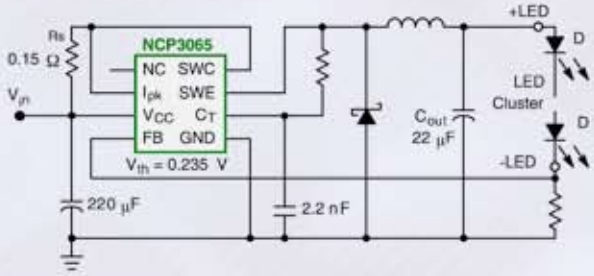
NUD4001

- линейный
- входное напряжение 5 ... 30 V
- выходной ток до 500 mA
- корпус SIOC-8



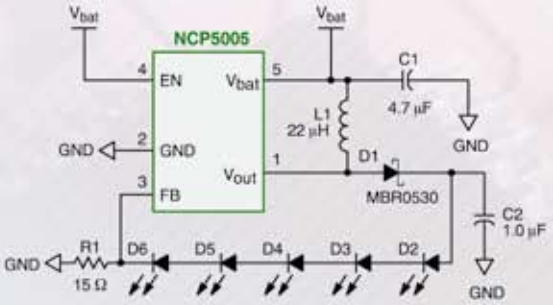
NCP3065

- Buck/Boost импульсный регулятор
- частота коммутации до 200 kHz
- входное напряжение 3 ... 40 V
- выходной ток до 1500 mA
- корпуса SOIC-8, DFN-8, DIP-8



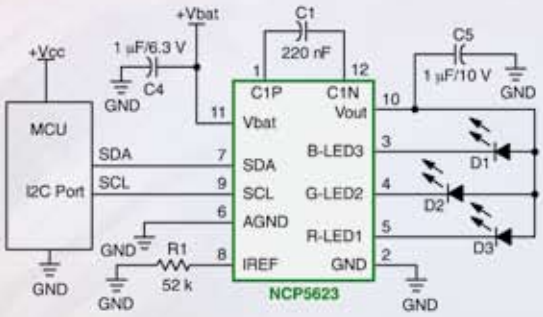
NCP5005

- Boost конвертор с ШИМ
- частота коммутации до 2.25 MHz
- входное напряжение 2.7 ... 5.5 V
- выходной ток до 40 mA
- корпус TSOP-5



NCP5623

- для питания и управления трехцветными светодиодами
- шина управления I2C
- входное напряжение 2.7 ... 5.5 V
- выходной ток каждого канала до 90 mA
- корпус LLGA-12



техническая поддержка • сопровождение проектов

ОФИС В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ:
198099, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Калинина, д. 13 (м. Нарвская)
Тел.: +7 (812) 325-36-85
Факс: +7 (812) 786-85-79
E-mail: micro@mtgroup.ru

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В МОСКВЕ:
Россия, Москва,
1-й Котляковский переулок, д.4
Тел./факс: +7 (495) 988-20-73
+7 (495) 988-20-74
E-mail: micro@mtgroup.ru

MT system
www.mt-system.ru

NXP HOLTEK RENESAS SAMSUNG Tyco Electronics CLARE Panasonic Futaba CD TECHNOLOGIES VARITRONIX OPTEK sim

Гамма-коррекция является обязательной процедурой при подключении камеры и/или дисплея к процессору, и, поскольку форма записи не влияет на суть изложения, чтобы избежать путаницы, мы будем использовать обозначение YcbCr/RGB даже когда речь идет о том, что выполняется гамма-коррекция. Исключение составляют только те случаи, когда будут рассматриваться преобразования между цветовыми пространствами.

Формат RGB является естественной схемой для представления реальных цветов, однако каждый из трех каналов в этом представлении сильно коррелирован с двумя другими. В этом можно убедиться, независимо просматривая каналы R, G и B — даже в этом случае можно распознать картинку.

Для сокращения занимаемой видеосигналом ширины полосы и повышения коэффициентов сжатия видеоизображений были разработаны альтернативные цветовые пространства, наиболее популярными из которых являются YPbPr, YCbCr и YUV. Во всех этих схемах используются отдельная яркостная составляющая и две составляющих цветности. Разделение на составляющие осуществляется с помощью масштабированных цветоразностных коэффициентов (B′ – Y′) и (R′ – Y′). Компонент Pb/Cb/U соответствует коэффициенту (B′ – Y′), а Pr/Cr/V — коэффициенту (R′ – Y′).

В качестве примера приведем выражения, с помощью которых осуществляется преобразование между 8-разрядными пространствами Y′CbCr и R′G′B′:

$$Y' = (0{,}299)R + (0{,}587)G + (0{,}114)B;$$

$$Cb = -(0{,}168)R - (0{,}330)G + (0{,}498)B + 128;$$

$$Cr = (0{,}498)R - (0{,}417)G - (0{,}081)B + 128;$$

$$R = Y' + 1{,}397(Cr - 128);$$

$$G = Y' - 0{,}711(Cr - 128) - 0{,}343(Cb - 128);$$

$$B = Y' + 1{,}765(Cb - 128).$$

СУБДИСКРЕТИЗАЦИЯ СИГНАЛА ЦВЕТНОСТИ

Мы уже выяснили, что человеческий глаз в большей степени чувствителен к яркости, чем к разнице цветов. Таким образом, в цветовой системе YCbCr можно уделять большее внимание составляющей Y, чем составляющим Cb и Cr. В результате субдискретизации цветовых составляющих можно добиться значительного сокращения полосы видеосигнала в видеостандартах и алгоритмах сжатия.

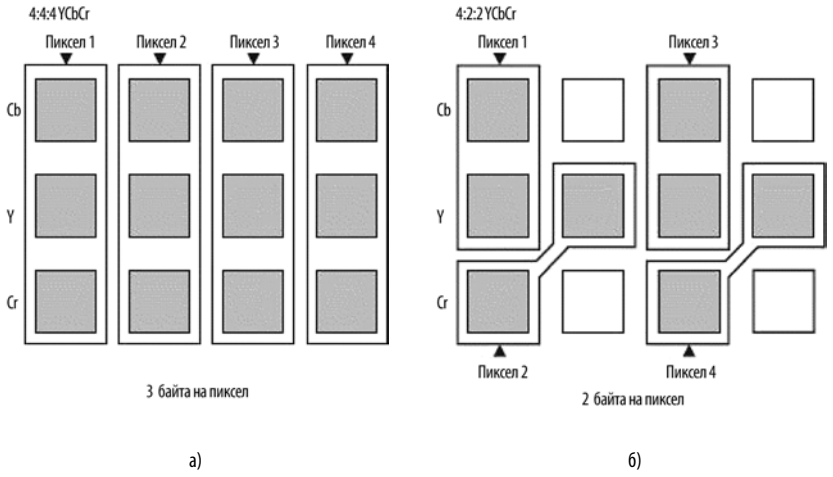


Рис. 4. **Варианты дискретизации пикселов 4 : 4 : 4 и 4 : 2 : 2 YCbCr**

Предположим, что перед субдискретизацией мы имеем поток YCbCr с полной полосой (см. рис. 2а). Такой поток имеет название 4 : 4 : 4 YCbCr. Эта запись выглядит необычно, однако расшифровывается она довольно просто. Первое число всегда равно «4» и соответствует исторически сложившемуся соотношению между частотой дискретизации сигнала яркости и частотой поднесущей сигнала цветности стандарта NTSC. Второе число соответствует соотношению числа элементов яркости и цветности в отдельно взятой строке (по горизонтали); в отсутствии субдискретизации составляющих цветности это значение равно «4». Третье число совпадает со вторым и показывает, что субдискретизация по вертикали также отсутствует. Если бы оно было равно нулю, то это означало бы, что выполняется субдискретизация сигнала цветности по строкам с коэффициентом 2 : 1. Таким образом, запись «4 : 4 : 4» подразумевает, что каждому пикселу в каждой строке соответствует собственное уникальное значение компонентов Y, Cb и Cr.

Выполнив субдискретизацию сигнала цветности с коэффициентом 2 по горизонтали, мы получим из потока 4 : 4 : 4 YCbCr поток 4 : 2 : 2 YCbCr. Запись «4 : 2 : 2» означает, что в отдельно взятой строке на 2 значения цветности приходятся 4 значения яркости (см. рис. 4б). Сигнал 4 : 2 : 2 YCbCr очень немного проигрывает по качеству изображения сигналу 4 : 4 : 4 YCbCr, зато требуемая ширина полосы сокращается на 33% от исходной.

Схема «4 : 2 : 2» — не единственный вариант субдискретизации. Например, при субдискретизации сигнала цветности потока 4 : 4 : 4 YCbCr по горизонтали с коэффициентом 4 получается поток 4 : 1 : 1 YCbCr, который широко применяется для представления входной (выходной) информации в алгоритмах сжатия (декомпрессии) видеосигналов. Еще одним популярным форматом, используемым в алгоритмах сжатия и декомпрессии, является формат 4 : 2 : 0 YCbCr. Он несколько сложнее описанных выше форматов, поскольку каждый из компонентов Cb и Cr подвергается в нем субдискретизации с коэффициентом 2 и по горизонтали, и по вертикали.

ЦИФРОВЫЕ ВИДЕОСИГНАЛЫ

До середины 90-х гг. XX в. практически повсеместно использовалась аналоговая форма представления видеоизображений. И только с появлением таких движущих сил, как формат сжатия MPEG 2, широкое распространение интернета и принятие FCC-стандарта цифрового телевидения (DTV), стало возможным использование преимуществ цифрового представления видеосигналов. Эти преимущества заключаются в улучшении отношения сигнал/шум (ОСШ), более эффективном использовании пропускной способности (внутри существующего аналогового канала может быть размещено несколько цифровых видеоканалов) и снижении требуемого объема памяти в алгоритмах цифрового сжатия.

Оцифровка аналогового видеосигнала предполагает его дискретизацию и квантование. В двухмерном контексте видеокадра дискретизация заключается в разбиении пространства изображения на малые области и назначении относительных уровней амплитуды компонентам цветового пространства в каждой из областей в соответствии с их интенсивностью. Нужно обратить внимание на то, что аналоговый видеосигнал уже дискретизирован по вертикали (имеет дискретное количество строк) и во времени (дискретное количество кадров в секунду).

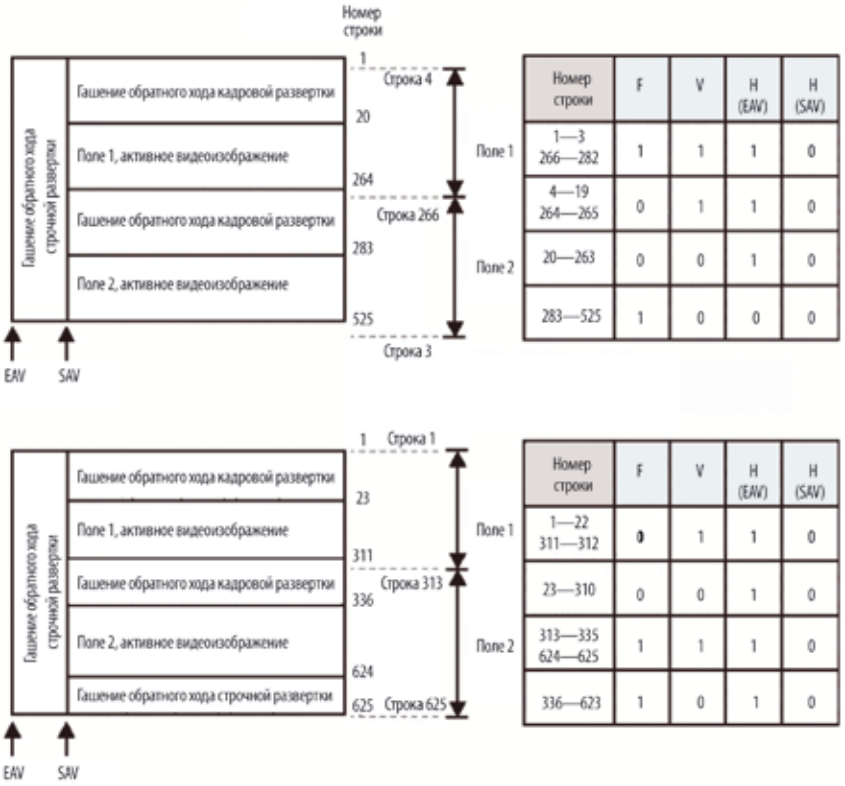


Рис. 5. **Разбиение кадра ITU-R BT.656**

Квантованием называется процесс назначения дискретных значений амплитуды полученным в результате дискретизации относительным уровням. В потребительских приложениях широко распространено 8-разрядное квантование отдельных каналов изображения, когда максимально темному уровню соответствует значение «0», а максимально яркому — «255». В последнее время в бытовой видеоаппаратуре быстро набирает популярность также 10- и 12-разрядное квантование.

Появление цифрового видео предоставило превосходную возможность до значительной степени стандартизировать интерфейсы с системами NTSC и PAL. ITU (International Telecommunication Union) разработал две отдельные рекомендации (ITU-R-BT.601 и ITU-R-BT.656), определяющие структуру, которая позволяет различным цифровым видеосистемам взаимодействовать друг с другом.

ITU-R BT.601 (ПРЕЖНЕЕ НАЗВАНИЕ CCIR-601)

Рекомендация BT.601 определяет методы для цифрового кодирования видеосигналов с применением цветового пространства YCbCr. В качестве предпочтительного формата передачи видеоизображений рекомендуется формат 4:2:2 YCbCr. Для выделения границ областей активного видеоизображения в этой рекомендации вводятся сигналы синхронизации (HSYNC, VSYNC, FIELD) и тактовый сигнал.

Каждая составляющая пиксела (Y, Cr или Cb) в BT.601 квантуется 8 или 10 битами. Каждая строка изображения форматов NTSC и PAL разбивается на 720 пикселов активного видеоизображения. При этом, в отличие от стандарта NTSC с частотой обновления 30 кадров/с, где полный кадр состоит из 525 строк (включая области гашения обратного хода кадровой развёртки), для поддержания частоты обновления 25 кадров/с к кадру стандарта PAL добавляется 100 дополнительных строк (всего 625 строк). Для компонента Y в рекомендации BT.601 определен номинальный диапазон значений от 16 (полностью черный) до 235 (полностью белый). Компоненты цветности Cb и Cr имеют диапазон от 16 до 240, при этом значение 128 соответствует отсутствию цвета.

Таблица 2. **Коды преамбулы SAV/EAV**

	8-разрядные данные							
	D9 (MSB)	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2
Преамбула	1	1	1	1	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0
Байт управления	1	F	V	H	P3	P2	P1	P0

P3-P0 — биты обнаружения/исправления ошибок.

ITU-R BT.656 (ПРЕЖНЕЕ НАЗВАНИЕ CCIR-656)

В то время как рекомендация BT.601 регламентирует представление видеосигнала в цифровой форме, рекомендация BT.656 определяет физические интерфейсы и потоки данных, необходимые для практической реализации BT.601. В BT.656 описаны два варианта режима работы: параллельный и последовательный. Для реализации параллельного режима достаточно сигнала тактовой частоты 27 МГц (для получения частоты кадров NTSC — 30 кадров/с) и, в зависимости от разрешения пикселов, 8 или 10 линий данных. Все сиг-

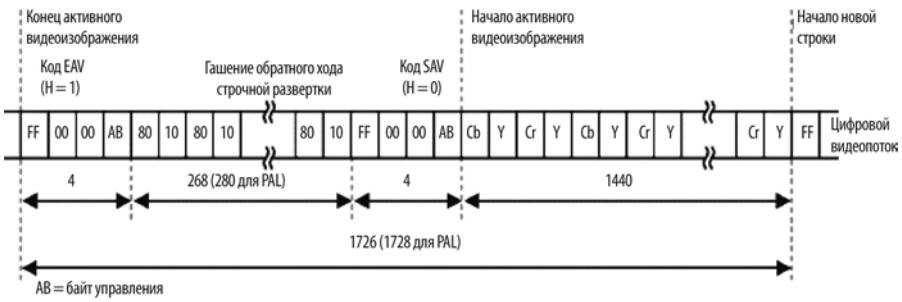


Рис. 6. **Поток данных ITU-R BT.656**

налы синхронизации интегрируются в поток данных, поэтому дополнительные аппаратные линии не требуются.

В последовательном режиме данные с разрядностью 10 бит на пиксел передаются последовательно в виде единого мультиплексированного потока. Такой режим требует применения сложных схем синхронизации, восстановления тактовой частоты и т.д. Более того, тактовая частота в этом режиме близка к 300 МГц, поэтому во многих системах его реализация сопряжена со значительными трудностями. Мы рассмотрим только особенности параллельного режима. На рисунках 5 и 6 показано разбиение кадра и характеристики потока данных ITU-R BT.656, соответственно, для систем 525/60 (NTSC) и 625/50 (PAL).

В рекомендации BT.656 сигналы строчной (H), кадровой (V) синхронизации и сигнал поля (F) включаются в поток данных видеосигнала в виде последовательности байтов, формирующих управляющее слово. Сигналами начала активного видеоизображения (SAV, Start of Active Video) и конца активного видеоизображения (EAV, End of Active Video) выделяется начало и конец элементов данных, принадлежащих одной строке. Сигнал SAV соответствует переходу H из 1 в 0, а EAV — переходу H из 0 в 1. Полное поле видеоизображения включает активное видеоизображение, а также интервалы гашения обратного хода строчной (промежуток между кодами EAV и SAV) и кадровой (промежуток, на котором V = 1) развертки.

Начало поля видеоизображения отмечается изменением бита F. Нечетному полю соответствует значение F = 0, четному — F = 1. В случае прогрессивной развертки различий между полями 1 и 2 не делается, в то время как при чересстрочной развертке каждое поле должно обрабатываться по-своему, поскольку реальное видеоизображение формируется совмещением строк двух смежных полей.

Подробное описание кодов EAV и SAV содержится в таблице 2. За определенной преамбулой из трех байтов следует слово состояния XY. Помимо битов F (поле), V (гашение обратного хода кадровой развертки) и H (гашение обратного хода строчной развертки) оно содержит четыре защитных бита (P3—P0) для обнаружения и исправления одиночных ошибок.

Интервал гашения обратного хода кадровой развертки (V = 1) может использоваться для передачи телетекста, титров и другой информации. В BT.656 эта возможность поддерживается с помощью пакетов служебных данных. В отличие от управляющих кодов все пакеты служебных данных имеют преамбулу «0×00, 0×FF, 0×FF».

Если служебные данные не посылаются, то на интервалах гашения обратного хода кадровой и строчной развертки поток (Cb, Y, Cr, Y, Cb, Y) имеет вид (0×80, 0×10, 0×80, 0×10, 0×80, 0×10). Поскольку значения «0×00» и «0×FF» используются как специальные символы для выделения преамбулы, их использование в составе потока активного видеоизображения не допускается. Для совместимости в 10-разрядных системах также резервируются значения «0×000 — 0×003» и «0×3FC — 0×3FF».

На этом мы завершаем обзор основных принципов, используемых в работе видеосистем и форматов видеоизображений. В следующей публикации, продолжая тему, мы рассмотрим составные блоки встраиваемых систем обработки видеоизображений.