

Технология матриц ClearVid

SONY

Exmor™

Закат века CCD и наступление века высокой четкости	2
Возвращение CMOS	2
Сравнение CCD и CMOS	3
Технология ClearVid и интерполяция пикселей	4
Матрица ClearVid с увеличенной площадью пикселей	4
Характеристики матрицы ClearVid для трехчиповых CMOS-датчиков изображения	6
Чувствительность и шум	8

Закат века CCD и наступление века высокой четкости

В современных цифровых фото- и видеокамерах для преобразования свет-сигнал используются полупроводниковые датчики. В настоящее время распространены два типа датчиков: CCD (Прибор с зарядовой связью – ПЗС) и CMOS (Комплементарный металлооксидный полупроводник – КМОП). Хотя технология CMOS появилась первой, однако технология CCD вскоре вытеснила ее. Когда удалось решить первоначальные проблемы, CCD-матрицы обеспечили более высокое качество изображения и вскоре стали основной технологией для цифровых видеокамер, для которых высокое качество изображения является главным требованием. Sony с самого начала стала лидером в разработке CCD-матриц. Созданная беспрецедентная научно-исследовательская база позволяет сегодня Sony успешно продолжать совершенствование технологий преобразователей свет-сигнал.

На раннем этапе большим недостатком CCD-датчиков были значительные уровни фиксированного структурного шума (Fixed Pattern Noise – FPN). Разработка Sony технологии HAD (Диод с накоплением «дырок») позволила устранить эту проблему, что сделало CCD-матрицы привлекательными для видеоприменений и ускорило вытеснение ими традиционных вакуумных передающих трубок. Вскоре последовали другие технологические прорывы Sony, включая разработку и внедрение технологии FIT (ПЗС со строчно-кадровым переносом зарядов) с уменьшенным уровнем тянущихся продолжений, а также внедрение линзовой структуры на чипе для повышения чувствительности. С появлением устройств высокой четкости сразу потребовались CCD-датчики, способные обрабатывать в шесть раз больше информации, чем раньше. При этом требуемое число элементов изображения достигло примерно двух миллионов, но что, пожалуй, более важно, возросший объем данных и более высокие скорости их обработки привели к значительному увеличению потребляемой мощности. Поскольку CCD-датчики лучше работают при низких температурах, нагрев стал основной проблемой, и возникла необходимость в введении теплопроводов и охлаждающих вентиляторов для предотвращения перегрева. (Эти методы охлаждения до сих пор используются для CCD-датчиков, применяемых в астрономии.)

В последние годы технологические достижения в области микроструктур позволили внедрить во всей полупроводниковой отрасли новые разработки с малым энергопотреблением. Эта тенденция особенно заметна в компьютерной отрасли, где постоянно растет быстродействие центральных процессоров. Также были разработаны менее энергоемкие и более компактные CCD-датчики для HD применений.

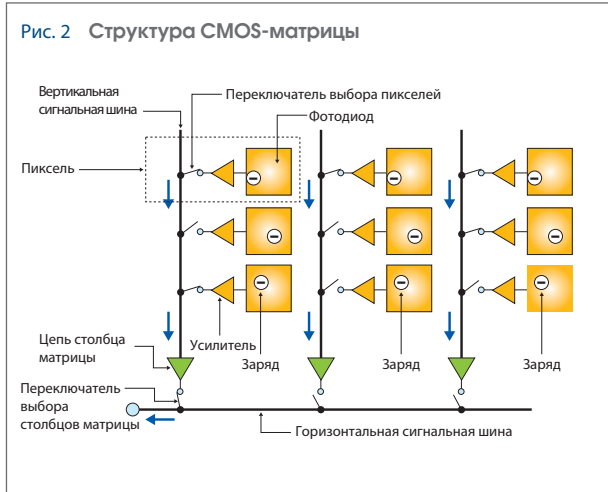
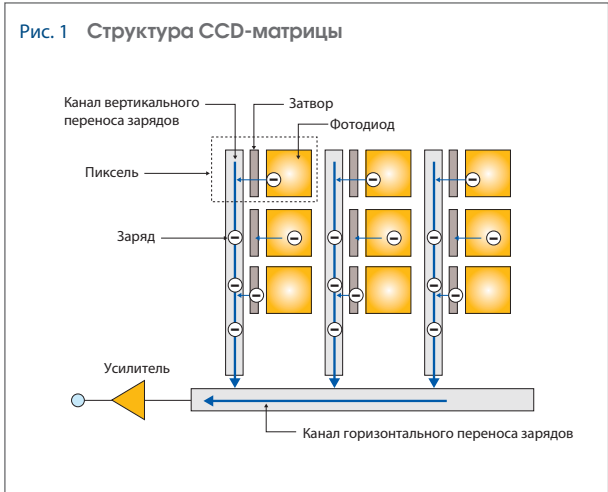
Возвращение CMOS

До самого последнего времени существовало общепринятое мнение, что CMOS-датчики не могут сравниться по качеству изображения с CCD. Однако прорывы в области полупроводниковых технологий, а также прогресс в сфере массового производства снова сделали CMOS-датчики интересными для коммерческого применения. В этом развитии большую роль сыграла популярность мобильных телефонов, оснащенных камерами. Камеры с CCD-матрицами низкого разрешения (680 x 480), которые использовались в первых моделях камерофонов, рассматривались больше как дополнительные функции, которые не смогут серьезно конкурировать с цифровыми фотокамерами. Однако число пикселей вскоре стало расти, обеспечивая более высокое разрешение, поддерживаемое растущей емкостью памяти. Поскольку CMOS-датчики появились раньше и были более экономичными, они оказались более востребованными на растущем рынке мобильных телефонов. Это способствовало их возрождению. Благодаря новым технологическим достижениям и накопленному многолетнему опыту качество CMOS-матриц стало быстро улучшаться. Сегодня CMOS-матрицы достигли такого уровня, что они применяются в дорогих моделях зеркальных цифровых фотокамер и в профессиональных камкордерах, где они обеспечивают качество изображения, в ряде случаев даже превосходящее CCD-матрицы.

Сравнение CCD и CMOS

В CCD- и CMOS-матрицах для преобразования света в электрический сигнал изображения используются фотодиоды. Однако их принцип работы существенно различается, что описано ниже. В приборах с зарядовой связью падающий свет, регистрируемый фотодиодом каждого пикселя, преобразуется в электрический заряд. Заряд пикселя перемещается в вертикальную «транспортную шину», расположенную сбоку от пикселя. Прилагаемое напряжение затем перемещает заряды по вертикальным и горизонтальным транспортным шинам, пока они не достигнут усилителя, в котором заряды преобразуются в электрический сигнал (рис. 1). В такой конструкции существует проблема, называемая «тянущиеся продолжения». Они возникают, когда очень яркий падающий свет за счет утечки попадает на вертикальную транспортную шину и создает избыточный заряд, который проявляется на изображении как яркая вертикальная полоса. Подобная структура также требует высоких напряжений для попеременного открывания и закрывания затворов, которые должны иметься в составе всех пикселей для управления временной последовательностью потока зарядов. Мощность, потребляемая CCD-матрицами, особенно велика для формата высокой четкости (например, 1080p), когда требуется быстрое считывание большого числа пикселей.

В CMOS-датчиках усилитель, имеющийся у каждого пикселя, сразу преобразует заряд пикселя в электрический сигнал, который затем продвигается на выход (рис. 2). Проблема с тянущимися продолжениями здесь отсутствует, так как падающий свет не оказывает воздействия на электрический сигнал (рис. 3). В месте затворов в CMOS-матрице используются переключатели и внутренние цепи, управляющие последовательностью выходных сигналов. Использование внутренних переключателей позволяет существенно снизить потребляемую мощность при ускорении процесса одновременного считывания большого числа пикселей. Эффективность считывания оказывается вполне достаточной для поддержки прогрессивного разложения HD изображений. В одночиповых CMOS-датчиках становится принципиально возможным одновременное считывание сигналов R, G и B. Поскольку CMOS-датчики отличаются низким энергопотреблением и высокой скоростью процесса считывания, они вполне подходят для использования в камерах высокой четкости в век ТВЧ. Они особенно интересны для малогабаритных HD камер, поскольку полностью удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям – компактность, малая потребляемая мощность и высокое качество изображения.

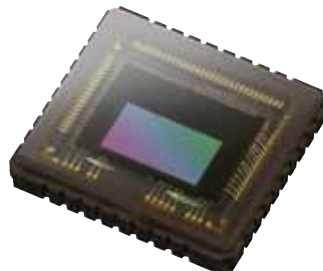


Технология ClearVid и интерполяция пикселей

Матрица ClearVid с увеличенной площадью пикселей

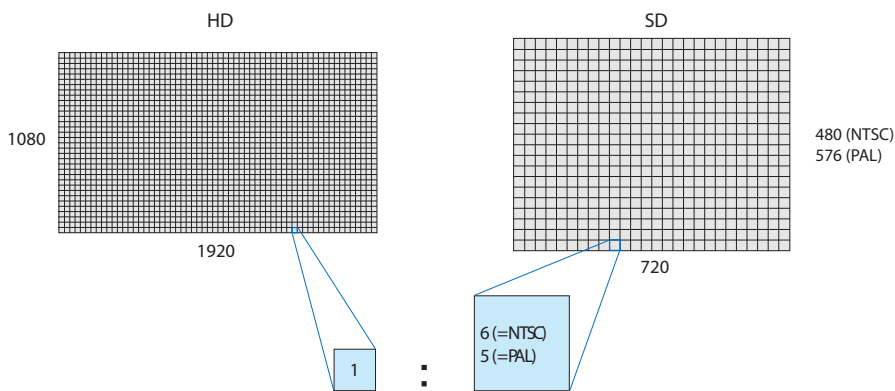
Площадь пикселей оказывает существенное влияние на параметры матрицы. Поскольку более крупные пиксели имеют увеличенную фоточувствительную область, они отличаются повышенной чувствительностью, позволяя вести съемку даже в условиях слабого освещения. Однако тенденция к использованию большего разрешения ставит пределы для размера пикселей. Настоящая матрица высокой четкости (HD) должна иметь порядка двух миллионов пикселей. Это означает, что размер пикселя будет составлять 1/5 – 1/6 часть от размера пикселя в матрице стандартной четкости (SD) того же размера. Соответственно HD матрица будет иметь значительно меньшую чувствительность (рис. 4).

Следует также отметить, что часть площади матрицы занимают цепи передачи сигналов, не относящиеся к фоточувствительным элементам. CCD-матрицы имеют тот недостаток, что они требуют наличия сравнительно широких каналов передачи зарядов, которые должны располагаться в непосредственной близости от пикселей. Это, в свою очередь, требует, чтобы пиксели располагались в виде прямоугольной решетки. В отличие от них, CMOS-матрицы используют более тонкие сигнальные шины, расположение которых на чипе можно выбирать более гибко, что позволяет создавать альтернативные структуры пикселей. Sony реализовала преимущество этой альтернативы, создав матрицу ClearVid с диагональным расположением пикселей.



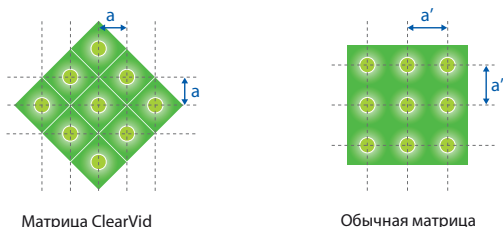
CMOS-датчик с матрицей ClearVid

Рис. 4 Сравнение площадей HD и SD пикселей*



*Предполагается, что матрицы имеют равную площадь. Площадь пикселя = площадь матрицы / число пикселей.

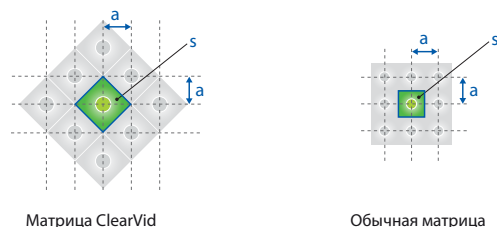
Рис. 5-1 Сравнение ширины пикселей



$$a : a' = 1/\sqrt{2} : 1$$

Если предположить, что пиксели имеют равную площадь, ширина пикселя (a) в матрице ClearVid меньше, чем ширина пикселя (a') в обычной матрице.

Рис. 5-2 Сравнение площадей пикселей



$$s : s' = 2 : 1$$

Если предположить, что пиксели имеют равную ширину, площадь пикселя (s) в матрице ClearVid оказывается в два раза больше площади пикселя (s') обычной матрицы.

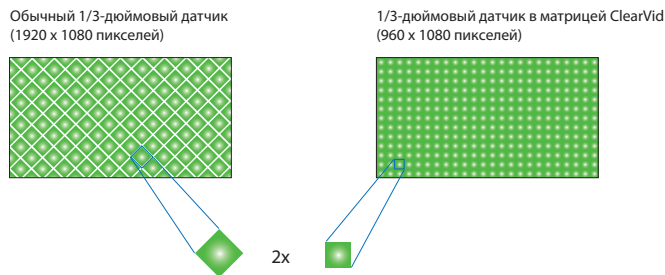
Поворот на 45° уменьшает ширину пикселя в 1/2 раз, в результате чего достигается более высокая плотность упаковки. Это, в свою очередь, означает, что матрица ClearVid Pixel имеет удвоенную площадь отдельного пикселя по сравнению с обычной матрицей при той же ширине пикселя (рис. 5-1 и 5-2). Иначе говоря, поворот пикселей в матрице CMOS-датчика увеличивает площадь каждого пикселя.

Так, 1/3-дюймовый датчик с матрицей ClearVid и числом пикселей 960 x 1080 имеет в два раза большую площадь пикселя по сравнению с обычной матрицей 1/1,89 дюйма 1920 x 1080. Иными словами, новая конструкция датчика позволяет получать очень большую площадь пикселя по отношению к размеру самой матрицы (рис. 6-1 и 6-2). Таким образом, ClearVid, несмотря на свой малый размер, отличается высокой плотностью структуры и высокой чувствительностью. Увеличенная площадь пикселей матрицы ClearVid

позволяет достигать более высокой чувствительности двумя различными путями: непосредственно, за счет большей площади для регистрации светового потока и косвенно, благодаря более эффективному использованию микролинз на чипе. Микролинза над каждым пикселем собирает свет, который иначе попал бы на нерабочие области светочувствительной поверхности, и направляет его на приемник (Fig. 7), что обеспечивает увеличение чувствительности. Эффективность микролинз благодаря технологии ClearVid значительно повышается за счет относительного увеличения площади пикселей.

* Расчет базируется на теоретических значениях и не учитывает относительные размеры цепей передачи сигналов и других областей матрицы, не относящихся к ее светочувствительной поверхности. Следует также отметить, что чувствительность камеры или видеорежиссера определяется не только площадью матрицы, но и технологиями изготовления оптики, технологиями шумоподавления, алгоритмом обработки сигнала и многими другими факторами.

Рис. 6-1 Сравнение с обычной матрицей (1)



1/3-дюймовый датчик 960 x 1080 с матрицей ClearVid имеет удвоенную площадь пикселя по сравнению с обычным 1/3-дюймовым датчиком 1920 x 1080

Рис. 7 Микролинзы на чипе

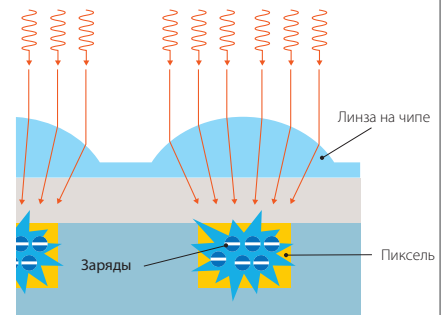
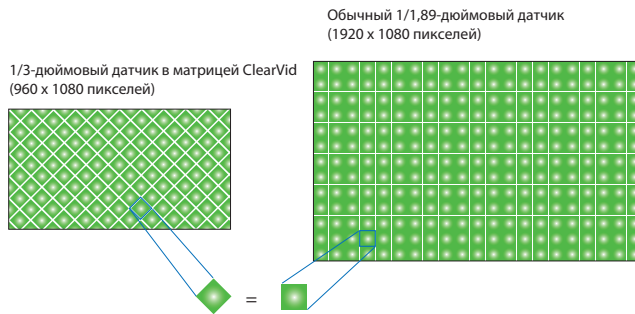


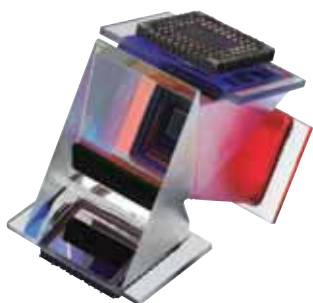
Рис. 6-2 Сравнение с обычной матрицей (2)



1/3-дюймовый датчик 960 x 1080 с матрицей ClearVid имеет ту же площадь пикселя, что и обычный 1/1,89-дюймовый датчик full-HD 1920 x 1080.

Примечание: В соответствии с принятым соглашением «1 дюйм» эквивалентен 16 мм при сравнении с матрицами, размер которых превышает 1/2 дюйма, и 18 мм в случае матриц меньшего размера.

Трехчиповая система ClearVid в настоящее время используется в видеокордерах Sony HVR-Z7E, HVR-S270E, HVR-Z5E, HVR-V1E и HXR-NX5E. Поскольку CMOS-матрица ClearVid имеет зигзагообразное расположение пикселей, соседние строки сдвигаются на половину пикселя, как показано на рис. 8. Такое расположение может привести к ложному предположению, что в матрице используется обычная технология интерполяции пикселей со сдвигом. В действительности трехчиповая система ClearVid использует более сложный механизм интерполяции, как описано ниже. В обычном подходе с интерполяцией пикселей со сдвигом чипы монтируются на призме таким образом, что матрицы R и B получают сдвиг на половину ширины пикселя относительно матрицы G.



Таким образом, каждый пиксель участвует в формировании двух сигналов. Это показано на рис. 9, где пиксель G используется для формирования сигналов $G+R1+B1$ и $G+R2+B2$. Этот метод позволяет удвоить сигнал. Фактически, однако, заметные улучшения в разрешении достигаются только в тех областях, где имеются все три цветовых сигнала. Данный метод не дает существенного выигрыша при съемке монохроматических объектов, таких как зеленый газон или красные розы (рис. 10).

В трехчиповой системе ClearVid используется другой подход, позволяющий достигать максимального разрешения независимо от относительного уровня цветовых сигналов. Трехчиповая система ClearVid обеспечивает полное разрешение HD (1080 строк пикселей) по вертикали и 960 пикселей по горизонтали.

Рис. 8 Расположение пикселей в трехчиповой системе ClearVid

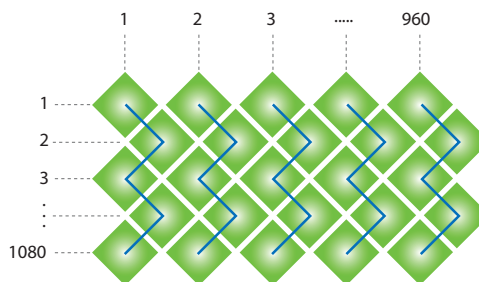
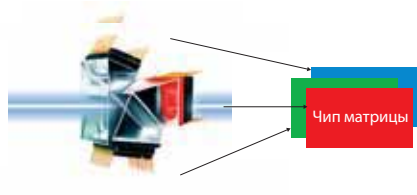
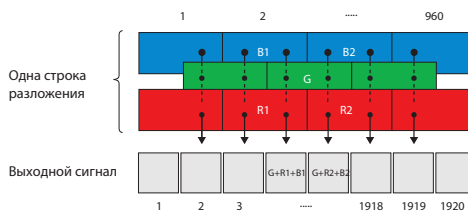


Рис. 9-1 Сдвиг пикселей



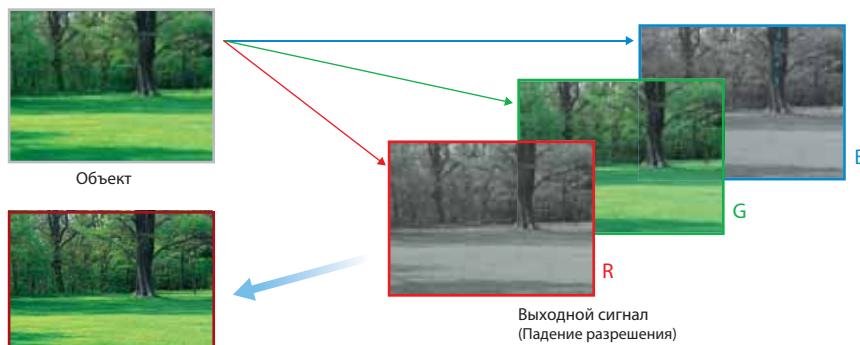
Чипы монтируются на призме таким образом, что матрицы R и B получают сдвиг на половину ширины пикселя относительно матрицы G.

Рис. 9-2 Принцип сдвига пикселей



Каждый пиксель G связан с двумя пикселями R и двумя пикселями B, в результате чего реализуется вышеуказанная структура интерполяции сигналов. Интерполяция приводит к заметному улучшению разрешения, если имеется информация от всех трех чипов, то есть если объект имеет богатую цветовую палитру.

Рис. 10 Интерполяция при сдвиге пикселей



Трехцветные компоненты (Поскольку объект имеет в основном зеленый цвет, красная и синяя компоненты добавляют очень мало информации.)

*Изображение смоделировано.

Горизонтальное разрешение увеличивается до full-HD (1920 отсчетов) путем интерполяции с созданием виртуального пикселя в каждой точке решетки; этот виртуальный пиксель формируется на основе информации от четырех соседних пикселей. Такая интерполяция осуществляется независимо в каждой матрице R, G и B. В отличие от традиционного подхода, ее эффективность абсолютно не связана со смещением цветов (рис. 11-1 и 11-2). Данный метод одинаково эффективен для разноцветных объектов и объектов, представленных в основном монохромными цветами, таких как газоны и розы. Таким образом, видеорежиссеры с трехчиповой системой ClearVid имеют превосходное разрешение для всех цветовых комбинаций, как показано на рис. 12. Описанная выше интерполяция производится в разработанном Sony процессоре Enhanced Imaging Processor™.

Этот процессор позволяет, используя матрицу ClearVid 960 x 1080 точек, создать сигнал full-HD 1920 x 1080 с прекрасной цветопередачей. В HRV-Z7E, HVR-Z5E, HVR-S270E и HXR-NX5E применяется 1/3-дюймовая трехчиповая система ClearVid, а в HVR-V1E используется 1/4-дюймовое решение. Следует отметить, что HVR-HD1000E имеет одночиповый 1/2,9-дюймовый датчик с матрицей ClearVid. В одночиповом 1/3-дюймовом CMOS-датчике модели HVR-A1E матрица ClearVid не используется.



Процессор «Enhanced Imaging Processor»

Рис. 11-1 Интерполяция в трехчиповой системе ClearVid (1)

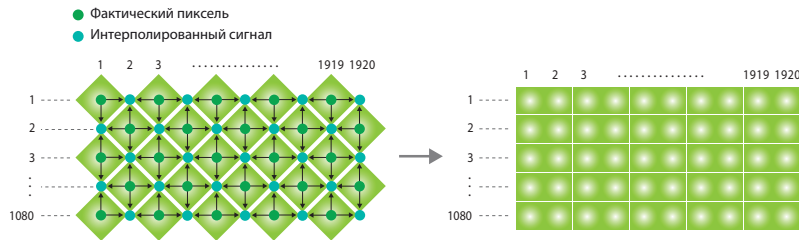
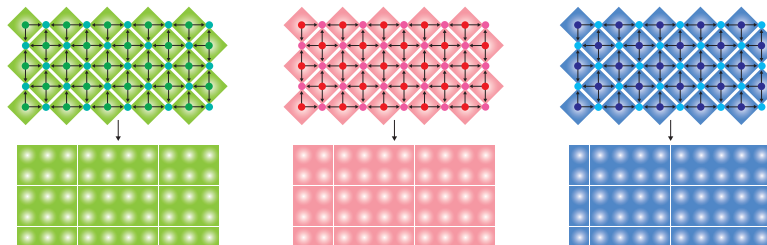


Рис. 11-2 Интерполяция в трехчиповой системе ClearVid (2)



Интерполяция в трехчиповой системе ClearVid производится в каждом чипе (R, G и B) независимо, что обеспечивает максимальное разрешение, которое не связано с комбинацией цветов объекта.

Рис. 12 Сравнение: Трехчиповая система ClearVid и обычная система со сдвигом пикселей



Чувствительность и шум

Для съемки изображений с правильной экспозицией в условиях слабого освещения используются два основных подхода.

1) Улучшение параметров датчиков изображения

Чувствительность можно повысить, улучшив эффективность фотоэлектрического преобразования, увеличив площадь пикселей, используя линзовую структуру на линзах и вводя другие улучшения параметров датчиков.

2) Электронное усиление яркости

Электронное усиление яркости может увеличить чувствительность камкордера, но оно также приводит к увеличению уровня шума, который уже присутствует в сигнале, в результате чего изображения приобретают зернистую структуру. Поэтому подавление шума может обеспечить существенное увеличение чувствительности камкордера за счет более высокого усиления сигнала.

Шум имеет различную природу. Ниже описаны два типичных источника шума.

Фиксированный структурный шум

CMOS-матрицы имеют отдельный усилитель для каждого пикселя. Поэтому в устройстве высокой четкости CMOS-матрица содержит более миллиона таких усилителей. Нереально ожидать, что все эти усилители будут абсолютно одинаковыми, так как в процессе производства неизбежен некоторый разброс параметров. Эта неодинаковость усилителей приводит к возникновению помехи, известной как «фиксированный структурный шум». К счастью, данную проблему можно решить за счет коррекции, добавив цепи CDS (Correlated Double Sampling – «Коррелированное двойное сэмплирование») для устранения этого шума и восстановления исходного сигнала.

Аналоговый шум

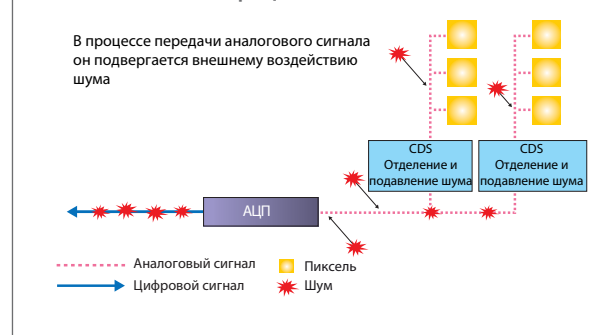
Когда заряд передается в форме аналогового сигнала, в процессе передачи в него вносится некоторый внешний шум. Этот шум возрастает пропорционально расстоянию передачи.

Технология шумопонижения Exmor™

Sony разработала специально для CMOS-матриц новую технологию Exmor. В этой системе аналого-цифровой преобразователь устанавливается вблизи каждой линейки пикселей (такая структура называется «параллельное по столбцам аналого-цифровое преобразование», то есть оцифровка аналоговых сигналов производится почти сразу. В обычной матрице аналоговый сигнал, сформированный в усилителе каждого пикселя, нужно сначала передать на удаленный аналого-цифровой преобразователь (рис. 13). Аналоговые сигналы весьма восприимчивы к шуму, и уровень шума в них тем выше, чем больше расстояние передачи сигнала. В технологии Exmore аналого-цифровые преобразователи располагаются максимально близко к пикселям, что снижает внешнее воздействие шума. Также предусмотрена сложная система цифрового шумоподавления CDS, которая измеряет уровень шума до преобразования, а затем, после преобразования, производит подавление шума. Эта новая система, действующая до и после аналого-цифрового преобразования, является значительно более точной, чем обычные системы CDS, работающие только в аналоговом сигналом (рис. 14). В результате камкордеры с использованием технологии Exmor отличаются пониженным уровнем шума по сравнению с камкордерами на базе обычных HD CMOS-датчиков. Различия особенно заметны в условиях низкой освещенности, где камеры с датчиками Exmor особенно эффективны.

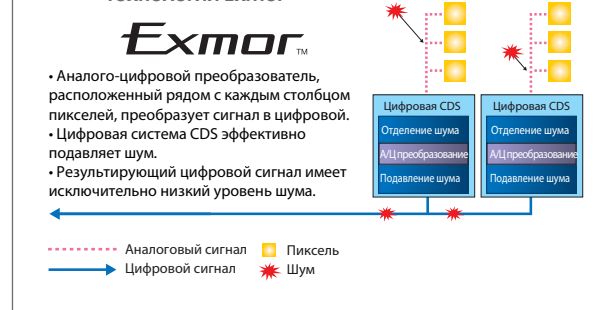
Новой системой шумопонижения Exmor оснащена трехчиповая система Clear-Vid, используемая в камкордерах Sony HVR-Z7E, HVR-Z5E, HVR-S270 и HXR-NX5E. Эти CMOS-матрицы нового поколения имеют значительно более высокие параметры по сравнению с более ранними разработками.

Рис. 13 Обычная матрица



Exmor™

Рис. 14 Подавление шума с использованием технологии Exmor



Sony Professional выражает уверенность в том, что изображения обладают неизмеримой силой воздействия, которая может повысить эффективность бизнеса, причем изображения становятся ценнейшими информационными фондами.

Изображения – наше богатство

SONY