

Рассуждения о телевизионных камерах

В.П. Майоров, Л.Ф. Овчинников, М.С. Семин.

Статья опубликована 12 апреля 1998 года в еженедельнике "Компьютерра"

Общие сведения о ПЗС матрицах

Разрешающая способность ПЗС камер

Разрешающая способность и формат ПЗС матриц

Объектив

Разрешающая способность контроллеров ввода изображения

Чувствительность ПЗС телекамер

О способах повышения чувствительности ПЗС камер

Спектральная чувствительность ПЗС камер

О прогрессивной и черезстрочной развертке

Другие параметры камер

О цветных телекамерах

О CMOS матрицах

О цифровых фотоаппаратах

Вместо заключения

Сразу хочется оговориться, что все параметры и свойства телевизионных камер и ПЗС матриц а также объективов рассматриваются здесь, как компоненты систем ввода и обработки изображения в ЭВМ, предназначенных для денситометрии и геометрических измерений. Это достаточно важное замечание т.к. от камер используемых для визуального наблюдения требуются, подчас, совсем другие свойства.

Общие сведения о ПЗС матрицах.

В настоящее время в качестве светочувствительного устройства в большинстве систем ввода изображений используются ПЗС (прибор с зарядовой связью, английский эквивалент CCD) матрицы.

Принцип работы ПЗС матрицы следующий: на основе кремния создается матрица светочувствительных элементов (секция накопления). Каждый светочувствительный элемент имеет свойство накапливать заряды, пропорционально числу попавших на него фотонов. Таким образом за некоторое время (время экспозиции) на секции накопления получается двумерная матрица зарядов, пропорциональных яркости исходного изображения. Накопленные заряды первоначально переносятся в секцию хранения, а далее строка за строкой и пиксел за пикселем на выход матрицы.

Размер секции хранения по отношению к секции накопления бывает разный:

- на кадр (матрицы с кадровым переносом для прогрессивной развертки);
- на полукадр (матрицы с кадровым переносом для черезстрочной развертки);

Существуют также матрицы, в которых отсутствует секция хранения, и тогда строчный перенос осуществляется прямо по секции накопления. Очевидно, что для работы таких матриц требуется оптический затвор.

Качество современных ПЗС матриц таково, что в процессе переноса заряд практически не изменяется.

Не смотря на видимое разнообразие телевизионных камер, ПЗС матрицы, используемые в них, практически одни и те же, поскольку массовое и крупносерийное производство ПЗС матриц осуществляется всего несколькими фирмами. Это SONY, Panasonic, Samsung, Philips, Hitachi Kodak.

Основными параметрами, ПЗС матриц являются:

- размерность в пикселях;
- физический размер в дюймах (2/3, 1/2, 1/3 и т.д.). При этом сами цифры не определяют точный размер чувствительной области, а, скорее, определяют класс прибора;
- чувствительность.

Разрешающая способность ПЗС камер.

Разрешающая способность ПЗС камер в основном определяется размерностью ПЗС матрицы в пикселях и качеством объектива. В какой-то степени на это может влиять электроника камеры (если она плохо сделана это может ухудшить разрешение, но откровенно плохо сейчас делают редко).

Здесь важно сделать одно замечание. В некоторых случаях для улучшения видимого разрешения в камерах устанавливаются высокочастотные пространственные фильтры. В этом случае изображение объекта, полученное с камеры меньшей размерности, может выглядеть даже более резким, чем изображение этого же объекта, полученное объективно лучшей камерой. Конечно, это приемлемо, в том случае когда камера используется в системах визуального наблюдения, но совершенно не подходит для построения измерительных систем.

Разрешающая способность и формат ПЗС матриц.

В настоящее время различными компаниями выпускается ПЗС матрицы, охватывающие широчайший диапазон размерностей от нескольких сотен до нескольких тысяч. Так сообщалось о матрице с размерностью 10000x10000, причем в этом сообщении отмечалась не столько проблема стоимости этой матрицы, сколько проблемы хранения, обработки и передачи полученных изображений. Как нам известно, сейчас более или менее широко применяются матрицы с размерностью до 2000x2000.

К наиболее широко, точнее массово применяемым ПЗС матрицам, безусловно, следует отнести матрицы с разрешением ориентированным на телевизионный стандарт. Это матрицы, в основном, двух форматов:

- 512*576;
- 768*576.

Матрицы 512*576 обычно используются в простых и дешевых системах видеонаблюдения. Матрицы 768*576 (иногда чуть больше, иногда чуть меньше) позволяют получить максимальное разрешение для стандартного телевизионного сигнала. При этом, в отличие от матриц формата 512*576, они имеют близкую к квадрату сетку расположения светочувствительных элементов, а, следовательно, равную разрешающую способность по горизонтали и вертикали.

Часто фирмы-изготовители телекамер указывают разрешающую способность в телевизионных линиях. Это означает, что камера позволяет разглядеть N/2 темных вертикальных штрихов на светлом фоне, уложенных во вписанный в поле изображения квадрат, где N - заявленное число телевизионных линий. Применительно к стандартной

телевизионной таблице это предполагает следующее: подбирая расстояние и фокусируя изображение таблицы надо добиться того, чтобы верхний и нижний край изображения таблицы на мониторе совпал с внешним контуром таблицы, отмечаемым вершинами черных и белых призм; далее, после окончательной подфокусировки, считается число в том месте вертикального клина, где вертикальные штрихи в первый раз перестают разрешаться. Последнее замечание очень важно т.к. и на изображении тестовых полей таблицы, имеющих 600 и более штрихов, часто видны перемежающиеся полосы, которые, на самом деле, являются муаром, образованным биением пространственных частот штрихов таблицы и сетки чувствительных элементов ПЗС матрицы. Такой эффект особенно ярко выражен в камерах с высокочастотными пространственными фильтрами (см. выше)!

Хочется заметить, что при прочих равных условиях (в основном на это может повлиять объектив) разрешающая способность черно-белых камер однозначно определяется размерностью ПЗС матрицы. Так камера формата 768*576 будет иметь разрешающую способность 576 телевизионных линий, хотя в одних проспектах можно найти величину 550, а в других 600.

Объектив.

Физический размер ПЗС ячеек является основным параметром, определяющим требование к разрешающей способности объектива. Другим таким параметром может явиться требование по обеспечению работы матрицы в условиях световой перегрузки, которое будет рассмотрено ниже.

Для 1/2 дюймовой матрицы SONY ICX039 размер пикселя составляет 8.6мкм*8.3мкм. Следовательно объектив должен иметь разрешение лучше чем:

$$1/8.3 \cdot 10^{-3} = 120 \text{ пар линий (60 пар линий на миллиметр).}$$

Для объективов, сделанных под 1/3 дюймовые матрицы, это значение должно быть еще выше, хотя это, как ни странно, не отражается на стоимости и таком параметре как светосила, поскольку эти объективы делают с учетом необходимости формирования изображения на меньшем светочувствительном поле матрицы. Отсюда следует и то, что объективы для матриц меньшего размера не подходят к большим матрицам из-за существенно ухудшающихся характеристик на краях больших матриц. В тоже время объективы для больших матриц могут ограничить разрешение изображений, получаемых с меньших матриц.

К сожалению, при всем современном изобилии объективов для телекамер, информацию по их разрешающей способности получить очень тяжело.

Вообще, мы не часто занимаемся подбором объективов, поскольку почти все наши Заказчики устанавливают видеосистемы на уже имеющуюся оптику: микроскопы, телескопы и т.д., поэтому наши сведения о рынке объективов носят характер заметок. Можно только сказать, что разрешающая способность простых и дешевых объективов находится в диапазоне 50-60 пар линий на мм, что вообще-то недостаточно.

С другой стороны у нас есть информация, что специальные объективы производства Zeiss с разрешением 100-120 пар линий на мм стоят более 1000\$.

Так, что при покупке объектива необходимо провести предварительное тестирование. Надо сказать, что большинство Московских продавцов дают объективы на тестирование. Здесь ещё раз уместно вспомнить об эффекте муара, наличие которого, как отмечалось

выше, может ввести в заблуждение относительно разрешающей способности матрицы. Так вот, наличие муара на изображении участков таблицы со штрихами выше 600 телевизионных линий в отношении объектива свидетельствует о некотором запасе разрешающей способности последнего, что, конечно, не мешает.

Еще одно, может быть, важное замечание для тех, кого интересуют геометрические измерения. Все объективы в той или иной степени имеют дисторсию (подушкообразное искажение геометрии изображения), причем чем короткофокуснее объектив, тем эти искажения, как правило, больше. По нашему представлению приемлимую дисторсии для 1/3" и 1/2" камер имеют объективы с фокусными расстояниями больше 8-12 мм. Хотя уровень "приемлимости", конечно, зависит от задач, которые должна решать телекамера.

Разрешающая способность контроллеров ввода изображения

Под разрешающей способностью контроллеров ввода изображений следует понимать частоту преобразований аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) контроллера, данные которого затем записываются в память контроллера. Очевидно, что есть разумный предел повышения частоты оцифровки. Для устройств, имеющих непрерывную структуру фоточувствительного слоя, например, видеконов, оптимальная частота оцифровки равна удвоенной верхней частоте полезного сигнала видекона.

В отличие от таких светоприемников ПЗС матрицы имеют дискретную топологию, поэтому оптимальная частота оцифровки для них определяется как частота сдвига выходного регистра матрицы. При этом важно, что бы АЦП контроллера работал синхронно с выходным регистром ПЗС матрицы. Только в этом случае может быть достигнуто наилучшее качество преобразования как с точки зрения обеспечения "жесткой" геометрии получаемых изображений так и с точки зрения минимизации шумов от тактовых импульсов и переходных процессов.

Чувствительность ПЗС телекамер

Чувствительность телекамер является одним из важнейших ее параметров. При этом здесь существует самый большой "разброд и шатание" в описании этого параметра. Приведем несколько примеров, поясняющих этот факт.

Начиная с 1994 года мы используем в своих устройствах кард-камеры фирмы SONY на основе ПЗС матрицы ICX039. В описании SONY на это устройство указана чувствительность 0.25 лк на объекте при светосиле объектива 1.4. Уже несколько раз, мы встречали камеры с похожими параметрами (размер 1/2 дюйма, разрешение 752*576) и с декларируемой чувствительностью в 10 а то и в 100 раз большей чем у "нашей" SONY.

Мы несколько раз проверяли эти цифры. В большинстве случаев в камерах разных фирм мы обнаруживали ту же самую ПЗС матрицу ICX039. При этом все микросхемы "обвязки" были тоже SONY-вские. Да и сравнительное тестирование показало почти полную идентичность всех этих камер. Так в чем вопрос?

А весь вопрос в том, при каком соотношении сигнал/шум (с/ш) определяется чувствительность. В нашем случае компания SONY добросовестно показала чувствительность при с/ш=46 дб, а другие фирмы либо не указали это, либо указали так, что непонятно при каких условиях производились эти измерения.

Это, вообще, общий бич большинства фирм-изготовителей телекамер - не указывать условия проведения замеров параметров телекамер.

Дело в том, что при уменьшении требования к соотношению с/ш чувствительность камеры возрастает обратно пропорционально квадрату требуемого отношения с/ш:

$$I=K*1/(с/ш)^2$$

где:

I - чувствительность;

K - коэффициент пересчета;

с/ш - отношение с/ш в линейных единицах,

поэтому у многих фирм появляется соблазн указывать чувствительность камер при заниженном отношении с/ш.

Можно сказать, что способность матриц лучше или хуже "видеть" определяется количеством зарядов, преобразованных из падающих на её поверхность фотонов и качеством доставки этих зарядов на выход. Количество накопленных зарядов зависит от площади светочувствительного элемента и квантовой эффективности ПЗС матрицы, а качество транспортировки определяется множеством факторов, которые часто сводят к одному - шуму считывания. Шум считывания для современных матриц составляет величину порядка 10-30 электронов и даже менее!

Площади элементов ПЗС матриц различны, но типовое значение для 1/2 дюймовых матриц для телекамер - 8.5мкм*8.5мкм. Увеличение размеров элементов ведет к увеличению размером самих матриц, что повышает их стоимость не столько за счет собственно увеличения цены производства, сколько за счет того, что серийность таких устройств на несколько порядков меньше. Кроме того на площадь светочувствительной зоны влияет топология матрицы в той степени сколько процентов к общей поверхности кристалла занимает чувствительная площадка (фактор заполнения). В некоторых специальных матрицах фактор заполнения заявляется 100%.

Квантовая эффективность (на сколько в среднем изменяется заряд чувствительной ячейки в электронах при падении на её поверхность одного фотона) у современных матриц равна 0.4-0.6 (у отдельных матриц без антиблуминга она достигает 0.85).

Таким образом видно, что чувствительность ПЗС камер, отнесенная к определенному значению с/ш, вплотную подошла к физическому пределу. По нашему заключению типичные значения чувствительности камер общего применения при с/ш=46 лежат в диапазоне 0.15-0.25 лк освещенности на объекте при светосиле объектива 1.4.

В связи с этим мы не рекомендуем слепо доверять цифрам чувствительности, указанным в описаниях телекамер, тем более, когда не приведены условия определения этого параметра и, если вы видите в паспорте камеры ценой до 500 \$ чувствительность 0.01-0.001 лк в телевизионном режиме, то перед вами образец, мягко говоря, некорректной информации.

О способах повышения чувствительности ПЗС камер

Что же делать, если вам надо получить изображение очень слабого объекта, например, удаленной галактики?

Один из путей решения - накопление изображения во времени. Реализация этого способа позволяет существенно увеличить чувствительность ПЗС. Разумеется этот метод может быть применен для неподвижных объектов наблюдения или в том случае, когда движение может быть компенсировано, как это делается в астрономии.

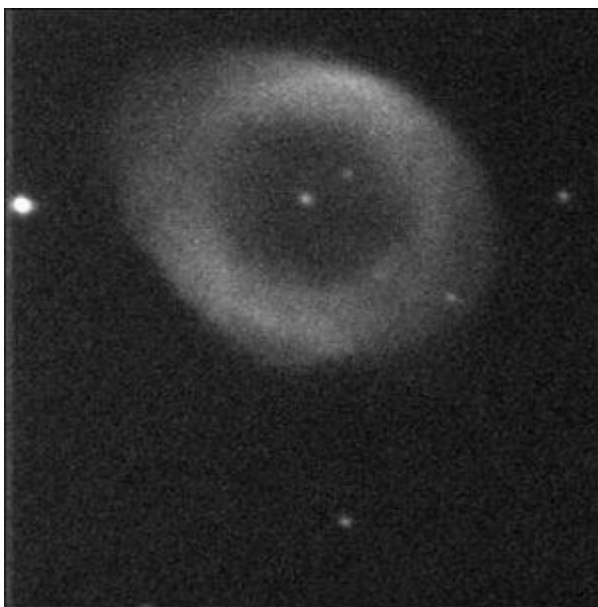


Рис1 Планетарная туманность M57.

Телескоп: 60 см, экспозиция - 20 сек., температура во время экспозиции - 20 С.

В центре туманности звездный объект 15 звездной величины.

Изображение получено В. Амирханяном в САО РАН.

Можно утверждать с достаточной точностью, что чувствительность ПЗС камер прямо пропорциональна времени экспозиции.

Например, чувствительность при выдержке 1 сек по отношению к исходной 1/50с увеличится в 50 раз т.е. будет лучше - 0.005 лкс.

Конечно на этом пути есть проблемы, и это, прежде всего, темновой ток матриц, который приносит заряды, накапливаемые одновременно с полезным сигналом. Темновой ток определяется во-первых, технологией изготовления кристалла, во-вторых, уровнем технологии и, конечно, в очень большой степени рабочей температурой самой матрицы.

Обычно для достижения больших времен накопления, порядка минут или десятков минут, матрицы охлаждаются до минус 20-40 град. С. Сама по себе задача охлаждения матриц до таких температур решена, но сказать, что это сделать просто нельзя, поскольку всегда есть конструктивные и эксплуатационные проблемы, связанные с запотеванием защитных стекол и сброса тепла с горячего спая термоэлектрического холодильника.

В тоже время технологический прогресс производства ПЗС матриц коснулся и такого параметра, как темновой ток. Здесь достижения весьма значительны и темновой ток некоторых хороших современных матриц очень невелик. По нашему опыту камеры без охлаждения позволяют при комнатной температуре делать экспозиции в пределах десятков секунд, а при компенсации темнового фона и до нескольких минут. Для примера здесь приведена фотография планетарной туманности M57, полученная видеосистемой VS-a-tandem-56/2 без охлаждения с экспозицией 20с.

Второй способ увеличения чувствительности это применение электронно-оптических преобразователей (ЭОП). ЭОПы - это устройства которые усиливают световой поток. Современные ЭОПы могут иметь очень большие величины усиления, однако, не вдаваясь в подробности, можно сказать, что применение ЭОПов может улучшить лишь пороговую чувствительность камеры, а посему его усиление не следует делать слишком большим.

Спектральная чувствительность ПЗС камер

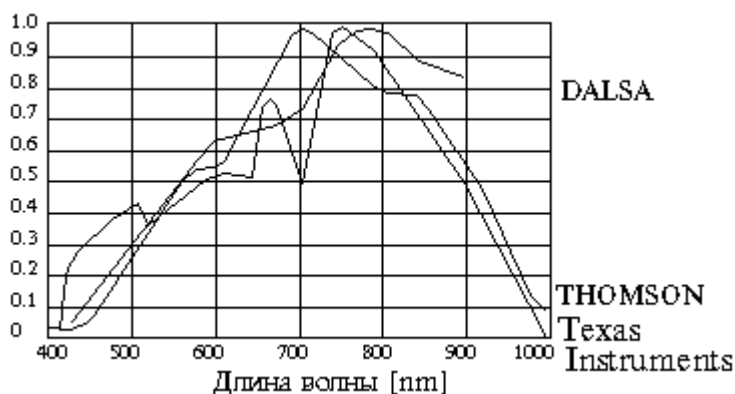


Рис.2 Спектральные характеристики различных матриц

Для некоторых областей применения, важным фактором является спектральная чувствительности ПЗС матриц. Поскольку все ПЗС изготавливаются на основе кремния, то в "голом" виде спектральная чувствительность ПЗС соответствует этому параметру у кремния (см. рис. 2).

Как можно заметить, при всем разнообразии характеристик ПЗС матрицы обладают максимумом чувствительности в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне и совершенно ничего не видят в сине-фиолетовой части спектра. Чувствительность ПЗС в ближнем ИК используется в системах скрытного наблюдения с подсветкой ИК источниками света, а также при измерении тепловых полей высокотемпературных объектов.

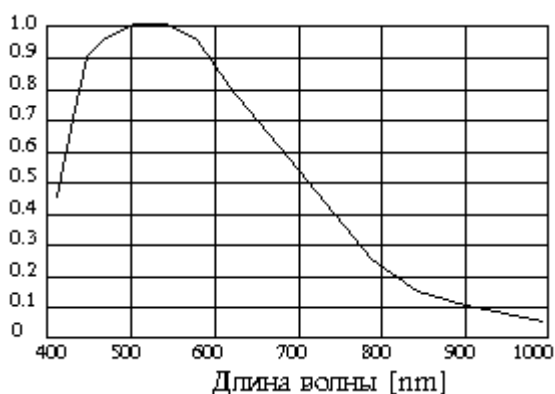


Рис. 3 Типичная спектральная характеристика черно-белых матриц SONY.

Фирма SONY все свои черно-белые матрицы выпускает со следующей спектральной характеристикой (см рис. 3). Как видно из этого рисунка чувствительность ПЗС в ближнем ИК значительно уменьшена, но зато матрица стала воспринимать синюю область спектра.

Для различных специальных целей разрабатываются матрицы чувствительные в ультрафиолетовом и даже рентгеновском диапазоне. Обычно эти устройства уникальны и их цена довольно высока.

О прогрессивной и черезстрочной развертке

Стандартный телевизионный сигнал, разрабатывался для системы вещательного телевидения, и имеет с точки зрения современных систем ввода и обработки изображения один большой недостаток. Хотя в телесигнале содержится 625 строк (из них около 576 с видеoinформацией), показываются последовательно 2 полукадра состоящие из четных строк (четный полукадр) и нечетных строк (нечетный полукадр). Это приводит к тому, что если вводится движущееся изображение, то при анализе нельзя использовать разрешение по Y более чем число строк в одном полукадре (288). Кроме этого в современных системах, когда изображение визуализируется на компьютерном мониторе (который имеет прогрессивную развертку), изображение, введенное с черезстрочной телекамеры при движении объекта наблюдения, вызывает неприятный визуальный эффект раздвоения.

Все методы борьбы с этим недостатком приводят к ухудшению разрешения по вертикали. Единственный способ преодолеть этот недостаток и добиться разрешения, соответствующего разрешению ПЗС матрицы - перейти на прогрессивную развертку в ПЗС. Фирмы-изготовители ПЗС выпускают такие матрицы, но из-за малой серийности цена подобных матриц и камер значительно выше чем у обычных. Например цена матрицы SONY с прогрессивной разверткой ICX074 в 3 раза выше чем ICX039 (черезстрочная развертка).

Другие параметры камер

К этим другим можно отнести такой параметр как "блюминг" т.е. расплывание заряда по поверхности матрицы при пересветке отдельных ее элементов. На практике такой случай может встретиться, например, при наблюдении объектов с бликами. Это довольно неприятный эффект ПЗС матриц, поскольку несколько ярких точек могут исказить все изображение. По-счастью, многие современные матрицы содержат антиблюминговые устройства. Так в описаниях некоторых последних матриц SONY мы нашли 2000, характеризующую допустимую световую перегрузку отдельных ячеек, не приводящую еще к растеканию зарядов. Это достаточно высокое значение, тем более, что добиться этого результата можно, как показал наш опыт, только при специальной подстройке драйверов, управляющих непосредственно матрицей и канала предварительного усиления видеосигнала. Кроме того свой вклад в "растекание" ярких точек вносит и объектив, поскольку при таких больших световых перегрузках даже малое рассеяние за пределы основного пятна дает заметную световую подставку для соседних элементов.

Здесь также необходимо отметить и то, что по некоторым данным, которые мы сами не проверяли, матрицы с антиблюмингом имеют в 2 раза более низкую квантовую эффективность, чем матрицы без антиблюминга. В связи с этим, в системах, требующих очень высокой чувствительности, возможно имеет смысл применять матрицы без антиблюминга (обычно это специальные задачи типа астрономических).

О цветных телекамерах

Материалы этого раздела несколько выходят за установленные нами же рамки рассмотрения измерительных систем, тем не менее широкое распространение цветных камер (даже большее чем черно-белых) вынуждает нас внести ясность и в этот вопрос, тем

более, что Заказчики часто пытаются использовать с нашими черно-белыми фреймграберами цветные телекамеры, и очень удивляются, когда на полученных изображениях они обнаруживают какие-то разводы, а разрешение изображений оказывается недостаточным. Поясним в чем тут дело.

Существуют 2 способа формирования цветного сигнала:

- 1. использование одноматричной камеры.
- 2. использование системы из 3 ПЗС матриц с цветоделительной головкой для получения R, G, B компонентов цветного сигнала на этих матрицах.

Второй путь обеспечивает наилучшее качество и только он позволяет получить измерительные системы, однако камеры, работающие на этом принципе достаточно дороги (более 3000\$).

В большинстве случаев используются одноматричные ПЗС камеры. Рассмотрим их принцип работы.

Как явствует из достаточно широкой спектральной характеристики ПЗС матрицы, она не может определить "цвет" фотона, попавшего на поверхность. Поэтому для того, чтобы вводить цветное изображение перед каждым элементом ПЗС матрицы устанавливается светофильтр. При этом общее число элементов матрицы остается прежним. Фирма SONY, например, выпускает совершенно одинаковые ПЗС матрицы для черно-белого и цветного варианта, которые отличаются только наличием у цветной матрицы сетки светофильтров, нанесенных непосредственно на чувствительные площадки. Существуют несколько схем раскраски матриц. Вот одна из них.

Здесь используются 4 разных светофильтра (см рис. 4 и рис. 5).

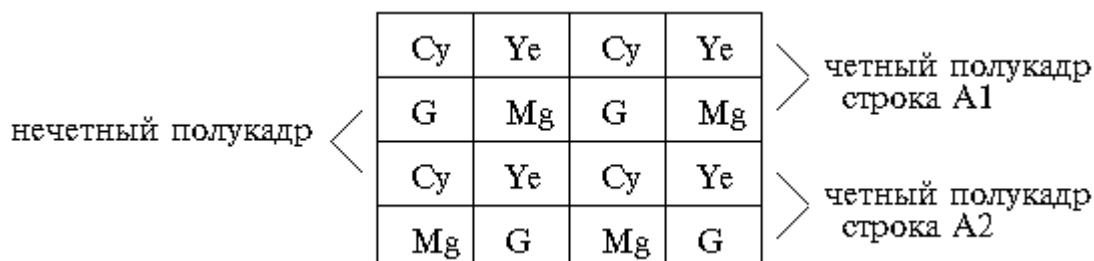


Рис 4. Распределение светофильтров на элементах ПЗС матрицы

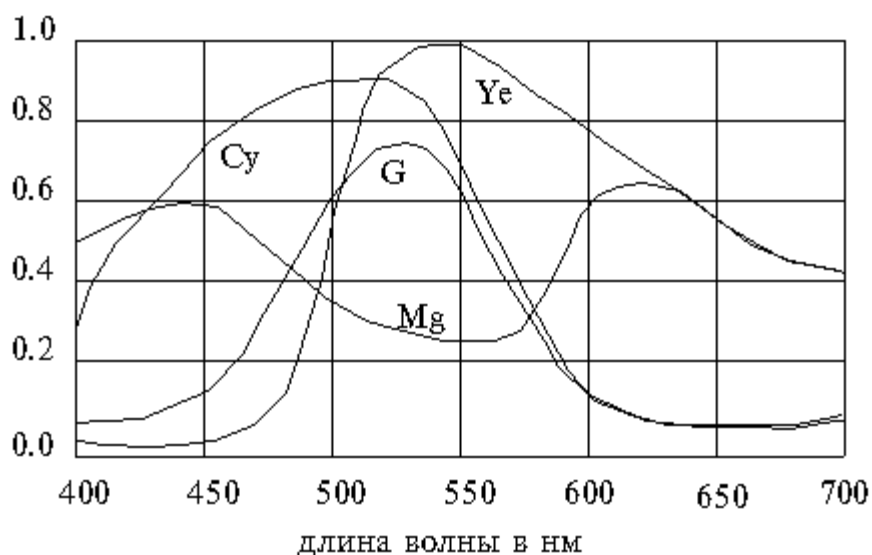


Рис 5. Спектральная чувствительность элементов ПЗС с различными светофильтрами.

Далее для определения цвета производятся следующие операции. Суммированием 4-х соседних пикселей получают яркостный сигнал Y:

$$Y=(Cy+G)+(Ye+Mg)$$

В строке A1 получают "красный" цветоразностный сигнал как:

$$R-Y=(Mg+Ye)-(G+Cy)$$

а в строке A2 получают "голубой" цветоразностный сигнал:

$$-(B-Y)=(G+Ye)-(Mg+Cy)$$

Отсюда ясно, что пространственное разрешение цветной ПЗС матрицы по сравнению с такой же черно-белой обычно в 1.3-1.5 раза хуже по горизонтали и по вертикали. За счет применения светофильтров чувствительность цветной ПЗС также хуже, чем у черно-белой. Таким образом можно сказать, что, если имеется одноматричный приемник 1000*800, то реально можно получить около 700*550 по яркостному сигналу и 500*400 (возможен вариант 700*400) по цветному.

Отвлекаясь от технических вопросов хочется заметить, что с рекламными целями многие фирмы-изготовители электронных фотоаппаратов сообщают совершенно непонятные данные по своей технике. Например, фирма "Кодак" объявляет разрешение у своего электронного фотоаппарата DC120 1200*1000 при матрице 850x984 пикселей. Но господа - информация из пустого места не возникает, хотя визуально смотрится и неплохо!

О пространственном разрешении цветового сигнала (сигнала который несет информацию о цвете изображения) можно сказать, что она как минимум в 2 раза хуже, чем разрешение по черно-белому сигналу. Кроме того "вычисленный" цвет выходного пиксела не есть цвет соответствующего элемента исходного изображения, а лишь результат обработки яркостей различных элементов исходной картинки. Грубо говоря, за счет резкого различия яркостей соседних элементов объекта может быть вычислен цвет, которого вовсе здесь и нет, при этом незначительное смещение камеры приведет к резкому изменению выходного цвета. Для примера: граница темного и светлого поля серого цвета будет выглядеть, состоящей из разноцветных квадратиков.

Все эти рассуждения касаются только физического принципа получения информации на цветных ПЗС матрицах, при этом надо учесть, что обычно видеосигнал на выходе цветных камер представлен в одном из стандартных форматов PAL, NTSC, реже S-video.

Форматы PAL и NTSC хороши тем, что могут сразу быть воспроизведены на стандартных мониторах с видеовходом, но при этом надо помнить, что этими стандартами для сигнала цветности предусмотрена существенно более узкая полоса, поэтому правильнее здесь говорить о раскрашенном, а не о цветном изображении. Ещё одной неприятной особенностью камер с видеосигналами, несущими цветовую компоненту, является появление, упомянутых выше, разводов на изображении, полученных черно-белыми фреймграберами. И дело здесь в том, что сигнал цветности находится почти в середине полосы видеосигнала, создавая помеху при вводе кадра изображения. Мы же не видим эту помеху на телевизионном мониторе потому, что фаза этой "помехи" через четыре кадра изменяется на противоположную и усредняется глазом. Отсюда недоумения Заказчика, получающего изображение с помехой, которую он не видит.

Из этого следует, что, если вам необходимо проводить какие-то измерения или дешифровку объектов по цвету, то к этому у вопросу надо подойти с учетом, как сказанного выше, так и других особенностей вашей задачи.

О CMOS матрицах

В мире электроники все меняется очень быстро и хотя область фотоприемников одна из наиболее консервативных, но и тут в последнее время на подходе новые технологии. В первую очередь это относится к появлению CMOS телевизионных матриц.

Действительно, кремний является светочувствительным элементом и любое полупроводниковое изделие можно использовать как датчик. Использование CMOS технологии дает несколько очевидных преимуществ по сравнению с традиционной.

Во-первых, технология CMOS хорошо освоена и позволяет выпускать элементы с большим выходом годных изделий.

Во-вторых технология CMOS позволяет разместить на матрице кроме светочувствительной области и различные устройства обрaмления (вплоть до АЦП), которые раньше устанавливались "снаружи". Это позволяет выпускать телекамеры с цифровым выходом "на одном кристалле".

Благодаря этим преимуществам становится возможен выпуск значительно более дешевых телевизионных камер. Кроме этого значительно расширяется круг фирм производящих матрицы.

В настоящий момент выпуск телевизионных матриц и камер на CMOS технологии только налаживается. Информация о параметрах таких устройств весьма скудна. Можно лишь отметить, что параметры этих матриц не превосходят достигнутых сейчас, что же касается цены, то тут их преимущества неоспоримы.

Приведу в качестве примера однокристалльную цветную камеру фирмы Photobit PB-159. Камера выполнена на одном кристалле и имеет следующие технические параметры:

- разрешение - 512*384;
- размер пикселя - 7.9мкм*7.9мкм;

- чувствительность - 1 люкс;
- выход - цифровой 8-ми битный SRGB;
- корпус - 44 ноги PLCC.

Таким образом камера проигрывает в чувствительности раза в четыре, кроме того из информации по другой камере ясно, что в этой технологии есть проблемы со сравнительно большим темновым током.

О цифровых фотоаппаратах

В последнее время появился и стремительно растет новый сегмент рынка, использующий ПЗС и CMOS матрицы - цифровые фотоаппараты. Причем в настоящий момент происходит резкое повышение качества этих изделий одновременно с резким понижением цены. Действительно еще 2 года назад одна только матрица с разрешением 1024*1024 стоила около 3000-7000\$, а сейчас фотоаппараты с такими матрицами и кучей приамбасов (ЖК экран, память, вариообъектив, удобный корпус и т.д.) можно купить дешевле 1000\$. Это можно объяснить только переходом на крупносерийное производство матриц.

Поскольку эти фотоаппараты основаны на ПЗС и CMOS матрицах, то все рассуждения в этой статье о чувствительности, о принципах формирования цветного сигнала действительны и для них.

Вместо заключения

Накопленный нами практический опыт позволяет сделать следующие выводы:

- технология производства ПЗС матриц с точки зрения чувствительности и шумов весьма близка к физическим пределам;
- на рынке телевизионных камер можно найти камеры приемлемого качества, хотя для достижения более высоких параметров возможно потребуется подрегулировка;
- не следует обольщаться цифрам высокой чувствительности, приведенным в проспектах на камеры;
- и ещё, цены на абсолютно одинаковые по качеству и даже на просто одинаковые камеры у разных продавцов могут отличаться более чем в два раза!