



ООО «Эл Би Скай Глобал»

г. Москва, ул. Лобачевского д. 92, корп. 4, оф. 5 тел (495) 229-39-78,
E-mail: office@group1b.com, www.group1b.com

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ТЕПЛОВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ
И ВИДЕОКАМЕРЫ СО СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ
СЕНСОРОМ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ,
НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ
УСТРОЙСТВ.**

Москва, 2009г.

Содержание

1. Введение.....	3
2. Принципы работы ПЗС матрицы.....	3
3. Принцип работы тепловизионной установки.	6
4. Выводы.	7

1. Введение.

В последнее время на рынке появились камеры со сверхчувствительными ПЗС сенсорами, со значениями чувствительности до 0,00002Лк, смогут ли они эффективно выполнять свои задачи в условиях низкой освещенности, вплоть до полной темноты? Для того, чтобы объективно ответить на этот вопрос обратимся к самому принципу работы ПЗС матрицы, сравним его с принципом работы тепловизора, на качество картинки которого не влияет уровень освещенности и погодные условия.

2. Принципы работы ПЗС матрицы.

Рассмотрим общие принципы работы тестируемых устройств.

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

Несмотря на видимое разнообразие телевизионных камер, ПЗС матрицы, используемые в них, практически одни и те же, поскольку их массовое и крупносерийное производство 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

Чувствительность телекамеры является одним из важнейших ее параметров. Причем в описании этого параметра наблюдается самые большие разногласия. Приведем несколько примеров, поясняющих этот факт.

Достаточно давно мы используем 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 752x576) 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 от Sony. 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 $c/ш=46$ дБ, а другие фирмы либо не указали этого, либо указали так, что непонятно, при каких условиях производились эти измерения.

Это общий грех большинства фирм-изготовителей телекамер - не указывать условий проведения замеров параметров устройств.

Дело в том, что при уменьшении требования к соотношению с/ш чувствительность камеры возрастает обратно пропорционально квадрату требуемого соотношения $c/ш: I = K/(c/ш)^2$, где

I - чувствительность;

K - коэффициент пересчета;

c/ш - соотношение с/ш в линейных единицах,

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

Можно сказать, что способность матриц лучше или хуже "видеть" определяется количеством зарядов, преобразованных из падающих на ее 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 - 8,5x8,5 мкм. Увеличение размеров элементов ведет к увеличению размеров 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: сколько процентов от общей поверхности кристалла занимает чувствительная площадка (фактор заполнения). В некоторых специальных матрицах фактор заполнения объявляется равным 100%.

Квантовая эффективность (на сколько в среднем изменяется заряд чувствительной ячейки в электронах при падении на ее 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 если не приведены условия определения этого параметра, так что если вы видите в паспорте камеры ценой до 800 долларов 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 необходимо получить изображение очень слабого объекта, например, предмета, лежащего на путях, причем в условиях низкой освещенности?

Один из путей решения задачи - 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.

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

Например, чувствительность при выдержке 1 с по отношению к исходной 1/50 с увеличится в 50 раз, то есть станет выше - 0,005 лк.

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 градусов Цельсия. 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 то же 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, полученная видеосистемой VS-a-tandem-56/2 без охлаждения с экспозицией 20 с (рис. 1).

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

3. Принцип работы тепловизионной установки.

Современный тепловизор имеет довольно простое устройство: объектив, тепловизионную матрицу и электронный блок обработки сигнала (из-за специфики инфракрасного диапазона в тепловизорах нужно проводить более сложную обработку сигнала, чем в видеокамерах).

Тепловизоры делятся на две категории:

- **с охлаждаемой матрицей.** Самые чувствительные, дорогие и массивные, ведь для охлаждения используются криогенные технологии, позволяющие охлаждать матрицы до температур минус 210–1700 Цельсия.
- **неохлаждаемые** – на порядок дешевле, компактнее, неприхотливей. Простота и относительная дешевизна неохлаждаемых тепловизоров сделали их массовыми – ожидается, что к следующему году 95–97 процентов рынка тепловизоров придутся именно на такие модели.

Как устроена микроболометрическая матрица (МБМ)

Каждый отдельный пиксель представляет собой микроболометрический элемент, например терморезистор на основе оксида ванадия. Термистор выполняется в виде «моста», поднятого на высоту нескольких микрометров над кремниевой подложкой, где расположены измерительные схемы и «логика» матрицы. С подложкой мост соединяется двумя тонкими электропроводящими «ногами» – контактами с низкой теплопроводностью. Чтобы использовать излучение, не поглощенное мостом, на подложку наносят металлическое покрытие, отражающее ИК-излучение, а чтобы уменьшить конвекцию, откачивают воздух. При нагревании элемента сопротивление моста изменяется, что и обнаруживается чувствительными измерительными схемами в реальном времени. Температурное разрешение МБМ (способность различать разницу температур) – около 30–100 мК, шаг элементов – около 25–50 мкм.

Тепловая картина

Фотоэффект. ИК-фотоны, попадая на поверхность узкозонного полупроводника (HgCdTe, InSb), переводят носители заряда из связанного состояния в свободное. Их количество пропорционально интенсивности теплового излучения объекта. Матрица фотоэлектрических детекторов, установленная в тепловизоре, обязательно должна охлаждаться до –200 С, иначе собственные тепловые колебания решетки полупроводника вызывают столь интенсивное высвобождение носителей заряда, что на его фоне генерация носителей ИК-излучения становится просто незаметной. Размер фотоэлектрических матриц не производит впечатления на людей, привыкших к мегапиксельным камерам: самые большие из них – 640x480 пикселей.

Тепловое преобразование основано на вторичных эффектах, например, зависимости электрического сопротивления от температуры. В этом случае **охлаждения не требуется**, матрица размером 640x480 пикселей представляет собой набор миниатюрных болометров (приборов для измерения энергии излучения с помощью термочувствительного элемента, поглощающего это излучение), и работает она в широком диапазоне температур (от –300С до +300С).

Каждая из двух упомянутых технологий имеет свои достоинства и недостатки. Самое главное достоинство охлаждаемых фотоэлектрических матриц – высочайшая чувствительность (в особенности в коротковолновом диапазоне). Работа в коротко- и средневолновом ИК-диапазоне (3–5 мкм) дает большее разрешение по сравнению с микроболометрическими матрицами. Размер пикселей в этом случае меньше, поэтому можно использовать более коротко-

фокусные объективы. Минусы камер с охлаждаемыми матрицами – большое энергопотребление и короткий срок службы криогенной системы (несколько тысяч часов), дороговизна, а также то, что охлаждение матрицы до рабочей температуры занимает обычно несколько минут.

Камеры с микроболометрическими матрицами в основном работают в длинноволновом ИК-диапазоне 8–12 мкм – в этом диапазоне находится максимум излучения при комнатной температуре (к тому же в коротковолновом диапазоне их чувствительность мала). **За счет большей длины волны такое излучение лучше проникает сквозь туман, дым или водяные пары. Эти Тепловизоры недороги, компактны, начинают работать сразу после включения, имеют долгий срок службы и низкое потребление энергии.** Они уступают по чувствительности охлаждаемым камерам, поэтому для них требуются светосильные объективы.

4. Выводы.

На основании всего вышеописанного можно сделать вывод, что для получения изображения, камере нужен свет (поток фотонов). Камеры в принципе могут работать в условиях низкой освещенности, вопрос только насколько эффективно и что делать, если наступит полная темнота, когда плотная облачность ночью лишит сенсор последних источников света, звезд и луны, а в наших широтах это не редкость. Для обычного неохлаждаемого тепловизора, в условиях полной темноты, камера, даже с самым чувствительным сенсором, не конкурент.