**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Кафедра информатики и компьютерных технологий**

БАРКОВСКИЙ

Ярослав Юрьевич

**Разработка и сравнение алгоритмов работы датчика направления на Солнце на основе КМОП-матрицы**

Дипломная работа

Научный руководитель:

старший преподаватель кафедры ИиКС РФиКТ, С. В. Василенко

Допущен к защите

«\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г.

Зав. кафедрой информатики и компьютерных систем,

доктор технических наук, профессор Мулярчик С. Г.

Минск, 2021

1. СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТРИЦЫ. ТЕОРИЯ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ПЯТНА НА МАТРИЦЕ
   1. Общая характеристика светочувствительных матриц

**Определение**: Светочувствительная матрица (фотоматрица) – специали-зированная цифро-аналоговая или аналоговая интегральная микросхема, со-стоящая из светочувствительных элементов – фотодиодов. Основная задача фотоматриц это преобразование спроецированного на них оптического изображения в аналоговый электрический сигнал или в поток цифровых данных (если в матрице присутствует АЦП). Широкое применение получили в цифровых фотоаппаратах, видеокамерах и в системах солнечной и астронавигации.

**Общие характеристики:**

Основными характеристиками фотоматриц являются: отношение сигнал/шум, чувствительность, разрешение, физический размер матрицы, коэффициент заполнения, отношение сторон кадра и пропорции пикселя. Рассмотрим каждую в отдельности:

Отношение сигнал/шум в общем понятии - безмерная величина, которая отображает отношение между мощностью полезного сигнала и мощностью шума. В случае фотоматриц всякое физическое тело совершает некоторые колебания от своего среднего состояния, в науке это называется флуктуациями. Поэтому и каждое свойство всякого тела тоже изменяется, колеблясь в некоторых пределах. Это справедливо и для такого свойства, как светочувствительность фотоприемника, независимо от того, что собой представляет этот фотоприемник. Следствием этого является то, что некоторая величина не может иметь какого-то конкретного значения, а изменяется в зависимости от обстоятельств. Если, например, рассмотреть такой параметр фотоприемника, как «уровень чёрного», то есть то значение сигнала, которое будет показывать фотодатчик при отсутствии света, то и этот параметр будет каким-то образом флуктуировать.

Чувствительность фотоматрицы характеризует степень ее реакции на условия окружающего освещения, то есть, чем меньшее количество световой энергии необходимо для получения изображения, тем выше светочувствительность матрицы. Самая частая причина получения изображений низкого качества – плохая освещенность объекта. Вообще, чем лучше освещенность, тем лучше изображение.

Разрешение — способность оптического прибора воспроизводить изображение близко расположенных объектов. Разрешение матриц зависит от их типа, площади и плотности фоточувствительных элементов на единицу поверхности. Оно нелинейно зависит от светочувствительности матрицы и от заданного программой уровня шума.

У современных цифровых фотоматриц разрешающая способность определяется размером пикселя, который варьируется у разных фотоматриц в пределах от 0,0025 мм до 0,0080 мм, а у большинства современных фотоматриц он равен 0,006 мм. Поскольку две точки будут различаться, если между ними находится третья (незасвеченная) точка, то разрешающая способность соответствует расстоянию в два пикселя, то есть:

где M – разрешающая способность, p – размер пикселя.

Физические размеры фотосенсоров определяются размером отдельных пикселей матрицы, которые в современных фотосенсорах имеют величину 0,005-0,006 мм. Чем крупнее пиксель, тем больше его площадь и количество собираемого им света, поэтому тем выше его светочувствительность и лучше отношение сигнал/шум.

Коэффициент заполнения из датчика изображения массива представляет собой отношение светочувствительной области пикселя к его общей площади. Для пикселей без микролинз коэффициент заполнения представляет собой отношение площади фотодиода к общей площади пикселя, но использование микролинз увеличивает эффективный коэффициент заполнения, часто почти до 100%, путем схождения света от всей площади пикселя в фотодиод.

Другим случаем, который уменьшает коэффициент заполнения изображения, является добавление дополнительной памяти рядом с каждым пикселем, чтобы добиться глобального эффекта затвора на датчике CMOS.

Существует несколько основных отношений сторон кадра которые используются во всех матрицах:

Формат кадра 4:3

Формат кадра 3:2

Формат кадра 16:9

Пропорции пикселя. Выпускаются светочувствительные матрицы с тремя различными пропорциями пикселя:

Для видеоаппаратуры выпускаются сенсоры с пропорцией пикселя 4:3

Так же некоторые выпускают светочувствительные матрицы с пропорцией пикселя 3:4

Светочувствительные матрицы для астрономического, фотографического и рентгенографического оборудования обычно имеют квадратный пиксель, то есть пропорция сторон пикселя 1:1

Так же светочувствительные матрицы различаются методами получения цветных изображений, так как пиксели сами по себе являются “черно-белым”. Рассмотрим 3 основных системы: трехматричная система, матрицы с мозаичным фильтром и матрицы с полноцветными пикселями. В трехматричных системах свет попадает на дихроидные призмы делится на три основных цвета, после чего каждый цвет направляется на отдельную матрицу. Такие системы используются в видеокамерах высокого класса.

В трехматричных системах свет попадает на дихроидные призмы делится на три основных цвета, после чего каждый цвет направляется на отдельную матрицу. Такие системы используются в видеокамерах высокого класса.

В матрицах с мозаичными фильтрами пиксели расположены в одной плоскости и каждый пиксель накрыт светофильтром какого-то цвета. А недостающая информация в таких матрицах восстанавливается путем интерполяции. Основные типы расположения светофильтров это RGGB, RGBW, RGEB и CGMY.

Существуют две технологии матриц с полноцветными пикселями, позволяющими получать с каждого пикселя все три цветовые координаты. Первая это многослойные матрицы используемы фирмой Foeveon, а вторая это полноцветная RGB-матрица от Nikon.

Фотоматрица от Foeveon называется Foeveon X3, где X3 означает трехслойность и трехмерность. В ней цветоделение на аддитивные цвета RGB проводится послойно, по толщине полупроводникового материала, с использованием физических свойств кремния.

В полноцветных матрицах Nikon лучи RGB предметных точек в каждом пикселе, содержащем одну микролинзу и три фотодиода, проходят через открытую микролинзу и падают на первое дихроичное зеркало. При этом синяя составляющая пропускается первым дихроичным зеркалом на детектор синего, а зелёная и красная составляющие отражаются на второе зеркало. Второе дихроичное зеркало отражает зелёную составляющую на детектор зелёного, и пропускает красную и инфракрасную составляющие. Третье дихроичное зеркало отражает красную составляющую на детектор и поглощает инфракрасную составляющую. Из-за сложностей в технологии этот патент не нашел достойного применения.

* + 1. ПЗС - матрицы

ПЗС-матрица – специализированная аналоговая интегральная микро-схема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на ос-нове кремния, использующая технологию ПЗС — приборов с зарядовой свя-зью.

Прибор с зарядовой связью был изобретён в 1969 году Уиллардом Бойлом и Джорджем Смитом в Лабораториях Белла. Лаборатории работали над видеотелефонией и развитием «полупроводниковой пузырьковой памя-ти». Приборы с зарядовой связью начали свою жизнь как устройства памяти, в которых можно было только поместить заряд во входной регистр устрой-ства. Однако способность элемента памяти устройства получить заряд бла-годаря фотоэлектрическому эффекту сделала данное применение ПЗС устройств основным. В 1970 году исследователи Bell Labs научились сни-мать изображения с помощью простых линейных устройств. Название ПЗС — прибор с зарядовой связью — отражает способ считывания электрическо-го потенциала методом сдвига заряда от элемента к элементу. ПЗС устрой-ство состоит из поликремния, отделённого от кремниевой подложки, у кото-рой при подаче напряжения через поликремневые затворы изменяются элек-трические потенциалы вблизи электродов.

В основе работы ПЗС лежит явление внутреннего фотоэффекта. Один элемент ПЗС-матрицы формируется тремя или четырьмя электродами. По-ложительное напряжение на одном из электродов создаёт потенциальную яму, куда устремляются электроны из соседней зоны. Последовательное пе-реключение напряжения на электродах перемещает потенциальную яму, а, следовательно, и находящиеся в ней электроны, в определённом направле-нии. Заряд, накопленный под одним электродом, в любой момент может быть перенесен под соседний электрод, если его потенциал будет увеличен, в то время как потенциал первого электрода, будет уменьшен. Так происходит перемещение по одной строке матрицы.

Если речь идёт о ПЗС-линейке, то заряд в её единственной строке «пере-текает» к выходным каскадам усиления и там преобразуется в уровень напряжения на выходе микросхемы.

У матрицы же, состоящей из многих видеострок, заряд из выходных элементов каждой строки оказывается в ячейке ещё одного сдвигового устройства, устроенного обычно точно таким же образом, но работающего на более высокой частоте сдвига. Для использования ПЗС в качестве свето-чувствительного устройства часть электродов изготавливается прозрачной.

По принципу перемещения и считывания заряда различают светочув-ствительные ПЗС-матрицы с межрядным переносом (Interline Transfer), с по-кадровым переносом (Frame) и с полнокадровым переносом (Full Frame) (см. Рисунок. 1.1).

1. Матрицы с полнокадровым переносом (Full Frame);

Данный тип сенсора является наиболее простым с конструктивной точки зрения и именуется ПЗС-матрицей с полнокадровым переносом (full frame CCD matrix). Помимо микросхем «обвязки», такой тип матриц нуждается также в механическом затворе, перекрывающем световой поток после окончания экспонирования. До полного закрытия затвора считывание зарядов начинать нельзя — при рабочем цикле параллельного регистра сдвига к фототоку каждого из его пикселов добавляются лишние электроны, вызванные попаданием фотонов на открытую поверхность ПЗС-матрицы. Данное явление называется «размазыванием» заряда в полнокадровой мат-рице (full frame matrix smear).

2. Матрицы с покадровым переносом (Frame Transfer);

Существует усовершенствованный вариант полнокадровой матрицы, в котором заряды параллельного регистра не поступают построчно на вход последовательного, а «складируются» в буферном параллельном регистре. Данный регистр расположен под основным параллельным регистром сдвига, фототоки построчно перемещаются в буферный регистр и уже из него посту-пают на вход последовательного регистра сдвига. Поверхность буферного регистра покрыта непрозрачной (чаще металлической) панелью, а вся систе-ма получила название матрицы с буферизацией кадра (frame—transfer CCD).

3. Матрицы с межрядным переносом (Interline Transfer);

Специально для видеотехники был разработан новый тип матриц, в ко-тором интервал между экспонированием был минимизирован не для пары кадров, а для непрерывного потока. Разумеется, для обеспечения этой не-прерывности пришлось предусмотреть отказ от механического затвора.

Фактически данная схема, получившая наименование матрицы с буфе-ризацией столбцов (interline CCD matrix), в чём-то сходна с системами с бу-феризацией кадра — в ней также используется буферный параллельный ре-гистр сдвига, ПЗС-элементы которого скрыты под непрозрачным покрыти-ем. Однако буфер этот не располагается единым блоком под основным па-раллельным регистром — его столбцы «перетасованы» между столбцами ос-новного регистра. В результате рядом с каждым столбцом основного реги-стра находится столбец буфера, а сразу же после экспонирования фототоки перемещаются не «сверху вниз», а «слева направо» (или «справа налево») и всего за один рабочий цикл попадают в буферный регистр, целиком и полно-стью освобождая потенциальные ямы для следующего экспонирования.

Попавшие в буферный регистр заряды в обычном порядке считываются через последовательный регистр сдвига, то есть «сверху вниз». Поскольку сброс фототоков в буферный регистр происходит всего за один цикл, даже при отсутствии механического затвора не наблюдается ничего похожего на «размазывание» заряда в полнокадровой матрице. А вот время экспониро-вания для каждого кадра в большинстве случаев по продолжительности со-ответствует интервалу, затрачиваемому на полное считывание буферного параллельного регистра. Благодаря всему этому появляется возможность создать видеосигнал с высокой частотой кадров — не менее 30 кадров секун-ду.