

Устройства ввода и вывода изображений

Области применения систем машинного зрения

На данный момент системы машинного зрения используются повсеместно. На данный момент существуют или активно разрабатываются следующие системы:

- Системы безопасности, сканирующие сетчатку глаза и отпечатки пальцев;
- Системы контроля качества технической продукции
- Системы управления автомобилем на основе обработки данных, полученных с видеокамеры
- Системы поиска изображений на основе их содержания;
- Системы распознавания рукописного текста.

Если абстрагироваться от частных случаев, то можно сказать, что цель компьютерного зрения заключается в формировании некоторых выводов относительно объектов и сцен реального мира на основе анализа изображений, полученных с помощью датчиков.

Устройства формирования изображений

Для генерации цифровых изображений существует много различных устройств. Они различаются как принципом восприятия света, так и своим устройством. При рассмотрении устройств ввода основная цель заключается в демонстрации наиболее важных функциональных и принципиальных особенностей каждого устройства.

ПЗС-матрицы

Технология приборов с зарядовой связью - это наиболее гибкий и часто используемый тип устройства ввода изображений для систем машинного зрения. ПЗС-матрица очень похожа на обычную фотоплёнку. Различие в том, что вместо фотоплёнки со светочувствительным покрытием располагается матрица из маленьких твёрдых ячеек, преобразующих световую энергию в электрический заряд. Каждая такая ячейка преобразует падающий на неё свет в электрический заряд, пропорциональный силе падающего света. Сначала все ячейки очищаются, а затем под действием падающего света они начинают накапливать заряд. Для управления временем накопления может использоваться затвор. Плоскость изображения действует, как цифровая память, которую можно построчно считывать в управляемом компьютере режиме.

Если изображение состоит из 500 строк и 500 столбцов однобайтных значений яркости, то для хранения изображения потребуется четверть миллиона байт. Зачастую ПЗС-камера подключается к специальной компьютерной плате, называемой фреймграббером, которая содержит память для изображения и средства управления камерой. Записанные во фреймграббере изображения можно в любой момент ввести в компьютер для дальнейшей обработки.

Компьютерная программа, обрабатывающая цифровое изображение, может обращаться к значениям пикселей как к элементам массива $I[r, c]$, где I – массив с изображением, r, c – номера строк и столбцов, соответственно.

Устройства ввода, построенные на основе ПЗС-матриц

Сканеры

Сканер – это устройство получения изображений высокого разрешения. Принцип работы состоит в последовательном освещении сканируемого материала специальной лампой и регистрации отражённого света ПЗС-матрицей¹.

Все сканеры можно разделить на следующие группы

Барабанные сканеры

Барабанные сканеры – это очень дорогие устройства. Сканируемый объект сначала вымачивается в специальном растворе, а затем помещается на барабан, который вращается перед перемещающимся в одном направлении фотоэлектронным умножителем. Чувствительность фотоэлектронных умножителей значительно выше, чем у ПЗС-матриц, поэтому качество сканирования гораздо выше.

Планшетные сканеры

Планшетные сканеры – самый распространенный тип сканеров. Под стеклом находится сканирующая головка, последовательно проходящая всю площадь под стеклом. При этом отражённый свет фиксируется с помощью ПЗС-матриц, а с помощью специального ПО получается целостное изображение.

Протяжные сканеры

Протяжные сканеры предназначены для сканирования листов бумаги заданной ширины. Сканирующая головка в таких устройствах или фиксирована, или перемещается только в одном направлении, а протяжный механизм обеспечивает смещение бумаги. Такие устройства позволяют сканировать протяжённые в одном направлении материалы.

Ручные сканеры

Сканирующая головка в ручных сканерах перемещается с помощью руки человека. Сканеры данного типа характеризуются простым аппаратным устройством, но их ПО намного сложнее, так как требуется обеспечивать правильное совмещение отдельных фрагментов. Такие сканеры могут иметь очень компактные размеры.

Слайд-сканеры

Слайд-сканеры – это устройства предназначенные для сканирования фотоплёнки. Принцип устройства похож на устройства планшетных сканеров, но важным отличием от первых является отсутствие стекла между сенсором и плёнкой.

Цифровые фотоаппараты и видеокамеры

Цифровые фотоаппараты и видеокамеры аналогичны по принципу действия традиционным аналоговым фотокамерам. Основное различие состоит в том, что в аналоговых устройствах изображение фиксируется на плёнке, а в цифровых камерах на ПЗС-матрицах. Так как сенсоры, из

¹ Если материал полупрозрачный, то он подсвечивается с обратной стороны.

которых состоят матрицы, чувствительны только к яркости, то для получения цветного изображения применяются светофильтры.

Макросветофильтры

Первый вариант

Для получения одного изображения информация снимается с матрицы сенсора 3 раза подряд, при этом каждый раз используется светофильтр для одного из трёх базисных цветов. Этот процесс сравнительно медленный и сложный, поэтому такая технология применяется только при съёмке неподвижных объектов.

Второй вариант

С помощью призмы световой поток разлагается на три, соответствующих базисным цветам. Каждый поток направляется на свою ПЗС-матрицу. Эта технология получила название *3CCD*. Эта технология используется пока только в видеокамерах, для фотографии она слишком дорога.

Микросветофильтры

Каждый элемент ПЗС матрицы имеет свой светофильтр, соответствующий одному из базисных цветов. Обычно в квадрате 2×2 располагаются 2 зелёных, 1 синий и 1 красный элемент, т.н. маска Байера.

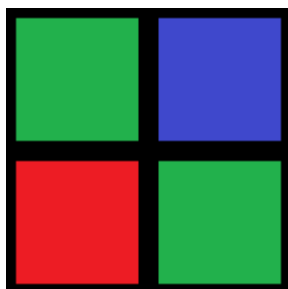


Рисунок 1 Маска Байера

Для получения обычного изображения используются различные алгоритмы интерполяции. Это самая распространенная технология как для фото-, так и для видеокамер.

Проблемы формирования цифровых изображений

В процессе восприятия изображений с помощью датчиков возникает ряд проблем. Суммарный эффект различных проблем, связанных с формированием изображений, приводит к появлению на изображении некоторых искажений (дисторсий) геометрических и яркостных характеристик.

Геометрические искажения

Геометрические искажения в процессе формирования изображения возникают по различным причинам. Из-за дефектов при изготовлении объектива лучи света, собираемые от поверхностного элемента сцены, не преломляются точно нужным образом. Бочкообразная дисторсия часто наблюдается при использовании короткофокусных объективов. При этом прямые линии в периферийных областях сцены выглядят согнутыми в сторону от центра изображения.

Дисперсия

При прохождении через вещество световые лучи могут преломляться и рассеиваться. Изображения, полученные путём аэрофотосъёмки или со спутников, особенно подвержены таким дефектам, которые появляются из-за водяных паров или температурных градиентов, придающих атмосфере свойства линзы.

Избыточная яркость

Поскольку дискретные детекторы (ячейки ПЗС) не идеально изолированы друг от друга, то заряд, накопленный в одной ячейке, может стекать в соседние ячейки. Термин избыточная яркость относится к явлению, когда утечка заряда возникает в области яркой засветки плоскости изображения.

Неоднородность ПЗС-матрицы

Из-за дефектов производства у элементов ПЗС-матрицы может оказаться различная чувствительность, так что при одинаковой освещённости различные ячейки будут генерировать различный выходной сигнал. Тогда для точной оценки интенсивности может потребоваться определить полный массив масштабных множителей $s[r, c]$ и смещений $t[r, c]$, по одному для каждого пиксела. Это делается путём калибровки при однородном освещении, когда интенсивность можно вычислить как $I_2[r, c] = s[r, c]I_1[r, c] + t[r, c]$. В предельном случае на ПЗС-матрице может быть несколько неактивных ячеек, которые совсем не генерируют выходной сигнал. Такие недостатки можно компенсировать программными средствами, присваивая неактивной ячейке выходной сигнал, равный усреднённому отклику соседних ячеек.

Отсечение и циклический возврат

При аналого-цифровом преобразовании очень большие значения интенсивности могут быть усечены до максимального значения или старшие биты этого значения могут быть потеряны (происойдёт циклический возврат к началу диапазона значений интенсивности). На полутоновом изображении результат циклического возврата АЦП выглядит как яркая область с тёмным центром, на цветном изображении этот эффект может проявляться в изменении цвета.

Хроматическая дисторсия

Световые волны разной длины преломляются линзой по-разному. В результате световые волны различной длины от одного и того же малого участка сцены могут попасть в несколько различных пикселей изображения на поверхности датчика. Например, на изображении очень резкой чёрно-белой границы на периферии сцены может наблюдаться постепенное изменение интенсивности в пределах нескольких пикселей изображения.

Эффекты дискретизации

В процессе дискретизации значение интенсивности формируется для некоторой дискретной области сцены. Оно представляется одним из дискретных значений интенсивности и поэтому подвержено ошибкам смешивания и округления.

Эффекты размытия

Из-за того, что линзы объектива геометрически неидеальны, из-за зависимости преломления светового излучения от длины волны и некоторых других явлений, конус лучей в действительности формирует на плоскости изображения размытое пятно, называемое кружком рассеяния.

Также массив элементов ПЗС-датчика построен из физически дискретных ячеек, а не из бесконечно малых точек. Поэтому каждая ячейка датчика накапливает отклик от лучей, приходящих от некоторой окрестности точки трёхмерной поверхности. Эти два эффекта приводят к размытию изображения и определяют предел резкости и размеров наименьших видимых деталей на изображении.

Устройства вывода

Дисплеи

Дисплеи ЭЛТ

ЭЛТ – один из самых распространенных типов дисплеев среднего размера. Основан на использовании электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

ЭЛТ устроена следующим образом. Электроны сначала ускоряются электромагнитным полем, а затем отклоняются в нужном направлении другим полем (эта часть ЭЛТ называется пушкой). При попадании на поверхность экрана электроны вызывают свечение установленных там частиц люминофора, которое и воспринимается наблюдателем. Чем большую скорость разовьёт электрон, тем ярче будет светиться люминофор. У цветных дисплеев имеется 3 пушки для каждого из базисных цветов, а по поверхности экрана равномерно распределены частицы люминофора, соответствующие базисным цветам. Чтобы электроны, выпущенные из соответствующей пушки, попали только на люминофор своего цвета, перед экраном ставится специальная апертурная решётка. Время послесвечения люминофора, незначительно, поэтому изображение приходится постоянно обновлять. Для вывода одного кадра пушка выпускает электроны последовательно слева направо в каждой строке и по строкам снизу вверх. Количество обновлений в секунду называется частотой развёртки. Она должна быть достаточно высокой (> 75 Гц), чтобы не возникало неприятного мерцания.

Основными недостатками дисплеев ЭЛТ являются их сравнительно большие размеры и вес, а также геометрические искажения на периферии экрана. Впрочем, в современных устройствах геометрические искажения практически полностью устранены.

Достоинства ЭЛТ – хорошая цветопередача и способность работать в широком диапазоне разрешений экрана.

Жидкокристаллические дисплеи

Жидкокристаллические дисплеи лидируют в качестве дисплеев персональных компьютеров. Устроены ЖК дисплеи следующим образом. Сзади дисплея встроена лампа, свет от которой проходит или не проходит через экран. Экран ЖК дисплея состоит из 5 слоёв: с двух сторон слои поляризационных фильтров и электродов, а посередине – слой жидких кристаллов. Для каждого пикселя слой жидких кристаллов состоит из нескольких молекул в ряд. При отсутствии напряжения этот ряд имеет форму спирали и свет полностью проходит через внешний фильтр (т.е. пиксел светится). При подаче напряжения на электроды молекулы распрямляются в ровный ряд и свет идёт перпендикулярно внешнему фильтру и не проходит через него (т.е. пиксел тёмный). Величина напряжения позволяет регулировать яркость. Цветные изображения формируются, как и в фотоаппаратах, с помощью микросветофильтров.

К основным достоинствам ЖК дисплеев можно отнести меньшие, чем у ЭЛТ, размеры, вес и энергопотребление, большую чёткость. Кроме того, отсутствует мерцание, что приводит к меньшему утомлению глаз. Недостатками являются: худшая цветопередача, искажения при косых углах зрения, большое время реакции, недостаточно тёмный (грязный) чёрный цвет.

Другие типы дисплеев

Плазменные дисплеи

В плазменных панелях, как и в ЖК-дисплеях, экран состоит из нескольких слоёв. Так же, как у ЖК-дисплеев, с двух сторон подведены электроды, только между ними находятся уже не жидкие кристаллы, а смесь неона и ксенона. При подаче напряжения на электроды через смесь газов начинает проходить ток, что приводит к испусканию ионов, которые, как и в ЭЛТ-дисплеях, попадают на слой люминофора, вызывая его свечение. Основные достоинства: малая глубина, отличная цветопередача, высокая яркость, лёгкость получения дисплеев большого размера. Недостатки: высокая цена, большое энергопотребление.

Дисплеи на светодиодах

Светоизлучающий диод – это полупроводниковый диод, обладающий дополнительным свойством испускания фотонов определённого цвета при прохождении через него электрического тока. Для построения цветного дисплея для каждого пикселя берётся три светодиода, соответствующих базовым цветам. Множество таких троек, расположенных на прямоугольной сетке, и образует экран. Светодиодные дисплеи чаще всего используются для наружной рекламы.

Дисплеи на органических светодиодах

Органические светодиоды – это светодиоды, при производстве которых, используются органические материалы, которые обладают различными необычными для дисплеев свойствами. Т.е. теоретически можно создавать гибкие дисплеи. Также их достоинством является то, что их можно сравнительно дёшево производить. В настоящее время они используются в основном в различных портативных устройствах.

Электронная бумага

Электронная бумага рассчитана не на обновление изображения, а на его длительное сохранение без электрической энергии. Такой тип дисплеев активно внедряется в устройства для чтения. Достоинство этих дисплеев очевидно: крайне низкое потребление энергии и минимальная нагрузка на глаза. Недостаток – очень большое время отклика.

Проекторы

Проекторы используются для демонстрации изображений больших размеров. Для этого применяются системы линз, проецирующие маленькое изображение на большой экран. По технологии построения первичного изображения внутри проектора, все проекторы можно разделить на следующие группы:

- Проекторы на ЭЛТ
- Проекторы на ЖК
- Проекторы на технологии DLP. DLP – фирменная технология компании Texas Instruments. Для создания первичного изображения используется лампа, освещающая систему микрзеркал (по одному на пиксел). За счёт постоянного быстрого изменения положения микрзеркал можно получать оттенки серого цвета. Для получения цветных изображений используют два метода: либо вращающийся цветовой круг с базисными цветами, либо белый свет сначала разлагается призмой, затем поток для каждой компоненты проходит через свою систему зеркал, и потом они вновь соединяются.

Следует отметить, что для проекторов требуются внутренние дисплеи повышенной яркости, так как площадь изображения при проецировании значительно увеличивается.

Принтеры

Использование принтеров является самым распространённым способом вывода двумерной информации на твердые носители, поэтому, хоть принтеры и не используются в машинном зрении, но не рассмотреть их нельзя.

Матричные принтеры

Матричные принтеры отличаются крайне низким качеством печати. Печатающая головка, состоящая из нескольких игл (обычно 9 или 24), перемещается по ширине страницы над специальной лентой. На ленту, находящуюся между печатающей головкой и бумагой, нанесена краска. При ударе иглы по бумаге на неё остаётся след от краски с ленты, таким образом, и получается изображение.

Вывод изображений с помощью матричных принтеров очень затруднён, а печать цветных изображений практически невозможна.

Достоинства этих принтеров – дешевизна печати, а недостатки – невысокая скорость и шум. В настоящее время матричные принтеры практически полностью вытеснены с рынка, единственная область их использования – кассовые аппараты.

Струйные принтеры

Струйные принтеры дороже матричных, но дешевле лазерных. В настоящее время именно струйные принтеры являются наиболее популярными устройствами для цветной печати.

Работают они следующим образом. Печатающая головка, состоящая из множества микрокамер с соплами, перемещается по ширине бумаги. При пропускании электрического импульса через микрокамеру, в ней образуется пузырь, который через сопла выталкивает капли краски на бумагу.

В струйных принтерах применяется цветовая модель *CMYK* (см. далее), при этом каждому базисному цвету соответствует свой картридж с краской.

Достоинства этого типа принтеров – дешевизна устройства, недостаток – дороговизна расходных материалов.

Лазерные принтеры

Лазерные принтеры – самые эффективные устройства с точки зрения стоимости печати страницы. В настоящее время лазерные принтеры используются преимущественно в чёрно-белой печати, так как устройства цветной печати очень дороги.

Принцип действия следующий. Поверхность барабана с фотопроводящим покрытием заряжается положительно. Потом некоторые участки барабана освещаются лазером, что приводит к снятию заряда. Затем поверхность барабана проходит через порошкообразный тонер, который прилипает к незаряженным участкам барабана и отталкивается от заряженных участков. После этого тонер с барабана переносится на бумагу, которая до этого предварительно заряжается отрицательно. Бумага потом подвергается нагреву, при этом тонер прочно прилипает к ней.

Достоинства лазерных принтеров – высокая скорость и чёткость печати, недостаток – дороговизна самих принтеров (в особенности цветных).