

СТЗ и сенсорные системы робототехнических систем

Принципы формирования и передачи изображений

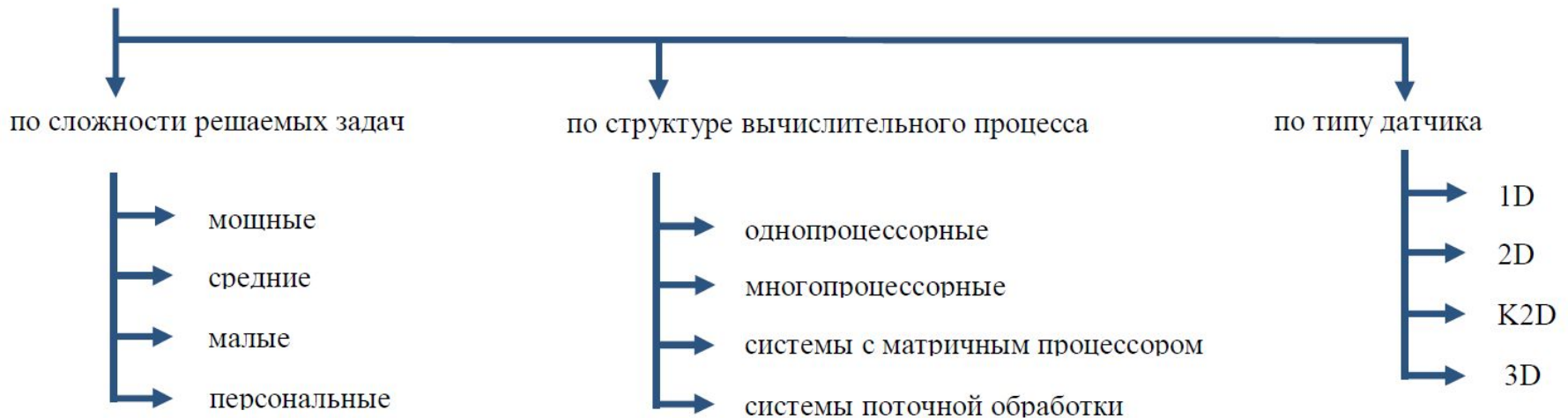
В системах технического зрения (СТЗ) под **изображением** объекта, понимают распределение **амплитуды** его двумерной функции **яркости** $Y(x, y)$.

Действие видимого света на глаз зависит не только от физических параметров излучения, но и **спектральной чувствительности** глаза.

Наибольшую видность (световое ощущение) V_{\max} глаз имеет к излучению с

длинной волны $\lambda = 555 \text{ нм}$.
Распознавание образов – научное направление, связанное с разработкой принципов и построением систем, предназначенных для определения принадлежности данного объекта к одному из заранее выделенных классов

Классификация СТЗ



Основные задачи СТЗ робота

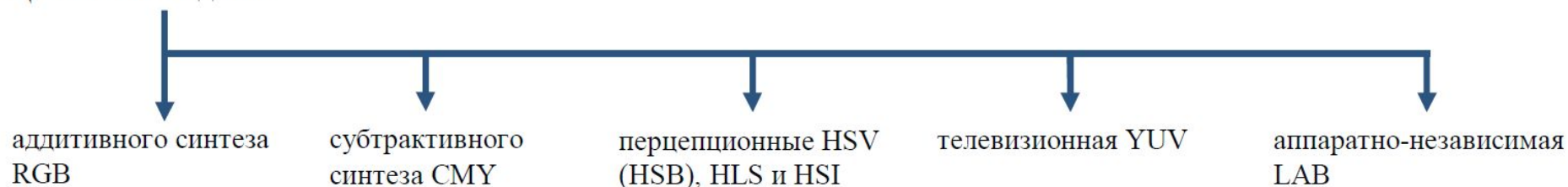
1. **ввод** (восприятие) информации, т. е. получение изображения рабочей сцены с помощью датчиков;
2. **предварительная обработка** изображения с использованием методов подавления шума;
3. **сегментация**, т. е. выделение на изображении одного или нескольких представляющих интерес объектов сцены;
4. **описание**, т. е. определение характерных параметров (размеров, формы и т. д.) каждого объекта, необходимых для его выделения на сцене;
5. **распознавание**, или идентификация, объекта, т. е. установление его принадлежности к некоторому классу деталей, например к «болтам»;
6. **интерпретация**, т. е. выявления принадлежности объекта к группе распознаваемых, например: «на сцене есть несколько гаек».

Способы кодирования цвета

Спектральная чувствительность глаза (спектральная световая эффективность или видность) – это отношение светового потока «видимого» излучения с длиной волны монохроматического света к соответствующему потоку излучения
Под «**абсолютно чёрным**» телом понимают тело, поглощающее всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах длин волн.

Белым называется цвет свечения абсолютно черного тела при температуре 6500 0С.

Цветовые модели



Модель аддитивного цветового синтеза

Согласно этой модели, известной как **цветовая модель RGB**, любой цвет получается наложением красного, зеленого и синего цветов спектра

Модель субтрактивного цветового синтеза

Для описания **приемников света** применяют модель субтрактивного цветового синтеза **CMY**, основанная на использовании **дополнительных** цветов голубого, пурпурного и желтого

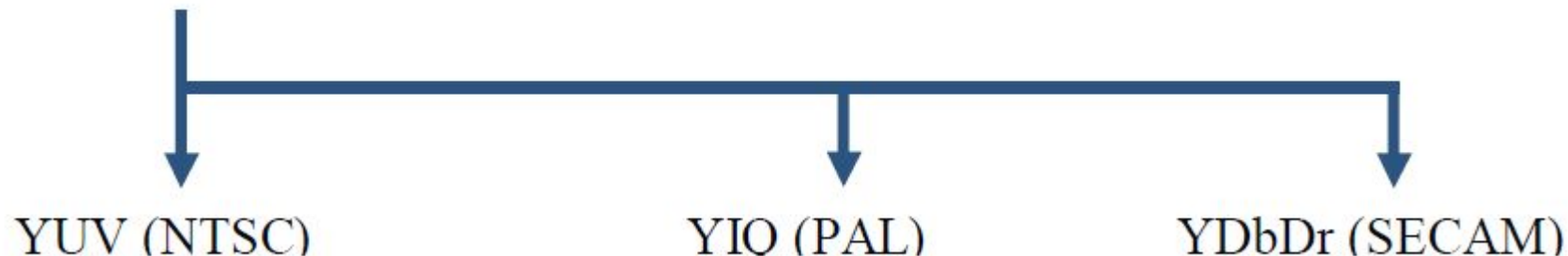
Перцепционная модель HSV (HSB) и цветовые модели HSL и HSI

В этих моделях осуществляется **раздельное** кодирование компонент яркости и цвета. Такое кодирование получило название **компонентного**.

Телевизионные цветовые модели

При передаче цветных изображений в большинстве СТЗ применяются устройства аддитивного цветового синтеза, основанные на модели RGB. К ним относятся и телекамеры, и мониторы.

Классификация



Телевизионная цветовая модель YUV

Цвет представляется как три компоненты — яркость Y и две цветоразностных

Формы представления телевизионных сигналов



В системе цветного телевидения YUV цветные сигналы U и V добавляются к яркостному сигналу путем модуляции специального гармонического сигнала (цветовой поднесущей) на частоте, лежащей в пределах спектра сигнала Y . Телевизионный видеосигнал представляет собой композицию трех сигналов Y , U , V и синхроимпульсов. Такой сигнал называют **композитным**.

Сигналы яркости и цвета могут также передаваться отдельно по трем проводам: Y – сигнал яркости, Cb (Pb) – сигнал синего и Cr (Pr) – сигнал красного. Такое представление сигнала получило название **компонентного**.

Промежуточным вариантом является **S-Video**, при которой отдельно передаются видеосигнал Y (яркость с кадровой и строчной синхронизацией) и сигнал C (*color* – цветность с синхронизацией на поднесущей частоте). Сигналы передаются по **двум** линиям связи.

Кодирование цвета в модели YCbCr

Для кодирования каждой точки в модели YCbCr требуется 3 фрагмента (**сэмпла**):

Y , Cb , Cr .

Первая цифра кода указывает, в скольких из 4 столбцов присутствует сэмпл Y . Вторая цифра указывает, сколько столбцов из 4 содержат сэмплы Cb и Cr в **нечетных** строках (в нечетных полукадрах), третья содержит такую же информацию, но только о **четных** строках (четных полукадрах).

Датчики и системы технического

Для оценки светового излучения применяются энергетические и светотехнические (визуальные) характеристики.

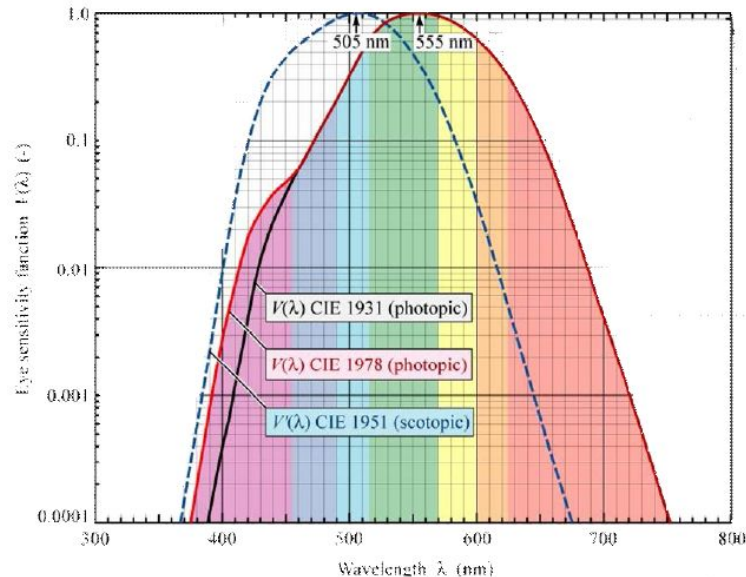
Первые используют для излучений, которые лежат за пределами видимого спектра, вторые служат для описания процессов, протекающих в диапазоне видимого света и воспринимаемых глазом.

Чувствительность глаза к сине-фиолетовому и красно-оранжевому излучению существенно ниже, чем к желто-зеленому.

Максимум достигается при длине волны

0,5...0,555 мкм

(первое значение справедливо для черно-белого, скотопического зрения, второе — для цветного, или фотопического зрения).



Оптическая система и ее характеристики

Совокупность оптических деталей (линз, зеркал, призм и т. д.), образующих изображение предметов на фотоприемнике, называется **оптической системой**

Характеристики оптической системы

Главными характеристиками оптической системы являются:

- масштаб изображения;
- светосила;
- поле зрения и апертура;
- разрешающая способность.

Чувствительные элементы оптических систем

В системах навигации, как правило, используют **оптронные** оптические системы для ближнего радиуса действия и **лазерные** — для дальнего.

Объективом называется ближняя к объекту линза (или система линз), дающая его **обратное** действительное изображение. Это изображение формируется в области анализатора, оправой которого является диафрагма и переносится **конденсором** в плоскость чувствительного слоя фотоприемника.

Объектив характеризуется следующими параметрами:

фокусным расстоянием f (1...10000 мм),

угловым полем $\Psi_{\text{и}}$ (до 1700),

светосилой S_F ,

относительным отверстием $r_{\text{отн}}$ или диафрагменным числом N .

Основные типы объективов



Размер матрицы фотоэлементов, как правило, **меньше**, чем пленочного приемника. Поэтому, на матрице отображается не весь объект и, следовательно, **сужается** угловое поле. Для учета этого обстоятельства применяют так называемый **кроп-фактор** K_f

Светосила объектива

Яркость изображения Y (и освещенность кадра) пропорциональны квадрату **геометрической светосилы** объектива $S_{ГТ}$, которая, в свою очередь, зависит от его относительного отверстия $r_{отн}$

Шкалы диафрагм объективов градируются так, чтобы при переходе к соседнему значению шкалы **освещённость** кадра изменялась в **два** раза.

Глубина резкости объектива

Объективу свойственны нелинейные искажения изображения – **абберации**, обусловленные следующими факторами:

- невозможностью отображения одной точки объекта в одну точку изображения (сферическая абберация);
- зависимостью оптических искажений от апертуры оптической системы;
- зависимостью положения фокальной точки от длины волны света.

Датчики изображения

Датчик изображения состоит из большого числа связанных между собой оптических преобразователей (**элементов разложения**, или **пикселей**). Размер пикселя зависит от принципа преобразования, материала чувствительной поверхности и др. Получение информации с каждого пикселя осуществляется в соответствии с некоторым выбранным порядком, называемым **разверткой изображения**.

Классификация



Основными характеристиками датчиков изображения являются:

- разрешающая способность (апертурная характеристика);
- чувствительность;
- спектральная характеристика.

Разрешающая способность (разрешение) характеризует свойство датчика изображения (телекамеры) к воспроизведению мелких деталей.

Разрешение по **вертикали** r_v по **горизонтали** r_r определяются числом горизонтальных и вертикальных полос, которое можно зафиксировать телекамерой и воспроизвести на экране монитора.

Разрешающая способность прямо зависит от **освещенности** рабочей сцены и длины световой волны.

Чувствительность (пороговая чувствительность) S телекамеры характеризуется минимальной освещенностью рабочей сцены T_{\min} , при которой обеспечивается **заданная** разрешающая способность.

Спектральная характеристика телекамеры зависит от материала чувствительного элемента ее оптоэлектронного преобразователя

Матрица ПЗС — специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов и использующая технологию ПЗС (*CCD — Charge-Coupled Device*) — **приборов с зарядовой СВЯЗЬЮ**.

Матрица содержит **ячейки ПЗС**, каждая из которых состоит из двух-трех

Классификация матриц ПЗС



Телекамера на ПЗС обычно содержит матрицу со строчно-кадровым переносом заряда, устройство управления и выходной каскад, содержащий полевой транзистор, видеоусилитель, генератор служебных сигналов и смеситель. В нем формируется композитный видеосигнал.

Фотодиодные матрицы (CMOS) также относятся к приборам с переносом заряда. В основе ее работы лежит свойство обратного смещенного $p-n$ -перехода накапливать заряд, пропорциональный падающему на переход световому потоку.

Телекамеры с фотодиодной матрицей используются в специальных задачах робототехники. Их достоинства: возможность поэлементной адресации, высокое быстродействие.

Для обозначения размера матрицы используют параметр «**формат**», который соответствует диаметру видикона с такой же площадью светочувствительной поверхности. Чем больше формат матрицы, тем больше угловое поле телекамеры.

Выбор датчика изображения

1. Основным параметром для выбора является величина **угла зрения** оптической системы по горизонтали (или вертикали), соответствующего размеру зоны наблюдения:
2. Далее определяют размер **минимально различимого** объекта зоны наблюдения:
3. Для определения требуемой **чувствительности** телекамеры необходимо найти диапазон изменения освещенностей объекта, а также его минимальную освещенность.

Устройства ввода и хранения изображений

Основными задачами фреймграббера являются:

- кодирование видеосигнала (в том числе его квантование и дискретизация),
- частотная фильтрация,
- буферизация и ввод данных в компьютер СТЗ.

Дискретизация — это представление непрерывного аналогового сигнала последовательностью его значений (отсчетов), взятых через определенный промежуток времени — **период дискретизации** T_d .

Квантование — **амплитудное** преобразование сигналов яркости и цветности. При квантовании производят замену текущего значения сигнала ближайшим фиксированным значением из соответствующего уровня квантования.

Шум квантования нельзя устранить с помощью фильтрации.

Быстродействие СТЗ связано со временем ввода и обработки данных процессором СТЗ. Оно зависит от размера и типа изображения, а также числа градаций яркости. Работа с изображением в реальном времени требует **широкой полосы пропускания** канала передачи данных.

Разрешение устройства ввода оценивают двумя параметрами:

- по полю (пространственное разрешение);
- по амплитуде (уровню квантования видеосигнала).

Пространственное разрешение характеризует размер пикселя изображения и определяется **частотой дискретизации** устройства ввода.

При выборе разрешения по **амплитуде** учитывают особенности зрения.

Видеокамеры

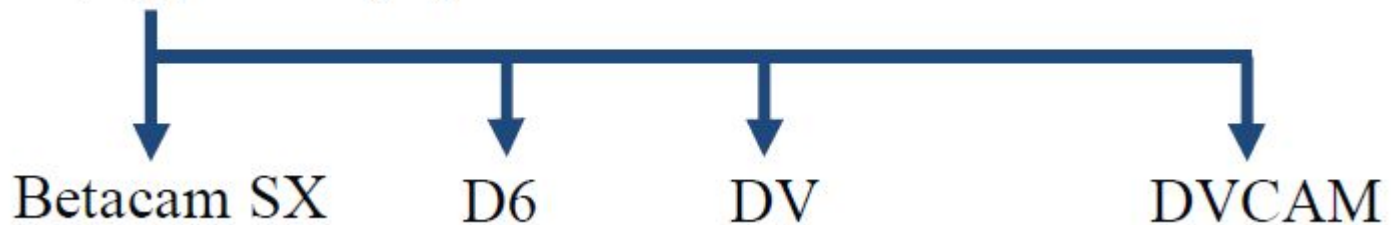
Аналоговые видеокамеры или **камкордеры** (camera+recorder — записывающая камера) формируют композитный видеосигнал (класс VHS), или компонентный видеосигнал (класса Betacam).

Цифровые видеокамеры производят **сжатие** видеоинформации непосредственно в процессе записи. Это требует существенного расширения пропускной способности канала записи, особенно при отдельном кодировании яркости и цвета (порядка 142 Мбит/с — для композитного сигнала и 216 Мбит/с — для компонентного).

Аналоговые форматы записи



Цифровые форматы записи



Базовые алгоритмы обработки изображений

Сущность обработки изображения заключается в приведении исходного изображения сцены к виду, позволяющему решить задачу распознавания ее объектов.

Процесс преобразования информации в СТЗ можно представить в виде шести основных этапов.

Этапы обработки изображения



Этапы **распознавания** (идентификации), т. е. установление принадлежности объекта к некоторому **классу**, а также **интерпретация**, т. е. формализация нового класса объектов – относятся к задачам **верхнего уровня СТЗ**.

Изображения сохраняют в максимально компактной и стандартной форме — в виде графического **файла**.

Различают два типа графических файлов:

- векторные;
- растровые.

Форма представления изображения



Векторное изображение представляет собой совокупность независимых математических объектов — **контуров**, каждый из которых можно перемещать и масштабировать. Примерами примитивных объектов являются: ломаные линии, многоугольники, окружности и эллипсы, кривые Безье, текст.

Кривая Безье представляет собой семейство кривых (первой, второй и третьей степени).

Растровое изображение представляет собой совокупность отдельных пикселей, записанную в ячейки памяти в виде таблицы или битовой карты.

Физический размер пикселя связан с **разрешением** по полю устройства ввода изображения. Разрешение по полю определяют числом пикселей на дюйм **dpi**.

Преобразование файлов из растрового формата в векторный:

1. преобразование растрового файла в растровый объект векторного изображения;
2. трассировка растрового изображения для создания векторного объекта.

Графический файл состоит из заголовка и собственно данных. **Заголовок** содержит спецификацию и общие сведения о файле. Данные разделяют на поля, теги и потоки.

1. **Поле** называется структура данных, имеющая фиксированный размер и позицию в файле.
2. **Тег** представляет собой структуру, размер и позиция которой изменяются от файла к файлу.
3. В **потоке** организовано последовательное чтение блока данных различной длины. Наиболее распространенным способом организации пиксельных данных в растровом файле является использование **строк развертки**.

Сжатие (кодирование) изображения осуществляется аппаратно-программными устройствами — **кодеками**. Процедуры сжатия могут входить в спецификацию графического формата или выполняться отдельно.

Методы сжатия изображений подразделяют на:

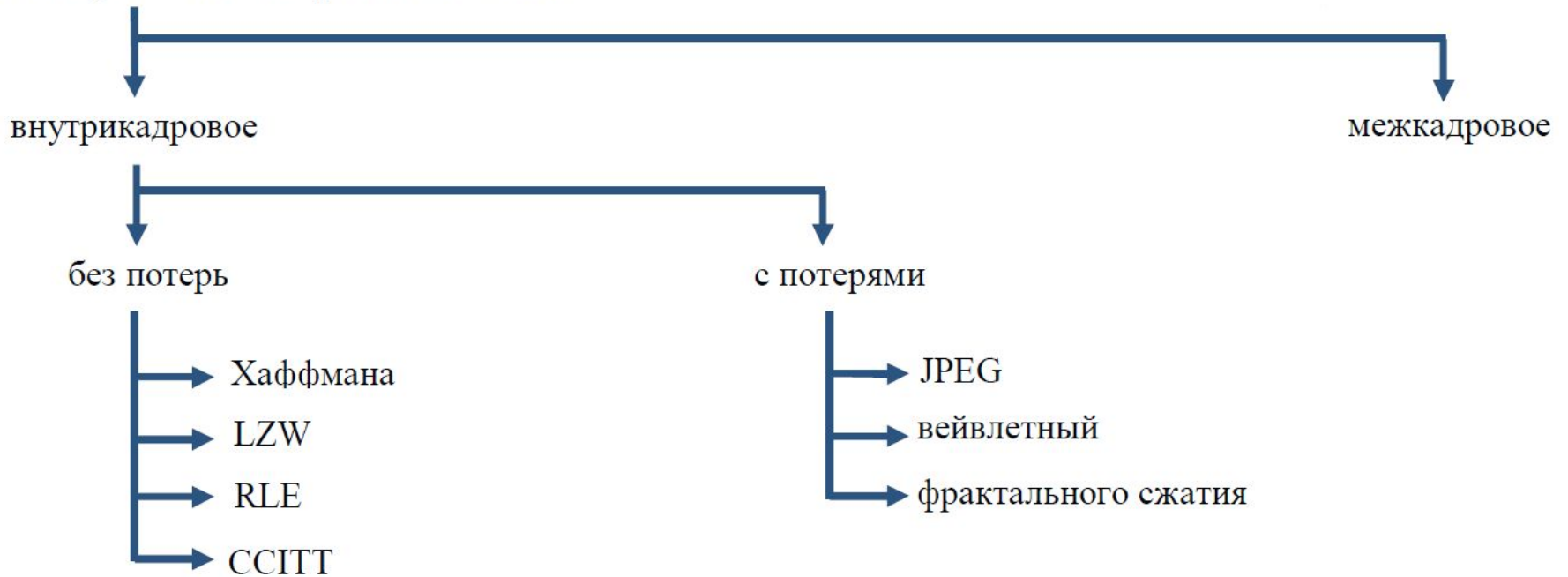
1. симметричные
2. асимметричные

Алгоритмы сжатия

Различают две группы алгоритмов сжатия:

1. сжатие без потерь;
2. сжатие с потерями.

Классификация алгоритмов сжатия



В алгоритмах сжатия **без потерь** либо оптимизируется кодирование минимального элемента информации — байта (алгоритмы Хаффмана и ССИТТ), либо удаляется избыточная информация (алгоритмы LZW и RLE).

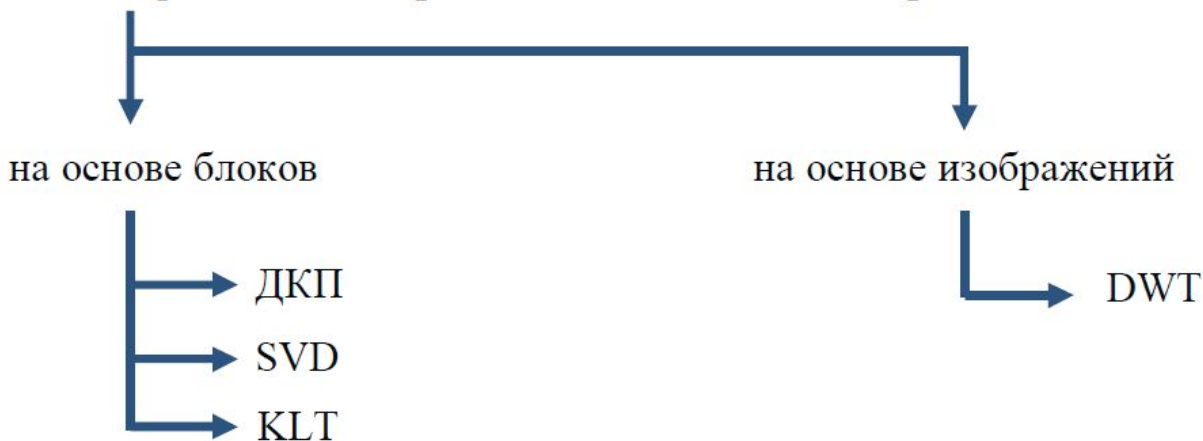
К алгоритмам сжатия **с потерями** относят алгоритмы JPEG, вейвлет-преобразования и фрактального кодирования.

Большинство методов кодирования динамического изображения – **видеоизображения** основано на устранении **временной** и **пространственной** избыточности данных.

В первом случае, имеет место значительная корреляция между ближайшими кадрами видеоизображения, особенно при большой частоте кадров.

Во втором, наблюдается сходство значений соседних пикселей в кадре.

Классификация алгоритмов сжатия видеоизображений



Примерами преобразований на **основе блоков** являются **ДКП**, разложение по **сингулярным** числам (**SVD**) и преобразование Кархунена – Лоэвэ (**KLT**). Каждое из этих преобразований работает с $N*N$ блоками пикселей (сэмплами) исходного или текущего изображения.

Преобразования на **основе изображений** работают с целым кадром или с его большим фрагментом. Наиболее популярным преобразованием этого типа является дискретное **вейвлетное** преобразование (ДВП, DWT).

Типовые алгоритмы

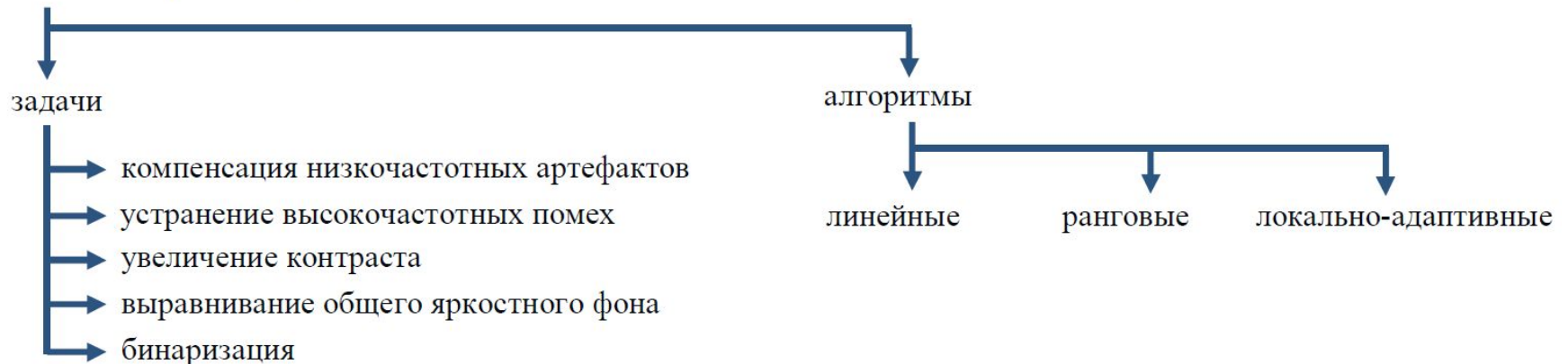
обработки

Выделяют три группы типовых алгоритмов обработки изображения, характерных для всех систем зрения:

1. предварительная обработка изображения;
2. сегментация;
3. описание.

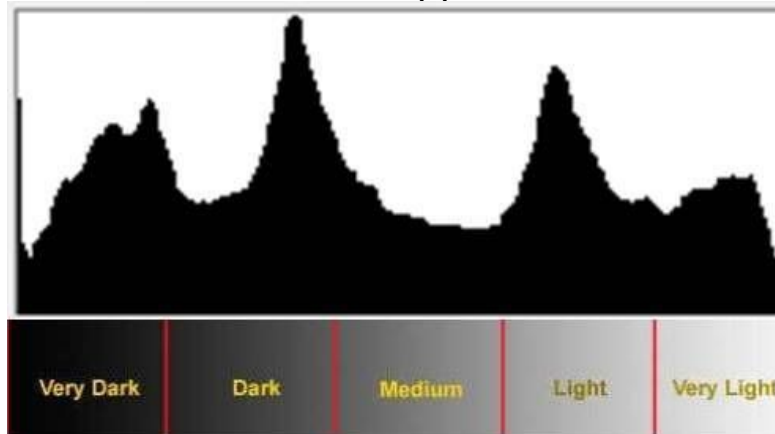
Целью **предварительной обработки** изображения является формирование и последующее улучшение изображения, его бинаризация и кодирование (в частности, получение контурного представления).

Назначение и реализация



Формированием изображения называется процедура непосредственного получения изображения в виде расположенного в памяти видеопроцессора массива дискретных элементов — пикселей, образующих матрицу или контур

Гистограммой изображения называется график распределения полутонов изображения, в котором по горизонтальной оси представлена яркость, а по вертикали — относительное число пикселей с данным значением яркости.



Гистограмма позволяет оценить количество и разнообразие **оттенков** изображения, а также общий уровень **яркости** изображения.

Основные операции с гистограммами:

- выравнивание;
- эквализация;
- линейное контрастирование;
- степенное преобразование;
- гамма-коррекция;
- бинаризация

Контрастирование относится к методам гистограммного выравнивания и используется при недостаточном диапазоне воспроизводимых яркостей.

Бинаризацию изображения проводят непосредственно после улучшения изображения также с помощью гистограммы полутонов. Выходное **бинаризованное** изображение $Y_b(x, y)$ содержит лишь две градации яркости: 0 или 1

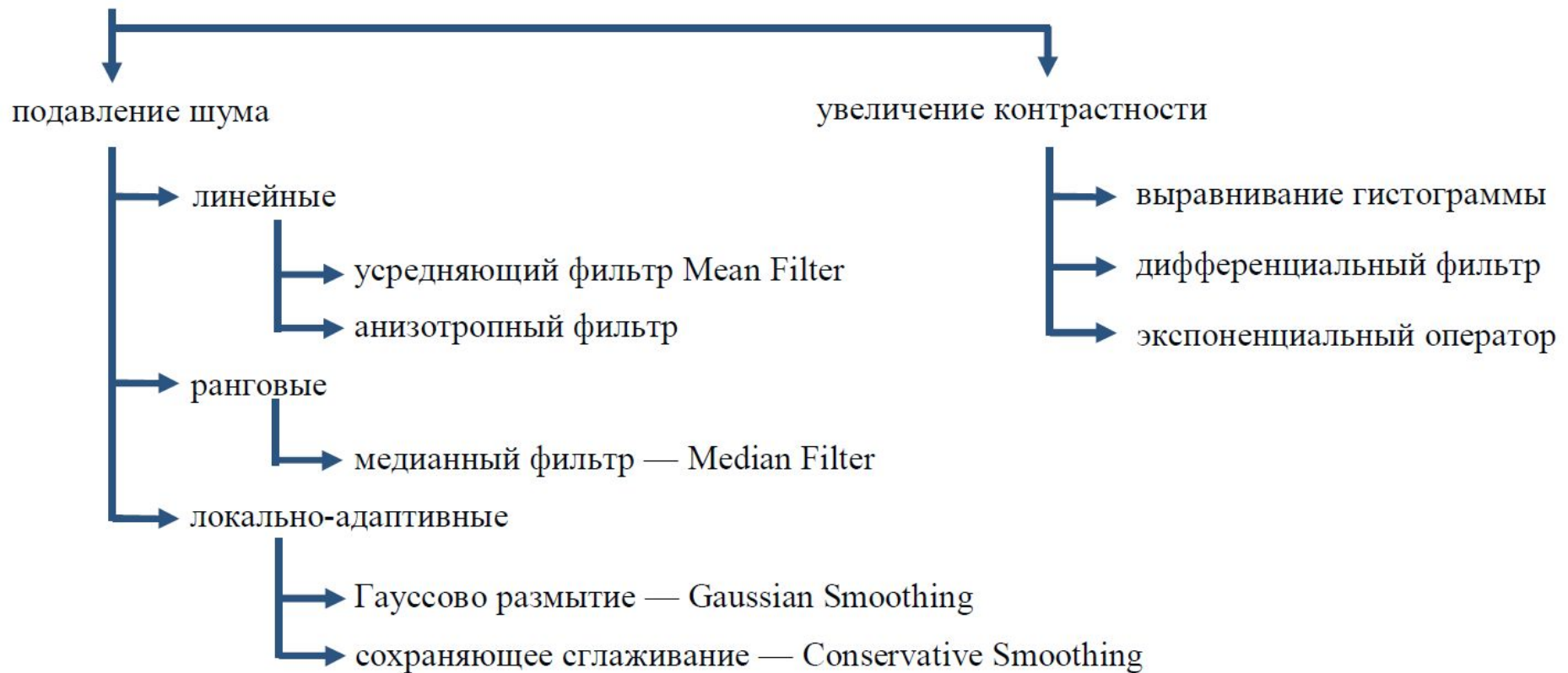
Под **фильтрацией** изображений понимают операцию, имеющую своим результатом изображение того же размера, полученное из исходного по некоторым правилам. В общем случае фильтрация решает следующие основные задачи:

1. сглаживание (подавление высокочастотной помехи типа «снег»);
2. повышение контрастности;
3. выделение контура.

Возможность **сглаживания** обусловлена тем, что спектр визуальных помех обычно содержит более высокие пространственные частоты, чем спектр изображения, т. е. размер помехи существенно меньше размера фрагмента объекта.

Метод **порогового сглаживания** основан на сканировании цифрового изображения программным окном размером $N*N$ (где N равно 3 ... 7) и вычислении на каждом шаге средней яркости Y_{cp} группы элементов

Классификация фильтров



Сущность метод **анизотропной фильтрации** заключается в свертке исходного дискретного массива изображения Y и сглаживающего массива (фильтра) W размером $N*N$. Результатом является новый (сглаженный) массив Y^*

В основу метода **рекуррентной фильтрации** положен тот же принцип свертки, что и при анизотропной фильтрации, однако здесь используются не только элементы исходного массива Y , но и элементы уже сглаженного массива Y^*

Для **выделения контура** наиболее распространены методы, основанные на использовании операторов **пространственного дифференцирования**, которые находят в каждом фрагменте изображения элементы, расположенные на границе различных по яркости областей.

Градиент яркости Γ_{ij} в некоторой точке x изображения с координатами i, j определяется как **двухмерный вектор**
Основные алгоритмы выделения контуров



Оператор Робертса использует программное окно 2×2 .

Оператор Собеля работает в программном окне 3×3 пикселя

В вычислительных процедурах контур изображения Y_{ij}^* получают путем **свертки**, т.е. умножения исходного изображения Y_{ij} на соответствующую маску **M**.

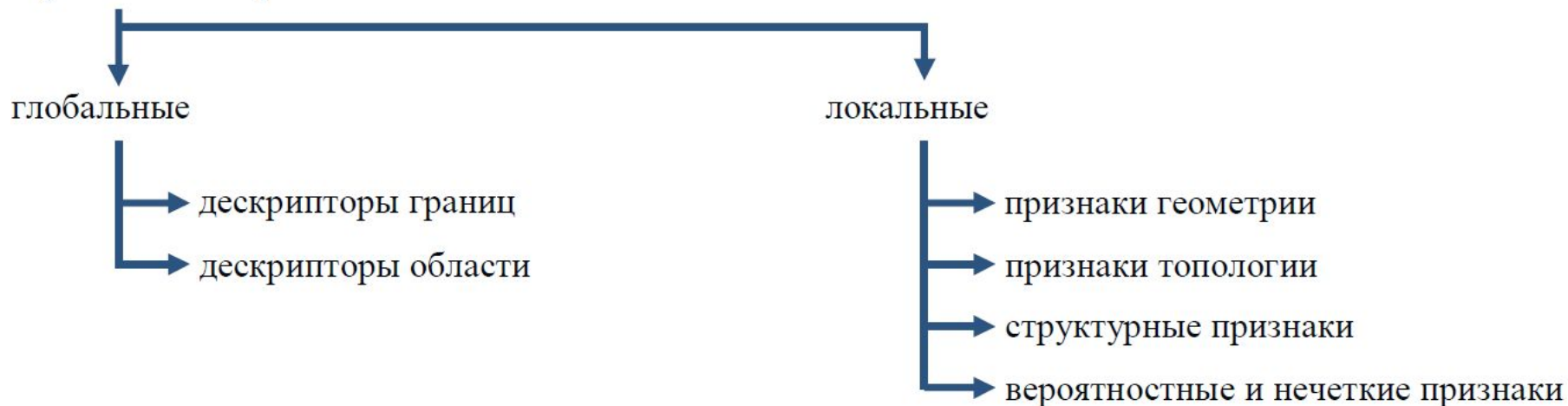
Процедура разделения отдельных контуров изображения и соотнесение их с определенными объектами называется **сегментацией**. Алгоритмы сегментации, как правило, основываются на двух процедурах:

1. поиске **разрывности** в контуре;
2. определении **подобия** областей.

Под **кодированием** изображения понимается обратимое преобразование информации, позволяющее получить компактный массив чисел, однозначно описывающий это изображение в удобной для данной вычислительной структуры форме.

Под **описанием** понимается определение характерных параметров объекта — **признаков** (дескрипторов), необходимых для его выделения из числа всех, образующих сцену.

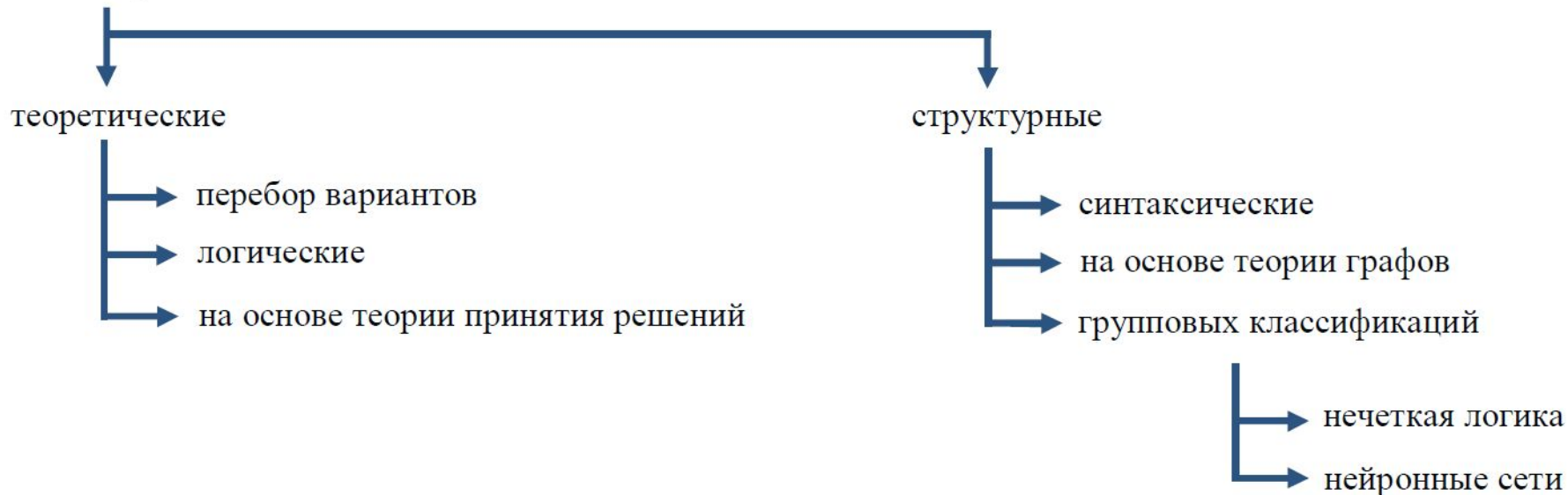
Признаки изображения



Распознаван

Распознаванием называется процесс, при котором на основании набора признаков некоторого изображения объекта определяется его принадлежность к определенному классу.

Методы распознавания

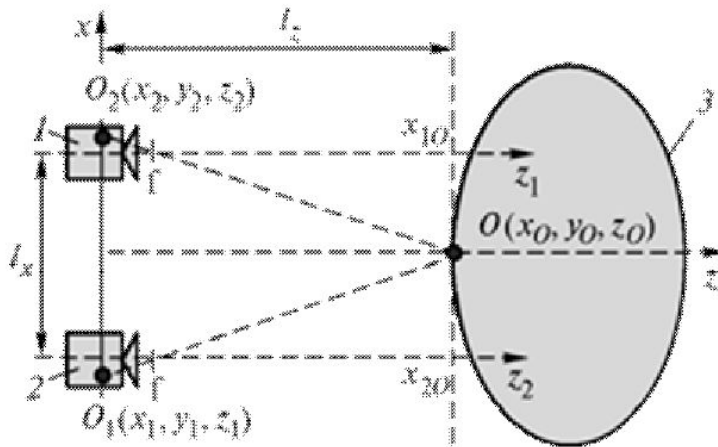


Упрощенная **математическая постановка** задачи распознавания сводится к классификации объектов, т. е. отнесению априорно известных объектов к априорно известным классам.

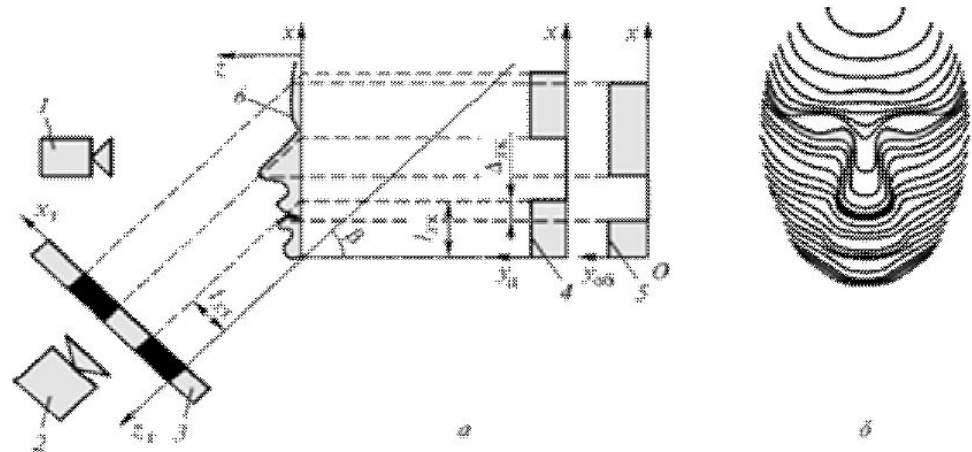
Способы получения 3D

изображения

В СТЗ под **трехмерным** (3D) понимают изображение, содержащее информацию о трех геометрических измерениях объекта. Трехмерное изображение может быть получено с помощью двух телекамер или с помощью специальных приемов.



Определение третьей координаты объекта с помощью двух телекамер: 1, 2 — телекамеры, 3 — объект



Определение третьей координаты по плоскому изображению: а — получение псевдотрехмерного изображения, б — трехмерная модель; 1 — телекамера; 2 — проектор; 3 — транспарант; 4, 5 — распределение яркости при плоской сцене при отсутствии и при наличии объекта; б — объект