

Тема 8. Датчики и системы технического зрения

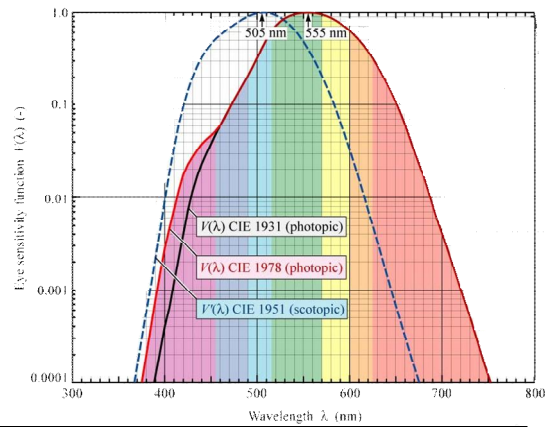
План занятия

1. Общие сведения
2. Оптическая система и ее характеристики
3. Датчики изображения
4. Устройства ввода и хранения изображения

1. Общие сведения

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** $S_c(\lambda)$ достигается при $\lambda = 0,5 \dots 0,555$ мкм (первое значение справедливо для черно-белого, скотопического зрения, второе — для цветного, или фотопического зрения).



Освещенность (*a*) и яркость (*b*)

2. Оптическая система и ее характеристики

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

Формула тонкой линзы (закон Барроу)

где x_0 – расстояние до объекта, x_n – расстояние до изображения.

Ход лучей в тонкой линзе (*a*) и системе линз (*b*)

Оптическая (преломляющая) **сила** линзы:

Оптическая сила системы из **двух** тонких линз и линз, расположенных на некотором **расстоянии** L друг от друга

Характеристики оптической системы

Главными характеристиками оптической системы являются:

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

Построение изображения в тонкой линзе

Масштаб изображения β вычисляют двояко:

или

Если изначально размер объекта неизвестен, то β можно определить **косвенно**, зная сопряженные фокусные расстояния:

или

Светосилой S_F называется отношение **освещенности** \mathfrak{S}_n изображения, создаваемой данной оптической системой, к **яркости** предмета Y_n : Чем больше света проходит сквозь объектив, тем выше его светосила.

В специальной литературе светосилу часто связывают с относительным размером линзы D/f . Эта величина получила название **геометрической светосилы** S_F^r : где $k_{пр} = 0,75 \dots 0,95$ — коэффициент пропускания света, D — диаметр входного окна системы.

Угловым полем (полем зрения) называется та часть пространства предметов, которая видна или изображается с помощью данной оптической системы. Оно связано с **оптической апертурой** — действующим отверстием оптической системы, зависящим от размеров линз и диафрагмы.

Угловое поле (a) и апертура (b) оптической системы: 1 — объект; 2 — входной зрачок; 3 — диафрагма; 4 — выходной зрачок; 5 — изображение, b — входной люк (полевая диафрагма)

Если предмет находится на **близком** расстоянии, используют понятие «**числовая апертура**»

При **удаленном** предмете апертуру оценивают с помощью **относительного отверстия** $r_{отн}$ или **диафрагменного числа** N :

Если известен формат матрицы или диагональ кадра $d_{хар}$, то угловое поле находят по формуле:

Разрешающая способность связана со свойством оптической системы получать контрастное изображение, т. е. воспроизводить отдельно две точки.

Угловую разрешающую способность вычисляют по формуле Рэля:

Для определения **линейной** разрешающей способности используют следующее выражение:

Здесь — минимально различимый размер изображения.

Чувствительные элементы оптических систем

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

Для системы, работающей в отраженном свете, уровень принимаемого сигнала пропорционален отражающей способности объекта, определяемой его **коэффициентом отражения** $k_{отр}$.

Первичные преобразователи



Размер матрицы фотоэлементов характеризуется **форматом** — параметром, соответствующим диаметру эквивалентного по площади круглого фотоприемника

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 ψ_n (до 170°),
- светосилой S_F ,
- относительным отверстием $r_{отн}$ 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_F^T , которая, в свою очередь, зависит от его относительного отверстия $r_{отн}$

Шкалы диафрагм объективов градуируются 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.

Определение глубины резкости объектива (а) и ее зависимость от диафрагмы (б)

Глубина резкости зависит от фокусного расстояния f объектива, апертуры (диафрагменного числа N), расстояния до объекта x_0 и минимального диаметра кружка нерезкости $d_{нр}$

Пример расчета оптической системы

Если заранее известны размеры и расстояние x_0 до объекта наблюдения, то
Для наблюдения за **удаленными** объектами объектив следует настроить на гиперфокальное расстояние, равное:

В ближней зоне наблюдения, при $f < x_0 < x_f$ глубину резкости необходимо рассчитать по формуле

3. 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.

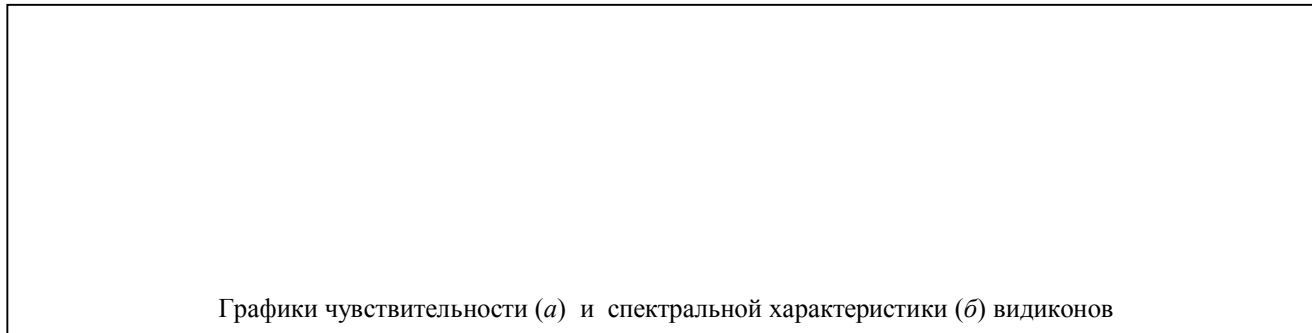
Разрешение по **вертикали** r_v по **горизонтали** r_r определяются числом горизонтальных и вертикальных полос, которое можно зафиксировать телекамерой и воспроизвести на экране монитора.



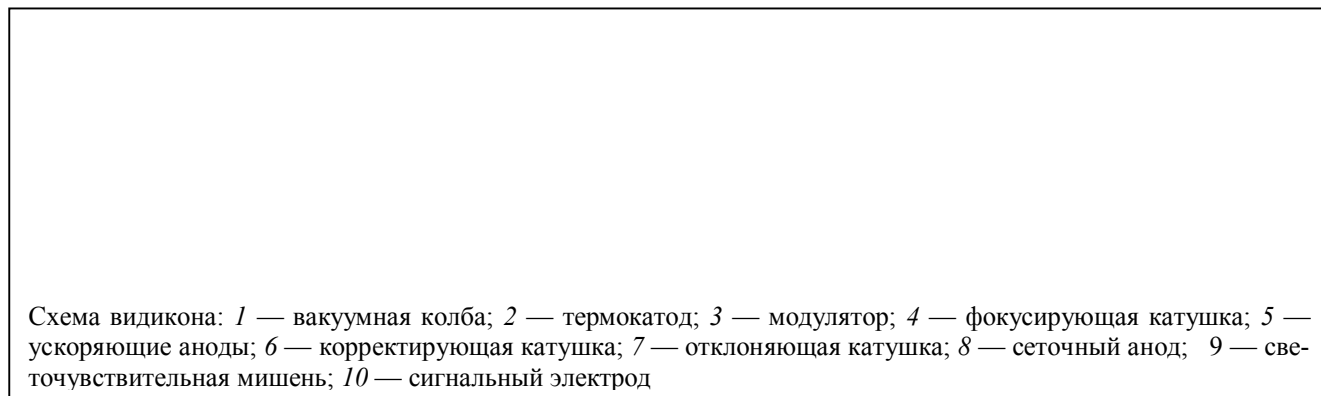
Разрешающая способность прямо зависит от **освещенности** рабочей сцены и длины световой волны.

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

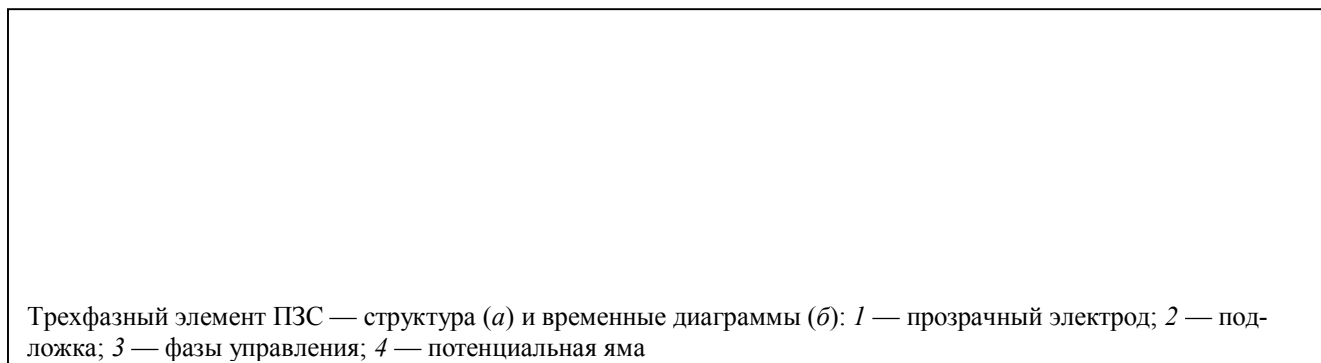
Спектральная характеристика телекамеры зависит от материала чувствительного элемента ее оптоэлектронного преобразователя



Видикон - телевизионный передающий электронно-лучевой прибор с накоплением заряда, действие которого основано на внутреннем фотоэффекте. Он представляет собой вакуумную колбу, в которой находится прожектор, светочувствительная мишень и фокусирующе-отклоняющая система развертки луча.



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 **элементов ПЗС**, количество которых зависит от числа фаз управления



Классификация матриц ПЗС



Структуры матрицы ПЗС с кадровым (a) и строчно-кадровым (b) переносом заряда

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.

Фотодиодная матрица: a — электрическая схема ячейки, b — схема фотодиодной матрицы

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.

Форматы матриц и их геометрические размеры

Выбор датчика изображения

1. Основным параметром для выбора является величина **угла зрения** оптической системы по горизонтали (или вертикали) Ψ_k , 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. Освещенность предмета \mathfrak{I}_n связана с освещенностью матрицы \mathfrak{I}_m выражением:



4. 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

При обратном **восстановлении** аналогового сигнала из дискретного необходимо выполнение условия:



Функция преобразования при дискретизации имеет вид:



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

Функция преобразования при квантовании:



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:

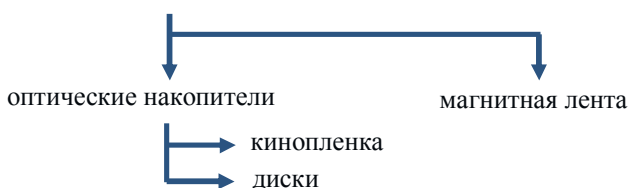
- по полю (пространственное разрешение);
- по амплитуде (уровню квантования видеосигнала).

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

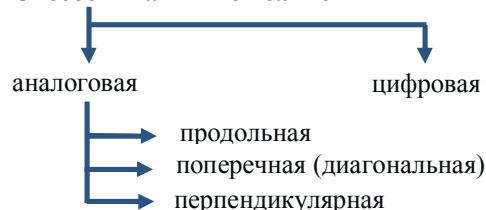
При выборе разрешения по **амплитуде** учитывают особенности зрения.

Способы хранения изображения

Физические носители



Способы магнитной записи



Магнитная запись основана на способности определенных материалов приобретать **остаточную** намагниченность в результате воздействия магнитного поля. В устройствах записи используют **три** магнитных головки – записи, стирания и воспроизведения

Магнитная головка представляет собой сердечник из магнитомягкого материала с обмоткой. Материал сердечника (пермаллой, феррит и др.) характеризуется **высокой** магнитной проницаемостью и **низкой** коэрцитивной силой.

При записи изображений используют вариант поперечной записи – **диагональную** (наклонно-строчную), при которой блок головок вращается под острым углом к направлению движения магнитной ленты.

Форматы хранения видеoinформации

Изображение на магнитной ленте сохраняют в **аналоговом** и **цифровом** форматах

Аналоговые форматы записи



Цифровые форматы записи



Видеокамеры

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

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