

Интеллектуальная роботроника

Курс лекций, семинаров и лабораторных работ
“Сенсорные и управляющие системы роботов”

МГТУ “СТАНКИН”, кафедра «Сенсорные и
управляющие системы» (СиУС) при Институте
прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

Москва, 2022г.

«Интеллектуальная роботроника»

Наука и практика разработки, производства и применения человеко-машинных, робототехнических систем (промышленных и сервисных), функционирование которых базируется на сенсорных и управляющих системах с элементами искусственного интеллекта и на распределённых микроэлектронных программно-аппаратных средствах

Участники:

Российская Инженерная Академия

Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН

Московский государственный технологический университет «Станкин»
(кафедра «Сенсорные и управляющие системы» при ИПМ им.Келдыша РАН)

Международная лаборатория «Сенсорика»

Международный институт новых образовательных технологий РГГУ

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 4а (Лекция 7)

Технические средства формирования и обработки видеосигналов (средства формирования видеосигналов)

Рекомендуемая литература

1. Андреев В.П., Ким В.Л., Кувшинов С.В. и др. Интеллектуальная роботроника. Проектно-исследовательская деятельность учащихся и студентов с использованием модульных коллаборативных робототехнических систем // Учебно-методическое пособие для организации дополнительного образования. – М. : Изд-во «ОнтоПринт», 2020. – 424 с. (Библ. СТАНКИН).
2. <http://proxy.uniar.ru/RGGU/Files/Data/69ad8073-3e2a-47e7-8ce8-6370b4d3ccf0/index.htm>.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Растровое изображение

Изображение — есть оптическое поле распределения яркости или цвета на двумерной плоскости, функция — $f(x, y)$, где x и y — декартовы координаты.

Цифровое изображение (Im) — двумерная матрица неотрицательных чисел $Im(i, j)$ размерности $N \times M$, где i и j — номера элементов соответственно в строке и столбце матрицы ($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$).

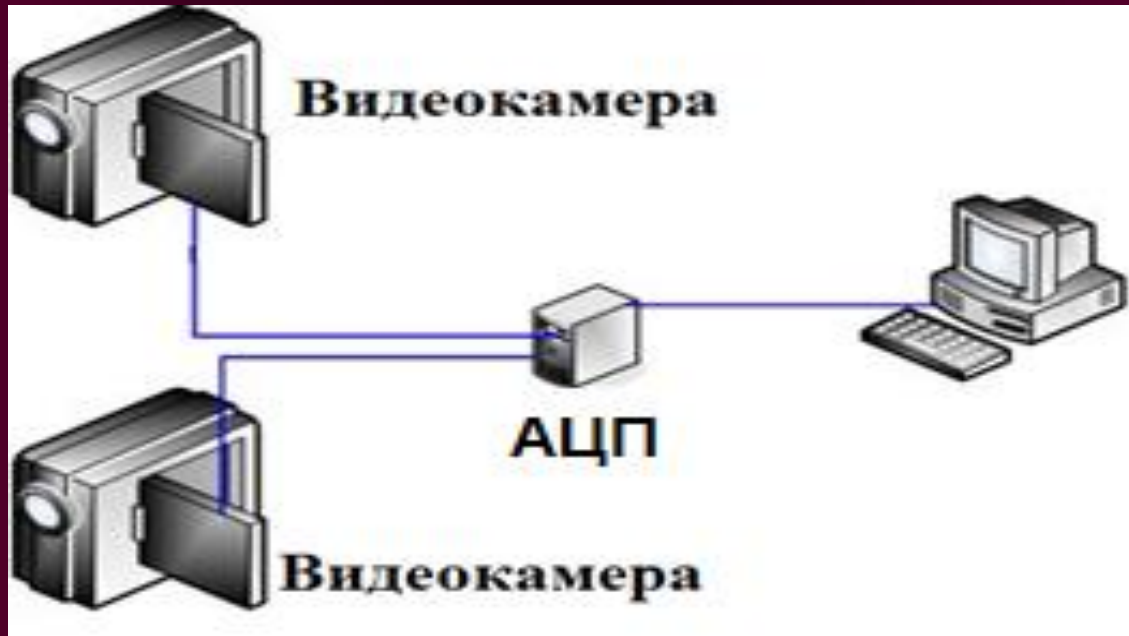
Элемент цифрового изображения — пиксель (*pixel* от *picture element*).

В простейшем случае $Im(i, j)$ скалярное целочисленное значение, пропорциональное значению функции яркости $f(x, y)$ в окрестности оптического поля размером $(x + \Delta x) \times (y + \Delta y)$:

$$Im(i, j) = f(x + \Delta x, y + \Delta y).$$

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Технический состав СТЗ:



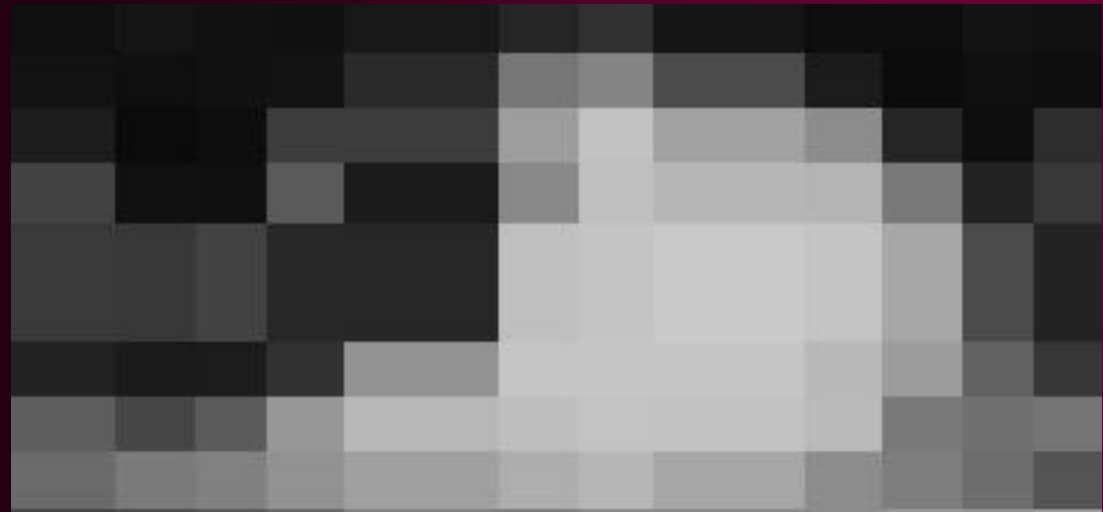
С помощью оптической системы телекамер 3-мерное поле электромагнитного излучения (отражённый от объектов окружающей среды свет) преобразуется в 2-мерную проекцию изображения на поле фотоматрицы, на выходе которой формируется одномерный электрический сигнал. Этот аналоговый сигнал затем с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) преобразуется в цифровую форму и передаётся в память ЭВМ. В результате получаем множество ячеек памяти, заполненных некоторыми числами. В результате взаимосвязь между первичными элементами изображения (*pixels*) полностью разрушается.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Растровое изображение

Растровое изображение – это воспроизведённое на экране монитора цифровое изображение; иными словами, это сетка пикселей цифрового изображения, восстановленного из памяти компьютера.

Что здесь
изображено?



Сложно догадаться, поскольку нет полного представления о составе изображения – не видны связи между первичными элементами изображения.

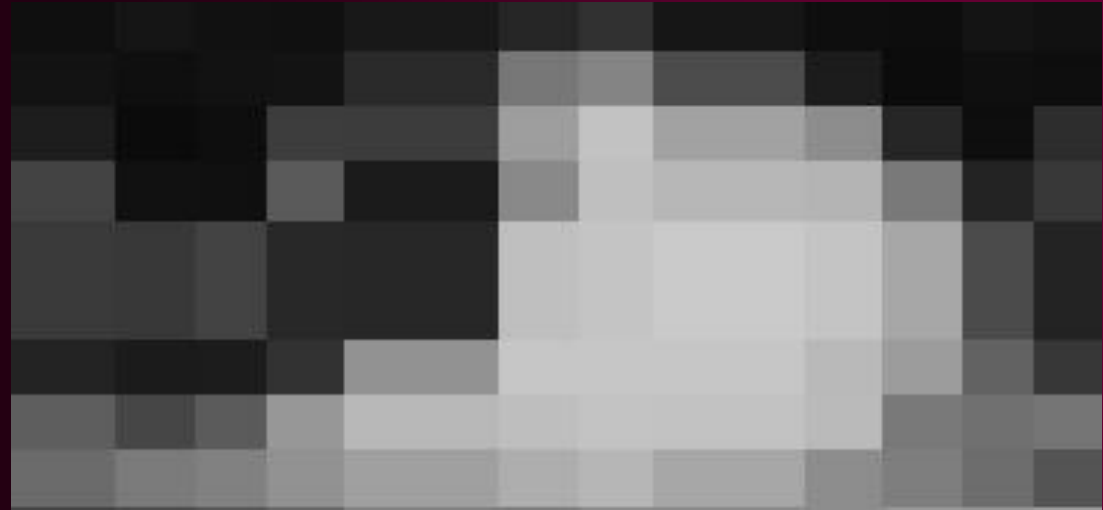
На следующем слайде приведено полное изображение объекта, и мозг человека сразу восстанавливает полную картину, т.е. восстанавливает взаимосвязи между участками изображения.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Растровое изображение

Растровое изображение – это воспроизведённое на экране монитора цифровое изображение; иными словами, это сетка пикселей.

Это глаз человека



Следовательно, кроме технической реализации СТЗ необходим алгоритм анализа цифрового изображения, способный (в данном случае) выделять глаза на лице человека, причём при различном уровне освещения, при разных масштабах лица, при различном повороте головы и т.д. Необходимо восстановление взаимосвязей между элементами изображения – пикселями. Это крайне сложная задача, для решения которой необходима определённая последовательность обработки изображений.

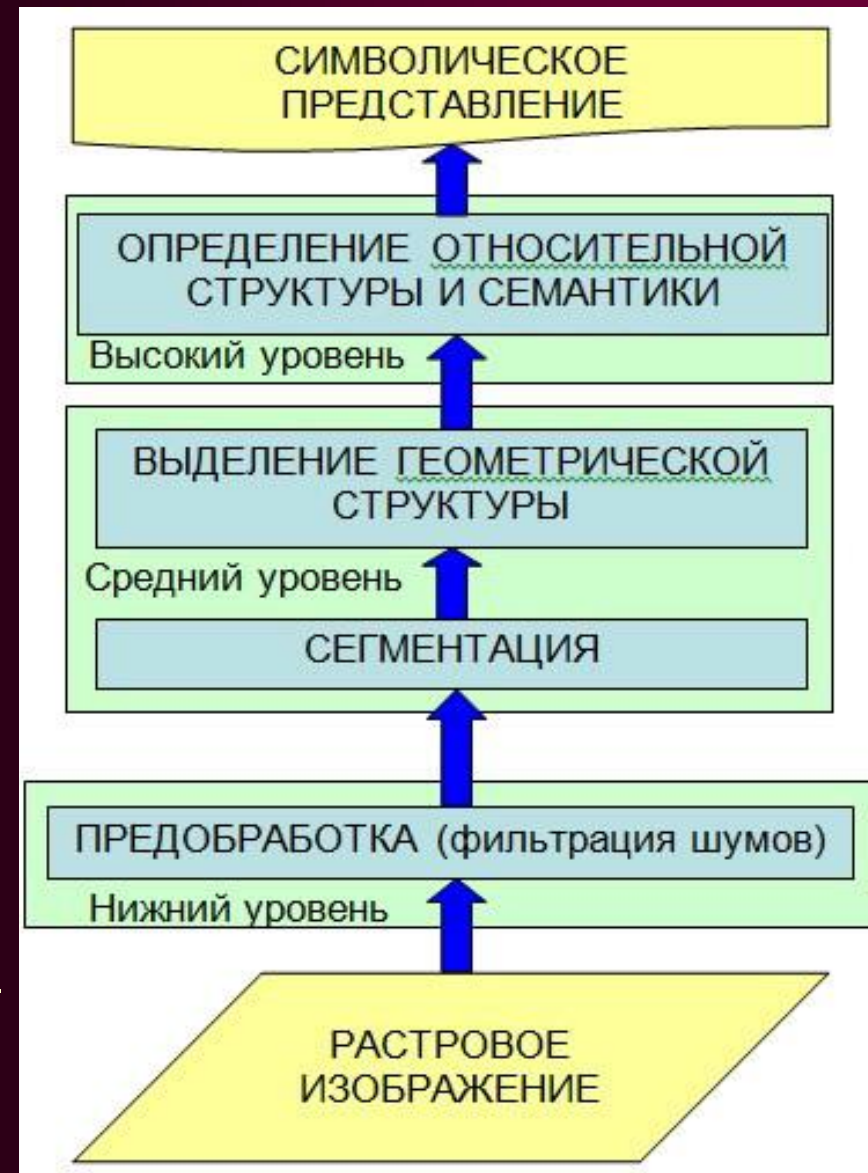
Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Последовательность обработки изображений

Парадигма Марра, 1979г. [Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987].

Обработка изображений опирается на несколько последовательных уровней восходящей информационной линии «иконическое представление объектов (растровое изображение, неструктурированная информация) → символическое представление (векторные и атрибутивные данные в структурированной форме, реляционные структуры)».

Все работы по СТЗ, так или иначе, укладываются в эту парадигму: на входе – растровое представление изображения, на выходе – символическое представление изображения.



Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Операции над цифровыми изображениями:

Алгебраические операции (арифметические и логические) — операции попиксельного сравнения изображений:

Сумма: $Im3(i, j) = Im1(i, j) + Im2(i, j)$ для $i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$.

Разность: $Im3(i, j) = Im1(i, j) - Im2(i, j)$ для $i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$.

Побитовое «или»: $Im3(i, j) = Im1(i, j) \text{ OR } Im2(i, j)$ для $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, M$.

При операции вычитания изображений результатом будет матрица как положительных, так и отрицательных чисел. Следовательно, такое «разностное изображение» нельзя считать изображением в классическом его понимании. Тем не менее, данная операция часто используется при обработке изображений.

Для индикации такого «разностного изображения» на экране монитора, как правило, прибегают к искусственному приёму: ко всем числам матрицы $\{Im\}$ прибавляют константу, равную половине диапазона выводимых значений. Тогда нулевые значения будут отображаться уровнем серого, положительные числа — уровнем белого, а отрицательные — уровнем чёрного. Результирующие значения (отрицательные и положительные), выходящие за разрядную сетку целочисленных значений — *max*, обычно заменяются на соответственно 0 (ноль) для отрицательных значений и *max* для положительных.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Операции над цифровыми изображениями:

Сдвиговые операции:

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i+1, j)$ — сдвиг на 1 пиксель по строке;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i-1, j)$ — сдвиг на 1 пиксель по строке;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i, j+1)$ — сдвиг на 1 пиксель по столбцу;

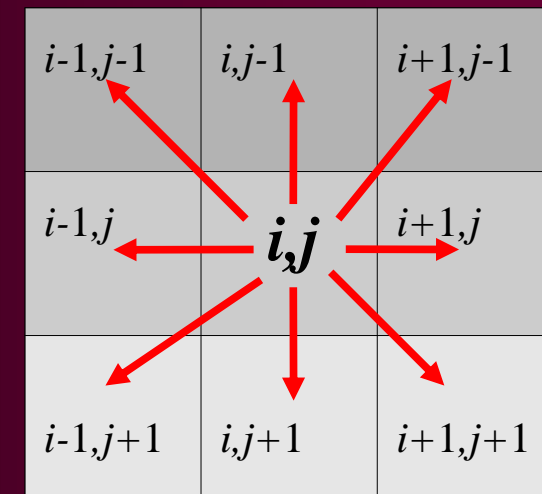
$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i, j-1)$ — сдвиг на 1 пиксель по столбцу;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i+1, j+1)$ — сдвиг на 1 пиксель по диагонали;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i-1, j+1)$ — сдвиг на 1 пиксель по диагонали;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i+1, j-1)$ — сдвиг на 1 пиксель по диагонали;

$\text{Im2}(i, j) = \text{Im1}(i-1, j-1)$ — сдвиг на 1 пиксель по диагонали.



Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Физическая природа изображений:

Оптическое изображение — зарегистрированное датчиком двумерное распределение интенсивности электромагнитного излучения.

Условное разбиение длин электромагнитных волн на диапазоны (двойственная теория света: энергия фотонов [квантов излучения] соответствует длине волны излучения):

Тип излучения	Длина волны λ (м)	Энергия фотона (эВ)
Гамма-излучение	10^{-12}	10^6
	10^{-11}	10^5
Рентгеновское излучение	10^{-10}	10^4
	10^{-9}	10^3
Ультрафиолетовое излучение	10^{-8}	10^2
	10^{-7}	10^1
Видимый свет	10^{-6}	1
Инфракрасное излучение	10^{-5}	10^{-1}
	10^{-4}	10^{-2}
Микроволновое излучение (СВЧ)	10^{-3}	10^{-3}
	10^{-2}	10^{-4}
	10^{-1}	10^{-5}
Радиоволны	1, 10^1 , 10^2 , 10^3	10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9}

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Физическая природа изображений:

Характеристики видимой части спектра и прилегающих к ним:

Тип излучения	Длина волны $\lambda(\text{м})$	Частота ($\times 10^{14}$ Гц)
Ближнее инфракрасное излучение	$1,0 \times 10^{-6}$	3,0
Красный свет (max)	$7,6 \times 10^{-7}$	3,9
Оранжевый свет	$6,1 \times 10^{-7}$	4,9
Жёлтый свет	$5,9 \times 10^{-7}$	5,1
Зелёный свет	$5,4 \times 10^{-7}$	5,6
Голубой свет	$4,6 \times 10^{-7}$	6,5
Синий свет (min)	$4,0 \times 10^{-7}$	7,5
Ближнее ультрафиолетовое излучение	$3,0 \times 10^{-7}$	10

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Использование изображений различной физической природы:

- Гамма-излучение : медицинская радиология, астрономические наблюдения.
- Рентгеновские изображения : медицина (рентгенограммы, томограммы), промышленный технический контроль (системы неразрушающего контроля), системы обеспечения безопасности (детекторы металлических и др. предметов).
- Ультрафиолетовые изображения : производственный контроль, микроскопия, лазерная техника, медицинские и астрономические наблюдения.
- Инфракрасный диапазон (ближний и дальний ИК) : системы промышленного и экологического мониторинга, выявление утечек тепла, военные применения (ПНВ, тепловизоры), биометрические системы (например, системы автоматического контроля доступа на основе *термограмм* человеческого лица).
- Изображения видимого спектра : системы технического зрения (СТЗ).
- Микроволновые изображения : радиолокация.
- Радиоволновые изображения : медицина и астрономия.
- Акустические изображения : геология, промышленность, медицина.
- Ультразвуковые изображения : промышленность и медицина (УЗ- диагностика).
- Двумерные поля дальностей : робототехника (лазерные локаторы), исследования морского дна (эхолоты, эхолокаторы), картография, дистанционное зондирование.
- Двумерные поля скоростей : выделение движущихся объектов.

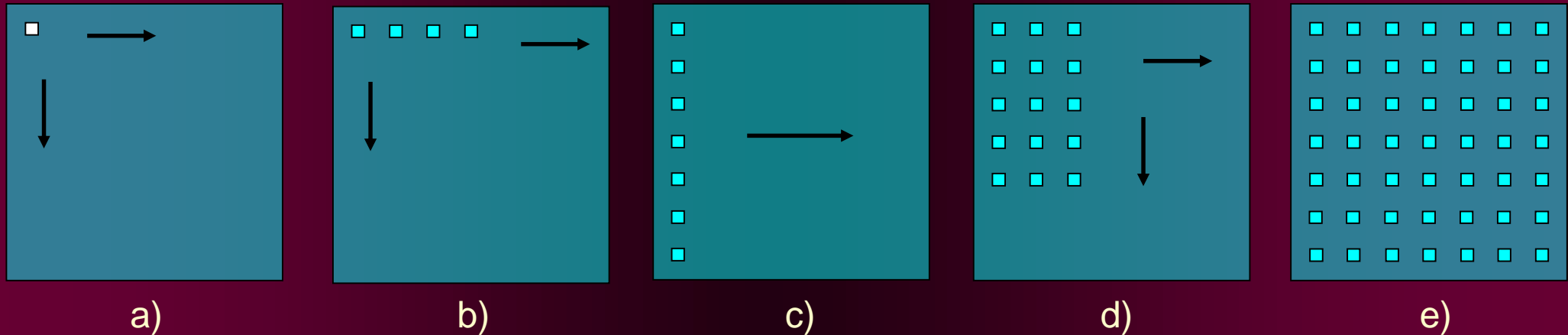
Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Деление изображений по типу данных:

- **Битовые** (булевские, логические), **байтовые** (со знаком и без знака), **целочисленные** (со знаком и без знака), **действительные** (с фиксированной и плавающей точкой), **цветные** (специальный тип данных) и **векторные**
- **Бинарные** (битовые, булевские, логические): **0** – «фон», **1** – «объект» или наоборот
- **Полутоновые** стандартного разрешения (байтовые без знака – 256 град.)
- **Результаты обработки полутоновых изображений** (байтовые со знаком, короткое целое со знаком, длинное целое со знаком стандартной и двойной длины, действительное значение с плавающей и фиксированной точкой)
- **Полутоновые повышенного разрешения** (целочисленные без знака: 11-16 разряд)
- **Меточные** (целочисленные без знака стандартной или двойной длины)
- **Двумерные частотные характеристики** (комплексные изображения, состоящие из действительной и мнимой части)
- **Цветные** (специальный тип данных, запись формата TcolorRef = {Red, Green, Blue} с разрешением по каждому из каналов 8 бит)
- **Многозональные и гиперспектральные** – векторные (пиксел представляет собой массив или список численных значений); используются для попиксельной классификации и сегментации изображений
- **Признаковые** – скалярные или векторные (пиксел – скаляр, массив или список действительных значений); представляют собой результат признакового анализа изображений, используются для попиксельной классификации и сегментации

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Способы получения двумерного поля изображения трёхмерного пространства:

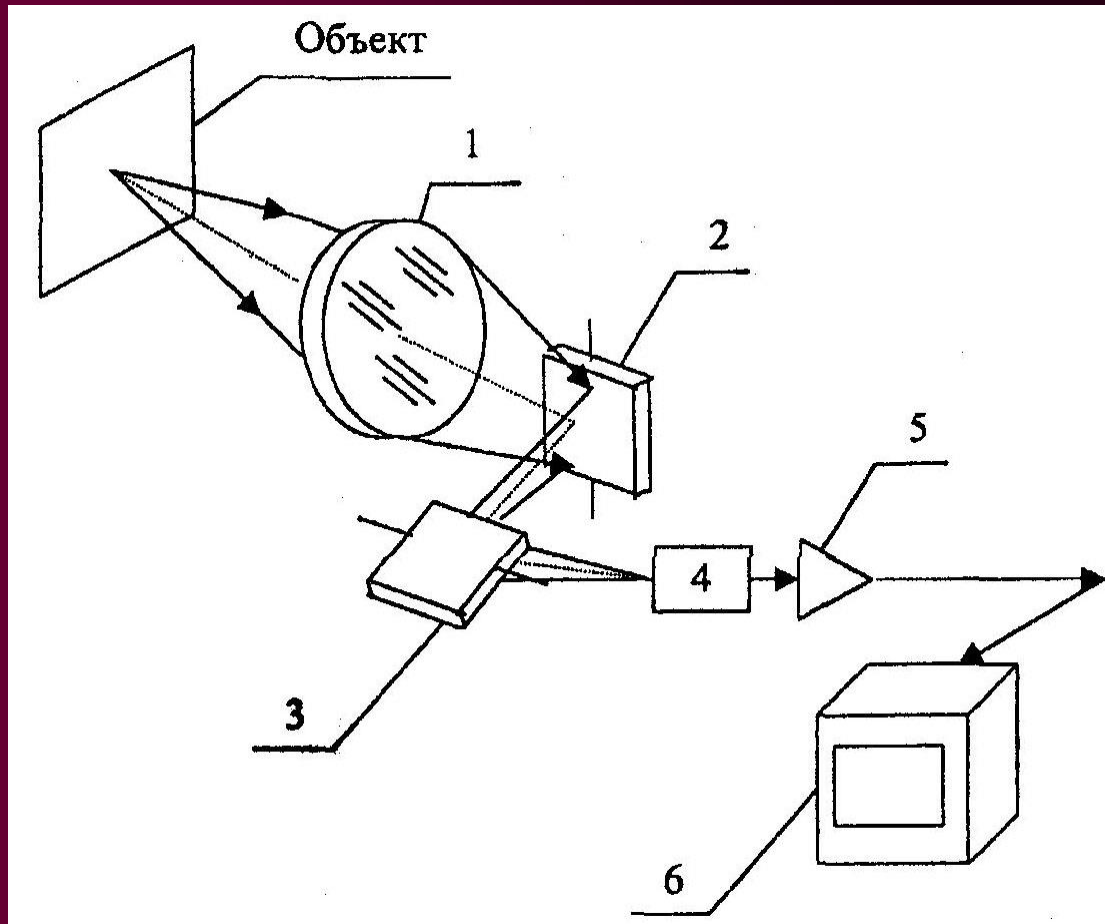


- a) механическое сканирование оптического поля одноэлементным фотодатчиком
- b) механическое сканирование оптического поля специальной линейкой фотодатчиков (метод временной задержки и накопления – ВЗН)
- c) механическое параллельное сканирование оптического поля обычной линейкой фотодатчиков
- d) последовательно-параллельное механическое сканирование оптического поля специальной матрицей фотодатчиков малого формата (ВЗН)
- e) устройство на основе «смотрящих» фотоматриц большого формата (без использования системы механического сканирования оптического поля)

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

Оптико-механическая система сканирования изображения одноэлементным фотодатчиком:

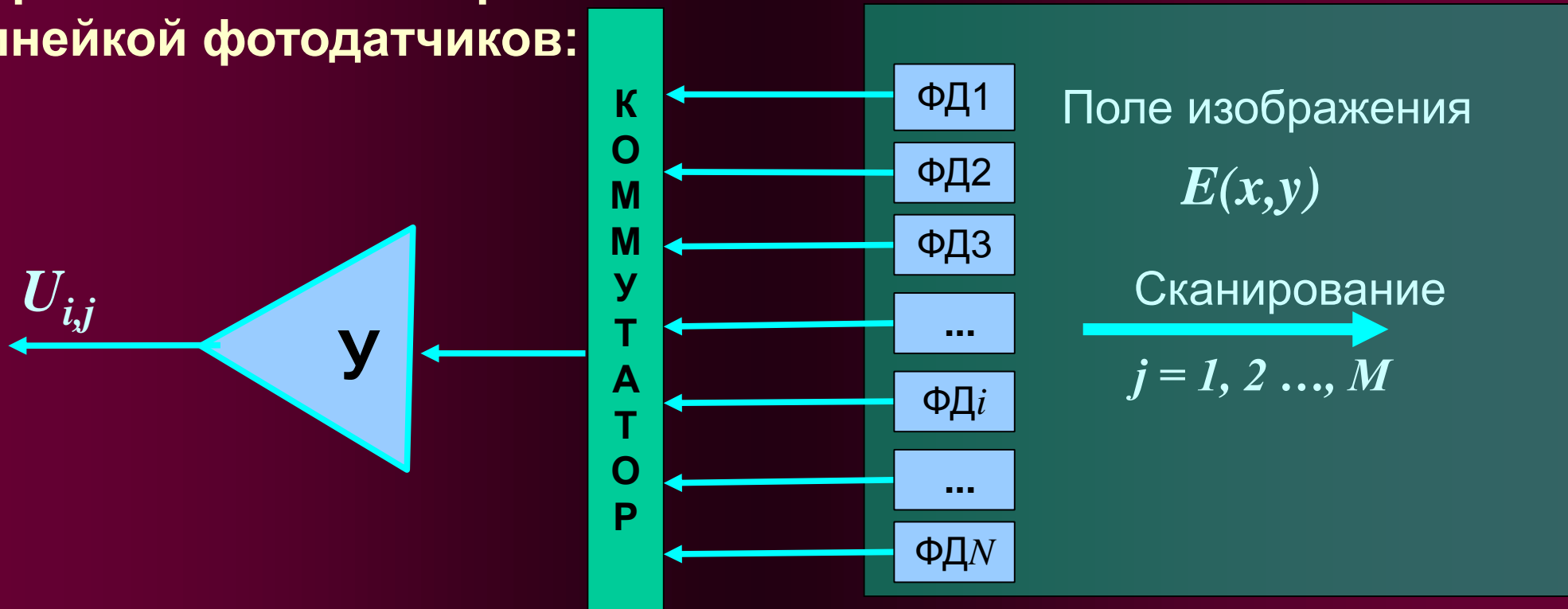


- 1 – оптическая система
- 2 – зеркало горизонтальной развёртки
- 3 – зеркало вертикальной развёртки
- 4 – фотодатчик (фотодиод)
- 5 – усилитель
- 6 – монитор

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

Параллельное сканирование
линейкой фотодатчиков:

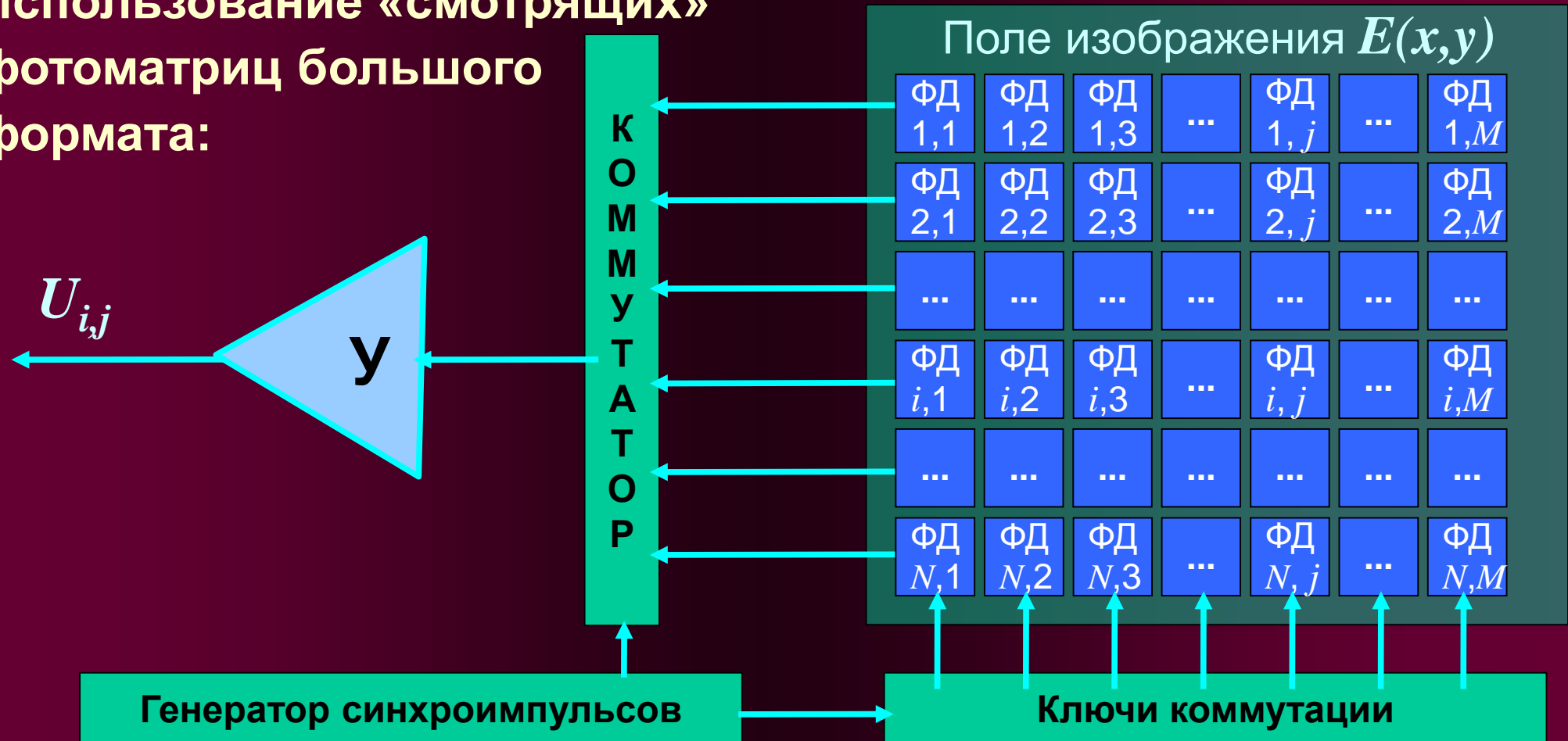


Отсчеты видеосигнала $U_{i,j}$ формируются в процессе последовательной коммутации фотодатчиков линейки (ФД i), которые, как единое целое, перемещаются в направлении, перпендикулярном расположению фотодатчиков на линейке (сканирование оптического поля изображения)

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

Использование «смотрящих» фотоматриц большого формата:



Отсчеты видеосигнала $U_{i,j}$ формируются в процессе последовательной коммутации фотодатчиков матрицы (ФД i).

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

Датчик видеосигнала — прибор с зарядовой связью (ПЗС или CCD — Charge Coupled Device) или КМОП (CMOS):

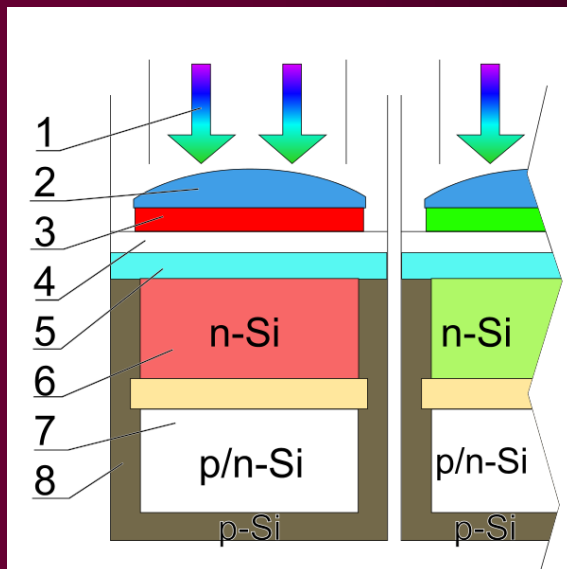


Микролинза субпикселя — назначение.

Светочувствительность, отношение сигнал/шум, физический размер пикселя и время экспозиции — взаимосвязь.

Разрешение — число линий на мм (мира Фуко).

Пропорции кадров 4:3 (PAL — 625 строк, 50 п-к/с и NTSC — 525 строк, 60 п-к/с).



1 — фотоны света, прошедшие через объектив;

2 — микролинза субпикселя;

3 — R-красный светофильтр (R-G-B);

4 — прозрачный электрод из поликристаллического кремния или сплава индия и оксида олова;

5 — оксид кремния;

6 — кремниевый канал *n*-типа: зона генерации носителей;

7 — зона потенциальной ямы (карман *n*-типа), где собираются электроны из зоны 6;

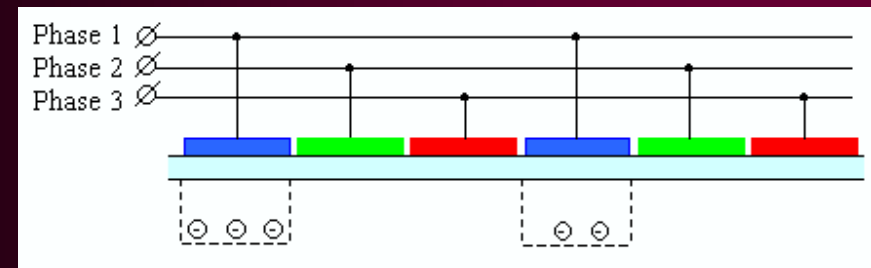
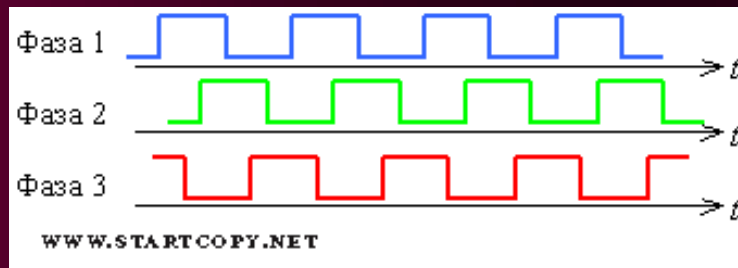
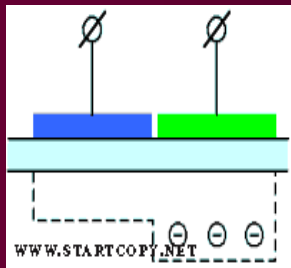
8 — кремниевая подложка *p*-типа.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

ПЗС — принцип действия (фотоприёмной линейки и фотоматрицы):

ПЗС — был изобретён в 1969г. Уиллардом Бойлом и Джорджем Смитом (IT&T Bell Labs): каждый светочувствительный элемент работает как конденсатор — электроны возникают под действием фотонов света, пришедшего от источника. В течение заданного интервала времени (выдержка) каждый элемент (конденсатор) постепенно заполняется электронами пропорционально количеству попавшего в него света. По окончании заданного времени электрические заряды, накопленные каждым элементом, по очереди передаются на "выход" прибора и измеряются. Время экспозиции управляется электронным затвором.



Свойства: смаз в сторону сдвигов, блюминговый эффект, коэффициент передачи.

Технические средства формирования и обработки видеосигналов

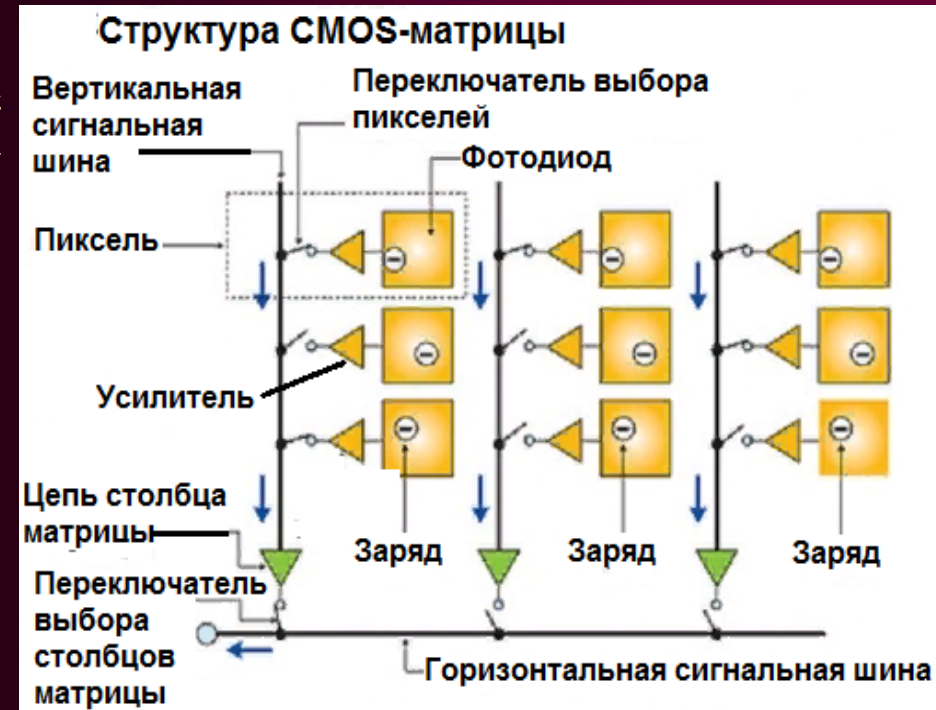
Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

КМОП – принцип действия (фотоприёмной линейки и фотоматрицы):

В КМОП-матрицах используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости. Каждому пикселю добавлен транзисторный усилитель для считывания, что даёт возможность преобразовывать заряд в напряжение прямо в пикселе. Это обеспечило произвольный доступ к фотодетекторам.

Преимущества:

- низкое энергопотребление в статическом состоянии;
- единство технологии с остальными цифровыми элементами аппаратуры;
- с помощью механизма произвольного доступа можно выполнять считывание выбранных групп пикселей;
- усилительные схемы могут быть размещены в любом месте, что позволяет повышать чувствительность в условиях плохого освещения;
- дешевизна производства в сравнении с ПЗС-матрицами.



Технические средства формирования и обработки видеосигналов

Устройства оцифровки и ввода изображений в ЭВМ

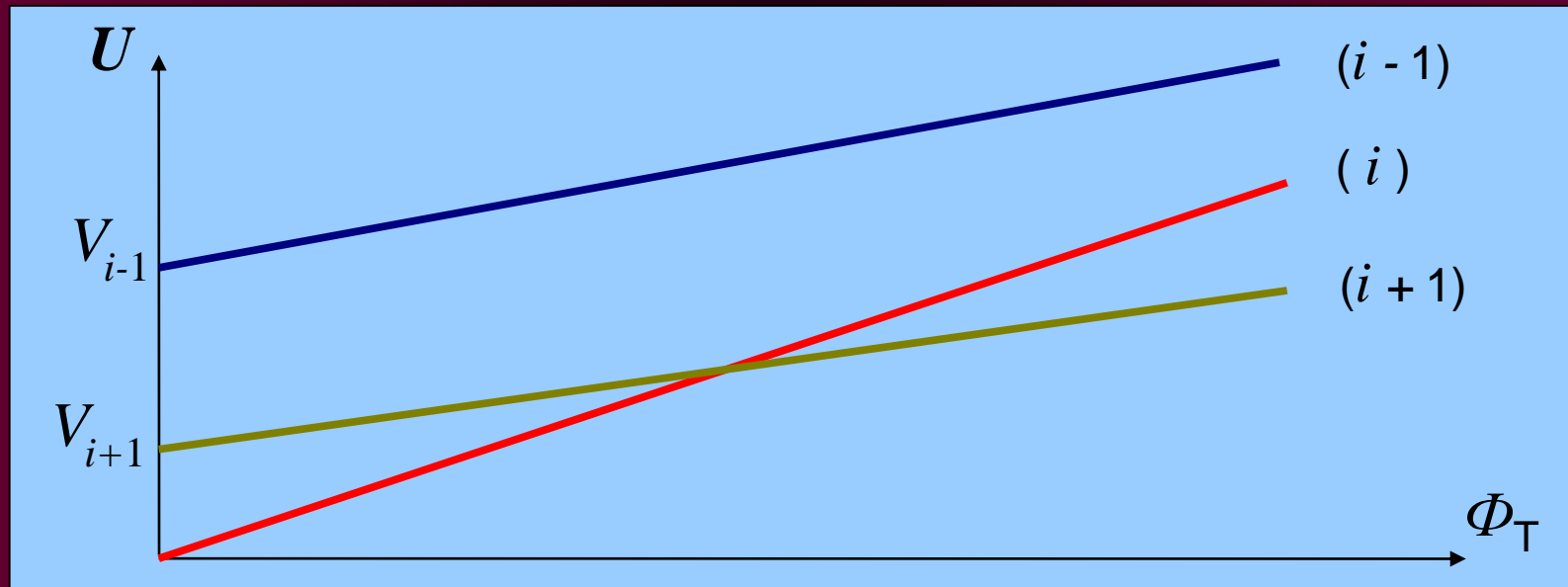
Функция преобразования излучения в электрический сигнал:

$$U = S_U \times \Phi_T + V,$$

где S_U — эффективная вольт-ваттная чувствительность фотодатчика ($0 < S_U \leq 1$);

V — эффективное темновое напряжение фотодатчика ($V \geq 0$);

Φ_T — поток излучения при температуре сцены T ($\Phi_T \geq 0$).



«Геометрический» (структурный) шум — несоответствие выходного сигнала U изображению Φ_T ; возникает вследствие разброса значений чувствительности $\{S_i\}$ и значений темновой составляющей $\{V_i\}$ фотодатчиков.

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 4а

Технические средства формирования и
обработки видеосигналов
(средства формирования видеосигналов)

ВОПРОСЫ?

Андреев Виктор Павлович, профессор, д.т.н.

andreevvipa@yandex.ru

Москва, 2022г.