

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 5b (Лекция 10)

**Последовательность процедур
обработки сигналов и изображений
в системах технического зрения
(градиентные методы сегментации)**

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Под границей (edge) между однородными областями обычно понимается такой участок изображения, в котором происходит резкое изменение признака однородности, например, яркости (контур).

В этом случае задача сегментации состоит в том, чтобы найти эти границы и аппроксимировать их некоторой гладкой функцией.

На вход системы сегментации поступают элементы изображения со своими значениями яркости. Последовательно анализируются фрагменты изображения и на выходе формируются множества элементов, принадлежащие не самим однородным областям, а лишь их границам, при этом этим элементам присваивается

метка принадлежности, которая может дополнительно содержать информацию об однородных областях, расположенных по разные стороны от границы.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Определения:

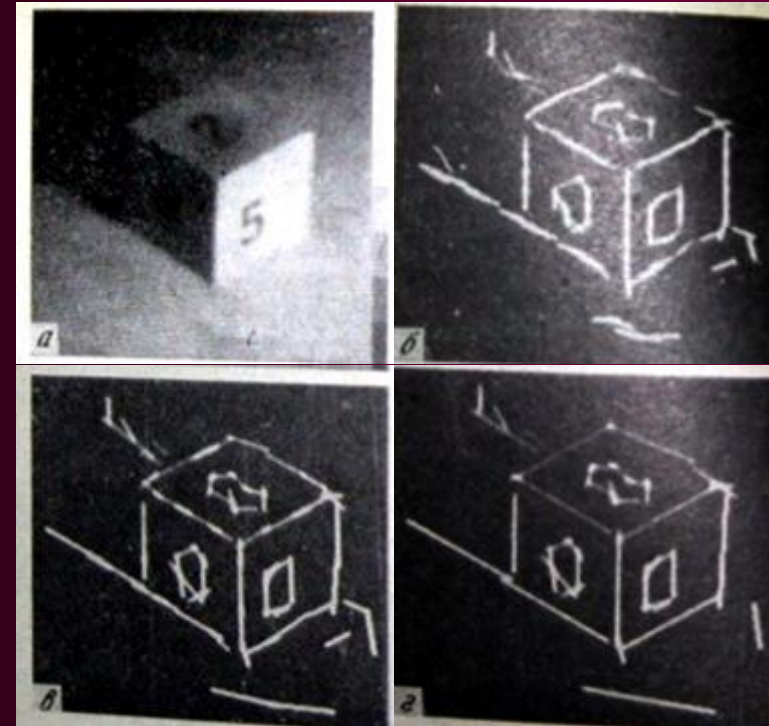
- Элементы изображения (*pixels*), в окрестности которых наблюдается резкое изменение признака однородности, называются **контурными элементами**.
- Совокупность контурных элементов, определяющих границу между двумя однородными областями, называется **контуром**.
- Множество отрезков линий, как прямолинейных, так и криволинейных, аппроксимирующих границы, называется **графическим (или контурным) препаратом**.
- Если кроме графического препарата получен ещё и список однородных областей, то такой набор данных будем называть **сегментным препаратом**.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Пример. Имеется большой класс объектов, форму которых можно описать границами между различными плоскими поверхностями. Кубик является представителем этого класса. На изображении его грани будут соответствовать однородным областям, а ребра – границам между ними. Выделив элементы, принадлежащие границам, и аппроксимировав их набором прямолинейных отрезков, получим графический препарат изображения параллелепипеда.



Видно, что **методы сегментации, основанные на выделении границ, включают в себя два процесса: обнаружение контуров и получение графического или сегментного препарата.**

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

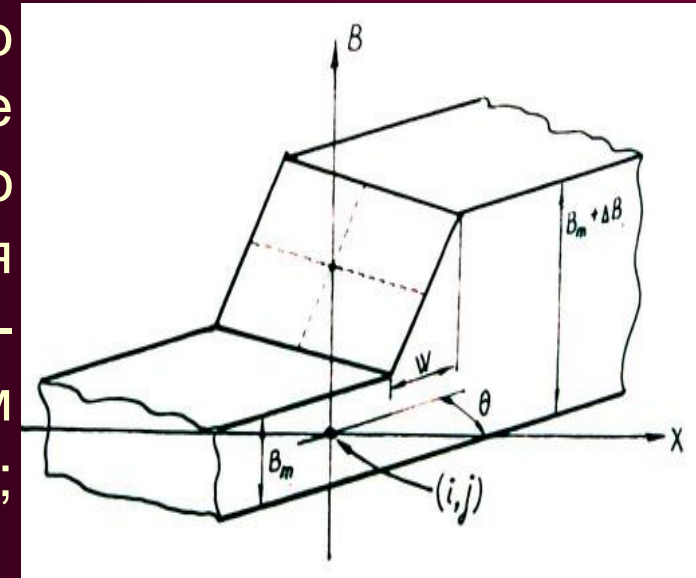
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Более или менее удачная модель контурного элемента изображения была приведена в работе Абду и Прэтта. Показана окрестность (i, j) -го элемента фрагмента изображения ψ , которая характеризуется: декартовыми координатами (i, j) -го элемента в центре фрагмента; минимальным уровнем яркости – B_m ; контрастом – ΔB ; ориентацией – Θ и протяжённостью наклона – W .

Контур является пространственной характеристикой изображения, поскольку его представление связано с понятием однородной области. Следовательно, его параметры должны определяться путём анализа некоторого фрагмента изображения. К сожалению, приведённая модель не учитывает размеры такого фрагмента. Отсутствие сколько-нибудь удовлетворительной количественной модели контурного элемента приводит к большому разнообразию способов выделения контуров и затрудняет их сравнение.

Модель контура



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

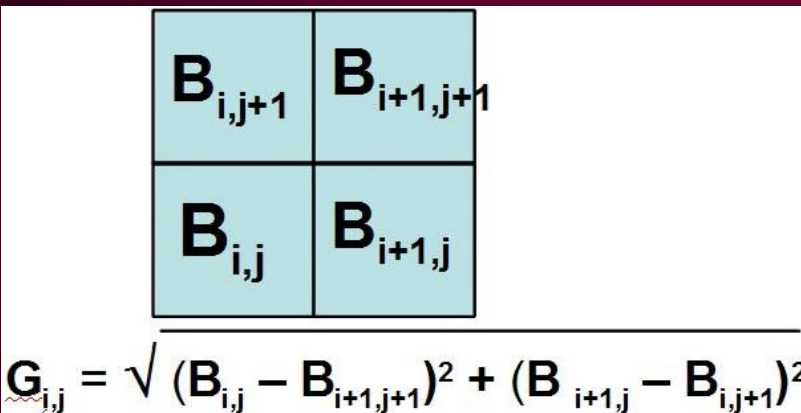
Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Решение задачи обнаружения контуров осложняется, в первую очередь, проблемой шумов. Реальное изображение обычно представляет собой смесь (в лучшем случае аддитивную) идеальной функции яркости $B^И_{i,j}$ и шумовой составляющей $N_{i,j}$

$$B_{i,j} = B^И_{i,j} + N_{i,j}$$

Цель состоит в том, чтобы по этой смеси оценить параметры контурного элемента идеальной функции.

Наиболее простой детектор контуров был предложен **Робертсом**. В каждом элементе изображения вычисляется функция $G_{i,j}$. Фильтрация шумов осуществляется путём сравнения величины градиента $G_{i,j}$ с порогом.



$B_{i,j+1}$	$B_{i+1,j+1}$
$B_{i,j}$	$B_{i+1,j}$

$$G_{i,j} = \sqrt{(B_{i,j} - B_{i+1,j+1})^2 + (B_{i+1,j} - B_{i,j+1})^2}$$

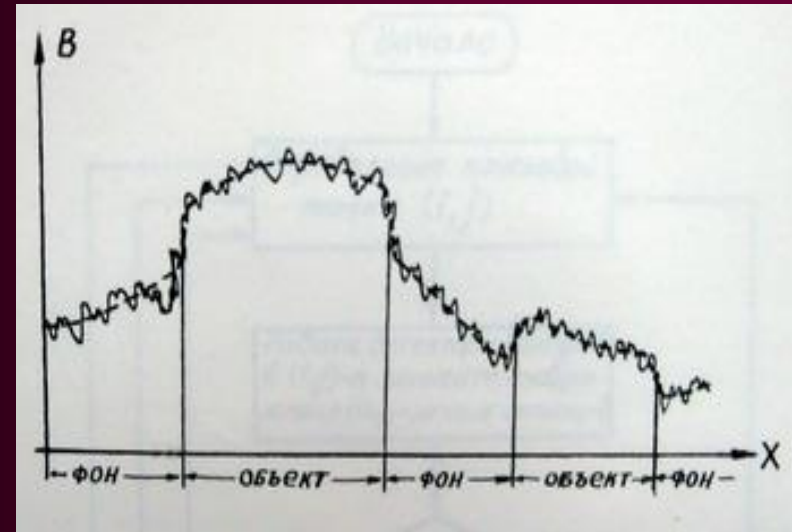
Детектор **Робертса** (чаще его называют оператором Робертса) не нашёл широкого применения из-за его низкой помехоустойчивости. Тем не менее, он положил начало большому классу детекторов контуров.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Изображения, содержащие лишь те элементы (пиксели), в которых «отклик» детектора превышает некоторый порог, называют градиентными, а сами детекторы – дифференциальными операторами. Борьба с шумами в таких операторах обычно осуществляется путём комбинации **усреднения**, взятия разностей и порогового ограничения.



Как пример: в случае одномерного аналогового сигнала обнаружение скачка функции эквивалентно вычислению оценки производной $G(x)$ по формуле:

$$G(x) = \frac{1}{V_2} \int_{x_2}^{x_3} B(x) dx - \frac{1}{V_1} \int_{x_1}^{x_2} B(x) dx \quad B'(x) = \begin{cases} 1, & \text{для } G(x) > T \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Дифференциальные операторы

Примером **дифференциального оператора** может служить оператор **Превитта** (или оператор **Прюитт**). Он был создан доктором Джудит Прюитт (*Judith Prewitt*) для выделения контуров на медицинских изображениях. Оператор представляет собой две маски размером 3x3:

Оператор Превитта					
$H_x =$	-1	0	+1	$H_y =$	-1
	-1	0	+1		-1
	-1	0	+1		-1
					0
					0
					0
					+1
					+1
					+1

Для каждого пикселя со значением функции яркости $B_{i,j}$ на фрагменте Ψ 3x3 вычисляется пространственная свёртка вектора $B_{i,j}$ с этими масками:

$$G^x_{i,j} = B_{i,j} * H_X ; G^y_{i,j} = B_{i,j} * H_Y :$$

Выделение контуров выполняется аналогично оператору Робертса – сравнением градиента $G_{i,j}$ с порогом T :

$$G_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{для } \sqrt{(G^x_{i,j})^2 + (G^y_{i,j})^2} \geq T \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}$$

Можно найти ориентацию контурного элемента: $\Theta_{i,j} = \arctg (G^x_{i,j} / G^y_{i,j})$

Оператор Превитта обладает большей помехоустойчивостью по сравнению с оператором Робертса за счёт усреднения значений элементов изображения слева и справа для левой маски и сверху и снизу – для правой. Однако нулевые значения по центру масок снижают эффективность оператора.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Дифференциальные операторы

Примером **дифференциального оператора** может также служить оператор **Собеля**. Оператор также представляет собой две маски размером 3x3, но весовые коэффициенты масок несколько отличаются: их значения по вертикали и горизонтали увеличены в 2 раза для учёта разного расстояния между соседними пикселями фотоматрицы (согласно теореме Пифагора) по горизонтали и по диагонали. Это позволяет слегка улучшить результат работы оператора.

Оператор Собеля

$H_x =$

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

$H_y =$

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Обычно в масках используются целочисленные значения коэффициентов с целью ускорения обработки изображений в микропроцессоре.

К дифференциальным операторам относится оператор **Лапласа** (разностный лапласиан – вторая производная):

$$L_{i,j} = B_{i,j} - \frac{1}{8} \sum_{\notin i,j} B_{i,j}$$

Оператор обладает низкой помехоустойчивостью из-за влияния шума на первый член уравнения $B_{i,j}$.

Маска H_L :				-1	-1	-1
				-1	+8	-1
				-1	-1	-1

Выделение контуров с помощью Лапласиана выполняется путём вычисления свёртки с маской H_L вектора яркости $B_{i,j}$ на фрагменте 3x3

для центрального пикселя: $G_{i,j} = B_{i,j} * H_L$ и сравнения $G_{i,j}$ с заданным порогом.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Дифференциальные операторы

Разновидностью **дифференциальных** операторов являются **масочные операторы**, или **операторы сопоставления с эталонами – масками**.

Эталоны представляют собой маски, осуществляющие дискретную аппроксимацию участков изображения идеальными ступеньками яркости ($W=0$) различной ориентации Θ . Обнаружение контуров и определение их параметров выполняется путём нахождения маски, давшей максимальный отклик, который представляет собой результат скалярного произведения вектора маски на вектор параметров E_Ψ фрагмента изображения Ψ :

$$G_g = \max_k |(E_\Psi, M_k)|, \text{ для } k=1, 2, \dots, K \text{ (где } M_k \text{ – матрица из } K \text{ векторов-масок)}.$$

В качестве параметров контура принимаются параметры g -й маски.

Чем больше размер такого оператора, тем выше помехоустойчивость и тем точнее можно определить ориентацию контура. Однако при этом снижается разрешающая способность, т.е. увеличивается вероятность того, что в область действия оператора попадут несколько контуров, что может привести к неверному решению.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

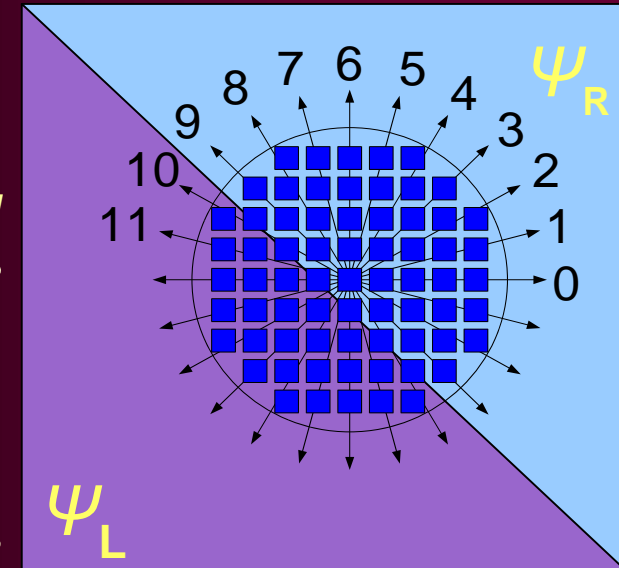
Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Масочные операторы

Оператор анализирует значения отсчётов функции яркости E на небольшом фрагменте изображения Ψ , который можно представить в виде вектора отсчётов \mathbf{E}_ψ в N -мерном пространстве, где N — число элементов дискретного раstra на фрагменте.

Как и в случае операторов Превитта и Собеля, выделение контуров осуществляется путём вычисления скалярного произведения (свёртки) вектора отсчётов функции яркости \mathbf{E}_ψ на фрагменте Ψ на вектор весовых коэффициентов соответствующей маски \mathbf{M}_k с последующим сравнением с заданным порогом. Количество масок K определяется необходимой точностью аппроксимации контура, а получаемый *контурный препарат* будет содержать лишь номера масок и координаты центра фрагмента.

Для получения *сегментного препарата* необходимо вычислить средние значения отсчётов функции яркости областей слева (Ψ_L) и справа (Ψ_R).



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Масочные операторы

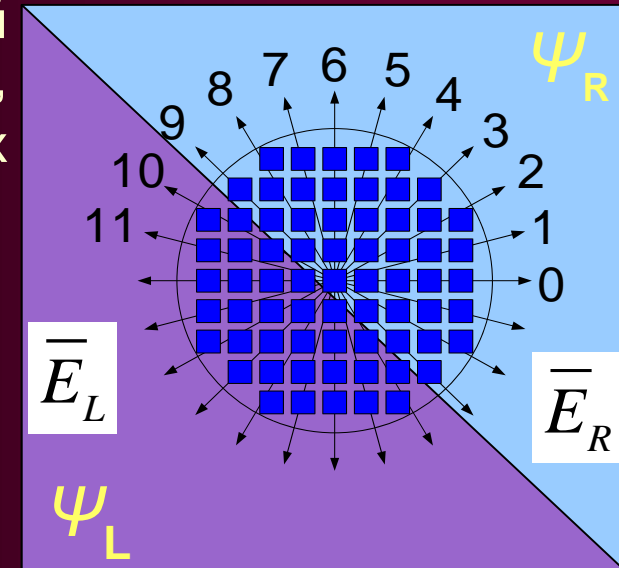
Маски представляют собой некоторый конечный набор моделей идеального ступенчатого контура, выраженных в виде матрицы $\{ \mathbf{M}_k \}$ из K нормированных векторов в том же базисе, что и \mathbf{E}_ψ (размерностью N).

Тогда алгоритм работы детектора контуров будет заключаться в нахождении $G_g = \max_k |(\mathbf{E}_\psi, \mathbf{M}_k)|$ для $k = 1, 2, \dots, K$. Если $G_g < T$, то считается, что данный фрагмент содержит одну однородную область, значение E которой соответствует среднему значению по фрагменту.

В противном случае – фрагмент содержит две однородные области с границей, параметры которой определяются маской, давшей максимальный отклик. Дополнительно вычисляются усреднённые значения \bar{E}_L и \bar{E}_R соответственно слева и справа от контурного сегмента.

Скалярное произведение вектора отсчётов яркостей фрагмента и вектора весовых коэффициентов некоторого k -го вектора-модели можно представить следующим выражением (индекс k опущен):

$$G(\mathbf{E}_\psi, \mathbf{M}) = \sum_{i \in \Psi_L} a_i \times E_i + \sum_{i \in \Psi_R} a_i \times E_i$$



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Масочные операторы

Поскольку модель контура представляет собой идеальную ступеньку функции яркости ($W=0$), весовые коэффициенты для области слева от контура будут иметь одинаковое значение a_L , для всех m_L а для области справа — $-a_R$ для всех m_R .

Тогда
градиент $G = a_L \times \sum_{i=1}^{m_L} E_i + a_R \times \sum_{i=m_L+1}^{m_L+m_R} E_i$ где m_L и m_R — количество элементов k -го вектора-модели, принадлежащих соответственно левой Ψ_L и правой Ψ_R областям фрагмента Ψ ($m_L + m_R = N$).

В случае, когда фрагмент изображения представляет собой идеальную ровную площадку ($E_i^{(L)} = E_i^{(R)} = E$ для $i \in \Psi$), отклик $G = 0$ (нет контура). Тогда для данного случая предыдущее выражение путём несложных преобразований можно привести к виду:

$E \times (m_L \times a_L + m_R \times a_R) = 0$, откуда при $E \neq 0$ получаем 2 условия для вычисления коэффициентов k -го вектора-модели:

Первое условие: $m_L \times a_L + m_R \times a_R = 0$

Второе условие вытекает из требования ортонормированности базиса: $m_L \times a_L^2 + m_R \times a_R^2 = H$

где H — константа, характеризующая модуль вектора-модели.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Масочные операторы

Из этих условий получаем формулы для вычисления значений коэффициентов $\{a_i\}$ соответственно для левой и правой области k -й модели контура:

$$a_i^{\langle L \rangle} = a_L = \frac{H}{\sqrt{N}} \times \sqrt{\frac{m_R}{m_L}}$$

$$a_i^{\langle R \rangle} = a_R = \frac{H}{\sqrt{N}} \times \sqrt{\frac{m_L}{m_R}}$$

Подставив эти значения в исходную формулу для градиента G , получим:

$$r \times \sum_{i \in \Psi_L} E_i - r^{-1} \times \sum_{i \in \Psi_R} E_i = \frac{\sqrt{N}}{H} \times G, \text{ где } r = \sqrt{\frac{m_R}{m_L}}$$

Определим среднее значение функции яркости по фрагменту Ψ как

$$\bar{E} = \frac{1}{N} \times \left(\sum_{i \in \Psi_L} E_i + \sum_{i \in \Psi_R} E_i \right) \quad \text{Тогда получим}$$

формулы для вычисления усреднённых значений яркости слева и справа от контура:

$$\bar{E}_L = \frac{1}{m_L} \times \sum_{i \in \Psi_L} E_i = \bar{E} + \frac{r}{H \times \sqrt{N}} \times G$$

$$\bar{E}_R = \frac{1}{m_R} \times \sum_{i \in \Psi_R} E_i = \bar{E} - \frac{r^{-1}}{H \times \sqrt{N}} \times G$$

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

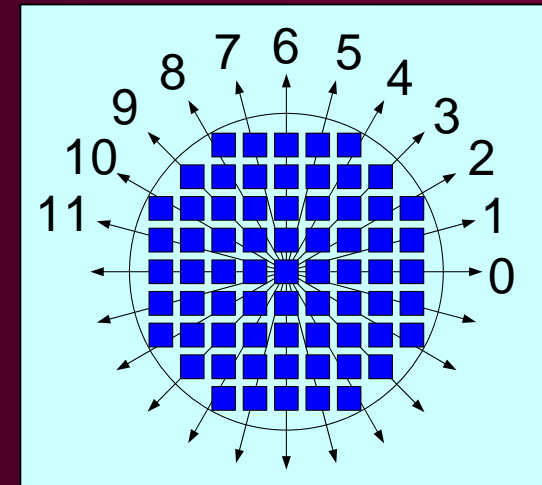
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Разложение по базисным функциям

Масочные операторы обладают высокой помехоустойчивостью, но, чем выше требования к точности определения параметров контура, тем большее число эталонов требуется и тем больше вычислительные затраты на их перебор. Этого недостатка лишены операторы, выполняющие *аппроксимацию* контурного участка путём его *разложения по конечному набору базисных функций*. Число функций в таком случае может быть гораздо меньше, чем число всевозможных конфигураций контура в окрестности исследуемого элемента.

Оператор Хюккеля. Анализируется фрагмент изображения размером 9x9 элементов дискретного раstra, причём учитываются значения лишь тех элементов, которые попали в окно приблизительно круглой формы.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Разложение по базисным функциям

Оператор Хюккеля

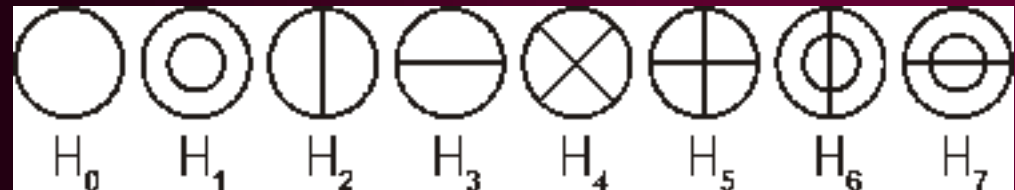
На первом этапе вычислений выполняется подсчёт восьми промежуточных чисел

A_i по формуле: $A_i = \sum_{k \in R} H_k^i B_k$ для $i = 0, 1, \dots, 7$,

где B_k – значения яркости в k -м элементе фрагмента;

H_k^i – весовые коэффициенты i -й маски; 8 масок определяют 8 базисных функций:

Диаграммы нулевых точек
базисных функций:



На втором этапе производится нелинейное преобразование чисел A_i в набор конечных параметров контура: средние значения яркости по разные стороны от контура и коэффициенты уравнения прямой, аппроксимирующей контурные элементы.

Оператор Хюккеля обладает высокой помехоустойчивостью. Однако, алгоритмическая сложность, связанная с подбором базисных функций по среднеквадратическому критерию, не позволяет простыми способами реализовать этот оператор в виде специализированного устройства.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

К настоящему времени разработано большое число детекторов контуров. Они, в основном, делятся на 4 группы:

- 1) **дифференциальные;**
- 2) **масочные;**
- 3) операторы, использующие **разложение по базисным функциям;**
- 4) операторы, использующие **априорные знания о структуре объектов.**

Выбор оператора определяется компромиссом между помехоустойчивостью и скоростью обработки, поскольку повышенные требования к помехоустойчивости приводят, как правило, к снижению разрешающей способности системы и усложнению оператора, а это влечёт за собой снижение скорости обработки.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Как обеспечить режим realtime?

Вспомним как формируется кадр TV-изображения. Он формируется последовательным опросом элементов фотоматрицы – строка за строкой, т.е. мы имеем строго последовательную систему. Это позволяет создать скоростной специализированный процессор, который быстро анализирует фрагмент изображения и на выходе выдаёт параметры этого фрагмента: параметры контурного элемента или параметры однородной области. Процессор выполняет один и тот же набор операций для всех элементов изображения, последовательно поступающих на его вход, и со скоростью телевизионной развёртки формирует соответствующий контурный препарат. Задержка с результатом составляет один кадр телевизионной развёртки. Такие специализированные процессоры реализуют так называемую **«конвейерную» обработку видеосигнала.**

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Связывание контурных элементов для получения графического препарата

Связывание контурных элементов основано на использовании такого свойства контура, как протяжённость. Подходы различаются способом связывания.

Первый подход состоит в том, что для связывания используется *предварительно полученный градиентный препарат*.

Задача заключается в определении набора отрезков, хорошо согласующихся с контурами исходного изображения. Задача осложняется воздействием шумов и искажений изображения, которое проявляется в виде образования разрывов в цепочке элементов, принадлежащих одному контуру, либо в виде ложных контурных элементов. Поэтому процесс получения графического препарата в данном случае требует логического анализа с целью удаления фрагментов не замыкающихся контуров, утончения, замыкания разрывов и т.п. Конечный этап – аппроксимация оставшихся контурных элементов отрезками линий.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

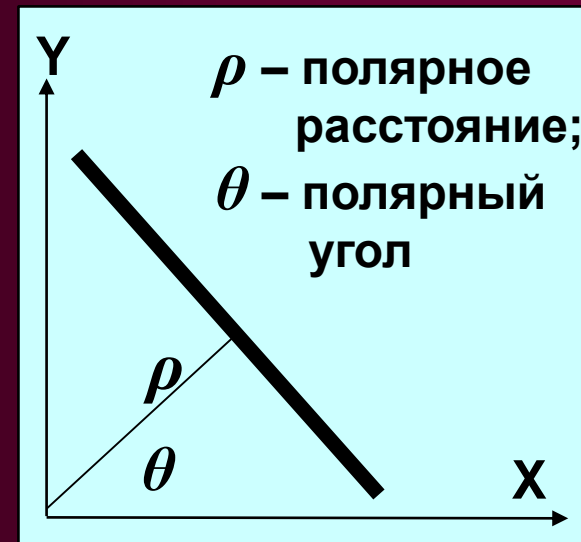
Построение графического препарата

Пример анализа трёхмерных сцен, состоящих из многогранников.

Рёбра тел соответствуют прямолинейным отрезкам линий графического препарата. Существует несколько вариантов аппроксимации набора контурных элементов отрезком прямой, основанных на методе наименьших квадратов.

Способ аппроксимации, основанный на преобразовании **Хока**. Преобразование выполняется посредством перевода каждого контурного элемента (x_i, y_i) в некоторую кривую в новом пространстве параметров. Например, при выделении отрезков прямых каждый элемент (x_i, y_i) преобразуется в кривую, уравнение которой может быть получено из нормального уравнения прямой:

$$x \cdot \cos\theta + y \cdot \sin\theta - \rho = 0.$$



Коллинеарные элементы порождают семейство кривых, пересекающихся в одной точке, координаты (ρ_0, θ_0) которой будут соответствовать параметрам аппроксимирующей прямой. Однако из-за шумов элементы будут коллинеарные лишь с некоторым приближением, что приведёт к образованию «области пересечения» кривых в пространстве (ρ, θ) .

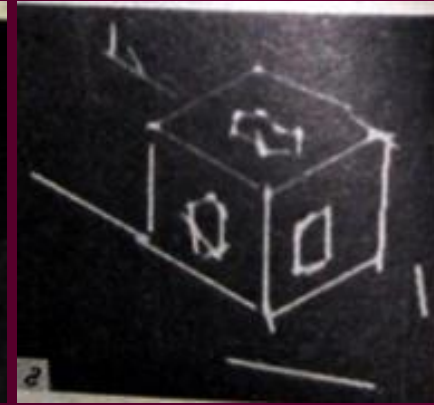
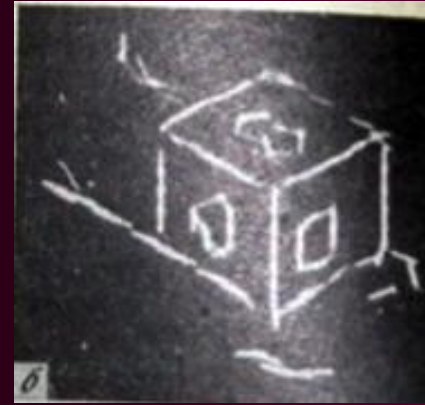
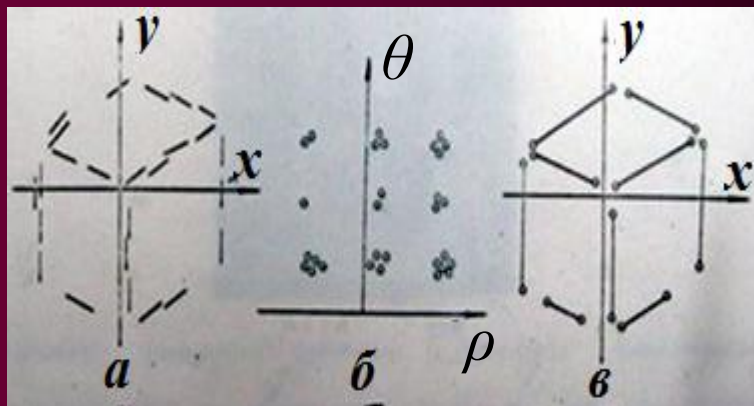
Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение графического препарата

Другой способ подбора прямой линии основан на **методах кластерного анализа**. Контурный элемент изображения (x_i, y_i) , для которого известно направление границы, можно представить как фрагмент прямой с параметрами (ρ_0, θ_0) . Эта прямая будет соответствовать точке в пространстве параметров. В таком случае почти коллинеарные контурные элементы будут образовывать компактные множества точек – кластеры. Определив центры кластеров, можно найти параметры аппроксимирующих линий.



Возможность получения неполного графического препарата с последующим уточнением деталей уже в процессе самого распознавания позволяет сократить время сегментации изображений.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Связывание контурных элементов для получения графического препарата

Связывание контурных элементов основано на использовании такого свойства контура, как протяжённость. Подходы различаются способом связывания.

Второй подход состоит в том, что построение графического препарата выполняется в процессе прослеживания границы между однородными областями. Для организации этого процесса используют априорные знания относительно структурных свойств изображений. Этот подход позволяет получить существенное сокращение времени обработки, поскольку контурные элементы составляют незначительную долю в общем количестве элементов изображения.

Оба подхода включают в себя процесс **аппроксимации** контурных элементов **линией**.

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

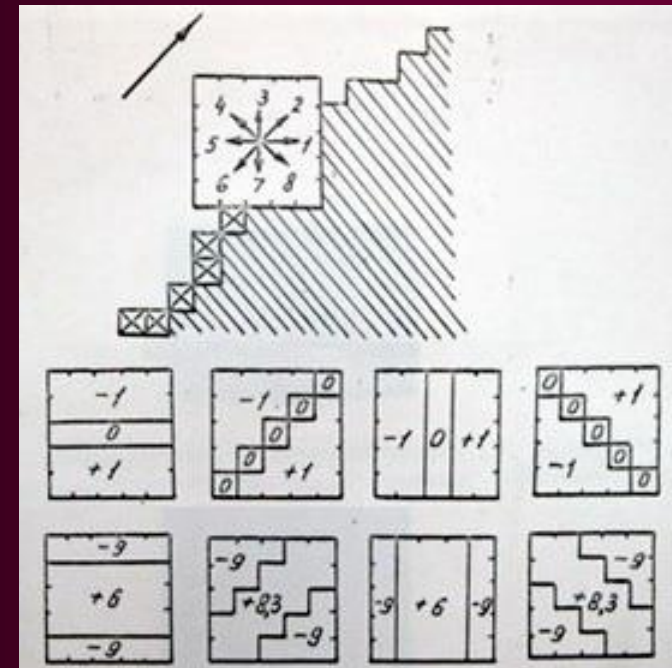
Связывание контурных элементов для получения графического препарата

Прослеживание границы между однородными областями.

Процесс в 3 этапа: сканирование, поиск, прослеживание (метод предложен Г.Г.Вайнштейном в 1975г.). Вначале изображение сканируется детектором контуров до тех пор, пока детектор не «почувствует» контур. Затем осуществляется поиск контурного элемента, например, в направлении возрастания градиента.

Найденный контур отслеживается до тех пор, пока он не потеряется. Отслеживание осуществляется путём перемещения детектора перпендикулярно направлению максимального градиента.

В случае потери контура выполняется переход к поиску и в зависимости от его результатов продолжается отслеживание, либо происходит возврат к систематическому сканированию. Ранее обследованные участки изображения при последующем сканировании или отслеживании пропускаются.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

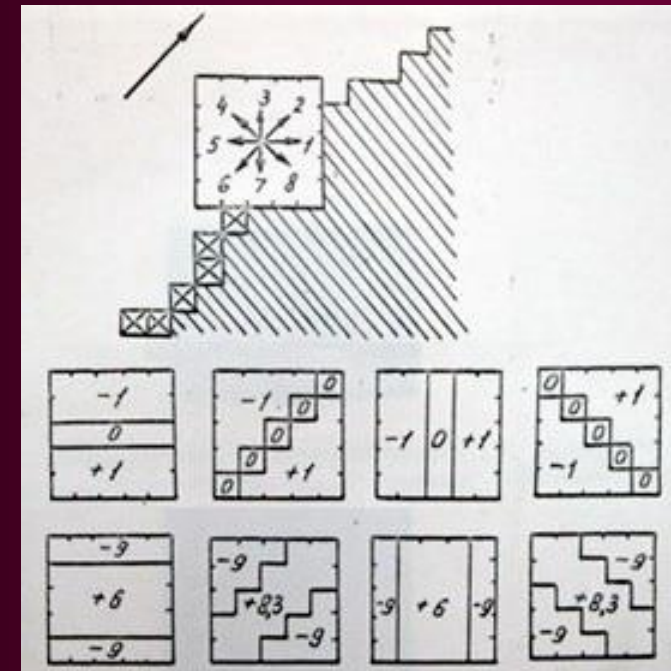
Связывание контурных элементов для получения графического препарата

Прослеживание границы между однородными областями.

Действие оператора в данном случае можно сравнить с обходом горной гряды по её хребту. При этом сразу получается тонкая цепочка контурных элементов, которую остаётся лишь аппроксимировать линией — связывание контурных элементов. Но аппроксимировать следует лишь те элементы, которые принадлежат одному контуру. Признак принадлежности определяется в процессе отслеживания и аппроксимации.

Например, элементы можно считать принадлежащими одному контуру, если процесс их отслеживания не прерывался, либо если ошибка их аппроксимации не превышает заданного порога.

В модель контура **вводится понятие протяжённости**. Подход позволяет осуществлять целенаправленный поиск контуров, что существенно повышает помехоустойчивость метода.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

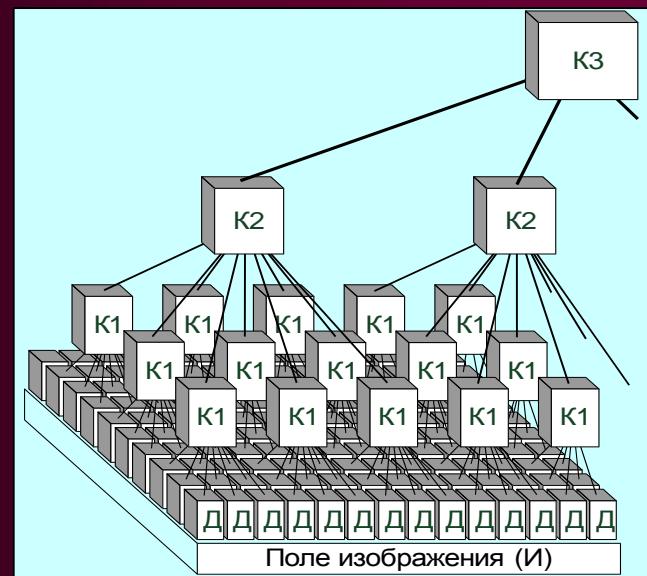
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

Процесс сегментации из-за большого объёма входных данных наиболее трудоёмок и, как правило, занимает значительную часть всего времени анализа изображений. Это часто делает невозможным применение рассмотренных методов в СТЗ для мобильных роботов. Выход – создание специализированных скоростных устройств сегментации, реализующих простые методы, и создание устройств, выполняющих параллельную обработку изображений.

Рассмотрим иерархический принцип организации обработки изображения с целью получения сегментного препарата (предложен В.П.Андреевым в 1979г.). Он объединяет в себе методы, основанные на делении и слиянии областей, и методы выделения границ. На рис. приведена структура **пирамидального** спецпроцессора, на выходе которого формируются списки контурных линий и однородных областей с указанием их принадлежности друг другу и их взаимного расположения, т.е. сегментный препарат.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

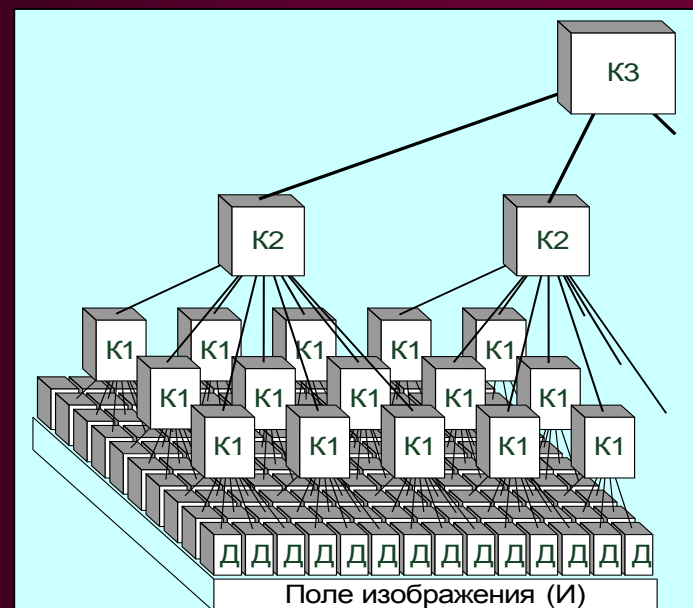
Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

Изображение разбивается на большое число жёстко привязанных перекрывающихся и одинаковых по форме и размерам фрагментов, и каждый фрагмент рассматривается как самостоятельное изображение.

Первый уровень системы состоит из множества операторов выделения признаков **Д**, каждый из которых работает независимо и анализирует свой фрагмент изображения.

Последующие уровни иерархии состоят из наборов классификаторов (**К1**, **К2**, ...), каждый из которых выполняет анализ данных, поступающих от группы смежных операторов предыдущего уровня.

Объём обрабатываемой информации от уровня к уровню сокращается, а сложность обработки при этом возрастает, так как приходится анализировать все более сложные структуры (например, различного вида стыки, образованные отрезками линий).



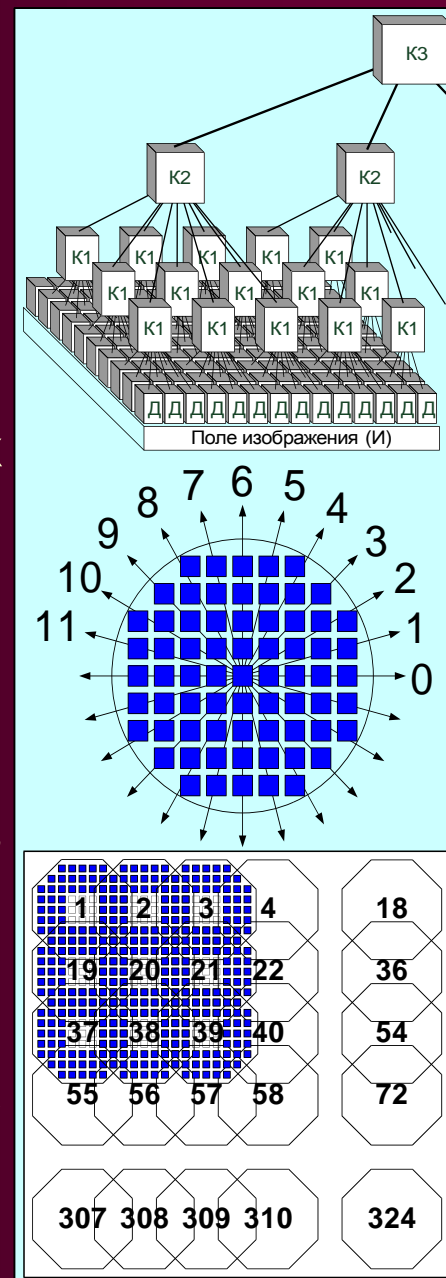
Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

Рассмотрим данный подход на конкретном примере. Анализируется фрагмент размером 9x9 пикселей, попадающих в окружность (69 пикселей). На первом уровне иерархии используется *масочный оператор выделения контуров*, состоящий из 72 эталонных 69-мерных векторов. Каждый вектор – это набор нормированных коэффициентов, определяющих ориентацию и положение контура на фрагменте. Будем считать, что контур может быть ориентирован в одном из 12 направлений (т.е. через каждые 15°), причём в каждом направлении может быть 6 позиций контура (по три, расположенные с равным шагом перпендикулярно контуру и симметрично от центра фрагмента). С учётом знака получаемого градиента можно идентифицировать 144 ситуации.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

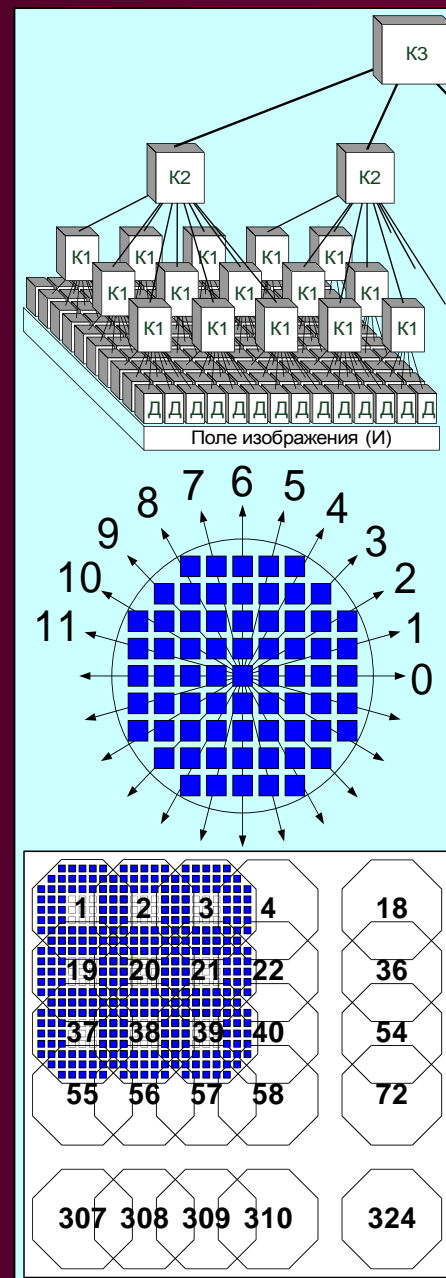
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

На вход системы поступает полутонное цифровое изображение размером 128x128 пикселей при 256 уровнях квантования видеосигнала. Это изображение разбивается на 324 элементарных фрагмента. Каждый фрагмент представляет собой набор из 69 элементов раstra, взятых на окне размером 9x9 и попавших в окрестность приблизительно круглой формы.

Фрагменты располагаются на изображении с шагом в 6 элементов раstra с условием их перекрытия. В окрестность попадает 69 пикселей цифрового изображения, следовательно, всё поле яркостей представляется в виде 324 входных 69-мерных векторов.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

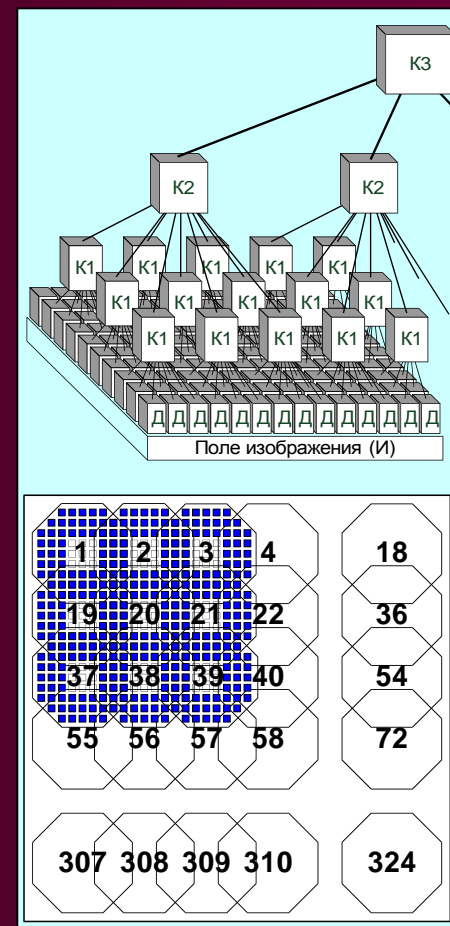
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

На **первом уровне** иерархии (**K1**) определяется, проходит ли через фрагмент контур ($G > T$?). Если нет, вычисляется среднее значение яркости на фрагменте; в противном случае определяются полярные параметры прямолинейного отрезка, который наилучшим образом аппроксимирует этот участок контура. Дополнительно вычисляются средние значения функции яркости областей, расположенных слева и справа от аппроксимирующей линии.

Второй уровень иерархии состоит из 36 процессоров (6x6). На вход каждого процессора поступают параметры контуров от девяти смежных процессоров первого уровня. Таким образом, все процессоры первого уровня (**Д**) разбиты на 36 групп.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

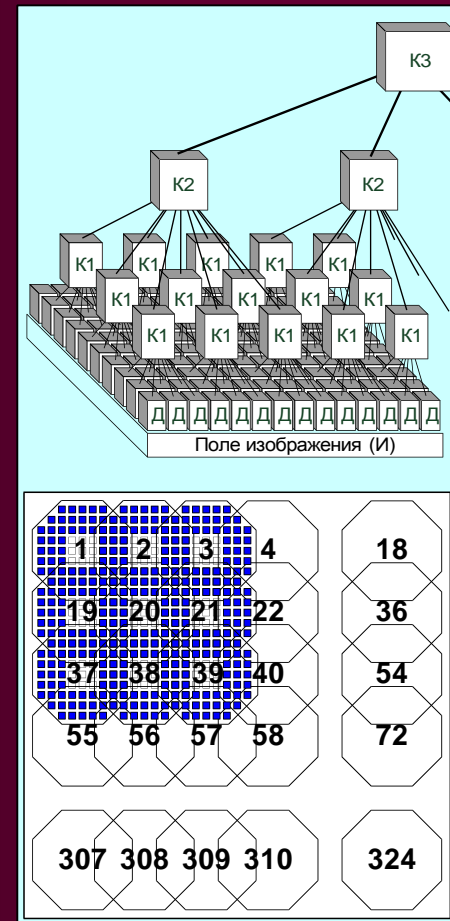
Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

На выходе каждого процессора **K1** формируются параметры однородных областей и разделяющих их границ, обнаруженных на $1/36$ части исходного изображения.

Принцип работы классификатора:

последовательно рассматриваются признаки изображения от всех смежных пар процессоров первого уровня и выполняются две операции:

1 – Две области сливаются в одну, если среднеквадратическая ошибка их аппроксимации по яркости меньше порога (**метод слияния областей**). Однородным областям, образованным на 1-м уровне иерархии (K1), присваиваются порядковые номера.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

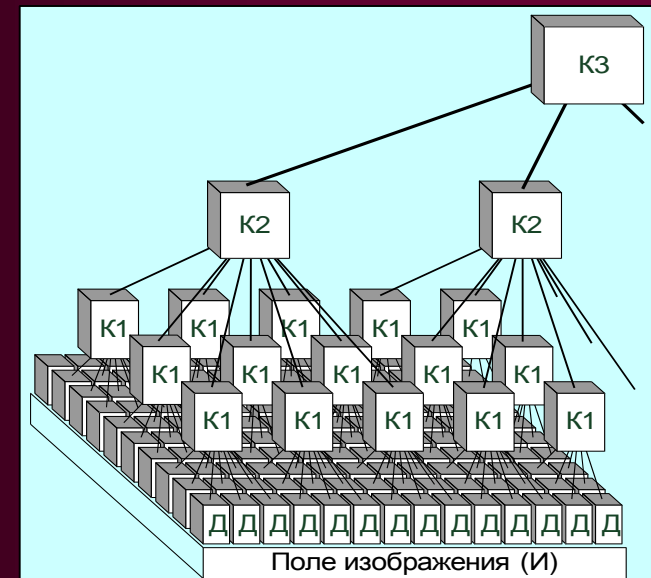
Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

Принцип работы классификатора:

2 — сопоставляются параметры двух прямолинейных отрезков контурной линии, отрезки считаются принадлежащими одному контуру, если среднеквадратическая ошибка их аппроксимации прямой линией меньше порога и, кроме того, пары областей слева и справа сливаются (*метод наращивания контуров, усиленный анализом формирующих их областей*).

Полученный таким образом укрупнённый отрезок контурной линии получает свой порядковый номер, и указываются номера однородных областей слева и справа от него. Этот алгоритм обладает способностью в некоторых случаях восстанавливать пропущенный контур.



Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

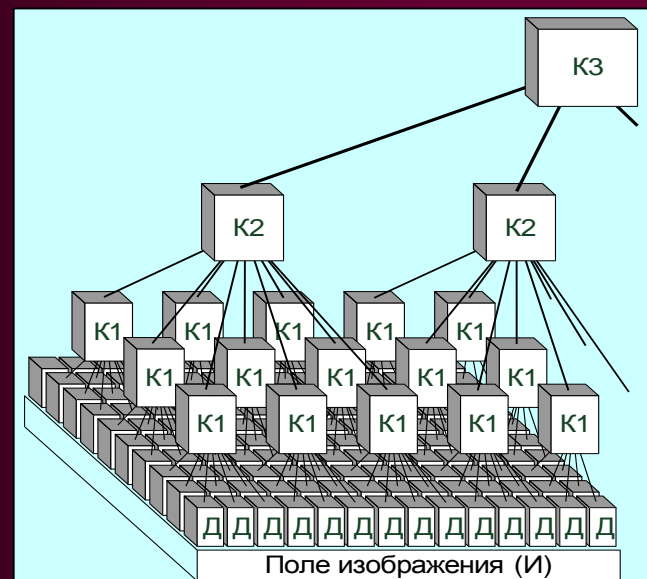
Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения

Третий уровень модели в данном случае состоит из одного процессора **K2**. На его вход поступают параметры однородных областей и разделяющих их прямолинейных контуров, которые были вычислены всеми 36 процессорами второго уровня иерархии.

Принцип работы классификаторов **K2** аналогичен работе классификаторов **K1**.

Ввиду ограничений, наложенных на форму тел, на выходе процессора формируются параметры прямолинейных границ однородных областей. В результате сегментации растровое изображение преобразуется в список однородных областей и разделяющих их границ (в данном случае прямолинейные отрезки контуров) с признаками их взаимной принадлежности. Получаем **сегментный препарат**.

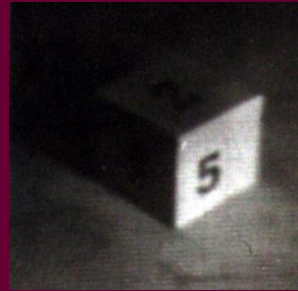


Обработка сигналов и изображений в СТЗ

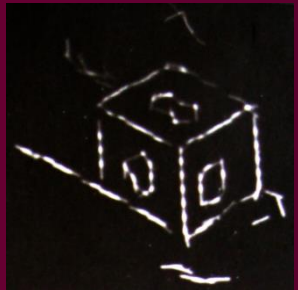
(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

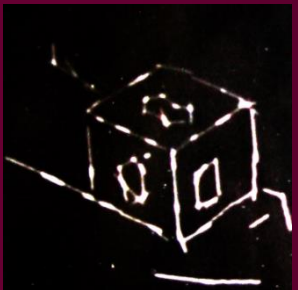
Построение сегментного препарата методом параллельной обработки изображения



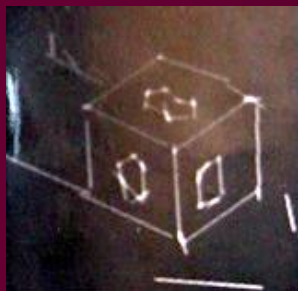
Растровое изображение



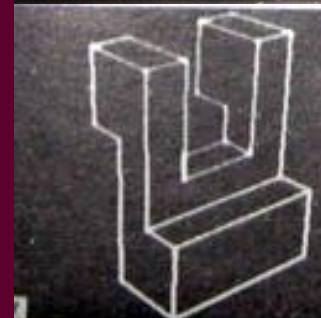
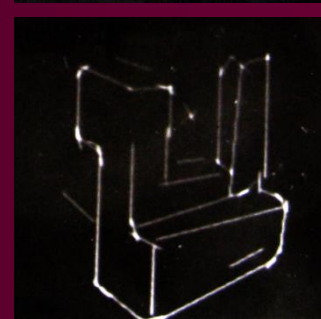
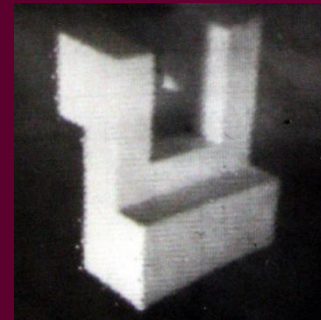
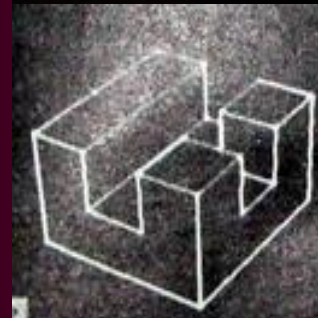
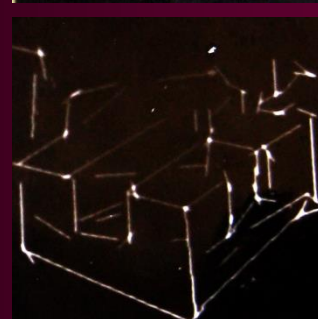
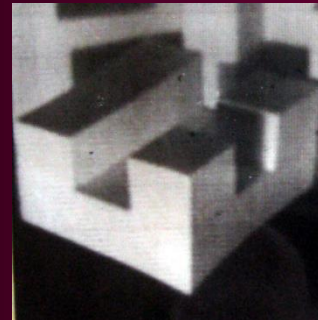
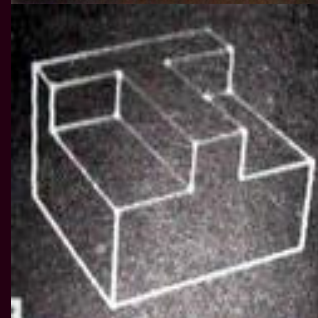
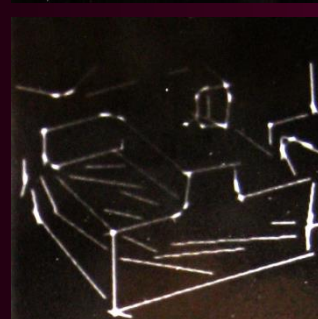
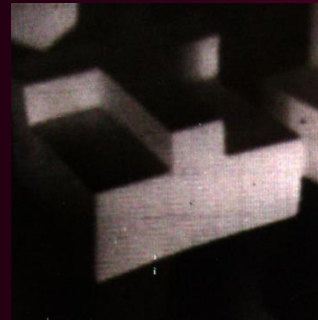
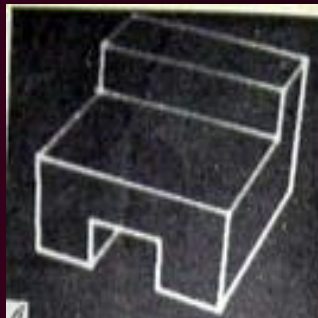
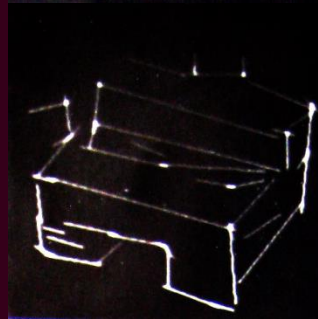
Графический препарат после K1



Графический препарат после K2



Графический (сегментный) препарат после K3



Результат идентификации

Обработка сигналов и изображений в СТЗ

(градиентные методы сегментации)

Сегментация изображений – методы выделения границ (контуров)

Восстановление полутонного растрового изображения из сегментного препарата



Парадигма Марра. 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)».

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 5b

Последовательность процедур обработки
сигналов и изображений в системах
технического зрения
(градиентные методы сегментации)

ВОПРОСЫ?

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

andreevvipa@yandex.ru

Москва, 2022г.