

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, 2021г.

«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 5а (Лекция 9)

**Последовательность процедур
обработки сигналов и изображений
в системах технического зрения
(сегментация изображений)**

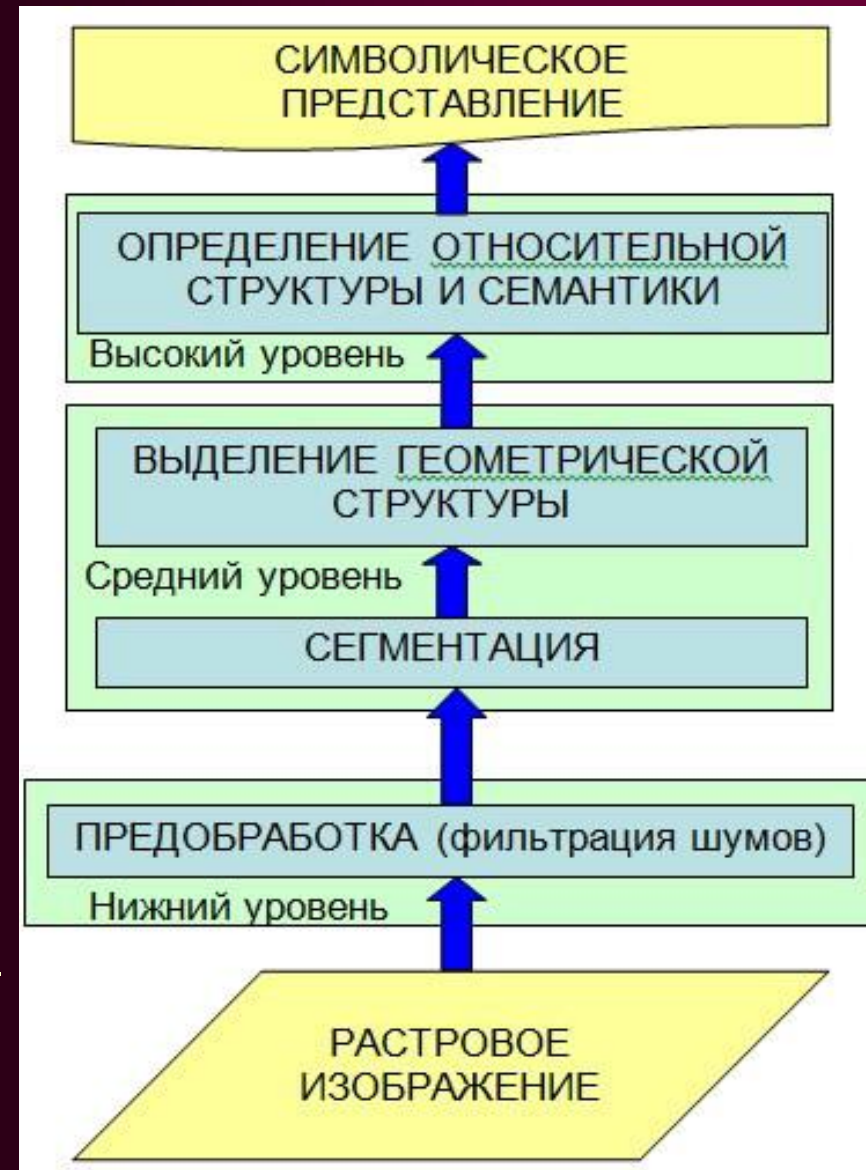
Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Парадигма Марра

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.



Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка сигналов и изображений

К нижнему уровню обработки сигналов следует отнести коррекцию искажений, вызванных:

- ♦ несовершенством сборки оптико-электронного узла СТЗ или иного датчика;
- ♦ несовершенством исполнения аппаратной части СТЗ (искажения, вносимые оптической системой: хроматические аберрации, дисторсия, виньетирование и т.п.) или системы формирования сигналов датчика (например, система сканирования лазерного дальномера);
- ♦ различные искажения, вносимые датчиками сигналов (нелинейность функции преобразования, флуктуационный и структурный шум).

Цифровые методы обработки сигналов позволяют компенсировать подобные искажения, используя для этого математические модели датчиков сигналов. Эффективность этих методов определяется точностью их математических моделей.

Возрастают требования к вычислительным ресурсам, поскольку в МР требуется обеспечить режим реального времени (realtime). Одно из решений – использование специализированных микропроцессоров: наилучшими качествами универсальности и возможностями специализации обладают **цифровые сигнальные процессоры (ЦСП)** и **программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС)**.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений

Фильтрация флуктуационного шума методом n -связности

Пусть **B** есть некоторая матрица размерностью $(m \times l)$ и

$$\text{norm}(x) = \begin{cases} 0, & x = 0 \\ 1, & x \neq 0 \end{cases}$$

Введем операцию Ω над матрицей **B**, в результате которой формируется новая матрица **A**, в которой каждому элементу матрицы **B** сопоставляется число ненулевых элементов в подматрице **3 x 3** вокруг него: $\Omega(\mathbf{B}) = \mathbf{A}$, причём

$$A_{i,j} = \sum \text{norm}(B_{i+\varepsilon, j+\varepsilon}), \quad \varepsilon \in \{-1, 0, 1\},$$

где $A_{i,j}$ и $B_{i,j}$ – значения (i, j) элемента соответственно матриц **A** и **B** (для краевых элементов матрицы **B** значениям элементов матрицы **A** присваивается ноль).

Определение. Метод фильтрации по признаку n -связности – это преобразование матрицы изображения **B** сначала к матрице **A**: $\Omega(\mathbf{B}) = \mathbf{A}$, а затем к матрице **C** согласно выражению:

$$C_{i,j} = \begin{cases} 0, & A_{i,j} < n \\ A_{i,j}, & A_{i,j} \geq n \end{cases}$$

B =

4	0	0	0	0
2	3	0	0	0
0	0	4	5	0
0	0	0	5	6
0	0	0	4	7

A =

4	3	2
3	4	4
1	4	6

a)

C₃ =

4	3	0
3	4	4
0	4	6

b)

C₄ =

4	0	0
0	4	4
0	4	6

c)

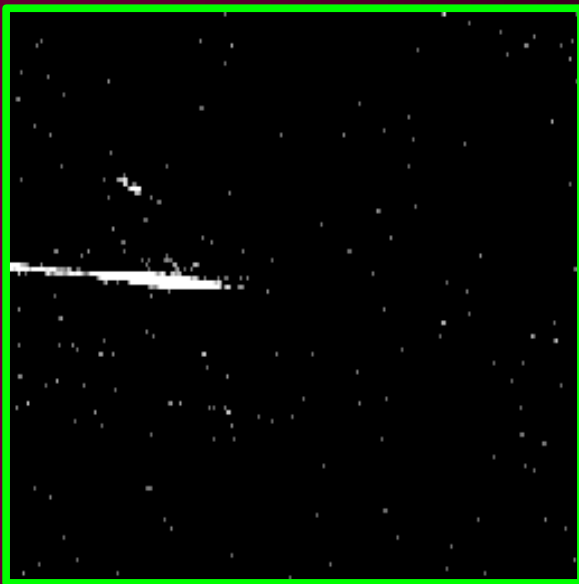
6/23

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

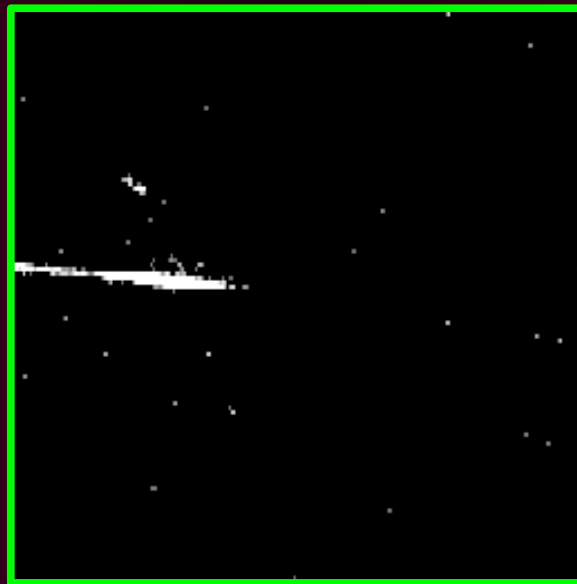
Предобработка изображений

Фильтрация флуктуационного шума методом n -связности.

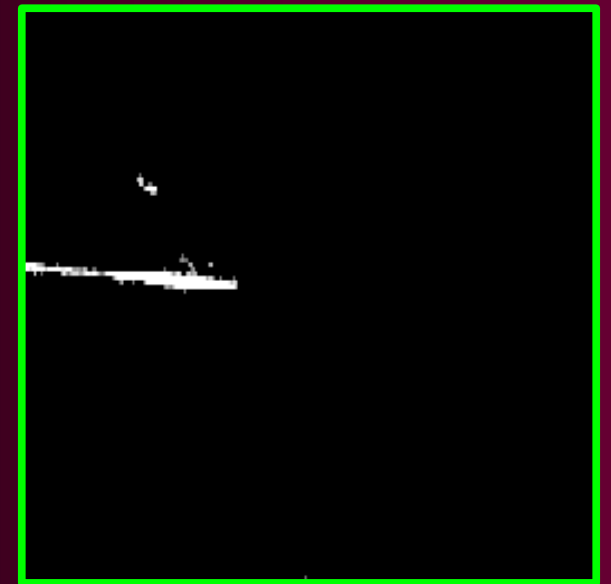
Примеры фильтрации разностного изображения (a)
по признаку связности для $n = 2$ (b) и $n = 3$ (c):



a) ΔB



b) $n = 2$



c) $n = 3$

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Сегментация – процесс разбиения растрового изображения на области, все пиксели которых удовлетворяют некоторому критерию однородности.

Эти области, заданные либо в виде помеченных множеств пикселей, либо своими границами могут являться первичными элементами языка описания. Формальное определение сегментации дано в работе Хоровица и Павлидиса:

[Picture segmentation by a directed split-and-merge procedure / Horowitz S., Pavlidis T. // Proc. 2nd Int. Joint Conf. Pattern Recognition, 1974. – P.424 – 433.]:

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Сегментация есть разбиение множества взятых на дискретном растре отсчётов R на непересекающиеся подмножества R_1, R_2, \dots, R_N , для которых соблюдаются 4 условия:

- 1) $\bigcup_{i=1}^N R_i = R$, где всё изображение R является объединением однородных областей R_i ;
- 2) все элементы подмножества R_i ($i = 1, 2, \dots, N$) являются связными: при анализе пикселей на принадлежность одной области следует рассматривать только смежные (соседние) пиксели;
- 3) $L(R_i) = \text{TRUE}$ для $i = 1, 2, \dots, N$: для всех пикселей одной однородной области должен соблюдаться критерий однородности L ;
- 4) $L(R_i, R_j) = \text{FALSE}$ для i и j , где R_i и R_j – смежные области;
 L – логическая функция, определённая на множестве смежных элементов раstra (критерий однородности).

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Сегментация есть разбиение множества взятых на дискретном растре отсчётов R на непересекающиеся подмножества R_1, R_2, \dots, R_N , для которых соблюдаются 4 условия:

Условие 1 означает Принцип полноты: *каждый пиксель изображения должен принадлежать какой-либо области. Это условие даёт критерий остановки процесса: сегментация продолжается до тех пор, пока не будут размечены все пиксели.*

Условие 2 означает Принцип связности – *указывает на порядок обхода: последовательность анализа пикселей должна быть такой, чтобы не нарушался принцип связности.*

Условие 3 означает Принцип соблюдения критерия однородности L : *для всех пикселей в пределах любого подмножества соблюдается критерий однородности L .*

Условие 4 означает Требование максимальнойности всех областей, полученных в результате сегментации, *т.е. каждая область должна содержать максимально возможное число пикселей, удовлетворяющих критерию однородности.*

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Приведённые условия не определяют однозначно алгоритмы сегментации, а выражают лишь общие требования к ним, поскольку не определяют сам критерий однородности. Для каждого из множества критериев однородности будет свой алгоритм.

Методы сегментации сокращают объём исходных данных (для последующей обработки) за счёт использования такого свойства большинства изображений, как **избыточность**.

Сегментация является начальным этапом структурного анализа изображений, который выполняется с целью идентификации (распознавания) изображённых объектов. Посредством сегментации удаётся выделить так называемые первичные элементы языка структурного описания, инвариантные к различным преобразованиям (изменение яркости, ориентация, масштаб и т.п.).

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Все методы сегментации по **признаку однородности** можно разделить на три класса:

- 1 – текстурные;**
- 2 – яркостные;**
- 3 – цветовые.**

Текстурные методы, в основном, различаются подходами к измерению и описанию текстуры изображения. Большинство существующих методов разработано для решения конкретных задач, в основном для анализа изображений, полученных с самолётов или спутников (АСОИЗ).

В СТЗ для МР текстурные признаки используются редко, в основном, из-за сложности получения этих признаков и трудоёмкости их обработки.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Все методы сегментации по **признаку однородности** можно разделить на три класса: **текстурные, яркостные** и **цветовые**.

Яркостные методы используются в СТЗ наиболее часто. На их основе можно строить также текстурные и цветовые методы, заменяя признак яркости на другой, сохраняя общий подход. В зависимости от формы представления результата эти методы подразделяются на два больших класса:

1. Однородные области представляются в виде элементов изображения (пикселей) с метками, указывающими принадлежность элемента определённой области – методы поэлементной маркировки
2. Однородные области представляются в виде границ этих областей – методы выделения границ (контуров)

Цветовые методы с появлением дешёвых цветных телекамер стали широко развиваться. Большинство этих методов основывается на яркостных методах.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Предобработка изображений – сегментация

Методы поэлементной маркировки.

В процессе сегментации выполняется анализ каждого элемента изображения с целью определить его принадлежность той или иной однородной области.

В зависимости от принятой модели изображения эти методы можно разбить на четыре группы:

- 1) методы **порогового ограничения**;
- 2) методы **наращивания областей**;
- 3) методы **деления областей**;
- 4) методы, **объединяющие процессы деления и слияния областей**.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

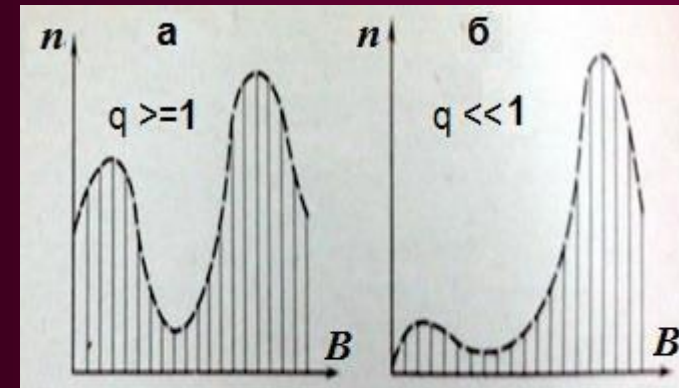
Предобработка изображений – сегментация

Методы поэлементной маркировки – методы *порогового ограничения*.

Большой класс изображений можно охарактеризовать тем, что *они содержат один или несколько объектов приблизительно одинаковой яркости на фоне другой яркости*. Задача сегментации – всё множество элементов изображения разбить на два подмножества: фон и объект, причём для этих подмножеств должны соблюдаться все 4 условия из определения сегментации.

Казалось бы, достаточно установить порог по яркости; тогда элементы, значение яркости которых превышает заданный порог, следует отнести к одному подмножеству, а остальные к другому.

Трудности при выборе порогового значения вызваны, в основном, воздействием различного рода шумов, которое приводит к разбросу значений яркости в пределах одной однородной области. Кроме того, участки однородной области при ближайшем рассмотрении на растровом изображении, как правило, различаются по яркости. Это можно увидеть, построив гистограмму частот значений яркостей на изображении.



Пример гистограммы частот n значений яркости B для изображений объекта на однородном фоне при различных значениях отношения площади объекта к площади фона.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы порогового ограничения. Выбор порога.

Пороговое значение выбирается на основе анализа гистограммы яркостей – в точке её локального минимума. Но имеется большой класс изображений, в которых объекты занимают маленькую площадь, – «мощности» двух классов будут сильно различаться (см. рис.б на слайде 15), что мешает точному определению минимума. Одно из решений – строить гистограмму лишь по тем элементам, которые находятся на границе между объектом и фоном.

Использование априорных данных. *Пример.* Если известно, что для данного класса изображений отношение площадей объектов и фона приблизительно одинаково и равно некоторому числу q ($q = S_o/S_{\phi} = const$), то порог следует установить так, чтобы отношение числа элементов с меткой «объект», к числу элементов с меткой «фон», также было равно q .

Недостатки: сегментация выполняется за два прохода; трудности, связанные с определением минимума на гистограмме; низкая помехоустойчивость; установление единого порогового значения яркости для всего поля изображения требует высокой степени однородности объектов и фона, что в реальности встречается крайне редко.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы порогового ограничения. Выбор порога.

Адаптивный порог: порог вычисляется по небольшому фрагменту с учётом изменения контраста, толщины линий знаков машинописного текста, а также с учётом фоновых шума.

Аппроксимация пороговой функции по отдельным значениям порога, определённым для различных участков изображения.

Анализ методов порогового ограничения показывает, что эти методы не используют такое важное свойство изображений, как связность областей. Поэтому все способы повышения помехоустойчивости таких методов сводятся главным образом к учёту этого свойства через выбор порогового значения.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы наращивания областей

Пример (один из множества):

Некоторым образом выбирается элемент изображения, и анализируются соседние элементы. Те, для которых соблюдается критерий однородности, объявляются принадлежащими одной однородной области. Процесс продолжается, пока не останется элементов, удовлетворяющих критерию.

Затем выбирается новый начальный элемент, и процесс повторяется. Алгоритм заканчивает работу, когда все элементы изображения будут приписаны соответствующим областям. Здесь используется понятие связности: проверка выполняется всегда по смежным элементам (условие 2 сегментации на слайде 9).

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы наращивания областей обеспечивают высокое качество сегментации, поэтому их применяют для обработки снимков с самолётов или спутников (реальный масштаб времени не требуется). Последовательный характер обработки при довольно сложных алгоритмах приводит к существенным затратам времени для их выполнения. Это ограничивает их применение в системах технического зрения (СТЗ) для мобильных роботов (МР).

Существенное сокращение времени обработки даёт класс методов, основанных на принципе, обратном слиянию.

Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы последовательного деления областей

Вначале все изображение рассматривается как единая область и на ней проверяется критерий однородности. Если критерий выполняется, то изображение считается содержащим один лишь фон, т.е. объектов нет. В противном случае производится разбиение этой области на несколько частей и на каждой из них вновь вычисляется критерий. Снова выполняется проверка, и дальнейшему разбиению подвергаются лишь те части, для которых критерий не соблюдается. Процесс продолжается до тех пор, пока каждая из полученных областей не будет удовлетворять критерию однородности, либо не будет достигнут желаемый уровень сегментации. В зависимости от степени разбиения можно менять и сам критерий. Например, можно его вычислять на растре, размер которого всегда постоянен. Тогда, чем меньше анализируемый фрагмент, тем большее число отсчётов будет приходиться на единицу площади изображения.

Применение методов последовательного деления позволяет получить существенный выигрыш во времени обработки лишь для изображений, содержащих небольшое количество объектов. Кроме того, они не позволяют выделять локально однородные области. Поэтому данный класс методов не нашёл широкого применения

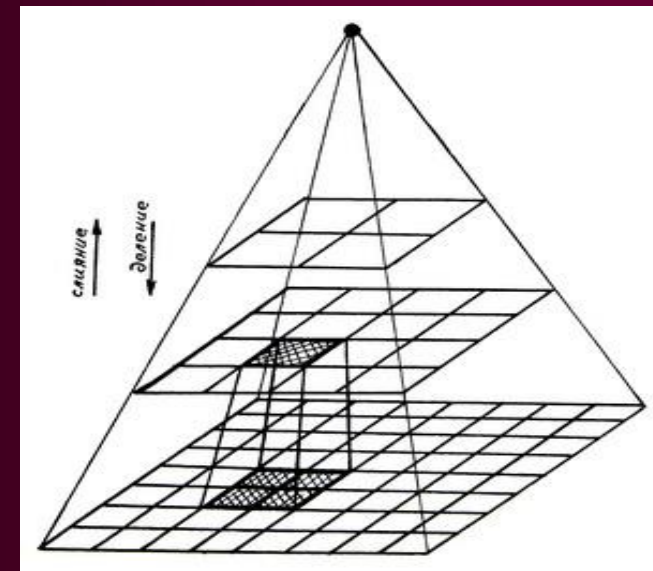
Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы, основанные на делении и слиянии областей

Основной принцип этих методов состоит в том, чтобы сливать смежные области, для которых выполняется критерий однородности, и разделять те области, для которых критерий не выполняется.

Подход, предложенный Танимото и Павлидисом: структура данных формируется в виде множества расположенных друг над другом «слоёв», каждый из которых представляет собой изображение различной степени подробности. Такую структуру можно изобразить в виде конуса или пирамиды. Нижним слоем является само исходное изображение размером $N \times N$ элементов раstra, а каждый элемент следующего слоя получается путём усреднения значений четырёх смежных элементов предыдущего слоя. Пирамида заканчивается одним элементом с параметрами, усреднёнными по всему изображению. Число слоёв равно $\log_2 N$.



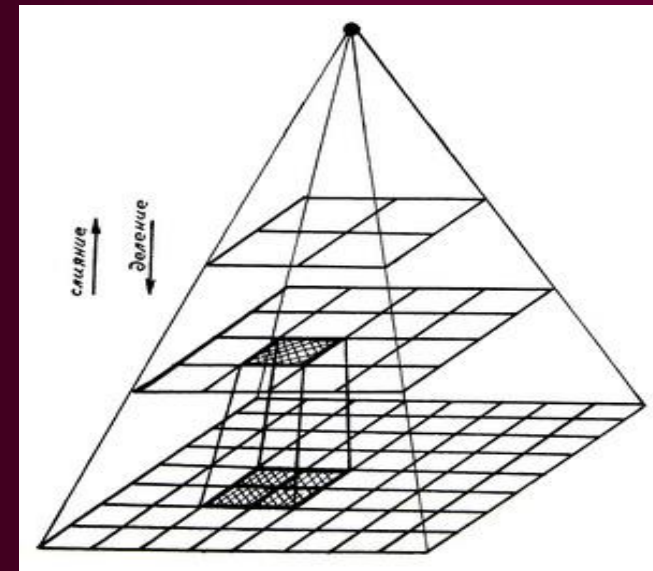
Последовательность процедур обработки сигналов и изображений в СТЗ

Сегментация изображений – методы поэлементной маркировки

Методы, основанные на делении и слиянии областей

Основной принцип этих методов состоит в том, чтобы сливать смежные области, для которых выполняется критерий однородности, и разделять те области, для которых критерий не выполняется.

Такую структуру формально можно представить в виде дерева, узлы которого соответствуют элементам слоя, а дуги определяют взаимные соотношения между элементами смежных слоёв. Тогда операции слияния и деления можно отождествить с передвижением по дугам дерева соответственно вверх или вниз. Сегментация при этом эквивалентна нахождению узлов, для которых удовлетворяется критерий однородности.



Предложенная структура замечательна тем, что это, пожалуй, первое предложение использовать иерархическую обработку изображений, что в дальнейшем привело к созданию класса так называемых «пирамидальных» процессоров.

Методы поэлементной маркировки не нашли широкого применения в СТЗ, в основном, из-за больших вычислительных затрат – необходимость анализировать все элементы изображения.

“ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТРОНИКА”

Сенсорные и управляющие системы роботов

Тема 5а

Последовательность процедур обработки
сигналов и изображений в системах
технического зрения
(сегментация изображений)

ВОПРОСЫ?

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

andreevvipa@yandex.ru

Москва, 2022г.