

Клементьев



Н. Г. Волков, С. Ю. Ерофеева

П  
864  
040-87

# СЕГМЕНТАЦИЯ МАЛОКОНТРАСТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

МОСКВА 1987

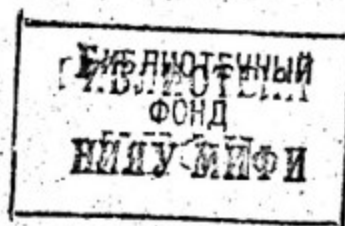
Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Московский ордена Трудового Красного Знамени  
инженерно-физический институт

Н.Г.Волков, С.Ю.Ерофеева

СЕКМЕНТАЦИЯ МАЛОКОНТРАСТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ

Препринт 040-87



Утверждено  
редсоветом института

Москва 1987

Волков Н.Г., Ерофеева С.Ю. Сегментация мало контрастных рентгеновских изображений. - М.: Препринт/МИФИ, 040-87, 1987. - 24с.

В работе предлагается метод, позволяющий по исходному изображению нескольких полупрозрачных объектов получать набор изображений каждого из объектов в отдельности. Метод основан на теоретико-множественном подходе к сегментации дискретных изображений и может использоваться при анализе нерезких изображений в присутствии случайных помех. Приведены результаты применения метода для обработки мало контрастных рентгеновских снимков.

## ВВЕДЕНИЕ

Распознавание объектов на изображениях в системах рентгенографии часто бывает затруднено вследствие присутствия на изображении не одного, а нескольких полупрозрачных объектов, расположенных таким образом, что участки изображения, соответствующие каждому из объектов, перекрываются между собой, при этом в области их перекрытия отмечается повышение уровня оптической плотности по сравнению с соседними областями. Для упрощения идентификации таких изображений [1] и разрабатываются методы анализа, позволяющие по изображению совокупности может быть перекрывающихся между собой объектов получать набор изображений отдельных объектов. Средством автоматизации такого анализа являются методы сегментации изображений [2].

Особое значение эти методы имеют в таких системах, где анализируемые изображения в силу объективных причин, связанных с ограниченными возможностями аппаратуры и особенностями их получения, обладают низким качеством: малой контрастностью, присутствием помех высокого уровня.

В данной работе предлагается метод сегментации малоконтрастных рентгеновских снимков, основанный на теоретико-множественном подходе [3] к разделению областей по сходству свойств их точек, позволяющий по изображению совокупности может быть перекрывающихся между собой полупрозрачных объектов получить набор изображений каждого из объектов в отдельности.

### I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ

При разработке методов анализа изображений нескольких объектов, как правило, прибегают к ряду упрощений, касающихся, например, числа объектов на изображении [4].

Рассмотрим сначала постановку задачи сегментации для изображения двух объектов. Предположим, что на исходном изображении отсутствует помеха. Обобщения на случай ее присутствия будут сделаны позднее.

Пусть каждый из двух объектов на изображении имеет примерно

постоянную оптическую плотность  $N_1$  и  $N_2$  соответственно. Влияние непостоянства оптической плотности по площади объекта и нерезкости его границ будет обсуждаться в следующем разделе. Сделаем также предположение о том, что  $N_1 \neq N_2$  (для определенности  $N_1 > N_2$ ), оправданное тем, что на практике маловероятно появление на изображении двух объектов с одинаковой оптической плотностью. Пусть оптическая плотность на участке изображения, соответствующем пересечению двух объектов, составляет  $N_1 + N_2$ . Выполнение последнего предположения на практике встречается очень редко. Обычно наложение изображений происходит по более сложному закону, так что пересечение двух объектов в общем случае имеет оптическую плотность  $\Psi(N_1, N_2)$ . Это обстоятельство необходимо учитывать в каждом конкретном случае, либо предварительно обрабатывая изображение так, чтобы условие аддитивности выполнялось, либо модифицируя предлагаемый метод для заданного закона наложения.

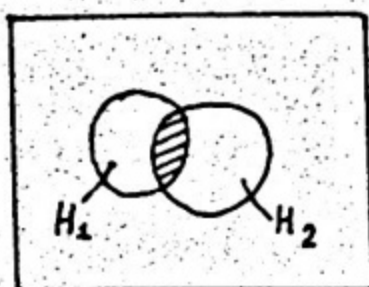
На рис. 1а, б изображены варианты взаимного расположения двух объектов на изображении: заштрихованная область на рис. 1 имеет оптическую плотность  $N_1 + N_2$ . Выполним следующие действия. Будем получать сечения уровня оптической плотности [5] с шагом  $h$ , начиная с уровня  $h$  до уровня  $N_1 + N_2$ . Каждое сечение уровня определим как бинарное изображение:

$$B_j(x, e) = \begin{cases} 1, & N(x, e) \geq jh, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (\text{I.I})$$

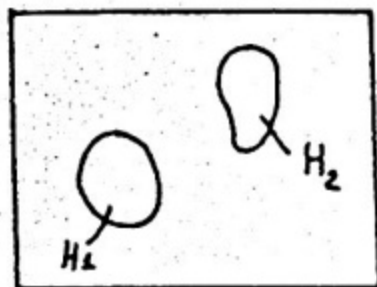
где  $N(x, e)$  — оптическая плотность в точке  $(x, e)$ . В результате получим три класса сечений уровня, показанные на рис. 1в — 1д (слева — сечения уровня, соответствующие варианту совмещения 1а, справа — 1б). Обозначим  $f_1, f_2, f_3$  — множества точек, соответствующих первому, второму и третьему классу сечений уровня;  $z_1, z_2$  — множества точек, принадлежащих первому и второму объекту соответственно. Тогда  $z_1$  и  $z_2$  могут быть выражены следующей комбинацией множеств [3]  $f_1, f_2, f_3$ :

$$z_1 = f_2, \quad (\text{I.2})$$

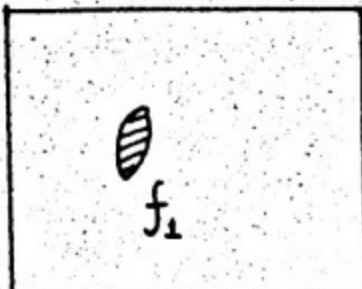
$$z_2 = (f_3 \& \bar{f}_2) \cup f_1.$$



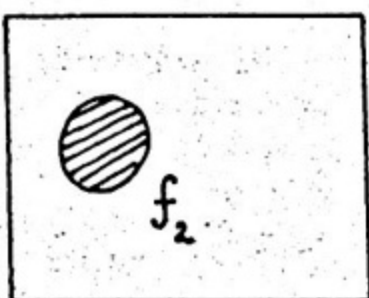
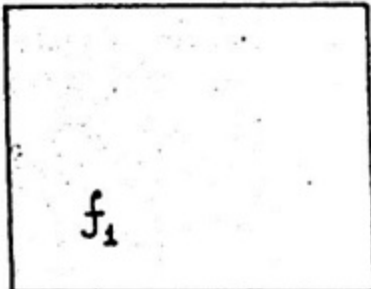
а)



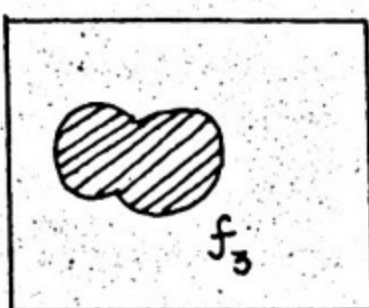
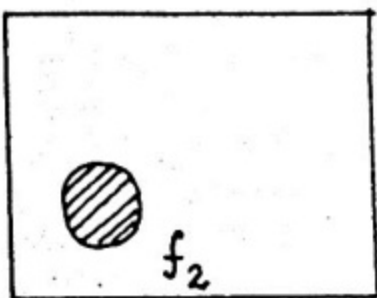
б)



в)



г)



д)

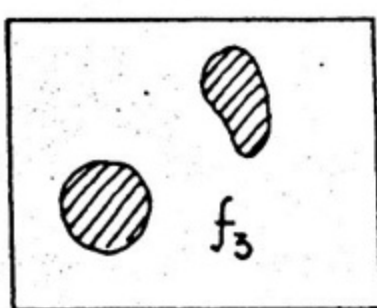


Рис. I. Классы сечений уровня для изображения двух объектов.

В терминах бинарных изображений, соответствующих трем классам сечений уровня -  $B^1(k, e)$ ,  $B^2(k, e)$ ,  $B^3(k, e)$  - можно записать:

$$\begin{aligned} N_1(k, e) &= N_1 \cdot B^2(k, e), \\ N_2(k, e) &= N_2 \cdot (B^3(k, e) \cup (1 - B^2(k, e)) \cup B^1(k, e)), \end{aligned} \quad (I.3)$$

где  $N_1(k, e)$ ,  $N_2(k, e)$  - изображения первого и второго объектов в отдельности.

Таким образом, решение задачи получения изображений отдельных объектов по изображениям их совокупности при справедливости сделанных выше предположений сводится к трем этапам:

- 1) получение сечений уровня;
- 2) классификация сечений уровня;
- 3) получение изображений каждого из объектов как комбинации сечений уровня.

Рассмотрим теперь постановку задачи сегментации изображения совокупности объектов, когда их число равно 3. Число вариантов расположения объектов по отношению друг к другу равно 9; эти варианты показаны на рис. 2. Здесь, для определенности,

$N_1 > N_2 > N_3$ . Отметим, что варианты взаимного расположения объектов  $2в, г, д$  отличаются лишь по способу пересечения изображения объекта максимальной оптической плотности  $N_1$  с изображениями других объектов.

Рассмотрим подробно вариант взаимного расположения объектов на рис. 2а. Число классов сечений уровня в данном случае равно 7. Множество класса  $f_4$  будет различным в зависимости от выполнения неравенства  $N_2 + N_3 > N_1$ . Классы множеств  $f_i$ ,

$i = \overline{1, 7}$  показаны на рис. 3. Для других вариантов взаимного расположения объектов ( $2б - 2и$ ) число классов сечений уровня будет меньше 7, причем все они будут соответствовать изображенным на рис. 3, за исключением пустых или совпадающих классов сечений уровня. Поэтому для любого варианта взаимного расположения объектов справедливо:

$$\begin{aligned} z_1 &= f_5 \cup (f_4 \cup f_3), \\ z_2 &= f_6 \cup (f_5 \cup f_4 \cup f_3) \cup f_2, \\ z_3 &= f_7 \cup f_6 \cup f_4 \cup f_2 \cup f_1, \end{aligned} \quad (I.4)$$

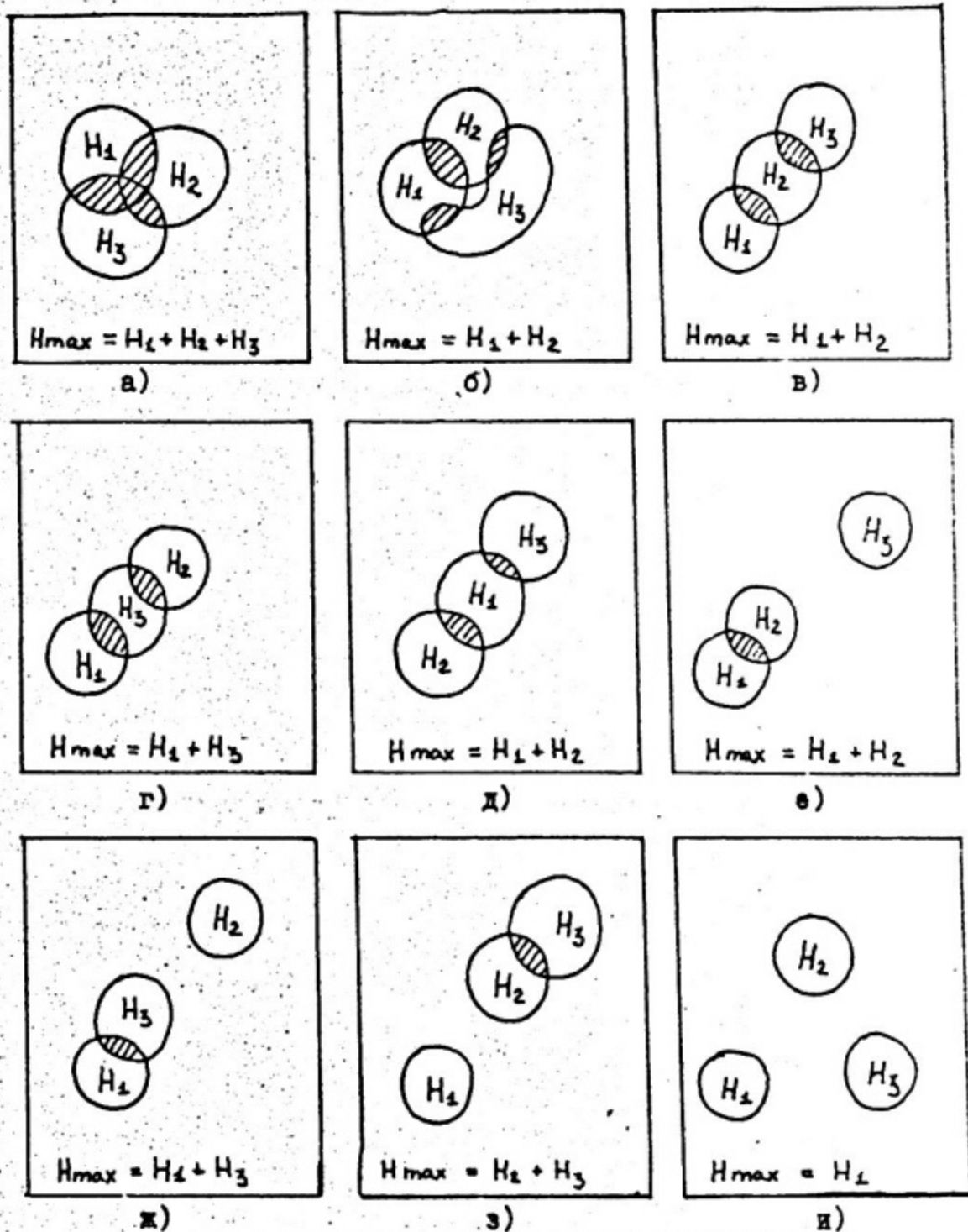


Рис.2. Различные варианты взаимного расположения трёх объектов на изображении

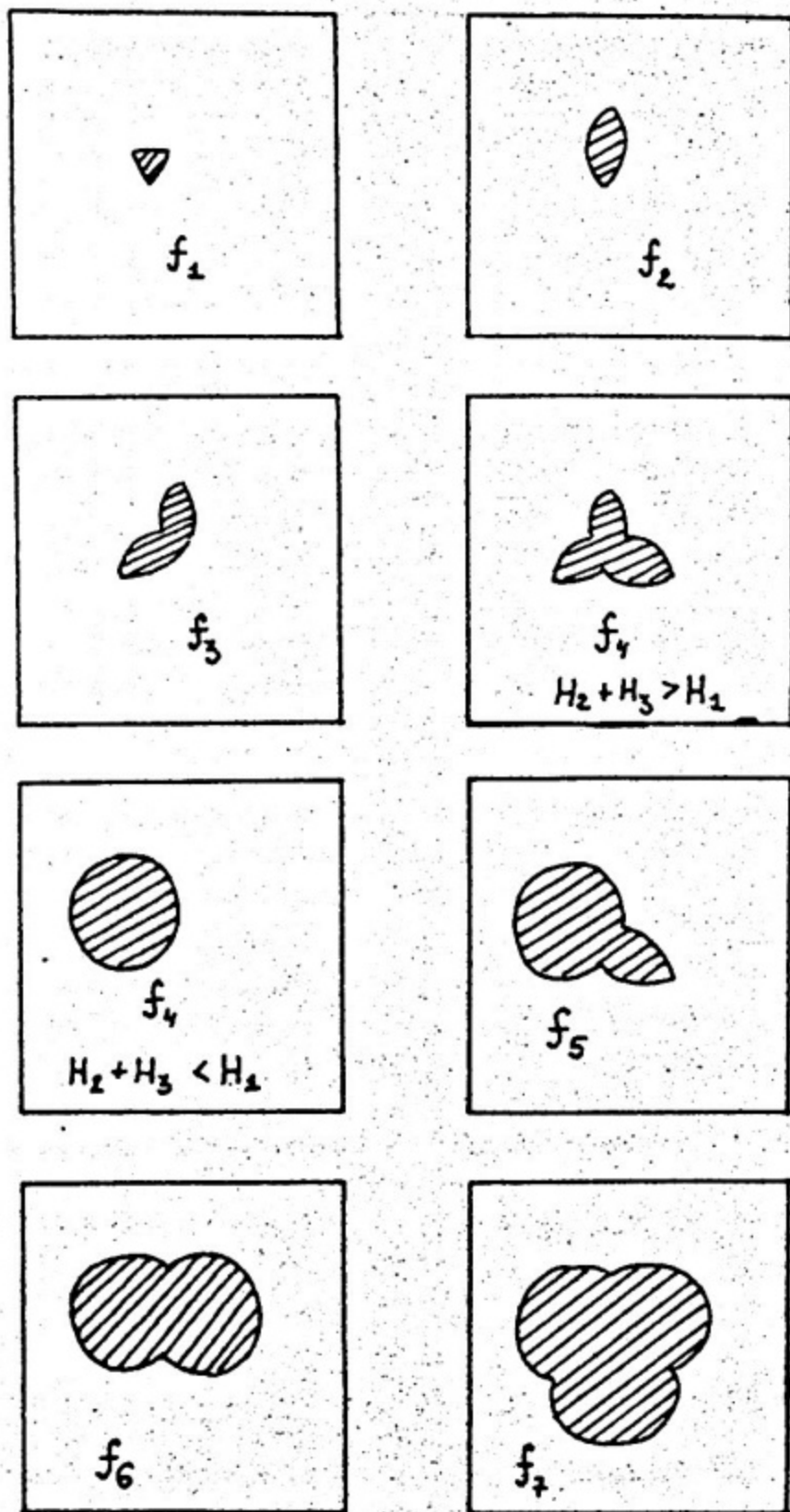


Рис.3. Классы сечений уровня для изображения трёх объектов для варианта взаимного расположения рис.2,а.

если выполняется неравенство  $N_2 + N_3 > N_1$ . В случае если  $N_2 + N_3 < N_1$ , формулы (I.4) будут записаны иначе:

$$\begin{aligned} z_1 &= f_4, \\ z_2 &= (f_6 \& \bar{f}_4) \cup f_2, \\ z_3 &= (f_7 \& \bar{f}_6) \cup f_1 \cup (\bar{f}_4 \& f_5). \end{aligned} \quad (I.4)$$

Все обозначения в формулах (I.4) соответствуют ранее введенным для двух объектов. Легко доказать, что формулы (I.2) могут быть получены из формул (I.4) в случае отсутствия третьего объекта ( $N_3 = 0$ ). Таким образом, случай сегментации изображения двух объектов будет являться частным случаем сегментации изображения трех объектов, при этом результирующее изображение третьего объекта будет пустым.

Аналогичным образом могут быть рассмотрены случаи, когда число объектов на изображении больше трех, при этом число вариантов взаимного расположения объектов будет быстро расти.

Перейдем теперь к обобщениям предлагаемого метода на случай присутствия на изображении случайного шума.

## 2. КЛАССИФИКАТОР СЕЧЕНИЙ УРОВНЯ

Обозначим  $S(1), S(2), \dots, S(k)$  — площади объектов, состоящих из точек с единичными значениями на последовательных сечениях уровня:  $k = 1, \dots, N_{\max}/h$ . Для удобства дальнейшего изложения положим:  $N_1/h = k_1; N_2/h = k_2; N_3/h = k_3$ . Поскольку  $N_1 > N_2 > N_3$ , то  $k_1 > k_2 > k_3$ .

В отсутствие помехи зависимости  $S(k)$  для вариантов взаимного расположения рис. 2а — 2и будут представлять собой ступенчатые функции с числом ступенек от 3 до 7, показанные на рисунке 4. Все ступенчатые функции, изображенные здесь, можно разбить на 5 групп (по числу ступенек), а внутри каждой группы провести разбиение по максимальному значению оптической плотности ( $N_{\max}$ ). Результаты такого разбиения представлены в

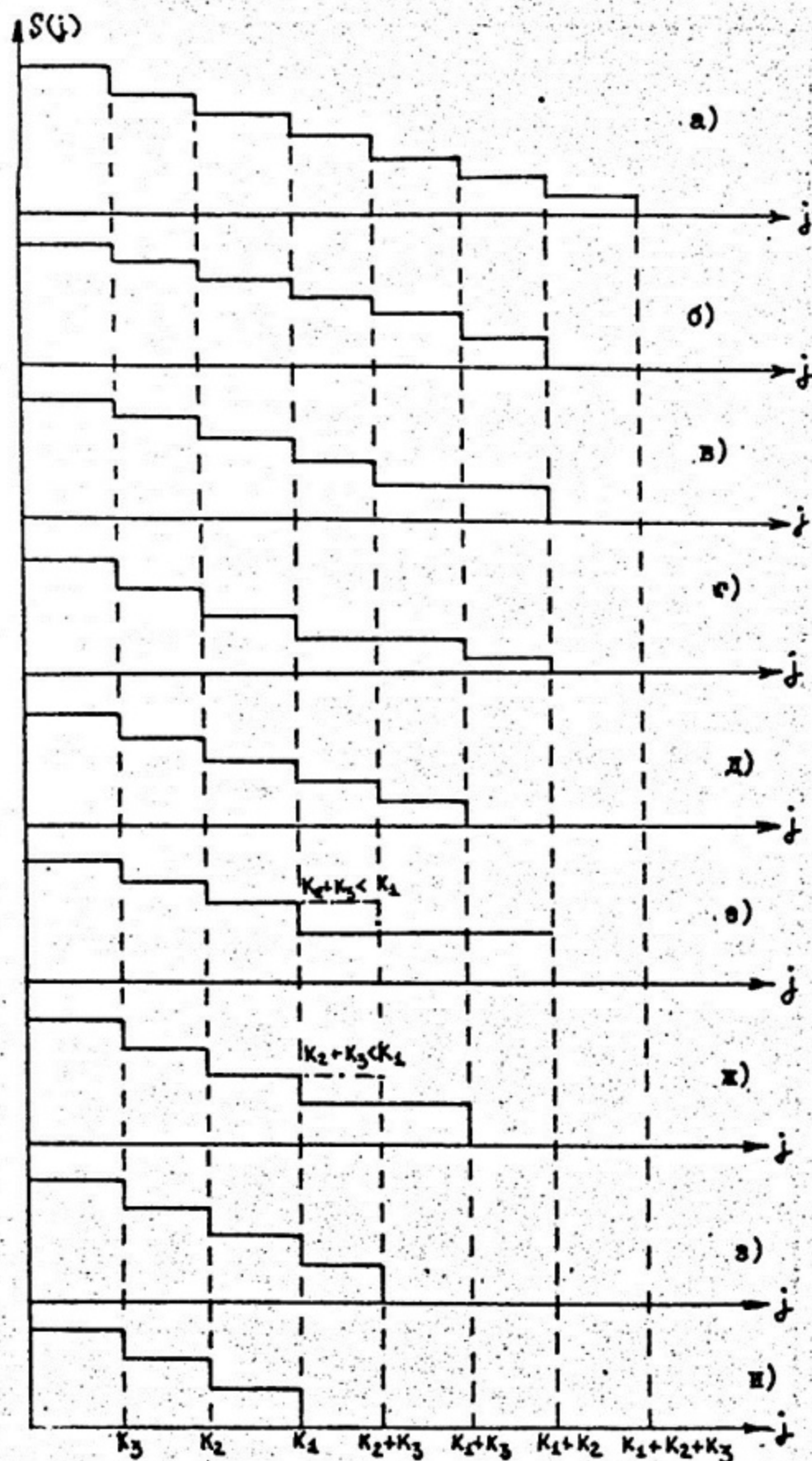


Рис.4. Зависимости площади сечения от номера уровня для различных вариантов взаимного расположения

таблице, отражающей классификацию по группам и внутри групп.

№ группы	Число ступенек	Максимальная оптическая плотность $H_{max}$	Варианты взаимного расположения (рис. 2)
I	7	$H_1 + H_2 + H_3$	2а
II	6	$H_1 + H_2$	2б
III	5	$H_1 + H_2$	2в; 2г
		$H_1 + H_3$	2д
IV	4	$H_1 + H_2$	2е
		$H_1 + H_3$	2ж
		$\max(H_1, H_2 + H_3)$	2з
V	3	$H_1$	2и

Каждая ступенька функции  $S(\kappa)$  соответствует  $\delta$ -функции на графике ее производной. На рис. 5 изображены зависимость  $S(\kappa)$  и ее производная  $S'(\kappa)$  для варианта взаимного расположения объектов рис. 2а.

Рассмотрим теперь, как изменяются зависимости  $S(\kappa)$ ,  $S'(\kappa)$  в присутствии некоррелированного нормального шума с нулевым средним и дисперсией  $d$ . Если считать, что с достоверностью 0,95 значения помехи вносят вклад в измерение площади сечения на интервале  $\pm 2\sqrt{d}$  от каждого первоначально постоянного уровня оптической плотности, то ступеньки зависимости  $S(\kappa)$  сглаживаются в интервале  $(\kappa_0 - 2\sqrt{d}, \kappa_0 + 2\sqrt{d})$ , где  $\kappa_0$  - уровень, соответствующий перепаду на графике  $S(\kappa)$  в отсутствие помехи. На графике  $S'(\kappa)$  влияние шума отразится размазыванием  $\delta$ -функций в соответствии с величиной дисперсии шума. Отметим, что наименьшие изменения в результате воздействия помехи претерпевают постоянные участки зависимости  $S(\kappa)$ , а также участки, соответствующие максимальным значениям производной  $S'(\kappa)$ . Кроме того, на этих участках значения помехи, влияющей собственно на зависимость  $S(\kappa)$ ,

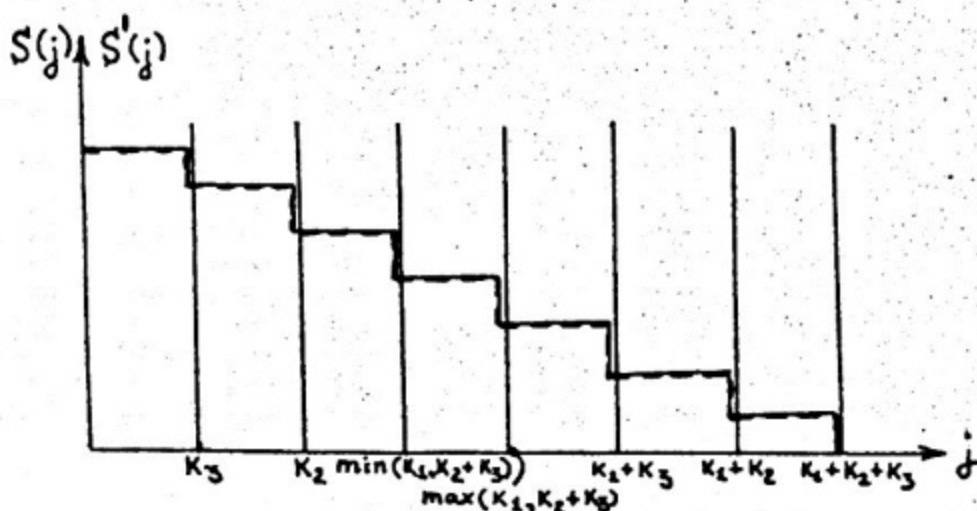


Рис.5. Зависимость производной  $S'(k)$  от номера уровня в отсутствии помехи

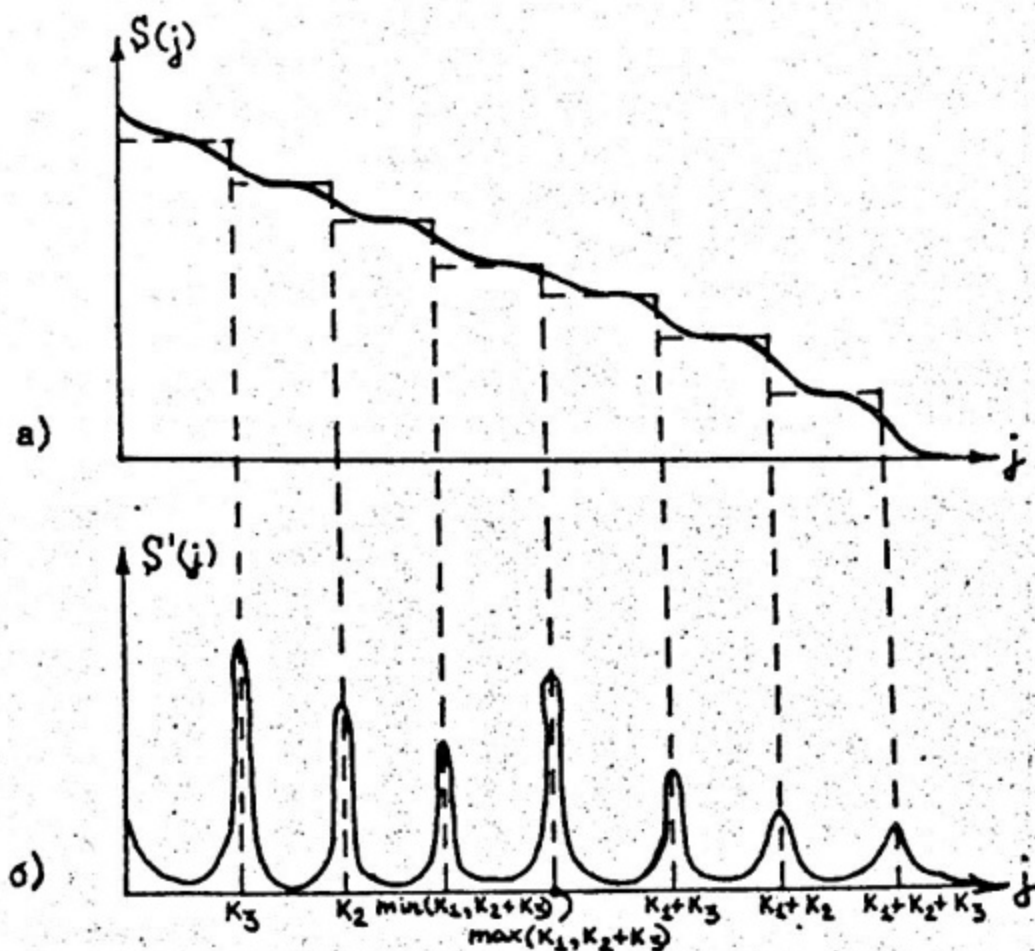


Рис.6. Зависимости  $S'(k)$  и  $S'(k)$  от номера уровня в присутствии помехи

наименее коррелированы между собой. На рис. 6а, б помещены зависимости  $S(\kappa)$ ,  $S'(\kappa)$ , полученные в присутствии Гауссова шума, соответствующие варианту взаимного расположения объектов рис. 2а.

Поставим задачу аппроксимации измеренной зависимости  $S(\kappa)$  некоторой  $N$ -ступенчатой функцией,  $N = \overline{3, 7}$ , где значение  $N$  определяется числом существенных пиков производной  $S'(\kappa)$ , которое в присутствии помехи остается равным числу  $\delta$ -функций на графике  $S'(\kappa)$  в отсутствие шума. Значения  $S'(\kappa)$  будем оценивать конечными разностями:

$$S'(\kappa) = S(\kappa - 1) - S(\kappa).$$

Поскольку  $S(\kappa - 1) \geq S(\kappa)$ , то  $S'(\kappa)$  всегда неотрицательна. Несущественные пики производной, связанные с характером помехи, необходимо отбрасывать; их величина не превышает  $0.4\sqrt{d} = \Psi_{\max}$ , поскольку вблизи первоначально постоянного уровня оптической плотности построение сечений уровня и измерение их площади соответствует построению функции нормального распределения  $\Phi$ .

Итак, по измеренной зависимости  $S(\kappa)$ , можно определить число пиков этой функции  $N$  и отнести изображение к одной из пяти групп таблицы - по числу ступенек  $N$ . Задача теперь состоит в том, чтобы по найденному значению  $N_{\max}$  и подсчитанному значению  $N$  провести классификацию внутри группы и подобрать наилучшие значения  $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ . Используем для этой цели критерий минимума суммы квадратов отклонений аппроксимирующей измеренную зависимость  $S(\kappa)$   $N$ -ступенчатой функции от самой зависимости  $S(\kappa)$ :

$$\sigma = \min_V \left( \min_{(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3)} \sum_{j=1}^N \sum_{\kappa=r_1(j)}^{\kappa_2(j)} \left( \frac{S'(\kappa) - \Psi_{\max}}{S'(\kappa) + \Psi_{\max}} \right)^2 (S(\kappa) - w_j)^2 \right), \quad (2.1)$$

где  $w_j$  - высота  $j$ -ой ступеньки,  $j = \overline{1, N}$ ;

$\min_V$  - обозначает минимизацию по всем вариантам внутри каждой группы;

$r_1(j), r_2(j)$  - номера уровней, соответствующие началу и концу  $j$ -ой ступеньки;

$\Psi_{\max} = 0.4\sqrt{d}$ , где  $d$  - дисперсия помехи.

Множитель  $\left( \frac{S'(\kappa) - \Psi_{\max}}{S'(\kappa) + \Psi_{\max}} \right)^2$  в выражении (2.1) обеспечивает

подавление влияния на значение критерия наиболее искаженных помехой (в окрестности перепада ступенчатой функции) участков зависимости  $S(\kappa)$ . Максимальное значение, равное единице, этот множитель имеет в точках, соответствующих, во-первых, плоским участкам зависимости  $S(\kappa)$  и, во-вторых, пикам производной  $S'(\kappa)$ , значительно превосходящим по величине  $\Psi_{max}$ .

Таким образом, наибольший вклад в значение критерия  $\sigma$  будут иметь слагаемые, соответствующие наименее искаженным помехой участкам зависимости  $S(\kappa)$ .

Высоты ступенек  $w_j$  будем оценивать средним значением  $S(\kappa)$  на  $j$ -ой ступеньке:

$$\hat{w}_j = \frac{1}{r} \sum_{\kappa=r_2(j)}^{r_1(j)} S(\kappa), \quad (2.2)$$

где  $r = r_1(j) - r_2(j) + 1$ .

Введем обозначения:

$$R_0(i_1, i_2) = \sum_{\kappa=i_1}^{i_2} S(\kappa)^2 \left( \frac{S'(\kappa) - \Psi_{max}}{S'(\kappa) + \Psi_{max}} \right)^2, \quad (2.3)$$

$$R(i_1, i_2) = \frac{1}{i_2 - i_1} \left( \sum_{\kappa=i_1+1}^{i_2} S(\kappa) \left| \frac{S'(\kappa) - \Psi_{max}}{S'(\kappa) + \Psi_{max}} \right| \right)^2.$$

С учетом конкретного вида ступенчатой функции, представленной на рис. 4а, и введенных обозначений, получим следующую оценку  $\sigma_7$  в I-ой группе:

$$\begin{aligned} \sigma_7 = \min_{(k_1, k_2, k_3)} & [ R_0(1, k_1 + k_2 + k_3) - R(0, k_3) - \\ & - R(k_3, k_2) - R(k_2, \min(k_1, k_2 + k_3)) - \\ & - R(\min(k_1, k_2 + k_3), \max(k_1, k_2 + k_3)) - \\ & - R(\max(k_1, k_2 + k_3), k_1 + k_3) - \\ & - R(k_1 + k_3, k_1 + k_2) - \\ & - R(k_2 + k_2, k_1 + k_2 + k_3), \quad (2.4) \end{aligned}$$

где для минимизации  $S_7$  осуществляется перебор всех значений  $k_1, k_2, k_3$  таких, что

$$\begin{aligned} k_1 &> k_2 > k_3, \\ k_1 + k_2 + k_3 &= N_{\max} / h. \end{aligned}$$

Аналогичные соотношения могут быть получены для оценок отклонений в других группах. Таким образом, для найденных значений  $N$  и  $N_{\max}$  можно определить оптимальный набор  $(k_1, k_2, k_3) = \underset{(k_1, k_2, k_3)}{\operatorname{arg\,min}} S_N$ .

Уровни получения сечений, соответствующих классам  $f_i, i = \overline{7-N+1, 7}$ , будем определять по середине ступеньки аппроксимирующей зависимость  $S(k)$  ступенчатой функции. Например, для семиступенчатой функции уровни получения сечений, соответствующих классам  $f_i, i = \overline{1, 7}$ , определяется по формулам:

$$\begin{aligned} C(1) &= \frac{k_1 + k_2 + 1 + k_1 + k_2 + k_3}{2}, \\ C(2) &= \frac{k_1 + k_2 + k_1 + k_3 + 1}{2}, \\ C(3) &= \frac{\max(k_2, k_2 + k_3) + 1 + k_1 + k_3}{2}, \\ C(4) &= \frac{k_1 + k_2 + k_3 + 1}{2}, \\ C(5) &= \frac{k_2 + 1 + \min(k_2, k_2 + k_3)}{2}, \\ C(6) &= \frac{k_2 + k_3 + 1}{2}, \\ C(7) &= \frac{k_3 + 1}{2}. \end{aligned} \tag{2.5}$$

Отметим, что для  $N < 7$  соответствующие уровни  $C(i), i = \overline{1, 7-N}$  будут превышать  $N_{\max}$ . Следовательно, для исходного изображения трех объектов  $z(i, j)$  можно получить бинарные изображения каждого из трех объектов  $v_1(i, j), v_2(i, j), v_3(i, j)$  по формулам:

$$v_1(i, j) = \begin{cases} G(z(i, j), 5)(1 - G(z(i, j), 4)) + G(z(i, j), 3), & \text{если} \\ k_2 + k_3 < k_1, \\ G(z(i, j), 4), & \text{если } k_2 + k_3 < k_1. \end{cases}$$

Ниже  $B_2(i, j)$  и  $B_3(i, j)$  — изображения второго и третьего объектов:

$$B_2(i, j) = \begin{cases} G(z(i, j), 6)(1 - G(z(i, j), 5)) + G(z(i, j), 4)(1 - G(z(i, j), 3)) + \\ + G(z(i, j), 2), \text{ если } K_2 + K_3 > K_1, \\ G(z(i, j), 6)(1 - G(z(i, j), 4)) + G(z(i, j), 2), \text{ если } K_2 + K_3 < K_1; \end{cases}$$

$$B_3(i, j) = \begin{cases} G(z(i, j), 7)(1 - G(z(i, j), 6)) + G(z(i, j), 4)(1 - G(z(i, j), 2)) + \\ + G(z(i, j), 1), \text{ если } K_2 + K_3 > K_1; \\ G(z(i, j), 7)(1 - G(z(i, j), 6)) + G(z(i, j), 5)(1 - G(z(i, j), 4)) + \\ + G(z(i, j), 1), \text{ если } K_2 + K_3 < K_1. \end{cases} \quad (2.6)$$

Здесь оператор  $G$  организует бинаризацию:

$$G(z(i, j), k) = \text{sgn}(\text{sgn}(z(i, j) - h_c(k)) + 1) = \begin{cases} 1, & z(i, j) \geq h_c(k), \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

$k = \overline{1, 7}$

Записанные формулы являются универсальными для любого варианта взаимного расположения трех или двух объектов, поскольку в этом случае соответствующие слагаемые в формулах обращаются в нуль из-за того, что величины  $C(i)$ ,  $i = \overline{1, 7-N}$  превышают  $H_{\max}$ .

### 3. ПРОЦЕДУРА ОПТИМАЛЬНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПРИСУТСТВИИ СЛУЧАЙНЫХ ШУМОВ

В предыдущем разделе описан оптимальный классификатор, позволяющий в конечном итоге получить по исходному изображению не более трех объектов изображения каждого из объектов в отдельности. Отметим, что обобщения для случая более трех объектов на исходном изображении являются затруднительными вследствие возрастающего числа вариантов взаимного расположения объектов. При этом возрастает ошибка обработки, связанная с нерезкостью представленных на изображении объектов и неравномерной оптической плотностью по площади объектов, которая на практике часто имеет место.

Процедура оптимальной сегментации изображения нескольких полупрозрачных объектов реализуется следующим образом:

1) по исходному изображению, представленному массивом значений  $z(i, j)$ , определяются значения  $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$ ; для того, чтобы избежать выбросов этих значений, предварительно проводится медианная фильтрация [6] исходного изображения;

2) проводится последовательное сечение по уровню с заданным шагом  $h$ ; для каждого сечения определяется число единиц на бинарном изображении, соответствующем этому сечению уровня. Таким образом, снимается зависимость  $S(j)$ . Шаг  $h$  обычно выбирается, исходя из свойств конкретных изображений в отцифрованном виде, которые часто представляются целочисленными массивами значений оптической плотности. Поэтому  $h = 1, 2, \dots$ ;

3) по измеренной зависимости  $S(j)$  определяется ее производная, оцениваемая конечными разностями:

$$S'(j) = S(j) - S(j-1)$$

и подсчитывается число существенных максимумов полученной функции  $S'(j)$ . Таким образом, определяется  $N$  - число ступенек аппроксимирующей  $S(j)$  ступенчатой функции;

4) проводится оптимальная аппроксимация  $N$ -ступенчатой функцией зависимости  $S(j)$  с использованием формул, аналогичных (2.4), конкретный вид которых определяется числом ступенек  $N$ ; таким образом, определяется минимизирующий набор  $(k_1, k_2, k_3)$ ;

5) по формулам (2.5) проводится определение величины уровней, сечения на которых определяют классы множеств  $f_1, f_2, \dots, f_3$ ; после этого по формулам (2.6) получаются бинарные изображения  $\theta_k(i, j)$ ,  $k = \overline{1, 3}$ , единичные значения которых соответствуют точкам каждого из трех присутствующих на изображении объектов, умножая которые на исходное изображение  $z(i, j)$  можно получить изображения отдельных объектов с точностью до значений оптической плотности в точках, соответствующих перекрывающимся участкам объектов на исходном изображении. Отметим здесь, что в случае присутствия на изображении более трех объектов в результате описанной процедуры получатся изображения трех групп объектов, близких по среднему уровню значений оптической плотности каждого из них, так что и в этом случае будет сделан переход от исходного сложного изображения к более простым. При этом для получения верного результата необходимо,

чтобы площадь участков изображения, соответствующих перекрывающимся частям объектов, была меньше, чем площадь неперекрывающейся части любого из объектов на изображении.

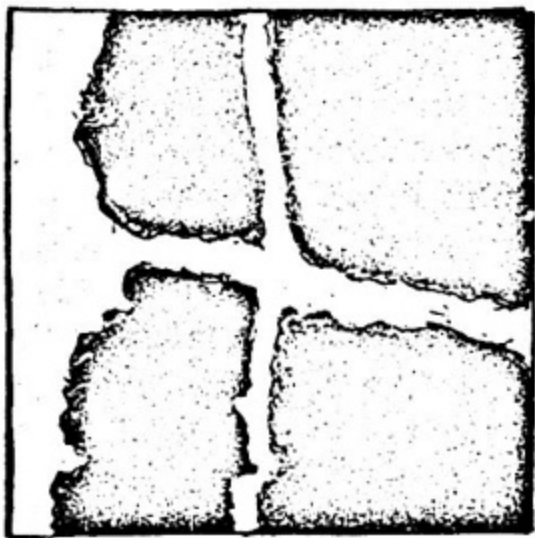
#### 4. СЕГМЕНТАЦИЯ МАЛОКОНТРАСТНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

Изложенные в предыдущих разделах принципы получения изображений отдельных объектов по изображению их совокупности были применены для обработки малоконтрастных рентгеновских снимков. Объекты, присутствующие на этих снимках, отвечают условию примерно постоянного уровня значений оптической плотности в пределах изображения каждого из объектов; кроме того, в областях снимков, где объекты перекрываются, отмечается увеличение оптической плотности по сравнению с соседними областями. Целью разделения объектов на этих снимках является выделение одного из объектов, представляющего наибольший интерес в задаче визуального анализа изображений рассматриваемого класса. Пример такого снимка представлен на рис. 7,а, который показывает рентгеновское изображение фантома, имитирующего введение катетера в организм пациента. Очевидно, что в задаче слежения за продвижением катетера наиболее интересным объектом является сам катетер, изображение которого на снимке является малоконтрастным и нечетким, что осложняет задачу визуального наблюдения, а следовательно, может повлиять на процесс принятия решения врачом. Поэтому, при анализе и цифровой обработке таких снимков необходимо обеспечить повышение контрастности и уровня значений оптической плотности интересующего пользователя объекта для облегчения задачи визуального наблюдения. Отметим, что, решая эту задачу общепринятыми методами повышения контрастности или применения фильтрации [2], можно, улучшив изображение в целом, ухудшить (или частично потерять) изображение интересующего пользователя объекта. Поэтому, перед проведением обработки с помощью общепринятых средств, необходимо применить метод, позволяющий выделить интересующий объект из изображения совокупности объектов с различными средними уровнями значений оптической плотности.

Для того чтобы применить рассмотренные в предыдущих разделах принципы сегментации, предварительно необходимо провести преобразование цифрового массива, соответствующего значениям оптической



а)



б)



в)

Рис.7. Результаты применения метода сегментации для обработки рентгеновских изображений

плотности анализируемого снимка, такое, чтобы выполнялось условие аддитивности в точках, соответствующих перекрывающимся участкам изображений объектов:

$$z^*(i, j) = \Psi(z(i, j)), \quad (4.1)$$

где  $\Psi(\rho_3) = \Psi(\rho_1) + \Psi(\rho_2)$ ,

$\rho_1, \rho_2, \rho_3$  - значения оптической плотности первого объекта, второго объекта и их пересечения соответственно на анализируемом изображении;

$\Psi$  - некоторая неубывающая функция.

Конкретный вид функции  $\Psi$  зависит от характеристик аппаратуры, позволяющей получить соответствующий анализируемому снимку цифровой массив значений оптической плотности. После проведения такой обработки применялся метод сегментации, описанный в данной работе. В результате второй из выделенных на изображении объектов соответствовал интересующему пользователя катетеру, первый и третий объект компоновались из оставшейся части изображения и фона. При этом пересечения третьего и второго объектов, первого и третьего объектов не содержали ни одной точки, что соответствовало варианту взаимного расположения рис. 2е. На рис. 7в представлены результаты применения рассматриваемого метода сегментации для подчеркивания изображения интересующего пользователя объекта, которые свидетельствуют о том, что с помощью этого метода может быть достигнуто значительное повышение качества изображения с точки зрения избирательного повышения контраста в некоторой области изображения.

## ВЫВОДЫ

1. В данной работе приведена общая постановка задачи получения изображений отдельных объектов по наблюдаемому изображению их совокупности в виде полупрозрачных объектов. Разработан подход к получению множеств точек, принадлежащих каждому из объектов, как комбинации множеств точек изображения с различными уровнями значений оптической плотности.

2. Предлагается методика расчета значений уровней оптической плотности, определяющих комбинируемые множества, на основе

аппроксимации измеренной зависимости площади сечения от номера уровня некоторой ступенчатой функцией по среднеквадратичному критерию. Получены соотношения для расчета этих значений.

3. Исследовано применение предлагаемого способа получения изображений отдельных объектов по изображению их совокупности для выделения интересующего пользователя объекта на малоконтрастных рентгеновских снимках. За счет использования предлагаемого метода достигнуто значительное повышение качества изображения интересующего пользователя объекта в задаче визуального наблюдения за ним.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фу К. Последовательные методы в распознавании образов/ Пер. с англ. - М.: Наука, 1971, -255с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений/ Пер. с англ. - М.: Мир, 1982, -790с.
3. Горбатов В.А. Основы дискретной математики. - М.: Высшая школа, 1986, -311с.
4. Berman S., Parikh P., Lee C.S. Computer recognition of overlapping parts, using a single camera. - Pattern Recognition and Image Processing Proc. Conf., Las Vegas, 1982, p. 650 - 655.
5. Kruger R.P. et al. Radiographic diagnosis via feature extraction and classification of cardiac size and shape descriptors. - IEEE Transaction Biomedical Engineering, 1972, N3, p. 174 - 186.
6. Тьрки Д.У. Анализ результатов наблюдения/ Пер. с англ. - М.: Мир, 1981, -693с.

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	<u>3</u>
1. Постановка задачи сегментации . . . . .	<u>3</u>
2. Классификатор сечений уровня . . . . .	<u>9</u>
3. Процедура оптимальной сегментации изображения в присутствии случайных шумов . . . . .	<u>16</u>
4. Сегментация малоконтрастных рентгеновских снимков . . . . .	<u>18</u>
ВЫВОДЫ . . . . .	<u>20</u>
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	<u>21</u>

Волков Николай Григорьевич  
Ерофеева Светлана Дрьевна

Сегментация малококонтрастных рентгеновских  
изображений

Рукопись поступила в издательский отдел 26.06.87

Ответственный за выпуск С.Ю.Ерофеева

---

Л.-59860	Подписано в печать 10/ix-1987г.	Формат 60x84 I/16
П.л. 1,5	Уч.-изд.л. 1,25	Тираж 120экз.
Изд.№ 040-87	Заказ 2652	Цена 10 коп.

---

Типография МИФИ, Каширское шоссе, д.31