

Л. Н. ЩЕЛОВАНОВ, Е. М. ДОРОНИН, Ю. В. ТАРАСОВ

## Машинный метод определения вероятностных характеристик полутоновых изображений и помех на фототелевизионной репродукции

Плоское черно-белое изображение в общем случае характеризуется распределением яркости на плоскости по закону случайной функции. Поэтому объективными характеристиками изображения являются вероятностные характеристики.

Значение вероятностных характеристик (математического ожидания, дисперсии, автокорреляционной функции) различных сюжетов необходимо при решении ряда задач, например связанных с разработкой методов сокращения полосы частот телевизионного сигнала, подавления помех на изображении и др. [1—3]. Во многих практических задачах также необходимо определить вероятностные характеристики яркостных помех, поражающих изображение.

В настоящей работе рассмотрен машинный метод определения (измерения) вероятностных характеристик (математического ожидания, дисперсии и автокорреляционной функции) полутоновых изображений и яркостных помех, содержащихся на фототелевизионной репродукции.

### А. Определение вероятностных характеристик полутоновых изображений

Статистические свойства изображений первым исследовал Э. Кретцмер [4]. Им был предложен прибор, представляющий собой оптико-механическое анализирующее устройство, позволяющее регистрировать различные яркости в соседних точках изображения. Прибор имел низкую точность измерения и ограниченные возможности в отношении размеров исследуемого сюжета.

Машинный метод определения вероятностных ха-

рактеристик полутонового изображения лишен этих недостатков.

Для реализации машинного метода необходимо иметь комплекс устройств, позволяющих ввести в ЦВМ информацию о яркостях отдельных точек изображения. Если учесть, что на снимке содержится  $\sim 10^6$  элементов разложения, то станет ясным, сколь большой массив чисел необходимо ввести и записать в память машины. Такая задача была решена при использовании аппаратуры, обеспечивающей синхронный и синфазный ввод (вывод) в ЦВМ «Минск-22» информации об изображении практически не ограниченных размеров [3].

Комплекс аппаратуры включает в себя преобразователи «аналог — код», «код — аналог» и блок управления непрерывным вводом (выводом) изображения в ЦВМ (рис. 1). Принцип непрерывного синхронного ввода (вывода) сигнала изображения в ЦВМ основан на поочередном использовании блоков оперативной памяти (МОЗУ), т. е. при вводе информации в один из блоков МОЗУ одновременно содержится другое блока МОЗУ переписывается на магнитную ленту. В режиме вывода информация из одного блока МОЗУ выводится на приемное устройство и одновременно в другой блок оперативной памяти с магнитной ленты переписывается информация о следующей части изображения. Такой режим работы ЦВМ условно назван режимом «перекачки». В качестве датчика и приемника видеосигнала использовался фототелеграфный аппарат «Нева».

Заметим, что для решения задач по определению вероятностных характеристик изображения использу-

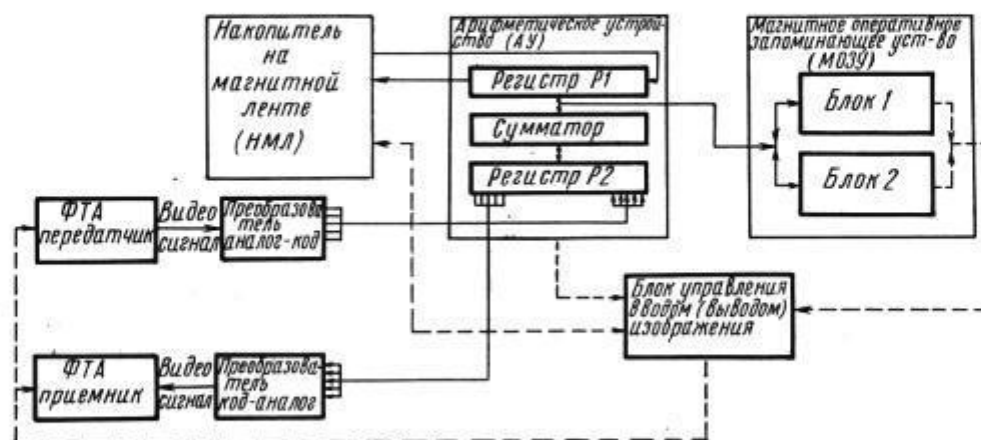


Рис. 1

ется лишь устройство ввода сигнала изображения в ЦВМ. Далее, имея массив случайной функции, характеризующий изображение, программным способом производят расчет математического ожидания, дисперсии и автокорреляционной функции исследуемого сюжета.

Телевизионное изображение имеет сложную статистическую структуру, и лишь для типовых неподвижных изображений можно считать, что источник сообщения обладает свойством эргодичности [2]. Для определения вероятностных характеристик изображений воспользуемся соотношениями, позволяющими рассчитать вероятностные характеристики случайных функций по результатам опыта [5].

За оценки математического ожидания и автокорреляционной функции действительной эргодической стационарной случайной функции принимают средние значения реализаций соответствующих случайных функций при достаточно большом интервале записи  $T$ :

$$m_x^* = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt;$$

$$K_x^*(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} [x(t+\tau) - m_x^*] [x(t) - m_x^*] dt.$$

Если применить для вычисления интегралов формулу прямоугольников, то приведенные соотношения примут вид [5]

$$m_x^* = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n x(t_r); \quad (1)$$

$$K_x^*\left(\frac{mT}{n}\right) = \frac{1}{n-m} \sum_{r=1}^{n-m} [x(t_{r+m}) - m_x^*] \times [x(t_r) - m_x^*]. \quad (2)$$

Дисперсия случайной функции находится по формуле

$$D_x^* = \frac{1}{n} \sum_{r=1}^n [x(t_r) - m_x^*]^2. \quad (3)$$

При расчете вероятностных характеристик изображения в качестве реализации случайной функции  $X(t)$  используется введенный с фототелеграфного аппарата в память машины массив чисел, характеризующий значения яркостей  $x(t_2)$  отдельных точек изображения. В соответствии с формулами (1), (2), (3) были составлены программы расчета на ЦВМ «Минск-22» математического ожидания, дисперсии и корреляционной функции исследуемого сюжета. Эти характеристики были рассчитаны для различных сюжетов. Так, для сюжета крупного плана рис. 2 получены следующие результаты:

$$m_x^* = 0,35; \quad \sigma_x^* = \sqrt{D_x^*} = 0,29.$$



Рис. 2

Найденные величины выражены относительными числами. При вводе изображения в ЦВМ цифровой преобразователь «аналог — код» настраивался таким образом, что элементу изображения с максимальной яркостью соответствовало максимальное число уровней квантования, на которое был настроен преобразователь. Поэтому полученные относительные значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения составляют часть от максимального числа уровней квантования, принятого за единицу. На рис. 3 показана корреляционная функция сюжета

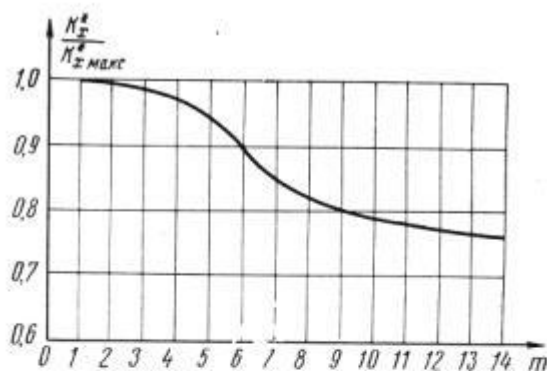


Рис. 3

рис. 2. При расчете на ЦВМ «Минск-22» продолжительность расчета корреляционной функции изображения размером  $200 \times 200$  мм<sup>2</sup> для одного значения  $m$  (см. формулу (2)) в среднем равна 20 мин.

### Б. Расчет вероятностных характеристик яркостных помех на фототелевизионной репродукции (фото пленке)

Для оценки разрешения мелких деталей на зашумленной фототелевизионной репродукции необходимо знать вероятностные характеристики яркостных помех,

измеренные непосредственно на пленке. Решить эту задачу можно на ЦВМ, используя вышеописанный метод, если в качестве измерителя яркостных помех применить микрофотометр, обеспечивающий выдачу на вход преобразователя «аналог — код» сигнала, пропорционального шумовым выбросам помехи.

Рассмотрим порядок определения вероятностных характеристик помех на зашумленной штриховой испытательной таблице.

На рис. 4 показана специально изготовленная штриховая мира, содержащая группы тройных штрихов разных размеров, разбросанных на таблице по случайному закону. На таблице также имеется крупная деталь (прямоугольник), оптическая плотность которой равна оптической плотности штрихов.

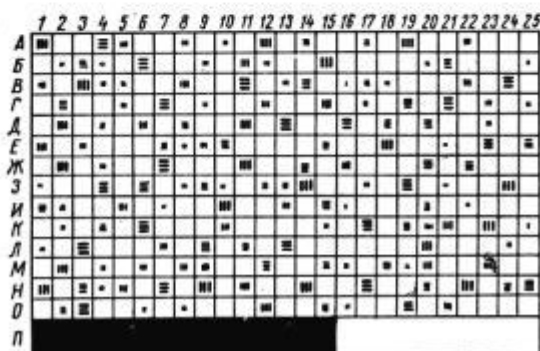


Рис. 4

Образец зашумленной фототелевизионной репродукции показан на рис. 5. Фототелевизионная репродукция должна иметь прозрачную подложку (записана на фотопленке).

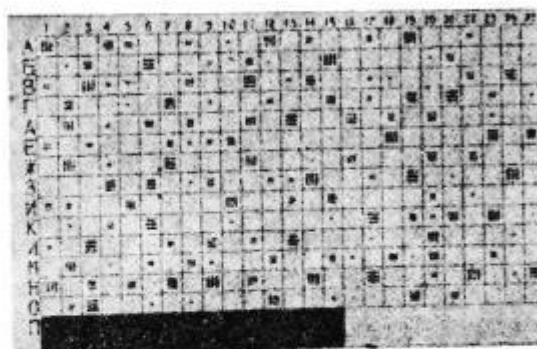


Рис. 5

Для определения вероятностных характеристик яркостных помех в ЦВМ непосредственно с пленки при помощи микрофотометра МФ-4 и цифрового преобразователя «аналог — код» во внешнюю память машины

вводилась информация о величине яркостных помех, находящихся на крупной детали и фоне. При вводе помех с зашумленной репродукции последняя различным образом может быть размещена на предметном столике микрофотометра, поэтому имеется возможность ввести в ЦВМ яркостные помехи, расположенные вдоль строки или в любом другом направлении по отношению к направлению строки. Микрофотометр позволяет выбрать строго определенную строку и ввести в ЦВМ яркостные помехи, расположенные только на ней. В этом случае реализация записанных вдоль строки помех соответствует реализации помех источника. Имеется в виду соответствие поступления помех от источника и их записи. Приведенные ниже результаты измерений соответствуют случаю, когда в ЦВМ вводились помехи, расположенные вдоль строки.

При эксперименте производилась оптимальная настройка микрофотометра: оптический клин микрофотометра устанавливался в такое положение, когда от участка с минимальной оптической плотностью срабатывали все  $l$  разрядов преобразователя, что соответствует  $2l$  уровням квантования. Так как для нормальной работы используемого в эксперименте преобразователя «аналог — код» входной сигнал менялся в пределах от 0 до 5 В, то чувствительность микрофотометра была увеличена заменой фотоэлемента фотоумножителем. Кроме того, лампа осветителя микрофотометра питалась постоянным током (от аккумулятора). Иначе из-за отсутствия инерционности у цифрового преобразователя (в отличие от зеркального гальванометра, находящегося в микрофотометре) получаются недопустимо большие наводки.

Для введенных в ЦВМ реализаций яркостных помех находились вероятностные характеристики: математическое ожидание  $M_{\tau}$ , дисперсия  $D_{\tau}$  (среднеквадратичное отклонение  $\sigma_{\tau}$ ) и функция автокорреляции  $K_{\tau}$ . У приведенных величин имеется индекс  $\tau$ , так как сигнал на выходе микрофотометра пропорционален коэффициенту прозрачности  $\tau$ . Зная величину  $M_{\tau}$ , измеренную непосредственно на фототелевизионной репродукции (пленке), можно определить значение сигнала, имеющего физический смысл изменения прозрачности на участке «деталь — фон»:

$$\Delta \bar{\tau} = M_{\tau_{\phi}} - M_{\tau_{д}}, \quad (4)$$

где  $M_{\tau_{\phi}}$  — математическое ожидание (среднее) коэффициента прозрачности зашумленности фона, а  $M_{\tau_{д}}$  — математическое ожидание коэффициента прозрачности зашумленной детали.

Отношение сигнал/шум рассчитывалось по формуле

$$\psi = \frac{\Delta \bar{\tau}}{\sigma_{\tau_{\phi}}}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{\tau_{\phi}}$  — среднее квадратичное отклонение яркостного шума на фоне, измеренное непосредственно на репродукции.

Если раскрыть значения  $\Delta \bar{\tau}$  и  $\sigma_{\tau_{\phi}}$  в формуле (5), учитывая (1, 3, 4), то получим

$$\psi = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_{\phi_i} - \tau_{d_i})}{\sum_{i=1}^n (\tau_{\phi_i} - M_{\tau_{\phi}})^2}}. \quad (6)$$

Для показанной на рис. 5 зашумленной фототелевизионной репродукции измеренные по приведенной методике вероятностные характеристики имеют следующие значения:

$M_{\tau_{\phi}} = 0,4$ ;  $M_{\tau_{d}} = 0,09$ ;  $\sigma_{\tau_{\phi}} = 0,24$ ;  $\psi = 1,29$ .  
Контрастность детали равна

$$K = \frac{M_{\tau_{\phi}} - M_{\tau_{d}}}{M_{\tau_{\phi}}} = 0,77.$$

Определить разрешаемую группу штрихов по зашумленной испытательной таблице можно лишь с определенной вероятностью на основании статистических исследований. При этом в эксперименте должна участвовать группа экспертов.

Статистические исследования показали, что вероятность различения штрихов в штриховых группах зависит от отношения сигнал/шум ( $\psi$ ), контрастности штрихов ( $K$ ) и характеристики (закона распределения) шума.

Так, в результате статистических исследований было найдено, что для показанной на рис. 5 зашумленной испытательной таблицы ( $\psi=1,29$ ;  $K=0,77$ ) штрихи размером 0,4 мм разрешаются с вероятностью  $p=0,98$ .

Указанная методика определения размера разрешаемых штрихов на зашумленной испытательной таблице ценна тем, что характеристики шума и контрастность штрихов определяются (измеряются) непосредственно на репродукции, подвергаемой экспертизе.

Машинный метод позволяет также определить закон распределения шума.

## Выводы

Для реализации машинного метода определения вероятностных характеристик полутоновых изображений требуется комплект аппаратуры, позволяющий ввести информацию о яркости отдельных точек изображения в ЦВМ. В качестве такой аппаратуры может быть использован передающий фототелеграфный аппарат (например, ФТА «Нева») и цифровой преобразователь «аналог — код». При вводе в ЦВМ информации о яркостных помехах на фототелевизионной репродукции рекомендуется использовать микрофотометр (например, МФ-4) и преобразователь «аналог — код». Введенный в ЦВМ массив чисел представляет собой реализацию случайного процесса, вероятностные характеристики которого и определяются далее программным способом.

В работе также приведена методика определения яркостного сигнала, контрастности детали, отношения сигнал/шум и размера разрешаемых штрихов на зашумленной фототелевизионной репродукции. Показано, что определение размера разрешаемых штрихов должно производиться на основании статистических исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Орловский Е. Л., Халфин А. М., Зава-рин Г. Д., Щелованов Л. Н. и др., Теоретические основы электрической передачи изображений, т. II, «Советское радио», 1962.
2. Лебедев Д. С., Цуккерман И. И., Телевидение и теория информации, «Энергия», 1965.
3. Щелованов Л. Н., Шелутко Л. А., Колесова А. В., Доронин Е. М., Тарасов Ю. В., Техника кино и телевидения, 1970, № 11.
4. Kretzmer E., Statistics of Television Signal, Bell System Techn. Journ., 1952, 31, No. 7.
5. Пугачев В. С., Теория случайных функций, Физматгиз, 1960.