

© Кукушкин С.С., Гулый Н.Н.  
Kukooschkin S.S., Gooluy N.N.

## НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЯХ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

## NEW METHODS AND TECHNOLOGIES OF PROCESSING OF VIDEO IMAGES AT NATURAL TESTS OF COMPLICATED TECHNICAL SYSTEMS

**Аннотация.** Статья посвящена разработке новых методов и технологий обработки оптической информации, полученной на основе видеоизображений при совмещенных натурных испытаниях нескольких сложных технических систем. Показано, что наилучшие результаты могут быть достигнуты при использовании адаптивной процедуры, определяющей допустимую степень обострения контуров изображений.

**Annotation.** Article is devoted working out of new methods and technologies of processing of the optical information received on the basis of video images at combined natural tests of several complicated technical systems. It is shown, that the best results can be reached at use of the adaptive procedure defining admissible degree of an aggravation of contours of images.

**Ключевые слова.** Натурные испытания нескольких сложных технических систем, новых методов и технологий обработки оптической информации, видеоизображения.

**Key words.** Natural tests of several complicated technical systems, new methods and technologies of processing of the optical information, video images.

Современный этап развития измерительных комплексов характеризуется переходом к цифровым методам представления, передачи, приема, регистрации, сбора и обработки измерительной информации. В результате этого открываются принципиально новые возможности для повышения эффективности информационно-измерительного обеспечения (ИИО) испытаний, боевого применения вооружения и военной техники (ВВТ). Однако только переход на цифровые методы представления данных измерений не приводит к желаемому результату, поскольку сопровождается появлением новых проблем, требующих нахождения методов их разрешения. Наиболее рациональный путь к удовлетворению появляющихся требований заключен в разработке и полезном использовании новых измерительных, связанных, вычислительных и информационных технологий.

Один из существенных недостатков проводимой в настоящее время модернизации измерительных комплексов полигонов и космодромов МО РФ заключается в том, что этому не уделяется должного внимания. Поэ-

тому переход на цифровые технологии во многих случаях представляют собой «шаг вперед и два шага назад» в области ожидаемого всеми прогресса от реализации новых ОКР. В настоящее время полигонный измерительный комплекс претерпел существенную модернизацию в части, касающейся оптических траекторных средств объективного контроля. Ранее в качестве материалов регистрации оптическими измерительными средствами использовались широкоформатные фотопленки – для патрульных средств, кинопленки – для следящих средств. Новые измерительные средства снабжены одним или несколькими приборами с зарядовой связью, так называемыми ПЗС-матрицами. Все получаемая измерительная информация записывается на современные носители информации (видеокассеты, жесткие магнитные диски, карты памяти). С целью определения траекторных параметров при натурных испытаниях сложных технических систем огромный объем получаемой видеоинформации на первом этапе проходит автоматизированную обработку. На этом этапе производится цифровая фильтра-

---

Кукушкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник 4 ЦНИИ Министерства обороны РФ, тел. 515-19-82,

Гулый Николай Николаевич – начальник отдела 4 ГЦМП Министерства обороны РФ, тел. 727-43-87.

Kukooschkin Sergej Sergeevich – Dr. Sci. Tech, the professor conducting the scientific employee, 4 CNII the Ministries of Defense, tel. 515-19-82, Gooluy Nikolaj Nikolaevich – the chief of division of 4 GCMP the Ministries of Defense, tel. 727-43-87.

ция ви-деоизображений и определение центров световых пятен экспонируемых явлений.

Пример видеоизображения при натуральных испытаниях сложных технических систем приведен на рис. 1.



Рис. 1. Видеоизображение при натуральных испытаниях

Цифровая фильтрация видеоизображений проводится с целью четкого определения границ светящейся области. Под цифровой фильтрацией понимается модификация элемента видеоизображения с целью оптимизации яркости и контраста или проведения операций сглаживания, обострения границ светящихся областей с учетом значений градаций яркости соседних элементов. Коэффициенты, на которые при фильтрации умножаются значения яркости, сводятся в матрицу  $\|M\|$ . Такая матрица называется матрицей свертки.

Для фильтрации изображений применяются двумерные фильтры, отвечающие двумерной природе самого изображения. Такой двумерный фильтр строится следующим образом. Берется небольшой, обычно прямоугольный участок плоскости и на нем определяется некоторая функция. Упомянутый участок называется апертурой или окном, а заданная на нем функция – весовой функцией или функцией окна. Таким образом, каждому элементу апертуры соответствует (присваивается пользователем) определенное число, называемое в дальнейшем весовым множителем. Совокупность всех весовых множителей и составляет весовую функцию. Апертуру вместе с заданной на ней весовой функцией называют матрицей свертки [1] или маской [2]. Обычно используются апертуры  $3 \times 3$  элемента. Увеличение размеров апертуры существенно увеличивает объем вычислений, в то время как качество обработки улучшается незначительно [3].

Фильтрация осуществляется перемещением апертуры фильтра по изображению. В каждом положении апертуры выполняются однотипные действия, которые и определяют отклик фильтра. Весовая функция в процес-

се перемещения окна также остается неизменной (стационарный фильтр). Поэтому фильтрацию скользящим окном относят к пространственно-инвариантным операциям [4].

При каждом положении апертуры весовая функция поэлементно умножается на значение соответствующих пикселей исходного изображения, произведения суммируются, сумма делится на нормирующий коэффициент и полученная величина, являющаяся откликом фильтра, присваивается тому пикселю нового (профильтрованного) изображения, который соответствует фокусу (центру) апертуры [1]. Нормирующий коэффициент в сглаживающих фильтрах берется равным сумме всех элементов весовой функции (весовых множителей). Фильтры могут быть линейные и нелинейные. В линейных фильтрах отклик является линейной функцией многих переменных, роль которых играют попавшие в маску пиксели. Весовые множители – это коэффициенты упомянутой линейной функции. Фильтры, в которых отклик не может быть выражен линейной функцией от значений элементов изображения, являются по определению нелинейными (например, степенные и многопараметрические фильтры).

Фильтрация требует перемещения маски (апертуры) по обрабатываемому изображению. Маска перемещается вдоль строки слева направо с шагом в один пиксель. Дойдя до конца одной строки, переходит к началу следующей. Начальное положение маски – в левом верхнем углу поля. Фильтрация продолжается до тех пор, пока маска не окажется в правом нижнем углу поля.

Иногда оказывается полезным многократное повторение процедуры фильтрации. В этих случаях говорят об итеративном применении фильтров.

Положение апертуры на исходном изображении представлено на рис. 2.

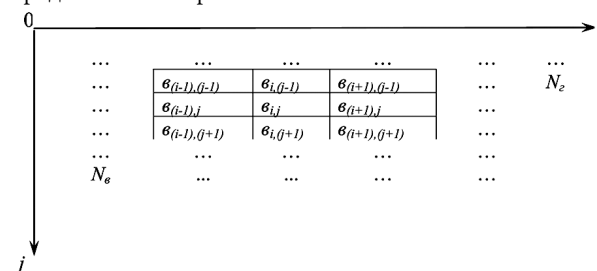


Рис. 2. Положение апертуры на исходном изображении

Окна апертуры отображают яркости  $v_{(i-1), (j-1)} \dots v_{ij} \dots v_{(i+1), (j+1)}$  элементов изображения. Модифицируемым является элемент  $v_{ij}$ .

Для удобства представления математических операций фильтрации матрица весовых коэффициентов

будет представляться вектором-строкой  $\|K\|$  размером  $1 \times 9$   
 $\|K\| = \|k_1 \ k_2 \ \dots \ k_5 \ \dots \ k_9\|$ .

Яркости элементов исходного изображения, помещаемые в окна апертуры, представляются вектором-столбцом  $\|B\|$  размером  $9 \times 1$

$$\|B\| = \begin{pmatrix} \mathcal{B}_{(i-1),(j-1)} \\ \vdots \\ \mathcal{B}_{ij} \\ \vdots \\ \mathcal{B}_{(i+1),(j+1)} \end{pmatrix}.$$

Модифицируемая яркость элемента изображения определяется из выражения

$$v_{ij}' = \frac{\|K\| \cdot \|B\|}{\sum_{n=1}^9 k_n}; \quad \begin{matrix} i = 0, 1 \dots N_2; \\ j = 0, 1 \dots N_6; \\ n = 1, 2 \dots 9. \end{matrix}$$

Рассмотрим основные виды цифровых фильтров, применяемые для обработки видеоизображений с целью получения оптимальных измерений. При этом упор сделан на обработку изображений, полученных в темное время суток. Конструирование фильтров проводится в итеративном режиме.

Цифровые усредняющие фильтры применяются для подавления шумов и борьбы с помехами дискретизации. Операция подавления шума в изображении должна устранить различия яркости, обусловленные условиями съемки и ограниченными возможностями технических устройств. Под борьбой с помехой дискретизации понимают ослабление ступенчатости, которая появляется на границе между ярким объектом и темным фоном на наклонных линиях и линиях окружности с большим диаметром.

Вектор-строка  $\|K\|$  при усреднении изображения равен

$$\|K\| = \|1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1\|.$$

Обработка изображений фильтрами нижних частот есть операция фильтрации, целью которой является устранение высоких частот в изображении, то есть интенсивных деталей, и тем самым сглаживания изображений, сохраняя при этом низкие частоты. Фильтры нижних частот, в отличие от усредняющих фильтров, предусматривают повышение влияния модифицируемого элемента за счет увеличения веса его коэффициента  $K_5$ , а также усиление влияния соседних элементов изображения за счет повышения весов четных элементов матрицы  $\|K\|$ .

При  $\|K\| = \|1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 5 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1\|$  – фильтрация с увеличением веса модифицируемого элемента.

При  $\|K\| = \|1 \ 3 \ 1 \ 3 \ 5 \ 2 \ 3 \ 1 \ 3\|$  – фильтрация с увеличением веса модифицируемого элемента и весов ближайших элементов.

Конструируя определенным образом матрицу  $\|K\|$ , можно при фильтрации подчеркивать в изображении линии определенного направления.

Фильтры высоких частот действуют противоположно фильтрам нижних частот. Они оставляют без изменения высокие частоты в изображении и сглаживают области изображения около деталей. Фильтры верхних частот применяются для выделения таких деталей изображения, как контуры или для повышения резкости изображения. Чтобы повысить резкость изображения, нужно усилить скачки яркости на контурах объекта. Изменение яркости в зоне контура раздела объектов можно изобразить сглаженной ступенчатой линией, представленной на рис. 3(а).

Яркость меняется не резко, а на протяжении нескольких элементов изображения. Задача повышения резкости яркостных переходов заключается в том, чтобы в зонах контуров светлые элементы изображения сделать еще более светлыми, а темные – еще более темными. На рис. 3(б) показан ход первой производной. Теперь следует отыскать зоны, в которых происходят наиболее сильные изменения яркости. Для этого следует найти вторую производную, поскольку она образует графическую функцию, выражающую крутизну первой производной. Как показывает график на рис. 3(в), самые сильные скачки приходятся на начало и конец контурного перехода. Именно их и требуется усилить. Для этого вторая производная инвертируется и суммируется с выходной функцией. В результате получается график изменения яркости, показанный на рис. 3(г). При этом зона контура оказывается подчеркнутой благодаря тому, что существенно усилены изменения яркости в начале и конце контура.

Задача прорисовки контуров модифицированного изображения решается с помощью матрицы весовых коэффициентов  $\|K\|$

$$\|K\| = \|-1 \ -1 \ -1 \ -1 \ K_5 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1\|.$$

Из матриц видно, что коэффициент  $K_5$  не имеет постоянного значения и является функцией остальных весовых коэффициентов матрицы. С его помощью можно воздействовать на относительную величину коррекции контуров. Этот коэффициент определяет, какой процент второй производной добавляется к первоначальному изображению. Чем выше его значение, тем слабее его эффект обострения. Коэффициент  $K_5$  вычисляется по формуле [1]

$$K_5 = \text{int}\left(\frac{100}{S} - 1 + 8\right),$$

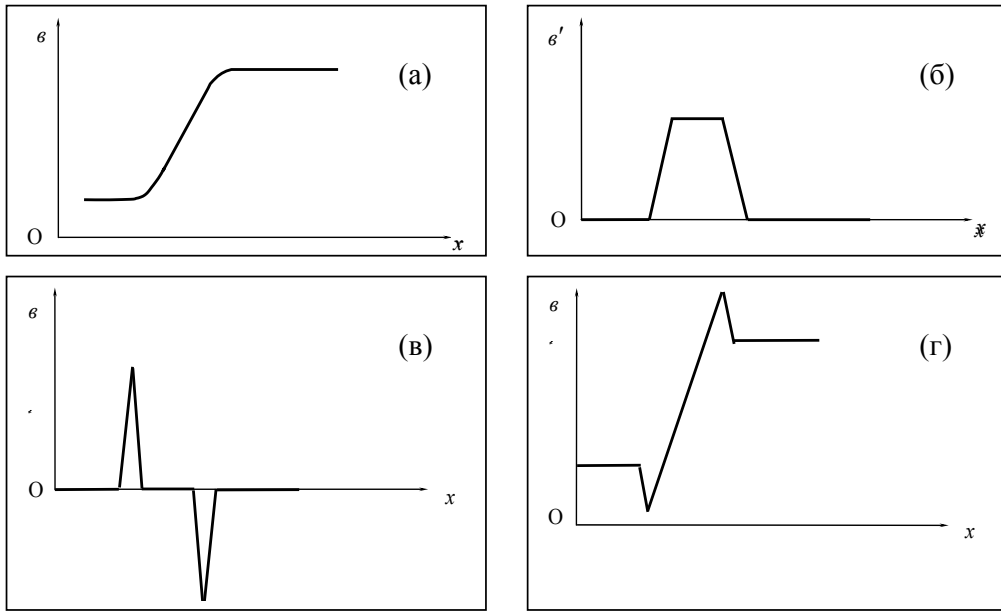


Рис.3. Изменение яркости в зоне контура (а), его первая (б) и вторая (в) производные; изменение яркости после коррекции резкости контуров (г)

где  $S$  – степень обострения, совпадающая со значением процентной добавки второй производной;

$\text{int}$  – округление до следующего целочисленного значения.

В случае  $K_5 = 0$  его значение меняется на 1.

Значение модифицированного элемента вычисляется по формуле

$$e'_{ij} = \frac{\|K\| \cdot \|B\|}{K_5 - 8}, \quad i = 0, 1 \dots N_2; \quad j = 0, 1 \dots N_6.$$

Существуют фильтры, выделяющие контуры, а именно вертикальные, горизонтальные и наклонные. Фильтры выделения контуров являются также фильтрами верхних частот. В отличие от задачи обострения контуров здесь основной целью является не улучшение изображения. Наоборот, контуры должны быть отделены от всего изображения так, чтобы выходное изображение состояло только из контуров. Применяемые для этой цели типичные фильтровые маски (матрицы) известны под названием «операторов Собела» или «курсовых градиентных масок» [3].

Матрица  $\|K\| = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & -2 & 0 & 2 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  выделяет правый вертикальный контур и применительно к термину «курсовая» называется «восток».

Матрица для выделения левого вертикального контура называется «запад». Имеет вид

$$\|K\| = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 2 & 0 & -2 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Значение яркости модифицируемого элемента с применением фильтров вида (4.9, 4.10) [1] определяется из выражения

$$e'_{ij} = \frac{\|K\| \cdot \|B\|}{8}, \quad i = 0, 1 \dots N_2; \quad j = 0, 1 \dots N_6.$$

Для выделения вертикальных контуров используются и другие матрицы, имеющие несколько иные весовые функции [3].

Матрицы «восток»  $\|K\| = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & -1 & -2 & 1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ .

Матрицы «запад»  $\|K\| = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & 1 & -2 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$ .

Вычисление яркости модифицируемого элемента проводится без учета нормирующего коэффициента.

$$e'_{ij} = \|K\| \cdot \|B\|; \quad i = 0, 1 \dots N_2; \quad j = 0, 1 \dots N_6.$$

По методическому подходу фильтры выделения горизонтальных контуров аналогичны фильтрам выделения вертикальных контуров и носят названия «север» и «юг».

Фильтры «север»  $\|K\| = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$ ,

$$\|K\| = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & 1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Фильтры «юг»  $\|K\| = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ ,

$$\|K\| = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & 1 & -2 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Комбинационные фильтры применяются для выделения контуров определенной ориентации, отличной от вертикальной и горизонтальной. Для каждой ориентации здесь также используется два типа фильтров. Первый тип – с приоритетом ближайшего и диагонального элементов со стороны ориентации. Второй тип – приоритет модифицируемого элемента.

Фильтры первого типа:

«северо-восток»  $\|K\| = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 4 & -2 & 0 & 2 & -4 & -4 & -2 \end{bmatrix}$ ;

«юго-восток»  $\|K\| = \begin{bmatrix} -4 & -4 & -2 & -2 & 0 & 2 & 2 & 4 & 4 \end{bmatrix}$ ;

$$\begin{aligned} \text{«северо-запад» } \|K\| &= \|4 \ 4 \ 2 \ 2 \ 0 \ -2 \ -2 \ -4 \ -4\|; \\ \text{«юго-запад» } \|K\| &= \|-2 \ -4 \ -4 \ 2 \ 0 \ -2 \ 4 \ 4 \ 2\|; \\ \epsilon'_{ij} &= \frac{\|K\| \cdot \|B\|}{8}; \quad i = 0, 1 \dots N_2; \\ & \quad j = 0, 1 \dots N_6. \end{aligned}$$

Фильтры второго типа:

$$\begin{aligned} \text{«северо-восток» } \|K\| &= \|1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -2 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1\|; \\ \text{«юго-восток» } \|K\| &= \|-1 \ -1 \ 1 \ -1 \ -2 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1\|; \\ \text{«северо-запад» } \|K\| &= \|1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -2 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1\|; \\ \text{«юго-запад» } \|K\| &= \|1 \ -1 \ -1 \ 1 \ -2 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1\|. \\ \epsilon'_{ij} &= \|K\| \cdot \|B\|; \quad i = 0, 1 \dots N_2; \\ & \quad j = 0, 1 \dots N_6. \end{aligned}$$

Для выделения перепадов без указания их ориентации используются следующие три вида весовых матриц (операторы Лапласа) [3]:

$$\begin{aligned} \|K\| &= \|0 \ -1 \ 0 \ -1 \ 4 \ -1 \ 0 \ -1 \ 0\|; \\ \|K\| &= \|-1 \ -1 \ -1 \ -1 \ 8 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1\|; \\ \|K\| &= \|1 \ -2 \ 1 \ -2 \ 4 \ -2 \ 1 \ -2 \ 1\|. \\ \epsilon'_{ij} &= \|K\| \cdot \|B\|; \quad i = 0, 1 \dots N_2; \\ & \quad j = 0, 1 \dots N_6. \end{aligned}$$

Ранее рассмотренные фильтры относятся к классу линейных фильтров. Основные понятия теории локальной линейной фильтрации справедливы и для локальной нелинейной фильтрации. Имеются в виду понятия, относящиеся к процессам выбора апертуры и способов перемещения апертуры по изображению. Весовые функции применяются не всегда. Главное отличие от линейного фильтра состоит в том, что выход нелинейного фильтра формируется нелинейным образом от данных исходного изображения.

Ярким представителем нелинейного фильтра является экспоненциальный фильтр, размер апертуры которого равен единице. Движение апертуры по изображению осуществляется также, как в случае линейной фильтрации, только с размером апертуры, равным единице. Яркость модифицируемого элемента определяется по формуле [1] (гамма-функция)

$$\epsilon'_{ij} = \left( \frac{\epsilon_{ij}}{\epsilon_{\max}} \right)^{\gamma} \cdot \epsilon_{\max},$$

где  $\epsilon'_{ij}$  – яркость модифицируемого элемента;

$\epsilon_{ij}$  – исходная яркость этого элемента;

$\epsilon_{\max}$  – максимально возможное значение яркости, обычно выбираемое равным предельному значению стандартного байтового слова – 255;

$\gamma$  – показатель, с помощью которого можно изменять яркость изображения. При значении  $\gamma$  меньше единицы изображение темнеет, а при значении большем едини-

цы – светлеет. Обычно для осветления  $\gamma$  лежит в пределах от 1,8 до 2,1.

С помощью гамма-функции можно не только обеспечить равномерное осветление или затемнение, но и уменьшить потери видеoinформации. Если проанализировать приведенную формулу, то можно убедиться в том, что независимо от выбранного значения показателя  $\gamma$  яркость изображения  $\epsilon'_{ij}$  не выходит за пределы 0 и 255.

Следовательно, при осветлении изображений на основе гамма-функции происходит компрессия диапазона яркостей, но значения яркости не достигают предельных значений. При этом особенно важным для сохранения качества изображения является новый положительный эффект, заключающийся в том, что чисто черные элементы с яркостью 0 остаются таковыми и после осветления, поскольку в соответствии с приведенной формулой входная яркость 0 дает также выходную яркость 0. Чисто черный цвет необычайно важен для обеспечения контраста изображения и поэтому при осветлении должен сохраняться. На рис. 4 представлена градационная кривая, полученная при значении гамма-функции, равном 2,0 [1].

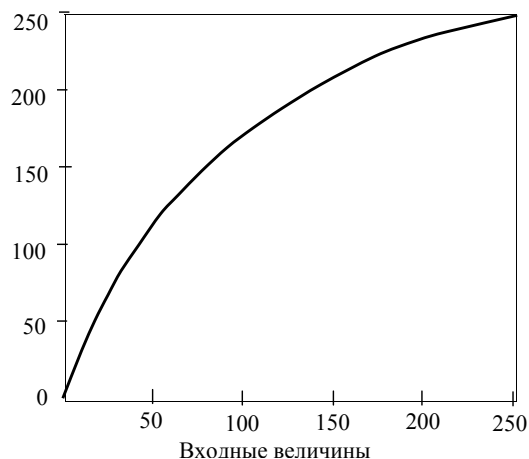


Рис. 4. Градационная кривая при осветлении со значением гамма-функции, равной 2,0

После применения гамма-функции минимальные различия яркостей в области нижних градаций становятся большими, чем в области верхних градаций. Это эквивалентно повышению контраста в местах изображения с меньшей яркостью, что, в свою очередь, способствует улучшению зрительного впечатления от изображения, полученного в результате экспоненциального осветления. Данный фильтр исключительно важен при работе оператора с видеокадрами, полученными в темное время суток.

Многopараметрические фильтры относятся к классу нелинейных фильтров. Они проводят фильтрацию изображений матрицами весовых коэффициентов, которые

аналогичны по построению линейным фильтрам: обработка сначала производится отдельно по оси абсцисс и оси ординат исходного изображения, а затем яркость модифицируемого элемента изменяется в соответствии со степенной функцией результатов фильтрации по каждой оси. Такой подход подобен построению фильтра, получившего название фильтра Собела [3]. При этом профильтрованная яркость модифицируемого элемента  $\epsilon'_{ij}$  определяется на основе следующего алгоритма:

$$\epsilon'_{ij} = \sqrt{\epsilon'^2_{x(ij)} + \epsilon'^2_{y(ij)}}; \quad i = 0, 1 \dots N_x; \quad j = 0, 1 \dots N_y.$$

При этом весовая матрица для фильтрации по оси X представляется следующей вектор-строкой:

$$\|K\| = \|-1 \ -2 \ -1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 2 \ 1\|.$$

$$\epsilon'_x(ij) = \|K\| \cdot \|B\|.$$

Весовая матрица для фильтрации по оси Y:

$$\|K\| = \|1 \ 0 \ -1 \ 2 \ 0 \ -2 \ 1 \ 0 \ -1\|.$$

$$\epsilon'_y(ij) = \|K\| \cdot \|B\|.$$

Неплохие результаты дает упрощенный вариант фильтра Собела, не требующий операций возведения в степень и извлечения корня

$$\epsilon'_{ij} = \left| \epsilon'_x(ij) \right| + \left| \epsilon'_y(ij) \right|; \quad i = 0, 1 \dots N_x; \quad j = 0, 1 \dots N_y.$$

Этот результат получен на основе замещающей математической конструкции (ЗМК), позволяющей перейти от квадратурного представления составляющих яркости к упрощенному модульному виду. Расширенные возможности для подобных замен, приводящие к требуемой проблемно-ориентированной оптимизации в условиях структурно-параметрической неопределенности, обеспечиваются при использовании конструктивной теории конечных полей [7,8].

Основные правила, используемые при конструировании фильтров, предназначенных для обработки видеоизображений:

1. Весовые матрицы фильтров нижних частот имеют только положительные весовые коэффициенты. Нормирующий коэффициент равен сумме значений весовых коэффициентов матрицы.

2. В фильтрах верхних частот весовые коэффициенты матрицы могут быть или полностью отрицательными, или часть из них может иметь положительные значения. Нормирующий коэффициент для таких фильтров всегда равен единице.

3. Центральный коэффициент матрицы представляет собой либо сумму периферийных коэффициентов,

либо должен быть на единицу ее меньше, взятым с противоположным знаком

$$K_5 = -\sum_1^n k_n \quad \text{или} \quad K_5 = -\left(\sum_1^n k_n - 1\right), \quad n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.$$

Периферийные коэффициенты подбираются в зависимости от ориентации и степени обострения контура. В работе [5] отмечается, что весовые функции, используемые для дифференцирования, должны обладать тем свойством, что сумма их элементов равна нулю.

4. С помощью степенного фильтра изображения можно осветлять и затемнять. При значении показателя  $\gamma$  больше единицы изображение светлеет, при значении меньше единицы – темнеет. На рис. 5 приведены кривые результатов преобразований исходных изображений с яркостями 20, 50, 80, 230 гаммой-функцией с различными показателями  $\gamma$ .

Анализ поведения кривых показывает, что чем ниже исходная градация яркости, тем больше разница градаций яркости исходного и профильтрованного изображения. При осветлении изображений оптимальное значение  $\gamma$  равно от 1,8 до 2,1. При затемнении изображений значение  $\gamma$  должно быть 0,4. При проведении фильтрации в интерактивном режиме (например, 2 раза) с этим показателем убираются ореолы вокруг светящейся области и хорошо выделяются ее границы.

5. Ночные видеосъемки характерны большим количеством помех в области верхних частот, поэтому фильтрацию изображений необходимо проводить сначала с использованием усредняющего фильтра или фильтров нижних частот в итеративном режиме (3–5 раз), а затем фильтрами верхних частот или многопараметрическими фильтрами (2 раза). Неплохие результаты дает фильтрация степенным фильтром при

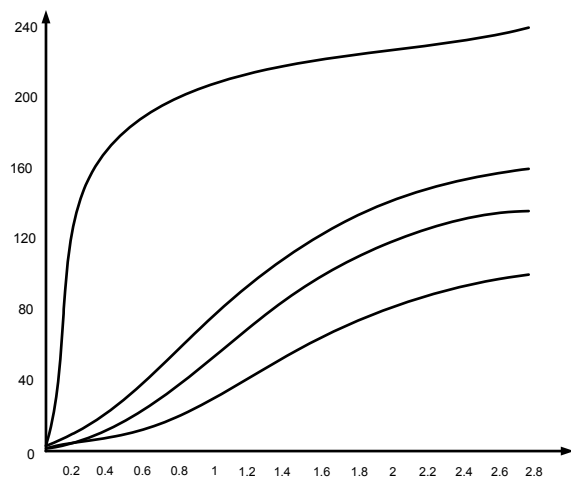


Рис. 5. Кривые преобразований гамма-функций исходных изображений с яркостями 20 (1), 50 (2), 80 (3), 230 (4)

$\gamma$  равным 0,4 (2 раза) и затем многопараметрическим фильтром (2 раза).

*Выводы.* Проведенные исследования видеокадров, полученных в ходе натуральных экспериментов при испытаниях СТС, показали, что лучшие результаты дает применение усредняющего и многопараметрических фильтров. При этом наилучшие результаты могут быть достигнуты за счет адаптивной процедуры, определяющей допустимую степень обострения контуров. По сути, оптимальная обработка изображений может быть достигнута

на основе компромиссов, поскольку при необходимости более сильного обострения контуров может также обостриться фон Земли и, как следствие, потеряться или исказиться свечение вех. В этом случае необходимо сначала снять картинные координаты вех (ориентиров) без фильтрации. При необходимости одновременного снятия координат вех и центров вспышек подбор фильтров и итеративную фильтрацию проводить так, чтобы не было значительного искажения свечения вех.

#### *Литература*

1. Шелихт Г. Цифровая обработка цветных изображений. Пер. с нем. М., ЭКОМ, 1997.
2. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. Пер. с англ. М., Радио и связь, 1986.
3. Прэнт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. М., Мир, 1982.
4. Розенфельд А. Распознавание и обработка изображений. Пер. с англ. М., Мир, 1972.
5. Путьтин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М., Машиностроение, 1990.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., Наука, 1984.
7. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика /Т.1 Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: МО РФ, 2003. – 284с.
8. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем М.: МО РФ, 2008. – 328с.

Материал поступил в редакцию 28. 12. 2009 г.