

Улучшение на основе арифметико-логических операций

В применении к изображениям, арифметико-логические операции являются поэлементными преобразованиями над двумя или более изображениями (за исключением операции НЕ, которая выполняется над одним изображением и выполняет ту же самую операцию, что и негативное преобразование). Например, разность двух изображений дает новое изображение, значение элемента с координатами (i, j) которого есть разность значений элементов двух изображений в той же самой точке. Известно, что логические операции И, ИЛИ, НЕ являются базовыми, а любая другая логическая операция может быть получена с использованием только этих трех основных операций.

Таблица Логические операторы

Оператор	Выражение
NOT (НЕ)	$c = \bar{a}$
OR (ИЛИ)	$c = a + b$
AND (И)	$c = a \cdot b$
XOR (суммирование по модулю 2)	$c = a \oplus b = a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b$
SUB (разность)	$c = a - b = a \cdot \bar{b}$

При выполнении логических операций над полутоновыми изображениями значения элементов обрабатываются как строки двоичных значений. Например, выполнение операции НЕ над 8-битовым черным пикселем (строка из восьми нулей) приведет к получению белого пикселя (строка из восьми единиц). Промежуточные значения преобразуются похожим образом, изменяя нули на единицы и наоборот.

Примеры обработки изображений представлены на рис.б. , на которых логическая единица соответствует черному цвету, логический ноль соответствует белому цвету.

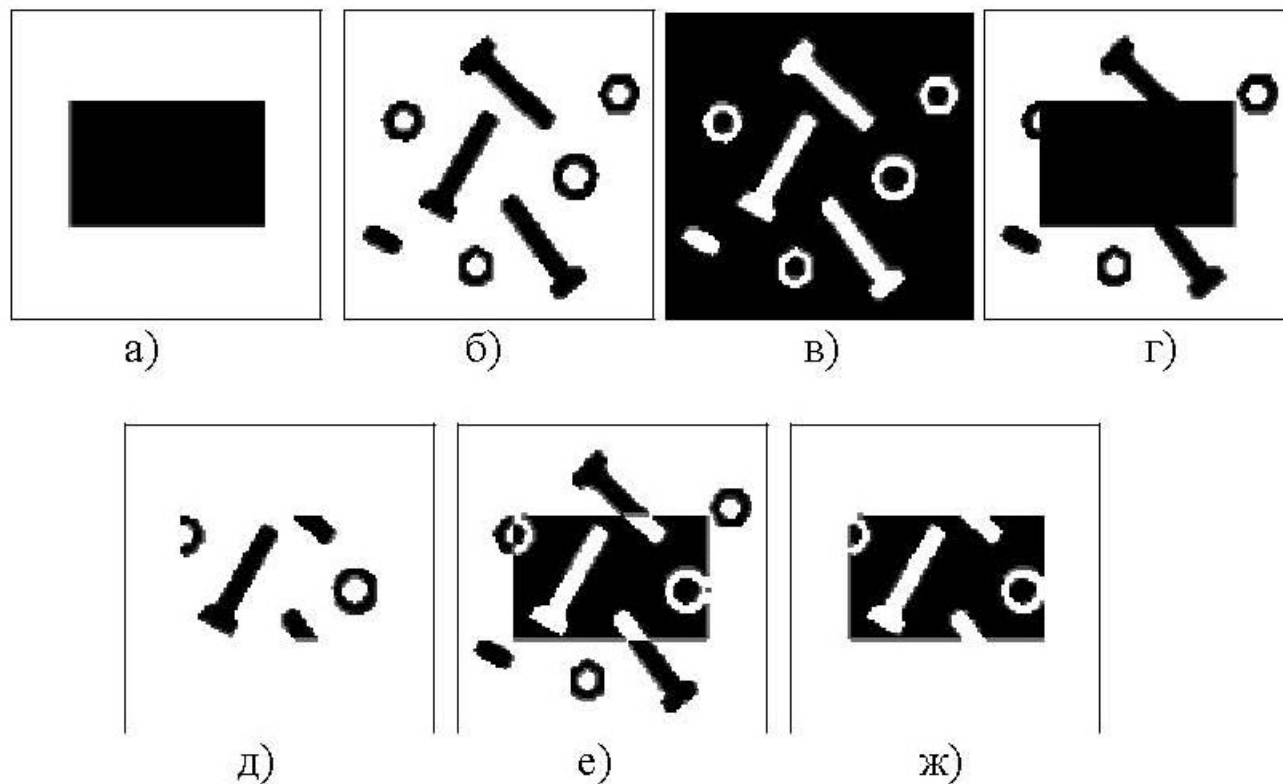


Рис. Примеры обработки бинарных изображений с использованием логических операций: а) изображение F ; б) изображение H ; в) результат применения операции НЕ к изображению H ; г) результат применения операции ИЛИ к изображениям F и H ; д) результат применения операции И к изображениям F и H ; е) результат применения операции XOR к изображениям F и H ; ж) результат применения операции SUB к изображениям F и H

Операция вычитания используется для *маскирования*, то есть для выделения части изображения. Маскирование иногда имеет отношение к *обработке по области интереса*. С точки зрения задачи улучшения, маскирование в основном используется для изолирования области обработки. Это делается, чтобы выделить данную область и отличить ее от остальной части изображения. Логические операции также часто используются в морфологических преобразованиях.

Из четырех арифметических операций наиболее часто используемыми для улучшения изображений являются вычитание и сложение. Помимо очевидной операции умножения изображения на константу с целью увеличения среднего уровня его яркости, умножение изображений находит применение в задаче улучшения в первую очередь как операция маскирования, которая является более общей, чем логические маски, обсуждавшиеся в предыдущем абзаце. Другими словами, умножение одного изображения на другое может более универсально использоваться для коррекции уровня яркости, чем двоичные маски.

Глобальные методы улучшения контраста

Слабый контраст – один из наиболее распространенных дефектов фотографических, сканированных и телевизионных изображений, обусловленный ограниченностью диапазона воспроизводимых яркостей. Путем цифровой обработки контраст можно повысить, изменяя яркость каждого элемента изображения и увеличивая диапазон яркостей.

Как уже было отмечено, если для цифрового представления каждого отсчета изображения отводится 1 байт запоминающего устройства, то входной или выходной сигналы могут принимать одно из 256 значений в диапазоне **0 – 255**. Предположим, что минимальная и максимальная яркости исходного изображения равны f_{\min} и f_{\max} соответственно. Если эти параметры или один из них существенно отличаются от граничных значений яркостного диапазона, то визуализированная картина выглядит как слабоконтрастная.

В реальных изображениях обычно существует перекося в сторону малых уровней и яркость большинства элементов изображения ниже средней. На темных участках подобных изображений детали часто оказываются неразличимыми. Одним из методов улучшения таких изображений является *видоизменение гистограммы*. Этот метод предусматривает преобразование яркостей исходного изображения с тем, чтобы гистограмма распределения яркостей обработанного изображения приняла желаемую форму.

Одним из методов улучшения контраста является линейная растяжка гистограммы, когда уровням исходного изображения, лежащим в интервале $[f_{\min}, f_{\max}]$, присваиваются новые значения с тем, чтобы охватить весь возможный интервал изменения яркости, в данном случае $[0, 255]$. При линейном контрастировании используется линейное поэлементное преобразование вида:

$$g_{ij} = a \cdot f_{ij} + b, \quad (1)$$

параметры которого a и b определяются желаемыми значениями минимальной g_{\min} и максимальной g_{\max} выходной яркости.

Для рис. находим $f_{\min} = 29$ и $f_{\max} = 177$.

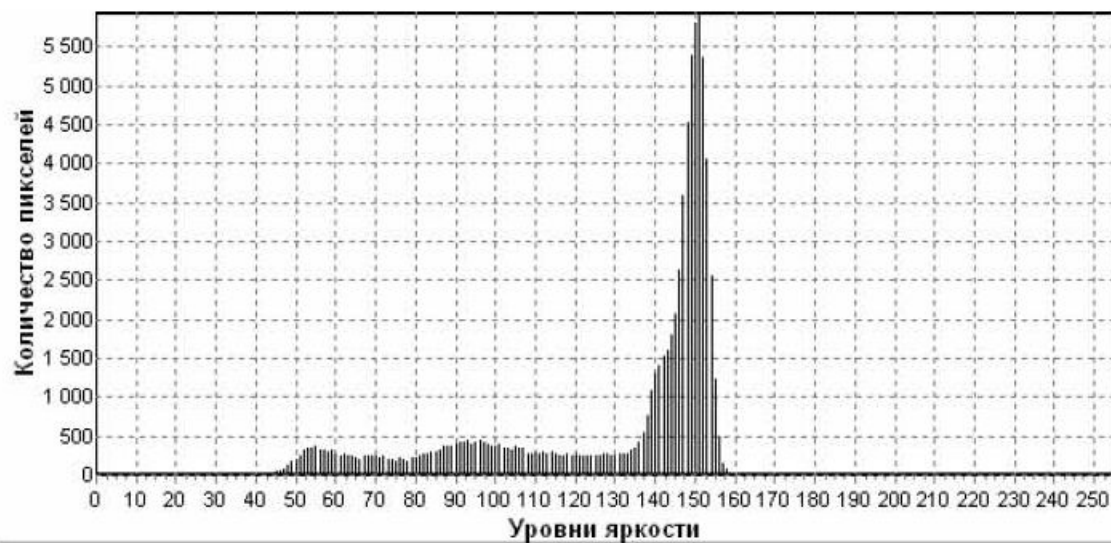


Рис. Гистограмма исходного изображения

Далее необходимо определить a и b таким образом, чтобы $g_{\min} = 0$, $g_{\max} = 255$.
Путем решения системы уравнений

$$\begin{cases} g_{\min} = a \cdot f_{\min} + b \\ g_{\max} = a \cdot f_{\max} + b \end{cases}$$

получаем $a = 1,72$ и $b = -50$.

Относительно параметров преобразования a и b , выражение (1) можно привести к виду:

$$g_{ij} = \frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} (g_{\max} - g_{\min}) + g_{\min}.$$

При **нормализации гистограммы** на весь максимальный интервал уровней яркости $[0, 255]$ растягивается не вся гистограмма, лежащая в пределах $[f_{\min}, f_{\max}]$, а ее наиболее интенсивный участок $[f'_{\min}, f'_{\max}]$, из рассмотрения исключаются малоинформативные начальный и конечный участки. Например, для рассматриваемого изображения на основе анализа гистограммы исходного изображения примем $f'_{\min} = 45$ и $f'_{\max} = 160$.

Целью выравнивания гистограммы (линеаризации, эквализации) является такое преобразование, чтобы, в идеале, все уровни яркости приобрели бы одинаковую частоту, а гистограмма яркостей отвечала бы равномерному закону распределения. Кроме этого существует метод видоизменения гистограмм, который обеспечивает экспоненциальную или гиперболическую форму распределения яркостей улучшенного изображения. Применяются также «локальные» методы улучшения, на основе обработки части изображения.

Пусть изображение имеет формат: N пикселей по горизонтали и M по вертикали, число уровней квантования яркости равно L . Общее число пикселей равно $N \times M$, на один уровень яркости попадает, в среднем, $y = N \times M / L$ пикселей. Например, $N = M = 512$, $L = 256$. В этом случае $y = 1024$. Расстояние Δf между соседними дискретными уровнями яркости в гистограмме исходного изображения одинаковое, но на каждый уровень выпадает различное число пикселей. **При эквализации гистограммы расстояние Δg между соседними уровнями различно, но число пикселей на каждом уровне, в среднем, одинаковое и примерно равно y .**

Рассмотрим алгоритм эквализации на примере. Пусть уровень яркости 0 на исходном изображении имеют 188 пикселей, уровень 1 – 347 пикселей, уровень 2 – 544 пикселя. В сумме это 1079 пикселей, то есть приблизительно u . Присвоим всем этим пикселям уровень 0. Пусть на исходном изображении число пикселей с уровнями яркости 3 и 4 в сумме приблизительно также равно u . Этим пикселям присваивается уровень 1. С другой стороны, пусть число пикселей с уровнем 45 на исходном изображении составляет 3012, то есть приблизительно $3u$. Всем этим пикселям присваивается некоторый одинаковый уровень g_i , не обязательно равный 45, а соседние два уровня остаются незаполненными. Рассмотренные процедуры выполняются для всех уровней яркости.

Результаты улучшения контраста изображения и гистограммы полученных изображений показаны на рис. 16 – 19.

Форма гистограммы дает много сведений о свойствах изображения. Например, узкая гистограмма указывает на низкий контраст, а бимодальная гистограмма предполагает наличие областей разной яркости.

Для изменения гистограммы широко используются также методы, представленные в табл.

Следует отметить, что степень улучшения субъективного восприятия зависит от характера изображения.



Рис. 16. Результат линейной
растяжки гистограммы изображения,
представленного на рис. 9



Рис. 17. Результат нормализации
гистограммы изображения,
представленного на рис. 9

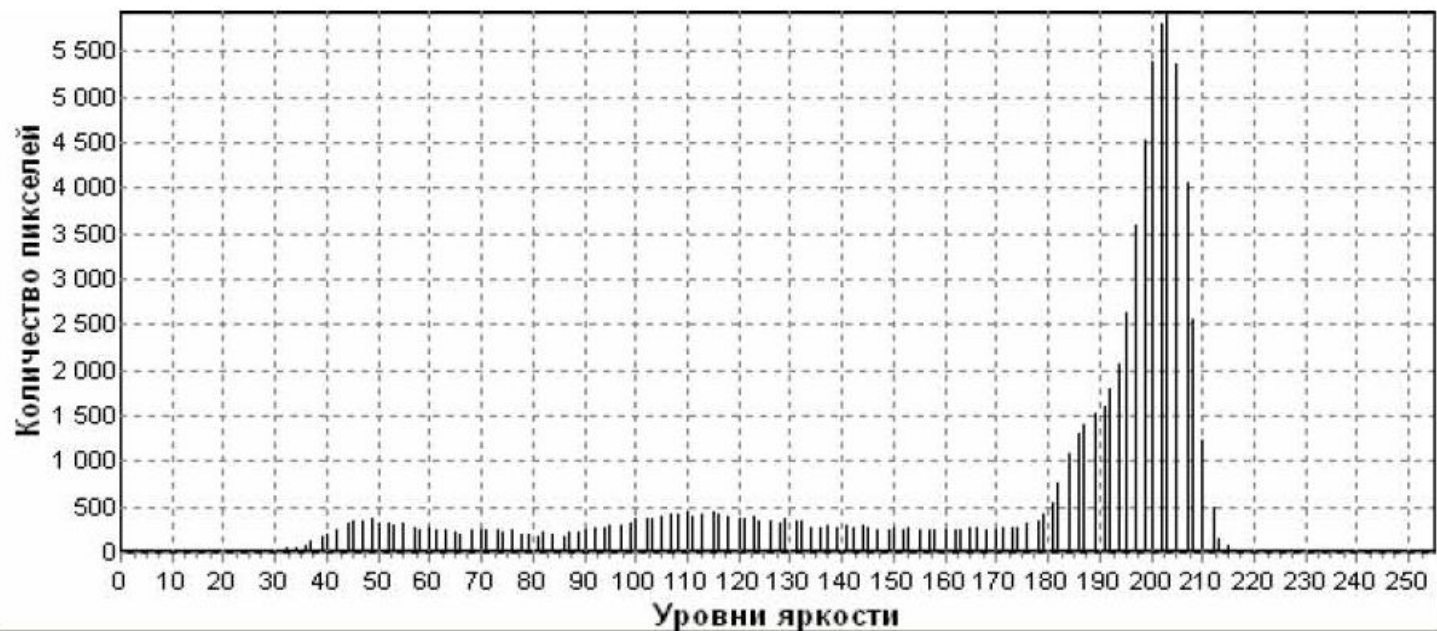


Рис. 18. Линейная растяжка гистограммы

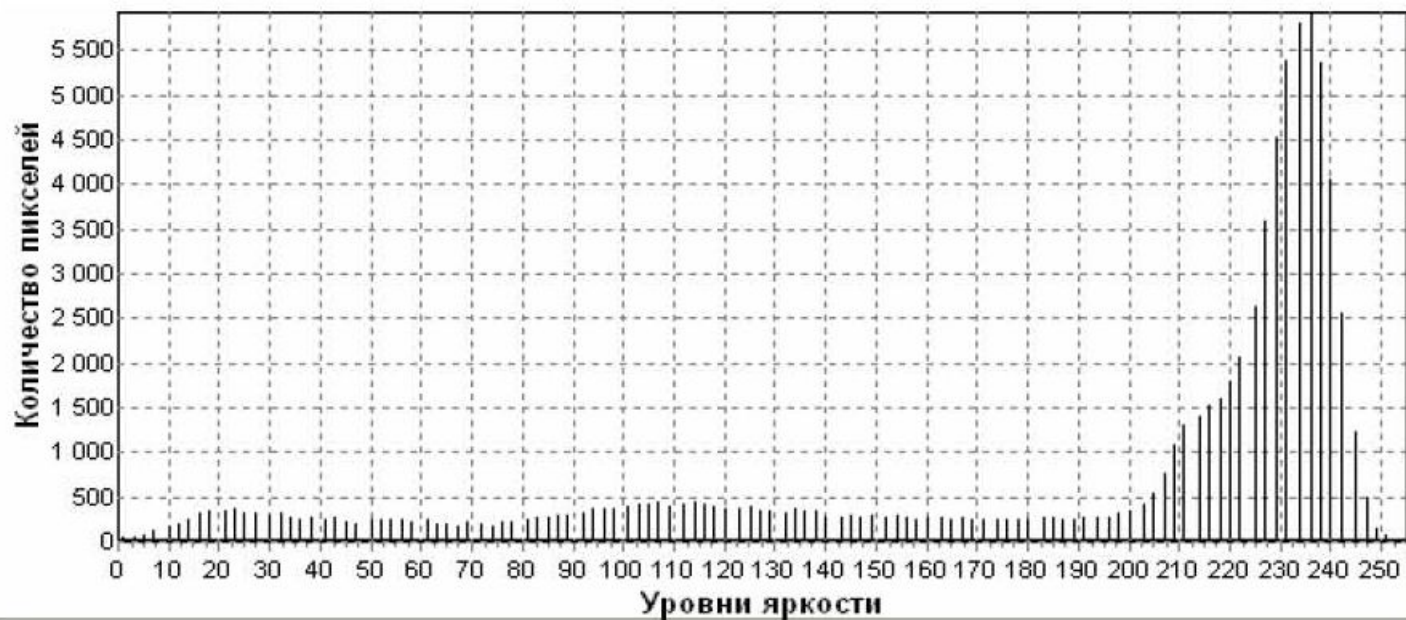


Рис. 19. Нормализация гистограммы ($f'_{\min} = 45, f'_{\max} = 160$)

Характеристики передачи уровней, используемые при видоизменении гистограмм

Плотность вероятности на выходе	Характеристика передачи уровней
<p>Равномерная (линейная)</p> $p_g(g) = 1/(g_{\max} - g_{\min}), g_{\min} \leq g \leq g_{\max}$	$g_{ij} = [g_{\max} - g_{\min}] \frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}} + g_{\min}$
<p>Экспоненциальная</p> $p_g(g) = \alpha \exp\{-\alpha(g - g_{\min})\}, g \geq g_{\min}$	$g_{ij} = g_{\min} - (1/\alpha) \ln\left[1 - \frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}\right]$
<p>Рэля</p> $p_g(g) = \frac{g - g_{\min}}{\alpha^2} \exp\left\{-\frac{(g - g_{\min})^2}{2\alpha^2}\right\}, g \geq g_{\min}$	$g_{ij} = g_{\min} + \left[2\alpha^2 \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}}\right)\right]^{1/2}$
<p>Степени 2/3</p> $p_g(g) = (1/3)[g^{-2/3} / (g_{\max}^{1/3} - g_{\min}^{1/3})]$	$g_{ij} = ([g_{\max}^{1/3} - g_{\min}^{1/3}] \left[\frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}\right] + g_{\min}^{1/3})^3$
<p>Гиперболическая</p> $p_g(g) = 1/g[\ln(g_{\max}) - \ln(g_{\min})]$	$g_{ij} = g_{\min} [g_{\max} / g_{\min}]^{\left(\frac{f_{ij} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}\right)}$

Здесь α – коэффициент преобразования.

Метод локального улучшения контраста

Основная идея технологии повышения качества изображений, которая основывается на преобразовании локальных контрастов состоит в том, **что для каждого элемента изображения сначала определяется локальный контраст, а потом происходит его нелинейное усиление и восстановление яркости данного элемента изображения из уже скорректированного локального контраста.**

Алгоритм

1. Выбирается элемент f_{ij} изображения F ;
2. Вычисляется локальный контраст элемента по формуле:

$$g_{ij}^1 = \frac{\overline{f_{ij}^1} - \overline{f_{ij}^2}}{\overline{f_{ij}^1} + \overline{f_{ij}^2}},$$

где $\overline{f_{ij}^1} = \frac{1}{n^2} \sum_{k=0}^{W_1-1} \sum_{l=0}^{W_1-1} f_{kl}$, $\overline{f_{ij}^2} = \frac{1}{m^2} \sum_{k=0}^{W_2-1} \sum_{l=0}^{W_2-1} f_{kl}$, $m = 3n$, $n > 1$ & $n = 1(\text{mod } 2)$.

Таким образом, области W_1 и W_2 представляют собою скользящие окна в виде квадрата с центром в элементе с координатами (ij) . Скользящее окно W_1 размещено внутри скользящего окна W_2 .

Следует отметить, что **форма и размеры скользящего окна, в общем случае, могут быть произвольными.** В большинстве методов размеры апертуры остаются постоянными на протяжении реализации всего метода. Однако существуют методы обработки изображений с адаптивным скользящим окном. Известно, что степень обработки сигналов зависит от размеров апертуры фильтра, а именно **при малом размере апертуры операции усреднения подвергается меньшее число значений, что обеспечивает лучшее сохранение контрастных деталей сигнала. Но при этом шум будет сглажен хуже.**

И наоборот, **при большом размере апертуры фильтра сглаживание шума будет происходить лучше, но при этом возможна «потеря» некоторых контрастных деталей, присутствующих в исходном сигнале.** Таким образом, качество обработки изображения можно улучшить путем выбора наиболее подходящих размеров апертуры. К сожалению, реальные изображения не являются стационарными: они содержат как монотонные области, так и изображения перепада, поэтому на практике очень трудно подобрать оптимальные размеры апертуры фильтра. В подобных ситуациях качество обработки можно улучшить, если использовать апертуру с большими размерами в монотонных областях обрабатываемого изображения и апертуру с малыми размерами вблизи областей перепада.

3. Третий этап состоит в нелинейном усилении локального контраста

$$g_{ij}^2 = \varphi(g_{ij}^1)$$

где $\varphi(g_{ij}^1)$ - нелинейная монотонная функция.

За функции $\varphi(g_{ij}^1)$ принимаются степенные, экспоненциальные, логарифмические и гиперболические функции.

4. На четвертом этапе происходит восстановление элемента изображения с координатами (ij) скорректированного контрастом g_{ij}^2 . Для этого используют выражение:

$$g_{ij} = \begin{cases} \bar{f}_{ij}^2 \frac{1 - g_{ij}^2}{1 + g_{ij}^2}, & \text{if } \bar{f}_{ij}^1 \leq \bar{f}_{ij}^2, \\ \bar{f}_{ij}^2 \frac{1 + g_{ij}^2}{1 - g_{ij}^2}, & \text{if } \bar{f}_{ij}^1 > \bar{f}_{ij}^2. \end{cases}$$

Экспериментальные исследования и компьютерное моделирование данного метода показали его недостаточную эффективность, поскольку при таком подходе результирующее изображение получается размытым.

Для устранения возможного эффекта размытия изображения можно использовать вместо усредненного значения \bar{f}_{ij}^1 значение центрального элемента f_{ij} . В этом случае область W_1 вырождается в центральный элемент f_{ij} и принимает размеры $n = 1$. Учитывая это можно записать:

$$g_{ij}^1 = \frac{|f_{ij} - \bar{f}_{ij}^2|}{f_{ij} + \bar{f}_{ij}^2}, \quad g_{ij} = \begin{cases} \bar{f}_{ij}^2 \frac{1 - g_{ij}^2}{1 + g_{ij}^2}, & \text{if } f_{ij} \leq \bar{f}_{ij}^2, \\ \bar{f}_{ij}^2 \frac{1 + g_{ij}^2}{1 - g_{ij}^2}, & \text{if } f_{ij} > \bar{f}_{ij}^2. \end{cases}$$



a)



b)

a) исходное изображение;

b) изображение *a)*, обработанное предложенным методом при значении степени преобразования локальных контрастов $\alpha = 0,55$ и размерах локальной апертуры $n = m = 3$;



в) изображение *a*), обработанное предложенным методом при значении степени преобразования локальных контрастов $\alpha = 0,55$ и размерах локальной апертуры $n = m = 15$