Системы обработки медиаданных

Выделение контуров на изображении

д.т.н. Вашкевич М. И.

vashkevich@bsuir.by

БГУИР

Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

Кафедра электронных вычислительных средств

Типы операций обработки изображений

Точечные операции

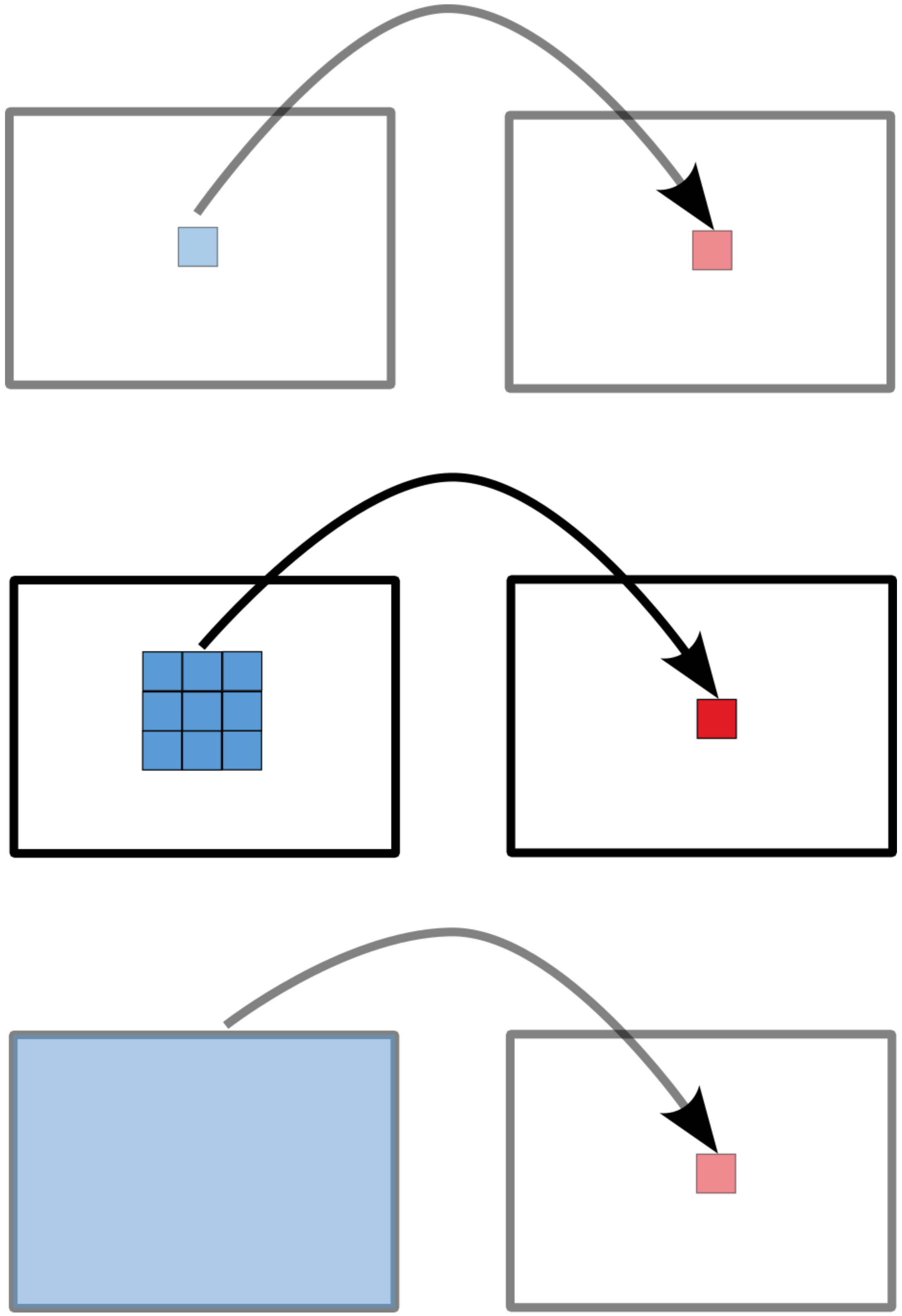
Выходное значение в точке (x, y) зависит только от входного значения в точке (x, y).

Окрестностная обработка

Выходное значение в точке (x, y) зависит от входных значений в окрестности точки (x, y).

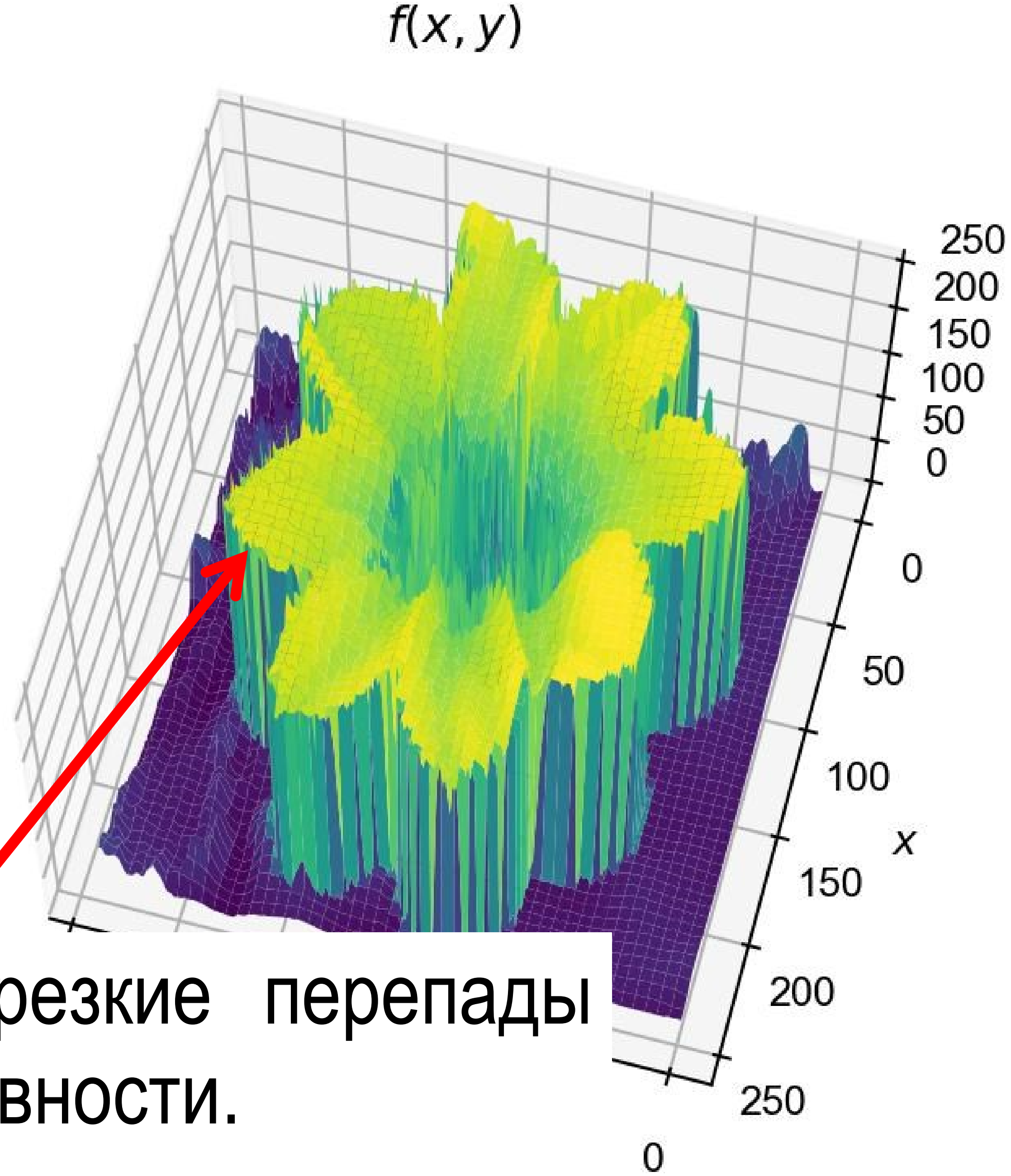
Глобальные операции

Выходное значение в точке (x, y) зависит от всех значений во входном изображении.



Что называется контуром (edge) на изображении?

Изображение в градациях серого



Очень резкие перепады интенсивности.

Выделение контуров

Каким образом можно выделить (детектировать) контуры на изображении (т.е. разрывы функции)?

Выделение контуров

Каким образом можно выделить (детектировать) контуры на изображении (т.е. разрывы функции)?

➢ Нужно использовать производные: производные принимают большие значения в точках разрыва.

Контуры и производные

Контуры соответствуют локальным экстремумам производной.

Конечные разности

По определению производная – это предел отношения приращения функции (используя правую разность):

$$f'(x) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

Альтернативное определение, использующее центральную разность:

$$f'(x) = \lim_{h \to 0} \frac{f(x+0{,}5h) - f(x-0{,}5h)}{h}.$$

В случае дискретных функций: предел убирают и устанавливают $h = 2$:

$$f'(x) = \frac{f(x+1) - f(x-1)}{2}.$$

Конечные разности

$$f'(x) = f(x+1) - f(x-1) = f * h,$$

где $h = [1, 0, -1]$.

Дискретную производную можно вычислить, как свертку сигнала с фильтром

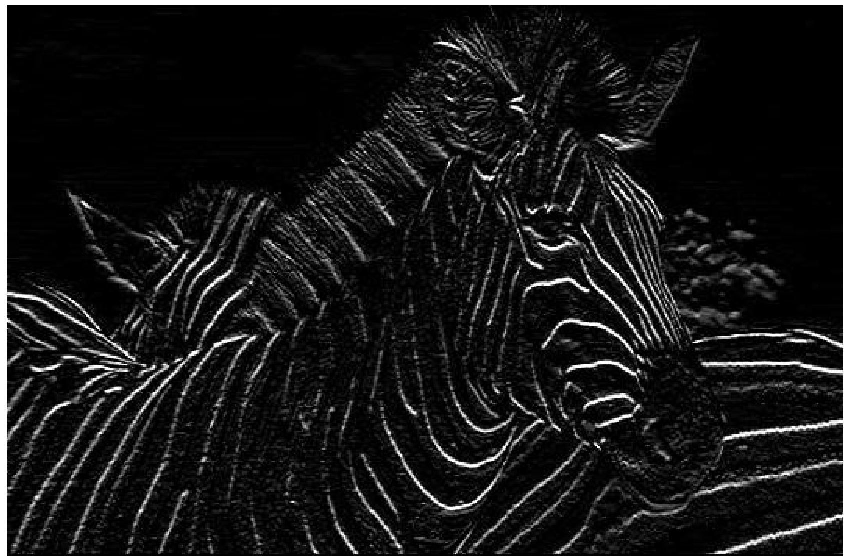
1	0	-1

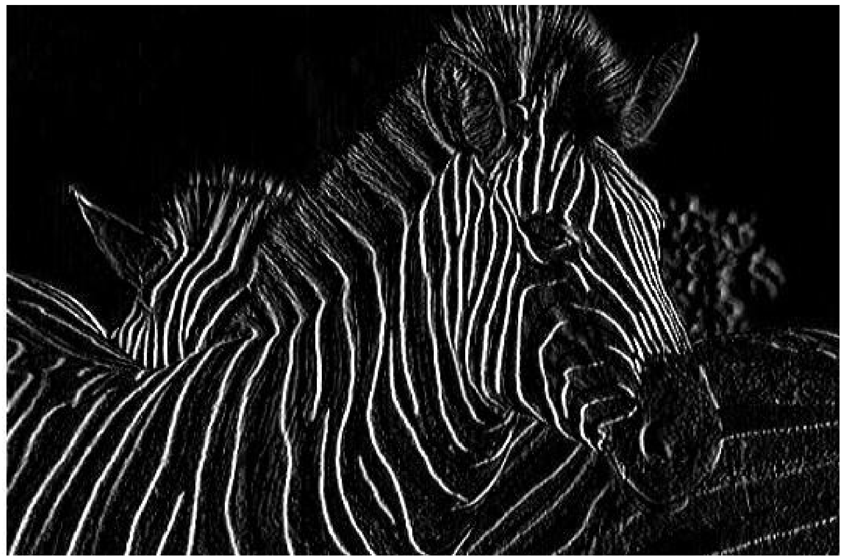
Частые производные (правые конечные разности)

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$$





$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \end{bmatrix}$$

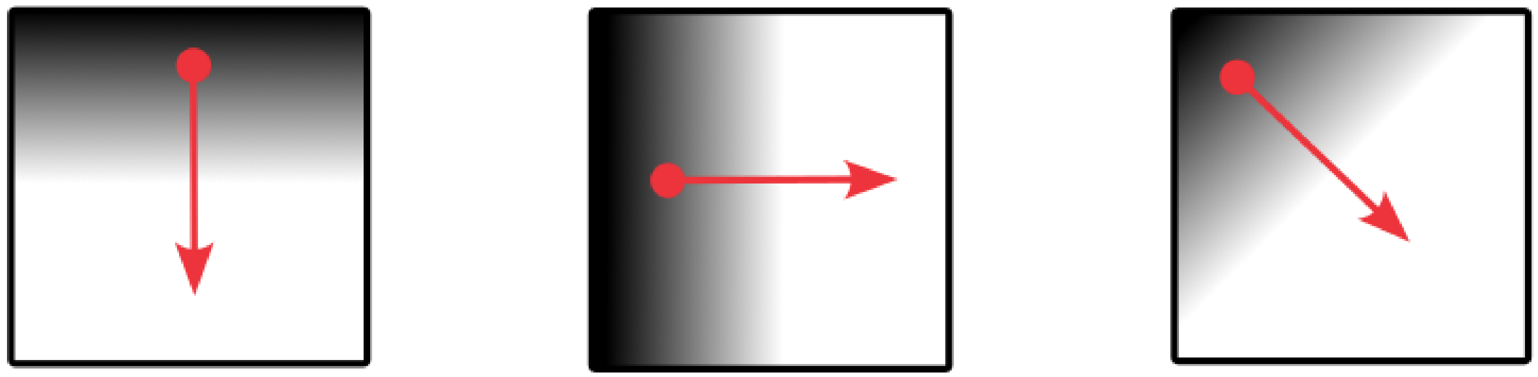
Градиент изображения

- Градиент изображения $\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$

Градиент изображения

- Градиент изображения $\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$
- Градиент показывает направление наиболее крутого подъема:

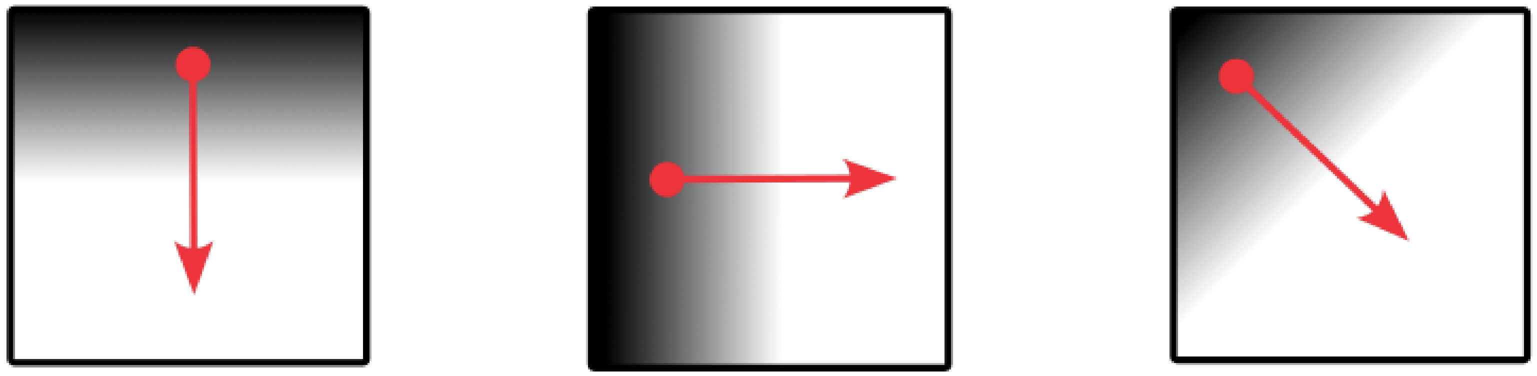
$$\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x},\ 0] \qquad \nabla f = [0,\ \frac{\partial f}{\partial y}] \qquad \nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x},\ \frac{\partial f}{\partial y}]$$



Градиент изображения

- Градиент изображения $\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$
- Градиент показывает направление наиболее крутого подъема:

$$\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, 0] \qquad \nabla f = [0, \frac{\partial f}{\partial y}] \qquad \nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$$



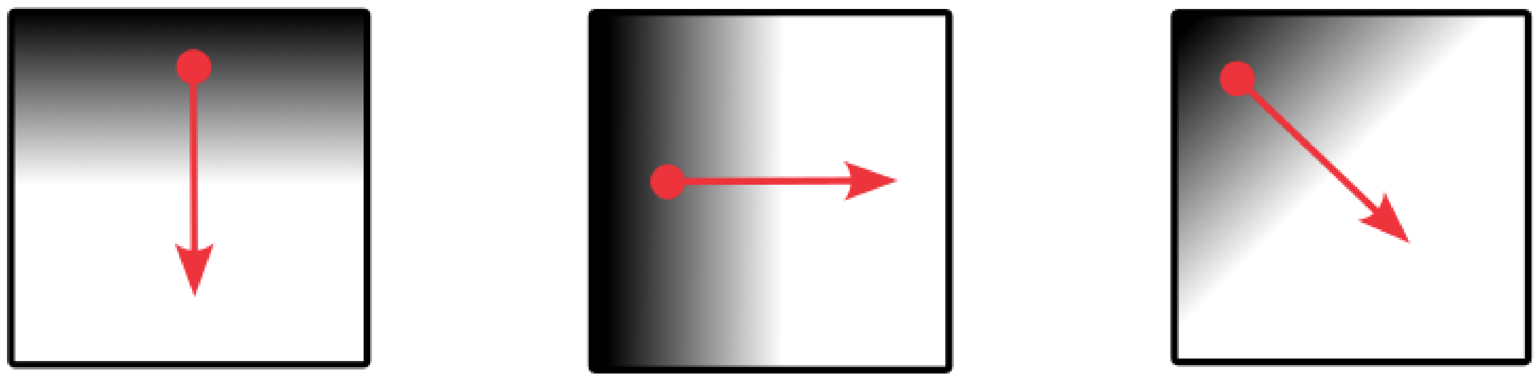
- ***Направление градиента*** (перпендикулярное к границе) определяется:

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\partial f}{\partial x} / \frac{\partial f}{\partial y}\right)$$

Градиент изображения

- Градиент изображения $\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$
- Градиент показывает направление наиболее крутого подъема:

$$\nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, 0] \qquad \nabla f = [0, \frac{\partial f}{\partial y}] \qquad \nabla f = [\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}]$$



- ***Направление градиента*** (перпендикулярное к границе) определяется:

$$\theta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\partial f}{\partial x} / \frac{\partial f}{\partial y}\right)$$

- ***Модуль градиента***

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right)^2}.$$

Модуль градиента

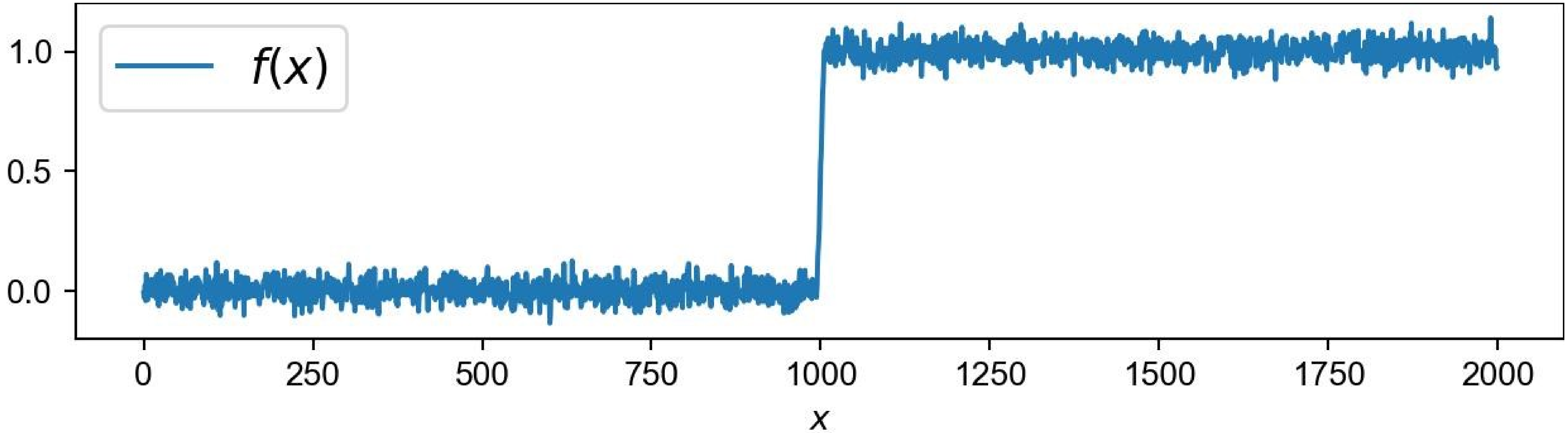
$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right)^2}.$$

Эта величина равна значению скорости изменения функции f в направлении вектора градиента. $\|\nabla f\|$ – представляет собой изображение того же размера, что и исходное изображение f.

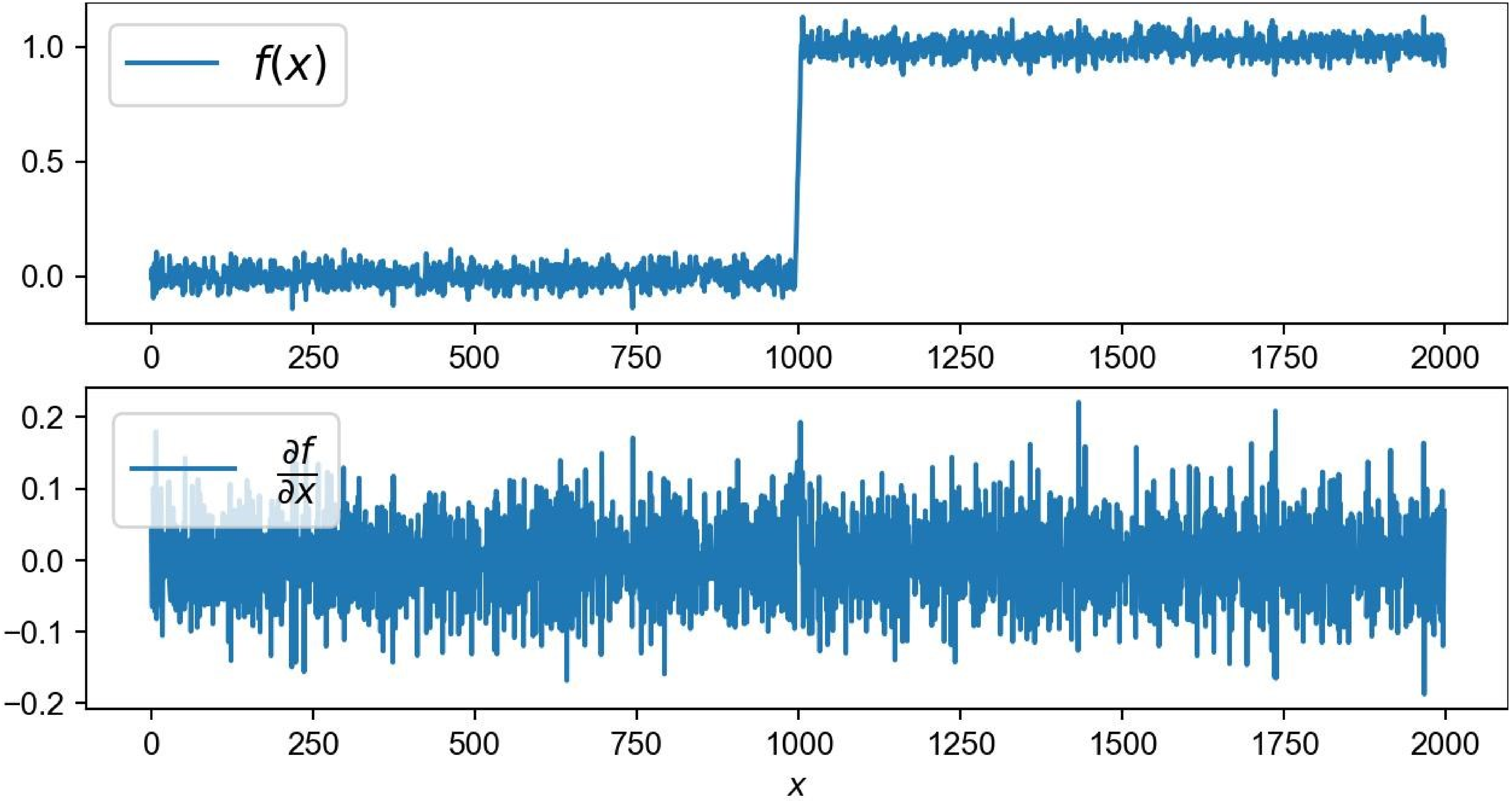
Изображение $\|\nabla f\|$ часто (хотя и не вполне правильно) называют изображением градиента или просто градиентом.

Эффект шума

Как найти контур (границу) для такого сигнала?



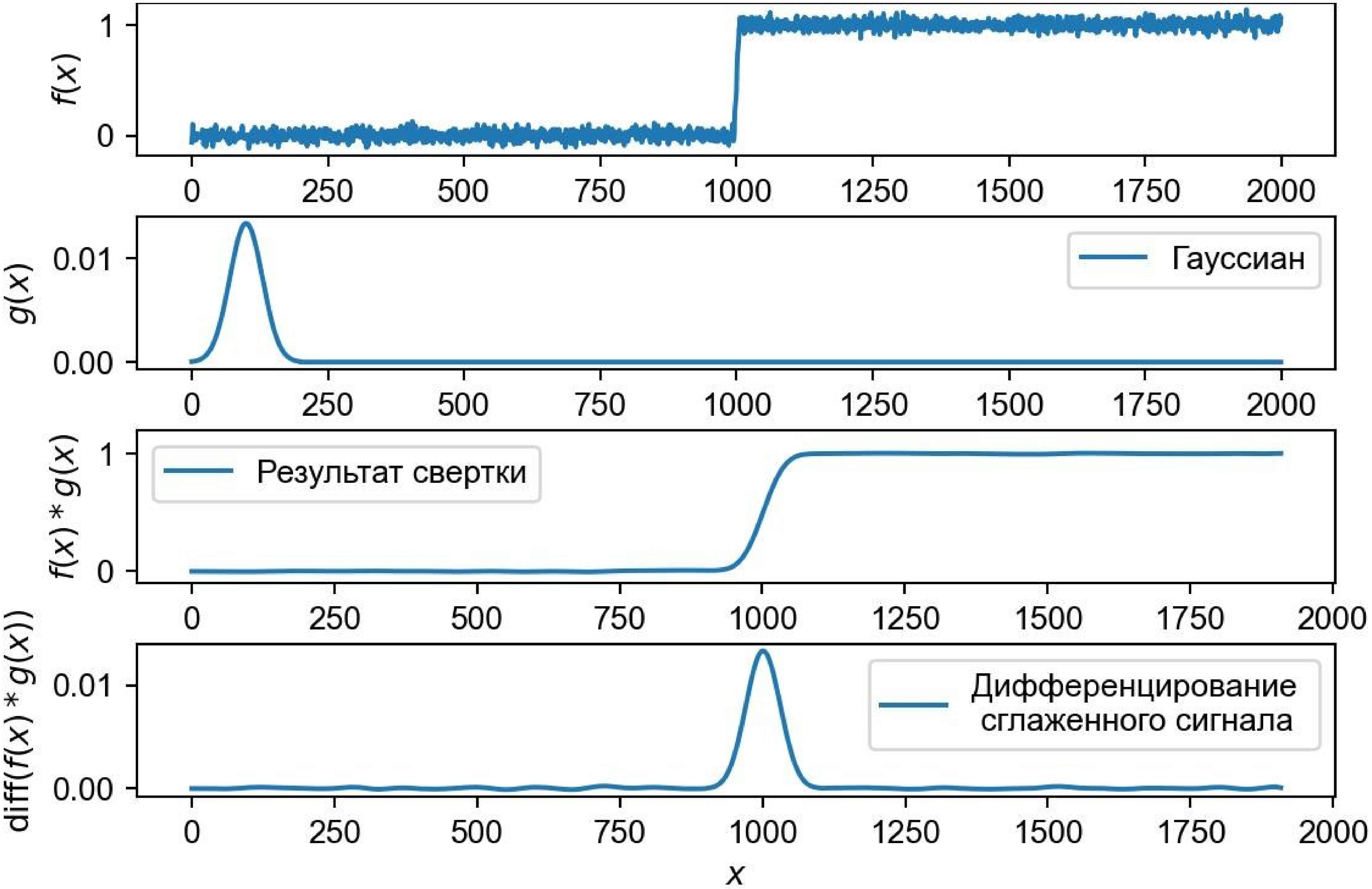
Эффект шума



Что пошло не так?

Эффект шума

- Оператор производной очень чувствителен к шуму.
- Перед использованием производной нужно «сгладить» сигнал.



Эффект шума: выводы

Важно помнить, что даже небольшой шум может оказывать значительное воздействие на первую и вторую производные, применяемые для обнаружения перепадов на изображениях. В частности, в практических задачах, где возможно появление заметного шума, целесообразно рассмотреть вопрос о сглаживании изображения перед вычислением производных.

Фильтр Собеля

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Фильтр Собеля

Что делает этот фильтр?

1D конечная разность

Фильтр Собеля

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}}_{\text{Фильтр Собеля}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{Размытие}} \times \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}}_{\text{1D конечная разность}}$$

При обработке изображения данный фильтр будет отвечать за выделение вертикальных или горизонтальных линий?

Фильтр Собеля

Горизонтальный фильтр Собеля:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Как будет выглядеть вертикальный фильтр?

Фильтр Собеля

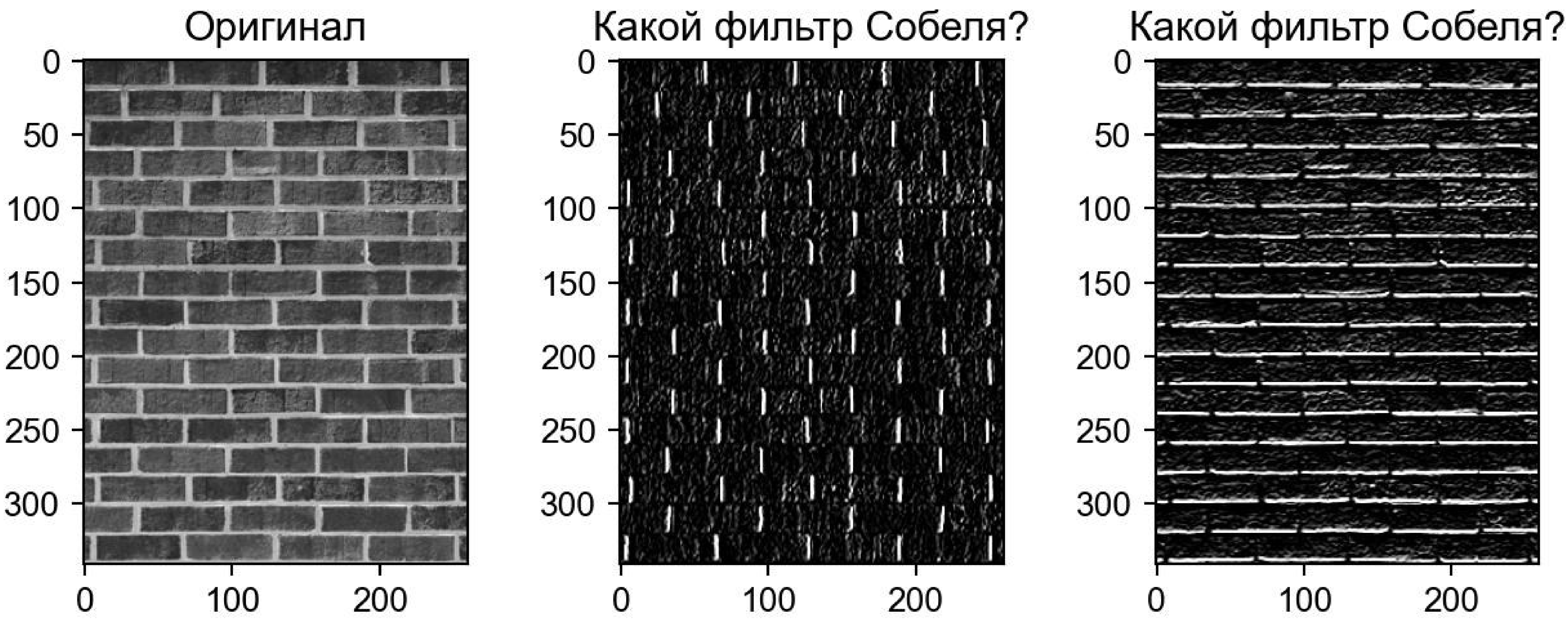
Горизонтальный фильтр Собеля:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

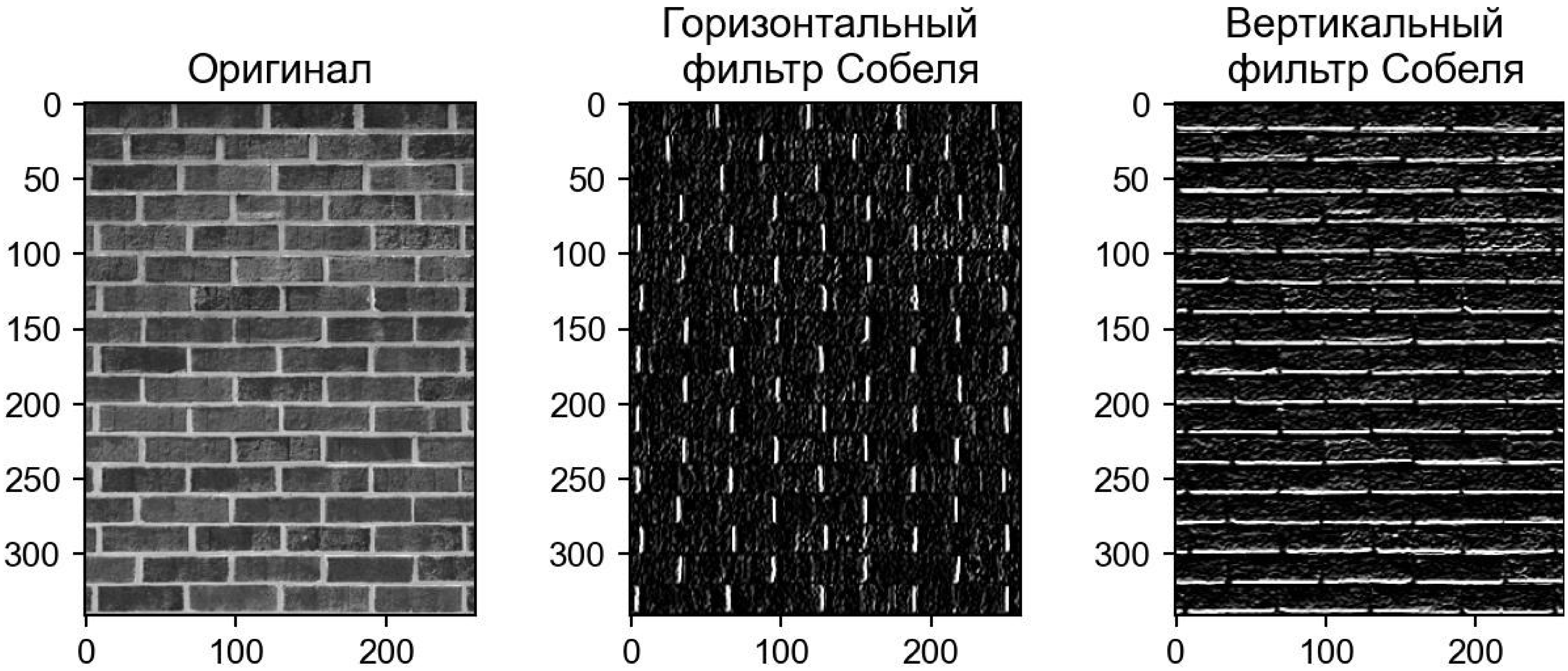
Вертикальный фильтр Собеля

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Фильтр Собеля: пример



Фильтр Собеля: пример



Частные производные(центральные разности)

Фильтр **Собеля**

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

Фильтр **Прюитта**

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = G_x * f, \qquad \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = G_y * f$$

- Фильтр Прюитта проще реализовать, чем фильтр Собеля,
- Однако у фильтра Собеля влияние шума угловых элементов несколько меньше, что существенно при работе с производными.
- У всех приведенных фильтров сумма коэффициентов равна нулю, т.е. фильтры будут давать нулевой отклик для областей с постоянной интенсивностью.

Оператор Робертса

Для обнаружения перепадов (контуров), идущих в диагональных направлениях, требуется применять двумерные фильтры. Перекрестный градиентный ***оператор Робертса*** [1965] является одной из первых попыток применения двумерных фильтров с предпочитаемым диагональным направлением.

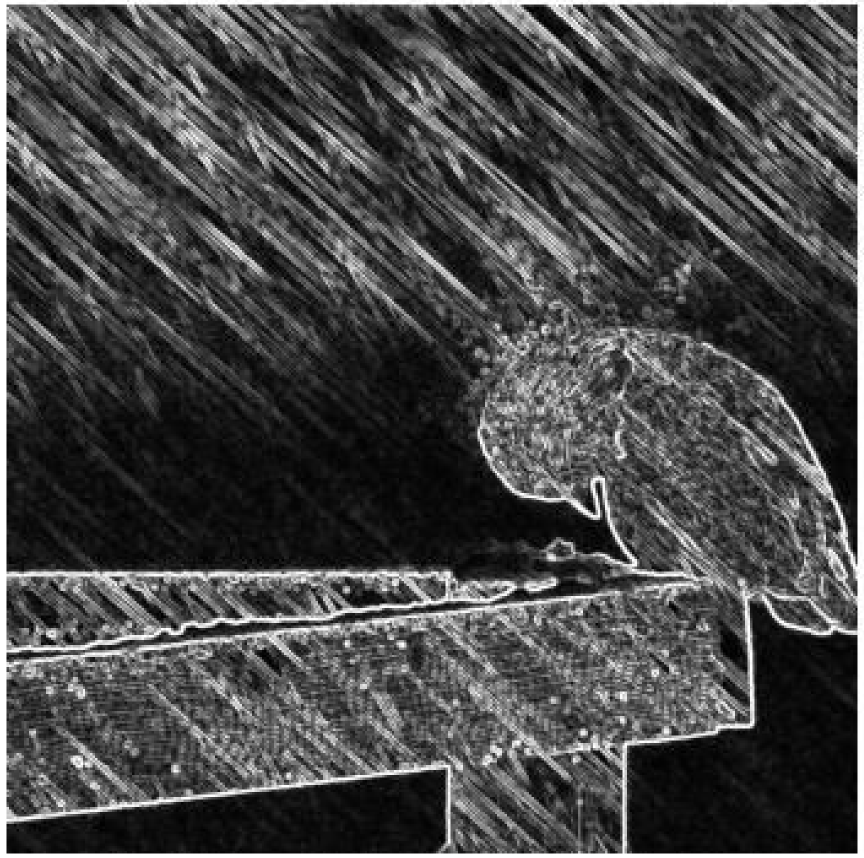
Фильтр **Робертса**

$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

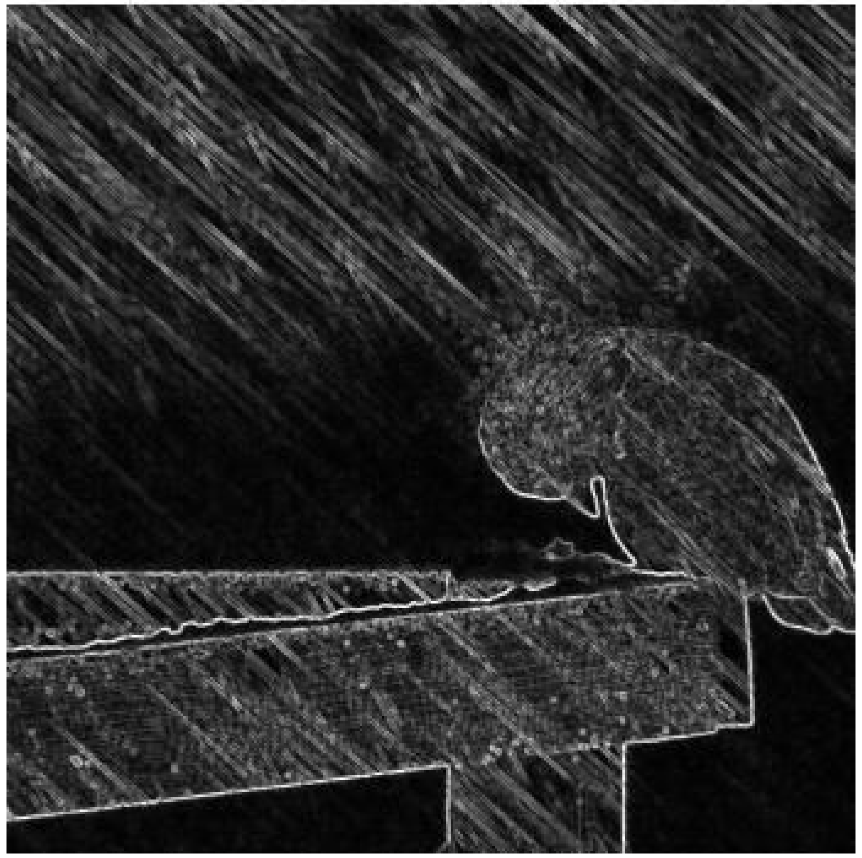
Оператор Робертса

Оригинал

?

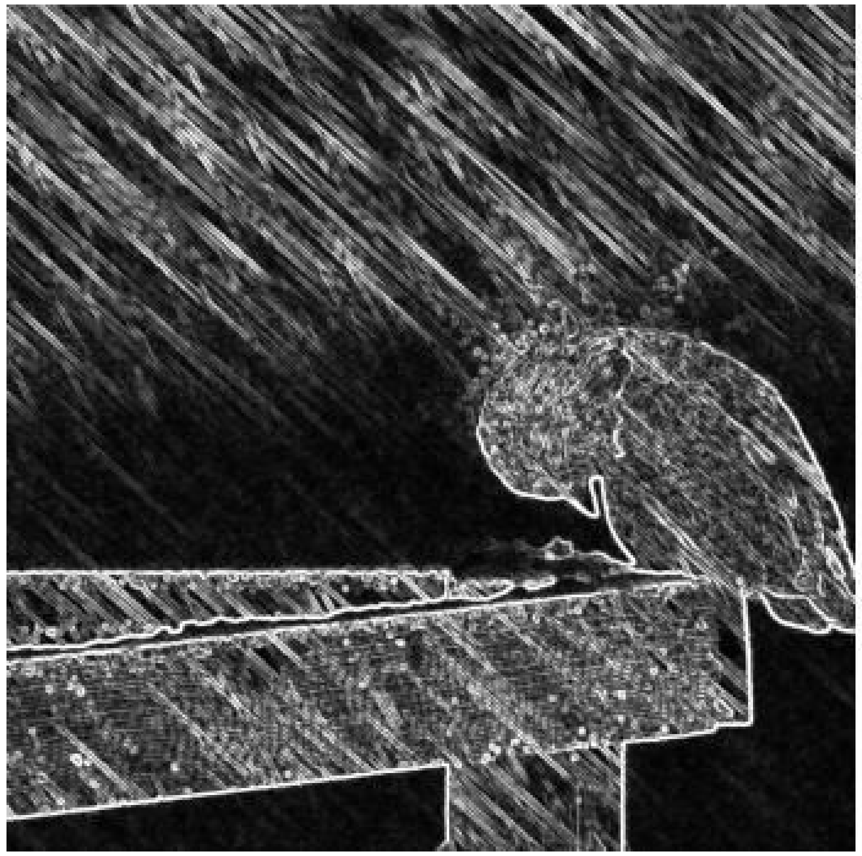
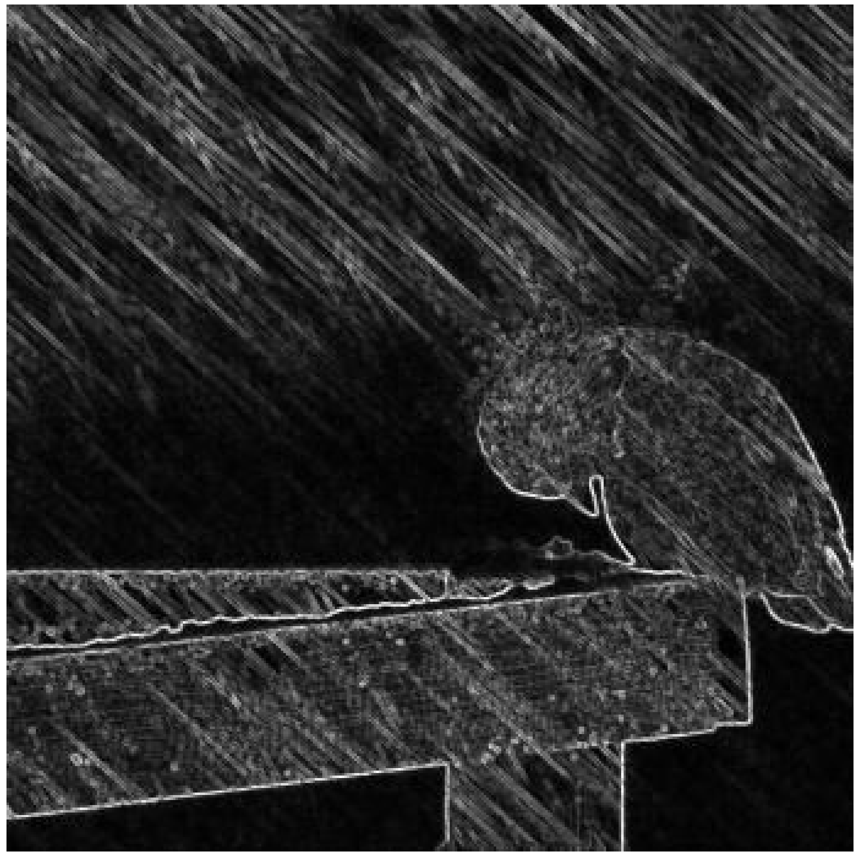


?



В одном случае для расчет градиента использован оператор Прюитта, а в другом случае оператор Робертса.

Оператор Робертса

Оригинал	Оператор Прюита	Оператор Робертса
		

Градиент изображения: вычислительные аспекты

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = G_x * f, \qquad \frac{\partial f(x,y)}{\partial \mathrm{y}} = G_y * f$$

Вычисление градиента по формуле:

$$\mathrm{M}(x,y) = \|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right)^2}$$

Требует существенных вычислительных затрат, поэтому часто используют подход, позволяющий вычислить градиент приближенно:

$$\mathrm{M}(x,y) \approx \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right|.$$

Градиент изображения: вычислительные аспекты

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \mathrm{G_x} * \mathrm{f}, \qquad \frac{\partial f(x,y)}{\partial \mathrm{y}} = \mathrm{G_y} * \mathrm{f}$$

Вычисление градиента по формуле:

$$\mathrm{M}(x,y) = \|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \mathrm{x}}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right)^2}$$

Требует существенных вычислительных затрат, поэтому часто используют подход, позволяющий вычислить градиент приближенно:

$$\mathrm{M}(x,y) \approx \left|\frac{\partial f}{\partial x}\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial \mathrm{y}}\right|.$$

- Для этих же целей можно использовать более сложное, но и более точное выражение:

$$(a^2 + b^2)^{1/2} = \max(a,b) + \min(a,b)/2.$$

Обнаружение диагональных контуров

Можно изменить фильтры Собеля и Прюитта таким образом, чтобы они давали максимальный отклик для контуров, направленных диагонально.

Фильтр **Собеля**

$$G_x = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Фильтр **Прюитта**

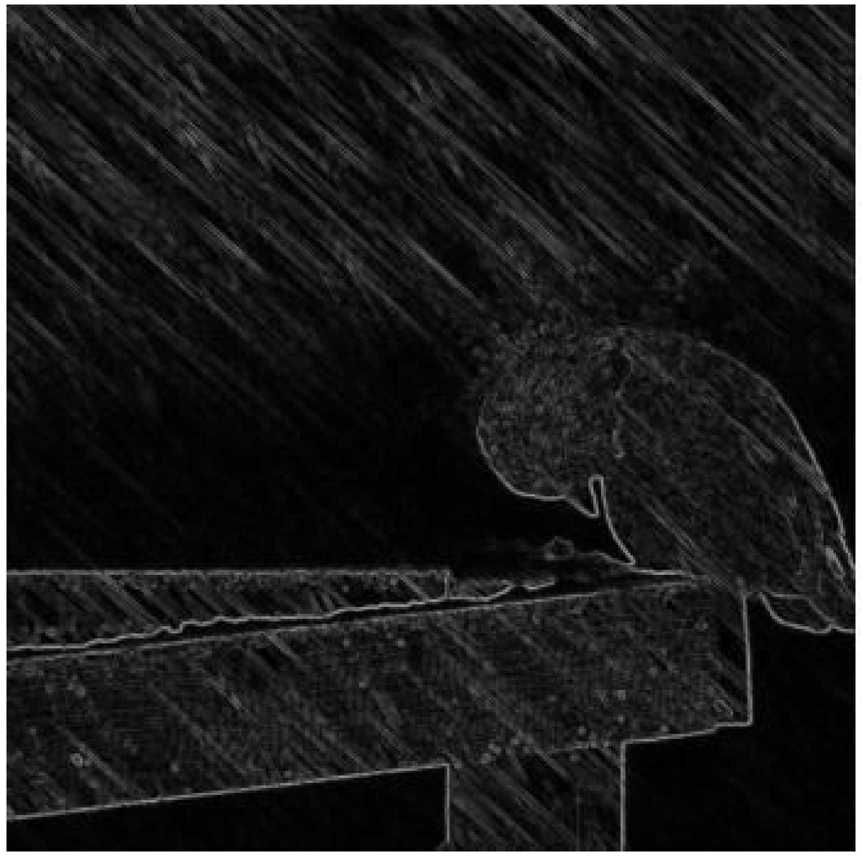
$$G_x = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Обнаружение диагональных контуров

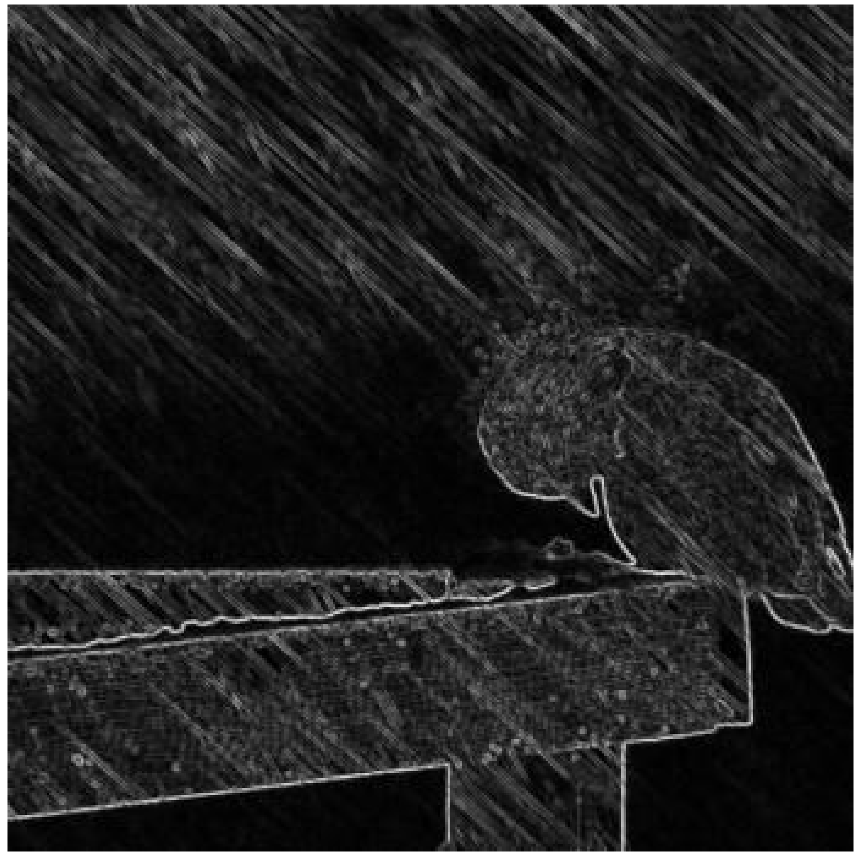
Пример использования операторов для обнаружения диагональных контуров

Оригинал

Оператор Прюита



Оператор Собеля



Говоря об изображениях, в которых главной является информация о перепадах яркости (как например в изображении модуля градиента), обычно используют термин «***карта перепадов***».

Детектор контуров Марра-Хилдрета

Используемый для обнаружения контуров оператор должен обладать двумя характерными свойствами:

1) это должен быть дифференциальный оператор, способный вычислять приближенное значение первой или второй производной в каждой точке изображения.
2) Он должен допускать настройку на любой желаемый масштаб, чтобы операторы большого размера можно было использовать для обнаружения размытых перепадов яркости, а операторы малого размера — для мелких деталей с высокой резкостью.

Марр и Хилдрет пришли к выводу, что самым подходящим оператором, который удовлетворяет этим условиям, является фильтр

$$\nabla^2 G(\mathrm{x}, \mathrm{y}),$$

где ∇^2 – оператор Лапласа, а G – двумерная гауссова функция.

Детектор контуров Марра-Хилдрета

$$G(x,y) = e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Чтобы найти $\nabla^2 G(x,y)$ выполним дифференцирование:

$$\nabla^2 G(x,y) = \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 G(x,y)}{\partial y^2}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{-x}{\sigma^2}\, e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{-y}{\sigma^2}\, e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}\right)$$

$$= \left(\frac{x^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} + \left(\frac{y^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2}\right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}.$$

Приводя все подобные члены, получим:

$$\nabla^2 G(x,y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4}\right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Эту формулу обычно называют ***лапласианом гауссиана*** (ЛГ).

Производная от гауссиана

Теорема о свертке: $\frac{\partial}{\partial x}(g * f) = \frac{\partial}{\partial x}(g) * f$