

ОЦЕНКА РАЗМЫТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Кольцов П.П.

Учреждение Российской академии наук
Научно-исследовательский институт системных исследований РАН

Аннотация

Эффективность работы методов цифровой обработки изображений существенно зависит как от качества изображения, так и от настройки используемых методов. В частности, если известна степень размытия изображения, то это позволяет выбрать параметры используемых методов так, чтобы они обеспечивали качество работы, близкое к максимально достижимому. Данная статья посвящена задаче получения априорной оценки размытия монохроматического полутонового изображения. Для случая гауссова и равномерного размытия исходного изображения даётся оценка размера окна размытия.

Ключевые слова: обработка изображения, искажение изображения, размытие изображения, оценка размытия изображения.

Введение

Качество цифровой обработки изображений, как правило, зависит от того, насколько обрабатываемое изображение изначально искажено, обладает некоторой нечёткостью или размытием. Такого рода искажения могут возникать в связи с ограниченными возможностями канала передачи информации, старением носителя информации и по другим причинам. Некоторые методы цифровой обработки изображений показывают на размытых изображениях лучшие результаты, некоторые – худшие. Кроме того каждый метод обработки изображений обычно имеет настроечные параметры, которые позволяют оптимальным образом адаптировать его для обработки искажённого изображения.

В этой связи возникает задача измерения величины размытия изображения для использования этой информации при подборе адекватных значений параметров используемого метода. Если без каких-либо априорных сведений об изображении можно будет оценить, насколько оно размыто, это позволит более точно подобрать или настроить методы для дальнейшей обработки этого изображения. В статье рассмотрен метод оценки степени размытия изображения для случаев, когда изображение размыто по Гауссу и равномерно. Для этих случаев исследованы оценки параметров размытия. Рассмотрен пример построения оценки размытия на изображениях с априорно известным окном размытия.

В разделе 1 описаны подходы к оценке размытия изображения.

В разделе 2 рассматривается одномерная задача оценки размытия и приводится способ вычисления числовой характеристики величины размытия.

В разделе 3 проводится вычисление окна размытия в предположении, что исходное изображение было размыто либо равномерно, либо по Гауссу.

В разделе 4 приводится пример оценки размытия изображения.

1. Подходы к оценке размытия

Зрение человека позволяет легко отличать качественные, чёткие изображения (например, фотогра-

фии) от размытых и нечётких. Оценить чёткость (или, наоборот, размытость) рисунка возможно и с помощью вычислительных средств. Однако при этом необходимо уточнить, что понимается под размытием и каким способом предполагается его измерять.

Вначале рассмотрим пример изображения на рис. 1, взятом из [1]. Как видно, объект представлен вполне чётко, а его тень – размыта. Что в этом случае можно сказать о чёткости рисунка в целом?

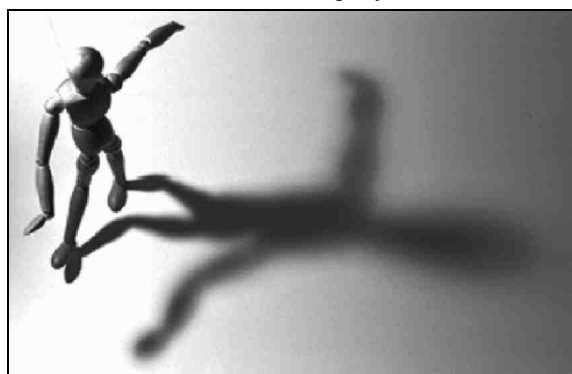


Рис. 1

Можно ожидать, что если бы размытие возникло из-за технических недостатков, например, связанных с каналом передачи информации, то размыты были бы все детали изображения. В рассматриваемом случае можно говорить, что аппаратура для фиксации изображения не внесла существенного размытия, но часть самого изображения размыта изначально. В статье рассматривается размытие, приносимое во всё исходное изображение. В этой связи естественно считать, что такую размытость целесообразно оценивать на области изображения с максимальной чёткостью, которую можно обнаружить на изображении.

Для определения степени размытости изображения существуют как достаточно сложные, так и более простые методы. Например, оценка размытия может строиться на оценке ширины граничной линии между контрастными фрагментами изображения. При таком подходе требуется двигаться по двумерной плоскости в направлении, перпендику-

лярном к граничной линии, и при этом отслеживать скорость изменения контраста. Проблема в данном случае состоит в том, что для использования такого метода требуется заранее выделить границы на изображении. Для выделения границ нужно использовать какой-либо метод выделения границ, который может работать неоптимальным образом на изображении с неизвестной степенью размытия.

В литературе (см., например, [1]) популярен другой, более простой подход, который, однако, даёт вполне приемлемые результаты. В этом случае степень размытия оценивается по каждой горизонтальной и вертикальной строке изображения. Обычно бывает достаточно только одной оценки: либо по горизонтали, либо по вертикали. Таким образом, основная часть задачи оценки размытия сводится к одномерной задаче оценки размытия внутри строки. Иными словами, оценивается размытие некоторых одномерных графиков яркости, что существенно проще двумерной задачи оценки размытия. Заключение о размытии всего изображения делается на основе анализа оценок размытия по строкам и столбцам. В простейшем случае численная оценка размытия двумерного изображения даётся как минимум численных оценок размытия по всем строкам и столбцам.

Для полноты укажем ещё один подход:

- К изображению применяется некоторый фильтр выделения краёв. Так, в работе [2] используется фильтр Собеля.
- Каждая строка полученного изображения рассматривается как одномерная функция. Находится её производная и вычисляется среднее расстояние между соседними экстремумами найденной производной.
- Найденное расстояние усредняется для изображения в целом.

Полученное значение является оценкой размытия изображения.

Таким образом предварительное выделение окрестностей границ применяется для последующего уточнения степени размытия. Однако и в этом случае рассматривается одномерная задача.

В статье так же, как и было описано выше, будет рассмотрено размытие одномерных графиков. Будем считать, что минимум оценок размытия внутри одномерных строк и столбцов изображения даёт искомую оценку размытия всего двумерного изображения.

2. Размытие одномерного графика

Кратко опишем стандартный случай, моделирующий ситуацию, когда в окрестности некоторой точки t одномерной строки происходит резкий перепад яркости. Эта ситуация означает скачок функции яркости $I(t)$. Данный случай изображён на рис. 2. Такой график обычно называется «одномерный Step». Без потери общности можно считать скачок равным единице и локализованным в начале координат. Значения $I(0)$ можно доопределять либо 0, либо 1.

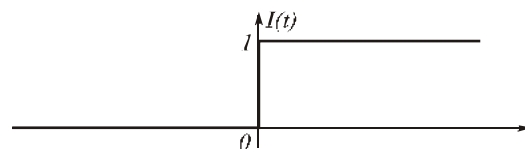


Рис. 2

Функция $I(t)$ не дифференцируема в обычном смысле. Однако вычисление производных станет возможным, если график $I(t)$ сгладить в точке разрыва. Содержательно это означает внесение некоторого размытия в строку изображения с известным и контролируемым окном размытия. Приведём ниже описание стандартного случая размытия по Гауссу, наиболее удобного с аналитической точки зрения. Как известно, оно осуществляется путём свёртки * исходной функции яркости $I(t)$ с гауссовой функцией

$$G_{\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где параметр σ интерпретируется как «эффективный радиус» окна размытия. Нетрудно видеть, что после гауссова размытия получаемая функции яркости $(I * G)(x)$ является дифференцируемой. Её производные вычисляются аналитически, в силу чего возможен анализ её поведения и вычисление оценок степени размытия.

2.1. Свёртка функций

В дальнейших вычислениях будет применяться обычная операция свёртки * функций от одной переменной:

$$(f * g)(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)g(x-t)dt.$$

При этом будут использоваться коммутативность и ассоциативность свёртки:

$$(f * g)(x) = (g * f)(x), \quad f * (g * h) = (f * g) * h.$$

2.2. Размытие графика по Гауссу

Гауссова функция G обладает фундаментальным свойством:

$$(G_{\sigma_1} * G_{\sigma_2})(x) = G_{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}(x),$$

причём

$$\int_{-\infty}^{+\infty} G_{\sigma}(x) dx = 1.$$

Производные гауссовой функции даются следующими формулами:

$$G'(x) = -\frac{x}{\sigma^2} G(x); \quad G''(x) = \left(\frac{x^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2} \right) G(x).$$

При вычислениях будет использоваться тот факт, что на бесконечности функция G равна нулю со всеми производными.

Очевидно, что вторая производная графика яркости, полученного после гауссова размытия исходной яркости $I(t)$, имеет два пика, по расположению которых можно судить о степени размытия $I(t)$. График этой производной представлен на рис. 3.

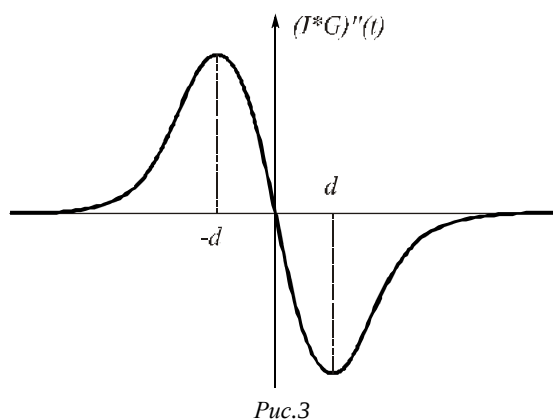


Рис.3

Как отмечалось выше, размытие задаётся как свёртка $(I * G)(t)$, точки $\pm d$ на оси t соответствуют пикам графика второй производной. При обработке реальных графиков величина d находится в результате измерения. Для аналитического определения d требуется нахождение третьей производной графика $(I * G)(t)$, поскольку пики второй производной определяются как нули третьей производной.

Замечание. Для построения графика, изображённого на рис. 3 и во всех последующих вычислениях, существенно, что одномерный график Стер имеет такой вид, как на рис. 2. Для реальных изображений и одномерных графиков это может быть не так. В частности, яркость изображения вблизи границы может изменяться. В этом случае все вычисления и последующие оценки становятся приближительными. Их точность повышается, если величина параметра размытия σ мала: в этом случае уменьшается влияние точек, удалённых от перепада яркости. Но, с другой стороны, при уменьшении σ затрудняется локализация пиков.

С учётом вида функции $I(t)$ получаем:

$$(I * G)(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)G(x-t)dt = \int_0^{+\infty} G(x-t)dt.$$

При этом d определяется как решение уравнения $(I * G)'''(d) = 0$. Замена переменных даёт

$$\begin{aligned} (I * G)'''(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} I(t)G'''(x-t)dt = \\ &= \int_0^{+\infty} G'''(x-t)dt = - \int_x^{-\infty} G'''(y)dy = \\ &= \int_{-\infty}^x G'''(y)dy = G''(x). \end{aligned}$$

И далее

$$\begin{aligned} 0 &= (I * G)'''(d) = G''(d). \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{d^2}{\sigma^4} - \frac{1}{\sigma^2} &= 0 \Rightarrow d = \sigma. \end{aligned}$$

Таким образом в результате измерения величины d мы можем получить оценку значения наперёд заданного параметра размытия по Гауссу σ .

3. Оценка размытия

Проблема, возникающая при оценке размытия, состоит в том, что размытие исходного изображения (в одномерном случае – графика) может осуществляться различными способами, причём способ размытия установить трудно или даже вообще нереально. В типичном случае размытие моделируется путём свёртки идеального графика с некоторой размывающей функцией. Такая функция определяется, например, особенностями канала передачи информации, степенью деградации носителя информации и прочими факторами, которые во многих случаях неизвестны.

Изложенный в разделе 2 подход, предполагающий по пикам второй производной свёртки идеального исходного изображения с размывающей функцией находить «оценку размытия», не может дать в общем случае ответ на вопрос о виде размывающей функции и её параметрах, что необходимо для оптимальной настройки планируемого к использованию метода обработки изображений.

В рамках данного раздела будут рассмотрены оценки параметров размытия идеального изображения, использованного выше, для двух хорошо известных случаев: случай, когда априори известно, что изображение было размыто по Гауссу, и случай равномерного размытия. Эти размытия изображения характеризуются следующими параметрами: эффективным размером окна гауссова размытия σ и размером окна равномерного размытия a (ниже в обоих случаях используется термин «радиус окна размытия»). Для этих случаев можно найти радиус окна размытия по найденному значению оценки размытия d .

3.1. Оценка размытия в предположении, что идеальный график был размыт по Гауссу

Как показано в п. 2.2, если идеальный график был размыт по Гауссу, то измеренная величина d совпадает с окном размытия σ . Из этих вычислений вытекает процедура определения размытия изображения в предположении, что исходное размытие было гауссовым. Пусть I – идеальный одномерный график яркости и он нам неизвестен. Пусть также $I * G_{\sigma_x}$ – реальный график, предназначенный для цифровой обработки. Параметр σ_x неизвестен, и его предстоит определить. Очевидно, что при достаточно больших значениях σ_x локализация точек $\pm d$ может быть определена достаточно точно при малой относительной погрешности. В общем случае, когда нет априорной информации о значении σ_x , целесообразно использовать следующую процедуру.

Подвергнем этот график ещё раз размытию по Гауссу с известным окном размытия σ . Пусть $I * G_{\sigma_x} * G_{\sigma} = I * G_{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma^2}}$ – график яркости, полученный после дополнительного размытия. В силу сказанного выше, величина $d = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma^2}$, откуда

$\sigma_x = \sqrt{d^2 - \sigma^2}$. Отметим, что при этом должно быть $d \geq \sigma$, что, вообще говоря, неочевидно, поскольку величина d получается в результате изменений расстояния от начала координат до пиков функции $I * G_{\sigma_x} * G_{\sigma}^*$, а величина σ задаётся при дополнительном размытии. В случае, если действительно $d \geq \sigma$, то формула

$$\sigma_x = \sqrt{d^2 - \sigma^2} \quad (1)$$

даёт оценку размытия исходного изображения.

Выбор параметра σ дополнительного гауссова размытия

Очевидно, что для непрерывного случая результат для вычисления σ_x , вообще говоря, не должен зависеть от выбора значения σ . В формуле (1) при изменении σ соответствующим образом изменяется и величина d . Однако на практике при выполнении экспериментов оказывается, что это не всегда так. Прежде всего, это связано с ошибками округления при вычислениях, поскольку обычно величина d измеряется в пикселах и является целочисленной. Поэтому для уменьшения погрешности измерений необходимо производить оценку радиуса окна размытия несколько раз, при разных значениях σ и подбирать σ в таком диапазоне, чтобы результат σ_x изменялся как можно меньше при вариациях σ . В экспериментах приемлемые результаты получались при значениях $\sigma=0,5...5$. Собственно оценка для σ_x далее может быть получена на основе стандартной статистической процедуры.

3.2. Оценка размытия в предположении, что идеальный график был размыт равномерно

Равномерное размытие исходного идеального изображения моделируется свёрткой его функции яркости с функцией $w_a(t)$:

$$w_a(t) = \begin{cases} \frac{1}{2a}, & -a \leq t \leq a \\ 0 & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

Здесь a – радиус окна равномерного размытия. На рис. 4 изображён график функции $w_a(t)$.

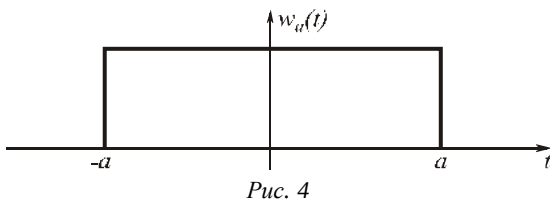


Рис. 4

Пусть, как и ранее, $I(t)$ – исходный идеальный одномерный график яркости. В результате равномерного размытия исходный график преобразуется в свёртку $I * w_a$. Выполним дополнительное гауссово размытие G_{σ} графика $I * w_a$ с известным радиусом размытия σ . Результатом такого дополнительного размытия станет свёртка

$$(I * w_a) * G_{\sigma} = I * (w_a * G_{\sigma}) = I * H,$$

где $H = w_a * G_{\sigma}$, то есть $H(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} w(t)G(x-t)dt$.

Очевидно, что, как и в предыдущем случае, график второй производной функции яркости после дополнительного размытия будет подобен графику, приведённому на рис. 3, т.е. на нём будут два пика, находящиеся на расстоянии d от точек $\pm a$. На реальном графике, как и ранее, значение d получается как результат измерения. Для аналитического нахождения этих пиков найдём третью производную для результирующего графика яркости. Очевидно,

$$(I * H)'''(d) = 0 \Rightarrow H'''(d) = 0.$$

Вычислим $H''(x)$:

$$\begin{aligned} H''(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} w(t)G''(x-t)dt = \\ &= \frac{1}{2a} \int_{-a}^a G''(x-t)dt = -\frac{1}{2a} \int_{x+a}^{x-a} G''(y)dy = \\ &= \frac{1}{2a} \int_{x-a}^{x+a} G''(y)dy = \frac{G'(x+a) - G'(x-a)}{2a}. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$H''(d) = 0 \Rightarrow G'(d+a) - G'(d-a) = 0.$$

Поскольку $G'(x) = -\frac{x}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$, то последнее равенство даёт:

$$-\frac{d+a}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d+a)^2}{2\sigma^2}} + \frac{d-a}{\sigma^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(d-a)^2}{2\sigma^2}} = 0.$$

Раскрывая скобки, получаем уравнение:

$$\begin{aligned} &-(d+a)e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{ad}{\sigma^2}} + \\ &+(d-a)e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{ad}{\sigma^2}} = 0, \end{aligned}$$

и далее

$$d \left(e^{\frac{ad}{\sigma^2}} - e^{-\frac{ad}{\sigma^2}} \right) - a \left(e^{\frac{ad}{\sigma^2}} + e^{-\frac{ad}{\sigma^2}} \right) = 0.$$

Таким образом, получается уравнение

$$d \cdot \operatorname{sh} \left(\frac{ad}{\sigma^2} \right) = a \cdot \operatorname{ch} \left(\frac{ad}{\sigma^2} \right), \text{ или } d \cdot \operatorname{th} \left(\frac{ad}{\sigma^2} \right) = a.$$

Умножая обе части последнего уравнения на d/σ^2 и вводя переменную $y = ad/\sigma^2$, получаем

$$\left(\frac{d}{\sigma} \right)^2 \operatorname{th}(y) = y, \text{ или } \left(\frac{d}{\sigma} \right)^2 = \frac{y}{\operatorname{th}(y)}.$$

Определим функцию $f(y) = y/\operatorname{th}(y)$ и обозначим обратную к ней функцию через $g(x)$.

Отсюда можно получить: $y = \frac{a}{\sigma} \cdot \frac{d}{\sigma} = g\left(\left(\frac{d}{\sigma}\right)^2\right)$.

Введём $x = d/\sigma$. Таким образом,

$$a = \frac{\sigma}{x} g(x^2). \quad (2)$$

Формула (2) позволяет найти величину окна размытия a . Действительно, нетрудно видеть, что функция $f(y)$ всегда больше единицы. В свою очередь, это означает, что обратная к ней функция $g(x)$ определена при значениях аргумента, больших единицы. Тем самым, как и в случае, рассмотренном ранее в п. 3.1., требуется выполнение условия $d > \sigma$.

Функция $f(x)$ трансцендентна и не допускает обращения в элементарных функциях. Но, исходя из вида $f(x)$, можно вычислить таблицы значений для $g(x)$ и $(1/x)g(x^2)$, а также построить графики всех требуемых функций. Эти графики приведены на рис. 5. Отметим, что значения величины x отложены по оси ординат.

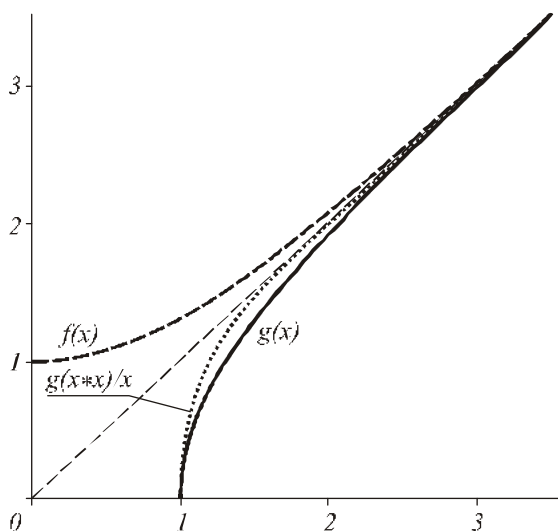


Рис. 5

Выбор параметра дополнительного размытия σ для равномерного размытия

На рис. 5 видно, что функция $(1/x)g(x^2)$ почти не отличается от функции $y=x$ (показана пунктиром) уже при значениях аргумента $x = d/\sigma$, больших 1,5. Как следует из формулы (2), при этих x получается $a/\sigma \approx d/\sigma$, то есть $a \approx d$. При меньших значениях аргумента $x = d/\sigma$ получается $a < d$. Это означает, что если при некотором значении радиуса σ окна дополнительного размытия достигается соотношение $d/\sigma > 1,5$, то при дальнейшем уменьшении σ измеренная величина d практически не меняется и полностью зависит от размера окна a , с помощью которого производилось размытие исходного изображения. Следует иметь в виду, что при изменении

σ изменяется и измеренное значение d , поскольку при этом изменяется весь график. Как и в случае гауссова размытия, в экспериментах приемлемые результаты получались при значениях $\sigma = 0,5 \dots 5$.

3.3. Сравнение оценок размытия

Рассмотрим случай, когда априорно известно, что идеальное изображение было размыто либо по Гауссу, либо равномерно. Рассмотрим следующую задачу. Насколько различаются оценки радиуса окна размытия в предположении, что идеальный график был размыт по а) Гауссу и б) равномерно?

Пусть имеется некоторый идеальный одномерный график яркости, который был размыт с помощью гауссова либо равномерного размытия. Тип размытия заранее неизвестен. Выполним, как и ранее, дополнительное размытие по Гауссу с известным радиусом σ и измерим расстояние d между нулём графика второй производной и его пиком. Как вариант – измеряется расстояние между двумя пиками и берётся его половина. Затем вычислим радиус σ_x по формуле (1) окна (предположительного) размытия по Гауссу и по формуле (2) радиус a окна (предположительного) равномерного размытия. Сравним величины σ_x и a .

Перепишем формулу (1) в виде

$$\frac{\sigma_x}{\sigma} = \sqrt{x^2 - 1}, \quad (3)$$

где, как и ранее, параметр $x = d/\sigma$.

Теперь формулы для σ_x/σ и a/σ включают только параметр $x = d/\sigma$. На рис. 6 приведены графики функций (3) и (2). По горизонтальной оси откладывается величина x . Нетрудно видеть, что величина a/σ всегда больше σ_x/σ .

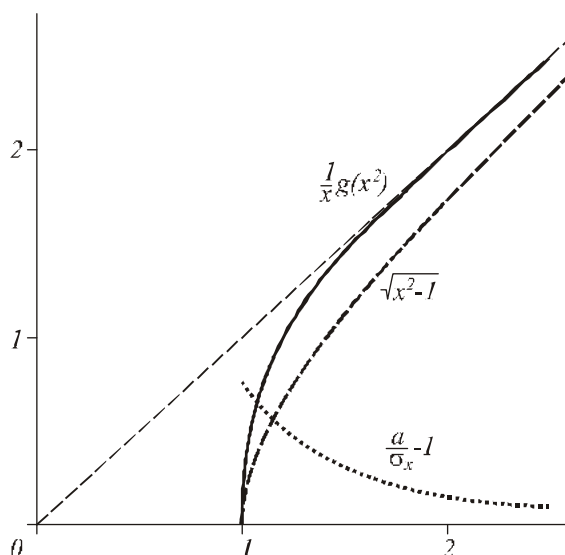


Рис. 6

Вычислим значение величины a/σ_x .

$$\frac{a}{\sigma_x} = \frac{a}{\sigma} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma} = \frac{(1/x)g(x^2)}{\sqrt{x^2 - 1}}.$$

При этом величина $(a/\sigma_x - 1) \cdot 100\%$ показывает, на сколько процентов величина a больше, чем σ_x .

Как видно, наибольшее различие между a и σ_x имеет место при минимальных значениях аргумента $x = d/\sigma$. Более точный подсчёт показывает, что в этом случае величина a превышает σ_x почти на 75%. При возрастании аргумента d/σ различие между a и σ_x уменьшается.

Таким образом, если d/σ достаточно велико, то радиусы размытия по Гауссу и равномерного близки, т.е. полученную оценку параметра размытия можно использовать в качестве значения для настроенного параметра предназначенного к применению метода цифровой обработки изображения. Если же d/σ мало, то в оценку требуется вводить поправку, которая может быть определена из графиков на рис. 6.

4. Экспериментальная оценка размытия изображений

В данном разделе рассматриваются результаты экспериментального определения размытости изображения в предположении, что идеальное изображение было размыто по Гауссу. Аналитическое исследование этого случая было дано в п. 3.1, а соответствующая формула для оценки размытия – (1).

4.1. Размытие одномерного графика

Рассмотрим график функции яркости, изображённой на рис. 2 (Step), и подвергнем его размытию по Гауссу с некоторым окном σ . Вид графиков для первой и второй производных для сглаженной функции Step изображены на рис. 7. Вертикальными штрихами отмечены нули третьей производной. Расстояние между этими штрихами равно $2d$, где d было определено в пункте 2.2. Из данного рисунка становится ясен алгоритм определения величины d :

I. На горизонтальной оси выделяются области, где вторая производная имеет ровно один минимум и один максимум. Если это не так, то такая область исключается из рассмотрения.

II. Вычисляется расстояние между нулями третьей производной внутри каждой рассматриваемой области. Это расстояние полагается равным $2d$.

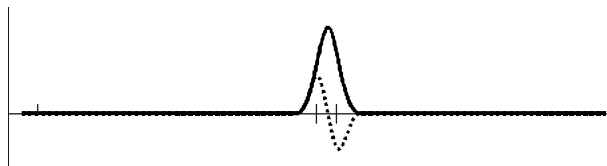


Рис. 7

Отметим, что размеры всех областей измеряются в пикселах, поэтому величина d кратна одной второй или вообще целочисленна. Это обстоятельство приводит к неизбежным ошибкам при вычислении σ_x или a , однако такие ошибки вполне приемлемы для выбора параметров методов последующей обработки изображений.

4.2. Подход к оценке размытия двумерного изображения

В соответствии с используемой методикой оценки размытия, двумерный случай рассматривается как совокупность одномерных случаев для каждой строки и каждого столбца изображения. Такой анализ для рассмотренного выше идеального случая одномерной функции яркости Step был очень прост, анализ графиков производных несложен. В случае естественных и даже искусственных изображений анализ графиков обычно является трудной задачей, поскольку даже в местах очевидных перепадов яркости первая производная может не обращаться в ноль и о степени размытости изображения нужно судить только по второй и третьей производным. Таким образом, в общем случае решение задачи исследования поведения одномерной функции яркости и её производных с анализом пиков и нулей является сложной задачей, в том числе и для программной реализации.

Для исследования изложенного подхода к оценке размытия изображения было взято искусственное изображение с контролируемым параметром гауссова размытия σ из базы данных PICASSO [3-6]. На рис. 8 приведено такое размытое изображение. На нём показана линия, вдоль которой будет измеряться перепад яркости.

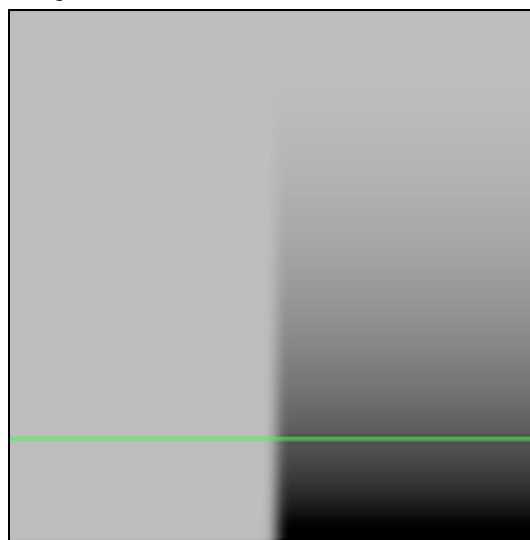


Рис. 8

Очевидно, что для такого простого изображения, как рис. 8, нет смысла оценивать размытие по вертикали, поскольку в этом направлении нет границ. Достаточно ограничиться оценкой размытия по горизонтали.

Однако анализ влияния на определение величины d выбора линии, вдоль которой определяется размытие, позволяет сделать некоторые выводы и для более общих случаев. Результаты такого анализа приведены на рис. 9. Здесь по горизонтали отложено расстояние линии, вдоль которой оценивается размытие, от нижнего края изображения на рис. 8. Каждой такой линии соответствует свой график яркости. Оценка размытия d для каждого графика произ-

водилась в соответствии с алгоритмом, изложенным в 4.1. Полученное значение величины d отложено на вертикальной оси графика рис. 9.

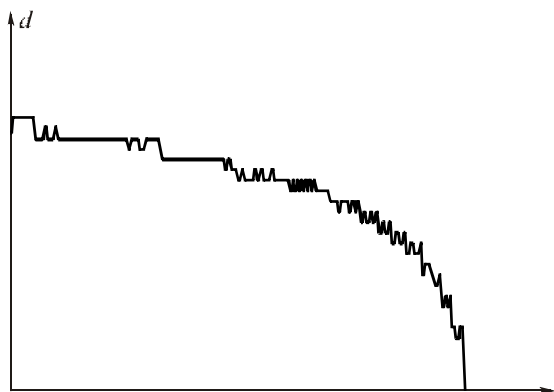


Рис. 9

Спад графика рис. 9 представляется вполне естественным: если линию, вдоль которой производится оценка размытия, расположить в верхней части рис. 8, то там границы практически нет. Соответственно, метод для вычисления величины d даёт нулевой результат. В то же время, в своей начальной части, соответствующей изображению с наиболее выраженной границей, график рис. 9 практически постоянен. Флуктуации графика объясняются ошибками округления при вычислениях. Таким образом, можно заключить, что размытие изображения целесообразно определять на более «сильных» границах, т.е. на тех границах, для которых перепад яркости по разные стороны от неё максимальный.

Отметим, что, если даже наибольшая чёткость изображения наблюдается на слабой границе, т.е. на такой границе, где перепад яркости по разные стороны от неё мал, точность определения размытия в этом случае мала и результат измерения может оказаться недостоверным. Поэтому степень размытия лучше определять по наиболее сильным границам. Таким образом, целесообразно использовать следующий алгоритм:

I. Исследуются все строки и столбцы сглаженного изображения и находится строка или столбец, на котором достигаются наибольшие по модулю значения первой производной яркости, т.е. определяется наиболее сильная граница.

II. Путём анализа только одной этой строки или столбца делается заключение о размытии всего изображения.

Приведём данные по экспериментальному определению величины d для изображения на рис. 8, полученному при разных эффективных окнах гауссова размытия. Эта серия изображений была получена для априори известного эффективного радиуса окна размытия $\sigma_x \text{ заданное} = 0 \dots 3$ с шагом 0,5. Изображения были получены с использованием программы Adobe Photoshop. Для определения размытия изображения во всех случаях бралась одна и та же линия на расстоянии 50 пикселей от нижнего края изображения, пересекающая достаточно сильную границу.

Для дополнительного размытия было взято окно радиуса $\sigma = 1$. Далее вычислялось $\sigma_x \text{ вычисленное}$ – размытие изображения, определяемое по графику яркости на выбранной линии. Результаты приведены ниже.

$\sigma_x \text{ заданное}$	$\sigma_x \text{ вычисленное}$
0,0	0,12
0,5	0,61
1,0	1,13
1,5	1,62
2,0	2,12
2,5	2,56
3,0	3,11

Как можно видеть, значения величин $\sigma_x \text{ заданное}$ и $\sigma_x \text{ вычисленное}$ близки. Это говорит о достаточной точности определения размытия в данном примере. Отметим, что используемый алгоритм вычисления размытости обычно несколько завышает значение последней.

Заключение

В работе получена оценка параметра окна размытия по Гауссу и размера окна равномерного размытия. Выполнено сравнительное исследование поведения этих оценок. Приведены результаты эксперимента, позволяющие оценить качество получаемой оценки для окна гауссова размытия.

Литература

1. Elder, J.H. Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation / J.H. Elder, S.W. Zucker // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20, N 7. – P. 699-716.
2. Лисицин, Е.В. Отслеживание точечных особенностей в видеопоследовательностях с изменениями резкости / Е.В. Лисицин, А.С. Конушин, В.П. Вежневцев // Труды 14-ой Международной конференции Graphicon-2004. – М: МГУ, 2004. – С. 233-236.
3. Gribkov, I.V. PICASSO – Edge Detectors Evaluating System Based on the Comprehensive Set of Artificial Images / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Proc. of the 6th World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2002. – Vol. 9. – P. 88-93.
4. PICASSO – A System for Evaluating Edge Detection Algorithms / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2003. – Vol. 13, N 4. – P. 617-622. – ISSN 1054-6618.
5. Gribkov, I.V. Testing of Energy Minimizing Methods in Image Preprocessing Using the PICASSO System / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Proc. of the 8th World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2004 – Vol. 6. – P. 233-238.
6. Gribkov, I.V. Comparative Study of Image Segmentation Algorithms / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, A.S. Osipov, A.V. Zakharov // Proc. of the 8th WSEAS Int. Conf. on Signal, Speech and Image Processing, 2008. – P. 21-28.

References

1. **Elder, J.H.** Local Scale Control for Edge Detection and Blur Estimation / J.H. Elder, S.W. Zucker // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20, N 7. – P. 699-716.
2. **Lisitsin, E.V.** Tracking feature points in defocused video / E.V. Lisitsin, A.S. Konushin, V.P. Vejnevets // Trans. 14-th Intern. Conf. Graphicon-2004. – M.: “MGU” Publisher, 2004. – P. 233-236. – (in Russian).
3. **Gribkov, I.V.** PICASSO – Edge Detectors Evaluating System Based on the Comprehensive Set of Artificial Images / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Proc. of the 6th World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2002. – Vol. 9. – P. 88-93.
4. **PICASSO – A System for Evaluating Edge Detection Algorithms** / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2003. – Vol. 13, N 4. – P. 617-622. – ISSN 1054-6618.
5. **Gribkov, I.V.** Testing of Energy Minimizing Methods in Image Preprocessing Using the PICASSO System / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, V.K. Nikolaev, A.V. Zakharov // Proc. of the 8th World Multiconf. on Systemics, Cybernetics and Informatics. – 2004 – Vol. 6. – P. 233-238.
6. **Gribkov, I.V.** Comparative Study of Image Segmentation Algorithms / I.V. Gribkov, P.P. Koltsov, N.V. Kotovich, A.A. Kravchenko, A.S. Kutsaev, A.S. Osipov, A.V. Zakharov // Proc. of the 8th WSEAS Int. Conf. on Signal, Speech and Image Processing, 2008. – P. 21-28.

IMAGE BLUR ESTIMATION

P.P. Koltsov

Scientific-Research Institute for System Studies of the RAS

Abstract

Image processing method's efficiency depends substantially on both initial image quality and method's options tuning. In particular, if one knows image's blur, it helps to choose most adequate options of the applied methods. That in turn raises the processing quality up too obtainable for the method. The paper studies the problem of obtaining a priory blur estimation for monochrome grey-level images. The estimation is given for the blur window size in cases of Gauss and uniform initial image blur.

Key words: image processing, image distortion, image blur, image blur estimation.

Сведения об авторе



Кольцов Пётр Петрович, 1946 года рождения. В 1971 году окончил Московский физико-технический институт (МФТИ, ныне – Московский физико-технический институт – Государственный университет (МФТИ-ГУ)), факультет управления и прикладной математики. Кандидат физико-математических наук (1975 год), доцент, работает заместителем директора по научной работе и заведующим отделом распознавания образов Научно-исследовательского института системных исследований РАН (НИИСИ РАН). Является членом международного научного общества IAPR. П.П. Кольцов – специалист в области распознавания образов, математического моделирования, обработки изображений. В списке научных работ П.П. Кольцова более 70 статей, 1 монография.

Homepage: <http://www.niisi.ru/koltsov.htm>. E-mail: koltsov@niisi.msk.ru.

Piotr Petrovich Koltsov (b. 1946) graduated (1971) from the Moscow Physical-Technical Institute, Control and Applied Mathematics Department (presently, Moscow Institute of Physics and Technology – State University (MIPT)). He received his Candidate in Physics & Maths (1975) degree from the Computer Center of the Russian Academy of Sciences. He is the vice-director for research and the head of Pattern Recognition Division at the Scientific-Research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences (SRISA), associate professor and IAPR member. He is co-author more than 70 scientific papers and 1 monograph. His current research interests include image processing, mathematical modeling, pattern recognition.

Поступила в редакцию 14 февраля 2011 г.