# XXV Международный Симпозиум "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы"

30 июня - 5 июля 2019 года, Новосибирск

NOVOSIBIRSK 2019
ATMOSPHERIC and OCEAN OPTICS. ATMOSPHERIC PHYSICS

## Труды

**Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Материалы XXV Международного симпозиума.**

Электронный ресурс

Томск: Издательство ИОА СО РАН.

ISBN 978-5-94458-176-1

© ИОА СО РАН им. В.Е. Зуева, 2019

## Содержание

1. Пленарные доклады
2. Конференция A. Молекулярная спектроскопия и атмосферные радиационные процессы
3. Конференция B. Распространение излучения в атмосфере и океане
4. Конференция C. Исследование атмосферы и океана оптическими методами
5. Конференция D. Физика тропосферы
6. Конференция E. Физика средней и верхней атмосферы

2002 (9)
2001 (8)
2000 (7)
1999 (6)

МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ПЕРЕХОДАХ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

РАБОЧАЯ ГРУППА "АЭРОЗОЛИ СИБИРИ"

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ "МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЯ"

XXV МЕЖДУНАРОДНАЯ

# МЕРЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Галилейский В. П.[1], Елизаров А. И.[1,2], Кокарев Д. В.[1], Морозов А. М.[1]

[1]Институт оптики атмосферы СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1

[2]Национальный исследовательский Томский Государственный университет

*E-mail: gvp@iao.ru, alex@iao.ru, kdv_02@iao.ru, moroz@iao.ru*

Ключевые слова: обработка изображений, качество изображения, функция резкости, контраст.

В статье рассматриваются различные методы оценки качества изображения. Проведен сравнительный анализ функций резкости как меры качества изображения, при отсутствии эталона для сравнения.

Во многих задачах связанных с обработкой и анализом изображений возникает проблема оценки качества изображения. На конечное качество изображения оказывают влияние как условия регистрации изображения (в основном обусловлено освещением), так и параметры регистрирующей системы (сюда относится и тракт передачи информации). Хотя искажения, вносимые оптической частью системы, могут привести к значительному ухудшению качества изображения, они не рассматриваются в рамках оценки качества изображения. Оптические искажения, относятся, в первую очередь, к задачам оптики, а не к задачам обработки сигналов. Несмотря на большое количество разработанных методов оценки качества изображения, задача является достаточно сложной и не имеющей универсального решения, и во многом зависит от решаемых задач и методов обработки изображений.

В рамках решения задачи оценки качества изображения рассматривается два подхода – субъективный и объективный. Субъективные оценки основаны на том, как люди воспринимают качество изображения (экспертная оценка). Объективная (количественная) оценка качества изображения реализуется с помощью различных математических методов и алгоритмов, разработанных, в том числе, с учетом особенностей восприятия изображений человеком. Как субъективные, так и объективные оценки могут быть абсолютными либо сравнительными.

Существующие и разрабатываемые меры оценки качества могут быть получены как путем сравнения с эталоном, так и в виде безэталонной меры. Методы, разработанные для оценки различия одномерных сигналов, нашли свое применение и при вычислении меры качества изображений. В таком случае, одно из изображений принимается в качестве эталона, а все последующие изображения сравниваются с ним. В качестве меры близости а, следовательно, мерой качества, может выступать, например, среднеквадратичное отклонение либо коэффициент корреляции [1]. В настоящее время, при оценке качества цифровых изображений, большинство метрик базируется на вычислении индекса структурного сходства *SSIM* (от англ.

**S**tructural **SIM**ilarity index), который является развитием методов вычисления пикового отношения сигнала к шуму (PSNR) и среднеквадратичной ошибки (MSE) [2, 3].

При сравнении изображений $I_0$ и $I_1$, одинакового размера $M \times N$, одно из которых является искаженным (несфокусированным, зашумленным и т.п.) вариантом другого (эталонного), для расчета индекса структурного сходства *SSIM* предварительно вычисляются локальные оценки *ssim* в окнах *x* и *y* размерами $m \times n$ точек по формуле:

$$\mathrm{ssim}(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)},$$

где $\mu_x, \mu_y$ – средние значения в окне *x* и *y* соответственно; $\sigma_x^2, \sigma_y^2$ – дисперсия значений в окне в окне *x* и *y*; $\sigma_{xy}$ – ковариация в окнах *x* и *y*; константы $c_1 = (k_1 L)^2$ и $c_2 = (k_2 L)^2$, $L$ = 255, – динамический диапазон допустимых значений яркости; $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.03$ – экспериментально определенные константы.

Мера *SSIM* для двух изображений, вычисляется как среднее арифметическое:

$$SSIM\,(I_0, I_1) = \frac{1}{K}\sum_{x,y} ssim(x, y),$$

где *K* – количество окон. Локальные оценки *ssim(x,y)*, можно вычислять в окрестности каждого пиксела или с некоторым шагом.

Основным преимуществом данной метрики является учет структурных различий в паре изображений и наличие сильной корреляции в яркости соседних пикселов. Индекс сходства *SSIM* основан на трех оценках базовых критериях качества: локальная яркость (*L)*, локальный контраст (*C)* и структура (*s*, имеющая смысл коэффициента корреляции Пирсона):

$$L(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1}, \quad C(x, y) = \frac{2\sigma_{xy} + c_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2}, \quad \mathrm{s}(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + \frac{c_2}{2}}{\sigma_x\sigma_y + \frac{c_2}{2}}$$

Не смотря на простоту и эффективность такого подхода, на практике не всегда возможно его применение, в виду отсутствия эталонного изображения. При нахождении меры оценки качества изображения в таком случае применяют безэталонную меру (no-reference methods) [4].

Среди множества критериев качества изображения, влияющих на субъективное восприятие, особо выделяют яркость, контрастность и резкость. Как правило, понятия контраста изображения и его резкости неразрывно связаны. Резкость можно рассматривать как характеристику фокусировки объектива на объект, так и как характеристику оборудования. Резкость изображения – один из важнейших показателей его качества, во многом определяющий пригодность изображения к дальнейшей обработке. Резкость изображения

можно описать как степень размытости границы между двумя соседними участками изображения с разной оптической плотностью (яркостью). Причинами размытия изображения могут стать и неправильная фокусировка (т.н. расфокусировка, out-focus) и непосредственно движение объекта съемки относительно камеры (смаз, blur-motion). Анализ литературы показал, что существующие алгоритмы оценки резкости могут быть использованы как безэталонные меры оценки качества изображения. Такие алгоритмы широко используются в современной фототехнике, а именно в системе автофокусировке, которая в свою очередь делится на активную и пассивную. Системы активной фокусировки основаны на методах нахождения расстояния до объекта съемки независимо от оптической системы, для последующей её корректировки. В случае пассивной фокусировки производится анализ зарегистрированного изображения, и по его результатам выполняется корректировка оптической системы.

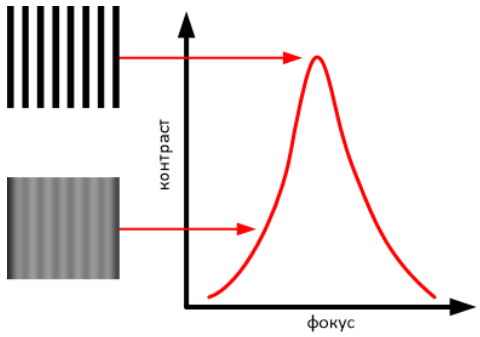



Рисунок 1 – Зависимость контраста изображения от степени фокусировки

Принцип фокусировки (как ручной, так и автоматической), основанный на анализе контраста изображения может использоваться в любых фото и видео камерах, как цифровых, так и аналоговых. Далее рассмотрим некоторые меры, используемые в алгоритмах автофокусировки, называемые далее функциями автофокуса, и оценим возможность их применения для оценки качества изображений.

Определение таких функций основано на знаниях о различиях в информации, содержащейся в сфокусированных и несфокусированных изображениях. Основное предположение, используемое в большинстве таких функций, заключается в том, что расфокусированное изображение является результатом свертки изображения с определенной функцией рассеяния точки [5], которая обычно приводит к снижению высоких частот. Кроме этого, как правило, сфокусированные изображения содержат больше информации и деталей (краев), чем несфокусированные изображения [6].

Наиболее простой, в алгоритмическом плане, но не всегда эффективной оценкой является **контраст**, т.е. характеристика изображения по различию в цвете и яркости его самых светлых и самых темных участков. Максимальное значение контраста называется динамическим диапазоном изображения. В общем случае, контраст рассчитывается как суммарное значение результатов сравнения соседних пикселей:

$$C_{ij} = \frac{L_i - L_j}{L_i + L_j}, \qquad (1)$$

где $L_i$, $L_j$ –яркость элементов изображения, в соседних строках или столбцах.

Экспериментальные результаты, полученные с использованием формулы (1) не всегда дают положительный результат. В большинстве случаев наиболее качественное изображение, рассчитанное по данной оценке, не совпадало с экспертной оценкой.

В качестве меры контраста изображения может выступать дисперсия, или нормализованная дисперсия:

$$F_{\text{var}} = \frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left[I(i,j)-\bar{I}\right]^2, \quad F_{\text{norm_var}} = \frac{1}{MN\bar{I}}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left[I(i,j)-\bar{I}\right]^2, \tag{2}$$

где $I(i,j)$ – интенсивность пикселя, $\bar{I}$ - среднее значение интенсивности изображения.

Анализ экстремумов интенсивностей изображения является еще одним косвенным методом оценки степени фокусировки на изображении. В некоторых случаях интенсивность пикселя сравнивается с некоторым порогом:

$$F_{power} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)^2 \text{ или } F_{th_cont} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} I(i,j), \text{ когда } I(i,j) \geq Th \tag{3}$$

Методы, базирующиеся на **анализе гистограммы** изображения, основаны на том предположении что, сфокусированные изображения имеют большее количество уровней серого, чем не сфокусированные, и в этом случае говорят о таких функциях как ранг или энтропия:

$$F_{range} = \max\left\{k\,|H_k > 0| - \min\left\{k\,|H_k > 0|\right\}\right\}, \quad F_{entropy} = -\sum_k p_k \log_2 p_k \tag{4}$$

где $H_k$ – число пикселей с интенсивностью $k$, $p_k$ – относительная частота.

В работе [7] для оценки резкости изображения предлагается использовать анализ соотношения низких и высоких частот **спектра Фурье** изображения либо вычислять меру эксцесса спектра. Основная проблема такого подхода заключается в том что, однозначно определить границы между частотами сложно.

В работе [8] предложены меры качества изображения с очень хорошими характеристиками при наличии шума и эффективными в вычислительном отношении. Первая $F_{voll_4}$ – основана на вычислении автокорреляции, а вторая $F_{voll_5}$, на вычислении СКО:

$$\begin{aligned} F_{voll_4} &= \sum_{i=0}^{M-2}\sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)\,I(i+1,j) - \sum_{i=0}^{M-3}\sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)\,I(i+2,j) \\ F_{voll_5} &= \sum_{i=0}^{M-2}\sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)\,I(i+1,j) - MN\bar{I}^2 \end{aligned} \tag{5}$$

Применение **дифференциальных операторов**, при вычислении меры фокусировки, основано на том что, несфокусированные изображения обычно имеют небольшие различия

между темными и яркими объектами. Одной из таких мер может являться абсолютное значение градиента с пороговым ограничением:

$$F_{Th_grad} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left|I(i,j+1) - I(i,j)\right| \text{ если } \left|I(i,j+1)\, I(i,j)\right| \geq Th \tag{6}$$

Для учета влияния больших значений градиента на конечную оценку, можно использовать квадрат градиента:

$$F_{Th_grad} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left|I(i,j+1) - I(i,j)\right|^2 \tag{7}$$

Аналогично вычисляется т.н. функция Бреннера, но учитывается разница между интенсивностями смещенных на два пикселя по горизонтали либо по вертикали:

$$F_{Brenner} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left|I(i,j+2) - I(i,j)\right|^2 \tag{8}$$

В работе [6] предложена «тененград функция» $F_{tenengrad}$, с применением дифференциального оператора Собеля $S_x, S_y$:

$$F_{tenengrad} = \sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1}\left[I(i,j)\oplus S_x\right]^2 + \left[I(i,j)\oplus S_y\right]^2,\ S_x = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix},\quad S_y = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix} \tag{9}$$

В базовом алгоритме, как и в предыдущих мерах, предлагалось учитывать только значения градиента превышающих некий порог. Тем не менее, серия экспериментов показала что, такое ограничение не оказывает существенного влияния на конечный результат.

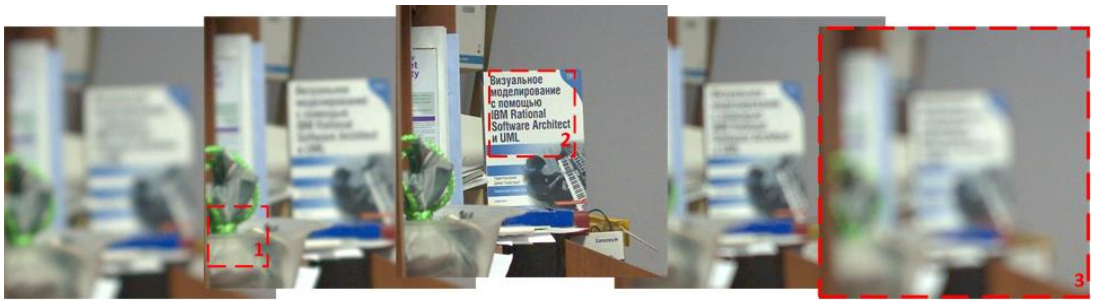
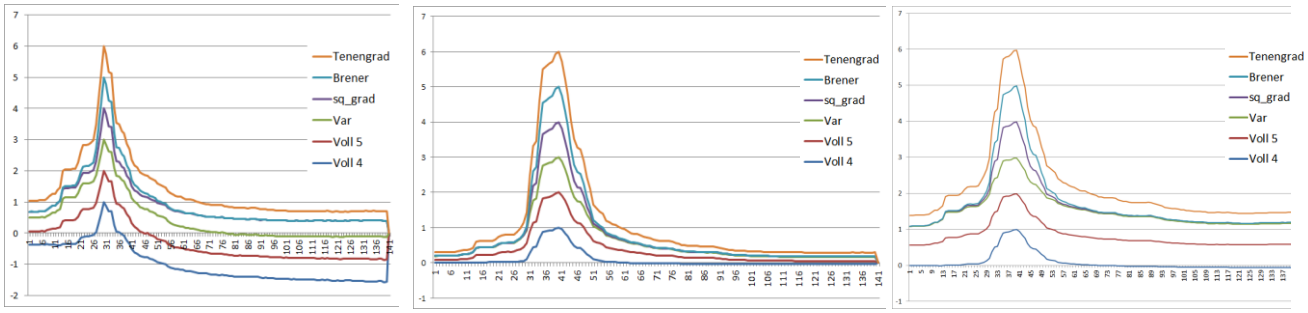



Рисунок 2 – Пример анализируемых изображений, с указанием областей анализа

Экспериментальные исследования, некоторых рассмотренных мер, проводились на серии изображений одной и той же сцены, полученных с разным фокусным расстоянием (рис. 2), как для оценки качества всего изображения, так и для анализа отдельных участков. Все оценки были проведены для полутоновых изображений.

Для каждого изображения выполнялся расчет меры качества изображения, описываемые выражениями (2) и (5 - 9), все результаты представлены в виде графиков на рис. 3.




а б в

Рисунок 3 – Результаты вычислений меры качества в виде графиков с накоплением результата: а – результат для фрагмента изображения находящегося в ближнем фокусе; б - в дальнем фокусе; в – анализ всего изображения

Для тестируемых изображений, как для отдельных участков, так и для всего изображения в целом, все функции дают одинаковый результат. Максимальные значения рассчитанных мер, соответствующие изображениям с наилучшей резкостью, совпадают с экспертной визуальной оценкой. Несмотря на то что, рассмотренные меры базируются в основном на оценке резкости и контраста изображения, любую из них можно использовать для условной оценки качества изображения, полученного в одинаковых условиях. В силу простоты реализации и высокой скорости работы алгоритмов (скорость обработки серии изображений размером $800\times600$ составила ~ 40 кадров/с.) они могут использоваться в системах обработки анализа изображений в режиме реального времени.

1. *Старовойтов В. В.* Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1997.

2. *Wang Z., Bovik A. C., Sheikh H. R., Simoncelli E. P.* Image quality assessment: From error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing, 2004. vol. 13. №. 4. P. 600–612.

3. *Avcibas I., Sankur B., Sayood K.* Statistical evaluating of image quality measures // Journal of Electronic Imaging. 2002. vol.11. № 2. p. 206-223.

4. *Shahid M., Rossholm A., Lövström B., Zepernick H.* No-reference image and video quality assessment: a classification and review of recent approaches // *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2014. vol. 40. doi:10.1186/1687-5281-2014-40.

5. *Groen F., Young I.T., Ligthart, G.* A comparison of different focus functions for use in autofocus algorithms // Cytometry. 1985.vol. 12. p. 81–91.

6. *Yeo T., Ong S., Jayasooriah R.* Autofocusing for tissue microscopy // Image Vision Comput. 1993. vol. 11. p. 629–639.

7. *Daugman J.* Statistical Richness of Visual Phase Information: Update on Recognizing Persons by Iris Patterns // International Journal of Computer Vision. 2001. vol. 45. p. 25–38.

8. *Vollath D.* Automatic focusing bycorrelative methods // J. Microscopy. 1987. vol. 147. p. 279–288.