

Д. Г. АСАТРЯН^{1, 2}, М. Е. АРУТЮНЯН¹, Ю. И. ГОЛУБ³, В. В. СТАРОВОЙТОВ³

ВЛИЯНИЕ ТИПА ИСКАЖЕНИЯ НА ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ЕГО РАЗМЕРОВ

¹ Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении

² Российско-Армянский университет

³ Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

В статье представлено исследование влияния различных типов искажения и структурных свойств изображения на его качество при уменьшении его размеров. Для оценивания качества изображения используется метод сравнения с эталоном при помощи меры, основанной на близости значений параметров распределения Вейбулла, описывающего градиентные поля сравниваемых изображений. В качестве данных использовалась популярная база изображений TID2013, включающая 3000 изображений, искажённых 24 типами искажающих алгоритмов с пятью уровнями. Эксперименты выполнялись для пяти типов искажений, представленных в базе. Каждое изображение базы уменьшалось в 2, 4 и 8 раз двумя наиболее распространёнными методами и сравнивалось с изображением-оригиналом. Для принятия решения о корректности предлагаемой функции оценки качества, ее рассчитанные значения сравнивались с субъективными оценками MOS, предоставленными в базе TID2013. Сравнение осуществлялось при помощи коэффициента корреляции Спирмена. Показано, что средние значения корреляций по всем изображениям трёх типов искажений весьма высокие, в то время как для двух других типов искажений они неприемлемо низкие. Такая ситуация объясняется свойствами искажающих алгоритмов, в разной степени изменяющих структурные свойства изображений.

Продемонстрирована возможность сравнения изображений одной сцены, но разного разрешения.

Ключевые слова: цифровое изображение, оценка качества изображения, уменьшение изображения, разрешение изображения, корреляция Спирмена, распределение Вейбулла

Введение

В последние годы заметно возрос интерес исследователей к вопросам оценивания качества цифрового изображения формальными методами и сравнения результата с субъективными оценками визуальной системы человека (ВСЧ). Разнообразие постановок задач и количество предложенных в литературе подходов и методов их решения связаны не только с многообразием сцен, фиксируемых изображением, но и существованием большого числа факторов, влияющих на качество при его получении, обработке и передаче. Отметим, что в литературе начинает формироваться понимание невозможности разработки универсального метода оценивания качества изображения, одинаково хорошо работающего при воздействии всех или хотя бы для подавляющего большинства факторов. С другой стороны, для конкретного метода чаще всего удаётся выделить класс ограничений, при которых данный метод позволяет с достаточно приемлемой

надёжностью решать поставленную задачу. При этом ставится важная задача разработки методов определения эффективности самого метода оценивания качества. Для этого в литературе укоренился подход, при котором количественная оценка качества изображения сравнивается с оценками, полученными при субъективном анализе группой экспертов. Один из подобных подходов применён в [1], в результате чего была создана база TID2013 из 3000 изображений. Она получена из 25 изображений, каждое из которых подвержено искажениям 24 типов, пятью уровнями каждого искажения. Затем все 3000 изображений были визуально протестированы по балльной системе, в результате каждое получило усреднённую субъективную оценку близости к оригиналу. Эти значения названы усреднёнными оценками качества или mean opinion score (MOS). Таким образом, эта база позволяет сравнить оценки качества, полученные количественными и субъективными методами.

Авторами настоящей работы выполнен ряд исследований с применением данных базы TID2013 по анализу эффективности некоторых наиболее известных мер оценивания качества. Так, в [2] выполнен сравнительный анализ 34 наиболее распространённых безэталонных мер оценивания качества. В [3] для 22 безэталонных мер качества выполнено исследование влияния уменьшения размеров изображения на изменение оценок для определённых типов искажений изображений из базы TID2013. В [4] предложено использовать модель распределения Вейбулла для описания градиентного поля изображения. В частности, предложена мера сходства изображений, основанная на близости значений оценок параметров соответствующих эмпирических распределений. В работах [5–6] предложено использовать параметр формы распределения Вейбулла в качестве безэталонной меры оценивания качества изображений, а в [7] приведен пример использования близости параметров распределения для оценивания качества масштабирования при сравнении с эталоном.

Во всех указанных работах авторами отмечается, что эффективность оценки качества в значительной степени определяется свойствами приложенного или присутствующего типа искажений, а также структурными свойствами самого изображения.

В данной работе описаны результаты исследований влияния уменьшения размеров изображения на оценку качества изображений, вычисляемую с помощью функции, предложенной в работе [4].

Методика исследования

Используемый материал. Для экспериментов были выбраны 24 изображения базы TID2013, которые были изменены следующими типами искажений (нумерация и названия типов искажений приведены согласно [1]):

- 1 Аддитивный гауссов шум,
- 3 Пространственно-коррелированный шум,
- 8 Гауссовское размытие,
- 17 Изменение контраста,
- 19 Мультипликативный гауссовский шум.

Размеры каждого изображения были уменьшены в 2, 4 и 8 раз. В результате были сформированы четыре набора по $5 \times 24 = 120$ изображений, включая оригиналы.

Масштабирование изображений было выполнено двумя способами – методом ближайшего соседа и методом билинейной интерполяции.

Процедура обработки. Напомним, что для вычисления модуля градиента в пикселях тестируемого изображения принята модель, основанная на распределении Вейбулла, плотность которого задаётся формулой:

$$f(x; \lambda, \eta) = \frac{\eta}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{\eta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^\eta\right], x \geq 0, \quad (1)$$

где $\eta > 0$ – параметр формы, $\lambda > 0$ – параметр масштаба [4]. При этом модули градиентов вычисляются оператором Собела для каждого пикселя и по их совокупности оцениваются параметры распределения (1).

Сходство двух изображений можно оценить по мере близости соответствующих эмпирических распределений Вейбулла, построенных по совокупности модулей градиентов сравниваемых изображений. Однако вместо непараметрических статистических критериев согласия применяется менее точная, но простая мера W^2 , основанная на близости параметров вейбулловского распределения исходного и искаженного изображений:

$$W^2 = \frac{\min(\eta_1, \eta_2) \min(\lambda_1, \lambda_2)}{\max(\eta_1, \eta_2) \max(\lambda_1, \lambda_2)}, 0 < W^2 \leq 1. \quad (2)$$

Были рассчитаны значения меры сходства W^2 между оригиналом каждого из 24 исходных изображений с набором из 120 изображений с уменьшённым размером для каждого типа искажения, после чего эти значения сравнивались с приведёнными в базе TID2013 субъективными оценками MOS, выставленными экспертами [1]. Для этого вычислялась корреляция по Спирмену.

Результаты экспериментов

Приведём результаты экспериментов для данных, полученных методом ближайшего соседа, следуя рекомендации [3], также учитывая результаты для билинейного метода, практически не отличающиеся от приводимых.

Сопоставляя результаты расчётов меры W^2 с данными субъективных оценок качества MOS, приведённых в [1], приходим к следующим выводам.

1. Мера (2), как правило, позволяет обнаруживать уменьшение качества изображения

при увеличении уровня искажения при сравнении с изображением нормального размера. В качестве примера в табл. 1 приведен фрагмент результатов расчётов меры W^2 для

оригинала и всех уменьшенных образцов двух первых изображений базы при искажениях с пятью уровнями типа 1.

Таблица 1. Значения меры сходства уменьшённых образцов с оригиналом при искажениях с пятью уровнями и MOS (фрагмент).

| N изобр. | Уровень искаж. | MOS | Масштаб уменьшения | | | |
|-------------|-------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| | | | 1 | 1/2 | 1/4 | 1/8 |
| 1 | 1 | 5.5143 | 0.9078 | 0.8593 | 0.6249 | 0.4558 |
| | 2 | 5.5676 | 0.8495 | 0.8047 | 0.6040 | 0.4388 |
| | 3 | 4.9444 | 0.7602 | 0.7339 | 0.5702 | 0.4288 |
| | 4 | 4.3784 | 0.6463 | 0.6220 | 0.5236 | 0.4235 |
| | 5 | 3.8649 | 0.5212 | 0.5150 | 0.4508 | 0.3671 |
| 2 | 1 | 5.7429 | 0.7187 | 0.7344 | 0.5234 | 0.4344 |
| | 2 | 5.3429 | 0.5858 | 0.6098 | 0.4491 | 0.3824 |
| | 3 | 5.2222 | 0.4392 | 0.4676 | 0.3813 | 0.3477 |
| | 4 | 4.1944 | 0.3167 | 0.3421 | 0.2884 | 0.2766 |
| | 5 | 3.9730 | 0.2278 | 0.2410 | 0.2099 | 0.2019 |

Из табл. 1 видно, что, хотя мера сходства уменьшается при уменьшении размера изображения, однако корреляция со значениями экспертных оценок MOS сохраняется, причём такая ситуация наблюдается и при других типах искажений. Поэтому в таких случаях можно ожидать высоких значений корреляции по Спирмену.

2. Представляет интерес вопрос о том, насколько сохраняются обнаруженные в предыдущем пункте закономерности при других типах искажений. Здесь следует отметить, что, поскольку используется градиентный метод, результат оценивания качества изображения при приложении к нему того или иного метода искажения неизбежно будет зависеть от того, насколько этот метод изменяет структурные свойства изображения. Это

обстоятельство наглядно демонстрируется в работах [5–6] и также проявляется в настоящем исследовании.

В табл. 2 приведены средние значения коэффициента корреляции по Спирмену, рассчитанные относительно всех изображений с исходными размерами. Выбраны типы искажений 1, 3 и 19, при которых индивидуальные значения коэффициента корреляции достаточно высокие и типы 8 и 17, при которых эти значения имеют хаотичный характер и даже на некоторых изображениях принимают отрицательные значения. Отдельными исследованиями можно показать, что эти типы искажений действительно меняют структурные свойства изображений. При этом степень изменения структурных свойств зависит также от самого изображения.

Таблица 2. Средние значения коэффициента корреляции по Спирмену уменьшённых образцов изображений для пяти типов искажений

| Тип искажения | Масштаб уменьшения | | | |
|------------------|--------------------|--------|---------|---------|
| | 1 | 1/2 | 1/4 | 1/8 |
| 1 | 0.9833 | 0.9833 | 0.9833 | 0.9625 |
| 3 | 0.9833 | 0.9833 | 0.9833 | 0.9583 |
| 8 | 0.4958 | 0.4417 | -0.7542 | -0.3456 |
| 17 | 0.4646 | 0.0083 | -0.1625 | -0.1167 |
| 19 | 0.9812 | 0.9833 | 0.9833 | 0.9542 |

Обращают на себя внимание весьма высокие значения коэффициентов корреляции для одних типов искажений (1, 3, 19) и низкие значения при других типах (8 и 17). Этот эффект подчёркивает важность способности применяемого типа искажения изменить структурные свойства изображения. При этом имеет значение также количество и степень выраженности структурных элементов в изображении. Эти вопросы в настоящее время плохо изучены и нуждаются в дополнительном исследовании.

Заключение

В работе приведены результаты исследования влияния уменьшения размеров изображения на изменение оценки его качества. Показано, что для оценивания качества изображений предложенным методом можно сравнивать изображения с одинаковыми и разными размерами. Для каждого из сравниваемых изображений вычисляются параметры распределения Вейбулла, описывающего градиентное поле, затем применяется функция W^2 . В качестве экспериментального материала использовалась доступная база изображений TID2013, включающая 3000 изображений, искажённых 24 типами алгоритмов с пятью уровнями искажений. Каждое изображение уменьшалось

в 2, 4 и 8 раз двумя наиболее распространёнными методами и сравнивалось с исходным изображением-оригиналом. Сравнение осуществлялось при помощи коэффициента корреляции Спирмена.

В работе показана эффективность применения предложенного метода сравнения с эталоном и последующей методики обработки. Показано, что для определённых типов искажений, применённых к объектам базы TID2013, ухудшение качества изображений при уменьшении размеров происходит плавно, однако в полном соответствии с субъективными оценками, приведёнными в [1]. Выявлено, что есть и типы искажений, при которых изменение качества изображения при его масштабировании происходит достаточно хаотичным образом. Эти результаты показывают, что хорошие результаты получаются для типов искажений, мало влияющих на структурные свойства изображений.

Отметим, что выполненные исследование демонстрируют возможность сравнения изображений одной сцены, но разного разрешения с помощью функции W^2 , поскольку вычисление параметров распределения Вейбулла не зависит от количества пикселей в изображении.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ponomarenko N.** Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives / N. Ponomarenko, L. Jin, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola, B. Vozel, K. Chehdi, M. Carli, F. Battisti, C.-C. Jay Kuo // *Signal Processing: Image Communication*. – 2015. – V. 30. – P. 57–77.
2. **В.В. Старовойтов, Ф.В. Старовойтов.** Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений // *Системный анализ и прикладная информатика*. – 2017. – № 1. – С. 24–32.
3. **Ю.И. Голуб, Ф.В. Старовойтов, В.В. Старовойтов.** Влияние уменьшения размеров изображения на вычисление оценки его качества // *Системный анализ и прикладная информатика*. – 2020. – № 2. – С. 35–45.
4. **Asatryan D., Egiazarian K.** Quality Assessment Measure Based on Image Structural Properties // *Proc. of the International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing, Finland, Helsinki, 2009*. – P. 70–73.
5. **Асатрян Д.Г.** Оценивание степени размытости изображения путём анализа градиентного поля // *Компьютерная оптика*. – 2017. – Том. 41. – № 6. – С. 957–962.
6. **Asatryan D.** A Novel Technique for No-Reference Image Quality Assessment // *Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Technologies, 2019*. – P. 201–203.
7. **Asatryan D.** Gradient-based technique for image structural analysis and applications // *Computer Optics*. – 2019. – Vol. 43. – № 2. – P. 245–250.

REFERENCES

1. **N. Ponomarenko, L. Jin, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian, J. Astola, B. Vozel, K. Chehdi, M. Carli, F. Battisti, C.-C. Jay Kuo** // *Signal Processing: Image Communication*. – 2015. – V. 30. – P. 57–77.
2. **Starovoitov F.V., Starovoitov V.V.** Comparative analysis of no-reference quality measures for digital images // *System analysis and applied information science*. – 2017. – № 1. – С. 24–32.
3. **Y.I. Golub, F.V. Starovoitov, V.V. Starovoitov.** Impact of image size reducing for image quality assessment // *System analysis and applied information science*. – 2020. – № 2. – С. 35–45.
4. **Asatryan D., Egiazarian K.** Quality Assessment Measure Based on Image Structural Properties // *Proc. of the International Workshop on Local and Non-Local Approximation in Image Processing, Finland, Helsinki, 2009*. – P. 70–73.

5. **Asatryan D. G.** Image blur estimation using gradient field analysis [In Russian]. Computer Optics.– 2017.– Vol. 41.– № 6.– P. 957–962.
6. **Asatryan D.** A Novel Technique for No-Reference Image Quality Assessment // Proceedings of International Conference on Computer Science and Information Technologies, 2019.– P. 201–203.
7. **Asatryan D.** Gradient-based technique for image structural analysis and applications // Computer Optics.– 2019.– Vol. 43.– № 2.– P. 245–250.

Поступила
01.07.2020

После доработки
01.08.2020

Принята к печати
01.09.2020

ASATRYAN D. G.^{1, 2}, HARUTYUNYAN M. E.¹, GOLUB Y. I.³, STAROVOITOV V. V.³

INFLUENCE OF THE DISTORTION TYPE ON THE IMAGE QUALITY ASSESSMENT WHEN REDUCING ITS SIZES

Institute for Informatics and Automation Problems of the National Academy of Sciences of Armenia

2) Russian-Armenian university

3) United institute of informatics problems of the National Academy of Sciences of Belarus

In this paper, the influence of various types of distortion of an image on its quality while reducing its sizes, is investigated. To assess the image quality, it is proposed to use the method of comparison with the standard using a previously developed measure based on the proximity of the values of the parameters of the Weibull distribution, which describes the gradient field of the image. The well-known TID2013 image database was used as the material, which includes 3000 images distorted by 24 types of distorting algorithms with five levels. Each image of the base was reduced by 2, 4 and 8 times by the two most common methods and compared with the original image-original. The calculations were performed for five types of distortions implemented in the database. To make a decision on the acceptability of the applied quality measure, the calculated measure values were compared with the subjective quality ratings provided along with the documentation on the TID2013 database. The comparison was carried out using Spearman's correlation coefficient. It is shown that the average values of correlations for all images at three types of distortions are very high, while for the other two they are unacceptably low. An attempt has been made to explain this situation by the properties of distorting algorithms that change the structural properties of the image to varying degrees.

The possibility of comparing images of the same scene, but with different resolutions, is demonstrated.

Keywords. Digital image, image quality assessment, image reduction, image resolution, Spearman correlation, Weibull distribution.



Асатрян Давид Гегамович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики и автоматизации НАН Армении, руководитель Научно-исследовательского центра критических технологий Российско-Армянского университета.

Asatryan David – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Leading scientist of the Institute for Informatics and Automation Problems of NAS Armenia, Head of the Research Center for Critical Technologies of Russian-Armenian university.

Email: dasat@ipia.sci.am.



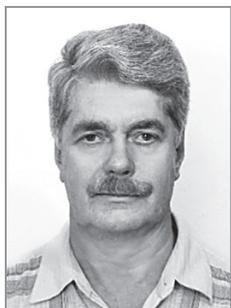
Арутюнян Мариам Евгеньевна – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом Теории информации и статистических моделей Института проблем информатики и автоматизации НАН Армении.

Haroutunian Mariam – Doctor of Sciences, Professor, Leading researcher, head of department for Information theory and statistical models of the Institute for Informatics and Automation Problems of NAS Armenia.

Email: armar@sci.am.



Голуб Юлия Игоревна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси». Yuliya I. Golub – PhD, Associate Professor, Senior Research Fellow at the United Institute of Informatics Problems, National Academy of Sciences of Belarus. Email: 6423506 @ gmail.com.



Старовойтов Валерий Васильевич, доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник ОИПИ НАН Беларуси. Сфера научный интересов: обработка и анализ цифровых изображений, полученных в разных участках электромагнитного спектра. Starovoitov Valery, Doctor of Sciences and professor of computer science. He is a Principal research fellow at the United Institute of Informatics Problems, National Academy of Sciences of Belarus (UIIP NAN Belarus). Research interests of professor Starovoitov are processing and analysis of digital images obtained in different parts of the electromagnetic spectrum.