

УДК 621.3:681.34

О.И. ЕРЕМЕЕВ, Д.В. ФЕВРАЛЕВ, Н.Н. ПОНОМАРЕНКО, В.В. ЛУКИН*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ВИЗУАЛЬНОЕ КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПОМЕХ**

Проанализировано визуальное качество изображений, искаженных различными типами помех. Проведены эксперименты с наблюдателями (участниками экспериментов) для цветных изображений, созданных на основе базы TID2008. Показано, что даже наилучшие из предложенных в настоящее время метрик не способны адекватно оценивать визуальное качество. Установлены основные причины такой неадекватности, связанные с привлечением повышенного внимания наблюдателя к определенным объектам на изображениях, то есть семантическими аспектами зрения, которые сложно учесть при разработке метрик визуального качества.

Ключевые слова: изображения с помехами, типы шума, метрики визуального качества, система визуального восприятия человека, анализ изображений

Введение

Визуальное качество изображения стало объектом пристального внимания исследователей в связи с бурным развитием информационных и телекоммуникационных технологий – Интернета, телемедицинских систем, средств получения, хранения и передачи цифровых фотографий [1-3]. Это обусловило необходимость разработки более адекватных метрик визуального качества, чем традиционные критерии среднеквадратическая ошибка (СКОш), отношение сигнал-шум (ОСШ) и пиковое отношение сигнал-шум (ПОСШ) [4]. Одновременно возникла необходимость тестирования разрабатываемых метрик визуального качества изображений, учитывающих основные особенности зрительной системы человека, в том числе и для их сравнения между собой. В результате были созданы базы тестовых изображений с различными уровнями и типами искажений: LIVE [5], Toyama [6], TID2008 [7] и ряд других. При этом база TID2008 содержит наибольшее число искаженных изображений и с ее помощью можно рассматривать наибольшее количество разнообразных типов искажений, включая пространственно-некоррелированные и коррелированные аддитивные помехи с одинаковыми значениями дисперсии в цветовых компонентах, импульсный шум, аддитивные помехи с разной дисперсией в цветовых компонентах.

Вместе с тем, ни в одной из баз не присутствуют изображения, искаженные сигнально-зависимыми помехами, например мультипликативным или пуассоновским шумами. Такие помехи характерны для радиолокационных и ультразвуковых изображений [8, 9], также нескольких других типов медицинских [3, 10] и астрономических [11] изображений, для которых визуальное качество имеет

большое значение, как для первичных изображений, так и изображений, получаемых после обработки, например сжатия или фильтрации [3, 11-14].

Визуальное восприятие сигнально-зависимых помех в определенной степени связано с законом Фехнера-Вебера [15], в соответствии с которым зрение человека имеет логарифмическую характеристику для интенсивности. В связи с этим одни и те же искажения при относительно малых интенсивностях более заметны, чем при больших интенсивностях.

Отметим, что некоторые метрики визуального качества, например MSSIM [16], учитывают эту особенность путем введения соответствующего множителя. В других метриках, которые сравнимы с MSSIM по эффективности [7], например PSNR-HVS-M [17], закон Фехнера-Вебера не учитывается. Поэтому его учет мог бы потенциально улучшить характеристики этих метрик.

Таким образом, актуальными задачами являются исследование особенностей визуального восприятия изображений, искаженных неаддитивными помехами и учет этих особенностей при разработке новых метрик визуального качества изображений или модификаций известных метрик.

1. Модели изображений и помех

Поскольку задача сравнительного анализа визуального качества изображений, искаженных различными типами помех, решается впервые, несколько упростим ее постановку, положив помехи всех рассматриваемых типов пространственно-некоррелированными. При этом учтено два аспекта.

Во-первых, при одном и том же типе и уровне помех визуальное качество изображения, искаженного пространственно-некоррелированными поме-

хами, оказывается выше, чем для изображения, искаженного пространственно-коррелированными помехами.

Во-вторых, для пространственно-коррелированных помех существует неограниченное количество вариантов пространственной автокорреляционной функции (АКФ) помех, поэтому при любом выборе варианта АКФ будет рассматриваться только частный случай, на основании анализа которого сложно сделать общие выводы.

В общем случае зависимость дисперсии помех от истинного значения I_{ij}^{true} описывается выражением $I_{ij}^n = I_{ij}^{true} + n_{ij}(I_{ij}^{true})$, где I_{ij}^n - зашумленное (наблюдаемое) значение изображения в ij -м пикселе, n_{ij} - шум в этом пикселе, статистические характеристики которого в общем случае зависят от I_{ij}^{true} . Для аддитивных помех n_{ij} статистические характеристики помех не зависят от I_{ij}^{true} и дисперсия σ_a^2 постоянна. Для чисто мультипликативных помех дисперсия шума зависит от истинного значения как $\sigma_{mult\ ij}^2 = \sigma_\mu^2 (I_{ij}^{true})^2$, где σ_μ^2 - относительная дисперсия (ее значение обычно меньше единицы и зависит от режима работы СФИ). Наконец, для пуассоновских помех $\sigma_{p\ ij}^2 = I_{ij}^{true}$, где $i=1, \dots, I_M; j=1, \dots, J_M$, I_M, J_M - количество пикселей в строке и столбце анализируемого изображения.

Очевидно, что сравнивать визуальное качество изображений, искаженных различными типами помех, можно только при их одинаковом уровне. Для изображения, искаженного пуассоновским шумом, эквивалентная дисперсия помех в зашумленном изображении описывается выражением

$$\sigma_p^2 \approx \left(\sum_{i=1}^{I_M} \sum_{j=1}^{J_M} I_{ij}^{true} \right) / (I_M J_M - 1). \quad (1)$$

Для изображения, искаженного мультипликативной помехой, соответственно имеем

$$\sigma_M^2 \approx \left(\sum_{i=1}^{I_M} \sum_{j=1}^{J_M} \sigma_\mu^2 (I_{ij}^{true})^2 \right) / (I_M J_M - 1), \quad (2)$$

где модель изображения в данном случае можно представить как $I_{ij}^n = I_{ij}^{true} (1 + \Delta\mu_{ij})$, причем $\Delta\mu_{ij}$ имеет среднее, равное нулю, и дисперсию σ_μ^2 (закон распределения $\Delta\mu_{ij}$ далее полагается гауссовым).

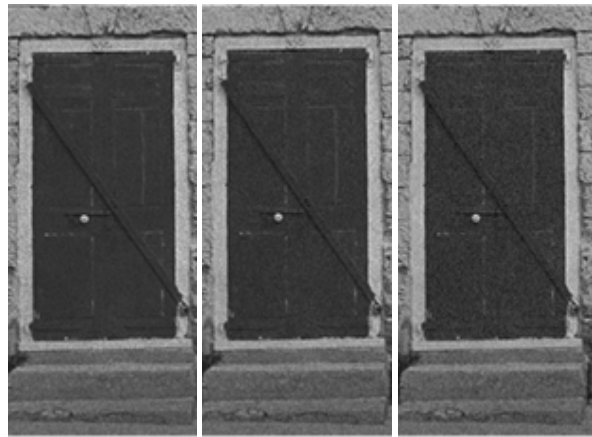
Тогда необходимо обеспечить $\sigma_a^2 = \sigma_p^2 = \sigma_M^2$. Если имеется исходное изображение без помех $\{I_{ij}^{true}, i=1, \dots, I_M, j=1, \dots, J_M\}$, то в соответствии с (1) легко рассчитать σ_p^2 . Аддитивные помехи модели-

руются с $\sigma_a^2 = \sigma_p^2$, а для мультипликативных надо рассчитать σ_μ^2 :

$$\sigma_\mu^2 = \sigma_p^2 (I_M J_M - 1) / \left(\sum_{i=1}^{I_M} \sum_{j=1}^{J_M} \sigma_\mu^2 (I_{ij}^{true})^2 \right). \quad (3)$$



а



б

в

г

Рис. 1. Изображение № 1 из базы TID2008:
а - исходное изображение,
б - искаженное мультипликативным,
в - пуассоновским, г - аддитивным шумом

На рис. 1 приведено первое изображение из базы TID2008, искаженное тремя рассматриваемыми типами помех. Прежде всего, отметим, что для всех трех изображений помехи визуально заметны, особенно для однородных участков анализируемых изображений (для неоднородных участков помехи заметны в меньшей степени вследствие эффектов маскирования [17]). Заметно и различие в визуальном качестве этих изображений, несмотря на то, что $\sigma_a^2 = \sigma_p^2 = \sigma_M^2$ и, соответственно, для всех изображений имеют место одинаковые значения ОСШ и ПОСШ. Практически все участники экспериментов (методика проведения экспериментов более подробно описана ниже) сошлись во мнении, что наилучшее визуальное качество имеет место для изображе-

ния, искаженного мультипликативными помехами, а наихудшее – для изображения, искаженного аддитивными помехами.

2. Рассматриваемые метрики визуального качества и их свойства

В настоящее время известны более 100 различных метрик визуального качества при наличии эталона [18], причем для некоторых имеются доступные программы для расчета, а для некоторых сложно или даже невозможно реализовать предложенный алгоритм расчета по имеющимся описаниям. Не все метрики ориентированы на случай анализа цветного изображения. Поэтому нами были выбраны для последующего использования метрики MSSIM [16] и PSNR-HVS-M [17], для которых имеются программные средства и которые являются лучшими в плане коррелированности их значений результатам экспериментов по оцениванию визуального качества большим количеством участников специальным образом организованных экспериментов.

Эти метрики характеризуются высокой адекватностью для таких типов искажений как помехи различного вида (аддитивные, импульсные) и искажения вследствие смаза, сжатия и внесения водяных знаков [19, 20]. Учитываемые этими метриками особенности зрения важны и понятны. Метрика MSSIM представляет собой функцию трех компонент, одна из которых, в частности, учитывает упомянутый выше закон Фехнера-Вебера в виде

$$I(I^{\text{dist}}, I^{\text{true}}) = (2\mu_{\text{id}}\mu_{\text{it}} + C_1) / (\mu_{\text{id}}^2 + \mu_{\text{it}}^2 + C_1),$$

где $I^{\text{dist}}, I^{\text{true}}$ - соответственно искаженное (например, зашумленное) и истинное изображения, $\mu_{\text{id}}, \mu_{\text{it}}$ - средние значения для этих изображений, C_1 - стабилизирующая положительная константа, введенная с целью устранения нестабильности при $\mu_{\text{id}}^2 + \mu_{\text{it}}^2$, близких к нулю. Значения MSSIM изменяются от 0 (крайне низкое визуальное качество) до 1 (идеальное визуальное качество).

В свою очередь, метрика PSNR-HVS-M учитывает различную чувствительность зрения к искажениям в низких и высоких пространственных частотах, а также принимает во внимание упомянутые ранее эффекты маскирования. Расчет этой метрики выполняется в соответствии с выражениями

$$\text{PSNR-HVS-M} = 10 \lg(D^2 / \text{MSE}_{\text{HVS-M}}), \quad (4)$$

$$\text{MSE}_{\text{HVS-M}} = \left(\sum_{n=1}^{I_{\text{IM}}-7} \sum_{m=1}^{J_{\text{IM}}-7} \text{MSE}_{\text{mn}}^{\text{HVS}} \right) / ((I_{\text{IM}}-7)(J_{\text{IM}}-7)), \quad (5)$$

где $\text{MSE}_{\text{mn}}^{\text{HVS}}$ определяют в ДКП-области в блоках размером 8×8 пикселей, левый верхний угол которых характеризуется индексами m и n , с учетом матрицы весов, характеризующих чувствительность к искажениям на разных пространственных частотах, и эффектов маскирования,

D - динамический диапазон данных для анализируемого изображения.

Значения метрики выражают в дБ, где уровень 40 дБ примерно соответствует визуальной незаметности искажений [19]. Большие значения метрики соответствуют более высокому визуальному качеству изображения.

Зависимость различной чувствительности зрения к искажениям при различных локальных средних может быть учтена и при расчете предлагаемой модификации метрики PSNR-HVS-M (назовем эту модификацию PSNR-HVS-MW). Расчет $\text{MSE}_{\text{HVS-MW}}$ предлагается выполнять с использованием локального взвешивания в виде

$$\text{MSE}_{\text{HVS-MW}} = \frac{\sum_{n=1}^{I_{\text{IM}}-7} \sum_{m=1}^{J_{\text{IM}}-7} w_{\text{mn}} \text{MSE}_{\text{mn}}^{\text{HVS}}}{(I_{\text{IM}}-7)(J_{\text{IM}}-7)}, \quad (6)$$

где w_{mn} определяется по формуле

$$w_{\text{mn}} = \frac{\text{Med}(I)^2}{\beta \cdot \text{Med}(I)^2 + \text{Med}(I_{\text{mn}})^2}, \quad (7)$$

где $\text{Med}(I)$ - медиана яркости всего изображения, а $\text{Med}(I_{\text{mn}})$ - медиана яркости текущего блока изображения 8×8 пикселей, β – стабилизирующий множитель. Тогда

$$\text{PSNR-HVS-MW} = 10 \lg(D^2 / \text{MSE}_{\text{HVS-MW}}). \quad (8)$$

Введение стабилизирующего множителя позволяет учесть закон Фехнера-Вебера и более точно оценивать визуальное качество изображений, искаженных сигнально-зависимыми помехами. В соответствии с этим законом шум на фрагментах изображения с большей яркостью визуально менее заметен, т.е. светлые участки изображения обладают лучшим яркостным маскированием. Как видно из анализа выражения (7), учет данного явления позволяет уменьшить вклад фрагментов изображения высокой яркости в итоговое значение ошибки $\text{MSE}_{\text{HVS-MW}}$.

Кроме того, вес (7) учитывает медианное значение, рассчитанное для всего анализируемого изображения, и, в неявном виде, диапазон представления данных.

Таблица 1

Значения ранговой корреляции Спирмена для разных значений β

Метрики	Noise1	Noise2	Noise3	Safe	Hard	Simple	JPEG	Exotic	Exotic2	Exotic3	Actual	Full
PSNRHVSМ	0,918	0,930	0,922	0,936	0,783	0,942	0,971	0,274	0,287	0,518	0,929	0,559
PSNR-HVS-MW с разными значениями β												
0	0,8884	0,8996	0,8918	0,9060	0,7760	0,9130	0,9305	0,2171	0,2540	0,6796	0,8925	0,5494
0,2	0,9192	0,9305	0,9207	0,9370	0,7956	0,9422	0,9659	0,2401	0,2788	0,6791	0,9272	0,5646
0,4	0,9216	0,9333	0,9224	0,9390	0,7956	0,9449	0,9694	0,2450	0,2839	0,6752	0,9303	0,5663
0,5	0,9222	0,9339	0,9227	0,9395	0,7955	0,9454	0,9699	0,2464	0,2855	0,6762	0,9310	0,5666
0,6	0,9222	0,9340	0,9226	0,9396	0,7953	0,9459	0,9702	0,2476	0,2866	0,6760	0,9313	0,5668
0,7	0,9221	0,9341	0,9222	0,9396	0,7949	0,9459	0,9703	0,2488	0,2876	0,6755	0,9315	0,5669
0,8	0,9220	0,9341	0,9221	0,9396	0,7947	0,9460	0,9706	0,2501	0,2885	0,6749	0,9317	0,5670
0,9	0,9218	0,9341	0,9219	0,9395	0,7945	0,9461	0,9709	0,2518	0,2892	0,6759	0,9317	0,5671
1	0,9216	0,9340	0,9216	0,9394	0,7942	0,9460	0,9710	0,2525	0,2897	0,6763	0,9316	0,5670
1,2	0,9214	0,9340	0,9213	0,9393	0,7935	0,9460	0,9709	0,2539	0,2903	0,6766	0,9316	0,5668
1,4	0,9211	0,9338	0,9210	0,9391	0,7927	0,9459	0,9710	0,2543	0,2904	0,6754	0,9315	0,5666

Тогда имеется возможность провести оптимизацию метрики PSNR-HVS-MW по аналогии с тем, как это сделано в работе [21]. Поскольку для базы TID2008 есть обобщенные (усредненные для большого количества участников экспериментов) оценки визуального качества (mean opinion score – MOS) и легко рассчитать PSNR-HVS-MW с различными значениями β для всех изображений, то была проведена оптимизация, для которой в качестве критерия использовался ранговый коэффициент корреляции Спирмена [22]. Оптимизация может быть проведена как для отдельных наборов типов искажений, так и для всех 17 типов искажений TID2008 [7]. Отметим, что наибольший интерес представляют наборы Actual, Noise3 и Safe.

В результате исследования, проведенного для уже имеющихся в базе TID2008 изображений, получены значения ранговой корреляции Спирмена для различных β , которые приведены в табл. 1. Значение метрики PSNR-HVS-M также приведены в таблице.

Значения β в диапазоне от 0,6 до 1,2 характеризуются небольшими изменениями значений ранговой корреляции Спирмена как для основных, так и всех типов искажений. Практически для всех наборов наибольшее значение ранговой корреляции Спирмена наблюдается при $\beta = 0,8$, а при меньших и больших значениях β идет снижение значений корреляции для большинства групп (наборов) искажений. Таким образом, в качестве оптимального значения можно рекомендовать $\beta = 0,8$.

При этом коэффициент ранговой корреляции Спирмена для метрики PSNR-HVS-MW и MOS оказался примерно на 0,01 больше, чем для PSNR-HVS-M и MOS как для всех типов искажений, учтенных совместно, так и для наиболее значимых групп типов искажений. Таким образом, учет закона Фехнера-Вебера позволяет немного улучшить адекват-

ность метрики PSNR-HVS-MW по сравнению с ее прототипом.

Как было отмечено ранее, в базе не содержатся изображения, искаженные сигнально-зависимыми помехами, поэтому был сформирован отдельный набор тестовых изображений с данными искажениями. Для определения влияния типа шума на визуальное качество изображений было использовано 25 изображений без искажений из TID2008. Для каждого эталонного изображения было сформировано три изображения, искаженные рассматриваемыми типами помех (аддитивным, мультипликативным и пуассоновским) в соответствии с описанной ранее методикой (для каждой спектральной компоненты отдельно).

На рис. 2 показаны результаты оценок визуального качества с использованием метрик MSSIM, PSNR-HVS-M и PSNR-HVS-MW с $\beta=0,8$. Из анализа данных на рис. 2а видно, что метрика качества MSSIM учитывает закон Фехнера-Вебера, вследствие чего значения этой метрики для изображений, искаженных мультипликативным шумом, несколько выше. Метрика визуального качества PSNR-HVS-M практически не реагирует на тип помех (рис. 2б), ее значения отличаются друг от друга для одного и того же тестового изображения не более, чем на 1,5 дБ, причем для изображений, искаженных аддитивными помехами, значения PSNR-HVS-M обычно чуть выше, чем для других типов помех. Для новой метрики PSNR-HVS-MW отличия для одного и того же тестового изображения могут достигать 5 дБ (значения PSNR-HVS-MW выше PSNR-HVS-M для аддитивного шума обычно на 2 дБ, для мультипликативного на 3 дБ и более). Метрика PSNR-HVS-MW при этом практически всегда указывает на более высокое визуальное качество изображений, искаженных мультипликативными помехами (рис. 2в).



а



б



в

Рис. 2. Результаты оценивания метриками качества: а - MSSIM, б - PSNR-HVS-M, в - PSNR-HVS-MW

3. Методика проведения экспериментов

Корректно верификация метрик качества может быть проведена только при сравнении результатов их работы с оценками визуального качества, выставленными группой людей. Для определения значений MOS было проведено ряд субъективных экспериментов. Пример разработанного для этих целей приложения показан на рис. 3. Три изображения, искаженные аддитивным, мультипликативным

и пуассоновским шумом, размещались на экране в случайном порядке. Участники экспериментов выделяли изображения по мере ухудшения их визуального качества. Баллы распределялись следующим образом: лучшему изображению присваивалось 3 балла, среднему по качеству – 2 и худшему – 1. В эксперименте участвовало 10 человек, каждый из которых проходил тест по 2 раза. Усредненные по всем участникам результаты экспериментов для всех 25 изображений представлены на рис. 4.



Рис. 3. Приложение для проведения субъективных экспериментов



Рис. 4. Результаты субъективных экспериментов по изображениям

В результате выполнения субъективных тестов лучшими для почти всех тестовых изображений были признаны изображения, искаженные аддитивным шумом (причем для многих тестовых изображений, например № 4, 8, 9, решение участников экспериментов практически единогласное). Лишь для нескольких тестовых изображений (№ 1 и 12) изображения, искаженные аддитивными помехами, были оценены как имеющие наиболее низкое качество. Таким образом, полученные результаты получились противоречивыми и они существенно отличаются от тех, которые можно было бы ожидать, исходя из закона Фехнера-Вебера. Анализ причин проводится в следующем разделе.

4. Анализ результатов

Прежде всего, нами были рассчитаны значения ранговой корреляции Спирмена для метрик визуального качества MSSIM и PSNR-HVS-M и MOS (рис. 4). Полученные значения приведены в табл. 2 и они близки к нулю. Это свидетельствует о том, что обе метрики практически не учитывают эффекты, которые наблюдались в наших экспериментах. Также были рассчитаны значения ранговой корреляции Спирмена для метрики PSNR-HVS-MW с разными значениями β и MOS (табл. 2). Отрицательные значения подтверждают существование противоречия – согласно закону Фехнера-Вебера более высоким

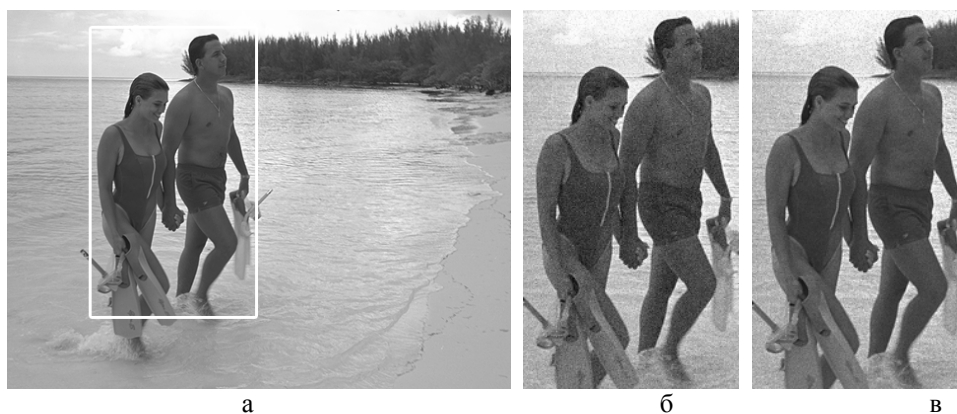


Рис. 5. Изображение №12: а - исходное изображение, б - с аддитивным, в - с мультипликативным шумом



Рис. 6. Изображение №3: а - исходное изображение, б - с аддитивным, в - с мультипликативным шумом

визуальным качеством должны обладать изображения с мультипликативным шумом, но подавляющее большинство участников субъективных тестов лучшими признало изображения с аддитивным шумом.

Постараемся объяснить данный факт. После выявления противоречия участники экспериментов были опрошены с целью выяснить, чем они руководствовались, принимая решение. Большинство указали на то, что их основное внимание было сосредоточено на сравнении фрагментов трех изображений, соответствующих однородным или квазиоднородным участкам (поскольку на текстурных участках шум маскируется). В связи с этим для тестового изображения № 1 (рис. 1) основное внимание при анализе обращалось на темно-красную дверь и, в меньшей степени, ставни на окнах, для которых мультипликативный шум вследствие его относительно малой интенсивности заметен в существенно меньшей степени, чем Пуассоновский и, особенно, аддитивный. Для тестового изображения № 12 (рис. 5) основное внимание обращалось на двух присутствующих на данном изображении людей с загорелыми телами (низкая средняя интенсивность для цветного изображения), для которых мультипликативная помеха также менее заметна, чем аддитивная. Для большинства же других тестовых изображений внимание привлекали другие, в основном,

яркие фрагменты (объекты). Характерный пример приведен на рис. 6, где большинство участников при сравнениях анализировали желтую кепку (слева), для которой мультипликативный шум более заметен, чем аддитивный.

Таблица 2
Значения ранговой корреляции Спирмена

Метрика	Корреляция Спирмена	Метрика	Корреляция Спирмена
MSSIM	-0,0694	PSNR-HVS-M	0,0376
PSNR-HVS-MW с разными значениями β			
0	-0,3742	0,8	-0,2213
0,2	-0,3409	0,9	-0,2115
0,4	-0,2940	1	-0,2070
0,5	-0,2715	1,2	-0,1883
0,6	-0,2537	1,4	-0,1714
0,7	-0,2414	1,5	-0,1646

Таким образом, при анализе и оценивании визуального качества изображений люди большое внимание уделяют смысловой нагрузке - объектам на изображении, которые так или иначе привлекают их интерес и внимание. Лишь очень немногие современные метрики визуального качества учитывают

этот аспект [23]. Поэтому учет данной особенности психовизуального восприятия может быть одним из перспективных направлений дальнейших исследований при стремлении повысить адекватность метрик визуального качества изображений как при наличии, так и при отсутствии эталона.

Заключение

В работе предложена модификация метрики визуального качества PSNR-HVS-M, использующая весовой коэффициент, принимающий во внимание закон Фехнера-Вебера. Оптимизация предложенной метрики на базе тестовых изображений TID2008 позволила несколько повысить метрику качества визуальному восприятию человека. Для верификации модифицированной и некоторых распространенных метрик для изображений с аддитивным, мультипликативным и пуассоновским шумом, был сформирован набор тестовых изображений и проведен ряд субъективных экспериментов по оценке их визуального качества. Результаты оценки метрик показали, что учета одного этого закона недостаточно. Необходимо одновременно учитывать и другие характеристики изображения, чтобы повысить соответствие восприятию человека.

Литература

1. Lin, W. *Perceptual Visual Quality Metrics: A Survey [Text]* / W. Lin, C. Jay Kuo // *Journal of Visual Communication and Image Representation*. – 2011. – Vol. 22, No 4. – P. 297–312.
2. Seshadrinathan, K. *Automatic Prediction of Perceptual Quality of Multimedia Signals – a Survey [Text]* / K. Seshadrinathan, A.C. Bovik // *Multimedia Tools and Applications*. – 2011. – Vol. 51, No 1. – P. 163–186.
3. Slone, R.M. *Assessment of visually lossless irreversible image compression: comparison of three methods by using an image comparison workstation [Text]* / R.M. Slone // *Radiology*. – 2000. – Vol. 215. – P. 543–553.
4. Wang, Z. *Mean squared error: love it or leave it? – A new look at signal fidelity measures [Text]* / Z. Wang, A.C. Bovik // *IEEE Signal Processing Magazine*. – Jan. 2009. – P. 98–117.
5. Sheikh, H.R. *A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms [Text]* / H.R. Sheikh, M.F. Sabir, A.C. Bovik // *IEEE Trans. on Image Proc.* – 2006. – Vol. 15, no. 11. – P. 3441–3452.
6. *Toyota still images database [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <http://mict.eng.u-toyama.ac.jp/database/toyama>. – 23.04.12 г.
7. TID2008 – *A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics [Text]* / N. Ponomarenko, V. Lukin, A. Zelensky, K. Egiazarian, M. Carli, F. Battisti // *Advances of Modern Radioelectronics*. – 2009. – Vol.10. – P. 30–45.
8. Oliver, C. *Understanding Synthetic Aperture Radar Images [Text]* / C. Oliver, S. Quegan. – SciTech Publishing, 2004. – 464 p.
9. Deledalle, C.A. *Patch similarity under non Gaussian noise [Text]* / C.A. Deledalle, F. Tupin // *Proceedings of ICIP*. – 2011. – 4 p.
10. Choong, M.K. *Improving Diagnostic Quality of MR Images through Controlled Lossy Compression Using SPIHT [Text]* / M.K. Choong, R. Logeswaran, M. Bister // *Journal of Medical Systems*. – 2006. – Vol. 30. – P. 139–143.
11. Murtagh, F. *Image restoration with noise suppression using a multiresolution support [Text]* / F. Murtagh, J.L. Starck, A. Bijaoui // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* – 1995. – Vol. 112. – P. 179–189.
12. *A Soft-Switching Approach to Improve Visual Quality of Colour Image Smoothing Filters [Text]* / S. Morillas, S. Schulte, T. Melange, E. Kerre, V. Gregori // *Proceedings of ACIVS, Springer Series on LNCS*. – 2007. – Vol. 4678. – P. 254–261.
13. *Анализ эффективности фильтрации одно-взглядовых PCA-изображений с использованием различных метрик [Текст]* / Д.В. Февралев, С.С. Кривенко, В.В. Лукин, А.А. Зеленский // *Авиационная и ракетно-космическая техника*. – 2010. – № 3 (70). – С. 93–102.
14. *Сжатие PCA-изображений без визуально-заметных искажений [Текст]* / Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин, Д.В. Февралев, А.А. Зеленский // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 5 (82). – С. 78–85.
15. *Weber-Fechner law: Wikipedia. [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Weber%E2%80%93Fechner_law. – 23.04.12 г.
16. Wang, Z. *Multi-scale Structural Similarity for Visual Quality Assessment [Text]* / Z. Wang, E.P. Simoncelli, A.C. Bovik // *Proceedings of the 37th IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 9–12 Nov. 2003. – Vol. 2. – Monterey, 2003. – P. 1398–1402.
17. *On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Text]* / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin // *CD-ROM Proc. of the Third Int. Workshop on Video Proc. and Quality Metrics*, 25–26 January 2007. – Arizona, 2007. – 4 p.
18. Pedersen, M. *A new spatial hue angle metric for perceptual image difference [Text]* / M. Pedersen, J.Y. Hardeberg // *Springer Series on LNCS*. – 2009. – Vol. 5646. – P. 81–90.
19. *Lossy compression of images without visible distortions and its applications [Text]* / V. Lukin, M. Zriakhov, S. Krivenko, N. Ponomarenko, Z. Miao // *Proc. of ICSP*, 24–28 Oct. 2010. – Beijing, 2010. – P. 694–697.
20. *Оценка визуальных искажений при внедрении в изображения цифровых водяных знаков [Текст]* / О.И. Еремеев, Н.Н. Пономаренко,

В.В. Лукин, А.А. Зеленский // Матеріали 7-ої наукової конференції ДУІКТ «Сучасні тенденції розвитку технологій в інфокомунікаціях та освіті», листопад 2010 р. – Харків, 2010. – С. 20 – 23.

21. *Visual Quality of Lossy Compressed Images* / N. Ponomarenko, S. Krivenko, V. Lukin, K. Egiazarian // *Proceedings of CADSM2009*. – Feb. 2009. – P. 137 – 142.

22. Kendall, M.G. *The advanced theory of statistics. Vol. 1 [Text]* / M.G. Kendall. – London: Charles Griffin & Company limited, 1945. – 457 p.

23. Moorthy A.N. *Visual importance pooling for image quality assessment [Text]* / A.N. Moorthy, A.C. Bovik // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. – 2009. – Vol. 3, No 2. – P. 193 – 201.

Поступила в редакцію 11.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Проектирования радиоэлектронных систем летательных аппаратов» Э.Н. Хомяков, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

ВІЗУАЛЬНА ЯКІСТЬ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ РІЗНИХ ТИПАХ ЗАВАД

О.І. Єремєєв, Д.В. Февральов, М.М. Пономаренко, В.В. Лукін

Проаналізовано візуальну якість зображень, створених різними типами завад. Проведено експерименти зі спостерігачами (учасниками експериментів) для кольорових зображень, створених на основі бази TID2008. Показано, що навіть найкращі із запропонованих метрик не здатні адекватно оцінювати візуальну якість. Встановлено основні причини такої неадекватності, що пов'язані із залученням підвищеної уваги спостерігача до певних об'єктів на зображеннях, тобто семантичними аспектами зору, які складно врахувати при розробці метрик візуальної якості.

Ключеві слова: зображення з перешкодами, типи шуму, метрики візуальної якості, система візуального сприйняття людини, аналіз зображень.

IMAGE VISUAL QUALITY WITH DIFFERENT TYPES OF INTERFERENCE

O.I. Ieremeiev, D.V. Fevraley, N.N. Ponomarenko, V.V. Lukin

The visual quality of images distorted by various types of interference is analyzed. Experiments with the observers (participants in the experiments) for color images that are based on TID2008 were performed. It is shown that even the best of the proposed metrics are currently not able to adequately estimate the visual quality. The basic reasons of this inadequacy are attracting attention of the observer to specific objects in images. Such semantic aspects are difficult to take into account in developing of visual metrics quality.

Keywords: noisy images, types of noise, visual quality metrics, human visual system, image analysis.

Єремєєв Олег Ігоревич – аспірант, м.н.с. каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: ol.eremeiev@mail.ru

Февральов Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, с.н.с. каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: fevraley@mail.ru

Пonomаренко Николай Николаевич – канд. техн. наук, докторант каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: uagames@mail.ru

Лукін Владимир Васильевич – д-р техн. наук, проф., проф. каф. «Приема, передачи и обработки сигналов», Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: lukin@xai.kharkov.ua