

УДК 681.325

О.И. Еремеев

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ МЕТРИКА ВИЗУАЛЬНОГО КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ ЭТАЛОНА

*Рассмотрена задача создания интегрированной метрики визуального качества изображений при наличии эталона с использованием нейронных сетей. Проведен анализ эффективности существующих метрик на сложных типах искажений базы тестовых изображений TID2013. Определены критерии выбора метрик, входящих в состав интегрированной метрики на базе нейронной сети, и с использованием взаимной корреляционной функции проведен их отбор. Разработаны интегрированные метрики на основе различных схем искусственных нейронных сетей. С помощью базы тестовых изображений TID2013 проведены верификация синтезированных метрик визуального качества изображений и выбор оптимальной схемы. Подтверждено лучшее соответствие восприятию человека интегрированной метрики визуального качества изображений при наличии эталона.*

**Ключевые слова:** меры визуального качества при наличии эталона, система визуального восприятия человека, анализ изображений, нейронные сети.

### Введение

**Постановка проблемы.** Метрики визуального качества изображений широко применяются в различных областях цифровой обработки изображений (ЦОИ). Они используются для контроля уровня внесимых искажений методами сжатия с потерями, фильтрации, коррекции и другой обработки [1 – 3]. Метрики качества позволяют минимизировать визуальную заметность искажений и обеспечить высокую эффективность работы данных методов, что актуально для всех задач, в которых конечным потребителем изображений является человек. Но эффективность такого подхода напрямую зависит от того, насколько точно в метриках визуального качества учитываются особенности системы визуального восприятия человека (СВВЧ).

СВВЧ представляет собой сложную систему, для которой на данный момент не существует достаточно точной математической модели. Поэтому метрики необходимо верифицировать, а единственным критерием точности является сравнение их результатов с субъективными оценками. Для решения данной задачи создаются специализированные базы тестовых изображений (БТИ) [4 – 11], лучшими среди которых являются TID2013, TID2008 и LIVE Database. Для всех изображений тестовых наборов посредством прохождения добровольцами субъективных экспериментов получают оценки визуально-

го качества. Применение корреляционных методов, в первую очередь коэффициентов ранговой корреляции Спирмена и Кендалла [12], позволяет оценить соответствие результатов метрик для тестовых изображений с соответствующими субъективными оценками и определить их точность.

**Анализ литературы.** Развитие вычислительной техники, совершенствование математических моделей СВВЧ и спрос на эффективные метрики визуального качества при наличии эталона способствуют динамическому развитию данной области ЦОИ. На момент создания TID2008 только метрики MSSIM [13], VIF [14] и VSNR [15] показали коэффициент корреляции Спирмена выше 0,7 и максимальное значение 0,85 (MSSIM). Верификация современных метрик визуального качества на новой и наиболее совершенной базе тестовых изображений TID2013 показала, что уже семь новых метрик [16 – 20] имеют значения корреляции Спирмена более 0,8. Из них FSIMc [16] и SFF [17] преодолели порог 0,85, тогда как значение метрики MSSIM упало до 0,79.

Проведенные исследования точностных характеристик БТИ [21] показали, что достаточно высокую степень соответствия системе визуального восприятия человека метрики могут обеспечить при значениях коэффициента ранговой корреляции Спирмена более 0,96. Существующие метрики визуального качества изображений не обеспечивают необходимого уровня эффективности. Поэтому стоит

проблема ее повышения другими методами, например, посредством интегрирования нескольких метрик при помощи кластеризации или нейронных сетей, как это было предложено в [22] для метрик визуального качества при отсутствии эталона.

**Цель работы.** Разработать метод интегрирования нескольких метрик визуального качества при наличии эталона при помощи нейронных сетей. На основании полученных данных оценить эффективность как отдельных, так и интегрированных метрик визуального качества на специальной базе тестовых изображений TID2013 [7, 8].

## 1. Верификация существующих метрик визуального качества при наличии эталона

Качество верификации метрик визуального качества изображений является определяющим, когда надо оценить точность исследуемой метрики или объективно сравнить ее с существующими аналогами. Эффективность верификации напрямую зависит от используемого набора тестовых изображений и точности сформированного массива усредненных экспертных оценок (mean opinion score, MOS). В классе метрик визуального качества при наличии эталона существуют несколько десятков различных тестовых наборов изображений, наибольшие из них представлены в табл. 1. Наилучшими характеристиками среди них обладает TID2013 [8]. По информации, приведенной в табл. 1, видно, что TID2013 превосходит аналоги как по количеству изображений и типов искажений, так и по результатам субъективных экспериментов.

Сравнивая лучшие БТИ, необходимо отметить следующие ключевые особенности TID2013:

1. Новая БТИ, как и TID2008, включает 25 эталонных изображений, 24 из которых взяты из базы изображений Kodak, а 25-е синтезировано.

2. В TID2013 содержится максимальное количество типов искажений. К 17 типам искажений, взятых из TID2008, были добавлены новые, а общее количество доведено до 24 (полный список искажений приведен в табл. 2). Для TID2008 характерно, что практически все искажения сосредоточены в яркостной компоненте цветового пространства YCbCr. Для верификации цветных изображений в новой БТИ были добавлены преимущественно искажения в цветоразностных компонентах. Также был добавлен сигнално-зависимый шум, наличие которого характерно для всех современных светочувствительных сенсоров устройств регистрации изображений [23]. Изображения могут содержать не только отдельные, но и смешанные типы помех, поэтому в TID2013 включена комбинированная помеха.

Добавление новых типов искажений позволило повысить точность верификации, но не обеспечило представления всех возможных случаев в ЦОИ. Дальнейшее же увеличение количества тестовых изображений проблематично, так как это приводит к увеличению времени проведения каждого субъективного эксперимента, что, вследствие накопления усталости, негативно сказывается на качестве получаемых оценок MOS.

3. В TID2013 к существующим четырем уровням интенсивности искажений, примерно соответствующим фиксированным значениям метрики качества PSNR (peak signal-to-noise ratio) в 21, 24, 27 и 30дБ, добавлен новый уровень интенсивности. Как показали исследования [24], у некоторых метрик визуального качества при наличии эталона возни-

Таблица 1

Сравнительный анализ эталонных баз тестовых изображений

N	Характеристика	База тестовых изображений					
		TID2008	TID2013	LIVE Database	Toyama	IVC	CSIQ
1	Число изображений в базе данных	1700	3000	779	196	235	866
2	Число разных типов искажений	17	24	5	2	4	6
3	Количество участников экспериментов	846	971	161	16	15	35
4	Способ оценивания визуального качества	Относительная оценка (выбор из двух искаженных изображений визуально менее отличающегося от оригинала)		Абсолютная оценка качества по 5-бальной шкале (Excellent, Good, Fair, Poor, Bad)			Относительная оценка (сортировка одного типа искажений на экране по визуальному качеству)
5	Количество оцениваний качества изображений в ходе экспериментов	255816	524340	25000	3136	3525	5000
6	Шкала полученных оценок MOS	0..9		0..100 (растянутая 1..5)	1..5		0..1
7	Дисперсия оценок MOS	0,63	0,69	250	1,5	-	-
8	Относительная дисперсия оценок MOS	0,031	0,035	0,083	0,189	-	-

Таблица 2

Типовые группы искажений TID2013

№	Типы искажений
1	Аддитивный шум
2	Аддитивный шум в цветовых компонентах
3	Коррелированный шум
4	Маскированный шум
5	Высокочастотный шум
6	Импульсный шум
7	Шум квантования
8	Размытие
9	Фильтрация шума
10	Сжатие JPEG
11	Сжатие JPEG2000
12	Сбои в канале передачи JPEG изображений
13	Сбои в канале передачи JPEG2000 изображений
14	Искажения с низкой степенью оригинальности
15	Локальные блочные искажения
16	Изменения яркости
17	Изменения контраста
18	Изменения насыщенности цвета
19	Мультипликативный шум
20	Комфортный шум
21	Сжатие с потерями зашумленных изображений
22	Квантование цветного изображения с дизерингом
23	Хроматические аберрации
24	Восстановление изображений по разреженной сетке отсчетов

кают проблемы при оценке изображений с визуально малозаметными или незаметными искажениями. По этой причине для всех искажений был добавлен 5-й уровень со значением метрики PSNR в 33дБ.

4. Для TID2013 был проведен анализ точностных характеристик субъективных оценок, аналогичный [21]. Полученные результаты показывают, что наличие около 39 оценок для каждого искаженного изображения обеспечивает точность MOS для корреляции Спирмена на уровне 0,994, а Кендалла 0,94.

Максимальное количество искажений с высокой точностью MOS позволяют обеспечить эффективную верификацию метрик визуального качества. При помощи TID2013 проводилась оценка точности 28 метрик [11, 13 – 20, 25 – 37]. Детально верификация рассмотрена в работе [8], а в табл. 3 представлены значения корреляции Спирмена и Кендалла для всех изображений TID2013.

Из данных табл. 3 видно, что максимальное значение ранговой корреляции Спирмена достигается метриками FSIMc и SFF. Они значительно превосходят распространенную метрику PSNR, не учитывая особенности СВВЧ. Вместе с тем полученного результата недостаточно для того, чтобы можно было утверждать, что метрики визуального качества в достаточной мере учитывают особенности визуального восприятия человека. Для этого необходимо, чтобы корреляция Спирмена достигала уровня примерно 0,96, а Кендалла – 0,9.

Таблица 3

Значения ранговой корреляции Спирмена

№	Метрики	Корреляция	
		Спирмена	Кендалла
1	PSNR	0,6395	0,4700
2	PSNRc	0,6869	0,4958
3	MSSIM [13]	0,7872	0,6079
4	SSIM [29]	0,6370	0,4636
5	VSNR [15]	0,6809	0,5077
6	VIFP [14]	0,6084	0,4567
7	VIF [14]	0,6770	0,5148
8	NQM [30]	0,6349	0,4662
9	WSNR [33]	0,5796	0,4463
10	PSNR-HVS-M [28]	0,6246	0,4818
11	PSNR-HVS [27]	0,6536	0,5077
12	PSNR-HMAc [18]	0,8128	0,6316
13	PSNR-HAc [18]	0,8187	0,6433
14	FSIM [16]	0,8007	0,6300
15	FSIMc [16]	0,8510	0,6669
16	SFF [17]	0,8513	0,6588
17	UQI [32]	0,5444	0,3906
18	MSDDM [26]	0,7694	0,5954
19	SR-SIM [19]	0,8070	0,6417
20	DCTUNE [31]	0,6198	0,4704
21	CW SSIM [34]	0,5616	0,4196
22	IFC [37]	0,5400	0,3959
23	IWPSNR [25]	0,6888	0,5250
24	IWSSIM [25]	0,7774	0,5998
25	MAD index [11]	0,7807	0,6035
26	XYZ [35]	0,6872	0,5110
27	Linlab [36]	0,6495	0,4946
28	BMMF [20]	0,8340	0,6640

Вследствие использования различных моделей СВВЧ, алгоритмов вычисления, разные метрики с неодинаковой эффективностью оценивают те или иные типы искажений. Например, в табл. 4 приведены значения корреляции Спирмена для пар искажений, состоящих из аддитивного шума и остальных 23 по очереди для 5 лучших метрик (PSNR-HAc, FSIMc, SFF, SR-SIM, BMMF). Серым цветом в таблице выделены два наиболее проблемных типа искажения для каждой из метрик. При совместном использовании 5 лучших метрик визуального качества изображений при наличии эталона можно обеспечить точность оценки различных типов искажений на уровне 0,84-0,96, компенсируя недостатки одних метрик преимуществами других. Поэтому данное направление исследований представляется перспективным.

## 2. Выбор метрик визуального качества для интегрированной метрики

Задачу интегрирования нескольких метрик визуального качества можно отнести к задачам многопараметрической оптимизации, с помощью которой решают проблемы классификации, распознавания объектов и многие другие. Для решения такого класса задач разработаны различные самообучающиеся алгоритмы, наиболее распространенными из

Таблица 4  
Значения ранговой корреляции Спирмена

Искаже- ния	SFF	FSIMc	PSNR- HAc	SR-SIM	BMMF
1 и 2	0,8413	0,9126	0,9037	0,9202	0,9404
1 и 3	0,9362	0,9346	0,9557	0,9522	0,9476
1 и 4	0,8833	0,8744	0,9124	0,8844	0,9116
1 и 5	0,8975	0,9214	0,9559	0,9322	0,9479
1 и 6	0,8435	0,7912	0,8687	0,8060	0,8747
1 и 7	0,8830	0,9074	0,9241	0,9005	0,9446
1 и 8	0,9456	0,9322	0,9485	0,9450	0,9340
1 и 9	0,8725	0,8995	0,9369	0,9041	0,9647
1 и 10	0,9401	0,9464	0,9598	0,9526	0,9608
1 и 11	0,9296	0,9490	0,9639	0,9578	0,9594
1 и 12	0,8381	0,8701	0,8156	0,8651	0,8177
1 и 13	0,9141	0,9236	0,9410	0,9425	0,8408
1 и 14	0,6898	0,8097	0,6239	0,7637	0,8778
1 и 15	0,7466	0,7207	0,7989	0,8408	0,7578
1 и 16	0,8299	0,8758	0,8825	0,8467	0,8976
1 и 17	0,7075	0,6675	0,7976	0,6394	0,9130
1 и 18	0,8401	0,5348	0,2861	0,0450	0,0673
1 и 19	0,8751	0,8864	0,9433	0,9049	0,9154
1 и 20	0,8978	0,9164	0,9446	0,9242	0,9349
1 и 21	0,8918	0,9263	0,9541	0,9358	0,9518
1 и 22	0,8913	0,8915	0,9304	0,8993	0,9004
1 и 23	0,8063	0,8939	0,7592	0,9122	0,8849
1 и 24	0,9014	0,9342	0,9528	0,9361	0,8890

которых являются нейронные сети. В данной статье рассмотрена возможность использования нейронных сетей для повышения точности оценки визуального качества изображений.

Эффективность работы нейронной сети зависит от эффективности используемых в ней метрик визуального качества. Для обеспечения высоких результатов входных данных, выбранный набор метрик должен соответствовать следующим требованиям:

1. В массив входных данных должны быть добавлены наиболее точные метрики визуального качества. Это требование является одним из ключевых, так как эффективность работы нейронных сетей напрямую зависит от эффективности входных данных. Нейронная сеть в процессе обучения только подбирает веса, с какими должны учитываться значения метрик при оценке того или иного изображения.

2. Выбранные метрики не должны быть подобными, т.е. не применять один алгоритм вычисления метрики и одну модель СВВЧ. Использование похожих метрик приведет к тому, что задействоваться будет только лучшая из них, а вторая не будет иметь никакого влияния на эффективность итоговой интегрированной метрики, усложняя процесс ее создания.

Учитывая перечисленные требования к входным метрикам, необходимо определить степень их подобия. Мерой подобия метрик визуального качества является их взаимная корреляция. Результаты метрик для TID2013 представляют собой массивы чисел, поэтому наиболее оптимальным подходом будет использование коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Первое требование накладывает

ограничение на использование наиболее эффективных метрик. По этой причине взаимная корреляция вычисляется только для 10 лучших метрик визуального качества изображений.

Результаты взаимной корреляции 10 лучших метрик представлены в табл. 5. Некоторые из рассмотренных метрик похожи, например FSIM и FSIMc, PSNR-HAc и PSNR-HMAc, и другие пары метрик, для которых значения взаимной корреляции находятся на уровне 0,97-0,99. При выборе метрик, используемых для интеграции при помощи нейросетей, такие случаи необходимо исключить. В результате подбора для дальнейших исследований выбраны метрики BMMF, FSIMc, PSNR-HAc, SR-SIM, SFF.

Таблица 5  
Значения взаимной корреляции метрик качества

	BMMF	FSIM	FSIMc	IWSSIM	MAD_INDEX	MSSIM	PSNRHAc	PSNRHMAc	SFF	SR_SIM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2	0,90									
3	0,87	0,97								
4	0,88	0,98	0,95							
5	0,89	0,93	0,90	0,94						
6	0,89	0,98	0,95	0,99	0,92					
7	0,87	0,91	0,91	0,90	0,88	0,89				
8	0,84	0,89	0,90	0,89	0,87	0,86	0,98			
9	0,81	0,88	0,94	0,87	0,81	0,86	0,88	0,89		
10	0,90	0,99	0,96	0,97	0,94	0,97	0,92	0,90	0,88	

### 3. Интеграция метрик визуального качества изображений с использованием нейронных сетей

Нейронные сети представляют собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых элементов - нейронов. На рис. 1, а представлена схема 2-слойной нейронной сети с прямой связью. Также представлены и более сложные версии сети, когда количество скрытых слоев, аналогичных первому, увеличено до двух или трех. Кроме нее при вычислениях используется и каскадная нейронная сеть (рис. 1, б). Отличие каскадной сети, что на каждый уровень нейронной сети, начиная со второго, подаются как результаты предыдущего уровня, так и значение входных параметров напрямую. Для построения нейронных сетей было использовано дополнение Neural Network Toolbox к пакету ПО MATLAB.

Работа по созданию интегрированной метрике на базе искусственных нейронных сетей состоит из трех этапов: подготовки сети, ее обучения и непосредственного использования обученной сети (тестирования).

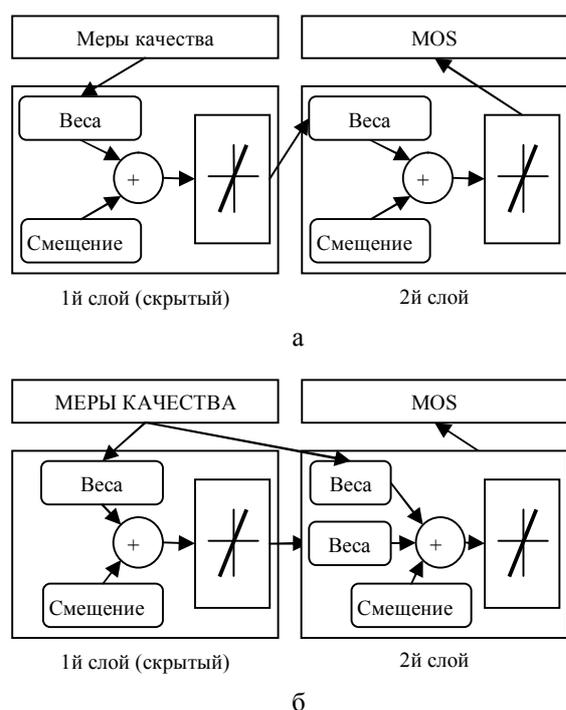


Рис. 1. Схемы 2-слойной нейронной сети: сеть с прямой связью (а) и каскадная сеть (б)

На этапе подготовки необходимо определить тип сети, количество слоев и нейронов в каждом слое, подготовить входные (результаты метрик) и выходные (субъективные оценки, являющиеся эталонными значениями при обучении сети) данные. В данной работе для построения интегрированной метрики используются нейронная сеть прямой связью и каскадная сеть, и для каждой формируются несколько схем с различным количеством скрытых слоев (от 1 до 3) и разным количеством нейронов в слоях.

Для проведения обучения и тестирования нейронных сетей все оценки метрик и субъективные оценки MOS были разбиты на две равные группы по 1500 значений (нечетные значения для обучения, четные для оценки эффективности). В каждой группе изображений присутствуют все типы искажений.

Второй этап – обучение нейронной сети. В соответствии с реализованным в MATLAB алгоритмом, при обучении массив входных данных (по 1500 значений для каждой метрики) случайным образом делится на три группы:

- обучающий набор, который используется для определения весов той или иной метрики;
- проверочный набор, использующийся для уменьшения переобучения;
- тестовый, использующийся для оценки эффективности нейронной сети.

Основные настройки обучения применялись установленные по умолчанию, что, как показала практика, является оптимальным решением. Так в качестве метода обучения используется алгоритм

Левенберга-Марквардта, обеспечивший максимальные показатели корреляции. Изменены были только пропорции разделения оценок метрик с 70/15/15 на 80/18/2 для обучающего, проверочного и тестового набора оценок. Причина заключается в том, что на тестирование сети полностью отводится второй набор оценок по 1500 значений для каждой метрики, а на данном этапе необходимо максимально использовать набор оценок для обучения.

В процессе обучения нейронной сети на всех нейронах подбираются оптимальные значения весовых коэффициентов и смещения. Критерием качества является минимизация среднеквадратического отклонения (СКО) между результатами обучения и значениями MOS.

Главной проблемой обучения нейронных сетей заключается в том, что может быть найдена точка не с глобальным минимумом СКО, а одна из локальных. Поэтому для получения достоверного результата проводилось 50 построений для каждой конфигурации сети.

Третий этап создания интегрированной метрики – оценка эффективности каждой обученной нейронной сети. Для формирования оценок интегрированной метрики на вход обученной сети подается второй набор значений метрик. Верификация обеспечивается подсчетом коэффициентов корреляции Спирмена и Кендалла между значениями интегрированной метрики и второго набора оценок MOS. Максимальное из 50 значений корреляции для каждой структуры сети выбирается как конечная оценка.

Результаты применения нейронных сетей показаны в табл. 6. По сравнению с исходными метриками, максимальное значение среди которых было 0,851 по корреляции Спирмена и 0,667 по корреляции Кендалла, данный подход показывает значительный прирост. Конкретную наиболее эффективную конфигурацию сложно выделить, так как для любой из них в связи со случайным подбором стартовых значений коэффициентов результаты колеблются в диапазоне 0,91..0,928. Лучший результат был получен для 4-уровневых каскадных нейронных сетей, для которых получено максимальное значение ранговой корреляции Спирмена и Кендалла 0,928 и 0,766 соответственно, что больше на 0,07 по сравнению с отдельными метриками визуального качества при наличии эталона.

## Заключение

Постоянное развитие метрик визуального качества при наличии эталона требует совершенствования инструментов оценки их эффективности. Для обеспечения растущих требований к верификации метрик была создана новая база тестовых изображений TID2013, содержащая 24 типа искажений и 3000 изображений и точные оценки MOS.

Таблица 6

Значения корреляции Спирмена для метрик с различными конфигурациями нейронной сети

Модель	Кол-во нейронов	Корреляция		
		Спирмена	Кендалла	
2-уровневая не сеть				
Нейросеть с прямой связью	5	0,9234	0,7631	
	7	<b>0,9246</b>	<b>0,7645</b>	
	10	0,9244	0,7627	
	15	0,9204	0,7541	
Каскадная нейронная сеть	5	0,9192	0,7531	
	7	<b>0,9247</b>	<b>0,7609</b>	
	10	0,9226	0,7589	
	15	0,9201	0,7546	
Каскадная нейронная сеть	20	0,9241	0,7605	
	3-уровневая сеть			
	5, 5	0,9214	0,7576	
	7, 7	0,9244	0,7618	
Нейросеть с прямой связью	10, 10	0,9232	0,7595	
	15, 15	0,9220	0,7581	
	20, 20	0,9219	0,7570	
	7, 5	<b>0,9262</b>	<b>0,7647</b>	
	7, 9	0,9224	0,7586	
	5, 7	0,9259	0,7643	
	9, 7	0,9210	0,7572	
	Каскадная нейронная сеть	5, 5	0,9228	0,7587
7, 7		0,9240	0,7610	
10, 10		0,9237	0,7600	
15, 15		0,9212	0,7568	
20, 20		0,9226	0,7593	
7, 5		0,9206	0,7570	
7, 9		0,9240	0,7587	
5, 7		<b>0,9271</b>	<b>0,7667</b>	
9, 7	0,9222	0,7581		
4-уровневая сеть				
Нейросеть с прямой связью	5, 5, 5	0,9204	0,7537	
	7, 7, 7	0,9210	0,7560	
	10, 10, 10	0,9223	0,7576	
	15, 15, 15	<b>0,9248</b>	<b>0,7619</b>	
	20, 20, 20	0,9222	0,7587	
Каскадная нейронная сеть	5, 5, 5	0,9221	0,7582	
	7, 7, 7	0,9251	0,7621	
	10, 10, 10	0,9245	0,7635	
	15, 15, 15	<b>0,9277</b>	<b>0,7655</b>	
Каскадная нейронная сеть	20, 20, 20	0,9224	0,7577	

Тестирование новых метрик качества показало повышение их точности, но максимальный коэффициент ранговой корреляции Спирмена между результатами метрик и оценками MOS равен 0,85. По причине неточных математических моделей СВВЧ, эффективности существующих метрик недостаточно для обеспечения оценки визуального качества, близкой к субъективной.

Проведенный в работе анализ показал, что для различных метрик проблемными являются разные типы искажений. Их объединение в интегрированную метрику позволяет для каждого проблемного искажения использовать лучшую метрику, обеспечив высокий уровень корреляции для всех искажений, и, тем самым, повысить их эффективность. Использование взаимной корреляции обеспечило вы-

бор наиболее эффективных метрик визуального качества при наличии эталона и исключение дублирования похожих метрик.

Построение в данной работе различных конфигураций нейронных сетей для выбранных метрик позволило найти оптимальное решение для интегрированной метрики и повысить ее соответствие визуальному восприятию человека от 0,851 и 0,667 по ранговой корреляции Спирмена и Кендалла до 0,928 и 0,766 соответственно. Усложнение нейронных сетей может несколько повысить показатель точности метрики (на 0,002-0,003). Но для дальнейшего повышения эффективности метрик визуального качества необходимо их совершенствовать, учитывать новые особенности восприятия человека.

## Список литературы

1. Keelan, B.W. *Handbook of Image Quality [Текст] / B.W. Keelan. – Marcel Dekker, Inc.: New York, 2002. – 544 p.*
2. Lin, W. *Perceptual visual quality metrics: A survey [Текст] / W. Lin, C.C. Jay Kuo // Journal of Visual Communication and Image Representation. – Vol. 22. – 2011. – P. 297-312.*
3. Chandler, D.M. *Seven Challenges in Image Quality Assessment: Past, Present, and Future Research [Текст] / D.M. Chandler // ISRN Signal Proc. – Vol. 2913. – 2013. – P. 1-53.*
4. H.R. LIVE Image Quality Assessment Database Release 2 [Электронный ресурс] / H.R. Sheikh, Z. Wang, L. Cormack, A.C. Bovik. – Режим доступа: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality/subjective.htm> - 27.05.2014.
5. TID2008 - A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics [Текст] / N. Ponomarenko, V. Lukin, A. Zelensky, K. Egiazarian, M. Carli, F. Battisti // *Advances of Modern Radioelectronics. – Vol. 10. – 2009. – P. 30-45.*
6. Horita, Y. *Subjective quality assessment toyama database [Электронный ресурс] / Y. Horita, K. Shibata, Z.M. Parvez Saddam. – Режим доступа: <http://mict.eng.u-toyama.ac.jp/mict/> - 27.05.2014.*
7. *Color image database TID2013: Peculiarities and preliminary results [Текст] / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian and others // 4th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP). – 2013. - P. 106-111.*
8. *A New Color Image Database TID2013: Innovations and Results [Текст] / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, L. Jin and others // Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. – Vol. 8192. – 2013. - P. 402-413.*
9. Winkler, S. *Analysis of Public Image and Video Databases for Quality Assessment [Текст] / S. Winkler // IEEE Journal of Selected Topics in Signal Proc. – Vol. 6. – 2012. – P. 616-625.*
10. Le Callet, P. *Subjective quality assessment IRCCyN/IVC database [Электронный ресурс] / P. Le Callet, F. Aurussseau. - Режим доступа: <http://www.irccyn.ec-nantes.fr/ivcdb/> - 27.05.2014.*
11. Larson, E.C. *Most apparent distortion: full-reference image quality assessment and the role of strategy [Текст] / E. C. Larson, D. M. Chandler // Journal of Electronic Imaging. – Vol. 19 (1). - 2010. – 21 p.*
12. Kendall, M.G. *The advanced theory of statistics. Vol. 1 [Текст] / M.G. Kendall // London: Charles Griffin & Company limited. - 1945. – 457 p.*
13. Wang, Z. *Multi-scale structural similarity for image quality assessment [Текст] / Z. Wang, E.P. Simoncelli, A.C. Bovik // Proc. IEEE Asilomar Conf. Signals, Systems and Computers. – 2003. - P. 1398-1402.*

14. Sheikh, H.R. Image information and visual quality [Текст] / H.R. Sheikh, A.C. Bovik // IEEE Transactions on Image Processing. – Vol. 15. – 2006. – P. 430-444.
15. Chandler, D.M. VSNR: A Wavelet-Based Visual Signal-to-Noise Ratio for Natural Images [Текст] / D.M. Chandler, S.S. Hemami, // IEEE Transactions on Image Processing. – Vol. 16. – 2007. – P. 2284-2298.
16. FSIM: A Feature Similarity Index for Image Quality Assessment [Текст] / L. Zhang, L. Zhang, X. Mou, D. Zhang // IEEE Transactions on Image Proc. – Vol. 20. – 2011. – P. 2378-2386.
17. Sparse Feature Fidelity for Perceptual Image Quality Assessment [Текст] / H.-W. Chang, H. Yang, Y. Gan, M.-H. Wang, // IEEE Transactions on Image Processing. – Vol. 22. – 2013. – P. 4007-4018.
18. Modified image visual quality metrics for contrast change and mean shift accounting [Текст] / N. Ponomarenko, O. Ieremeiev, V. Lukin, K. Egiazarian // 11th Int. Conf. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). – Polyana-Svalyava, Ukraine, 2011. – P. 305-311.
19. Zhang, L. SR-SIM: A fast and high performance IQA index based on spectral residual [Текст] / L. Zhang, H. Li // 19th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). - Orlando, USA, 2012. – P. 1473-1476.
20. Jin, L. Performance comparison of decision fusion strategies in BMMF-based image quality assessment [Текст] / L. Jin, S. Cho, T.-J. Liu, K. Egiazarian, C.C.J. Kuo // Asia-Pacific Signal & Information Proc. Ass. Annual Summit and Conference (APSIPA ASC). - Hollywood, USA, 2012. – P. 1-4.
21. Еремеев, О.И. Оценка точностных характеристик методики верификации метрик визуального качества на основе специализированных баз изображений [Текст] / О.И. Еремеев, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 2(61). – С. 48-57.
22. Еремеев, О.И. Кластеризация и нейронные сети в мерах визуального качества изображений без эталона [Текст] / О.И. Еремеев // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС, 2012. – № 2 (100). – С. 42-46.
23. Визуальное качество изображений при различных типах помех [Текст] / О.И. Еремеев, Д.В. Февралев, Н.Н. Пономаренко, В.В. Лукин // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 2(54). – С. 49-57.
24. Оценка визуальных искажений при внедрении в изображения цифровых водяных знаков [Текст] / Н.Н. Пономаренко, О.И. Еремеев, В.В. Лукин, А.А. Зеленский // Матеріали конференції ДУІКТ. - 2010. - С. 20-24.
25. Wang, Z. Information Content Weighting for Perceptual Image Quality Assessment [Текст] / Z. Wang, Q. Li // IEEE Trans. on Image Proc. – Vol. 20. – 2011. – P. 1185-1198.
26. Self-Similarity Measure for Assessment of Image Visual Quality [Текст] / N. Ponomarenko, L. Jin, V. Lukin, K. Egiazarian // Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. – Vol. 6915. – 2011. – P. 459-470.
27. New full-reference quality metrics based on HVS [Текст] / K. Egiazarian, J. Astola, N. Ponomarenko, V. Lukin // Second International Workshop on Video Processing and Quality Metrics. - Scottsdale, USA, 2006. - P. 1-4.
28. On between-coefficient contrast masking of DCT basis functions [Текст] / N. Ponomarenko, F. Silvestri, K. Egiazarian, M. Carli, J. Astola, V. Lukin, // Third International Workshop on Video Processing and Quality Metrics. - Scottsdale, USA, 2007. - P. 1-4.
29. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [Текст] / Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing. – Vol. 13. – 2004. – P. 600-612.
30. Image quality assessment based on a degradation model [Текст] / N. Damera-Venkata, T.D. Kite, W.S. Geisler, B.L. Evans, A.C. Bovik // IEEE Transactions on Image Processing, 9 (2000) 636-650.
31. Watson, A.B. DCTune: A Technique for visual optimization of DCT quantization matrices for individual images [Текст] / A.B. Watson // Society for Inf. Display Digest of Technical Papers XXIV. – Vol. 1913. – 1993. – P. 946-949.
32. Wang, Z. A universal image quality index [Текст] / Z. Wang, A.C. Bovik // IEEE Signal Processing Letters. – Vol. 9. – 2002. – P. 81-84.
33. Mitsa, T. Evaluation of contrast sensitivity functions for the formulation of quality measures incorporated in half-toning algorithms [Текст] / T. Mitsa, K.L. Varkur // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). - Minneapolis, USA, 1993. - P. 301-304.
34. Wang, Z. Translation Insensitive Image Similarity in Complex Wavelet Domain [Текст] / Z. Wang, E.P. Simoncelli // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '05). - Philadelphia, USA, 2005. - P. 573-576.
35. Kolpatzik, B.W. Optimized universal color palette design for error diffusion [Текст] / B.W. Kolpatzik, C.A. Bouman // Journal of Electronic Imaging. - Vol. 4 – 1995. – P. 131-143.
36. Kolpatzik, B.W. Optimized error diffusion for image display [Текст] / B.W. Kolpatzik, C.A. Bouman, // Journal of Electronic Imaging. – Vol. 1. – 1992. – P. 277-292.
37. Sheikh, H.R. An information fidelity criterion for image quality assessment using natural scene statistics [Текст] / H.R. Sheikh, A.C. Bovik, G. de Veciana // IEEE Transactions on Image Processing. – Vol. 14. – 2005. – P. 2117-2128.

Поступила в редколлегию 15.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Лукин, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

## ІНТЕГРОВАНА МЕТРИКА ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ НАЯВНОСТІ ЕТАЛОНА

О.І. Єремєєв

Розглядається задача створення інтегрованої метрики візуальної якості зображень при наявності еталона на основі нейронних мереж, що використовує переваги кращих метрик якості. Проведено аналіз ефективності існуючих метрик на складних типах спотворень бази тестових зображень TID2013. Визначено критерії вибору метрик, що входять до складу інтегрованої метрики на базі нейронної мережі, і з використанням взаємної кореляційної функції проведено їх відбір. Розроблені інтегровані метрики на основі різних схем штучних нейронних мереж. За допомогою бази тестових зображень TID2013 проведено верифікацію синтезованих метрик візуальної якості зображень і вибір оптимальної схеми. Підтверджено кращу відповідність сприйняттю людини інтегрованої метрики візуальної якості зображень при наявності еталона.

**Ключові слова:** заходи візуальної якості при наявності еталона, система візуального сприйняття людини, аналіз зображень, нейронні мережі.

## INTEGRATED FULL-REFERENCE VISUAL QUALITY METRIC

O.I. Ieremeiev

The problem of creating an integrated full-reference visual quality metric based on neural networks that takes advantages of the best quality metrics is considered. The analysis of the effectiveness of existing metrics on complex types of distortions database

*test images TID2013. The criteria of choice of metrics incorporated in the integrated metric based on neural network, and using cross-correlation function held their selection. Developed integrated metrics based on various schemes of artificial neural networks. Using a database of test images TID2013 conducted verification of synthesized metrics visual image quality and selection of the optimal scheme. Validated best match human perception metrics integrated visual image quality in the presence of a reference.*

**Keywords:** *measures of visual quality in the presence of a reference, the system of visual perception of the person, image analysis, neural networks.*