

Ю. И. ГОЛУБ

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

Оценка качества неотъемлемый этап обработки и анализа цифровых изображений в различных автоматизированных системах. По мере увеличения количества и многообразия устройств, позволяющих фиксировать изображения в различных диапазонах электромагнитного спектра, а также расширения сфер деятельности человека, в которых используются информационные технологии (ИТ), растет необходимость оценки качества регистрируемых изображений. Растут требования к представлению цифровых изображений: уменьшается размер пикселя, увеличивается динамический диапазон яркости.

Понятие качества можно трактовать по-разному – в зависимости от целей использования изображений оно может быть связано как с визуальными, так и с художественными особенностями восприятия снимка человеком. В данных исследованиях понятие качества цифрового изображения интерпретируется в контексте точности передачи деталей реальной сцены на ее цифровом представлении, и не учитываются художественные аспекты кадра.

В статье рассматриваются факторы, снижающие качество цифровых изображений, области применения функций оценки качества изображений, способ нормализации мер близости, классы цифровых изображений и их возможные искажения, доступные базы изображений для проведения экспериментов по оценке качества изображений с визуальными оценками экспертов.

Ключевые слова: цифровое изображение, оценка качества, искажения, классы изображений, базы цифровых изображений, визуальная оценка качества, нормализация данных.

Введение

В настоящее время полученные цифровые изображения с разнообразных устройств регистрации записываются в различные архивы и базы. С каждым днем, как размер самих изображений, так и размер хранилищ таких данных растет. Для экономии времени и места было бы полезно изображения плохого качества не сохранять и не анализировать. Широко применяемые классические оценки (типа коэффициентов корреляции, среднеквадратического отклонения и т.п.) не подходят в таких ситуациях, поскольку требуется эталонное изображение.

По сравнению с текстовыми и аудиоданными цифровые изображения и видео могут более наглядно представлять информацию, что делает оценку качества важным этапом обработки и анализа в различных автоматизированных системах, работающих с такими данными. На рис. 1 представлен процесс регистрации цифрового изображения. Из приведенной схемы можно заметить, что на качество цифрового изображения отрицательное воздействие могут оказывать следующие факторы:

– точность и правильность настройки устройства регистрации изображения. Например, можно получить смазанный/размытый объект на изображении или получить слишком темное (светлое) изображение из-за неверной настройки экспозиционных параметров при съемке; по данным врачей-рентгенологов компьютерный томограф во время работы хотя бы раз в год должен проходить диагностическую калибровку для выявления отклонений качества изображения [1];

– характеристики аппаратуры, которой было зарегистрировано изображение. Например, резкость объектива (в фотографии объективы делятся на мягкие, нормальные и жесткие [2]), aberrации оптических систем (хроматические или цветовые, геометрические);

– характеристики оборудования, на котором воспроизводят зарегистрированное цифровое изображение. Например, разрешающая способность, цветовой охват и т.д.;

– каналы передачи данных. Например, потеря данных во время передачи (черные или серые полосы на изображениях, пропуск строк изображения), шумы каналов регистрации или

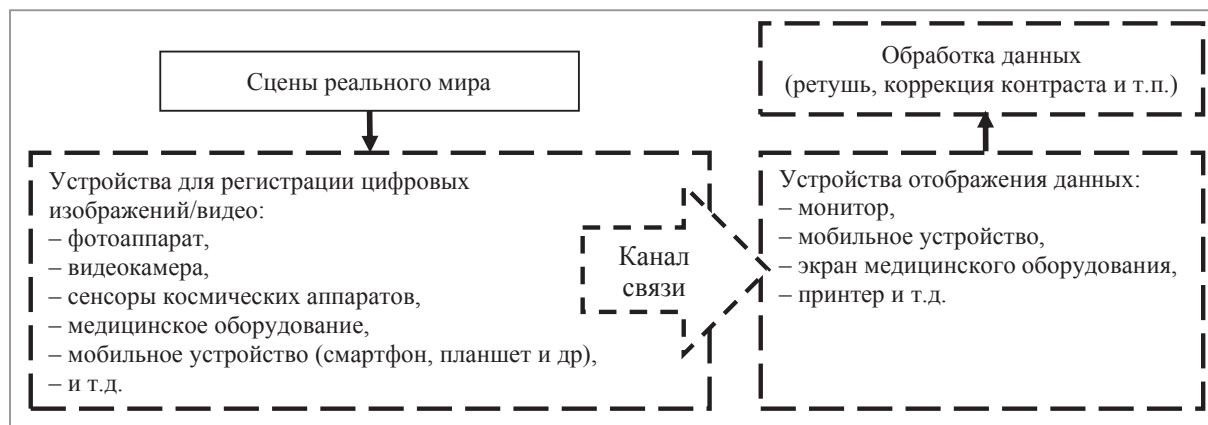


Рис. 1. Схема получения цифрового изображения
(этапы, на которых может измениться качество изображения, отображены штрихпунктирной линией)

слишком сильное сжатие данных для пересылки может привести к потере важных деталей изображения, а также к таким искажениям, как блочность, размытие границ, появление ложных контуров, зернистость [3];

- результат компьютерной обработки изображения. Например, увеличение контраста или резкости, ретушь.

Области применения оценки качества цифровых изображений

Оценка качества цифровых изображений используется в разнообразных областях деятельности человека и на различных этапах распространения и передачи визуальной информации, например:

- при выборе методов фильтрации изображений и их параметров, повышении их визуального качества;

- мониторинг качества мультимедийных услуг и повышение качества обслуживания пользователей (например, непрерывный мониторинг сигналов просматриваемой телевизионной программы и в случае обнаружения недопустимого качества изображений автоматически блокировать появление изображения на экран телевизора, заменяя его статическим изображением [4]);

- в автоматизированных системах поиска информации на изображениях, восстановления изображений, поиска и распознавания лиц, а также номеров автомобилей;

- при разработке различных алгоритмов и методов по обработке и анализу изображений. Например, для разработки алгоритмов

сжатия, нанесения водяных знаков, объединения или улучшения изображений, для автоматического выбора лучшего изображения из нескольких;

- в мобильной фотографии (например, для выбора оптимальных настроек камеры или лучшей фотоаппаратуры);

- в системах медицинской визуализации для оценки состояния пациента, диагностики и контроля заболеваний (например, при ультразвуковом исследовании, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии, рентгенографии, офтальмоскопии и т.д.). По данным подразделения Deep Mining компании Google, каждый десятый пациент страдает из-за неправильной интерпретации медицинской информации [5];

- в видекамерах и фотокамерах наблюдения, которые снимают длительное время в автоматическом режиме. Оценка качества кадров видео для настройки таких параметров, как выдержка, диафрагма, чувствительность матрицы, в изменяющихся условиях: солнечно/пасмурно, день/ночь/утро и т.д.;

- при получении снимков Земли с космических и авиационных летательных аппаратов в различных форматах (видимого и теплового диапазонов, радарные снимки, гиперспектральные снимки и т.д.).

Требования к функциям оценки качества изображений

Существует множество подходов к построению функций оценки качества [6, 7, 8]. Их описание выходит за рамки данной статьи.

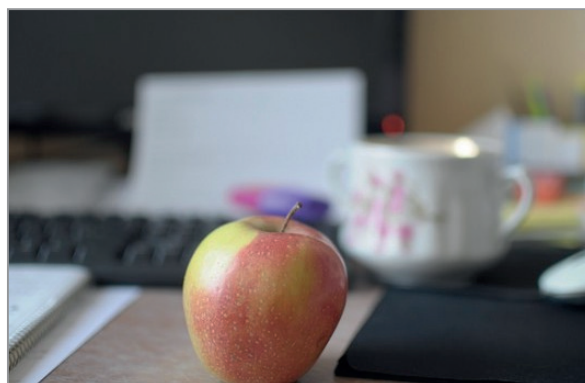
В результате анализа литературы были сформулированы следующие требования к оценочным функциям, которые используются для анализа качества цифровых изображений:

- функция должна вычислять количественную оценку качества изображения, быть согласованной с субъективной экспертной оценкой;
- функция не должна быть слишком сложной и должна быстро вычисляться;
- значения оценки качества не должны линейно зависеть от диапазона яркости анализируемого изображения (например, оценка качества должна быть одинаково эффективной для 8-ми битных полутоновых изображений и 16-ти битных радарных снимков);
- воспроизводимость результатов измерений, т.е. должны быть получены одинаковые результаты оценки на разных компьютерах, с использованием разных операционных систем и языков программирования (при помощи которых реализована оценка качества), разными операторами, в разное время, а также – повторно.

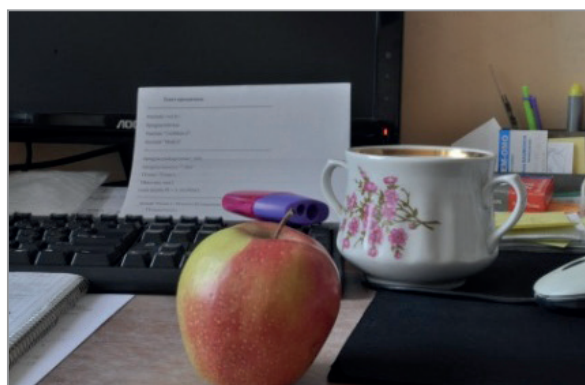
Классы цифровых изображений и их возможные искажения

Требования к качеству цифрового изображения могут изменяться в зависимости от целей его использования. Понятие качества можно трактовать по-разному в зависимости от целей использования изображений: либо изображение ориентировано на восприятие человеком, либо на автоматическое решение определенных задач с помощью информационных технологий. Соответственно, изменяется значимость факторов, определяющих качество (примеры изображений представлены на рис. 2).

Например, при дистанционном зондировании Земли или съемке города, архитектурного сооружения, а также в случаях научного или технического применения фотографии, качество изображения будет тем выше, чем более точно переданы объекты съемки, их геометрия и детали. Для выполнения таких требований, необходимы высокая резкость, хорошая разрешающая способность и контраст. В то же время в портретной и других видах художественной



а



б



в

Рис. 2. Типы изображений в зависимости от количества деталей:
а) с малым количеством деталей, б) со средним количеством деталей, в) с большим количеством деталей

фотографии могут специально использоваться определенная размытость или нечеткость отдельных деталей, а также снижение контраста, высветление или затемнение некоторых областей снимка. Таким образом, оценка качества изображения может быть связана как с визуальными, так и с художественными особенностями восприятия снимка человеком. В наших исследованиях будем интерпретировать понятие качества цифрового изображения

в контексте точности передачи деталей реальной сцены на ее цифровом представлении, а не художественные аспекты. В табл. 1 для некоторых классов цифровых изображений представлены наиболее характерные искажения, а на рисунках 3–6 приведены примеры изображений плохого качества.

Космические снимки – это обработанные данные дистанционного зондирования Земли,

представленные в виде цифровых композиций цветных или полутоновых изображений. Поскольку спутники используют разные сенсоры и технологии, информация, предоставляемая разными спутниками, может отличаться. Причиной возникновения шума на космических снимках могут быть следующие факторы: тепловые эффекты, сбои детектора, взаимодействия между электронными

Таблица 1. Возможные искажения для некоторых классов изображений

Классы возможных изображений	Характерные искажения			
	Резкость	Яркость	Контраст	Искажения и их причины
Космические снимки:				
Пассивные системы регистрации: — оптический, ближний и средний инфракрасный диапазон — тепловой инфракрасный диапазон — радиодиапазон — мультиспектральные снимки — гиперспектральные снимки	—	—	+	Возможные искажения: — импульсный шум, пропавшие строки (рис. 3); облачность, тени от облаков и высоких объектов; разные углы падения солнечного света в связи с разным рельефом земной поверхности; влияние окружающей среды и т. п. [9]
Активные системы регистрации: радарные снимки (имеют широкий диапазон яркости – от 0 до 216)	—	—	+	Возможные искажения: -//-; — спекл-шум [10]; — различное пространственное разрешение в результате отклонения от надира; — высокочастотный шум и др.
Медицинская визуализация:				
дентальные снимки	+	—	—	Возможные искажения: смазанные изображения из-за движения человека
компьютерная томография (КТ)	+	+	+	Возможные искажения: зоны повышенной контрастности (рис. 4), двойные контуры из-за движения человека, полосы различной интенсивности и локализации [11]
магнитно-резонансная томография (МРТ)	+	+	+	Возможные искажения: полосы различной интенсивности и локализации, ложные границы объекта и др. (рис. 4)
молекулярная диагностика	+	+	—	
ультразвуковое исследование (УЗИ)	+	+	+	Возможные искажения: нечеткие границы объектов, различные шумы, включая спекл-шум (рис. 5)
рентгенография	+	+	+	Возможные искажения: нечеткие границы объектов, точечный шум, тени
изображения сетчатки	+	+	+	Возможные искажения: зоны повышенного и пониженного контраста, шум в виде пыли, полос (рис. 6)
изображения радужной оболочки глаза (РОГ)	+	+	+	Возможные искажения: шумы в виде ресниц, век
Фотоизображения				
фотографии, полученные при помощи мобильного телефона	+	+	+	Возможные артефакты: шум при высоких значениях светочувствительности (iso), смаз, слишком темные или светлые области
фрактографические изображения (снимки с фотоаппарата, с микроскопа)	+	+	—	Возможные артефакты: разный фон, ракурс съемки и разрешение; надписи на образцах; часть снимка резкая, часть – размыта
Портреты	+	+	—	Возможные артефакты: нерезкое фото из-за движения человека или малой глубины резко изображаемого пространства (ГРИП)
Пейзаж	—	+	—	

компонентами системы формирования изображения, ошибки дискретизации, ошибки передачи и др. [9]. Шумы на изображении появляются в самых разнообразных формах. На рис. 3 представлены различные виды шумов на снимках Земли.

Еще один класс широко используемых изображений – медицинские. В современном мире медицинская визуализация достигла большого распространения из-за возможности представить внутренние структуры тела для клинического анализа или медицинского вмешательства, а также визуально представить функций некоторых органов или тканей. Сегодня получение различной информации о состоянии человеческого организма предоставляет множество возможностей для клинического применения. В течение многих

лет развивались различные способы медицинской визуализации, каждый со своими преимуществами и недостатками. На рис. 4 представлены изображения компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии с артефактами в виде зон повышенной контрастности, ложными контурами (обозначены стрелками на изображении), вертикальными полосами. На рис. 5 представлены примеры ультразвуковых изображений – исходное со спекл-шумом и отфильтрованное. Как видно из рис. 5б, в результате фильтрации улучшается связь между неоднородными участками тканей различных органов, снимок становится более легким для интерпретации за счет повышения качества визуализации контуров, структур тканей и мелких деталей.

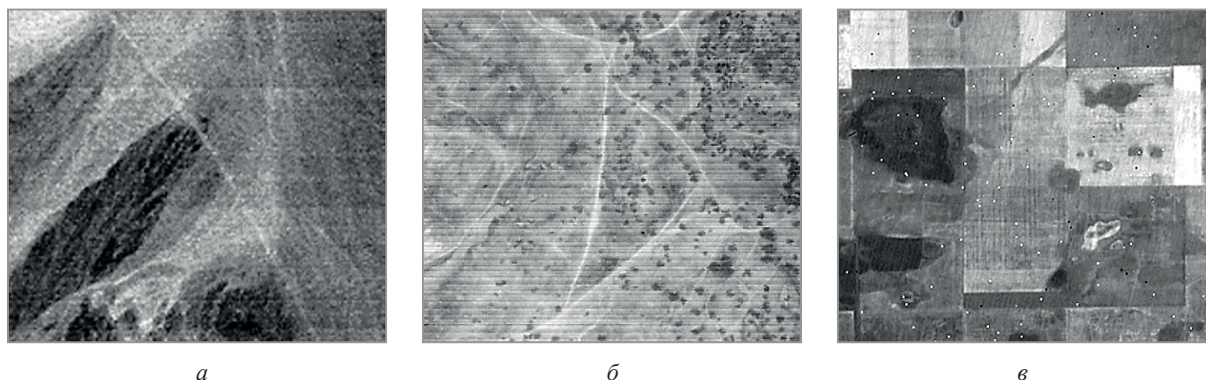


Рис. 3. Космические снимки с различными шумами: *а* – глобальный случайный, *б* – полосовой, *в* – импульсный

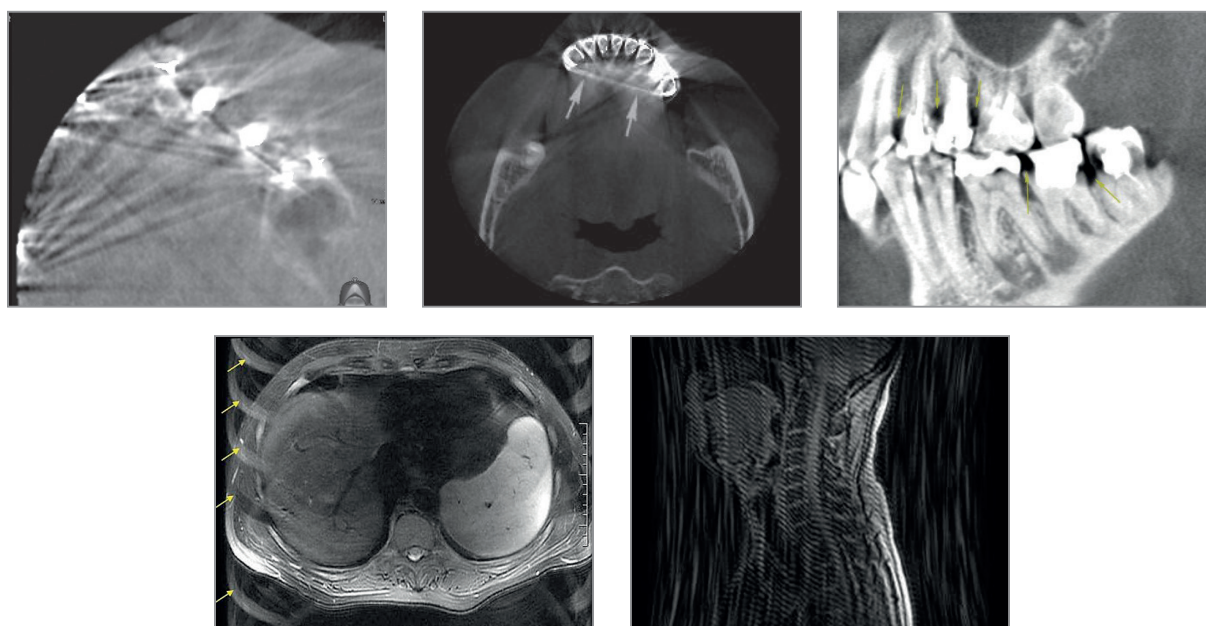


Рис. 4. Изображения с артефактами: верхний ряд – изображения КТ с зонами повышенной контрастности, нижний ряд – изображения МРТ с ложными контурами и вертикальными полосами

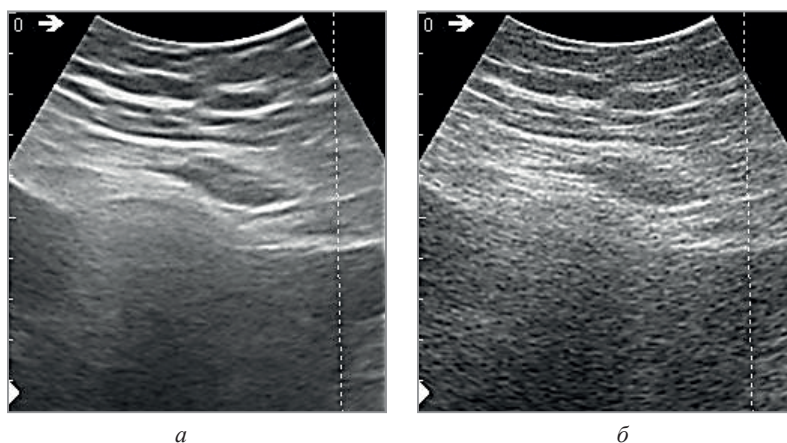


Рис. 5. Изображения, получаемые при ультразвуковом исследовании печени:
а – исходное изображение; б – результат фильтрации спекл-шума



Рис. 6. Изображения сетчатки разного качества

Доступные базы цифровых изображений с экспертными оценками

Для экспериментального анализа существующих оценочных функций качества цифровых изображений, а также разработки новых функций, необходимо использовать базы изображений с различными искажениями. Для понимания того, насколько та или иная функция соответствует визуальной оценке человека, необходимо, чтобы используемые базы данных (БД) состояли не только из большого количества изображений из различных классов и с разнообразными искажениями, но и содержали визуальные оценки экспертов (экспертные оценки – mean opinion score (MOS) или difference mean opinion score (DMOS)). Обычно, визуальная оценка всей базы изображений дело долгое, трудозатратное и дорогостоящее, поэтому общедоступных баз с экспертными оценками не так много. И они содержат изображения с искусственно созданными искажениями. В результате анализа литературы была составлена сводная таблица с базами

изображений (табл. 2), которые используются в экспериментальных исследованиях в области оценки качества. Все представленные базы содержат визуальные оценки экспертов.

Как показали эксперименты [23] на разных базах изображений, как с искусственными искажениями, так и естественными, оценочные функции качества могут иметь разный диапазон значений (табл. 3). Для сравнения таких функций необходимо предварительно выполнять их нормализацию.

Меры близости и их нормализация

Меры близости часто используются в задачах интеллектуального анализа данных (Data Mining, например, в кластеризации, классификации и т.д.). Также эти понятия могут быть использованы в задачах оценки качества изображений. Термин «близость» используется для обозначения сходства (подобия или similarity) или несходства (различия или dissimilarity) объектов или данных [30].

Т а б л и ц а 2. Доступные базы двумерных цифровых изображений

Название БД	Количество, размер и формат исходных изображений	Количество искаженных изображений, год выхода БД	Диапазон экспертных оценок	Виды искажений	Количество экспертов, которые оценивали изображения
CCID 2014 [12]	15 первых изображений из базы Kodak [13], 768x512 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – PNG	655 шт, 2013 год	MOS [0; 5]	Нелинейное изменение контраста (mean-shift, гамма-коррекция и др.)	22
CSIQ [14]	30, 512x512 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – PNG	866 шт, 2010 год	DMOS [1.39; 4.4]	5 категорий изображений: животные, пейзаж, люди, растения, город. 6 видов искажений: JPEG, JPEG2000, глобальное снижение контраста, шум, размытие Гаусса (для контраста – 4 уровня искажений, для остальных – 5 уровней)	35
IVC [15]	10, 512x512 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	185 шт, 2005 год	MOS [1; 4.9]	4 вида искажений: JPEG, JPEG2000, кодирование с локальным адаптивным разрешением (LAR coding), размытие Гаусса	15
LIVE версия 1 [16–18]	29, 768x512 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	450 шт, 2002 год	MOS [0; 100]	JPEG2000, JPEG	20
LIVE Версия 2 [16–18]	29, от 610x488 до 768x512 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	779 шт, 2005 год	DMOS [0; 85]	5 видов искажений: JPEG2000 (175 изображений), JPEG (169 изображений), белый шум (145 изображений), размытие Гаусса (145 изображений), имитация битовых ошибок (145 изображений)	20–29
МІСТ (Тоуама) [19]	14, 768x512пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	168 шт, 2008 год	–	JPEG, JPEG2000; 7 уровней искажений	16
TID 2008 [20]	25 изображений из базы Kodak [13], 512x384 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	1700 шт, 2008 год	MOS [0; 7.7]	17 видов искажений, 4 уровня каждого искажения	838
TID 2013 [21]	25 изображений из базы Kodak [13], 512x384 пк, глубина цвета – 24 бита, формат файлов – BMP	3000 шт, 2013 год	MOS [0.24; 7.2]	24 вида искажений, 5 уровней каждого искажения	971
VCL@FER [22]	23, 683x512	552 шт, 2012 год	MOS [1.6; 97]	4 типа искажений: additive Gaussian white noise, Gaussian blurring, JPEG compression, JPEG2000 compression. 6 уровней каждого искажения	118 чел

Таблица 3. Диапазоны значений локальных мер качества для изображений разных баз

Искажение	Функция оценки качества				
	BEGH [24]	BREN [25]	CON3 [26]	FUS [27]	LOEN [28]
TID2013 (125 изображений одного искажения), [21]					
01	[0; 1]	[0; 65025]	[0; 255]	[0; 1161288]	[2.18; 6.3]
06	[0; 1]	[0; 64516]	[0; 255]	[0; 1255696]	[0; 6.3]
08	[0; 1]	[0; 47961]	[0; 255]	[0; 1040404]	[0; 6.3]
09	[0; 1]	[0; 62500]	[0; 255]	[0; 1143072]	[0; 6.2]
17	[0; 1]	[0; 65025]	[0; 255]	[0; 1300500]	[0; 6.3]
CSIQ Lab , 142 изображения [29]					
	[0; 0.9]	[0; 51984]	[0; 255]	[0; 973444]	[0; 6.3]
CCID2014 , 670 изображений, [12]					
	[0; 1]	[0; 65025]	[0; 255]	[0; 1298464]	[0; 6.3]

Сходство (С) между двумя изображениями – это числовая мера степени их совпадения, которая чаще всего имеет значения в диапазоне от 0 (нет сходства) до 1 (полное сходство). Таким образом, значение меры сходства выше для пар более похожих объектов.

Несходство (Н) между двумя объектами – это числовая мера степени различия этих объектов. Несходство меньше для более похожих пар объектов. Часто термин «расстояние» используется как синоним несходства. Значения меры несходства обычно находятся в диапазоне от 0 до 1.

Эти две меры противоположны по значению и связаны соотношением $C = 1 - H$.

Нормализация значений мер близости

Иногда значения мер близости с конечным диапазоном необходимо нормализовать. Для этого можно использовать следующую формулу:

$$p' = (p - \min(p)) / (\max(p) - \min(p)), \quad (1)$$

где p и p' – исходное и нормализованное значения меры, соответственно; $\min(p)$ и $\max(p)$ являются минимальным и максимальным значениями меры близости соответственно.

Если мера близости изначально принимает значения в интервале $[0, \infty]$, то для нормализации значений к диапазону $[0, 1]$ часто используется формула:

$$p'' = p / (1 + p). \quad (2)$$

где p и p'' – исходное и нормализованное значения меры близости.

Пример

Если значения меры сходства между объектами варьируется от 1 (совсем не похоже) до 10 (полностью похоже), можно нормализовать значения в диапазон значений $[0, 1]$, используя формулу:

$$p' = (p - 1) / 9, \quad (3)$$

где p и p' – исходное и нормализованное значения меры, соответственно.

Шкалы измерения качества цифровых изображений

В идеальном случае исследователям и разработчикам различных автоматизированных систем хотелось бы иметь комплексную оценочную функцию качества для изображения, полученного любым устройством и любого формата. Но как показывают эксперименты, для разных типов искажений, для разных баз тестовых данных и разных задач необходимы различные функции оценки качества или индивидуальные настройки существующих функций [23, 31–33]. Наиболее простой случай для выбора функции оценки, когда заранее определены условия и формат съемки, получаемые искажения и определена узкая задача, в рамках, которой необходимо оценить качество цифровых изображений. Например, для задач идентификации людей по фотопортрету, либо по радужной оболочке глаз функции оценки качества исходных изображений будут вычислять разные характеристики и иметь различные пороговые значения при делении на качественные и некачественные фотографии.

Классификация шкал

Измерение – это операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта, процесса, явления ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ [34].

Любое измерение или количественное оценивание чего-либо осуществляется, с использованием соответствующей шкалы. Шкалы измерений классифицируются по типам измеряемых данных, которые определяют допустимые для данной шкалы отношения, в том

числе те, что соответствуют математическим операциям над величинами конкретной шкалы [34, 35].

Наиболее часто используемая (но не единственная) классификация шкал была предложена в 1946 году Стэнли Смитом Стивенсом [36]. В соответствии с ней существуют следующие шкалы: номинальная, порядковая, интервальная, шкала отношений (рис. 6, табл. 4). В статье [37] дополнительно предложена шкала частей. Примеры типов данных, которые можно описывать с использованием разных шкал приведены в табл. 4.

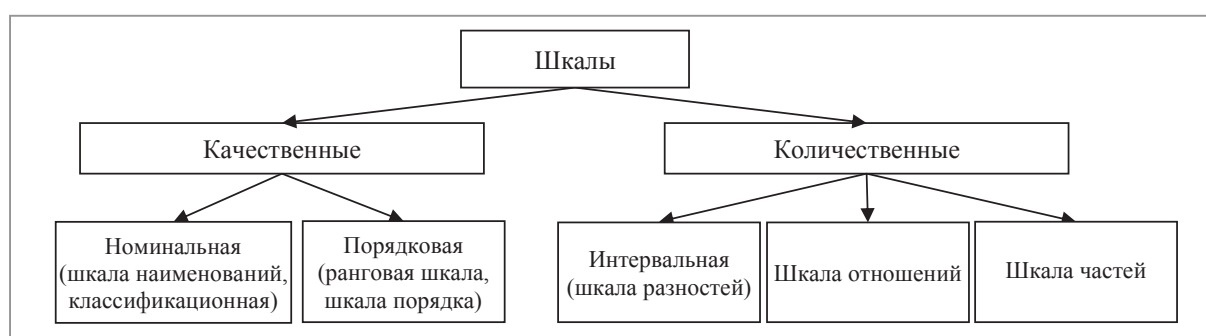


Рисунок 6 – Типы измерительных шкал

Таблица 4. Примеры данных для разных измерительных шкал

Тип шкалы	Номинальная	Порядковая	Интервальная	Отношений	Частей
Пример данных	ФИО, номера домов, географические названия, флаги государств	Нумерация очередности, школьные оценки, призовые места в конкурсе	Температура, время, высота местности	Длина, вес, деньги	Процент в долях, к. п. д., часть угла, вероятность

Составление шкал для измерения субъективных ощущений

Составление шкал для измерения субъективных ощущений – сложная задача. Для этого в первую очередь должны быть решены два задачи: выбор объема (количество баллов) шкалы и выявление взаимосвязи между интенсивностью отдельных признаков качества и цифровыми значениями шкалы. При выборе объема шкалы руководствуются требуемой степенью точности, надежностью результатов и числом различимых уровней качества. Градацию шкалы определяют в зависимости от поставленной задачи, качества экспертов, необходимой точности результатов и возможности словесного описания характеристики качественных уровней [38].

Заключение

Для решения задачи оценки качества изображения необходимо найти количественные оценки, которые наилучшим образом соответствуют субъективным. В статье [33] авторы приходят к выводу, что одна и та же мера может показывать разные результаты на разных базах изображений. Также в статье [39] авторы делают заключение, что большинство количественных оценок качества предназначено для смоделированных искажений, которые редко присутствуют на реальных снимках после регистрации. Поэтому создание тестовой базы изображений с реальными искажениями, визуальной оценкой экспертов и большим размером кадров является актуальной задачей.

Работа частично выполнена в рамках гранта для докторантов, проектов БРФФИ Ф20РА-014 и Ф21ПАКГ-001

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сердобинцев, Е. В.** Артефакты и искажения при конусно-лучевой компьютерной томографии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dentalxray.university/a2>. – Дата доступа: 07.06.2021.
2. **Гонта, А.** Резкость изображения и оборудование CCTV / А. Гонта, Е. Седов // Алгоритм безопасности. – 2007. – № 1. – С. 30–32.
3. **Гонсалес, Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
4. Сборник «Цифровое телевизионное вещание. Везде и всегда. Для всех и для каждого» под редакцией В. В. Бутенко, 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niir.ru/news/publikacii/2436-2/razdel-11-ocenka-kachestva-izobrazhenij-kontrol-i-izmereniya-parametrov-tv-traktov/>. – Дата доступа: 07.06.2021.
5. DeepMind Technologies Limited [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deepmind.com>. – Дата доступа: 01.04.2021.
6. **Chandler, D. M.** Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research // International Scholarly Research Notices. – 2013. – Т. 2013. – P. 1–53.
7. **Pertuz, S.** Analysis of focus measure operators for shape-from-focus / S. Pertuz, D. Puig, M. A. Garcia // Pattern Recognition. – 2013. – Vol. 46. – № 5. – P. 1415–1432.
8. **Zhai, G.** Perceptual image quality assessment: a survey / G. Zhai, X. Min // Science China Information Sciences. – 2020. – V. 63. – № 11. – P. 83–135.
9. **Забелин, С. А.** Обзор основных видов шумов на спутниковых снимках и методов фильтрации / С. А. Забелин, А. Д. Тулегулов // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 2. – С. 100–1005.
10. **Старовойтов, В. В.** Методика выбора фильтра для сглаживания спекл-шума радарных изображений с синтезированной апертурой / В. В. Старовойтов // Информатика. – 2016. – № 2. – С. 5–11.
11. **Кокорев П. А.** Анализ артефактов изображений в компьютерной томографии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2008. – № 47.
12. **Gu, K.** Subjective and objective quality assessment for images with contrast change / K. Gu [et al.] // Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Melbourne, VIC, Australia. – 2013. – P. 383–387.
13. Kodak Lossless True Color Image Suite [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://r0k.us/graphics/kodak/>. – Дата доступа: 05.04.2021.
14. **Larson, E. C.** Most Apparent Distortion: Full-Reference Image Quality Assessment and the Role of Strategy / E. C. Larson, D. M. Chandler // Journal of Electronic Imaging. – March 2010. – Vol. 19. – № 1. – P. 011006:1–011006:21.
15. **Ninassi, A.** Pseudo No Reference image quality metric using perceptual data hiding / A. Ninassi, P. L. Callet, F. Autrusseau // in Human Vision and Electronic Imaging. – Vol. 6057 of Proceedings of SPIE. – January 2006. – P. 146–157.
16. **Wang Z. [et al.]** Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE transactions on image processing. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 600–612.
17. **Sheikh, H. R.** A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms / H. R. Sheikh, M. F. Sabir, A. C. Bovik // IEEE Transactions on Image Processing. – November, 2006. – Vol. 15. – № 11. – P. 3440–3451.
18. LIVE Image Quality Assessment Database Release 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>. – Дата доступа: 05.04.2021.
19. **Tourancheau, S., Autrusseau, F., Sazzad, Z. M. P., Horitaa, Y.** MICT image quality evaluation database. – 2008.
20. **Ponomarenko, N., Lukin, V., Zelensky, A., Egiazarian, K., Carli, M., Battisti, F.** Tampere image database. – 2008.
21. **Ponomarenko, N. [et al.]** Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives // Signal Processing: Image Communication. – 2015. – Т. 30. – P. 57–77.
22. **Zaric, A. et al.** VCL@FER Image Quality Assessment Database // AUTOMATIKA. – 2012. – Vol. 53. – № 4. – P. 344–354.
23. **Голуб, Ю. И.** Исследование безэталонных локальных оценок качества изображений / Ю. И. Голуб, Ф. В. Старовойтов, В. В. Старовойтов // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Физика, математика, информатика. – 2019. – № 5. – С. 15–18.
24. **Beghdadi, A.** Contrast enhancement technique based on local detection of edges / A. Beghdadi, A. Le Negrate // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. – 1989. – 46(2). – P. 162–174. DOI: 10.1016/0734-189X(89)90166-7
25. **Santos, A. [et al.]** Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis // Journal of Microscopy. – 1997. – V. 188. – № 3. – P. 264–272.
26. **Guan, J. [et al.]** No-reference Blur Assessment Based on Edge Modeling // Journal of Visual Communication and Image Representation. – 2015. – V. 29. – P. 1–7.
27. **Tian, J.** Multi-focus image fusion using a bilateral gradient-base sharpness criterion / J. Tian, L. Chen, L. Ma, W. Yu // Optics communications. – 2011. – 284 (1). – P. 80–87. DOI: doi.org/10.1016/j.optcom.2010.08.085
28. **Старовойтов, В. В.** Сравнительный анализ безэталонных мер оценки качества цифровых изображений / В. В. Старовойтов, Ф. В. Старовойтов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – Т. 13. – № 1. – С. 24–31.
29. **Larson, E. C.** Most Apparent Distortion: Full-Reference Image Quality Assessment and the Role of Strategy / E. C. Larson, D. M. Chandler // Journal of Electronic Imaging. – March 2010. – V. 19. – № 1. – P. 011006:1–011006:21.

30. **Von Luxburg U.** Statistical learning with similarity and dissimilarity functions: дис. – Technische Universität Berlin Berlin, Germany, 2004.
31. **Kocić, J.** Image quality parameters: A short review and applicability analysis / J. Kocić, I. Popadić, B. Livada // 7th Int. Sci. Conf. Defensive Technol. – 2016.
32. **Xu, S.** No-reference/blind image quality assessment: a survey / S. Xu, S. Jiang, W. Min // IETE Technical Review. – 2017. – Vol. 34. – № 3. – P. 223–245.
33. **Dumic, E.** IQM2 – New image quality measure based on steerable pyramid wavelet transform and structural similarity index / E. Dumic, S. Grgic, M. Grgic // Signal, Image and Video Processing. – 2014. – V. 8. – № 6. – P. 1159–1168.
34. **Перегудов, Ф. И.** Введение в системный анализ / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасевич. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
35. **Анфилов, В. С.** Системный анализ в управлении / В. С. Анфилов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин – М. Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
36. Шкала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0>. – Дата доступа: 01.06.2021.
37. **Старовойтов, В. В.** Нормализация данных в машинном обучении / В. В. Старовойтов, Ю. И. Голуб // Информатика. 2021. – в печати.
38. **Киселев Э. В.** Прикладная квалиметрия: Конспект лекций / Э. В. Киселев, М. Е. Ильина. – Рыбинск, 2015. – 52 с.: ил.
39. **Zhu, W. [et al.]** A multiple attributes image quality database for smartphone camera photo quality assessment // 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). – IEEE, 2020. – P. 2990–2994.

REFERENCES

1. **Serdobincev, E. V.** Артефакты и искажения при конусно-лучевой компьютерной томографии [Online]. – Available: <https://dentalxray.university/a2>. – Date: 07.06.2021.
2. **Gonta, A.** Резкость изображения и оборудование CCTV / A. Gonta, E. Sedov // Алгоритм безопасности. – 2007. – № 1. – P. 30–32.
3. **Gonzalez, R.** Digital Image Processing / R. Gonzalez, R. Woods. – 2006. – 1072p.
4. Сборник «Цифровое телевизионное вещание. Везде и всегда. Для всех и для каждого» под редакцией В. В. Бутенко, 2014 [Online]. – Available: <https://niir.ru/news/publikacii/2436-2/razdel-11-ocenka-kachestva-izobrazhenij-kontrol-i-izmereniya-parametrov-tv-traktov/>. – Date: 07.06.2021.
5. DeepMind Technologies Limited [Online]. – Available: <https://deepmind.com>. – Date: 01.04.2021.
6. **Chandler, D. M.** Seven challenges in image quality assessment: past, present, and future research // International Scholarly Research Notices. – 2013. – T. 2013. – P. 1–53.
7. **Pertuz, S.** Analysis of focus measure operators for shape-from-focus / S. Pertuz, D. Puig, M. A. Garcia // Pattern Recognition. – 2013. – Vol. 46. – № 5. – P. 1415–1432.
8. **Zhai, G.** Perceptual image quality assessment: a survey / G. Zhai, X. Min // Science China Information Sciences. – 2020. – V. 63. – № 11. – P. 83–135.
9. **Zabelin, S. A.** Обзор основных видов шумов на спутниковых снимках и методов фильтрации / S. A. Zabelin, A. D. Tulegulov // Reliability & Quality of Complex Systems. – 2013. – № 2. – P. 100–1005.
10. **Starovotov, V. V.** Method of filter selection for speckle-noise smoothing in sar images / V. V. Starovotov // Informatics. – 2016. – № 2. – P. 5–11.
11. **Kokorev P. A.** Анализ артефактов изображений в компьютерной томографии // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2008. – № 47.
12. **Gu, K.** Subjective and objective quality assessment for images with contrast change / K. Gu [et al.] // Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, Melbourne, VIC, Australia. – 2013. – P. 383–387.
13. Kodak Lossless True Color Image Suite [Online]. – Available: <http://r0k.us/graphics/kodak/>. – Date: 05.04.2021.
14. **Larson, E. C.** Most Apparent Distortion: Full-Reference Image Quality Assessment and the Role of Strategy / E. C. Larson, D. M. Chandler // Journal of Electronic Imaging. – March 2010. – Vol. 19. – № 1. – P. 011006:1–011006:21.
15. **Ninassi, A.** Pseudo No Reference image quality metric using perceptual data hiding / A. Ninassi, P. L. Callet, F. Autrusseau // in Human Vision and Electronic Imaging. – Vol. 6057 of Proceedings of SPIE. – January 2006. – P. 146–157.
16. **Wang Z. [et al.]** Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE transactions on image processing. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 600–612.
17. **Sheikh, H. R.** A statistical evaluation of recent full reference image quality assessment algorithms / H. R. Sheikh, M. F. Sabir, A. C. Bovik // IEEE Transactions on Image Processing. – November, 2006. – Vol. 15. – № 11. – P. 3440–3451.
18. LIVE Image Quality Assessment Database Release 2 [Online]. – Available: <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>. – Date: 05.04.2021.
19. **Tourancheau, S., Autrusseau, F., Sazzad, Z. M. P., Horitaa, Y.** MICT image quality evaluation database. – 2008.
20. **Ponomarenko, N., Lukin, V., Zelensky, A., Egiazarian, K., Carli, M., Battisti, F.** Tampere image database. – 2008.
21. **Ponomarenko, N. [et al.]** Image database TID2013: Peculiarities, results and perspectives // Signal Processing: Image Communication. – 2015. – V. 30. – P. 57–77.
22. **Zaric, A. [et al.]** VCL@FER Image Quality Assessment Database // AUTOMATIKA. – 2012. – Vol. 53. – № 4. – P. 344–354.
23. **Golub, Y. I.** Study of no-reference local image quality assessments / Y. I. Golub, F. V. Starovotov, V. V. Starovotov // Vestnik BrSTU. – 2019. – № 5. – P. 15–18.

24. **Beghdadi, A.** Contrast enhancement technique based on local detection of edges / A. Beghdadi, A. Le Negrate // Computer Vision, Graphics, and Image Processing.– 1989.– 46(2).– P. 162–174. DOI: 10.1016/0734-189X(89)90166-7
25. **Santos, A. [et al.]** Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis // Journal of Microscopy.– 1997.– V.188.– № 3.– P. 264–272.
26. **Guan, J. [et al.]** No-reference Blur Assessment Based on Edge Modeling // Journal of Visual Communication and Image Representation.– 2015.– V. 29.– P. 1–7.
27. **Tian, J.** Multi-focus image fusion using a bilateral gradient-base sharpness criterion / J. Tian, L. Chen, L. Ma, W. Yu // Optics communications.– 2011.– 284 (1).– P. 80–87. DOI: doi.org/10.1016/j.optcom.2010.08.085
28. **Starovotov, V.V.** Comparative analysis of no-reference quality measures for digital images / V.V. Starovotov, F.V. Starovotov // System analysis and applied information science.– 2017.– V. 13.– № 1.– P. 24–31.
29. **Larson, E. C.** Most Apparent Distortion: Full-Reference Image Quality Assessment and the Role of Strategy / E. C. Larson, D. M. Chandler // Journal of Electronic Imaging.– March 2010.– V. 19.– № 1.– P. 011006:1–011006:21.
30. **Von Luxburg, Ulrike.** Statistical learning with similarity and dissimilarity functions. Diss. Technische Universität Berlin Berlin, Germany, 2004.
31. **Kocić, J.** Image quality parameters: A short review and applicability analysis / J. Kocić, I. Popadić, B. Livada // 7th Int. Sci. Conf. Defensive Technol.– 2016.
32. **Xu, S.** No-reference/blind image quality assessment: a survey / S. Xu, S. Jiang, W. Min // IETE Technical Review.– 2017.– Vol. 34.– № 3.– P. 223–245.
33. **Dumic, E.** IQM2 – New image quality measure based on steerable pyramid wavelet transform and structural similarity index / E. Dumic, S. Grgic, M. Grgic // Signal, Image and Video Processing.– 2014.– V. 8.– № 6.– P. 1159–1168.
34. **Peregudov F.I.** Введение в системный анализ / F.I. Peregudov, F.P. Tarasevich.– М.: Высшая школа, 1989.– 367 p.
35. **Anfilatov V.S.** Системный анализ в управлении / V.S. Anfilatov, A.A. Emel'janov, A.A. Kukushkin – М. Финансы и статистика, 2002.– 368 p.
36. Level of measurement [Online].– Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_measurement.– Date: 01.06.2021.
37. **Starovoitov V.V., Golub Y.I.** Data Normalization in Machine Learning. Informatics. 2021 (in print).
38. **Kiselev E.V.** Прикладная квалиметрия: Конспект лекций / E. V. Kiselev, M. E. P'ina.– Рыбинск, 2015.– 52 p.
39. **Zhu, W. [et al.]** A multiple attributes image quality database for smartphone camera photo quality assessment // 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP).– IEEE, 2020.– P. 2990–2994.

Поступила
08.11.2021

После доработки
18.11.2021

Принята к печати
01.12.2021

GOLUB Y. I.

IMAGE QUALITY ASSESSMENT

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

Quality assessment is an integral stage in the processing and analysis of digital images in various automated systems. With the increase in the number and variety of devices that allow receiving data in various digital formats, as well as the expansion of human activities in which information technology (IT) is used, the need to assess the quality of the data obtained is growing. As well as the bar grows for the requirements for their quality.

The article describes the factors that deteriorate the quality of digital images, areas of application of image quality assessment functions, a method for normalizing proximity measures, classes of digital images and their possible distortions, image databases available on the Internet for conducting experiments on assessing image quality with visual assessments of experts.

Keywords. Digital image, image quality assessment, distortions, image classes, digital image databases, visual quality assessment, data normalization.



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.