

УДК 004.932.2:004.8



И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова

ХНУРЭ, г.Харьков, Украина, irina7271@mail.ru

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ОЦЕНКИ СВЕЛОТЫ ЦИФРОВЫХ ОРИГИНАЛОВ

Рассмотрены особенности нечеткой оценки характеристик цифровых оригиналов. Описаны процедура проведения экспертного оценивания субъективных характеристик изображения и способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения», а также построены функций принадлежности лингвистической переменной.

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ, ЦИФРОВЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ, СВЕЛОТА, НЕЧЕТКИЕ ОЦЕНКИ, ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Введение

В настоящее время актуальной проблемой является разработка процедур автоматизации обработки полиграфических оригиналов во время их подготовки к печати в распределенных открытых полиграфических системах с определенными альтернативными вариантами [1]. Для реализации этих процедур необходимо получить наиболее точное соответствие объективных и субъективных характеристик изображений. Качество столь сложного объекта, как изображение, является очень важным, но одновременно и довольно расплывчатым понятием. Иногда качество рассматривается как характеристика самого изображения и определяется его собственными свойствами (статистическими, структурными, семантическими). К нынешнему моменту разработано множество количественных оценок качества изображений [2-4]. Однако введенные критерии не являются достаточно совершенными: большинство попыток найти приемлемые оценки качества изображения относится только к частным случаям (когда есть эталонное и искаженное изображения, когда они наблюдаются только на экранах мониторов и т.д.). В любом случае, создание более совершенных оценок качества изображений должно быть связано с более полным учетом свойств зрительного восприятия человека [5], которые относятся к сложно формализуемым. Для решения задачи анализа и классификации цифровых оригиналов, с которыми работают дизайнеры, выделены основные атрибуты изображений, важные при репродуцировании. Описание подобных явлений удобно выполнять с помощью лингвистических переменных, для которых необходимо составить терм-множества [6]. Это можно реализовать только с использованием экспертного оценивания.

Методы экспертных оценок применяются для количественного измерения таких характеристик, для которых не существует других способов измерения. При изучении изображений выполняется субъективное визуальное оценивание. Поскольку один человек не в состоянии учесть и осмыслить всю информацию, необходимую для подготовки сложных решений в этой сфере, групповое оцени-

вание значительно расширяет возможности разностороннего анализа и повышает надежность выбора решений. Среди распространенных методов экспертного оценивания известны методы с обратной связью [6], которые предполагают проведение нескольких туров опроса, обеспечивая сужение диапазона разброса мнений экспертов, и сближение их точек зрения.

Обработка и представление извлеченной экспертной информации о технологии решения задач принятия решений применительно к этапам рассматриваемого процесса может осуществляться посредством функций принадлежности и построения логико-лингвистических шкал различными способами, выбор которых зависит от вида задачи принятия решения [7].

1. Описание субъективных параметров изображения с помощью лингвистических переменных

При анализе изображений выделяют объективные и субъективные характеристики. Объективные характеристики — это атрибуты изображений, которые связаны с природой зрительного восприятия, представлением и обработкой цифровых изображений на компьютере. Некоторые атрибуты являются естественными, т.е. они устанавливаются визуальным анализом изображения, тогда как другие, так называемые искусственные атрибуты, получаются в результате его специальной обработки и измерений. К естественным атрибутам относятся светлота (яркость) и текстура различных областей изображения, форма контуров объектов. Гистограммы распределения яркости и спектры пространственных частот дают примеры искусственных атрибутов.

Субъективные оценки выражаются в форме лингвистических переменных. Такой подход дает приближенные, но, в то же время, эффективные способы описания явлений настолько сложных и плохо определенных, что они не поддаются точному математическому анализу. Подход на основе теории нечетких множеств является, по сути дела, альтернативой общепринятым количественным методам анализа. Он имеет три основные отличительные черты:

1) вместо или в дополнение к числовым переменным используются нечеткие величины и лингвистические переменные;

2) простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний;

3) сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами [8].

Теоретические основания данного подхода вполне точны и строги в математическом смысле и не являются сами по себе источником неопределенности. В каждом конкретном случае степень точности решения может быть согласована с требованиями задачи и объемом имеющихся данных. Подобная гибкость составляет одну из важных черт рассматриваемого метода.

Каждый атрибут изображения можно описать с помощью лингвистической переменной, которая принимает определенное значение, характеризующее качество изображения. Лингвистическая переменная – это переменная, принимающая значения из множества слов или словосочетаний некоторого естественного или искусственного языка.

Лингвистическая переменная характеризуется набором $(X, T(X), U, G, M)$, в котором X – название переменной, $T(X)$ – терм-множество или множество названий лингвистических значений переменной X . Каждое терм-множество – это нечеткая переменная x со значениями из универсального множества U с базовой переменной u . G – синтаксическое правило, которое может быть задано в форме бесконтекстной грамматики, порождающей термы множества $T(X)$; M – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению t ставит в соответствие его смысл $M(t)$, причем $M(t)$ обозначает нечеткое подмножество множества U .

Лингвистическая переменная более высокого порядка, чем нечеткая переменная, поэтому каждому значению лингвистической переменной соответствует нечеткая переменная, значением которой являются слова и предложения на естественном или формальном языке, определяющие элементарную характеристику явления. Связь между нечеткой переменной x и базовой переменной u осуществляется с помощью функции принадлежности μ , значения которой лежат в интервале $[1, 0]$ $\mu : X \rightarrow [1, 0]$.

Для решения практической задачи достаточно наличия нечеткого языка с фиксированным конечным словарем. Лингвистическая переменная X , используемая при формализации задач принятия решения, как правило, имеет базовое терм-множество $T(X) = \{T_i\}$ состоящее из 2–10 термов.

Каждый терм описывается нечетким подмножеством множества значений U некоторой базовой переменной u и рассматривается как лингвистическое значение X . Предполагается, что объединение всех этих элементов терм-множества покрывает полностью U , и это гарантирует, что любой элемент $u \in U$ описывается некоторым $T_i \in T(X)$.

Каждой экспертной оценке $T(X_i)$ соответствует нечеткое подмножество интервала $[0, 1]$. Функции принадлежности μ получаются на основании экспертного оценивания. При этом группа экспертов руководствуется набором стимулов. В данном случае этот набор представляет собой совокупность критериев, которые характеризуют качество изображений.

При построении функций принадлежности элементов терм-множества лингвистической переменной, строятся одновременно все функции принадлежности этого терм-множества.

Преимущества использования такого подхода к решению задачи оценки качества изображений состоит в том, что по сравнению с другими подходами существует:

- возможность оперировать нечеткими входными данными: например, непрерывно изменяющимися во времени значениями или значениями, которые невозможно задать однозначно (результаты экспертных оценок);
- возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения: оперирование критериями «много», «мало» и т.д.;
- возможность проведения качественных оценок, как входных данных, так и выходных результатов: оперируя не только значениями данных, но и их степенью достоверности и ее распределением;
- возможность проведения быстрого моделирования сложных динамических систем (прогноз параметров качества полиграфического оттиска исходя из объективных характеристик о цифровом оригинале) и их сравнительный анализ с заданной степенью точности.

2. Постановка задачи исследования

При качественном описании цветовых характеристик изображения используют три его субъективных атрибута: цветовой тон, насыщенность и светлоту.

Светлота – субъективный признак, характеризующий ощущения объективной величины яркости цвета. Светлота цифрового оригинала влияет на качество полиграфической продукции, т.к. часто на практике можно столкнуться с проблемой воспроизведения цвета в светах и тенях, и эти недостатки в значительной степени могут быть связаны с техническими возможностями оборудования.

Изображение можно определить как двумерную функцию $f(x, y)$, где x и y – это пространственные координаты, а амплитудой для каждой пары координат является интенсивность или яркость изображения в точке с этими координатами.

Цвет пиксела изображения задается, как правило, с помощью цветового пространства RGB. RGB изображение можно представить в виде совокупности трех монохромных изображений (компонент) с градацией каждого цвета, при объединении которых формируется полноцветное изображение. Значения сигналов компонент лежат в интервале $[0, 255]$.

Такой субъективный показатель, как общая светлота изображения, можно связать с объективным значением математического ожидания уровня сигнала, наиболее важной характеристикой случайной величины:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i), \quad (1)$$

где y_i – значение сигнала i -го пикселя изображения.

В данном исследовании случайная величина – это числовые значения, характеризующие цвет каждого пикселя изображения. Математическое ожидание случайной величины – показатель центральной тенденции.

При вычислении математического ожидания для каждой из составляющей, можно определить ее интенсивность, а вычислив среднее значение математического ожидания трех составляющих – интенсивность (освещенность) всего изображения в целом. Максимальное значение такого показателя будет 255, для изображения равномерно окрашенного в белый цвет, а минимальное значение – 0 для изображения, равномерно окрашенного в черный цвет. Следовательно, данный объективный показатель связан с субъективным ощущением количества светлых или темных цветов на изображении.

В данной работе рассматривается способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения» и множества значений U соответствующей базовой переменной u .

Решение этой задачи предлагается осуществить в несколько этапов:

а) подготовить тестовый набор изображений с учетом требований и пожеланий полиграфических предприятий;

б) выполнить количественный анализ уровня светлоты изображения расчетными методами для получения множества значений U базовой переменной u ;

в) сформировать терм-множество $T = \{T_i\}$;

г) выполнить субъективный анализ изображений наблюдателями-экспертами;

д) сравнить оценки изображений, полученные количественными и субъективными методами и выяснить, какой из количественных методов наиболее точно характеризует качество изображения [9].

Используя нечеткие границы, полученные в результате экспертного оценивания, построить функции принадлежности для каждого терм-множества лингвистической переменной «Общая светлота изображения» для формализации процедуры классификации цифровых оригиналов по светлоте.

3. Описание метода экспертного исследования

Одним из методов, использующих суждения экспертов, является метод «Дельфи». Он предусматривает проведение экспертного опроса в несколь-

ко туров [10]. Процесс выработки суждений экспертами в этом методе управляется рабочей группой через обратную связь. В одном из вариантов этого метода прямое обсуждение заменяется обменом информацией и мнениями с помощью тщательно разработанных вопросников. К участникам обращаются с просьбой не только высказать свои мнения, но и привести их обоснование, а в каждом из последующих туров опроса им выдается новая и уточненная информация по высказанным мнениям, которая образуется в результате расчета совпадения точек по ранее выполненным этапам работы.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока продвижение в направлении повышения совпадения точек зрения не становится незначительным. После этого фиксируются полученные значения.

Полученные результаты используются для построения функций принадлежности терм-множества лингвистической переменной «Общая светлота изображения».

4. Проведение эксперимента

Для лингвистической переменной «Общая светлота изображения» определен набор термов:

T «Общая светлота изображения» = {ОЧЕНЬ ТЕМНОЕ, ТЕМНОЕ, ТЕМНОЕ, СРЕДНЕЕ, СВЕЛТОЕ, ОЧЕНЬ СВЕЛТОЕ}.

В качестве базовой переменной, позволяющей количественно оценить соответствующую лингвистическую переменную, выбрано математическое ожидание уровней яркости пикселей изображения M .

Для эксперимента выбраны 5 фотографий, разных по светлоте. Каждая из этих фотографий специально осветлена и затемнена с равномерным шагом по светлоте и представлена 25-ю градациями от темного к светлому. Общий объем выборки – 125 изображений. Значения математического ожидания уровней яркости пикселей изображения представлены в табл. 1.

Необходимо оценить все эти фотографии и отсортировать их по категориям: T_1 – ОЧЕНЬ ТЕМНОЕ, T_2 – ТЕМНОЕ, T_3 – СРЕДНЕЕ, T_4 – СВЕЛТОЕ, T_5 – ОЧЕНЬ СВЕЛТОЕ.

Предварительное оценивание выполняется в 3 этапа.

1-й этап. Просмотр всех фотографий и предварительная оценка общей светлоты и темноты фотографий. При этом, оценивая фотографии, необходимо сравнить не только градации одной фотографии, а все фотографии (125 шт.) – друг с другом. Предварительный просмотр нужен для того, чтобы эксперт мог правильно настроиться на оценку фотографий.

2-й этап. Просмотр по очереди всех фотографий и распределение их по категориям светлоты. На этом этапе можно неоднократно просматривать фотографии и вносить корректировки, если при рассмотрении следующих фотографий эксперт решает, что он не совсем правильно отсортиро-

вал предыдущие. Результаты оценивания светлоты изображений по категориям показаны в табл. 2.

Таблица 1

Математическое ожидание уровней яркости пикселей изображения

№ п/п	Математическое ожидание				
	Фото 1	Фото 2	Фото 3	Фото 4	Фото 5
1	101,2712	75,6197	53,1152	60,2721	31,2321
2	108,0437	80,765	56,7989	64,4571	33,4601
3	118,9507	87,8244	61,1354	70,1382	35,8721
4	125,9648	93,3096	65,0373	74,5418	38,1057
5	133,0669	99,0056	69,1461	79,1065	40,395
6	140,0608	104,9058	73,4744	83,8441	42,8616
7	146,8418	110,884	77,9439	88,6025	45,3534
8	153,6094	117,0948	82,6639	93,5519	47,9825
9	160,1899	123,4207	87,569	98,5414	50,7153
10	166,8197	129,954	92,6864	103,6674	53,5474
11	173,7647	136,827	98,1168	109,0936	56,5697
12	181,5603	144,3601	103,9811	115,0586	59,8296
13	192,0767	153,6289	110,8041	122,5212	63,6157
14	202,1086	163,15	117,9531	130,0791	67,5599
15	208,5934	170,8827	124,4582	136,0861	71,1073
16	213,5724	177,6837	130,6552	141,3637	74,5666
17	217,9653	183,9287	136,7143	146,3542	78,008
18	221,7797	189,7262	142,6736	151,1698	81,4444
19	225,3138	195,2477	148,5897	155,8684	84,917
20	228,5341	200,4677	154,431	160,5255	88,4069
21	231,6318	205,5552	160,3006	165,1932	91,97
22	234,4886	210,4065	166,1242	169,8403	95,5433
23	236,9576	214,9672	171,8496	174,3832	99,1495
24	240,8872	221,8807	179,791	180,3399	103,818
25	242,9051	225,7637	185,4709	184,807	107,5608

Таблица 2

Предварительная оценка общей светлоты

№ фото	Термы (категории)				
	Очень темное	Темное	Среднее	Светлое	Очень светлое
1		1 – 3	4 – 9	10 – 13	14 – 25
2	1	2 – 8	9 – 14	15 – 18	19 – 25
3		1 – 7	8 – 14	15 – 22	23 – 25
4	1 – 5	6 – 11	12 – 22	23 – 25	
5	1 – 12	13 – 17	18 – 25		

3-й этап. Исходя из оценок таблицы 2, в исходной таблице 1 определяются диапазоны категорий светлоты соответствующих термов (минимальное и максимальное значения).

Диапазоны выбраны верно, если выполняется условие:

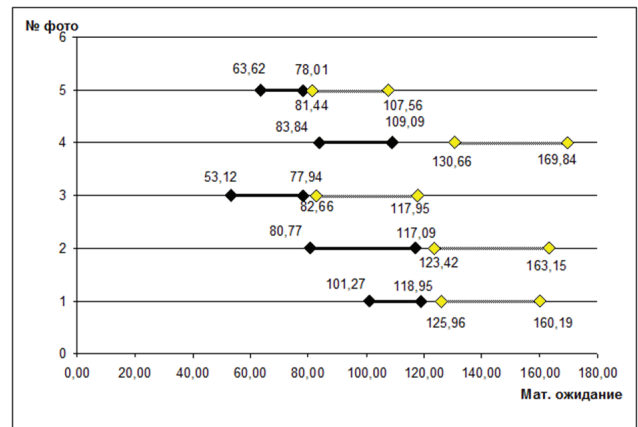
$$M_{T_{i-1} \max} > M_{T_i \max} \tag{2}$$

где T_i – термы лингвистической переменной, M_{\max} – максимальное значение математического ожидания соответствующих термов, $i = \overline{1,5}$.

Если возникает ситуация, когда условие (2) не выполняется, значит эксперт сделал неправильную оценку. Чтобы ее исправить, надо вернуться на этап 2 и скорректировать предварительную оценку (см. табл. 2).

Рассмотрим выполнение данной процедуры на примере оценки термов «ТЕМНОЕ» и «СРЕДНЕЕ» (рис. 1-3). Для проверки выполнения условия (2)

необходимо выполнить сравнения максимальных значений терма «ТЕМНОЕ» всех фотографий со всеми максимальными значениями терма «СРЕДНЕЕ». На рисунках 1-3 сплошной линией показаны диапазоны значений терма $T_2 = \text{«ТЕМНОЕ»}$, пунктирной – $T_3 = \text{«СРЕДНЕЕ»}$. Как видно на рисунке 1, множество значений терма «СРЕДНЕЕ» включает в себя все множество значений терма «ТЕМНОЕ» для 1-й, 2-й и 3-й фотографий, т.е. не выполняется условие (2), что недопустимо.



Диапазон выбран не правильно			
Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание (T_{2max})	№ фото	Математическое ожидание (T_{3max})	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
77,94	3	117,95	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	107,56	5

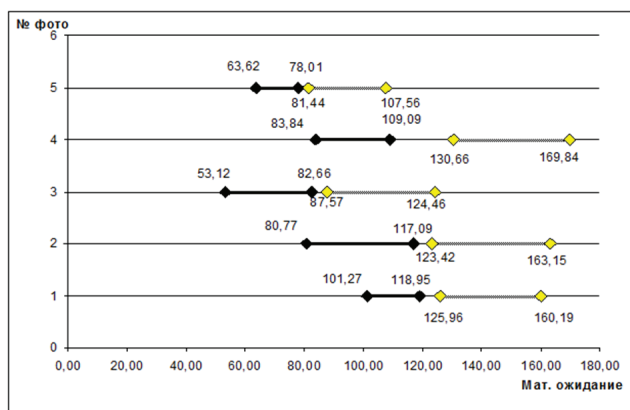
Рис. 1. Частный пример сравнения двух соседних термов (результат предварительного оценивания)

После корректировки оценок светлоты были получены уточненные диапазоны значений базовой переменной. Они представлены на рис. 2-3.

Анализ графика (рис. 1) показывает, что правило оценивания нарушается для 3-й фотографии. Ее диапазон значительно сдвинут относительно остальных изображений. После очередной визуальной оценки этой фотографии внесены небольшие изменения: сдвинуты градации ТЕМНОЕ и СРЕДНЕЕ на одну позицию в сторону увеличения математического ожидания уровней яркости пикселей изображения. Изменения диапазонов для 3-й фотографии показаны на рис. 2.

Пятая фотография самая темная из всех представленных образцов. Поэтому максимальное осветление дает значение терма СРЕДНЕЕ, равное 107,56. По графику можно сделать вывод, что при дальнейшем осветлении значение светлоты будет увеличиваться, поэтому можно искусственно задать верхнюю границу такую же, как в 3-м изображении. Данные действия необходимы для соблюдения правила оценки. Полученные результаты представлены на рис. 3.

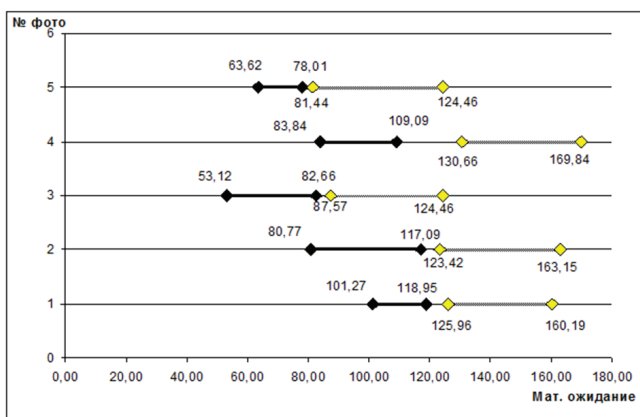
Последняя итерация позволяет получить уточненные интервалы значений базовой переменной.



Диапазон выбран не правильно

Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание (T_{2max})	№ фото	Математическое ожидание (T_{3max})	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
82,66	3	124,46	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	107,56	5

Рис. 2. Уточненные значения математического ожидания яркости пикселей для фотографии №3



ВЫБОР ПРАВИЛЬНЫЙ

Терм «ТЕМНОЕ»		Терм «СРЕДНЕЕ»	
Математическое ожидание (T_{2max})	№ фото	Математическое ожидание (T_{3max})	№ фото
118,95	1	160,19	1
117,09	2	163,15	2
82,66	3	124,46	3
109,09	4	169,84	4
78,01	5	124,46	5

Рис. 3. Уточненные значения математического ожидания яркости пикселей для фотографии №5

Для множества полученных данных выполним полиномиальную аппроксимацию с помощью программы MatLab. Для этого используем функцию *polyfit*, которая реализует метод наименьших квадратов. Данный метод не всегда дает хороший результат при увеличении степени полинома, поэтому в результате эксперимента выбрана вторая степень, как наиболее оптимальная. В результате аппроксимации были определены граничные значения для каждого термина, которые необходимы для построения функций принадлежности.

Используем функции принадлежности на основе полиномиальных кривых: Z-функции (*zmf*), П-функции (*pimf*) и S-функции (*smf*). Функция *zmf* представляет собой асимметричную полиномиальную кривую, открытую слева (терм T_1), функция *smf* – зеркальное отображение функции *zmf* – открыта справа (терм T_5). Функция *pimf* (термы T_2, T_3, T_4) равна нулю в правом и левом пределах и принимает значение, равное единице, в середине некоторого отрезка (рис. 4).

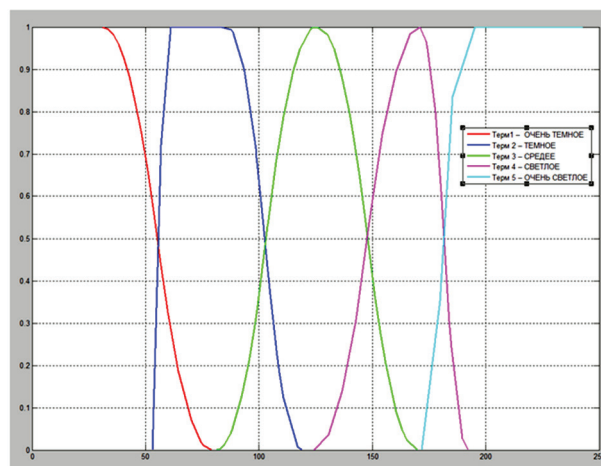


Рис. 4. Функции принадлежности лингвистической переменной «Общая светлота изображения»

Полученные функции принадлежности обеспечивают единичное разбиение Руспини, т.е. выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^n \mu_{xi}(\tilde{x}) = 1. \quad (3)$$

Полученные в результате пересечения значения математического ожидания будут являться границами для автоматической оценки изображений по общей светлоте. Значение максимальной светлоты связано с цветовой моделью, в которой представлено изображение, т.е. для изображений выборки оно равно 255. Минимальное равно 0. Граничные значения светлоты для каждого термина представлены в табл. 3.

Таблица 3

Граничные значения светлоты

Терм	Характеристика изображения	Значение базовой переменной (M)	
		Граничные значения	Точки пересечения
Очень светлое	очень светлое изображение, которое можно попытаться сделать темнее, но качество будет удовлетворительным	0, 79.12	55.6
Светлое	качественное светлое изображения, которое требует незначительного затемнения	53.11, 119.1	55.6, 102.8

Продолжение табл. 3

Терм	Характеристика изображения	Значение базовой переменной (M)	
		Граничные значения	Точки пересечения
Средняя светлота	нормальное изображение, которое не требует никаких улучшений	81.43, 169.9	102.8, 147.8
Темное	качественное темное изображение, которое требует незначительного осветления	124.4, 192.2	147.8, 182.3
Очень темное	очень темное изображение, которое можно попытаться сделать светлее, но качество будет удовлетворительным	171.7, 255	182.3

Выводы

В работе рассмотрен способ формирования терм-множества для лингвистической переменной «Общая светлота изображения». Это термножество используется при построении функций принадлежности, необходимых для оценивания качества изображений. На основании экспериментальных данных были определены граничные значения общей светлоты изображения и семантическое определение термов переменной «Общая светлота изображения». Такой подход позволяет формализовать нечеткую информацию для принятия решений в задаче классификации искажений цифровых оригиналов. Полученные результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных процедур улучшения качества изображений.

Список литературы: 1. Чеботарева И.Б. Автоматизация обработки изображений в открытых полиграфических системах / И.Б. Чеботарева, Н.Е. Кулишова, П.Н. Маслов, В.А. Маслова // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции «Информационные системы и технологии». — 2014. — С. 230–231. 2. You, J., Reiter, U., Hannuksela, M.M., Gabbouj, M., Perkis, A.: Perceptual-based quality assessment for audio-visual services: a survey. *Signal Process. Image Commun.* 25(7), 482–501 (2010). 3. Wang, Z., Bovik, A.C., Sheikh, H.R., Simoncelli, E.P.: Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Trans. Image Process.* 13(4), 600–612 (2004). 4. H. R. Sheikh, A. C. Bovik. *Image Information and Visual Quality*. *IEEE Trans. Image Process.* 15(2), 430–444 (2006).

5. Мониц Ю.И. Оценки качества для анализа цифровых изображений / Ю. И. Мониц, В. В. Старовойтов // Искусственный интеллект. — 2008. — №4. — С. 376–386. 6. Поспелов Д.А. (ред.) Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. — М.: Наука, Физ. мат. лит., 1986. — 312 с. 7. О выборе методов построения функций принадлежности для формализации задач принятия решений / В.А. Захаров // Записки Смоленского регионального отделения Научного совета Российской академии наук «Методология искусственного интеллекта» — 2006: — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-12-html/cont.htm>. 8. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М: Мир, 1976. — 165 с. 9. Кулишова Н. Е. Проблемы оценки качества цифровых оригиналов в автоматизированных информационных системах управления полиграфическим предприятием / Н. Е. Кулишова, И. Б. Чеботарева // Тезисы докладов VI Международной научно-практической конференции «Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии». — 2011. — С.327–328. 10. Голубков Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика. — М.: Издательство «Финпресс», 1998. — 416 с.

Поступила в редколлегию 26.02.2015

УДК 004.932.2:004.8

Формування нечіткої оцінки світлоти цифрових оригіналів / І.Б. Чеботарьова, Н.Є. Кулішова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2015. — № 1 (84). — С. 85–90.

В статті розглянуто спосіб формування термножини для лінгвістичної змінної «Загальна світлота зображення». Описана процедура проведення експертного оцінювання суб'єктивних характеристик зображення для визначення меж нечітких оцінок якості цифрових оригіналів, які використовуються під час побудови функцій належності термножини. Такий підхід дозволяє формалізувати процедуру класифікації цифрових оригіналів за світлотою.

Табл. 3. Іл. 4. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 004.932.2:004.8

Digital originals lightness fuzzy estimates formation / I.B. Chebotarova, N.Ye. Kulishova // *Bionics of Intelligense: Sci. Mag.* — 2015. — №1 (84). — P. 85–90.

In the article the method of the linguistic variable «The total image lightness» term set forming is considered. The procedure of the expert estimation of the image subjective characteristics was described. They were used to determine the boundaries of the digital originals fuzzy quality assessment, and to build the membership functions term set. This approach allows us to formalize the procedure of digital originals classification in brightness.

Tab. 3. Fig. 4. Ref.: 10 items.