

УДК 621.317.6, 159.93

Применение метода теории обнаружения сигналов в оценке качества изображений

Сыдихов А. Ш. *, Тарасов Д. А., Сергеев А. П., Королькова Д. В., Рахматова А. Ю.

*Уральский федеральный университет,
ул. Мира, 32, R041, Екатеринбург, Россия, 620002*

Аннотация. В работе описывается применение метода теории обнаружения сигналов для оценки качества цветных и черно-белых растровых изображений с разным разрешением. Для реализации данного метода в среде Matlab была разработана специальная программа. Предложенный метод показал себя как инструмент, позволяющий анализировать данные независимо от выбранных параметров, характеризующих качество изображений.

Ключевые слова: теория обнаружения сигнала, изображение, распознавание, Matlab

Application of the method of the theory of signal detection in assessing the quality of images

Sydikhov A. S. *, Tarasov D.A., Sergeev A.P., Korolkova D.V., Rahmatova A. Yu.

Ural Federal University, Mira, 32, R041, Ekaterinburg, RUSSIA, 620002

Abstract. The paper describes the application of the method of signal detection theory to evaluate the quality of color and black-and-white raster images with different resolutions. To implement this method, a special program was developed in the Matlab environment. The proposed method proved to be an instrument that allows analyzing data regardless of the selected parameters characterizing the quality of images.

Keywords: theory of signal detection, image, recognition, Matlab

Введение

На сегодняшний момент существует множество подходов к оценке качества изображений и мнений о том, какие параметры изображения следует учитывать [1]. Условно, данные подходы разделяют на два типа: субъективные и количественные. Количественная оценка использует математические методы и учитывает особенности восприятия изображений человеческим зрением. Субъективная оценка строится на основе экспертных оценок. В некоторых случаях, для оценки качества изображений данные подходы комбинируются [2].

Основная проблема заключается в субъективной оценке изображений. При последовательном предъявлении изображений для их шкалирования, респонденту требуется знать весь набор стимульного материала [3]. Если данная проблема решается предъявлением набора изображений парами для сравнительной оценки, то остается вопрос по обработке полученных данных. Во многих работах для этого применяют классический метод теории обнаружения сигнала. Данный метод устанавливает количественные соотношения между параметрами стимула и ощущением, который этот стимул вызывает [4].

Авторы настоящей работы предполагают, что при предъявлении дифференциального сигнала, респондент может обнаружить данный сигнал, но с противоположным знаком. Например, респондент может принять положительный дифференциальный сигнал за отрицательный. Такой тип ошибок называется инверсией [5]. Классический метод теории обнаружения сигнала не позволяет учитывать данный тип ошибок. Предложенная в работе [5] модификация метода теории обнаружения сигналов (ТОС9) позволяет учесть такой тип ошибок.

Цель данной работы: апробация предложенной модификации теории обнаружения сигнала (ТОС9), в оценке качества изображений.

Материалы и методы

1. Программно-аппаратное обеспечение

Для проведения эксперимента авторским коллективом был разработан программно-аппаратный комплекс. Для программной части, в среде Matlab, была написана специализированная программа, реализующая следующие функции:

1. Составление и предъявление пар стимулов из заданного множества изображений с разным разрешением;
2. Предоставление респонденту возможности выбора наилучшего изображения из пары нажатием на клавиши стрелок на клавиатуре: стрелка влево и вправо соответственно;
3. Предоставление респонденту возможности указания отсутствия разницы между парами изображений нажатием на клавишу «пробел»;
4. Последовательное предъявление пар стимулов с интервалом в 2 секунды;
5. Запись ответов респондента, затраченное на них время и системное время в момент ответа в базу данных Access.

Программа была установлена на ноутбук со следующими характеристиками, аппаратной части.

Таблица 1. Технические характеристики аппаратной части

Тип устройства	Описание
Модель матрицы	LP156WH4-TJN1
Процессор	Intel Core i3-3120M 2.5 GHz, с поддержкой таймера высокой точности
ОЗУ	4 ГБ DDR3
Видеопроцессор	Intel HD 4000

В работе [6], исследовалось влияние бликов на восприятие визуальных стимулов. Для исключения отрицательного влияния бликов, программно-аппаратный комплекс был расположен в универсальной смотровой камере [7].

2. Стимульный материал

В эксперименте использовались два набора стимулов: цветные и черно-белые изображения. Каждый набор (и черно-белый, и цветной) стимульных пар формировался из 18 отдельных изображений (*.BMP) с разными разрешениями. В соответствии разрешениям использованных изображений.

Таблица 2. Разрешения изображений и категории

Категория	Разрешения (пикс/см)	Категория	Разрешения (пикс/см)
Диапазон низких разрешений	10	Диапазон высоких разрешений	24
	11		26
	12		29
	13		31
	15		35
	16		38
	18		42
	19		46
	21		51

3. Проведение эксперимента

Для снижения утомляемости эксперимент был разделен на четыре части, в соответствии разделению стимулов по диапазонам и цветности. Перед началом

каждой части экспериментатор менял категории предъявляемых стимулов. Перерыв между ними составлял 5 минут.

Каждый респондент перед началом эксперимента получал следующие инструкции: «Вам будет предъявляться пары изображений. Вам необходимо либо выбрать изображение с лучшим качеством, либо указать, что вы не видите между ними разницы. Если вы считаете, что левое изображение лучше правого — нажмите клавишу со стрелкой влево. Если вы считаете, что правое изображение лучше правого — нажмите клавишу со стрелкой вправо. Если вы считаете, что оба изображения одинаковы — нажмите клавишу «Пробел». На ответ вам дается 5 секунд».

Каждая пара стимулов из набора предъявлялась респонденту по 10 раз. Во время эксперимента каждому респонденту было предъявлено всего 1980 пар стимулов.

В эксперименте приняло участие 20 человек (в возрасте от 21 до 29 лет, 5 женщин, 15 мужчин). В среднем, прохождение всего эксперимента заняло 4 часа 12 минут.

4. Результаты и обсуждение

Полученные ответы респондентов были записаны в виде исходов ТОС9 (Таблица 3) и привязаны к разнице разрешений предъявленных стимульных пар.

Таблица 3. Исходы ТОС

Сиг- нал	От- вет	Событие	
+	+	Hit	Попадание (Правильное обнаружение положит. сигнала) H+
+	0	Omission+	Пропуск положит. сигнала O+
+	-	Inversion	Инверсия положит. сигнала I+
0	+	False Alarm	Ложная тревога FA+
0	0	Correct Rejection	Корректное отрицание сигнала. CR
0	-	False Alarm	Ложная тревога FA-
-	+	Inversion	Инверсия отриц. сигнала I-
-	0	Omission-	Пропуск отриц. сигнала O-
-	-	Hit	Попадание (Правильное обнаружение отриц. сигнала) H-

Для анализа полученных данных, все исходы были представлены в процентных долях от общего числа ответов для каждой разницы разрешений

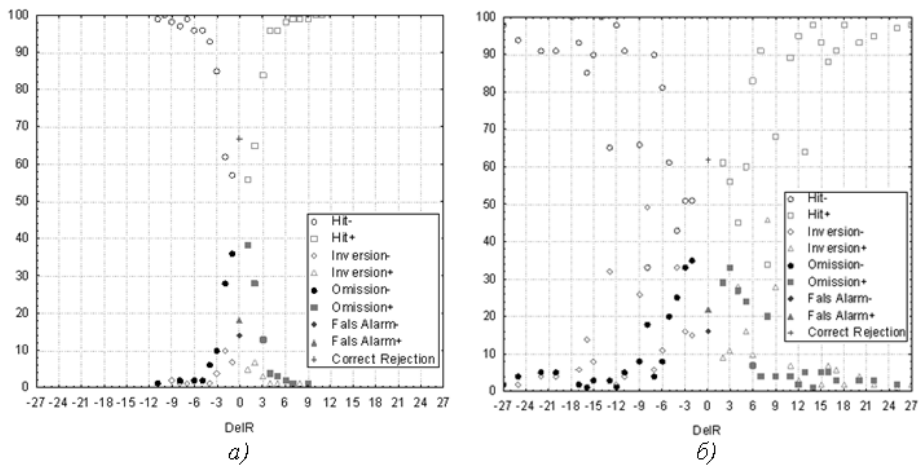


Рис. 1. Доля определенных исходов относительно общего количества ответов: а) диапазон низких разрешений, 23 точек/см – 51 точки/см; б) диапазон высоких разрешений, 23 точек/см – 51 точки/см

Как видно из графиков на рис. 1, при высоких разрешениях (рис. 1, а) дисперсия ответов и уровень ошибок (инверсий и пропусков) выше, чем при низких разрешениях (рис. 1, б). Данный эффект можно объяснить сложностью поиска стратегии оценки для высоких изображений (при высоких разрешениях, небольшая разница разрешений незначительна), что ведет к большему числу «угадываний». Вид распределений имеет симметричный характер в обоих осях, что указывает на приблизительно одинаковую вероятность определения положительного и отрицательного сигнала.

Дальнейшая обработка результатов проводилась в программном пакете Matlab и Statistica. В программе Matlab были найдены параметры нормального распределения исходов эксперимента: μ — параметр положения нормального распределения, σ — параметр полуширины нормального распределения. Графики зависимости параметров нормального распределения от разницы разрешений были построены с помощью программы Statistica (рис. 2).

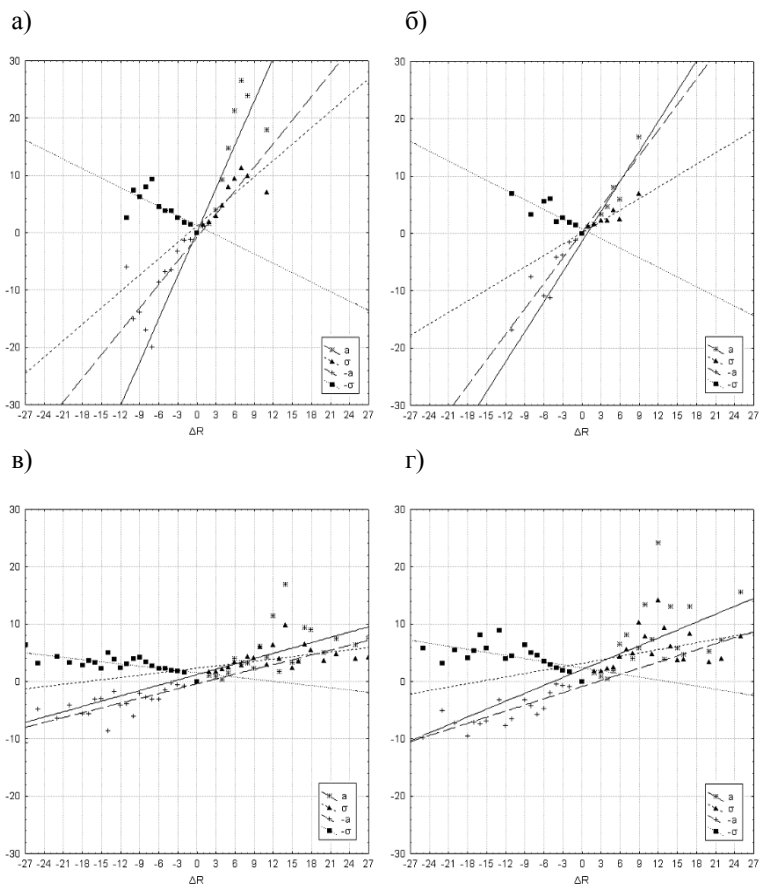


Рис. 2. Параметры нормального распределения:
 а) цветные изображения, 10 точек/см – 21 точка/см; б) черно-белые изображения,
 10 точек/см – 21 точка/см; в) цветные изображения, 23 точек/см – 51 точки/см;
 г) черно-белые изображения, 23 точек/см – 51 точки/см.

Из графиков на рис. 2 видно, что при низких разрешениях обе цветности имеют практически одинаковую дисперсию, а зависимости расположения центра распределения от разницы разрешения незначительны. При высоких разрешениях наблюдается незначительное увеличение уровня дисперсии параметров a и σ . В таблице 3 приведены параметры линий трендов, где: x_0 — координата пересечения оси абсцисс, x_1 — угловой коэффициент, r — коэффициент корреляции аппроксимации, p — уровень значимости.

Таблица 3. Параметры линий трендов для множества параметров нормального распределения

Категории стимулов		Параметры норм. распр.	Параметры линий тренда			
			x_0	x_1	r	P
Цветной	Низкий	$-a$	-0,805	1,361	0,733	0,006
		a	0,154	2,524	0,848	0,002
		$-\sigma$	1,280	-0,549	-0,684	0,014
		σ	1,209	0,950	0,809	0,004
	Высокий	$-a$	-0,412	0,279	0,777	0,001
		a	0,951	0,291	0,683	0,001
		$-\sigma$	1,544	-0,126	-0,712	0,001
		σ	2,310	0,133	0,477	0,024
Черно-белый	Низкий	$-a$	0,221	1,484	0,915	0,001
		a	-1,403	1,748	0,949	0,001
		$-\sigma$	0,820	-0,562	-0,837	0,005
		σ	0,141	0,662	0,924	0,001
	Высокий	$-a$	-0,962	0,278	0,739	0,001
		a	2,073	0,458	0,519	0,019
		$-\sigma$	1,852	0,120	-0,647	0,002
		σ	3,172	0,197	0,395	0,084

Выводы

Результаты исследования показали, что при увеличении разрешения изображения так же растет и разница разрешения, при котором человек ошибочно оценивает качество изображения. Однако разницы между восприятиями цветных и черно-белых изображений не обнаружено.

Линейная аппроксимация распределений, приведенных на рис. 3 скорее всего может быть заменена на более точную полиномиальную, однако в настоящий момент отсутствует основание для выбора подобной аппроксимации.

Полученные результаты распределения исходов относительно разницы разрешений соответствует ожидаемым. Проведенный эксперимент показал, что применение метода теории обнаружения сигнала с девятью исходами дает более подробную информацию о восприятии качества изображения.

Список литературы

1. Wang Z., Bovik A. C. Modern Image quality assessment. N.Y.: Morgan&Claypool, 2006.
2. Мониц Ю. И., Старовойтов В. В. Оценки качества для анализа цифровых изображений // «Искусственный интеллект» Минск, Беларусь. 2008. №4.
3. Potter M. C. Short-term conceptual memory for pictures // Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory. 1976. P. 509–522.

4. Гусев А.Н. Психофизика сенсорных задач: Системно-деятельностный анализ поведения человека в ситуации неопределенности // УМК «Психология». М.: Изд-во Моск, 2014. 17 с.
5. Сергеев А. П., Королькова Д. В., Тарасов Д. А., Арапов С. Ю., Сыдыхов А. Ш. Психофизическая модель теории обнаружения сигнала с девятью исходами ПМТОС9. Основные положения. Информация: передача, обработка, восприятие : материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 12–13 января 2017 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2017. С.141–147
6. Bo Schenkman N., Tadahiko Fukuda, Bo Persson. Glare from monitors measured with subjective scales and eye movements // Displays.1999. P. 11–21.
7. Разработка универсальной просмотровой камеры для квалитетических исследований в соответствии с ISO 3664:2009 / А. П. Сергеев, Д. А. Тарасов, С. Ю. Арапов, С. П. Арапова // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2014. № 1. С. 27–36.