

Tolmachev Ivan Vladislavovich
Siberian State Medical University.
E-mail: ivantolm@mail.ru.
2, Moskovskiy road, Tomsk, 634050, Russia.
Phone: +73822420952.

УДК 621.396.1.001.24, 681.323:621.391

И.В. Разин

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ
ИНВАРИАНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПИСАНИЯ БИМЕДИЦИНСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

В работе затронуты вопросы метрологического обеспечения точности оценивания инвариантных характеристик описания изображений.

Модель перепада яркости; дифференциальный оператор; амплитудная и амплитудно-частотная характеристики.

I.V. Razin

**METROLOGICAL ASSURANCE OF THE ACCURACY OF ESTIMATION
OF INVARIANT CHARACTERISTICS OF THE BIOMEDICAL IMAGES
DESCRIPTION**

In this work are mentioned the questions of metrological assurance of estimation of invariant characteristics of the images description.

Model of difference of brightness; differentiation operator; amplitude and amplitude-frequency characteristics.

Работа посвящена метрологическим аспектам идентификации сигналов в их одномерном либо двумерном представлении. Процедура идентификации сигналов неразрывно связана с процессом измерения разнообразных его характеристик, а следовательно, собственно идентификации должен предшествовать этап разработки или выбора методов, а также технических или программных средств, реализующих методы измерения. Для оценки качества методов и средств измерения необходим их метрологический анализ, который, в свою очередь, невозможен без выбора подходящей модели, выступающей в этом случае в качестве объекта исследования. Этот взаимоувязанный между собой комплекс задач решен с помощью работающей в интерактивном режиме автоматизированной системы для экспресс-анализа исследуемых полутоновых изображений, позволяющей синтезировать необходимые тестовые изображения и получать необходимые количественные оценки их описания.

Сопоставительный метрологический анализ применяемых к изображению операторов выполнен с использованием четырех основных моделей яркостного перепада, задаваемые параметры которых позволяют отобразить многообразие его проявления на реальном изображении – ориентацию в плоскости пространственных переменных изображения, протяженность перепада, “профиль” функции яркости, скорость (крутизну) ее изменения и знак, а также собственно величину перепада. Это многообразие перепадов отражено в представленных на рис. 1 математических моделях ступенчатого, трапециевидного и колоколообразного перепадов функции яркости с произвольно заданными параметрами. На рис. 2 изображены функции поперечных сечений – профили пространственных перепадов, представленных соответственно на рис. 1. Выбор для анализа одномерных функций

объясняется наглядностью получаемых результатов, а приведенные на рис. 2 сечения перепадов можно получить в направлении градиента произвольно ориентированного перепада функции яркости. Сравнительной метрологической оценке подверглись дифференциально-сглаживающие операторы и классические операторы Превитта и одномерного лапласиана (последний получен центральным сечением двумерного лапласиана). Дифференциально-сглаживающие операторы синтезированы с использованием гладких функций Моффата, Лоренца, Гаусса и Баттерворта и подробно описаны в [1,2].

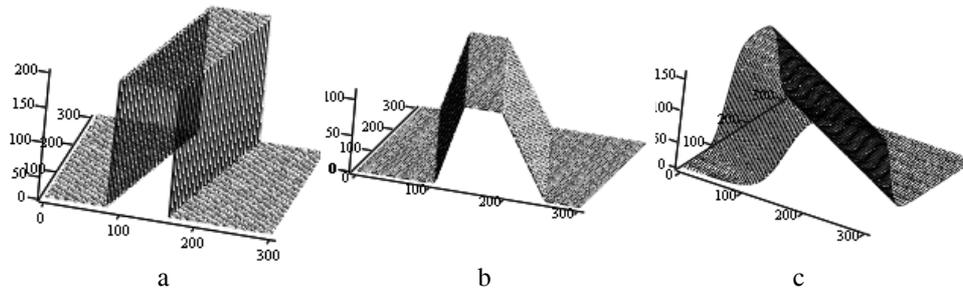


Рис. 1

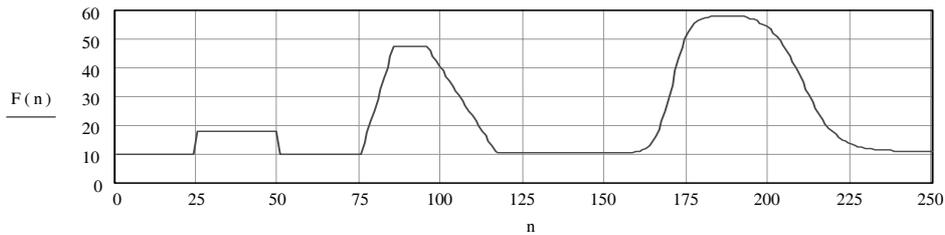


Рис. 2

Отклики дифференциально-сглаживающих операторов первого порядка и оператора Превитта на входное воздействие (рис. 2) приведены на рис. 3, на рис. 4 – отклики на то же воздействие дифференциально-сглаживающих операторов второго порядка и лапласиана. Наблюдается существенное различие в откликах операторов: качественный вывод заключается в том, что дифференциально-сглаживающие операторы в большей степени, чем классические, “затягивают” перепады. Эффект затягивания – следствие сглаживания сигнала в направлении его дифференцирования, что обеспечивает более высокую их помехоустойчивость.

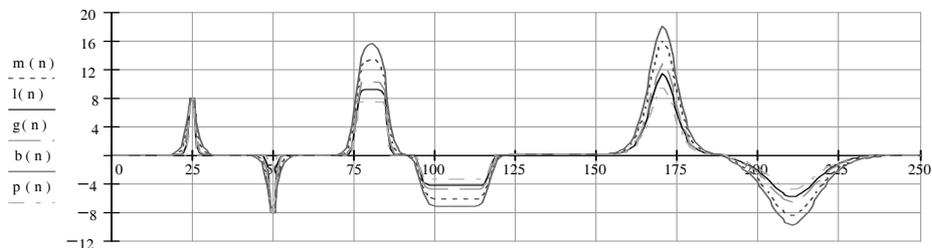


Рис. 3

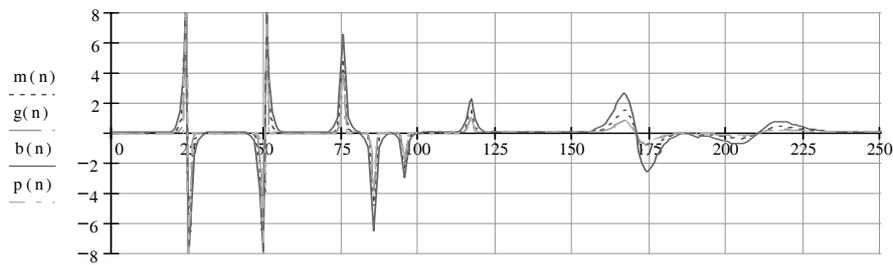


Рис. 4ⁿ

Кроме того, анализ графиков на рис. 3,4 показывает, что дифференциально-сглаживающие операторы обладают большей чувствительностью по сравнению с классическими. Это подтверждается амплитудной зависимостью отклика дифференциальных операторов первого порядка от крутизны наклонного перепада, представленной на графике рис. 5. По оси абсцисс отложена крутизна перепада, задаваемая углом γ наклонной его части относительно горизонтали, изменяющимся в диапазоне от 0 до 90° с шагом 1° , а по оси ординат – максимальное значение отклика дифференциально-сглаживающего оператора. Функция отклика на графике рис. 5 обозначена соответствующей заглавной буквой гладкой функции M , L , G или B . Частный пример ориентированного по оси абсцисс наклонного перепада, представляющего собой разновидность трапецевидного, приведен на рис. 6,а. Из графика на рис. 5 видно, что во всем диапазоне крутизны перепада наименьшей чувствительностью обладает оператор Превитта. Заметим, что амплитудные характеристики имеют такой вид только при условии превышения наклонной части перепада величины, определяемой апертурой весовой функции оператора в направлении дифференцирования. Очевидно, что амплитуда отклика любого оператора будет уменьшаться, если протяженность наклонного перепада будет меньше величины апертуры.

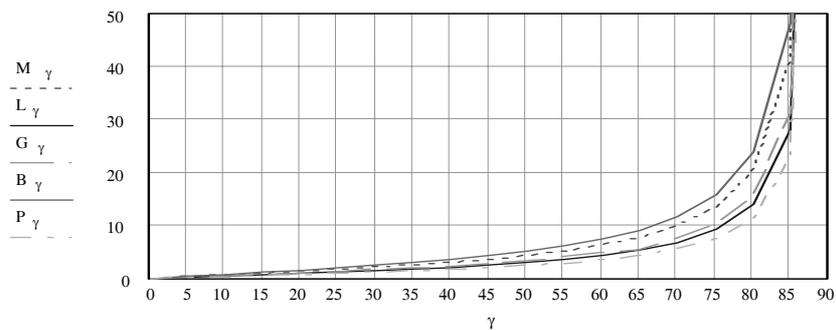


Рис. 5

Это подтверждается амплитудно-частотными характеристиками операторов, представленными на рис. 7,а. Для их построения смоделированы восемь меандров, различающихся величиной периода. Величина периода T каждого меандра кратна двум и лежит в диапазоне от 2-х до 20-ти дискрет. По оси абсцисс на графике рис. 7,а отложен период меандра, а по оси ординат – инвариантная к его амплитуде величина, представляющая отношение максимума отклика соответствующего

оператора к величине перепада. Видно, что с уменьшением периода последовательности импульсов в меандре происходит «завал» амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), и он тем заметнее, чем более чувствителен оператор. Нулевой отклик для наибольшей частоты меандра получен в том числе и для классического оператора Превитта. Завал АЧХ объясняется недостаточной частотой дискретизации сигнала, что подтверждается приведенным на рис. 7,б графиком.

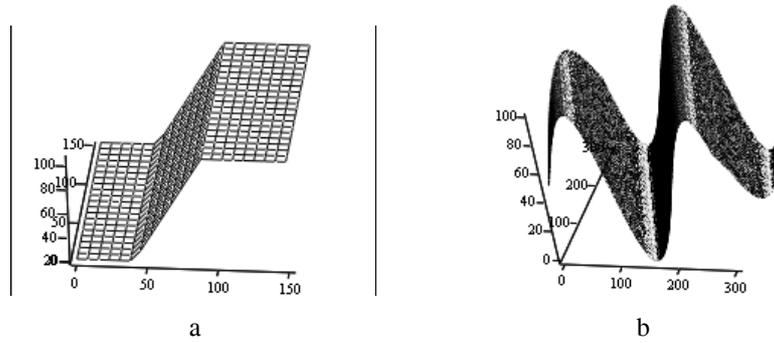


Рис. 6

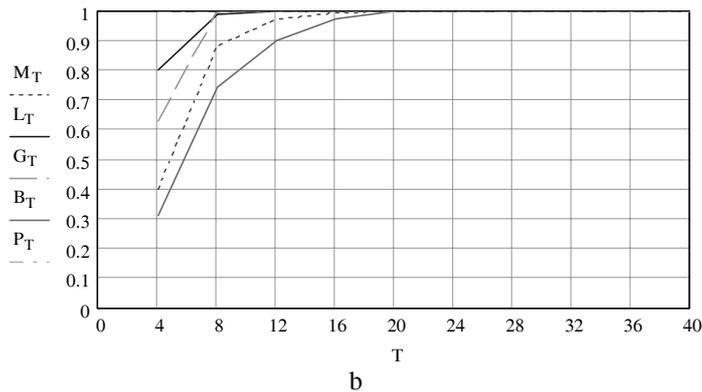
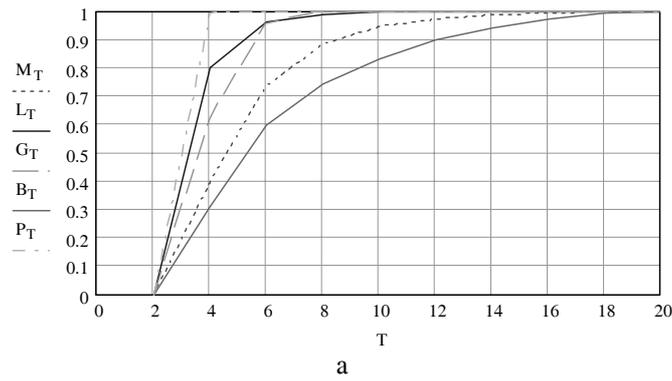


Рис. 7

Принципиальным отличием любого дифференциально-сглаживающего оператора от классического является возможность адаптировать главные его оси соответственно ориентации перепада, как показано на рис. 8,а,б. Важно при этом, чтобы

любой оператор обладал свойством независимости амплитуды отклика от произвольной ориентации перепада яркости при неизменной его крутизне. Для доказательства независимости амплитуды отклика от ориентации перепада яркости использована модель наклонного перепада с фиксированной крутизной $\gamma = 60^\circ$ (рис. 8,а). Ориентация его изменялась в диапазоне от 0 до 90° с шагом 5° . С таким же шагом изменялась ориентация главных осей дифференциально-слаживающего оператора. Для каждого фиксированного значения ориентации перепада оценивался отклик оператора (рис. 8, с) и формировалось его сечение. Два массива сечений откликов операторов (по оси абсцисс и оси ординат в интервалах ориентации перепада $0 \div 45^\circ$ и соответственно $50 \div 90^\circ$) представлены на рис. 9. Для стационарной части сечений отклика (плоской вершины) были получены оценки средней амплитуды отклика, равной $6,528$, и $\text{СКО} = 5,119 \times 10^{-3}$. Относительная ошибка оценки амплитуды отклика для всех фиксированных значений ориентации перепада составила $0,078\%$ и не зависит от крутизны перепада. Таким образом, амплитуда отклика практически не зависит от ориентации перепада яркости. Оговоримся, что этот результат получен при идеальной адаптации оператора к ориентации перепада яркости.

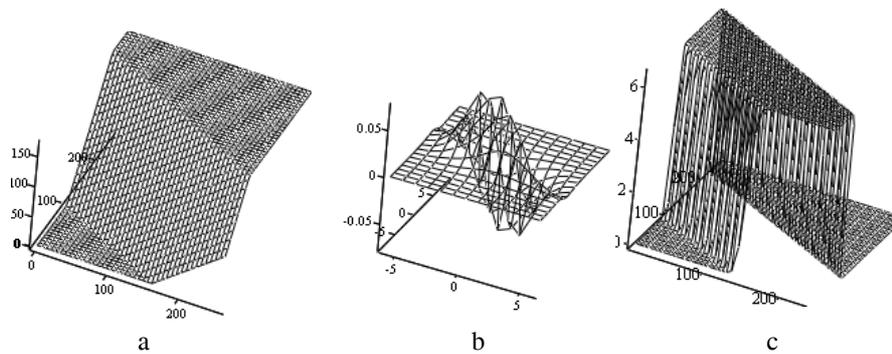


Рис. 8

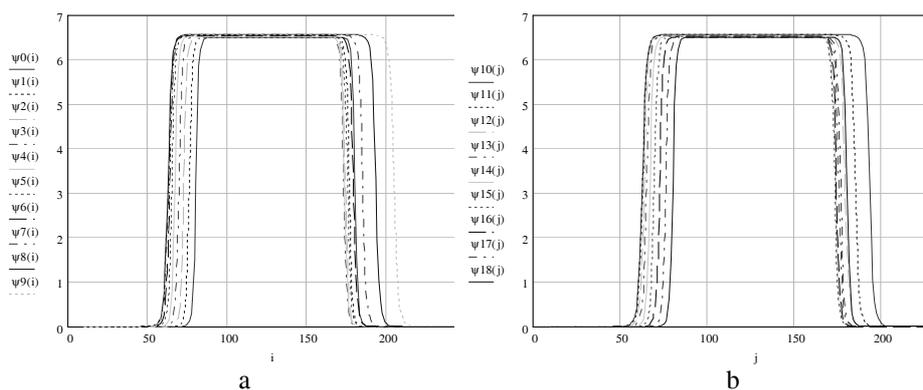


Рис. 9

Для оценки точности определения ориентации перепада яркости в работе использована детерминированная модель пространственной синусоидальной волны

$\varphi(i, j; (f_i, f_j)) = A \sin 2\pi(f_i i + f_j j)$ массивом 300×300 элементов. Модель может быть представлена следующим выражением: $\varphi(i, j; (\alpha, \ell)) = A \sin [2\pi(i \cos \alpha + j \sin \alpha) / \ell]$, причем пространственный период волны ℓ и частоты f_i, f_j по осям абсцисс и ординат соответственно, а также компоненты ориентации градиента волны связаны между собой следующими соотношениями: $\ell = 1 / \sqrt{f_i^2 + f_j^2}$, $\cos \alpha = \ell f_i$, $\sin \alpha = \ell f_j$. Пример модели синусоидальной волны приведен на рис. 6, b. Модель замечательна тем, что, фиксируя ориентацию градиента волны α и изменяя период волны ℓ с заранее заданным шагом, можно получить семейство подмножеств синусоидальных волн с одинаковой ориентацией, но различным периодом. Экспериментальные исследования по оценке точности определения ориентации волны с учетом полной комбинаторики параметров (α, ℓ) выполнены на выборке объемом $36 \times 146 = 5256$ изображений. Задавая шаг $\Delta \alpha = 5^\circ$ для диапазона значений направления градиента $0 \div 175^\circ$ и изменяя для каждого фиксированного направления градиента α период волны ℓ в диапазоне от 5-ти до 150-ти с шагом 1 пиксель, можно получить 36 подмножеств, каждое из которых содержит 146 изображений волны с одинаковой ориентацией и различным периодом. Для каждого изображения $\varphi(i, j; (\alpha, \ell))$ подмножества получена глобальная оценка ориентации волны $\beta_\alpha(i, j)$, вычисляемая согласно выражению [3]:

$$\beta_\alpha(i, j) = \arctg \frac{\sqrt{\left[\overline{\varphi_{ij}^{(0+1)}} \right]^2 - \left[\overline{\varphi_{ij}^{(1+0)}} \right]^2} + \sqrt{\left\{ \left[\overline{\varphi_{ij}^{(1+0)}} \right]^2 - \left[\overline{\varphi_{ij}^{(0+1)}} \right]^2 \right\}^2 + 4 \left[\overline{\varphi_{ij}^{(1+0)}} \overline{\varphi_{ij}^{(0+1)}} \right]^2}}{2 \left[\overline{\varphi_{ij}^{(1+0)}} \overline{\varphi_{ij}^{(0+1)}} \right]}$$

где $\varphi_{ij}^{(1+0)}$ и $\varphi_{ij}^{(0+1)}$ – производные изображения по направлениям осей i и j соответственно. Затем по 146-ти оценкам получены оценки среднего и СКО измеряемой ориентации. Полученные таким образом оценки для 36-ти направлений ориентации волны приведены на рис. 10.

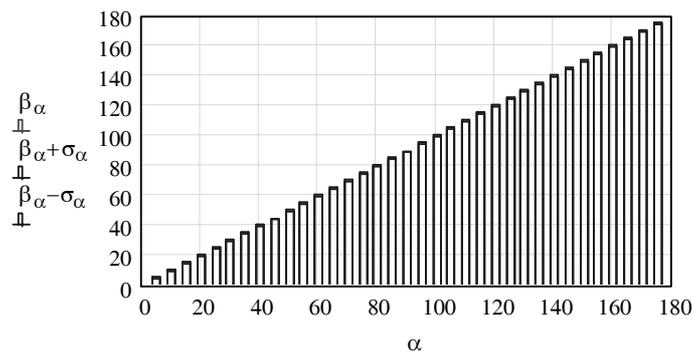


Рис. 10

Отмечается линейная зависимость оценки среднего измеряемой ориентации волны от ее истинной ориентации. При этом максимальное отклонение оценки среднего от заданной ориентации составило $0,144^\circ$, а максимальное СКО не пре-

высило 0,485°. Сравнение полученной зависимости с приводимой в литературе расчетной зависимостью показывает более высокую точность оценки ориентации перепада яркости.

Проведенный метрологический анализ позволяет уменьшить влияние субъективизма и неопределенности знаний экспертов на результат диагностики и правильного принятия решения, основанного на результатах объективных измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Разин И.В.* О моделях дифференциальных операторов для подчеркивания и локализации перепадов яркости изображения // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 10 (99). – С. 77-82.
2. *Разин И.В.* К вопросу синтеза двумерных адаптивных фильтров на основе гладких функций // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 2009. – № 3. – С. 35-48.
3. *Разин И.В.* Модель иерархической системы инвариантных характеристик описания изображения // Автометрия. – 2009. – № 6 (45). – С. 3-14.

Разин Игорь Вениаминович

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”.

E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

Тел.: 88123464487.

Razin Igor Veniaminovich

Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”.

E-mail: IVRazin@mail.eltech.ru.

5, Professor Popov street, Saint Petersburg, 197376, Russia.

Phone: +78123464487.

УДК 612.82 + 612.67 + 616.858-008.6

П.О. Ратманова, А.С. Литвинова, Е.И. Евина, Р.Р. Богданов, Д.А. Напалков

АНАЛИЗ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ*

Обсуждаются особенности изменения глазодвигательных реакций в ходе физиологического старения и при экстрапирамидных заболеваниях, сопровождающихся прогрессирующей нейродегенерацией.

Саккады; нейродегенерация; старение; экстрапирамидные заболевания.

P.O. Ratmanova, A.S. Litvinova, E.I. Evina, R.R. Bogdanov, D.A. Napalkov

ANALYSIS OF SACCADIC EYE MOVEMENTS AS A TECHNIQUE FOR ESTIMATION OF NEURODEGENERATIVE PROCESS

Parameters of saccadic eye movements were studied in patients with degenerative extrapyramidal syndromes and in control subjects. The effects of age-related and pathological neurodegeneration are discussed.

Saccades; neurodegeneration; aging; extrapyramidal syndromes.

В течение последнего столетия продолжительность жизни в экономически развитых странах постоянно увеличивается. Наряду с увеличением процента по-

* Работа выполнена при поддержке РГНФ, проект № 08-06-00362а.