
ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 535.6; 004.421
DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-5-433-441

МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В. Т. ПРОКОПЕНКО, Н. В. МАТВЕЕВ, Н. П. САПУНОВА,
Р. М. АХМАДУЛЛИН, Ф. С. УСМАНОВА

*Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: 79217973065@yandex.ru*

Представлены результаты исследования имеющих фрактальную природу изображений как вида визуальной стимуляции для задач светотерапии. Проведен сравнительный анализ полученных с использованием оптико-электронной системы динамических изображений городского ландшафта, объектов естественной среды и лазерных абстрактных динамических изображений с последующим выделением контуров при помощи модифицированного детектора границ. Произведен расчет коэффициента фрактальной размерности D изображений разных категорий, результаты которого показали, что для лазерных абстрактных динамических изображений показатель $D = 1,33 \pm 0,02$; это позволяет использовать их в виде визуального ряда как основу визуальной терапии.

Ключевые слова: *фрактальная размерность, самоподобие, детектор границ, box-counting dimension, лазерные абстрактные динамические изображения, оценка качества визуальной среды, психоэмоциональное восприятие, световая терапия*

Эффективность влияния визуальных стимулов на эмоциональное состояние человека зависит от визуальной сложности изображения (ВСИ), структура которого является ключевым фактором для восприятия [1—4]. ВСИ играет роль и в предпочтениях относительно восприятия различных зрительных образов, следовательно, можно искусственно создавать изображения с заданными показателями сложности (структура которых будет соответствовать определенным параметрам) для обеспечения оптимального уровня восприятия. Это позволит достичь максимальной эффективности воздействия визуального окружения (изображений) на человека.

Степень самоподобия изображений играет определяющую роль в оказании терапевтического влияния на психофизиологическое состояние человека [2]. Параметром, позволяющим описать итоговую структуру изображения, является коэффициент фрактальной размерности (D), который одновременно служит и количественным критерием оценки эффективности восстановительного (терапевтического) воздействия. Изображения, соответствующие оптимальному диапазону значений показателя D ($1,3 \leq D \leq 1,5$), наилучшим образом воздействуют на человека [1—3], при этом такие изображения предпочтительны для восприятия [5, 6]. Важную роль для анализа влияния визуального окружения на функциональное состояние человека играют динамические изображения. Фрактальный метод — наиболее успешный количественный метод оценки визуальной сложности [7, 8].

Фактор благотворного влияния на человека изображений, имеющих фрактальную природу, а также экспериментально определенный диапазон оптимального значения показателя

D при оценке ВСИ являются аргументами в пользу выбора метода оценки максимального воздействия по значению параметра D [4].

Попытки описать ВСИ другими способами, например, используя метод пирамиды гистограмм ориентированных градиентов — ПГОГ (PHOG — Pyramid Histogram of Oriented Gradients), предпринимались и ранее [6, 9, 10]. Применение этого метода позволяет определить степень самоподобия изображений, что не отвечает задачам настоящей статьи, поскольку в ней исследуется зависимость влияния зрительных образов (визуального окружения) на динамику изменения функционального состояния человека.

Успешность применения фрактального метода для оценки ВСИ объясняется фрактальным строением множества естественных, природных объектов, которые, в свою очередь, являются основным источником формирования стабильного эмоционального состояния человека за счет влияния визуальной среды. Исследования фрактальных структур подтверждают единую природу подобных свойств визуальной среды естественного происхождения и фракталов [2, 4, 11—15]. Следовательно, связь строения естественной среды с фракталами позволяет анализировать и описывать ее математически* [16].

В работе [6] описан метод расчета фрактальной размерности с использованием формулы Минковского:

$$D = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(\varepsilon)},$$

где $N(\varepsilon)$ — минимальное число элементов, необходимых для покрытия объекта, ε — размер такого элемента.

Предыдущие исследования [6] показали, что применение стандартного алгоритма не позволяет получить корректные результаты при работе как с изображениями, имеющими нечеткие контуры, так и с изображениями, имеющими сложный характер распределения интенсивности из-за недостаточной чувствительности способа идентификации границ, который используется для создания бинарных масок изображений.

Рассмотрим алгоритм анализа динамических изображений и особенности их обработки. Динамические изображения (видеоконтент) представляют собой массив данных, состоящий из определенного количества кадров цветовой модели RGB. При смешивании цветов видеоконтент приобретает промежуточные цвета, а в зависимости от яркости изображения появляются тона, полутона и плавные цветовые градиенты. В настоящем исследовании интерес представляет общая форма объектов видеоконтента — их контуры, поэтому необходимо перевести цветовые каналы в один (RGB в оттенки серого).

Анализ видеоконтента связан с обработкой большого количества кадров, что означает некую универсальность алгоритма обработки. Универсальность в данном случае означает предварительный подбор и реализацию действий алгоритма анализа, которые будут в равнозначной степени применимы для разного рода видеоконтента без необходимости ввода дополнительных корректирующих операций в ходе обработки. При этом могут возникнуть трудности, связанные с особенностями реализации задачи универсальности алгоритма.

Поступающий для обработки видеоконтент может содержать такие особенности, как разные форматы видеофайлов, разное разрешение. Эти особенности необходимо учитывать для автоматизации алгоритма. Перевод цветовой RGB-модели в градации серого также является основным требованием.

Для реализации задачи универсальности алгоритма были выбраны следующие операторы программного обеспечения. Оператор *VideoReader* считывает видеофайл в массив данных.

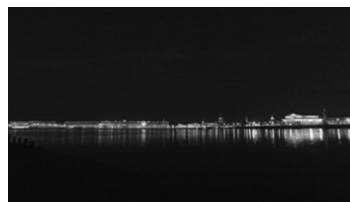
* Методы оценки визуальной сложности, как правило, основываются на подсчете элементов (линий и углов), их регулярности, неравномерности и разнородности, что способствует математическому расчету визуальной сложности [17—20].

Перевод изображения в оттенки серого перед выделением контуров (границ) реализуется командой *rgb2gray*.

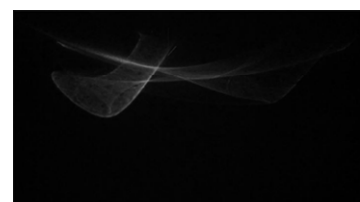
Особенностью работы с лазерными абстрактными динамическими изображениями (ЛАДИ) является высокая степень градиента получаемых структур, а именно плавное уменьшение интенсивности объектов на изображении, проецируемых лазерной системой. Поэтому крайне важно правильно подобрать предшествующий оценке фрактальности алгоритм бинаризации изображения, имеющего градиентные переходы и контуры абстрактных визуальных форм с не ярко выраженной контрастностью. На рис. 1 приведены примеры изображений с указанием их особенностей, при анализе которых с использованием стандартного алгоритма оператора Канни для детектирования контуров изображения появляются нежелательные контуры, вносящие погрешность в оценку конкретного кадра.



Детали в светлых тонах с неявной границей



Высокий шум в тенях



Наличие градиента яркости

Рис. 1

Наличие мелких деталей как в светлых тонах изображения, так и в тенях, высокий шум матрицы аппаратуры видеорегистрации при работе в ночных условиях будут определяться алгоритмом Канни как отдельный ложный контур. Принцип работы алгоритма Канни по детектированию границ изображения — это регистрация контуров объектов при игнорировании ложных контуров с точным определением линии, без ее дробления, и регистрация каждой границы единожды. Основная проблема при использовании стандартного оператора Канни — побочное (ложное) обнаружение границ и контуров в шумах при анализе изображений, полученных в условиях ночной видеорегистрации. Другая проблема — отсутствие контуров в тех областях, где, например, изображены облака, и невооруженным глазом можно заметить границы, которые дополняют общую картину анализа изображения.

Для решения перечисленных проблем предлагается разделение исходного изображения по уровням яркости пикселей на 5 диапазонов. Яркость пиксела может находиться в диапазоне значений от 0 до 255 (где 0 — черный цвет, 255 — белый цвет).

Предложенное разделение на 5 диапазонов яркости:

- от 0 до 50 (с подавлением шумов при значениях до 20);
- от 50 до 100 (темные тона изображения);
- от 100 до 150 (средние тона);
- от 150 до 200 (светлые тона);
- от 200 до 255 (значения, близкие к белому, содержащие большие градиенты яркости).




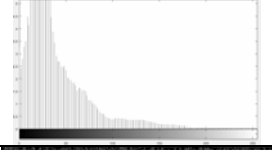
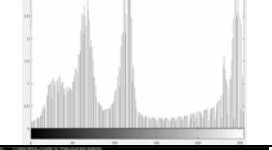


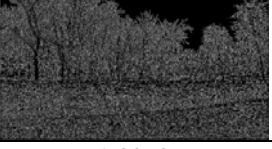


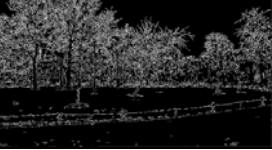
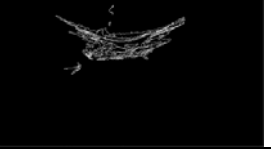
Затем для каждого из указанных диапазонов проводится операция детектирования границ изображения с помощью стандартного оператора Канни. Далее 5 изображений объединяются в одно с получением в результате корректно выделенных контуров и в тенях, и в светлых областях изображения. Последнее действие — обработка контуров для удаления побочных (ложных) границ, объединение разорванных границ и уменьшение границ, лежащих близко друг к другу.

В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа изображений, полученных с применением стандартного оператора Канни и предложенного алгоритма детектирования границ.

Модифицированный алгоритм является результатом комплексного подхода, который позволяет не использовать дополнительные настройки параметров для каждого кадра вручную; этот подход включает следующие операции [21]:

- 1) применение оператора Гаусса;
- 2) увеличение контрастности изображения;
- 3) определение контуров при помощи детектора границ Канни;
- 4) обработка контуров (границ) с использованием инструмента „toolbox“ ПО, который позволяет осуществить морфологические операции над бинарными изображениями для уменьшения разрыва между контурами.

Таблица 1

Описание кадра	Университет ИТМО, ночное время	Александровский сад, дневное время	Лазерные абстрактные визуальные изображения
Исходное изображение (переведенное в оттенки серого)			
Гистограмма яркости			
Результат работы стандартного детектора границ Канни			
Значение D	1,9134	1,8952	1,2916
Результат работы модифицированного детектора границ Канни			
Значение D	1,6156	1,7339	1,2777

Необходимость введения четвертого этапа в новый алгоритм обоснована появлением артефактов на изображениях (разорванные контуры, точки либо контуры вокруг шумов) после этапа определения контуров детектором Канни.

Для расчета значения показателя D полученного видеоконтента, после детектирования границ, предлагается воспользоваться расположенным в свободном доступе инструментом „toolbox“ — box-counting dimension [22].

Приведем рекомендации по характеристикам видеоконтента и аппаратуре видеорегистрации:

- видеоконтент должен иметь высокое разрешение (для качественного разрешения мелких деталей изображения) — от 1080 пкс и выше;
- регистрация видеоконтента должна осуществляться аппаратурой с сопутствующими устройствами стабилизации (для уменьшения размытия контуров);
- видеорегистрация должна проводиться при режиме, обеспечивающем минимальные цифровые шумы;
- скорость видеорегистрации — от 60 кадров/с;
- необходимо обеспечить резкие контуры по всему полю кадра (достигается изменением диафрагмы).

В экспериментальном исследовании была использована модель видеосистемы OSMO фирмы DJI, которая соответствует перечисленным требованиям.

Рассмотрим результаты исследования (на примере изображений объектов городской среды, естественной среды и лазерных абстрактных динамических изображений). Для оценки показателя D и динамики изменения яркости изображений была произведена запись 37 видеофрагментов длительностью 40 с каждый. Пример применения модифицированного алго-

ритма по оценке зависимости показателя D от длительности видеофрагмента (здание Университета ИТМО в условиях дневного освещения) приведен на рис. 2.



Рис. 2

В табл. 2 приведены усредненные результаты оценки изображений, разных по категориям и значению фрактальной размерности.

Таблица 2

№ п/п	Локация	Описание	D_{cp}	D_{max}	D_{min}
1	Городская среда	Театр „Балтийский дом“	1,68±0,03	1,76	1,61
2		Университет ИТМО (день)	1,76±0,02	1,79	1,71
3		Телебашня	1,67±0,04	1,8	1,57
4		СК „Петроградец“ (вечер)	1,75±0,05	1,82	1,55
5		Санкт-Петербургская Соборная мечеть (вечер)	1,73±0,05	1,83	1,55
6		Станция метро „Горьковская“ (вечер)	1,72±0,06	1,83	1,54
7		Университет ИТМО (вечер)	1,64±0,05	1,76	1,51
8		Стрелка Васильевского острова (ночь)	1,54±0,05	1,6	1,41
9		Петропавловская крепость (ночь)	1,56±0,05	1,64	1,43
10		Дворцовая площадь	1,62±0,03	1,68	1,54
11		Эрмитаж	1,79±0,04	1,86	1,7
12		Скульптуры атлантов	1,73±0,02	1,76	1,67
13		Улица Санкт-Петербурга	1,76±0,05	1,84	1,67
14		Александровский сад	1,74±0,08	1,85	1,5
15		Детская площадка	1,78±0,02	1,86	1,72
16		Памятник „Медный Всадник“	1,65±0,01	1,68	1,6
17		Исаакиевский собор	1,69±0,02	1,74	1,62
18		Панорама с колоннады Исаакиевского собора (1)	1,73±0,02	1,74	1,68
19		Панорама с колоннады Исаакиевского собора (2)	1,71±0,02	1,73	1,65
20		Панорама с колоннады Исаакиевского собора (3)	1,62±0,01	1,65	1,59
21		Панорама с колоннады Исаакиевского собора (4)	1,74±0,01	1,75	1,72
22	Естественная среда	Александровский парк	1,82±0,03	1,86	1,74
23		Домашние питомцы	1,83±0,01	1,85	1,79
24		Гуси и лебеди	1,84±0,01	1,86	1,81
25		Птицы у воды	1,81±0,02	1,84	1,73
26		Водоем и утки	1,81±0,03	1,89	1,74
27		Черные лебеди и журавль	1,8±0,01	1,81	1,77
28		Белый пеликан	1,79±0,01	1,8	1,76
29		Зелень в зоопарке	1,84±0,01	1,85	1,81
30		Жираф	1,85±0,01	1,86	1,81
31		Грызуны	1,81±0,01	1,82	1,73
32		Газон в парке	1,78±0,03	1,84	1,71
33		Трава	1,88±0	1,88	1,86
34		Облака	1,51±0,08	1,64	1,23
35		Лазерные абстрактные динамические изображения		1,02±0,06	1,3
36			1,33±0,16	1,74	1
37			1,33±0,18	1,7	1

Согласно результатам исследования и апробации нового алгоритма оценки динамических изображений, для видеосюжетов городской среды $D \approx 1,6$, естественной среды — $D \approx 1,79$, для лазерных абстрактных динамических изображений $D \approx 1,33$.

Также представляет интерес изменение динамики фрактальности на протяжении всего видеосюжета. С этой целью были проанализированы два параметра — *базисный прирост* (показывает значение прироста в процентах относительно базисного значения) и *среднее значение показателя D для длительности всего видеосюжета*. Иными словами, необходимо оценить базисный прирост относительно каждой секунды регистрации видеосюжета по сравнению со значением D_{cp} всего видеосюжета. Значение абсолютного прироста показателя D видеосюжета рассчитывается по формуле

$$\Delta D = y_i - y_k,$$

где y_i — значение переменной для показателя D видеоряда, регистрируемого каждую секунду, y_k — постоянное значение переменной, в данном случае усредненного значения показателя D всего видеоряда.

Для более наглядной оценки были сопоставлены два видеосюжета из категорий „городская среда“ и „естественная среда“. Ввиду того, что не имеет смысла сравнивать ЛАДИ со схожим ему же видеосюжетом, были получены данные об изменении показателя D во времени относительно среднего значения (рис. 3, 4).

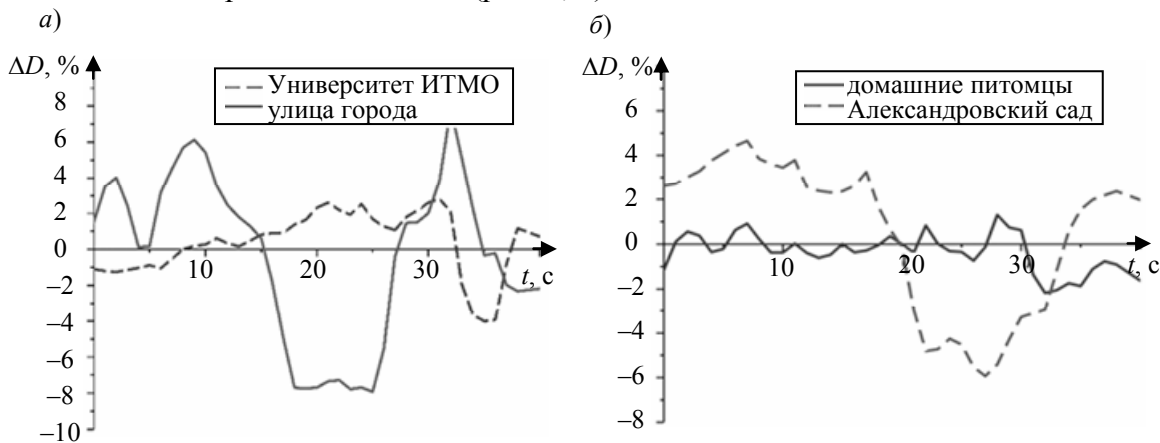


Рис. 3

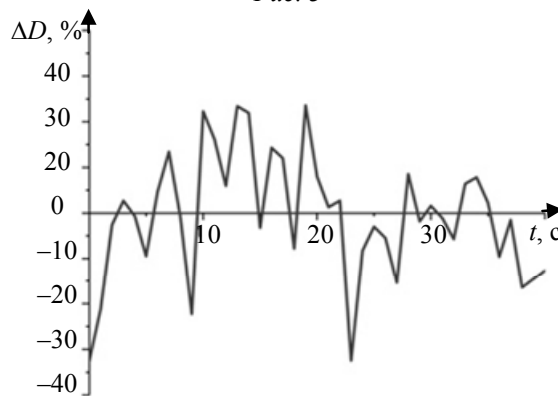


Рис. 4

На рис. 3, а можно видеть невысокую степень базисного отклонения, что составляет максимум 8 %, а в переводе на значение показателя $D=0,08$, т.е. даже при максимальном значении ΔD показатель D для изображений городской среды остается равным не ниже 1,65. Это позволяет сделать вывод, что в изображениях городской среды преобладает умеренно высокое для восприятия значение показателя D , которое не соответствует оптимальному диапазо-

ну его значений. Рис. 3, б демонстрирует низкую степень базисного отклонения — максимум 6 %. Рис. 4 отражает разброс значений ΔD , что соответствует хаотичной природе ЛАДИ.

На рис. 5 показан диапазон изменения значения показателя D для изображений городской и естественной среды (заштрихованная область) по сравнению с ЛАДИ: амплитуда значений ΔD больше почти в 4 и 6 раз соответственно. Это позволяет сделать заключение, что в ЛАДИ преобладает изменение яркости объектов во времени, т.е. внимание человека концентрируется в течение более продолжительного времени. Однако, как указано в табл. 2, среднее значение показателя D ЛАДИ лежит в наиболее близком по степени эффективности воздействия диапазоне. Это соответствует оптимальным условиям светотерапевтического воздействия и позволяет судить о лазерных абстрактных динамических изображениях как о новом виде светотерапии.

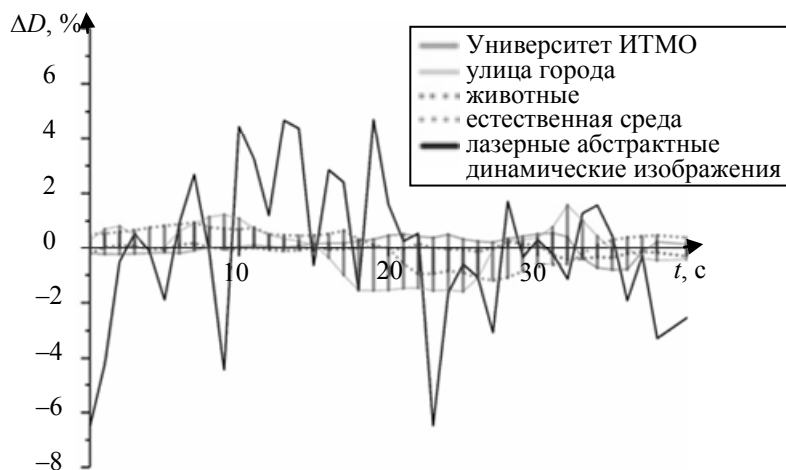


Рис. 5

Полученные данные о динамике прироста показателя D на протяжении видеофрагмента имеют значение для оптимизации оптико-электронной системы в целях контроля равномерности распределения или возможного перераспределения и компоновки изображений по показателю D .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forsythe A., Nadal M., Sheehy N., Cela-Conde C. J., Sawey M. Predicting beauty: Fractal dimension and visual complexity in art // *British Journal of Psychology*. 2011. N 102(1). P. 49—70.
2. Taylor R. P. Reduction of physiological stress using fractal art and architecture // *Leonardo*. 2006. N 39. P. 245—251.
3. Spehar B., Clifford C. W. G., Newell B. R., Taylor R. P. Universal aesthetic of fractals // *J. Comput. Graph.* 2003. N 27. P. 813—820. DOI: 10.1016/s0097-8493(03)00154-7.
4. Taylor R. P. Some reflections on the relevance of fractals for art therapy // *Arts Psychother.* 2006. Vol. 33, N 2. P. 143—147.
5. Berlyne D. E. Novelty, complexity and hedonic value // *Perception and Psychophysics*. 1970. N 8. P. 279—286.
6. Прокопенко В. Т., Матвеев Н. В., Сапунова Н. П., Егорова Е. К., Елкина Л. С. Методы оценки визуальной сложности лазерных растровых изображений // *Изв. вузов. Приборостроение*. 2018. Т. 61, № 6. С. 513—520.
7. Taylor R. P., Spehar B., Van Donkelaar P., Hagerhall C. M. Perceptual and physiological responses to Jackson Pollock's fractals // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2011. Vol. 5, art. 60. DOI: 10.3389/fnhum.2011.00060.
8. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman, 1982. 468 p.
9. Lazebnik S., Schmid C., Ponce J. Beyond bags of features: spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories // *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2006. P. 2169—2178.
10. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // *Proc. CVPR*. 2005. N 2. P. 886—893.

11. *Ткачева Л. О.* Воздействие фрактальных динамических изображений на функциональное состояние человека // Вестн. СПбГУ. Сер. 12. 2010. Вып. 2.
12. *Кабрин В. И.* и др. Управляемые звуковым сигналом динамические фракталы как способ актуализации измененных состояний сознания // Сибирский психологический журнал. 2016. №. 61.
13. *Wilson E. O.* Biophilia: The Human Bond with Other Species. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1984.
14. *Hagerhall C. M., Laike T., Taylor R. P., Küller M., Küller R., Martin T. P.* Investigations of human EEG response to viewing fractal patterns // Perception. 2008. N 37(10). P. 1488—1494. DOI: 10.1068/p5918.
15. *Joye Y.* Evolutionary and cognitive motivations for fractal art in art and design education // Intern. Journal of Art and Design Education. 2005. N 24(2). P. 175—185. DOI: 10.1111/j.1476.8070.2005.00438.x.
16. *Юргенс Х., Пайтген Х.-О., Зауне Д.* Язык фракталов в мире науки // Scientific Amer. 1990. N 10. P. 36—44.
17. *Birkhoff G. D.* Aesthetic Measure. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1933.
18. *Eysenck H. J.* The empirical determination of an aesthetic formula // Psychological Rev. 1941. N 48. P. 83—92. DOI:10.1037/h0062483.
19. *Eysenck H. J.* An experimental study of aesthetic preference for polygonal figures // J. of General Psychology. 1968. N 79. P. 3—17.
20. *Eysenck H. J., Castle M.* Training in art as a factor in the determination of preference judgments for polygons // British Journal of Psychology. 1970. N 61. P. 65—81.
21. *Wagon S.* Mathematica® in Action. Springer, 2010.
22. *Moisy F.* Computing a fractal dimension with Matlab: 1D, 2D and 3D Box-counting [Электронный ресурс]: <<https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13063-boxcount>>, 14.12.2018.

Сведения об авторах

- | | |
|---|---|
| Виктор Трофимович Прокопенко | — д-р техн. наук, профессор; Университет ИТМО; факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники; E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru |
| Николай Вадимович Матвеев | — канд. техн. наук, доцент; Университет ИТМО; факультет прикладной оптики; E-mail: matveev_nv@mail.ru |
| Наталья Петровна Сапунова | — аспирант; Университет ИТМО; факультет прикладной оптики; E-mail: modernns@yandex.ru |
| Радик Минзагитович Ахмадуллин | — аспирант; Университет ИТМО; факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники; E-mail: 79217973065@yandex.ru |
| Фируза Салаватбатыровна Усманова | — магистр; Университет ИТМО; факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники; E-mail: fira-usmanova@mail.ru |

Поступила в редакцию
14.02.19 г.

Ссылка для цитирования: Прокопенко В. Т., Матвеев Н. В., Сапунова Н. П., Ахмадуллин Р. М., Усманова Ф. С. Метод оценивания визуальной сложности динамических изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 5. С. 433—441.

METHOD OF ESTIMATING THE VISUAL COMPLEXITY OF DYNAMIC IMAGES

V. T. Prokopenko, N. V. Matveev, N. P. Sapunova, R. M. Akhmadullin, F. S. Usmanova

ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia
E-mail: 79217973065@yandex.ru

Results of the study of images with fractal nature as a type of visual stimulations in light therapy are presented. A comparative analysis of dynamic images of the urban landscape obtained using an optoelectronic system, objects of natural environment, and laser abstract dynamic images is performed with subsequent allocation of contours using a modified boundary detector. Calculation of the ratio of the fractal dimension D performed for images of different categories, shows that for laser-abstract dynamic images $D = 1,33 \pm 0,02$; this allows one to use them in the form of a visual series as the basis of visual therapy.

Keywords: fractal dimension, self-similarity, border detector, box-counting dimension, dynamic abstract laser images, assessment of the quality of the visual environment, psycho-emotional perception, light therapy

REFERENCES

1. Forsythe A., Nadal M., Sheehy N., Cela-Conde C.J., & Sawey M. *British Journal of Psychology*, 2011, no. 102(1), pp. 49–70.
2. Taylor R.P. *Leonardo*, 2006, no. 39, pp. 245–251.
3. Spehar B., Clifford C.W.G., Newell B.R., Taylor R.P. *J. Comput. Graph.*, 2003, no. 27, pp. 813–820. DOI: 10.1016/s0097-8493(03)00154-7.
4. Taylor R.P. *Arts Psychother.*, 2006, no. 2(33), pp. 143–147.
5. Berlyne D.E. *Perception and Psychophysics*, 1970, no. 8, pp. 279–286.
6. Prokopenko V.T., Matveev N.V., Sapunova N.P., Egorova E.K., Elkina L.S. *Journal of Instrument Engineering*, 2018, no. 6(61), pp. 513–520. (in Russ.)
7. Taylor R.P., Spehar B., Van Donkelaar P., Hagerhall C.M. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2011, vol. 5, art. 60. DOI: 10.3389/fnhum.2011.00060.
8. Mandelbrot B. *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco, W.H. Freeman, 1982, 468 p.
9. Lazebnik S., Schmid C., Ponce J. *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2006, pp. 2169–2178.
10. Dalal N., Triggs B. *Proc. CVPR*, 2005, no. 2, pp. 886–893.
11. Tkacheva L.O. *Vestnik of St. Petersburg State University*, Series 12, 2010, no. 2, pp. 378–387. (in Russ.)
12. Kabrin V.I., Viskochkov V.S., Prudovikov I.O., Tkachenko A.Y., Yakovlev N.I. *Siberian Journal of Psychology*, 2016, no. 61, pp. 147–155. (in Russ.)
13. Wilson E.O. *Biophilia: The Human Bond with Other Species*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 1984.
14. Hagerhall C.M., Laike T., Taylor R.P., Küller M., Küller R., Martin T.P. *Perception*, 2008, no. 37(10), pp. 1488–1494. DOI: 10.1068/p5918.
15. Joye Y. *Intern. Journal of Art and Design Education*, 2005, no. 24(2), pp. 175–185. DOI: 10.1111/j.1476.8070.2005.00438.x.
16. Peitgen H.-O., Jurgens H., Saupe D. and Zahlten C. *The Language of Fractals*, *Scientific Amer.*, 1990, no. 10, pp. 36–44.
17. Birkhoff G.D. *Aesthetic Measure*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 1933.
18. Eysenck H.J. *Psychological Rev.*, 1941, no. 48, pp. 83–92. DOI:10.1037/h0062483.
19. Eysenck H.J. *J. of General Psychology*, 1968, no. 79, pp. 3–17.
20. Eysenck H.J., Castle M. *British Journal of Psychology*, 1970, no. 61, pp. 65–81.
21. Wagon S. *Mathematica® in Action*, Springer, 2010.
22. Moisy F. *Computing a fractal dimension with Matlab: 1D, 2D and 3D Box-counting*, <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13063-boxcount>.

Data on authors

Viktor T. Prokopenko	— Dr. Sci., Professor; ITMO University, Faculty of Laser Photonics and Optoelectronics; E-mail: prokopenko@mail.ifmo.ru
Nikolay V. Matveev	— PhD, Associate Professor; ITMO University, Faculty of Applied Optics; E-mail: matveev_nv@mail.ru
Natalya P. Sapunova	— Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Applied Optics; E-mail: modernns@yandex.ru
Radic M. Akhmadullin	— Post-Graduate Student; ITMO University, Faculty of Laser Photonics and Optoelectronics; E-mail: 79217973065@yandex.ru
Firuz S. Usmanova	— Master; ITMO University, Faculty of Laser Photonics and Optoelectronics; E-mail: fira-usmanova@mail.ru

For citation: Prokopenko V. T., Matveev N. V., Sapunova N. P., Akhmadullin R. M., Usmanova F. S. Method of estimating the visual complexity of dynamic images. *Journal of Instrument Engineering*. 2019. Vol. 62, N 5. P. 433–441 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2019-62-5-433-441