# УСТОЙЧИВОСТЬ ПАТТЕРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В КАРТИНАХ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА СТРУКТУРАХ С СИММЕТРИЕЙ САМОПОДОБИЯ

П.В. Короленко, С.Б. Рыжиков, Ю.В. Рыжикова
*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*
ryzhikovaju@rambler.ru

Паттерный анализ стал атрибутом многих исследований, проводимых в различных областях науки. Под паттернами обычно понимают регулярные закономерности (некие шаблоны, образцы, устойчивые структурные образования), проявляющиеся в отдельных диапазонах характеристик разнообразных объектов или процессов. Регистрируя наличие и форму того или иного паттерна можно судить об особенностях пространственно-временной структуры изучаемой системы, а также о динамике ее изменения. Известны факты успешного использования паттерного анализа в медицине [1-2], биологии [3] и физике [4].

В качестве исследуемых объектов рассматривались 1D – 3D апериодические дифракционные решетки с точечными рассеивающими центрами и внутренней симметрией самоподобия. Они строились на основе числовых последовательностей Кантора, Морса-Туэ, двойного периода и Фибоначчи. Переход к более высокому структурному уровню в каждой из этих последовательностей элементов $\{A, B\}$ может быть осуществлен с помощью следующих правил замещения: $g(A) = ABA, g(B) = BBB$, $g(A) = AB, g(B) = BA$, $g(A) = AB, g(B) = AA$, $g(A) = AB, g(B) = A$, соответственно [5]. Структуры апериодических решеток формировались на основе периодических систем путем удаления из них части рассеивающих центров в соответствие с порядком чередования элементов заданной апериодической числовой последовательности $\{A, B\}$ и правилами замещения ее элементов на основе матричных преобразований.

Целью данной работы является анализ возможностей идентификации апериодических структур с внутренней симметрией самоподобия на основе регистрации локальных паттернов в полях рассеянных волн. Такой подход к определению структурных особенностей решеток требует расчета структуры формы локальных паттернов в скейлинговых характеристиках дифрагирующих волн, а также оценки устойчивости паттерных образований к изменениям условий освещения и к наличию дефектов структуры. Рассматривались два способа освещения дифракционной решетки монохроматическим когерентным светом. Первый способ заключался в наклонном освещении неподвижной решетки, второй – в повороте решетки относительно светового пучка.

На основе численного моделирования анализировались картины дифракции световых пучков на 1D, 2D и 3D решетках. Было установлено, что наличие внутренней симметрией самоподобия в структуре оптических элементов приводит к фрактальному распределению интенсивности в поле дифрагирующей волны [6]. Отдельные фрагменты самоподобной картины дифракции рассматривались в виде локальных паттернов. Их форма индивидуальна для каждого типа решетки. Рис. 1 иллюстрирует структуру паттернов в дифракционных картинах 1D-решеток, построенных с использованием последовательностей Кантора (а), двойного периода (б), Фибоначчи (в) и Морса-Туэ (г).

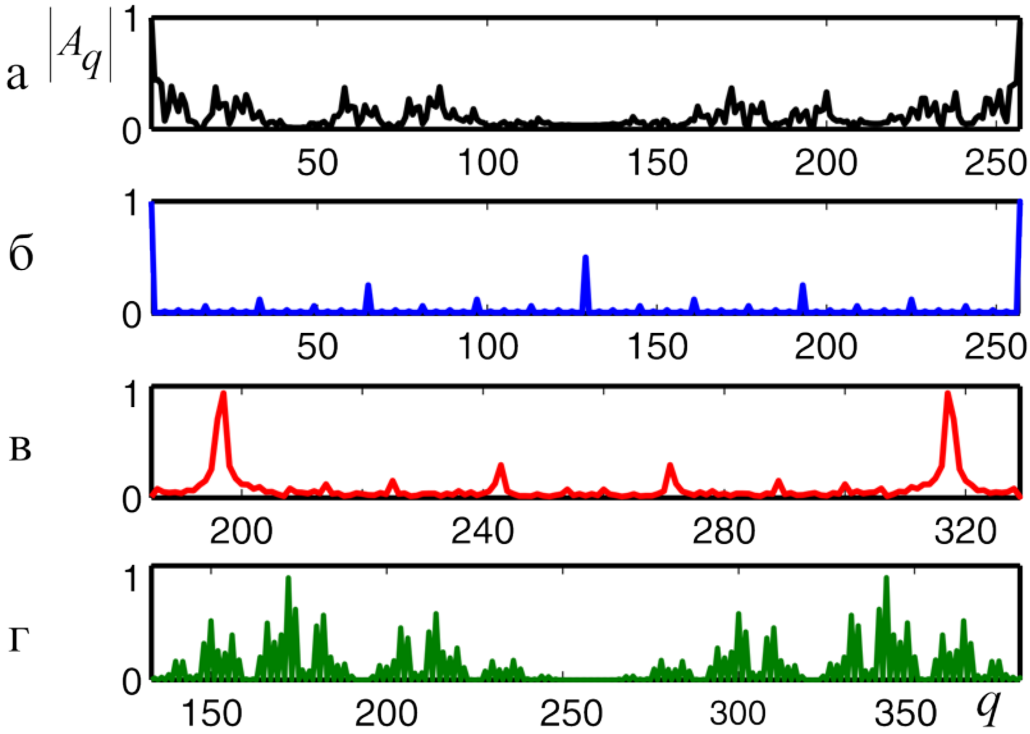


Рис. 1. Локальные паттерны 1 D-апериодических решеток: а – структура Кантора, б – структура двойного периода, в – структура Фибоначчи, г – структура Морса-Туэ. По оси абсцисс $q$ – пространственная частота, по оси ординат $|A_q| = \sqrt{I / I_{\max}}$, где $I$ – распределение интенсивности в локальных паттернах, $I_{\max}$ – нормировочное значение интенсивности.

В результате численного моделирования установлено, что при первом способе освещения решеток устойчивые с точки зрения сохранения своей формы локальные паттерны наблюдаются в полях рассеянных волн в широком интервале углов падения световых волн на апериодические решетки независимо от их размерности.

При втором способе освещения решеток проявляется значительные искажения формы выделенных паттернов в их спектральных характеристиках, которые возрастают с увеличением угла наклона решетки.

Оценка структурного соответствия в графических представлениях оптических характеристиках апериодических решеток проводилась, как с помощью определения кластерной фрактальной размерности в выделенной области скейлинга [6-7], так и на основе корреляционного анализа и вейвлет-преобразований для самоподобных областей, определяемых выбором локального паттерна структуры.

При внесении возмущений в структуру решеток, посредством процедуры рандомизации положения части ее элементов, наблюдалась весьма высокая устойчивость формы локальных паттернов в рассматриваемых системах. Так, коэффициенты взаимной корреляции $K$ распределения интенсивности в возмущенных и невозмущенных паттернах 1D-решеток принимали следующие значения: $K = 1 - 0{,}9$ (структура двойного периода), $K = 0{,}99 - 0{,}87$ (структура Кантора) $K = 0{,}99 - 0{,}7$ (структура Фибоначчи), $K = 0{,}99 - 0{,}64$ (структура Морса-Туэ) при увеличении степени рандомизации структуры от 5% до 50%.

Используя вейвлет-преобразования скейлинговых характеристик решеток с локальными дефектами, можно идентифицировать структуру паттернов разных типов даже при их заметных искажениях.

Таким образом, в настоящей работе предложен и обоснован метод определения структурных особенностей апериодических дифракционных решеток на основе анализа формы локальных паттернов в их скейлинговых характеристиках. Проведенный анализ показывает, что, несмотря на достаточно высокую степень устойчивости паттерных образований, при проведении паттерного анализа необходим корректный учет, как условий освещения решеток, так и наличия в них структурных дефектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.Р. Николаев, Г.А. Иваницкий, А.М. Иваницкий // Физиология человека. 1998. Т 24. №3. С. 5.

2. А.И. Майстров, А.В. Богомолов, М.Д. Алёхин // Вестник новых медицинских технологий. 2012. №1. Р. 3-1. электрон. изд. http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2012-1/00.html

3. В.В. Исаева // Труды Зоологического института РАН. Приложение 1. 2009. С. 199.

4. A.L. Mackay // Physica. 1982. V. 114 A. P. 609.

5. E. Macia // Rep. Prog. Phys. 2006. V. 69. P. 397.

6. А.М. Зотов, П.В. Короленко, А.Ю. Мишин // Кристаллография. 2010. Т.55. № 8. С. 965.

7. P.V. Korolenko, A.Yu. Mishin, Yu.V. Ryzhikova // Journal of Optical Technology. 2012. V. 79. Iss. 12. P. 754.