

ИНДЕКСНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Ханнанова Чулпан Рифатовна*¹
*Михайлова Анна Владимировна*²

1: Студентка, НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

2: Младший научный сотрудник, ФИЦ ХФ РАН, Москва, Россия

E-mail: chulpan.khannanova@gmail.com

Научный руководитель — к.э.н. Смирнов Дмитрий Сергеевич

Аннотация: В работе предложена адаптация методики прогнозирования возраста икон на основе исследования их древесных основ методами рамановской спектроскопии-микроскопии и машинного обучения. Ранее было показано, что использование набора ключевых пиков спектра повышает устойчивость моделей и сохраняет точность прогнозирования. С учётом вариативности нормализованных уровней интенсивности предлагается переход к индексным признакам — отношениям амплитуд ключевых волновых чисел, что обеспечивает большую инвариантность и стабильность анализа.

Пусть рассматривается выборка из L объектов (икон). Для l -й иконы зарегистрирована серия из R_l спектров.

Каждый спектр представим в виде $S^{(l,r)} = \{(k_i, I_i^{(l,r)})\}_{i=1}^N$, где k_i — дискретные волновые числа, $I_i^{(l,r)}$ — соответствующие интенсивности, N — общее число спектральных точек, $r = 1, \dots, R_l$.

В предыдущих исследованиях [1, 2] было показано, что использование только набора ключевых пиков (или главных компонент [3]) $P^{(l)} = \{(k_j, I_j^{(l)})\}_{j=1}^M$, $M \ll N$, где M — число информативных волновых чисел, позволяет построить модели классификации и регрессии, адекватно отражающие наблюдаемую историческую динамику между объектами различных столетий.

Однако интенсивности I_j существенно зависят от условий съёмки, состояния поверхности, толщины и состава слоёв, а также инструментальных погрешностей. Таким образом, абсолютные значения I_j не являются инвариантными характеристиками.

Спектральные индексы

Для устранения влияния факторов масштаба предлагается перейти к относительным характеристикам. Пусть выбрано подмножество ключевых пиков с волновыми числами $\{k_1, k_2, \dots, k_M\}$.

Вместо использования вектора абсолютных интенсивностей (I_1, \dots, I_M) вводятся индексные признаки

$$I_{pq}^{(l)} = \frac{I_p^{(l)}}{I_q^{(l)}}, \quad p \neq q.$$

Такая конструкция обладает следующими свойствами:

1. Инвариантность к масштабному преобразованию $I_i \mapsto cI_i$.
2. Снижение влияния глобальных колебаний уровня сигнала.
3. Сохранение относительной формы спектра.

Динамика между историческими периодами

Анализ показал [2] наличие значимой динамики относительных интенсивностей ключевых волновых чисел для объектов различных столетий.

Использование индексных признаков позволяет:

- выявлять динамику изменения спектральных индексов,
- строить устойчивые классификаторы по временным периодам,
- уменьшить межвыборочную дисперсию.

Заключение

Предложен подход к формированию индексных признаков на основе отношений уровней ключевых спектральных пиков. В отличие от использования абсолютных амплитуд, индексные характеристики обладают масштабной инвариантностью и большей устойчивостью к вариативности измерений.

Дальнейшее развитие работы связано с оптимизацией выбора опорных пиков и применением методов снижения размерности к пространству индексных признаков.

Литература

1. Михайлова А. В., Добряков А., Иванов В., Надточенко В., Смирнов Д. СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ И МЕТОДЫ ХЕМОМЕТРИКИ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ДОСОК ДРЕВНИХ ИКОН. // Применение методов естественных наук в археологических исследованиях: сборник абстрактов международной конференции (Алматы, 15-17 сентября, 2025 г.). — Алматы, 2025. С. 62-63.
2. U.P. Agarwal, S.A. Ralph, C. Baez, R.S. Reiner Detection and quantitation of cellulose II by Raman spectroscopy // Cellulose. 2021. № 28. С. 9069-9079.
3. Родионова О. Е., Померанцев А. Л. Хемометрика: достижения и перспективы // Успехи химии. 2005. № 75. С. 302-321