

## ОТЗЫВ

на диссертацию Голяндной Нины Эдуардовны на тему: «Общий подход к теории и методологии метода анализа сингулярного спектра», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа посвящена относительно новому методу анализа данных типа временных рядов или цифровых изображений, который более известен под именем *singular spectrum analysis (SSA)*, а в переводе звучит как метод анализа сингулярного спектра. Достоинством предлагаемого метода является то, что не надо задавать модель неслучайной составляющей изучаемого объекта, сигнала во временном ряде или паттерна в изображениях; метод строит адаптивное разложение на элементарные компоненты. Полученное разложение с помощью процесса, который можно назвать синтезом, а в работе он называется этапом восстановления, превращается в разложение на укрупненные компоненты объекта, которым можно придать смысл, например, разложение на сигнал и шум для временных рядов. Непараметрический характер метода, на мой взгляд, является одной из основных причин, почему метод имеет много практических приложений. Замечу, что временные ряды являются лишь общепринятым названием для данных, измеренных в равноотстоящих точках, так как измерения могут быть как временными, так и пространственными. Например, одномерные профили активности генов являются пространственными, однако методы, разработанные для временных рядов, применимы и к ним.

В первых пяти главах рассматриваются общие вопросы теории и методологии SSA и связанных с ним методов, которые вместе с реализацией, которой посвящена глава 6, создают хорошую базу для применения в практических задачах. Остановлюсь более подробно на приложениях метода, описанных в главе 7. Первые два раздела, посвященные задачам прогноза параметров вращения Земли и сглаживанию эмпирических функций распределения с применением в маркетинге, показывают разнообразие областей, где метод SSA находит применение. Остальные три приложения посвящены биологическим задачам, связанным с изучением экспрессии генов. Они также демонстрируют универсальность метода. В первом из них используется способность исходно непараметрического метода SSA оценивать параметры сигнала, если он входит в класс сигналов, управляемых линейными рекуррентными соотношениями, в частности в этот класс входят суммы экспоненциальных временных рядов. Именно это используется в применении метода для классификации ранних эмбрионов мушки дрозофилы по их одномерным профилям экспрессии гена *bicoid*. В первом из трех биологических приложений данные одномерные. Конкретно здесь используется двухэкспоненциальная модель для массивов реальных зашумленных экспериментальных данных. Второе биологическое приложение метода SSA показывает, как метод можно использовать для выделения паттерна экспрессии из двумерных данных для сразу нескольких генов, ключевых для раннего эмбриогенеза дрозофилы. В частности, продемонстрировано, как метод SSA может помочь при многоканальной

визуализации для решения физически неустранимой проблемы наложения спектров эмиссии красителей-флюорофоров, когда их используется несколько на одном препарате. (Это достаточно общая методическая проблема, обусловленная здесь спецификой конфокальной микроскопии биологических препаратов в этом разделе биологии.) Третье биологическое приложение метода SSA носит, в какой-то степени, демонстрационный характер и показывает, что многомерное обобщение метода SSA позволяет разделить и трехмерные данные на паттерн и шум. Это очень важный для практики результат, так как исходно реальные данные по экспрессии генов трехмерные и превращение их в двумерные, а тем более, в одномерные данные может привести к существенным искажениям.

В качестве того, чего в методе SSA не хватает с точки зрения практических применений, отмечу следующее. Так как биологические данные пространственные, в них проблема неравноотстоящих наблюдений встречается гораздо чаще, чем при измерениях во времени. (Например, ядра в пределах раннего эмбриона дрозофилы расположены нерегулярно). В приложениях диссертантом предлагается использовать интерполяцию для получения данных на регулярной решетке. Это приводит к разумному результату, однако остается вопрос о точности выделения компонент объекта методом SSA при использовании интерполяции. Позволяет ли метод работать с неравноотстоящими измерениями? Второй вопрос связан с тем, что данные могут быть измерены на поверхности эллипсоида или сферы (например, экспрессия генов, измеряемая у раннего эмбриона мушки дрозофилы, форма которого аппроксимируема эллипсоидом). Диссертант использует при этом цилиндрическую развертку, обрезая края. Можно ли построить обобщение метода SSA для данных, заданных на сфере? И последний вопрос, насколько можно метод автоматизировать, так как это является необходимым условием для включения в прикладные пакеты, которыми пользуются специалисты в прикладных областях?

Возникшие вопросы связаны с возможным продолжением исследований и не снижают научной ценности работы, в которой разработана универсальная методология, нашедшая свое применение в биологических приложениях для создания общего подхода к разделению паттерна и шума для объектов разной формы и размерности.

Диссертация Голяндиной Нины Эдуардовны на тему: «Общий подход к теории и методологии метода анализа сингулярного спектра» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Голяндина Нина Эдуардовна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Д.б.н., заведующий лабораторией моделирования эволюции

ИЭФиБ РАН,

Левченко В.Ф.

Дата



Подпись руки  
доверяю  
зав. канцелярией  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Института эволюционной  
физиологии и биологии им. И.М. Сеченова  
Российской академии наук

*В.Ф. Левченко*  
*М.П. А. П. А. А. А.*

21.07.2023