

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Голяндиной 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 Голяндиной Н.Э. посвящена решению актуальных задач анализа и прогноза временных рядов методами, основанными на анализе структуры подпространства сигнала. Если по сигналу построить *траекторную* матрицу, состоящую из скользящих отрезков заданной длины, которая называется *длиной окна*, то при условии, что она является матрицей неполного ранга, подпространство сигнала позволяет строить, например, прогноз сигнала, заполнять пропуски, оценивать параметры сигнала и т.д. Оценивание подпространства сигнала в случае наблюдения зашумленного временного ряда делается при помощи сингулярного разложения траекторной матрицы. Адаптивные и оптимальные свойства сингулярного разложения дают возможность оценить подпространство сигнала и, более того, разделить сигнал на составляющие. Для последнего уже не нужны свойства оптимальности, здесь основную роль играет биортогональность сингулярного разложения. Временной ряд с помощью сингулярного разложения порождает базис, по которому строится разложение, это большой плюс метода анализа сингулярного спектра (SSA). Однако некоторым минусом является то, что построенный базис не зависит от времени, а, например, вейвлетные разложения используют базисы, которые локализованы по времени. Проблема изменения структуры в методе SSA решается выбором небольшой длины окна и анализа не всего ряда, а его скользящих отрезков, а при резких изменениях структуры – с помощью методов обнаружения разладки. Это компенсирует недостатки построения

глобального по времени базиса.

Диссертационная работа Голяндиной Н.Э. изложена на 317 страницах в исходном англоязычном варианте, что соответствует 336 страницам в переводе на русский язык, и содержит: введение, семь глав, заключение, список литературы из 212 источников. В первой главе приведена общая информация о методе SSA, включая авторский подход к структуре методов семейства SSA, во второй и третьей главах приведены результаты относительно обработки одномерных временных рядов, четвертая глава описывает обобщение SSA для многомерных временных рядов, пятая глава посвящена описанию метода Shaped SSA, который включает в себя, в том числе, метод 2D-SSA для анализа цифровых изображений. Шестая глава описывает структуру пакета Rssa с реализацией методов. Седьмая глава посвящена приложениям метода SSA и его обобщений к решению некоторых практических задач.

В диссертационной работе Голяндиной Н.Э. получены следующие новые результаты:

1. Создана общая схема методов SSA, позволяющая анализировать многомерные объекты различной формы (временные ряды, цифровые изображения и т.п.), основываясь на построении адаптивных разложений исходного объекта, подстраивающихся к его структуре. Исследовано влияние параметров метода SSA на качество выделения компонент временного ряда для задач выделения сигнала, его компонент, прогноза и оценки параметров.
2. Предложен и обоснован ряд алгоритмов, позволяющих улучшить качество выделения (в том числе, автоматического) некоторых компонент изучаемых объектов (тренда, регулярных колебаний, шума, а также заполнения пропусков). Предложенные алгоритмы предназначены для работы с временными рядами, однако они естественным образом могут быть распространены на многомерный случай.

3. Задача оценки сигнала методом наименьших квадратов рассмотрена как задача взвешенной аппроксимации ганкелевыми матрицами малого ранга. Получены условия эквивалентности этих задач для случая авторегрессионного шума.
4. Для проверки гипотезы о (не)существовании сигнала во временном ряде предложен вариант множественного статистического теста (контролирующего групповую ошибку), который основан на построении проектора траекторной матрицы.
5. Разработан общий подход к обобщениям метода SSA (ShapedSSA), позволяющий единообразно обрабатывать не только объекты прямоугольной формы, но и объекты сложной формы, начиная от временных рядов с пропусками и заканчивая многомерными объектами сложной формы.
6. Разработан пакет программ Rssa, реализующий метод SSA и его многомерные расширения. Приведены результаты его применения при решении задач предсказания параметров вращения Земли, оценки плотностей распределений по эмпирическим данным, построения параметрической модели профилей экспрессии гена bicoid для ранних эмбрионов мушки дрозофилы, а также выделения паттернов в 2D и 3D данных экспрессии генов.

Все перечисленное в совокупности определяет научную значимость диссертационной работы. Достоверность полученных результатов обеспечивается строгими математическими доказательствами.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 25 научных работах в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах, в том числе 8 статей из Q1 и 5 статей из Q2 списка периодических изданий Scopus и / или Web of Science Core Collection. Автор выступал с приглашенными докладами на пяти международных конференциях и семинарах, не считая выступлений на всероссийских конференциях. Результаты исследования поддержаны грантами РФФИ и РНФ.

Отмечу следующие замечания.

1. Автору пришлось объединять свои статьи, написанные на разных языках и использующие различные стилевые файлы. Вероятно, этот процесс следовало осуществлять более тщательно. Работа местами оформлена не в едином стиле, что затрудняет ее чтение, также встречаются слова, не переведенные на русский язык. Считаю, что использование фраз «мы описываем», «мы используем» и т.п. в переводе диссертации на русский язык некорректным. Каждую главу диссертации следовало бы снабдить соответствующим выводом.
2. Вейвлетные разложения широко используются при анализе временных рядов. Не совсем ясно, что на стр. 33 перевода диссертации на русский язык означает фраза «Вейвлет-преобразование также использует фиксированные базисы». На стр. 34 приведены выводы авторов статей [50-53], однако анализ этих выводов автором диссертации не проводится. Поэтому сравнение метода SSA с другими методами недостаточно.
3. В работе содержится незначительное количество опечаток, однако присутствует одна систематическая ошибка. В математике используется термин «компонента» женского рода, но автор попеременно использует то женский род, то мужской род. Наглядным примером является первый абзац стр. 163 перевода диссертации на русский язык.
4. В диссертации утверждается, что R_{ssa} – это самая быстрая реализация метода SSA. Какова эффективность данного пакета?

Перечисленные замечания не снижают ценности диссертации и не влияют на общую положительную оценку работы. Считаю, что 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.

Член диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук, доцент,

профессор кафедры параллельных алгоритмов

Санкт-Петербургского государственного университета



Макаров А.А.

31.08.2023