

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
стратегическому развитию, д.ф. - м.н.

Т.А. - Х. Аушев

«16» июня 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
*«Московский физико-технический институт (государственный
университет)»*
от «16» июня 2015 г.

Диссертация «Методы анализа многомерных данных посадочных траекторий самолетов» выполнена на кафедре информатики Московского физико-технического института (государственного университета), Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2012 г. соискатель *Солнцева-Чалей Мария Олеговна* окончила Московский физико-технический институт (государственный университет) по специальности «системный анализ и управление». С 2012 г. по настоящее время обучается в заочной аспирантуре МФТИ. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 г. в Московском физико-техническом институте (государственном университете).

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, Кухаренко Борис Георгиевич. Основное место работы – Институт машиноведения РАН им. А.А. Благонравова, ведущий научный сотрудник.

По итогам обсуждения диссертации «Методы анализа многомерных данных посадочных траекторий самолетов» *принято следующее заключение.*

Тема диссертации является актуальной в связи с тем, что усложнение технических средств, рост интенсивности их использования и повышение требований эксплуатационной безопасности приводит к необходимости обрабатывать большие массивы данных (мониторинга технических средств) в режиме реального времени. Одно из перспективных направлений решения указанной задачи связано с разработкой методов и алгоритмов обработки данных, учитывающих их характерные (специфические) особенности.

Данные мониторинга технических средств могут быть представлены в виде многомерных временных рядов – последовательности векторов, компонентами которых являются значения различных показателей реализуемого процесса, зафиксированных в один момент времени. Типичным примером подобного массива данных являются посадочные траектории самолетов, фиксируемые радаром. Такие данные обладают рядом специфических особенностей: они

являются существенно многомерными и образуют асимптотически сходящиеся с параметром порога пучки, траектории в которых имеют множественные пространственные пересечения, кривизну и кручение.

Недостатки существующих подходов к анализу такого рода данных связаны с сокращением размерности данных (рассмотрением плоского случая), которое приводит к потере информации и искажению итогового результата. Недостатки существующих подходов также связаны с использованием евклидовой меры в качестве меры близости многомерных временных рядов, которая не позволяет разделять пересекающиеся траектории различной геометрической формы.

Цели и задачи диссертации: разработка методов анализа данных (*data mining*), позволяющих при обработке набора многомерных временных рядов, представленных четырехмерными траекториями движения объектов к различным целям:

- автоматически выделять в трехмерном случае пучки многомерных временных рядов, асимптотически сходящиеся с заданным параметром порога, что соответствует выделению установившихся потоков движения;
- смоделировать в трехмерном случае типичный для выделенного пучка многомерный временной ряд – центроид;
- определять в выделенном пучке выброс (*outlier*) – многомерный временной ряд, наиболее отклоняющийся от смоделированного центроида.

В диссертационной работе предлагается новый подход к анализу многомерных временных рядов, основанный на использовании меры косинуса в качестве меры близости многомерных временных рядов, представляющих четырехмерные траектории движения объектов. Данный подход позволяет в анализируемой выборке многомерных временных рядов выделять в трёхмерном пространстве группы временных рядов со сходными характеристиками и близкими конечными значениями – асимптотически сходящиеся пучки многомерных временных рядов. Данный способ выделения пучков временных рядов представляет собой метод без обучения (*unsupervised*), поэтому не требует никакого предварительного знания о числе пучков, содержащихся в выборке. Характерной особенностью выделяемых пучков посадочных траекторий самолётов является их специфическая форма и наличие на плоскости посадки геометрической касательной пучку траекторий. Также в рамках данного подхода предлагается способ моделирования центроида для выделенного пучка многомерных временных рядов, представленных четырехмерными траекториями движения объектов, который основан на решении оптимизационной задачи с ограничениями, где в качестве меры близости многомерных временных рядов используется мера косинуса. Помимо этого, в работе предлагается способ определения в выделенном пучке временных рядов выброса – многомерного временного ряда в выделенном пучке, которой имеет наибольшее отклонение от центроида пучка. Результаты работы демонстрируются на примере анализа набора многомерных временных рядов, представленных посадочными траекториями самолётов, зарегистрированных радаром TRACON над заливом Сан-Франциско, которые находятся в свободном доступе.

Основные результаты диссертации:

1. Способ устойчивого разбиения в трехмерном случае набора многомерных временных рядов, представленных четырехмерными траекториями движения объектов к различным целям, на пучки, асимптотически сходящиеся с заданным параметром порога, с использованием в качестве меры близости многомерных временных рядов меры косинуса.
2. Способ моделирования в трёхмерном случае центроида для выделенного пучка многомерных временных рядов, представленных четырёхмерными траекториями движения объектов, посредством решения оптимизационной задачи с ограничениями и использовании в качестве меры близости многомерных временных рядов меры косинуса.
3. Способ определения выброса (*outlier*) в выделенном пучке многомерных временных рядов, представленных четырёхмерными траекториями движения объектов, основанный на оценке отклонения траекторий пучка от его центроида по мере косинуса.

Научная новизна работы заключается в том, что работе в качестве экспериментальной меры близости многомерных временных рядов, представленных четырехмерными траекториями движения объектов, используется мера косинуса, которая позволяет учитывать особенности геометрии многомерных траекторий движения – кривизну, кручение и множественные пространственные пересечения, что позволяет выделять в наборе обрабатываемых данных асимптотически сходящиеся с параметром порога пучки многомерных временных рядов, их центроиды и выбросы.

Практическая ценность результатов диссертации заключается в том, что реализующий их программный комплекс позволяет обрабатывать многомерные временные ряды, которые представляют собой зарегистрированные радаром посадочные траектории самолётов, в автоматическом режиме и может быть использован для решения прикладных задач, таких как:

- обнаружение скрытых целей движущихся объектов,
- секторизация воздушного пространства расширенной зоны аэропорта с учётом установившегося движения в трёхмерном случае,
- создание автоматических (беспилотных) систем захода на посадку, в том числе, при посадке в условиях сложного географического ландшафта (в горах или на побережье) и/или без сопровождения диспетчерских служб («малые» аэропорты и/или несанкционированные приземления).

Обоснованность и достоверность результатов и выводов.

Выводы и результаты диссертации подтверждены численными экспериментами на реальных данных. Теоретическую и методологическую основу проведенных разработок и исследований составили труды отечественных и зарубежных авторов в области анализа данных, а также технические решения, созданные и опубликованные в российских и зарубежных патентах и свидетельствах на изобретения РФ. Результаты исследования докладывались и обсуждались на конференциях и достаточно

полно изложены и публикациях в научных изданиях, в том числе рекомендованных ВАК РФ.

Материалы диссертации опубликованы автором достаточно полно в следующих работах:

1. Кухаренко Б.Г., Солнцева-Чалей М.О. Применение моделей нелинейных динамических систем для анализа результатов кластеризации многомерных траекторий // Информационные технологии. 2015. Т.21, № 5. С.341–345.
2. Кухаренко Б.Г., Солнцева М.О. Анализ результатов кластеризации многомерных траекторий посредством моделей линейных динамических систем // Информационные технологии. 2015. Т.21, № 2. С.104–109.
3. Солнцева М.О., Кухаренко Б.Г. Кластеризация многомерных траекторий посадочных траекторий самолетов / Труды 57-й научной конференции МФТИ. Управление и прикладная математика. 2014. Т.2. С.111–112.
4. Солнцева М.О., Кухаренко Б.Г. Кластеризация многомерных траекторий управляемых объектов / Труды 57-й научной конференции МФТИ. Управление и прикладная математика. 2014. Т.2. С.123–124.
5. Кухаренко Б.Г., Солнцева М.О. Покомпонентный дискриминантный анализ результатов кластеризации многомерных траекторий // Информационные технологии. 2014. № 11. С.3–7.
6. Солнцева М.О., Кухаренко Б.Г. Кластеризация управляемых объектов на основе сходства их траекторий и скоростных режимов // Труды МФТИ. 2014. Т.6, № 3. С.65–72.
7. Кухаренко Б.Г., Солнцева М.О. Итеративная кластеризация траекторий управляемых объектов в многомерном пространстве характеристик // Информационные технологии. 2014. № 8. С.11–16.
8. Кухаренко Б.Г., Солнцева М.О. Кластеризация управляемых объектов на основе сходства их многомерных траекторий // Информационные технологии. 2014. № 5. С.3–7.

Личный вклад соискателя: все представленные в работах [1-8] научные результаты получены лично автором.

Основные результаты работы докладывались на следующих научных конференциях и семинарах:

- 57-й, 56-й, 55-й научной конференции МФТИ (Долгопрудный, МФТИ, 2014 г., 2013 г., 2012 г.),
- расширенном семинаре Отдела интеллектуальных систем ФИЦ ИУ РАН.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики, в частности, пунктам:

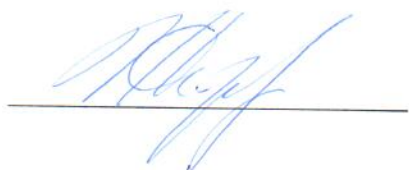
5. Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечениях, разработка и исследование методов и алгоритмов анализа текста, устной речи и изображений.
11. Разработка методов обеспечения высоконадежной обработки информации и обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций для

целей передачи, хранения и защиты информации; разработка основ теории надежности и безопасности использования информационных технологий.

Диссертация «Методы анализа многомерных данных посадочных траекторий самолетов» Солнцевой-Чалей Марии Олеговны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности *05.13.17 – теоретические основы информатики*.

Заключение принято на заседании кафедры информатики МФТИ (ГУ). Присутствовало на заседании 59 человек. Результаты голосования: «за» – 59, «против» - нет, «воздержались» – нет.

Протокол № 54 от 16 июня 2015 года.



Петров И.Б., член-корреспондент РАН,
д.ф.-м.н., профессор,
заведующий кафедрой информатики МФТИ