

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. первого заместителя генерального
директора-директора филиала «НИИ
Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА

С.А. Грачев

16.04.2018



ОТЗЫВ

ведущей организации
**Филиал «Научно исследовательский институт Аэронавигации»
Федерального государственного унитарного предприятия
Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации
(ФГУП ГосНИИ ГА)**

на диссертационную работу Солнцевой-Чалей Марии Олеговны
«Методы анализа многомерных данных посадочных траекторий самолётов»,
представленную на соискание на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Актуальность темы диссертационного исследования. В настоящее время одной из актуальных задач Единой системы организации воздушного движения (ЕС ОрВД) является проектирование новой структуры воздушного пространства, в рамках которой решаются следующие задачи: проектирование стандартных маршрутов прибытия (STAR); разработка схем захода на посадку с применением методов зональной навигации (PBN); определение горизонтальных и вертикальных границ секторов обслуживания воздушного движения (ОВД). При этом, при проектировании воздушного пространства необходимо обеспечить возможность выполнения полетов по предпочтительным для пользователей (или наиболее близким к ним) траекториям на участках полета по маршруту. Перспективными направлениями в данной области являются реализация маршрутов зональной навигации (создание сети маршрутов ОВД на принципах PBN), реализация

концепции гибкого использования воздушного пространства (Flexible Use of Airspace - FUA) и реализация воздушного пространства для полетов по свободным маршрутам (Free Route Airspace - FRA).

Для эффективного решения указанных задач, оптимизации движения и работы системы ОрВД необходим предварительный анализ траекторных данных существующих потоков движения. Количественная оценка эффективности структуры воздушного пространства и секторов ОВД может быть выполнена в результате выделения основных потоков движения воздушных судов с помощью методов анализа данных (data mining), позволяющих в реальном времени обрабатывать данные траекторий воздушных судов, зарегистрированные наземными средствами объективного контроля. Выделение типичных маршрутов и направлений захода на посадку на основании обработки реальных данных позволяет оптимизировать работу диспетчерских служб, обеспечить безопасность движения и уменьшить возможные задержки, связанные с постоянным увеличением интенсивности полётов.

Работа Солнцевой-Чалей М.О., посвященная методам анализа многомерных данных посадочных траекторий воздушных судов, зарегистрированных наземными средствами объективного контроля, является актуальной для решения задач деления воздушного пространства на сектора — зоны ответственности диспетчерских служб и полученные в ней результаты имеют практическую значимость.

Научная новизна. Автором предлагается оригинальный алгоритм разбиения набора 4D посадочных траекторий самолётов, зарегистрированных наземными средствами объективного контроля, на пучки -- группы траекторий, соответствующие посадкам на имеющиеся ВПП с заданного направления, основанный на использовании в качестве меры близости траекторий движения ВС меры косинуса, позволяющей учитывать особенности пространственной геометрии анализируемых данных.

Результаты диссертации запатентованы и достаточно полно представлены в ведущих российских и международных журналах. Среди материалов

диссертационной работы следует выделить ряд полученных автором результатов, представляющих наибольшее практическое значение:

1. Способ устойчивого разбиения в трехмерном пространстве набора многомерных временных рядов, представленных четырехмерными траекториями движения объектов к различным целям, на пучки, асимптотически сходящиеся с заданным параметром порога, с использованием меры косинуса в качестве меры близости многомерных временных рядов.
2. Способ моделирования в трёхмерном пространстве центроида для выделенного пучка многомерных временных рядов, представленных четырёхмерными траекториями движения объектов, посредством решения оптимизационной задачи с ограничениями и использовании меры косинуса в качестве меры близости многомерных временных рядов.
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.

Разработанный в работе комплекс программ обеспечил высокую точность полученных результатов при обработке данных средств объективного контроля.

Достоверность полученных результатов подтверждается примерами обработки данных радара TRACON над заливом Сан-Франциско с помощью программной реализации алгоритма, полученными патентами и актом о внедрении.

Структура диссертации. Диссертационная работа Солнцевой-Чалей М.О. представлена на 130 страницах, содержит 36 рисунков и 193 наименования цитируемой литературы.

Во введении формулируются общие цели и задачи исследования, приводится подробный обзор литературы существующих методов решения поставленных задач, приводятся основные результаты, отражен уровень новизны, практической значимости и достоверности полученных результатов, включая личный вклад.

В первой главе на основе комплексного анализа проблемы обеспечения безопасности полётов в расширенной аэропортовой зоне обосновывается актуальность темы

диссертационного исследования и выбор посадочных траекторий ВС в качестве анализируемых данных. Особое внимание уделено описанию основных подходов, применяемых в настоящее время для решения задачи выделения установившихся потоков движения в расширенной области воздушного пространства аэропортовой зоны. Помимо этого, в данной главе демонстрируются основные недостатки методов, используемых для решения проблемы в настоящее время и необходимость учитывать особенности пространственной геометрии многомерных траекторий ВС в трёхмерном пространстве при решении практических задач. Глава характеризуется конкретной направленностью на предмет исследований и в полной мере иллюстрирует современное состояние проблемы и обосновывает цели, объекты и задачи работы.

Во второй главе рассматривается применение различных широко известных методов анализа данных (data mining) при обработке набора многомерных данных посадочных траекторий самолётов для выделения в наборе существующих потоков движения, соответствующих посадкам с одного направления на различные ВПП, которые называются в контексте диссертационной работы пучками посадочных траекторий. Помимо этого, в настоящей главе на основе комплексного анализа широко известных методов data mining предложено решение поставленной задачи в двумерном случае при рассмотрении проекций траекторий на оси координат. Новизна подхода состоит в применении спектрального метода с использованием полярной кривизны (LSCC, Linear Spectral Curvature Clustering). Пучки, выделяемые с помощью алгоритма LSCC, соответствуют траекториям посадки на заданные взлётно-посадочные полосы с одного направления. Данный метод может быть использован при выделении пучков траекторий в двумерном случае, если число пучков, содержащихся в выборке, известно заранее.

После определения типичной траектории выделенного пучка, в данной главе предлагается способ определения аутлаера -- траектории, наиболее отклоняющейся от типичной. Новизна подхода состоит в использовании меры косинуса в качестве меры близости траекторий движения. Использование данной меры близости при анализе траекторий самолётов обусловлено тем, что анализируемая область пространства

представляет собой конус радиусом 80 км и высотой более 2000 м и необходимо учитывать искажения, связанные с тем, что анализируется область представляет собой часть сферы. Результаты применения способа демонстрируются на примере обработки данных посадочных траекторий, зарегистрированных радиолокационной системой TRACON (terminal radar approach control) 01 января 2006 г. над заливом Сан-Франциско и находящихся в свободном доступе.

В третьей главе, посвященной разработке математического аппарата обработки многомерных посадочных траекторий ВС в трехмерном случае, предлагается оригинальный способ устойчивого разбиения набора многомерных посадочных траекторий самолётов на пучки траекторий, соответствующие посадкам на заданные взлётно-посадочные полосы (ВПП), в трёхмерном случае, соответствующий секторизации воздушного пространства в трёхмерном случае. Точный результат разбиения достигается благодаря использованию алгоритма RANSAC при сокращении размерности данных и использовании меры косинуса в качестве меры близости траекторий при переходе в пространство исходной размерности. Предлагаемый способ позволяет точно решать задачу выделения установившихся потоков движения при обработке траекторий ВС в трёхмерном случае. Результаты демонстрируются на примере выделения пучков траекторий в выборке траекторий, зарегистрированных радаром.

Помимо этого, в рассматриваемой главе предлагается способ определения репрезентативной траектории выделенного потока на основании усреднения траекторий выделенного пучка многомерных посадочных траекторий, называемой в контексте работы центроидом. Полученный результат является точным и достигается благодаря использованию в качестве меры близости пространственных траекторий меры косинуса, которая учитывает особенности пространственной геометрии многомерных траекторий движения -- кривизны, кручения и множественных пересечений. Представленный результат демонстрируется на примере обработки реальных данных и может быть использован при решении практических задач.

Научная значимость диссертационной работы Солнцевой-Чалей Марии Олеговны состоит в решении актуальной научной проблемы, имеющей важное народнохозяйственное значение в области анализа данных, в частности, анализа данных 4D-посадочных траекторий ВС и решении задачи 3D-секторизации воздушного пространства аэропортовой зоны.

Практическая значимость работы обусловлена созданным комплексом программ, который позволяет обрабатывать реальные данные, регистрируемые наземными средствами объективного контроля, в автоматическом режиме. Диссертационная работа имеет большую практическую значимость и может быть использована для решения ряда прикладных задач, таких как обнаружение скрытых целей движущихся объектов, идентификация установившихся потоков движения и определение возможных траекторий посадки ВС на основании данных об успешных посадках.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в организациях, занимающихся анализом траекторий движения ВС, в частности, траекторий посадки ВС и организации воздушного движения. Полученные результаты могут быть использованы для деления воздушного пространства аэродромной зоны на сектора – зоны ответственности диспетчерских служб с учётом высоты полёта, а также при создании сети маршрутов полетов на принципах PBN.

Основные научные результаты диссертационной работы представлены в 20 печатных работах, в том числе 12 публикациях в журналах, включенных в перечень ВАК. Принципиальных замечаний по диссертационной работе, представленной Солнцевой-Чалей Марией Олеговной, нет.

Заключение

Диссертационная работа Солнцевой-Чалей Марии Олеговны «Методы анализа многомерных данных посадочных траекторий самолётов» представляет собой законченное научное исследование, выполненное по актуальной тематике на высоком теоретическом и практическом уровне, а полученные в ней результаты характеризуются новизной и практической значимостью. В диссертационной работе Солнцевой-Чалей Марии Олеговны успешно решена проблема выделения

существующих потоков воздушного движения в рассматриваемой области в трёхмерном пространстве. Достоверность результатов подтверждается примерами обработки реальных данных, полученных с помощью программной реализацией алгоритмов. Представленная работа соответствует паспорту специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики. Работа отвечает всем требованиям ВАК, включая п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции постановления правительства Российской Федерации №842 от 21.04.2016, предъявляемые к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Солнцева-Чалей Мария Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики.

Диссертационная работа рассмотрена и одобрена Экспертным советом Филиала «НИИ Аэронавигации» ФГУП ГосНИИ ГА (Протокол №3 от 04.04.2018г.)

Ученый секретарь
Филиала «НИИ Аэронавигации»
ФГУП ГосНИИ ГА



И.Б. Губерман

Филиал «НИИ Аэронавигации»
ФГУП ГосНИИ ГА,
Адрес: Волоколамское шоссе д.26,
Москва, 123182,
Тел.: (499) 190-35-75
Факс: (499) 190-47-25, (499) 943-00-01
E-mail: info@atminst.ru