

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и международной
деятельности ДГТУ,
д-р техн. наук, профессор



А.Н. Бескозыльный
«30» _____ 2026 г.

О Т З Ы В

ведущей организации

ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет»
на диссертационную работу

Кувшиновой Ольги Александровны

«Методы и алгоритмы распределения информационных ресурсов программно-аппаратных генераторов изображения и его программная реализация»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности

2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки)

Актуальность темы диссертации

В настоящее время предусмотрено увеличение числа учебных ситуаций, разрешенных для подготовки и контроля профессиональных навыков летчиков при полётах на авиационном тренажёре (АТ). Ранее уже были достигнуты хорошие успехи на авиационных тренажёрах при обучении летчиков пилотированию летательных аппаратов (ЛА) в простых и предаварийных ситуациях. Однако, обучение решению большинства навигационных задач связанных с ориентацией во время полёта по визуально наблюдаемым 3D-моделям реперных объектов при тренировочных полётах на АТ обычно ограничивалось возможностью обучать лётчика визуальной посадке на взлётно-посадочную полосу (ВПП) в центре участка 3D-модели части района полётов, где располагалась 3D-модель ВПП и рядом несколько 3D-моделей реперных объектов к которым относятся 3D-моделей инженерных сооружений и растительности. Число таких 3D-моделей реперных объектов определялось производительностью мультипроцессорного программно-аппаратного генератора изображений (ПА ГИ), когда весь его ресурс использовался

для создания насыщенного 3D-моделями реперных объектов участка вокруг ВПП. При взлёте-посадке на 3D-модель ВПП и при её пролёте, лётчик мог применять все методы ориентировки – как по показаниям имитаторов приборного оборудования, так и с визуальным контролем места положения информационной модели летательного аппарата над 3D-моделью этого участка. При вылете за пределы этого района размер которого обычно составляет 15×15 км, моделируется полёт «в сплошной облачности» или над «безориентирной местностью» – 3D-моделью местности окрашенной текстурой, без привязки видимых цветowych пятен к карте заданного района полётов, что позволяло формально выполнить требования Заказчика к размеру 3D-модели района полётов и в то же время не требовало решения задачи распределения ресурсов ПА ГИ по всей 3D-модели района полётов. Этого было достаточно для обучения лётчика задачам пилотирования ЛА и решению навигационных задач при обучении посадки летательного аппарата на ВПП. Обучение решению навигационных задач при вылете за пределы центрального участка предполагалось только по показаниям имитаторов приборов кабинного оборудования. Указанные методы обучения лётчиков при полётах на АТ частично удовлетворяли Заказчика и были обоснованы возможностями используемых ПА ГИ и отсутствием методов распределения ресурсов ПА ГИ по всей 3D-модели района полётов, размер которого Заказчик задавал от 400×400 км до 1500×1500 км.

Ранее производительность ПА ГИ оценивалась от 1000 до 16000 примитивов за цикл реального времени, что позволяло синтезировать 3D-модель ВПП и несколько размещённых недалеко от неё 3D-моделей реперных объектов. Без решения задачи распределения ресурсов ПА ГИ по всей 3D-модели района полётов невозможно разместить достаточное число 3D-моделей реперных объектов, по которым лётчик может ориентироваться при полётах на АТ в любом направлении. Появление ПА ГИ с производительностью более 300000 3D-примитивов теоретически позволяет увеличить площадь 3D-модели района с 3D-моделями реперных объектов на участке более чем 15×15 км. Однако размещение по всей площади 3D-модели района полётов достаточного количества 3D-моделей реперных объектов, необходимых для визуального контроля их пролёта в поворотных пунктах маршрута, при решении навигационных задач во время полёта на АТ в любом направлении, требует разработки структурированной базы данных ПА ГИ, обеспечивающей, в зависимости от положения подвижного наблюдателя и заданной дальности видимости, исключение из 3D-модели района полётов её невидимой части. Если разделить 3D-модель района полётов на сегменты первого уровня, появляется возможность задав их дальность видимости в начале цикла режима

реального времени удалить из дальнейшего рассмотрения часть, которая при заданном положении подвижного наблюдателя удалить из дальнейшего рассмотрения невидимые сегменты с расположенными в них 3D-моделями реперных объектов. Это позволяет перераспределять ресурсы ПА ГИ увеличивая число размещённых 3D-моделей реперных объектов по всей 3D-модели района полётов, и тем самым дополнить учебные ситуации на авиационном тренажёре сценариями, связанными с решением максимально широкого круга навигационных задач на основе визуальной ориентации по 3D-моделям реперных объектов. При решении этой задачи учитывалось, что программное обеспечение современных ПА ГИ включает управляющие примитивы (например, «охватывающая сфера»), позволяющие управлять распределением ресурсов ПА ГИ за счёт определяя какие записи в структурированной базе данных ПА ГИ описывающие конкретные сегменты ПА ГИ должны быть, обработаны при данном положении подвижного наблюдателя. Однако, на данный момент эти управляющие примитивы практически не используются из-за отсутствия методов и алгоритмов, которые могли бы задать конструкторам правила распределения информационных ресурсов ПА ГИ по всей площади информационной 3D-модели района полетов. Исходя из изложенного, разработка методов, методик и алгоритмов распределения ресурсов программно-аппаратного комплекса генерации изображений, обеспечивающих синтез наблюдаемых 3D-моделей реперных объектов на всей площади 3D-модели района полётов и создающих возможность для лётчика при полётах на авиационном тренажёре в любом направлении решать максимально широкий круг навигационных задач с визуальной ориентацией по 3D-моделям реперных объектов, обуславливает актуальность данной работы.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений, представленных в диссертации соискателя, обеспечивается научной обоснованностью и непротиворечивостью теоретических позиций, базирующихся на трудах ведущих отечественных и зарубежных учёных, применением экспериментально подтверждённых методов, методик и алгоритмов разработки информационных ресурсов ПА ГИ, согласованностью полученных данных с результатами исследований других авторов, а также успешными результатами тестирования программного комплекса.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации.

Новыми являются следующие научные результаты.

1. Разработанный метод распределения информационных ресурсов ПА ГИ позволил рассчитать время обработки каждого сегмента первого уровня, на который

делится 3D-модель района полетов и рассчитать максимальное число 3D-моделей реперных объектов, размещаемых в каждом сегменте первого уровня

2. Разработанный метод формирования структуры базы данных ПАГИ позволяет в процессе синтеза изображения на первом этапе обработки информации в режиме реального времени исключить записи с информацией о размещённых в сегментах первого уровня 3D-моделей реперных объектов, позволяя ПАГИ синтезировать только близлежащие 3D-модели реперных объектов.

3. Разработан метод формирования структуры базы данных ПАГИ, когда каждая её запись соответствует определённому сегменту первого уровня, что позволяет на первом этапе синтеза изображения оставить только те сегменты первого уровня, которые находятся не далее заданной дальности видимости от подвижного наблюдателя, при этом заменено понятие ресурса ПАГИ как «количество обрабатываемых 3D-моделей реперных объектов» на «время обработки визуальных и управляющих примитивов» из которых набираются 3D-модели реперных объектов, что позволило использовать методы целочисленного программирования и в зависимости от заданной дальности видимости, заданной производительности ПАГИ и размера 3D-модели района полётов рассчитать оптимальный размер сегмента первого уровня и максимально возможное время на его обработку, что позволяет разместить на площади сегмента первого уровня максимально возможное число 3D-моделей реперных объектов разной конструкции, и исключить во время синтеза изображения с помощью ПАГИ ошибочные ситуации, при этом по сравнению с традиционным методом конструирования 3D-модели района полётов, увеличивается на всей площади 3D-модели района полётов число примитивов из которых набираются 3D-моделей реперных объектов – при размере района полетов 400×400 км и использовании ПАГИ «Альбатрос» в 7,5 раз, при использовании ПАГИ «Poligon™» в 11 раз, а при задании 3D-модели района полетов размером 1500×1500 км и использовании ПАГИ «Poligon™» в 50 раз.

4. На основе методики описания распределения ресурсов ПАГИ разработан обобщённый алгоритм, который делит 3D-модель района полетов на сегменты первого уровня, позволяет определять их оптимальные размеры и время на обработку этих сегментов.

5. Апробация программы, реализующей алгоритм Гомори, с учётом дальности видимости 60 км, размера 3D-модели района полетов 400×400 км при использовании ПАГИ «Альбатрос» позволила установить оптимальный размер сегментов первого уровня – 10 км, при использовании ПАГИ «Poligon™» – 5 км.

Практическая значимость результатов диссертационной работы состоит в том, что разработанные методы и алгоритмы позволяют применять методы целочисленного программирования для нахождения оптимального размера сегмента первого уровня и определения максимально допустимого времени его обработки, что позволяет оценить соответствие ПА ГИ предъявляемым требованиям Заказчика по размещению на заданной 3D-модели района полётов требуемого числа 3D-моделей реперных объектов.

Основные результаты, полученные соискателем, внедрены в:

– АО «НПП «Рубин», г. Пенза для формирования оперативной 3D-обстановки в тренажерах;

– Пензенском государственном технологическом университете в учебном процессе на кафедре «Информационные технологии и системы» в рамках обучения студентов по направлениям подготовки при обучении студентов по направлению 09.03.02. «Информационные системы и технологии»;

– при проведении исследований, поддержанных грантом № 23-21-10046 «Метод решения в машинной графике задачи взаимозакрываемости 3D-моделей при подвижном наблюдателе» для расчёта размеров одинаковых сегментов первого уровня при делении 3D-модели района полетов;

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные результаты, рекомендации и выводы, изложенные в диссертации, целесообразно использовать в организациях, занимающихся проектированием и производством авиационных тренажёров, при решении задачи синтеза в режиме реального времени максимально насыщенного участка 3D-модели района полётов, видимого при заданном положении подвижного наблюдателя. Это достигается за счёт исключения из рассмотрения на первом этапе синтеза изображения остальной части 3D-модели района полётов, что позволяет повысить вероятность распознавания видимых 3D-моделей как пространственных объектов и обеспечивает возможность решения навигационных задач на основе ориентации по синтезированным 3D-моделям. Изложенные методы могут быть использованы также в учреждениях образования в учебном процессе по соответствующим направлениям подготовки.

Материал диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы по пунктам 1 и 6.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению.

Диссертация изложена на 136 страницах машинописного текста и состоит из списка сокращений, введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включающего 102 наименования, и двух приложений. Диссертация содержит 56 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, дана ее краткая аннотация, сформулированы цель и задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен аналитический обзор научно-технической информации по проблеме исследования. Рассмотрены результаты исследования ПАГИ, синтезирующего в режиме реального времени для лётчика 3D-модель окружающего пространства для полетов на АТ. Основными элементами, позволяющими синтезировать 3D-модель района полетов, являются алгоритмы компьютерной графики и исходные данные — визуальные и управляющие 3D-примитивы. Из них набираются 3D-модели реперных объектов. Показано, что внешний вид 3D-модели района полетов синтезированный по алгоритмам компьютерной графики зависит от количества визуальных и управляющих 3D-примитивов, извлекаемых на первом этапе синтеза из структурированной базы данных ПАГИ. Структура используемой в работе базы данных была разработана с учётом необходимости за минимальное время извлечь информацию о 3D-моделях реперных объектов, видимых при текущем положении подвижного наблюдателя. Существующие ограничения по производительности ПАГИ, а также отличия в конструкции 3D-моделей реперных объектов усложняют задачу разработки 3D-модели района полетов, позволяющего при полётах в любом направлении на АТ решать навигационные задачи, ориентируясь по 3D-моделям реперных объектов, размещённых в поворотных пунктах маршрута. Анализ методов размещения достаточного числа 3D-моделей реперных объектов по всей площади 3D-модели района полетов для решения навигационных задач показал, что эта задача может быть решена методами целочисленного программирования.

Во второй главе предложен метод распределения информационных ресурсов ПАГИ. Технология распределения ресурсов ПАГИ проходит через следующие этапы: на первом этапе определяется время обработки примитива каждого типа для конкретного ПАГИ. На втором этапе площадь всей 3D-модели района полета делится на однотипные сегменты первого уровня с учётом максимально допустимого времени на обработку каждого сегмента первого уровня. На третьем этапе разрабатывают 3D-модели реперных объектов, располагая их в каждом сегменте, при этом время обработки суммарного набора 3D-примитивов каждого сегмента не может превышать максимально разрешённое время на их обработку. На

четвёртом этапе все примитивы каждого сегмента заносятся в соответствующую запись структурированной базы данных (каждому сегменту соответствует одна запись). На пятом этапе – непосредственно во время компьютерного синтеза изображения отсекаются записи, если их сегменты не попадали в след пирамиды видимости. Из записей активных сегментов, которые попали в след пирамиды, извлекается информация, обрабатывая которую на экране синтезируется очередной кадр изображения 3D-модели реперных объектов. Размещение примитивов, на основе которых формируются 3D-модели реперных объектов, по всем записям базы данных с учётом максимально допустимого времени их обработки и ограничения на одновременную обработку лишь части записей позволяет увеличить общее количество 3D-моделей реперных объектов в пределах всей модели района полётов.

В третьей главе на основании результатов исследований методики описания ресурсов ПА ГИ, позволяющей делить информационную 3D-модель района полетов на однотипные сегменты первого уровня, выбран метод оптимизации. Для решения данной задачи в диссертации осуществлён переход от информационной единицы «3D-модель реперного объекта» к информационной единице «время обработки визуальных и управляющих примитивов», из которых формируются 3D-модели реперных объектов, размещённые в пределах одного сегмента. Это позволило определить возможное число таких единиц каждого типа, обрабатываемых в течение одного цикла реального времени, рассчитать допустимое время обработки сегментов с учётом дальности видимости расположенных в них 3D-моделей реперных объектов, а также установить временные затраты, допустимые для синтеза требуемого числа 3D-моделей реперных объектов, различающихся по своей структуре. Соответствующие решения получили реализацию в диссертационной работе.

В четвёртой главе описана реализация разработанной методики и алгоритмов в виде программы, которая позволяет рассчитать оптимальный размер и максимально допустимое время обработки одинаковых сегментов первого уровня на которые делится 3D-модель района полетов, что позволяет зная время обработки каждого примитива конструировать размещённые в каждом сегменте 3D-модели реперных объектов не опасаясь, что при синтезе наблюдаемой части 3D-модели района полетов, при полёте в любом направлении возникнет перегрузка ПА ГИ. Установлено, что производительность любого из известных ПА ГИ выше 1000 примитивов достаточна для синтеза 3D-модели ВПП, конструкция 3D-модели которой не превышает 780 видимых примитивов, в этом случае нет необходимости делить 3D-модель района полётов на сегменты. Производительности ПА ГИ Альбатрос 16000 визуальных примитивов недостаточно, чтобы без деления 3D-

модели района полётов на сегменты разместить по всей площади достаточное число 3D-моделей реперных объектов для решения навигационных задач с визуальной ориентировкой по их изображению, при полётах в любом направлении. Для этого 3D-модель района полётов делят на сегменты первого уровня оптимального размера. Зная максимально возможное время обработки каждого сегмента первого уровня и время обработки размещаемых в нём примитивов, получаем возможность конструировать 3D-модель района полётов с размещением максимально возможного числа 3D-моделей реперных объектов, синтез которых не превышает время цикла режима реального времени при любом положении подвижного наблюдателя. Так при размере 3D-модели района полётов 400×400 км и использования ПА ГИ «Альбатрос» количество примитивов для размещения 3D-моделей реперных объектов по всей площади 3D-модели района полётов увеличивается в 7,5 раз, при использовании ПА ГИ «Poligon™» в 11 раз, при задании 3D-модели района полётов размером 1500×1500 км и использовании ПА ГИ «Poligon™» количество примитивов увеличивается в 50 раз, по сравнению с традиционным случаем когда в центре 3D-модели района полётов размещается 3D-модель ВПП с 3D-моделями реперных объектов, число которых ограничивается производительностью ПА ГИ.

В заключении приведены основные результаты и выводы по диссертации.

В приложении 1 приведены акты внедрения в производство и использование результатов в учебном процессе в техническом вузе.

В приложении 2 приведены сканы свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные положения диссертационного исследования не вызывают возражений. В то же время по содержанию работы имеются следующие **замечания**:

1. В работе рассмотрены методы и алгоритмы преимущественно российских научных школ. Для более полного анализа, вероятно, было бы целесообразно расширить перечень исследуемых методов за счёт зарубежных научных школ и ведущих производителей программно-аппаратных генераторов изображения, с учетом разработок последних лет.

2. В четвертой главе вероятно было бы полезно указать системные требования к ПА ГИ (минимальная производительность и минимальный объём памяти).

3. В работе предложен метод оптимизации на основе алгоритма Гомори для сегментов первого уровня. Однако в диссертации не приведено сравнения предлагаемого метода с классическим методом ветвей и границ, который также применим для решения данного класса задач. Было бы целесообразно обосновать

выбор алгоритма Гомори, проведя сравнительный анализ эффективности этих методов.

4. В ходе анализа материалов автореферата и текста диссертации, вероятно, следовало бы уточнить необходимость обеспечения максимального допустимого числа $3D$ -моделей реперных объектов в рамках большой $3D$ -модели района полетов в режиме реального времени. При этом неясно какие еще технические критерии, например, сокращение времени, сокращение затрат и т. д. важны при проектировании подобных генераторов изображения.

5. Используемый в разделе научной новизны автореферата термины «сегменты первого уровня», «размер модели район», «максимальная видимость» определены слишком обще.

6. По тексту диссертации встречаются стилистические и орфографические опечатки и неточности.

Указанные замечания не снижают общей научной и практической ценности работы, имеют частный характер.

Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

Результаты диссертационного исследования Кувшиновой О.А. в полной мере раскрыты в 22 научных публикациях, в том числе 7 статей перечня ВАК, 4 статьи, цитируемые в международных базах данных WOS и Scopus и два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. Поставленные в диссертации задачи раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики.

Заключение по диссертации.

Диссертационная работа Кувшиновой О.А. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная задача по исследованию методов и алгоритмов деления $3D$ -района полетов общим размером до 1500×1500 км на сегменты первого уровня, в которых размещаются $3D$ -модели реперных объектов, имеющая значение для развития соответствующей области исследования. Работа отвечает требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным п. 9-14 действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842. Автор диссертационной работы Кувшинова Ольга Александровна заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы (технические науки).

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет». На заседании присутствовало 17 человек, в том числе докторов наук 2. Результаты голосования: «за» - 17 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет. Протокол № 9 от 24 апреля 2026 г.

Заведующий кафедрой

«Программное обеспечение вычислительной
техники и автоматизированных систем»,
канд. тех. наук, доцент


В.В. Долгов

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственной технической университет». Почтовый адрес: 344000, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1. Тел: +7(863)2-738-727, e-mail: spu-46.6@donstu.ru, официальный сайт организации: <https://donstu.ru>.

Кандидатская диссертация защищена на стыке научных специальностей 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение)» и 05.02.08 «Технология машиностроения» в 2002 году.

Подпись, учёную степень, учёное звание и должность Долгова Василия Валерьевича удостоверяю

Учёный секретарь ФГБОУ ВО ДГТУ


В.Н. Анисимов


*С отзывом ознакомлена
8.05.2026 Кузнец*